

Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук
Липецкий государственный технический университет
Государственный институт повышения квалификации и переподготовки кадров
в области газоснабжения «ГАЗ-ИНСТИТУТ», Белоруссия
Ферганский политехнический институт, Узбекистан
Национальный исследовательский университет «МЭИ»
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина)
Южно-Уральский государственный университет
Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова
Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина
Казанский государственный энергетический университет



**Автоматизированный электропривод,
робототехника и электроэнергетика**
Automated electric drive, robotics and electric power engineering

**Сборник материалов международной научно-практической
конференции, посвященной 50-летию юбилею кафедры
электропривода ЛГТУ**
г. Липецк, 21 июня 2024 г.

Липецк
Липецкий государственный технический университет
2024

УДК 6(06)
А224

Рецензенты:

кафедра «Электроника и электротехника» ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва»;
зав. кафедрой д-р техн. наук, доц. Г. М. Тутаев;

Е. И. Грачева, д-р техн. наук, проф. кафедры электроснабжения промышленных предприятий
ФГБОУ ВО «КГЭУ»

А224 Автоматизированный электропривод, робототехника и электроэнергетика = Automated electric drive, robotics and electric power engineering : сборник материалов международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию юбилею кафедры электропривода ЛГТУ, г. Липецк, 21 июня 2024 г. – Липецк : Липецкий государственный технический университет, 2024. – 352 с. – Текст : электронный.

Вып. I – электрон. опт. диск (CD-ROM). – Системные требования : ПК не ниже класса Pentium II ; CD-ROM-дисковод ; 66,9 Mb ; ROM ; windows 95/98/XP ; мышь. – Загл. с экрана.

ISBN 978-5-00175-275-2

Сборник отражает итоги международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию кафедры электропривода ЛГТУ, которая была проведена 21 июня 2024 г. в г. Липецке кафедрой автоматизированного электропривода и робототехники ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет». Значимость данного сборника определяется тем, что в нем опубликованы статьи ученых не только из России, но и из Белоруссии, Узбекистана, Португалии и Китая. Материалы настоящего сборника продолжают достаточно успешную серию публикаций, подготовленных обширным всероссийским сообществом ученых, объединенных вокруг научно-практической конференции. Каждый из разделов посвящен актуальным теоретическим, методологическим и практическим вопросам автоматизированного электропривода, робототехники и электроэнергетики России.

УДК 6(06)

Редакционная коллегия:

С. Е. Кондратьев, председатель СНО ЛГТУ, студент гр. М-ЭП-23-1 ФГБОУ ВО «ЛГТУ»;
Н. В. Казюра, студент гр. МР-21-1 ФГБОУ ВО «ЛГТУ»

Материалы статей предоставлены в электронном виде
и изданы в авторской редакции

*Все права на размножение и распространение в любой форме остаются
за разработчиком*

Нелегальное копирование и использование данного продукта запрещено

ISBN 978-5-00175-275-2

© ФГБОУ ВО «Липецкий государственный
технический университет», 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ШИШЛИН Д. И., МЕЩЕРЯКОВ В. Н.

ИСТОРИЯ СТАНОВЛЕНИЯ И РАЗВИТИЯ КАФЕДРЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЛГТУ 11

MUZYLEVA I., YAZYKOVA L., LI J.

SYSTEM ANALYSIS OF ELECTROMECHANICAL CONVERTERS BASED ON DC MACHINES 15

PETROV A. R., VALTCHEV S., GRACHEVA E. I., SAPOZHKOVA V. V.

SWITCHGEAR ANALYSES WITH THERMAL CONDITION INDICATORS 18

PETROVA R. M., VALTCHEV S., GRACHEVA E. I., MIFTANOVA N. K.

FAULT TOLERANCE OF POWER SUPPLY SYSTEMS OF INDUSTRIAL ENTERPRISES 21

TSITSON I. I., VALTCHEV S., GRACHEVA E. I., MIFTANOVA N. K.

THE METHOD OF CALCULATING THE THERMAL CONDITIONS OF CABLE LINES IN THE ELCUT SOFTWARE PACKAGE 25

VALTCHEV S., SINYUKOV A. V., SINYUKOVA T. V.

IMPLEMENTATION OF FUZZY TECHNOLOGIES AT PRODUCTION FACILITIES OF INDUSTRIAL ENTERPRISES 28

АЛЕШИН П.А., РОСТОВСКИЙ В.В., СЕРЕБРЯКОВ А.В., СЕРЕБРЯКОВ Н.А.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ПЕРЕМЕННОЙ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ НА ОСНОВЕ МНОГООБМОТОЧНОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА 32

АЛТАРЕВ Д. А., КАЗЮРА Н. В., БЕЛОКОПЫТОВ Р. Н.

ИЗУЧЕНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ КАМЕРЫ ГЛУБИНЫ В МЯГКОМ АКТУАТОРЕ СИЛЬФОННОГО ТИПА 38

АРНАУТОВ А. В., МЕЩЕРЯКОВ В. Н.

СНИЖЕНИЕ ПРОСАДОК НАПРЯЖЕНИЯ СЕТИ С ПОМОЩЬЮ ДИНАМИЧЕСКОГО КОМПЕНСАТОРА ИСКАЖЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ 41

БАВЫКИНА А. А., БЕЛОКОПЫТОВ Р. Н.

ОБЗОР ПРИМЕНЕНИЯ РОБОТОВ-ПОМОЩНИКОВ 46

БАРАШКОВА Д. В., БЕЛОКОПЫТОВ Р. Н.

РОБОТЫ В СОВРЕМЕННОМ СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ 49

БАРАШКОВА Д. В., ПОНОМАРЕВ П. С.

СВОЙСТВА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕГАЗА В ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ 52

БАРАШКОВА Д. В., МУЗЫЛЕВА И. В.	
<i>ЭЛЕКТРОПРИВОД ПЕЧНЫХ РОЛИКОВ АГРЕГАТА НЕПРЕРЫВНОГО ГОРЯЧЕГО ЦИНКОВАНИЯ</i>	55
БЕЗБОРОДОВ Е. С.	
<i>О НЕОБХОДИМОСТИ КОМПЛЕКСНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА БАЗЕ ДВИГАТЕЛЯ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ДВИГАТЕЛЯ</i>	57
БЕЛЕНОВ Д. А., МАРКОВ А. С., МЕЩЕРЯКОВ В. Н.	
<i>ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАКОПЛЕНИЯ ТОРМОЗНОЙ ЭНЕРГИИ В ЧАСТОТНОМ АСИНХРОНОМ КОРОТКОЗАМКНУТОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ</i>	61
БИРЮКОВ Д. В., ТРЕТЬЯКОВ А.В.	
<i>МАТЕМАТИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИВОДА ГЛАВНОГО ПОДЪЁМА</i>	65
БОЛОТНИКОВ С. П., ПОНОМАРЕВ П. С.	
<i>ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА</i>	70
БЫЛИНКИН А. С., ПОНОМАРЕВ П. С.	
<i>ИЗМЕРЕНИЯ НАТЯЖЕНИЯ ЛЕНТЫ НА СТАНЕ 2030 ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ</i>	73
БЫЛИНКИН А. С., ПОНОМАРЕВ П. С.	
<i>ИЗУЧЕНИЕ ДАТЧИКОВ ЁМКОСТНЫХ, ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ДРУГИХ</i>	76
БЫЛИНКИН А. С., МУЗЫЛЕВА И. В.	
<i>СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ВАЛЬЦЕШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА РММ</i>	79
ГАБРИЭЛЬ И. В., САВЕНКО А. Е.	
<i>СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ СИСТЕМ ОЧИСТКИ БАЛЛАСТНЫХ ВОД В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ МОРСКИХ СУДОВ</i>	82
ГОТОВЦЕВ Д. Г., ПОНОМАРЕВ П. С.	
<i>ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРУДНОСТИ ПРИ СОЗДАНИИ И КОНСТРУИРОВАНИИ ЛОКОМАЦИОННЫХ РОБОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ</i>	85
ГРАБАРЬ В. В., ПОНОМАРЕВ П. С.	
<i>СПОСОБЫ ПУСКА АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ</i>	89
ГРАБАРЬ В. В., ПОНОМАРЕВ П. С.	
<i>УСТРАНЕНИЕ ПОВРЕЖДЕНИЙ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПУСКАТЕЛЯХ</i>	92

ГРУНТОВИЧ Н. В., КАПАНСКИЙ А. А., ЖУКОВЕЦ С. Г., ГОНЧАРЕНКО Ю. В.	
<i>ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПОЛЕЙ СУТОЧНОГО РАСХОДА ГАЗА ЦЕМЕНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА</i>	95
ГРУНТОВИЧ Н. В., ГРУНТОВИЧ Н. В., ЖОББОРОВ Т. К.	
<i>НЕСОВЕРШЕНСТВО ТЕОРИЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ СИЛОВЫХ МАСЛОПОЛНЕННЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ</i>	99
ДАРЬЕНКОВ А. Б., ПЛЕХОВ А. С., АЛЕШИН Д. А.	
<i>МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПЛАВУЧЕЙ ВОЛНОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ</i>	104
ЕФАНОВ А. О., МУРАВЬЕВ А. А.	
<i>ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ СИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ</i>	109
ЖАББОРОВ Т. К.	
<i>АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ТЕХНИКИ ПРИ НАСТРОЙКЕ ДУГОГАСЯЩИХ РЕАКТОРОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ФЕРГАНСКОЙ ДОЛИНЫ</i>	112
ЗАВАЛЮЕВ Е. А., СИНЮКОВА Т. В.	
<i>ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА, КЛАССИФИКАЦИИ И ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ ПЬЕЗОЭЛЕМЕНТОВ</i>	116
ЗАРУЦКИЙ Н. Н., КАЗАКОВ М. Ю.	
<i>ОБЗОР ДАТЧИКОВ ДЛЯ ВОЗМОЖНОГО ПРИМЕНЕНИЯ В ЦЕЛЯХ БОРЬБЫ С КОЛЕБАНИЯМИ ГРУЗА, ПЕРЕМЕЩАЕМОГО МОСТОВЫМ КРАНОМ</i>	119
ЗНАМЕНСКИЙ В. А., МЕЩЕРЯКОВ В. Н.	
<i>РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТОПРОВОДА АСИНХРОННОГО ТОРЦЕВОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ИЗ ПОРОШКОВОГО ЖЕЛЕЗА</i>	123
ЗОЛОТАРЕВ Д. С., ПОНОМАРЕВ П. С.	
<i>ТРАНСФОРМАТОРЫ. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ</i>	127
ЗУЕВ С. А., МУЗЫЛЕВА И. В.	
<i>МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНТРОЛЛЕРА S5 НА КОНТРОЛЛЕР S7 ФИРМЫ SIEMENS СТАНКА «SUNDWIG 1»</i>	130
ИЛЬИН М. В., БОЙКОВ А. И.	
<i>МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ВАННЫ ХРОМИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРОЦЕССА ГАЛЬВАНИКИ</i>	133
КАЗЮРА Н. В., БЕЛОКОПЫТОВ Р. Н.	
<i>ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ РУКИ С СИЛЬФОННЫМ ПРИВОДОМ</i>	137

КАЗЮРА Н. В., ГОТОВЦЕВ Д. Г., ПОНОМАРЕВ П. С.	
<i>ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ СИЛЬФОННОГО ПРИВОДА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В МЯГКОЙ РОБОТОТЕХНИКЕ</i>	141
КАЗЮРА Н. В., ГОТОВЦЕВ Д. Г., ПОНОМАРЕВ П. С.	
<i>МОДЕЛИРОВАНИЕ СИЛЬФОННОГО ПРИВОДА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В МЯГКОЙ РОБОТОТЕХНИКЕ</i>	145
КАШТАНОВ Д. Э.	
<i>МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНДУКТОРАМИ ВАННЫ РАСПЛАВА ЦИНКА АНГЦ-3 ЦХПП ПАО НЛМК</i>	149
КОЗЛОВА А. Р., ПОНОМАРЕВ П. С.	
<i>ИЗУЧЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ГЕНЕРАТОРОВ И ТРАНСФОРМАТОРОВ</i>	153
КОЗЛОВА А. Р., МУЗЫЛЕВА И. В.	
<i>МОДЕРНИЗАЦИЯ S7 – 300 КОНТРОЛЛЕРА ФИРМЫ SIEMENS И ЗАМЕНА ОПЕРАТОРСКОЙ ПАНЕЛИ OP7</i>	156
КОНДРАТЬЕВ С.Е., ТРЕТЬЯКОВ А.В.	
<i>СОЗДАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА ABB IRB 140 С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ И ИИ-АЛГОРИТМОВ</i>	159
КОРНУКОВ Г. К., МЕЩЕРЯКОВ В. Н.	
<i>ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ МОТАЛКИ СТАНА 1400 ЦДС ПАО «НЛМК»</i>	163
КОРШАКОВ А. А., ПОНОМАРЕВ П. С.	
<i>УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ СИНХРОННЫХ КОМПЕНСАТОРОВ</i>	166
КОРЫТЬКО Д. М., ПОНОМАРЕВ П. С.	
<i>РЕГУЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ</i>	168
КРЕЩАНОВСКИЙ П. С., ШЕВЫРЕВ Ю. В.	
<i>ВЗАИМОВЛИЯНИЕ АКТИВНЫХ ФИЛЬТРОВ ГАРМОНИК ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ</i>	171
КРИВЕНЬКОВ Т. А., МЕЩЕРЯКОВ В. Н.	
<i>МЕТОДЫ ПРОАКТИВНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ</i>	175
КРЫЖКО К. Н., ОБРАЗЦОВ В. Е., ЛЕЛИКОВ М. А.	
<i>ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ГРУППОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА</i>	178

КУДРИН Н. В., ШИШЛИН Д. И.	
<i>ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В СОСТАВЕ ОБОРУДОВАНИЯ КЛЕТЫ ПРОКАТНОГО СТАНА</i>	184
ЛАВРИЦЕВ М. П., ПОНОМАРЕВ П. С.	
<i>КОНСТРУКТИВНЫЕ ФОРМЫ ИСПОЛНЕНИЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН</i>	188
ЛАВРИЦЕВ М. П., ПОНОМАРЕВ П. С.	
<i>УСТРОЙСТВО, НАЗНАЧЕНИЕ И РАЗНОВИДНОСТИ КОДОВОГО ПУТЕВОГО ТРАНСМИТТЕРА ШТЕПСЕЛЬНОГО</i>	192
ЛАЗУТИН А. В., МЕЩЕРЯКОВ В. Н.	
<i>ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ДВУХДВИГАТЕЛЬНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА СОГЛАСОВАННОГО ВРАЩЕНИЯ СКИПОВОЙ ЛЕБЕДКИ</i>	196
ЛЕЛИКОВ М. А., КРЫЖКО К. Н., ОБРАЗЦОВ В. Е.	
<i>РАЗРАБОТКА ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО ИНТЕРФЕЙСА МОТАЛКИ В ПРОГРАМНОЙ ОБОЛОЧКЕ «TIAPORTAL»</i>	200
ЛЕОНТЬЕВ Е. В., МЕЩЕРЯКОВ В. Н.	
<i>ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И ПРИНЦИПА СИСТЕМЫ АСПИРАЦИИ ЛИТЕЙНОГО ДВОРА ДОМЕННОЙ ПЕЧИ</i>	204
ЛИПУЖИН И. А., КАРПОВА Е. А.	
<i>АНАЛИЗ ПРИЧИН ДЕГРАДАЦИИ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ПРОТОНООБМЕННОЙ МЕМБРАНОЙ</i>	207
МАКАРОВ А. В., ПОНОМАРЕВ П. С.	
<i>ИНДУКЦИОННЫЕ МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА</i>	211
МАКАРОВ А. В., ПОНОМАРЕВ П. С.	
<i>ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ЛИНЕЙНЫЕ МАШИНЫ</i>	214
МАНТУХОВ Е. С., НАДЕЖИНА О. А., МЕЩЕРЯКОВ В. Н., КРЮКОВ О. В.	
<i>ПОСТРОЕНИЕ ИНДУКТОРНОЙ МАШИНЫ С ВНЕШНИМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ В СРЕДЕ MATLAB SIMULINK</i>	217
МАРКОВ А. С., БЕЛЕНОВ Д. А., ПОНОМАРЕВ П. С., МЕЩЕРЯКОВ В. Н.	
<i>СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА</i>	221
МАРЬЯСИН О. Ю., ЧАЙКИН О. М.	
<i>УСТРОЙСТВО ИНДИКАЦИИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИМПУЛЬСА НА ПРИБОРЫ УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ</i>	225

МАСТЕРОВ Н. А.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА КЛЕТИ РЕВЕРСИВНОГО СТАНА 1200 ПАО «НЛМК» 229

МИКИТИНСКИЙ А. П., КРАВЧЕНКО О. А., МИКИТИНСКИЙ К. А.

НАБЛЮДАТЕЛЬ СОСТОЯНИЯ В ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ НАТЯЖЕНИЯ 233

МУЛЕМБА ФАБИУ Б. А., ШЕВЫРЕВ Ю. В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С АКТИВНЫМ ВЫПРЯМИТЕЛЕМ НАПРЯЖЕНИЯ ШАХТНОЙ ПОДЪЁМНОЙ МАШИНЫ НА ФОРМУ НАПРЯЖЕНИЯ СЕТИ 237

НИКИФОРОВ Г. И., ПОНОМАРЕВ П. С.

ОСНОВНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ 241

НИКИФОРОВ Г. И., МУЗЫЛЕВА И. В.

ЭЛЕКТРОПРИВОД КАНАТНЫХ ДОРОГ 245

НИКИФОРОВ Г. И., ПОНОМАРЕВ П. С.

ЭРОЗИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ, УПРАВЛЯЕМЫМИ ТОКАМИ ДО 1 АМПЕРА. СХЕМНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ БОРЬБЫ С ЭРОЗИЕЙ КОНТАКТОВ 248

НИКИЩЕНКО Е. А., ПОНОМАРЕВ П. С.

ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И ПРИНЦИПА РАБОТЫ ДВУХКЛЕТОЧНОГО ДВИГАТЕЛЯ 251

НОЗДРЕВАТЫХ В. А., ПОНОМАРЕВ П. С., ЗНАМЕНСКИЙ В. А., ШИШЛИН Д. И.

ПОВОРОТНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ 254

ОБРАЗЦОВ В. Е., ЛЕЛИКОВ М. А., КРЫЖКО К. Н., МУРАВЬЕВ А. А.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕГУЛЯТОРА ПОЛОЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НОЖЕЙ АГРЕГАТА ПОПЕРЕЧНОЙ РЕЗКИ ГОФРОКАРТОНА В СРЕДЕ МАТЛАВ 257

ПАСКАРЬ В. И., МУРАВЬЕВ А. А.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА С АКТИВНЫМ ВЫПРЯМИТЕЛЕМ 261

ПЕТРОВ К. А.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ДРАЙВЕРА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ДВУХЗВЕННЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ С АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ 265

ПОПОВ А. С., ПОНОМАРЕВ П. С.

РЕАКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ И СПОСОБЫ ЕЕ КОМПЕНСАЦИИ 269

ПРАВИЛЬНИКОВ В. А., СЁМИН Г. В.	
<i>ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ЭЛЕКТРОАППАРАТОВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В УСТРОЙСТВАХ ЗАЩИТЫ И УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ</i>	273
ПРОКУДИН Г. Ю., КОНДРАТЬЕВ С. Е., ПИКАЛОВ В. В.	
<i>РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЛИТЬЯ РЕАКТОПЛАСТОВ В ВАКУУМНОЙ СРЕДЕ</i>	277
ПРОЦЮК Д. В., ПОНОМАРЕВ П. С., БОЙКОВ А. И.	
<i>ДИНАМИЧЕСКОЕ ТОРМОЖЕНИЕ НЕРЕГУЛИРУЕМЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ</i>	282
САЗОНОВ И. А., ПОНОМАРЕВ П. С., МЕЩЕРЯКОВ В. Н.	
<i>СИСТЕМА СЛЕЖЕНИЯ ЗА ОБЪЕКТОМ НА БАЗЕ ARDUINO ПО ГОРИЗОНТАЛИ И ВЕРТИКАЛИ</i>	284
СЕМЕНОВ С. В., НОЗДРЕВАТЫХ В. А., МОЖАЙСКИЙ В. Е.	
<i>ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА, ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ДЕШИФРАТОРОВ</i>	288
СЕМЕНОВ С. В., ПОНОМАРЕВ П. С.	
<i>ИЗУЧЕНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АСИНХРОННЫХ МАШИН</i>	291
СОЛОМАТИН С. А., МУРАВЬЕВ А. А.	
<i>РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ</i>	294
СУЛТОНОВ Р. А. У., ХАЛИЛЖОНОВ Б. К. У.	
<i>РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОБНАРУЖЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА</i>	297
СУРИН Д. В., ПОНОМАРЕВ П. С.	
<i>СПОСОБЫ ГАШЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ</i>	301
СУРОВЯТКИН П. В., ПОНОМАРЕВ П. С.	
<i>ОСНОВНЫЕ ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ</i>	303
СЫСОЕВ Р. А., МУЗЫЛЕВА И. В.	
<i>СПОСОБЫ УПРАВЛЕНИЯ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ</i>	305
ТИХОНОВ А. А., САЗОНОВ И. А., ПОНОМАРЕВ П. С.	
<i>ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВНОГО МАГНИТНОГО ПОДШИПНИКА</i>	309
ТИХОНОВ А. А., ЗНАМЕНСКИЙ В. А., ПОНОМАРЕВ П. С.	
<i>ИССЛЕДОВАНИЕ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ТРАНСФОРМАТОРА</i>	312

УСМОНОВ Ш. Ю., ЖОББОРОВ Б. Т. У.	
<i>АНАЛИЗЫ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ СИММЕТРИРУЮЩЕГО СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА В ПРЕДПРИЯТИЯХ ФЕРГАНСКОЙ ДОЛИНЫ</i>	316
УСМОНОВ Ш. Ю., КУЧКАРОВА Д. Т., СУЛТОНОВ Р. А. У., ХАЛИЛЖОНОВ Б. К. У.	
<i>ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ</i>	321
ФРИЗЕН Д. В.	
<i>СРАВНЕНИЕ ВЕКТОРНОГО И СКАЛЯРНОГО УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ В СИСТЕМАХ ЦЕНТРИРОВАНИЯ</i>	325
ХОМУТИННИКОВ М. В., ШИШЛИН Д. И.	
<i>АВТОМАТИЗАЦИЯ И ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИЯ НАСОСНЫХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЧАСТОТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ И ПЛАТФОРМЫ MASTERSCAD4D</i>	327
ХОХЛОВ З. В., МУРАВЬЕВ А. А.	
<i>ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УСТАНОВКОЙ ОЧИСТКИ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ СТАНА 1400 ЦДС</i>	330
ЧЕРНЫХ Н. А., ПОНОМАРЕВ П. С.	
<i>АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ</i>	334
ЧЕРНЫХ Н. А., ПОНОМАРЕВ П. С.	
<i>АВТОМАТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ ПОЖАРОТУШЕНИЯ</i>	336
ШАБАНОВ М. В., ПОНОМАРЕВ П. С.	
<i>ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА В РОССИИ</i>	338
ШАЦКИХ Н. В., ПОНОМАРЕВ П. С.	
<i>ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ТАХОГЕНЕРАТОРА, ЕГО ПРИНЦИП РАБОТЫ</i>	341
ШАЦКИХ Н. В., ПОНОМАРЕВ П. С.	
<i>СПОСОБЫ ГАШЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ И ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА В ЦЕПЯХ ИНДУКТОРА</i>	344
ШИШЛИН Д. И.	
<i>УСТРОЙСТВО, УПРАВЛЕНИЕ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАСКАДНО-ЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА</i>	347

ИСТОРИЯ СТАНОВЛЕНИЯ И РАЗВИТИЯ КАФЕДРЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЛГТУ

ШИШЛИН ДЕНИС ИВАНОВИЧ

к.т.н., доцент кафедры автоматизированного электропривода и робототехники
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

МЕЩЕРЯКОВ ВИКТОР НИКОЛАЕВИЧ

д.т.н., профессор, заведующий кафедрой автоматизированного электропривода и
робототехники
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: статья посвящена истории становления и развития кафедры электропривода Липецкого государственного технического университета (ЛГТУ). В ней рассматриваются этапы организации факультета в 1956 году и его преобразование в 1973 году в Липецкий политехнический институт. Освещены ключевые моменты создания кафедры электропривода в 1974 году и ее развития под руководством разных заведующих. Особое внимание уделено вкладу сотрудников кафедры в научную деятельность и образовательный процесс, а также сотрудничеству с ведущими предприятиями и международными вузами. Представлены достижения кафедры и её выпускников, влияние научных исследований на развитие учебного процесса и промышленных предприятий региона.

Ключевые слова: Кафедра электропривода, ЛГТУ, история кафедры, Липецкий политехнический институт, научная деятельность, образовательный процесс, международное сотрудничество, выпускники.

В 1956 году в г. Липецке был организован факультет Тульского механического института, а в 1959 году он стал факультетом Московского института стали и сплавов (МИСиС). С преобразованием в 1973 году Липецкого филиала МИСиСа в Липецкий политехнический институт было открыто более 15-ти специальностей, в том числе и специальность 0628 «Электропривод и автоматизация производственных процессов».

Кафедра электропривода была создана летом 1974 года. Молодому коллективу во главе с заведующим кафедрой кандидатом технических наук, доцентом Чугуновым Львом Николаевичем пришлось провести большую работу по развитию материальной базы и укреплению кадрового состава кафедры. Льву Николаевичу удалось собрать квалифицированный коллектив единомышленников. Большинство преподавателей, приступивших к работе на вновь созданной кафедре, отдали ей почти четыре десятилетия своей жизни. При Чугунове Л.Н. была создана лабораторная база кафедры, он установил контакты с ведущими электриками Новолипецкого металлургического завода, с научно-исследовательскими и проектными институтами. Это позволило быстро сориентироваться и в направлении подготовки инженеров по специальности, и в обеспечении кафедры технической документацией, необходимой в курсовом и дипломном проектировании, приглашать квалифицированных специалистов для чтения лекций, организовывать стажировку преподавателей кафедры. В 1974 году состоялся первый выпуск студентов-электриков.

Первыми преподавателями кафедры стали Попов А.Н., Пличко Н.П., Битюцкий И.Б., Журавский А.Г., Кузнецова В.Ф., учебным мастером работал Кропанин А.А. В 1975 году приступили к работе Зарубин В.Д., а в 1976 году – Суханов В.В., Теличко Л.Я., Зубков Ю.С.

Вторым заведующим кафедрой с 1979 года был доктор технических наук, профессор Зайцев Александр Иванович. Он проработал на кафедре в течение одного года, сохранив многие традиции, заложенные при Чугунове Л.Н.

С 1980 года по февраль 2009 года кафедру возглавлял кандидат технических наук, доцент Зубков Юрий Сергеевич. Исключительная работоспособность, добросовестность, высокое чувство ответственности были основными качествами Зубкова Ю.С., что

обуславливало его неоднократное переизбрание на должность заведующего кафедрой электропривода.

В 80-х годах на кафедру после окончания обучения и службы в армии пришли работать А.Б. Иванов, А.И. Котов, В.Н. Мещеряков, С.В. Морозов, И.В. Музылева, А.В. Щедринов. Лабораториями кафедры заведовали Васильев С.А. (с 1978 по 2004 годы), Туркин М.А. (с 2004 по 2007 годы), Стежкин В.И. (до 1978 года, а затем с 2007 по 2023 годы), с 2023 года – Можайский В.М.

В настоящее время кафедрой руководит Заслуженный работник высшей школы РФ, доктор технических наук, профессор Мещеряков Виктор Николаевич.

Коллектив кафедры электропривода всегда старался быть на острие требований к подготовке инженеров по специальности «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов». Кафедра одной из первых в ЛГТУ начала внедрять в учебный процесс вычислительную технику, направлять студентов и аспирантов на всесоюзные и всероссийские студенческие конкурсы и конференции, получать дипломы за научные работы. Кафедра электропривода первой в вузе в 90-е годы начала целевую контрактную подготовку специалистов для завода холодильников «STINOL» (ОАО «Индезит Интернешнл»), позже – для АСУТП и ЛПЦ-5 (ныне – ЦДС и ЦТС ПАО «НЛМК»), а также инженеров с углубленной подготовкой в области внутризаводского электроснабжения для ПАО «НЛМК» и ОАО «Липецкэнерго». Кафедра первой начала работать с выпускниками колледжей по сокращенной программе обучения, одной из первых провела защиты дипломных проектов на английском и немецком языках.

В 90-е и в последующие годы, нелегкие для высшего профессионального образования, кафедре удалось сохранить основной состав преподавателей и не допустить снижения уровня образовательной, научной и воспитательной работы. Остается неизменным и творческое отношение педагогического коллектива к своей работе.

На кафедре всегда активно велась научная работа по различным направлениям: доктор технических наук, профессор Битюцкий И.Б. занимался улучшением коммутации электрических машин постоянного тока; доктор технических наук, профессор Теличко Л.Я. работал над снижением динамических нагрузок в электроприводах; кандидат технических наук, доцент Попов А.Н. анализировал современное состояние науки об электроприводе; кандидаты технических наук, доценты Журавский А.Г., Черепанов А.В., Слаута С.П. занимались системами неразрушающего контроля анизотропной электротехнической стали.

В настоящее время на кафедре под руководством В.Н. Мещерякова активно ведется работа в рамках научной школы "Энергосберегающие структуры энергосистем". Сотрудниками кафедры изданы ряд монографий, учебные пособия, в том числе с грифом УМО, в которых отражены результаты научных исследований и учебно-методической деятельности.

Высокий уровень научной работы подтверждается тем, что преподаватели и выпускники кафедры одними из первых в вузе получили медали ВДНХ: Журавский А.Г., Кузнецова В.Ф., Слаута С.П., Черепанов А.В. Выпускник кафедры Титов С.С., будучи аспирантом, был награжден золотой медалью «Лауреат ВВЦ» на XI всероссийской выставке научно-технического творчества молодежи «НТТМ-2011» (ВВЦ г. Москва). В 2018 году команда студентов кафедры электропривода заняла 2-е место на Всероссийском конкурсе «Российская энергетическая неделя» (руководитель – старший преподаватель Л.Н. Языкова). Команды студентов кафедры также принимают участие в научных конкурсах, организованных промышленными предприятиями (ПАО «НЛМК») и вузами страны (ФГБОУ ВО «ЛЭТИ»), завоевывая призовые места.

На протяжении нескольких лет студенты и аспиранты кафедры электропривода являются стипендиатами Президента Российской Федерации, Правительства Российской Федерации, ПАО «НЛМК».

Помимо учебы студенты кафедры принимают активное участие во внеучебной деятельности кафедры, факультета (института): организация и проведение Дня кафедры; участие в художественной самодеятельности («Осенние дебюты», «Студенческая весна» и другие ме-

роприятия, приуроченные к всероссийским праздникам) и соревнованиях по различным видам спорта; входят в студенческий профком ЛГТУ.

Международное сотрудничество реализовано с зарубежными вузами Италии (Университет г. Анкона), Португалии (Новый университет Лиссабона), Китая (Ляонинский университет) – подготовка магистрантов (О.В. Мещерякова в Португалии), осуществлено совместное научное руководство с получением степени PhD (Ковырялов С.А. в Италии). Заведующий кафедрой В.Н. Мещеряков является почетным профессором Ляонинского университета (Китай).

Сотрудники кафедры принимают участие в работах по грантам РФФИ и др., программам Минобрнауки России, регулярно повышают свою квалификацию на предприятиях, вузах и организациях, используя полученные знания в учебном процессе. На протяжении многих лет активно ведется хоздоговорная работа с ПАО «НЛМК», ПАО «МСРК Центра» (Филиал ОАО «МСРК Центра» - «Липецкэнерго»), ОАО «Югостокэлектромонтаж-1», ОАО «ЛеМаЗ и др.

Кафедра электропривода проводит подготовку бакалавров по направлениям 13.03.02 – «Электроэнергетика и электротехника», профиль «Электропривод и автоматика» (очная, очно-заочная, заочная формы обучения) – с 2011 года; 15.03.06 – «Мехатроника и робототехника», профиль «Приводы робототехнических и мехатронных систем» (очная форма обучения) – с 2013 года; магистров по направлению 13.04.02 – «Электроэнергетика и электротехника», профиль «Электропривод и автоматика» (очная и заочная формы обучения) – с 2012 года ; аспирантов по направлению 13.06.01 – «Электро- и теплотехника», профиль «Электротехнические комплексы и системы» – с 2014 года и специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы». Выпускники указанных направлений подготовки востребованы на предприятиях и в организациях области, регионов России, стран ближнего зарубежья. С 2018 года проводится подготовка по программам специальности 13.02.11 «Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования» (специальное профессиональное образование). В 2014г. на кафедре создан научно-образовательный центр “Электропривода, электроэнергетики и робототехники”, в котором осуществляется повышение квалификации и переподготовка работников промышленных предприятий региона. Научное руководство аспирантами по специальности 05.09.03. «Электротехнические комплексы и системы» осуществляли Теличко Л.Я, Битюцкий И.Б., Мещеряков В.Н., Щедринов А.В.

Действует программа дополнительного профессионального образования (ДПО) на базе ЛГТУ и ПАО «НЛМК» с последующим трудоустройством выпускников на этом предприятии. Образовательные программы подготовки инженеров и бакалавров неоднократно признавались лучшими на всероссийском уровне. В настоящее время на кафедре проходят подготовку более 250 бакалавров, более 40 магистрантов, 17 аспирантов, более 120 студентов СПО.

За полвека кафедрой было подготовлено свыше 2500 дипломированных инженеров, бакалавров и магистров, техников, из которых более 130 человек получили дипломы с отличием. Среди выпускников - Сайфутдинов В.Б. (1954г. – 2020г.) (бывший главный электрик Энергетического производства ПАО «НЛМК», заслуженный электрик РФ), Лаврентьев В.В. (бывший начальник управления инновационной, промышленной политики и транспорта Липецкой области), Слаута С.П. (бывший директор по информационным технологиям ПАО «НЛМК»), Великанский Р.Н. (1975г. – 2024г.) (бывший директор по кадрам и социальным вопросам ГОК Стойленский), Музылев А.В. (генеральный директор ООО «Промэлектроника»), Аргентов С.Г. (бывший генеральный директор ООО «Новитэн»), Борисов Д.С. (главный электрик Энергетического производства ПАО «НЛМК»), А.В. Щедринов (бывший директор Липецкого филиала МИКТ), Мещеряков В.Н. (заведующий кафедрой, доктор технических наук, профессор), и многие другие, работающие в разных предприятиях, организациях, учреждениях России и за рубежом.

Более 50 выпускников кафедры стали кандидатами наук, защищены три диссертации на степень доктора технических наук (Битюцкий И.Б., Мещеряков В.Н., Теличко Л.Я).

Сотрудники кафедры работают в структурных подразделениях университета и факультета. Доцент, канд. техн. наук Музылева И. В. работала заместителем декана ФАИ по учебной работе (сейчас эту должность занимает доцент, к.т.н. Синюкова Т.В.). Заведующий кафедрой, профессор, д-р техн. наук Мещеряков В.Н. в период с 2000 по 2008 годы работал проректором университета по научной работе. Доцент, канд. техн. наук Шишлин Д.И. с 2002 по 2015 годы работал начальником аспирантуры университета.

В настоящее время на кафедре трудятся более 20 преподавателей и сотрудников, из которых более половины имеют ученые степени и занимаются подготовкой диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук.

С 2024 г кафедра «Электропривода», выпускающая специалистов по направлениям и профилям электропривода и автоматики, а также мехатроники и робототехники, стала называться кафедрой «Автоматизированного электропривода и робототехники» и входит в состав «Института компьютерных наук» ЛГТУ.

Список литературы

1. Автоматизированный электропривод и робототехника. Липецкий государственный технический университет. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.stu.lipetsk.ru/kaf/ep.html> (дата обращения: 02.07.2024).

HISTORY OF THE ESTABLISHMENT AND DEVELOPMENT OF THE DEPARTMENT OF ELECTRIC DRIVE AT LSTU

SHISHLIN DENIS IVANOVICH

Ph.D. (Tech.), Associate Professor of the Department of Automated Electric Drive and Robotics
Lipetsk State Technical University

MESHCHERYAKOV VIKTOR NIKOLAEVICH

D.Sc. (Tech.), Professor, Head of the Department of Automated Electric Drive and Robotics
Lipetsk State Technical University

Abstract: The article is dedicated to the history and development of the Department of Electric Drive at Lipetsk State Technical University (LSTU). It examines the stages of the faculty's organization in 1956 and its transformation in 1973 into the Lipetsk Polytechnic Institute. Key moments in the creation of the Department of Electric Drive in 1974 and its development under various heads are highlighted. Special attention is given to the contributions of the department's staff to scientific activities and the educational process, as well as collaboration with leading enterprises and international universities. The achievements of the department and its graduates, the impact of research on the educational process, and the region's industrial enterprises are presented.

Keywords: Department of Electric Drive, LSTU, department history, Lipetsk Polytechnic Institute, scientific activities, educational process, international cooperation, graduates.

SYSTEM ANALYSIS OF ELECTROMECHANICAL CONVERTERS BASED ON DC MACHINES

MUZYLEVA INNA

Associate Professor, Department of Automated Electric Drive and Robotics
Lipetsk State Technical University

YAZYKOVA LIUBOV

Senior Lecturer, Department of Automated Electric Drive and Robotics
Lipetsk State Technical University

LI JUN

University of Science and Technology Liaoning, People's Republic of China

Abstract: this article highlights the issue of representing an electromechanical converter as a one- and multidimensional control system. One of the types of such a system is considered by the state space method.

Keywords: electromechanical energy converter, direct current machine, MISO-system, MIMO-system, state space, transient processes.

According to the theory of electrical machines [1], a DC motor is described by the equation:

$$T_m T_a \frac{d^2 \omega}{dt^2} + T_m \frac{d\omega}{dt} + \omega = \frac{U}{k\Phi} - \frac{R_a M_s}{(k\Phi)^2}. \quad (1)$$

It corresponds to the transfer function

$$W(p) = \frac{1/k\Phi}{T_m T_a p^2 + T_m p + 1}.$$

Here T_m - electromechanical time constant determined by the inertia of the moving part of the machine,

T_a - electromagnetic time constant determined by the parameters of the armature circuit, ω – rotation speed (system output signal),

$k = \frac{Np}{2\pi a}$ - design factor of a DC machine, determined by the following parameters. Here N – number of effective conductors of the armature winding, p – number of pairs of main poles of the machine, a – number of parallel branches of the armature winding.

Next R_a is the resistance of the anchor chain,

M_s - static moment of mechanical load,

U – voltage supplied to the motor armature circuit,

Φ - main magnetic flux.

In accordance with accepted speed and torque control methods, a DC motor is either a MISO system (Fig. 1) or a MIMO system [2] (Fig. 2). Here $M = k\Phi I$ - electromagnetic torque developed by the motor, I – armature current.

Let's analyze one of the ways to regulate the speed of a DC motor. This is the regulation of speed below the rated value by changing the armature voltage. In this case, the armature chain resistance, static torque and magnetic flux remain unchanged. Consequently, the automaton model of a DC motor degenerates into a SISO system (Fig. 3). Here, the motor speed ω is the only output signal and the voltage U is the only input signal.

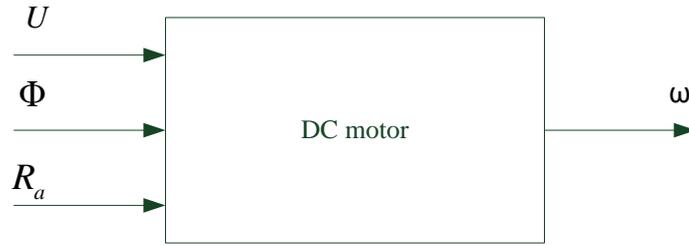


Figure 1 – DC motor as a MISO system (multiple inputs, one output)

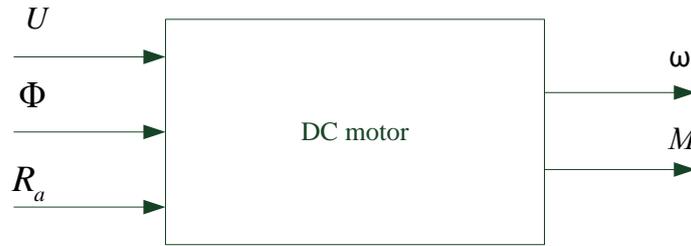


Figure 2 – DC motor as a MIMO system (multiple inputs, multiple outputs)

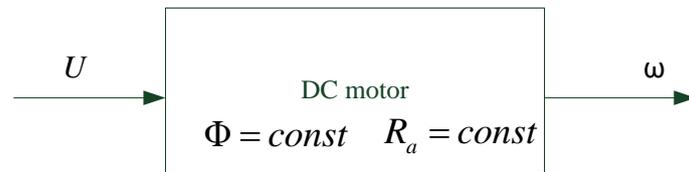


Figure 3 – DC motor as a SISO system (one input, one output) when controlled below rated speed

Let us transform equation (1) to the form traditional for the state space method:

$$\frac{d^2\omega}{dt^2} + a_1 \frac{d\omega}{dt} + a_0\omega = b_0U. \quad (2)$$

Here $a_1 = \frac{1}{T_a}$, $a_0 = \frac{1}{T_m T_a}$, $b_0 = \frac{1}{k\Phi T_m T_a}$ at zero initial conditions.

For the numerical experiment, the results of calculating a DC motor were taken [3, p. 140] with the mode parameters presented in [3, p. 102]. State space matrices [4] take the form:

$$A = \begin{bmatrix} -a_1 & 1 \\ a_0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -40 & 1 \\ -2000 & 0 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ b_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 492.4 \end{bmatrix}, C = [1 \quad 0], D = 0$$

When modeling [5] in the visual programming environment VisSim, a jump corresponding to the applied voltage is applied to the system input (Fig. 4). The corresponding m-file is shown in Fig. 5.

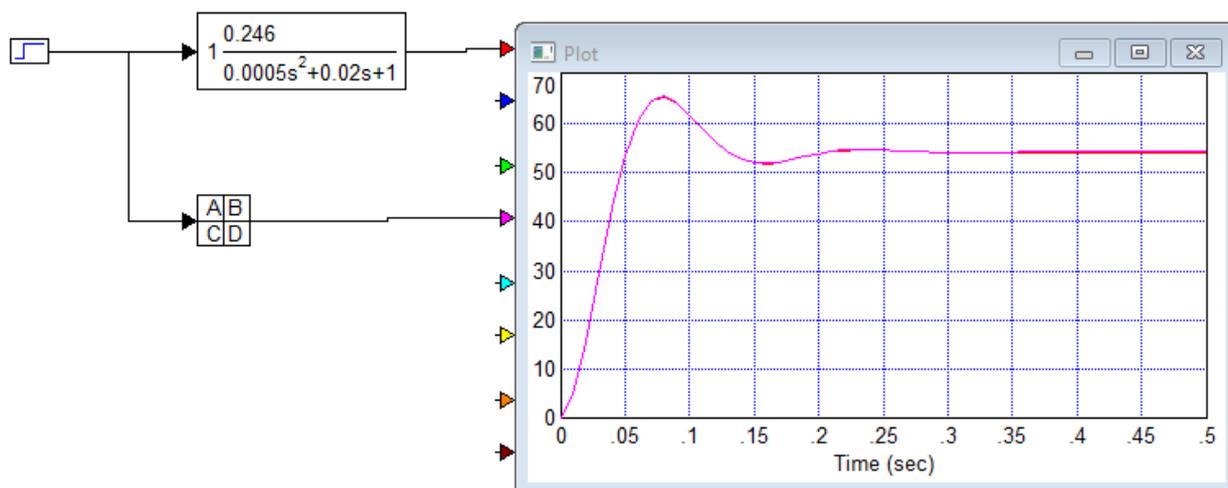


Figure 4 – Transient response of a DC motor as a SISO system (one input, one output) when controlled below rated speed

```

Editor - D:\Desktop\Пространство состояний\vabcd7.m
vabcd.m x vabcd1.m x vabcd2.m x vabcd3.
1 function [a, b, c, d] = vabcd7
2     a = [-40 1; -2000 0];
3     b = [0; 492.4];
4     c = [1 0];
5     d = 0;

```

Figure 5 – DC motor simulation m-file

The speed control mode of a DC motor presented as a SISO system is considered.

References

1. Meshcheryakov, V.N. Shishlin D.I. Electrical machines of alternating and direct current / Textbook. – StaryOskol: TNT, 2021. – 260 p.
2. Besekerskiy V.A., Popov E.P. Teoriyasistemavtomaticheskogoupravleniya. SPb: Professiya, 2004. 752 p. (In Russian).
3. Bityutsky, I.B. Muzyleva I.V. Electric machines. DC motor. Course design / Textbook. – St. Petersburg: Lan, 2018. – 168 p.
4. P.M. Derusso, R.J. Roy, C.M. Close. State variables for engineers/ Jon Wiley & sons. Inc. New York – London – Sydney. 1970
5. Kudinov, Yu.I. Pashchenko, F.F. Theory of automatic control (using MATLAB - SIMULINK): Textbook. – St. Petersburg: Lan, 2019. – 312 p.

SWITCHGEAR ANALYSES WITH THERMAL CONDITION INDICATORS

PETROV ALMAZ RADIKOVICH

Postgraduate student of the Department of Power Supply of Industrial Enterprises, gr. SEMa-1-22
Kazan State Power Engineering University

VALTCHEV STANIMIR

Faculty FCT and UNINOVA – CTS
University NOVA of Lisbon, Portugal

GRACHEVA ELENA IVANOVNA

Scientific supervisor, Professor of the Department of Power Supply of Industrial Enterprises
Kazan State Power Engineering University

SAPOZHKOVA VLADIMIR VALERIEVICH

Postgraduate student of the Department of Power Supply of Industrial Enterprises,
Kazan State Power Engineering University

Abstract: For control assessment of defectiveness of low-voltage devices it is proposed to use thermal indicators of the state, which depend on the contact heating temperature. Values of contact heating temperatures from applied materials and type of contacts are investigated. The optimum values of loading coefficients of circuit breakers and contactors are presented.

Keywords: thermal imaging control, electrical equipment, contacts of the switching devices.

As domestic and foreign experience shows, new improved approaches to the assessment of the technical condition of electrical equipment elements and switching devices of in-house power supply are currently required. The purpose of this research is timely detection of contact defects of low-voltage switching devices with the help of condition indicators.

The method of estimation and control of technical condition of contacts of devices in real time by means of indicators and thermal imaging control allows to receive data in real time mode and to increase reliability of operation of the whole power supply system. Table 1 shows the «indicators» depending on the contact heating temperature.

Table 1 – The condition of apparatus contacts by heating temperature

Controlled area	Indicator		
	control	dangerous	defect
Main circuit contacts	< 45°	45°-85°	> 85°
Silver plated auxiliary circuit contacts	< 80°	80°-120°	> 120°
Contacts inside the devices (except soldered and welded contacts):	< 55°	55°-95°	> 95°
Contacts inside the devices (soldered with soft solder)	< 60°	60°-100°	> 100°
Contacts inside the devices (hard soldered / welded)	not regulated		
Contacts of device terminals intended for connection with external conductors	< 55°	55°-95°	> 95°

Figure 1 shows the graphical dependence of the temperature of the contact pads T on the load factor Kz for circuit breaker VA04 with rated current 16 A, 32 A, 40 A and 50 A.

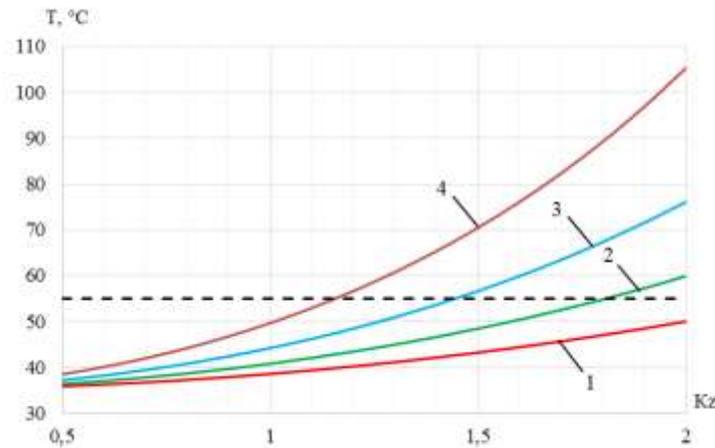


Figure 1 – Dependence of heating temperature of contacts of circuit breaker VA04 on Kz:
 1 – $I = 16$ A; 2 – $I = 32$ A; 3 – $I = 40$ A; 4 – $I = 50$ A

Based on Table 1, the indicator «dangerous» for the device under study is at a value of 55 °C. The value of loading factor for the circuit breaker at $I = 50$ A, at which there is no process of destruction of contacts is $Kz = 1.15$, and the maximum value of overload, at which the contact connections go to the state of defect, is $Kz = 1.15-1.9$. For $I = 40$ A loading of the device is allowed up to $Kz = 1.45$, at loading higher than this a defect may occur. The device at $I = 32$ A withstands loading up to $Kz = 1.8$ without defective state, at VA04 at $I = 16$ A double loading did not affect the state of contacts.

We investigate contactors on nominal currents 25 A, 40 A, 250 and 400A. The results for contactors KMI are shown in Figure 2, for contactors KTI in Figure 3.

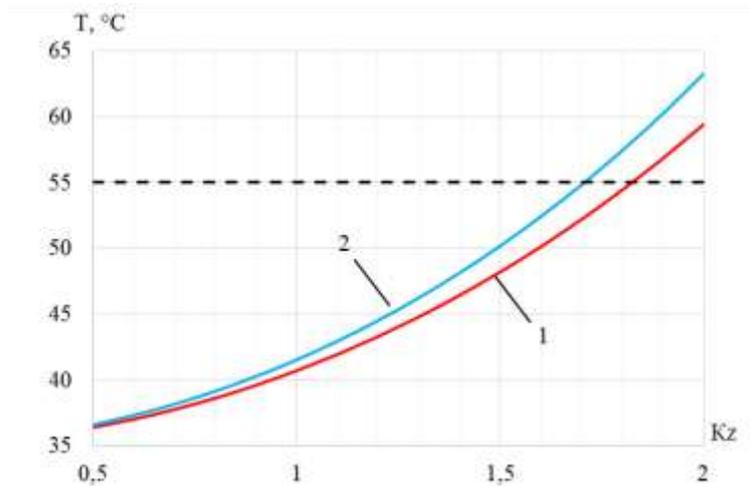


Figure 2 – Dependences of contactor KMI contactor heating temperature on Kz: 1 – $I = 25$ A; 2 – $I = 40$ A

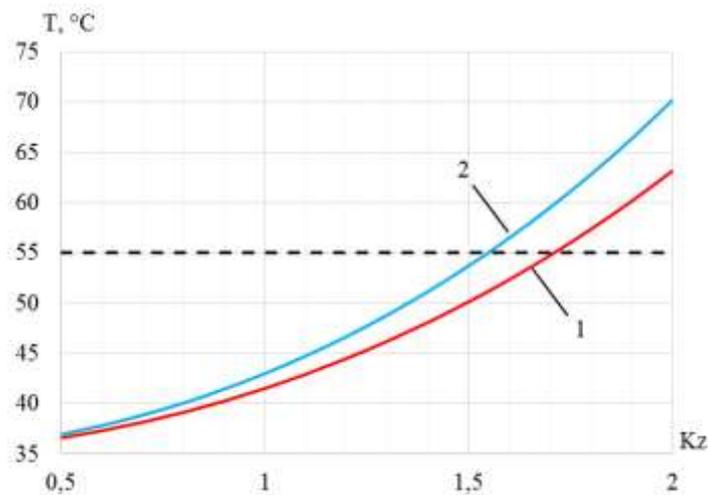


Figure 3 – Dependences of contactor KTI contactor heating temperature on Kz: 1 – $I = 250$ A; 2 – $I = 400$ A

The «dangerous» indicator is also at 55 °C. For contactors KMI for currents 25A the optimum load is up to $Kz = 1.8$, for the device for rated current 40 A the permissible overload $Kz = 1.7$.

Optimum loading of contactor KTI with $I = 400$ A is $Kz = 1.55$, at loading higher than this the transition to the state of defect is possible. The device with $I = 250$ A withstands loading $Kz = 1.7$ without defect manifestation.

The study allows to estimate the value of losses in contact connections, as well as to clarify the value of power losses in networks. The proposed method in conjunction with other measures contributes to maintaining the proper level of electrical safety at industrial facilities.

References

1. Bhagat A. K., Chauhan A. Thermal Image-Based Fault Analysis of Induction Motors using a Novel Machine Learning Model // 2022 11th International Conference on System Modeling & Advancement in Research Trends (SMART), Moradabad, India, 2022, pp. 1429-1433, DOI: 10.1109/SMART55829.2022.10046714.
2. Dragomir A., Adam M., Antohi S.-M., Atanasoaei M., Pantiru A. Monitoring and Diagnosis of Electrical Equipment by Infrared Thermography // 2022 International Conference and Exposition on Electrical And Power Engineering (EPE), Iasi, Romania, 2022, pp. 516-520, DOI: 10.1109/EPE56121.2022.9959756.
3. Hadzhiev I., Malamov D., Kolev N., Balabozov I., Yatchev I. Thermal Diagnostics of a High Power Fuse with Thermovision Camera // 2022 International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering (ICECCME), Maldives, Maldives, 2022, pp. 1-4, DOI: 10.1109/ICECCME55909.2022.9988120.
4. Pareek S., Sharma R., Maheshwari R. Application of artificial neural networks to monitor thermal condition of electrical equipment // 2017 3rd International Conference on Condition Assessment Techniques in Electrical Systems (CATCON), Rupnagar, India, 2017, pp. 183-187, DOI: 10.1109/CATCON.2017.8280208.
5. Petrov A. R., Gracheva E. Ivanovna, Sinyukova T., Valtchev S., Miceli R., Rahman A. U. Simulation of the Functional Characteristics of Low-Voltage Switching Devices, Based on the Example of Automatic Circuit Breakers // 2023 International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP), Terrasini, Italy, 2023, pp. 690-695, DOI: 10.1109/ICCEP57914.2023.10247405.

FAULT TOLERANCE OF POWER SUPPLY SYSTEMS OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

PETROVA RENATA MARATOVNA

Postgraduate student of the Department of Power Supply of Industrial Enterprises, gr. SEMa-1-22
Kazan State Power Engineering University

VALTCHEV STANIMIR

Faculty FCT and UNINOVA – CTS
University NOVA of Lisbon, Portugal

GRACHEVA ELENA IVANOVNA

Scientific supervisor, Professor of the Department of Power Supply of Industrial Enterprises
Kazan State Power Engineering University

MIFTAHOVA NAILYA KAMILIEVNA

Senior lecturer of the Department of Power Supply of Industrial Enterprises
Kazan State Power Engineering University

Abstract: Industrial facilities of Kazan, as it is known, have in their composition technological cycles of varying degrees of complexity and the corresponding electrical equipment of the shop-floor power supply systems, to the reliability of operation of which, the requirements in modern conditions are significantly increasing. At present, new approaches are required to assess the fault tolerance of the entire power supply system as a whole, as well as individual elements of electrical equipment. The scientific and practical significance of this study is to assess and analyze the main characteristics of fault tolerance of low-voltage electrical equipment of the power supply system of industrial enterprises.

Keywords: power supply of industrial enterprise, failure rate, failure probability, fault tolerance, power transformer, circuit breaker, magnetic starter, contactor, switch.

In modern developed countries, the main source of energy is electrical energy supplied by thermal, hydro and nuclear power plants.

At industrial enterprises, electrical energy is supplied to the working apparatuses by a highly reliable uninterrupted power supply system. The larger and more powerful the electrical consumers, the more complex the power supply system of the enterprise in its structure and topology.

For the necessary level of reliability assessment of both electrical and technological equipment, important parameters are the time characteristics of the duration of failures elimination, as well as the analysis of failures in the percentage ratio.

Fig. 1 shows the types of protection and failure ratio, % for electric motors, cable lines, power transformers and 0.4 kV busbar section.

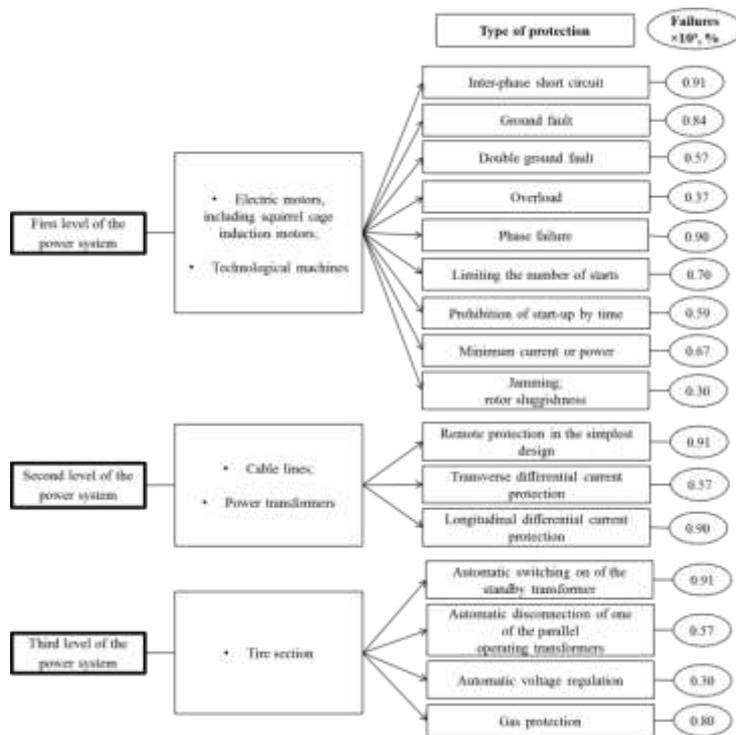


Figure 1 – Percentage value of failures of electrical equipment protections

The data in Fig. 1 are derived from the analysis of failure data of large manufacturing enterprises.

Figures 2-5 show the percentage of failures of single-phase and three-phase electric motors; circuit breakers, magnetic starters and contactors; switches and power transformers.

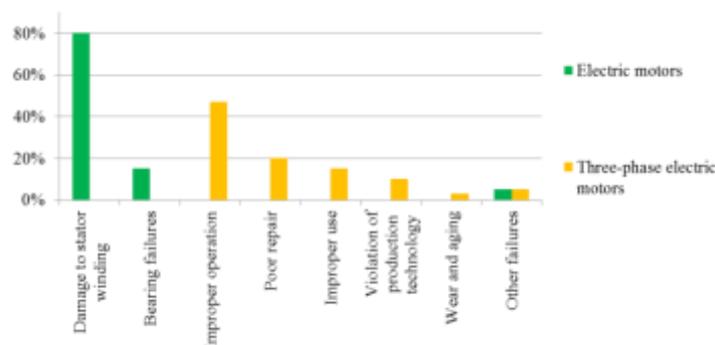


Figure 2 – Percentage value of electric motor failures

About 70-80% of the total number of failures for electric motors are caused by stator windings. Failures of motor bearings are equal to 15-20%, other failures – 4%.

The causes of failure of three-phase electric motors are: improper operation – 47%, poor quality repair – 20%, misuse – 15%, violation of production technology – 10%, wear and aging – 3%, other – 5%.

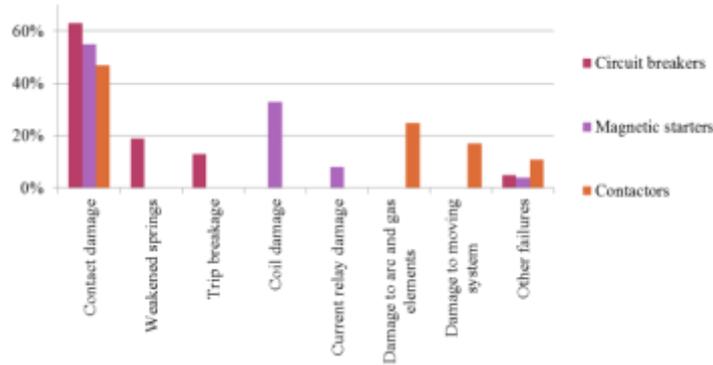


Figure 3 – Failure percentages for circuit breakers, magnetic starters and contactors

For circuit breakers, the main failures are contact damage – 63%, which includes burned and worn contacts (45%), damage to the mechanism of free release and contact adjustment (18%). The remaining failures are related to the weakening of springs – 19% and breakage of the release – 13%, other failures – 5%.

The majority of magnetic starters failures are related to damage of contacts (57%) and coil (33%). Damage to the thermal relay takes 8% of the total and 4% of failures are not detected. For contactors – damage of contacts (47%), arc suppression elements (25%) and moving system (17%). Other failures – 11%.

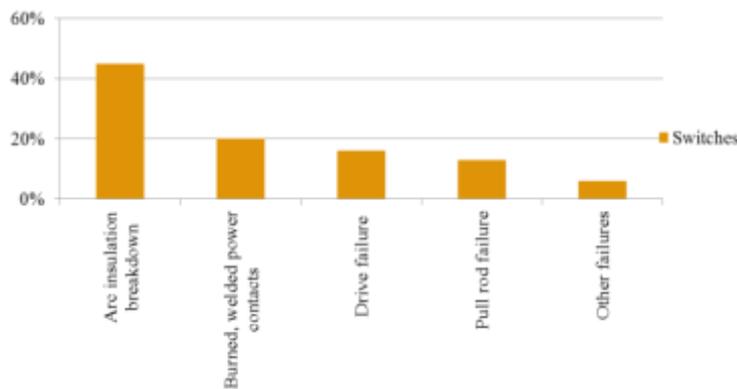


Figure 4 – Percentage value of switches

According to Fig. 4 shows that the largest number of failures is due to arc insulation breakdown – 45%. Other failures are related to burning and welding of power contacts – 20%, actuator failure – 16% and breakage of rods – 13%. Unidentified failures – 6%.

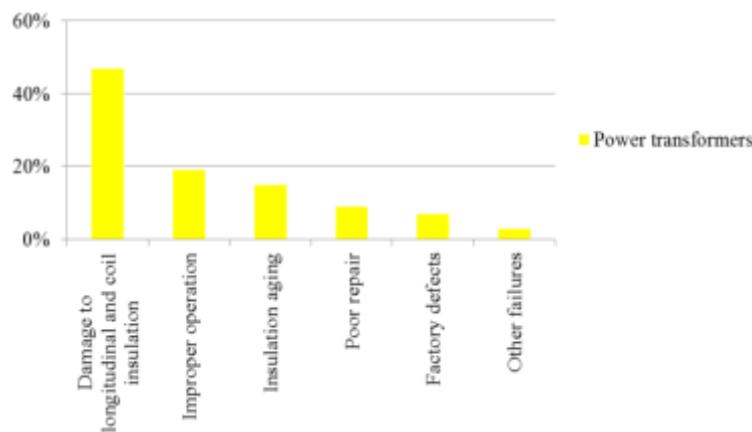


Figure 5 – Percentage value of power transformer failures

For power transformers (Fig. 5), failures occur due to damage to longitudinal and coil insulation – 47%, improper operation – 19%, insulation aging – 15%, poor quality repairs – 9%, factory defects – 7% and in other cases – 3%.

Thus, the main causes and relative magnitude of failures of protection devices and electrical equipment of in-plant power supply systems – electric motors, circuit breakers, magnetic starters, contactors, disconnectors, transformers – have been investigated.

References

1. Petrova RM, AbdullazyanovEYu, Grachieva EI, Valtchev S, Yousef Ibragim. Study of probability characteristics of reliability of electrical equipment in internal power supply systems. KAZAN STATE POWER ENGINEERING UNIVERSITY BULLETIN. 2023; 15; 1(57): 93-105.
2. E. Gracheva, R. M. Petrova, S. Valtchev and T. Sinyukova, "Study of Probability Characteristics of the Reliability of Electrical Equipment in Internal Power Supply Systems," 2023 5th Global Power, Energy and Communication Conference (GPECOM), Nevsehir, Turkiye, 2023, pp. 460-465, doi: 10.1109/GPECOM58364.2023.10175821.
3. E. I. Gracheva, R. M. Petrova, T. Sinyukova, S. Valtchev, R. Miceli and M. Caruso, "Reliability and Overload Capacity of Power Transformers," 2023 International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP), Terrasini, Italy, 2023, pp. 684-689, doi: 10.1109/ICCEP57914.2023.10247425.
4. R. M. Petrova and E. Gracheva, "Reliability Parameters of Low-Voltage Switchgear and Cable Lines of Workshop-Floor Network Schemes," 2023 5th International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA), Lipetsk, Russian Federation, 2023, pp. 1049-1055, doi: 10.1109/SUMMA60232.2023.10349643.
5. R. M. Petrova and E. Gracheva, "Comparison Of Methods Of Calculation Of The Electrical System Of In-Plant Power Supply," 2023 5th International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA), Lipetsk, Russian Federation, 2023, pp. 1056-1061, doi: 10.1109/SUMMA60232.2023.10349401.
6. Petrova, R. M. et al. 2023. Methods for assessing the reliability of in-shop power supply. Vestnik of MSTU, 26(4), pp. 395–409. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2023-26-4-395-409>.
7. Petrova R. M., Gracheva E. I. Algorithms for estimating the main reliability parameters of low-voltage equipment of shop-floor network schemes // Omsk Scientific Bulletin. 2024. № 1 (189). P. 93–102. DOI: 10.25206/1813-8225-2024-189-93-102.

THE METHOD OF CALCULATING THE THERMAL CONDITIONS OF CABLE LINES IN THE ELCUT SOFTWARE PACKAGE

TSITSON IVAN IVANOVICH

Postgraduate student of the Department of Power Supply of Industrial Enterprises, gr. SEMa-1-23
Kazan State Power Engineering University

VALTCHEV STANIMIR

Faculty FCT and UNINOVA – CTS
University NOVA of Lisbon, Portugal

GRACHEVA ELENA IVANOVNA

Scientific supervisor, Professor of the Department of Power Supply of Industrial Enterprises
Kazan State Power Engineering University

MIFTAHOVA NAILYA KAMILIEVNA

Senior lecturer of the Department of Power Supply of Industrial Enterprises
Kazan State Power Engineering University

Abstract: Cable lines (CL), as it is known, are one of the main ways to transfer electricity from a substation to consumers. But often their actual service life (T_{sl}) turns out to be less than the passport one due to overloads due to incorrect choice of cross-section or methods of operation, which lead to thermal breakdown and acceleration of the reaction of thermal oxidative degradation. Based on this, the calculation of the temperature parameters of the CL was carried out when laying in the ground in a pipe according to the method, as for the most heat-loaded operating mode. Specialized ELCUT software was used to visualize thermal processes inside the cable based on the data obtained as a result of calculations.

Keywords: power supply of industrial enterprises, cable lines, laying cables in the ground in a pipe, modeling of thermal processes, ELCUT software package.

To build diagrams for visualizing thermal processes in the software package, we will use the results obtained earlier in a study on calculating the temperature parameters of cable lines with different laying methods, with different types of insulation and under different operating conditions

The ELCUT software package is used to visualize calculations and determine the thermal distribution inside cables at a voltage of 10 kV. This software allows you to visually assess the temperature distribution inside the cable based on calculated data and assess the degree of heating of the cable line shell. For calculations, as an example, we will use cables of the AVVG-3x-70 brand with a voltage of 10 kV at load coefficients $I_{f1} = 0.7$ and $I_{f2} = 0.88$ to assess the effect of this parameter on the heating of cable cores. The calculation is carried out at an ambient temperature of 20 degrees and when laying a cable in the ground in a pipe.

As the results of the calculations performed, temperature diagrams of heat dissipation with a color effect of temperature ranking will be presented. The diagram structure is presented as a three-core cable with a multilayer shell and a different degree of heating of each layer. The relative location of the cores and the geometric characteristics of the cable, including the thickness of the insulating layer, are also taken into account.

Figure 1 shows a thermal diagram with visualization of thermal processes inside the cable with a constant load of 70% for a long time.

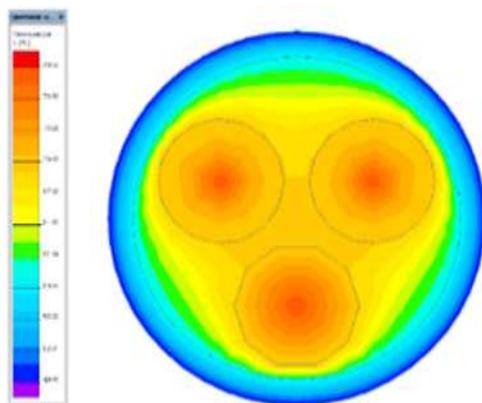


Figure 1 – Thermal diagram of the heat distribution inside the cable with $I_f=0.7$

Figure 2 shows a thermal diagram with visualization of thermal processes inside the cable at a constant load of 88% for a long time.

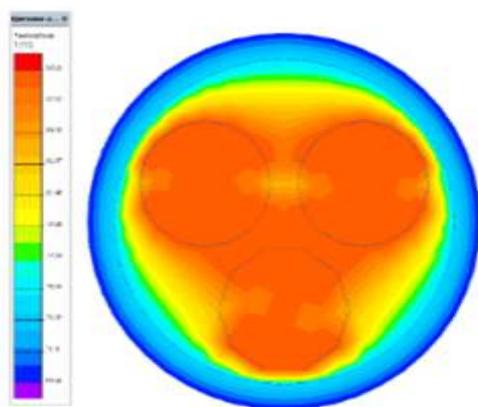


Figure 2 – Thermal diagram of the heat distribution inside the cable with $I_f=0.88$

To control the temperature ranking by color, the compliance scale shown in Figure 4 is used. The red zone corresponds to a temperature above 80°C , the orange zone corresponds to a temperature range of $56-80^{\circ}\text{C}$, the yellow zone corresponds to a temperature range of $42-56^{\circ}\text{C}$, the green zone corresponds to a temperature range of $35-42^{\circ}\text{C}$ and the blue zone corresponds to a temperature range below 35°C .

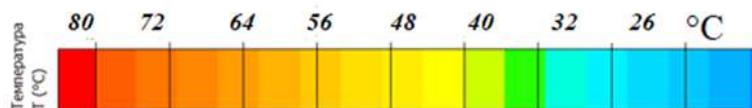


Figure 3 – Correspondence scale for ranking temperatures by colors

As a result of studies of the thermal parameters of the AVVG-3x70 10 kV CL with $I_{f1}=0.7$, $I_{f2}=0.88$ using the Elcut program, temperature diagrams were obtained indicating the temperature of each layer of the studied CL. It is shown that the conductive core and its shell have the greatest heating - at $I_{f2}=0.88$ this value varies in the range $77-79^{\circ}\text{C}$ (near the red zone), for $I_{f1}=0.7$ this value is $57-59^{\circ}\text{C}$ (near the yellow-orange zone). With the transition from the inner to the outer layer, the temperature of the CL veins decreases, as shown by the compliance scale (Figure 3).

The results of studies using temperature diagrams showed that the CL AVVG-3x-70 10 kV with $I_{f2}=0.88$ when laying in the ground in the pipe, the CL AVVG-3x-70 10 kV with $I_{f1}=0.7$ is heated more strongly by $19-21^{\circ}\text{C}$, considering the error of the software package used, equal to $2-3^{\circ}\text{C}$.

We study the dynamics of insulation aging for CL AVVG-3x-70 10kV with $I_{f1}=0.82$ (which corresponds to the normal operating temperature of $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ for this type of insulation) and $I_{f2}=0.88$ (which corresponds to the calculated temperature value $=77^{\circ}\text{C}$ when operating CL in the ground in a pipe). Thus, during the long-term operation of the CL (more than 3 hours of continuous operation per day) at $I_{f2}=0.88$ and the corresponding temperature $=77^{\circ}\text{C}$, the thermal degradation reaction in PVC insulation proceeds 1.55 times faster than under similar conditions and the core temperature of KL $=70^{\circ}\text{C}$ with $I_{f1}=0.82$. The passport T_{sl} for CL is 30 years or 262800 hours. Considering that when overloaded by 9% relative to the permissible $I_{f1}=0.82$, PVC insulation is exposed to elevated temperatures $=77^{\circ}\text{C}$, while the passport T_{sl} decreases by 27-30% and is approximately 19-20 years, taking into account an error of 5%.

Thus, the results of the conducted studies have shown that for 10 kV CL when laying in the ground in a pipe, the optimal I_f from the point of view of the technical condition of insulation corresponding to the passport T_{sl} equal to 30 years, for CL, depending on the type of insulation are:

- 0.797-0.822 for PVC insulated CL;
- 0.788-0.812 for CL with PE insulation;
- 0.709-0.731 for CL with BPI insulation.

At values of I_f lower than those obtained in this study, 10 kV CL when laid in the ground in the pipe will not experience excessive overheating during operation. The obtained I_f values allow the most accurate selection of the operating mode and the section of the CL at the design stage.

References

1. Gracheva E.I., Muravyov G.G. Investigation of temperature regimes and parameters of cable lines of electrical equipment of power plants // NAUKA. technologies. INNOVATIONS. 2020.T.4.pp.151-154.
2. Gracheva E.I., Gorlov A.N., Alimova A.N. Research and assessment of electricity losses in in-house power supply systems // Bulletin of the Kazan State Energy University. 2019.T. 11. No.4(44). pp. 22-29.
3. Gracheva E.I., Alimova A.N. Possible errors in the calculation of electricity losses in shop industrial networks // Izvestia of higher educational institutions. ENERGY PROBLEMS. 2018. Vol. 20. No. 11-12. pp. 81-92. DOI:10.30724/1998-9903-2018- 20-11-12-81-92
4. Gracheva E.I., Gizzatullina E.E. Reliability analysis of workshop networks // News of universities. Energy problems. 2003. No.5-6.
5. Titkov V.V. On the issue of introducing a thermal regime of a three-phase LNG cable line // CABLE-News. 2018. No.10. pp. 3-10.
6. Kovrigin L. A. Calculation of temperature fields and current load in ANSYS // CABLE-News. 2009. No. 4. pp. 2-6.
7. Gladysheva M.M., Sukhacheva E.K., Khatyushina T.V. Mathematical model of software for an automated system for selecting cable lines of industrial enterprises // SibAK. 2015. No. 12(48). pp. 20-23.
8. Gracheva E.I., Gorlov A.N., Shakurova Z.M., Tabachnikova T.V. Equivalent resistance of industrial electric networks as one of the main characteristics in calculations of electricity losses // INSTRUMENTATION AND AUTOMATED ELECTRIC DRIVE IN THE FUEL AND ENERGY COMPLEX AND HOUSING AND COMMUNAL SERVICES. 2022. pp. 540-544

IMPLEMENTATION OF FUZZY TECHNOLOGIES AT PRODUCTION FACILITIES OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

VALTCHEV STANIMIR
UNINOVA-CTS

Faculty of Sciences and Technology University NOVA of Lisbon 2829-516 Campus Caparica,
Lisbon, Portugal

SINYUKOV ALEXEY VLADIMIROVICH
Lipetsk State Technical University
Assistant, Department of Automated Electric Drive and Robotics

SINYUKOVA TATYANA VIKTOROVNA
Lipetsk State Technical University
PhD, Associate Professor, Department of Automated Electric Drive and Robotics

Abstract: The work is devoted to the modernization of a device designed for mixing substances with different degrees of viscosity; often, control systems for such objects operate with the same, predetermined, time indicators that cannot be changed at all stages of the formation of the finished composition. Such operating modes are often a consequence of thermal overheating of the motor and also lead to increased electrical energy consumption. Having studied the existing control system, a need arose to improve it; it was proposed to install a frequency converter on the mixing drive, the control signals of which are generated by a unit operating on the basis of fuzzy rules.

Keywords: electric drive, fuzzy controller, simulation modeling, energy saving, control system.

The operating principle and the control system used on the device under study for mixing glue are shown in Figure 1.

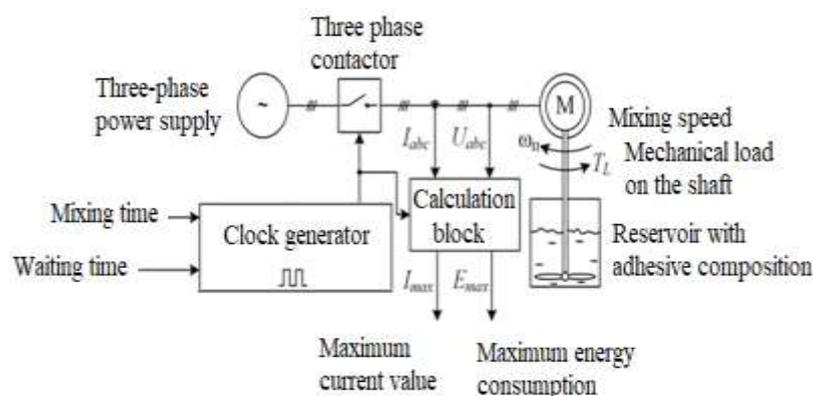


Figure 1 – Initial diagram

The M engine is turned on by pulses coming from the generator. A device is attached to the motor shaft to impart homogeneity to the mixed composition. The control system includes a calculation unit that serves to generate data on the current value and energy consumption during the maximum period of bringing the adhesive composition to the desired consistency. During the waiting period (t_0), the electric drive slows down, which is characterized by an increase in the dynamic viscosity of the mixed composition. During mixing (t_p), the viscosity indicators decrease. The viscosity value and the rate of crystallization of the mixed composition depend on the components included in the glue. In this regard, the use of identical periods of time when preparing different compositions is not acceptable, as this leads to overheating of the engine and increased energy consumption.

To solve emerging problems, it is proposed to remove the contactor from the control system and introduce into it a frequency converter (FC), the control process of which is carried out from a fuzzy controller (FU) (Figure 2). At the output of the fuzzy type controller, signals are generated for the waiting period and mixing time, as well as the mixing speed, which serve as control signals for the frequency converter. The task signals for the fuzzy controller are data on the maximum value of current energy consumed.

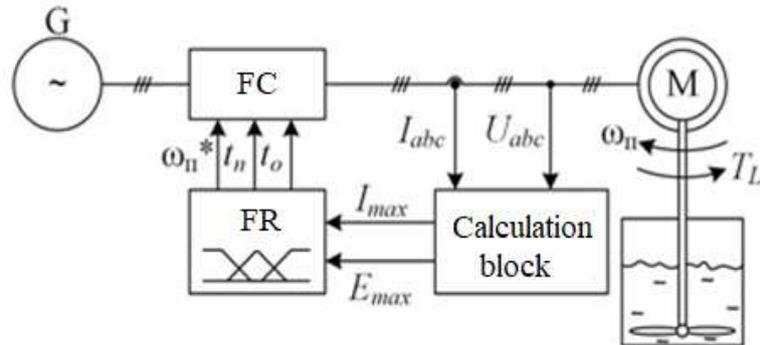


Figure 2 – Scheme after modernization

When modeling the proposed system in the Matlab Simulink environment, the results obtained were compared with the original circuit. Figure 3 shows the velocity generation graphs. When a frequency converter and a fuzzy controller are introduced into the control system, 17 periods of speed control are formed in 30 seconds of operation. Obviously, the process is accompanied by speed control, and consists of mixing time and waiting time.

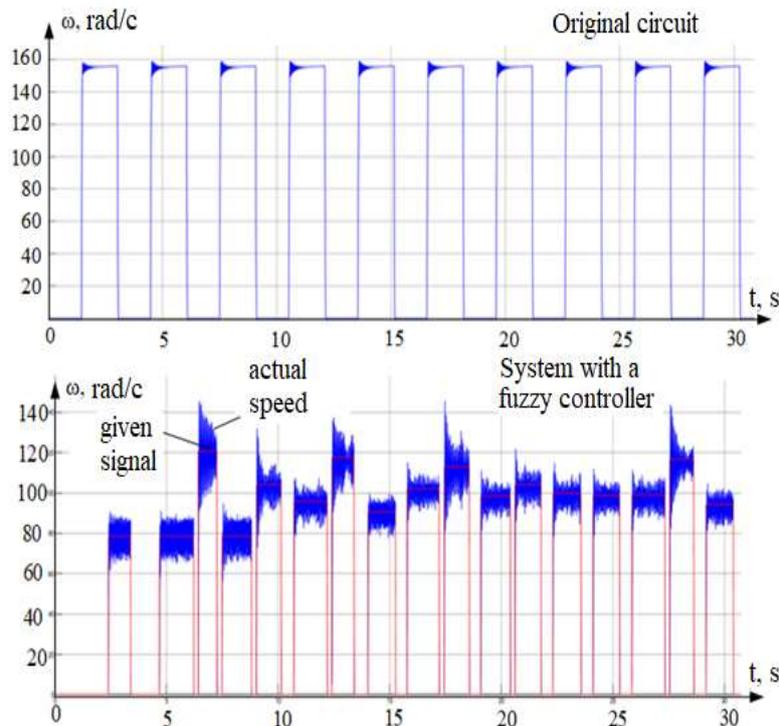


Figure 3 – Speed characteristics

In the original control system, the process of generating a load moment during mixing is proportional to the viscosity of the adhesive composition (Figure 4), according to the technological process.

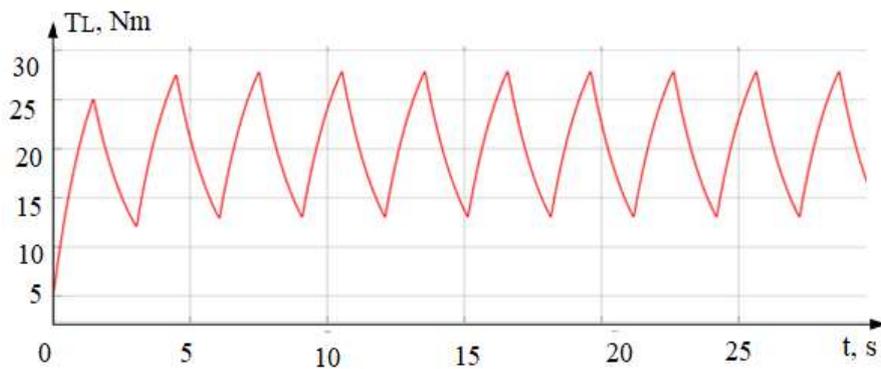


Figure 4 – Load moment in the original system

The use of a fuzzy controller in the proposed system implies a regulation process in which the starting current value is controlled, which is characterized by limiting the load to 27 N·m, while load fluctuations are observed in the range of 16 - 25 N·m, whereas in the original system from 13 to 27 N·m, such indicators are explained by the increased frequency of engine switching. The average shaft load for both systems is about 20.25 N·m. An increase in engine rotation speed leads to a decrease in load, this is due to the nature of the load (Figure 5).

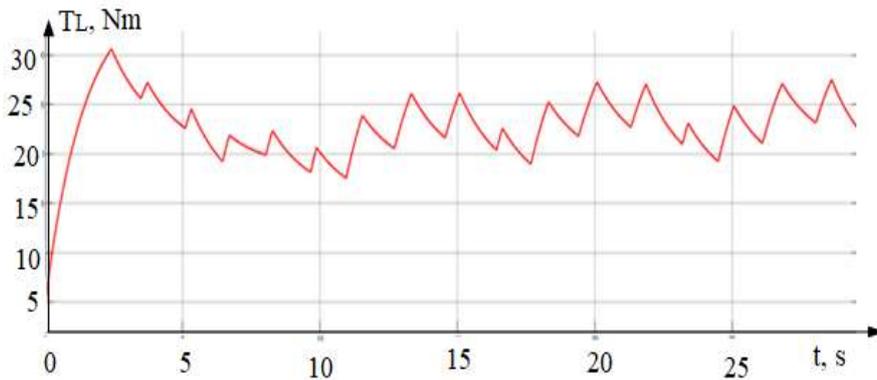


Figure 5 – Load torque in a system with a fuzzy controller

Energy consumption when using the original control system is shown in Figure 6, where the horizontal sections represent the waiting period for the electric drive, during which time the viscosity of the composition increases. The amount of energy consumed by the drive during the mixing period is recorded by the integrator.

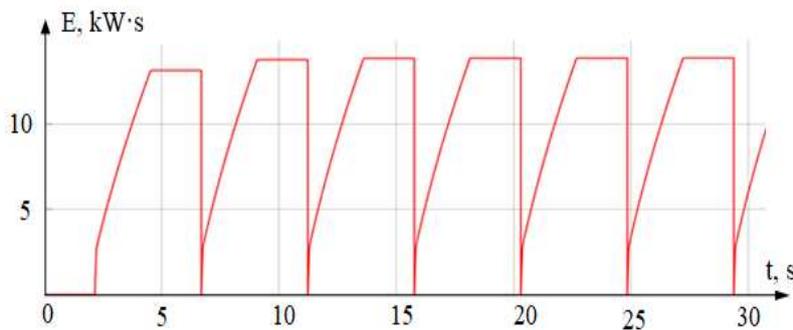


Figure 6 – Graphs of energy consumption in the original system

The introduction of a fuzzy controller into the control system leads to a decrease in electricity consumption during the mixing period (Figure 7); the energy consumed lies in the range from 5.2 to 7 kW·s, whereas in the original control system it reaches 9.48 kW·s. After 30 seconds, in a system with a fuzzy controller, energy consumption is 104.6 kW·s, while at the same time, in the original

control system having fixed values of switching periods and speed, the electricity consumption is 123.5 kW·s. The use of a control system with a developed fuzzy controller makes it possible to achieve a reduction in electrical energy consumption by up to 15.3 percent.

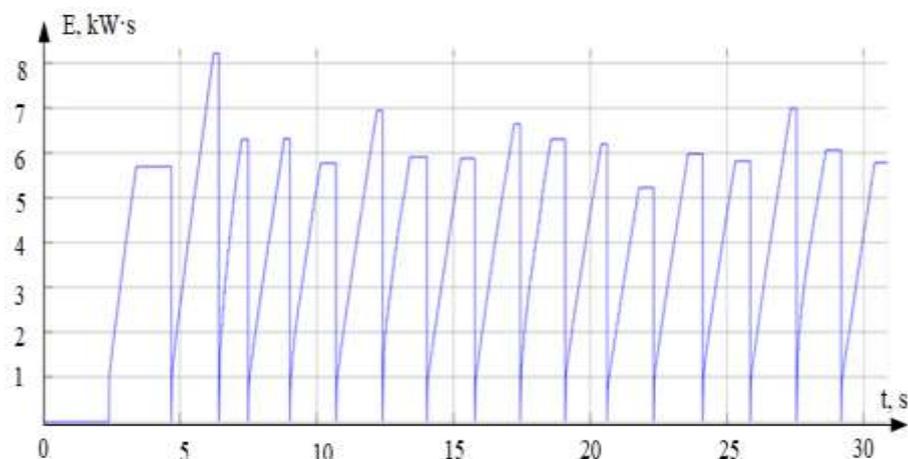


Figure 7 – Nature of energy consumption in a system with a fuzzy controller

Based on the results obtained, the following conclusions were formed:

- the proposed system automatically calculates the optimal mixing and waiting time;
- the presence of a fuzzy controller in the system leads to an automatic response of the system to changes in load parameters by adjusting the parameters;
- introduction of the proposed regulator into the control system leads to a significant reduction in energy consumption.

References

1. Lokteva, I. L. Principles of constructing control systems for electric drives with alternating current motors / I. L. Lokteva, G. B. Onishchenko, T. V. Plotnikova, Yu. G. Shakarnyan // *Electricity* No. 5. – 1976 – pp. 6-12.
2. Konstantinov, I.S. Principles of constructing intelligent automated control systems with fuzzy regulation based on logical-linguistic models of knowledge representation / I.S. Konstantinov, A.G. Filatov, Yu.V. Kasyanov // *Collection of works of the Seventh Academic Readings of the RAASN: Modern problems of construction materials science*. Belgorod. – 2001. – P.154-158.
3. Li, L. Design of Gluing Process Control System Based on DCS System / L. Li, W. Yang, M. Duan and L. Wei // *2019 IEEE 3rd Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC)*, Chongqing, China – 2019. – pp. 1430-1434.
4. I.S. Konstantinov, A.G. Filatov, Yu.V. Kasyanov “Principles of constructing intelligent automated control systems with fuzzy regulation based on logical-linguistic models of knowledge representation,” *Collection of works of the Seventh Academic Readings of the RAASN: Modern problems of construction materials science*. Belgorod. 2001. P.154-158.
5. V. Meshcheryakov, T. Sinyukova, A. Sinyukov, and O. Vladimirov., “Analysis of the effectiveness of using state observers in the control system of the traveling mechanism of the bridge crane trolley,” *E3S Web of Conferences. Sustainable Energy Systems: Innovative Perspectives (SES-2020)*, Saint-Petersburg, Russia, 2020, 220, 01084, October 29-30.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ПЕРЕМЕННОЙ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ НА ОСНОВЕ МНОГООБМОТОЧНОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

АЛЕШИН П. А.

Нижегородский Государственный Технический Университет им. Р. Е. Алексева

РОСТОВСКИЙ В. В.

Нижегородский Государственный Технический Университет им. Р. Е. Алексева

СЕРЕБРЯКОВ А. В.

Нижегородский Государственный Технический Университет им. Р. Е. Алексева

СЕРЕБРЯКОВ Н. А.

Нижегородский Государственный Технический Университет им. Р. Е. Алексева

Аннотация: В статье разработаны графики зависимости коэффициента увеличения интенсивности отказов от коэффициента нагрузки и относительной частоты вращения для конденсаторной батареи. Рассчитана средняя наработка на отказ для дизель-генераторной установки переменной скорости вращения вала ДВС и для дизель-генераторной установки постоянной скорости вращения

Ключевые слова: дизель-генераторная установка, прогнозирование технического состояния, наработка на отказ, средняя наработка на отказ, интенсивность отказов.

При разработке новых технологических решений структур дизель-генераторных установок переменной скорости вращения вала ДВС (ДГПСВ), а также отдельных элементов, одним из основных шагов является анализ надежности, поиск неисправностей и прогнозирование технического состояния. Данные параметры позволяют заблаговременно предотвратить отказы. Отказ установки влечет за собой серьезные экономические потери, например капитальный ремонт элементов. [1] Для предотвращения подобных потерь необходимо на этапе разработки нового устройства уделить особое внимание надежности, которая закладывается в результате таких факторов как: выбор элементной базы и анализ конструктивных и схемных решений.

В основе анализа надежности элементов и установки в целом используется экспоненциальный закон распределения времени безотказной работы. При этом важной процедурой является расчет средней наработки на отказ. Данная величина является обратной величине интенсивности отказов, которая определяется как:

$$\lambda = \alpha \cdot \lambda_0, \quad (1)$$

где α - коэффициент увеличения интенсивности отказов, λ_0 - исходная интенсивность отказов.

Исходная величина интенсивности отказов элементов λ_0 выбирается исходя из экспертных оценок [2].

Интенсивность отказов автономной электростанции, состоящей из m элементов,

$$\lambda_c = \sum m \cdot \lambda_{ii}, \quad (2)$$

определяется как сумма интенсивностей отказов этих элементов [2]:

где $ii = 1$

ДГПСВ содержит более сложное устройство, а значит и большее количество элементов по сравнению с дизель-генераторной установкой постоянной скорости вращения вала ДВС. Учитывая этот факт, можно предположить, что ДГУ постоянной скорости вращения вала ДВС будут иметь более высокие показатели надежности, по сравнению с ДГПСВ. Из-за того, что ДГПСВ является малоисследованными, то имеет смысл провести анализ надежности и

сравнить эти показатели с данными ДГУ постоянной скорости вращения вала ДВС.

Задачей прогнозирования является предсказание технического состояния в некоторый будущий момент времени. Техническое состояние во многом зависит от изменения физических и химических свойств элементов объекта \bar{X} , также техническое состояние зависит от внешних и внутренних помех \bar{Y} (рис.1).

Исследуются совокупности $\{x_l, l = 1, 2, \dots, n\}$ прогнозирующих параметров объекта (\bar{X}), то есть параметров, позволяющих прогнозировать техническое состояние объекта в будущем, они в свою очередь зависят от параметра \bar{X} . Помехи \bar{Y} оказывают влияние на значения прогнозирующих параметров. [3]

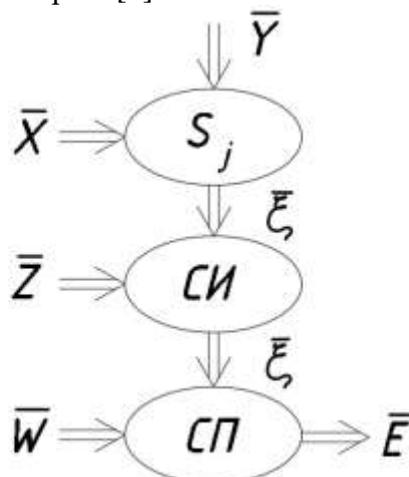


Рисунок 1 – Однолинейная схема системы прогнозирования,

где СИ-средстваизмерения; СП-средствапрогнозирования.

При помощи погрешности, параметра \bar{Z} , определяются прогнозирующие параметры. Помимо этого, на прогнозирующие факторы также оказывает влияние погрешности прогнозирования (\bar{W}). В итоге, прогнозируемое техническое состояние объекта имеет следующую зависимость:

$$\bar{E} = f(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}, \bar{W}) \quad (3)$$

Зависимость (3) представляет собой модель процесса прогнозирования. Данная зависимость по большей части носит вероятностных характер, потому что, параметры $\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}, \bar{W}$ - по большому счету случайные функции. Определить эту зависимость (3) в аналитической форме практически невозможно. Для упрощения задачи следует разделить ее на две задачи прогнозирования: задачу измерения прогнозирующих параметров (4) и задачу получения результата прогнозирования (5):

$$\bar{\xi}_l^* = \varphi_l(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}), l = 1, 2, \dots, \quad (4)$$

$$\bar{E} = \psi(\bar{\xi}^*, \bar{W}) \quad (5)$$

Предложенное решение задачи также является трудновыполнимой, поэтому наиболее реализуемым является аналитическая модель, из которого исключена зависимость от случайных помех (6):

$$\bar{E} = f_x(\bar{W}) \quad (6)$$

Модель (6) определяют через зависимость (3) путем измерения прогнозируемых параметров, которые в течение времени, под действием параметра \bar{X} , подвергаются изменениям, далее через зависимость (3), экстраполируя значения прогнозируемых параметров на прогнозные временные периоды [3].

Прогнозирование состояния ДГПСВ возможно на основе расчета состояния конденсаторной батареи.

Прогнозирование интенсивности отказов конденсаторной батареи

Пробой диэлектрика, пробой между обкладками или обрыв выводов уменьшения емкости – это виды отказов конденсаторов. Их надежность во многом зависит от нагрузки и факторов

окружающей среды, например температура или влажность. Коэффициент электрической нагрузки конденсатора – это отношение рабочего напряжения к допустимому:

$$K_n = U_{\phi} / U_{\text{доп}}(a)$$

Коэффициент увеличения интенсивности отказов $\alpha_C[a]$ отражает влияние коэффициента электрической нагрузки на показатель надежности конденсатора [4].

На графиках отражены зависимости α_C от температуры окружающей среды при различных коэффициентах электрической нагрузки K_n .

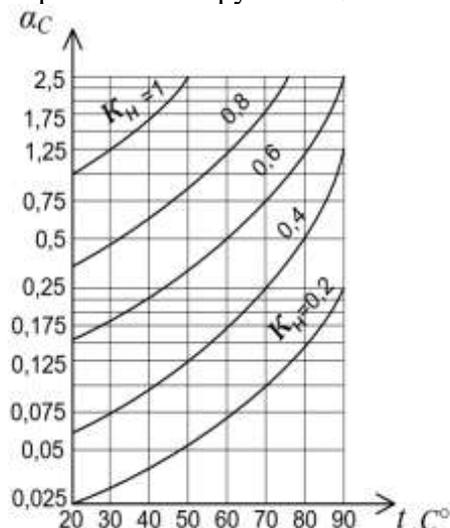


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента увеличения интенсивности отказов α_C конденсаторной батареи от коэффициента нагрузки K_n и температуры окружающей среды

$$\left. \begin{aligned}
 \alpha_C^{1,0} &= f(t) = -1,54 \cdot 10^{-6} \cdot t^4 + 2,40 \cdot 10^{-4} \cdot t^3 - 0,01 \cdot t^2 + 0,29 \cdot t - 1,39 \\
 \alpha_C^{0,9} &= f(t) = -3,02 \cdot 10^{-8} \cdot t^5 + 8,15 \cdot 10^{-6} \cdot t^4 - 8,34 \cdot 10^{-4} \cdot t^3 + \\
 &\quad + 0,04 \cdot t^2 - 0,93 \cdot t + 8,40 \\
 \alpha_C^{0,8} &= f(t) = 1,39 \cdot 10^{-8} \cdot t^5 - 3,27 \cdot 10^{-6} \cdot t^4 + 3,02 \cdot 10^{-4} \cdot t^3 - \\
 &\quad - 0,01 \cdot t^2 + 0,28 \cdot t - 1,90 \\
 \alpha_C^{0,7} &= f(t) = -7,93 \cdot 10^{-9} \cdot t^5 + 2,38 \cdot 10^{-6} \cdot t^4 - 2,65 \cdot 10^{-4} \cdot t^3 + \\
 &\quad + 0,01 \cdot t^2 - 0,33 \cdot t + 3,13 \\
 \alpha_C^{0,6} &= f(t) = 4,59 \cdot 10^{-12} \cdot t^7 - 1,88 \cdot 10^{-9} \cdot t^6 + 3,22 \cdot 10^{-7} \cdot t^5 - \\
 &\quad - 2,96 \cdot 10^{-5} \cdot t^4 + 1,56 \cdot 10^{-3} \cdot t^3 - 0,05 \cdot t^2 + 0,74 \cdot t - 4,60 \\
 \alpha_C^{0,5} &= f(t) = -6,20 \cdot 10^{-9} \cdot t^5 + 1,82 \cdot 10^{-6} \cdot t^4 - 2,01 \cdot 10^{-4} \cdot t^3 + \\
 &\quad + 0,01 \cdot t^2 - 0,25 \cdot t + 2,25 \\
 \alpha_C^{0,4} &= f(t) = 2,94 \cdot 10^{-12} \cdot t^7 - 1,20 \cdot 10^{-9} \cdot t^6 + 2,05 \cdot 10^{-7} \cdot t^5 - \\
 &\quad - 1,90 \cdot 10^{-5} \cdot t^4 + 1,03 \cdot 10^{-3} \cdot t^3 - 0,03 \cdot t^2 + 0,54 \cdot t - 3,53 \\
 \alpha_C^{0,3} &= f(t) = -2,52 \cdot 10^{-9} \cdot t^5 + 7,56 \cdot 10^{-7} \cdot t^4 - 8,48 \cdot 10^{-5} \cdot t^3 + \\
 &\quad + 4,45 \cdot 10^{-3} \cdot t^2 - 0,11 \cdot t + 0,97 \\
 \alpha_C^{0,2} &= f(t) = 6,03 \cdot 10^{-10} \cdot t^5 - 1,53 \cdot 10^{-7} \cdot t^4 + 1,49 \cdot 10^{-5} \cdot t^3 - \\
 &\quad - 6,81 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 + 0,02 \cdot t - 0,09 \\
 \alpha_C^{0,1} &= f(t) = 3,33 \cdot 10^{-9} \cdot t^4 - 3,32 \cdot 10^{-7} \cdot t^3 + 1,41 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - \\
 &\quad - 2,14 \cdot 10^{-4} \cdot t + 0,02
 \end{aligned} \right\}$$

Данная система уравнений описывает зависимости, которые показаны на рисунке 2.

Данная система-математическая модель прогнозирования интенсивности отказов конденсаторной батареи. Также определили дополнительные значения коэффициентов интенсивности отказов α_C . [5]

Оценка средней наработки на отказ дизель-генераторных установок на основе многообмоточного синхронного генератора.

Исходная интенсивность отказов λ_0 элементов отбиралась при анализе надежности ДГПСВ. Коэффициенты увеличения интенсивности отказов α основных элементов ДГУ постоянной частоты вращения ДГПСВ на основе многообмоточного синхронного генератора высчитывались при помощи математических моделей прогнозирования

интенсивности отказов. Учитывалось, что t окружающей среды 20°C , t нагрева силовых полупроводниковых элементов – 60°C [6].

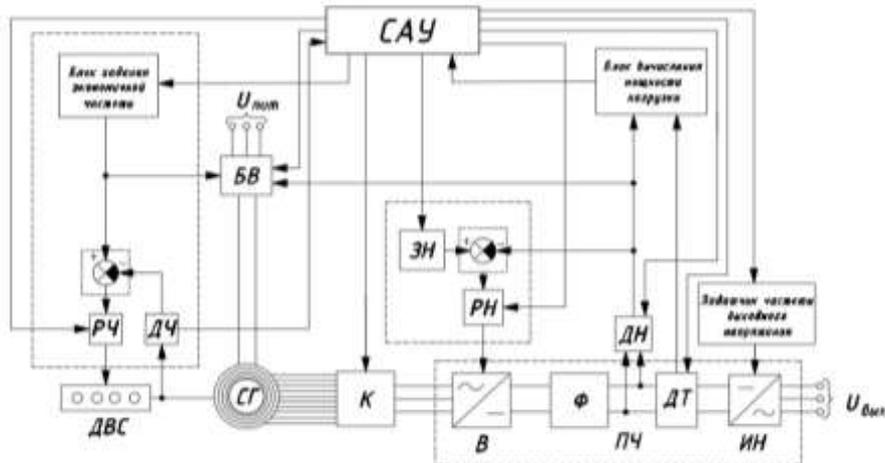


Рисунок 3 – Структурная схема дизель-генераторной установки переменной скорости вращения.

Анализ надежности дизель-генераторных установок на основе многообмоточного синхронного генератора проводился в соответствии со структурной схемой (рис. 3). Рассчитанные показатели надежности приведены в табл. 2.

Таблица 1 – Показатели надежности дизель-генераторных установок на основе многообмоточного синхронного генератора

Элементсхемы	$\lambda_0 \cdot 10^{-6}, \text{ч}^{-1}$	α	$\lambda \cdot 10^{-6}, \text{ч}^{-1}$
двигательвнутреннегосгорания	60,00	0,25	15,00
синхронныйгенераторспециального типа	40,00	0,35	14,00
коммутатор	5,00	0,30	1,50
управляемыйвыпрямитель	7,00	1,00	7,00
фильтр(конденсаторнаябатарея)	5,00	1,00	5,00
датчиктока	2,00	1,00	2,00
инверторнапряжения	10,00	1,00	10,00
регуляторчастотывращениявала двигателявнутреннегосгорания	3,00	1,00	3,00
датчикчастотывращенияваладвигателя внутреннегогосгорания	2,00	1,00	2,00
задатчикэкономичногорежима	5,00	1,00	5,00
блоквозбуждениясинхронногогенератора	5,00	1,00	5,00
задатчикнапряжения	2,00	1,00	2,00
регуляторнапряжения	3,00	1,00	3,00
датчикнапряжения	2,00	1,00	2,00
блоквычислениямощностинагрузки	3,00	1,00	3,00
задатчикчастотывыходногонапряжения	2,00	1,00	2,00

В результате расчетов, получены данные по наработке на отказ дизель-генераторных установок на основе многообмоточного синхронного генератора. Средняя наработка на отказ составляет 12270 часов.

Для сравнения показателей различных дизель-генераторных установок можно провести анализ надежности ДГУ постоянной частоты вращения по аналогичной методике.

Таблица 2 – Показатели надежности ДГУ постоянной частоты вращения

Элементы схемы	$\lambda_0 \cdot 10^{-6}, \text{ч}^{-1}$	α	$\lambda \cdot 10^{-6}, \text{ч}^{-1}$
двигатель внутреннего сгорания	60,00	0,40	24,00
синхронный генератор	40,00	0,49	19,60
блок возбуждения синхронного генератора	5,00	1,00	5,00
регулятор напряжения	3,00	1,00	3,00
регулятор частоты вращения вала двигателя внутреннего сгорания	3,00	1,00	3,00

В результате расчетов, получены данные по наработке на отказ дизель-генераторных установок постоянной частоты вращения. Средняя наработка на отказ составляет 18315 часов, что практически в полтора раза превышает наработку на отказ дизель-генераторных установок на основе многообмоточного синхронного генератора.

При помощи систем диагностирования появляется возможность отследить динамику изменения полученных данных, а также технические параметры объекта. Наличие данных, отражающих динамику изменения прогнозируемых факторов, а также параметры интенсивности отказов элементов технической системы, предоставляет возможность эмпирически определить критерий годности, в момент, когда система достигнет предельного значения.

С помощью прогнозирования технических неисправностей можно значительно уменьшить затраты на капитальный и аварийный ремонт электротехнических установок. При помощи графиков зависимости коэффициента увеличения интенсивности отказов от коэффициента нагрузки и относительной частоты вращения можно определить оптимальный режим работы отдельных элементов установки.

В результате расчетов средней наработки на отказ получили, что у ДГПСВ наработка на отказ практически в полтора раза меньше чем у ДГУ постоянной скорости вращения вала ДВС, это может быть связано с более сложным конструктивным исполнением и большим количеством элементов у ДГПСВ, но использование большего количества элементов позволяет улучшить КПД и уменьшить количество используемого топлива в установках данного типа [7].

Список литературы

1. Рукин, М.В. Методика определения наработки на отказ установки электроцентробежного насоса / М.В. Рукин, В.А. Молчанова, К.Р. Уразаков // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333. № 12. 219–229.
2. Патент на описание полезной модели RU 168615 U1, МНК H02P 9/48 (2006.1). Автономная электростанция переменного тока/А.Б. Дарьенков, С.А. Гузев// Заявл. №2016118233 от 11.05.2016; опубл. 13.02.2017. Бюл. №5.
3. Дарьенков, А.Б. Автономные дизель-генераторные установки переменной частоты вращения: монография / А.Б. Дарьенков, О.С. Хватов // Нижегород. Гос. Техн. Ун-т им. Р.Е. Алексеева – Нижний Новгород, 2023. – 283 с.
4. Рентюк В. Зависимость времени наработки на отказ электролитических конденсаторов от реальных условий их эксплуатации / Рентюк В. // Вестник электроники №3., 2014 – с. 32-38
5. Тихончук Д.А. Условия безотказной работы батареи статических конденсаторов / Тихончук Д.А. // Главный энергетик №1 2014. - с. 142-144
6. Стеклов А.С. Структура энергоэффективной ветро-дизель энергетической установки переменной скорости вращения / Кочеганов Д.М., Стеклов А.С., Серебряков А.В. // - 2019г. №2. С.42-52

7. Серебряков, А.В. Разработка структурной схемы дизель-генераторной установки переменной скорости вращения на основе многообмоточного синхронного генератора / Алешин П.А., Серебряков А.В., Серебряков Н.А. // Федоровские чтения 2023 – 2023 – с. 383-389.

PREDICTION OF A TECHNICAL CONDITION OF THE DIESEL-GENERATOR UNIT OF VARIABLE SPEED ROTATION ON THE BASIS OF A MULTIWINDING SYNCHRONOUS GENERATOR. INSTALLATION OF VARIABLE SPEED ROTATION ON THE BASIS OF MULTIWINDING SYNCHRONOUS GENERATOR.

ALESHIN P. A.

Nizhny Novgorod State Technical University named after R. E. Alekseev

ROSTOVSKY V. V.

Nizhny Novgorod State Technical University named after R. E. Alekseev

SEREBRYAKOV A. V.

Nizhny Novgorod State Technical University named after R. E. Alekseev

SEREBRYAKOV N. A.

Nizhny Novgorod State Technical University named after R. E. Alekseev

Abstract: In the paper graphs of dependence of the coefficient of increase of failure rate on the load factor and relative speed of rotation for a capacitor bank are developed. The average MTBF for a diesel-generator set of variable speed of rotation of the internal combustion engine shaft and for a diesel-generator set of constant speed of rotation are calculated

Keywords: diesel-generator set, forecasting of technical condition, MTBF, average MTBF, failure rate.

ИЗУЧЕНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ КАМЕРЫ ГЛУБИНЫ В МЯГКОМ АКТУАТОРЕ СИЛЬФОННОГО ТИПА

АЛТАРЕВ ДМИТРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

студент гр. МР-21-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

КАЗЮРА НИКОЛАЙ ВАДИМОВИЧ

студент гр. МР-21-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

БЕЛОКОПЫТОВ РУСЛАН НИКОЛАЕВИЧ

Научный руководитель, старший преподаватель кафедры автоматизированного электропривода и робототехники

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: для управления роботом-манипулятором, сделанного на основе мягких надувных актуаторов, необходимо применять достаточно гибкую обратную связь. Конкретно в данной статье будет разобрана сенсорная обратная связь на основе камер глубины.

Ключевые слова: Камера глубины, актуатор, волоконная брэгговская решетка, нейронная сеть.

Представленная идея заключается в возможности робота видеть состояние собственных актуаторов, чего относительно просто можно добиться, используя внешние камеры для захвата движений. Но их применения не всегда является возможным – развертывание манипулятора за пределами лаборатории может быть либо крайне затруднительным, либо вовсе невозможным.

Но конструкция мягких актуаторов, сделанных на основе сильфонов, позволяет разместить камеру высокого разрешения непосредственно внутри самого привода. В таком случае пропадает нужда в механическом взаимодействии привода с датчиком, что позволяет сохранить ее пластичность.

Данное применение сенсорной обратной связи позволяет добиться снятия показаний по двум осям вращения благодаря использованию программы на основе нейронной сети, что так же позволяет прогнозировать траекторию движения руки-манипулятора.

Подход, основанный на использовании камер, позволяет получать данные о положении манипулятора в реальном времени с достаточно высокой точностью. А отсутствие механического взаимодействия значительно повышает надежность всей конструкции в целом.

Но перед описанием принципа работы стоит провести сравнение с другими сенсорными датчиками, чтобы иметь представление о всех преимуществах представленной системы.

Одним из способов снятия показаний представленным датчиком является измерение светопропускаемости материала [1], которое изменяется в следствии деформации мягкого материала актуатора. Но данное решение сильно ограничивает выбор материала привода. Возможно применение оптических волноводов [2], что значительно усложняет и удорожает конструкцию.

Более интересной задумкой является использование светоотражающей конструкции [3]. Используя фототранзистор становится возможным измерять интенсивность света испускаемого LED-светодиодами, прикрепленных к противоположному концу привода. Увеличение расстояния пропорционально уменьшает интенсивность, следовательно, меняя выходной сигнал фоторезистора. Но недостатком является высокая сложность измерения отклонения по нескольким осям.

Следующим достаточно интересным способом снятия показаний является система на основе волоконной брэгговской решетки (ВБР) [4]. Использование датчиков с ВБР позволяет визуально наблюдать деформацию материала через движение визуальных элементов, расположенных непосредственно в материале привода. Данный метод позволяет с достаточной точностью отслеживать все движения актуатора.

Данный метод и является основным для реализации поставленной задачи. Использование ВБР позволяет разместить камеры непосредственно внутри привода. Если сравнивать это с использованием камер, расположенных вокруг робота, то внутреннее расположение позволяет спроектировать область наблюдения, исключая внешние воздействия. Нанесение рисунка на внутреннюю поверхность мягких актуаторов позволяет получить картинку богатую информацией о расположении каждого сильфона. Как итог мы получаем привод, не зависящий от места монтажа и не привязанный к лаборатории, а также защищенный от помех, наведенных внешними источниками.

Самым главным преимуществом является также возможность обнаружения светового потока, который можно улавливать после отражения от ВБР [5]. Комбинация отслеживания рисунка и оптического потока необходимо для отслеживания рядов маркеров, их контактов между собой и сдвига мембраны сильфонов, что позволяет в полной мере контролировать движения и силу взаимодействия привода.

Непосредственно само определение трехмерной формы робота камерой основано на использовании камеры глубины [6]. Для полноценного использования данного датчика необходимо в достаточной мере обучить нейронную сеть. Чтобы заложить основы понимания траекторий движения возможно использовать внешние камеры, это позволит спроектировать виртуальную модель робота и предсказывать траекторию ее движения в реальном времени. Данный метод основан на архитектуре сверточной нейронной сети [7], где обработка массива информации осуществляется непосредственно на графическом процессоре GPU, что позволяет более равномерно распределить нагрузку на систему.

Главной сложностью в данной работе является непосредственно сама интеграция ВБР в сильфоны привода. Так же необходимо брать в учет деформацию актуатора в полностью открытом положении – в таком положении часть рисунка перекрывается самими сильфонами, что может значительно повлиять на обработку массива данных. Кроме того, проблемой является высокая размерность данных, которые необходимо обрабатывать в реальном времени. Данный подход, несмотря на применение оптимизированного подхода по распределению нагрузки, является довольно требовательным к вычислительной мощности.

Список литературы

1. Sareh, S., Noh, Y., Li, M., Ranzani, T., Liu, H., and Althoefer, K. (2015). Macrobend optical sensing for pose measurement in soft robot arms. *Smart Mater. Struct.* 24, 125024. doi:10.1088/0964-1726/24/12/125024
2. Zhao, H., O'Brien, K., Li, S., and Shepherd, R. F. (2016a). Optoelectronically innervated soft prosthetic hand via stretchable optical waveguides. *Sci. Robot.* 1, eaai7529. doi:10.1126/scirobotics.aai7529
3. Bao, G., Fang, H., Chen, L., Wan, Y., Xu, F., Yang, Q., et al. (2018). Soft robotics: academic insights and perspectives through bibliometric analysis. *Soft Robot.* 5, 229–241. doi:10.1089/soro.2017.0135
4. Wang, H., Totaro, M., and Beccai, L. (2018). Toward perceptive soft robots: progress and challenges. *Adv. Sci.* 5, 1800541. doi:10.1002/advs.201800541
5. McInroe, B. W., Chen, C. L., Goldberg, K. Y., Bajcsy, R., and Fearing, R. S. (2018). Towards a soft fingertip with integrated sensing and actuation,” in 2018 IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems (IROS), Madrid, Spain, October 1–5, 2018, 6437–6444.

6. Wang, R., Wang, S., Du, S., Xiao, E., Yuan, W., and Feng, C. (2020). Real-time soft body 3d proprioception via deep vision-based sensing. *IEEE Robot. Autom. Lett.* 5, 3382–3389. doi:10.1109/LRA.2020.2975709

7. She, Y., Liu, S. Q., Yu, P., and Adelson, E. (2020). “Exoskeleton-covered soft finger with vision-based proprioception and tactile sensing,” in 2020 IEEE international conference on robotics and automation (ICRA), Paris, France, May 31, 2020, 10075–10081.

STUDY OF DEPTH CHAMBER APPLICATION IN A SOFT BELLOWS-TYPE ACTUATOR

ALTAREV DMITRIY ALEXANDROVICH

student of gr. MR-21-1
Lipetsk State Technical University

KAZYURA NIKOLAY VADIMOVICH

student of gr. MR-21-1
Lipetsk State Technical University

BELOKOPYTOV RUSLAN NIKOLAEVICH

Scientific supervisor, senior lecturer of the Department of Automated Electric Drive and Robotics
Lipetsk State Technical University

Abstract: To control a robot-manipulator made on the basis of soft inflatable actuators, it is necessary to apply a sufficiently flexible feedback. Specifically, in this paper, depth camera based sensory feedback will be deconstructed.

Keywords: Depth camera, actuator, fiber Bragg grating, neural network.

СНИЖЕНИЕ ПРОСАДОК НАПРЯЖЕНИЯ СЕТИ С ПОМОЩЬЮ ДИНАМИЧЕСКОГО КОМПЕНСАТОРА ИСКАЖЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ

АРНАУТОВ АРТЁМ ВАЛЕНТИНОВИЧ

студент гр. А-ЭП-23

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

МЕЩЕРЯКОВ ВИКТОР НИКОЛАЕВИЧ

Научный руководитель, заведующий кафедрой электропривода

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: в статье рассматривается способ компенсации просадок трёхфазного напряжения в сети. Анализируется модель динамического компенсатора в программе MatlabSimulink. Приводится система из асинхронного двигателя и динамического компенсатора, которые подключены к трёхфазному источнику напряжения с просадками. Предлагаются несколько способов компенсации и на графиках рассматриваются основные характеристики двигателя.

Ключевые слова: динамический компенсатор, асинхронный двигатель, фильтр, трёхфазная сеть, действующее напряжение.

Важность качества напряжения в сетях переменного тока растёт с каждым годом [1]. В современной промышленности всё чаще появляются устройства и агрегаты, которые чувствительны к просадкам напряжения. На предприятиях чёрной металлургии эта проблема является одной из основных. На агрегатах непрерывного производства резкое падение напряжение может привести к значительному ущербу. Так, например, при отключении двигателей из-за падения напряжения на агрегате непрерывного отжига полоса металла остаётся длительное время в печи, что приводит к порче как продукции, так и печных роликов агрегата. Согласно действующему ГОСТу 13109-97- провал напряжения это - внезапное понижение напряжения в точке электрической сети ниже 0,9 от номинального напряжения, за которым следует восстановление напряжения до первоначального или близкого к нему уровня через промежуток времени от десяти миллисекунд до нескольких десятков секунд.

Существует несколько способов устранения этого явления. К наиболее распространённым относят установку различных фильтров [2]. Среди них часто применяют конденсаторы или батареи конденсаторов, для устранения кратковременных просадок напряжения. Как правило число конденсаторов соответствует количеству нагрузок. Такой способ хорош, когда реактивная мощность каждой из нагрузок меняется незначительно. Недостатком является то, что необходима очень большая ёмкость для компенсации даже небольших падений напряжения, также нужна схема предзаряда конденсатора. Помимо конденсаторов для поддержания постоянного уровня напряжения используют синхронные компенсаторы. Они представляют собой синхронный двигатель, который работает без нагрузки. Обычно синхронная машина работает в режиме перевозбуждения и является генератором реактивной мощности. Чтобы этого добиться её ненадолго отключают от сети и подключают к ёмкостной нагрузке, что ведёт к дополнительному намагничиванию ротора. И после этого синхронную машину обратно подключают к сети, при этом из-за перевозбуждения её скорость вращения станет меньше, а напряжение статора больше. Как правило это напряжение ограничивают, чтобы не повредить обмотку. Синхронный компенсатор в свою очередь способствует повышению коэффициента мощности и стабилизирует напряжение в сети. Коэффициент мощности зачастую увеличивают до 0,92–0,95, так как экономия, получаемая от повышения коэффициента мощности до единицы, не компенсирует растущие издержки, связанные со значительным увеличением мощности синхронного компенсатора. Как правило на предприятиях их устанавливают недалеко от потребителей реактивной

мощности, которыми могут являться асинхронные двигатели, мощные индукционные печи, трансформаторы и так далее.

В современной промышленности всё чаще применяют статические синхронные компенсаторы искажения напряжения [3]. Они представляют сложные, комплексные устройства, обычно состоящие из следующих компонентов:

1. Мощных реакторов и конденсаторов, которые выступают в качестве фильтров.
2. Преобразователя напряжения или тока, в зависимости от требуемой скорости быстрогодействия и уровня возможных просадок напряжения.
3. Системы управления.
4. Согласующего трансформатора, для отдачи энергии обратно в сеть.
5. Коммутирующей и защитной аппаратуры.

Статические синхронные компенсаторы представляют собой альтернативу другим устройствам компенсации реактивной мощности [4]. Они способны очень быстро изменять величину компенсируемой реактивной мощности. Такие компенсаторы могут как подавать, так и потреблять ёмкостную и индуктивную мощности. Статические синхронные компенсаторы могут также подавлять сетевые гармоники, улучшая таким образом качество напряжения. Также по сравнению с синхронными двигателями дешевле в обслуживании.

Всё чаще в современных электрических сетях применяют устройства компенсации фазового угла. Такие устройства позволяют регулировать угол открытия транзисторов или тиристоров. В результате этого синусоидальное напряжение теряет часть своей полуволны и снижается действующее напряжение в сети. Обычно для этих цели используют фазосдвигающий трансформатор с тиристорным управлением. Такие устройства просты и имеют недорогую систему управления. Из недостатков можно выделить искажение формы выходного напряжения, большой коэффициент пульсации и как правило не большой коэффициент мощности.

Более перспективным устройством для компенсации провалов напряжения в сетях переменного тока является динамический компенсатор искажений напряжения. Он представляет собой устройство с пофазным регулирование напряжения. Обычно динамический компенсатор подключается параллельно к той же сети, в которой и происходит просадка напряжения. Динамические компенсаторы искажений напряжения состоят из конденсаторов, которые должны быть заряжены, для последующего расхода своей энергии на добавку по напряжению. Системы управления устройства бывают разными, они могут сравнивать синусоидальное напряжение с идеальным, либо фиксировать просадку по действующему напряжению или переводить сигнал в проекцию векторов. Далее, когда компенсатор видит просадку, он открывает ключи, которые как правило представляют из себя полупроводниковые элементы и делает добавку по напряжению, через повышающий трансформатор, чтобы сигнал был таким же, как и до просадки.

В своей работе я рассмотрел модель динамического компенсатора искажений напряжения в среде MatlabSimulink. На рисунке 1 представлена полученная система. Изначально я создал трёхфазную сеть с частотой 50 Гц и напряжением 400 В. Далее сконфигурировал систему управления, она показана на рисунке 2. В качестве нагрузки был выбран асинхронный двигатель с параметрами, которые представлены на рисунке 3 [5]. Блок для формирования просадки напряжения представлен на рисунке 4. Сначала он формирует номинальное напряжение, а затем через 1 секунды снижает его до 220 В и через 2 секунды после этого возвращает напряжение обратно до 400 В. Система управления работает следующим образом: сравнивается действующее значение напряжения в блоке RMS, далее если напряжение больше или равно действующему фазному, то ничего не происходит, и напряжение напрямую подаётся в двигатель. Если же возникает просадка напряжения в фазе, то система управления рассчитывает и выдаёт сигнал на открытие ключей и задание коэффициента трансформации на повышающий трансформатор. Таким образом происходит

компенсация напряжение при просадке. При составлении модели были приняты ряд допущений, а именно:

1. Конденсаторы предварительно заряжены.
2. Выбраны идеальные управляемые ключи.
3. Не учтены возможные гармоники в трёхфазной сети.

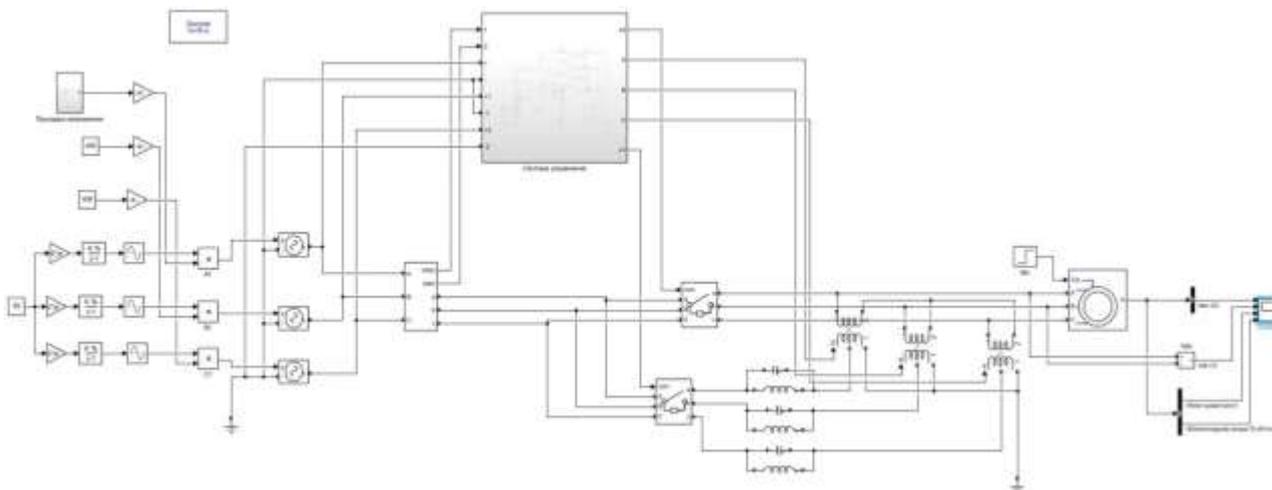


Рисунок 1 – Модель динамического компенсатора искажений напряжения

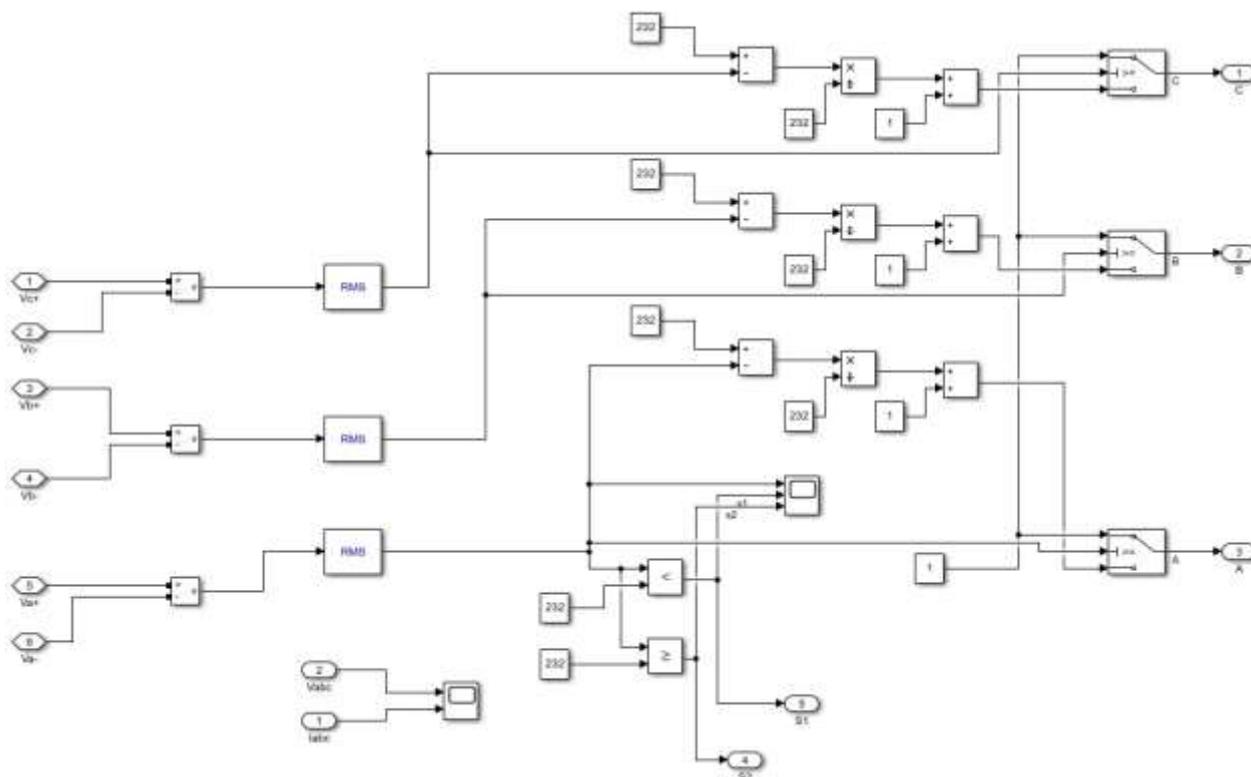


Рисунок 2 – Система управления динамического компенсатора искажений напряжения

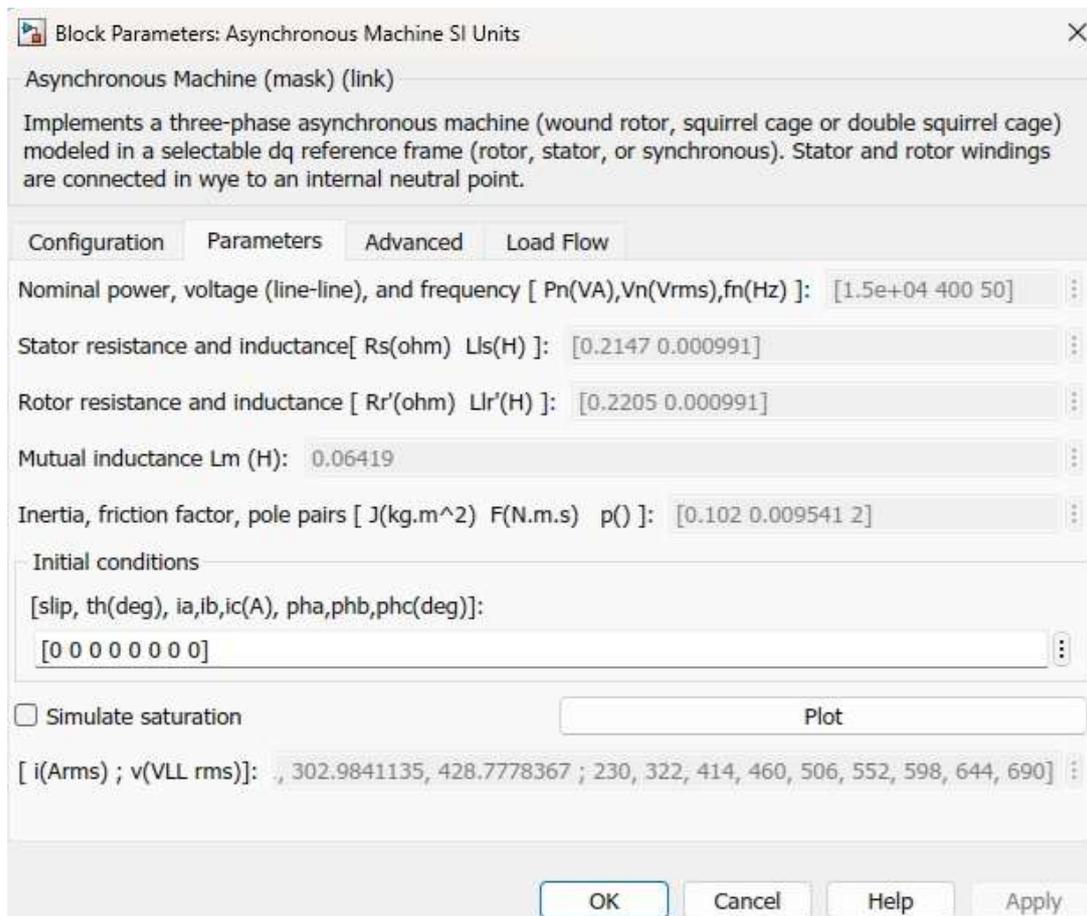


Рисунок 3 – Параметры асинхронного двигателя

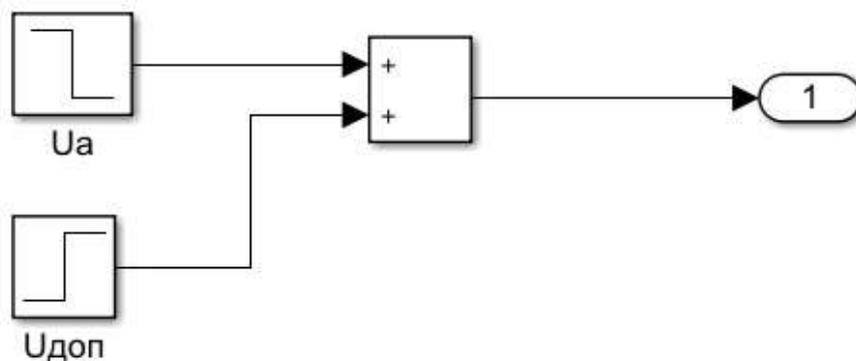


Рисунок 4 – Блок, формирующий просадку напряжения

Список литературы

1. ГОСТ 24291-90 Электрическая часть электростанции и электрической сети. Термины и определения.
2. Основы электроснабжения промышленных предприятий / А.А. Федоров, В. В. Каменева. Учебник для ВУЗов. – Москва: Энергоатомиздат, 1984. – 297 с.
3. Сибикин, Ю.Д. Основы электроснабжения объектов: учебное пособие / Ю.Д. Сибикин. – Москва; Берлин: Директ-Медиа, 2020. – 329 с.
4. Васильев, А.С. Уфа Р.А. Управляемые электропередачи на базе силовой электроники / Учебное пособие. – Томск: Томский политехнический университет, 2021. – 108 с.
5. Характеристики двигателей в электроприводе. / С.Н. Вешеневский Издание 6-е, исправленное – Москва: Энергия, 1977. – 181 с.

REDUCING NETWORK VOLTAGE SAGGES USING A DYNAMIC

VOLTAGE DISTORTION COMPENSATOR

ARNAUTOV ARTEM VALENTINOVICH

Student gr. A-EP-23

Lipetsk State Technical University

MESHCHERYAKOV VIKTOR NIKOLAYEVICH

Scientific supervisor, head of the Electric Drive Department

Lipetsk State Technical University

Abstract: the article considers a method for compensating for three-phase voltage drops in the network. The model of a dynamic compensator in the Matlab Simulink program is analyzed. A system of an asynchronous motor and a dynamic compensator, which are connected to a three-phase voltage source with drops, is given. Several compensation methods are proposed and the main characteristics of the motor are considered in the graphs.

Keywords: dynamic compensator, asynchronous motor, filter, three-phase network, effective voltage.

ОБЗОР ПРИМЕНЕНИЯ РОБОТОВ-ПОМОЩНИКОВ

БАВЫКИНА АЛИНА АЛЕКСЕЕВНА

студентка гр. МР-21-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственных технический университет»

БЕЛОКОПЫТОВ РУСЛАН НИКОЛАЕВИЧ

Научный руководитель, старший преподаватель кафедры автоматизированного электропривода и робототехники

ФГБОУ ВО «Липецкий государственных технический университет»

Аннотация: целью данной работы является рассмотрение возможности применения роботов-помощников для людей с ограниченными возможностями здоровья. Предметом исследования являются области практического применения. Описываются существующие проекты от крупных организаций по использованию роботов-помощников.

Ключевые слова: робот-помощник, люди с ограниченными возможностями здоровья, вспомогательные технологии.

В настоящее время роботы-помощники все больше набирают популярность в различных областях человеческой деятельности. Собственный интерактивный автоматизированный помощник на протяжении долгого времени был в мечтах у многих людей, поэтому данная тема вызывает интерес у широкого круга специалистов и простых пользователей. Так как роботизированные устройства предлагают новые возможности и перспективы для продуктивной работы, улучшения жизненных условий и облегчения выполнения повседневных дел, они востребованы на рынке технологий.

Робот помощник – это автономное или полуавтономное устройство с сенсорами, механизмами и программным обеспечением, которое предназначено для осуществления различных задач с целью упрощения жизни людей или оптимизации рабочего процесса. Такие роботы могут быть как физическими механическими устройствами, так и программными алгоритмами, которые работают на компьютерах

В 2024 году в Российской Федерации заметно выросло количество людей, которые нуждаются в сторонней помощи, но не у каждого имеются родственники или знакомые, готовые ее оказать. Поэтому лучшим вариантом для таких людей будет приобретение домашнего робота-помощника, который сможет решить некоторые жизненные трудности. В идеальном случае такой робот должен быть наделен искусственным интеллектом, чтобы быстро обучаться в процессе его эксплуатации, а также наиболее эффективно послужить человеку. Но прежде всего, стоит определить категории людей, которые нуждаются в приобретении данных устройств.

В первую очередь государство может предоставить личных помощников людям с ограниченными возможностями здоровья I группы, которые частично или полностью парализованы. В простом виде такой робот может быть представлен как рука-манипулятор, но лучшим вариантом будет полноценный робот.

Для людей с ограниченными возможностями здоровья II, III и IV групп с проблемой нервной системы (шизофрения, сильная психологическая травма, депрессия, деменция), которая сопровождается значительным нарушением психоэмоционального состояния, можно предложить роботов-помощников, обладающих возможностями не только по предотвращению дальнейшего развития болезни, но и по улучшению психического состояния пользователя. К примеру, такой робот может напрямую консультировать человека в жизненных вопросах, дискутировать на различные темы, оказывать эмоциональную поддержку и мотивировать. Важнейшая функция такого робота – ограждение своего пользователя от опасностей, которым он может себя подвергнуть.

На рисунке 1 представлена схема распределения роботизированных помощников в соответствии с группой ограниченных возможностей здоровья.



Рисунок 1 – Схема распределения роботизированных помощников

В таблице ниже приведены примерные стоимости машинных помощников на Российском рынке.

Таблица 1 – Стоимость роботов-помощников на Российском рынке

Название	Производитель	Назначение	Стоимость
HumanSupportRobot	Toyota	Робот-дворецкий	25 млн.р
Инвалидная коляска с экзоскелетом	Ortonica Pulse	Инвалидная коляска с экзоскелетом	3,5млн.р
R.Bot 100	«R.Bot»	Интерактивный мобильный робот	450 т.р
Интерактивный тренажер слухоречевого развития	«Некс-Т»,	Тренажер для людей с нарушением слуха и речи	500 т.р
Коляска-вездеход	«Катервиль»	Электроприводная инвалидная коляска	400 т.р.
Функциональное протезирование	«Моторика»	Протез верхней конечности	80-100 т.р
Принтер Брайля	ЦМИТ	Принтер со шрифтом Брайля	10-20 т.р

Таким образом, можно сделать вывод, что использование роботов-помощников для людей с ограниченными возможностями здоровья имеет значительный потенциал для

повышения качества жизни. Современные технологии позволяют создавать умные устройства, способные самостоятельно выполнять разнообразные задачи и обеспечивать поддержку в повседневных делах. Широкое внедрение данных роботов-помощников ограничивает стоимость данных изделий, которая в большинстве случаев является неподъемной.

В современном мире технологии располагают к минимизации усилий при выполнении каких-либо бытовых задач с целью экономии времени. Время, сэкономленное благодаря роботу, можно потратить на более важные задачи, которые не требуют вмешательства машины. Поэтому такого помощника человек может приобрести самостоятельно, не имея при этом ограничений по здоровью. Дальнейшее исследование и развитие роботов-помощников открывают широкие перспективы для повышения качества жизни людей.

Список литературы

1. Попова, А.А. Роботизированная техника: поколенческий аспект использования в повседневной жизни [Электронный ресурс] / А.А. Попова, М.С. Хижнякова, Ю.В. Гаврилова // Социально-гуманитарные знания: н. журнал. – Москва, НИУ, 2022. - №5.

2. Джонсон, М. Обзор вспомогательных роботов для ухода за пожилыми людьми [Электронный ресурс] / М. Джонсон, Р. Смит, Л. Вонг // Научная статья. – Амстердам, НТУ, 2019. - №2.

3. Ён-Хва Парк. Роботизированное лечение и реабилитация пациентов [Электронный ресурс] / Ён-Хва Парк, Дэ-Хван Ли, Юнг-Хо Ли // Специальный выпуск Медицина: сб. науч. тр. – Сокчхо, Кёндонский университет, 2024. - №4.

4. Черепанов, П.Ю. Основные направления развития робототехники [Электронный ресурс] / П.Ю. Черепанов, П.А. Романов // Современные инновации: н. журнал. – Челябинск, ЮУГУ, 2017. - №1.

5. Русякова, Е.Е. Теория и практика использования робототехники в образовательном процессе [Электронный ресурс] / Е.Е. Русякова, О.В. Пустовойтова, Ю.П. Киселёва, Л.А. Яковлева // Высшее образование в России: н. журнал. – Магнитогорск, МГТУ, 2019. - №6.

OVERVIEW OF USE OF ROBOTIC ASSISTANTS

BAVYKINA ALINA ALEKSEEVNA

Student gr. MR-21-1

Lipetsk State Technical University

BELOKOPYTOV RUSLAN NIKOLAEVICH

Scientific supervisor, senior lecturer of the Department of Automated Electric Drive and Robotics

Lipetsk State Technical University

Abstract: the purpose of this work is to analyze the possibility of using robotic assistants for people with disabilities. The subject of the research is areas of practical application. Existing projects from large organizations using robotic assistants are described in this article.

Keywords: robot assistant, people with disabilities, assistive technologies.

РОБОТЫ В СОВРЕМЕННОМ СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

БАРАШКОВА ДАРЬЯ ВЛАДИМИРОВНА

студентка гр. МР-21-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

БЕЛОКОПЫТОВ РУСЛАН НИКОЛАЕВИЧ

Научный руководитель, старший преподаватель кафедры автоматизированного электропривода и робототехники

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: в данной статье рассматриваются различные виды современных сельскохозяйственных роботов, описываются принципы работы, а также особенности устройства и применения таких роботов.

Ключевые слова: роботы, автоматизация, сельское хозяйство, сельскохозяйственные роботы.

В настоящее время большинство аграрных хозяйств все еще использует ручной труд для сбора урожая. Прополка и опрыскивание пестицидами и удобрениями, культивация земли производится в основном с помощью специальных полуавтоматических машин (комбайнов, тракторов). В данной работе рассматриваются типы современных передовых роботов, использующиеся в сельских хозяйствах по всему миру.

Для точечного сбора урожая используются шестиосевые уборочные роботы, оснащенные датчиками и камерами, которые позволяют им взаимодействовать с окружающим миром. В основе таких роботов лежит многосуставная рука, которая имитирует движения человеческой руки. Рука приводится в действие электродвигателями, которые обеспечивают диапазон движения по шести осям и позволяют ей маневрировать с большой скоростью и точностью. Движениями робота управляет сложная система компьютерного зрения, использующая камеры с высоким разрешением и передовые алгоритмы для идентификации спелых фруктов и овощей. Камеры фиксируют изображение плода, затем алгоритмы анализируют это изображение, чтобы определить цвет, размер и степень зрелости. На конце руки находится специальный мягкий захват для удерживания плодов. Пример модели робота-сборщика приведен на рисунке 1.

Для удаления сорняков современные прополочные роботы используют в основном механическую прополку – крошечные манипуляторы, оснащенные специальными инструментами (шланг или ролики) аккуратно выдергивают сорняки из почвы. Также проводится термическая прополка, во время которой лучи лазера или струи горячей воды точно воздействуют на сорняки. Прополочные роботы используют технологию распознавания изображения для устранения сорняков. Эти роботы находятся на подвижных высокопрочных платформах и оснащены высокотехнологичными камерами, которые делают детальные снимки местности. Специальные программы анализируют полученные снимки, чтобы определить разницу между сорняками и культурными растениями.



Рисунок 1 – Автономный сборщик земляники Rubion от компании Octinion

Прополочные роботы не имеют универсальной формы и разрабатываются специально для определенных видов ландшафта и культур. Некоторые используют гусеницы вместо колес или даже размещаются на беспилотных летательных аппаратах. Пример колесного прополочного робота приведен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Прополочный робот FarmDroid от компании HortiBot

Посадка культурных растений представляет собой сложный процесс выбора времени, интервалов и точности высадки. Роботы-рассадчики, оснащенные GPS-приемниками и интеллектуальными механизмами посадки (датчиками и инструментами), наносят на карту необходимую местность. Составленные карты ориентируют их, обеспечивая точное расстояние между семенами, исключая возможность неравномерного распределения. Роботы сеяльщики также могут подобрать оптимальную глубину посадки, что обеспечивает получение большего количества урожая. Пример промышленного робота рассадчика представлен на рисунке 3.



Рисунок 3 – Робот-рассадчик RoBoPlant от компании ISOGroup

В связи и растущим риском экологических загрязнений, традиционные методы распределения удобрений уступают место более точным и экологичным автоматизированным методам. Современные роботы-удобрители оснащены лазерной фокусировкой и высокой точностью определения местоположения. Камеры и датчики, расположенные на роботе, сканируют отдельные растения, анализируя их потребность в питательных веществах на основе размера, цвета и других факторов. Затем на основе полученной информации специализированные опрыскиватели доставляют точное количество удобрений непосредственно к корням, стеблям или листьям растений. Встроенные базы данных роботов-удобрителей содержат всю необходимую информацию о конкретных культурах и видах почв, что позволяет им создавать оптимальные смеси удобрений на месте. Пример специализированного робота для внесения удобрений приведен на рисунке 4.



Рисунок 4 – Робот-удобритель для кукурузы Rowbot

На основе рассмотренных типов сельскохозяйственных роботов можно сделать вывод, что с повышением автоматизации в фермерских хозяйствах повышается их общая продуктивность. Создание более совершенных сельскохозяйственных роботов является перспективным направлением в робототехнике.

Список литературы

1. Иванов, А.А Основы робототехники: учебное пособие / Иванов А.А. – Москва: ИНФРА-М, 2021. – 223 с.
2. Трубилин, А.И. Автоматизация технологических процессов в растениеводстве и животноводстве / А.И. Трубилин, С.М. Борисова, С.М Сидоренко. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 310 с.
3. Абросимов, В.К. Интеллектуальный агроробот для решения задач точного земледелия / В.К. Абросимов, В.В. Елисеев // Экстремальная робототехника: сб. статей. – Москва, 2018. - №1. – С.125-131.
4. Акимов, А.А. Получение экологически чистой продукции растениеводства в звеньях севооборота / Акимов А.А // Инновационные подходы к развитию науки и производства регионов: сб. науч. тр. – Тверь, 2019. – С.13-15.
5. Эфендиева, А.А. Анализ мирового опыта реализации инновационных проектов в области сельскохозяйственной робототехники /А.А Эфендиева, Э.Е. Калова, И.А. Карданова, А.А. Махосhev // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2017. - № 6-2 (80). – С.260-263.

ROBOTS IN MODERN AGRICULTURE

BARASHKOVA DARYA VLADIMIROVNA
student gr. MR-21-1
Lipetsk State Technical University

BELOKOPYTOV RUSLAN NIKOLAEVICH
Scientific supervisor, senior lecturer of the Department of Automated Electric Drive and Robotics
Lipetsk State Technical University

Abstract: this article discusses various types of modern agricultural robots, describes the principles of operation, as well as the design features and application of such robots.

Keywords: robots, automation, agriculture, agricultural robots.

СВОЙСТВА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕГАЗА В ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ

БАРАШКОВА ДАРЬЯ ВЛАДИМИРОВНА

студент гр. МР-21-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ПОНОМАРЕВ ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ

Научный руководитель, преподаватель кафедры автоматизированного электропривода и Робототехники

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: в данной работе описываются основные свойства гексафторида серы SF_6 , способ его получения, а также особенности и риски, связанные с его использованием.

Ключевые слова: гексафторид серы, элегаз, электротехника.

Гексафторид серы SF_6 , также называемый элегазом, при нормальных условиях представляет собой газ. Элегаз имеет высокую сопротивляемость электрическому полю, пробивное напряжение у него выше, чем у воздуха. Название элегаз это сокращение от «электрический газ». Этот газ в шесть раз тяжелее воздуха при нормальных условиях, что отражается на его эксплуатационных свойствах. Элегаз не имеет ни цвета, ни запаха и при утечке будет собираться внизу, постепенно заполняя объем помещения снизу-вверх и вытесняя воздух. Также этот газ не горит, не растворяется в кислотах, щелочах, плохо растворяется в воде и полностью химически инертен.

Как было сказано выше, при нормальных условиях элегаз находится в состоянии газа, но при повышении давления или понижении температуры он может менять своё агрегатное состояние. Экспериментально было установлено, что:

1) при температуре $+45^{\circ}C$ и давлении 37,7 бар элегаз находится в критической точке переходит в состояние пара (смеси жидкости и газа);

2) при температуре $-50,8^{\circ}C$ и давлении 2,25 бара элегаз существует одновременно в трех агрегатных состояниях – газ, жидкость и лед (твердое состояние), эту точку называют тройной;

3) при температуре ниже $-50,8^{\circ}C$ элегаз превращается в лед, минуя жидкое состояние.

Так как на практике газ редко может существовать без примесей, приведенные выше точки перехода могут незначительно отличаться в различных источниках [1].

Интересны также диэлектрические свойства SF_6 – при давлении в 3 бара пробивное напряжение элегаза в 2,5 раза выше, чем у воздуха и практически равно значению пробивного напряжения трансформаторного масла (рисунок 1).

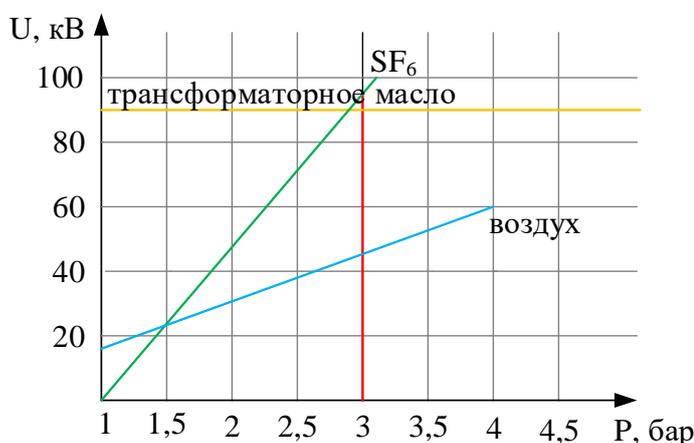


Рисунок 1 – Зависимость пробивного напряжения трансформаторного масла, воздуха и SF_6 от давления

Элегаз активно используется в КРУ (КРУЭ) – комплектных распределительных устройствах (комплектных распределительных устройствах с элегазовой изоляцией) [2]. Так как элегаз не горит, его использование вместо трансформаторного масла повышает пожаробезопасность устройств. Также молекулы SF₆ способны захватывать свободные электроны, что помогает в изолировании электричества.

Получается элегаз путем сжигания серы в среде фтора. В процессе образуется масса побочных продуктов (комбинаций серы, фтора и кислорода), которые не обладают необходимыми изоляционными свойствами. Поэтому после сжигания серы получившийся газ проходит процесс очистки, а затем сжижения. Полностью очистить газ от примесей невозможно, но существуют нормы содержания других веществ в смеси. Содержание SF₆ в общем объеме должно превышать 99,9% [3].

Еще одно интересное свойство элегаза это его способность при воздействии электрической дуги разлагаться на компоненты (SF₂, SF₄), а после окончания дуги вновь образовывать элегаз. Однако SF₆ в аппарате, в котором горит дуга, может содержать примеси, такие как пары воды и кислород. В результате горения в такой смеси могут образовываться различные фториды, некоторые из которых токсичны. Также дуга плавит частицы металла и разбрызгивает их вокруг себя, что тоже приводит к образованию новых веществ в среде элегаза [4]. Часть образовавшихся веществ оседает на стенках устройства, другая часть остается в общем объеме газа внутри. Для удаления осадков во время ревизии используются в основном растворы щелочей.

Элегаз опасен для человека, так как способен вытеснить воздух, и для него существует строго определенная предельно допустимая концентрация в воздухе рабочей зоны. Согласно СТО-56947007-29.240.35.184-2014 Комплектные распределительные устройства с элегазовой изоляцией в металлической оболочке (КРУЭ): «предельно допустимая концентрация элегаза в воздухе рабочей зоны согласно ГОСТ 12.1.005 должно быть не более 5000 мг/м³ или 0,008% по объему» [5]. Наиболее опасным из образующихся при дуге соединений является бесцветный газ SOF₂, или тионилфторид, который имеет сильный запах. Поэтому в рабочих зонах, где возможно возникновение в смеси элегаза SOF₂, предельно допустимая концентрация не должна превышать 0,002% по объему воздуха рабочей зоны.

Благодаря своим уникальным химическим и физическим свойствам, элегаз может быть применен в различных областях, таких как изоляция проводников, создание газоразрядных ламп, ионизация газов, а также в качестве рабочего вещества в плазменных установках, что демонстрирует его потенциал как универсального материала, способного улучшить производительность и эффективность различных электротехнических устройств. Однако использование элегаза требует тщательного контроля за безопасностью в рабочей зоне.

Таким образом, использование элегаза в электротехнике представляет собой перспективное направление, которое может привести к разработке новых технологий и улучшению существующих электротехнических систем.

Список литературы

1. Зацаринная, Ю.Н. Элегаз и его применение в электроэнергетике / Зацаринная Ю.Н., Габбасов М.Ф., Зорин А.П // Вестник Казанского технологического университета: сб. статей. - 2014. - №6. - С.137-138.
2. Кириллов, Г.А. Комплектные распределительные устройства с элегазовой изоляцией / Кириллов Г.А., Кашин Я.М, Шкода В.В. // Вестник Адыгейского государственного университета: сб. статей. - 2018. - №4. – С.214-218.
3. Лопатин, В.П. Современное элегазовое электрооборудование подстанций систем электроснабжения и особенности его эксплуатации / Лопатин В.П, Ишмухамедов И.К. // Электротехнические и информационные комплексы и системы: сб. статей. - 2015. - №1. – С.63-71.

4. Петрова, В.В. Проблема эксплуатации элегазовых выключателей / Петрова В.В. // Вестник науки и образования: сб. статей. - 2018. - №8.

5. СТО 56947007- 29.240.35.184-2014 Комплектные распределительные устройства с элегазовой изоляцией в металлической оболочке (КРУЭ) 110 кВ и выше. Общие технические условия: стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС», введ. 16.09.2014. – 2014 г. - 78 с.

PROPERTIES AND APPLICATIONS OF GAS IN ELECTRICAL ENGINEERING

BARASHKOVA DARYA VLADIMIROVNA

student of gr. MR-21-1

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

PONOMAREV PAVEL SERGEYEVICH

Scientific supervisor, lecturer of the Department of Automated Electrical Drive and Robotics Robotics

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

Abstract: this work describes the main properties of sulfur hexafluoride SF₆, the method of its preparation, as well as the features and risks associated with its use.

Keywords: sulfur hexafluoride, SF₆ gas, electrical engineering.

ЭЛЕКТРОПРИВОД ПЕЧНЫХ РОЛИКОВ АГРЕГАТА НЕПРЕРЫВНОГО ГОРЯЧЕГО ЦИНКОВАНИЯ

БАРАШКОВА ДАРЬЯ ВЛАДИМИРОВНА

студентка гр. МР-21-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

МУЗЫЛЕВА ИННА ВАСИЛЬЕВНА

Научный руководитель, доцент кафедры автоматизированного электропривода и робототехники

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: в данной статье описывается устройство электропривода печных роликов агрегата непрерывного горячего цинкования. Также рассматривается возможная структура управления электроприводом.

Ключевые слова: электропривод, электротехника, инвертор напряжения.

В агрегате непрерывного горячего цинкования до процесса покрытия цинком, полоса холоднокатаной стали проходит через процедуру отжига в печи. Прохождение полосы через печное устройство обеспечивается печным рольгангом, который приводится в движение с помощью группового электропривода. В данной статье рассматривается система из инверторов напряжения и асинхронных двигателей. Упрощенная схема привода печных роликов приведена на рисунке 1.

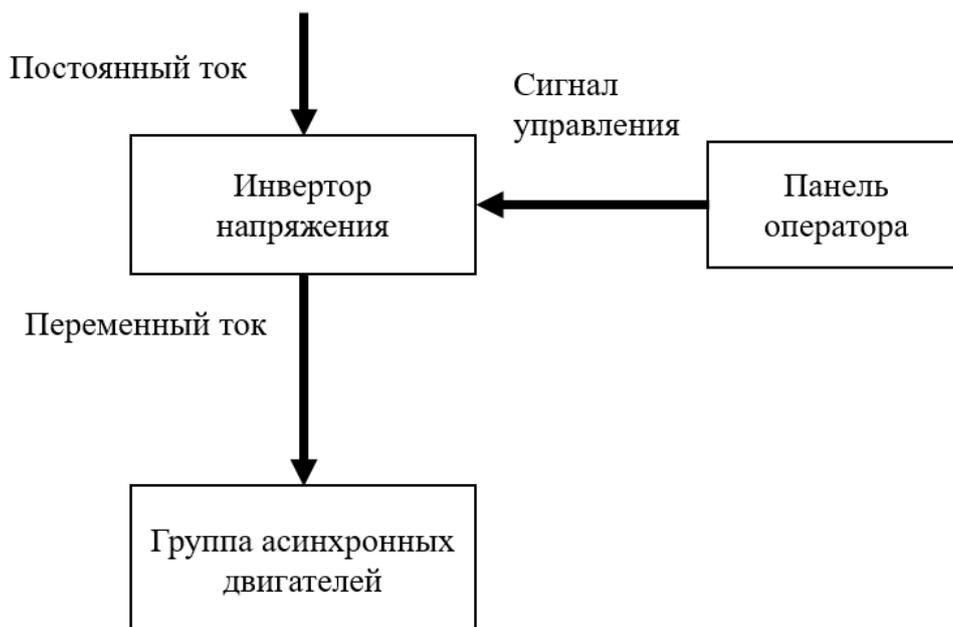


Рисунок 1 – Упрощенная схема привода печных роликов

Инверторы напряжения используются для преобразования постоянного тока, идущего от выпрямительного блока, в переменный ток частотой 50 Гц, необходимый для работы асинхронных двигателей. По внутреннему устройству инвертор напряжения представляет собой сборку нескольких биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT-транзисторы), которые выполняют функцию электронных ключей. Управление транзисторами осуществляется контроллером. Попарное переключение транзисторов позволяет менять частоту и направление тока, а также контролировать напряжение на выходе инвертора.

Для управления электроприводом печного рольганга целесообразно использовать промышленные контроллеры и инверторы. Одним из таких контроллеров является SIMOVERTMASTERDRIVEVectorControl от компании Siemens. В состав системы в качестве модуля входит инвертор для подключения к сети постоянного тока, питаемой блоком выпрямления, а также панель оператора для настройки параметров управления. Данный контроллер может включаться в промышленную сеть с помощью протоколов PROFIBUS-DP и USS, что упрощает его интеграцию в большинство существующих систем управления.

Передвижение полосы холоднокатаной стали с помощью рольганга не требует большой мощности электродвигателя. Для этой задачи подойдет асинхронный трехфазный электродвигатель АИР80В4 с номинальной мощностью 1,5 кВт и номинальной частотой вращения 1400 об/мин.

При необходимости контроля за состоянием двигателей конструкцию можно дополнить датчиками температуры ПТ-100. Такие датчики представляют собой резисторные термометры, в которых измерительное платиновое сопротивление равномерно намотано на каркас и обернуто лентой из стеклоткани. Датчики ПТ-100 могут встраиваться в пазы ротора или статора для измерения температуры обмотки.

Список литературы

1. Петушков, М.Ю. Автономные инверторы: учебное пособие для среднего профессионального образования / М.Ю. Петушков. – 2-е изд., доп. -Москва: Издательство Юрайт, 2024. – 125 с.
2. Хасаев, О.И. Транзисторные преобразователи напряжения и частоты / О.И. Хасаев. – Москва: Наука, 1986. – 176 с.
3. Онищенко, Г.Б. Силовая электроника. Силовые полупроводниковые преобразователи для электропривода и электроснабжения: учебное пособие / Г.Б. Онищенко, О.М. Соснин. – Москва: ИНФРА-М, 2022. – 122 с.
4. Вольдек, А.И. Электрические машины: учебник для студентов высших учебных заведений / А.И. Вольдек. – Ленинград: Энергия, 1978. – 832 с.
5. Шарапов, В.М. Датчики: Справочное пособие / В.М. Шарапов, Е.С. Полищук, Н.Д. Кошевой, Г.Г. Ишанин, И.Г. Минаев, А.С. Совлуков. – Москва: Техносфера, 2012. – 624 с.

ELECTRIC DRIVE OF FURNACE ROLLERS OF CONTINUOUS HOT-GALVANIZING UNIT

BARASHKOVA DARYA VLADIMIROVNA

student of gr. MR-21-1

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

MUZYLEVA INNA VASILEVNA

Scientific supervisor, associate professor of the Department of Automated Electric Drive and Robotics.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

Abstract: this article describes the electric drive device for furnace rollers of a continuous hot-dip galvanizing unit. A possible electric drive control structure is also considered.

Keywords: electric drive, electrical engineering, voltage inverter.

О НЕОБХОДИМОСТИ КОМПЛЕКСНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА БАЗЕ ДВИГАТЕЛЯ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ДВИГАТЕЛЯ

БЕЗБОРОДОВ ЕГОР СЕРГЕЕВИЧ

аспирант 2-ого года обучения, инженер кафедры электроники и электротехники
ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва»

Аннотация: в данной статье освещен вопрос о необходимости проведения комплексного моделирования электропривода на базе машины двойного питания для оценки теплового состояния двигателя при реализации энергоэффективных алгоритмов управления. Приведена математическая модель двигателя 4AK160M4Y3, полученная в COMSOL Multiphysics 6.0, для оценки электромагнитных параметров в статическом режиме.

Ключевые слова: асинхронный двигатель с фазным ротором, алгоритмы управления, двигатель двойного питания, метод конечных элементов, преобразователь частоты.

В процессе проектирования и использования электропривода (ЭП), критическое значение приобретает поддержание температур в пределах нормы для основного электродвигателя, что является ключевым для надежной работы системы в целом. Энергоэффективные управляющие алгоритмы и стратегии широтно-импульсной модуляции (ШИМ), выбранные на этапе разработки, влияют на температуру фазных обмоток и других компонентов двигателя. Адекватные тепловые модели необходимы для оценки этого воздействия, и разработка таких моделей, включая выбор параметров и топологию, представляет собой сложную задачу, зависящую от множества переменных, включая электрические характеристики двигателя, диапазон рабочих скоростей, нагрузки и уникальные конструктивные черты самого двигателя [1].

В результате глубоких теоретических исследований ЭП на базе двигателя двойного питания (ДДП) были синтезированы алгоритмы энергоэффективного управления [2]. Однако оценка эффективности проводилась только с использованием электромагнитных моделей двигателей, как «объектов управления». Проведённого анализа управляющих алгоритмов ДДП может оказаться не достаточным для оценки теплового состояния машины при реализации требуемого режима. Это связано с упрощением модели электрической машины, что привело к таким предположениям, как:

- однородный и постоянный магнитный поток в воздушном зазоре машины;
- виртуализация фазных токов статора и ротора, для анализа ортогонального управления;
- упрощение или игнорирование конструкции машины.

Такие предположения могут сказаться на точности анализа теплового режима двигателя при использовании энергоэффективных алгоритмов управления. Проведение более сложного моделирования, которое расширяет понимание машины с простого «объекта управления» до полноценного «исследуемого объекта», может значительно улучшить оценку эффективности управляющих алгоритмов в отношении ДДП. Однако большинство существующих тепловых моделей двигателей построены с использованием метода эквивалентных цепей. Для данных моделей так же используются упрощения из-за сложности получения или недостаточности данных о геометрии двигателя [3]. В качестве альтернативы для построения тепловой модели может использоваться метод конечных элементов (МКЭ), который позволяет вычислять пространственное распределение тепла [6, 7].

В случае же оценки состояния преобразователя частоты (ПЧ), в исследуемом электроприводе, ситуация немного лучше. Использование упрощённой модели двигателя позволяет создавать необходимые обратные связи между ними, чего будет достаточно для оценки эффективности в ряде задач.

Комплексное моделирование включает в себя развёрнутые модели преобразователя частоты, электрической машины (ЭМ) и нагрузки. Это позволяет не только оценить их состояние в зависимости от режимов работы, но и создавать карты эффективности ЭП. Такие комплексные модели хорошо себя зарекомендовали на крупных промышленных предприятиях. Необходимость проведения данного типа моделирования связано со следующими факторами:

- необходимость оценки взаимовлияния ПЧ и ЭМ, при не идеальности питающей сети;
- сложность технологического процесса, в котором используется ЭП;
- рост сложности алгоритмов управления;
- рост требований к надёжности работы ЭП;
- рост сложности разработки ЭП для узкоспециализированных задач;
- необходимость оценки параметров проектируемого ЭП в динамических и переходных режимах.

На кафедре электроники и электротехники «МГУ им. Н. П. Огарёва» проводятся исследования ДДП на базе асинхронных машин с фазным ротором. Использование комплексных моделей, построенных с помощью МКЭ, является одним из заключительных этапов многолетнего исследования. В рамках этого этапа была построена двухмерная модель асинхронного двигателя 4АК160М4У3 в программе COMSOL, представленная на рисунке 1, для оценки энергетических параметров в статическом режиме. В таблице 1 представлены данные используемого двигателя [8].

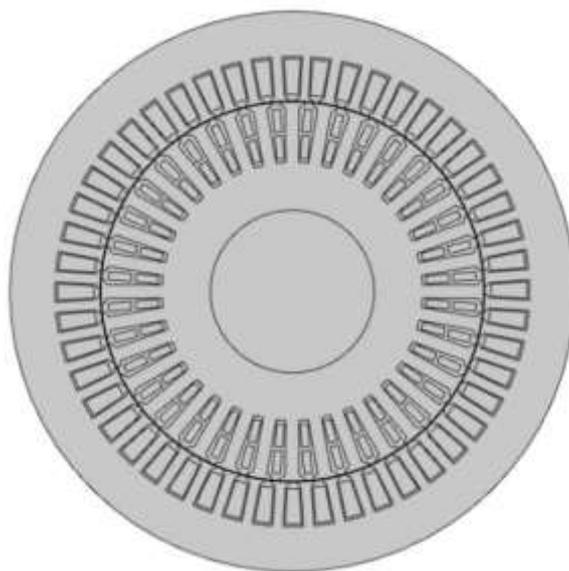


Рисунок 1 – Двухмерная модель асинхронного двигателя 4АК160М4У3

Таблица – 1 Основные параметры двигателя 4АК160М4У3

$2p$	P_n , кВт	n_n , об/мин	К.п.д., %	$\cos\varphi$	S_n , %	S_k , %
4	14	1500	88,5	0,87	3,7	32,1

Выбор двигателя для построения модели как части комплексного моделирования был обусловлен заведомо известными геометрией и электрическими параметрами. Построение статической модели велось путём повторения геометрии двигателя в COMSOL. Моделирование проводилось с учётом электрических частот статора 50 Гц и ротора 2 Гц. Результаты моделирования приведены на рисунке 2 и таблице 2.

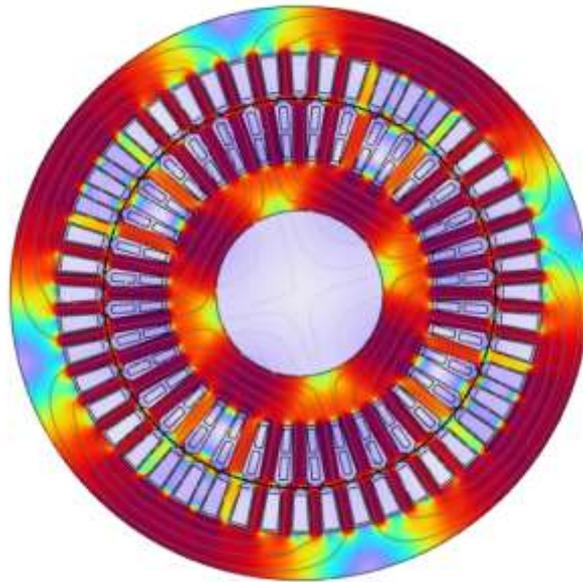


Рисунок 2 – Распределение магнитной индукции в двигателе 4AK160M4Y3

Таблица – 2 Результаты моделирования двигателя 4AK160M4Y3 и сравнение с расчётными данными

Параметры	Модель МКЭ	Расчёт	Погрешность Δ , %
Крутящий момент M , Нм	99,71	102,43	2,65
Потери в меди статора P_{scop} , Вт	1079,48	1128,34	4,3
Потери в стали статора P_{sst} , Вт	235,89	249,23	3,5
Потери в меди ротора P_{rcop} , Вт	922,09	959,31	3,9
Потери в стали ротора P_{rst} , Вт	58,92	55,95	5,3

Анализируя результаты моделирования, можно сказать об адекватности модели относительно расчётов. Данная модель будет использоваться для анализа динамического режима. Для оценки теплового состояния двигателя в составе электропривода при реализации энергоэффективных алгоритмов управления модель будет дополнена геометрией корпуса, а также учтена конвекция внутри воздушного зазора и перехода корпус-воздух.

Список литературы

1. Мушик, Э., Мюллер П. Методы принятия технических решений. – М.: Наука, 1990. – 208 с.
2. Тутаев, Г.М. Алгоритмы энергоэффективного управления асинхронизированным вентильным двигателем. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2014. – 100 с.
3. Тутаев, Г.М., Безбородов Е.С. Анализ возможности применения тепловых моделей асинхронных двигателей для оценки теплового состояния машины двойного питания // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». –2023. –Т. 23, –№ 4. –С. 47–53. DOI: 10.14529/power230405.
4. Xuezhou Wang, Tim Dave Strous, Domenico Lahaye, Henk Polinder, Jan Abraham Ferreira. Modeling and Optimization of Brushless Doubly-Fed Induction Machines Using Computationally Efficient Finite-Element Analysis // IEEE Transactions on Industry Applications. – IEEE Journals & Magazines. – Volume: 52, Issue: 6, 2016. – pp. 4525–4534.

5. Strous T.D., Wang X., Polinder H., Ferreira J.A. Finite element based multi-objective optimization of a brushless Doubly-Fed Induction Machine // (IEMDC). – IEEE Conference Publications. – 2015. – pp. 1689–1694.

6. Кравчик, А.Э. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник / А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин, Е.А. Соболевская. – М.: Энергоиздат, 1982.

**ABOUT THE NEED FOR COMPREHENSIVE MODELING OF AN ELECTRIC DRIVE
BASED ON A DOUBLE-FED MOTOR TO ASSESS THE THERMAL CONDITION OF
THE MOTOR.**

BEZBORODOV EGOR SERGEYEVICH

2nd year Postgraduate student, engineer at the Department of Electronics and Electrical Engineering
National Research Mordovia State University, Saransk, Russia

Abstract: This article discusses the need for complex modeling of an electric drive based on a doubly-fed machine to assess the thermal state of the motor when implementing energy-efficient control algorithms. A mathematical model of the 4AK160M4Y3 motor, obtained in COMSOL Multiphysics 6.0, is presented to estimate electromagnetic parameters in static mode.

Keywords: wound rotor asynchronous motor, control algorithms, doubly-fed motor, finite element method, frequency converter.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАКОПЛЕНИЯ ТОРМОЗНОЙ ЭНЕРГИИ В ЧАСТОТНОМ АСИНХРОНОМ КОРОТКОЗАМКНУТОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

БЕЛЕНОВ ДАНИИЛ АНДРЕЕВИЧ

аспирант гр. ЭКС-21

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

МАРКОВ АЛЕКСЕЙ СЕРГЕЕВИЧ

аспирант гр. ЭКС-20

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

МЕЩЕРЯКОВ ВИКТОР НИКОЛАЕВИЧ

Научный руководитель, заведующий кафедрой электропривода
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: в данной статье рассмотрена возможность накопления энергии торможения электропривода на конденсаторе, что позволит сэкономить энергию и повысить энергоэффективность электропривода в целом. Дана оценка переходным процессам электропривода.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, торможение, энергосбережение, звено постоянного тока, емкостный накопитель.

На сегодняшний день одним из самых распространённых видов электропривода во всем мире является асинхронный электропривод. Изначально основным видом электропривода был привод на постоянном токе, так как им было легко управлять. По мере развития преобразователей частоты был достигнут уровень управляемости асинхронными короткозамкнутыми электроприводами уровня электроприводов на постоянном токе.

После решения одной из основных проблем массового использования асинхронных электроприводов они стали повсеместно, где это возможно внедряться. Асинхронные электропривода имеют преимущества перед приводами постоянного тока в виде отсутствия щеточно-коллекторного узла, что значительно упрощает его обслуживание и повышает надежность.

Поэтому одним из основных векторов дальнейшего развития стала необходимость повышение энергоэффективности асинхронных электроприводов.

Стандартная схема преобразователя частоты предполагает при торможении электропривода рассеивание в виде тепла на резисторе накопленной во время работы электропривода механической энергии, преобразованной в электрическую (рисунок 1а). Это исключает возможность повторного использования данной энергии, что является не рациональным.

В качестве решения данной проблемы предлагается убрать резистор из данной схемы и использовать вместо него накопитель энергии в виде конденсатора (рисунок 1б). Существующим решением данной проблемы является использование преобразователя частоты с активным выпрямителем [1], но данное решение более дорогостоящее и требует более сложных алгоритмов управления.

Математическая модель преобразователя частоты смоделирована согласно [2,3].

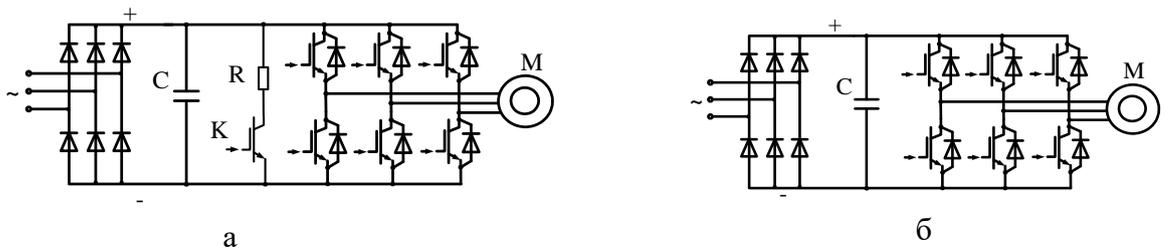


Рисунок 1 – Схемы силовой части асинхронного электропривода с преобразователями частоты со звеном постоянного тока: а – схема стандартная; б – с конденсатором стандартной емкости.

Параметры моделируемого двигателя АИР250М4: номинальная мощность 90 кВт, синхронная скорость 1500 об/мин, номинальный ток статора 163 А. Вычисленные параметры необходимые для моделирования: $s_k=0,072$, $\Delta P_{\text{мех}}=957,447$ Вт, $R_1=0,03601$ Ом, $c_1=1,03$, $R_2=0,03072$ Ом, $L_1=0,02484$ Гн, $\beta=1,13779$, $x_k=0,43886$ Ом, $L_{1\sigma}=0,0007$ Гн, $L_m=0,02414$ Гн.

Было произведено математическое моделирование вышеописанных схем электропривода. На рисунке 2 показаны переходные процессы скорости и момента при моделировании схемы на рисунке 1а и схемы на рисунке 1б, для обеих схем они будут одинаковы так как процесс пуска и торможения проводился аналогично.

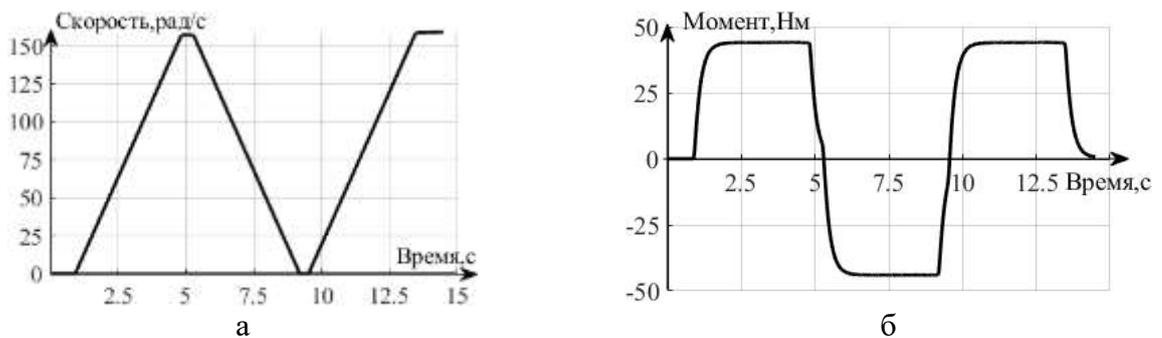


Рисунок 2 – Переходные процессы изменения: а – скорости; б - момента двигателя.

Из графиков видно, что был произведен пуск электропривода до номинальной скорости некоторое время на которой он проработал, далее торможение до полного останова и опять пуск до номинальной скорости. Первый пуск произведен с $t=0,88$ с, далее кратковременная работа, торможение длилось до $t=5,25$ с, повторный пуск с $t=9,55$ с.

На рис. 3 показаны результаты моделирования для стандартной схемы с тормозным резистором рис.1а.

На рисунке 4 показаны результаты моделирования для стандартной схемы без тормозного резистора рис.1б.

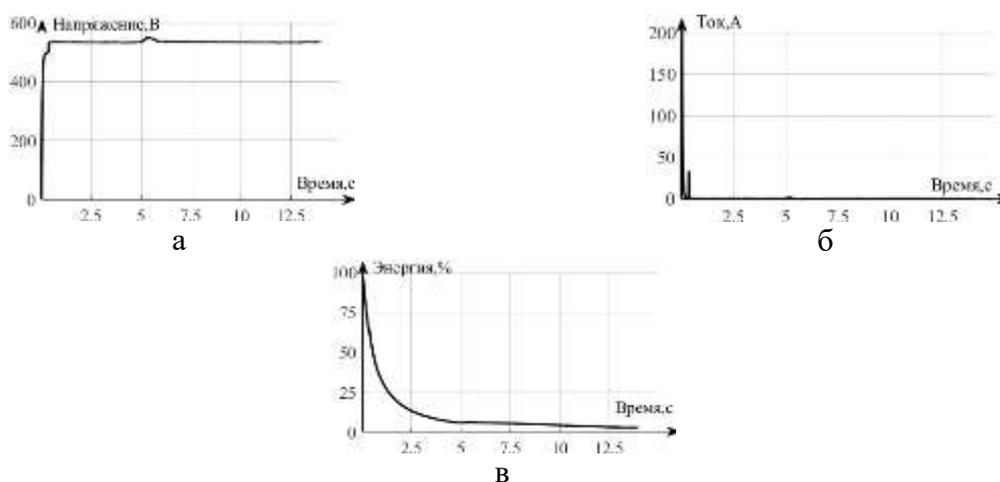


Рисунок 3 – Переходные процессы изменения: а- напряжения в звене постоянного тока; б – тока, текущего в ветви конденсатора; в - процентного отношения энергии, выдаваемой конденсатором, к энергии, выдаваемой выпрямителем со стандартной схемой (рис. 1, а)

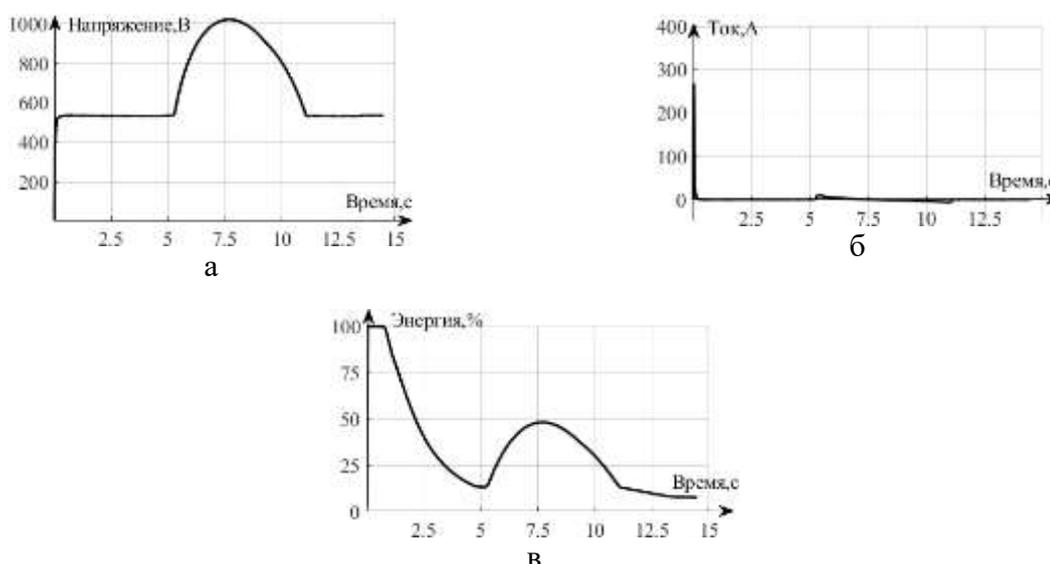


Рисунок 4 – Переходные процессы изменения: а- напряжения в звене постоянного тока; б – тока, текущего в ветви конденсатора; в - процентного отношения энергии, выдаваемой конденсатором, к энергии, выдаваемой выпрямителем (рис. 1, б)

Из графика на рисунке 4а видно значительное возрастание напряжения в звене постоянного тока при сбросе энергии двигателем через инвертор в звено постоянного тока. Решение данной проблемы рассмотрено в ранее опубликованных статьях [4-7], за счет включения дополнительных транзисторных элементов. Также в качестве решения этой проблемы можно рассмотреть случай увеличения емкости конденсатора, что позволит запастись больше энергии и снизить максимальные значения напряжения в звене постоянного тока. Несмотря на описанный выше недостаток, схема позволила накопить энергию торможения в звене постоянного тока на конденсаторе, что видно на рисунке 4в. Процент энергии, потребляемой из звена постоянного тока, вырос до ~50 %.

Произведено исследование возможности накопления энергии торможения в звене постоянного тока. Рассмотрены две схемы: стандартная с тормозным резистором и схема без тормозного резистора с использованием емкости конденсатора как накопителя тормозной энергии двигателя в звене постоянного тока. Согласно полученным результатам можно сделать вывод, что рассмотренные схемные решения позволяют повторно использовать тормозную энергию двигателя при повторном пуске. Преимуществом данной схемы является отсутствие

дорогостоящего оборудования и сложных систем управления. В качестве недостатка можно выделить увеличения значения максимального напряжения в звене постоянного тока. Решается это доработкой схемы с помощью транзисторных ключей и регуляторов тока.

Список литературы

1. Щур Р.В Преобразователи частоты со звеном постоянного тока // Современные проблемы науки и образования: сб. статей. Нефтекамск, 2020. С.108-113.
2. Меркушев Д.В. Математическая модель преобразователя частоты со звеном постоянного тока // Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты сб. статей. Новосибирск, 2014. С.139-143.
3. Новожилов Н.Г. Сравнительный расчет емкости конденсатора звена постоянного тока частотного преобразователя // Современная наука и практика сб. статей. Санкт-Петербург, 2015. С.20-24.
4. Daniil Belenov, Victor Meshcheryakov, Ilya Bagryantsev."Study of the Braking Mode of an Asynchronous Frequency Electric Drive with Energy Storage in the DC Link", 2022 4th International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA), pp. 721 – 727, Nov.2022.
5. Daniil Belenov, Victor Meshcheryakov." Investigation of the Braking Mode of an Asynchronous Frequency Electric Drive with an Energy Buffer in the DC Link", 2023 XIX International Scientific Technical Conference Alternating Current Electric Drives (ACED), pp. 1 – 6, May.2023.
6. Daniil Belenov, Victor Meshcheryakov, Ilya Bagryantsev." Comparative Analysis of the Energy Indicators of the Braking Mode of a Frequency Asynchronous Electric Drive with an Energy Buffer in the DC Link and an Electric Drive with an Active Rectifier", 2023 5th International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA), pp. 1038 – 1043, Nov.2023.
7. Беленов Д.А. Анализ переходных процессов асинхронного частотного электропривода с накопителем энергии в звене постоянного тока / Д.А. Беленов, В.Н. Мещеряков // Электротехнические системы и комплексы. – 2024. – № 1(62). – С. 11-18. – DOI 10.18503/2311-8318-2024-1(62)-11-18.

RESEARCH OF THE PROCESS OF BRAKING ENERGY ACCUMULATION IN A FREQUENCY ASYNCHRONOUS SHORT-CIRCUIT ELECTRIC DRIVE

BELENOV DANIIL ANDREEVICH
Postgraduate Student gr. EKS-21
Lipetsk State Technical University

MARKOV ALEXEY SERGEYEVICH
Postgraduate Student gr. EKS-20
Lipetsk State Technical University

MESHCHERYAKOV VICTOR NIKOLAEVICH
Scientific supervisor, Head of the Department of Electric Drive
Lipetsk State Technical University

Abstract: this article discusses the possibility of accumulating braking energy of an electric drive on a capacitor, which will save energy and increase the energy efficiency of the electric drive as a whole. An assessment of the transient processes of the electric drive is given.

Keywords: asynchronous motor, braking, energy saving, DC link, capacitive storage.

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИВОДА ГЛАВНОГО ПОДЪЁМА

БИРЮКОВ ДМИТРИЙ ВИТАЛЬЕВИЧ

студент гр. М-ЭП-23-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ТРЕТЬЯКОВ АЛЕКСАНДР ВЛАДИМИРОВИЧ

аспирант гр. ЭКС-23-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: в данной статье производится математический расчет привода подъёма грузоподъёмной машины. Создается математическая модель в ПО Matlab Simulink для проверки результатов расчета.

Ключевые слова: мостовой кран, привод главного подъёма, электрический привод, грузоподъёмные машины, механизм подъёма, имитационная модель.

Грузоподъемные машины – эффективное средство комплексной механизации и автоматизации подъемно-транспортных и погрузочно-разгрузочных. Применение таких машин уменьшает объём использования тяжелых ручных операций и способствует значимому повышению производительности труда.

В процессе работы подъёмно-транспортного оборудования одним из важнейших процессов является подъём груза. Для корректной работы оборудования необходимо соответствие возможностей привода и требований технологического процесса. Рассматриваемый механизм должен обеспечить транспортировку груза массой до 450 тонн включительно.

В качестве привода главного подъёма используется электродвигатель модели Menzelmebkgf400xc-08[1]. Далее приведена проверка данного электродвигателя на соответствие предъявляемым требованиям.

Проверяем выбранный привод по допустимой нагрузке и осуществимости пуска. Выбранный электродвигатель должен удовлетворять следующим условиям:
Первое условие допустимой нагрузки:

$$M_{\text{доп}} > M_{\text{с.мах}},$$
$$M_{\text{с.мах}} = 9550 \cdot \frac{P_{\text{с.мах}}}{n_{\text{н}}},$$
$$M_{\text{с.мах}} = 9550 \cdot \frac{680}{740} = 8775,67 \text{ Нм},$$

где $P_{\text{с.мах}}$ статическая мощность при подъёме груза

$$M_{\text{доп}} = 6380 \text{ кНм} > M_{\text{с.мах}} = 8775,67 \text{ Нм}.$$

Первое условие выполняется.

Второе условие допустимой нагрузки:

$$M_{\text{ср.п}} \geq 1,5 \cdot M_{\text{с.мах}},$$
$$M_{\text{ср.п}} = \frac{M_1 + M_2}{2},$$
$$M_1 = 0,85 \cdot M_{\text{м}} = 0,85 \cdot 10453 = 8885,05 \text{ кНм},$$
$$M_2 = 1,2 \cdot M_{\text{н}} = 1,2 \cdot 5807 = 6968,4 \text{ кНм},$$

где $M_{\text{ср.п}}$ средний пусковой момент; M_1 максимальный момент двигателя при пуске; M_2 минимальный момент двигателя.

$$M_H = 9550 \cdot \frac{P_H}{n_H} = 9550 \cdot \frac{450}{740} = 5807 \text{ кНм},$$

$$M_{\text{ср.п}} = \frac{6968,4 + 8885,05}{2} = 7926,725 \text{ кНм},$$

$$1,5M_{\text{с.мах}} = 469 \text{ Нм},$$

$$M_{\text{ср.п}} = 7926,725 \text{ кНм} \geq 1,5 \cdot M_{\text{с.мах}} = 8775,67 \text{ Нм}.$$

Проверяем двигатель по условию осуществимости пуска

$$a_d \geq a,$$

где $a_d = 0,2 \div 0,3 \text{ м/с}^2$ допустимое для механизма подъема линейное ускорение при подъеме или перемещении груза; a – наибольшее линейное ускорение при подъеме груза, м/с^2 .

$$a = \frac{\vartheta}{t_{\text{п.мин}}},$$

где $t_{\text{п.мин}}$ наименьшее время при пуске с состояния покоя до скорости ϑ с наибольшей нагрузкой, сек.

$$t_{\text{п.мин}} = \frac{GD_{\text{прив}}^2 \cdot n_H}{38,2 \cdot (M_{\text{ср.пуск}} - M_{\text{ст.мах}})},$$

$$GD_{\text{прив}}^2 = 4 \cdot J_{\text{прив}} \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

$$J_{\text{прив}} = 1,3 \cdot J_{\text{дв}} + \frac{182}{n_H^2} \cdot W_{\text{к.мех}},$$

$$J_{\text{дв}} = \frac{GD^2}{4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

$$W_{\text{к.мех}} = \frac{m\vartheta^2}{2} \text{ Дж},$$

$$M_{\text{с.мах}} = 9550 \cdot \frac{P_{\text{ст.мах}}}{n_H} \text{ Нм},$$

$$M_{\text{с.мах}} = 9550 \cdot \frac{24,26}{740} = 8775,67 \text{ Нм},$$

$$W_{\text{к.мех}} = \frac{16071,43 \cdot 0,016796}{2} = 134,967 \text{ Дж},$$

$$J_{\text{дв}} = \frac{26}{4} = 6,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

$$J_{\text{прив}} = 1,3 \cdot 6,5 + \frac{182}{547600} \cdot 134,967 = 8,49,$$

$$GD_{\text{прив}}^2 = 4 \cdot 8,49 = 33,96,$$

$$t_{\text{п.мин}} = \frac{33,96 \cdot 740}{38,2 \cdot (7926,725 - 8775,67)} = 1,45,$$

$$a = 0,267 \text{ м}.$$

Условие осуществимости пуска выполнено.

В соответствии с расчётными данными все три условия пуска выполнены, следовательно данный электродвигатель подходит для использования.

Для построения динамических характеристик привода воспользуемся программой MATLAB 7.120 (R2022b) (Simulink). Для существующей системы составим двухдвигательную модель привода и построим графики переходных процессов в системе. Структурная схема управления асинхронного электропривода представлена на рисунке 1[2].

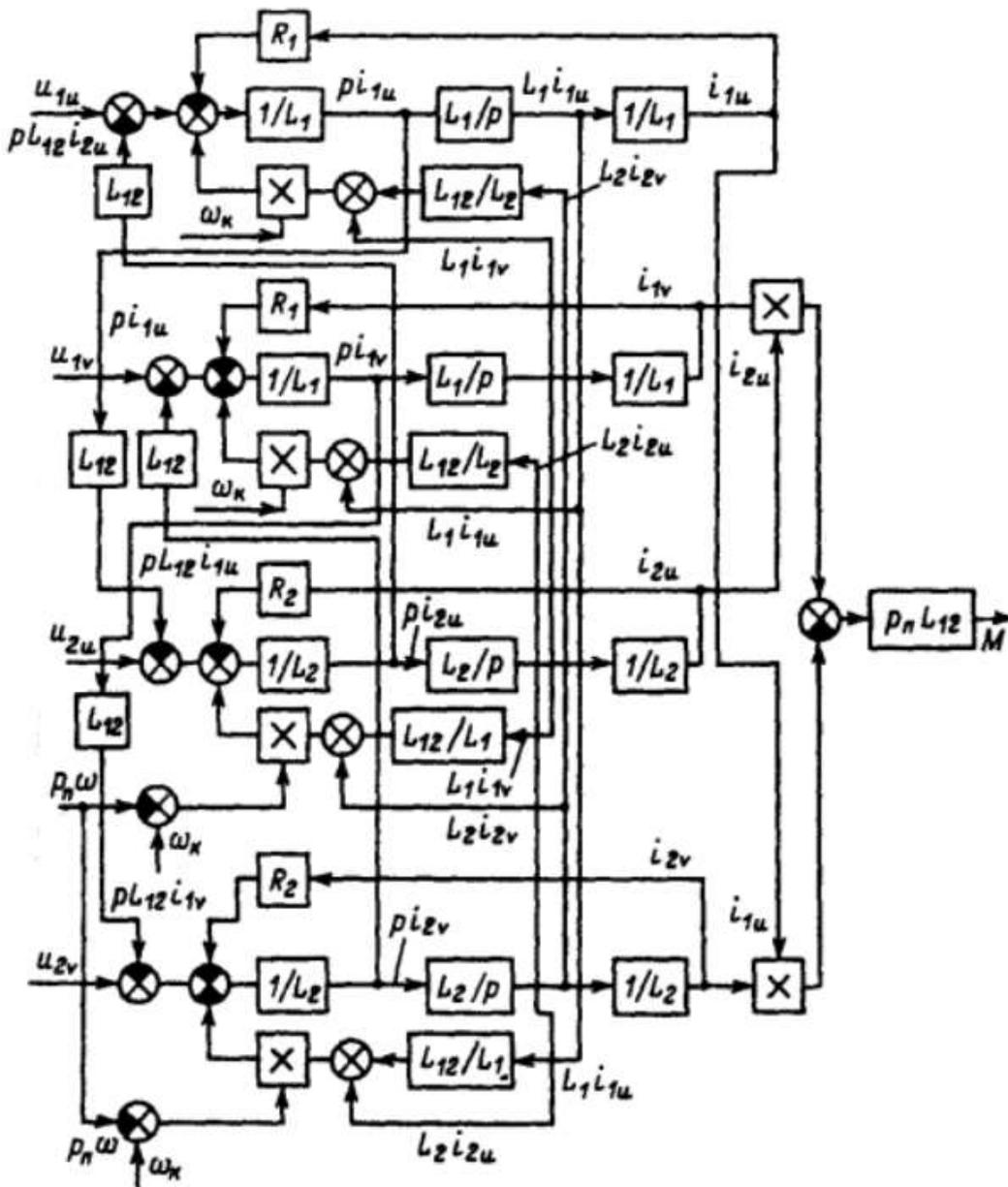


Рисунок 1 – Структурная схема асинхронного электропривода

На рисунке 2 представлена имитационная модель двухдвигательного асинхронного привода. Данная модель позволяет построить нагрузочные графики электрического привода в различных режимах работы. Также модель позволяет проследить переходные процессы, проходящие при пуске привода. [2] В данной схеме данная модель привода позволяет отследить изменение пусковых характеристик двигателя в различных режимах. Полученные характеристики представлены на рисунках 3, 4, 5.

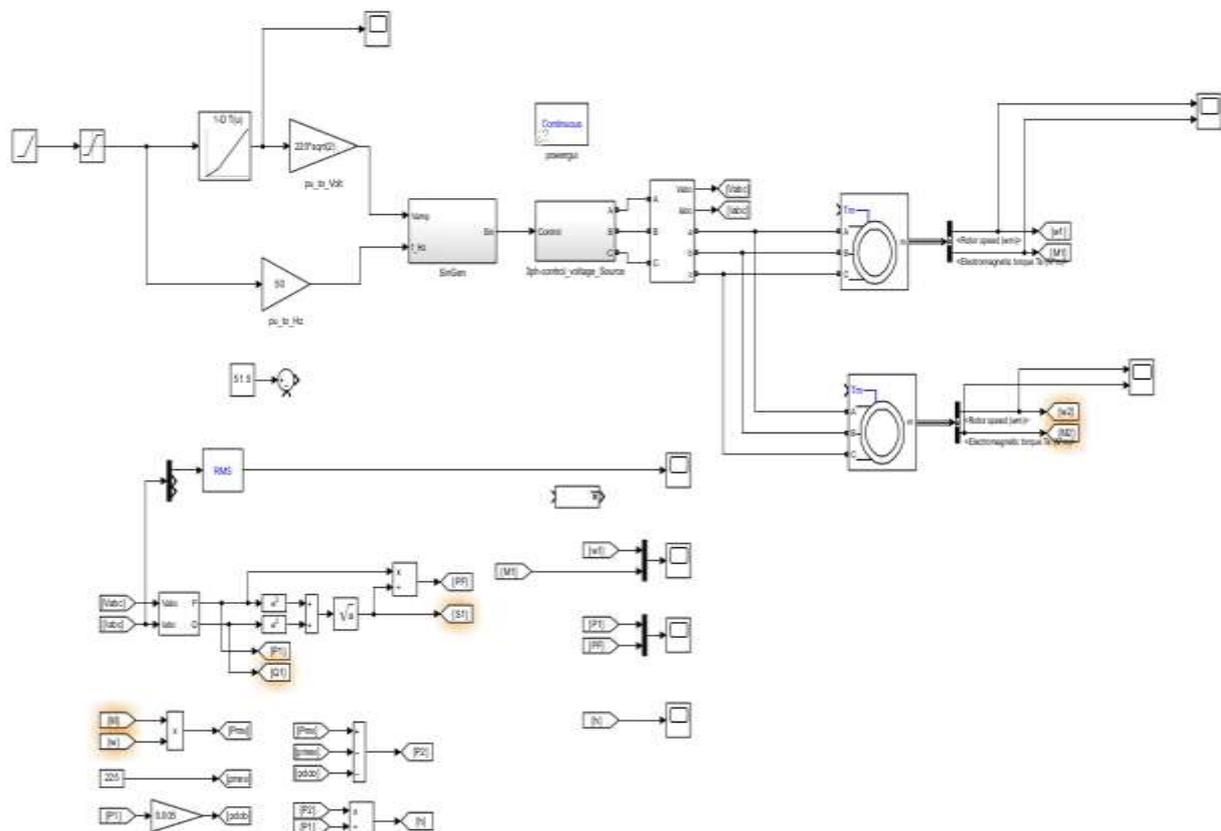


Рисунок 3 – Имитационная модель привода главного подъёма

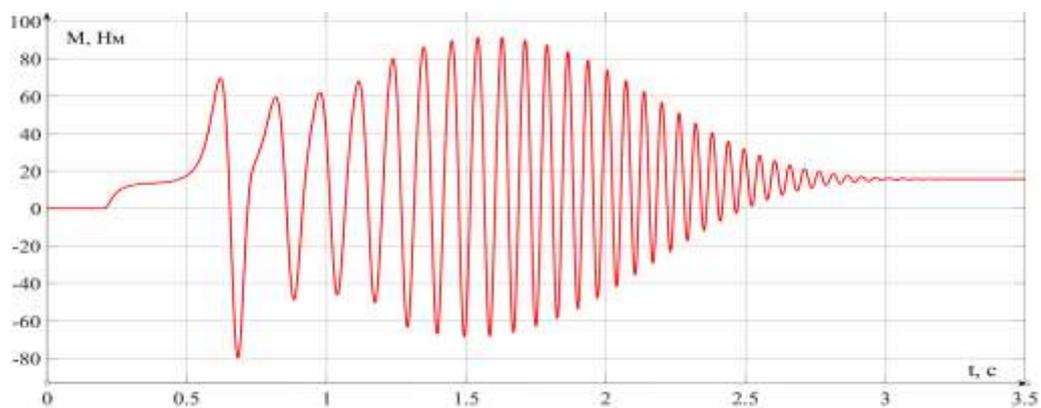


Рисунок 3 – Характеристика момента привода при пуске в режиме холостого хода

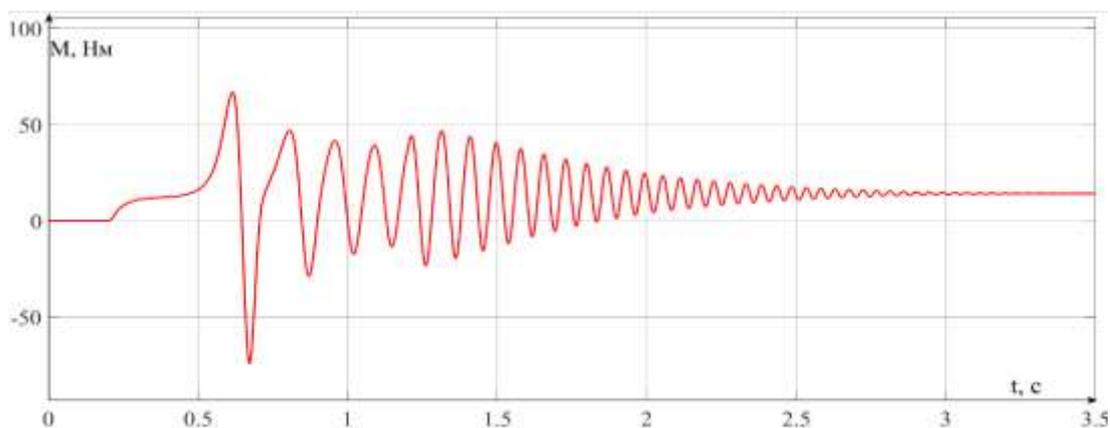


Рисунок 4 – Характеристика момента привода при пуске под расчётной нагрузкой

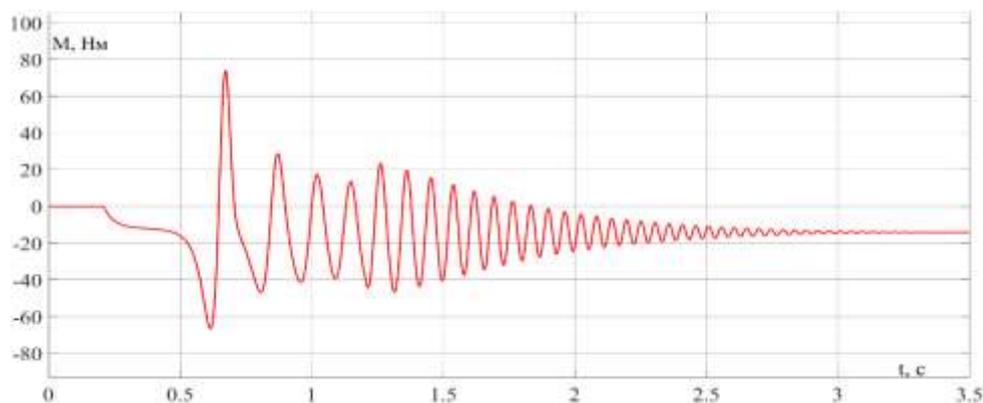


Рисунок 5 – Характеристика момента привода при обратном пуске под расчётной нагрузкой

Список литературы

1. Каталог электроприводов Menzel [электронный ресурс] – Режим доступа: - <https://www.xn----7sbfedebzbdrkbi5bmwkezhw8r1a.xn--p1ai/product/menzel-mebkgr400-08-lv/>
2. Ящур, А. И. Система технического обслуживания и ремонта энергетического оборудования [Текст] / А. И. Ящур – Москва: «НЦ ЭНАС» 2006. – 504 с.
3. Чиликин М.Г. Общий курс электропривода / М.Г. Чиликин, А.С. Сандлер – Москва: Энергоиздат, 1981 – 576 с.
4. Дьяконов В. П. MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем. Специальный справочник / В. П. Дьяконов, В. В. Круглов – Санкт-Петербург: Питер, 2001 – 74 с.

MATHEMATICAL CALCULATION AND MODELING OF THE MAIN LIFT DRIVE

BIRYUKOV DMITRY VITALIEVICH

Student gr. M-EP-23-1

Lipetsk State Technical University

TRETYAKOV ALEXANDR VLADIMIROVICH

Postgraduate student gr. EKS-23-1

Lipetsk State Technical University

Abstract: In this article, a mathematical calculation of the lifting drive of a lifting machine is made. A mathematical model is created in Matlab Simulink software to check the calculation results.

Keywords: overhead crane, main hoist drive, electric drive, lifting machines, lifting mechanism, simulation model.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

БОЛОТНИКОВ СВЯТОСЛАВ ПАВЛОВИЧ

студент гр. ЭП-22-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ПОНОМАРЕВ ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ

Научный руководитель, преподаватель кафедры автоматизированного электропривода и робототехники

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: рассматривается понятие электрического привода, области применения электрических двигателей, подробно изучается структура электропривода

Ключевые слова: электропривод, электродвигатель, производство, структура электропривода

В современном мире преимущественное количество производств и предприятий используют электрический привод в своей деятельности. Современный электропривод – это не только управляемая электромеханическая система, это целая разветвленная система электромеханических устройств и средств, которые осуществляют непосредственный контроль и автоматическое управление устройствами. Это основа автоматизации производственных процессов.

Общепринятое определение электропривода дается в ГОСТе Р 50369-92 [1]. Это электромеханическая система из преобразователей электроэнергии, которые управляются и контролируются. Преобразователи связаны с внешними электрическими, механическими и информационными системами.

Цель электропривода с 18 века и до наших дней – преобразование электрической энергии в механическую силу и в обратную сторону. Технологические процессы становятся эффективнее и дешевле в следствии использования электрических двигателей.

Электропривод раскрывается с двух противоположных сторон. С одной стороны, электропривод – производительная сила для электрических машин, а с другой – главный потребитель электроэнергии. Механизмы, потребляющие энергию – производственные механизмы. Сюда можно отнести краны, экскаваторы, конвейеры. Приспособления для производства энергии – электроустановки [2].

Как уже говорилось, электропривод окружает человека повсеместно. Например, он применяется в следующих механизмах:

1. Конвейеры в промышленности: электропривод используется для перемещения грузов на заводах и фабриках.
2. Роботы в любом типе промышленности: электропривод управляет движениями роботов, выполняющих операции, в местах недоступных для человека.
3. Автоматические двери и лифты в зданиях.

Отметим, что электропривод неоднороден.

По виду движения [3] существуют вращательные электроприводы и электроприводы поступательные. Они могут иметь одно направление движения (однонаправленные) и различное (реверсивные).

По способу соединения различают: электропривод с редуктором и без (то есть напрямую соединенный с исполнительным органом) [4].

По способу управления электропривод делится на регулируемый, который имеет изменяемую частоту вращения, и нерегулируемый – с постоянной частотой вращения.

Есть и другие основания для классификации электропривода.

В конце концов, электропривод типологизируется по роду тока: переменного и постоянного тока.

Несмотря на разнообразие видов электропривода, все они имеют схожее строение. Для лучшего понимания работы электрического двигателя обратимся к общей структурной схеме электропривода (рисунок 1).

На рисунке 1 можно видеть:

1. Электродвигатель – основная часть, которая и выполняет деятельность по переходу энергии одного вида в другой;

2. Преобразовательное устройство – устройство, олицетворяющее электропривод. Именно он занимается преобразованием электрической энергии с одними параметрами в электрическую энергию с другими. Действие специфических двигателей не всегда может осуществляться на стандартной мощности;

3. Механическая передача – элемент, передающий энергию исполнительному механизму;

4. Исполнительные механизмы – механизмы, осуществляющие основную работу;

5. Датчики – система показателей, преобразующая внешние сигналы в электрический ток, оповещающая о важных характеристиках объекта;

6. Информационно-управляющее устройство – это устройство необходимое для управления объектом. Обработывая информацию [5], поступающую от датчиков, устройство принимает решение о пуске, регуляции, остановке электродвигателя.

Изучение последнего элемента является в последнее время актуальным. Именно совершенствование существующих контрольных систем и проектирование новых ведет к повышению надежности, производительности, экономичности и точности работы электроприводов.

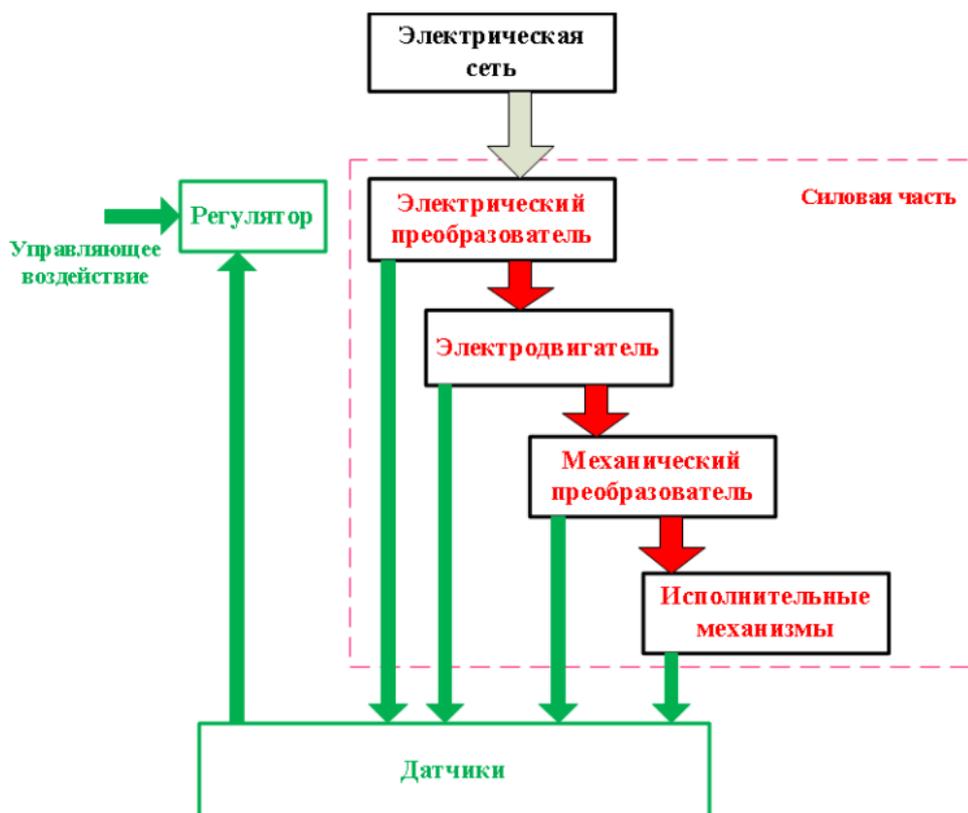


Рисунок 1 – Общая структурная схема системы электропривода

Подводя итог вышесказанному, отметим, что электропривод уже является неотъемлемой частью современных производственных процессов. Роль эта со временем будет только расти, все больше и больше будет становиться автоматизированных электроприводов. Для их проектирования и контроля требуются специалисты и инженеры. Для подготовки

таких специалистов необходимо изучение структуры электропривода и его основных положений.

Список литературы

1. Кабдин Н.Е. Электропривод: учебник / Н.Е. Кабдин, В.Ф. Сторчевой. – М.: МЭСХ, 2021 – 286 с.
2. Бурулько Л.К. Электрооборудование промышленности. Электроприводы промышленных механизмов и устройств: учебное пособие / Л.К. Бурулько, Ю.Н. Дементьев; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 180 с.
3. Бекишев Р.Ф. Общий курс электропривода: учебное пособие / Р.Ф. Бекишев, Ю.Н. Дементьев; Томский политехнический университет. – 2-е изд. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014 – 302 с.
4. Усынин, Ю.С. Теория электропривода: учебное пособие / Ю.С. Усынин, М.А. Григорьев, А.М. Журавлев – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2016 – 55 с.
5. Онищенко Г.Б. Электрический привод. Учебник для вузов – М. РАСХН 2003. – 320 с.

THE MAIN PROVISIONS OF THE ELECTRIC DRIVE

BOLOTNIKOV SVYATOSLAV PAVLOVICH

student of gr. EP-22-1

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

PONOMAREV PAVEL SERGEYEVICH

Lecturer of the Department of Automated Electric Drive and Robotics

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

Abstract: this article discusses the concept of an electric drive, the field of application of electric motors, and the structure of an electric drive is studied in detail

Keywords: electric drive, electric motor, production, electric drive structure

ИЗМЕРЕНИЯ НАТЯЖЕНИЯ ЛЕНТЫ НА СТАНЕ 2030 ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ

БЫЛИНКИН АРСЕНИЙ СЕРГЕЕВИЧ

Студент гр. ЭП-21-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ПОНОМАРЕВ ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ

Научный руководитель, преподаватель кафедры автоматизированного электропривода и робототехники

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: статья посвящена изучению датчиков измерения натяжения ленты холодного проката. Рассматриваются и разбираются датчики месдозы в производственном процессе, а также принцип его работы. Кроме того, представлены два метода измерения натяжения.

Ключевые слова: месдоза, тензодатчики, стан холодного проката, измерения натяжения.

Стан холодной прокатки предназначен для процесса бесконечной прокатки полосы протравленного горячекатаного металла. Нормализация натяжения между клетями является обязательным условием для нормальной работы стана.

Оборудование для измерения натяжения ленты состоит из двух месдоз, коробки пересечения, блока управления, расположенного в приборном шкафу на стене или на полу, и кабелей.

Месдоза измеряет общее усилие в вертикальном направлении на ролике измерения, вызванное натяжением ленты. Её выполняют с несущим корпусом, в котором находится магнитострикционный датчик усиления и контуры для калибровки и компенсации температуры. Эти контуры находятся в закрытом корпусе с шинами для подключения. Месдоза изображена на рисунке 1.

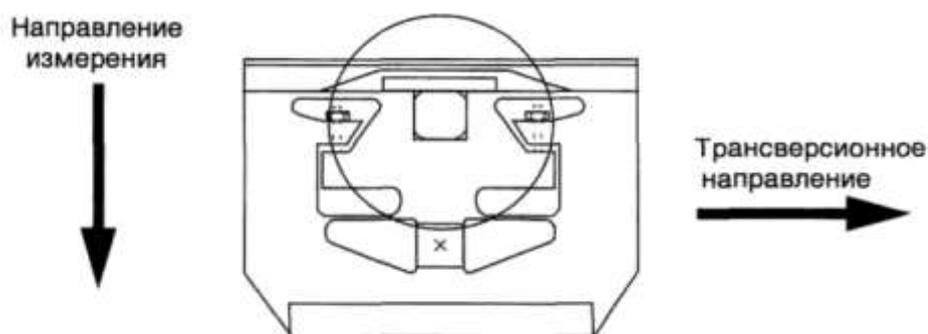


Рисунок 1 – Месдоза

Принцип работы месдозы с магнитострикционным датчиком усиления основан на том, что пропускная способность магнитного материала изменяется под влиянием механического воздействия. Тензодатчик внутри корпуса месдозы изготовлен из очищенных стальных пластин с встроенными зонами измерения (рисунок 2, а). Зоны измерения состоят из стальных пластин с четырьмя отверстиями, через которые проходит первичная и вторичная обмотки, пересекая друг друга под правильным углом.

Через первичную обмотку проходит переменный ток, создающий вокруг нее магнитный поток. Так как две обмотки расположены под правильным углом друг ко другу, магнитного потока вокруг второй обмотки не будет до тех пор, пока тензодатчик не окажется под нагрузкой.

Когда на тензодатчик будет оказано механическое воздействие в направлении измерения (рисунок 2, б), прохождение магнитного потока будет изменено, и он охватит вторичную обмотку, создав в ней переменный ток. Блок управления преобразовывает переменный ток в DC пропорционально усилию оказанного воздействия.

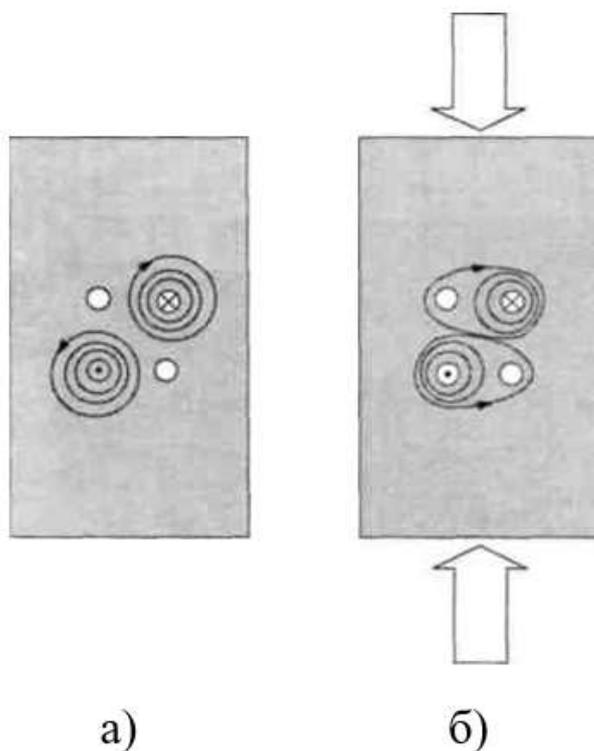


Рисунок 2 – Тензодачик

Также мездозу выполняют с тензорезистором в схеме с мостовым подключением. Принцип работы датчика основан на принципе моста Уитстона. Четыре тензорезистора внутри корпуса мездозы изготовлен из специальных материалов с встроенными зонами измерения. Зоны измерения состоят из гибких пластин с четырьмя отверстиями, через которые проходит ток.

Тензорезисторы подбираются одинаковые. По принципу моста Уитстона, ток протекать не будет до тех пор, пока датчик не окажется под нагрузкой.

Когда на тензодатчик будет оказано механическое воздействие, Гибкие пластины деформируются из-за этого меняются параметры резисторов, в следствии чего в цепи образуется переменный ток (рисунок 3). Блок управления преобразовывает переменный ток в DC пропорционально усилию оказанного воздействия.

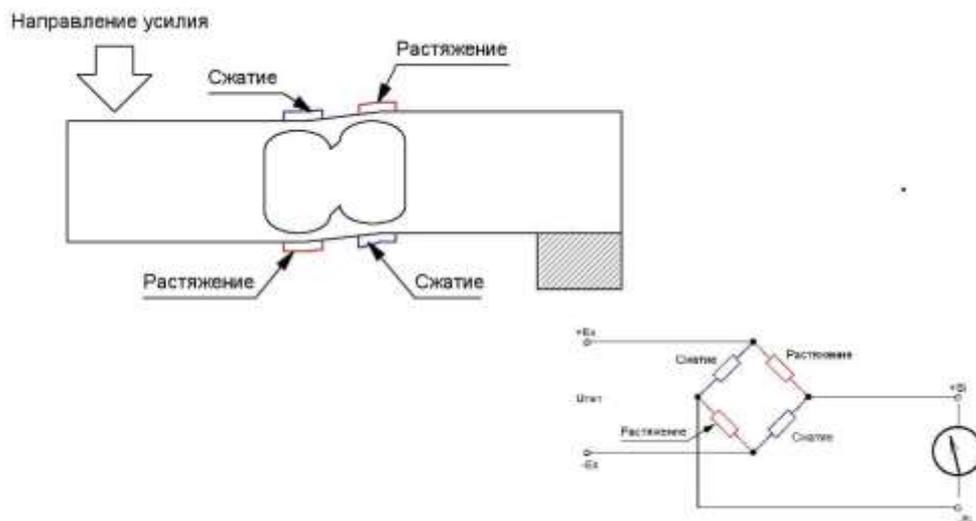


Рисунок 3 – Воздействие на тензодатчик

Ленточный тензометр представляет собой измерительную систему высокой точности, способной работать в сложных промышленных условиях. После включения оборудования уже не требуется дополнительного включения системы измерения. Это один продолжающийся процесс измерения натяжения ленты. Эти датчики, при должном обслуживании будут служить довольно долгое время при работе со станом 2030.

Список литературы

1. В.М. Шарапова, Е.С. Полищука Мир электроники. Датчики/ Шарапова В. М., Полищука Е. С. [Электронный ресурс] -Москва: Техносфера, 2012 624 с.
2. Г. Виглеб Датчики: Устройство и применения/ Виглеб Г. [Электронный ресурс] – М.: Мир, 1989. – 196 с.
3. Л. С. Ильинская, А. Н. Подмарьков Полупроводниковые Тензодатчики/ Ильинская Л. С., Подмарьков А. Н. [Электронный ресурс] – Москва: Энергия, 1966 – 199 с.
4. Э. А. Гарбер Производство проката. Том 1. Книга 1. Производство холоднокатаных полос и листов/ Гарбер Э. А.[Текст] – М: Теплотехник, 2007 – 368 с.
5. Дж. Фрайден Современные датчики. Справочник/ Фрайден Дж. [Электронный ресурс] - Москва: Техносфера, 2005. - 592 с.

BELT TENSION MEASUREMENTS AT COLD ROLLING MILL 2030

BYLINKIN ARSENY SERGEEVICH

Student of gr. EP-21-1

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

PONOMAREV PAVEL SERGEYEVICH

Lecturer of the Automated Electric Drive and Robotics Department.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

Abstract: The article is devoted to the study of sensors for measuring the tension of cold rolled tapes. Mesdose sensors in the production process are considered and analyzed, as well as the principle of its operation. In addition, two methods for measuring tension are presented.

Keywords: mesdose, load cells, cold rolled mill, tension measurements.

ИЗУЧЕНИЕ ДАТЧИКОВ ЁМКОСТНЫХ, ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ДРУГИХ

БЫЛИНКИН АРСЕНИЙ СЕРГЕЕВИЧ

Студент гр. ЭП-21-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ПОНОМАРЕВ ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ

Научный руководитель, преподаватель кафедры автоматизированного электропривода и робототехники

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: статья посвящена исследованию датчиков. Рассматриваются и разбираются принцип работы датчиков, также дается определения. Кроме того, представлены различные датчики.

Ключевые слова: Датчики, тензодатчик, ёмкостные датчик, фотоэлектрический датчик.

Датчик – устройство, которое преобразует разные физические величины в электрический сигнал. Сигналы могут иметь положительные и отрицательные значения. Иногда этот сигнал может быть равным значению объекту. Например, датчик температуры, в момент, когда на объекте температура меньше, чем температура датчика передается отрицательный сигнал, когда больше сигнал положительным. При равенстве температур сигнал отсутствует, то есть выходное напряжения равняется нулю.

Датчики можно классифицировать на активные и пассивные. Пассивные датчики по большей части являются устройствами прямого действия. Различие между пассивным и активным датчиком заключается в способности работать без дополнительной подачи энергии.

Ёмкостные датчики (рисунок 1). Принцип работы таких датчиков заключается в преобразовании физической величины объекта измерения в ёмкостное сопротивление. Внутри датчика находится конденсатор, состоящий из двух пластин. При изменении расстояния между пластинами или площади пластины изменяется емкость. Ёмкостные датчики применяются зачастую для измерения толщины различного материала, измерения уровня.

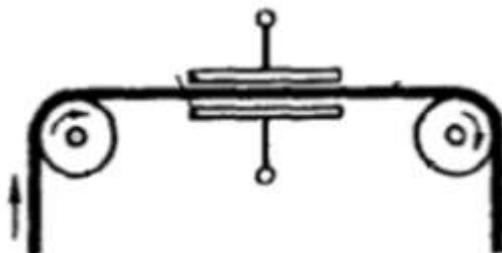


Рисунок 1 – Ёмкостной датчик для измерения толщины материала

Тензометрические датчики (рисунок 2). Используются как для измерения давления жидкостей и газов, так и для деформации упругих материалов. Принцип работы таких датчиков основан на измерении механической нагрузки и преобразования ее в сигнал. При измерении нагрузки зачастую используют тензорезисторы в мостовой схеме. Тензодатчики разделяются на проволочные, фольговые и полупроводниковые. Проволочные тензодатчики дешевые, простые по конструкции, но имеют низкую чувствительность. Фольговые или пленочные тензодатчики имеют высокую чувствительность, у них хороший механический контакт, имеют возможность пропускать большой ток. Полупроводниковые тензорезисторы измеряют как динамические, так и статические процессы, они просты по конструкции, но имеют невысокую чувствительность и необходимость использования мостовой схемы.

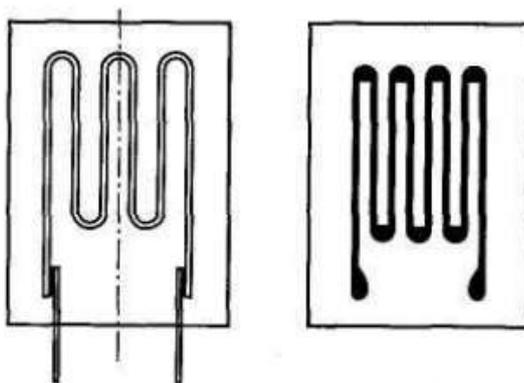


Рисунок 2 – Тензометрические датчики проволочные и фольговые

Фотоэлектрические датчики. Простейшее использование таких датчиков – это контроль уровня освещённости. Датчик состоит из источника и приемника света. При появлении объекта перед источником света в области измерения датчика, приемник обнаруживает это изменение и выдает сигнал. Пример датчика с принципом отражения от рефлектора представлен на рисунке 3.

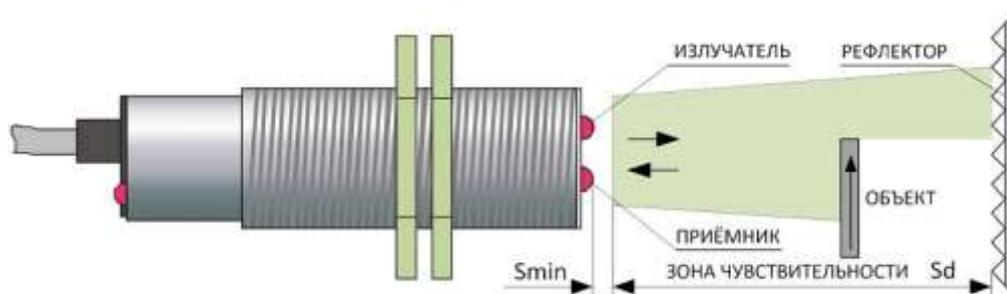


Рисунок 3 – Датчика с принципом отражения от рефлектора

Датчики широко применимы во многих аспектах производства. Ёмкостные датчики нашли применение для контроля наполнения различных объектов на производстве. Например, в конвейер с молочной продукции датчик измеряет наполнения молока в пакетах. Тензодатчики определяют механические напряжения, в следствии он имеет хороший спрос в производстве как весы. Фотоэлектрические датчики нашли применение в контроле линий производства. Датчики нужно выбирать по их характеристикам и измеряемому параметру.

Список литературы

1. В.М. Шарапова, Е.С. Полищука Мир электроники. Датчики/ Шарапова В. М., Полищука Е. С. [Электронный ресурс] -Москва: Техносфера, 2012 624 с.
2. Г. Виглеб Датчики: Устройство и применения/ Виглеб Г. [Электронный ресурс] – М.: Мир, 1989. – 196 с.
3. Л. С. Ильинская, А. Н. Подмарьков Полупроводниковые Тензодатчики/ Ильинская Л. С., Подмарьков А. Н. [Электронный ресурс] – Москва: Энергия, 1966 – 199 с.
4. Г.Н. Лукьянов, Сенсоры и датчики физических величин/ Лукьянов Г.Н. – СПб: Университет ИТМО, 2020 – 57 с.
5. Дж. Фрайден Современные датчики. Справочник/ Фрайден Дж. [Электронный ресурс] - Москва: Техносфера, 2005. - 592 с.

STUDY OF CAPACITIVE, PHOTOELECTRIC AND OTHER SENSORS

BYLINKIN ARSENY SERGEEVICH

Student of gr. EP-21-1

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State
Technical University"

PONOMAREV PAVEL SERGEYEVICH

Lecturer of the Automated Electric Drive and Robotics Department.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State
Technical University"

Abstract: The article is devoted to the study of sensors. The principle of operation of sensors is considered and analyzed, definitions are also given. In addition, various sensors are provided.

Keywords: Sensors, load cells, capacitive sensor, photoelectric sensor.

СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ВАЛЬЦЕШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА РММ

БЫЛИНКИН АРСЕНИЙ СЕРГЕЕВИЧ

Студент гр. ЭП-21-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

МУЗЫЛЕВА ИННА ВАСИЛЬЕВНА

Научный руководитель, к.т.н., доцент кафедры электропривода

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: в данной статье освещена система автоматизации вальцешлифовального станка РММ, а также изучения аппаратных средств. Рассмотрен принцип работы станка.

Ключевые слова: вальцешлифовальный станок РММ, система автоматизации, система управления, аппаратные средства.

Вальцешлифовальный станок РММ предназначен для обработки валков различных длин и диаметров. Перед запуском станка следует убедиться, что механизмы станка находятся в исходном положении. По кнопке запускаются гидронасосы. Заготовка закрепляется в передней и задней бабках. С помощью рукоятки происходит выбор объекта управления «круг», «изделие», «стол». Во всех положениях рукоятки сначала происходит проверка собранной схемы, после чего кнопками корректируется скорость.

Когда рукоятка переключена в положение «круг», при наличии сигнала с реле давления, запуск происходит по кнопке «Шлифовальный круг пуск». После работы происходит выключение по кнопке «Шлифовальный круг стоп», при этом предусмотрена защита от превышения максимальной частоты.

В режиме «изделие» возможен поворот изделия в толчковом режиме, при нажатии на переключатели. Толчок осуществляется с фиксированной скоростью.

Когда рукоятка переключена в режим «стол», после корректировки скорости происходит установка положения стола переключателем, либо кнопками «стол вправо» и «стол влево». Движения стола ограничивает блок реверсирования стола, состоящий из шести конечных выключателей. При подходе к задним положениям выключателей срабатывает замедления, которое снижает скорость перемещения стола до фиксированного значения. На сниженной скорости у конечных выключателей происходит остановка. В нештатном случае стол останавливается по аварийным выключателям [1-3].

Система управления выполнена двухуровневой:

Уровень 0 служит для непосредственного управления исполнительных механизмов, сбора данных о ходе технологического процесса и состоянии оборудования. Здесь работают частотные преобразователи, модули удаленной периферии, электромагнитные клапаны, контакторы, инкрементные датчики скорости, концевые выключатели, кнопочные выключатели, блок-контакты состояния аппаратов;

Уровень 1 служит для непосредственного управления и контроля за технологическим процессом. Здесь работает программируемый логический контроллер (ПЛК), панель оператора.

Для сбора и обработки информации о состоянии станка выбран программируемый логический контроллер Siemens Simatic S7 1513-1 РМ. Информация датчиков скорости поступает на специализированные модули SMC20, соединенные по интерфейсу Drive-Click с CU320-2 и уже оттуда пересылается для обработки в ПЛК. Для визуализации состояния, изменения технологических параметров, диагностирования неисправностей применяется панель оператора SIMATIC HMI TP1200 Comfort.

В станке установлены шкафы управления ШВ, ШК, ШП и пульт управления ПУ [4].

Шкаф ввода и распределения питания ШВ. В нем содержатся автоматические выключатели и контакторы, силовые трансформатора, блоки питания, обеспечивающие формирование требуемых для работы станка уровней напряжения и селективную защиту питания оборудования. В системе управления будут использоваться несколько уровней питающего напряжения:

1. 380 В переменного тока для силового питания, подаваемого на вход выпрямителя преобразователя частоты Sinamics S120, а также питания неуправляемых асинхронных двигателей;
2. 48 В постоянного тока для питания катушек соленоидных клапанов;
3. 24 В постоянного тока для питания ПЛК Simatic S7 1513-1, модулей управления электропривода Sinamics S120, панели оператора и управляемого коммутатора Hirschmann.

Шкаф контроллера ШК. В нем установлен ПЛК, управляемый коммутатор, а также коммутационные аппараты, для управления клапанами, электромагнитными муфтами и исполнительными механизмами станка. Модули контроллера Simatic S7 1513 представлены в таблице 1.

Шкаф электропривода ШП содержит частотный регулируемый электропривод Sinamics S120 с модулями управления CU 320-PN, а также все необходимое защитное, коммутационное и фильтрующее оборудование, такие как дроссели, сетевые фильтры, силовые контакторы, модули подключения экодиров.

Пульт управления ПУ содержит станцию ET200 MP, а также панель визуализации TP1200 Comfort. Модули удаленной периферии ET200M представлены в таблице 2.

Таблица 1 – Модули контроллера Simatic S7 1513

Слот	Модуль	Специфика
2	CPU 1513-1 PN	Центральный процессор
3-5	DI 32×24 VDC	Модули дискретных выходов, 32 входа на модуль
6	DO 32×24 VDC	Модули дискретных выходов, 32 выхода на модуль

Таблица 2 – Модули удаленной периферии ET200M

Слот	Модуль	Специфика
1	IM 155-5 PN ST	Центральный процессор
2	DI 32×24 VDC	Модули дискретных выходов, 32 входа на модуль
3	DO 16×24 VDC	Модули дискретных выходов, 16 выходов на модуль

Частотный преобразователь Sinamics S120 состоит из блока контроля CU320, выпрямителя и трех двигательных модулей.

Связь контроллера с преобразователем частоты и панелью управления осуществляется по сети Profinet. Все оборудование, состоящее в сети, имеет в составе интерфейсы Profinet и легко объединяется в сеть с использованием управляемого 8-портового коммутатора Hirschmann RS20. Коммутатор оптимизирован для работы в промышленных сетях Profinet с линейной и звездообразной топологией, поддерживает скорость передачи данных 10/100 Мбит/с [5].

Для определения текущей скорости вращения двигателей используются инкрементальные датчики скорости POG9010241 формы BaumerHubner, проверенные и применяемые в ЦХПП.

Система управления станком работает в автоматизированном режиме. Имеется визуализация неисправностей на панели оператора и кнопки аварийного отключения на шкафу ШК, пульте ПУ, поэтому постоянное присутствие оперативного персонала не требуется.

В ходе исследовательской работе была изучена система автоматизации, аппаратные средства, а также принцип работы станка. Это позволило получить представления о принципах работы и функционировании станка.

Список литературы

1. Бушуев, В.В. Станочное оборудование автоматизированного производства / Учебник для ВУЗов Т.1. - Москва: «Станкин», 1993. – 584 с.
2. Глубокий, В.И. Шлифовальные станки: / А.И. Белицкая, А.И. Бачанцев. Учебно-метод. пособие. – Минск: БИТУ, 2003. – 68 с.
3. Бушуев, В.В. Станочное оборудование автоматизированного производства. / Учебник для ВУЗов Т.2. - Москва: «Станкин», 1993. – 578 с
4. Е. Н. Ковалёв. Монтаж, наладка и эксплуатация электроприводов. Проектирование шкафа управления электроприводом: Практикум / Учебное пособие. – Санкт-Петербург: ВШТЭ СПбГУПТД, 2022 – 47 с.
5. Е.Н. Некравцев, Конструкция и управление технологическим оборудованием / А.П. Будник, А.М. Чашников. Учебное пособие. – Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2013. Ч. 3. – 133 с.

AUTOMATION SYSTEM OF ELECTRIC DRIVES OF ROLLER GRINDING MACHINE RMM

BYLINKIN ARSENY SERGEEVICH

Student of gr. EP-21-1

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State
Technical University"

MUZYLEVA INNA VASILYEVNA

Scientific supervisor, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Electric Drive
Department.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State
Technical University"

Abstract: This paper covers the automation system of roller grinding machine RMM, as well as the study of hardware. The principle of the machine tool operation is considered.

Keywords: roller grinding machine RMM, automation system, control system, hardware.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ СИСТЕМ ОЧИСТКИ БАЛЛАСТНЫХ ВОД В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ МОРСКИХ СУДОВ

ГАБРИЭЛЬ ИГОРЬ ВЛАДИМИРОВИЧ

Студент гр. СЭ-5

ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет»

САВЕНКО АЛЕКСАНДР ЕВГЕНЬЕВИЧ

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электрооборудования судов и автоматизации производства

ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет»

Аннотация: В статье выполнен сравнительный анализ по механическим, экономическим и конструктивным характеристикам систем балластных вод с использованием технологии кавитации, ультрафиолетового излучения и электролиза в составе электроэнергетического комплекса судов.

Ключевые слова: кавитация, ультразвуковое излучение, электролиз, балластная система, электроэнергетический комплекс, морские суда.

Система очистки балластных вод является одной из важных в судоходстве, каждый год судами используется от трех до пяти миллиардов тонн балластной воды. Таким образом, был разработан широкий спектр технологических решений, чтобы помочь судам соответствовать новым требованиям к управлению балластными водам [1].

В статье произведен сравнительный анализ систем балластных вод с использованием технологии кавитации, ультрафиолетового излучения и электролиза. Все три системы взяты с параметрами производительности 1000 метров кубических в час.

Способ кавитации, так же называемый ультразвуковым, это физическая обработка, которая позволяет исключить любое использование сильных и дорогостоящих химических веществ. Ультразвуковые волны большой мощности создают кавитацию пузырьков в жидкости, которые приводят к интенсивным силам сдвига и высокому давлению.

Различные размеры ультразвуковых устройств с мощностью в диапазоне от 0,5 кВт до 16 кВт могут быть установлены как один блок или как последовательность блоков, обеспечивающих любую конфигурацию и производительность, позволяя установку системы на большом количестве коммерческих судов. Ультразвуковые генераторы собраны на основе ламп или полупроводниковых резисторов. Схема предусматривает работу с независимым или самостоятельным возбуждением и состоит из нескольких узлов, которые называются каскадами. Начальный каскад питается от тока электроэнергетической установки обычной частоты и преобразует его в ультразвуковые импульсы малой мощности. Затем промежуточный каскад усиливает мощность импульсов на выходе к конечному каскаду, который повышает импульсы до мощности, требуемой системой. Система имеет контрольную станцию, запрограммированную для управления блоками ультразвуковых устройств. В зависимости от требуемой нагрузки регулируется работа каскадной схемы [2].

Для достижения производительности в 1000 метров кубических в час потребуется блок из пяти ультразвуковых устройств по 16 кВт, который будет потреблять мощность равную 80 кВт. Для такой системы также может поставляться усилитель мощностью 4 кВт для каждого блока, позволяющий эксплуатацию в сложных условиях.

В системе предусмотрено минимальное количество насосов для подачи воды ввиду прямого цикла обработки, что минимизирует обслуживание системы к поддержанию в рабочем состоянии фильтров и управлением ультразвуковыми устройствами.

Преимущества ультразвуковой нейтрализации балластных вод:

- Полностью автоматизированный процесс работы системы;
- Возможность производства систем любой мощности;

- Стабильное энергопотребление системы в любых условиях эксплуатации.

Технология очистки через ультрафиолетовый фильтр состоит из ультрафиолетовых ламп, которые установлены по периметру камеры, через которую подается балластная вода.

Для достижения производительности очистной системы балластных вод в 1000 метров кубических в час потребуется установка УФ-фильтра с мощностью 100 кВт. Такое потребление мощности связано с большим количеством установки ультрафиолетовых ламп. Однако системой предусмотрено регулирование при помощи контрольной станции, что позволяет управлять мощностью в зависимости от сложности района плавания. Большую часть времени система работает в половину своей мощности, автоматически изменяя нагрузку в зависимости от сложности района плавания. Это достигается за счет светочувствительных датчиков, установленных на выходе трубопровода [3].

Преимущества УФ-фильтрации:

- Низкое энергопотребление в нормальных условиях эксплуатации;
- Автоматическая настройка мощности в зависимости от условий плавания;
- Малое энергопотребление вспомогательных механизмов;

Принцип работы системы очистки балластных вод с использованием электролиза, в отличие от предыдущих двух способов, состоит в подаче небольшого количества фильтрованной морской воды в электролизер и создании окислителя гипохлорита натрия и водорода. Электролизная вода, подается снова в главный балластный трубопровод с помощью насоса и так производится очистка балласта. При сбросе балласта обратно в морскую среду встает вопрос о том, чтобы контролировать допустимое содержание химикатов. Для решения этого, в системе предусмотрен сенсорный фильтр, который анализирует содержание воды перед сбросом и в случае высокого содержания гипохлорита натрия подает балластную воду на блок нейтрализатора [4].

Система с использованием электролиза так же может эксплуатироваться в сложных условиях, не накладывая ограничений на работу судна с грузами, однако при сложных условиях или при низкой солености воды будет возрастать энергопотребление в связи с работой дополнительного оборудования. Система способна автоматически увеличивать соленость балластной воды, добавляя морскую воду или повышая температуру воды с помощью нагревателя. При такой работе энергопотребление может возрастать в два раза.

Есть возможность контроля напряжения электролизера вручную. В отличие от предыдущих систем это не существенно влияет на потребляемую мощность, так как в системе большое количество насосов и фильтров, потребляющих основную мощность [5].

Для достижения производительности 1000 метров кубических в час системе потребуется мощность в 40 кВт.

Преимущества технологии электролиза:

- Малое энергопотребление в обычном режиме эксплуатации;
- Гибкий способ очистки с возможностью контроля процесса;
- Не требует продолжительной работы ввиду технологии очистки.

На диаграмме рисунка 1 представлено сравнение потребляемой мощности очистных систем балластных вод в разных условиях эксплуатации.

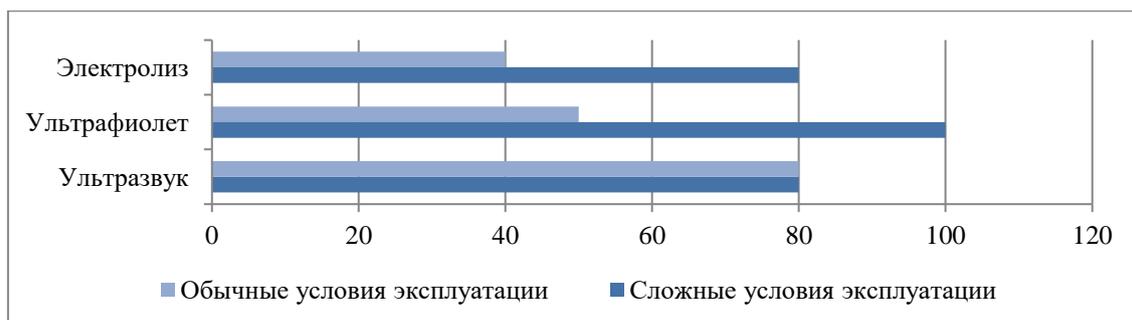


Рисунок 1 – Потребляемая мощность очистных систем балластных вод в разных условиях эксплуатации

Учитывая изложенную информацию, можно сделать выводы о ключевых преимуществах сравниваемых технологий очистки балластных вод об эффективности в составе электроэнергетического комплекса судна, удобстве эксплуатации и конструкции. В плане эффективности и простоты эксплуатации системы способ УФ-излучения является наилучшим решением, потребляя лишь половину мощности системы в простых условиях эксплуатации.

Системы очистки балластных вод ультразвуком и УФ-излучением обладают наилучшей автоматизацией. Технология электролиза, уступающая в автоматизации управления системы, имеет наименьший показатель потребляемой мощности и будет предпочтительной в составе электроэнергетического комплекса множества типов судов несмотря на то, что потребление мощности увеличивается в два раза при сложных условиях.

Конструктивно, системы УФ-излучения и кавитации не требуют значительных изменений в конструкции трубопроводов балластной системы при установке на борту судна, что является преимуществом перед системой с использованием электролиза, где отдельные блоки фильтрации и анализа химического состава балластных вод требуют установки в насосном отделении судна. Также, система кавитации обладает возможностью установки дополнительных блоков кавитации, что позволяет устанавливать её на большом спектре типов судов, увеличивая или уменьшая производительность, тем самым позволяя эффективно использовать ресурсы электротехнического комплекса.

Список литературы

1. Making sense of ballast water management. – Sweden: Alfa Laval Corp., 2017. – 64 с.
2. Василяк Л.М. Применение ультразвука в системах для обеззараживания воды. – Москва: Оборудование и приборы, 2010. – с. 107-109.
3. Nguyen D. Thach, Phan V. Hung. Development of UV reactor controller in ballast water treatment system to minimize the biological threat on marine environment – Vietnam: Journal of Sea Research 198, 2024. – с. 2-3.
4. Vinod K. A review on the feasibility of electrolytic treatment – India: Gurukula Kangri University, Department of Environmental Science, 2017. – 62 с.
5. Dongxia D., Fengqi X., Tingyong W. The effect of filtration and electrolysis on ballast water treatment – China: Qingdao Branch of Luoyang Ship Material Research Institute, 2023. – 113 с.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE TECHNOLOGICAL SYSTEMS OF BALLAST WATER TREATMENT IN THE ELECTRIC POWER COMPLEX OF MARINE VESSELS

GABRIEL IGOR VLADIMIROVICH

Student gr. SE-5

Kerch State Maritime Technological University

SAVENKO ALEKSANDR EVGENIEVICH

Candidate of technical sciences, associate professor of the department operation of ship electrical equipment and automation equipment

Kerch State Maritime Technological University

Abstract: The article provides a comparative analysis of the mechanical, economic and structural characteristics of ballast water systems using cavitation, ultraviolet radiation and electrolysis technologies as part of the electrical power complex of marine vessels.

Keywords: cavitation, ultraviolet radiation, electrolysis, ballast water systems, electrical power complex, marine vessels.

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРУДНОСТИ ПРИ СОЗДАНИИ И КОНСТРУИРОВАНИИ ЛОКОМАЦИОННЫХ РОБОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

ГОТОВЦЕВ ДАНИИЛ ГЕННАДЬЕВИЧ

студент гр. ЭП-23-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ПОНОМАРЕВ ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ

Научный руководитель, преподаватель кафедры электропривода
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: В данной работе рассматриваются технические трудности в управлении роботизированными системами, а точнее проблематика с считыванием информации с окружающей среды. Также были рассмотрены способы сбора информации машиной об окружающей среде

Ключевые слова: Система, робототехника, конструирование, локомационный.

Роботизированным системам, применяемым в реальном мире, приходится сталкиваться с целым рядом проблем: колеса мобильных роботов скользят, лидары не отражаются от стеклянных дверей, а люди в окружающей среде перемещаются непредсказуемым образом.

Однако многие современные роботы с неизбежными неопределенностями из различных источников, включая приблизительные модели динамики системы, несовершенные датчики и стохастические движения, вызванные шумом контроллера, еще не готовы справиться с этими вызовами. Хотя в настоящее время контроллеры с обратной связью могут справиться со значительной частью неопределенностей вовремя на этапе выполнения оставшиеся отклонения все еще могут быть проблематичными, особенно для роботов, работающих во взрывоопасных средах, или систем, тесно взаимодействующих с людьми. Одним из характерных примеров является манипулятор, установленный на подводном аппарате, который сталкивается не только с возмущениями от течений и внутренних волн, но и с перемещениями основания, вызванными взаимодействием между манипуляторами и корпусом, на котором они установлены. Пример органов осязания роботизированных систем представлен на рисунке 1.

Случайное столкновение таких манипуляторов, используемых при выполнении задач подводных научных исследований, часто может стоить миллионы долларов. Другой типичный пример - домашний вспомогательный робот, окруженный пожилыми людьми и детьми, которому необходимо быть очень осторожным, чтобы избежать столкновений. Поэтому в этих задачах важно, чтобы планировщик движения мог учитывать неопределенность и быстро реагировать на сбой в планировании.



Рисунок 1 – Органы осязания роботизированных систем

Однако быстро реагирующее планирование движения с учетом риска для роботов больших размеров, таких как роботы-гуманоиды, является очень сложной задачей.

В отличие от транспортных роботов, обычный робот-манипулятор может иметь семь степеней свободы (DOF), и эта высокая размерность чрезвычайно затрудняет количественную оценку неопределенностей, связанных с рисками столкновений, и составление планов безопасного движения в режиме реального времени. Существующие системы, которые решают проблему планирования движения с учетом рисков [не обладают способностью эффективно работать с роботами больших размеров и невыпуклыми средами. В порядке чтобы устранить эти трудности и предоставить планы движения, которые удовлетворяют ограничениям на вероятность сбоя плана, т.е. ограничениям вероятности.

Вероятностный, комбинированный подход, основанный на выборке и оптимизации, который может эффективно анализировать неопределенности для роботов большой размерности.

Однако, поскольку структура предлагаемая в данной статье, использует основанный на квадратуре подход к выборке для оценки рисков столкновений на каждом временном шаге плана движения, ее быстрдействие этого компонента оценки риска серьезно затрудняет его применение в задачах планирования движения роботов больших размеров в режиме реального времени.

Поэтому данный способ обучения позволяет повысить эффективность и точность с точки зрения онлайн-оценки столкновений и добиться быстрого планирования движения с ограниченным шансом.

Младенцы от природы проявляют любопытство к окружающей их среде и внутренне мотивированы пробовать различные действия и исследовать способы взаимодействия с объектами окружающей среды. Вдохновленная тем, как учатся человеческие младенцы, внутренняя мотивация стала популярным подходом в RL, чтобы побудить роботов-агентов исследовать свойства окружающей среды, не руководствуясь внешними функциями вознаграждения.

Представьте, что робот взаимодействует с коробкой на столе, чтобы научиться ее поднимать. Интуитивно понятно, что нежелательное поведение, связанное с опрокидыванием коробки на пол, должно порождать большую новизну, поскольку оно всегда приводит объект к состояниям, которые ранее не исследовались, и движимый любопытством агент,

стремящийся к максимальной новизне, может получить застрял, снова и снова сталкивая коробку на пол. Вместо этого идеальный агент для манипулирования объектами должен отдавать предпочтение действиям, которые контролируют объект, а не тем, которые приводят его к непредсказуемым новым состояниям.

Поэтому в этой публикации предлагается подход к внутренней мотивации, основанный на расширении прав и возможностей, который решает вышеуказанные проблемы и позволяет роботам осваивать навыки манипулирования лишь с редкими внешними вознаграждениями от окружающей среды.

Расширение прав и возможностей – это теоретико-информационная концепция, предложенная в попытке найти локальные и универсальные функции полезности, которые помогают индивидам выживать в процессе эволюции, сглаживая ландшафт приспособленности. Посредством измерения взаимной информации между действиями и состояниями расширение прав и возможностей показывает, насколько агент уверен в воздействии своих действий на окружающую среду.

Таким образом, использование расширения прав и возможностей в качестве дополнительного вознаграждения побуждает агентов RL изучать политику, влияющую на объекты окружающей среды предсказуемым образом.

Несмотря на хорошо подходящую интуицию использования расширения прав и возможностей в задачах манипулирования роботами как формы условной взаимной информации, вычислительные возможности в непрерывном пространстве состояний неразрешимы, и нетривиально расширить это концепция в многомерных роботизированных средах. Мы разрабатываем практические упрощения для вычисления условной взаимной информации, чтобы преодолеть трудности, связанные с оценкой возможностей, и показываем, что этот подход, основанный на расширении возможностей, превосходит другие современные методы внутреннего исследования в задачах манипулирования с редкими функциями вознаграждения, включая подъем объекта и подбор места.

Список литературы

1. Милтон Абрамович и Ирен Стегун. Справочник по математическим функциям: с формулами, графиками и математическими таблицами, том 55. Корпорация "Курьер", 1964.
2. Рон Альтеровиц, Тьерри Симеон и Кеннет И. Голдберг. Дорожная карта стохастического движения: структура выборки для планирования с учетом неопределенности марковского движения. В робототехнике: наука и системы, том 3, страницы 233-241, 2007.
3. Марцин Андрихович, Филип Вольски, Алекс Рэй, Йонас Шнайдер, Рэйчел Фонг, Питер Велиндер, Боб Макгрю, Джош Тобин, OpenAI Питер Эббил и Войцех Заремба. Ретроспективное воспроизведение опыта. В достижениях в области нейронной информации Системы обработки данных, страницы 5048-5058, 2017.
4. Мартин Арьовски, СумитЧинтала и Леон Ботту. Порождающие состязательные сети Вассе штейна. На Международной конференции по машинному обучению, страницы 214–223. PMLR, 2017.
5. Октай Арслан и ПанайотисЦиотрас. Исследование с использованием машинного обучения для алгоритмов планирования движения на основе выборки. В 2015 году Международная конференция IEEE/RSJ Конференция по интеллектуальным роботам и системам (IROS), страницы 2646-2652. IEEE, 2015.
6. Анна Атраментова и Стивен М Лавалле. Эффективный поиск ближайшего соседа для планирования движения. В материалах Международной конференции IEEE 2002 по Робототехника и автоматизация (Кат. № 02CH37292), том 1, страницы 632-637. IEEE, 2002.153
7. Брайан Аксельрод, Лесли Пак Келблинг и Томас Лозано-Перес. Доказуемо безопасная навигация робота с неопределенностью препятствий. Международный журнал исследований робототехники, 37(13-14):1760-1774, 2018.

8. Пьер-Люк Бэкон, Жан Харб и Дойна Прекуп. Архитектура option-critic. На тридцать первой конференции AAAI по искусственному интеллекту, 2017.

9. Майкл Бейн и Клод Саммут. Фреймворк для поведенческого клонирования. В MachineIntelligence 15, страницы 103-129, 1995.

THE MAIN TECHNICAL DIFFICULTIES IN THE CREATION AND DESIGN OF LOCOMOTION ROBOTICS SYSTEMS

GOTOVTSEV DANIIL GENNADIEVICH

student gr. EP-23-1

Lipetsk State Technical University

PONOMAREV PAVEL SERGEYEVICH

Scientific supervisor, lecturer of the Department of Electric Drive

Lipetsk State Technical University

Abstract: This paper examines the technical difficulties in controlling robotic systems, or rather the problems with reading information from the environment. The ways of collecting information about the environment by the machine were also considered

Keywords: System, robotics, design, locomotion.

СПОСОБЫ ПУСКА АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

ГРАБАРЬ ВЛАДИСЛАВ ВИТАЛЬЕВИЧ

Студент ЭП-21-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ПОНОМАРЕВ ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ

Научный руководитель, преподаватель кафедры электропривода
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: Статья посвящена изучению способов пуска асинхронных двигателей. В ней рассмотрены преимущества и недостатки разных способов, которые влияют на выбор наиболее эффективного.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, прямой пуск, пусковой ток, реакторный пуск, автотрансформаторный пуск.

Введение

Асинхронный двигатель – электрическая машина, скорость вращения ротора которой меньше скорости вращения магнитного поля статора. Он применяется во многих отраслях, например, в водоснабжении, в электротранспорте, на производстве и так далее.

Прежде чем запустить двигатель мы должны удостовериться в соблюдении нескольких пунктов. Первое и самое важное условие – пусковой момент двигателя должен быть больше момента сопротивления на валу, иначе ротор так и останется неподвижным. Второе – проверить, что пусковой ток меньше или равен номинальному, если же он превышает это значение, то обмотки двигателя могут сгореть. Стоит также понимать, что при частых пусках и при тяжелых нагрузках выделяется большая тепловая энергия в первичной обмотке, которая также может способствовать выходу машины из строя.

Рассмотрим первый вид пуска - прямой пуск. Прямой пуск – это пуск, при котором обмотки статора подключаются непосредственно к источнику напряжения. Такое подключение имеет свои плюсы и минусы. Схема прямого пуска, представленная на рисунке 1, проста и экономически менее затратна, но, с другой стороны, сеть, к которой подключается двигатель, должна иметь достаточную мощность для пуска машины напрямую.

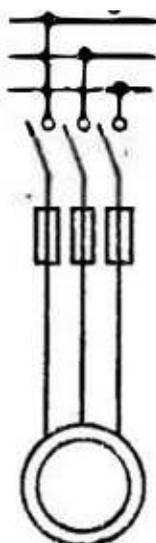


Рисунок 1 – Схема прямого пуска

В случаях, когда прямой пуск не подходит из-за определенного ряда причин, применяют реакторный пуск. Схема реакторного пуска представлена на рисунке 2.

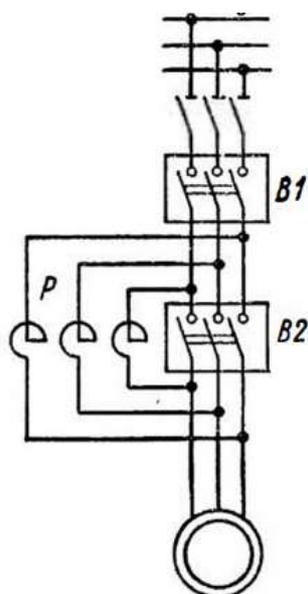


Рисунок 2 – Реакторный пуск

Принцип работы заключается в следующем. Изначально включается переключатель В1, и ток начинает поступать в двигатель через трехфазный реактор. Когда двигатель достигнет определенных оборотов, включается переключатель В2, шунтируя тем самым реактор, и обмотки статора получают питание из сети. По сравнению с прямым пуском данная схема обладает меньшим пусковым током и моментом.

Рассмотрим еще один вид пуска – автотрансформаторный. Его схема представлена на рисунке 3.

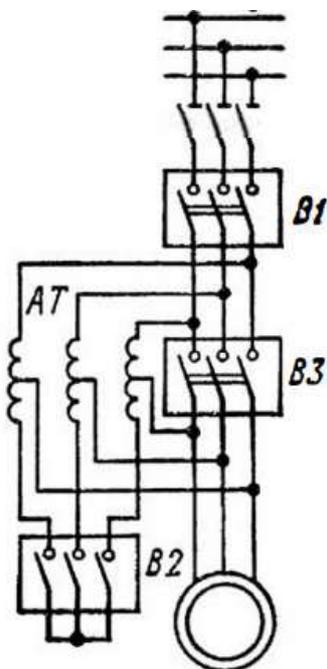


Рисунок 3 – Автотрансформаторный пуск

Первым действием включаются переключатели В1 и В2. Двигатель начинает разгоняться и в определенный момент отключается В2. Теперь машина питается через часть обмотки трансформатора АТ. Далее автотрансформатор шунтируется также, как и реактор в предыдущем пуске и двигатель начинает питаться от сети. Если автотрансформатор понижает напряжение в k раз, то пусковой ток на стороне низшего напряжения уменьшится также в k раз, а на стороне высшего напряжения в k^2 раз. Следовательно, пусковой ток и момент

автотрансформаторного пуска уменьшаются в одинаковое число раз. Поэтому данный вид пуска имеет больший пусковой момент по сравнению с реакторным пуском, что является преимуществом схемы.

Список литературы

1. Файзиев, М. М. Моделирование пуска асинхронных двигателей в Matlab [Электронный ресурс] // Н. А. Курбанов, А. Б. Имомназаров // Вестник науки и образования. 2017. №3 (27). – 2-3 с.
2. Майорова Ю. А. Пуск асинхронного двигателя в сети соизмеримой мощности [Электронный ресурс] // Наука, техника и образование. 2015. №10 (16). – 1-2 с.
3. Вечеркин М. В. Выбор времени переключения при реакторном пуске асинхронных электроприводов с вентиляторной нагрузкой [Электронный ресурс] / А. С. Сарваров. // ЭС и К. 2013. №21. – 3 с.
4. Жадан В. А. Экспериментальное исследование нагрева асинхронных двигателей в повторно-кратковременных режимах работы с частыми пусками [Электронный ресурс] / Ю. В. Копылов // Известия ТПУ. 1974 – 3-4 с.
5. Вольдек, А. И. Электрические машины [Электронный ресурс] / И. П. Копылов // Ленинград «Энергия» Ленинградское отделение 1978. – 563-567 с.

METHODS OF STARTING ASYNCHRONOUS MOTORS

GRABAR VLADISLAV VITALEVICH

Student EP-21-1

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Lipetsk State Technical University"

PONOMAREV PAVEL SERGEYEVICH

Scientific supervisor, lecturer of the electric drive department

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

Abstract: The article is devoted to the study of ways to start asynchronous motors. It examines the advantages and disadvantages of different methods that influence the choice of the most effective one.

Keywords: asynchronous motor, direct start, starting current, reactor start, autotransformer start.

УСТРАНЕНИЕ ПОВРЕЖДЕНИЙ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПУСКАТЕЛЯХ

ГРАБАРЬ ВЛАДИСЛАВ ВИТАЛЬЕВИЧ

Студент ЭП-21-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ПОНОМАРЕВ ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ

Научный руководитель, преподаватель кафедры электропривода
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: Статья посвящена изучению наиболее распространенных повреждений в электромагнитных пускателях. В ней рассмотрены способы их устранения и предотвращения в дальнейшем.

Ключевые слова: электромагнитные пускатели, зачистка контактов, короткое замыкание, нагрев.

Введение

Электромагнитный пускатель – элемент электрической схемы, применяемый, в основном, для безопасного пуска и остановки двигателей постоянного и переменного тока. Он служит для предотвращения обгорания обмоток вследствие скачка тока, нагрузка которого может повредить машину.

Устройство магнитного пускателя представлено на рисунке 1.

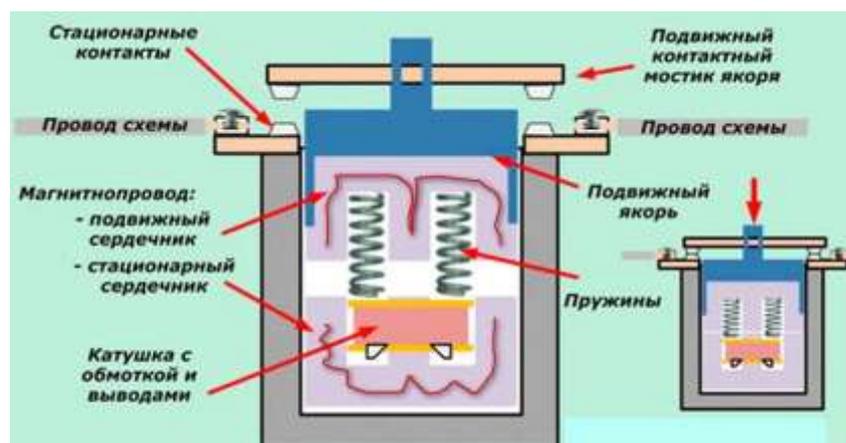


Рисунок 1 – Устройство магнитного пускателя

Прежде чем подключить пускатель мы должны удостовериться в соблюдении нескольких пунктов. Первое и самое важное условие – выбрать категорию пускателей по их области применения, он зависит от вида нагрузки, типа двигателя и так далее. Второе – пусковой ток должен быть меньше номинального тока аппарата. Стандартные значения колеблются от 6,3А до 500А. Третье условие – номинальное напряжение катушки должно быть равно напряжению на кнопках управления. И последнее – напряжение изоляции должно быть больше напряжения сети. При соблюдении данных пунктов значительно снижается риск выхода из строя электромагнитного пускателя.

Рассмотрим несколько наиболее распространенных причин поломки пускателя и их устранение.

1) Электромагнитный пускатель не включается. Требуется зачистить контакты, проверить кнопку, затянуть крепежные элементы. Если пускатель так и не запустился можно заменить кабель, катушку, диод и предохранитель.

2) Если электромагнитный пускатель включается, но отключается при отжатии кнопки пуска, то необходимо проверить схему на наличии шунтирующей цепи. В случае необходимости заменить блок.

3) Электромагнитный пускатель включается, но отключается, при этом загорается красная лампа. Сработала токовая защита, нужно проверить схему и найти место короткого замыкания.

4) Если же при подаче тока короткого замыкания лампа не загорается, требуется ее заменить.

5) При сильном нагреве контактов необходимо сначала отрегулировать их положение и прочистить. В случае обгорания заменить их. Обгоревшие контакты пускателя представлены на рисунке 2.



Рисунок 2 – Обгоревшие контакты пускателя

б) Перегрев электромагнитного пускателя. Не стоит путать с перегревом контактов, в случае нагрева всего аппарата обязательно требуется замена блока.

7) Если электромагнитный пускатель начинает громко работать, нужно очистить от пыли и проверить расположение контактов и якоря. При необходимости заменить виток.

Список литературы

1. Абдуллазянов Э.Ю., Грачева Е.И., Горлов А.Н., Шакурова З.М., Табачникова Т.В., Шумихина О.А., Гибадуллин Р.Р. Исследование качества функционирования электрических аппаратов низкого напряжения в составе электротехнических комплексов [Электронный ресурс] // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2021. №6. – 7-8 с.

2. Зайцев А. И. Искробезопасная схема дистанционного управления взрывобезопасными пускателями [Электронный ресурс] // Известия ТПУ. 1959. №. – 3-4 с.

3. Годжелло А. Г., Егоров Е. Г., Ращепкина Н. А., Иванова С. П. Прогнозирование технического состояния контактов магнитных пускателей по результатам испытаний на коммутационную износостойкость [Электронный ресурс] // Вестник ЧГУ. 2003. №2. – 156-157 с.

4. Буторин В.А., Царев И.Б., Банин Р.В., Шарпилов А.Ю. Время первой проверки состояния контактов магнитного пускателя [Электронный ресурс] // Вестник Курганской ГСХА. 2019. №2 (30). – 58-59 с.

5. Вольдек, А. И. Электрические машины [Электронный ресурс] / И. П. Копылов // Ленинград «Энергия» Ленинградское отделение 1978. – 563-567 с.

ELIMINATION OF DAMAGE IN ELECTROMAGNETIC STARTERS

GRABAR VLADISLAV VITALEVICH

Student EP-21-1

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Lipetsk State Technical University"

PONOMAREV PAVEL SERGEEVICH

Scientific supervisor, lecturer of the electric drive department

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

Abstract: the article is devoted to the study of the most common damages in electromagnetic starters. It discusses ways to eliminate and prevent them in the future.

Keywords: electromagnetic starters, contact stripping, short circuit, heating.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПОЛЕЙ СУТОЧНОГО РАСХОДА ГАЗА ЦЕМЕНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

ГРУНТОВИЧ НАДЕЖДА ВЛАДИМИРОВНА
Д.т.н., профессор
ГИПК «ГАЗ-ИНСТИТУТ» (г. Минск, Республика Беларусь)

КАПАНСКИЙ АЛЕКСЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ
К.т.н., доцент, ГГТУ им. П.О. Сухого
(г. Гомель, Республика Беларусь)

ЖУКОВЕЦ СВЕТЛАНА ГРИГОРЬЕВНА,
Старший преподаватель, ГГТУ им. П.О. Сухого
(г. Гомель, Республика Беларусь)

ГОНЧАРЕНКО ЮЛИЯ ВЯЧЕСЛАВОВНА
Старший преподаватель, ГГТУ им. П.О. Сухого
(г. Гомель, Республика Беларусь)

Аннотация: в статье представлены исследования суточных режимов потребления газа печами цементного завода. Определен вид структурного поля «суточный расход газа–среднесуточная температура наружного воздуха» за шестилетний период. Оценено влияние температуры наружного воздуха на суточное потребление газа. Установлены закономерности формирования структурных полей суточного расхода газа цементного завода.

Ключевые слова: структурные поля, суточный расход газа, среднесуточная температура наружного воздуха, влияние температуры, закономерности формирования структурных полей

На основе сформированной информационной базы (ИБД) по суточным режимам потребления газа печного оборудования цементного производства исследованы суточные режимы потребления газа производством и выполнена оценка вида структурных полей суточный расход газа–среднесуточная температура наружного воздуха (« $b_{cym-t_{cp.cym}}$ »)[1–5]. ИБД включала суточные статистические данные за шестилетний период (с 2015-2020 гг.) следующих параметров: $b_{сут}$ – значения суточного потребления газа по цементному производству и отрасли в целом, м³; $t_{cp.сут}$ – усредненные суточные значения температуры наружного воздуха, °С.

Для построения структурных полей « $b_{cym-t_{cp.cym}}$ » среднесуточная температура наружного воздуха пересчитана в градусы по Кельвину по формуле: $t_{сут, K} = t_{сут, °C} + 273,15$, что позволило уйти от отрицательных значений температур. Далее среднесуточная температура наружного воздуха нормировалась относительно нулевого значения в °К, что позволило перейти к относительным значениям температуры. В результате весь возможный суточный ряд температуры наружного воздуха за год представлен диапазоном от 0,9 до 1,1 о.е. Суточные значения объема потребления газа $b_{сут}$ также переведены в относительные единицы путем нормирования суточных расходов газа относительно среднегодового значения 2015 г. Это дало возможность проводить анализ и сравнение структурных полей " $b_{cym} - t_{cym}$ " за разные годы, а также сохранять конфиденциальность информации [1,2].

Произведена оценка влияния среднесуточной температуры наружного воздуха на суточный расход газа цементным производством (табл.1). Установлено полное отсутствие связи между суточным расходом газа цементными печами и среднесуточной температурой наружного воздуха, на что указывает низкое значение коэффициента парной корреляции и его изменение от отрицательных значений (2016, 2019, 2020 г.) до низких положительных (2015, 2017, 2018 г.). Установлена высокая степень коэффициента корреляции между суточным

потреблением газа цементного производства и суточными отраслевыми показателями. За трехлетний период 2018 – 2020 г. связь $R(b_{сут.завод}-b_{сут.отр})$ между суточным потреблением завода и отраслью в целом составляет более 0,9.

Разработаны структурные поля суточный расход газа-среднесуточная температура наружного воздуха « $b_{сут}-t_{ср.сут}$ » за трехлетний период для цементного производства. Структурное поле цементного производства « $b_{сут}-t_{ср.сут}$ » за 2019 г. представлено на рисунке 1. Как видно из рисунка 1, в 2019 г. структурное поле может быть представлено двумя областями: нижняя область распространяется на весь диапазон температуры и отличается достаточно низкими значениями $b_{сут}$, верхняя область отличается высокими значениями $b_{сут}$ и незначительным ростом при снижении среднесуточной температуры наружного воздуха.

Таблица 1 – Оценка влияния среднесуточной температуры на суточное потребление газа по цементному производству и отрасли в целом

Коэффициент корреляции	Год	Цементное производство	Отрасль региона	$b_{сут.завод}-b_{сут.отр}$
$R(b_{сут}-t_{сут})$	2015	0,207	-0,046	0,268
	2016	-0,338	-0,031	0,438
	2017	0,118	0,065	0,558
	2018	0,125	0,008	0,949
	2019	-0,181	-0,309	0,980
	2020	-0,053	-0,125	0,939

Область низких значений $b_{сут}$ может объясняться режимом холостого хода либо остановом одной-нескольких печей предприятия.

Аналогичные закономерности формирования структурного поля ОАО "Красносельскстройматериалы" « $b_{сут}-t_{ср.сут}$ » за 2020 г. (рисунок 2).

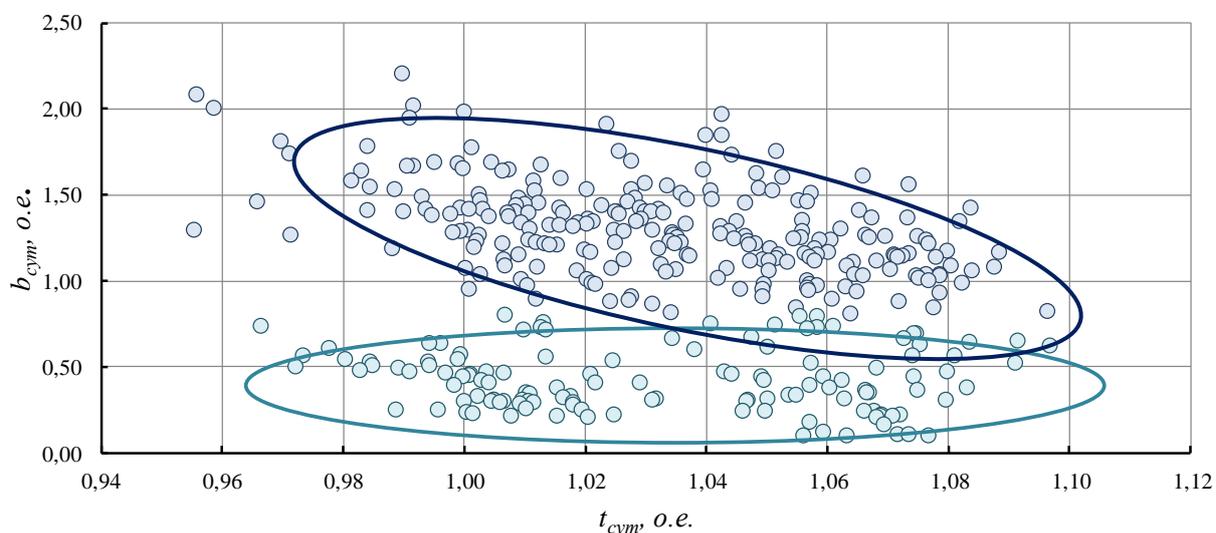


Рисунок 1– Структурное поле « $b_{сут}-t_{ср.сут}$ » за 2019 г. цементного производства

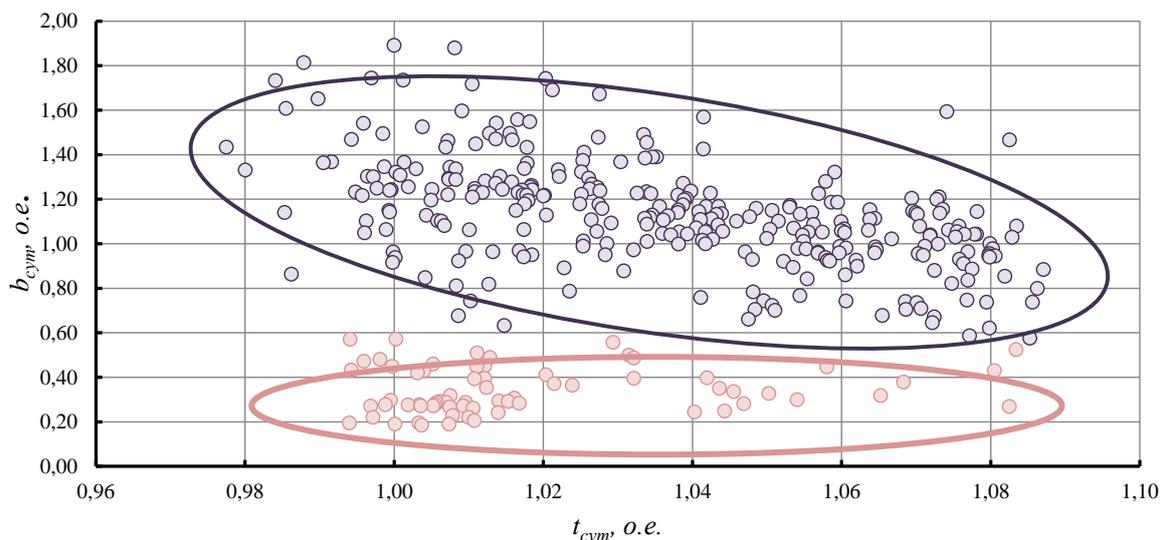


Рисунок 2 – Структурное поле « $b_{сут}$ - $t_{сут}$ » за 2020 г. цементного производства

Установлены следующие закономерности формирования структурных полей суточного расхода газа цементного завода:

- в целом для предприятия на структурном поле можно выделить две зоны, которые соответствуют рабочему режиму (высокими значениями суточного расхода газа $b_{сут}$) и режиму холостого хода (останова) печей (с наиболее низкими значениями суточного расхода газа $b_{сут}$);

- режимы холостого хода или разогрева печей не зависят от среднесуточной температуры наружного воздуха. В 2019 г. режимы минимального расхода газа соотносились 81,9% на 18,1% по области положительных и отрицательных температур. А общее количество суток с минимальным потреблением газа составило 127 дней, или 34,8% от общего количества дней в году. В 2020 г. режимы минимального расхода газа соотносились 71,6% на 28,4% по области положительных и отрицательных температур. А общее количество суток с минимальным потреблением газа составило 67 дней, или 18,4% от общего количества дней в году;

- рабочие режимы цементных печей определяются производственной программой (загрузкой), качеством исходного сырья, состояния футеровки печи и незначительно от температуры наружного воздуха. Соответственно технологические факторы и определяют разброс $b_{сут}$ при одной и той же температуре наружного воздуха.

Исследования проводятся в рамках выполнения задания 1.1.11 «Методика оценки энергоэффективности промышленных производств с газовым печным оборудованием для обеспечения устойчивого функционирования и развития энергетического комплекса Республики Беларусь» государственной программы научных исследований «Энергетические и ядерные процессы и технологии» на 2021-2025 г.г.

Список литературы

1. Moroz D., Hruntovich N., Jhukovets S., Kapansky A., Dolomanyak L. The study of structural fields of daily gas consumption of the balance groups of the regional gas supply system. В сборнике: E3S WEB OF CONFERENCES. 2020. С. 01066.

2. Грунтович Н.В., Мороз Д.Р. Исследования суточных режимов потребления газа укрупненной балансовой группы «промышленность» региональной системы газоснабжения. В сборнике: Современные проблемы машиноведения. Сборник научных трудов. В 2 частях. Под общей редакцией А. А. Бойко. Гомель, 2023. С. 48-51.

3. Малащенко М.П. Направления экономии импортируемого природного газа в республике беларусь с учетом интеграции БелАЭС. В сборнике: Исследования и разработки в

области машиностроения, энергетики и управления. Материалы XXI Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 2-х частях. Под общей редакцией А.А. Бойко. Гомель, 2021. С. 212-215.

4. Спитальников В.М. Исследование структурных полей суточного потребления газа от температуры для укрупненной балансовой группы «Минжилкомхоз» региональной системы газоснабжения. В сборнике: Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления. Материалы XXI Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 2-х частях. Под общей редакцией А.А. Бойко. Гомель, 2021. С. 208-212.

5. Малашенко М.П. Исследование структурных полей суточного потребления газа укрупненной балансовой подгруппы «Минпром» региональной системы газоснабжения. В сборнике: Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления. Материалы XXI Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 2-х частях. Под общей редакцией А.А. Бойко. Гомель, 2021. С. 220-223.

RESEARCH OF STRUCTURAL FIELDS OF DAILY GAS CONSUMPTION IN CEMENT PRODUCTION

HRUNTOVICH NADEZHDA VLADIMIROVNA

Doctor of Technical Sciences, Professor GIPC"GAZ-INSTITUTE" (Minsk, Republic of Belarus)

KAPANSKY ALEXEY ALEXANDROVICH

PhD, assistant professor, GSTU named after Sukhoi, Gomel, Republic of Belarus

ZHUKOVETS SVETLANA GRIGORIEVNA

Senior Lecturer, GSTU named after Sukhoi, Gomel, Republic of Belarus

GONCHARENKO YULIA VYACHESLAVOVNA

Senior Lecturer, GSTU named after Sukhoi, Gomel, Republic of Belarus

Abstract: the article presents studies of daily gas consumption patterns in cement plant furnaces. The type of structural field “daily gas consumption–average daily outside air temperature” for a six-year period has been determined. The influence of outside air temperature on daily gas consumption was assessed. The patterns of formation of structural fields of daily gas consumption at a cement plant have been established.

Keywords: structural fields, daily gas consumption, average daily outside air temperature, influence of temperature, patterns of formation of structural fields

НЕСОВЕРШЕНСТВО ТЕОРИЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ СИЛОВЫХ МАСЛОНАПОЛНЕННЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

ГРУНТОВИЧ НИКОЛАЙ ВАСИЛЬЕВИЧ

Д.т.н., профессор ГИПК «ГАЗ-ИНСТИТУТ» (г. Минск, Республика Беларусь)

ГРУНТОВИЧ НАДЕЖДА ВЛАДИМИРОВНА

Д.т.н., профессор ГИПК «ГАЗ-ИНСТИТУТ» (г. Минск, Республика Беларусь)

ЖОББОРОВ ТУЛКИН КАМОЛОВИЧ

К.т.н., доцент Ферганский политехнический институт
(г. Фергана, Республика Узбекистан)

Аннотация: в статье изложены результаты исследований физической природы электрической дуги внутри бака силовых трансформаторов.

Ключевые слова: маслонеполненный трансформатор, частичные разряды, примеси, электрическая дуга, ток утечки, релейная защита

Анализируя протоколы технического диагностирования трансформаторов, которые выполняются отдельными организациями, становится очевидным, что теория технической диагностики силовых трансформаторов несовершенна. Несмотря на избыточность диагностических параметров не всегда можно выявлять зарождающиеся дефекты на ранней стадии (табл.1).

Таблица 1 – Измерение диагностических параметров с низкой достоверностью при прогнозировании электрической дуги внутри бака силового трансформатора

№	Выполняемые измерения	Обоснование
1	Высоковольтные испытания изоляции кабелей, электрических машин, обмоток силовых трансформаторов	Увеличивается число повреждений изоляции на 18-20% при рабочем напряжении из-за незавершенного пробоя.
2	Оценка степени пресовки обмоток и магнитопровода трансформатора по общему уровню вибрации в диапазоне до 1000 Гц	Низкая достоверность. Имеется ряд факторов, вызывающие высокий уровень вибрации в диапазоне 2000-4000 Гц с образованием электрических разрядов и интенсивного газовыделения
3	Определение механического состояния обмоток методом частотного анализа FRA	Неопределенность, т.к. отсутствует заводская эталонная характеристика
4	Измерения тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ изоляции обмоток силовых трансформаторов при 10 кВ от моста переменного тока Р 5026	Неопределенная информация о техническом состоянии обмоток, т.к. при старении диэлектрика $\text{tg}\delta$ начинает изменяться при напряжении больше 40% от рабочего значения, в данном случае 50 кВ для трансформатора 110 кВ
5	Определение наличия частичных разрядов по амплитудному спектру разрядов во времени прибором AR-700 согласно опыту в РБ	Неопределенность в определении интенсивности частичных разрядов. Необходима метрология частичных разрядов мВ или пКл при сравнении с предельным значением

6	Термографическое обследование силовых трансформаторов только с земли	В обязательном порядке проводить термографическое обследование вводов и крыши баков трансформатора с крыши здания или автомобильной люльки
7	Выявление дефектов силовых трансформаторов по результатам анализа концентрации горючих газов по одной методике	При дуговых разрядах в баке трансформатора масло горит в зоне разряда. Поэтому хроматография выдает ложный дефект – локальный перегрев. Для повышения достоверности выявления дефектов целесообразно выполнить термографическое обследование и измерение частичных разрядов

В таблице 2 представлены результаты классификации повреждений силовых трансформаторов по месту повреждения и сроку наработки трансформатора до повреждения [1]. Отказы вводов, как правило, происходят в первые 5 лет и через 30 лет эксплуатации.

Таблица 2 – Распределение повреждений трансформаторов 35-110 кВ на группы по сроку наработки и месту повреждения

Место повреждения	Наработка, лет						Общее количество	В % от общего
	0-5	6-15	16-25	26-39	40 и более			
Обмотки	16	13	39	30	3	101	43,5	
ПУ	8	10	18	23	5	64	27,5	
Ввод	7	4	5	8	1	25	10,7	
Магнитопровод	2	4	6	2	2	16	6,8	
Система	0	1	5	0	2	8	3,4	
Бак и арматура	2	1	2	1	0	6	2,5	
Система	0	1	3	2	0	6	2,5	
Другое	2	2	0	1	1	6	2,5	
ИТОГО	37	36	78	67	14	232	100,0	

Несколько другая статистика отказов и их характеры для польской энергосистемы [2] (табл.3).

Таблица 3 – Статистика отказов основных узлов трансформаторов в энергосистеме Польши

Тип дефекта	Доля отказов, %
Дефекты устройства РПН	35,2
Дефекты устройства ПБВ	2,5
Повреждение обмоток	22,6
Повреждение вводов	18,9
Наружные соединения	10,1
Течь масла	3,1
Сердечник и магнитопровод	1,9
Повреждение изоляции	0,6
Другие узлы	5,1

В работе [3] приведена статистика США по общему количеству отказов трансформаторов и дано распределение экономических потерь в связи с этим за 1997-2001 годы (анализ проведен Международной ассоциацией инженеров – страховщиков).

После анализа данных таблиц 1,2 и в публикации [3] можно констатировать следующие факты: согласно статистике отказов ЗТЗ «Сервис» общее количество повреждения обмоток составляет 43,5%, в Польше повреждение обмоток составляет 22,6%; в США повреждения обмоток составляет 24-26%. Высокий уровень повреждаемости обмоток силовых трансформаторов, согласно данным ЗТЗ, «Сервис» можно объяснить следующими причинами:

- регулярное высоковольтное испытания изоляции обмоток трансформаторов, которые проводились и проводятся во всех республиках бывшего Советского союза;
- при межвитковых коротких замыканиях в обмотках трансформаторов ток внешней цепи меняется незначительно, в то время как в самих поврежденных витках он в десятки раз превышает номинальные значения и становится разрушительным. [4]

В результате анализа повреждений силовых трансформаторов были выявлены следующие закономерности. Высоковольтные вводы 110 кВ с RIP-изоляцией в силовых трансформаторах под воздействием электрической дуги разрушаются без возгорания масла в трансформаторе. При этом повреждается посадочное место в баке, а в некоторых случаях разрываются и стальные стенки бака при повреждении вводов 220 кВ.

Повреждения электрической дугой маслонаполненных вводов сопровождается, как правило, возгоранием масла в трансформаторе (рис. 1).



а) подстанция металлургического предприятия



б) региональные электрические сети

Рисунок 1 – Возгорание силовых маслонаполненных трансформаторов под воздействием электрической дуги внутри бака

Расследования повреждений показали, что во всех случаях сработали все типы защит: газовое реле, токовая отсечка, дифференциальная защита и максимально-токовая защита. Это подтверждает низкую эффективность релейной защиты силовых трансформаторов, которую сложно сразу объяснить.

При дальнейших исследованиях было установлено, что опасность ЧР заключается в том, что при определенных условиях они формируют электропроводящий канал в трансформаторном масле [5]. В данном канале омическое сопротивление трансформаторного масла близко к нулю.

При выполнении экспериментов по моделированию электрической дуги в лабораторных условиях с помощью установки АИД-70 было получено, что с началом образования электропроводящего канала в масле формирование электрической дуги между электродами происходит за несколько миллисекунд (рисунок 2). Это время меньше времени срабатывания существующей РЗА. При образовании электрической дуги внутри бака трансформатора возникает электрический ток огромной величины, который вызывает срабатывание РЗА при одновременном возгорании трансформаторного масла или разрушения ввода с RIP-изоляцией.



Рисунок 2 – Экспериментальная установка для моделирования электрической дуги в трансформаторном масле

Как показали исследования, для формирования электропроводящего канала в масле бака трансформатора необходимо, как минимум, два условия: загрязнение масла микрочастицами и наличие шин заземления бака трансформатора. При измерении ЧР в двадцати силовых маслонаполненных трансформаторах было установлено, что при наличии ЧР в масле более 200 пКл регистрировался ток утечки в шинах заземления. Максимальный ток утечки величиной 14 А был зафиксирован в шинах заземления стальных рельсов, на которых установлены силовые трансформаторы. На одном силовом трансформаторе были временно сняты все шины заземления. Параметры ЧР в баке изменились, но частично сохранились, так как трансформатор размещался на рельсах, а рельсы крепились к влажному бетонному основанию. На основании проведенных научных исследований получен патент на изобретение «Способ защиты силового маслонаполненного трансформатора от внутренней электрической дуги» [6]. Многие авторы продолжают совершенствовать РЗА силовых трансформаторов [7,8]. Для предупреждения и защиты маслонаполненных трансформаторов от электрической дуги внутри бака необходимо регулярно контролировать качество масла, концентрацию горючих газов в масле, величину и место частичных разрядов в баке.

Для повышения эффективности релейной защиты силовых трансформаторов необходимо установить регистраторы токов утечки в шинах заземления по абсолютной величине и по производной токов утечки во времени. Это позволит на ранней стадии определить аварийное значение токов утечки в шинах заземления.

Список литературы

1. Н. В. Грунтович, О. В. Фёдоров, Д. Р. Мороз, Б. Б. Третьяков, П.М. Колесников. Анализ проблемных вопросов эксплуатации маслонаполненных трансформаторов. Энергия и Менеджмент, 2017 - № 3(96), с. 2-6.
2. Алексеев Б.А. Контроль состояния (диагностика) крупных силовых трансформаторов [Текст] / Б.А. Алексеев. – М., 2002.
3. У. Бартли. Обзор повреждений трансформаторов. «Энергия и менеджмент», 2011, №1, С. 40-43.
4. Путилин К.П., Майорова Ю.А., Пронина А.К. Диагностирование внутренних коротких замыканий силовых трансформаторов // Изв. вузов. Электромеханика. 2018. Т. 61, № 3. С. 53-59. DOI:10.17213/0136-3360-2018-3-53-59.
5. Грунтович Н.В., Грунтович Н.В. Закономерности образования внутренней электрической дуги в силовых маслонаполненных трансформаторах. Часть 2. Энергетическая стратегия. 2022. № 2 (86). С. 18-22.
6. Патент на изобретение №2800650 РФ СПОСОБ ЗАЩИТЫ СИЛОВОГО МАСЛОНАПОЛНЕННОГО ТРАНСФОРМАТОРА ОТ ВНУТРЕННЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ. Грунтович Ник. Вас. (BY); Грунтович Над. Влад. (BY); КирдищевДмит. Влад. (RU). Заявка 2022105491 от 28.02.2022, дата регистрации 25.07. 2023 Бюл. №21

7. Способ защиты силового трансформатора тяговых подстанций переменного тока от внутренних повреждений. Григорьев Н.П., Дынькин Б.Е., Парфианович А.П., Трофимович П.Н. Патент на изобретение RU 2710023 С2, 22.05.2018, Заявка №2018118911 от 24.12.2019

8. Устройство дифференциальной защиты силового трансформатора. Суворов А.А., Глазырин В.Е., Ерушин В.П., Тимофеев И.П. Патент на изобретение RU 2497256 С1, 07.06.2012, Заявка №2012123731/07 от 07.06.2012

10. Способ защиты маслонаполненного трансформатора от взрыва и маслонаполненный трансформатор с защитой от взрыва. Фортов В. Е., Сон Э. Е., Исакаев М.-Э. Х., Карпухин А. В., Леонов А. А., Спектор Н. О., Юсупов Д. И. Патент на изобретение RU (11) 2 516 307(13) С2, 07.03.2012, Заявка №2012108653/07, 07.03.2012.

IMPERFECTION OF THEORIES OF TECHNICAL DIAGNOSTICS OF POWER OIL-FILLED TRANSFORMERS

HRUNTOVICH MIKALAI

Doctor of Technical Sciences, Professor of State Institute of Culture and Culture "GAZ-INSTITUTE" (Minsk, Republic of Belarus)

HRUNTOVICH NADZEYA

Doctor of Technical Sciences, Professor of State Institute of Culture and Culture "GAZ-INSTITUTE" (Minsk, Republic of Belarus)

ZHOBBOROV TULKIN

Ph.D., Associate Professor, Fergana Polytechnic Institute (Fergana, Republic of Uzbekistan)

Abstract: the article presents the results of studies of the physical nature of the electric arc inside the tank of power transformers.

Keywords: oil-filled transformer, partial discharges, impurities, electric arc, leakage current, relay protection

МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПЛАВУЧЕЙ ВОЛНОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

ДАРЬЕНКОВ АНДРЕЙ БОРИСОВИЧ

Заведующий кафедрой «ЭПА», д.т.н.

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»

ПЛЕХОВ АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ

Доцент кафедры «ЭПА», к.т.н.

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»

АЛЕШИН ДМИТРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

Старший преподаватель кафедры «ТОЭ»

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»

Аннотация: Статья посвящена разработке математических и имитационных моделей компонентов электромеханической системы преобразования энергии морских волн. Определены соотношения мощности этих компонентов к номинальной мощности нагрузки электростанции при предполагаемых условиях эксплуатации.

Ключевые слова: плавучая волновая электростанция, соотношения мощности компонентов, силовая электроника.

Запасы нефти, природного газа и других невозобновляемых источников энергии постепенно сокращаются, а спрос на электрическую энергию постоянно растет. В связи с этим возникает потребность в разработке и применении энергоустановок на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ). Одним из перспективных ВИЭ являются волновые электростанции (ВЭС), использующие кинетическую энергию волн, обладающих высокой плотностью энергии [1].

При проектировании электромеханической системы ПВЭС необходимо решить следующие задачи [2]:

1. Проанализировать функциональную схему электромеханической системы и обосновать выбор типа и исполнения электромеханического преобразователя энергии, а также силовых электронных преобразователей, обеспечивающих получение необходимого уровня напряжения постоянного тока и заряд электрической аккумуляторной батареи при одновременном питании нагрузки электростанции.

2. Провести имитационные исследования электрогенерирующей установки с целью определения параметров электромеханического преобразователя, силовых электронных преобразователей, отношений установленной мощности каждого из этих устройств к заданной мощности нагрузки.

3. Определить коэффициенты полезного действия (КПД) электромеханического преобразователя и силовых электронных преобразователей энергии.

Авторы работы сформулировали основные положения агрегатно-модульного построения преобразовательных устройств. Целью агрегирования в настоящей работе является создание системы электромеханического преобразования параметров волновой энергии, выполняющей заданные функции, имеющей желаемые энергетические и динамические характеристики. Исходными данными являются структуры, параметры, функции типовых или разработанных и апробированных ранее устройств [3].

Система электрогенерации строится по схеме со звеном постоянного тока (рис. 1).

Рассматриваемыми в настоящей статье исходными блоками для оценки и выбора промежуточных полупроводниковых преобразователя агрегата являются: однофазная нагрузка Z_n синусоидального переменного тока частотой 50 Гц, напряжением 220 В с потребляемой активной мощностью 300 Вт при коэффициенте сдвига $\cos \varphi = 0,85$;

синхронный генератор ПВЭС и аккумуляторная батарея АКБ. Все остальные блоки подлежат выбору и оценке их работоспособности, а также определению их необходимой мощности с учётом относительной длительности работы генератора под воздействием морской волны в её положительной фазе.

Электромеханическая система ПВЭС состоит из следующих элементов: – генератор; выпрямитель и LC-фильтр; повышающе-понижающий преобразователь; блок управления аккумулятором (БУА); инвертор; АКБ.

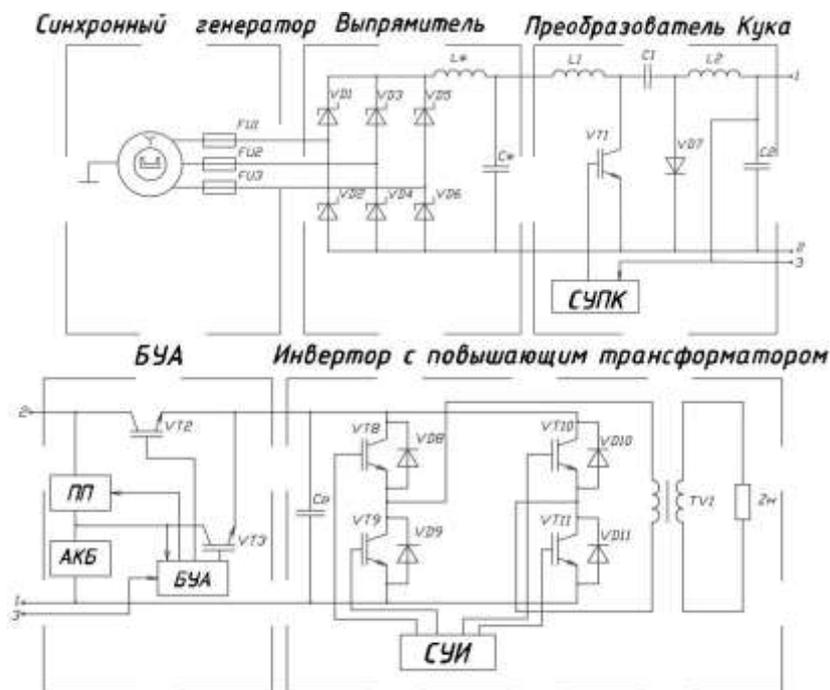


Рисунок 1 – Система электрогенерации со звеном постоянного тока

ЭДС, генерируемая синхронным генератором, пропорциональна частоте вращения его вала:

$$E = c_{\phi} \cdot \omega,$$

где c_{ϕ} и ω – конструктивный коэффициент генератора и частота вращения.

Оценочное значение тока нагрузки генератора составляет:

$$I = N \cdot \eta / E,$$

где η – коэффициент полезного действия генератора.

В электромеханическую систему ПВЭС входит трехфазный неуправляемый выпрямитель на диодах Шоттки, которые имеют низкое падение напряжения. Это способствует уменьшению потерь на выпрямителе.

Г-образные фильтры обеспечивают достаточно хорошее сглаживание и находят широкое применение, когда требуется более высокое качество постоянного напряжения. Они применяются в мощных двухзвенных преобразователях частоты на выходе выпрямительного звена. При проектировании фильтра должны выполняться соотношения, обеспечивающие индуктивный характер нагрузки для выпрямителя и шунтирование активного сопротивления нагрузки по переменной составляющей:

$$LC = \frac{S_{LC}}{n^2 \cdot \omega_c^2},$$

где S_{LC} и n – численное значение коэффициента сглаживания и число пульсаций за период выпрямленного напряжения соответственно.

Поскольку необходимо стабилизировать напряжение питания инвертора. Импульсный повышающе-понижающий преобразователь, который образован последовательным соединением понижающего и повышающего преобразователей, может формировать на

выходе напряжение как выше, так и ниже входного, при этом обеспечивает непрерывность передачи энергии по входу и по выходу [4, 5].

В разработанной системе блок БУА необходим для того, чтобы обеспечивать работу выходного инвертора системы от преобразователя Кука при наличии положительной волны, а при её отсутствии – от аккумулятора.

Инвертор, показанный на рис. 1, является типовым устройством, представленным на рынке электрооборудования.

Аккумуляторная батарея необходима, чтобы система электрогенерации могла непрерывно питать нагрузку. В период отрицательной фазы морской волны источником питания является аккумулятор.

Авторами разработаны математические модели элементов электромеханической системы ПВЭС. На основе приведенных математических зависимостей разработаны имитационные модели, необходимые для исследования влияния параметров компонент электромеханической системы ПВЭС на допустимые диапазоны изменения входных напряжений, токов нагрузки, регулировочные и выходные характеристики исследуемых блоков.

Имитационные эксперименты позволяют определить диапазоны напряжений электронных преобразовательных блоков ПВЭС, в которых эти блоки могут функционировать, обеспечивать стабилизацию и регулирование выходных электрических величин при заданной величине нагрузки на выходе электромеханической системы. Указанные рабочие диапазоны примерно пропорционально зависят от частоты вращения ротора генератора, которая, в свою очередь, определяется периодически отбираемой энергией морских волн. В процессе моделирования преобразователей воспроизводится последовательность состояний устройства, определяющих энергетические показатели исследуемой компоненты агрегата. Для расчёта коэффициента полезного действия (КПД) каждого устройства определены активные мощности на входе и выходе преобразователя.

Коэффициент полезного действия управляемых преобразовательных устройств зависит от их режимов работы, определяющих выходное напряжение, и от тока нагрузки. Предложенные методы расчёта позволяют выполнить многовариантный анализ энергетических показателей при всех возможных режимах работы и нагрузках. Таким образом, были определены зависимости КПД каждого преобразователя электромеханической системы ПВЭС от режимных параметров. Для полупроводниковых преобразователей этими параметрами являются ток нагрузки, регулируемое выходное напряжение каждого из исследуемых блоков.

Использование изложенной методики позволило установить, что компоненты электромеханической системы могут обеспечивать номинальный расчётный ток при следующих диапазонах изменения входного напряжения относительно номинальных значений:

- выпрямитель – 0,02 – 1,0;
- преобразователь Кука – 0,1 – 1,0;
- блок управления аккумулятором – 0,7 – 1,2;
- выходной инвертор – 0,7 – 1,2.

Расчёты с использованием имитационных моделей показывают, что компоненты принципиальной электрической схемы электромеханической системы (рис. 1), должны иметь при равных длительностях положительной и отрицательной фазы морской волны удельные значения установленной мощности относительно требуемой мощности нагрузки, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Относительные значения установленной мощности электромеханической системы ПВЭС

Название компоненты	Относительное значение установленной мощности	Требуемая установленная мощность при нагрузке 300 Вт
Нагрузка	1,00	300
Трансформатор выходной повышающий	1,10	330
Преобразователь блока управления зарядом аккумулятора (БУА)	1,41	429

Окончание таблицы 1

Проходной преобразователь Кука	3,03	901
Выпрямитель с фильтром	3,15	946
Электрический генератор	3,33	1000

Предложен и апробирован алгоритм реализации метода агрегирования многопараметрической электромеханической системы. Предложены способы нахождения необходимых соотношений установленной мощности компонент электромеханической системы. Поставлена и решена задача баланса электрической мощности в преобразователях ПВЭС.

Разработана электромеханическая система плавучей волновой электростанции, работоспособность которой подтверждена результатами имитационных экспериментов.

Разработанные компьютерные модели могут быть использованы для создания конкретных моделей электрических подсистем современных гидротурбинных установок, а также для определения оптимальных соотношений параметров системы в зависимости от предъявляемых требований и условий эксплуатации.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №22-19-00424).

Список литературы

1. Curto D., Franzitta V., Guercio A. Sea Wave Energy. A Review of the Current Technologies and Perspectives. *Energies*. 2021. № 14. С. 6604.
2. Dmitriev S., Daryenkov A., Plekhov A. Generating modular electrical power plant complex control using renewable energy sources. 2018 International Russian Automation Conference, RusAutoCon. 2018. С. 1-5.
3. Кечкин А.О., Плехов А.С. Устройство измерения электрических параметров для преобразователей малой и средней мощности. В сборнике: Актуальные проблемы электроэнергетики. Сборник научно-технических статей конференции. Нижний Новгород. 2021. С. 14-19.
4. Cuk S., Middlebrook R.D. A New Optimum Topology DC To DC Converter. *IEEE Power Electronics Specialists Conference*. 1977. С.160-179.
5. Middlebrook R.D., Cuk S. Isolation and Multiple Output Extensions of a New Optimum Topology DC-to-DC Converter. *IEEE PESC*. 1978. С. 256-264.

MODELS OF THE ELECTROMECHANICAL SYSTEM OF A FLOATING WAVE POWER PLANT

DARIENKOV ANDREY BORISOVICH

Head of the Department of «EDA», Doctor of Engineering Sciences
Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev

PLEKHOV ALEXANDER SERGEYEVICH

Associate Professor of the Department of «EDA», Ph.D. tech. the science
Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev

ALESHIN DMITRY ALEXANDROVICH

Senior lecturer of the Department of "TFEE"
Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev

Abstract: The article is devoted to the development of mathematical and simulation models of elements of an electromechanical system for converting sea wave resources. The ratios of the power of these components to the rated load power of the power plant under expected operating conditions are determined.

Keywords: floating wave power plant, efficiency indicators, power electronics.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ СИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

ЕФАНОВ АНДРЕЙ ОЛЕГОВИЧ

студент гр. М-ЭП-23-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

МУРАВЬЕВ АРТЕМ АРТУРОВИЧ

Научный руководитель, преподаватель кафедры электропривода
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: в данной статье проводится исследование энергоэффективных алгоритмов управления для синхронных электродвигателей с постоянными магнитами. Описаны методы улучшения энергоэффективности через оптимизацию конструкции двигателя и алгоритмов управления.

Ключевые слова: энергоэффективность, синхронные электродвигатели, постоянные магниты, алгоритмы управления.

Электродвигатели играют значительную роль в современном производстве, потребляя около 25% всей электрической энергии в мире. В развитых индустриальных странах эта цифра может превышать 50%. Электродвигатели переменного тока, особенно асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором, являются основной рабочей силой в промышленности. На протяжении многих лет такие двигатели подключались непосредственно к сети и работали с постоянной скоростью. В областях, требующих изменения скорости, использовались двигатели постоянного тока, несмотря на их высокую стоимость и меньшую мощность.

С появлением силовых ключей на основе кремния, таких как IGBT, и цифровых сигнальных процессоров (DSP) в 1990-х годах, стало возможным разработать современные двигатели переменного тока с переменной скоростью вращения. Эти приводы переменного тока стали заменой двигателям постоянного тока в приложениях, требующих регулирования скорости и быстрого реагирования. Однако современные сложные приложения требуют не только регулирования скорости, но и повышения энергоэффективности, надежности и улучшения динамических характеристик.

Энергоэффективность стала ключевым требованием для современных приводов переменного тока. Минимизация потерь важна не только с экологической точки зрения, но и для снижения затрат на электрическую энергию. Улучшение эффективности может быть достигнуто различными способами:

1. Совершенствование конструкции машины.
2. Оптимизация силового преобразователя.
3. Разработка и внедрение усовершенствованных алгоритмов управления электрической машиной и силовым преобразователем.

Синхронные электродвигатели с постоянными магнитами обладают высокой эффективностью благодаря отсутствию потерь в роторе. Однако они дороже и менее прочны по сравнению с индукционными или синхронными реактивными машинами. Оптимизация работы таких двигателей требует учета множества факторов, включая частоты переключения и способы модуляции.

Целью данного исследования является разработка усовершенствованных принципов контроля и управления приводами переменного тока для минимизации потерь. Исследование охватывает трехфазные машины с постоянными магнитами и асинхронные машины, что позволяет применить оптимизацию работы преобразователя к обоим типам машин.

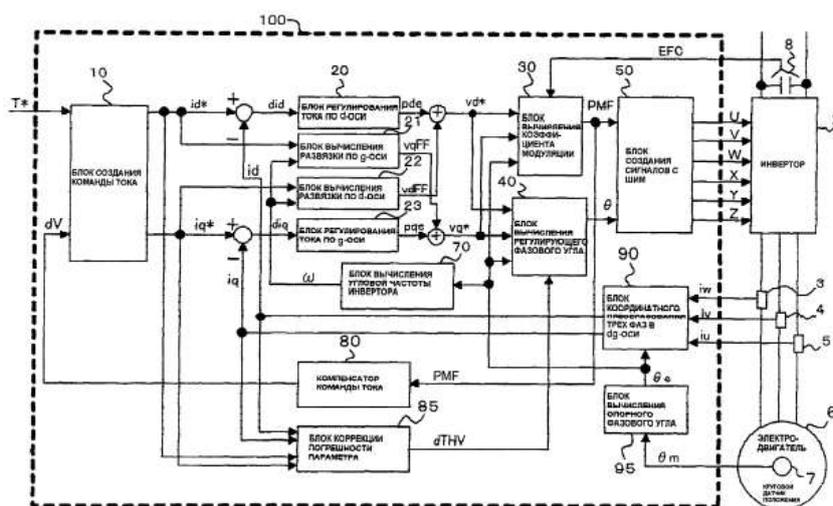


Рисунок 1 – Структурная схема, иллюстрирующая пример конфигурации векторного регулятора для синхронного электродвигателя с постоянными магнитами, согласно первому варианту осуществления настоящего изобретения

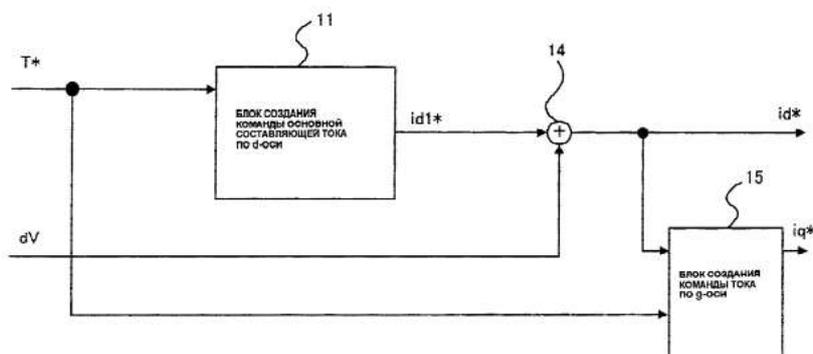


Рисунок 2 – Структурная схема, иллюстрирующая пример конфигурации блока создания команды тока из первого варианта осуществления изобретения

Энергоэффективность электроприводов является важным направлением в развитии современных электротехнических систем. Современные конференции и выставки по электрическим машинам регулярно обсуждают вопросы минимизации потерь и повышения эффективности. Внедрение новых алгоритмов управления и улучшение конструкции машин и преобразователей позволит значительно снизить энергетические потери и повысить надежность работы синхронных электродвигателей с постоянными магнитами.

Список литературы

1. Карташов, Б.А. Среда динамического моделирования технических систем SimInTech. Практикум по моделированию систем автоматического регулирования / Б.А. Карташов – Москва: ДМК Пресс, 2017 – 424 с.
2. Кангин, В.В. Аппаратные и программные средства систем управления. Промышленные сети и контроллеры / В.В. Кангин, В.Н. Козлов – Москва: Лаборатория знаний, 2010 – 418 с.
3. Крупович В.И. Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами / В.И. Крупович, Ю.Г. Барыбина, М.Л. Самовер – Москва: Энергоиздат, 1982 – 416 с.
4. Чиликин М.Г. Общий курс электропривода / М.Г. Чиликин, А.С. Сандлер – Москва: Энергоиздат, 1981 – 576 с.

5. Дьяконов В. П. MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем. Специальный справочник / В. П. Дьяконов, В. В. Круглов – Санкт-Петербург: Питер, 2001 – 74 с.

RESEARCH OF ENERGY-EFFICIENT CONTROL ALGORITHMS FOR SYNCHRONOUS ELECTRIC MOTORS WITH PERMANENT MAGNETS

EFANOV ANDREY OLEGOVICH

Student gr. M-EP-23-1

Lipetsk State Technical University

MURAVYOV ARTYOM ARTUROVICH

Scientific supervisor, lecturer of the Department of Electric Drive

Lipetsk State Technical University

Abstract: This article investigates energy-efficient control algorithms for synchronous electric motors with permanent magnets. Methods of improving energy efficiency through optimization of the engine design and control algorithms are described.

Keywords: energy efficiency, synchronous electric motors, permanent magnets, control algorithms.

АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ТЕХНИКИ ПРИ НАСТРОЙКЕ ДУГОГАСЯЩИХ РЕАКТОРОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ФЕРГАНСКОЙ ДОЛИНЫ

ЖАББОРОВ ТУЛКИН КАМОЛОВИЧ
Ферганский политехнический институт

Аннотация: В статье указано, что по статистике в среднем до 75%, а на крупных предприятиях до 90% от общего количества повреждений в высоковольтных сетях 6–35 кВ приходится на однофазные замыканий на землю. Это, как правило, приводит к нарушению электроснабжения потребителей из-за отключения поврежденных линий и дополнительным затратам на ликвидацию последствий аварии. Настоящее время для нейтрализации последствий используется дугогасящие реакторы. Для управления таких реакторов используются современная микропроцессорная техника. Поэтому использование микропроцессорной техники для регулирования работы дугогасящих реакторов имеет народно-хозяйственного значения.

Ключевые слова: однофазное замыкание на землю, режимы работы нейтрали, гашение дуги, типы реакторов, микропроцессорная техника, алгоритмы управления реактором, функциональная схема включения реактора, языки программирования микропроцессоров, сравнение результатов управления, разработка схемы включения микропроцессоров и их алгоритм.

Введение

По данным статистики в среднем до 75%, а в крупных предприятиях до 90% от общего числа повреждений в высоковольтных сетях 6–35 кВ составляют однофазные замыкания на землю, возникающие вследствие старения и загрязнения изоляции, механических повреждений, электрического пробоя в результате воздействия атмосферных и коммутационных перенапряжений и т.д. Подавляющее большинство замыканий на землю в начальной стадии развития повреждения имеет дуговой характер и сопровождается перенапряжениями, превышающими в 3–4 раза номинальное напряжение сети. Это, как правило, приводит к нарушению электроснабжения потребителей из-за отключения поврежденных линий и дополнительным затратам на ликвидацию аварийных последствий.

По правилам устройства электроустановок (ПУЭ) [1], работа сетей напряжением 6–35 кВ должна предусматриваться с изолированной или компенсированной нейтралью. Допустимые значения тока замыкания в соответствии с [2] составляют:

10 А–при напряжении сетей 35 кВ, 15 А–при 15–20 кВ, 20 А–при 10 кВ, 30 А–при 6 кВ, 5 А–в схемах блоков генератор–трансформатор с генераторным напряжением 6–20 кВ. При превышении указанных величин требуется компенсация емкостного тока. При токах замыкания на землю более 50 А рекомендуется применение не менее двух заземляющих реакторов.

Основная часть

Общий принцип работы и функциональная схема устройства приведена ниже.

Измеренные величины $U_{оп}$, U_0 , I_0 , $R_β$, $R_φ$ передаются в память микропроцессора и сохраняются. После этого микропроцессор подает команду на “переключение”. На экране дисплея появляется “П”. С отключением реактора измеряется напряжение несимметрии $U_{НС}=46$ В, появившееся за счет подключения дополнительной емкости $\Delta C=4 \cdot 10^{-6}$ мкФ. Мощность $P_φ=4,7$ Вт, угол α определяется по формуле:

$$\alpha = \arccos \frac{P_\alpha * 100}{U_{оп} * U_{нс}} = \arccos \frac{4,7 * 100}{134 * 34} = 1,49 \text{ рад} \quad (1)$$

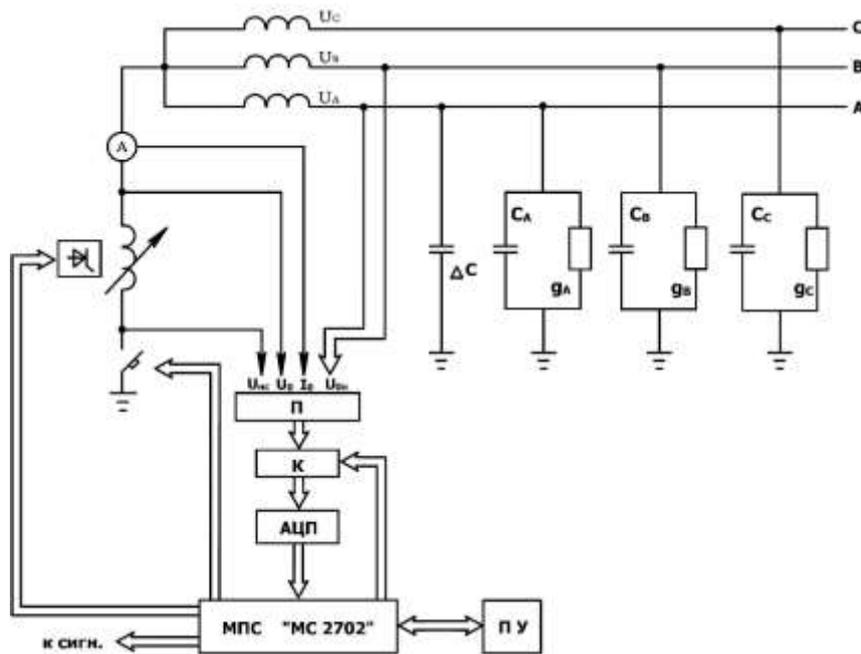


Рисунок 1 – Функциональная схема устройства

Так как определяются фазы α , β между напряжениями, значения опорного напряжения к преобразователю подаются последовательно через сопротивления (в нашем случае $R=100$ Ом).

Все измеренные величины после преобразования в цифровой код подаются в микропроцессор с помощью коммутатора и АЦП. Поступившие данные обрабатываются и микропроцессор вычисляет следующие формулы:

$$\omega C_3 = \frac{I_o}{U_{HC} * \sin(\beta - \alpha) + U_o * \sin(\varphi - \beta)} = 0,0207 \text{ Сим,}$$

$$G_3 = \frac{I_o}{U_{HC} * \sin(\beta - \alpha) + U_o * \sin(\varphi - \beta)} = 0,192 \text{ Сим,}$$

$$\omega C_\Sigma = \frac{\omega C_3}{1 + \left(\frac{\omega C_3}{G_3}\right)^2} = 0,0205 \text{ Сим,}$$

$$G_\Sigma = \frac{G_3}{1 + \left(\frac{G_3}{\omega C_3}\right)^2} = 0,00221 \text{ Сим,}$$

$$\nu = 1 - \frac{I_o}{\omega C_\Sigma * U_o * \sin(\varphi - \beta)} = 0,537 \quad ((2))$$

После окончания расчета на экране дисплея появляется значение $\nu=0,537$. Остальные величины сохраняются в определенных ячейках памяти. В случае необходимости, с пульта управления нажатием клавиш подается команда и искомая величина сразу преобразуется в десятичное число, которое индицируется на экране дисплея. Для выполнения этих операций составлена программа на языке “АССЕМБЛЕРА”, структурная схема программного обеспечения которой показана на рис.2.

Настоящее время в промышленных предприятиях используются дугогасящие реакторы типа ЗРОМ–заземляющий реактор однофазный маслянный, которая имеет ручной управления. Поэтому ученые Россия разработали новую модификацию этого дугогасящего реактора типа РЗДСОМ–реактор заземляющий дугогасящий ступенчатый однофазный маслянный, имеющий

возможности дистанционного управления. Поэтому для таких реакторов целесообразно использования микропроцессорной техники. Ниже указаны алгоритм управления таких реакторов микропроцессорной техники.

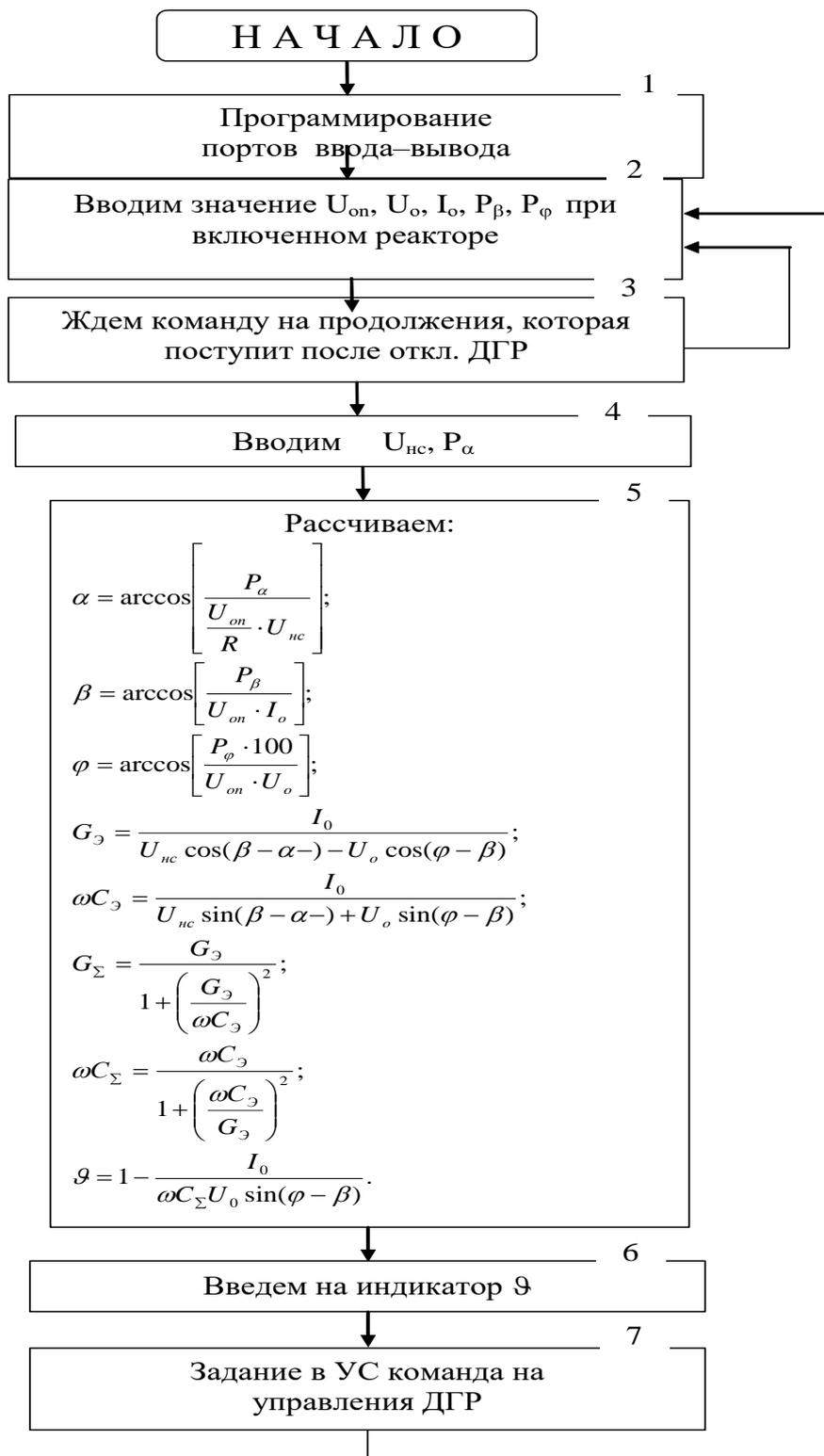


Рисунок 2 – Структурная схема программного обеспечения

Заключение

Из анализа влияния погрешностей измерения входных параметров на результаты измерения проводимости КНП распределительной сети можно сделать следующие выводы:

1. Погрешности в измерениях величин напряжений \underline{U}_{nc} , \underline{U}_o и тока \underline{I}_o обуславливают

соизмеримые погрешности при определении суммарной реактивной и активной проводимости КНП распределительной сети. Поскольку измерение суммарной реактивной проводимости КНП сети необходимо проводить с погрешностью, необходимой превышающей 5%, то измерения величин напряжений $\underline{U}_{нс}$, \underline{U}_o и тока \underline{I}_o необходимо осуществлять по приборам с классом точности 1.

2. Погрешности в измерениях величин углов α , β и φ приводят к погрешности, на порядок меньшей при определении суммарной реактивной проводимости КНП. В среднем погрешности измерения углов α , β и φ в 10% дают погрешность в расчетах необходимо более 1%.

3. Погрешности в измерениях величин углов α , β и φ приводят к погрешности на 1–2 порядка большей при определении суммарной активной проводимости G_{Σ} КНП сети. В частности, погрешность при измерении угла β в 5% приводит к погрешности расчета G_{Σ} в 735%.

Список литературы

1. Степанов И.Н., Жабборов Т.К. Погрешности настройки индуктивности дугогасящих реакторов в резонанс с емкостью электрической сети–М.: МЭИ, сб. научн. трудов №162, стр. 103–111 стр.

2. Дерюгин А.А., Потемкин И.С. Основы микроцессорной техники–М.: МЭИ, 1986, 1986,–86 стр.

3. Степанов И.Н., Жобборов Т.К. Вопросы настройки ДГР ступенчатым регулированием–Тезисы докл.науч.техн.конф., Павлодар, 1988, 64–65 стр.

4. Жобборов Т.К. Разработка устройства автоматического управления ДГР с применением микроцессорной техники–Тезисы респ. науч. техн. конф. Ташкент, 1989, с.78–79 стр.

5. Гамазин С.И., Жобборов Т.К. Экономическая эффективность применения микро–ЭВМ для настройки ДГР в системах электроснабжения–Тезисы докл. респ. науч. техн. конф. Фрунзе, 1989, с.46–47 стр.

ANALYSIS OF THE USE OF MICROPROCESSOR EQUIPMENT WHEN CONFIGURING ARC-SUPPORTING REACTORS IN ELECTRICAL NETWORKS OF THE FERGHANA VALLEY

ZHABBOROV TULKIN KAMOLOVICH
Fergana Polytechnic Institute

Abstract: According to the statistical data presented in the article on 6-35 kV electrical networks of industrial enterprises, on average, up to 75% of the damage, and up to 90% in large enterprises, is an abnormal grounding event. A single phase grounding, however, caused arcing at the faulted line, causing arcing at the faulted line. This fault leads to an increase in the voltage on the undamaged phases, and disconnection of consumers from the network, resulting in a decrease in reliability, causes a great financial loss to the national economy. Therefore, it is desirable to eliminate the phenomenon of grounding. At present, the use of arc extinguishing reactors is used to eliminate these consequences. Therefore, arc suppression reactors are used for neutralization. Modern microprocessor technology is used to control such reactors. Therefore, the expediency of using modern microprocessors to extinguish the arc comes from the period student. The article is devoted to the study and analysis of the use of such microprocessors. This gives economic benefits to the national economy and its advantages.

Keywords: abnormal mode of single-phase ground connection, selection of neutral operating modes, methods of arc extinguishing, types of reactors, information on microprocessor technology, reactor control algorithms, functional scheme of reactors, microprocessor programming languages, analysis of connecting microprocessors to the power supply system.

ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА, КЛАССИФИКАЦИИ И ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ ПЬЕЗОЭЛЕМЕНТОВ

ЗАВАЛЮЕВ ЕВГЕНИЙ АНДРЕЕВИЧ

студент гр. М-ЭП-23

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

СИНЮКОВА ТАТЬЯНА ВИКТОРОВНА

Научный руководитель, доцент кафедры электропривода

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: В данной статье рассматривается устройство, классификация и принцип действия пьезоэлементов. Освещены вопросы применения пьезоэлементов в различных областях техники и промышленности. Описаны основные виды пьезоэлементов и их конструкции, а также методы эффективного использования.

Ключевые слова: пьезоэлемент, пьезоэлектрический эффект, преобразователь, датчик, ультразвук.

Введение

Пьезоэлементы широко применяются в различных отраслях техники благодаря своей способности преобразовывать механическую энергию в электрическую и наоборот. Пьезоэлектрический эффект, обнаруженный Пьером и Жаком Кюри в 1880 году, является основой работы этих устройств. Сегодня пьезоэлементы активно используются в датчиках, преобразователях, генераторах ультразвука и других приборах.

Устройство и принцип действия пьезоэлементов

Пьезоэлемент представляет собой кристалл или керамический материал, который при механическом воздействии (например, сжатии или растяжении) генерирует электрический заряд. Обратный пьезоэлектрический эффект заключается в деформации пьезоэлемента при подаче на него электрического напряжения. Этот эффект используется для создания различных типов преобразователей.

Основными материалами для пьезоэлементов служат кристаллы кварца, титаната бария и цирконата-титаната свинца (PZT). Каждому из этих материалов присущи уникальные свойства, определяющие их область применения. Базовый вид пьезоэлемента представлен на рисунке 1.

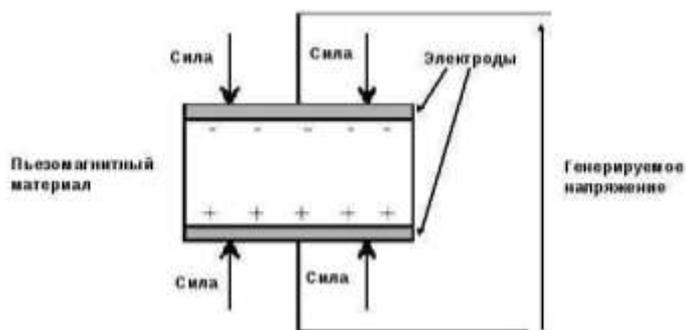


Рисунок 1 – Устройство пьезоэлемента

Основой работы пьезоэлементов является пьезоэлектрический эффект. Под действием силы, пьезоэлемент генерирует напряжение, график детонации которого представлен на рисунке 2.

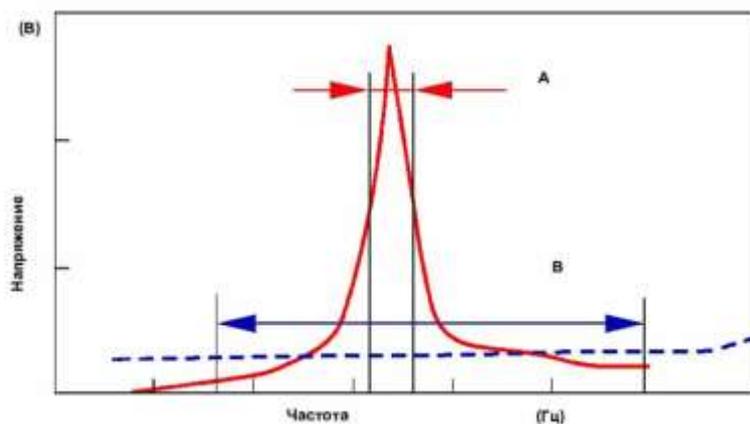


Рисунок 2 – График детонации пьезоэлемента

Классификация пьезоэлементов

Пьезоэлементы можно классифицировать по нескольким признакам:

- 1) По материалу изготовления:
 - Кристаллические (например, кварц, турмалин)
 - Керамические (например, титанат бария, PZT)
- 2) По форме:
 - Пластинчатые
 - Цилиндрические
 - Дисковые
- 3) По назначению:
 - Датчики
 - Преобразователи
 - Генераторы
- 4) По частотному диапазону:
 - Низкочастотные
 - Среднечастотные
 - Высокочастотные

Пьезоэлементы находят широкое применение в различных областях:

- 1) Датчики: используются для измерения давления, ускорения, вибрации и других механических величин. Примеры включают датчики давления в топливных системах и акселерометры в системах безопасности автомобилей.
- 2) Преобразователи: применяются в ультразвуковых системах, таких как медицинские ультразвуковые сканеры и ультразвуковые очистители.
- 3) Генераторы: используются для генерации ультразвуковых волн в промышленных процессах, таких как ультразвуковая сварка и резка материалов.

Пьезоэлементы играют ключевую роль в современной электроэнергетике и электронике. Их уникальные свойства позволяют эффективно преобразовывать механическую энергию в электрическую и наоборот, что делает их незаменимыми в различных приложениях. Изучение устройства, классификации и принципа действия пьезоэлементов помогает глубже понять их потенциал и области применения.

Список литературы

1. Коваленко, П.Н. Основы пьезоэлектрических явлений. – Москва: Энергия, 1976.
2. Лазарев, А.С. Пьезоэлектрические преобразователи. – Ленинград: Энергоатомиздат, 1983.
3. Григорьев, И.В. Электроника и приборостроение. – Москва: Высшая школа, 2001.

4. Щербаков, В.В. Ультразвуковая техника и технологии. – Санкт-Петербург: Наука, 2010.
5. Петров, А.Н. Основы пьезоэлектрических устройств. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015.
6. Лебедев, Н.В. Пьезоэлектрические материалы и их применение. – Москва: Машиностроение, 2018.
7. Зайцев, Е.И. Принципы работы пьезоэлектрических преобразователей. – Новосибирск: Сибирское издательство, 2020.

STUDY OF THE DEVICE, CLASSIFICATION AND PRINCIPLE OF OPERATION OF PIEZOELECTRIC ELEMENTS

ZAVALYUEV EVGENII ANDREEVICH

Student gr. M-EP-23

Lipetsk State Technical University

SINYUKOVA TATIANA VIKTOROVNA

Scientific supervisor, Associate Professor of the Department of Electric Drive

LipetskStateTechnicalUniversity

Abstract: This article deals with the device, classification and principle of operation of piezoelements. The questions of application of piezoelements in various fields of technology and industry are covered. The main types of piezoelements and their designs, as well as methods of effective utilization are described.

Keywords: piezoelement, piezoelectric effect, transducer, sensor, ultrasound.

ОБЗОР ДАТЧИКОВ ДЛЯ ВОЗМОЖНОГО ПРИМЕНЕНИЯ В ЦЕЛЯХ БОРЬБЫ С КОЛЕБАНИЯМИ ГРУЗА, ПЕРЕМЕЩАЕМОГО МОСТОВЫМ КРАНОМ

ЗАРУЦКИЙ НИКОЛАЙ НИКОЛАЕВИЧ

аспирант гр. ЭКС-23

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

КАЗАКОВ МИХАИЛ ЮРЬЕВИЧ

аспирант гр. ЭКС-23

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: в данной статье рассмотрены некоторые типы датчиков, которые возможно использовать для борьбы с колебаниями груза, которой перемещает мостовой кран. Приведено описание метода выбора того или иного датчика. Так же рассмотрены устройства, которые можно использовать в качестве регулятора, осуществляющего управление перемещением груза, приводя его в спокойное состояние.

Ключевые слова: акселерометр, гироскоп, инклинометр, датчик тросового типа, оптическая цифровая линейка, машинное зрение.

На сегодняшний день для подавления колебаний перемещаемого груза, например, мостовым краном, разработано довольно много различных решений. Определение самих колебаний гибкого троса, на котором подвешен крюк с грузом является первым не простым этапом в деле приведения к спокойному состоянию перемещаемого груза. Существует множество вариантов, которые удовлетворяют данному требованию, но у каждого есть свои достоинства и недостатки. Само измерение угла отклонения троса налагает определённые правила, которые необходимо учитывать, чтобы подобрать оптимальное средство измерения. Например, тот факт, что трос не является монолитным стержнем, а состоит из отдельных тоненьких металлических жил, свитых друг с другом, которые со временем могут порваться и будут создавать трудности для датчика, в котором перемещается трос. Для исключения данной проблемы можно применить датчик другой конструкции, например, [1] представленный на рисунке 1.



Рисунок 1 – MPU6050 3-х осевой акселерометр и 3-х осевой гироскоп

Данный датчик под названием MPU6050 содержит в своём составе 3-х осевой акселерометр и 3-х осевой гироскоп, что вполне удовлетворяет нашим требованиям.

Информацию по нему можно свободно найти в сети интернет. Но и у него есть свои недостатки. Использование гироскопа или акселерометра по отдельности не дадут хороших результатов. Именно совместное использование акселерометра и гироскопа дадут хорошие результаты, но это повлечёт за собой усложнение математического аппарата, потребуется довольно высокий уровень владения программированием и в конечном счёте займёт неопределённое количество времени на воплощение данной идеи в металле. Есть другой похожий вариант, но отличающийся ценой [2], он представлен на рисунке 2. Данный тип датчика называется инклинометр. Он является законченной конструкцией, готовым к установке и использованию.



Рисунок 2 – Цифровой инклинометр ZET 7054

Датчик крепится к промежуточной пластине, которая имеет определённую степень свободы и используется для того, чтобы выставить датчик по уровню. Следующий вариант, который можно применить для регистрации колебаний троса это датчик тросового типа рисунок 3.



Рисунок 3 – Тросовый датчик RX50

Датчики данного типа [3] имеют достаточно широкий диапазон измерений, малые пределы допускаемой приведённой погрешности, широкий диапазон рабочих температур, небольшие размеры и массу, небольшую потребляемую мощность и предназначены для преобразования линейного перемещения в силу постоянного тока, напряжение,

сопротивление постоянному току или в цифровой код.

Ещё один тип датчика, который возможно применить для отслеживания угла наклона троса, это цифровая линейная измерительная система [4] рисунок 4. Данный тип датчика имеет разрешение 1 мкм, выходной интерфейс TTL или 1 вольт синусоидальный, рабочий диапазон температур от 0 до +85°C, скорость перемещения 60 м/мин.



Рисунок 4 – Оптическая цифровая линейка ALS4

В дополнение к приведённому выше можно добавить использование машинного зрения для регистрации отклонения каната с грузом от своего нормального положения.

Использование всех приведённых выше датчиков самих по себе не даст положительного результата в стабилизации груза. Это всего лишь «глаза» всей системы, которая нужна для того, чтобы уловить отклонение груза. Далее, прежде чем начинать что-то собирать, в надежде, что всё будет работать, необходимо провести эксперимент. Покупать всё что необходимо для работы этой системы сразу и проводить эксперимент конечно можно, но затратно в финансовом плане. Ведь если наши представления окажутся не верными и не дадут нужного результата получается, что деньги потрачены зря. Чтобы проверить какую-либо пришедшую в голову мысль, в работе сначала необходимо построить математическую модель всей системы и после положительного результата можно приступать к воплощению идеи в экспериментальную модель.

В математической модели можно использовать довольно разнообразные регуляторы, например, нечёткую логику, адаптивный регулятор, нейросеть, искусственный интеллект и т.д.

Список литературы

1. MPU-6050 DataSheet V3.4 [Электронный ресурс]. – URL: https://mbitech.ru/images/userfiles/image/MPU-6050_DataSheet_V3%204.pdf (дата обращения: 15.06.2024).
2. РЭ ZET7x54 [Электронный ресурс]. – URL: https://file.zetlab.com/Document/04_7XXX/01_RS485_SENSOR/РЭ_ZET7x54.pdf (дата обращения: 15.06.2024).
3. RX50 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.sensor-systems.ru/userfiles/files/RX50.pdf> (дата обращения: 15.06.2024).
4. ALS4 Datasheet [Электронный ресурс]. – URL: https://www.sensor-systems.ru/userfiles/files/ALS4_Datasheet_rus.pdf (дата обращения: 15.06.2024).
5. Машинное зрение [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mashinnoe-zrenie/viewer> (дата обращения: 15.06.2024).

OVERVIEW OF SENSORS FOR POSSIBLE APPLICATIONS TO CONTROL FLUCTUATIONS OF CARGO MOVED BY AN OVERHEAD CRANE

ZARUTSKY NIKOLAY NIKOLAEVICH

Graduate student gr. EKS-23
Lipetsk State Technical University

KAZAKOV MIKHAIL YURIEVICH

Graduate student gr. EKS-23
Lipetsk State Technical University

Abstract: This article discusses some types of sensors that can be used to combat fluctuations in the load that the overhead crane moves. A description of the method of selecting a particular sensor is given. Devices that can be used as a regulator that controls the movement of cargo, bringing it to a calm state, are also considered.

Keywords: accelerometer, gyroscope, inclinometer, cable type sensor, optical digital ruler, machine vision.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТОПРОВОДА АСИНХРОННОГО ТОРЦЕВОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ИЗ ПОРОШКОВОГО ЖЕЛЕЗА

ЗНАМЕНСКИЙ ВЛАДИСЛАВ АЛЕКСАНДРОВИЧ

аспирант гр. ЭКиС

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

МЕЩЕРЯКОВ ВИКТОР НИКОЛАЕВИЧ

Научный руководитель, доктор технических наук, профессор кафедры автоматизированного электропривода и робототехники

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: для создания двигателей, отвечающих требованиям современной авиамоторной и военной промышленности, необходимо разрабатывать двигатели, способные работать на высоких оборотах. В данной статье предлагается вариант изготовления магнитопровода высокооборотистого торцевого двигателя, способного работать на частотах до 1 килогерца.

Ключевые слова: Порошковая металлургия, магнитомягкие материалы, распыленное железо, магнитопровод, композитный магнитопровод.

Эффективность и надежность электродвигателей в значительной степени зависят от свойств и качества используемых в магнитопроводах материалов. В последние годы наблюдается рост интереса к применению композитных материалов, состоящих из порошкового железа и разделяющего частицы диэлектрика. В данной работе представлены результаты разработки магнитопроводов, изготовленных из порошкового железа и полиэфирной смолы высокой текучести.

Традиционные материалы для магнитопроводов, такие как кремнистая сталь, обладают хорошими магнитными свойствами, но имеют ряд недостатков, включая ограниченную гибкость в формовке и высокую удельную массу [1]. Композиты на основе порошкового железа и полиэфирной смолы представляют собой перспективную альтернативу, предлагая возможность создания более легких и гибких в конструкции магнитопроводов с улучшенными характеристиками [2].

Порошковое железо представляет собой микроскопические частицы железа, полученные методом распыления. Этот метод позволяет получить материал с высокой удельной площадью поверхности и улучшенными магнитными свойствами [3]. В данной работе использовался порошок распыленного железа с размером частиц 200 микрон, что обеспечивает оптимальное соотношение магнитной проницаемости и механической прочности.

В качестве связующего и диэлектрического материала выступает полиэфирная смола высокой текучести. Высокая текучесть позволяет смоле заполнять сложные формы, созданные методом 3D-печати (Рисунок 1), обеспечивая однородное распределение порошкового железа и высокую механическую прочность готового изделия.

Формы для изготовления магнитопроводов были созданы с использованием 3D-печати, что позволило реализовать сложные геометрии с высокой точностью. Этот метод также обеспечивает гибкость в изменении конструкции и позволяет быстро создавать прототипы для тестирования.

Процесс изготовления ротора и статора включал следующие этапы:

1. Подготовка смеси: порошковое железо и полиэфирная смола смешивались до получения однородной массы.

2. Заливка формы: подготовленная смесь заливалась в 3D-печатные формы. Формы подвергались вибрации для устранения пузырьков воздуха и обеспечения плотного прилегания смеси к стенкам формы.

3. Полимеризация: формы с залитой смесью подвергались термической обработке для отверждения смолы и достижения необходимой прочности композита.

4. Обработка и сборка: готовые ротор и статор извлекались из форм и подвергались механической обработке для достижения требуемых размеров и чистоты поверхности.

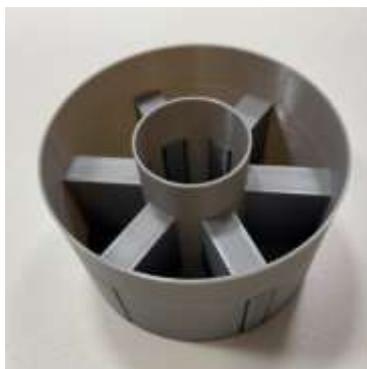


Рисунок 1 – Литьевая форма, выполненная с помощью технологий 3D печати

В промышленной порошковой металлургии композиты на основе порошкового железа обладают высокой магнитной проницаемостью, что обусловлено равномерным распределением частиц железа и низкими потерями на вихревые токи [4].

Исследования механических свойств (испытание на трехточечный излом образца цилиндрического сечения) показали, что полученные композиты обладают высокой прочностью и устойчивостью к механическим воздействиям. Высокая текучесть полиэфирной смолы обеспечила равномерное распределение частиц порошкового железа, что исключило наличие дефектов и повышенной хрупкости материала.

Композиты, полученные в ходе исследования, продемонстрировали высокую стойкость к коррозии благодаря защитным свойствам полиэфирной смолы. Этот фактор особенно важен для применения в агрессивных условиях эксплуатации, где традиционные материалы могут быстро утрачивать свои свойства.

Оценивая применение и перспективы созданного торцевого асинхронного двигателя с двойным статором планируется получить ожидаемо высокие эксплуатационные характеристики.

К основным преимуществам разработанного магнитопровода можно отнести:

1. Высокую эффективность при работе на высокой частоте: улучшенные магнитные свойства материалов способствуют снижению потерь и повышению КПД.

2. Гибкость конструкции: возможность создания сложных геометрий с помощью 3D-печати позволяет адаптировать конструкцию двигателя под специфические требования.

3. Долговечность и устойчивость к коррозии: композитные материалы обеспечивают долговечность и надежность работы двигателя в различных условиях эксплуатации.

Магнитопровод ротора, изготовленный по вышеописанной технологии, представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Ротор двигателя без короткозамкнутой обмотки

Применение порошкового железа и полиэфирной смолы для изготовления магнитопроводов электродвигателей представляет собой перспективное направление [5]. Использование 3D-печати для создания форм позволяет значительно ускорить процесс разработки и производства, обеспечивая высокую точность и гибкость конструкций. В результате удалось создать торцевой асинхронный двигатель с двойным статором, одна из частей которого представлена на рисунке 3.

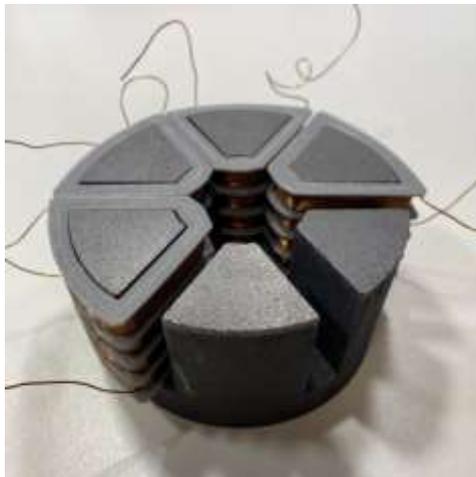


Рисунок 3 – Статор из порошкового железа с полюсными обмотками

Далее, в рамках текущего исследования, предстоит разработать систему управления данным двигателем, для обеспечения высоких эксплуатационных характеристик и перспектив дальнейшего применения.

Рассматривая перспективы текущих исследований, необходимо отметить необходимость повышения эффективности и надежности таких двигателей. Дальнейшие исследования планируется проводить в следующих направлениях:

1. Оптимизация состава порошкового железа: изучение влияния различных параметров частиц на магнитные и механические свойства композитов [6].
2. Разработка новых полимерных связующих: поиск и создание полиэфирных смол с улучшенными характеристиками текучести, прочности и адгезии.
3. Компьютерное моделирование и оптимизация: использование методов численного моделирования для оптимизации конструкций и прогнозирования характеристик магнитопроводов.

Дальнейшее развитие этих направлений позволит создать более эффективные и надежные магнитопроводы для широкого спектра применений в электромеханических системах.

Список литературы

1. Gapparov, A. U., Govor, G. A., Berdiyev, U. T., Hasanov, F. F., and Kurbanov, A. M. (2020). Magnetic-soft materials based on iron for electromechanical engineering. Internatsional Scientific Conference ICECAE 2020, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 614, 012048.
2. Chih-Wen, C. (2013). Magnetism and Metallurgy of Soft Magnetic Materials. Courier Corporation. – 592 p.
3. Vecher, A. K., Govor, G. A., Januszkiewicz, K. I., Przybylski, M., and Zukrowski, J. (2017). Composite materials on the basis of metallic powders and their application. In VI Congress of Physicists of Belarus. Minsk, Belarus, November 20-23, 2017. Collection of scientific papers. Institute of Physics of the National Academy of Sciences of Belarus, ed. S. Y. Kilin et al. – Minsk, 241–242.

4. Minitsky, A. V., Minitskaya, N. V., and Vlasova, O. V. (2010). Powder magnetically soft materials. Processes of mechanical processing in mechanical engineering. 9, 3–16.

5. Tulchinsky, L. N., and Panasyuk, A. A. (1995). Powder magneto-soft materials. Powder Metallurgy. 7/8, 53–67.

6. Vecher, A. K., Govor, G. A., Berdiev, U. T., and Khasanov, F. F. (2019). Magnetically soft materials based on iron, used in the electromachine engineering. VestnikTashIIT. 3, 212–217.

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF ASYNCHRONOUS INDUCTION MOTOR MAGNETIC CORE END-FACE ELECTRIC MOTOR MADE OF POWDERED IRON

ZNAMENSKY VLADISLAV ALEXANDROVICH

post-graduate student of gr. EKIS

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State
Technical University"

MESHCHERYAKOV VIKTOR NIKOLAEVICH

Scientific supervisor, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Automated
Electrical Drive and Robotics.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State
Technical University"

Abstract: In order to create motors that meet the requirements of modern aircraft engine and military industry, it is necessary to develop motors capable of operating at high speeds. In this paper we propose a variant of manufacturing the magnetic core of a high-speed end-face motor capable of operating at frequencies up to 1 kilohertz.

Keywords: Powder metallurgy, magnetically soft materials, sputtered iron, magnetic conductor, composite magnetic conductor.

ТРАНСФОРМАТОРЫ. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

ЗОЛОТАРЕВ ДМИТРИЙ СЕРГЕЕВИЧ

Студент ЭП-21-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ПОНОМАРЕВ ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ

Научный руководитель, преподаватель кафедры электропривода

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: в данной статье говорится о том, как устроены трансформаторы, какие процессы протекают в ходе их работы и какие электрические законы при этом имеют место.

Ключевые слова: трансформатор, сердечник, обмотка.

Трансформатор – электромагнитное устройство, позволяющее изменять значение напряжения, протекаемого через него электрического тока. Состоит из двух основных частей: сердечника, набранного из тонких металлических пластин, и обмоток, представляющих из себя проволоку из меди или другого металла.

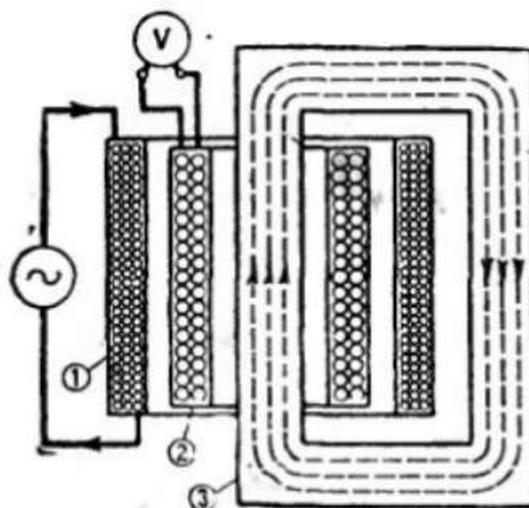


Рисунок 1 – Принцип устройства однофазного трансформатора

Если к одной из обмоток трансформатора, например 1 (рис.1), подвести переменное напряжение, то по ней начнет протекать ток, который, в свою очередь, создаст изменяющийся магнитный поток через сердечник 3 (рис.1). Магнитный поток будет способствовать появлению напряжения на обмотке 2 (рис.1). Таким образом совершается передача электрической энергии от первой обмотки к второй.

Для обозначения отношения напряжения, поданного на первичную обмотку к напряжению на вторичной обмотке, вводится понятие коэффициента трансформации K_t .

$$K_t = U_1 / U_2$$

В настоящее время трансформаторы создаются преимущественно трёхфазными и однофазными.

Каждая из обмоток трансформатора должна быть изолирована от других обмоток и от сердечника в соответствии с напряжениями, наводящимися магнитным потоком в данной обмотке.

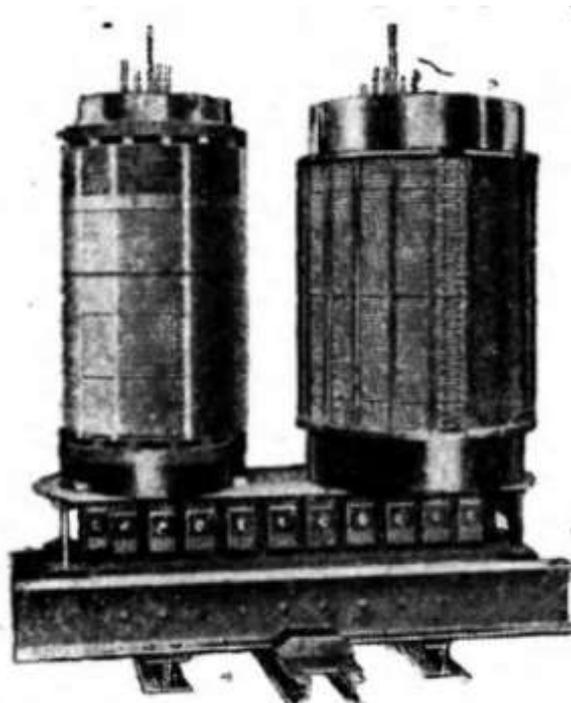


Рисунок 2 – Пример советского трансформатора 1934 года

На рисунке 2 наглядно видно, как выглядит обмотка низшего напряжения (слева) и обмотка высшего напряжения (справа).

В современных трансформаторах для уменьшения изоляционных расстояний между обмотками и сердечником в качестве изоляции применяют масло. В процессе работы трансформатора масло нагревается. Его охлаждение происходит либо естественным путем через стенки бака, либо искусственным через специальные охлаждающие устройства.

Список литературы

1. Кутявин Иван Дмитриевич Трансформаторы тока с воздушным зазором // Известия ТПУ. 1951. №2.
2. Сафонов, А. В. Основы электроники: учебник для вузов. - М.: Издательский центр "Академия", 2020.
3. Строков Д.Е., Юрковец Н.В. Специальные типы трансформаторов // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2015. №11.
4. Шакиров Мансур Акмелович Теория трансформаторов. Часть 3 // Глобальная энергия. 2017.
5. Кутявин, В. П. Краснов, Г. В. Дель Технико-экономические исследования однофазных трехобмоточных трансформаторов // Известия ТПУ. 1967.

TRANSFORMERS. BASIC INFORMATION

ZOLOTAREV DMITRY SERGEEVICH

Student EP-21-1

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Lipetsk State Technical University"

PONOMAREV PAVEL SERGEYEVICH

Lecturer of the Department of Automated Electric Drive and Robotics

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

Abstract: This article talks about how transformers are structured, what processes occur during their operation and what electrical laws apply.

Keywords: transformer, core, winding.

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНТРОЛЛЕРА S5 НА КОНТРОЛЛЕР S7 ФИРМЫ SIEMENS СТАНКА «SUNDWIG 1»

ЗУЕВ СЕРГЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ
студент гр. ЭП-21-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

МУЗЫЛЕВА ИННА ВАСИЛЬЕВНА

Научный руководитель, преподаватель кафедры автоматизированного электропривода и
робототехники
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: в данной статье рассмотрен вопрос модернизации морально устаревшего контроллера S5-90U на S7-1215C фирмы Siemens, установленного на станке по изготовлению внутренних защитных уголков для упаковки металлических рулонов «Sundwig №1»

Ключевые слова: ПЛК, S5-90U, S7-1215C, автоматизация, центральный процессор, Sundwig №1, автоматическое управление.

По мере развития технологий автоматизации и повышения требований качества производимой продукции, металлургические предприятия сталкиваются с необходимостью модернизации своего морально устаревшего оборудования. Это обусловило постоянный поиск и внедрение современных методов усовершенствования систем управления данными технологическими процессами. Одним из ключевых элементов автоматического управления оборудованием, являются промышленные контроллеры (ПЛК), отвечающие в свою очередь, за контроль технологического процесса отдельного агрегата.

В данной статье, будет рассмотрена модернизация контроллера S5-90U, установки по изготовлению внутренних защитных уголков для упаковки рулонов «Sundwig №1».

В установку «Sundwig №1» входит следующее оборудование:

1. Разматыватель;
2. Устройство регулирования петли;
3. Штамповочный узел;
4. Устройство профилировки;
5. Отрезные ножницы;
6. Круглогибочная машина для гибки внутренних уголков;
7. Пневматическое оборудование;
8. Система гидравлического управления;
9. Система электрического управления;
10. Предохранительные устройства.

На данном агрегате установлен контроллер SimaticS5-90U фирмы Siemens, предназначенный для решения простых задач по автоматизации промышленного оборудования, но сейчас он считается морально устаревшим и снятым с производства. Алгоритм функционирования контроллера задается разработанной программой, записанной в его память. Точность и скорость выполнения программы возлагается на центральный процессор. Поэтому, в рамках модернизации и обновления устаревших контроллеров, предлагается заменить ПЛК SimaticS5-90U на ПЛК SimaticS7-1200, который обладает рядом преимуществ по сравнению с предшественниками. Программируемые контроллеры SimaticS7-1200 – это новое семейство микроконтроллеров для решения задач по автоматизации промышленности. Модули модернизируемой системы представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Состав заменяемых модулей

Установленные модули	Модуль модернизированной системы
Контроллер CPU S5-90U	Контроллер CPU S7-1215C
Модуль расширения IM90	Не требуется

Окончание таблицы 1

Установленные модули	Модуль модернизированной системы
х2 Модуль на 8 цифровых входов	Модуль на 16 цифровых входов SM1221
Модуль на 16 цифровых выходов	Модуль на 8 цифровых выходов SM1222

Сравнительная характеристика CPUS5-90U и CPUS7-1215C представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение CPUS5-90U и CPUS7-1215C

Модуль	CPUS5-90U	CPUS7-1215C
ПО для программирования	STEP-5	STEP-7
Встроенные входы/выходы	10 DI, 6 DO.	14 DI, 10 DO, 2 AI, 2 AO.
Встроенный интерфейс	RS-232	Ethernet/PROFINET
Входное напряжение:	24 В	24 В
Логического нуля;	0...5 В	5 В
Логической единицы;	13-30 В	15 В
Время выполнения логических операций	2 мс	0,8 мкс
Расширение	До 6 модулей с помощью модуля IM90	До 8 модулей
Габариты	145x135x97мм	130x100x75мм
Степень защиты	IP20	IP20

При выборе ПЛК для модернизации, учитывалась экономическая эффективность и взаимозаменяемость модулей. Важно также отметить, что CPUS7-1215C имеет также по 2 встроенных аналоговых входа и выхода, что позволяет задуматься о дальнейшем усовершенствовании конструкции модернизируемой установки.

Также сравнивались контроллеры S7-312C и S7-1511C PN, но при экономическом анализе они оказались дороже и поэтому не оправданы для модернизаций рассматриваемого технологического процесса.

Таким образом, контроллеры S7-1200 имеют более высокую производительность и быстродействие, большую память и возможности для расширения его функционала. В целом, модернизация контроллеров на металлургических промышленных предприятиях, является важным шагом для повышения производственных показателей, улучшения условий труда и качества выпускаемой продукции.

Список литературы

1. Теличенко, Д.А. Современные подходы при реализации АСУ ТП для объектов теплоэнергетики / Д.А. Теличенко, А.А. Милосердова. – Вестник Амурского государственного университета. – 2012. – №59.
2. Сирант, О.В. Автоматизированное рабочее место оператора системы измерения количества и параметров газа дожимной насосной станции / О.В. Сирант, В.В. Томаров. – Технические науки – от теории к практике. – 2016. – №1 (49).
3. Музылева, И.В. Программирование промышленных логических контроллеров SIMATIC S7. Часть 1. Семейство S7-200 [Текст]: учебное пособие / И.В. Музылева. – Липецк: Издательство ЛГТУ. – 2013. – 72 с.
4. Анализ возможности использования программируемых контроллеров при управлении водораспределением в Донском магистральном канале / А.А. Ткачев, Е.О. Складенко, К.И. Ключенко и др. – Мелиорация и гидротехника. – 2023. – №4.

5. Серикбосын, Е.А. Разработка подсистемы автоматизации водогрейного котла на базе контроллеров Simatic-1200 / Е.А. Серикбосын, А.С. Байбатырова, Ф.А. Абенова. – Современные инновации. – 2016. – №8 (10).

6. Гнедин, П.А. Особенности контроллеров SIMATICS7-1500 Фирмы SIEMENS / П.А. Гнедин. – Автоматика и программная инженерия. – 2019 . – №3(29).

7. Зиманов, М.С. Обеспечение надежности электроэнергетических систем предприятий с помощью современных средств РЗИА / М.С. Зиманов. – Вестник науки. – 2024. – №5(74).

8. Бухаров, Р.А. Интеграция среды моделирования Simulink и аппаратного обеспечения систем управления на примере контроллера SiemensS7-200 / Р.А. Бухаров. – ГИАБ. – 2014. – №2.

MODERNIZATION OF S5 CONTROLLER TO SIEMENS S7 CONTROLLER FOR SUNDWIG 1 MACHINE TOOL

ZUEV SERGEY ALEXANDROVICH

student of gr. EP-21-1

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

MUZYLEVA INNA VASILIEVNA

Scientific supervisor, lecturer of the Department of Automated Electric Drive and Robotics.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

Abstract: This article discusses the issue of upgrading the obsolete controller S5-90U to S7-1215C from Siemens, installed on a machine for the production of internal protective corners for packaging metal rolls “Sundwig №1”

Keywords: PLC, S5-90U, S7-1215C, automation, central processor, Sundwig №1, automatic control.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ВАННЫ ХРОМИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРОЦЕССА ГАЛЬВАНИКИ

ИЛЬИН МАТВЕЙ ВИКТОРОВИЧ

студент гр. М-ЭП-23-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

БОЙКОВ АНДРЕЙ ИГОРЕВИЧ

Научный руководитель, преподаватель кафедры электропривода
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: в данной статье производится расчет математической модели ванны хромирования. Создается математическая модель в ПО Matlab подсистемы Simulink.

Ключевые слова: математическая модель, математическое описание, ванна хромирования, автоматизация, гальваника.

В производственной цепочке важным этапом является процесс гальваники. Он состоит из нескольких шагов, одним из главных является восстановление технических свойств в ванне хромирования. Процесс хромирования – электрический, происходит при температуре электролита 50-52 °С. Нагрев электролита до заданной температуры осуществляется паром, а охлаждение водой. В преобладающем большинстве процесс хромирования не автоматизирован, а прежде всего требуется провести математические расчеты и составить математическую модель объекта управления [1].

Первичной формой представления математической модели любой САУ является система дифференциальных и алгебраических уравнений, отображающих динамические свойства объекта регулирования и элементов системы. Эти уравнения могут быть определены аналитически на основе законов физики, положенных в основу работы объекта регулирования и элементов системы, или экспериментально. В данном случае применим первый способ – аналитический, на рисунке 1. изображена функциональная САУ температуры в ванне хромирования, а на рисунке 2 – принципиальная, где: 1 – задающий орган (задание в контроллере); 2 – усилительный орган (регулятор); 3 – исполнительный орган (ЭП клапана); 4 – регулирующий орган (запорная арматура); 5 – ванна; 6 – детали для гальваников; 7 – термopара.

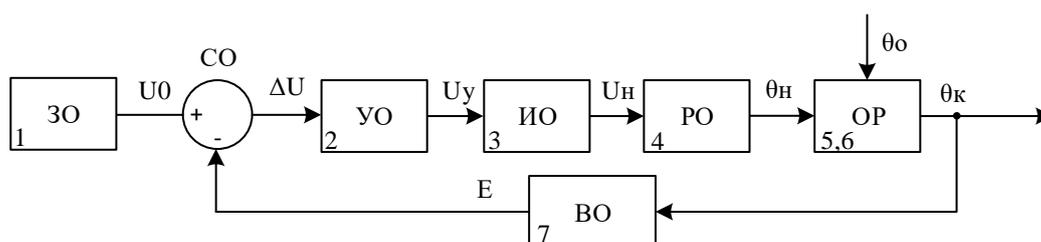


Рисунок 1 – Функциональная схема САУ температуры в ванне хромирования

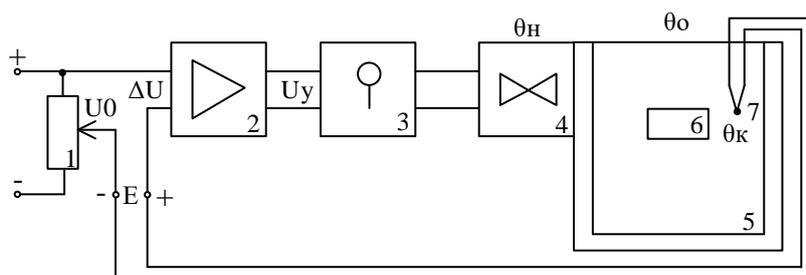


Рисунок 2 – Принципиальная схема САУ температуры в ванне хромирования

Объектом регулирования в данной САР выступает ванна хромирования с размещенной в ней деталью. Регулируемая величина – температура в ванне – зависит от возмущающего воздействия температуры окружающей среды. Величину можно регулировать, изменяя регулирующее воздействие нагревательного элемента [2].

Данная САР работает следующим образом для измерения температуры в ванне 5 имеется термопара 7, сигнал которой – ЭДС E сравнивается с задающим сигналом. Изменяя опорное напряжение с помощью управляющего сигнала с контроллера 1, подключенного к стабилизированному источнику питания постоянного тока, задают необходимую температуру в ванне. При этом входные и выходные величины элементов системы автоматического регулирования $(\Delta U = U_0 - E; U_y; U_H; \theta_H)$ будут иметь определенные значения, соответствующие заданному значению температуры. Если, например, внешнее воздействие – температура окружающей среды уменьшилась, то снизится температура и внутри ванны. Это, в свою очередь, приведет к уменьшению сигнала термопары E и к росту сигнала рассогласования, что вызовет изменение сигнала управления на электроприводе клапана и рост температуры. Увеличение последней приведёт к росту температуры до заданного значения. Увеличение температуры окружающей среды вызовет обратный эффект.

Для рассматриваемой САР передаточные функции, полученные в результате преобразования уравнений по Лапласу при нулевых начальных условиях, примут вид [3]:

– передаточная функция ванны по регулирующему воздействию:

$$W_{KP}(s) = \frac{\theta_K(s)}{\theta_H(s)} = \frac{k_K}{T_K s + 1} = \frac{0,99}{351,65s + 1};$$

– передаточная функция ванны по возмущающему воздействию:

$$W_{KB}(s) = \frac{\theta_K(s)}{\theta_O(s)} = \frac{k_O}{T_K s + 1} = \frac{0,004}{351,65s + 1};$$

– передаточная функция термопары:

$$W_T(s) = \frac{E(s)}{\theta_K(s)} = \frac{k_T}{T_T s + 1} = \frac{0,09}{19,54s + 1};$$

– передаточная функция нагревателя по каналу мощности P :

$$W_{H1}(s) = \frac{\theta_H(s)}{P_H(s)} = \frac{k_H}{T_H s + 1} = \frac{2,6 \cdot 10^{-5}}{0,93s + 1};$$

– передаточная функция нагревателя по каналу температуры θ_K :

$$W_{H2}(s) = \frac{\theta_H(s)}{\theta_K(s)} = \frac{1}{T_H s + 1} = \frac{1}{0,93s + 1};$$

– передаточная функция, соответствующая линеаризованному уравнению:

$$W_P(s) = \frac{\Delta P(s)}{\Delta U_H(s)} = k_P = 0,5;$$

– передаточная функция усилителя:

$$W_y(s) = \frac{U_y(s)}{\Delta U(s)} = k_y = 22;$$

– передаточная функция ЭП клапана:

$$W_{ЭП}(s) = \frac{U_H(s)}{U_Y(s)} = k_{ЭП} = 0,045,$$

где $\theta_K(s), \theta_H(s), \theta_O(s), E(s), P_H(s), \Delta P_H(s), U_H(s), \Delta U_H(s), U_Y(s), \Delta U(s)$ – изображения по Лапласу соответственно температуры в ванне, нагревателя, окружающей среды, ЭДС термопары, мощности и её отклонения, напряжения и его отклонения, сигнала рассогласования при нулевых условиях[4].

Следующим этапом идёт проверка расчета корректной математической модели, предлагаемой системы, в среде MATLAB пакете Simulink. На рисунке 3 представлена структурная схема САР температуры в ванне хромированиях [5].

Сама модель содержит в себе расчёты, которые проводились выше и объединяет в себе все полиномы системы, состоит из:

- задающего органа (задание);
- усилительный орган (ПИ-регулятор);
- исполнительный орган (ЭП клапана);
- регулирующий орган (запорная арматура);
- ванна с деталью, для процесса гальваники;
- термопара.

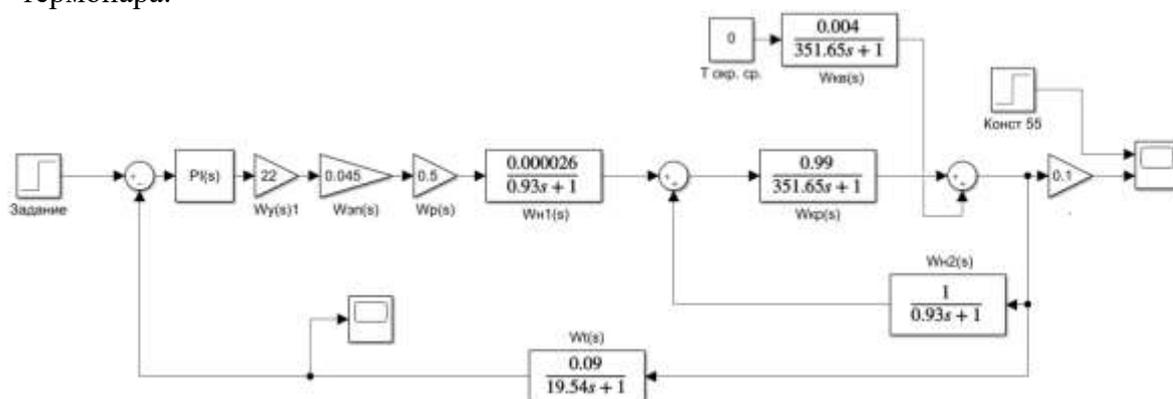


Рисунок 3 – Структурная схема САР температуры в ванне

В результате моделирования получается график переходной функции (рисунок 4) с полученным результатом, который удовлетворяет исходному заданию и уместается в рамках требований к системе.

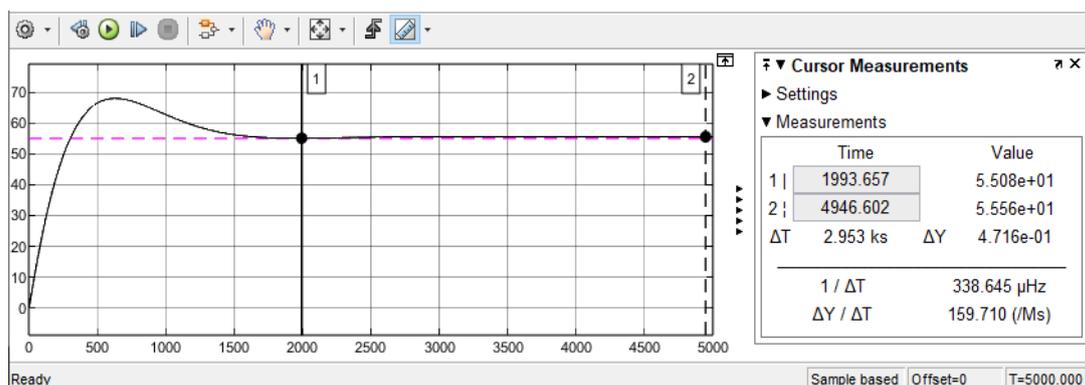


Рисунок 4 – Скриншот из программы Simulink

Рассмотрены принцип работы ванны хромирования. Составлены схемы автоматизации системы. Произведены расчеты и создана математическая модель объекта управления в ПО Matlab подсистемы Simulink. В качестве результат работы получен график переходной функции измеряемой температуры в ванне хромирования от времени. Анализируя полученный процесс все результаты удовлетворяют требованиям к системе.

Список литературы

1. Карташов, Б.А. Среда динамического моделирования технических систем SimInTech. Практикум по моделированию систем автоматического регулирования / Б.А. Карташов – Москва: ДМК Пресс, 2017 – 424 с.
2. Кангин, В.В. Аппаратные и программные средства систем управления. Промышленные сети и контроллеры / В.В. Кангин, В.Н. Козлов – Москва: Лаборатория знаний, 2010 – 418 с.
3. Крупович В.И. Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами / В.И. Крупович, Ю.Г. Барыбина, М.Л. Самовер – Москва: Энергоиздат, 1982 – 416 с.
4. Чиликин М.Г. Общий курс электропривода / М.Г. Чиликин, А.С. Сандлер – Москва: Энергоиздат, 1981 – 576 с.
5. Дьяконов В. П. MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем. Специальный справочник / В. П. Дьяконов, В. В. Круглов – Санкт-Петербург: Питер, 2001 – 74 с.

MATHEMATICAL DESCRIPTION OF THE CHROME PLATING BATH FOR THE ELECTROPLATING PROCESS

ILYIN MATVEY VIKTOROVICH

Student gr. M-EP-23-1

Lipetsk State Technical University

BOIKOV ANDREY IGOREVICH

Scientific supervisor, lecturer of the Department of Electric Drive

Lipetsk State Technical University

Abstract: in this article, a mathematical model of a chrome plating bath is calculated. A mathematical model is being created in the Matlab software of the Simulink subsystem.

Keywords: mathematical model, mathematical description, chromium plating bath, automation, electroplating.

ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ РУКИ С СИЛЬФОННЫМ ПРИВОДОМ

КАЗЮРА НИКОЛАЙ ВАДИМОВИЧ

студент гр. МР-21-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

БЕЛОКОПЫТОВ РУСЛАН НИКОЛАЕВИЧ

Научный руководитель, старший преподаватель кафедры автоматизированного электропривода и робототехники

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: В этой научной статье исследуется динамика роботизированной руки, которая является максимально безопасной для взаимодействия с человеком. В приводе используется надувные сильфоны, которые расширяются во вращательном направлении при увеличении давления. Также проведено моделирование, главной задачей которого является контроль давления в камерах сильфонного привода для удержания равновесия маятника Фуруты.

Ключевые слова: Робот-манипулятор, динамика манипулятора, диаграмма Боде, система ЛТІ, линейно-квадратичный регулятор (LQG).

Рука с сильфонным приводом – это манипулятор, положение которого регулируется пневмоприводами сильфонного типа.

Динамика робота-манипулятора определяется без прикрепления маятника. Сам манипулятор обладает значительно большей инерцией, нежели маятник, поэтому предполагается, что его влияние на систему ничтожно мало.

Разница давлений между актуаторами $\Delta p = p_A - p_B$ используется как основная величина регулирования. Если значение Δp больше нуля, то смещение происходит в направлении α , что продемонстрировано на рисунке 1. Отклонение маятника Фуруты описывается через угол β [1].

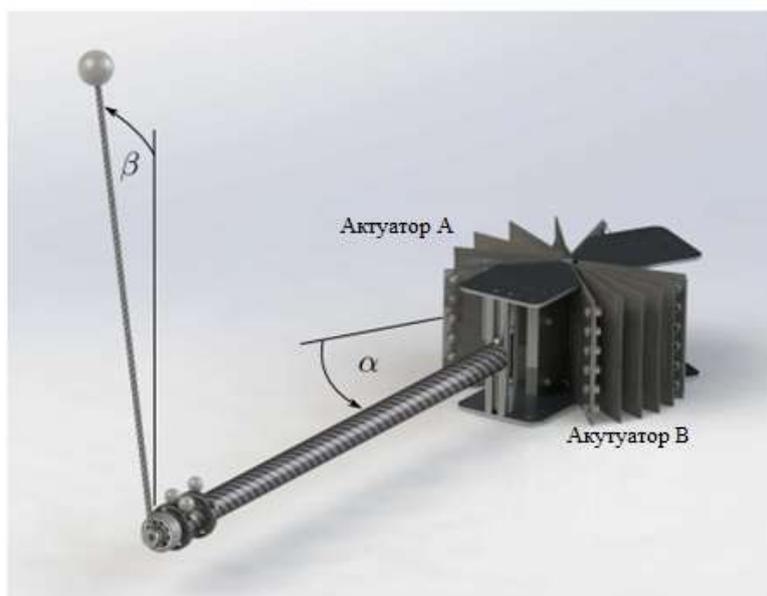


Рисунок 1 – Иллюстрация маятника Фуруты

Динамика манипулятора определяется согласно модели «черного ящика» [2]. Использование данной модели значительно упрощает решение поставленной задачи, особенно в случае возникновения необходимости внесения корректировок. Стоит сразу

отметить, что динамика определяется фактической разницей давления, из-за чего нет необходимости в ручном вводе данного параметра.

Для управления системой формируется сигнал управления путем наложения синусоид с частотами в диапазоне от 0,1 до 4 Гц. Коэффициент усиления сводится к минимуму за счет выбора фаз синусоид аналогично фазам Ньюмена [3]. Чтобы улучшить отношение сигнал/шум для выходного сигнала, необходимо отбросить переходную характеристику и усреднить последующие двенадцать циклов.

Динамика манипулятора описывается моделью второго порядка:

$$G(s) = \frac{\alpha(s)}{\Delta p(s)} = k \frac{\omega_0^2}{\omega_0^2 + 2\delta\delta_0 s + s^2} \cdot e^{-Ts}, \quad (1)$$

где s - комплексная переменная, $k = 1,86$, $\omega_0 = 22,36$, $\delta = 0,40$, $T = 0,006$. Данные коэффициенты определяются передаточной функцией, полученной опытным путем. Полученные результаты при моделировании показаны на рисунке 2 в виде диаграммы Боде.

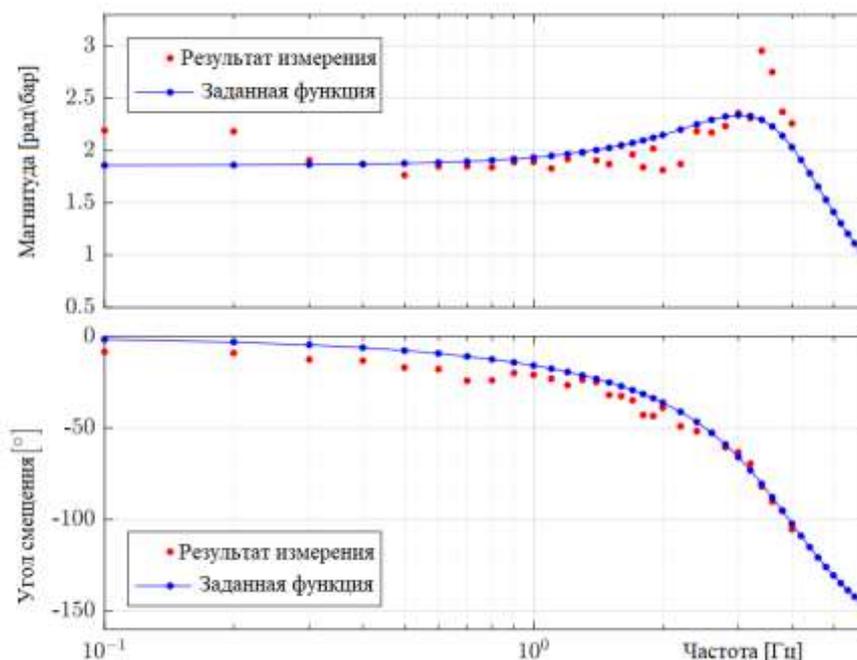


Рисунок 2 – Диаграмма Боде

На диаграмме Боде представлены измеренные и подобранные динамические параметры манипулятора, а именно соотношение перепада давления Δp (бар) к углу α (рад). По представленной диаграмме можно судить, что величины, полученные моделью второго порядка, несколько занижены в области малых частот. Запоздыванием можно пренебречь, поскольку его влияние на смещение манипулятора незначительно для данного диапазона частот.

Для получения линейного дифференциального уравнения необходимо использовать обратное преобразование Лапласа:

$$\frac{1}{\omega_0^2} \ddot{\alpha} = -\alpha - \frac{2\delta}{\omega_0} \dot{\alpha} + k\Delta p. \quad (2)$$

Предполагается, что моментом инерции маятника в продольном направлении можно пренебречь, а моменты инерции в поперечном направлении равны друг другу [4]. Тогда для описания динамики манипулятора можно использовать следующую формулу:

$$j_2\ddot{\beta} = L_1l_2m_2\cos(\beta)\ddot{\alpha} + \frac{1}{2}J_2\sin(2\beta)\dot{\alpha}^2 + gl_2m_2\sin(\beta) - d_2\dot{\beta}. \quad (3)$$

В данной формуле используются параметры, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры маятника

	Величины	Описание
d_2	$1e^{-5}$ Нм/рад	Сила трение маятника
g	9.81 м/с ²	Ускорение свободного падения
J_2	0.0017 кгм ²	Момент инерции маятника относительно шарнира
L_1	0.45 м	Длина рычага манипулятора
L_2	0.48 м	Длина маятника
l_2	0.32 м	Расстояние между шарниром и центром масс маятника
m_2	0.0014 кг	Масса маятника

Известно, что динамика маятника и манипулятора связана через $\ddot{\alpha}$ и $\dot{\alpha}$. Это позволяет нам подставить вместо $\ddot{\alpha}$ формулу (2) и выразив динамику $(\alpha, \dot{\alpha}, \beta, \dot{\beta}) = (0, 0, 0, 0)$ получим систему ЛТІ:

$$\begin{pmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 10 & 0 & 0 \\ -50 & -18 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 10 \\ -57.18 & -20.59 & 2.47 & -0.01 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 29.59 \\ 0 \\ 33.84 \end{pmatrix} u. \quad (4)$$

Значение x соответствует $(\alpha, \dot{\alpha}, \beta, \dot{\beta})$, выраженному по $(\pi, 10\pi, \pi, 10\pi)$, а управляющий сигнал u соответствует разности давлений Δp (Па), выраженному по $\bar{p} = 1e^5$. Угол поворота α (x_1) и отклонения β (x_3) измеряются следующим уравнением:

$$\begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} u. \quad (5)$$

С учетом всего вышеизложенного, для регулирования системы необходимо использовать каскадную модель управления, представленную на рисунке 3. Основой для данной модели будет различное время опроса давления в манипуляторе и угла отклонения маятника – давление опрашивается с большей частотой. Это помогает отслеживать динамику манипулятора с минимальной задержкой. Для стабилизации маятника возможно использовать линейно-квадратичный регулятор (LQG) [5]. Он может производить расчет давления, выдавая установленное значение для каждого актуатора, которое в последствии возможно отслеживать отдельным регулятором давления, работающим с большей частотой опроса.



Рисунок – 3 Каскадная архитектура управления

Список литературы

1. M. Gafvert, Dynamic Model Based Friction Compensation on the Furuta Pendulum
2. E. Richer and Y. Hurmuzlu, A high performance pneumatic force actuator system: Part 1 - nonlinear mathematical model
3. S. Boyd, Multitone signals with low crest factor, IEEE Transactions on Circuits and Systems
4. B. Cazzolato and Z. Prime, On the Dynamics of the Furuta Pendulum, Journal of Control Science and Engineering, vol. 2011.
5. K. M. Moudgalya, Linear Quadratic Gaussian Control. John Wiley & Sons, Ltd, 2007

STUDY OF ARM DYNAMICS WITH A BELLOWS ACTUATOR

KAZYURA NIKOLAY VADIMOVICH

student of gr. MR-21-1

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

BELOKOPYTOV RUSLAN NIKOLAEVICH

Scientific supervisor, Senior Lecturer of the Department of Automated Electric Drive and Robotics.
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

Abstract: This research paper investigates the dynamics of a robotic arm that is as safe as possible for human interaction. The actuator utilises inflatable bellows that expand in a rotational direction as pressure increases. Modelling has also been carried out, the main objective being to control the pressure in the chambers of the bellows actuator to keep the Furuta pendulum in equilibrium.

Keywords: Robot manipulator, manipulator dynamics, Bode diagram, LTI system, linear-quadratic controller (LQG).

ИЗУЧЕНИЯ КОНСТРУКЦИИ СИЛЬФОННОГО ПРИВОДА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В МЯГКОЙ РОБОТОТЕХНИКЕ

КАЗЮРА НИКОЛАЙ ВАДИМОВИЧ

студент гр. МР-21-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ГОТОВЦЕВ ДАНИИЛ ГЕННАДЬЕВИЧ

студент гр. ЭП-23-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ПОНОМАРЕВ ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ

Научный руководитель, преподаватель кафедры автоматизированного электропривода и робототехники

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: в данной работе исследуется конструкция роботизированной руки, которая является максимально безопасной для взаимодействия с человеком. В приводе используется надувные сильфоны, которые расширяются во вращательном направлении при увеличении давления.

Ключевые слова: робот, манипулятор, вспомогательный, доступный, мобильный, привод

Введение

Причина, по которой сегодня промышленные роботы по-прежнему используются в основном для выполнения повторяющихся, четко определенных задач, которые не меняются: им не хватает креативности и способности человека реагировать и адаптироваться к непредвиденным ситуациям. Совместная работа людей и роботов способна устранить эти недостатки, объединив сильные стороны обоих: гибкость людей в сочетании со скоростью и выносливостью роботов манипуляторов. Различные отрасли промышленности могут извлечь выгоду из тесного сотрудничества человека и робота. Но чтобы реализовать весь этот потенциал, необходимо обеспечить безопасность людей при работе рядом с роботами-манипуляторами. Использование мягких корпусных компонентов с нагнетенным в них воздухом и управление перемещением за счет надувных сильфонов может предоставить значительные возможности для решения данной проблемы.

Приводы возможно изготовить из ткани и использовать в качестве исполнительных механизмов как в жесткокаркасных гибридных системах, так и в полностью надувных системах. Располагая приводы в зеркальных парах или тройках, можно регулировать жесткость и прогиб звеньев. Использование надувных звеньев уменьшает движущуюся массу системы, а их гибкость позволяет сделать любой контакт манипулятора с человеком максимально мягким. Обе эти особенности снижают силу удара при взаимодействии с окружающей средой, тем самым уменьшая риск получения травмы при случайном или намеренном контакте с роботом [1].

Самой важной и в каком-то смысле даже незаменимой в данной системе является управление с обратной связью. Для корректной работы снимаются показания приводов, а именно давление и положение робота в пространстве. Для максимальной эффективности используется каскадная архитектура управления. Внутренний контур с высокой скоростью обрабатывает и регулирует давление в приводах, а менее быстрый внешний контур отвечает за положение манипулятора.

Так же необходимо брать в учет вязкость и упругость используемых материалов. Да, они безопасны и обеспечивают некоторую универсальность в манипулировании, но при этом снижается эффективность управления. Для снижения данного влияния, возникающего в

основном при агрессивных траекториях движения, необходимо вычислять сигнал коррекции. Если взять в учет тот факт, что данные возмущения возникают при относительно одинаковых траекториях движения, для решения данной проблемы можно использовать машинное обучение.

Для достижения максимальной точности регулирования положения возможно использовать камеры глубины, встроенные непосредственно с сифон. Внутренняя часть привода в таком случае покрывается особым рисунком, считывая который становится возможно понять точную степень сжатия сифона и, следовательно, определить положение робота в пространстве.

Выбор привода

На данный момент в области мягкой робототехники используются различные материалы и способы приведения робота в движение. Среди существующих пневматические системы являются самыми перспективными за счет доступности и простоты в производстве и большого усилия, обеспеченного сжатым воздухом [2].

На данный момент существует три основных вида пневмоприводов:

- Сжимающиеся при повышении давления;
- Сжимающиеся при создании вакуума;
- Расширяющиеся при повышении давления.

Существует всего два метода проектирования надувных приводов. В первом случае это герметичная однослойная ткань, способная выдержать определенное растяжение. Главным достоинством является простота изготовления. Второй метод проектирования – использование двух слоев. Внутренний слой герметичен, а внешний воспринимает на себя нагрузку на растяжение, что и является ее главным преимуществом. Так же в зависимости от используемого материала используют различные методы изготовления, самыми распространенными из которых является сшивание и спаивание.

В данной работе рассматриваются привода сифонного типа, расширение которых происходит во вращательном направлении. Данный выбор обусловлен компактностью и возможностью большого перепада давления в самом приводе. Благодаря конструкции, состоящей из тканевых звеньев, и применению воздушной системы масса привода получается минимальной. Данные свойства значительно снижают вероятность получения человеком травмы [3].

На рисунке 1 был представлен элемент роботизированной руки гибридной конструкции, состоящий из онтологически расположенных мягких приводов и жесткого шарнира.



Рисунок 1 – Пример гибридной системы с сифонным приводом

Описание сифонного привода

В связи с упомянутой выше простотой производства, для изготовления приводов лучше брать однослойную воздухонепроницаемую ткань. Для создания такой ткани с необходимой степенью герметичности необходимо использовать композит, состоящий из слоя нейлона и слоя полиуретана. Материал должен быть обработан с помощью высокочастотной сварки - производственного процесса, при котором электромагнитное поле высокой частоты

применяется для сваривания двух листов нейлона с полиуретановым покрытием. Высокочастотная сварка отличается от аналогичных технологий производства, таких как термическая сварка, способом подачи тепла на ткань. В то время как при термической сварке тепло подается снаружи, при высокочастотной сварке оно генерируется по всей толщине шва. Это достигается за счет возбуждения полимера на молекулярном уровне [4]. В результате достигается максимальная адгезия материалов.

Таким образом получаются воздушные подушки (рисунок 2), способные выдержать давление воздуха до 4,5 бар. В дальнейшем таким же образом происходит объединение в один рабочий орган. Смещение шва, соединяющего две подушки, ближе к краю позволяет добиться расширения во вращательном направлении, благодаря чему создается соответствующее движение.



Рисунок 2 – Пример сильфона, состоящего из воздушных подушек

Для нагнетания воздуха в одной из крайних подушек необходимо закрепить штуцер. Пневмосистему можно использовать трубки из поливинилхлорида. Показания давления снимаются с каждого привода, а для регулирования использовать электромагнитные клапана. В нашем случае подача и сброс давления осуществляется через 2/2-ходовые (Два положения – открыт/закрыт, два соединения – вход/выход) клапаны, управление которыми осуществляется широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) [5].

Конструкция пневмосистемы

На рисунке 3 продемонстрирована пневматическая схема привода. От источника воздух через 2/2-ходовой клапан K_1 попадает в актуатор, состоящий из необходимого количества надувных подушек. Сброс осуществляется через аналогичный клапан K_2 . Для отслеживания давления в системе используется несколько датчиков давления. Первый снимает показание источника $P_{ист}$, а второй и последующие снимают давление P_A непосредственно в узле самого привода. Для уменьшения погрешности и более точного регулирования в узле источника так же установлен датчик температуры T .

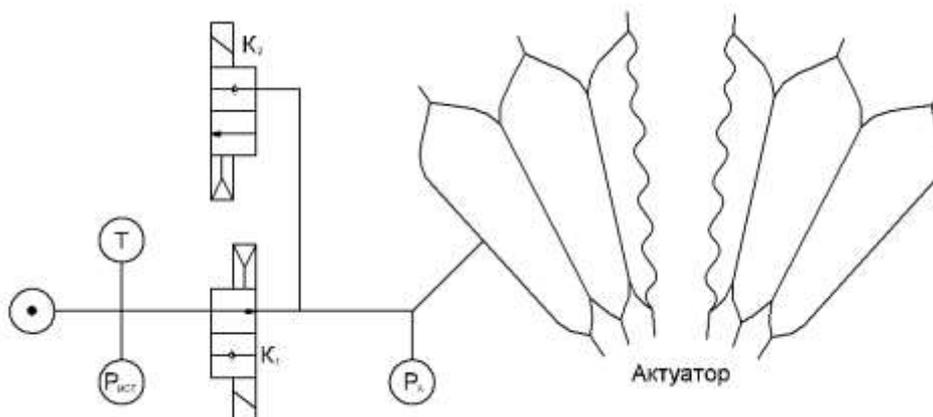


Рисунок 3 – Пневматическая схема привода

Список литературы

1. S. Voisembert, N. Mechbal, A. Riwan, and A. Aoussat, Design of a novel long-range inflatable robotic arm: Manufacturing and numerical evaluation of the joints and actuation
2. D. Maruyama, H. Kimura, M. Koseki, and N. Inou, Driving force and structural strength evaluation of a flexible mechanical system with a hydrostatic skeleton
3. M. J. Troughton, Handbook of Plastics Joining, Second Edition: A Practical Guide (Plastics Design Library) 2nd edition by Troughton, (2008) Hardcover
4. E. Richer and Y. Hurmuzlu, A high performance pneumatic force actuator system: Part 1 - nonlinear mathematical model
5. C. M. Best, J. P. Wilson, and M. D. Killpack, “Control of a pneumatically actuated, fully inflatable, fabric-based, humanoid robot,” in IEEE International Conference on Humanoid Robots (Humanoids), 2015, pp. 1133–1140.

STUDYING THE DESIGN OF A BELLOWS DRIVE FOR USE IN SOFT ROBOTICS

KAZYURA NIKOLAY VADIMOVICH

student gr. MR-21-1

Lipetsk State Technical University

GOTOVTSEV DANIIL GENNADIEVICH

student gr. EP-23-1

Lipetsk State Technical University

Abstract: this article examines the design of a robotic arm, which is as safe as possible for human interaction. The drive uses inflatable bellows, which expand in a rotational direction with increasing pressure.

Keywords: robot, manipulator, auxiliary, accessible, mobile, drive

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИЛЬФОННОГО ПРИВОДА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В МЯГКОЙ РОБОТОТЕХНИКЕ

КАЗЮРА НИКОЛАЙ ВАДИМОВИЧ

студент гр. МР-21-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ГОТОВЦЕВ ДАНИИЛ ГЕННАДЬЕВИЧ

студент гр. ЭП-23-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ПОНОМАРЕВ ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ

Научный руководитель, преподаватель кафедры автоматизированного электропривода и робототехники

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: в работе исследуется математическая модель массового расхода газа в роботизированной руке, максимально безопасной для взаимодействия с человеком. В приводе используется надувные сильфоны, которые расширяются во вращательном направлении при увеличении давления.

Ключевые слова: контроль давления, динамика давления, ШИМ, массовый расход газа, скважность, мертвая зона.

Главной задачей является контроль давления в приводах, которое напрямую зависит от количества подаваемого или сбрасываемого в систему газа, а уже это в свою очередь зависит от работы клапанов. Для одного привода динамику давления можно описать при помощи модели «черного ящика» (1):

$$\dot{m} = \frac{1}{RT} \left(\frac{V\dot{p}}{k} + p\dot{V} \right), \quad (1)$$

где \dot{m} – масса расходуемого газа, R – постоянная идеального газа, T – температура, k – политропный коэффициент, в пределах $k \in [1, 1.4]$, V и \dot{V} – объем и его изменение соответственно.

В данном случае при расчете применяются следующие допущения:

- Используется идеальный газ;
- Процесс политропический;
- Изменения кинетической и потенциальной энергии незначительны;
- Не учитывается упругость материала сильфона;

Не учитывается взаимодействие с антагонистическим приводом.

Объем аппроксимируется полиномиальной функцией угла второго порядка, коэффициенты которой определяются экспериментально. Вычисление производной объема по времени дает выражение для изменения объема в зависимости от угла и угловой скорости.

Построение статической модели расхода газа, зависящего от соотношений давлений на клапан и применяемой скважности, для полностью открытого клапана описывается согласно стандарту ISO 6358 (2):

$$\dot{m}_{fo}(p_u, p_d) = \begin{cases} p_u C \rho_0 \sqrt{\frac{T_0}{T_u}} \sqrt{1 - \frac{\left(\frac{p_u}{p_d} - b\right)}{(1-b)}} & \text{если } \frac{p_u}{p_d} > b, \\ p_u C \rho_0 \sqrt{\frac{T_0}{T_u}} & \text{если } \frac{p_u}{p_d} \leq b, \end{cases} \quad (2)$$

где \dot{m}_{fo} – масса расходуемого газа полностью открытого клапана, p_d и p_u – давление до и после клапана соответственно, ρ_0 – плотность газа, T_0 – температура газа, b – коэффициент критического давления, при котором скорость газа достигает скорости звука, C – звуковая проводимость.

Параметры b и C возможно найти в технической документации, приложенной к клапану. Описанный расход является максимальным для данного перепада давлений на клапане и уменьшается при применении широтно-импульсной модуляции со скважностью менее единицы.

Для данной работы частота ШИМ составляла 200 Гц. Датчики давления используется для измерения массового расхода через клапан для различных значений скважности и соотношения давлений. Скважность задается непосредственно оператором, а соотношение давлений регулируется путем изменения давления источника.

Массовый расход \dot{m} , полученный опытным путем, и его зависимость от скважности и максимально возможного расхода \dot{m}_{fo} продемонстрированы на рисунке 1. Отсюда можно сделать несколько выводов. Во-первых, измеренный расход, обозначенный на графике черными точками, достаточно точно описывается моделью (2) и, следовательно, совпадает с \dot{m}_{fo} . Во-вторых, расход в целом уменьшается вместе с уменьшением скважности. И наконец при слишком малом показателе скважности наблюдается разрыв, при котором расход падает до нуля.

Данный аспект возможно описать при помощи билинейной модели скважности и максимально возможного массового расхода, с учетом мертвой области для малого значения скважности:

$$\dot{m} = \begin{cases} dc \cdot \dot{m}_{fo} & \text{если } (dc, \dot{m}_{fo}) \notin S_{db}, \\ 0 & \text{если } (dc, \dot{m}_{fo}) \in S_{db}, \end{cases}$$

где S_{db} – мертвая зона.

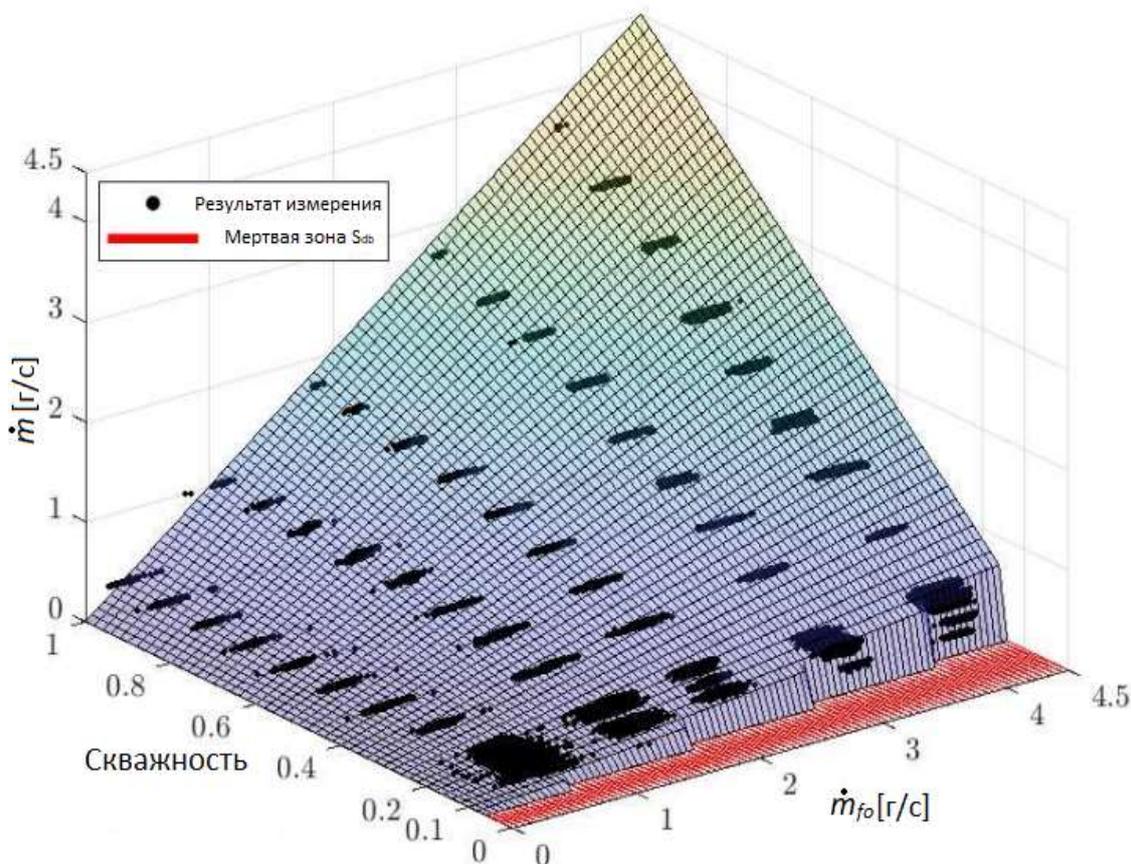


Рисунок 1 – График зависимости массового расхода от скважности и максимально возможного расхода

Массовый расход, предсказанный моделью, показан сине-оранжевым цветом, а точки измеренных данных показаны черным цветом. Скважность увеличивается с шагом 0,01 для малых значений и 0,1 для значений выше 0,2. Красная область показывает мертвую зону, присутствующую при малых значениях скважности. Она возникает из-за того, что клапану недостаточно времени, чтобы достаточно раскрыться для ненулевого расхода. Разрешение точек сетки, с которыми сравнивается модель, уменьшено [5].

Список литературы

1. E. RicherandY. Hurmuzlu, Ahighperformancepneumaticforceactuatorsystem: Part 1 - nonlinear mathematical model
2. Pneumatic fluid power. Determination of flow-rate characteristics of components using compressible fluids, International Organization for Standardization, Standard, 2013.
3. M. Pipan and N. Herakovic, Volume flow characterization of pwm-controlled fast-switching pneumatic valves
4. C. M. Best, J. P. Wilson, and M. D. Killpack, Control of a pneumatically actuated, fully inflatable, fabric-based, humanoid robot.
5. M. Mihajlov, M. Hubner, O. Ivlev, and A. Graser, Modeling and control of fluidic robotic joints with natural compliance, in IEEE International

BELLOWS DRIVE SIMULATION FOR SOFT ROBOTICS APPLICATIONS

KAZYURA NIKOLAY VADIMOVICH

student gr. MR-21-1

Lipetsk State Technical University

GOTOVTSEV DANIIL GENNADIEVICH

student gr. EP-23-1

Lipetsk State Technical University

PONOMAREV PAVEL SERGEEVICH

Scientific supervisor, lecturer at the Department of Automated Electric Drive and Robotics

Lipetsk State Technical University

Abstract: this research paper investigates a mathematical model of gas mass flow in a robotic arm that is as safe as possible for human interaction. The actuator utilizes inflatable bellows that expand in the rotational direction as pressure increases.

Keywords: pressure control, pressure dynamics, PWM, gas mass flow rate, squeeze, dead zone.

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНДУКТОРАМИ ВАННЫ РАСПЛАВА ЦИНКА АНГЦ-3 ЦХПП ПАО НЛМК

КАШТАНОВ ДАНИИЛ ЭДУАРДОВИЧ

студент гр. М-ЭП-23-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: в данной статье освещен вопрос исследования агрегата, анализ существующей системы управления электропривода танцующего ролика, синтез его математической и компьютерной модели, нахождение возможных направлений модернизации данного электропривода или его системы управления.

Ключевые слова: индуктор, тиристорный регулятор, горячая оцинковка, печь, стальная полоса.

На агрегате в данный момент используются устаревшие тиристорные регуляторы из-за чего дальнейший нагрев ванны может усложниться в следствии частых сбоев. Оборудование более не выпускается, как и ремонтные запчасти для него, что может вызвать аварийную ситуацию.

Горячая оцинковка – самый производительный и высокотехнологичный способ нанесения покрытия. Качественные показатели, надежность и долговечность данного покрытия во много раз выше других способов оцинковки. Для того чтобы покрыть стальное изделие цинком таким способом, его опускают в емкость с расплавленным цинком температурой от четырехста сорока градусов Цельсия. Толщина такого покрытия составляет от тридцати до ста микрометров. Если такой процесс непрерывен, то он более эффективен. Для цинкования изделий меньших размеров в емкость погружают специальный барабан, но детали с резьбой требуют дополнительные процедуры обработки.

Управление регуляторами осуществляется при помощи платы управления SSW. Плата управления SSW разработана для контроля и управления бесконтактным коммутатором высокой мощности, предназначенным для регулирования температуры индукционных или резисторных нагревателей. Плата представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Плата управления SSW

Чтобы подобрать новый тиристорный регулятор, необходимо вычислить мощность при который работает текущий. Для этого была составлена модель в среде MATLAB Simulink. Модель представлена на рисунке 2.

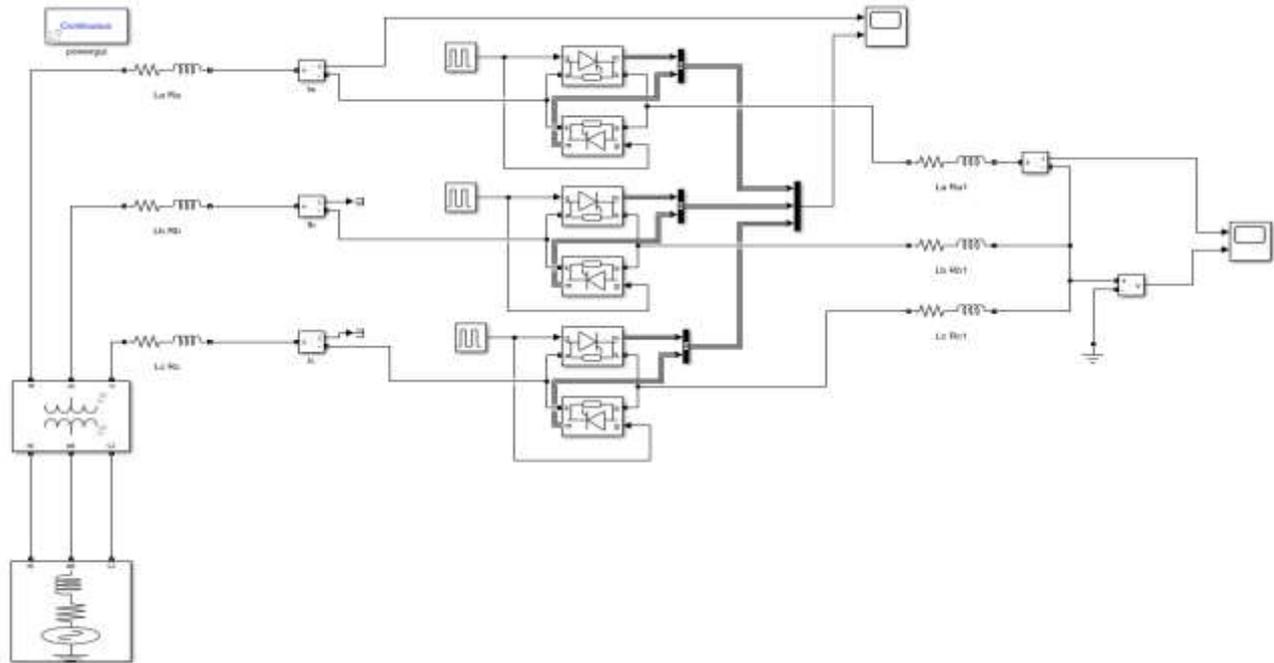


Рисунок 2 – Модель системы управления индукторами

Чтобы вычислить необходимые характеристики для тиристорного регулятора был проведен расчет трансформатора напряжения:

$$Z_B = \frac{U_{1H}^2}{S_H} = \frac{380^2}{1600} = 90,25 \text{ Ом.}$$

Где Z_B – полное базовое сопротивление

$$I_{1H} = \frac{S_H}{U_{1H}} = \frac{1600}{380} = 4,21 \text{ А;}$$

$$\cos \varphi_K = \frac{P_{K3}}{U_{K3} I_{1H}} = \frac{15000}{17,1 \cdot 4,21} = 208,4;$$

$$U_{K3} = \frac{U_{K3}(\%) \cdot U_{1H}}{100} = \frac{4,5 \cdot 380}{100} = 17,1 \text{ В;}$$

$$Z_{K3} = \frac{U_{K3}}{I_{1H}} = \frac{17,1}{4,21} = 4,1 \text{ Ом.}$$

Где Z_{K3} – полное сопротивление короткого замыкания, U_{K3} – напряжение короткого замыкания, I_{1H} – ток первичной обмотки

$$r_{K3} = Z_{K3} \cdot \cos \varphi_K = 4,1 \cdot 208,4 = 854,44 \text{ Ом;}$$

$$x_{K3} = \sqrt{Z_{K3}^2 - r_{K3}^2} = \sqrt{4,1^2 - 854,44^2} = 854,44 \text{ Ом;}$$

$$R_1 = R_2 = \frac{r_{K3}}{2Z_B} = \frac{854,44}{2 \cdot 90,25} = 4,73 \text{ Ом;}$$

$$L_1=L_2=\frac{x_{K3}}{2Z_b}=\frac{854,44}{2\cdot 90,25}=4,73 \text{ Ом.}$$

После вычисления трансформатора получились характеристики на рисунке 3 и на рисунке 4.

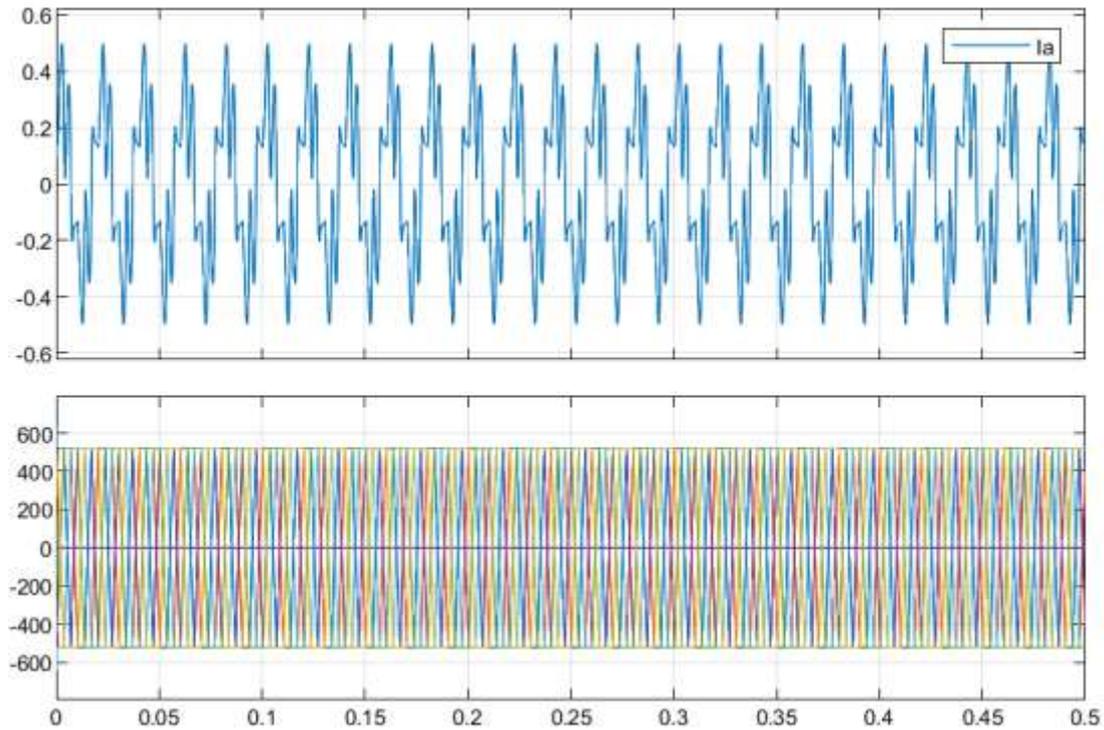


Рисунок 3 – Диаграммы тока и выходов тиристорв.

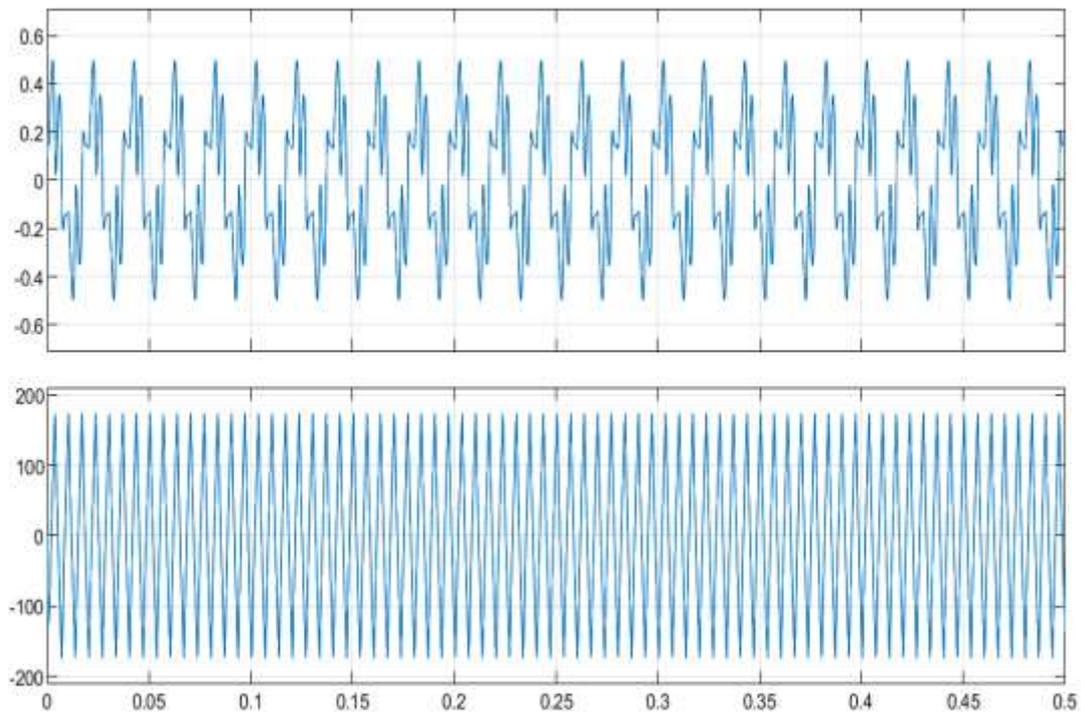


Рисунок 4 – Диаграммы тока и напряжения на выходе с индукторов.

Список литературы

1. Белов, М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов [Текст]: учеб. для студ. высш. учеб. заведений / М.П. Белов, В.А. Новиков, Л.Н. Рассудов. – Москва: Издательский центр «Академия», 2007. – 576 с.
2. Герасимов, А. И. Моделирование в среде MATLAB - SIMULINK [Текст]: методические указания / А.И. Герасимов, В.В. Регада, О.Н. Регада. – Пенза: издательство ПГУ, 2017 – 104 с.
3. Петухов, С.В. Электропривод промышленных установок [Текст]: Учебное пособие / С.В. Петухов, М.В. Кришьянис. – Архангельск, 2015. – 303 с.
4. Бычков, В.П. Электропривод и автоматизация металлургического производства [Текст]: Учебное пособие для вузов– 2-е изд., доп. и перераб. / В.П. Бычков. – Москва: «Высш. Школа», 1977. – 391 с.
5. Г.Б. Онищенко, М.И. Аксёнов, В.П. Грехов, М.Н. Зарицкий, А.В. Куприков, А.И. Нитиевская Автоматизированный электропривод промышленных установок/ под ред. Г.Б. Онищенко. - М.: РАСХН, 2001. – 520 с.

STUDY OF THE STRUCTURE, CLASSIFICATION AND PRINCIPLE OF REACTORS

KASHTANOV DANIIL EDUARDOVICH

Student gr. M-EP-23-1

Lipetsk State Technical University

Abstract: This article highlights the issue of researching the unit, analyzing the existing control system of the electric drive of the dancing roller, synthesizing its mathematical and computer model, finding possible directions for upgrading this electric drive or its control system.

Keywords: inductor, thyristor regulator, hot dip galvanized, furnace, steel strip.

ИЗУЧЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ГЕНЕРАТОРОВ И ТРАНСФОРМАТОРОВ

КОЗЛОВА АННА РОМАНОВНА

Студентка группы МР-21-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ПОНОМАРЕВ ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ

Научный руководитель, преподаватель кафедры автоматизированного электропривода и робототехники

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: в данной работе рассматриваются основные принципы работы дифференциальной защиты, предназначенной для защиты электрических цепей от повреждений, включая короткое замыкание и утечку тока

Ключевые слова: дифференциальная защита генератора, дифференциальная защита трансформаторов

Дифференциальная защита осуществляется методом сравнения токов до объекта защиты и за объектом защиты (рисунок 1). Выдержку времени можно ставить самую минимальную, то есть может работать без выдержки времени, поэтому относится к классу основных защит.

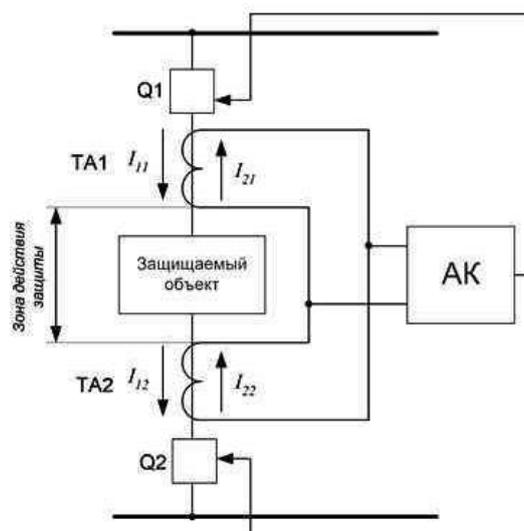


Рисунок 1 – Принцип действия дифференциальной защиты

Высокая чувствительность данной системы обусловлена тем, что даже небольшая разница значений токов легко сравнивается и находится. Такие токи могут измеряться как по амплитуде, так и с учетом фазных сдвигов.

Недостаток дифференциальных защит состоит в необходимости согласования схемы измерения первичного тока на входе, со схемой измерения вторичного тока на выходе, что касается только силовых трансформаторов. Трансформаторы тока, которые ставятся на входе и на выходе, показывают разные значения, так как обладают высоким напряжением на входе и низким на выходе, а также малым значением тока на входе и большим значением на выходе. Чтобы их корректно сравнить необходимо выполнить нормализацию их сигналов. Основная задача – это сравнение по закону Кирхгофа, когда сумма токов равна 0.

Дифференциальная защита генератора.

Одним из легко реализуемых вариантов для схемы защиты генераторов является метод, когда производятся измерения одного и того же тока на первичной обмотке. Ток идет в общую

часть и на выход, где идет в выходную шину (рисунок 2). Поскольку токи одинаковые это позволяет их сравнить. На каждой фазе устанавливается реле сравнения. Ток можно будет легко локализовать и определить, когда он уменьшится в связи с внутренней утечкой.

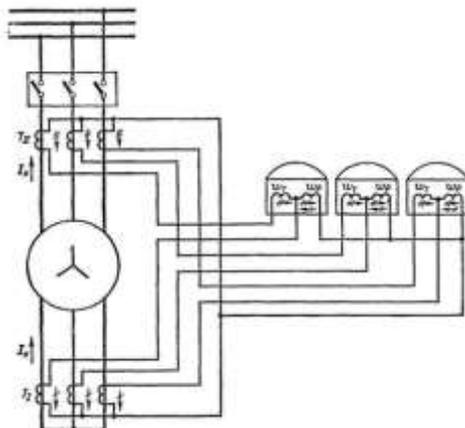


Рисунок 2 – Схема защиты генератора

Так же существует еще параллельно дифференциальная защита. Она используется в тех же генераторах при условии, когда есть несколько параллельно работающих обмоток на одной фазе. Сравнивая токи между первой и второй обмотками, можно определить разницу межвиткового замыкания.

Дифференциальная защита трансформаторов.

Существуют две проблемы. Сделать полноценное сравнение двух токов входного с выходным с учетом коэффициента трансформации силового трансформатора невозможно, так как трансформатор обладает разными коэффициентами трансформации в начале и в конце. Вторая проблема в том, что сам трансформатор имеет внутренние потери, то есть суммарная энергия на входе больше, чем на выходе (рисунок 3).

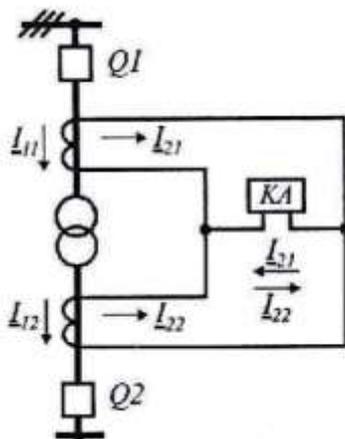


Рисунок 3 – Дифференциальная защита трансформаторов

Современные системы дифференциальной защиты обладают расширенными возможностями мониторинга и диагностики, что упрощает процесс обслуживания и эксплуатации оборудования. Они также могут предоставлять информацию о причинах срабатывания защиты, что помогает оперативно устранять проблемы и обеспечивает более эффективное техническое обслуживание.

Таким образом, современное использование дифференциальной защиты является важным элементом обеспечения безопасности и надежности работы электрических систем в

современном мире и позволяет минимизировать риски возникновения аварийных ситуаций, а также защищает жизнь и здоровье людей, работающих с электрооборудованием.

Список литературы

1. Шпиганович, А.Н. Электрические машины и трансформаторы систем электроснабжения предприятий металлургической и горной промышленности // Учебное пособие – Липецк: ЛГТУ, 2007. – 340 с.
2. Вольдек, А.И. Электрические машины // Учебник для студентов высших. технических учебных заведений. – Ленинград, Л. Энергия, 1978. – 832 с., ил.
3. Парахин, Н.В. Электрические машины // Учебник для студентов высших. технических учебных заведений. – Орел, ОГАУ, 2014 – 170 с.
4. Муромцев, Д. Ю. Энергетика. Проблемы и перспективы развития // Учебное пособие – Тамбов, ТГТУ, 2017 – 324 с.
5. Калугин М. В. Диагностика и надежность электромеханических систем транспортного комплекса // Учебник для студентов высших. технических учебных заведений. - Новосибирск, 2015. - 232.

STUDY OF DIFFERENTIAL PROTECTION OF GENERATORS AND TRANSFORMERS

KOZLOVA ANNA ROMANOVNA

Student of group MR-21-1

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Lipetsk State Technical University"

PONOMAREV PAVEL SERGEYEVICH

Scientific supervisor, Lecturer of the Department of Automated Electric Drive and Robotics
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

Abstract: this work discusses the basic principles of differential protection, designed to protect electrical circuits from damage, including short circuits and current leakage.

Keywords: generator differential protection, transformer differential protection

МОДЕРНИЗАЦИЯ S7 – 300 КОНТРОЛЛЕРА ФИРМЫ SIEMENS И ЗАМЕНА ОПЕРАТОРСКОЙ ПАНЕЛИ OP7

КОЗЛОВА АННА РОМАНОВНА
студентка гр. МР-21-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

МУЗЫЛЕВА ИННА ВАСИЛЬЕВНА

Научный руководитель, доцент кафедры автоматизированного электропривода и робототехники

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

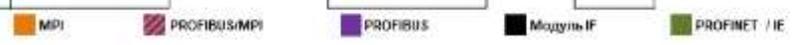
Аннотация: Статья представляет собой обзор шагов реализации замены контроллера и операторской панели на их современные модели. Описываются основные технологические достижения и функционал новых устройств, а также перспективы и выгоды, которые они могут принести в производственном процессе.

Ключевые слова: контроллер, операторская панель, ПЛК, Siemens, S7-300, S7-1500, OP7, OP17.

Технологическая модернизация производства – главная задача любого производства, она приводит к повышению производительности, качеству работы, и надежности.

Выпущенный в 2012 году, ПЛК S7-1500 является приемником старой серии S7-300. Во многих ситуациях поколение S7-1500 по сравнению с S7-300 обладает расширенными системными функциями, включая новейшие перспективные технологии в области автоматизации, представленные на рисунке 1.

	S7-300C		S7-1500C	
Тип CPU	313C		1511C-1 PN	16 DI
Интерфейсы				
Память программ / данных	128 КБ		175 КБ / 1 МБ	-
Битовая операция (нс)	70		60	-
Встроенные DI / DO	24 / 16		16 / 16	16 / -
Встроенные AI / AO	4+1 / 2		4+1 / 2	-
HSC	3 (30 кГц)		6 (100 кГц)	-
PTO / PWM	- / 3		4 / 4	-
Ширина (мм)	120		85	25



Число модулей?
Зачастаи?

HSC – высокоскоростной счетчик
PTO – выход шагового задания
PWM – широтно-импульсная модуляция

Рисунок 1 – Возможности для перехода от S7-313C на SIMATIC S7-1511C-1 PN

Контроллеры серии S7-300 и S7-400 программируются в среде SimaticStep 7, а S7-1200 и 1500 программируются в среда TIA Portal, причем файлы могут быть импортированы в TIA Portal и конвертированы в новый формат для ПЛК S7-1500, что может упростить процесс обновления оборудования.

ПЛК похожи по форме и размеру, а также оба имеют модульную расширяемую конструкцию. CPU, модули ввода-вывода коммуникационные и другие модули устанавливаются на стандартную din-рейку, размер которой зависит от спецификации проекта. Обе системы поддерживают до 32 модулей расширения, объединенных одной процессорной шиной.

Цены аналогичных моделей контроллеров серии S7-300 и S7-1500 примерно одинаковы, если стоимость является решающим фактором, компактная версия S7 – 1500 имея некоторые функциональные ограничения обеспечивают экономию затрат до 70%, а также экономию места на 25%.

С помощью операторской панели можно визуализировать рабочие режимы, текущие значения процесса и неисправности.

OP7 имеет более компактный размер и меньший дисплей, что делает ее более подходящей для небольших шкафов, по сравнению с OP17, что продемонстрировано на рисунке 2. По функциональности OP17 обладает расширенными возможностями, такими как большое количество встроенных функций, поддержка дополнительных протоколов связи и работа с более сложными задачами автоматизации.

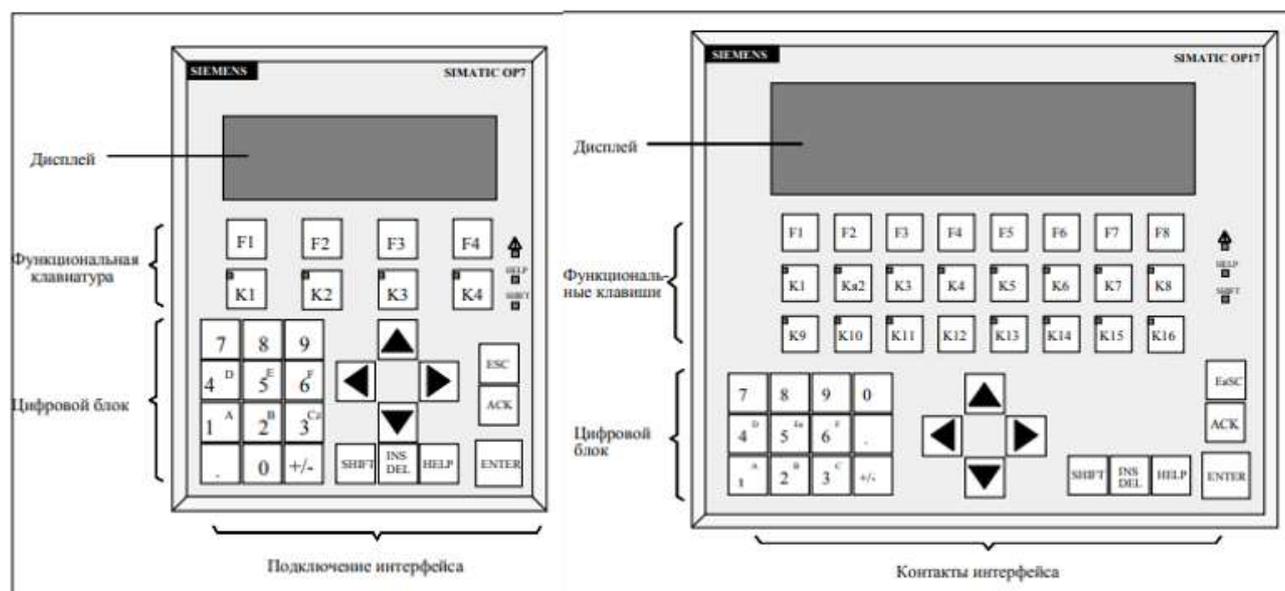


Рисунок 2 – Внешний вид панелей оператора OP7 и OP17

Список литературы

1. Альтерман, И.З. Программируемые контроллеры SimaticS7 // Учебник – Санкт-Петербург, СПбГУ, 2011 – 68 с.
2. Панели оператора OP7, OP17 // Справочное руководство – Издание 09.1996 – 174 с.
3. Программируемый контроллер S7-300 // Справочное руководство – Издание 09.2002 – 178 с.

UPGRADING THE S7 – 300 OF THE SIEMENS CONTROLLER AND REPLACING THE OP7 OPERATOR PANEL

KOZLOVA ANNA ROMANOVNA
student gr. MR-21-1
Lipetsk State Technical University

MUZYLEVA INNA VASILEVNA
Scientific supervisor, Associate Professor of the Department of Automated Electric Drive and Robotics
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

Abstract: The article provides an overview of the steps to implement the replacement of the controller and operator panel with their modern models. The main technological achievements and functionality of new devices are described, as well as the prospects and benefits that they can bring in the production process.

Keywords: controller, operator panel, PLC, Siemens, S7-300, S7-1500, OP7, OP17.

СОЗДАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА ABB IRB 140 С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ И ИИ-АЛГОРИТМОВ

КОНДРАТЬЕВ СЕРГЕЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ

студент гр. М-ЭП-23-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ТРЕТЬЯКОВ АЛЕКСАНДР ВЛАДИМИРОВИЧ

аспирант гр. ЭКС-23-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

МЕЩЕРЯКОВ ВИКТОР НИКОЛАЕВИЧ

Научный руководитель, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой автоматизированного электропривода и робототехники

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: В данной работе представлена разработка системы управления для роботизированного манипулятора ABB IRB 140, использующая алгоритмы машинного обучения и компьютерное зрение. Основное внимание уделено интеграции сверточных нейронных сетей и YOLOv3 для обнаружения объектов в реальном времени с использованием глубинной камеры Intel RealSense D435i. Специализированный захват, созданный с помощью 3D-печати из материала PETG и управляемый актуатором Dynamixel AX-12A, обеспечивает высокую точность и гибкость манипулирования.

Ключевые слова: робототехнический манипулятор, машинное обучение, ИИ алгоритмы, компьютерное зрение, роботизированный захват.

В условиях стремительного развития автоматизации производственных процессов возникает необходимость в совершенствовании возможностей роботизированных манипуляторов [1]. Современные задачи требуют от таких устройств не только высокой точности, но и способности адаптироваться к различным условиям и типам объектов. Введение технологий компьютерного зрения и машинного обучения в системы управления роботами представляет собой значительный шаг вперед в этой области. Эти технологии позволяют роботам лучше "видеть" и понимать окружающую среду, что существенно повышает их функциональность и эффективность в выполнении сложных манипуляций.

Данное исследование направлено на разработку инновационной системы управления для роботизированного манипулятора ABB IRB 140, которая существенно отличается от существующих решений благодаря нескольким ключевым аспектам.

Во-первых, в системе используется интеграция передовых алгоритмов машинного обучения, включая сверточные нейронные сети (CNN) и алгоритм YOLOv3 (You Only Look Once) [2]. Эти алгоритмы позволяют выполнять обнаружение и классификацию объектов в реальном времени, что значительно повышает скорость и точность манипулирования. YOLOv3 известен своей способностью обрабатывать изображения с высокой скоростью и точностью, обеспечивая мгновенное распознавание множества объектов на изображении, что критически важно для динамических задач, где время реакции является ключевым фактором.

Во-вторых, используется глубинная камера Intel RealSense D435i, которая предоставляет трехмерные данные о среде, включая информацию о глубине объектов. Это позволяет системе не только определять местоположение объектов в пространстве, но и оценивать их форму и размеры, что значительно улучшает качество манипулирования [4]. Использование глубинной камеры позволяет роботизированному манипулятору более точно взаимодействовать с объектами различной формы и размера, минимизируя ошибки и повышая общую эффективность системы.

Еще одной уникальной особенностью данной системы (рисунок 1) является разработка специализированного захвата, созданного с помощью 3D-печати из материала PETG [3]. Этот материал выбран за его прочность, гибкость и устойчивость к износу, что делает его идеальным для создания сложных и надежных компонентов робота. Захват управляется через актуатор Dynamixel AX-12A, известный своей высокой точностью и надежностью. Совместное использование 3D-печати и мощного актуатора позволяет создавать захваты, идеально подходящие для конкретных задач, и легко адаптировать их под новые требования.



Рисунок 1 – Разработанная системы управления

Объединение этих компонентов создает мощную и гибкую систему, способную адаптироваться к разнообразным задачам манипулирования объектами [5]. Интеграция передовых алгоритмов машинного обучения, использование глубинной камеры и инновационного захвата позволяет достигать высокого уровня автономности и точности при выполнении сложных операций. Этот подход не только расширяет функциональные возможности роботизированного манипулятора, но и открывает новые перспективы для использования таких систем в различных сферах, включая производство, логистику и медицинские услуги.

Во время тестирования средняя задержка при обнаружении объектов составила 20 мс, а точность детекции с использованием алгоритма YOLOv3 достигла 95,4 %. Система ROS, работающая на плате Jetson Nano B04, продемонстрировала стабильную производительность: скорость обработки данных составила 19 кадров в секунду, а задержка связи с роботом ABB IRB 140 – менее 5 мс. Время отклика актуатора Dynamixel AX-12A составило 15 мс, что обеспечило быструю и точную работу захвата.

Разработанная система успешно интегрирована в робот ABB IRB 140, что значительно повысило точность и надежность процесса манипулирования объектами. Система на базе компьютерного зрения способна точно идентифицировать и классифицировать объекты, обеспечивая высокую адаптивность и гибкость при выполнении задач. Применение глубинной камеры и алгоритмов машинного обучения позволило достичь высокой точности в реальном

времени, что является критическим фактором для эффективной работы в динамичных производственных условиях.

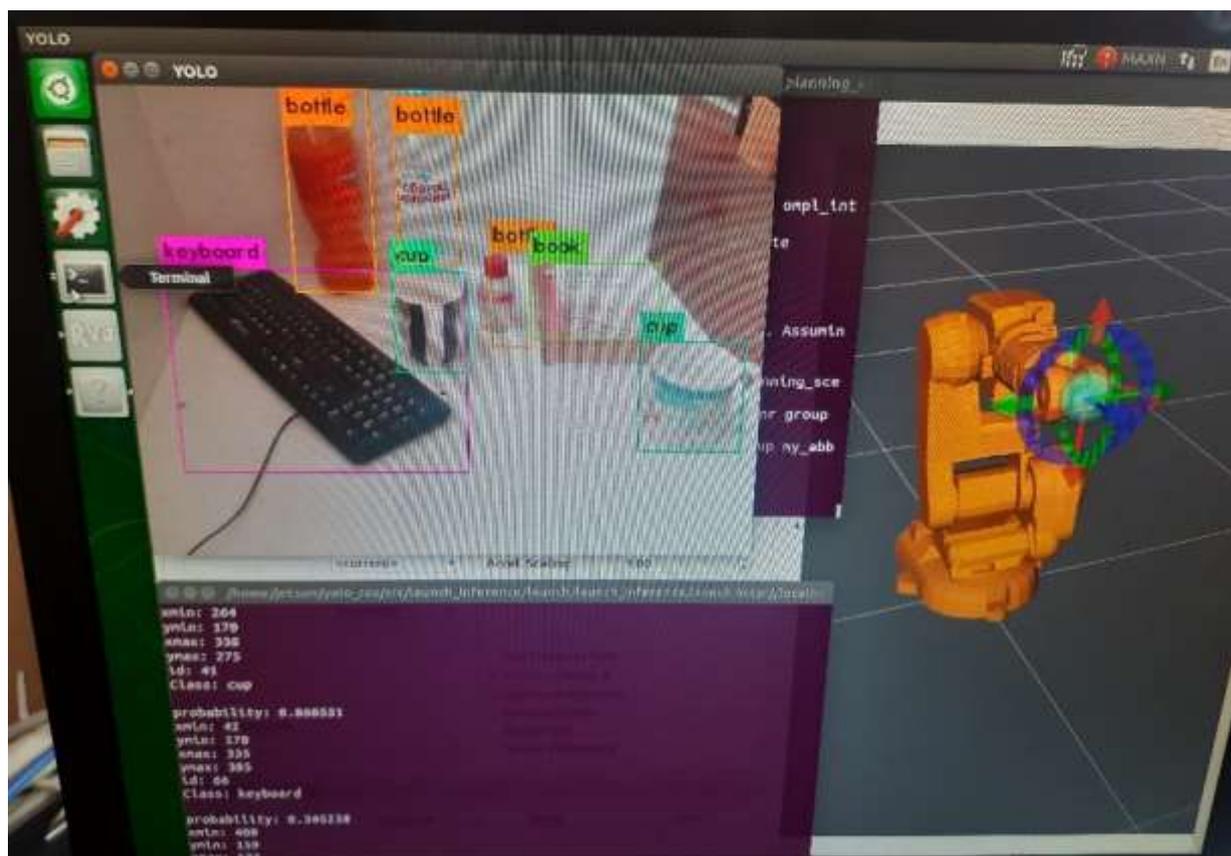


Рисунок 2 – Обнаружение объектов с камеры Intel RealSense D435i через YOLOv3

В данной работе исследована разработка системы управления для промышленного робота-манипулятора ABB IRB 140 с целью повышения эффективности задач манипулирования объектами. Основное внимание уделено интеграции компьютерного зрения и машинного обучения для эффективного обнаружения и распознавания объектов. Исследование включает анализ и сравнение различных алгоритмов машинного обучения, таких как сверточные нейронные сети и алгоритм YOLOv3 для детекции объектов в реальном времени с использованием глубинной камеры. Кроме того, была разработана роботизированный захват с надежной системой управления, способной компенсировать эффекты насыщения. Моделирование роботизированного комплекса проводилось в среде Simulink, и результаты подтвердили возможность успешной интеграции разработанных компонентов в существующую роботизированную систему, что обеспечивает повышение эффективности и надежности процессов манипулирования объектами.

Список литературы

1. S. Kondratyev, V. Pikalov, A. Muravyev and A. Evseev, "Smart Educational Robotics Laboratory Ecosystem for Remote Control of Robotic Manipulators Through Telepresence Technologies," 2022 2nd International Conference on Technology Enhanced Learning in Higher Education (TELE), Lipetsk, Russian Federation, 2022, pp. 62-65, doi: 10.1109/TELE55498.2022.9801051.

2. Кондратьев, С. Е. Анализ обнаружения и распознавания объектов в приложениях робототехнических систем / С. Е. Кондратьев // Тенденции развития современной науки : сборник трудов научно-практической конференции студентов и аспирантов Липецкого

государственного технического университета, Липецк, 20 марта – 12 2023 года. – Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2023.

3. Кондратьев, С. Е. Ловкое манипулирование с применением захватных устройств робототехнических комплексов / С. Е. Кондратьев // Тенденции развития современной науки : сборник трудов научно-практической конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета, Липецк, 20 марта – 12 2023 года. – Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2023.

4. Кондратьев, С. Е. Исследование и анализ камер технического зрения RGB-D / С. Е. Кондратьев // Тенденции развития современной науки : сборник трудов научно-практической конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета, Липецк, 20 марта – 12 2023 года. – Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2023. – С. 955-958.

5. S. Kondratyev, V. Pikalov, R. Belokopytov, A. Muravyev and A. Boikov, "Designing an Advanced Control System for ABB IRB 140 Robotic Manipulator: Integrating Machine Learning and Computer Vision for Enhanced Object Manipulation," 2023 5th International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA), Lipetsk, Russian Federation, 2023, pp. 1076-1080, doi: 10.1109/SUMMA60232.2023.10349427.

CREATION OF AN INTELLIGENT CONTROL SYSTEM FOR THE ABB IRB 140 ROBOTIC MANIPULATOR USING COMPUTER VISION AND AI ALGORITHMS

KONDRATEV SERGEI EVGENEVICH

Student, Group M-EP-23-1

Lipetsk State Technical University

TRETYAKOV ALEXANDR VLADIMIROVICH

Postgraduate student gr. EKS-23-1

Lipetsk State Technical University

MESHCHERYAKOV VIKTOR NIKOLAEVICH

Scientific supervisor, D.Sc. (Tech.), Professor, Head of the Department of Automated Electric Drive and Robotics

Lipetsk State Technical University

Abstract: This paper presents the development of a control system for the ABB IRB 140 robotic manipulator, utilizing machine learning algorithms and computer vision. The focus is on the integration of convolutional neural networks (CNN) and YOLOv3 for real-time object detection using the Intel RealSense D435i depth camera. A specialized gripper, created using 3D printing from PETG material and controlled by the Dynamixel AX-12A actuator, provides high precision and flexibility in manipulation.

Keywords: robotic manipulator, machine learning, AI algorithms, computer vision, robotic gripper.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ МОТАЛКИ СТАНА 1400 ЦДС ПАО «НЛМК»

КОРНУКОВ ГРИГОРИЙ КОНСТАНТИНОВИЧ

студент гр. М-ЭП-23-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

МЕЩЕРЯКОВ ВИКТОР НИКОЛАЕВИЧ

Научный руководитель, преподаватель кафедры автоматизированного электропривода и робототехники

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: в данной работе будет рассматриваться моталка, синхронный двигатель его модель и характеристики. В статье имеется как математическое вычисление, так и моделирование в среде Matlab Simulink.

Ключевые слова: синхронный двигатель, моталка, моделирование Simulink.

Синхронный двигатель обеспечивает более точную синхронизацию скорости вращения и обеспечивает более высокую точность намотки. Кроме того, синхронный двигатель имеет более высокий КПД, что позволяет сокращать расходы на электроэнергию. Технические данные представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Паспортные данные двигателя

Наименование	Характеристика
Полная мощность S_n , кВА	3237177,89
Активная мощность P_n , кВт	2900
Синхронная частота вращения n_n , об/мин	290
Число пар полюсов P_n	10
Напряжение статора U_n , В	3100
Ток статора I_n , А	555
Ток возбуждения I_b , А	270
Напряжение возбуждения U_b , В	200
КПД η_n	0,959
Коэффициент мощности двигателя $\cos \varphi_n$	0,942
Кратность максимального момента $\lambda = M_{max}/M_n$	2,2
Кратность пускового момента $k_{пм} = M_{п}/M_n$	1,7
Кратность пускового тока $k_{пт} = I_{п}/I_n$	7
Момент инерции двигателя $J_{дв}$, кг · м ²	1080
Режим работы	S1

Определение расчетных параметров двигателя [2, 5].

Полная мощность двигателя определяется по формуле:

$$S_H = \frac{P_H}{\cos \varphi_H \cdot \eta_H} = \frac{2900000}{0,942 \cdot 0,951} = 3237177,98 \text{ ВА.}$$

Рассчитаем номинальный ток статора и момент двигателя:

$$I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H} = \frac{2900000}{\sqrt{3} \cdot 3100 \cdot 0,942 \cdot 0,951} = 598 \text{ А.}$$

что примерно равно номинальному значению тока по паспортным данным. Номинальный момент двигателя равен:

$$M_H = \frac{P_H \cdot P_H}{\omega_1} = \frac{10 \cdot 2900000}{314} = 92356,69 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

где $\omega_1 = 2\pi f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ рад / с}$ – синхронная частота вращения поля статора.

Синхронная угловая скорость вращения двигателя:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{\pi \cdot 290}{30} = 30,35 \text{ рад / с.}$$

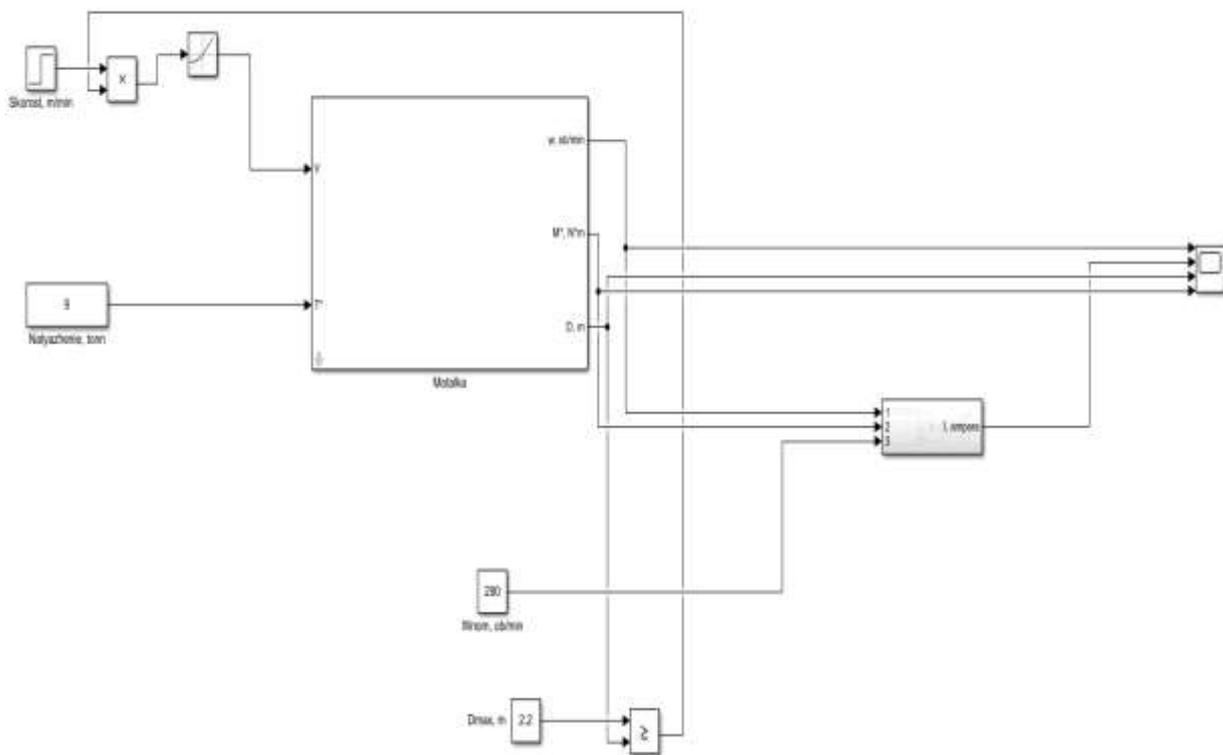


Рисунок 1 – Модель моталки

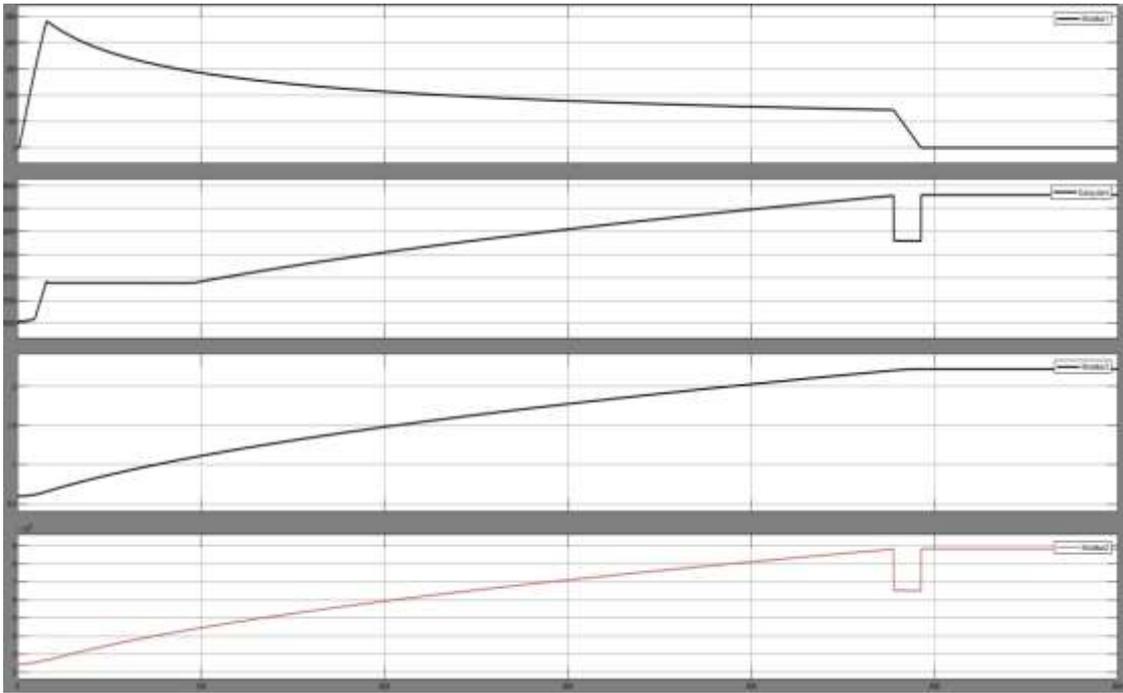


Рисунок 2 – Графики зависимостей моталки

Список литературы

1. Вешеневский С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе [Текст] / С.Н. Вешеневский – Москва: «Энергия», 1977. – 432 с.
2. Лопухина Е.М. Автоматизированное проектирование электрических машин малой мощности [Текст] / Е.М. Лопухина, Г.А. Семенчуков – Москва: «Высшая школа», 2002. – 511 с.
3. Терёхин В.Б. Моделирование систем электропривода [Текст] / В.Б. Терёхин – Томск: ТПУ, 2010. – 292 с.
4. Крупович В.И. Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами [Текст] / В.И. Крупович, Ю.Г. Барыбин, М.Л. Самовер. – М.: Энергоиздат, 1982. – 416 с.
5. Ковалёв Ф.И. Стабилизированные автономные инвертора с синусоидальным выходным напряжением [Текст] / Ф.И. Ковалёв, Г.П. Мосткова, В.А. Чванов, А.И. Толкачёв. – М.: Энергия, 1972. – 268 с.

STUDY OF OPERATION OF SYNCHRONOUS MOTOR OF MILL 1400 TSDS PAO NLMK

KORNUKOV GRIGORY KONSTANTINOVICH

student gr. M-EP-23-1

Lipetsk State Technical University

MESHCHERYAKOV VIKTOR NIKOLAYEVICH

Scientific supervisor, lecturer of the Department of Automated Electric Drive and Robotics

Lipetsk State Technical University

Abstract: this paper will consider the coiler, synchronous motor its model and characteristics. The paper has both mathematical calculation and modeling in Matlab Simulink environment.

Keywords: synchronous motor, coiler, Simulink modeling.

УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ СИНХРОННЫХ КОМПЕНСАТОРОВ

КОРШАКОВ АЛЕКСАНДР АЛЕКСЕЕВИЧ

Студент гр. ЭП-21-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ПОНОМАРЕВ ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ

Научный руководитель, преподаватель кафедры автоматизированного электропривода и робототехники

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: статья посвящена изучению устройства и принципа работы синхронных компенсаторов. Описываются главные достоинства и недостатки данного аппарата, а также места применения.

Ключевые слова: синхронные компенсаторы, подстанции, энергосистема, мощность.

Введение

В современном мире роль синхронных компенсаторов становится все более значимой. Они выполняют много полезных функций, включая стабилизацию частоты, улучшение качества электроэнергии и регулирование напряжения. В этой статье будут рассмотрены типы синхронных компенсаторов, а также их принцип работы.

Синхронный компенсатор, не имеющий приводных двигателей, можно рассмотреть в качестве синхронного двигателя, работающего на холостом ходу. В режиме нагрузки, с помощью небольшого активного тока, он компенсирует свои потери, потребляя активную мощность из сети. Эта мощность имеет явнополюсную конструкцию с количеством полюсов обмотки $2p = 6$ или 8 , а также достигает значения $S_n = 100$ МВ·А. Мощные компенсаторы оснащены водородным охлаждением.

На каждый синхронный компенсатор устанавливают автоматический регулятор возбуждения или напряжения, управляющий током возбуждения таким образом, что напряжение на выводах компенсатора сохраняется постоянным, делается это потому что, при использовании синхронного компенсатора, в моменты снижения потребляемой нагрузки возникает потребность его применения в недовозбужденном режиме, когда он начинают потреблять реактивную мощность и индуктивный ток из сети. В это время сеть нагружается индуктивными токами, что приводит к дополнительным падениям напряжения и препятствует его повышению.

Пример синхронного компенсатора представлен на рисунке 1

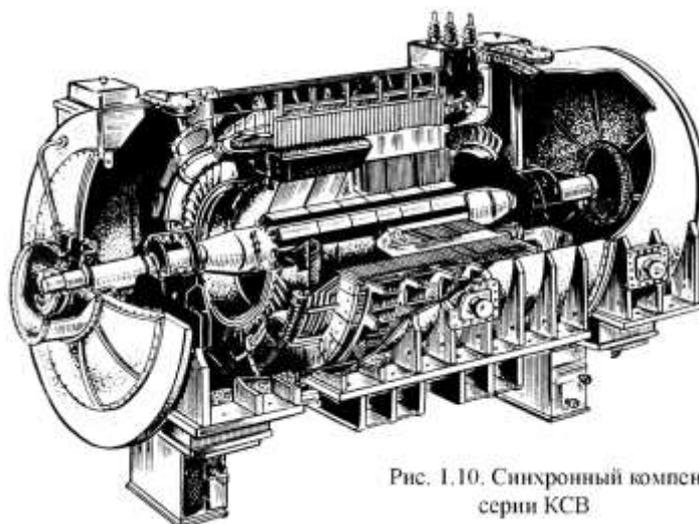


Рис. 1.10. Синхронный компенсатор серии КСВ

Рисунок 1 – Синхронный компенсатор в разрезе

Создание полюсов с увеличенной массой или оснащение их пусковыми обмотками в полюсных наконечниках позволяют синхронным компенсаторам использовать асинхронный пуск. Для этого используется прямой пуск или реактивный, но последний используется реже. В некоторых случаях мощные компенсаторы запускаются с помощью пусковых фазных асинхронных двигателей, присоединенных к ним общим валом. Как правило, при этом используется метод самосинхронизации для синхронизации с сетью.

К достоинствам синхронных компенсаторов можно отнести то, что они имеют более маленькие воздушные зазоры, по сравнению с двигателями и генераторами, что делает конструкцию синхронных компенсаторов более легкой и дешевой. Кроме того, им свойственны плавное и автоматическое регулирование напряжения в широком диапазоне, что способствует повышению устойчивости энергетической системы.

К недостаткам синхронных компенсаторов относят высокую стоимость, большие габариты, а также высокий уровень шума от его работы.

Синхронные компенсаторы обычно располагаются на важных узлах электростанций и в пунктах передачи электроэнергии, там они обеспечивают равномерное распределение напряжения по линиям и повышают стабильность параллельной работы.

Список литературы

1. Вольдек, А. И. Электрические машины. Учебник для студентов / А. И. Вольдек, Е. В. Толвинская // Издательство "Энергия" 1978г. – 745-746 с.
2. Неболюбов, Ю. Е. К вопросу о релейной защите синхронных компенсаторов [Электронный ресурс] / Ю. Е. Неболюбов. // Известия ТПУ. 1944. – 113-115 с.
3. Неболюбов, Ю. Е. Релейная защита синхронных компенсаторов от понижения напряжения [Электронный ресурс] / Ю. Е. Неболюбов. // Известия ТПУ. 1944. – 107-109с.
4. Неболюбов, Ю. Е. Построение характеристик асинхронного режима синхронных компенсаторов [Электронный ресурс] / Ю. Е. Неболюбов. // Известия ТПУ. 1944. – 155 с.
5. Кузьмин, В. В. Перспективы использования турбогенератора в режимах синхронного компенсатора на энергоблоках ТЭС, выводимых из эксплуатации [Электронный ресурс] / В. В. Кузьмин, И. Г. Кирисов // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. 2011. №12 (94). – 28-31 с.

THE DEVICE AND THE PRINCIPLE OF OPERATION OF SYNCHRONOUS COMPENSATORS

KORSHAKOV ALEXANDER ALEKSEYEVICH

Student of gr. EP-21-1

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

PONOMAREV PAVEL SERGEYEVICH

Scientific supervisor, Lecturer of the Department of Automated Electric Drive and Robotics.
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

Abstract: The article is devoted to the study of the device and the principle of operation of synchronous compensators. The main advantages and disadvantages of this device, as well as the place of application, are described.

Keywords: synchronous compensators, substations, power system, power.

РЕГУЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

КОРЫТЬКО ДАНИЛ МАКСИМОВИЧ

Студент гр. ЭП-21-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ПОНОМАРЕВ ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ

Научный руководитель, преподаватель кафедры автоматизированного электропривода и робототехники

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: данная статья посвящена изучению регулирования частоты вращения асинхронного двигателя. Описываются режимы, способы регулирования, а также недостатки данных методов.

Ключевые слова: регулирование частоты вращения, асинхронный двигатель, двигатель с фазным ротором.

Асинхронные двигатели на данный момент являются самыми часто применяемыми электрическими машинами в приводах промышленного и бытового оборудования.

Для достижения различных режимов работы асинхронного двигателя с фазным ротором пользуются регулированием частоты вращения. Существует режим рекуперации энергии в сеть, противовключения и двигательный режим.

На практике чаще всего используют два способа регулирования для короткозамкнутых асинхронных двигателей, и четыре для асинхронных двигателей с фазным ротором.

Этими двумя способами являются изменение скорости электромагнитного поля статора, путем частотного регулирования, и второй способ это переключением числа пар полюсов (рисунок 1).

Для асинхронных двигателей с фазным ротором следует изменить скольжение двигателя при постоянной скорости. Для этого существуют четыре варианта действий: 1) изменение напряжения питания; 2) внесение добавочного резистора в цепь ротора (рисунок 2); 3) с помощью асинхронного вентильного каскада; 4) при подключении двигателя двойного питания.

Недостатки данных методов: при переключении числа пар полюсов недостатками являются усложнение конструкции и регулирование скорости только ступенчато на число, которое будет кратно количеству пар полюсов.

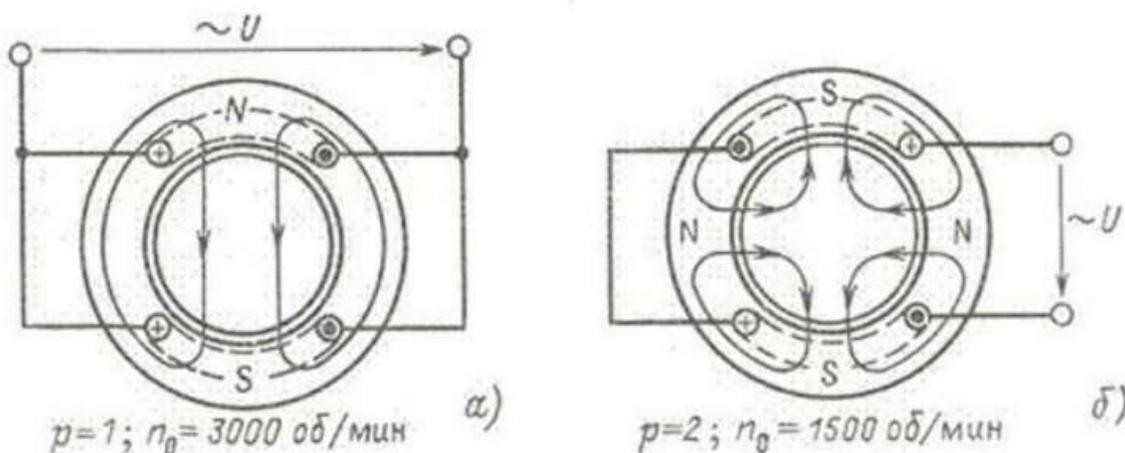


Рисунок 1 – Увеличение числа пар полюсов

При регулировке питающего напряжения недостатками будут малая эффективность при небольшой нагрузке и заметная потеря напряжения на резистивном элементе, а также ухудшением механических характеристик.

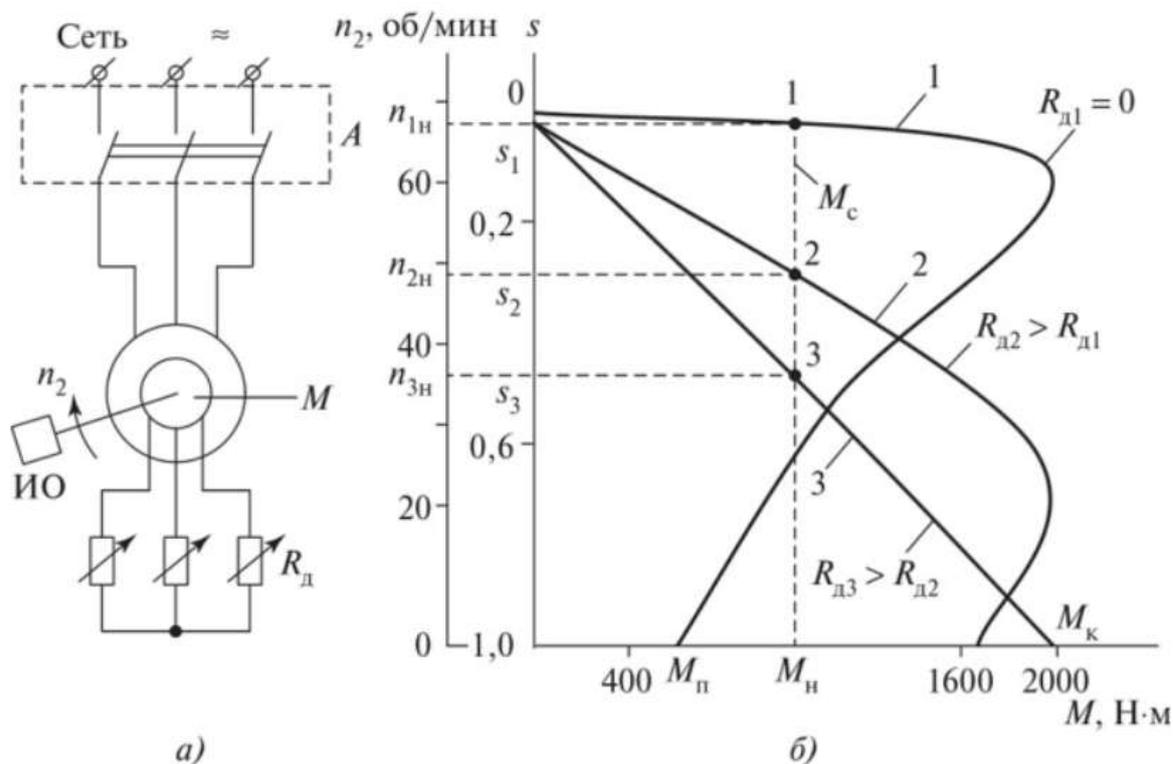


Рисунок 2 – Схема двигателя и электромеханическая характеристика

Метод с частотным регулированием имеет малое количество недостатков, и обладает следующими преимуществами: сохранение жесткость характеристик, очень плавное изменение скорости вращения.

Список литературы

1. Фираго Б. И. Динамическое торможение синхронного двигателя с постоянными магнитами при скалярном частотном управлении [Электронный ресурс] / Б.И. Фираго, С.В. Александровский // Вестник Белорусско-Российского университета. 2018. №4 (61).
2. Шпиганович А.Н. Электрические машины и трансформаторы систем электроснабжения предприятий металлургической и горной промышленности [Электронный ресурс] /А.Н. Шпиганович, Д.И. Шишлин //ЛГТУ: учебное пособие. –Липецк,2006. -210 с.
3. Вешеневский С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе [Электронный ресурс] / С.Н. Вешеневский //Москва “Энергия”.1977. №6.
4. Барыльник Д. В. Реализация режима динамического торможения синхронного частотно - регулируемого электропривода при отключении питающего напряжения [Электронный ресурс] / Д. В. Барыльник, О.А. Кравченко, А.Б. Бекин // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2013. №6 (175).
5. Пинский, А.А. Учебник для общеобразовательных учреждений и школ с углубленным изучением физики [Электронный ресурс]/А.А. Пинский, О.Ф. Кабардин// «Просвещение»: Академический школьный учебник-Москва,2011, издание №13.

KORYTKO DANIL MAKSIMOVICH

Student of gr. EP-21-1

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State
Technical University"

PONOMAREV PAVEL SERGEYEVICH

Scientific supervisor, lecturer of the Department of Automated Electric Drive and Robotics.
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State
Technical University"

Abstract: This scientific article is devoted to the study of speed control of an asynchronous motor. The modes, methods of regulation, as well as disadvantages of these methods are described.

Keywords: speed control, asynchronous motor, motor with a phase rotor.

ВЗАИМОВЛИЯНИЕ АКТИВНЫХ ФИЛЬТРОВ ГАРМОНИК ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

КРЕЩАНОВСКИЙ ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ

аспирант кафедры «ЭЭПП»

«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

ШЕВЫРЕВ ЮРИЙ ВАДИМОВИЧ

Научный руководитель, д.т.н., доцент кафедры «ЭЭПП»

«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

Аннотация: в данной статье освещен вопрос применения активных фильтров гармоник в параллельных линиях распределительных сетей. Рассмотрено явление взаимовлияния активных устройств коррекции параметров качества электроэнергии параллельных ветвей системы электроснабжения.

Ключевые слова: качество электроэнергии, распределительная сеть, частотно-регулируемый электропривод, активный фильтр гармоник, взаимное влияние.

Одним из основных направлений энергосбережения является переход от нерегулируемого электропривода к регулируемому, дающий значительный эффект как в части экономии электроэнергии, так и совершенствовании самого технологического процесса с точки зрения производительности и оптимального использования сырья и энергии [1-4].

Однако широкое использование частотных преобразователей приводит к существенному отклонению формы напряжения в электрических сетях от синусоидальной [5-7]. Перспективным средством повышения параметров связанных с фильтрацией высших гармоник являются активные фильтры гармоник (АФГ).

Для исследования взаимовлияния АФГ параллельных линий, принимается типовая распределительная схема электроснабжения нелинейных потребителей, представленная на рисунке 1.

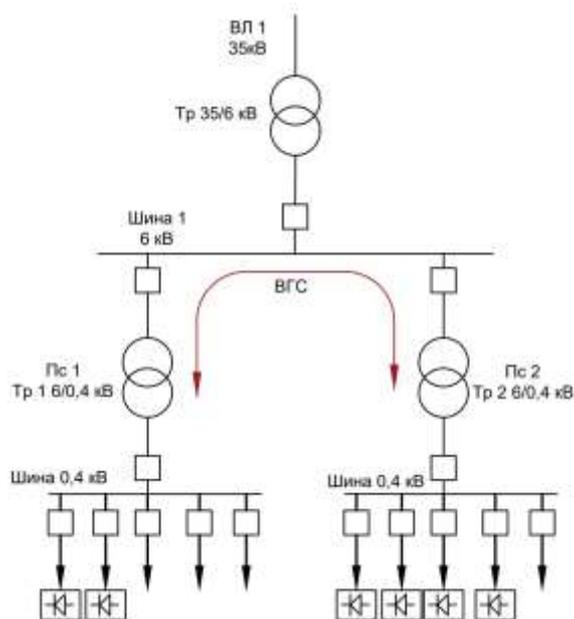


Рисунок 1 – Схема электроснабжения нелинейных потребителей

В подобных системах, при применении активных фильтров гармоник на Пс1 и Пс2, необходимо учитывать возможное взаимовлияние таких установок, по цепи обозначенной на рисунке красной линией.

Рассмотрены имитации следующих вариантов применения АФГ.

1. Включены две параллельные ветви 6 кВ. Активные фильтры на обоих шинах 0,4 кВ отключены.

2. Включены две параллельные ветви 6 кВ. Активный фильтр включён на шинах 0,4 кВ первой подстанции (Пс 1) 6/04 кВ.

3. Две параллельные ветви находятся в работе. Активные фильтры гармоник включены на шинах 0,4 кВ обеих подстанций 6/04 кВ.

Результаты выполненных исследований приведены в таблицах 1 и 2. В таблице 1 приведены результаты измерений на шинах 0,4 кВ первой (Пс1) и второй (Пс2) подстанции. В таблице 2 приведены результаты измерений из шины 6 кВ, питающей две подстанции 6/0,4 Пс1 и Пс2.

Таблица 1 – Параметры качества электроэнергии на шинах 0,4 кВ подстанции № 1

Подстанции		I_n, A		$Ku, \%$		$Ki, \%$	
Пс 1	Пс 2	Пс 1	Пс 2	Пс 1	Пс 2	Пс 1	Пс 2
АФГ отключён	АФГ отключён	773	773	9,25	9,26	30,3	30,3
АФГ включён	АФГ отключён	746	768	4,96	7,47	2,1	33,2
АФГ включён	АФГ включён	744	744	5,58	5,74	5,6	5,6

Таблица 2 – Параметры качества электроэнергии на шинах 6 кВ

Подстанции		I_n, A	$Ku, \%$	$Ki, \%$
Пс 1	Пс 2			
АФГ отключён	АФГ отключён	103,6	4,54	30,2
АФГ включён	АФГ отключён	100,8	2,68	17
АФГ включён	АФГ включён	99,5	2,29	5,63

На рисунке 2 приведена столбчатая диаграмма спектрального гармонического состава напряжения на шинах Пс 1 в моменты, когда АФГ выключены, когда АФГ включен только на подстанции 1, а также когда АФГ обеих подстанций включены.

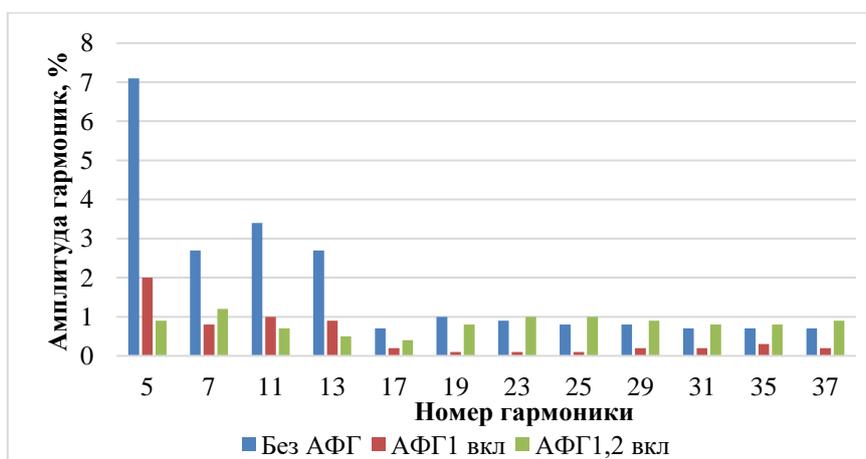


Рисунок 2 – Спектральный состав напряжения на шинах Пс 1

На основании приведённых результатов исследований можно сделать следующие выводы.

Из таблицы 1 видно, что при включении АФГ на шинах Пс1, Ku второй подстанции снижается. При включении АФГ на Пс2, Ku второй подстанции снижается, но Ku первой

подстанции повышается. Такой эффект связан с генерацией АФГ в сеть гармоник высоких частот (больше 650 Гц). Как видно из рисунка 2, активные фильтры эффективно борются с низкочастотными гармониками, вплоть до тринадцатой, гармоники более высоких частот, генерируемые АФГ, входят в резонанс с гармониками сети и значительно увеличиваются в амплитуде.

Система управления активным фильтром, реализованная в модели АФГ, позволяет наряду с фильтрацией высших гармоник, осуществить компенсацию реактивной мощности. Это подтверждается анализом результатов, приведённых в таблицах 1 и 2, который показывает, что включение АФГ помимо фильтрации высших гармоник уменьшают величину тока в сети, что объясняется компенсацией реактивной составляющей тока. Так в данном случае снижение тока, при включенных АФГ, достигло 5% на стороне высокого напряжения.

На рисунке 3 представлен график, отражающий существенное снижение потребляемой реактивной составляющей при включении активных фильтров на обоих Пс.

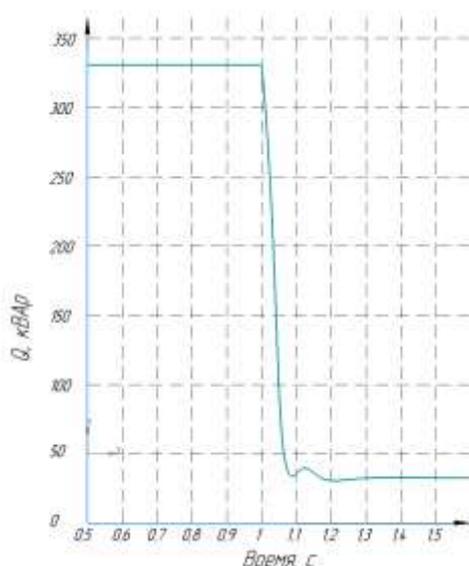


Рисунок 3 – График зависимости потребляемой реактивной мощности от времени при отключенных АФГ и включенных

Выводы

При исследовании влияния частотно-регулируемых электроприводов на качество электроэнергии в распределительных сетях нельзя изолированно рассматривать отдельные ветви электроснабжения отдельных участков, не учитывая влияния на качество электроэнергии в них соседних ветвей. Поэтому эффективность применения активных фильтров гармоник в распределительных сетях с частотно-регулируемыми электроприводами существенно зависит от учёта влияния соседних ветвей на качество электроэнергии при выборе АФГ.

Включение АФГ на стороне 0,4 кВ приводит к снижению $K_{и}$, не только на стороне 0,4 кВ, но и на всей ветви распределительной системы, что приводит к существенному снижению негативного влияния от ВГС на всю электрическую сеть

Активные фильтры гармоник снижают уровни высших гармонических составляющих тока и напряжения не только на линии, от которой питаются преобразователи частоты и АФГ, но и на уровень высших гармоник в параллельных ветвях сети.

Необходимость установки устройств повышения качества электроэнергии на шинах низкого напряжения 0,4 кВ должно рассматриваться в каждом отдельном случае для конкретных условий. Для рассматриваемого варианта наличие взаимного влияния соседних ветвей на качество электроэнергии позволяет снизить искажения напряжения сети до нормативных в соответствии с ГОСТ 32144–2013 при включении АФГ только на одной из подстанций 0,4 кВ.

Список литературы

1. Оценка влияния частотно-регулируемых электроприводов погружных насосов на качество электроэнергии в нефтепромысловых сетях/Б.И. Абрамов, В.М. Пономарев, Ю.Б. Новоселов [и др.]//Труды VII Международной (XVIII) Всероссийской конференции по автоматизированному электроприводу АЭП-2012. – Иваново, 2012 – С. 569–573.
2. Качество напряжения в сетях электроснабжения установок погружных электронасосов/В.П. Фрайштетер, М.А. Суслов, В.А. Ведерников, Р.Р. Лопатин//Нефтяное хозяйство. – 2009 – № 4 – С. 102–104.
3. Карпенко, С. М. Прогнозирование электропотребления на горнопромышленных предприятиях с использованием статистических методов / С. М. Карпенко, Н. В. Карпенко, Г. Ю. Безгинов // Горная промышленность. – 2022. – № 1. – С. 82-88. – DOI 10.30686/1609-9192-2022-1-82-88. – EDN JCXNZE.
4. Статистический анализ и прогнозное моделирование электропотребления экскаваторов и участков угольного разреза / С. М. Карпенко, Н. В. Карпенко, Е. А. Ематин, У. В. Абельянц // Уголь. – 2024. – № 3(1178). – С. 79-86. – DOI 10.18796/0041-5790-2024-3-79-86. – EDN NKPOOF.
5. Шевырев, Ю. В. Улучшение качества электроэнергии при работе полупроводникового преобразователя частоты / Ю. В. Шевырев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2020. – № 2. – С. 171-178. – DOI 10.25018/0236-1493-2020-2-0-171-178. – EDN GKQMB0.
6. Сычев, Ю. А. Анализ эффективности работы универсальных регуляторов качества электрической энергии на основе активных преобразователей в промышленных системах электроснабжения с нелинейной нагрузкой / Ю. А. Сычев, М. Е. Аладьин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2023. – № 11. – С. 159-181. – DOI 10.25018/0236_1493_2023_11_0_159. – EDN SCIDUO.
7. Шевырев Ю.В., Шевырева Н.Ю., Плехов А.С., Титов Д.Ю. Применение компьютерных моделей для выбора регуляторов качества электроэнергии при работе электроприводов с полупроводниковыми преобразователями. – Нижний Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2018. – 180 с.

INTERACTION OF ACTIVE HARMONIC FILTERS OF PARALLEL LINES IN DISTRIBUTION NETWORKS

KRESHCHANOVSKY PAVEL SERGEEVICH
Postgraduate student of the Department of EEGP
National University of Science and Technology "MISIS"

SHEVYREV YURI VADIMOVICH
Scientific supervisor, Grand PhD in Engineering, Professor of the Department of "EEGP"
National University of Science and Technology "MISIS"

Abstract: this article highlights the issue of using active harmonic filters in parallel lines of distribution networks. The phenomenon of the interaction of active devices for correcting the parameters of the quality of electricity of parallel branches of the power supply system is considered.

Keywords: power quality, distribution network, frequency-controlled electric drive, active harmonic filter, mutual influence.

МЕТОДЫ ПРОАКТИВНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

КРИВЕНЬКОВ ТИМОФЕЙ АНДРЕЕВИЧ

Аспирант гр. ЭКС-22-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

МЕЩЕРЯКОВ ВИКТОР НИКОЛАЕВИЧ

Научный руководитель, преподаватель кафедры электропривода ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: Эта система позволяет заложить механизм предугадывания состояния поломки в систему сбора показаний агрегата. В проекте исследуются несколько способов проведения данного расчета и выбирается самый оптимальный для решения проблемы простоев оборудования.

Ключевые слова: нейросети, данные, управление.

Тяжелая промышленность в России и мире в современных реалиях сталкивается с множеством проблем. Одной из таких является обеспечение надежности системы и процессов. Основополагающим источником данной проблемы является то, что системы приводов или линии производства стали сложнее, функциональности системы стали обширнее, а цена останова оборудования в производстве несёт для бизнеса несёт очень большие издержки.

Развитие интернета вещей, сети промышленной Data (IoT) может использоваться в решении практических задач. Вся собранная в прошлом информация должна использоваться для повышения качества обслуживания оборудования, управления техническим состоянием оборудования. Это всё должно быть нацелено на развитие процесса ремонта оборудования, качество оценки текущего состояния и должно вести к повышению качества выпускаемой продукции, выполнению порядка охраны труда и экологичности бизнеса в России.

Следует отметить, что потери при эксплуатации сложного оборудования связаны не только с отказами, но и с простоями. Учитывая высокую стоимость такого оборудования, переход к более прогрессивной стратегии технического обслуживания и ремонта становится необходимым.

Стратегия нацелена на выявление нетипичных состояний в работе оборудования промышленного цикла. А именно, проявление артефактов, которые предвещают потенциальные отказы оборудования в ближайшем обозримом будущем. Предиктивное техническое обслуживание (PdM) является активной стратегией, решает проблему нехватки информации и имеет всё большее количество сторонников.

Основываясь на существующей статистике износа оборудования, необходима система, которая будет использоваться в оценке и анализе состояния оборудования. Такая система в научных работах имеет название «обслуживание по состоянию». Она основана на анализе большого объёма данных, их агрегации, анализе и использовании для прогнозирования срока службы оборудования и предугадывания, когда требуется проведение ремонтных работ и процессов обслуживания. Из этого получается, что прогнозируемая система оценки состояния оборудования требуется для оптимального понимания сроков проведения ТО и Р. Данные сроки должны быть оптимизированы с точки зрения бизнес-целей и unit-экономики и основываться на текущих показателях системы. (Рисунок 1)

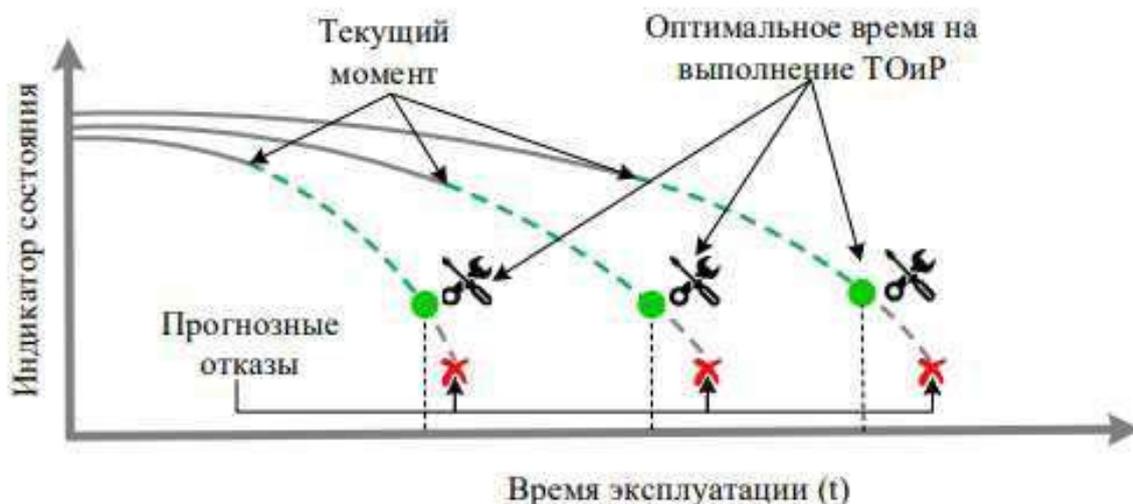


Рисунок 1 – Иллюстрация стратегии предсказательного технического обслуживания.

Всего существует несколько систем, которые могут использоваться для определения времени выполнения работ по ремонту. Изучая статьи в профильных журналах, а также на основе custdev'ов – можно сделать вывод, что сейчас используется система на основе времени эксплуатации оборудования. Но данная система не является самой оптимизированной, выгодной и имеет большие издержки. Просто на данный момент нет систем оптимальнее и доступнее для бизнеса. На рисунке 2 – представлена схема сравнения различных систем ТО и Р.

Делая анализ патентов и научных работ, стоит рассмотреть систему «обслуживания на основе состояния». Она применяет предиктивную систему, которая позволяет заранее определить оптимальное время выполнения ремонтных работ в соотношении стоимость/амортизация. Эта система позволяет заранее выделить точки, когда стоит проводить ремонт, чтобы это было выгодно производителю и максимально израсходовать ресурс оборудования. Что крайне важно в условиях санкций и сложностей с поставкой сложного зарубежного оборудования.

Вся система «предугадывания» строится из понятных частей: агрегация данных, аналитическое исследование данных и автоматическое/полуавтоматическое принятие решения по проведению работ. С учётом современных темпов развития высоких технологий и политика цифровизации экономики, которая проводится Государством в 2024 году – необходимо использование Big Data и Artificial Intelligence для повышения качества получаемых результатов.

В работе планируется разработать систему машинного обучения, которая сможет обучиться на полученной Data, научиться прогнозировать оптимальное время проведения ТО и Р и формировать всю необходимую документацию и инфраструктуру в автоматическом режиме, назначать ремонтные группы и систематизировать получаемые данные через обратную связь от системы и отчёты ремонтных групп.

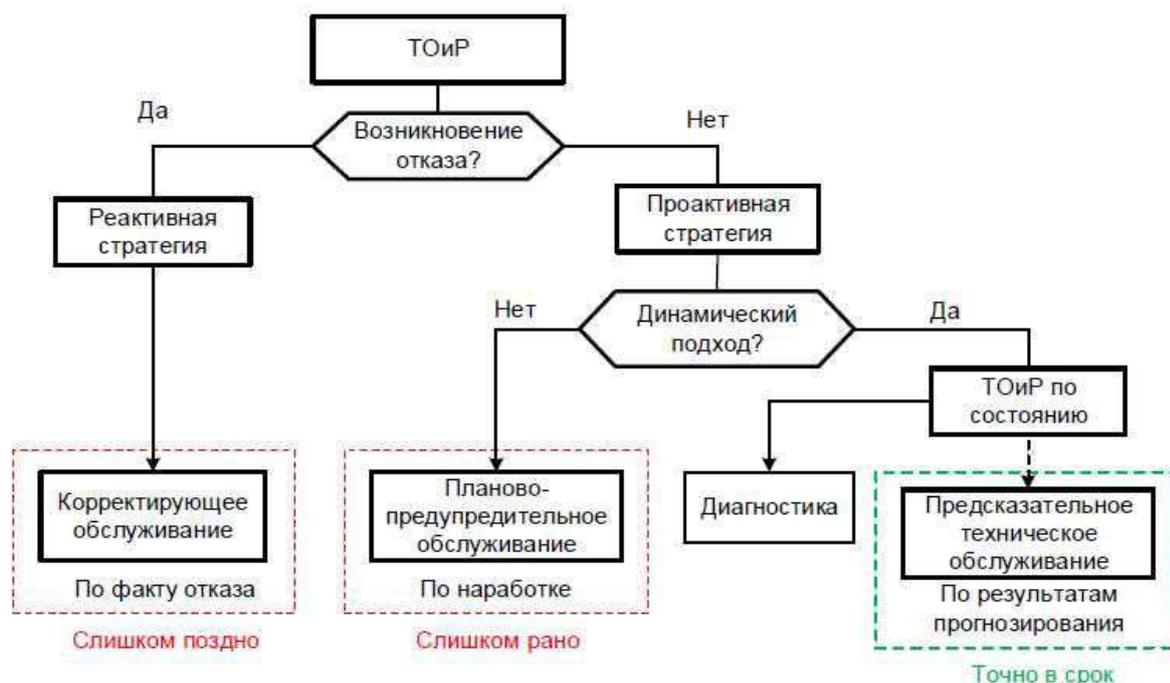


Рисунок 2 – Разница между стратегиями организации ТОиР

Список литературы

1. Шишлянников, Д.И. Обоснование рационального способа контроля параметров работы и технического состояния штанговых скважинных насосных установок / Д.И. Шишлянников, Н.Н. Софьина // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2016. – №4. – С. 82–88.
2. ГОСТ Р 57329-2016 / EN 13306:2010. Системы промышленной автоматизации и интеграция. Системы технического обслуживания и ремонта. Термины и определения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200142894> (дата обращения 03.03.2024).
3. Малозёмов, М.Е. Диагностика и надёжность электротехнических комплексов: монография / Б.В. Малозёмов, М.Е. Вильбергер; под редакцией Б.В. Малозёмова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – 224 с.

METHOD SOFPRO ACTIVE DECISION SUPPORT USING MACHINE LEARNING MODELS

KRIVENKOV TIMOFEY ANDREEVICH
Student of group EX-22-1
Lipetsk State Technical University

MESCHERYAKOV VIKTOR NIKOLAYEVICH
Scientific supervisor, Lecturer of the Electric Drive Department
Lipetsk State Technical University

Abstract: This system allows you to put a mechanism for predicting the condition of a breakdown in the system for collecting readings of the unit. The project explores several ways to perform this calculation and selects the most optimal one to solve the problem of equipment downtime.

Keywords: neural networks, data, management.

ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ГРУППОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

КРЫЖКО КОНСТАНТИН НИКОЛАЕВИЧ

студент гр. М-ЭП-23-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ОБРАЗЦОВ ВАДИМ ЕВГЕНЬЕВИЧ

студент гр. М-ЭП-23-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ЛЕЛИКОВ МИХАИЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ

студент гр. М-ЭП-23-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: в данной статье рассматривается понятие группового электропривода. Приведен пример исследуемой системы. Кроме того, выполнено математическое моделирование в MatlabSimulink с целью изучения работы.

Ключевые слова: электропривод, системы управления, автоматизация, промышленная автоматизация.

В качестве основного исполнительного механизма комплекса автоматизации на промышленных предприятиях выступает электропривод (ЭП) – управляемая электромеханическая система, предназначенная для преобразования электрической энергии в механическую и обратно и управления этим процессом [1]. В зависимости от задач может использоваться как электропривод постоянного тока (ДПТ), так и переменного тока (АД, СД). В настоящее время для управления большинством промышленных механизмов используется система «ПЧ-АД» («Преобразователь частоты – Асинхронный двигатель»). ПЧ используется для управления электроприводом путем его последовательного подключения между питающей сетью и ЭП. В рамках автоматического управления ПЧ способен получать данные с датчиков, связанных с приводом, и передавать их на связанный с ним ПЛК, а также принимать управляющий сигнал от последнего и на его основе регулировать работу всей системы «ПЧ-АД» [2]. В зависимости от конструкции преобразователь частоты способен управлять работой аварийных схем и сопутствующих систем (вентиляторы, тормоза ЭП); осуществлять плавный пуск и останов; управлять поступающим на электропривод напряжением питания с целью изменения частоты вращения «вверх» или «вниз» от номинального, что позволяет регулировать момент двигателя.

Групповой электропривод – система из нескольких электродвигателей, регулирующая работу исполнительных механизмов, входящих в один технологический узел, ввиду чего требуется корректировка работы механизмов друг относительно друга (натяжные станции, управление печными роликами) для обеспечения синхронной работы. Регулирование осуществляется по корректировке основных заданий вспомогательных («ведомых») электроприводов относительно главного («ведущего») [3]. В качестве примера в данной работе будет рассматриваться групповой электропривод, состоящий из четырех систем «ПЧ-АД». Схема системы группового электропривода представлена на рисунке 1.

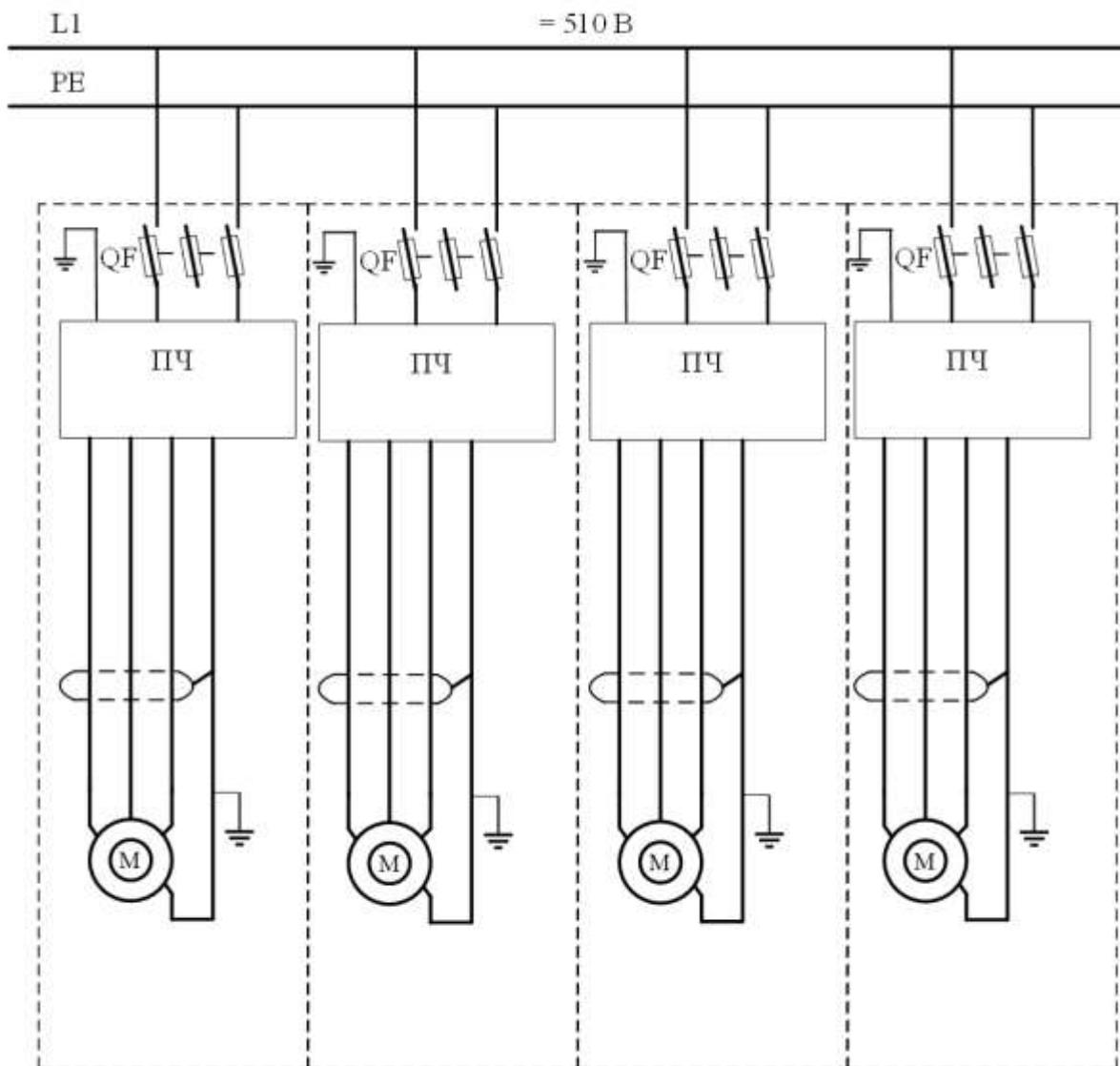


Рисунок 1 – Схема группового электропривода

Четыре ЭП, как правило, работают вместе в режиме выравнивания нагрузки по ведущему/ведомому [4]. В качестве ведущего выступает двигатель ролика №1, который обладает наибольшей мощностью из всех установленных на данном исполнительном механизме электроприводов [5]. Для изучения свойств системы необходимо выполнить математическое моделирование с использованием MatlabSimulink. Цель моделирования – получить график работы электроприводов на одинаковую скорость ИМ.

Для построения математической модели необходимо произвести расчет основных параметров для каждого электропривода. Результаты расчета приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Полученные значения

Параметр	AA160L4	MA132M4	AA132S4	A2A100L4
P , кВт	15	7,5	5,5	3
I_n , А	30,1	15,73	11,54	4,61
M_n , Н · м	99,52	49,76	36,49	15
S_k	0,217	0,233	0,233	0,175
$\Delta P_{\text{мех}}$, Вт	278	203,49	149,22	75,1
R_s , Ом	0,281	0,633	0,864	2,053
R_r , Ом	0,582	0,617	0,976	2,024
L_s , Гн	0,085	0,158	0,216	0,681
β	0,46	0,99	0,86	0,98
x_k , Ом	2,763	2,664	4,243	11,792
$L_{s\sigma}$, Гн	0,0044	0,0042	0,0068	0,0019
L_m , Гн	0,0805	0,1543	0,2095	0,6622
k_s	0,948	0,973	0,969	0,972
k_r	0,948	0,973	0,969	0,972
σ	0,101	0,053	0,061	0,054
T_r , с	0,00025	0,00025	0,00025	0,00025
k_{Π}	93,338	93,338	93,338	93,338
$\psi_{\text{гн}}$, Вб	0,195606	0,662881	0,656956	0,656283
k_{ψ}	25,561	7,543	7,611	7,619
k_T	0,04199	0,04199	0,04199	0,04199
k_{PC}	242,106	48,69158	50,50383	63,827
$T_{\text{ИС}}$	0,000008261	0,000041079	0,000039601	0,0000313345

На рисунке 2 представлен общий вид модели системы группового электропривода в MatlabSimulink. Работа системы моделируется по заданию скорости на технологический узел (м/мин).

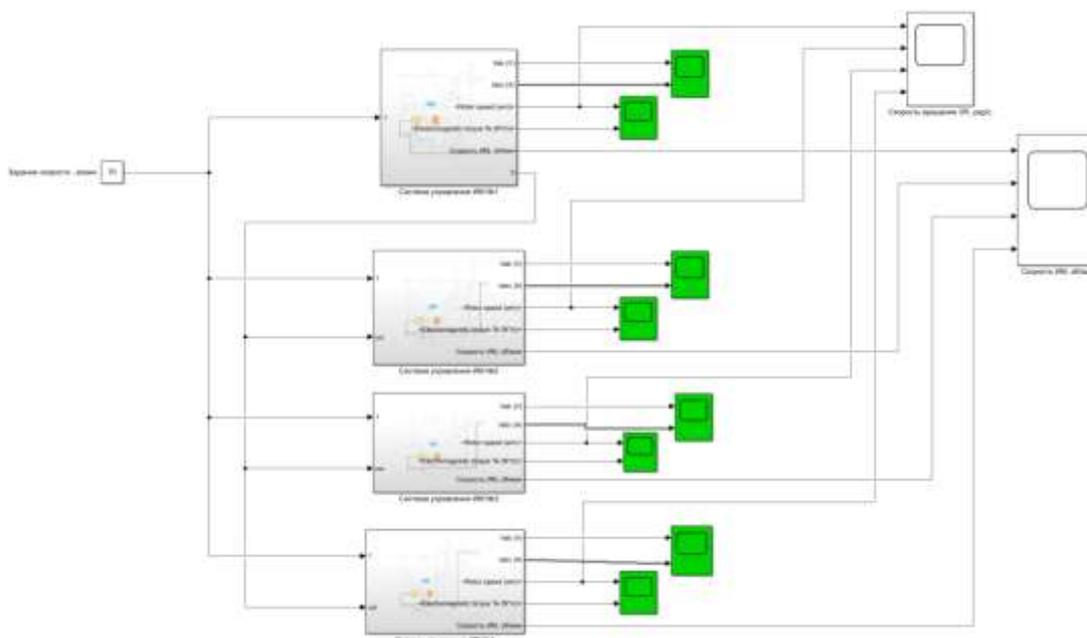


Рисунок 2 – График режима КЗ

На рисунке 3 представлена модель системы «ПЧ-АД».

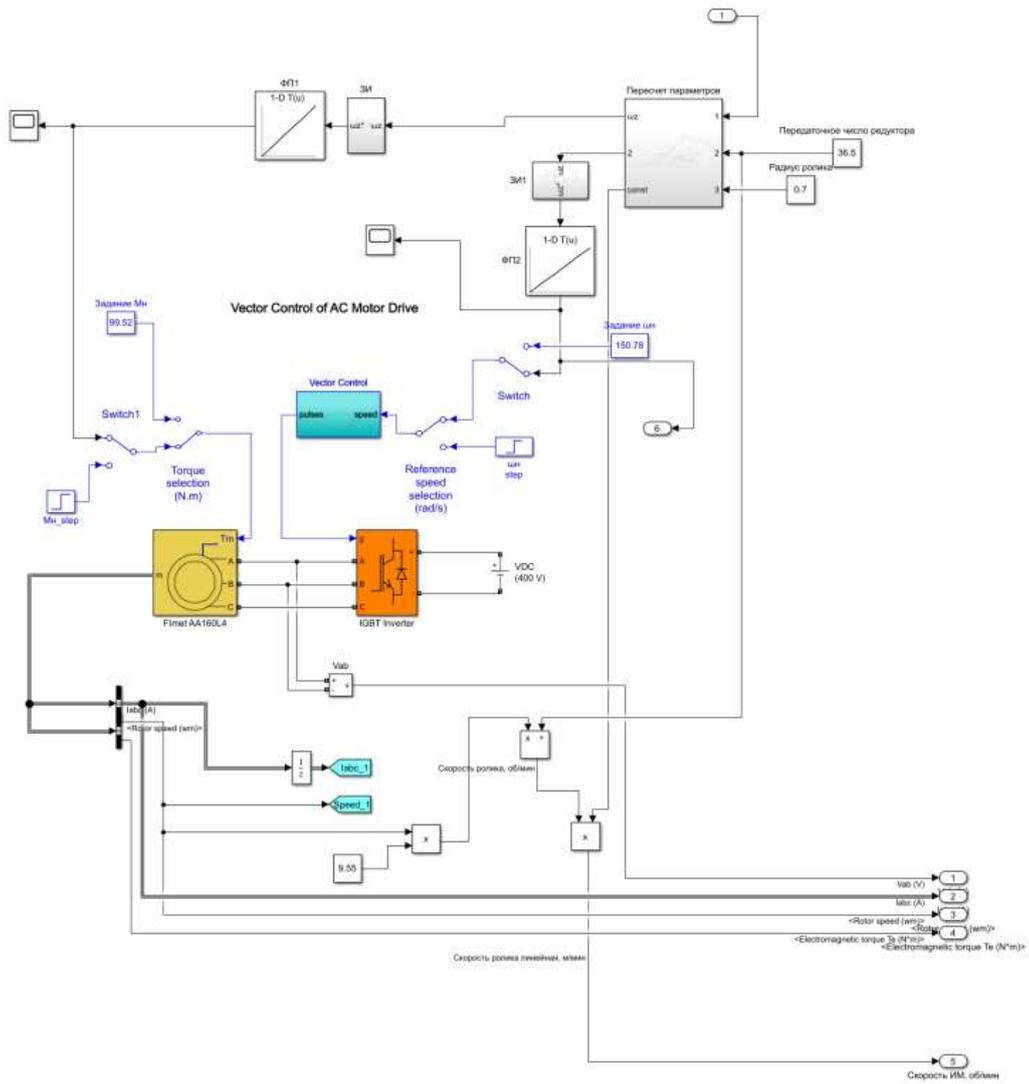


Рисунок 3 – Система «ПЧ-АД»

На рисунках 4 и 5 показаны тахограммы ЭП и ИМ соответственно.

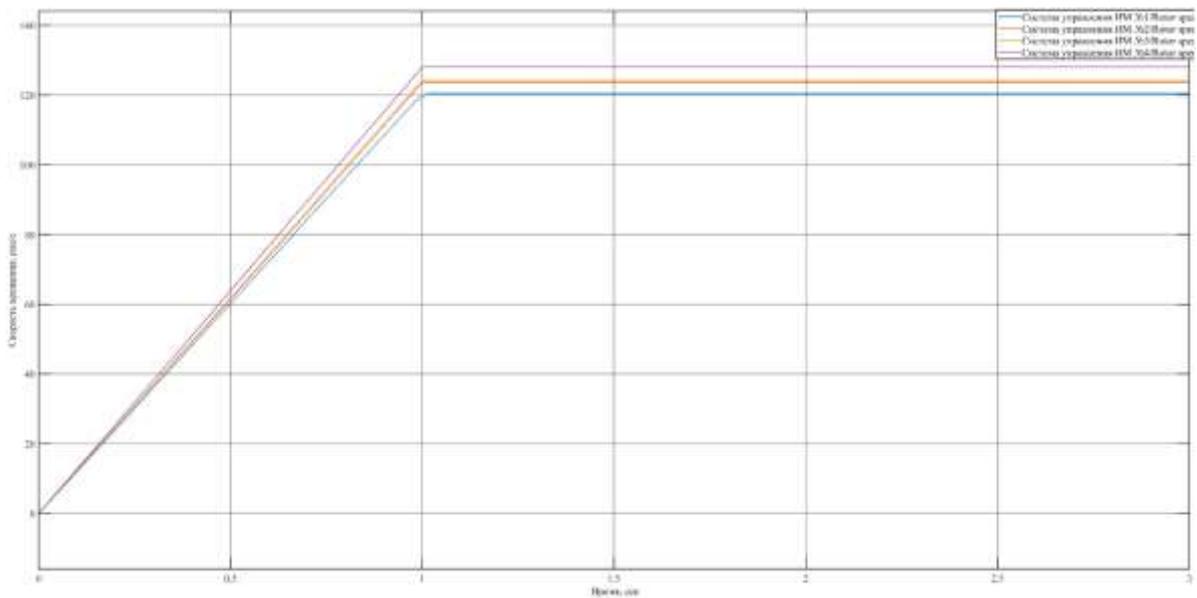


Рисунок 4 – Тахограммы ЭП

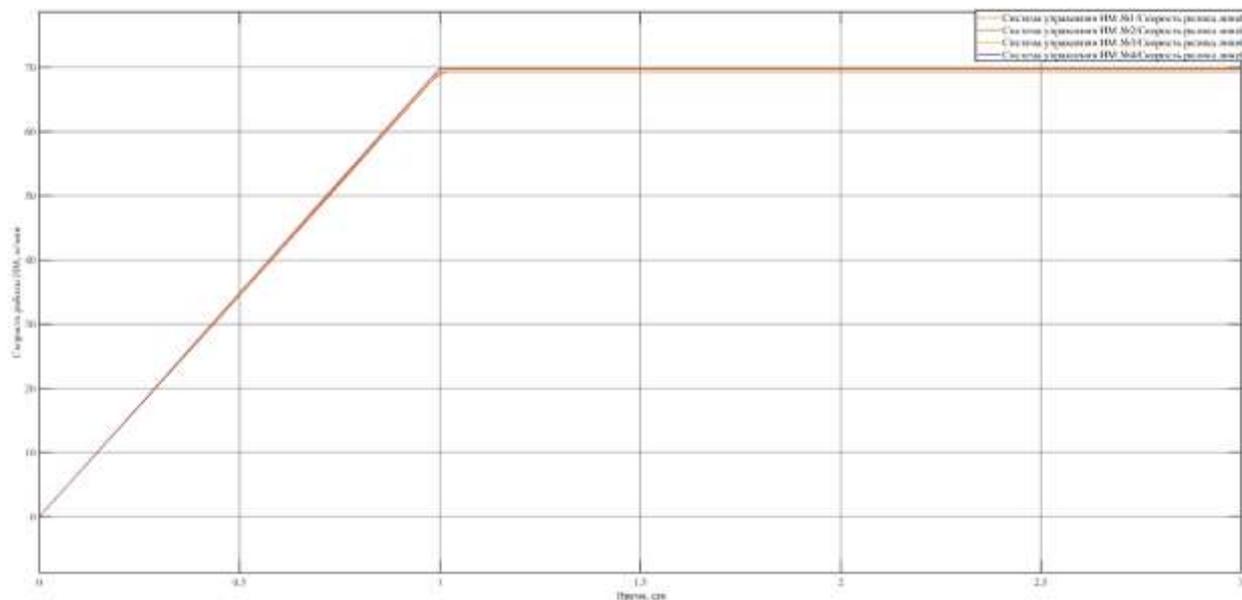


Рисунок 5 – Тахограмма работы ИМ

Как видно из графиков, ИМ технологического узла имеют одинаковую скорость работы. Различие частоты вращения ЭП объясняется разной мощностью приводов. Использование редукторов позволяет достичь одинаковой скорости работы ИМ даже с разными электроприводами. Ввиду соответствия полученного результата поставленной задаче можно сделать вывод о том, что моделирование выполнено успешно.

Рассмотрено понятие группового электропривода. Приведен пример рассматриваемой системы и выполнено математическое моделирование. По изученному материалу можно сделать выводы о необходимости использования группового электропривода в системах автоматизации производства. Использование таких систем позволяет упростить процесс автоматизации и улучшить технологический процесс, что говорит о целесообразности их использования.

Список литературы

1. Васильев, Б. Ю. Автоматизированный электропривод машин и установок горного производства. Том 1. Основы электропривода и преобразовательной техники [Текст] / Б. Ю. Васильев – Санкт-Петербург: Лань, 2023. – ISBN 978-5-507-46905-5 – С. 55.
2. Васильев, Б. Ю. Автоматизированный электропривод машин и установок горного производства. Том 2. Современный промышленный электропривод [Текст] / Б. Ю. Васильев. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2023. – ISBN 978-5-507-46906-2. – С. 98.
3. Фурсенко, С.Н. Автоматизация технологических процессов [Текст] / Фурсенко С.Н., Якубовская Е.С., Волкова Е.С. // – Минск: Лань, 2007. – ISBN 978-985-6770-38-1 – С. 24.
4. Калинин, Ц. И. Программируемые логические контроллеры в системе автоматизации [Текст]: учебное пособие / Ц. И. Калинин, Р. А. Куницын, А. А. Багаев. – Барнаул: АГАУ, 2016. – С. 13.
5. Фурсенко, С.Н. Автоматизация технологических процессов [Текст] / Фурсенко С.Н., Якубовская Е.С., Волкова Е.С. // – Минск: Лань, 2007. – ISBN 978-985-6770-38-1 – С. 24.

STUDYING THE OPERATION OF A GROUP ELECTRIC DRIVE

KRYZHKO KONSTANTIN NIKOLAEVICH

Student gr. M-EP-23-1
Lipetsk State Technical University

OBRAZTSOV VADIM EVGENIEVICH

Student gr. M-EP-23-1
Lipetsk State Technical University

LELIKOV MIKHAIL ALEXANDROVICH

Student gr. M-EP-23-1
Lipetsk State Technical University

Abstract: this article discusses the concept of a group electric drive. An example of the system under study is given. In addition, mathematical modeling was performed in Matlab Simulink in order to study the work.

Keywords: electric drive, control systems, automation, industrial automation.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В СОСТАВЕ ОБОРУДОВАНИЯ КЛЕТИ ПРОКАТНОГО СТАНА

КУДРИН НИКОЛАЙ ВАСИЛЬЕВИЧ

студент гр. М-ЭП-23-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ШИШЛИН ДЕНИС ИВАНОВИЧ

Научный руководитель, преподаватель кафедры автоматизированного электропривода и
робототехники

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: в данной работе будет рассматриваться асинхронный привод, а также математические вычисления и моделирование в сфере matlabSimulink.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, преобразователь частоты, моделирование simulink.

Асинхронный двигатель отлично зарекомендовал себя в различных отраслях промышленности, т.к. обладает отличными регулировочными функциями. В моделировании участвует асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, паспортные данные которого представлены в таблице 1

Таблица 1 – Паспортные данные двигателя Simens 1LA4 636-6CV

n, об/мин	p _п	P _н , кВт	η _н	cos φ _н	$\frac{M_{\max}}{M_H}$	$\frac{M_{\Pi}}{M_H}$	$\frac{I_{\Pi}}{I_H}$	J _{дв} , кг·м ²
995	3	2700	97,3	0,89	2,2	2,3	9,4	323

Рассчитаем номинальное скольжение двигателя:

$$s_n = \frac{(n_1 - n_2)}{n_1} = \frac{1050 - 995}{1050} = 0,0524.$$

Используем достаточно простую и точную методику расчета параметров схемы замещения АД, которая предполагает наличие только каталожных данных АД. Предварительно необходимо определить номинальный ток статорной обмотки и электромагнитный момент двигателя:

$$I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \eta_H \cdot \cos \varphi_H} = \frac{2700000}{\sqrt{3} \cdot 3300 \cdot 0,973 \cdot 0,89} = 545,5 \text{ А.}$$

$$M_H = \frac{p_{\Pi} \cdot P_H}{(1 - s_H) \cdot \omega_1} = \frac{3 \cdot 2700000}{(1 - 0,0524) \cdot 314} = 27222 \text{ Н*м.}$$

где $\omega_1 = 2 \cdot \pi \cdot f = 314$ рад/с – синхронная частота вращения поля статора.

Далее рассчитывается критическое скольжение двигателя:

$$s_k = \left(\frac{M_{\max}}{M_H} + \sqrt{\left(\frac{M_{\max}}{M_H} \right)^2 - 1} \right) \cdot s_H = \left(2,2 + \sqrt{(2,2)^2 - 1} \right) \cdot 0,0524 = 0,218$$

Для расчета активных сопротивлений обмоток двигателя необходимо рассчитать механические потери. Если предположить, что потери состоят из постоянных и переменных

потерь, и постоянные примерно равны 1/3 полных потерь, а механические потери составляют половину постоянных, то механические потери $\Delta P_{\text{мех}}$ определяются из уравнения:

$$\Delta P_{\text{мех}} = P_{\text{H}} \cdot \left(\frac{1}{\eta_{\text{H}}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{6} = 2700000 \cdot \left(\frac{1}{0,973} - 1 \right) \cdot \frac{1}{6} = 12487,15 \text{ Вт.}$$

Сопротивление статора:

$$R_{\text{S}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{U_{\text{H}}^2 \cdot (1 - s_{\text{H}})}{c_1 \cdot \left(1 + \frac{c_1}{s_{\text{K}}} \right) \cdot \frac{M_{\text{II}}}{M_{\text{H}}} \cdot (P_{\text{H}} + \Delta P_{\text{мех}})} =$$

$$= \frac{1}{2} \cdot \frac{3300^2 \cdot (1 - 0,0524)}{1,02 \cdot (1 + 1,02 / 0,218) \cdot 2,2 \cdot (2700000 + 12487,15)} = 0,15 \text{ Ом.}$$

где $c_1 = 1 + L_{\text{S}\sigma} / L_{\text{m}} = 1,02 \dots 1,05$ – конструктивный коэффициент двигателя.

Сопротивление ротора:

$$R_{\text{r}} = \frac{1}{3} \cdot \frac{(P_{\text{H}} + \Delta P_{\text{мех}}) \cdot \frac{M_{\text{II}}}{M_{\text{H}}}}{(1 - s_{\text{H}}) \cdot \left(\frac{I_{\text{II}}}{I_{\text{H}}} \right)^2 \cdot I_{\text{H}}^2} = \frac{1}{3} \cdot \frac{(2700000 + 12487,15) \cdot 2,2}{(1 - 0,0524) \cdot 5,5^2 \cdot 545,5^2} = 0,23 \text{ Ом.}$$

Индуктивность статора и ротора:

$$L_{\text{S}} \cong L_{\text{r}} = \frac{1}{2 \cdot P_{\text{II}} \cdot f_{\text{H}}} \cdot \frac{U_{\text{H}} / \sqrt{3}}{I_{\text{H}} \cdot \left(\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{\text{H}}} - \cos \varphi_{\text{H}} \cdot s_{\text{H}} / s_{\text{K}} \right)} =$$

$$= \frac{1}{2 \cdot 3 \cdot 50} \cdot \frac{3300 / \sqrt{3}}{545,5 \cdot \left(\sqrt{1 - 0,89^2} - 0,89 \cdot 0,0524 / 0,218 \right)} = 0,14 \text{ Гн.}$$

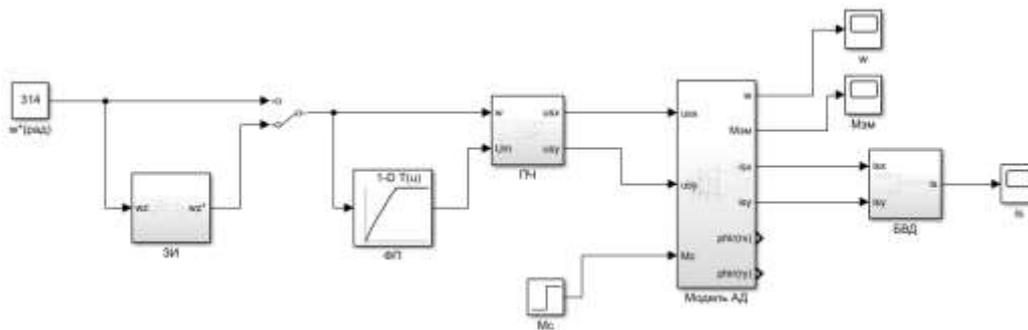


Рисунок 1 – Модель скалярного разомкнутого управления АД

На рисунках 2-4 приведены осциллограммы момента, скорости и тока при прямом пуске.

Электромагнитный момент двигателя при частотном пуске поддерживается в среднем на одном уровне, что позволяет обеспечить постоянный динамический момент и плавный разгон двигателя.

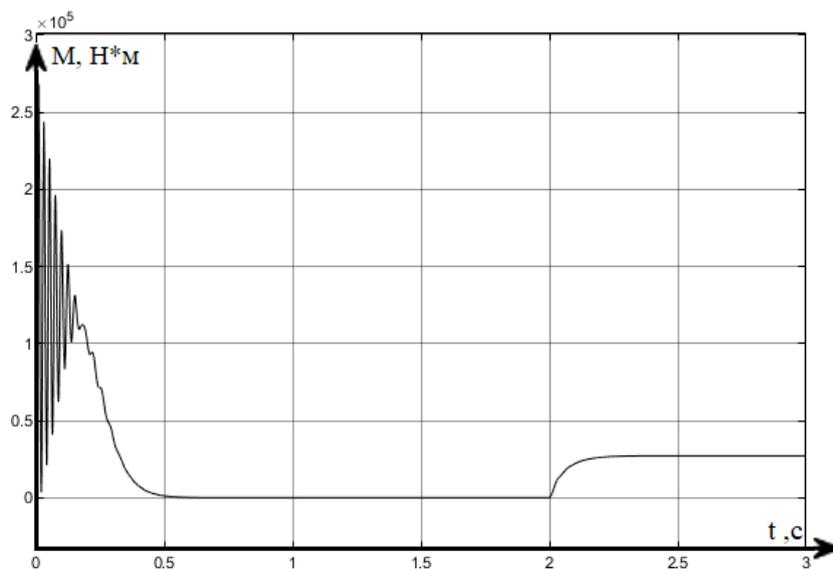


Рисунок 2 – Переходные процессы момента при моделировании прямого пуска

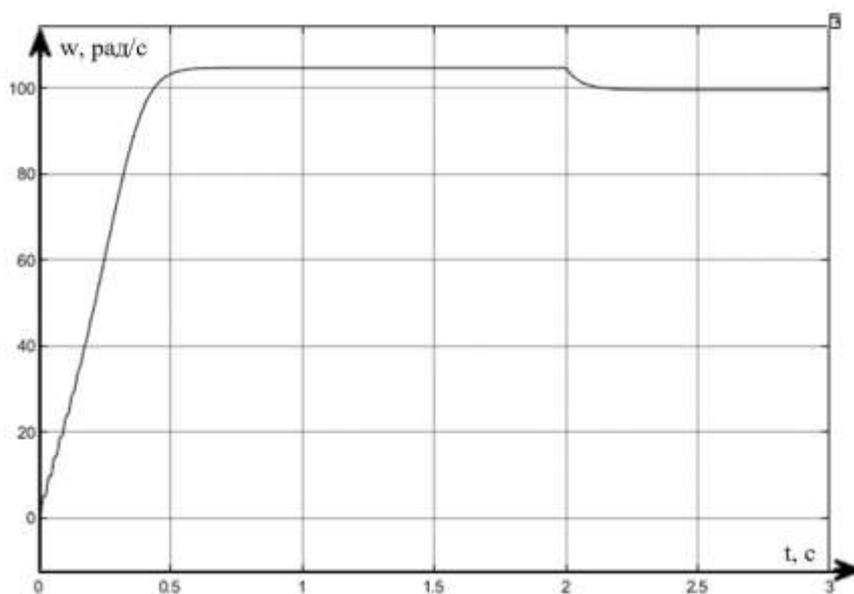


Рисунок 3 – Переходные процессы скорости при моделировании прямого пуска

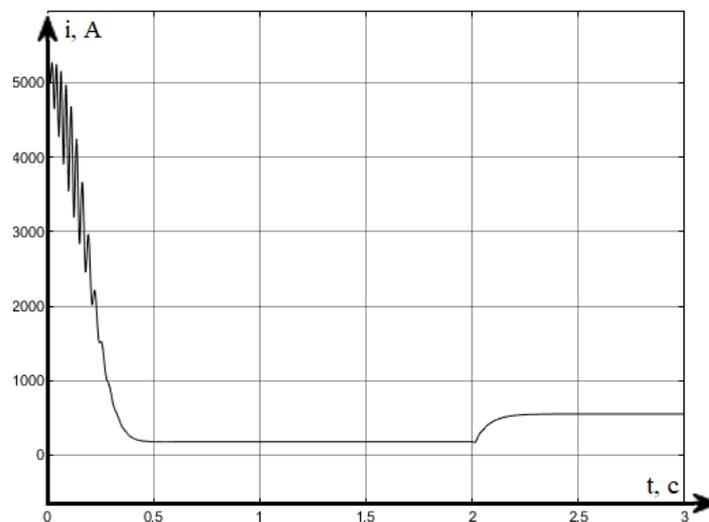


Рисунок 4 – Переходные процессы тока при моделировании прямого пуска

В нашем случае, при пуске возникает ударный ток равный 5200 А, что превосходит номинальное значение в 9,4 раз. Разгон в холостую осуществляется с током статора в 2900 А в течении 0,15 сек. После чего выходит на величину тока холостого хода равную 2200 А. Скорость вала двигателя соответствует скорости идеального холостого хода $\omega_0 = 104$ рад/с.

В момент времени равный 2 секундам к двигателю прикладывается момент нагрузки равный номинальному $M_c = 27222$ Н·м, что приводит к возникновению уравнивающего момента двигателя, и росту тока статора до номинального значения 550 А. Погрешность с расчетным значением составляет 2%, что объясняется округлениями значений при расчете схемы замещения. Скорость под нагрузкой составляет 99,5 рад/с, что соответствует расчетному $\omega_H = \omega_0 \cdot (1 - s_H) = 104 \cdot (1 - 0,0524) = 98,55$ рад/с.

Список литературы

1. Королев, А. А. Прокатные станы и оборудование прокатных цехов. Атлас [Текст]: учеб. для вузов. 2-е изд. / А. А. Королев. – М.: Металлургия. – 1981. – 203 с.
2. Башарин, А. В. Управление электроприводами [Текст]: учеб. для вузов / А.В. Багпарин, В.А. Новиков, Г.Г Соколовский - Л.: Энергоиздат, 1982. – 345 с.
3. Белов, М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов [Текст]: учеб. для студ. высш. учеб. заведений / М.П.Белов. – 3-е изд., испр. – М.: Академия, 2007. – 576 с.
4. Ключев, В. И. Теория электропривода [Текст]: учеб. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. / В. И. Ключев. – М.: Энергоатомиздат. – 2001. – 704 с.
5. Левин, П.Н. Управление электроприводами [Текст]: методические указания к курсовой работе для студентов по направлению подготовки 140400 «Электроэнергетика и электротехника» профиля подготовки «Электропривод и автоматика» очной и очно-заочной форм обучения [Текст] / сост. П.Н. Левин. – Липецк: Изд-во ЛГТУ, 2014. – 79 с.

STUDY OF ASYNCHRONOUS MOTOR OPERATION AS PART OF ROLLING MILL STAND EQUIPMENT

KUDRIN NIKOLAI VSCILEVICH

student gr. M-EP-23-1

Lipetsk State Technical University

SHISHLIN DENIS IVANOVICH

Scientific supervisor, lecturer of the Department of Automated Electric Drive and Robotics

Lipetsk State Technical University

Abstract: this paper will deal with asynchronous drive as well as mathematical computation and modeling in the field of matlab Simulink.

Keywords: induction motor, frequency converter, simulink modeling.

КОНСТРУКТИВНЫЕ ФОРМЫ ИСПОЛНЕНИЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

ЛАВРИЩЕВ МИХАИЛ ПАВЛОВИЧ

Студент гр. ЭП-21-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ПОНОМАРЕВ ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ

Научный руководитель, преподаватель кафедры автоматизированного электропривода и робототехники

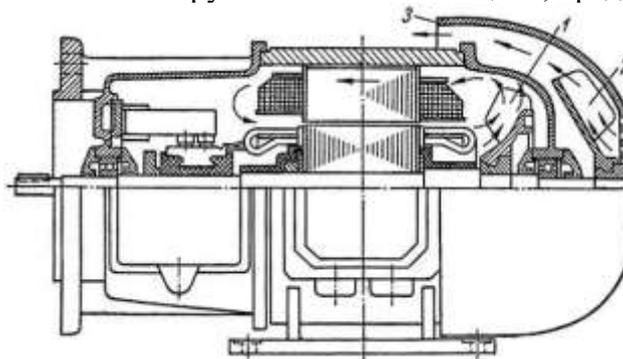
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: статья посвящена устройству, разновидностям, систем охлаждения электрических машин. В данной статье описаны основной принцип работы и устройство.

Ключевые слова: машина, электродвигатель, вентиляция, воздух, охлаждение, нагрев.

Любая электрическая техника подвержена нагреву. Электродвигатели являются важной составляющей жизни. Их использование в быту и производстве встречается повсеместно. Для разных задач и требований нужны двигатели разной мощности и конструкции. С ростом мощности условия отвода тепла ухудшаются, поэтому требуются более интенсивные способы охлаждения. Например, для электродвигателей способы охлаждения разделяют на машины с естественным охлаждением, с внутренней вентиляцией, наружной вентиляцией и независимым охлаждением. Так же для электродвигателей повышенной мощности и размеров существует способ протяжной и замкнутой вентиляции. Особенности каждого способа охлаждения будут рассмотрены ниже.

Особенностями машин с естественным охлаждением выступает то что, она проектируется для машин, где мощность равна нескольким десяткам ватт. Бывают исключения для машин и до сотни ватт, но для этого на корпус электродвигателя установлены специальные радиальные ребра для увеличения поверхности охлаждения. Так же ребра на корпусе применяются для машин с наружной самовентиляцией, представленной на рисунке 1.



1 – внутренний вентилятор; 2 – наружный вентилятор; 3 – кожух

Рисунок 1 – Система самовентиляции электродвигателя

Такие двигатели охлаждаются с помощью наружного вентилятора, установленного на валу, выдуваемый воздух охлаждает корпус с вставками, которые представлены ребрами. Такую систему ещё называют принудительной. Так же машина снабжается внутренним вентилятором для создания усиленного воздушного потока. У машин с независимой вентиляцией, представленное на рисунке 2, охлаждение воздухом происходит с помощью отдельного вентилятора, у такой системы способ охлаждения может быть аксиальным и радиальным.

Её применение обусловлено тем, что при низкой скорости вращения невозможно обеспечить необходимый забор воздуха в случае регулировки в широких пределах.

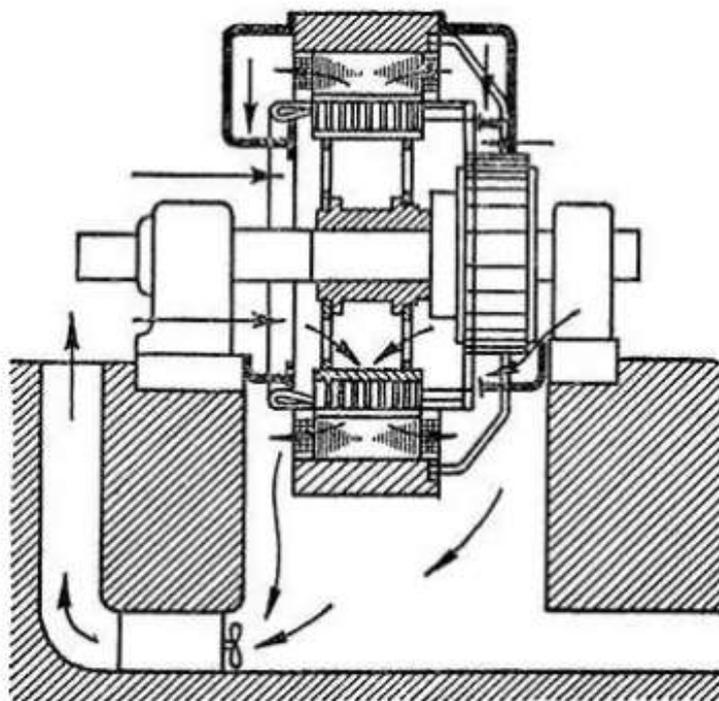


Рисунок 2 – Электродвигатель с независимой вентиляцией

В случае машин с внутренней самовентиляцией особенностями выступает то, что внутри корпуса электродвигателя устанавливается вентилятор, охлаждающий машину в аксиальном или радиальном способе охлаждения. При аксиальном охлаждении передача тепла воздуху происходит при движении вдоль нагреваемых элементов электродвигателя, между полюсов и вдоль внешней поверхности якоря. При радиальной системе охлаждения воздух, попадая в электродвигатель, проходит через элементы машины, выводится вдоль специально размещенных отверстий возле радиальной решетки. Такой способ охлаждения самый распространенный. Данные способы представлены на рисунках 3 и 4.

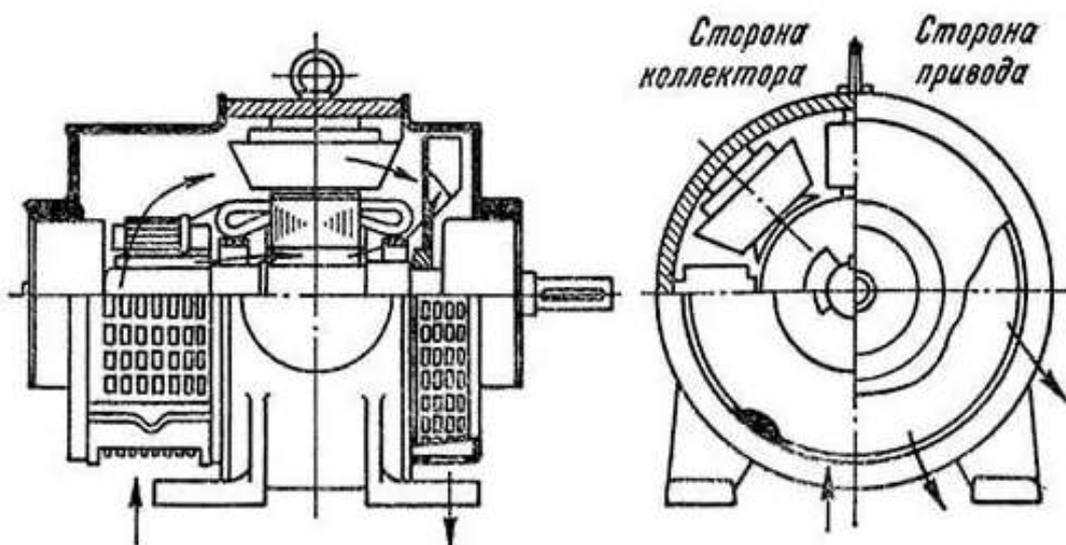


Рисунок 3 – Электродвигатель с системой аксиальной вентиляции

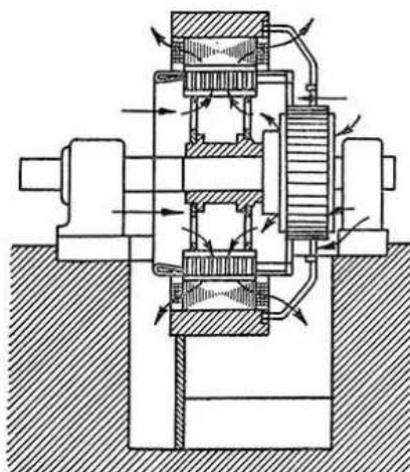


Рисунок 4 – Электродвигатель с системой радиальной вентиляции

У систем протяжной и замкнутой вентиляции особенностями выступает то, что данный способ устанавливается на машины крупных размеров и большой мощности. Электродвигателям таких размеров сложно рассеять тепло самостоятельно, и даже вышеописанные способы не смогут удовлетворить требования охлаждения данных машин.

У протяжной системы имеется существенный недостаток – забор воздуха вместе с пылью в машину – это ухудшает условия эксплуатации и охлаждения. Устанавливание фильтров не решает эту проблему, так уменьшается воздушный поток, а несвоевременная замена фильтра может привести к аварийной ситуации.

Поэтому, обычно применяется замкнутая система охлаждения, представленная на рисунке 5 (а, б). Принцип работы такого охлаждения прост, воздух циркулирует по замкнутому контуру. В случае примера на рисунке 5 (а), воздух попадает в машину (М), далее накачиваясь вентилятором (В) попадает в воздухоохладитель (О). На рисунке 5 (б) представлена система с забором воздуха двигателем (М) сразу после охладителя (О), перекачиваясь вентилятором (В). Недостатком замкнутой вентиляции является то, что габариты машины сильно увеличиваются, и перед непосредственной установкой двигателя, это необходимо учитывать.

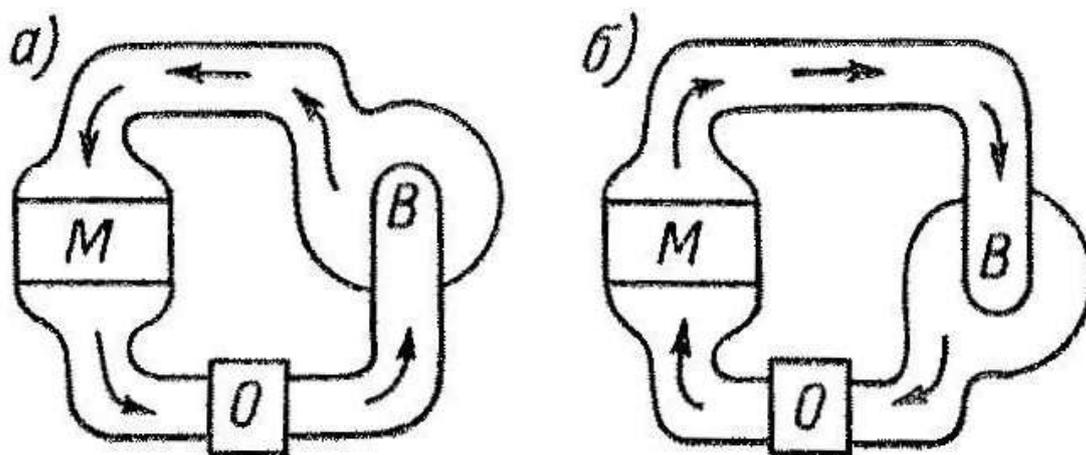


Рисунок 5 – Система замкнутой вентиляции в электродвигателях крупного размера

В данной статье были рассмотрены разные методы охлаждения электрических машин. Каждый из методов имеет свои преимущества и недостатки, а также область применения. Выбор оптимального метода охлаждения зависит от мощности, условий эксплуатации и

требований к надежности системы. Правильный выбор системы охлаждения позволит увеличить срок службы двигателя, избежать аварий и повысить его эффективность работы.

Список литературы

1. Вольдек М. И. Электрические машины. [Учебник для студентов]/Е.В. Толвинска// Издательство “Энергия”,1978.
2. Старовойтов Д. А. Магнитожидкостное охлаждение электрических машин [Электронный ресурс]// Вестник КузГТУ. 2005
3. Гриценко А. Ф. Нагревание и охлаждение торцовых коллекторов электрических машин постоянного тока [Электронный ресурс] // Известия ТПУ. 1967
4. Уляницкий М. Н. Приближенные методы тепловых расчетов электрических машин с естественным охлаждением [Электронный ресурс] // Известия ТПУ. 1965
5. Терентьев Н. Г. Методика расчета системы охлаждения электрических двигателей в составе трансмиссии колесной машины [Электронный ресурс] /С. В. Кондаков// Вестник ЮУрГУ. Серия: Машиностроение. 2013.

CONSTRUCTIVE FORMS OF EXECUTION OF COOLING OF ELECTRIC MACHINES

LAVRISHCHEV MIKHAIL PAVLOVICH

Student of gr. EP-21-1

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

PONOMAREV PAVEL SERGEYEVICH

Scientific supervisor, Lecturer of the Department of Automated Electric Drive and Robotics.
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

Abstract: the article is devoted to the design, varieties, cooling systems of electric machines. This article describes the basic principle of operation and the device.

Keywords: machine, electric motor, ventilation, air, cooling, heating.

УСТРОЙСТВО, НАЗНАЧЕНИЕ И РАЗНОВИДНОСТИ КОДОВОГО ПУТЕВОГО ТРАНСМИТТЕРА ШТЕПСЕЛЬНОГО

ЛАВРИЩЕВ МИХАИЛ ПАВЛОВИЧ

Студент гр. ЭП-21-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ПОНОМАРЕВ ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ

Научный руководитель, преподаватель кафедры автоматизированного электропривода и робототехники

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: статья посвящена устройству, назначению и эксплуатации трансмиттерного реле КППШ на железной дороге. В данной статье будут описываться основной принцип работы, назначение и устройство.

Ключевые слова: трансмиттерное реле, железная дорога, безопасность движения поездов.

Введение

Транспортное движение поездов на железной дороге из-за своей динамичности, постоянно меняющихся ситуаций и факторов, достаточно сложное. Поэтому процесс транспортировки должен быть оптимизирован. Для оптимизации движения и безопасности на железнодорожном транспорте применяются различные устройства, все они входят в категорию устройств автоматизации и телемеханики. Одним из них является КППШ, о котором было написано в данной статье.

Существует несколько видов систем, где применяются данные устройства, все они подразделяются на два вида, автоматическая и полуавтоматическая. Автоматические ставятся на участках с большой загруженностью, полуавтоматические на участках с умеренным движением поездов.

Самой распространенной и зарекомендовавшей себя системой является АЛСН (Автоматическая сигнализация непрерывного действия). Основой работы АЛСН является передача цифрового кода от железнодорожного полотна к светофорам и бортовым устройствам локомотива. Отправка кода (сигнала) осуществляется с помощью КППШ, трансмиттер генерирует код благодаря вращению вала, на котором имеются кулачки для сдвига контактов.

Устройство для приёма и отправки сигнала представлены на рисунке 1.

После генерации кода на трансмиттере происходит передача сигнала локомотиву его расшифровка и применение, сигнал отображается на бортовом устройстве (светофоре) в виде загорания огней светофора разных цветов. Каждый из сигналов на светофоре информирует машиниста о ситуации, возможных авариях на перегоне. Где код «З» зеленый – проезд разрешен с установленной скоростью; код «Ж» желтый – разрешается движение с готовностью остановиться; код «КЖ» красный с жёлтым – проезд запрещен.

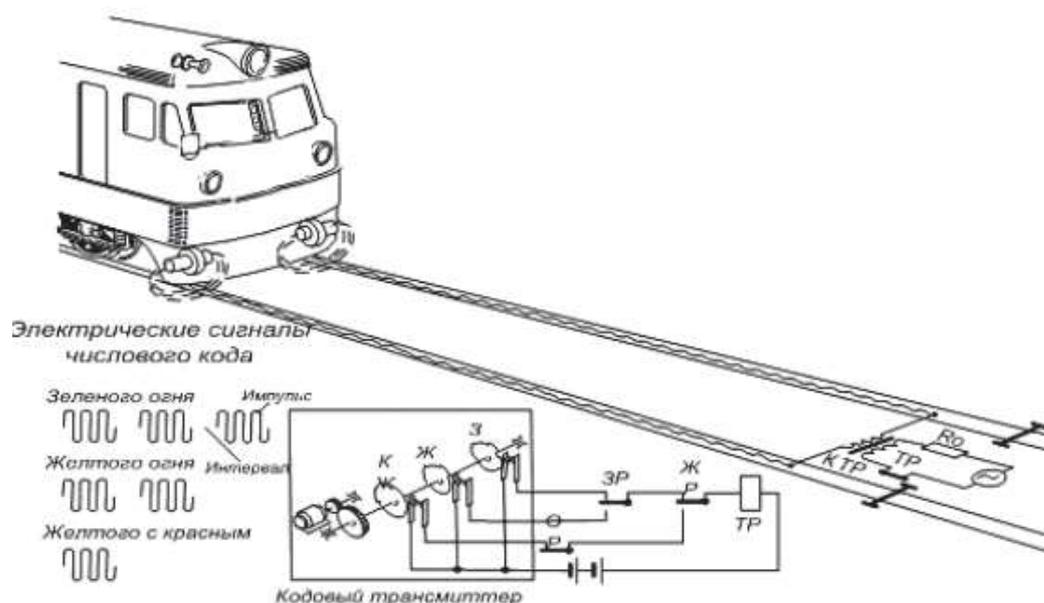


Рисунок 1 – Упрощенная структура АЛСН

Устройство и разновидности КТПШ

Разновидностей трансмиттеров бывает большое количество, чаще всего применяются КТПШ-5,7. Отличие трансмиттеров состоит в условиях эксплуатации и выработки кодов. Все они вырабатывают три разновидности сигналов (кодов). Сигналы, похожи по структуре, но отличаются по временным параметрам, на рисунке 2 представлена выработка кодов трансмиттером КТПШ-5.

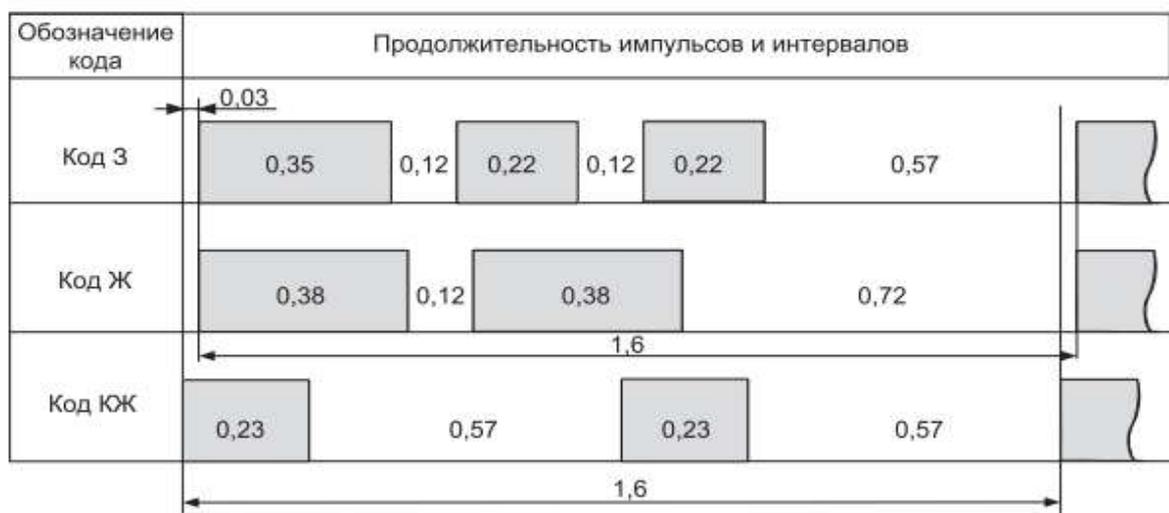


Рисунок 2 – Временные параметры вырабатываемых кодов

КТПШ представляет собой асинхронный двигатель переменного тока типа АСОМ – 48 с короткозамкнутым ротором и редуктором. На валу редуктора посажены шайбы, на которых выбиты впадины и выступы. Работа двигателя осуществляется с помощью создания магнитного поля в обмотках статора сдвинутых на 90°. Частота вращения двигателя определяет продолжительность замыкания и размыкания контактов, при частоте 50 Гц вращение составляет 982 об/мин, при 75 Гц – 1473 об/мин.

Внешний вид и устройство показаны на рисунках 3 и 4.

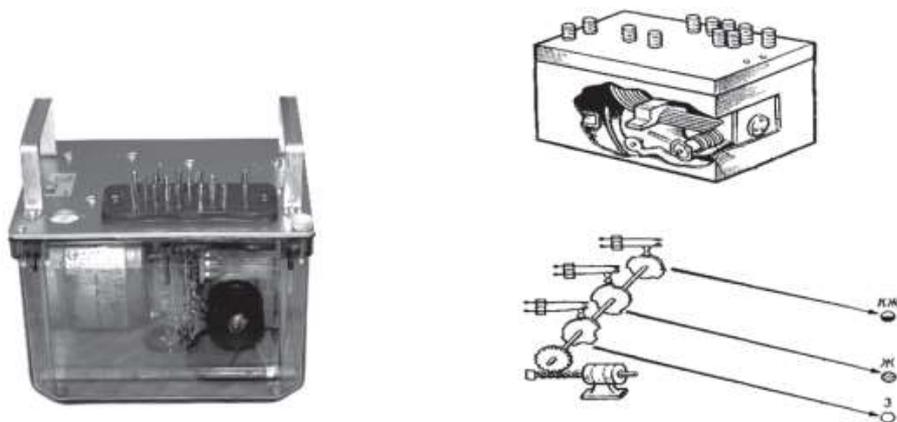


Рисунок 3 – Внешний вид трансмиттера

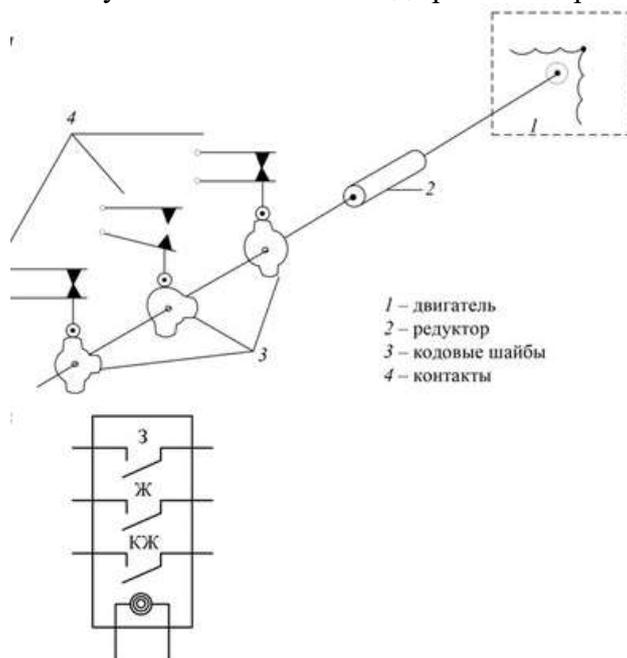


Рисунок 4 – Внутреннее устройство трансмиттера

Подводя итоги, можно сказать, что, кодовый путевой трансмиттер является важным устройством в системе железнодорожного транспорта, которое обеспечивает безопасность движения поездов. Разновидности КППШ позволяют адаптировать его к различным условиям и требованиям к эксплуатации. Трансммиттер является основой автоматики на железнодорожном транспорте и применяется в системах автоматической локомотивной сигнализации. У самой системы после её рассмотрения имеется ряд недостатков, оборудование старого образца, невозможность эксплуатации на путях, где не налажена автоматизация движения (отсутствие светофоров, большая протяженность пути). Но за 45 лет эксплуатации на более чем 60% железных дорог она успешно функционирует и является основой безопасности, и надёжности.

Список литературы

1. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики. Справочник. Кн. 2. В.И. Сороко, Ж.В. Фоткина. 2013
2. А.Р. Гумаров, А.В. Авсиевич. ОБЗОР СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЛОКОМОТИВНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ // Мировая наука. 2019. №12.

3. Д.В. Ефанов. Функциональный контроль и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и телемеханики//Санкт-Петербург, ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016.

4. Н.Я. Меньшиков и др. Надежность железнодорожных систем автоматики и телемеханики//Транспорт, 1976.

5. Д.Г. Шишкин, Л.Н. Шишкина - Логистика на транспорте// Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте 2006 г.

DESIGN, PURPOSE AND TYPES OF PLUG-IN CODE PATH TRANSMITTER

LAVRISHCHEV MIKHAIL PAVLOVICH

Student of gr. EP-21-1

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

PONOMAREV PAVEL SERGEYEVICH

Scientific supervisor, Lecturer of the Department of Automated Electric Drive and Robotics.
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

Abstract: the article is devoted to the design, purpose and operation of the KPTSH transmitter relay on the railway. This article will describe the basic principle of operation, purpose and device.

Keywords: transmitter relay, railway, train traffic safety.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ДВУХДВИГАТЕЛЬНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА СОГЛАСОВАННОГО ВРАЩЕНИЯ СКИПОВОЙ ЛЕБЕДКИ

ЛАЗУТИН АЛЕКСАНДР ВИКТОРОВИЧ

студент гр. М-ЭП-23-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

МЕЩЕРЯКОВ ВИКТОР НИКОЛАЕВИЧ

Научный руководитель, заведующий кафедры автоматизированного электропривода и робототехники

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: в данной работе будет рассматриваться двухдвигательный электропривод согласованного вращения с преобразователями частоты, которые будут управлять асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором. В статье имеется как математическое вычисление, так и моделирование в среде MatlabSimulink.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, преобразователь частоты, согласованное вращение, моделирование simulink.

Асинхронный двигатель отлично зарекомендовал себя в различных отраслях промышленности, т.к. обладает отличными регулировочными функциями. В моделировании участвует асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, паспортные данные которого представлены в таблице 1

Таблица 1 – Паспортные данные двигателя АВВМЗВР 400 LC

n, об/мин	p _п	P _н , кВт	η _н	cos φ _н	$\frac{M_{max}}{M_H}$	$\frac{M_{II}}{M_H}$	$\frac{I_{II}}{I_H}$	J _{дв} , кг·м ²
750	4	400	96,5	0,82	3,2	2,5	7,4	24

Для данного асинхронного двигателя были рассчитаны параметры исходя из расчетов максимального статического момента на барабане.

$$M_{c,max} = \frac{M_{с(б)max}}{i \cdot \eta_{ред}} = \frac{237993}{18,589 \cdot 0,99} = 12932,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

На рисунке 1 представлена векторная модель двухдвигательного электропривода согласованного вращения.

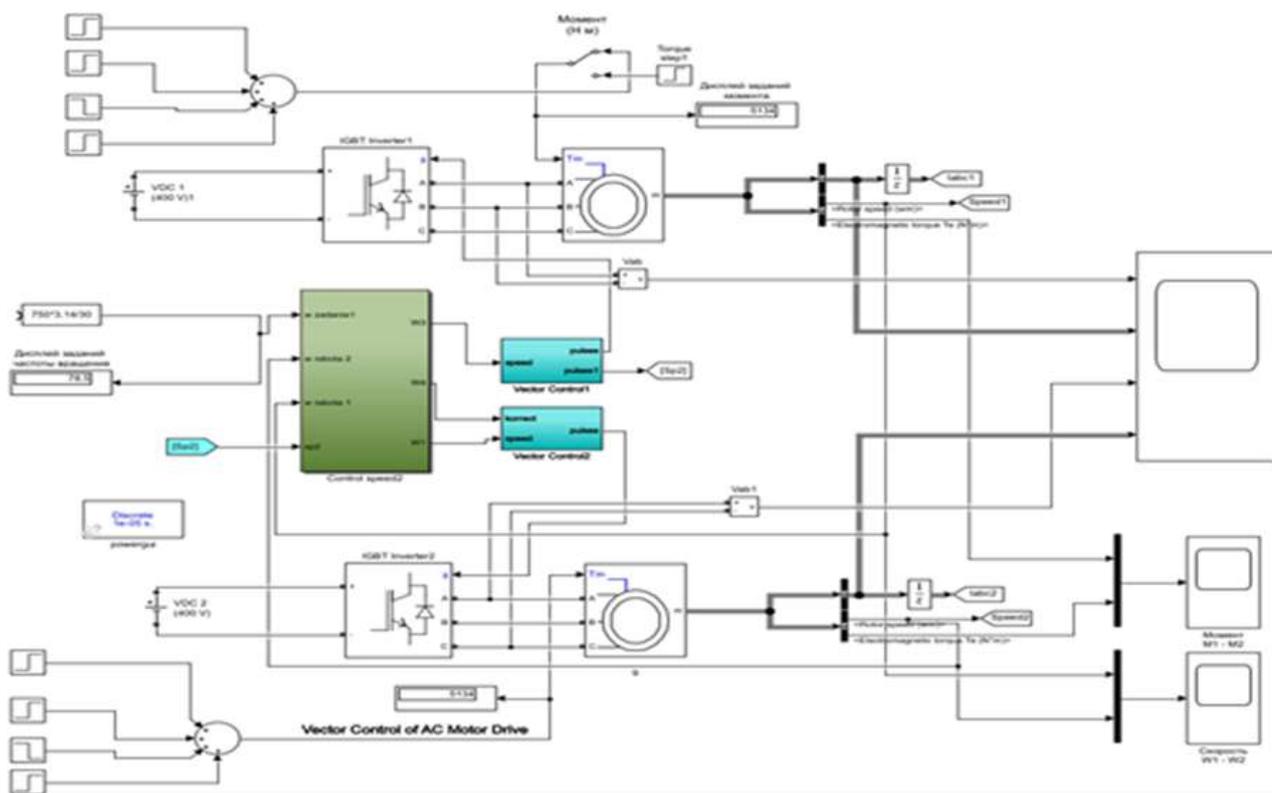


Рисунок 1 – Модель двухдвигательного электропривода согласованного вращения в векторной системе упарвления

Как следует из рисунка, поддержка скорости удержанием синхронного вращения двух различных асинхронных двигателей, создаётся блоком Control speed, где выполняется сравнение настоящих значений скоростей вращения электродвигателей W1 и W2 на валу асинхронного ЭП с задающим блоком с $w_zadanie$, и поступают сигналы на блоки векторного управления дополнительной ориентацией по потокосцеплению статора ротора (блоки Vector control 1, 2), на выходе которых создаются импульсы задающие сигналы , для создания широтно-импульсной модуляции в инверторах под номерами 1 и 2.

Чтобы осуществлять контроль, корректировки и анализа задания согласованной скорости необходимо смоделировать следующие блоки:

1. В блоке Vector control 1 выводится информация о текущем состоянии блока PI-регулятора он же speed controller;
2. В блоке Vector control 2 смоделировано поступление информации в блок создания задающего тока I_{qs}^* calculation после корректировки в блоке Control Speed (блок, который реализует согласованное вращение), он же поступает для обработки информации о рассинхронизации и определения величины рассогласования скоростей электродвигателей.

В момент пуска задается одинаковая нагрузка на валах электродвигателей. Далее, момент варьируется в соответствии с данными. В тоге имеем осциллограммы скорости вращения, так же электромагнитного момента для переходных процессов двухдвигательного асинхронного ЭП, которые представлены на рисунках 2, 3.

Математическая модель данного метода можно математически описать данной системой дифференциальных уравнений:

$$\left\{ \begin{aligned}
 \frac{d\Delta\omega_1}{dt} &= \frac{1}{\beta_1 T_{M1}} M_1 - \frac{1}{\beta_1 T_{M1}} M_{C1}; \\
 \frac{dM_1}{dt} &= \frac{\beta_1}{T_{Э1}} \Delta\omega_{01} - \frac{\beta_1}{T_{Э1}} \Delta\omega_1 - \frac{1}{T_{Э1}} M_1; \\
 \frac{d\Delta\omega_{01}}{dt} &= \frac{k_{1191}}{T_{1191}} \Delta u_{PC1} - \frac{1}{T_{1191}} \Delta\omega_{01}; \\
 \frac{d\Delta u_{PC1}}{dt} &= \frac{k_{PC1}}{\beta_2 T_{M2}} (\Delta M_2 - \Delta M_{C2}) - \\
 &\quad - \frac{k_{PC1} + k_{OC1}}{\beta_2 T_{M2}} (\Delta M_2 - \Delta M_{C2}) + \\
 &\quad + \frac{\Delta u_{3C}}{T_{PC1}} - \left(\frac{\Delta\omega_1 \cdot k_{OC1}}{T_{PC1}} \right); \\
 \frac{d\Delta\omega_2}{dt} &= \frac{1}{\beta_2 T_{M2}} M_2 - \frac{1}{\beta_2 T_{M2}} M_{C2}; \\
 \frac{dM_2}{dt} &= \frac{\beta_2}{T_{Э2}} \Delta\omega_{02} - \frac{\beta_2}{T_{Э2}} \Delta\omega_2 - \frac{1}{T_{Э2}} M_2; \\
 \frac{d\Delta\omega_{02}}{dt} &= \frac{k}{T} \Delta u_{PC2} - \frac{1}{T} \Delta\omega_{02}; \\
 \frac{d\Delta u_{PC2}}{dt} &= \frac{k_{PC2} k_{OPC}}{\beta_1 T_{M1}} (\Delta M_1 - \Delta M_{C1}) - \\
 &\quad - \frac{k_{PC2} (k_{OPC} + k_{OC2})}{\beta_2 T_{M2}} (\Delta M_2 - \Delta M_{C2}) + \\
 &\quad + \frac{\Delta u_{3C}}{T_{PC2}} - \left(\frac{k_{OPC} + k_{OC2}}{T_{PC2}} \right) \Delta\omega_2 + \frac{k_{OPC}}{T_{PC2}} \Delta\omega_1.
 \end{aligned} \right.$$

Где, чтобы синхронизировать угловые скорости, с которыми вращаются двигатели необходимо ввести обратную связь для компенсации рассогласованию скоростей с коэффициентом курс. За постоянную принимаем систему в ведущем первом электродвигателем.

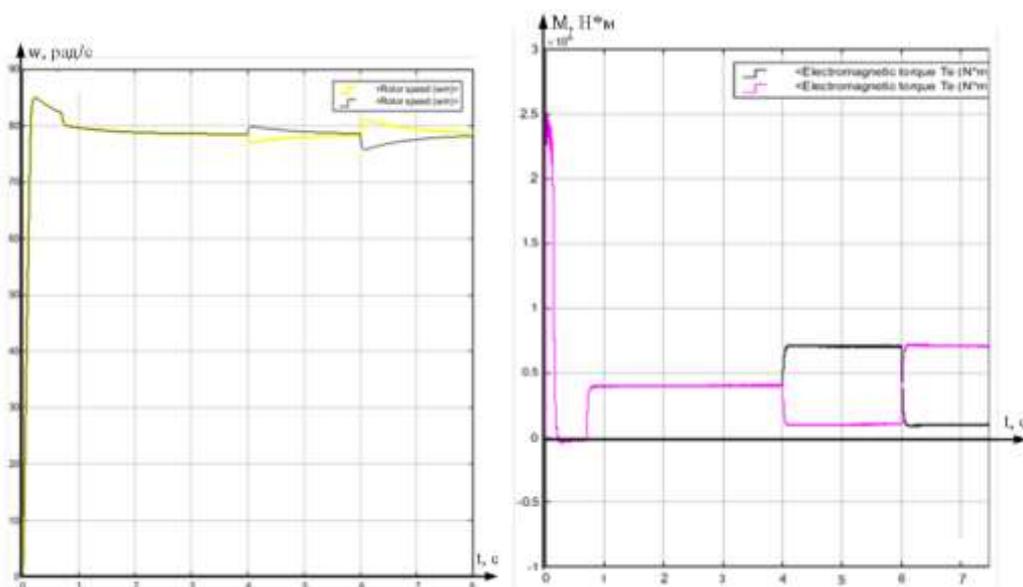


Рисунок 2 – Результат моделирования до введения блока коррекции по рассогласованию скоростей

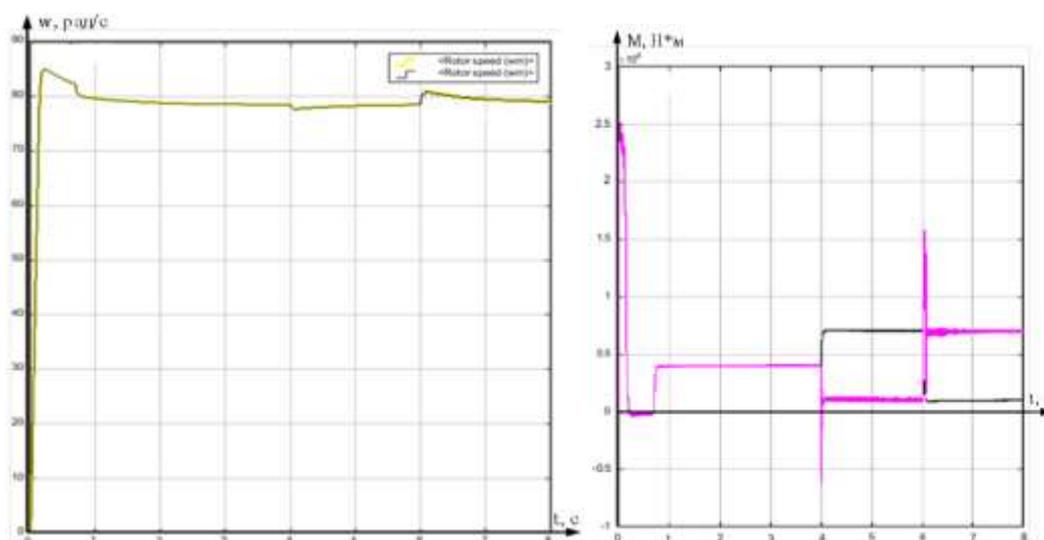


Рисунок 3 - Результат моделирования после введения блока коррекции по рассогласованию скоростей

Список литературы

1. Агроник, С.Г. Электрическое оборудование доменных цехов: учебное пособие [Текст] / С. Г. Агроник, М. Ю. Блатт, С. П. Скрыльников. – М.: Металлургия, 1966. – 196 с.
2. Мещеряков, В.Н. Электрический привод. Ч.1. Электромеханические системы: учебное пособие [Текст] / В.Н. Мещеряков. – Липецк: Изд-во Липецкого государственного технического университета, 2014. – 123 с.
3. Таев, И. С. Электрические аппараты управления [Текст] / С.И. Таев – Учебник для вузов по спец. «Электрические аппараты» .2-е изд. перераб. и доп. – М.: Высшая Школа, 1984. – 247 с., ил.
4. Левин, П.Н. Автоматизация типовых технологических процессов и установок: метод. указания к курсовому проекту для студентов по направлению 140400 «Электроэнергетика и электротехника» профиля подготовки «Электропривод и автоматика» очной и заочной форм обучения [Текст] / сост. П. Н. Левин. – Липецк: Изд-во ЛГТУ, 2013. – 55с.
5. Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами [Текст] / Под ред. В.И. Круповича, Ю.Г. Барыбина, М.Л. Самовера. – М.: Энергоиздат, 1982.

STUDY OF THE OPERATION OF THE TWIN-MOTOR ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE OF COORDINATED ROTATION OF THE SKIP WINCH

LAZUTIN ALEXANDER VICTOROVICH
student gr. M-EP-23-1
Lipetsk State Technical University

MESHCHERYAKOV VIKTOR NIKOLAYEVICH
Scientific supervisor, head of the Department of Automated Electric Drive and Robotics
Lipetsk State Technical University

Abstract: in this work we will consider a two-motor electric drive of coordinated rotation with frequency converters that will control squirrel cage induction motors. The article contains both mathematical calculations and modeling in the Matlab Simulink environment.

Keywords: induction motor, frequency converter, coordinated rotation, simulink simulation.

РАЗРАБОТКА ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО ИНТЕРФЕЙСА МОТАЛКИ В ПРОГРАММНОЙ ОБОЛОЧКЕ «TIAPORTAL»

ЛЕЛИКОВ МИХАИЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ

Студент гр. М-ЭП-23-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

КРЫЖКО КОНСТАНТИН НИКОЛАЕВИЧ

Студент гр. М-ЭП-23-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ОБРАЗЦОВ ВАДИМ ЕВГЕНЬЕВИЧ

Студент гр. М-ЭП-23-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: В статье рассмотрен состав моталки. Описан алгоритм работы моталки. Создана программа управления моталкой на языке «Lader» в Step 7. Смоделирован человеко-машинный интерфейс в WinCC. Проведены испытания на учебном стенде по промышленной автоматизации в лабораториях кафедры электропривода.

Ключевые слова: моталка, человеко-машинный интерфейс, TIAPortal, WinCC, Step 7, промышленная автоматизация.

Моталка важная часть прокатного производства, она предназначена для того, чтобы обеспечить натяжение и смотку стальной полосы. Моталка обладает конструкцией свободноподвешенного шпинделя и гидравлически управляемого барабана, оборудована тяжелым зубчатым редуктором, который обеспечивает ее надежную работу в тяжелых условиях, асинхронный двигатель с векторным управлением по моменту и система автоматического регулирования моталки по кромке полосы позволяет точно смотать металлические полосы. Все построение системы будет осуществляться в программном обеспечении «TIA Portal» версии V16. Программа написана в «Step 7» на языке программирования контролеров Lader, человеко-машинный интерфейс в Win CC. Все это возможно сделать в одной программе, которая объединяет все эти функции в «Tia Portal» от компании «Siemens» [1]. Симулирование программы и тестирование панели оператора будет осуществляться на учебном стенде по промышленной автоматизации.

В данном проекте симулируются несколько измерительных устройств. Дискретные датчики положения, наличия питания и исправности узлов агрегата. Датчик «привод включен» служит триггером для всего тех. процесса.

Аварийные датчики «привод исправен», «тормоз исправен», «смазка в норме» отвечают за исправность редуктора, дискового тормоза и насоса соответственно. Датчики положения барабана, ролика, тележки и полосы сообщают оператору в каком положении они находятся. Аналоговые датчики скорости, ускорения и натяжения информируют оператора о действующей скорости и ускорения моталки, натяжения полосы, диаметра рулона.

Для управления приводом моталки создана система из ПЛК Siemens S7-1212C и панели НМІ КТР600 Basic color. Связь между ними осуществляется по протоколу Ethernet. Сконструированный человеко-машинный интерфейс на панели оператора КР-600 представлен на рисунке 1 [2]. Экран параметры проката предназначен для изменения входных показателей рулона. На выбор представлено 6 видов проката с длиной полосы от 50 до 120 метров и толщиной проката от 10 до 15 миллиметров.

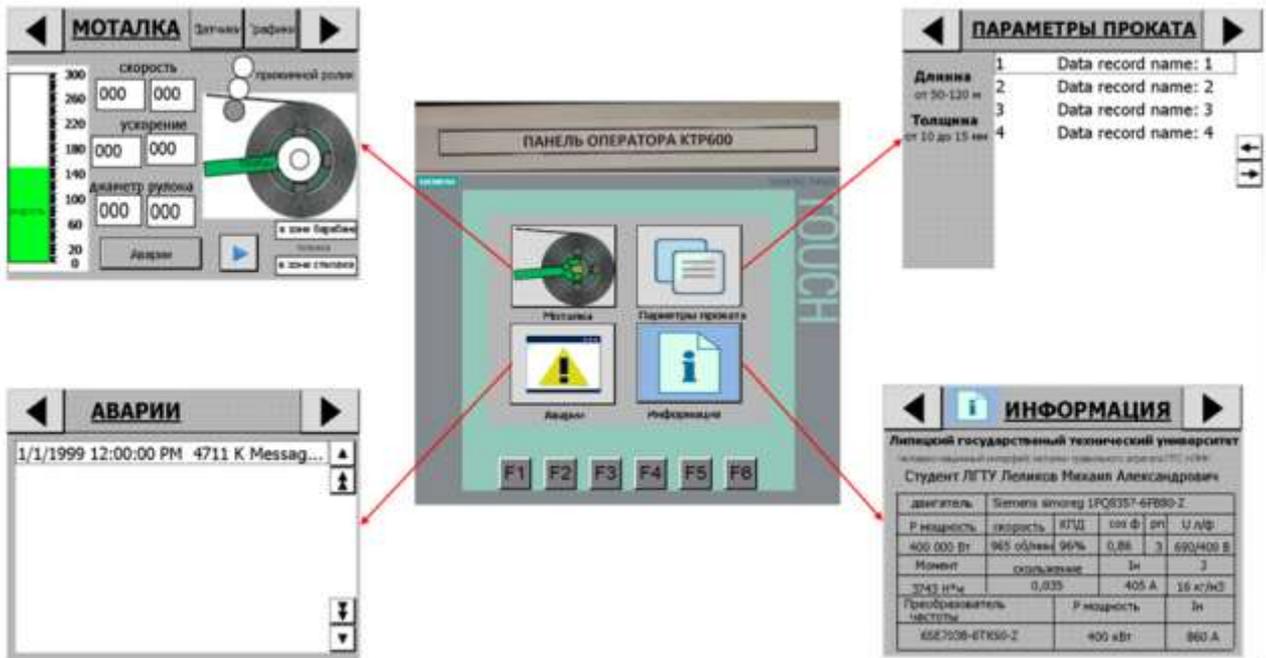


Рисунок 1 - Главный экран ЧМИ моталки и навигационные области

Главный экран запускающийся в начале работы содержит в себе 4 навигационные области:

- Экран моталки.
- Экран параметры проката.
- Экран аварии.
- Экран информация.

Перейдя на экран моталки 2 предоставляются следующие возможности:

- Переход в более подробное окно датчиков.
- Переход в окно просмотра графиков тахограммы моталки.
- Переход в окно аварий.



Рисунок 2 - Экран моталки и навигационные области

На экране моталки можно просматривать положение барабана, прижимного рлика, тележки. Эти навигационные области в зависимости от положения загораются зеленым цветом. Так же имеется область задания скорости, ускорения и диаметра. Аналоговые датчики показывают фактическое значение параметров скорости, ускорения и диаметра. Програма управляемая технологическим процессом изображена на рисунке 3 [3].

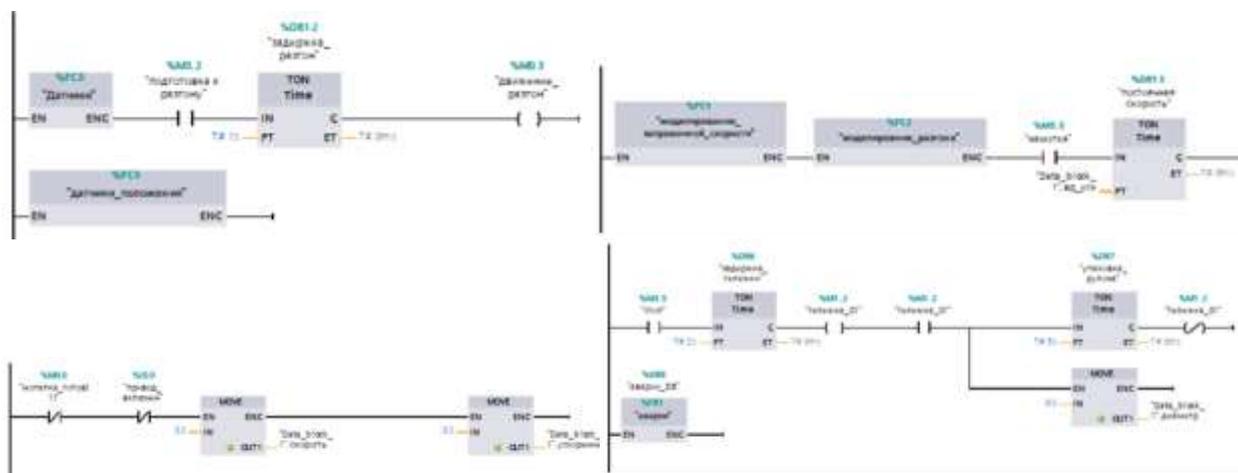


Рисунок 3 -Программа, выполняемая контролером моталки

Испытания проводятся на учебном стенде по промышленной автоматизации в лабораториях ЭП. После выгрузки программы из персонального компьютера в контроллер и панель оператора открывается главный экран. Во вкладке параметры проката выбираем прокат. Во вкладке моталка запускаем моталку. Далее ждём пока все аварийные датчики дадут обратную связь по исправности агрегата. Наглядно видно, что аварии отсутствуют. Далее следует алгоритм, датчики положения сообщают об этом. Начинается заправка полосы на заправочной скорости. Диаметр в это время не увеличивается. Как можно увидеть слева от цифровых показаний скорости элемент «toolbar» наглядно показывает изменение скорости. После заправки полосы моталка начинает ускорение до номинальной скорости намотки, однако диаметр начинает увеличиваться уже на этапе ускорения, что можно заметить на панели. Далее электропривод будет работать в номинальном режиме до полной намотки полосы на барабан. Приведена диаграмма скорости и ускорения моталки. После того как полоса наматывается на барабан, моталка останавливается, барабан сжимается и рулон снимается на тележку перемещаясь в складское помещение к обвязочному устройству.

При симулировании аварийных датчиков первым делом датчики загораются красным цветом, а во вкладке аварии демонстрируются последние аварии и их завершение.

Выводы:

1. Разработан человеко-машинный интерфейс моталки
2. Проведены испытания на учебном стенде по промышленной автоматизации.
3. Описаны процессы реализуемые оператором и контроллером.

Список литературы

1. Музылева, И.В. Программирование в TiaPortal [Текст]: учеб. пособие / И.В. Музылева, К.А. Музылев. - Липецк: ЛГТУ, 2019. - 50 с.
2. Музылева, И.В. Практическая работа в STEP7 Micro/Win [Текст]: учеб. пособие / И.В. Музылева. - Липецк: ЛГТУ, 2005. - 48 с.
3. Музылева, И.В. Программирование промышленных логических контроллеров SIMATIC S7 [Текст]. В 3 ч. Ч. 1. Семейство S7-200: учебное пособие / И.В. Музылева. Липецк: Изд-во ЛГТУ, 2013. - 72 с.
4. Леликов М.А. Моделирование процесса подсчета диаметра рулона моталки в «ТИА

PORTAL» [Электронный ресурс] / М.А. Леликов // Цифровая трансформация в энергетике. Вып. IV : материалы Четвертой Международной научной конференции / отв. ред. Т. И. Чернышова ; ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2023. – 161 с.

5. ГОСТ 24.104-85 Единая система стандартов автоматизированных систем управления. Автоматизированные системы управления. Общие требования.

6. Травильный комплекс ПТС «Агрегат травления проталкиванием» [Текст]: технологическая инструкция травильного комплекса ПАО «НЛМК» - Липецк 2006. – 500 с.

DEVELOPMENT OF THE HUMAN-MACHINE INTERFACE OF THE WINDER IN THE "TIA PORTAL" SOFTWARE SHELL

LELIKOV MIKHAIL ALEXANDROVICH

Student gr. M-EP-23-1

Lipetsk State Technical University

KRYZHKO KONSTANTIN NIKOLAEVICH

Student gr. M-EP-23-1

Lipetsk State Technical University

OBRAZTSOV VADIM EVGENIEVICH

Student gr. M-EP-23-1

Lipetsk State Technical University

Abstract: The article considers the composition of the winder. The algorithm of the winder operation is described. A winder control program has been created in the "Lader" language in Step 7. A human-machine interface has been modeled in Win cc. Tests were carried out at the training stand on industrial automation in the laboratories of the Department of Electric Drive.

Keywords: winder, human-machine interface, TIA Portal, Win CC, Step 7, industrial automation.

ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И ПРИНЦИПА СИСТЕМЫ АСПИРАЦИИ ЛИТЕЙНОГО ДВОРА ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

ЛЕОНТЬЕВ ЕВГЕНИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ

студент гр. М-ЭП-23-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

МЕЩЕРЯКОВ ВИКТОР НИКОЛАЕВИЧ

Научный руководитель, преподаватель кафедры электропривода
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: в данной статье освещен вопрос устройства системы аспирации литейного двора доменной печи и принцип ее работы. Рассмотрена система аспирации литейного двора. Кроме того, рассмотрен метод наиболее эффективного применения.

Ключевые слова: литейный двор, воздушный нож, боковой отсос, коллектор-сборник, рукавный фильтр.

Развитие электроники и микропроцессорной техники позволяет успешней и экологически безопасней производить очистку воздуха от газов и пыли, образующихся при выпуске чугуна и шлака из доменной печи, а также отсекают распространение запыленного воздуха в рабочую зону литейного двора. Для более эффективной очистки воздуха от пыли используется инженерно-техническое решения, базирующееся на установке воздушного ножа с направляющим аппаратом.

Основные компоненты системы:

- 1) боковой отсос;
- 2) коллектор-сборник;
- 3) технологическая емкость;
- 4) рукавные фильтры;
- 5) воздушный нож с направляющим аппаратом.

Описание процесса аспирации

Способ осуществляется с помощью аспирации пылеобразующего оборудования литейного двора доменной печи. Запыленный воздух от каждой единицы оборудования отводят, воздействуя на него разрежением через боковой отсос в коллектор-сборник. В коллекторе крупные фракции пыли под воздействием гравитационных сил оседают в технологической емкости, а мелкие фракции поступают на дальнейшую доочистку и отделение их от воздуха в рукавных фильтрах.

Установка воздушного ножа

Для увеличения начальной скорости воздушного потока над источниками пылевыведения (чугунной и шлаковой летками) устанавливают воздушный нож с направляющим аппаратом. С помощью воздушного ножа отсекают распространение запыленного воздуха в рабочую зону литейного двора и направляют его в боковой отсос.

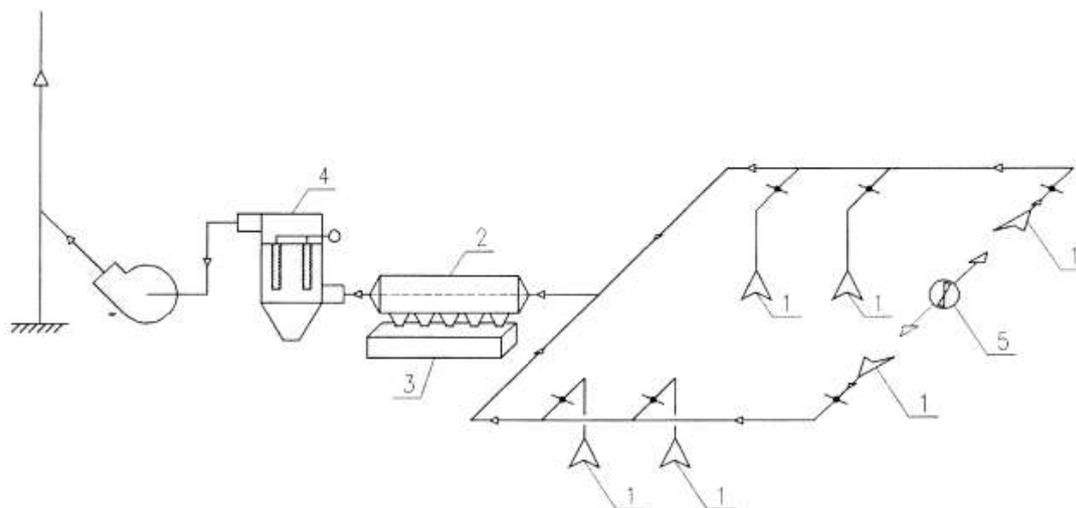


Рисунок 1 – Общая схема системы аспирации литейного двора доменной печи

Конкретный пример выполнения предлагаемого способа.

Технические характеристики

- Ширина отсекающего потока воздушного ножа: 2500 мм
- Дальнобойность: 3000 мм
- Расход воздуха: 85-100 м³/мин при давлении 0,55-0,62 МПа
- Количество воздуха, удаляемого боковыми отсосами от леток: 60-80 тыс. м³/час

Преимущества предлагаемого способа

Использование предлагаемого способа аспирации пылеобразующего оборудования литейного двора доменной печи позволяет:

- Улучшить режим работы аспирационной системы.
- Минимизировать материальные затраты на реализацию системы.
- Снизить энергетические затраты при эксплуатации.
- Повысить степень очистки аспирационных газов, выбрасываемых в атмосферу.

Заключение

Предложенная система аспирации литейного двора доменной печи на основе установки воздушного ножа с направляющим аппаратом демонстрирует высокую эффективность в удалении пыли и газов, обеспечивая при этом экологическую безопасность и экономическую выгоду.

Список литературы

1. Оптимизация системы аспирации для повышения эффективности производственных процессов на металлургическом заводе НЛМК" - Исследовательский отчет. 2019 – 50 с.
2. Практический опыт внедрения новых технологий аспирации на металлургическом комбинате ММК" - Технический отчет, 2020 – 65 с.
3. Изделия кабельные – термины и определения – ГОСТ 15845-8 Анализ современных тенденций в области аспирации на металлургических предприятиях России" - Аналитический отчет от Института металлургии и материаловедения. 2021 – 40 с.
4. Техническое руководство по эксплуатации и техническому обслуживанию аспирационной системы для доменной печи" от АО "Металлургический завод". 2018 –80 с. Перспективы развития аспирационных технологий в металлургической промышленности" - Обзорная статья в журнале "Металлургическая инновация". 2019 – 30 с.

AND PRINCIPLE OF REACTORS

LEONTYEV EVGENII VLADIMIROVICH

Student gr. M-EP-23-1

Lipetsk State Technical University

MESHCHERYAKOV VICTOR NIKOLAEVICH

Scientific supervisor, lecturer of the Department of Electric Drive

Lipetsk State Technical University

Abstract: The article addresses the topic of the arrangement of the aspiration system of the casting yard of a blast furnace and its operating principle. The casting yard aspiration system is examined. Additionally, the method of its most effective application is discussed.

Keywords: blast furnace, air knife, side suction, collector-collector, and sleeve filter.

АНАЛИЗ ПРИЧИН ДЕГРАДАЦИИ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ПРОТОНООБМЕННОЙ МЕМБРАНОЙ

ЛИПУЖИН ИВАН АЛЕКСЕЕВИЧ

Старший научный сотрудник НИЛ АГЭК

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»

КАРПОВА ЕКАТЕРИНА АЛЕКСАНДРОВНА

магистрант гр. М22-ЭС

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»

Аннотация: в статье представлены факторы, которые влияют на деградацию водородных топливных элементов с протонообменной мембраной (ПОМТЭ). Наибольшее влияние оказывают условия эксплуатации системы: частые включения и отключения, динамические изменения нагрузки, работа на холостом ходу и перегрузка. Приведены рекомендации для продления срока службы ПОМТЭ.

Ключевые слова: топливный элемент, водород, протонообменная мембрана, ПОМТЭ, деградация.

Традиционные источники энергии занимают доминирующие позиции в структуре мирового топливно-энергетического баланса, так как ископаемое топливо является крупнейшим источником энергии для промышленности и бытовых потребителей. С каждым годом все более актуальными становятся проблемы истощения невозобновляемых ресурсов, увеличения выбросов парниковых газов и изменения климата. В связи с этим во всем мире растет интерес к альтернативным, экологически чистым источникам энергии, в том числе к водородной энергетике.

Водородный топливный элемент (ТЭ) – это электрохимический источник тока, в котором осуществляется прямое преобразование химической энергии водорода в электрическую. Существуют различные типы водородных ТЭ, но наибольшее распространение получили топливные элементы с протонообменной мембраной (ПОМТЭ) благодаря своим преимуществам, среди которых высокая эффективность, низкая рабочая температура, экологичность и отсутствие шума [1]. Кроме того, к их достоинствам относится возможность быстрого запуска энергоустановки и изменения нагрузки в процессе работы системы.

Основным узлом ПОМТЭ является мембранно-электродный блок (МЭБ), который подвержен неизбежной деградации в процессе эксплуатации ТЭ. На деградацию МЭБ и срок службы ПОМТЭ оказывают влияние большое количество факторов, в том числе условия эксплуатации энергоустановки, которые приводят к изменению свойств катализатора и структурных характеристик мембраны [2]. Под влиянием деградации изменяются выходные характеристики ТЭ: снижается напряжение и мощность, увеличивается расход топлива, что в конечном итоге приводит к невозможности снабжения потребителя необходимым количеством электроэнергии и необходимости замены ТЭ. Короткий срок службы промышленно-выпускаемых ПОМТЭ существенно влияет на себестоимость системы и затрудняет широкое распространение энергоустановок с ПОМТЭ.

Заявленный срок службы ПОМТЭ, применяемых на транспорте, составляет 5 000 ч. Для ПОМТЭ, применяемых в стационарных энергоустановках, этот показатель находится в диапазоне 30 000...60 000 ч. [3]. Однако основной объем данных о сроке службы ПОМТЭ получен в лабораторных условиях, и фактический срок службы стационарных энергоустановок, находящихся в реальной эксплуатации, может существенно отличаться. Это объясняется тем, что основное внимание уделяется методам испытаний на долговечность ТЭ для транспортных средств, а разработка методов испытаний для стационарных систем требует больших денежных затрат и длительного периода тестирования [4].

Одной из наиболее важных причин деградации ПОМТЭ являются условия эксплуатации системы. Отрицательно сказываются на работе частые включения и отключения, динамические изменения нагрузки, работа на холостом ходу (ХХ) и перегрузка [5]. На рисунке 1 приведено влияние данных факторов на срок службы ПОМТЭ в процентном соотношении по данным в [5, 6].

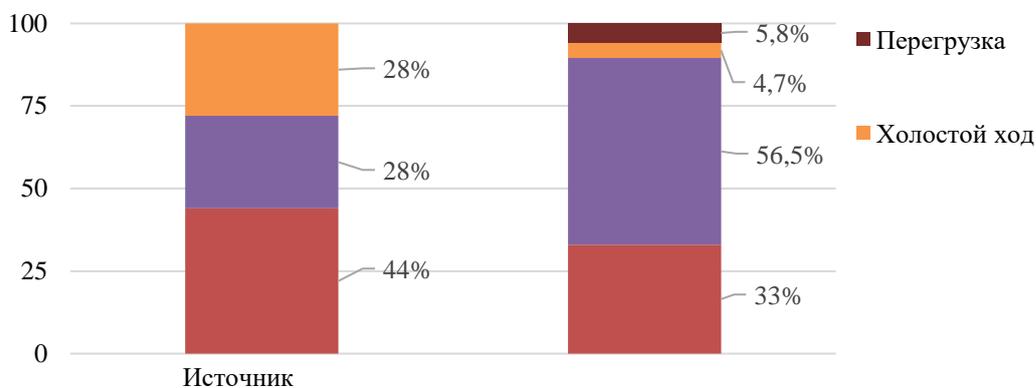


Рисунок 1 – Факторы, влияющие на срок службы ПОМТЭ
Источник [7]

Как видно из рисунка 1, наибольшее влияние на срок службы ПОМТЭ оказывают частые включения/отключения и динамическое изменение нагрузки. Далее рассмотрим каждый из факторов подробнее.

При частых циклах включения и отключения ПОМТЭ ускоряется процесс коррозии углерода, являющегося основой каталитического слоя МЭБ. Перед запуском ТЭ за счет диффузии через анодный выпускной канал и протонообменную мембрану в поле потока анода присутствует воздух. При включении ТЭ водород подводится к аноду и в поле потока анода образуется граница раздела водород-воздух. После отключения ТЭ остаточный кислород в поле потока катода диффундирует через протонообменную мембрану к аноду, образуя границу водород-воздух с остаточным водородом [3]. Одновременное присутствие воздуха и водорода на аноде приводит к появлению эффекта обратного тока в ТЭ и повышению потенциала катода до 1,5 В. Чрезмерно высокий потенциал ускоряет коррозию и окисление углеродной основы катализатора. В результате платиновый катализатор повреждается, что приводит к разрушению структуры катода. Для снижения влияния данного фактора, необходимо разрабатывать материалы с высокой устойчивостью к потенциалам, превышающим номинальные значения, а также совершенствовать алгоритмы управления энергоустановками с ТЭ.

Изменения нагрузки являются самым тяжелым фактором, воздействующим на деградацию ТЭ. На практике, наиболее тяжелые последствия возникают при динамическом изменении нагрузки, когда она мгновенно изменяется от ХХ до номинального режима (или даже перегрузкой). Возникает переходный процесс, в ходе которого потенциал электродов, стехиометрическое соотношение подаваемых газов, внутренняя температура, давление и агрегатное состояние воды, образующейся в ходе реакции, претерпевают существенные изменения, что ускоряет старение ПОМТЭ [8]. Последствия динамического изменения нагрузки можно разделить на две группы. Во-первых, изменяется скорость образования воды и выделение тепла, что, соответственно, создает циклические изменения температуры и влажности. При это могут наблюдаться либо процессы затопления водой активного слоя катода, либо обезвоживание мембраны, приводя к быстрому снижению производительности ПОМТЭ. Во-вторых, динамический наброс нагрузки вызывает повышенный расход топлива, что может привести к топливному голоданию. В результате резко ускоряется механическая деградация компонентов МЭБ, коррозия биполярных пластин и деградация катализатора.

Длительная работа на ХХ также негативно сказывается на работе ПОМТЭ. Для поддержания нормального функционирования энергоустановки в режиме ХХ ПОМТЭ работает с низкой плотностью тока. При этом на катоде сохраняется высокий потенциал,

близкий к напряжению ХХ (0,85...1,0 В). Из-за низкой скорости образования воды мембрана недостаточно увлажняется, что приводит к увеличению ее омического сопротивления и снижению производительности ПОМТЭ. Кроме того, недостаточная влажность мембраны приводит к серьезной химической деградации, сопровождающейся ростом и миграцией частиц платины, и повреждению катализатора [8].

При работе ПОМТЭ в режиме перегрузки, скорость деградации характеристик ускоряется, что проявляется в двух аспектах: ускорении химической коррозии мембраны, что приводит к увеличению сопротивления; ускорение растворения и агломерации наночастиц платины, а также чрезвычайно быстрая коррозия углеродной основы. Это приводит к уменьшению площади активной поверхности катализатора.

Основные исследования на тему продления срока службы ПОМТЭ посвящены снижению последствий частых включений и отключений ТЭ, так как именно они оказывают наибольшее влияние на деградацию ПОМТЭ. К наиболее распространённым способам относят: продувку анодных и катодных полей потока газовой смесью, включение балластной нагрузки, снижение катодного потенциала [3]. Основная цель этих способов – сокращение времени существования границы раздела водород-воздух на аноде и контроль высокого потенциала на катоде.

Используют несколько способов продувки газом: продувка анода азотом, продувка анода воздухом и продувка катода водородом. Использование азота в качестве продувочного газа на аноде позволяет эффективно снизить скорость диффузии кислорода от катода к аноду, что, в свою очередь, уменьшает протекание обратного тока. После азотной продувки снижаются пиковый ток катода и замедляется скорость нарастания напряжения. Однако продувка азотом в процессе отключения может оказать негативное влияние, поскольку адсорбцию водорода на электроде трудно обратить вспять. Поэтому более эффективным решением является продувка азотом только в период запуска, и подключение балластной нагрузки в момент сброса нагрузки.

Прямое введение водорода в катод может защитить катод от высоких потенциалов. Водород подается на катод, после отключения нагрузки, замещая избыток кислорода в результате реакции. Преимуществом водородной продувки является то, что она проста в реализации и не требует дополнительного оборудования. Однако, она может привести к деградации анода, особенно если в качестве катализатора используется платиновый сплав, поскольку атомы водорода могут вызвать его растворение.

Газовая продувка позволяет эффективно сократить формирование границы раздела водород-воздух на аноде, однако в проточных каналах все равно остается избыток реагентов. Использование вспомогательных балластных нагрузок может способствовать выходу остаточного газа [9]. Применение балластной нагрузки необходимо для снижения скачка напряжения при отключении ПОМТЭ. Для снижения высокого потенциала катода в состав энергоустановки может быть введен суперконденсатор, который заряжается от ТЭ. При резком росте нагрузки, когда ТЭ не в состоянии удовлетворить потребности потребителя в энергии, включается суперконденсатор.

В настоящее время основное внимание ученых направлено на совершенствование конструкции ПОМТЭ и его отдельных компонентов, разработку новых материалов МЭБ. В то же время, для продления срока службы ПОМТЭ на этапе проектирования энергоустановки необходимо правильно выбирать структуру и подбирать параметры компонентов системы под задачи и режим работы потребителя, при необходимости, объединяя несколько ПОМТЭ в одну систему или создавая гибридную энергоустановку, например с накопителями электроэнергии. Ключевое влияние на деградацию оказывает выбор оптимальной стратегии управления энергоустановкой.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-29-00804, <https://rscf.ru/project/24-29-00804/>.

Список литературы

1. Alaswad, A. Technical and commercial challenges of proton-exchange membrane (PEM) fuel cells / A. Alaswad, A. Omran, J. R. Sodre, T. Wilberforce, G. Pignatelli, M. Dassisti, A. Baroutaji, A. G. Olabi // *Energies*. – 2021. – Vol. 14 (1). – 144. – DOI 10.3390/en14010144.
2. Кудашова, Д.С. Изучение деградации перфторированной мембраны в процессе работы в водородном топливном элементе / Д. С. Кудашова, Н. А. Кононенко, М. А. Бровкина, И. В. Фалина // *Мембраны и мембранные технологии*. – 2022. – Т. 12, № 1. – С. 29-37. – DOI 10.1134/S2218117222010059.
3. Zhang, T. A review of automotive proton exchange membrane fuel cell degradation under start-stop operating condition / T. Zhang, P. Wang, H. Chen, P. Pei // *Applied Energy*. – 2018. – Т. 223. – С. 249-262. – DOI 10.1016/j.apenergy.2018.04.049.
4. Nguyen, H. L. Review of the durability of polymer electrolyte membrane fuel cell in long-term operation: Main influencing parameters and testing protocols / H. L. Nguyen, J. Han, X. L. Nguyen, S. Yu, Y.-M. Goo, D. D. Le // *Energies*. – 2021. – Vol. 14 (13). – 4048. – DOI 10.3390/en14134048.
5. Фаддеев, Н. А. Исследование влияния изменения профиля нагрузки на производительность стека на основе топливных элементов с протонообменной мембраной / Н.А. Фаддеев, М.А. Беличенко, А.В. Серик [и др.] // *Известия высших учебных заведений. Электромеханика*. – 2022. – Т. 65, № 4. – С. 25-30. – DOI 10.17213/0136-3360-2022-4-25-30.
6. Kocha, S. S. Electrochemical Degradation: Electrocatalyst and Support Durability / S. S. Kocha // *Polymer Electrolyte Fuel Cell Degradation*, 2011. – P. 89-214. – DOI 10.1016/B978-0-12-386936-4.10003-X.
7. Pei, P. Main factors affecting the lifetime of Proton Exchange Membrane fuel cells in vehicle applications: A review / P. Pei, H. Chen // *Applied Energy*. – 2014. – Vol. 125. – P. 60-75. – DOI 10.1016/j.apenergy.2014.03.048.
8. Ren, P. Degradation mechanisms of proton exchange membrane fuel cell under typical automotive operating conditions / P. Ren, P. Pei, Y. Li [et al.] // *Progress in Energy and Combustion Science*. – 2020. – Vol. 80. – 100859. – DOI 10.1016/j.peccs.2020.100859.
9. Yang, Y. Impact of dummy load shut-down strategy on performance and durability of proton exchange membrane fuel cell stack / Y. Yang, W. Li, R. Lin [et al.] // *Journal of Power Sources*. – 2018. – Vol. 404. – P. 126-134. – DOI 10.1016/j.jpowsour.2018.10.003.

ANALYSIS OF PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELLS DEGRADATION CAUSES

LIPUZHIN IVAN

Senior researcher of the Research laboratory "Autonomous Hybrid Electric Power Complexes"
Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev

KARPOVA EKATERINA

master's student gr. M22-ES

Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev

Abstract: the paper presents factors that influence the degradation of hydrogen proton exchange membrane fuel cells (PEMFC). Operating conditions that have the greatest impact: frequent start and stop, dynamic load changes, idling and overload. Recommendations for extending PEMFC service life are given.

Keywords: fuel cell, hydrogen, proton exchange membrane, PEMFC, degradation.

ИНДУКЦИОННЫЕ МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

МАКАРОВ АЛЕКСАНДР ВИТАЛЬЕВИЧ

ПОНОМАРЕВ ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ

Научный руководитель, преподаватель кафедры автоматизированного электропривода и
робототехники

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: работа посвящена индукционным магнитогидродинамическим машинам переменного тока и описывает их принцип действия, среду использования, преимущества и недостатки.

Ключевые слова: магнитогидродинамические машины, индукционная МГД-машина, канал с жидким металлом.

В теории МГД-машины могут применяться в атомной энергетике, гиперзвуковых авиационных системах, судостроении. Однако на данный момент их развитие не имеет большой популярности, так как с точки зрения технологий, так и не был достигнут необходимый уровень – всё дело в проблеме отсутствия подходящих материалов для стенок данных машин и их электродов, о требованиях о которых мы поговорим далее.

Магнитогидродинамические машины могут работать как генераторы и как двигатели при помощи преобразования энергии перемещения электропроводящей среды (плазма или жидкие металлы) в электрическую энергию и наоборот. Такие двигатели, которые перемещают жидкие металлы называются электромагнитными насосами. К данным металлам имеются определённые требования: высокая теплопроводность и теплоёмкость, малая вязкость, пониженная и короткая искусственная радиоактивность. Важно отметить в целом необходимость больших температур теплового носителя, потому что тогда она будет высокой и во второстепенном контуре, что способствует улучшению парового давления и увеличению КПД установки.

Щелочные металлы (калий, натрий, их сплавы) являются лучшими теплоносителями среди жидких металлов для ядерных реакторов. МГД-машины могут применяться в чёрной и цветной металлургии для производства алюминия, магния, цинка, ртути и т.д.

Обязательным элементом работы магнитогидродинамических устройств является наличие труб и каналов для формирования плазмы, электропроводность которой зависит от температуры, что, в свою очередь, повышает содержание в ней тепловой энергии. Таким образом, можно понять, что чем выше будет температура плазмы, тем лучше будут энергетические показатели машины. Одновременно с этим следует учитывать, что и повышаются трудности с выбором подходящих материалов, потому как в приемлемых условиях с экономико-технической точки зрения температура плазмы должна составлять около 2500-3000 К – температура, для которой довольно трудно разработать подходящие материалы на данный момент.

Принцип работы индукционных МГД-машин будет рассмотрен на основе плоской линейной индукционной магнитогидродинамической машины. Благодаря жидким металлам или плазме в рабочем теле машины происходит индукция переменным магнитным полем. Так как электрического соединения между стенками каналов и внешней цепью нет, то они могут быть неэлектропроводящими. Данный вид машин можно сравнить с асинхронными электрическими машинами. На рисунке 1 указана плоская линейная индукционная магнитогидродинамическая машина. Указаны следующие обозначения:

- 1 – сердечники;
- 2 – многофазная обмотка;
- 3 – канал с жидким металлом.

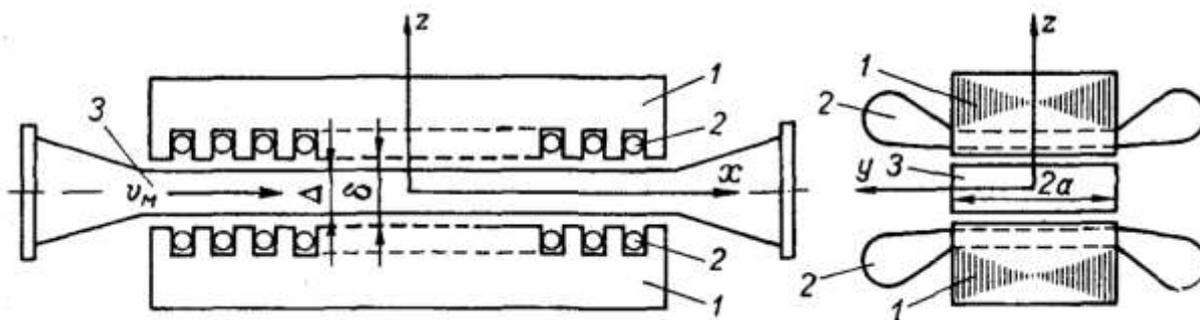


Рисунок 1 – Плоская линейная индукционная МГД-машина

На основе ферромагнитных сердечников и многофазной обмотки основан индуктор, сами сердечники состоят из электротехнической стали, а обмотка находится в пазах сердечников. Классическим вариантом обмотки будут трёхфазные, которые по принципу действия подобны асинхронным машинам. По центру расположен канал с жидким металлом, который может быть сделан из графита, керамики или металла. Между каналом и сердечниками, как правило, находится теплоизоляция, но если использовать в канале щелочные металлы, то её не добавляют, просто обмотка состоит из проводников с жаропрочной изоляцией. Сама машина находится в оболочке, наполненной инертным газом – например, аргоном. На каждом из сердечников обмотка включается согласно, поэтому магнитное поле является общим и соответствует полю асинхронной машины. Это самое поле индуцирует токи в жидком металле, что вызывает электромагнитные силы, которые действуют на жидкий металл, вызывают в нём напор и приводят в движение.

Подводя итог, можно сказать, что МГД-машины принципиально похожи на асинхронные машины и отличие заключается лишь в том, что вместо ротора и обмотки применяется жидкий металл или плазма. Помимо этого, все машины обратимые – могут быть и генераторами, и двигателями.

Список литературы

1. Вольдек, А. И. Индукционные магнетогидродинамические машины с жидкометаллическим рабочим телом / А. И. Вольдек // Учебное пособие. - Ленинград, 1970. – 272 с.
2. Вольдек, А. И. Электрические машины / А. И. Вольдек // Учебное пособие. – Ленинград, 1978. – 832 с.
3. Мумиков, А.И., Сентюрихин, Н. И. Линейные индукционные электрические машины / А.И. Мумиков, Н.И. Сентюрихин // Вопросы науки и образования: сб. статей. – Москва, 2018. - №8(20)
4. Козлов, А. Н. Устойчивость течений и явление кризиса тока в квазистационарном сильноточном плазменном ускорителе / А.Н. Козлов // Вестник ННГУ: сб. статей. – Нижний Новгород, 2011. - №4(3)
5. Вольдек, А. И. Электромагнитные насосы для жидких металлов / А. И. Вольдек // Учебное пособие. – Ленинград, 1960. - №5

AC INDUCTION MAGNETOHYDRODYNAMIC MACHINES

MAKAROV ALEXANDER VITALYEVIKH

postgraduate student, gr. EKS-20-1
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State
Technical University"

PONOMAREV PAVEL SERGEYEVICH

Scientific supervisor, Lecturer of the Department of Automated Electric Drive and Robotics.
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State
Technical University"

Abstract: the work is devoted to induction magnetohydrodynamic alternating current machines and describes their principle of operation, environment of use, advantages and disadvantages.

Keywords: magnetohydrodynamic machines, induction MHD machine, channel with liquid metal.

ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ЛИНЕЙНЫЕ МАШИНЫ

МАКАРОВ АЛЕКСАНДР ВИТАЛЬЕВИЧ

аспирант гр. ЭКС-20-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ПОНОМАРЕВ ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ

Научный руководитель, преподаватель кафедры автоматизированного электропривода и робототехники

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: статья посвящена цилиндрическим линейным машинам, принципу их действия, особенностям строения, преимуществам и недостаткам.

Ключевые слова: магнитогидродинамическая машина, цилиндрическая линейная МГД-машина, канал с жидким металлом.

Введение

Цилиндрические линейные машины являются МГД-машинами, которые работают на основе плазмы или жидких металлов. Концептуально данный вид двигателей является очень выгодным в экономическом и производственном плане, однако для этого на данный момент нет подходящих материалов – всё дело в температуре: они должны выдерживать тепловую нагрузку около 2500-3000 К в течении длительного времени.

Работа данной машины основана на возникновении магнитного поля с направлением по оси установки. Вторичные токи перемещаются по кольцевым контурам и параллельно катушкам того же вида на первичной обмотке, которые находятся в жидком металле. Данная особенность позволяет обеспечить взаимодействие первостепенного поля на всей протяженности машины, что, в свою очередь, способствует отсутствию вторичного краевого эффекта – по этой причине неактивных частей у первичной обмотки не будет. Вышеуказанные особенности являются преимуществами цилиндрических МГД-машин. Также стоит отметить схожесть с плоскими машинами того же типа.

Цилиндрическая индукционная магнитогидродинамическая машина представлена на рисунке 1, где указаны следующие обозначения:

- 1 – внешний сердечник из 4-8 пакетов (электротехническая сталь);
- 2 – многофазная обмотка индуктора (изготовлена из кольцевидных катушек и уложена в пазы сердечника);
- 3 – внутренний сердечник (по составу аналогичен внешнему);
- 4 – канал кольцевидного сечения для жидкого металла.

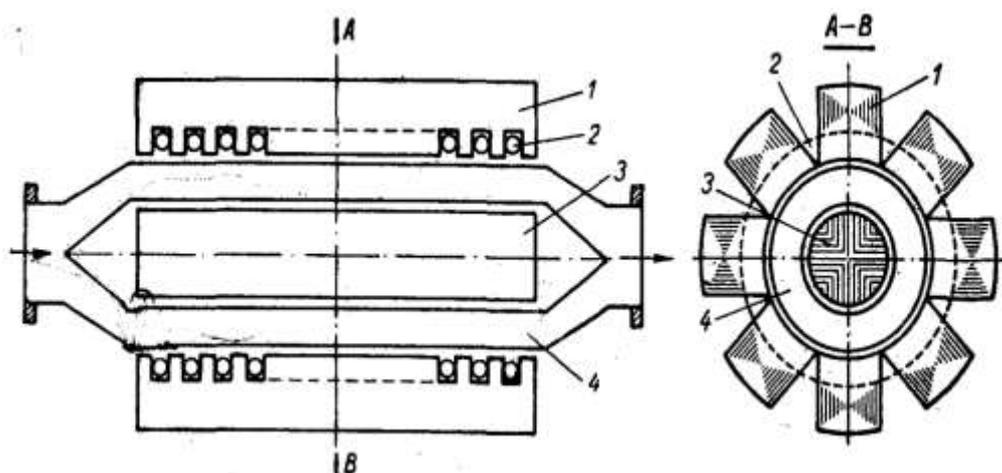


Рисунок 1 – Индукционная магнитогидродинамическая машина цилиндрического типа

Цилиндрические машины, как правило, имеют обмотку именно внешнего сердечника, потому как обмотка на внутреннем повлечет за собой сложности в плане установки и обслуживания, а также будет нужно учесть особенности охлаждения и ремонта. В свою очередь, без данной обмотки необходимо уменьшать линейную нагрузку: это приводит к обязательному увеличению размеров. Самая большая проблема – машину не разобрать без повреждения канала проведения плазмы или же жидкого металла.

Говоря о проблеме избавления от нарушения целостности тракта, стоит упомянуть изменение в виде проведения обратного конца металлопровода через внутренний сердечник, как это изображено на рисунке 2. Проблема этого способа заключается в усложнении конструкции. Ещё больше повышается конструктивная сложность по достижении точки Кюри металлом в металлопроводе ($740-780^{\circ}\text{C}$ для стали) появляется необходимость в охлаждении внутреннего сердечника.

Линейная цилиндрическая МГД-машина поддерживает возможность работы без внутреннего сердечника как такового, но тогда важно применять трубку круглой формы в качестве металлопровода. Из-за этого снижается эффективность, так как ухудшается сила магнитного поля и его равномерность распределения, однако данная конструкция дешевле и надёжнее.

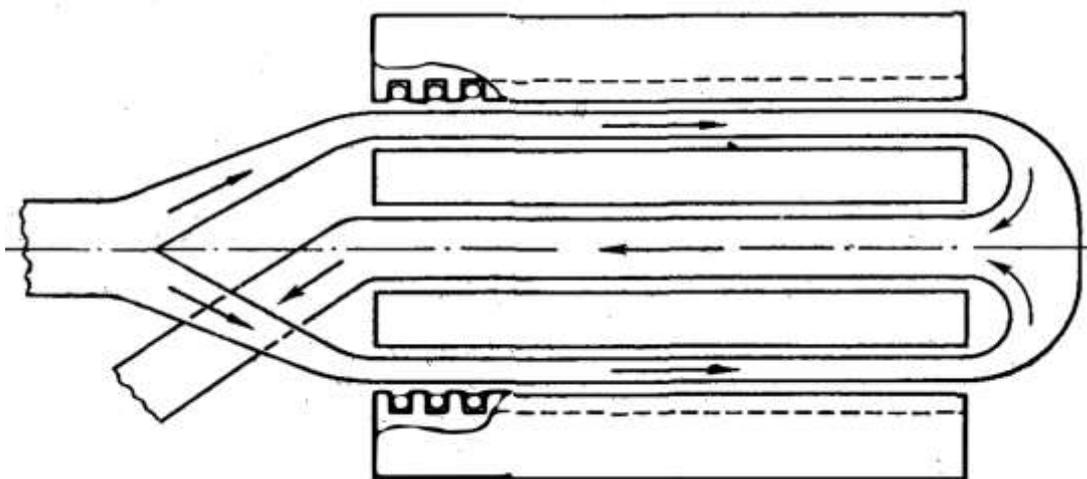


Рисунок 2 – Схема с обратным металлопроводом во внутреннем сердечнике для магнитогидродинамической машины цилиндрического типа

Подытожив, можно сказать, что магнитогидродинамическая машина цилиндрического типа имеет свои преимущества и может применяться в тех же областях, что и плоская машина, но наибольшая польза от них будет возникать при огромных расходах жидкого металла или плазма (сотни или тысячи кубических метров в час). Нельзя забывать и о недостатках, основным из которых до сих пор остаётся недостаточно высокий технологический уровень.

Список литературы

1. Вольдек, А. И. Индукционные магнитогидродинамические машины с жидкометаллическим рабочим телом / А. И. Вольдек // Учебное пособие. - Ленинград, 1970. – 272 с.
2. Вольдек, А. И. Электрические машины / А. И. Вольдек // Учебное пособие. – Ленинград, 1978. – 832 с.
3. Вольдек, А. И. Электромагнитные насосы для жидких металлов / А. И. Вольдек // Учебное пособие. – Ленинград, 1960. - №5
4. Хайруллин, И. Х., Камалов Ф. А. Математическое моделирование процессов в канале МГД-устройства с коническим осесимметричным каналом / И. Х. Хайруллин, Ф. А. Камалов // Инженерный Вестник Дона: сб. статей. – Ростов-на-Дону, 2012. - №4-2

5. Микельсон, А. Э., Саулите, У. А., Шкерстена, А. Я. Исследование цилиндрический бессердечниковых насосов / А. Э. Микельсон, У. А. Саулите, А. Я. Шкерстена // «Магнитная гидродинамика»: сб. статей. – Рига, 1965. - №2

CYLINDRICAL LINEAR MACHINES

MAKAROV ALEXANDER VITALYEVICH

postgraduate student, gr. EKS-20-1

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

PONOMAREV PAVEL SERGEYEVICH

Scientific supervisor, Lecturer of the Department of Automated Electric Drive and Robotics.
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

Abstract: The article is devoted to cylindrical linearmachines, the principle of their operation, structural features, advantages and disadvantages.

Keywords: magnetohydrodynamic machine, cylindrical linear MHD machine, channel with liquid metal.

ПОСТРОЕНИЕ ИНДУКТОРНОЙ МАШИНЫ С ВНЕШНИМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ В СРЕДЕ MATLABSIMULINK

МАНТУХОВ ЕГОР СЕРГЕЕВИЧ

Аспирант гр. ЭКС-21-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

НАДЕЖИНА ОЛЬГА АЛЕКСАНДРОВНА

Студент гр. ЦТЛ-22-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

МЕЩЕРЯКОВ ВИКТОР НИКОЛАЕВИЧ

Научный руководитель, д.т.н., профессор кафедры электропривода.
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

КРЮКОВ ОЛЕГ ВИКТОРОВИЧ

д.т.н., зам. директора по науке ООО «ТСН-электро». Нижний Новгород

Аннотация: в данной статье рассматривается экспериментальная модель пуска индукторной машины с внешним возбуждением. Рассмотрен метод пуска данной электрической машины, как пуск шагового электропривода.

Ключевые слова: индукторная машина, шаговый электропривод, MatLab, Simulink, электропривод переменного тока.

Актуальность работы определяется необходимостью усовершенствования электроприводов, с этой целью можно применять различные методы управления электроприводом переменного тока. Так за основу для исследования был взят вентильно-индукторный электропривод.

В первом приближении для запуска и написания примерного алгоритма пуска вентильно-индукторного электропривода, за основу была взята модель шагового электропривода в среде Simulink. Для этого необходимо рассмотреть поближе элементы, из которых будет состоять схема пуска.

На рисунке 1 показан блок SignalBuilder позволяет создавать кусочно-линейные источники сигналов и использовать их в модели.

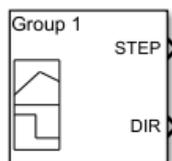


Рисунок 1 – Блок SignalBuilder

На рисунке 2 показан блок Drive, который позволяет управлять электроприводом, открывая и закрывая нужные ключи, а также формировать необходимое напряжение для управления электроприводом.

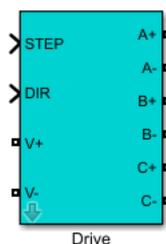


Рисунок 2 – Блок управления Drive

На рисунке 3 показан блок StepperMotor (STM), который является математической моделью шагового двигателя.

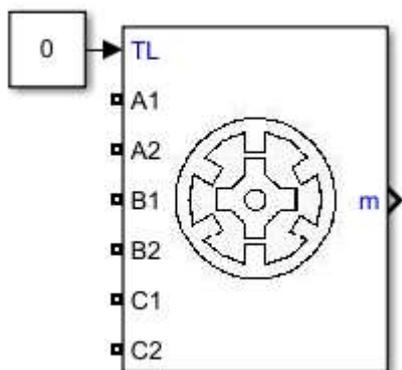


Рисунок 3 – Блок шагового двигателя StepperMotor

На рисунке 4 показана схема управления шаговым трехфазным двигателем, с помощью которой будет пускаться прототип индукторной машины с внешним возбуждением.

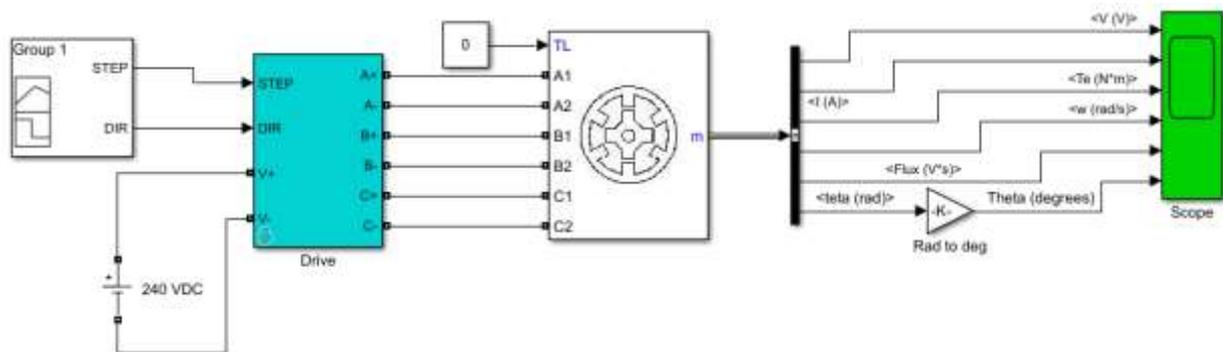


Рисунок 4 – Схема управления 3-х фазным шаговым двигателем

На рисунке 5 показано напряжение управления шаговым трехфазным двигателем, с помощью которой формируется синусоида, и происходит вращение двигателя. На рисунке 6 показан выходной ток, а на рисунке 7 показан момент шагового 3-х фазного двигателя.

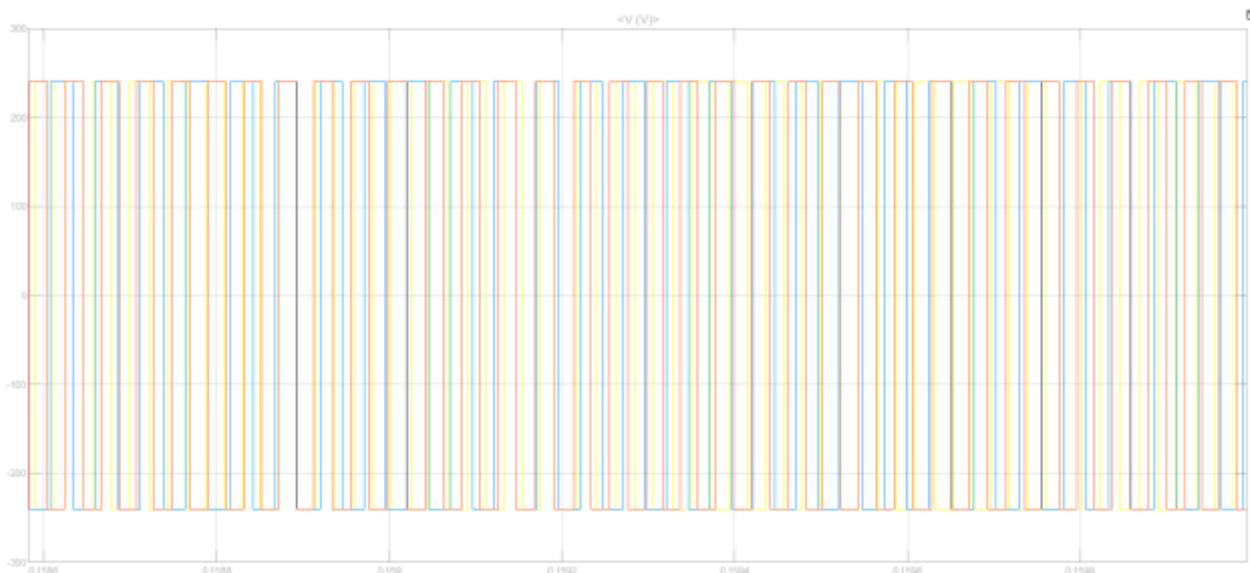


Рисунок 5 – График выходного напряжения шагового 3-х фазного двигателя

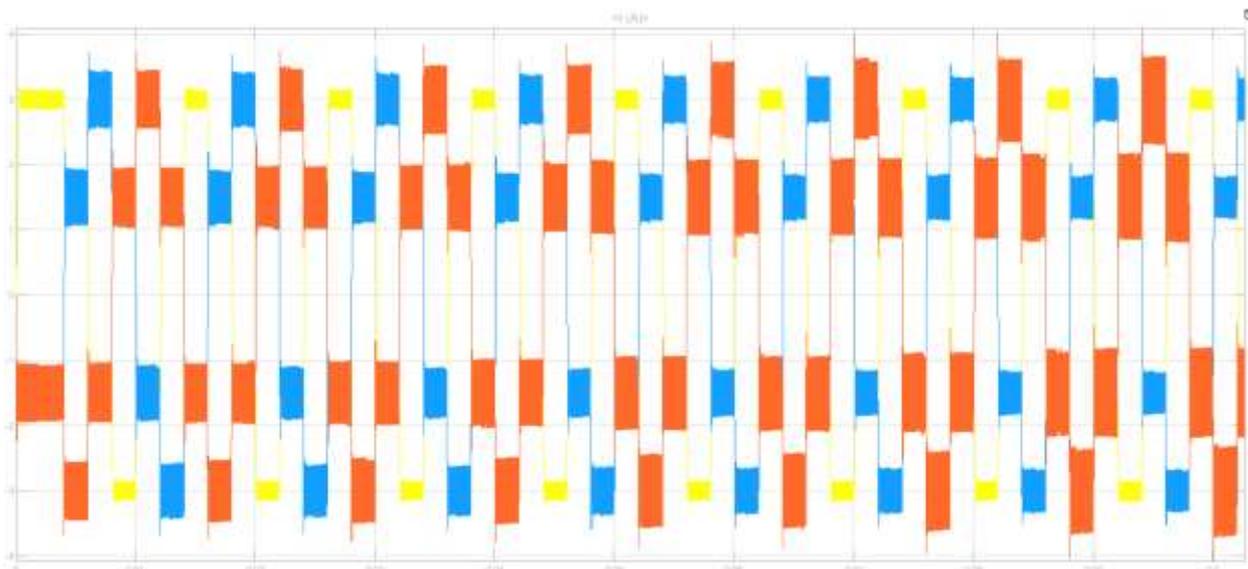


Рисунок 6 – График выходного тока шагового 3-х фазного двигателя

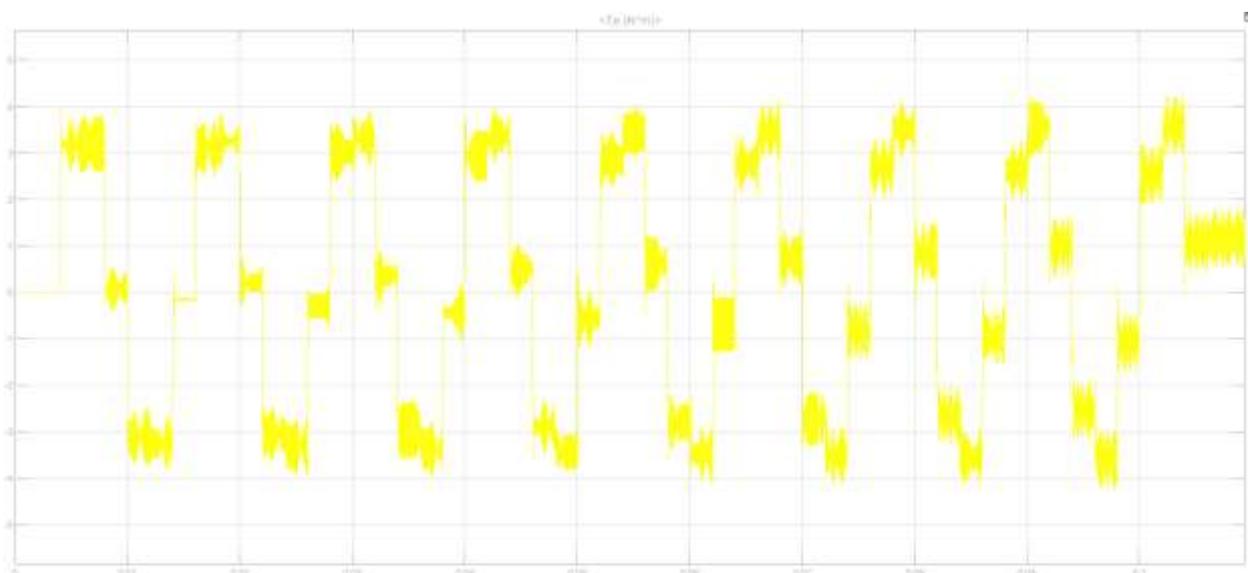


Рисунок 7 – График выходного момента шагового 3-х фазного двигателя

Рассмотренная система управления 3-х фазным шаговым электроприводом может быть использована для запуска индукторного двигателя с независимым возбуждением. Дальнейшая проверка потребует разработки экспериментального образца электропривода и проведение экспериментов на экспериментальном образце с дальнейшей доработкой или усовершенствованием.

Список литературы

1. Александровский С. В., Петренко Ю. Н. Анализ схем питания вентильно-индукторных двигателей // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2010. №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-shem-pitaniya-ventilno-induktornyh-dvigatelay>
2. Мещеряков В.Н., Данилов В.В. Повышение энергоэффективности асинхронного электропривода с векторным управлением за счет регулирования продольной составляющей тока статора при неполной статической нагрузке / Электротехнические системы и комплексы. 2018. № 3 (40). С. 4-11.
3. T. V. Sinyukova, E. V. Sentsov and A. V. Sinyukov, "Neural Network Speed Observers,"

2019 1st International Conference on Control Systems, Mathematical Modelling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA), Lipetsk, Russia, 2019, pp. 320-324, doi: 10.1109/SUMMA48161.2019.8947484.

4. Сенцов Е.В. Моделирование бездатчиковой системы управления электропривода печного рольганга с применением нейросетевых объектов / Е.В. Сенцов, В.Н. Мещеряков //Электротехнические системы и комплексы. 2023. № 1 (58). С. 49-56.

5. Ключев В.И. Теория электропривода.-2-е изд., перераб. и доп.- М.: Энергоатомиздат, 1998.-704с.

6. Разработка и исследования электропривода на базе индукторного двигателя с независимым возбуждением тема диссертации и автореферата по ВАК РФ 05.09.03, кандидат технических наук Постников, Сергей Геннадьевич

7. Разработка и исследование вентильно-индукторного электропривода с независимым возбуждением и микроконтроллерным управлением тема диссертации и автореферата по ВАК РФ 05.09.03, кандидат технических наук Жарков, Александр Александрович

8. Развитие теории и практическая реализация векторных электроприводов переменного тока с микропроцессорным управлением тема диссертации и автореферата по ВАК РФ 05.09.03, доктор технических наук Виноградов, Анатолий Брониславович

CONSTRUCTION OF AN INDUCTOR MACHINE WITH EXTERNAL EXCITATION IN THE MATLAB SIMULINK ENVIRONMENT

MANTUKHOV EGOR SERGEEVICH

Graduate student gr. EX-21-1

Lipetsk State Technical University

NADEZHINA OLGA ALEXANDROVNA

Student gr. TsTL-22-1

Lipetsk State Technical University

MESHCHERYAKOV VIKTOR NIKOLAEVICH

Scientific supervisor, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Electric Drive Department.

Lipetsk State Technical University

KRYUKOV OLEG VIKTOROVICH

Doctor of Technical Sciences, Deputy Director for Science, TSN-Elektro LLC. Nizhny Novgorod

Abstract: this article discusses an experimental model of starting an inductor machine with external excitation. The method of starting this electric machine is considered, like starting a stepper electric drive.

Keywords: inductor machine, stepper electric drive, MatLab, Simulink, AC electric drive.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

МАРКОВ АЛЕКСЕЙ СЕРГЕЕВИЧ

аспирант гр. ЭКС-20-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

БЕЛЕНОВ ДАНИИЛ АНДРЕЕВИЧ

аспирант гр. ЭКС-21-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ПОНОМАРЕВ ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ

аспирант гр. ЭКС-22-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

МЕЩЕРЯКОВ ВИКТОР НИКОЛАЕВИЧ

Научный руководитель, д.т.н. профессор, заведующий кафедры электропривода
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: Перспективным направлением исследований является улучшение динамических свойств энергоэффективных асинхронных электроприводов с векторным регулированием, достигаемое за счет внедрения средств коррекции.

Применение разработанных систем коррекции повышает энергетические и динамические характеристики системы асинхронного электропривода с векторным регулированием. Предложено использование дополнительного регулируемого силового ключа в звене постоянного тока с обратной связью через ускорение.

Ключевые слова: электропривод переменного тока, система управления, коррекция, пусковой момент, энергоэффективность, векторное регулирование, транзисторный ключ, асинхронный двигатель.

Разработка актуальных и эффективных систем управления (СУ) электроприводами (ЭП) играет существенную роль и позволяют реализовать энергоэффективные решения в системах асинхронного электропривода. Одним из основных направлений модернизации электрооборудования является создание эффективных систем управления электроприводом (СУЭП), которые решают актуальные задачи производственного процесса [1]. Ключевые факторы: сокращения использования ресурсов, надежность применяемой системы и рост производительности оборудования. Системы обратной связи по скорости используются для получения жестких механических характеристик электропривода. Многоканальные системы управления на базе микропроцессорных средств создаются, как производное, в результате разработки эффективных СУ [2].

Исследование, направление которого рассматривает вопрос использования управляемого силового коммутатора в звене постоянного тока (DC) преобразователя частоты (ПЧ) рассматривается в [3]. Недостатком данного устройства является колебания момента двигателя при пуске, изменение среднего значения момента и ускорения электропривода в процессе пуска. Решение с использованием ключа в цепи постоянного тока изучено недостаточно и требует дополнительных исследований в области использования отличных от рассмотренных способов обратной связи.

Рассмотрим вариант для управления входным напряжением инвертора в DC-звене ПЧ с обратной связью по ускорению. Выражение тока статора, направленного вдоль оси q , будет выполняться по уравнению:

$$\vec{I}_s = I_{sq} \vec{e}_q$$

Разность между заданной границей тока и реальным значением, она же ошибка регулирования тока, служит сигналом для управления коммутацией силовых ключей в релейном регуляторе тока (РРТ), который в свою очередь управляет инвертором. В системе управления электроприводом с РРТ [3], в отличие от СУ со стандартным ПИ-регулятором [4] значение тока в DC-звене устанавливается на основе работы транзисторных ключей. Вход РРТ получает задание для каждой фазы. Ошибка регулирования тока в РРТ вычисляется по формуле.

$$\begin{cases} \Delta I_{IA} = I_{IA} - I_{IA}^* ; \\ \Delta I_{IB} = I_{IB} - I_{IB}^* ; \\ \Delta I_{IC} = I_{IC} - I_{IC}^* . \end{cases}$$

Управление силовым транзисторным коммутатором в DC – звене располагается релейным регулятором (РР) с заданной уставкой разницы ускорений между заданным рассчитанным с электрической машины. Силовой коммутатор в нормальном состоянии является закрытым контактом. При достижении значений разницы ускорений, которые совпадают со значением уставки РР, силовой ключ переходит в открытое состояние, тем самым разрывая силовую цепь, и сохраняется в нем до достижения значений разницы ускорений на уровне меньшем границы уставки РР, далее снова закрывается. Аналогичные итерации сохраняются до тех пор, пока двигатель не выйдет на свои номинальные параметры, а силовой ключ не перейдет в закрытое состояние [5]. Компенсационный конденсатор и L-фильтр включаются DC-звене для накопления энергии и сглаживания напряжения.

Исследование работы электропривода проводилось с помощью модели в MatLab Simulink векторной СУ с дополнительным управляемым транзисторным ключом. Результаты моделирования момента при подаче нагрузки во время запуска двигателя и с задержкой по времени представлены на рисунках 1-2 соответственно.

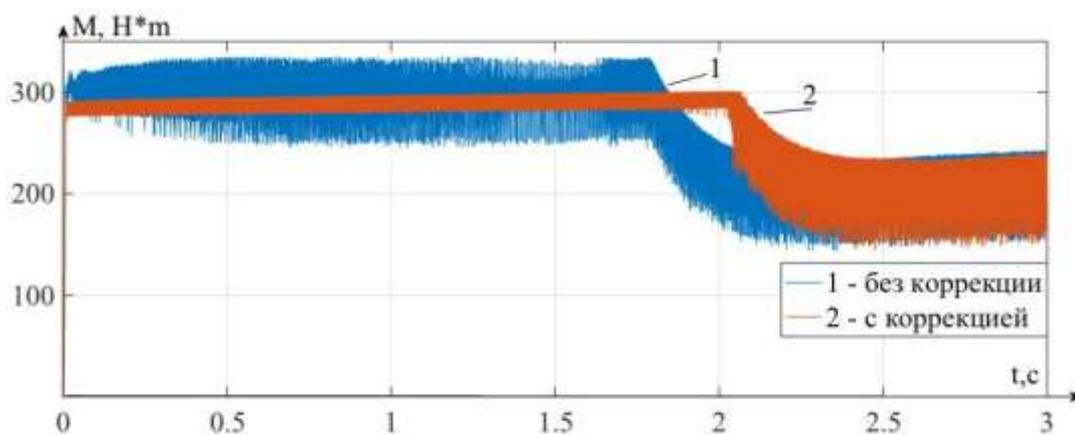


Рисунок 1 – Момент при старте под нагрузкой с коррекцией и без коррекции

В отличие от пуска без дополнительной компенсации с векторным управлением «разброс» характеристик будет снижен, сохраняя при этом требуемый момент на валу двигателя.

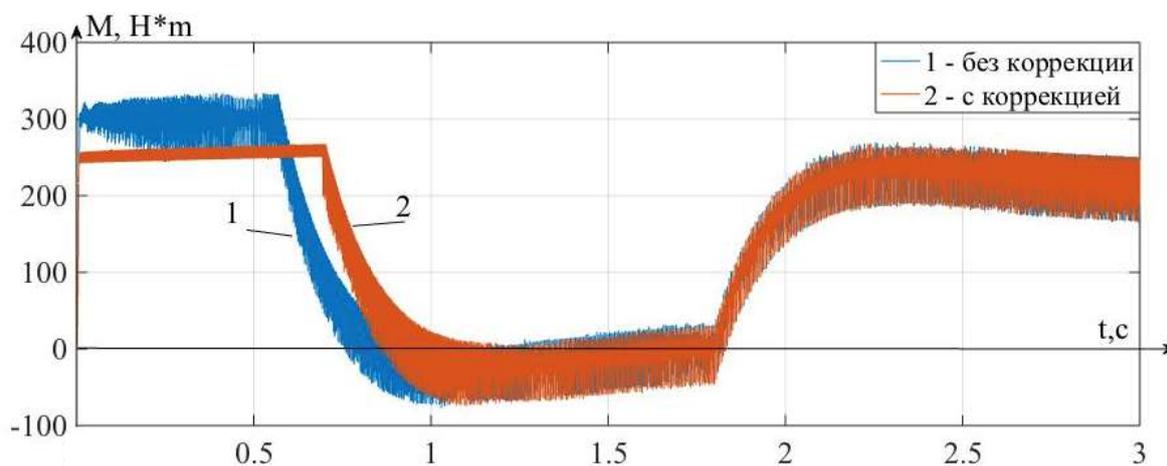


Рисунок 2 – Момент с задержкой подачи нагрузки с коррекцией и без коррекции

В случае запуска двигателя без нагрузки допускается его разгон на меньших оборотах со снижением динамического воздействия на оборудования и сокращением энергетических затрат. Временная разница выхода на номинальные характеристики, при одновременной подачи нагрузки не значительна

Предлагаемая система коррекции асинхронного электропривода позволяет улучшить динамические и энергетические характеристики электропривода, обеспечить лучшую стабилизацию пускового момента двигателя при заданном ускорении.

Список литературы

1. Данилов В.В. Повышение эффективности систем частотно-индуктивного электропривода транспортных механизмов. Дис. кандидат тех. наук: 05.09.03. - Губа. гостех. Университет, Липецк, 2019 - 182 с.
2. Yu-Jun Zheng. An AC/AC Buck Inverter with Three-Step Current Commutation for Series Dynamic Voltage Regulator. Department of Electrical Engineering National Sun Yat-sen University Master Thesis. People's Republic of China, 2018 – 60 S.
3. Патент №166655. Устройство для управления электроприводом переменного тока // Мещеряков В.Н., Воеков В.Н./ Патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Липецкий государственный технический университет» (ЛГТУ) (RU) - №2016113199/07; заявл. 06.04.2016; опубл. 10.12.2016. Бюл. №34.
4. Пикалов В.В., Бойков А.И., Муравьев А.А., Евсеев А.М. Разработка регулятора, поддерживающего напряжение в контуре постоянного тока в случае кратковременного отключения напряжения питающей сети // Мехатроника, автоматика и робототехника, 2018. No 2. С. 105-106.
5. Патент на полезную модель РФ №225004. H02 27/06. Устройство для управления электроприводом переменного тока. В.Н. Мещеряков, А.В Пикалов, А.С. Марков, Г.А. Терновских. Опубл. 11.04.2024. Бюл. №11.

AC MOTOR CONTROL SYSTEM

MARKOV ALEXEY SERGEEVICH

Postgraduate student gr. ECS-20-1
Lipetsk State Technical University

BELENOV DANIIL ANDREEVICH

Postgraduate student gr. ECS-21-1
Lipetsk State Technical University

PONOMAREV PAVEL SERGEEVICH

Postgraduate student gr. ECS-22-1
Lipetsk State Technical University

MESHCHERYAKOV VIKTOR NIKOLAEVICH

Scientific supervisor, Doctor of Technical Sciences Professor,
Head of the Electric Drive Department
Lipetsk State Technical University

Abstract: The current vector of research is increasing the quality of the dynamic characteristics of energy-saving inductive electric drives due to vector control, which is achieved by introducing compensation means.

The use of the developed correction systems increases the energy and dynamic characteristics of the induction electric drive system with vector control. It is proposed to use an additional adjustable power switch in the DC link with feedback through acceleration.

Keywords: AC electric drive, control system, correction, starting torque, energy efficiency, vector control, transistor switch, asynchronous motor.

УСТРОЙСТВО ИНДИКАЦИИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИМПУЛЬСА НА ПРИБОРЫ УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

МАРЬЯСИН ОЛЕГ ЮРЬЕВИЧ

доцент кафедры кибернетики

ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет»

ЧАЙКИН ОЛЕГ МИХАЙЛОВИЧ

старший преподаватель кафедры кибернетики

ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет»

Аннотация: в данной статье рассмотрено устройство индикации «электронная пломба» для фиксации электромагнитного воздействия на цифровые приборы учета с целью выявления хищений электроэнергии.

Ключевые слова: электромагнитный импульс, хищения электроэнергии, приборы учета, устройство индикации.

Качественное развитие микроэлектроники, повышение ее быстродействия и миниатюризация, повсеместное внедрение микропроцессорных систем породило новый вид угрозы – электромагнитный терроризм. Электромагнитный терроризм заключается в оказании преднамеренного электромагнитного деструктивного воздействия (ПЭДВ) на микропроцессорные средства с целью их разрушения или нарушения работы [1].

Одной из областей, привлекающих повышенное внимание электромагнитных террористов является электроэнергетика. Проблема ПЭДВ на электроэнергетические системы становится все более актуальной в связи с тремя современными тенденциями [2]:

- расширяющимся применением микроэлектроники и микропроцессорной техники в электроэнергетике;
- возрастанием уязвимости микропроцессорной техники к внешним электромагнитным воздействиям вследствие постоянного увеличения плотности микроэлементов в объеме кристалла, увеличения производительности микропроцессоров, снижения рабочих напряжений и т. д.;
- интенсивными разработками специальных импульсных излучателей для генерирования ЭМИ, ведущимися во многих странах, и прогрессом, достигнутым в этой области [3].

С помощью специальных устройства, генерирующих электромагнитный импульс (ЭМИ), можно воздействовать на современные цифровые приборы учета (ПУ) и тем самым блокировать их работу, что приводит к прекращению выполнения функций по учету потребления электроэнергии и к ее хищению. Такие устройства, получили неофициальное название «импульсные пушки» (ИП). Для противодействия хищениям электроэнергии с использованием ИП необходимо обеспечить разработку решений обеспечивающих фиксацию фактов ПЭДВ от ИП на цифровые ПУ с целью привлечения злоумышленников к административной ответственности.

Все виды индикации воздействия ЭМИ можно разделить на следующие группы:

1. Индикация, основанная на пеленгации электромагнитного воздействия (индикаторы поля);
2. Индикация, основанная на анализе состояния ПУ и нагрузки;
3. Индикация, основанная на эффектах от воздействия ЭМИ на материалы.

Работа УИ первой группы основана на том, что электромагнитный спектр ЭМИ, генерируемого ИП относится к радиочастотному спектру. Радиочастотный спектр – это часть электромагнитного спектра с частотами от 0 Гц до 3000 ГГц. Следовательно, для фиксации ЭМИ от ИП с частотой до 1 ГГц можно использовать радиоприемные устройства, диапазон принимаемых частот которых совпадает или содержится внутри спектра ЭМИ.

Второй вид индикации предполагает непрерывный мониторинг состояния электросчетчика и нагрузки в сети. При реализации данного способа устанавливается факт неработоспособности ПУ и проверяется наличие тока в сети потребителя. В этом случае УИ выдает сигнал, который изменяет состояние индикатора. Достоинством способа является его универсальность, так как он подходит для любых способов хищения электроэнергии, приводящих к остановке (зависанию) ПУ.

Эффект от воздействия электромагнитного поля на материалы проявляется в изменении свойств материалов, которые можно визуально зафиксировать. Чаще всего это изменение цвета. Эффект от воздействия магнитного поля широко применяется при создании антимагнитных пломб. К сожалению, в настоящее время нет доступных материалов, которые нужным образом изменяют свои свойства при воздействии ЭМИ от ИП.

Основные требования, предъявляемые к УИ от воздействия ЭМИ:

- надежная фиксация ЭМИ от различных типов ИП на достаточном расстоянии от ПУ;
- индикация, четко различимая визуально на достаточном расстоянии от УИ, под различными углами и на фотографиях;
- устойчивость УИ к воздействию ЭМИ;
- возможность регистрации факта ПЭДВ с привязкой ко времени;
- возможность передачи информации о ПЭДВ внешними устройствам;
- простота технической реализации, монтажа и настройки;
- невысокая стоимость по сравнению со стоимостью ПУ.

Анализ требований, предъявляемыми к УИ показывает, что одновременно удовлетворить все требования практически невозможно. Такие требования, как возможность регистрации факта ПЭДВ с привязкой ко времени и передачи информации о ПЭДВ внешними системам приходят в противоречие с требованиями простоты технической реализации и невысокой стоимости. Поэтому, по мнению авторов, необходимо разработать не одно техническое решение по реализации УИ, а несколько, которые бы в итоге удовлетворяли большинству требований. Тогда потребитель сможет выбрать то решение, которое удовлетворяет наиболее важным, с точки зрения потребителя, требованиям. Следуя данной логике ЯГТУ совместно с компанией ПАО «Россети Центр» были разработаны УИ «электронная пломба» и «черный ящик» [4]. В данной статье будет рассмотрено УИ «электронная пломба» [5].

УИ «электронная пломба» представляет собой компактное (размер 32x32x34 мм) и недорогое (стоимостью около 300 руб.) устройство. По принципу действия оно относится к устройствам, основанным на пеленгации ЭМИ. Надежная фиксация ЭМИ на достаточном расстоянии от ПУ обеспечивается с помощью антенн, расположенных в корпусе УИ. В процессе разработки УИ рассматривались различные варианты конструкции внешних и внутренних антенн. В результате было принято решение использовать антенну, находящуюся внутри корпуса УИ. Поэтому ее форма и размеры ограничиваются размерами корпуса УИ. Так как генерируемое ИП электромагнитное поле является поляризованным, то чувствительность УИ к электромагнитному воздействию будет определяться взаимным расположением антенн ИП и УИ. Поэтому для достижения относительной независимости от расположения антенны ИП была разработана составная конструкция антенны УИ, состоящая из двух кольцевых рамок, расположенных перпендикулярно друг другу. Каждая рамка содержит по 8 витков для каждой полярности.

В УИ «электронная пломба» сигнал с антенны после фильтра поступает на затвор полевого транзистора, выполняющего роль УВЧ и порогового устройства. Данный транзистор имеет пороговое напряжение затвора от 1 В. Время включения транзистора составляет до 8 нсек. Лабораторные испытания показали, что при данных параметрах транзистора УИ срабатывает от воздействия известных типов ИП с расстояния 15–17 см. Воздействие помехи, возникающей при коммутации сети 0,4 кВ автоматическим выключателем, установленным рядом с ИП, при этом не наблюдалось. С одной стороны, это обусловлено более высоким

пороговым напряжением срабатывания схемы, а с другой – отсутствием подключения к сети 220 В, провода которой являются излучателем сигнала помехи.

УИ «электронная пломба» имеет простую конструкцию и включает только аналоговые компоненты, поэтому оно наименее подвержено влиянию ЭМИ. УИ не требует внешнего электропитания, простое в монтаже, и может крепиться с помощью двухстороннего скотча к боковым стенкам ПУ или в непосредственной близости от корпуса ПУ. Внешний вид УИ «электронная пломба», установленного над ПУ Меркурий 231 АМ-01 на этапе опытной эксплуатации на одном из объектов филиала ПАО «Россети Центр» – «Ярэнерго», показан на рисунке 1.



Рисунок 1 – Внешний вид УИ «электронная пломба»

УИ «электронная пломба» включает электронную ячейку памяти, которая позволяет сохранять информацию о факте воздействия и состоянии устройства. Достоинством электронной ячейки памяти является простота реализации и низкое энергопотребление. Недостаток такой ячейки – это необходимость постоянного наличия электропитания. Данного недостатка лишен элемент памяти на базе предохранителя, который будет сохранять свое состояние, после срабатывания предохранителя, несмотря на перерывы в электропитании, пока не будет произведена его замена [6]. Недостаток этого элемента – высокие энергозатраты, необходимые для срабатывания предохранителя.

На корпусе УИ находятся два светодиодных индикатора. Один из них (красный) используется для визуальной фиксации факта воздействия ЭМИ от ИП. Другой (зеленый) для проверки работоспособности УИ. Использование в качестве индикатора светодиодов, а не ЖКИ связано с более простой реализацией их схемы включения и более низкой стоимостью. Так как устройство использует для электропитания автономный элемент питания, то для продления срока службы устройства необходимо снизить энергопотребление устройства. Поэтому включение светодиодов возможно только при проверке состояния УИ с помощью нажатия на кнопку, скрытую внутри корпуса устройства, доступ к которой можно получить через маленькое отверстие в корпусе с использованием тонкого длинного стержня (скрепки). В остальное время устройство почти не потребляет электроэнергию. Таким образом, обеспечивается работа устройства без замены элемента питания до 7 лет. Сброс УИ в

начальное состояние осуществляется с помощью кнопки, скрытой внутри корпуса устройства, доступ к которой возможен только при вскрытии корпуса устройства и нарушении пломбы.

В ближайшем будущем следует ожидать рост числа случаев хищения электроэнергии с использованием ИП. Поэтому энергоснабжающие организации и производители ПУ и должны быть готовы к такому развитию ситуации. Для бюджетных моделей ПУ предпочтительным вариантом будет использование разработанного ЯГТУ совместно с компанией ПАО «Россети Центр» УИ «электронная пломба». Достоинствами этого устройства являются его малые размеры, высокая стойкость к воздействию ЭМИ, отсутствие внешнего электропитания и низкая стоимость.

Список литературы

1. Борисов А.А., Владимиров Д.Р. Технические средства поражения информационных комплексов // Региональная информатика и информационная безопасность, Вып. 4. 2017. С. 54.
2. Мамонтов Г.Д., Шалашов Е.В., Шестаков С.Н. Оборонная безопасность электроэнергетических систем // Материалы заочной научной конференции «Повышение обороноспособности государства 2022», Санкт-Петербург. 2022. С. 20–25.
3. Гуревич В.И. Преднамеренные электромагнитные деструктивные воздействия – угроза национальной безопасности страны // Проблемы анализа риска, Т. 13, № 5, 2016. С. 44–51.
4. Акуличев В.А., Микрюков В.В., Пацев А.А., Плещев В.В., Сметанин А.Е., Наумов Д.В., Марьясин О.Ю. Противодействие использованию импульсных пушек для хищений электроэнергии // Электроэнергия. Передача и распределение, № 3, 2023. С. 28–32.
5. Патент № 252252 Российская Федерация. Устройство для фиксации электромагнитного излучения: № 2023133876: заявл. 19.12.2023; опубл. 16.04.2024 / Акуличев В.О., Микрюков В.В., Пацев А.А., Марьясин О.Ю., Чайкин О.М., Наумов Д.В., Сметанин А.Е., Плещев В.В.
6. Патент № 252240 Российская Федерация. Устройство для фиксации электромагнитного излучения в широком спектре частот: № 2023133878: заявл. 19.12.2023; опубл. 16.04.2024 / Акуличев В.О., Микрюков В.В., Пацев А.А., Марьясин О.Ю., Чайкин О.М., Наумов Д.В., Сметанин А.Е., Плещев В.В.

INDICATION DEVICE OF ELECTROMAGNETIC PULSE IMPACT ON ELECTRICITY METERING DEVICES

MARYASIN OLEG

Associate Professor of the Department of Cybernetics
Yaroslavl State Technical University

CHAYKIN OLEG

Senior Lecturer of the Department of Cybernetics
Yaroslavl State Technical University

Abstract: this article describes an “electronic seal” indication device for detecting an electromagnetic pulse on digital metering devices in order to prevent electricity theft.

Keywords: electromagnetic pulse, electricity theft, metering devices, indicating devices.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА КЛЕТИ РЕВЕРСИВНОГО СТАНА 1200 ПАО «НЛМК»

МАСТЕРОВ НИКИТА АЛЬБЕРТОВИЧ

студент гр. М-ЭП-23-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: в данной статье произведен расчет параметров и дальнейшее моделирование системы управления двигателем постоянного тока в среде MATLAB. Рассмотрены графики переходных процессов смоделированной системы.

Ключевые слова: двигатель постоянного тока, система управления, моделирование, двухзонное регулирование, MATLAB.

Современные металлургические электроприводы характеризуются широким внедрением автоматизации технологических процессов. Это относится ко всем без исключения мощным и высокопроизводительным механизмам в доменном, сталеплавильном и прокатном производствах. Усложнение технологических процессов, увеличение скорости и необходимость точного выполнения этих процессов исключают возможность ручного управления. В этих случаях оператор не может контролировать процесс или управлять многими параметрами. В таких случаях необходима автоматизированная система, для управления электроприводами и поддержания работы всей системы на необходимом уровне.

Примером такого мощного прокатного агрегата, является исследуемый реверсивный стан 1200, а в частности клеть реверсивного стана рабочие валки которого вращает мощный двигатель постоянного тока. Характеристики этого двигателя представлены в таблице 1.

Таблица – 1 Характеристики ДПТ ПБК215/45

P_n , МВт	n , об/мин	I_n , А	$r_{я+г.д.п.}$, Ом	r_b , Ом	W_b , витк	Φ_n , мкВб	$I_{вн}$, А	J , кг·м ²	U_n , В
3,2	320/520	4530	0,0021	0,65	105	21,2	99,5	1935	750

Система управления двигателем постоянного тока питается от двух трехфазных трехобмоточных трансформаторов 10кВ/825В. Для обеспечения необходимого якорного тока, параллельно установлены 4 реверсивных тиристорных преобразователя которые работают как две двенадцатипульсные системы выпрямления. В цепи возбуждения установлен трехфазный двухобмоточный трансформатор 380В/410В. Напряжение подается на нереверсивный тиристорный преобразователь, который управляет величиной тока возбуждения тем самым обеспечивая возможность работы двигателя во второй зоне.

Для моделирования системы управления произведен расчет параметров двигателя и трансформатора.

После чего рассчитывается регулятор тока и регулятор скорости. Передаточная функция регулятора тока, настроенного на модульный оптимум:

$$W_{р\tau}(p) = k_{р\tau} + \frac{1}{T_{ит} \cdot p} = 0,357 + \frac{1}{0,0476 \cdot p}.$$

Передаточная функция регулятора скорости, настроенного на модульный оптимум:

$$W_{р\kappa}(p) = k_{р\kappa} + \frac{1}{T_{ис} \cdot p} = 26,4 + \frac{1}{0,00303 \cdot p}.$$

Далее идет расчет регуляторов для работы во второй зоне. Передаточная функция регулятора магнитного потока:

$$W_{p\phi}(p) = k_{p\phi} + \frac{1}{\frac{T_{\Sigma}}{k_{p\phi}} \cdot p} = 0,0068 + \frac{1}{\frac{0,000955}{0,0068} \cdot p} = 0,0068 + \frac{1}{0,14 \cdot p}.$$

Передаточная функция регулятора ЭДС, настроенного на модульный оптимум:

$$W_{p\omega}(p) = \frac{k_{o\phi}}{2 \cdot (2 \cdot T_{пв} + T'_{я}) \cdot k_c \cdot k_{o\omega} \cdot p\omega} = \frac{471698}{2 \cdot (2 \cdot 0,01 + 0,0484) \cdot 1,04 \cdot 10^6 \cdot 0,0108 \cdot p\omega} = \frac{1}{0,00316 \cdot p\omega}.$$

Ввиду того что параметры регулятора скорости зависят от магнитного потока, необходимо произвести перерасчет передаточной функции:

$$W_{p\omega}(p) = k_{p\omega} + \frac{1}{T_{ис} \cdot p} = 143,11 + \frac{1}{0,000559 \cdot p}.$$

Полная математическая модель двухзонной системы управления, включающей якорную цепи и цепь возбуждения приведена на рисунке 2.

Результаты моделирования приводятся на рисунках 1, 3. Задание на скорость подается с запаздыванием в 1 секунду, это необходимо чтобы пуск не производился с ослабленным магнитным потоком. Ток статический равный току номинальному подается в момент времени пол секунды. Пуск осуществляется с небольшим перерегулированием из-за наличия И-составляющей в РС. Задание на скорость обрабатывается без ошибок. Переход во вторую зону осуществляется за счет ослабления магнитного потока, значение момента начинает падать, а скорость расти до своего максимального значения. По графикам переходных процессов можно сделать вывод что выбранная система управления рассчитана верна и обеспечит необходимую работу привода клетки реверсивного стана.

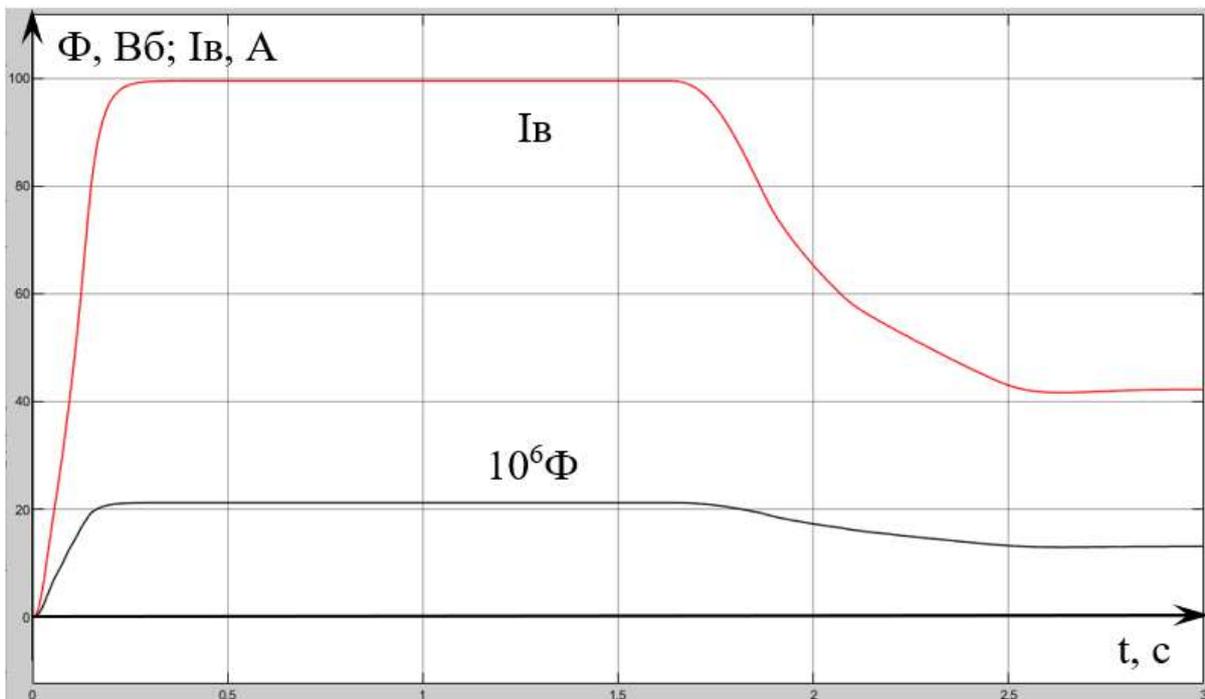


Рисунок 1 – Переходные процессы магнитного потока и тока возбуждения при $I_c = I_n$

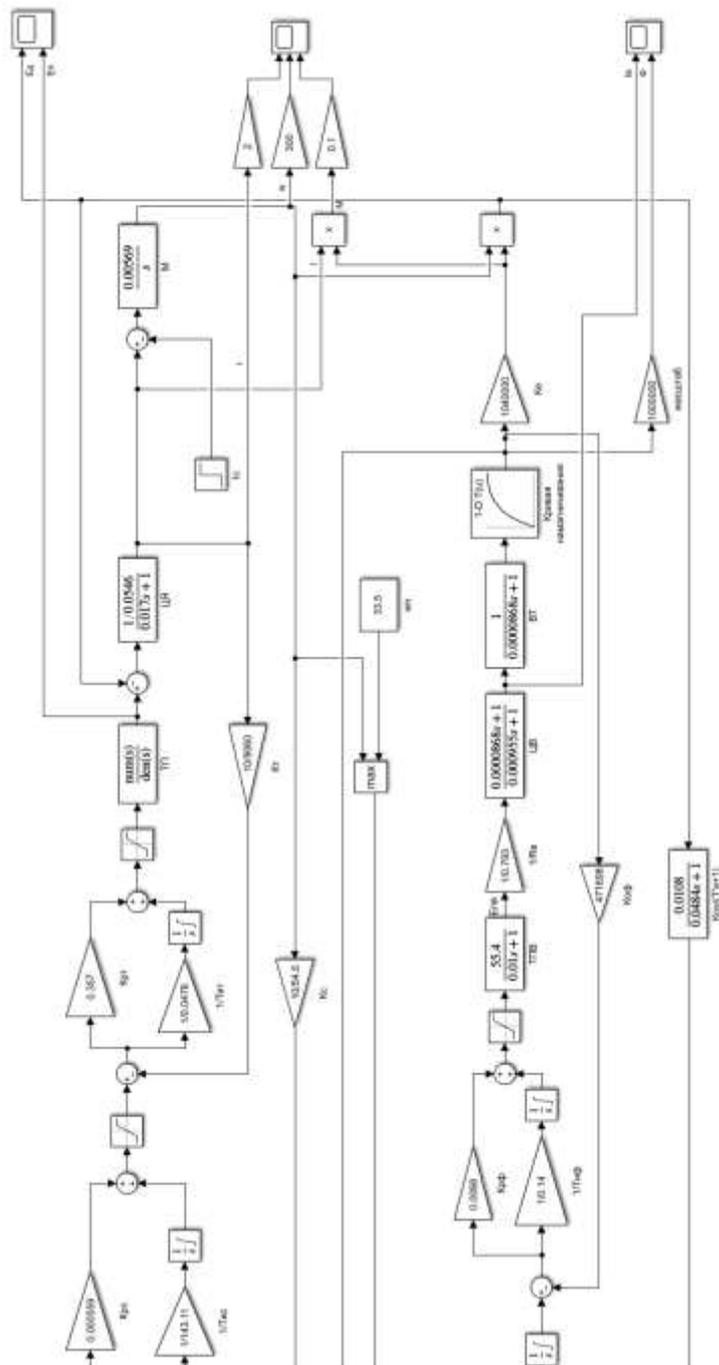


Рисунок 2 – Математическая модель двухзонного регулирования двигателя ДПТ ПБК215/45

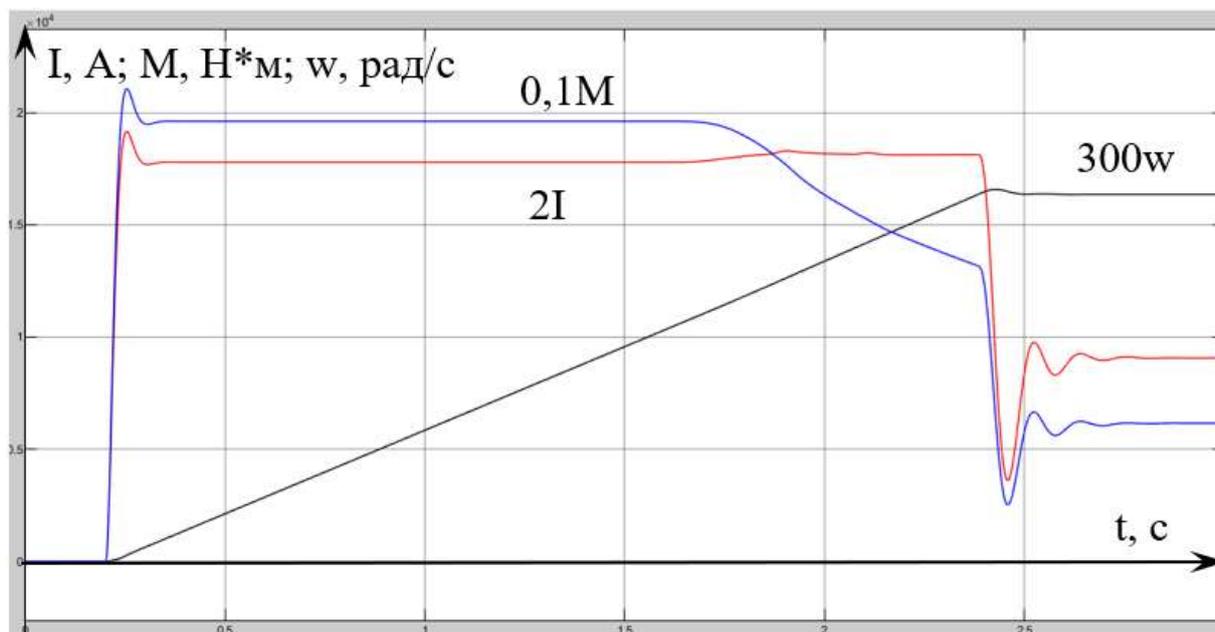


Рисунок 3 – Переходные процессы тока якоря, момента и скорости при $I_c=I_n$

Список литературы

1. Онищенко, Г.Б. Теория электропривода [Текст]: учебник для вузов / Г.Б. Онищенко. – М.: ООО «Образование и исследование», 2013 – 352 с.
2. Анучин, А.С. Системы управления электроприводами: Учебник для вузов / А.С. Анучин. – М.: Издательский дом МЭИ, 2015. – 373 с.

STUDY OF THE STRUCTURE, CLASSIFICATION AND PRINCIPLE OF REACTORS

MASTEROV NIKITA
student gr. M-EP-23-1
Lipetsk State Technical University

Abstract: this article, the parameters are calculated and a long-range simulation of the DC motor control system in the MATLAB environment is performed. Graphs of transient processes of the simulated system are considered.

Keywords: DC motor, control system, simulation, two-zone regulation, MATLAB.

НАБЛЮДАТЕЛЬ СОСТОЯНИЯ В ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ НАТЯЖЕНИЯ

МИКИТИНСКИЙ АЛЕКСАНДР ПЕТРОВИЧ

Доцент кафедры «Электроснабжение и электропривод»

ФГБОУ «Южно-российский государственный политехнический университет (НПИ)»

КРАВЧЕНКО ОЛЕГ АЛЕКСАНДРОВИЧ

Ректор, доктор технических наук

ФГБОУ «Тульский государственный университет»

МИКИТИНСКИЙ КОНСТАНТИН АЛЕКСАНДРОВИЧ

Аспирант

ФГБОУ «Южно-российский государственный политехнический университет (НПИ)»

Аннотация: в настоящее время из композиционных материалов изготавливаются различные изделия, которые используются в различных отраслях промышленности. Качественные характеристики изделий, в основном, определяет работа электротехнической системы (ЭТС) натяжения композиционного материала. Во время изготовления изделий параметры объекта управления изменяются в широких пределах. Работа электропривода, в свою очередь, определяется информацией о данных параметрах. В данной статье предлагается методика расчета модуля упругости материала, который изменяется во время работы оборудования.

Ключевые слова: намотка изделий, “сухая” композиционная лента, привод натяжного устройства, адаптация.

Композиционные изделия, изготавливаемые методами намотки и выкладки, находят широкое применение во многих отраслях промышленности [1-5]. Намотка изделий осуществляется или с использованием “сухой”, предварительно пропитанной и высушенной ленты, или “мокрой” композиционной лентой. В последнем случае процесс пропитки ленты совмещен с процессом намотки. При выкладке ленты используется “сухая” пропитанная лента.

Натяжение, с которым лента наматывается на изделие, определяет качество будущих конструкций [6,7]. Сложность построения и эксплуатации электротехнических систем (ЭТС) натяжения заключается в нестационарности параметров наматываемого материала. Полученные линеаризованные уравнения [8] процесса намотки “сухого” композиционного материала содержат коэффициенты, которые в процессе намотки могут изменяться. Значительную часть этих коэффициентов легко вычислить, зная вектор состояния системы управления электроприводом. Однако, до настоящего времени не удавалось вычислить модуль упругости “сухого” наматываемого материала E . Модуль упругости в процессе “сухой” намотки изменяется из-за того, что по технологии часто наматываемый материал разогревается перед укладкой на изделие, что изменяет его характеристики. Кроме того, при намотке могут использоваться различные композиционные материалы.

До настоящего времени для таких систем традиционным была настройка регуляторов ЭТС из условия “грубости” к изменяющимся параметрам намоточного оборудования [9,10]. Расплатой за такую настройку является существенное ухудшение быстродействия ЭТС натяжения.

Рассмотрим возможность определения модуля упругости в процессе намотки изделий из “сухого” композиционного материала.

Натяжение на участке намотки определяется выражением [8]:

$$\frac{dS_1}{dt} = \frac{1}{l_1(t)} \cdot [(S_1 - S_0 + EF) \cdot (v_2 + \frac{dl_1(t)}{dt} - \frac{S_1 - S_0 + EF}{EF} \cdot v_1)] + \frac{dS_0}{dt}, \quad (1)$$

где S_1 – натяжение ленты на участке намотки, в Н; $l_1(t)$ – длина зоны деформирования материала в момент времени t , в м; v_1, v_2 – соответственно линейная скорость входа материала в зону намотки и линейная скорость намотки материала на изделие, в м/с; S_0 – натяжение ленты на предыдущем участке, в Н; E, F – соответственно модуль упругости и площадь поперечного сечения ленты, в Н/м² и м².

Данное выражение является нелинейным и его использовать для анализа и синтеза систем регулирования затруднительно. Поэтому в [8] произведена линеаризация данного выражения и показано, что линеаризованная математическая модель достаточно точно описывает переходные процессы в упругой ленте.

Линеаризованное уравнение имеет вид:

$$k_1 = \left(\frac{\partial \Phi}{\partial v_1} \right)^*; k_2 = \left(\frac{\partial \Phi}{\partial v_2} \right)^*; k_3 = \left(\frac{\partial \Phi}{\partial S_0} \right)^*; k_4 = \left(\frac{\partial \Phi}{\partial l_1} \right)^*; k_5 = \left(\frac{\partial \Phi}{\partial \left(\frac{dl_1}{dt} \right)} \right)^*; T_1 = 1 / \left(\frac{\partial \Phi}{\partial S_1} \right)^*, \quad (2)$$

где
$$\Phi = \frac{dS_1}{dt} - \frac{1}{l_1(t)} \cdot \frac{dl_1(t)}{dt} \cdot S_1 + \frac{(EF - S_0)^2}{l_1(t) \cdot EF} \cdot v_1 - \frac{EF - S_0}{l_1(t)} \cdot v_2 + \frac{2 \cdot (EF - S_0)}{l_1(t) \cdot EF} \cdot v_1 \cdot S_1 - \frac{1}{l_1(t)} \cdot v_2 \cdot S_1 + \frac{1}{l_1(t) \cdot EF} \cdot v_1 \cdot S_1^2 - \frac{EF - S_0}{l_1(t)} \cdot \frac{dl_1(t)}{dt} - \frac{dS_0}{dt}.$$

При намотке изделий “Конус”, “Кокон”, “Шар” с высокими требованиями к точности отработки заданного закона силовой намотки параметры объекта регулирования изменяются в широких пределах, до 20 раз в процессе намотки. В данном случае целесообразно применять адаптивные ЭТС регулирования натяжения [11]. Такие системы смогут обеспечить максимальное быстродействие в широком диапазоне изменения параметров объекта регулирования. При получении математического описания объекта регулирования и его последующей линеаризации [8] получены математические зависимости коэффициентов линеаризации от параметров процесса намотки.

В соответствии с законом Гука для растягиваемой ленты на участке намотки:

$$S_1 = k_{\text{УПР1}} \cdot \tilde{\Delta}l_1(t). \quad (4)$$

Здесь $\tilde{\Delta}l_1(t)$ – абсолютное удлинение ленты на участке намотки в момент времени t ; $k_{\text{УПР1}}$ – коэффициент упругости ленты.

Коэффициент упругости зависит как от свойств материала, так и от размеров ленты (площади поперечного сечения F и длины l_1):

$$k_{\text{УПР1}} = \frac{EF}{l_1(t)}, \quad (5)$$

где E – модуль упругости материала (модуль Юнга).

Процесс намотки идет постоянно, часть ленты выходит из зоны деформации (намотки), а часть входи. В начальный момент времени $t = 0$, натяжение ленты равно нулю, поэтому $\tilde{\Delta}l_1(t) = 0$. Очевидно, что:

$$\tilde{\Delta}l_1 = \int_0^{t_1} (v_2(t) - v_1(t)) dt + \Delta l_1(t_1), \quad (6)$$

где t_1 – время, в которое рассчитывается модуль упругости ленты; $\Delta l_1(t)$ – изменение длины зоны деформации ленты за счет изменения положения ленты на наматываемом изделии.

С учетом (4) – (5) имеем:

$$EF = \frac{l_1(t)}{\tilde{\Delta}l_1(t)} \cdot S_1(t). \quad (7)$$

Если параметры ленты измеряются непрерывно в процессе работы оборудования, то выражение (7) с учетом выражения (6) переписется в виде:

$$E = \frac{l_1(t_N) / F}{\int_0^{t_N} (v_2(t) - v_1(t)) dt + \Delta l_1(t_N)} \cdot S_1(t_N). \quad (8)$$

Здесь $t_1, t_2, \dots, t_{N-1}, t_N$ – время, в которое определяются параметры ленты.

Для создания адаптивного регулятора ЭТС необходимо измерять S_1, S_0, v_1, v_2, l_1 и знать информацию о E . На основании данной информации в темпе с процессом производится изменение параметров регулятора контура натяжения. Функциональная схема адаптивной ЭТС регулирования натяжения приведена на рис. 1.

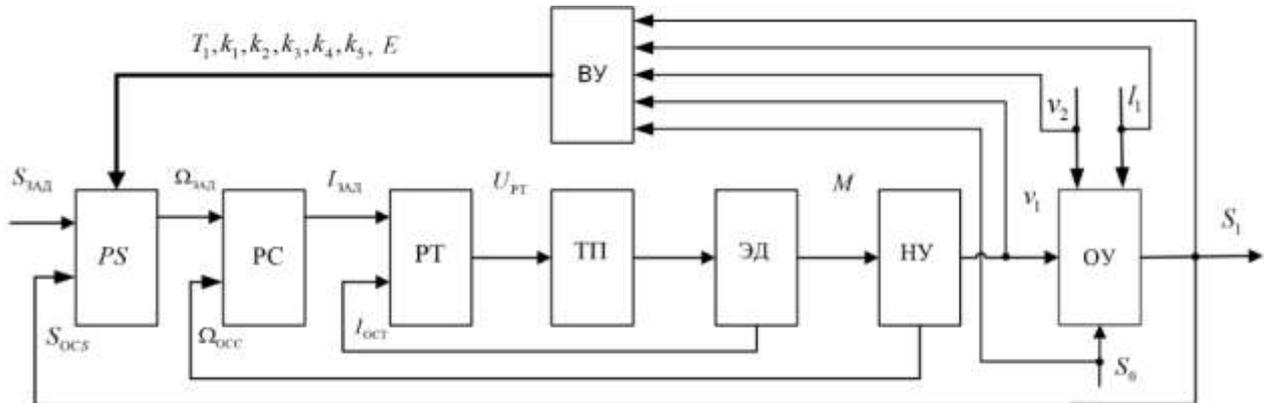


Рисунок 1 – Функциональная схема адаптивной ЭТС регулирования натяжения “сухой” композиционной ленты

Данная функциональная схема содержит вычислительное устройство ВУ, которое на основании информации о технологическом процессе осуществляет вычисления коэффициентов линеаризации T_1, k_i, E . На основании этой информации регулятор PS изменяет уставки, обеспечивая заданное качество регулирования.

Предложен подход к определению модуля упругости наматываемого материала в процессе намотки изделия.

Список литературы

1. Боголюбов, В. С. Технология производства изделий и интегральных конструкций из композиционных материалов в машиностроении / В. С. Боголюбов, А. Ю. Братухин, О. С. Сироткин. - Москва : Готика, 2003. - 515 с.
2. Полимерные композиционные материалы в конструкциях летательных аппаратов» / Г. М. Гуняев, В. В. Кривонос, А. Ф. Румянцев [и др.] // Конверсия в машиностроении. - 2004. - № 4. - С. 65-69.
3. Композиционные материалы в конструкции летательных аппаратов : сборник статей : пер. с англ. / под. ред. А. Л. Абибов. - Москва : Машиностроение, 1975. - 272 с.
4. Алсаид, М. Обоснование применения многослойных композиционных материалов в судостроении / М. Алсаид, А. Саламех // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. - 2019. - № 2. - С. 37-47.
5. Сидорова, В. В. Применение композитных материалов в нефтегазовой промышленности / В. В. Сидорова // Гидравлические машины и системы транспортировки нефти и газа : сб. науч. тр. - Воронеж, 2019. - Вып. 7. - С. 84-91.
6. Болотин, В. В. Влияние технологических факторов на механическую надежность конструкций из композитов / В. В. Болотин // Механика полимеров. 1972. - № 3. - С. 529-540.
7. Технологические факторы и их влияние на качество изделий из композитов, изготовляемых методом намотки // Ю. В. Василевич, К. А. Горелый, С. В. Сахоненко [и др.] // Актуальные вопросы машиноведения. - 2015. - Т. 4. - С. 194-196.

8. Микитинский, А. П. Математическая модель лентопротяжного тракта станка для намотки изделий из композиционных материалов / А. П. Микитинский // Известия вузов. Электромеханика. - 2016. - № 1. - С. 62-66.

9. Елсуков, В.С. Электромеханическая система натяжения при намотке изделий сложной геометрической формы из "сухого" композиционного материала / В.С. Елсуков, А.П. Микитинский, Б.Н.Лобов // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. 2023. Т. 192. № 1. С. 43-50.

10. Микитинский, А.П. Робастная система управления натяжением при намотке лонжеронов из «сухой» композиционной ленты / А.П. Микитинский, Б.Н. Лобов / В сб.: Кибернетика энергетических систем. Сборник материалов XLIV Международной научно-технической конференции. Новочеркасск, 2023. С. 463-475.

11. Микитинский, А. П. Синтез адаптивной системы управления натяжения при намотке изделий из “мокрого” композиционного материала / А. П. Микитинский // Сборник трудов XI Международной (XXII Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу АЭП 2020 (Санкт-Петербург, 4-7 окт. 2020 г.) / Национальный исследовательский институт ИТМО. - Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2021. - С. 65-69.

AN OBSERVER OF THE STATE IN ELECTRICAL TENSION SYSTEMS

MIKITINSKIY ALEXANDER

Associate Professor of the Department of Power Supply and Electric Drive
Novocherkassk South Russian State Polytechnic University (NPI)

KRAVCHENKO OLEG

Rector, Doctor of Technical Sciences
Tula State University

MIKITINSKIY KONSTANTIN

Graduate student
Novocherkassk South Russian State Polytechnic University (NPI)

Abstract: Currently, various products are made from composite materials, which are used in various industries. The qualitative characteristics of the products are mainly determined by the operation of the electrical tension system (ETS) of the composite material. During the manufacture of products, the parameters of the control object vary widely. The operation of the electric drive, in turn, is determined by information about these parameters. The paper proposes a method for calculating the modulus of elasticity of a material that changes during operation of the equipment.

Keywords: product winding, “dry” composite tape, tensioner drive, adapter

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С АКТИВНЫМ ВЫПРЯМИТЕЛЕМ НАПРЯЖЕНИЯ ШАХТНОЙ ПОДЪЁМНОЙ МАШИНЫ НА ФОРМУ НАПРЯЖЕНИЯ СЕТИ

МУЛЕМБА ФАБИУ БУМБА АБЭЛ

аспирант кафедры «Энергетика и энергоэффективность горной промышленности»
Университет науки и технологий МИСИС

ШЕВЫРЕВ ЮРИЙ ВАДИМОВИЧ

Научный руководитель, д.т.н., профессор кафедры «Энергетика и энергоэффективность горной промышленности»
Университет науки и технологий МИСИС

Аннотация: рассмотрено влияние частотно-регулируемого безредукторного электропривода шахтной подъемной машины с трехуровневым активным выпрямителем напряжения на форму напряжения питающей сети. Представлены результаты расчёта суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения K_u на входе 6 кВ преобразовательного трансформатора. Предложены решения по уменьшению искажений синусоидальной формы напряжения питающей сети.

Ключевые слова: шахтная подъемная машина, безредукторный синхронный электропривод, активный выпрямитель напряжения, суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения.

Увеличения грузоподъемности, максимальные скорости перемещения подъемных сосудов, увеличения глубин шахт, и, следовательно, мощности приводного двигателя, приводят к расширению применения систем безредукторного тихоходного электропривода. Одним из вариантов реализации такого электропривода является безредукторный электропривод на основе тихоходного синхронного электродвигателя (СД), получающего питание от трехуровневого преобразователя частоты (ПЧ) с активным выпрямителем напряжения (АВН) [1].

Внедрение АВН для электропривода шахтных подъемных машин (ШПМ) решает следующие задачи [2]:

- сохранение неизменным выпрямленное напряжение, даже при сетевом напряжении ниже номинального;
- воздействуя на напряжение управления формируются практически синусоидальные фазные токи сети;
- когда ПЧ генерирует реактивную мощность, АВН осуществляет её управление;
- когда имеет место тормозные режимы работы ШПМ, осуществляется режим рекуперации электроэнергии.

Однако применение СД с ПЧ вызывает значительное искажение синусоидальной формы сетевого напряжения. При искажении формы напряжения сети возникают потери электроэнергии и соответственно сокращается срок службы электрооборудования, в тоже время имеет место большие погрешности в электрических измерительных приборах и ухудшается работа систем управления и связи. Принимая во внимание, что шахтные и шахтные подъемные установки являются наиболее сложными и ответственными объектами в технологической цепочке транспортировки руды из забоя на поверхность, исследование влияния синхронного электропривода переменного тока с ПЧ на питающую сеть является актуальной научной задачей.

В настоящей научной работе приведены результаты исследования и вычислений суммарного коэффициента гармонических составляющих K_u на входе 6 кВ преобразовательного трансформатора (ПТР) для безредукторного синхронного электропривода скиповой подъемной машины. Глубина подъема 1390 м, скорость подъема

16,5 м/с, грузоподъёмность 50 тонн. Для управления СД и АВН применяются векторные системы управления [2, 3]. В силовой части ПЧ применяются запираемые тиристоры (IGCT). Для управления тиристорами используется широтно-импульсная модуляция. Частота коммутации тиристоров равна 250 Гц.

Мощность привода при исследовании равна номинальной 5,5 МВт. Исследования проводились на разработанной компьютерной модели в среде MatlabSimulink.

На рисунке 1 представлены полученные на модели график напряжения сети и его гармонический состав K_u на входе 6 кВ преобразовательного трансформатора (ПТР). Наличие АВН приводит к искажению синусоидальной формы напряжения сети. В гармоническом составе напряжения по величине выделяются 5 и 7 гармоники. Наличие в спектре напряжения высокочастотных гармоник объясняется применением широтно-импульсной модуляции при управлении полупроводниковыми приборами АВН.

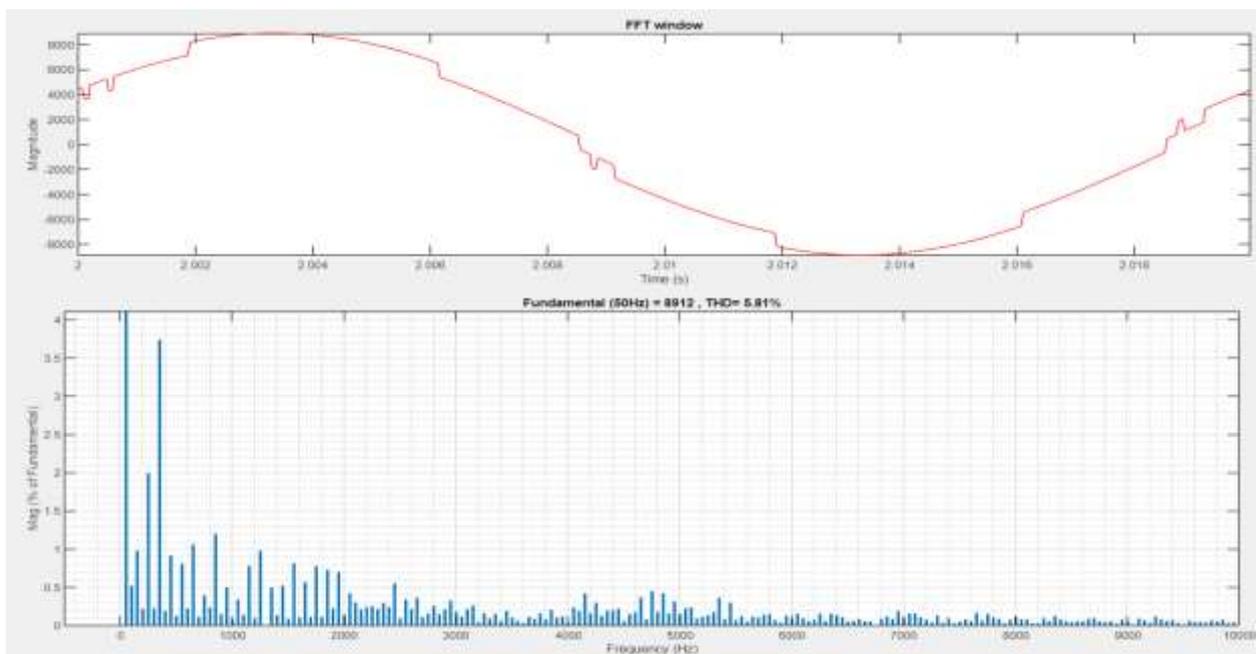


Рисунок 1 – Форма напряжения и его гармонический состав на входе 6 кВ преобразовательного трансформатора.

Для более детального изучения влияния частотно-регулируемого электропривода с АВН на питающую сеть и выработки решений по снижению искажения синусоидальной формы напряжения сети на модели были выполнены исследования влияния АВН на питающую сеть при изменении её мощности короткого замыкания $S_{кз}$. Полученная для этого случая зависимость суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения K_u при изменении мощности короткого замыкания представлена на рисунке 2.

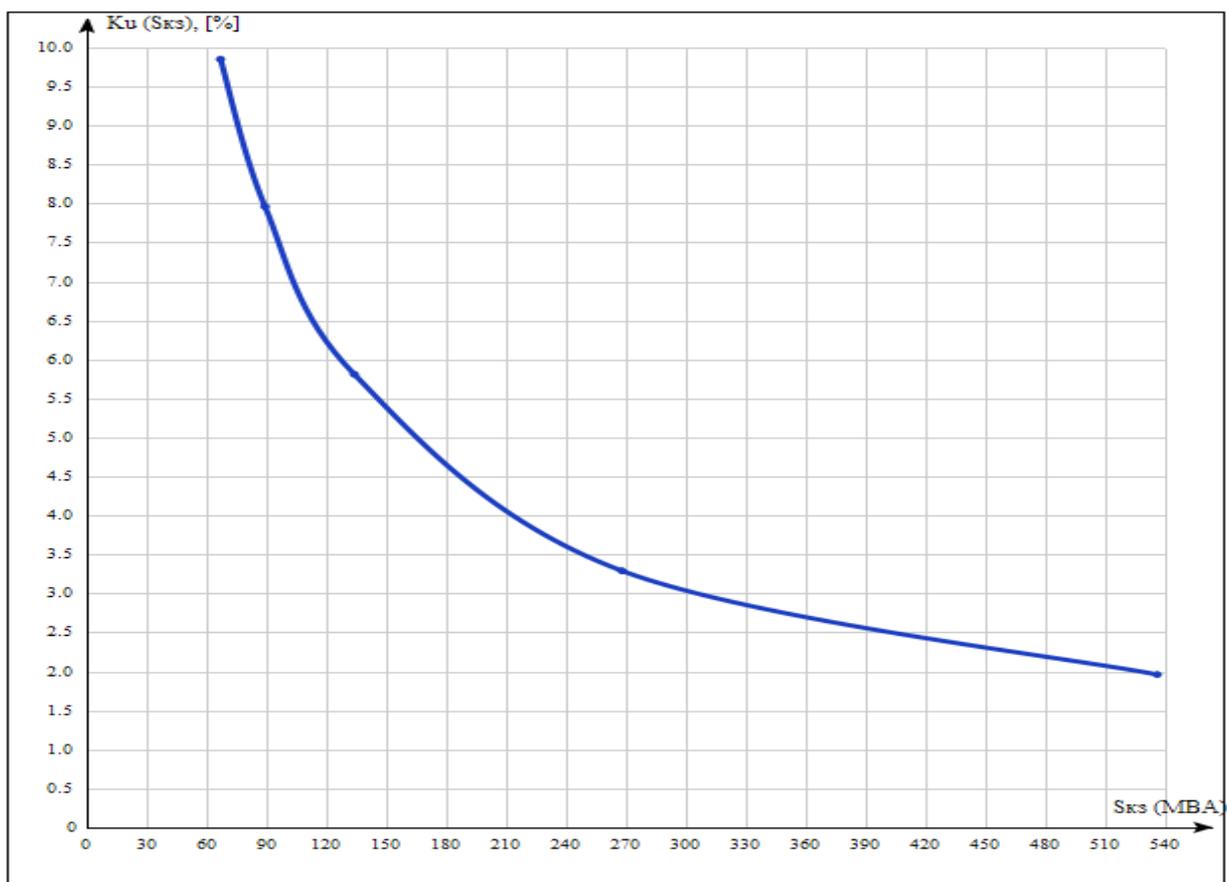


Рисунок 2 – Зависимость суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения K_u от мощности короткого замыкания сети.

Увеличение мощности короткого замыкания сети приводит к уменьшению K_u . Для обеспечения нормативного значения K_u , равного 5% [4], мощность короткого замыкания сети в рассматриваемом случае должна быть больше 165 МВА. При этом стоит учитывать, что наличие других нелинейных нагрузок, подключенных к точке питания ПЧ может привести к превышению $K_u > 5\%$. Также следует помнить, что нормами определяется не только суммарный коэффициент искажений, но и величины всех гармоник отличных от 50 Гц.

В случае применения преобразователей частоты с АВН необходимо проектировать питающую сеть таким образом, чтобы её мощность короткого замыкания превышала значение, при котором K_u равен нормативному числу 5%. В этом случае также необходимо учитывать другие нелинейные нагрузки, которые искажают питающую сеть.

Если при заданном $S_{кз}$ значения K_u превышают нормативные, то необходимо применение специальных регуляторов качества электроэнергии. В качестве такого регулятора качества электроэнергии предлагается включать фильтро-компенсирующее устройство (ФКУ) на входе 6 кВ преобразовательного трансформатора. Другим вариантом является выбор алгоритма управления полупроводниковыми приборами, позволяющий исключить наиболее значимые гармоники в спектре напряжения АВН [5, 6, 7].

Список литературы

1. Электропривод современных шахтных подъёмных машин / Б. И. Абрамов, А. Г. Иванов, В. А. Шиленков [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – № 5-2. – С. 145-162. – DOI 10.25018/0236_1493_2022_52_0_145. – EDN EEUUCY.
2. Виноградов, А. Б. Алгоритмы управления высоковольтным многоуровневым преобразователем частоты / А. Б. Виноградов, А. А. Коротков; Министерство образования и

науки Российской Федерации, Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина. – Иваново: Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, 2018. – 184 с. – ISBN 978-5-00062-295-7. – EDNUTVMTV.

3. Виноградов, А. Б. Векторное управление электроприводами переменного тока / А. Б. Виноградов; Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина. – Иваново: Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, 2008. – 320 с. – ISBN 978-5-89482-579-3. – EDN NREFIB.

4. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. - М.: Стандартинформ, 2014. - 20 с.

5. Николаев, А. А. Разработка и исследование усовершенствованного алгоритма ШИМ активного выпрямителя с изменяемыми таблицами углов переключения / А. А. Николаев, И. Г. Гилемов // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2020. – № 6. – С. 48-56.

6. Agelidis, V.G. Multiple sets of solutions for harmonic elimination PWM bipolar waveforms: Analysis and experimental verification / V.G. Agelidis, A. Balouktsis, I. Balouktsis, C. Cossar // IEEE Transactions on Power Electronics. – 2006. – Vol. 21. – No. 2. – pp. 415-421.

7. Разработка и исследование усовершенствованных алгоритмов ШИМ активных выпрямителей с целью улучшения качества электроэнергии во внутризаводских электрических сетях 6-35 кВ / А. А. Николаев, М. В. Буланов, А. С. Маклаков, И. Г. Гилемов // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2023. – № 6. – С. 69-81. – DOI 10.17588/2072-2672.2023.6.069-081. – EDN CPMPAT.

STUDY OF THE EFFECTS OF A FREQUENCY-CONTROLLED ELECTRIC DRIVE WITH AN ACTIVE VOLTAGE RECTIFIER (AVR) OF A MINE HOISTING MACHINE ON THE FORM OF MAINS VOLTAGE

MULEMBA FABIU BUMBA ABEL

PhD Student of the Department of Energy and Energy Efficiency of Mining Industry
MISIS University of Science and Technology

SHEVYREV YURI VADIMOVICH

Scientific supervisor, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Energy and Energy Efficiency of the Mining Industry
MISIS University of Science and Technology

Abstract: the influence of a frequency-controlled gearless electric drive of a mine lifting machine with a three-level active voltage rectifier on the voltage form of the supply network is considered. The results of calculating the total coefficient of the harmonic components of the voltage on the 6 kV side of the converter transformer are presented. Solutions to reduce the distortion of the sinusoidal shape of the supply voltage are proposed.

Keywords: shaft lifting machine, gearless synchronous electric drive, active voltage rectifier, total coefficient of harmonic voltage components.

ОСНОВНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

НИКИФОРОВ ГРИГОРИЙ ИГОРЕВИЧ

Студент ЭП-21-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ПОНОМАРЕВ ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ

Научный руководитель, преподаватель кафедры электропривода
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: статья посвящена описанию воздушных линий электропередач. Рассматриваются и разбираются основные составляющие ВЛ, а также роль, которую они играют в данном устройстве.

Ключевые слова: воздушные линии, провода, опоры, изоляторы.

Для того чтобы получить электрическую энергию, используются различные электростанции (ЭС), такие как ГЭС (гидроэлектростанции), ТЭС (теплоэлектростанции), АЭС (атомные электростанции), солнечные и ветряные электростанции, принцип работы которых основан на появлении механической энергии, от которой приходит в работу установленный генератор. А чтобы передать энергию на большие расстояния (до 3000 километров) используются линии электропередач. Посредством повышения напряжения за счёт трансформатора от ЭС энергия передаётся на центральные распределительные подстанции по воздушным линиям (ВЛ) электропередач.

Одними из основных элементов ВЛ являются провода, несущие опоры и изоляторы. Разберём в отдельности каждый из составляющих данных линий электропередач (ЛЭП).

Провода ВЛ могут быть как одно-, так и многопроволочными, биметаллическими и пустотелыми. Однопроволочные, как следует из названия, выполняют из одной цельной литой жилы круглого сечения. Многопроволочные же провода изготовлены из нескольких проволок сравнительного небольшого сечения. Такие провода имеют одну центральную проволоку, вокруг которой методом обматываются остальные, тем самым увеличивая активную площадь поперечного сечения. Многопроволочные провода являются более приоритетными в эксплуатации по сравнению с однопроволочными в связи с их большей пластичностью (легко изгибаются при воздействии ветра). Кроме того, конструкция таких проводов решает проблему возникновения поверхностного эффекта в проводах предыдущего типа. Пустотелые провода разрабатывались для применения на ВЛ напряжением 220 кВ и выше с целью уменьшения отрицательных последствий явления коронного разряда на проводах (формирование объёмного разряда ввиду большого напряжения и ионизации молекул воздуха). Пустотелая конструкция помогает избежать перерасхода проводящего металла и удорожания ВЛ. Биметаллические провода являются результатом сочетания механической стойкости стали, проволоки из которой располагают в центре, и высокой проводимостью меди, проволоки из которой укладываются снаружи.

Провода ВЛ по уровню изоляции могут быть неизолированными, изолированными и защищёнными. Неизолированные провода выполняются, соответственно, без изолирующих покрытий. Это провода таких марок, как М (одно- или многопроволочный медный провод), А (алюминиевый, имеет меньшую стоимость, но более низкую проводимость), АС (алюминиевый со стальным сердечником), ПС и ПСО (стальной однопроволочный и многопроволочный) и другие. Изолированные провода (СИП) являются наиболее часто используемыми по сравнению с неизолированными. В большинстве своём они состоят из одной несущей жилы, вокруг которой обматываются фазные (токопроводящие) жилы с изоляцией, число которых может варьироваться от 1 до 4. В защищённых проводах поверх токопроводящей жилы наложена специальная полимерная защитная изоляция, исключаящая

короткое замыкание между проводами при их схлестывании и снижающая вероятность замыкания на землю.

Обычно на линиях высокого напряжения до класса 220 кВ применяются одиночные провода. Однако для передачи более высокого напряжения на ВЛ применяется расщепление фазного провода на несколько проводов, число которых определяется классом напряжения. Такой способ позволяет снизить потери, которые приходится на коронный эффект. Так, вместо одного провода применяют два и более проводов в фазе. Они располагаются на равном расстоянии друг от друга по вершинам правильных многоугольников. Именно поэтому не редко можно встретить не три провода на опорах ВЛ, а шесть и более.

Опоры служат для подвески проводов на необходимой высоте над поверхностью земли или другими объектами, пересекаемыми линиями. Опоры в стандартном исполнении состоят из основной стойки, траверсы и подземного фундамента.

Сама конструкция опоры может быть изготовлена по разным типам, начиная от мачты круглого или квадратного сечения и заканчивая сложными металлическими фермами.

Траверсы – составной компонент арматуры опор. Они применяются для фиксации и поддержания проводов, а также для крепления изоляторов. В основном траверсы изготавливают из металла.

Фундамент выступает в качестве несущей конструкции, предназначенной для более устойчивого положения опор в грунте.

Опоры ВЛ по материалу изготовления можно разделить на деревянные, железобетонные, металлические, комбинированные и композитные.

Деревянные опоры изготавливаются из хвойных деревьев, которые содержат много смолы и хорошо противостоят действиям влаги. Обычно это лиственница, ель, сосна. Такие опоры имеют относительно невысокий срок службы – 10-15 лет. Опоры из данного материала отличаются низкой стоимостью, небольшим весом, однако они легковозгораемы. Применяются на напряжении до 1кВ.

Стойки железобетонных опор выполняют из бетона, армированного металлом. Такие опоры обладают высокой механической прочностью, не требуют больших расходов при эксплуатации и имеют срок службы до 40 лет. Они могут быть прямоугольного или круглого поперечного сечения.

Металлические опоры выполняют из стали специальных марок. Для защиты от коррозии их оцинковывают или окрашивают специальными красками.

Для увеличения срока службы деревянные опоры выполняют комбинированными. Так, они состоят из деревянной стойки и чаще железобетонной приставки (пасынка), частично углубляемого в землю.

Также опоры могут изготавливаться из полимерных композитных материалов. Их достоинствами выступают малый вес, простота монтажа, хорошие антикоррозийные и диэлектрические свойства, экологичность.

По назначению опоры могут быть промежуточными и анкерными. Первые из них встречаются наиболее часто и выполняют исключительно функцию поддержки проводов на заданной высоте.

Анкерные опоры в свою очередь воспринимают силу натяжения от проводов полностью.

Промежуточные и анкерные опоры могут быть прямыми и угловыми. Прямые опоры обустраиваются, соответственно, на прямых участках трассы и составляют 80-90% от числа всех опор ВЛ. При повороте линии на угол менее 20° устанавливают промежуточные, а более 20° – анкерные опоры. Они воспринимают нагрузку от поперечной силы натяжения проводов. Анкерные опоры также могут выступать концевыми и транспозиционными. Концевые анкерные опоры устанавливаются при выходе линии с электростанции или на подходах к подстанции. Эти опоры испытывают одностороннее натяжение всех проводов со стороны линии. Для ограничения несимметрии токов и напряжений на ВЛ применяется транспозиция проводов. Для таких целей применяются соответствующей конструкции опоры.

Изоляторы служат для крепления проводов на опорах и, собственно, изоляции от тока, проходящего через провода. Они также воспринимают механическую нагрузку от массы проводов, гололёда и действия ветра. Изолятор состоит из самого диэлектрического материала и деталей для его крепления.

Исходя из изготавливаемого материала, изоляторы делятся на фарфоровые, стеклянные и полимерные.

Самыми ранними в использовании являются фарфоровые (или керамические) изоляторы. Их недостатками является хрупкость, сложность определения пробоя изолятора и появления трещин. Наибольшее распространение получили изоляторы из закалённого стекла. Их достоинство – простота диагностики повреждений (такие изоляторы раскалываются при пробое), недостаток: хрупкость и низкая ударная прочность. Полимерные изоляторы значительно легче фарфоровых и стеклянных, их не нужно собирать в гирлянды, они обладают низкой стоимостью и высокой механической стойкостью.

По конструкции изоляторы бывают штыревыми и подвесными. Корпус штыревого изолятора имеет внутреннюю резьбу и навинчивается на металлический штырь или крюк. Провод укладывается в углубление на головке изолятора и закрепляется провололочной вязкой. Используется на напряжении до 35 кВ. Подвесные изоляторы состоят из фарфоровой или стеклянной изолирующей части в виде тела вращения с внутренней полостью; металлических деталей – шапки из ковкого чугуна, в верхней части которой имеется сферическая полость (гнездо), предназначенная для шарнирного сопряжения с другим изолятором; стержня, нижняя головка которого имеет сферическую поверхность, сопрягаемую с соответствующей поверхностью в гнезде шапки. Подвесные изоляторы собирают в гирлянды, которые бывают поддерживающими и натяжными. Первые монтируют на промежуточных опорах, вторые – на анкерных.

Учитывая всё вышеизложенное можно сказать о том, что конструкция воздушных линий электропередач предполагает наличие несколько составляющих, каждый из которых продуман до мелочей. Хотя каждый из элементов опор предполагает вариацию в изготовлении и конструктивном исполнении, он должен выполнять свои функции и быть пригоден для качественной работы ВЛ.

Список литературы

1. Быстрицкий Г.Ф., Кудрин Б.И., Саженов В.А. Воздушные и кабельные линии / Г.Ф. Быстрицкий, Б.И. Кудрин, В.А. Саженов [Текст] – М.: Издательство МЭИ, 1988 – 64 с.
2. Быстрицкий Г.Ф., Роженцова Н.В. Воздушные и кабельные линии электропередачи / Г.Ф. Быстрицкий, Н.В. Роженцова [Текст] – Учеб. пособие. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2008 – 52 с.
3. Глазунов А.А. Основы механической части воздушных линий электропередачи. Том 2. / А.А. Глазунов [Текст] – Государственное энергетическое издательство. Москва, 1959 – 240 с.
4. Магидин Ф.А., Берковский А.Г. Устройство и монтаж воздушных линий электропередачи / Ф.А. Магидин, А.Г. Берковский [Текст] – Высшая школа. Москва, 1971. – 255 с.
5. Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы ПУЭ-6 и П68 ПУЭ-7 – Норматика, 2022 – 462 с.

NIKIFOROV GRIGORY IGOREVICH

Student EP-21-1

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Lipetsk State Technical University"

PONOMAREV PAVEL SERGEYEVICH

Scientific supervisor, Lecturer of the Electric Drive Department

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

Abstract: The article is devoted to the description of overhead power lines. The main components of overhead lines are considered and analyzed, as well as the role they play in this device.

Keywords: overhead lines, wires, supports, insulators.

ЭЛЕКТРОПРИВОД КАНАТНЫХ ДОРОГ

НИКИФОРОВ ГРИГОРИЙ ИГОРЕВИЧ

студент гр. ЭП-21-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

МУЗЫЛЕВА ИННА ВАСИЛЬЕВНА

Научный руководитель, к.т.н., доцент кафедры автоматизированного электропривода и робототехники

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: статья посвящена описанию работы канатных дорог, разбору ее типов и системы управления и регулирования.

Ключевые слова: канатная дорога, маятниковая и кольцевая канатная дорога, система «Г–Д».

В настоящее время при строительстве гидроэлектростанций, в горнодобывающей промышленности удачно применяются механизмы непрерывного транспорта. Прокладка шоссейных и железных в горной местности становится менее рациональным решением, уступая в этом аспекте канатным трассам. Канатные дороги не так чувствительны к условиям окружающей среды, в отличие от наземного транспорта. Кроме того, они так же используются для перевозки пассажиров.

Канатные дороги являются разновидностями конвейеров и могут быть как кольцевыми, так и маятниковыми.

Принцип работы маятниковых канатных дорог, как следует из названия, основан на действии маятника. Две кабины, перемещаясь с противоположных концов дороги, движутся навстречу друг другу с последующей одновременной остановкой на станциях, где осуществляется погрузка или выгрузка грузов (посадка/высадка пассажиров). После происходит реверсирования привода. Данные типы дорог рассчитаны на большую производительность.

Канатные дороги кольцевого типа имеют один постоянно перемещающийся тяговый орган, передвигающий кабины в циклическом режиме (примерная скорость – 2,5 м/с). Среди требований можно выделить плавность при торможении и пуске, снижение рывков и большой перегрузке.

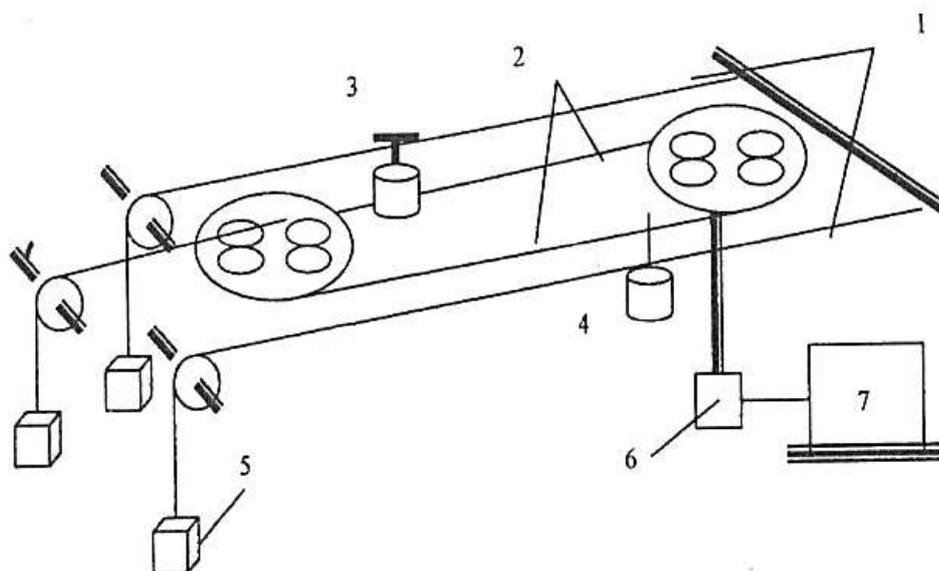


Рисунок 1 – Кинематическая схема маятниковой канатной дороги

На рисунке 1 представлена простейшая кинематическая схема дороги маятникового типа действия. Приводная станция, включающая электродвигатель 7, вырабатывая механическую энергию, передаёт усилие через редуктор 6, приводящий в движение ведущий трос 2. Далее тяговое усилие передается на кабины 4, на роликах-подвесах 3 они перемещаются по несущим канатам 1, которые крепятся на опорах. Грузы 5 служат для поддержания заданного натяжения.

Для электропривода подобных механизмов зачастую используются асинхронные двигатели с фазным ротором. Совмещение двигательного (подъем кабины) и генераторного (спуск кабины) режимов работы, которые выбираются в зависимости от уклона трассы и объема груза, является особенностью работы данного электропривода.

В условиях знакопеременной нагрузки, что является напряжённым режимом с частым включением, торможением и реверсом, применяется система «генератор-двигатель». В данной системе генератор приводится во вращение асинхронным двигателем. Обмотки возбуждения ОВГ генератора и ОВД двигателя питаются от возбуждителя В (рисунок 2).

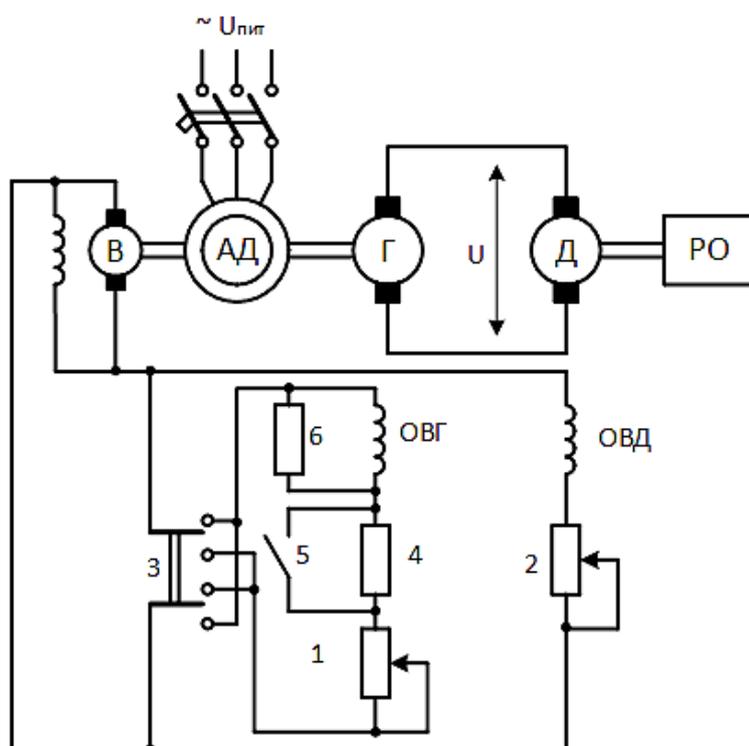


Рисунок 2 – Система «генератор-двигатель»

Запуск двигателя происходит постепенным увеличением напряжения генератора реостатом 1 в цепи возбуждения или путем шунтирования форсирующего резистора 4 контактом 5 включением ОВ генератора на полное напряжение.

Рекуперативное торможение осуществляется увеличением магнитного потока двигателя Д реостатом 2; уменьшением напряжения генератора реостатом 1; размыканием цепи ОВГ генератора переключателем 3 (резистор 6 является разрядным).

С помощью переключателя 3 изменяют направления тока в цепи ОВГ для получения реверса двигателя. Кроме того, применяются блокировочные и защитные цепи, что обеспечивает надежность работы дороги. При работе в двигательном режиме, применяется относительно простая схема управления и пуск осуществляется в несколько ступеней, первые, две из которых служат для выбора зазоров в редукторе и слабого натяжения в канатах и при автоматическом пуске используются довольно редко (рисунок 3).

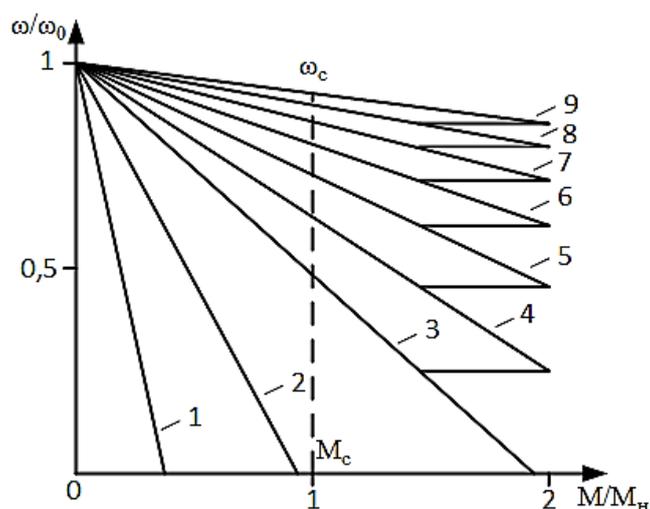


Рисунок 3 – Пусковая диаграмма АД

При остановке ЭП используется динамическое торможение двигателя (ЭДТ), а тормозные колодки накладываются при скорости $\omega_T \approx 0,01 \cdot \omega_H$, чтобы снизить скорость их износ.

Список литературы

1. Бобров В. П., Чеканов Л. И. Транспортные и грузочные устройства автоматических линий / В. П. Бобров, Л. И. Чеканов [Текст] – Учеб. пособие. Машиностроение, Москва 1980. – 119 с.
2. Дукельский А. И., Подвесные канатные дороги и кабельные краны / А. И. Дукельский [Текст] – Машиностроение, Москва 2006.
3. Терехов В.М., Осипов О.И. Системы управления электроприводом / В.М. Терехов, О.И. Осипов [Текст]. – Академия, Москва 2008. – 325с.

ELECTRIC DRIVE OF CABLE CARS

NIKIFOROV GRIGORY IGOREVICH

student gr. EP-21-1

Lipetsk State Technical University

MUZYLEVA INNA VASILIEVNA

Scientific supervisor, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automated Electric Drive and Robotics
LipetskStateTechnicalUniversity

Abstract: the article is devoted to the description of ropeway operation, its types and control and regulation system.

Keywords: ropeway, pendulum and ring ropeway, G-D system.

ЭРОЗИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ, УПРАВЛЯЕМЫМИ ТОКАМИ ДО 1 АМПЕРА. СХЕМНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ БОРЬБЫ С ЭРОЗИЕЙ КОНТАКТОВ

НИКИФОРОВ ГРИГОРИЙ ИГОРЕВИЧ

Студент ЭП-21-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ПОНОМАРЕВ ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ

Научный руководитель, преподаватель кафедры электропривода
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: статья посвящена износу электрических контактов. Рассматриваются и разбираются основные виды износа, принципы их возникновения, негативные последствия. Кроме того, представлен разбор и схемных решений для борьбы с эрозией контактов.

Ключевые слова: электрические контакты, моральный и физический износ, эрозия, схемные решения.

По мере использования электрических контактов они, как и любое технические оборудование, постепенно изнашиваются, что приводит к снижению их эксплуатационных свойств и качества работы. Говоря о разновидностях износа всех электротехнических объектов, в том числе контактов, различают два типа: моральный и физический. Моральный износ подразумевает устаревание ещё рабочего контакта, дальнейшее использование которого нецелесообразно из-за создания нового, технически более совершенного или более экономичного аналога. Износ физический означает изменение таких физических показателей, как размер, форма, масса. Всё это проявляется ввиду длительного функционирования и постоянного взаимодействия внешних слоёв контакта. Физический же износ в свою очередь бывает механического и электрического (эрозия) происхождения.

Первый вышеупомянутый вид износа образуется из-за трения при ударах контактирующих поверхностей в процессе замыкания контактов, что приводит к их расплющиванию, истиранию. Величина механического износа зависит от износостойкости и твердости того материала, из которого изготовлены контакты, формы их поверхностей, силы удара. Этот вид износа обычно не имеет существенного значения.

Электрический износ возникает как при замыкании, так и при размыкании подвижного и неподвижного контактов.

Если говорить о малоточных схемах, то при размыкании подвижный контакт начинает отходить от неподвижного, вследствие чего начинает увеличиваться сопротивление току, который проходит через контакты, так как начинает образовываться воздушное пространство. Это в свою очередь повлечет увеличение количества энергии на системе контактов. Согласно закону сохранения энергии эта выделяемая энергия повлечёт возрастание температуры контактирующих поверхностей. В некоторых случаях данная температура может быть достаточной для того, чтобы материал контактов начал плавиться. При своевременном отдалении подвижного контакта формируется так называемый мостик из расплавленного материала, который в дальнейшем рвется. В относительно высокоточных схемах мостиковая стадия переходит в образование дуги.

Что характерно, эрозия контактов обусловлена разрушением контактного перешейка не в середине, а ближе к одному из контактов, что хорошо видно на рисунке 1. Так, наибольшее значение температуры приходится ближе к неподвижному контакту 2 в направлении переноса теплоты от 1 к 2. Амплитудное значение температуры T_{\max} смещено от центра мостика на величину Δx . В результате на участке 1 оказывается больше металла, чем на участке 2. На аноде образуется впадина, а на катоде бугорок.

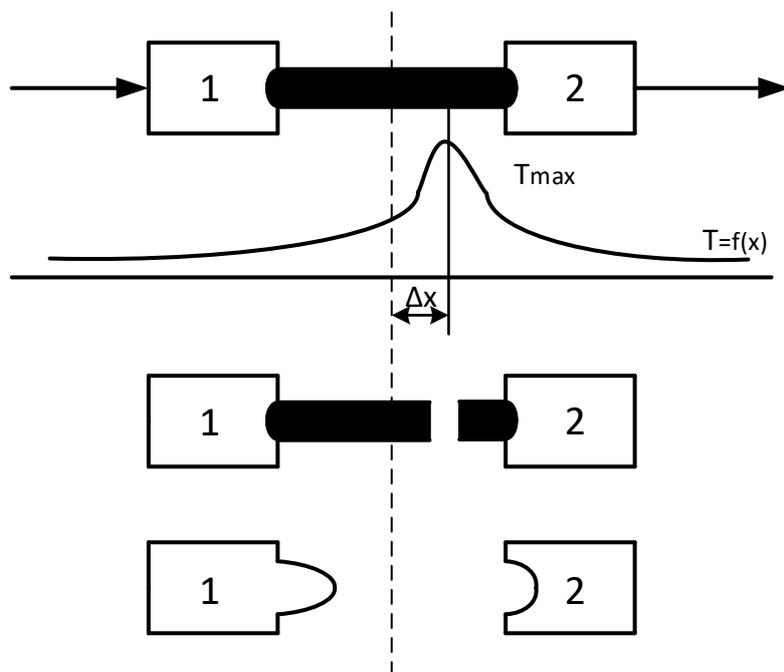


Рисунок 1 – Процесс образования мостика из металла и его разрыв

Электрический износ контактов при замыкании обусловлен тем, что при замыкании и сопутствующем ему ударе замыкающий контакт отскакивает от неподвижного в соответствии с законом упругой деформации. После этого контакты снова начинают сближаться и снова отскакивают друг от друга уже с меньшим расстоянием и так несколько раз. В результате такого действия может образовываться слабая искра также с расплавлением материалов контактов, однако в данном случае такой износ не оказывает преобладающего воздействия.

Для устранения или сведения к минимуму негативного эффекта эрозии применяют несколько схемных решений (рисунок 2), которые основаны на шунтировании самого контакта различными элементами электрической цепи.

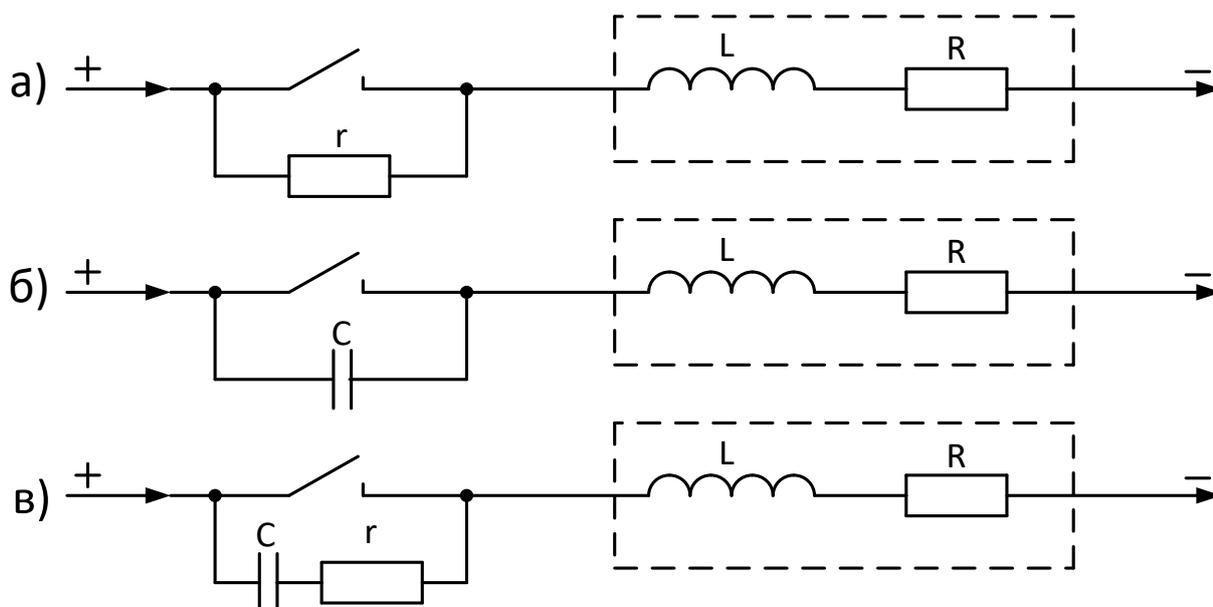


Рисунок 2 – Схемные решения для защиты контактов от эрозии

На рисунке 2, а представлен вариант шунтирования контакта обычным резистором r . При замкнутом контакте ток идёт соответственно через сам контакт, проходя по устройству управления, содержащее активную нагрузку в виде резистора R и реактивную нагрузку в виде

катушки индуктивности L. После размыкания контакта катушка вырабатывает электродвижущую силу (ЭДС) самоиндукции ввиду резкого изменения магнитного потока, пронизывающего её витки. В итоге ток, который будет идти в обратном направлении (справа налево) не пойдёт через контакт и не вызовет сильную эрозию, как это было бы при отсутствии резистора r.

На рисунке 2, б к контакту параллельно подключается конденсатор С. После того, как контакт замкнется, и схема придет в рабочее состояние, конденсатор будет заряжаться через ЭДС, создаваемой катушкой индуктивности. Однако данная схема имеет существенные недостатки. Во-первых, после замыкания контакта конденсатор, который изначально накопил определённый заряд, начинает разряжаться напрямую через сам контакт, что уже может являться экстремальным режимом. Во-вторых, создаваемая катушкой ЭДС может быть достаточно больше, чтобы произошел пробой конденсатора.

Для нивелирования данных минусов применяют схему, представленную на рисунке 2, в. В такой схеме конденсатор разряжается через резистор r, а не накоротко через сам контакт. А ток от ЭДС катушки индуктивности, проходящий по этой цепи, будет ограничиваться резистором, так как на нём будет происходить падение напряжения.

Список литературы

1. Григорьев А. А., Ваткина М. А. Анализ физических процессов износа электрических контактов коммутационных низковольтных аппаратов / А.А. Григорьев, М.А. Ваткина [Электронный ресурс] – Вестник ЧГПУ им. И.Я. Яковлева, 2014. – №2 (82) – 3–13 с.
2. Мышкин Н.К., Кончиц В.В., Браунович М. Электрические контакты / Н.К. Мышкин, В.В. Кончиц, М. Браунович [Текст] – ИД Интеллект, 2008 – 560 с.
3. Сафонов, А. Л. Анализ физических процессов в контактах / А. Л. Сафонов, Л. И. Сафонов [Текст] – Технологии в электронной промышленности, 2007. – №6. – 54–58 с.
4. Сафонов, А. Л. Трение и износ в контактных парах электрических соединителей / А. Л. Сафонов, Л. И. Сафонов [Текст] – Технологии в электронной промышленности, 2008. – №3. – 34–39 с.
5. Хольм, Р. Электрические контакты / Р. Хольм. [Текст] – М.: Изд-во иностранной литературы, 1961. – 233 с.

EROSION OF ELECTRICAL CONTACTS CONTROLLED BY CURRENTS UP TO 1 AMPERE. CIRCUIT SOLUTIONS FOR CONTACT EROSION CONTROL

NIKIFOROV GRIGORY IGOREVICH

Student EP-21-1

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Lipetsk State Technical University"

PONOMAREV PAVEL SERGEYEVICH

Scientific supervisor, Lecturer of the Electric Drive Department

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

Abstract: the article is devoted to the wear of electrical contacts. The main types of wear, the principles of their occurrence, and negative consequences are considered and analyzed. In addition, the analysis of circuit solutions to combat contact erosion is presented.

Keywords: electrical contacts, obsolescence and physical deterioration, erosion, circuit solutions.

ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И ПРИНЦИПА РАБОТЫ ДВУХКЛЕТОЧНОГО ДВИГАТЕЛЯ

НИКИЩЕНКО ЕВГЕНИЙ АНДРЕЕВИЧ

студент группы ЭП-21-2

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ПОНОМАРЕВ ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ

Научный руководитель, преподаватель кафедры электропривода
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: статья посвящена изучению устройства и принципа работы двухклеточного двигателя. Описываются тонкости взаимодействия индуктивной и активной составляющих машины.

Ключевые слова: обмотка, ротор, сопротивление, пусковой момент, рабочее состояние.

Введение

Для того чтобы улучшить пусковые характеристики и не потерять качество асинхронного двигателя начали применять роторы с двумя беличьими клетками. Применение такого ротора обуславливалось улучшенными пусковыми характеристиками, а также сохранением качества работы асинхронного двигателя.

Пример двигателя представлен на рисунке 1

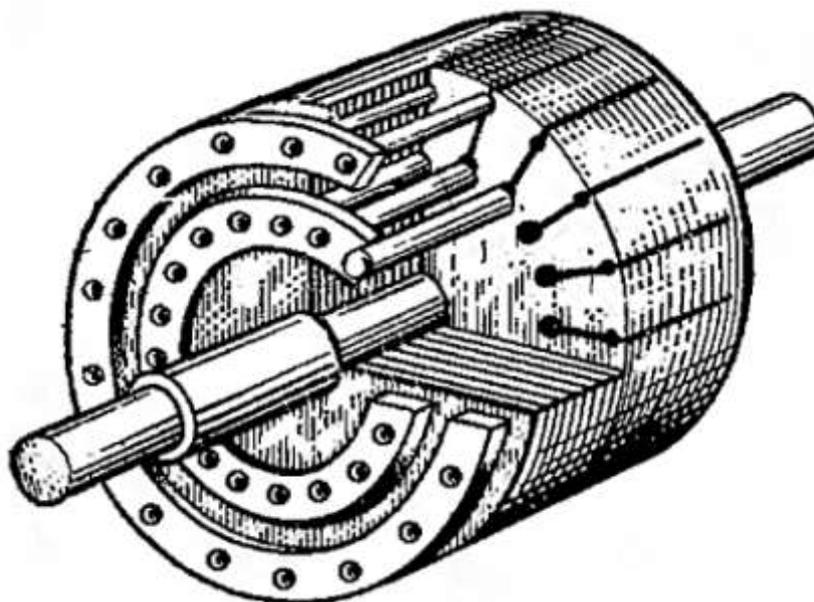


Рисунок 1 – Двухклеточный ротор

Такие двигатели состоят из двух беличьих клеток, первая – пусковая, вторая – рабочая. Последняя располагается дальше от поверхности ротора и изготавливается из меди, пусковая обмотка же находится ближе к поверхности и производится из латунных или бронзовых стержней, они, в свою очередь могут быть немного меньше, чем у рабочей. Тем не менее чтобы пресечь избыточный нагрев обмотки при пуске, сечение и теплоемкость стержней следует выбирать довольно большими.

При запуске двигателя полное сопротивление пусковой обмотки весьма мало и внушительно проигрывает показателям индуктивного сопротивления рабочей обмотки, из-за существенной частоты тока ротора. В силу этого в начале работы двигателя преимущественно

нагружается первая обмотка ротора, которая выполняет функцию запуска и имеет большое активное сопротивление. При рабочем режиме ток нагружает вторую обмотку, это связано с тем, что при разгоне герцовка тока резко уменьшается и сильно падает значение индуктивного сопротивления вращения рассеяния обмоток. Вот почему в рабочем режиме полные сопротивления определяются величиной активных, а индуктивные, в свою очередь, существенно меньше активных сопротивлений. Поскольку активное сопротивление достаточно мало такая обмотка имеет отличный коэффициент полезного действия.

Обмотки присоединяются к отдельным кольцам ротора двухклеточного двигателя, потому как при тяжелых условиях пуска производится большое количество теплоты и тем самым пусковая обмотка удлиняется, а рабочая обмотка, наоборот, остается холодной и неизменной.

В результате работы стало ясно, что использование специальной конструкции короткозамкнутого асинхронного двигателя, а именно двигателя с двойной беличьей клеткой, позволяет повысить пусковой момент. И также была рассмотрена работа двигателя: в начальный момент пуска: электрический ток проходит по пусковой обмотке, которая, в свою очередь, создает вращающий момент. Увеличивая частоту вращения ток переходит в рабочую обмотку и по окончании процесса пуска машина работает, как обычный двигатель с одной беличьей клеткой.

Список литературы

1. Вольдек, А. И. Электрические машины. Учебник для студентов / А. И. Вольдек, Е. В. Толвинская // Издательство “Энергия” 1978г. – 556-557 с.
2. Елизаров, В. В. Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором [Электронный ресурс] / В. В. Елизаров // Форум молодых ученых. 2017. №12 (16). – 631-633 с.
3. Лысенко, О. А. Наблюдатель момента нагрузки асинхронного двигателя с двойной беличьей клеткой ротора [Электронный ресурс] / О. А. Лысенко // Омский научный вестник. 2016. №5 (149). – 85-88 с.
4. Савельев, В. А. Метод контроля состояния обмоток роторов высоковольтных электродвигателей собственных нужд электростанции при пуске [Электронный ресурс] / В. А. Савельев, А. С. Страхов, Е. М. Новоселов, Д. А. Полкошников, А. А. Скоробогатов // Вестник ИГЭУ. 2019. №4. – 32-33 с.
5. Назарычев, А. Н. Экспериментальное исследование внешнего магнитного поля асинхронного электродвигателя для контроля обрыва стержней короткозамкнутой обмотки ротора [Электронный ресурс] / А. Н. Назарычев, А. А. Скоробогатов, Е. М. Новоселов // Вестник ИГЭУ. 2012. №1. – 1-3 с.

NIKISHCHENKO EVGENY ANDREEVICH

student of group EP-21-2

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Lipetsk State Technical University"

PONOMAREV PAVEL SERGEYEVICH

Scientific supervisor, lecturer of the electric drive department

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

Abstract: The article is devoted to the study of the device and the principle of operation of a two-cell motor. The subtleties of the interaction of the inductive and active components of the machine are described.

Keywords: winding, rotor, resistance, starting torque, operating condition.

ПОВОРОТНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

НОЗДРЕВАТЫХ ВЛАДИСЛАВ АНДРЕЕВИЧ

Студент группы ЭП-22-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ПОНОМАРЕВ ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ

Аспирант группы ЭКС-22-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ЗНАМЕНСКИЙ ВЛАДИСЛАВ АЛЕКСАНДРОВИЧ

Аспирант группы ЭКС-23-2

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ШИШЛИН ДЕНИС ИВАНОВИЧ

Доцент кафедры автоматизированного электропривода и робототехники

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: в данной работе рассматриваются поворотные трансформаторы, их конструкция, принцип работы и применение в повседневной жизни.

Ключевые слова: поворотный трансформатор, электромагнитная индукция, коэффициент трансформации

Поворотный трансформатор – это один из элементов во многих электрических системах. Поворотный трансформатор используется для передачи электрической энергии между обмотками посредством электромагнитной индукции.

Поворотные трансформаторы показаны на рисунке 1. Принцип их работы основан на трансформации ЭДС первичной цепи в ЭДС вторичной наподобие того, как в асинхронном двигателе с заторможенным ротором. Отличие поворотного трансформатора от обычного заключается в том, что в обычном трансформаторе изменение величины выходного напряжения получается через изменение коэффициента трансформации или входного напряжения, а в поворотное выходное напряжение меняют по величине и фазе относительно входного напряжения углом поворота α , что в свою очередь позволяет преобразовать этот угол поворота в выходное напряжение. Данный угол будет пропорционален косинусу угла α .



Рисунок 1 – Общий вид поворотного трансформатора

Конструкция поворотного трансформатора: поворотный трансформатор состоит из двух основных частей – статор и ротор. Статор является неподвижной частью трансформатора, внутри которой содержится две обмотки со сдвигом 90 градусов, подключённые к источнику переменного тока. Отличие обмоток между собой заключается в том, что одна из них является главной (S), потому что питается от сети однофазного напряжения. Другая обмотка является вспомогательной (K). Графический вид обмоток показан на рисунке 2. Ротор является подвижной частью, которая также содержит две обмотки, которые располагаются перпендикулярно друг к другу. Обмотки статора и ротора размещены в пазах, сам ротор и статор выполнены из электротехнической стали.

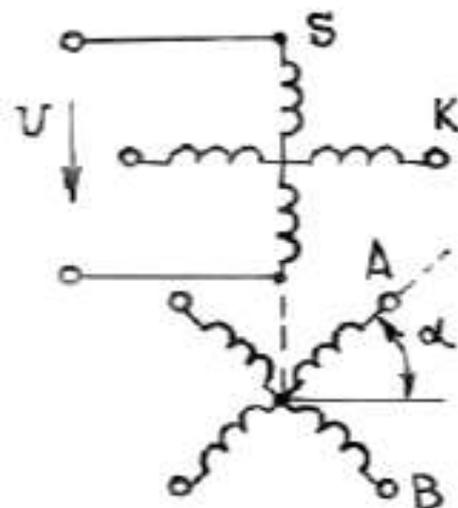


Рисунок 2 – Главная (S) и вспомогательная (K) обмотка поворотного трансформатора

Поворотные трансформаторы применяются для изменения уровней напряжения в электрических сетях, что в свою очередь позволяет безопасно и эффективно передавать электроэнергию на большие расстояния, применяются для конвертации энергии в электродвигателях и электрических генераторах.

Также поворотные трансформаторы применяются и в быту – их можно встретить в холодильниках, кондиционерах и в другой бытовой технике. Помимо этого, поворотные трансформаторы применяются:

- в системах освещения, где требуется регулировка уровня освещения;
- в зарядных устройствах, чтобы получать ток для зарядки батарей – преобразуют переменный ток в постоянный ток.

Таким образом, поворотный трансформатор играет важную роль в бытовой и промышленной сфере, обеспечивая безопасное и эффективное использование электроэнергии.

Список литературы

1. Сотников В.В. Электрические машины [Электронный ресурс] / В.В. Сотников // Белгород 2019 №2;
2. Вольдек А.И. Электрические машины [Электронный ресурс] / А.И. Вольдек // Л.: Энергия, 1978.-832 с., ил.
3. М.М. Кацман. Электрические машины [Электронный ресурс] / М.М. Кацман // Академия 2013.
4. Е.А. Лоторейчук. Теоретические основы электротехники [Электронный ресурс] / Е.А. Лоторейчук // Научно-издательский центр ИНФРА-М 2007.
5. Н.Ю. Морозова. Электротехника и электроника [Электронный ресурс] / Н.Ю. Морозова // Академия 2013.

ROTARY TRANSFORMERS

NOZDREVATYKH VLADISLAV ANDREEVICH

Student of group EP-22-1

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Lipetsk State Technical University"

PONOMAREV PAVEL SERGEEVICH

Postgraduate student of group EKS-22-1

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

ZNAMENSKY VLADISLAV ALEKSANDROVICH

Postgraduate student of the group EKS-23-2

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

SHISHLIN DENIS IVANOVICH

Associate Professor of the Department of Automated Electric Drive and Robotics

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

Abstract: this work discusses rotary transformers, their design, operating principle and application in everyday life.

Keywords: rotary transformer, electromagnetic induction, transformation ratio.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕГУЛЯТОРА ПОЛОЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НОЖЕЙ АГРЕГАТА ПОПЕРЕЧНОЙ РЕЗКИ ГОФРОКАРТОНА В СРЕДЕ МАТЛАВ

ОБРАЗЦОВ ВАДИМ ЕВГЕНЬЕВИЧ

студент гр. М-ЭП-23-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ЛЕЛИКОВ МИХАИЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ

студент гр. М-ЭП-23-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

КРЫЖКО КОНСТАНТИН НИКОЛАЕВИЧ

студент гр. М-ЭП-23-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

МУРАВЬЕВ АРТЕМ АРТУРОВИЧ

Научный руководитель, преподаватель кафедры электропривода

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: описана модель регулятора положения электропривода ножей агрегата для поперечной резки картона.

Ключевые слова: регулятор положения электропривода, асинхронный двигатель, двигатель переменного тока, системы управления, автоматизация.

В современной промышленности автоматизация производственных процессов играет ключевую роль в повышении эффективности и качества производства. Одной из отраслей, где автоматизация является неотъемлемой частью, является производство гофрокартона. Гофрокартон является легким и прочным материалом, состоящим из трех слоев бумаги с вложенными волнистыми прослойками. Он широко используется в упаковочной промышленности для изготовления коробок, контейнеров и других упаковочных материалов [1].

Важной составляющей процесса производства гофрокартона являются летучие ножницы для реза заготовок. Эти устройства обеспечивают точное и быстрое разрезание гофрокартона на необходимые размеры, обеспечивая высокую точность и повторяемость реза. Использование эффективной системы автоматизации электропривода летучих ножниц является необходимым для достижения оптимальной производительности и качества реза.

Принцип работы агрегата поперечной резки состоит в следующем. Узел ввода захватывает бесконечное полотно гофрокартона и подает его к ножевым балкам. Они приводятся в действие двигателями таким образом, что в момент резки движение ножей осуществляется приблизительно со скоростью движения проходящего полотна, которое разрезается в поперечном к движению полотна направлении. Слегка винтообразные ножи позволяют избежать хлесткой резки по всей рабочей ширине, а обеспечивают процесс резания, аналогичный резанию ножницами. Затем получаемые таким образом листы картона узлом вывода передаются к автоматическому укладчику. После резки, ножевые балки возвращаются в исходное положение и ждут сигнала для последующей резки в соответствии с настроенной длиной листа (длиной отрезки) [2].

В рамках исследования автоматизации производственных процессов была смоделирована система регулятора положения ножа для электропривода летучих ножниц для резки гофрокартона. Модель регулятора учитывает специфические требования к резке. Результаты моделирования использованы для выбора оптимальных алгоритмов управления. Модель регулятора представлена на рисунке 1.

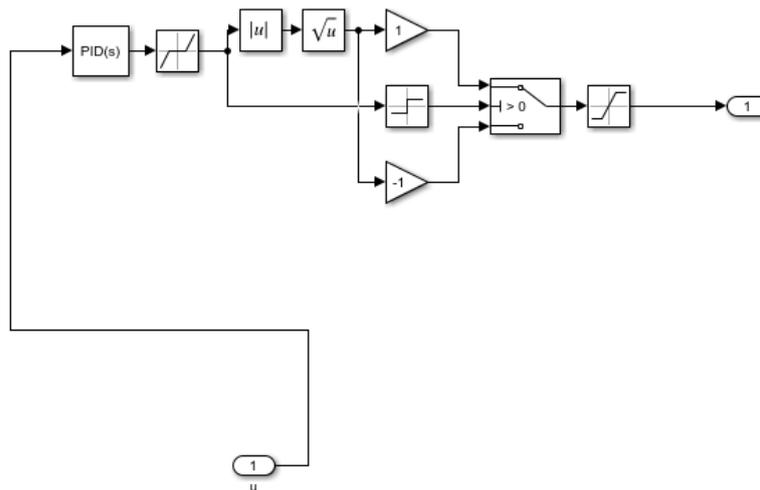


Рисунок 1 – Модель регулятора положения

При малых отклонениях заданного положения от текущего параболический регулятор имеет очень большой коэффициент усиления, что недопустимо из требований, предъявляемых к качеству переходного процесса позиционирования, так как приводит к автоколебаниям. Для ликвидации этого эффекта используем блок нечувствительности (DeadZone), который отсекает малые значения в диапазоне $\pm 0,5$ В. Другая проблема при моделировании состоит в невозможности взятия корня из отрицательного числа, что автоматически приводит к появлению комплексных чисел. Для решения этой задачи воспользуемся блоком определения знака (Sign), управляющим ключом (Switch). Назначение ключа состоит в подключении положительного или отрицательного решения регулятора положения в зависимости от знака на входе. Элемент выделения модуля (Abs) осуществляет подачу на блок извлечения корня (Sqrt) всегда положительных значений [3-5]. Регулятор положения синтезирован с помощью блока PIDController, значения регулятора подобраны с помощью функции Tune и представлены на рисунке 2. Результаты моделирования представлены на рисунках 3-5.

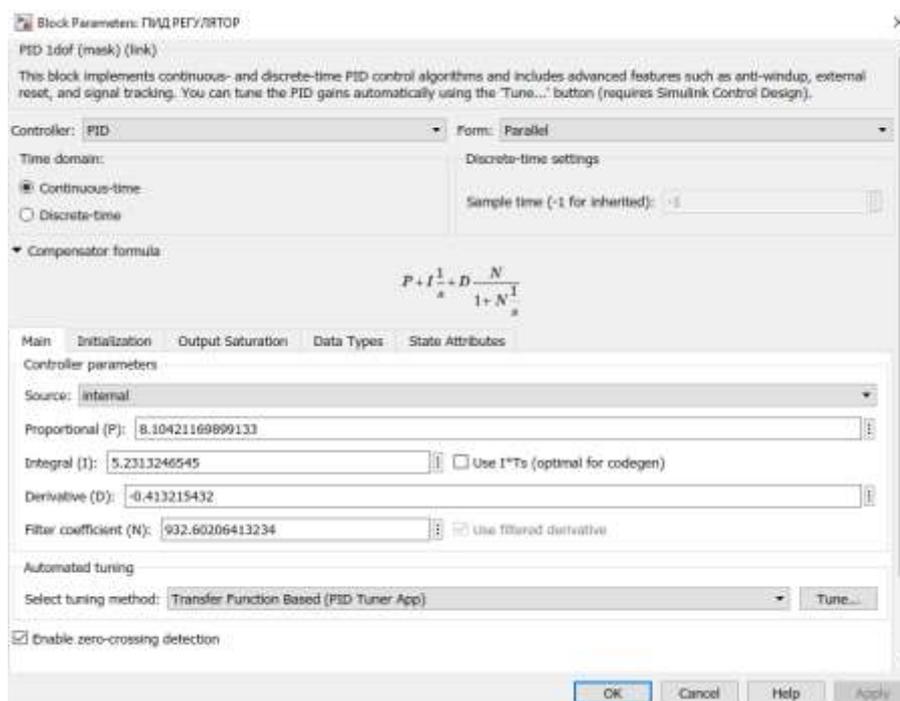


Рисунок 2 – Настройки ПИД-регулятора положения

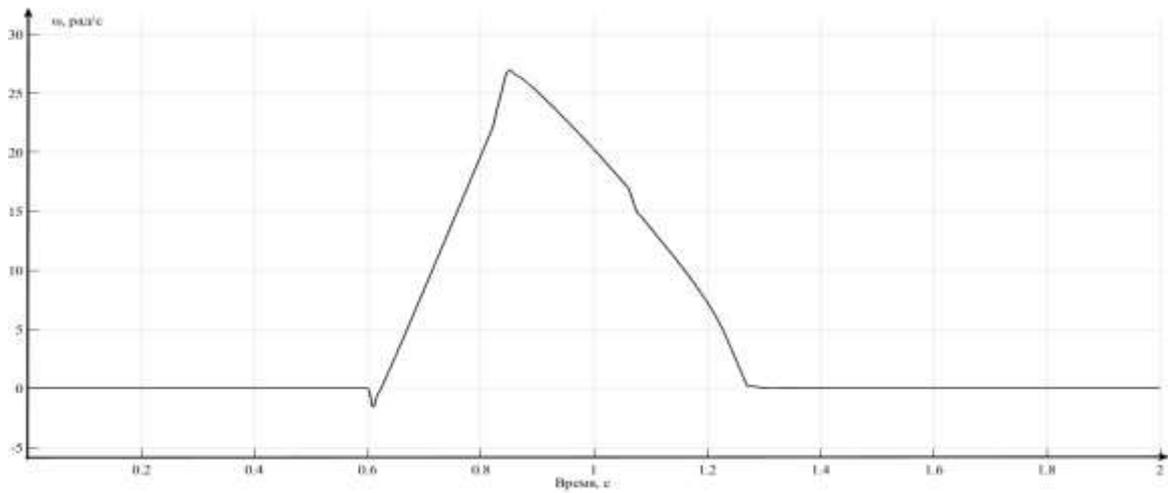


Рисунок 3 – Переходный процесс скорости

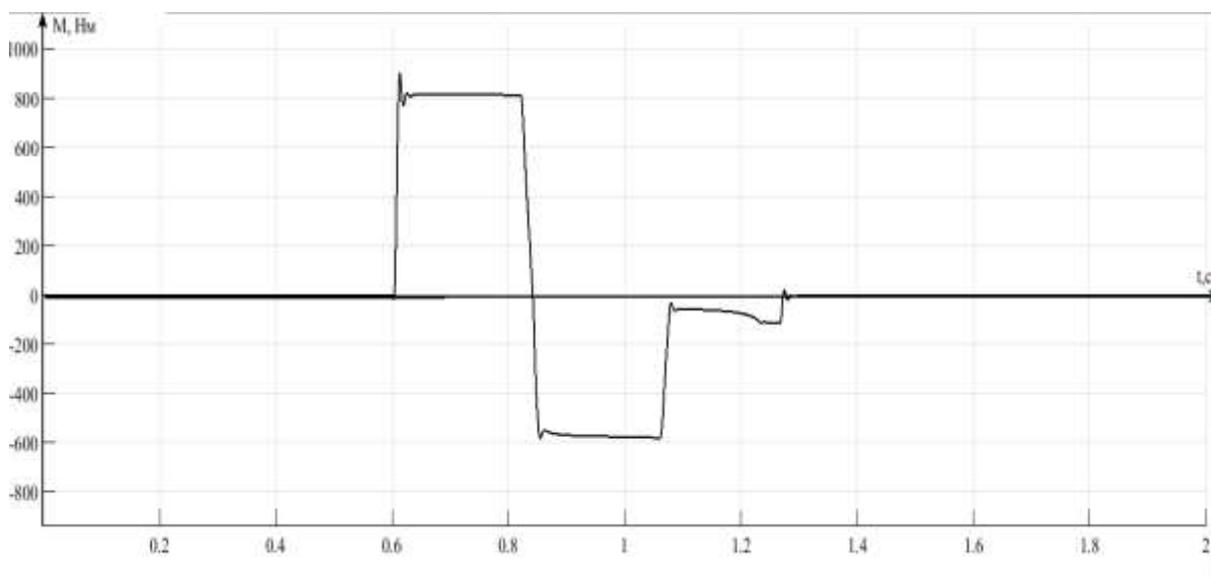


Рисунок 4 – Переходный процесс момента

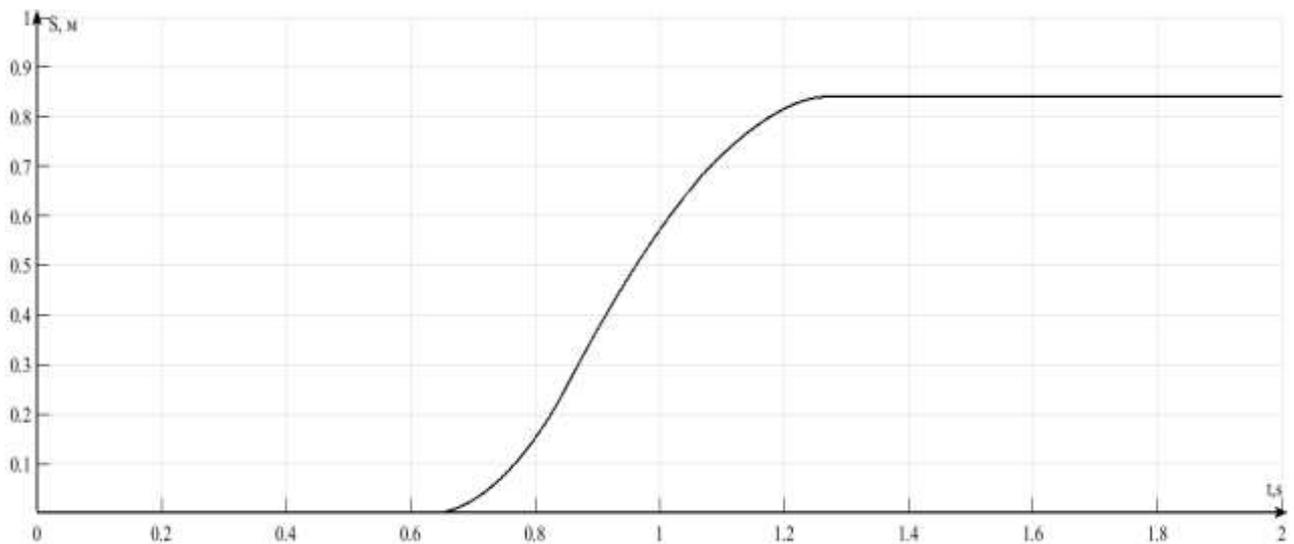


Рисунок 5 – Переходный процесс позиции ротора

Было выполнено моделирование регулятора положения электропривода агрегата поперечной резки картона. Полученные характеристики соответствуют данным с агрегата, на

основании чего можно сделать вывод, что модель построена верно и может быть использована для моделирования векторного регулирования двигателя летучих ножниц.

Список литературы

1. Технология гофрокартона [Текст] / Смолин А.С., Комаров В.И., Дубовый В.К., Белоглазов В.И. – СПбГТУРП. СПб., 2014. – 98 с.
2. BHS HQ-M High Speed Cut Off Modular. Инструкция по эксплуатации [Текст]/ – 2013. –126 с.
3. Г.Б. Онищенко, М.И. Аксёнов, В.П. Грехов, М.Н. Зарицкий, А.В. Куприков, А.И. Нитиевская Автоматизированный электропривод промышленных установок/ под ред. Г.Б. Онищенко. - М.: РАСХН, 2001. – 520 с.
4. Денисов, В.А. Электроприводы переменного тока с частотным управлением [Текст]: учебное пособие для вузов/ В. А. Денисов. – Старый Оскол: ТНТ, 2013. – 164 с.
5. Соколовский, Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием [Текст]: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Г.Г. Соколовский. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 272 с.

STUDY OF THE STRUCTURE, CLASSIFICATION AND PRINCIPLE OF REACTORS

OBRAZTSOV VADIM EVGENIEVICH

Student gr. M-EP-23-1

Lipetsk State Technical University

LELIKOV MIKHAIL ALEXANDROVICH

Student gr. M-EP-23-1

Lipetsk State Technical University

KRYZHKO KONSTANTIN NIKOLAEVICH

Student gr. M-EP-23-1

Lipetsk State Technical University

MURAVEV ARTEM ARTUROVICH

Scientific supervisor, lecturer of the Department of Electric Drive

Lipetsk State Technical University

Abstract: the model of the position controller of the electric drive of the knives of the unit for transverse cutting of cardboard is described.

Keywords: electric drive position controller, asynchronous motor, AC motor, control systems, automation.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА С АКТИВНЫМ ВЫПРЯМИТЕЛЕМ

ПАСКАРЬ ВАДИМ ИГОРЕВИЧ

студент гр. М-ЭП-23-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

МУРАВЬЕВ АРТЁМ АРТУРОВИЧ

Научный руководитель, преподаватель кафедры электропривода
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: данная статья посвящена изучению электромагнитной совместимости систем электроприводов постоянного тока с активным выпрямителем и питающей сетью.

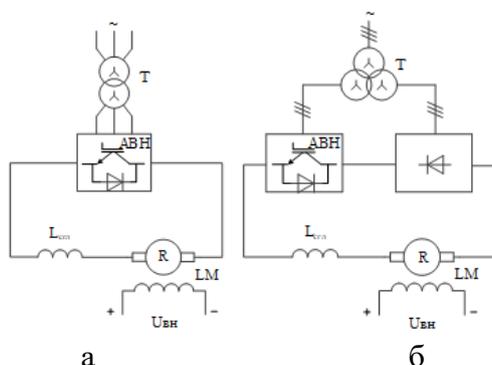
Ключевые слова: ток, выпрямитель, IGBT-транзистор, трансформатор.

Для управления однонаправленными электроприводами постоянного тока применяются вентильные преобразователи с различными схемами вентилей. На промышленных предприятиях наиболее распространены трехфазные мостовые схемы полупроводниковых преобразователей, основанные на использовании IGBT-транзисторов.

Для нереверсивного электропривода, помимо одномостовой схемы (рисунок 1а), можно использовать двухмостовую аналогичную схему с последовательным включением активного выпрямителя и неуправляемого шестипульсного выпрямителя (рисунок 1б).

В случае, когда основным элементом выпрямления является схема на тиристорах, причиной добавления дополнительного неуправляемого выпрямителя – уменьшение потребления реактивной мощности и искажения формы кривой сетевого тока. Это также способствует упрощению фильтрации высших гармоник сетевого тока.

В данном исследовании мы рассмотрим значимость внедрения такого усложнения в случаях использования шестипульсной схемы на IGBT в качестве основного выпрямителя.



а – одномостовая; б – двухмостовая с последовательно соединенными нерегулируемым и активным выпрямителями с трехобмоточным трансформатором
Рисунок 1 – Принципиальные схемы питания систем АВН

Сопоставление энергетических характеристик систем "АВН-ДПТ" по критерию минимального потребления реактивной энергии и максимального коэффициента мощности выполнено в программе MATLAB Simulink.

Имитационная модель, соответствующая однофазной схеме, предполагает следующую структуру, представленную на рисунке 2. Питание с автотрансформатора с обмотками Y/Y, подключенного к сети трехфазного переменного тока промышленной частоты 50 Гц и напряжением 380 В, поступает на АВН, после чего выпрямленный ток проходит через сглаживающий дроссель и поступает на независимо возбуждаемый постоянного тока двигатель ДП-21, характеристики которого приведены в паспортных данных из и таблице 1.

Таблица 1 – Паспортные данные ДПТНВ ДП-21

P_H	n_H	U_H	I_H	$R_{кат}$	Φ_H	$I_{вн}$	P_{II}	J_D
кВт	об/мин	В	А	Ом	мВб	А	-	Кг*м ²
4,5	1050	220	26	0,94	5,8	1,24	2	0,125

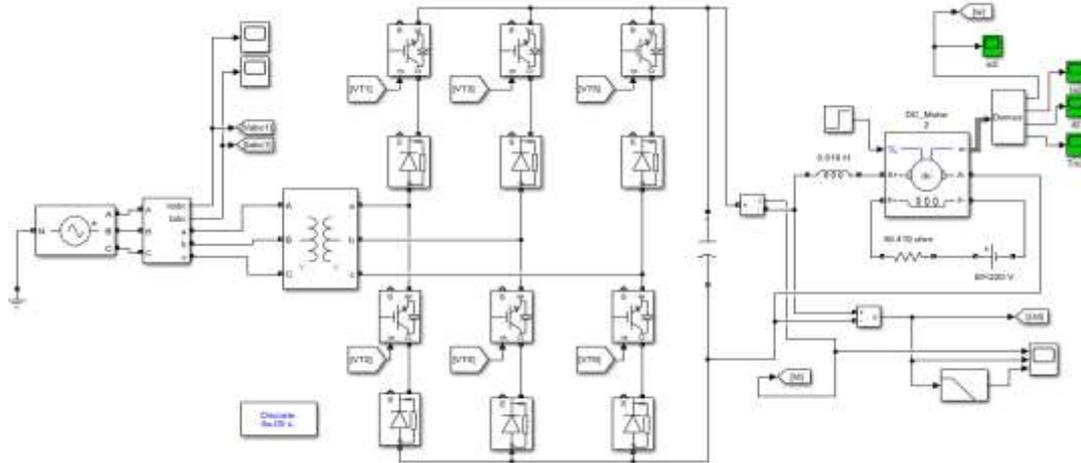


Рисунок 2 – Модель одномостовой схемы

Модель двухмостовой схемы (рисунок 3) отличается от первой наличием двух последовательно соединенных мостовых преобразователей, запитанных от одного трехобмоточного трансформатора с типом соединения обмоток $Y/Y/Y$.

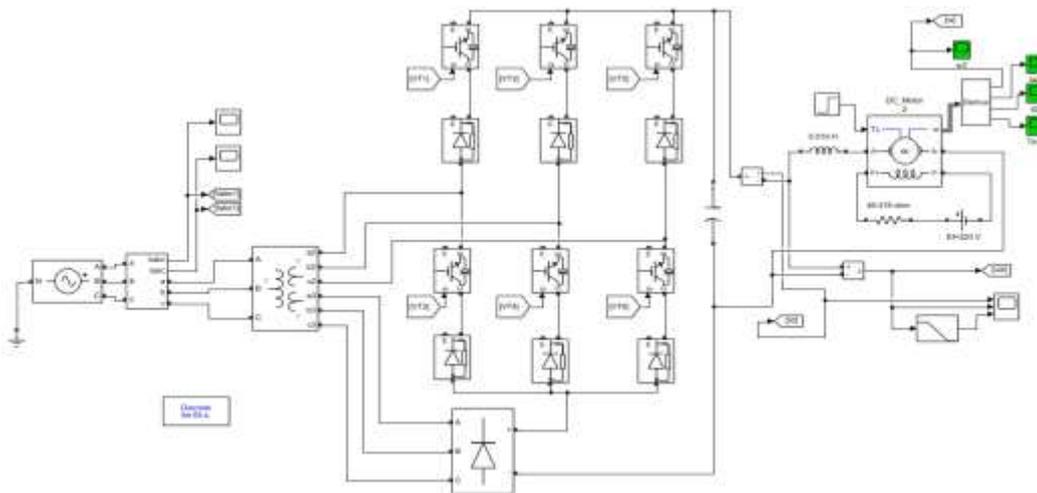
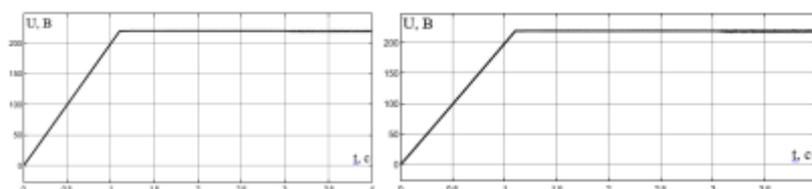


Рисунок 3 – Модель двухмостовой схемы с трехобмоточным трансформатором

Цикл моделирования включает в себя следующие стадии: пуск двигателя с линейным нарастанием питающего напряжения, выход в точку реального холостого хода, соответствующую моменту трения, наброс номинальной нагрузки и работа при номинальных параметрах. Длительность цикла составляет 4 с.

Графики напряжения в цепи выпрямленного тока показаны на рисунке 4.

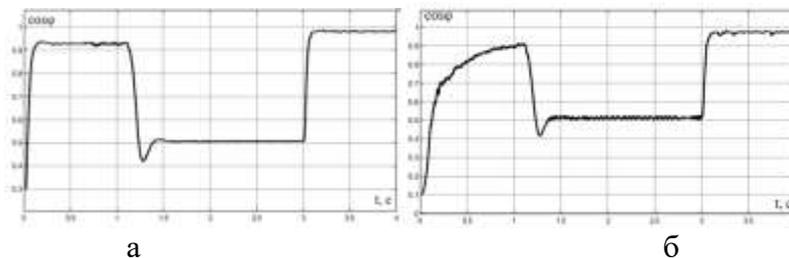


а б

а – для однофазной схемы; б – для двухфазной схемы с трехобмоточным трансформатором

Рисунок 4 – График напряжения на двигателе

Графики зависимости коэффициента мощности от времени, полученные в ходе исследования, показаны на рисунке 5.



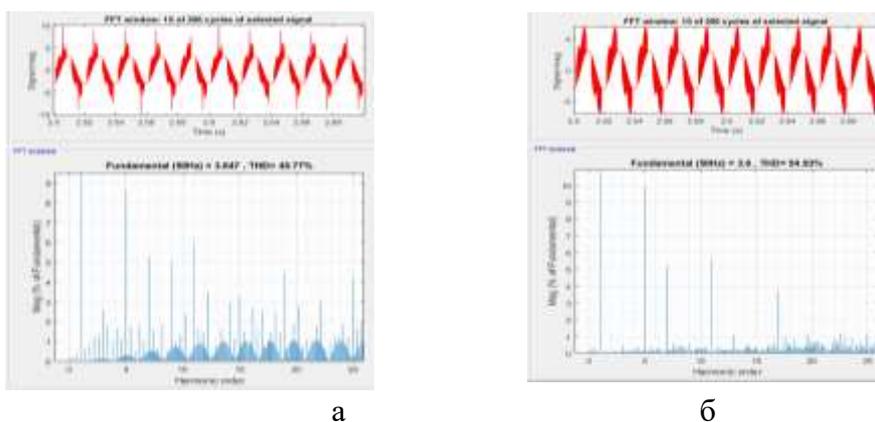
а б

а – для однофазной схемы; б – для двухфазной схемы с трехобмоточным трансформатором

Рисунок 5 – График зависимости коэффициента мощности от времени

Чтобы провести гармонический анализ в MATLAB, необходимо выбрать в окне Powergui инструмент FFT Analysis – быстрое преобразование Фурье.

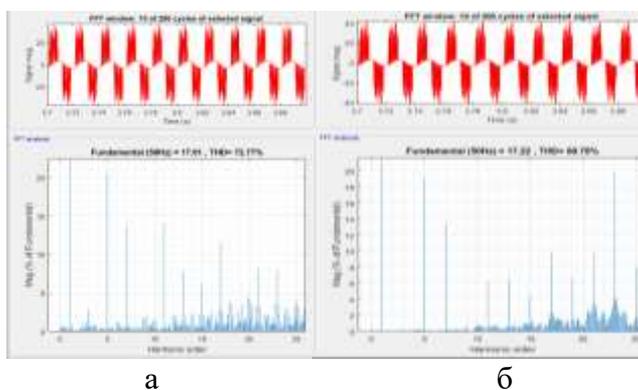
Такой метод позволяет оценить качество питающей сети по параметрам "коэффициент гармонических искажений" КГИ (THD в иностранной литературе) и "спектр распределения гармоник". Результаты анализа гармонического состава при работе привода представлены на рисунках 6-7.



а б

а – для однофазной схемы; б – для двухфазной схемы с трехобмоточным трансформатором

Рисунок 6 – Анализ гармонического состава при работе привода на ХХ



а б

а – для однофазной схемы; б – для двухфазной схемы с трехобмоточным трансформатором

Рисунок 7 – Анализ гармонического состава при работе привода в номинальном режиме

Выводы: 1) Показатель "максимум $\cos\varphi$ " при работе под нагрузкой между рассматриваемыми схемами показал паритет около 0,98; 2) По потреблению реактивной энергии рассмотренные схемы обладают сопоставимыми данными около 6000 ВАрс; 3) При работе привода в режиме холостого хода наименьшее генерирование искаженных гармонических составляющих в сеть характерно для схемы АВН с дополнительным неуправляемым выпрямителем и трехобмоточным трансформатором (THD = 45,77%), а при работе с номинальным моментом на валу - для одномотовой схемы АВН (THD = 72,77%).

Список литературы

1. Жежеленко, И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения [Текст] / И.В. Жежеленко. – Москва: Энергоатомиздат, 2000. – 331 с.
2. Розанов, Ю.К. Основы силовой электроники [Текст] / Ю.К. Розанов – Москва: Энергоатомиздат, 1992. – 296 с.
3. Арриллага, Дж. Гармоники в электрических системах [Текст] / Дж. Арриллага, Д. Брэдли, П. Боджер – Москва: Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.
4. Мещеряков, В.Н. Активные фильтрокомпенсирующие устройства для систем регулируемого электропривода постоянного тока [Текст] / В.Н. Мещеряков, А.А. Коваль. – Липецк: Издательство ЛГТУ, 2008. – 164 с.
5. Вешеневский, С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе [Текст]: справочник / С.Н. Вешеневский. – Москва: Энергия, 1977. – 432 с.

INVESTIGATION OF DC ELECTRIC DRIVE SYSTEMS WITH AN ACTIVE RECTIFIER

PASKAR VADIM IGOREVICH

student of gr. M-EP-23-1

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

MURAVYEV ARTEM ARTUROVICH

Scientific supervisor, lecturer of the electric drive department

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

Abstract: this article is devoted to the study of electromagnetic compatibility of DC electric drive systems with an active rectifier and a supply network

Keywords: current, rectifier, IGBT transistor, transformer

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ДРАЙВЕРА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ДВУХЗВЕННЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ С АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

ПЕТРОВ КИРИЛЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ

студент гр. М-ЭП-23-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: в данной работе будет рассматриваться двухзвенный преобразователь частоты с автономным инвертором напряжения, который будет управлять асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором. В статье имеется как математическое вычисление, так и моделирование в среде MatlabSimulink.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, преобразователь частоты, инвертор напряжения, моделирование simulink.

Асинхронный двигатель отлично зарекомендовал себя в различных отраслях промышленности, т.к. обладает отличными регулировочными функциями. В моделировании участвует асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, паспортные данные которого представлены в таблице 1

Таблица 1 – Паспортные данные двигателя AEGAMS 80ZBA4

n, об/мин	p _п	P _н , кВт	η _н	cos φ _н	$\frac{M_{max}}{M_H}$	$\frac{M_{п}}{M_H}$	$\frac{I_{п}}{I_H}$	J _{дв} , кг·м ²
1410	2	0,75	72,4	0,72	2,8	2,1	4,4	0,00277

Для данного асинхронного двигателя были рассчитаны параметры схемы замещения по Копылову.

На рисунке 1 представлена векторная модель двухзвенного трёхфазного инвертора с асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором.

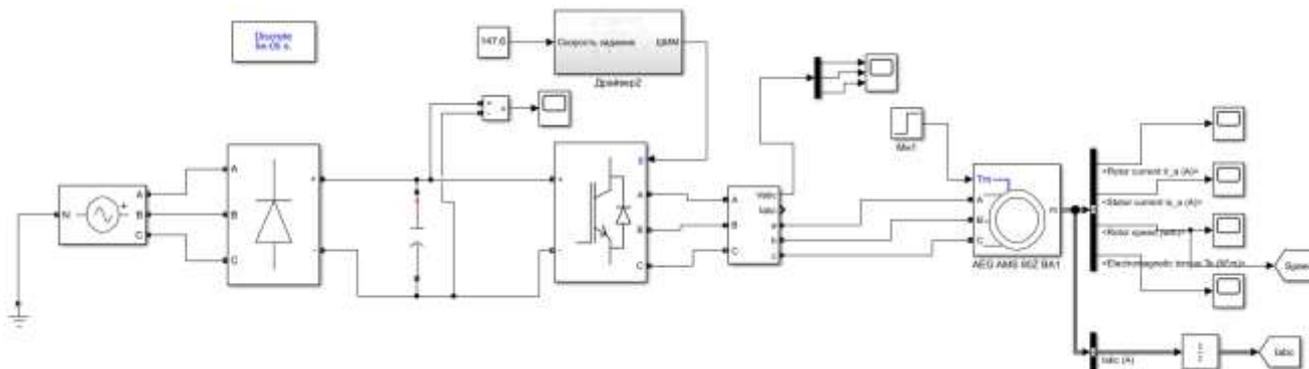


Рисунок 1 – Векторная модель инвертора с АДКЗР

Главное частью данной модели является блок драйвер, представленный на рисунке 2 совместно с блоком вычисления угла theta.

Система координат d-q подвижна, поэтому для преобразования из одной системы координат в другую нужен угол theta.

Формула, записанная в блок Function, для нахождения угла:

$$\frac{L_m \cdot I_q}{\psi_r \cdot T_r + 0,001}$$

$$T_r = \frac{L_r}{R_r} = \frac{0,452}{3,46} = 0,13 \text{ с.}$$

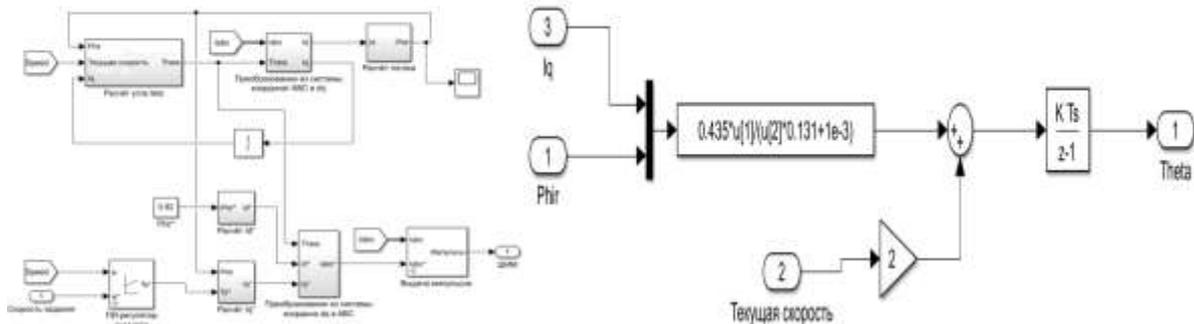


Рисунок 2 – Драйвер и блок вычисления угла theta

После формулы происходит сложение вычисленного параметра с удвоенным значением скорости и далее интегрируется. В следующем блоке происходит именно преобразование в подвижную систему координат, а также нахождение модуля магнитного потока ротора (рисунок 3) при помощи математического вычисления по следующим формулам:

$$I_d = \cos \Theta \cdot I_A + (\sqrt{3} \cdot \sin \Theta - \cos \Theta) \cdot I_B \cdot 0,5 + (-\cos \Theta - \sqrt{3} \cdot \sin \Theta) \cdot I_C \cdot 0,5,$$

$$I_q = -\cos \Theta \cdot I_A + (\sqrt{3} \cdot \sin \Theta + \cos \Theta) \cdot I_B \cdot 0,5 + (\cos \Theta - \sqrt{3} \cdot \sin \Theta) \cdot I_C \cdot 0,5,$$

$$H = 1/1 + T_r.$$

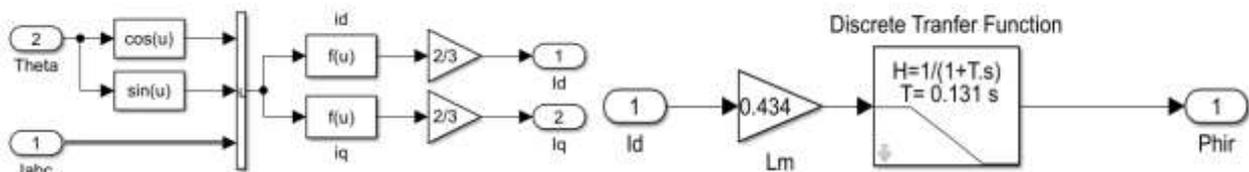


Рисунок 3 – Вычисление токов координат d-q и нахождение модуля магнитного потока ротора

Когда все нужные параметры вычислены, можно перейти к основной части данного драйвера, а именно к регулированию. Задание на скорость пишется в блок Constant (было записано номинальное значение, а именно 147,6 рад/с). В блок ПИ-регулятора скорости входит как задание на скорость, так и текущая скорость для того, чтобы сравнить их разницу и на основе данного значения регулировать параметр. На выходе получаем задание на момент. В блоке Saturation пишется номинальное значение момента, т.е. 5,079 Н·м. В пропорциональной части записан коэффициент 5, а в интегральной 2. Для формирования импульсов применяется соответствующий блок, представленный на рисунке 4, который вычитает ток задания и текущий ток по фазам ABC, затем сигнал проходит блок гистерезиса, служащий для уменьшения колебания напряжения, и далее поступает непосредственно на IGBT-транзисторы.

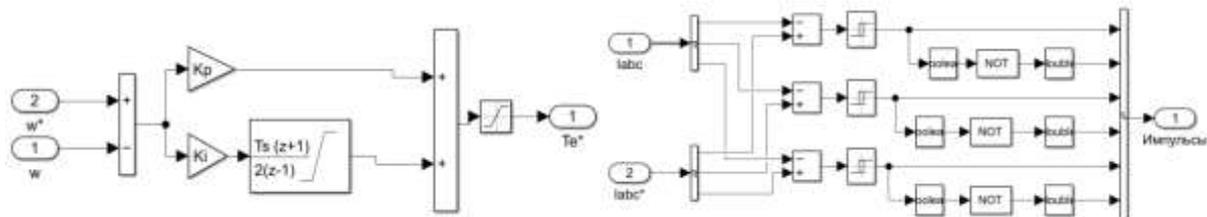


Рисунок 4 – ПИ-регулятор скорости и блок выдачи импульсов

На основе задания момента происходит расчёт задания токов d-q координат. Далее вычисляем ток I_d^* и I_q^* и переводим обратно в систему координат ABC вычисляются следующим образом:

$$I_d^* = \frac{\Psi_r^*}{L_m},$$

$$I_q^* = \frac{2}{3} \cdot \frac{2}{p} \cdot \frac{L_r}{L_m} \cdot \frac{T_e^*}{\Psi_r^*},$$

$$I_A^* = -I_q^* \cdot \sin \Theta + I_d^* \cdot \cos \Theta,$$

$$I_B^* = \left(-\cos \Theta + \sqrt{3} \cdot \sin \Theta \right) \cdot I_d^* \cdot 0,5 + \left(\sin \Theta + \sqrt{3} \cdot \cos \Theta \right) \cdot I_q^* \cdot 0,5,$$

$$I_C^* = I_A^* - I_B^*.$$

На рисунке 6 представлен график потокосцепления ротора и график скорости.

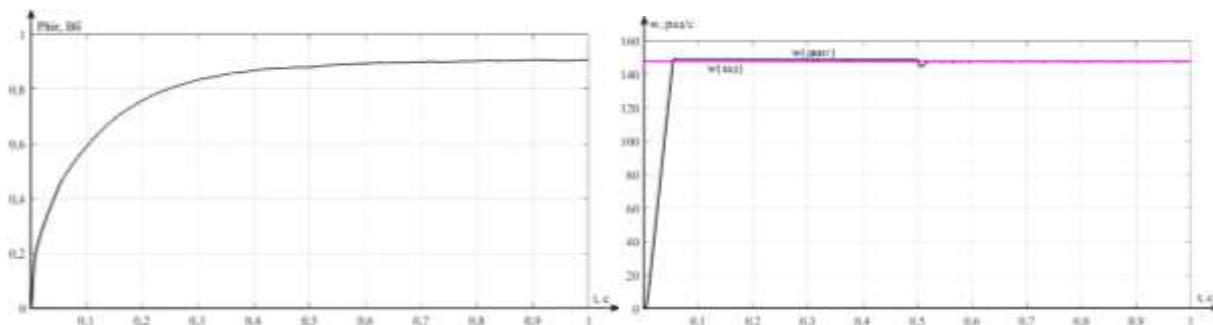


Рисунок 6 – График потокосцепления ротора

Задание на скорость соответствует номинальному значению. Как видно из рисунка, за счёт И части происходит небольшое перерегулирование на 1,5 рад/с, но к моменту наброса нагрузки достигает заданного значения. По времени 0,5с происходит приложение нагрузки к двигателю, скорость опускается до 144,5 рад/с, но практически сразу же возвращается к заданному значению и в дальнейшем скорость не изменяется.

На рисунке 7 представлен график момента, изменяющийся во времени.

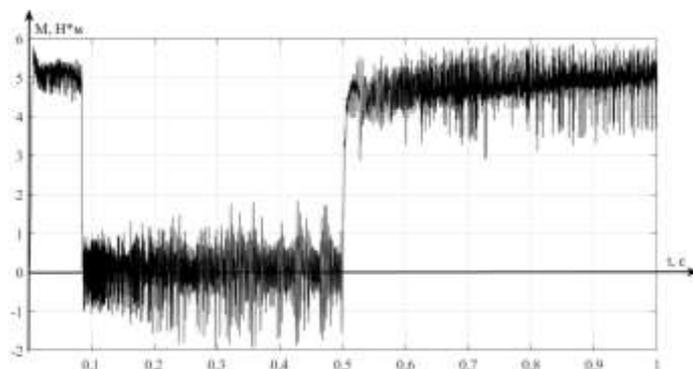


Рисунок 7 – График момента

Список литературы

1. Вешеневский С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе [Текст] / С.Н. Вешеневский – Москва: «Энергия», 1977. – 432 с.
2. Лопухина Е.М. Автоматизированное проектирование электрических машин малой мощности [Текст] / Е.М. Лопухина, Г.А. Семенчуков – Москва: «Высшая школа», 2002. – 511 с.
3. Терёхин В.Б. Моделирование систем электропривода [Текст] / В.Б. Терёхин – Томск: ТПУ, 2010. – 292 с.
4. Крупович В.И. Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами [Текст] / В.И. Крупович, Ю.Г. Барыбин, М.Л. Самовер. – М.: Энергоиздат, 1982. – 416 с.
5. Ковалёв Ф.И. Стабилизированные автономные инвертора с синусоидальным выходным напряжением [Текст] / Ф.И. Ковалёв, Г.П. Мосткова, В.А. Чванов, А.И. Толкачёв. – М.: Энергия, 1972. – 268 с.

STUDY OF THE OPERATION OF A DRIVER FOR CONTROLLING A TWO-LINK FREQUENCY CONVERTER WITH AN INDUCTION MOTOR

PETROV KIRILL ALEKSANDROVICH

student gr. M-EP-23-1

Lipetsk State Technical University

Abstract: in this work we will consider a two-link frequency converter with an autonomous voltage inverter, which will control an asynchronous motor with a squirrel-cage rotor. The article contains both mathematical calculations and modeling in the Matlab Simulink environment.

Keywords: induction motor, frequency converter, voltage inverter, simulink simulation.

РЕАКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ И СПОСОБЫ ЕЕ КОМПЕНСАЦИИ

ПОПОВ АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ

Студент ЭП-21-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ПОНОМАРЕВ ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ

Научный руководитель, преподаватель кафедры электропривода
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: статья посвящена реактивной мощности, ее полезному применению, негативным сторонам ее присутствия в сетях переменного тока, а также описывает возможные способы ее компенсации.

Ключевые слова: реактивная мощность, компенсация реактивной мощности.

Полная мощность электрической энергии состоит из активной и реактивной составляющей. Активная часть расходуется на производство полезной работы электрической машиной, в то время как реактивная не совершает механической работы, однако, необходима для образования электромагнитных полей, а также создает излишнюю нагрузку на силовые линии электропитания. Ее можно охарактеризовать таким параметром, как φ – угол сдвига фаз переменного напряжения от тока.

Реактивная энергия, протекая через катушку индуктивности (статор), создает в ней вращающееся магнитное поле, которое в свою очередь создает переменную ЭДС в обмотке ротора.

Величина, характеризующая потребление реактивной мощности, называется $\cos \varphi$ – отношение активной мощности к полной.

$$\cos(\varphi) = P / S,$$

где: P – активная мощность, измеряемая в ваттах (Вт, W)

S – полная мощность, измеряемая в вольт-амперах (ВА, VA)

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

где: Q – реактивная мощность, измеряемая в варах (Var, var).

$\cos(\varphi)$ уменьшается при увеличении потребления реактивной мощности. Необходимо, чтобы $\cos(\varphi)$ стремился к 1, так как уменьшение его значения несет существенные проблемы:

- большие потери энергии в линиях передачи и распределения тока – энергия расходуется на нагрев проводников и рассеивание тепла в окружающую среду;
- высокие перепады напряжения в электрических сетях;
- необходимость увеличения габаритной мощности силовых трансформаторов, генераторов, а также увеличение сечения проводов и кабелей.

Крупными потребителями реактивной мощности являются как отдельные элементы энергетической системы, такие как: трансформаторы, линии электропередач, токоограничивающие реакторы; так и электроприемники, использующие данный вид энергии, например, асинхронные машины, индукционные печи, сварочные трансформаторы, преобразовательные установки и многие другие.

Предприятие, потребляющее энергию из общей сети, может уменьшить затраты на ее приобретение, снизив потребление внешней реактивной мощности. В таком случае организации необходимо использовать установки компенсации реактивной мощности. Такое устройство представляет из себя батарею конденсаторов. В зависимости от условий работы

электрооборудования, компенсационная установка может быть: централизованной, групповой или индивидуальной.

– Индивидуальная компенсация применяется на определенном участке возникновения реактивной мощности и является постоянной. Кроме того, позволяет разгрузить питающие провода со стороны энергосистемы.

– Групповая компенсация осуществляется присоединением общего постоянного конденсатора к нескольким параллельно работающим индуктивным потребителям.

– Централизованная компенсация отличается тем, что конкретное число конденсаторных батарей присоединяется к общему распределительному шкафу или щиту. Данный способ наиболее актуален в электросистемах с переменной нагрузкой. Управление установкой осуществляется за счет электронного регулятора, который отвечает за включение или выключение конденсаторных батарей в работу, компенсирующих мгновенную реактивную энергию общей нагрузки, а также анализирует потребление данного вида энергии из питающей сети.

Также применяются синхронные двигатели без нагрузки на валу в качестве генераторов и потребителей реактивной мощности.

Регулирование реактивной мощности в цепи статора двигателя обусловлено изменением тока его возбуждения и представлено векторными диаграммами на рисунке 1.

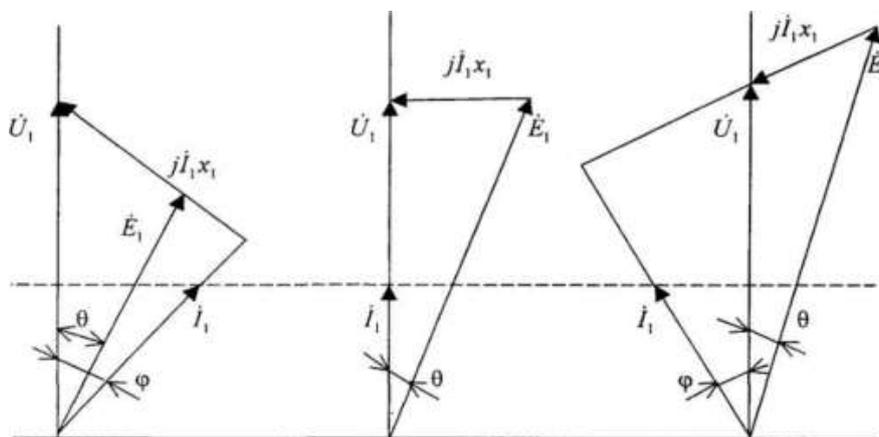


Рисунок 1 – Векторные диаграммы синхронного двигателя при разных токах возбуждения: а – отстающий $\cos(\varphi)$; б – $\cos(\varphi) = 1$; в – опережающий $\cos(\varphi)$

Векторная диаграмма на рисунке 1,а соответствует току возбуждения ниже номинального. При этом вектор тока отстает от вектора напряжения, то есть двигатель работает с отстающим $\cos(\varphi)$, а это значит, что в таком режиме работы реактивная мощность потребляется из сети.

При увеличении тока возбуждения, ЭДС E_1 , наводимая в обмотках статора, увеличивается и в определенный момент времени может достигнуть такого значения, при котором ток статора, будет совпадать по фазе с напряжением, то есть $\cos(\varphi) = 1$ (рисунке 1,б). Момент на валу двигателя при этом будет такой же, как и в предыдущем случае, однако, значение реактивной мощности будет равно нулю. Ток статора при данном моменте нагрузки будет минимальным. Этот режим является энергетически наиболее выгодным для синхронного двигателя, так как потери в статоре будут минимальны.

Если продолжить увеличивать ток возбуждения, то, в таком случае, ток будет опережать по фазе напряжение, при этом $\cos(\varphi)$ станет опережающим, и синхронный двигатель будет генерировать реактивную мощность (рисунке 1,в).

Зависимость тока статора от тока возбуждения синхронного двигателя отражается U-образной характеристикой, представленной на рисунке 2.

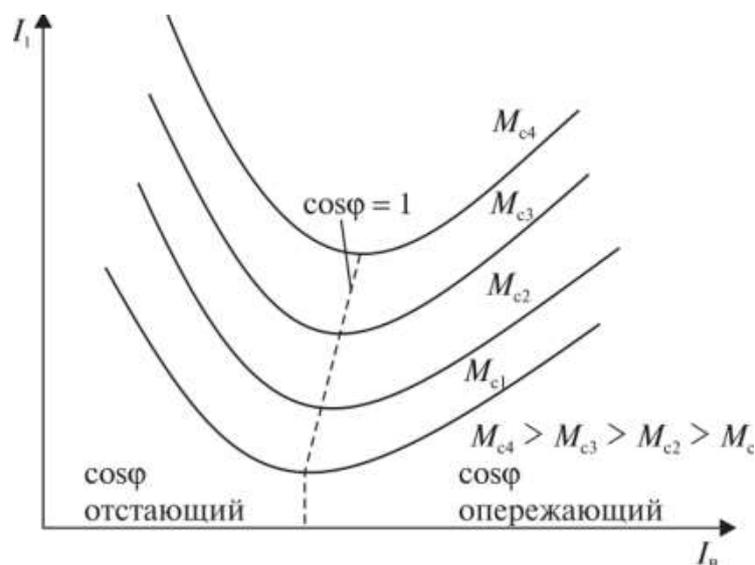


Рисунок 2 – U-образные характеристики синхронного двигателя

Таким образом, все вышеизложенное позволяет сделать следующие выводы. Несмотря на негативное влияние реактивной мощности в сетях переменного тока, ее присутствие в линиях питания электрооборудования необходимо, так как, в данный момент времени, большая часть производственных мощностей состоит из множества потребителей данного вида энергии. Кроме того, в статье затрагивались вопросы компенсации реактивной мощности различными видами оборудования.

Список литературы

1. Вольдек, А.И., Попов В.В. Электрические машины. Введение в электромеханику. Машины постоянного тока и трансформаторы / А.И. Вольдек, В.В. Попов // Учебник для вузов, 2008.
2. Швейгерт, В.Ф. Компенсация реактивной мощности / В.Ф. Швейгерт // Вестник науки и образования, 2020. №7-2 (85).
3. Терованесов, М.Р., Литвинова Е.А., Тарасов С.В. Вопросы компенсации реактивной мощности/ М.Р. Терованесов, Е.А. Литвинова, С.В. Тарасов // Сборник научных трудов ДонИЖТ, 2017. №47.
4. Попов, И.П. Редукция реактивной мощности в сети / И.П. Попов // Вестник НГИЭИ, 2021. №10 (125).
5. Покровский, Д.С. Реактивная мощность и виды ее компенсации / Вестник магистратуры, 2021. №5-6 (116).

REACTIVE POWER AND METHODS FOR ITS COMPENSATION

POPOV ALEXANDER SERGEYEVICH

Student EP-21-1

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Lipetsk State Technical University"

PONOMAREV PAVEL SERGEEVICH

Research supervisor, lecturer of the electric drive department

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

Abstract: the article is devoted to reactive power, its beneficial applications, the negative aspects of its presence in alternating current networks, and also describes possible ways to compensate for it.

Keywords: reactive power, reactive power compensation.

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ЭЛЕКТРОАППАРАТОВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В УСТРОЙСТВАХ ЗАЩИТЫ И УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

ПРАВИЛЬНИКОВ ВЛАДИМИР АЛЕКСЕЕВИЧ

Инженер-электроник кафедры автоматизированного электропривода и робототехники
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

СЁМИН ГРИГОРИЙ ВИКТОРОВИЧ

Аспирант кафедры автоматизированного электропривода и робототехники
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: в данной статье освещён вопрос применения отечественных электроаппаратов в устройствах защиты и управления электроприводом. Рассмотрены схемы включения электроаппаратов и изготовленные действующие шкафы управления электроприводом.

Ключевые слова: электроаппарат, реле напряжения, реле тока, программируемое реле.

В настоящее время развитие микроэлектроники, микропроцессорной техники и электротехнических материалов позволило массово производить недорогие отечественные электроаппараты для защиты и управления электроприводом, что актуально в связи с введенными санкциями.

Для защиты трёхфазных электродвигателей по напряжению выпускаются микропроцессорное реле напряжения модели РНПП-311М. Имея небольшие габариты, реле позволяет контролировать:

- допустимый уровень напряжения и срабатывание защиты по установленному (U_{\min}) и (U_{\max});
- правильность последовательности чередования и перекос фаз;
- срабатывание, в зависимости от уставок, с целью отключения электродвигателя от питающей сети;
- контроль напряжения после отключения электродвигателя и включения его после восстановления параметров сетевого напряжения по истечению заданного времени;
- на светодиодных индикаторах отображается состояние аварии и наличие напряжения на каждой фазе.

В реле заложена возможность регулировки параметров защиты (порога срабатывания по напряжению, времени АПВ и времени задержки срабатывания защиты и т.д.). После восстановления заданных параметров напряжения реле повторно включает электродвигатель через время АПВ.

На рисунке 1 представлены: органы управления и индикации, габаритные размеры, схема подключения. Завод выпускает реле РНПП-302 с цифровым дисплеем, которое выполняет все функции реле РНПП-311М и дополнительно на дисплей выводится текущая информация о фазном или линейном напряжении, режимах работы, но при этом стоимость в два раза выше.

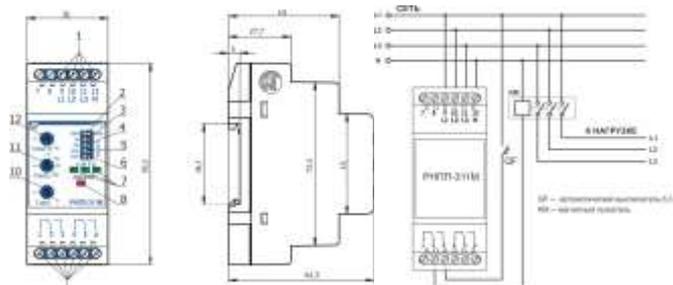


Рисунок 1 – Реле РНПП-311М и схема включения

Электроаппараты для комплексной защиты и управления электроприводом

Более широкие возможности представляет реле защиты электродвигателей AZD-M-02, которое предназначено для защиты трехфазных электродвигателей переменного тока от аварийных режимов работы, как по напряжению, так и по току. На рисунке 2 представлен внешний вид реле, схема включения.

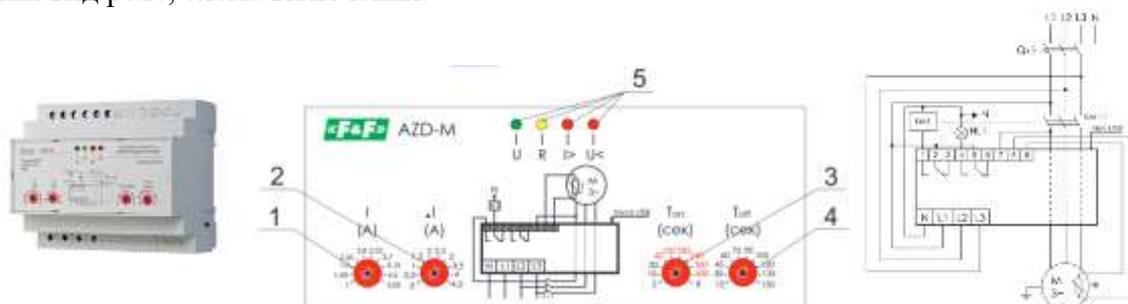


Рисунок 2 – Реле AZD-M-02: лицевая панель и схема включения

Реле защиты электродвигателей AZD-M-02 измеряет действующее значение тока потребляемого электродвигателем в рабочем режиме и значение напряжения в трехфазной сети питания. При выявлении аварийных режимов работы электродвигателя, срабатывает исполнительного реле, индицируется состояние аварии и электродвигатель отключается от сети питания.

Реле осуществляет следующие защитные функции: от частых пусков, перегрузки по току, нарушения чередования и обрыва фаз, асимметрии фазных токов и напряжений, короткого замыкания, сухого хода.

При встроенном в электродвигатель датчика температуры осуществляется защита от перегрева. Заводом изготовителем заложена возможность контроля сопротивления изоляции обмоток электродвигателя (если сопротивление изоляции $< 0,5$ МОм, то запуск электродвигателя запрещается)

Реле в режиме защиты по току переключателем T_{off} можно установить одну из токовых характеристик электродвигателя. В режиме защиты от токов короткого замыкания, происходит отключение электродвигателя за время не более 0,1 секунды.

При отключении электродвигателя при аварии повторное включение невозможно. После устранения неисправности необходимо повернуть по часовой стрелке регулятор T_{on} в положение R (Reset) а затем вернуть его в исходное положение.

На лицевой панели светодиоды индикации своим состоянием (светится, не светится, мигает) в реальном режиме времени выводят информацию о текущем состоянии реле и работы двигателя. Наличие микропроцессора в конструкции реле предусматривает программирование и считывание информации при подключении к компьютеру через USB, а также дистанционное управление, предварительно установив драйвер FTDICDM.

Приборы управления электроприводом по заданной программе

Для работы электродвигателей в приводе вентиляторов, насосов, клапанов, оборудования с периодическим реверсом, необходимо управление по заранее установленной программе, в соответствии с производственным заданием. Для этих целей хорошо зарекомендовали себя микропроцессорные программируемые реле ПР200 и ПР205, представленные на рисунке 3.

ПР200 – программируемое реле с дисплеем применяется для решения локальных задач автоматизации электропривода: водоподготовка, водоочистка, вентиляция, отопление и др. Для интеграции в SCADA-системы и управления внешними устройствами в прибор может быть установлено до двух интерфейсов RS-485 с поддержкой протоколов Modbus RTU/ASCII.



Рисунок 3 – Реле PR200 и Реле PR205

PR205 – программируемое реле с графическим дисплеем и Ethernet. Графический цветной экран позволяет создавать интерфейсы пользователей, что значительно упрощает настройку. Интерфейс Ethernet позволяет интегрировать прибор в распределенные системы, реализовывать удаленный контроль и управление электроприводом с помощью облачного сервиса OwenCloud.

Рабочая программа работы PR200 и PR205 создаётся пользователем на персональном компьютере, в среде программирования OwenLogic, что позволяет при создании пользовательских алгоритмов учитывать все особенности системы.

Аппараты управления

Большинство схем управления электроприводом включает реле времени и малогабаритные промежуточные реле. На рисунке 4 представлено реле времени РВО-П2-М-15 и схема включения.

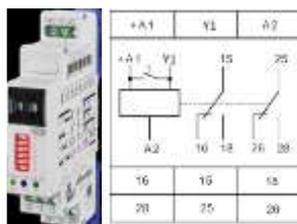


Рисунок 4 – Реле времени РВО-П2-М-15 и схема подключения

Реле времени РВО-П2-М-15 предназначено для выдачи команд в цепи схем управления через контакты реле после отработки установленной выдержки времени по заданному алгоритму работы. Реле применяется в системах автоматизации электропривода.

Диапазон выдержки времени от 0.1с до 99ч устанавливается на лицевой панели, выбирая один из восьми поддиапазонов. Время выдержки в поддиапазоне задаётся с помощью переключателей. Состояние и работа реле индицируется тремя светодиодами, что представляет удобство при пусконаладочных работах. Кроме перечисленного реле может запускаться дистанционно. Имея малые габариты, установку на DIN рейку и широкий диапазон выдержки времени, включая небольшую стоимость, реле РВО-П2-М-15 нашло широкое применение.

На рисунке 5 представлено реле КИППРИБОР РП-403.



Рисунок 5 – Реле промежуточное КИППРИБОР РП-403, внешний вид, органы управления и индикации.

Реле КИППРИБОР РП-403 имеет четыре группы переключающих контактов на ток 5А, управляющее напряжение от 12 до 220 вольт, возможность ручного включения, светодиодную и механическую индикацию текущего состояния, что удобно при выполнении пусконаладочных работ. Монтируется реле в гнезда штепсельной панели, установленной на DIN рейку.

На кафедре автоматизированного электропривода и робототехники были разработаны и изготовлены шкафы управления электроприводом: шкаф с частотным приводом, установленные электроаппараты, шкаф с реле ПР200 (рис. 6).



Рисунок 6 – Шкафы управления электроприводом в лаборатории кафедры

Таким образом электроаппараты нашли широкое практическое применение в устройствах защиты и управления электроприводом.

Список литературы

1. Евроавтоматика. Руководство по эксплуатации реле защиты электродвигателей AZD-M.
2. ЗАО «Меандр». Паспорт реле РВО-П2-М-15.
3. ООО «Новатек – Электро». Паспорт реле РНПП-311М.
4. ООО «ПО ОБЕН». Паспорт реле ПР200.
5. ООО «ПО ОБЕН». Паспорт реле РП-403.

REVIEW OF MODERN DOMESTIC ELECTRICAL DEVICES FOR APPLICATION IN ELECTRIC DRIVE PROTECTION AND CONTROL DEVICES

PRAVILNIKOV VLADIMIR ALEKSEEVICH

Electronics engineer of the department of automated electric drive and robotics
Lipetsk State Technical University

SEMIN GRIGORY VICTOROVICH

Postgraduate student of the department of automated electric drive and robotics
Lipetsk State Technical University

Abstract: this article covers the issue of using domestic electrical devices in electric drive protection and control devices. The circuits for switching on electrical devices and manufactured operating electric drive control cabinets are considered.

Keywords: electrical device, voltage relay, current relay, programmable relay.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЛИТЬЯ РЕАКТОПЛАСТОВ В ВАКУУМНОЙ СРЕДЕ

ПРОКУДИН ГЕРМАН ЮРЬЕВИЧ

Аспирант каф. АПП

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»

КОНДРАТЬЕВ СЕРГЕЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ

студент гр. М-ЭП-23-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ПИКАЛОВ ВЛАДИМИР ВЛАДИМИРОВИЧ

к.т.н., преподаватель кафедры электропривода

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: в данной работе рассматривается автоматизация технологического процесса в литевых установках с целью повышения производительности и прочностных свойств отливаемых изделий за счет возможности оптимизации технологических параметров индивидуально для каждой марки полимеров. В работе приводится разработка электрической схемы системы управления литевой установкой, а также разработанный комплекс программного обеспечения.

Ключевые слова: система управления, комплекс программное обеспечение, литевая установка, реактопласты, пластмассовые изделия, мелкосерийное производство.

На сегодняшний день современная промышленность не обходится без применения полимеров, использование их столь значительно, что невозможно себе представить автомобиль или же бытовую технику без использования в них деталей, сделанных из пластика. Широкое применение пластмассовых деталей привело к созданию различного рода технологий и самих полимеров для их изготовления.

Существующие на рынке образцы оборудования для мелкосерийного производства (10-1000 шт. одного вида детали), не удовлетворяют критерию качества отливаемых изделий в связи с отсутствием оптимального управления и контроля технологических параметров, а также не позволяют адаптировать технологический процесс под различные полимеры.

В данной работе рассматривается автоматизированное управление технологического процесса мелкосерийного производства пластмассовых изделий. Данной технологией является литье в силиконовых формах и представляет собой технологический процесс, направленный на создание дубликатов изделий по мастер-модели из двухкомпонентного полимера, например, полиуретана. При смешивании компонентов полимера происходит их затвердевание. Пластик, образовавшийся в результате химической реакции компонентов, отличается термостойкостью, негорючестью и стойкостью к органическим растворителям. Такие свойства полимеров делают их востребованными в электротехнической промышленности, где существует потенциальная угроза возгорания в случае короткого замыкания. В исследовании используется полиуретановый компаунд марки АДВ-14 ТУ 2252-070-22736960-2002 [1-3].

Исследования проводятся на лабораторной литевой установке, представляющей собой герметичную вакуумную камеру с расположенными внутри узлами дозирования, смешивания. Габариты внутреннего пространства 350x350x500 мм.

Система управления рисунке 1 реализована из двух основных блоков. Первый блок – это плата управления ArduinoMega на базе микроконтроллера ATmega2560, осуществляет управление электрооборудованием литевой установки посредством релейных модулей и драйверов шаговых электродвигателей. Второй блок – это обычный персональный компьютер, на который установлено приложение для ввода параметров.

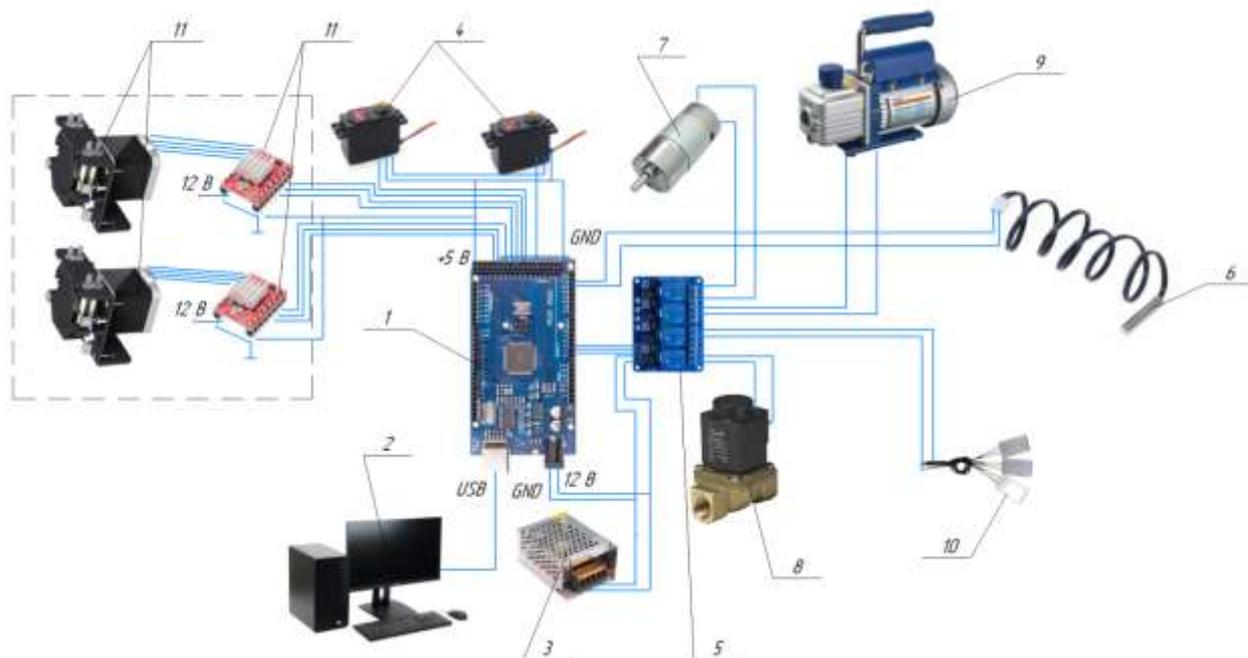


Рисунок 1 – Наглядная электрическая схема подключения

Электрическая схема включает следующие основные составные части:

- 1 – плата управления (ArduinoMega 2560);
- 2 – персональный компьютер;
- 3 – блок питания напряжением 12 В;
- 4 – сервоприводы;
- 5 – модуль реле;
- 6 – датчик температуры;
- 7 – мотор-редуктор;
- 8 – электроклапан;
- 9 – вакуумный насос;
- 10 – ТЭНы;

Электрическая схема состоит из платы управления 1, которая получает команды от персонального компьютера 2, подключенного кабелем USB. Для работы платы управления 1 необходимо электропитание напряжением 12 В, которое дает блок питания 3. К плате управления подключены серводвигатели 4 и модуль реле 5 и датчик температуры 6. К модулю реле 5 подключены мотор-редуктор 7, электроклапан 8, вакуумный насос 9 и ТЭНы литевой формы 10 [4].

Рассмотрим работу электрической схемы подробнее. Плата управления 1 начинает отдавать сигналы согласно программе, загруженной через кабель USB от компьютера 2. Плата управления подает сигнал на вход модуля реле и тот в свою очередь включает вакуумный насос 8, мотор-редуктор 6, электроклапан 7 и цифровой терморегулятор 9, который в свою очередь поддерживает температуру на заданном значении считывая показания датчика 10 и включая и выключая ТЭНы литевой формы.

В качестве платы управления применена ArduinoMega, построенная на микроконтроллере. Плата имеет 54 цифровых входа/выходов (14 из которых могут использоваться как выходы ШИМ), 16 аналоговых входов, 4 последовательных порта UART, USB коннектор, разъем питания, разъем ICSP и кнопку перезагрузки. Для работы платы необходимо подать питание при помощи адаптера AC/DC или подключить плату к компьютеру кабелем USB [4].

Программное обеспечение лабораторной литевой установки состоит из двух частей, а именно «прошивки» контроллера платы управления и приложения, установленного на

компьютер. «Прошивка» контроллера позволяет получать пакеты данных с компьютера через COM-порт и управлять электроавтоматикой [5].

Приложение, устанавливаемое на компьютер, состоит из 6 окон, одно из которых главное окно с настройками технологического процесса, интерфейс представлен на рисунок 2.

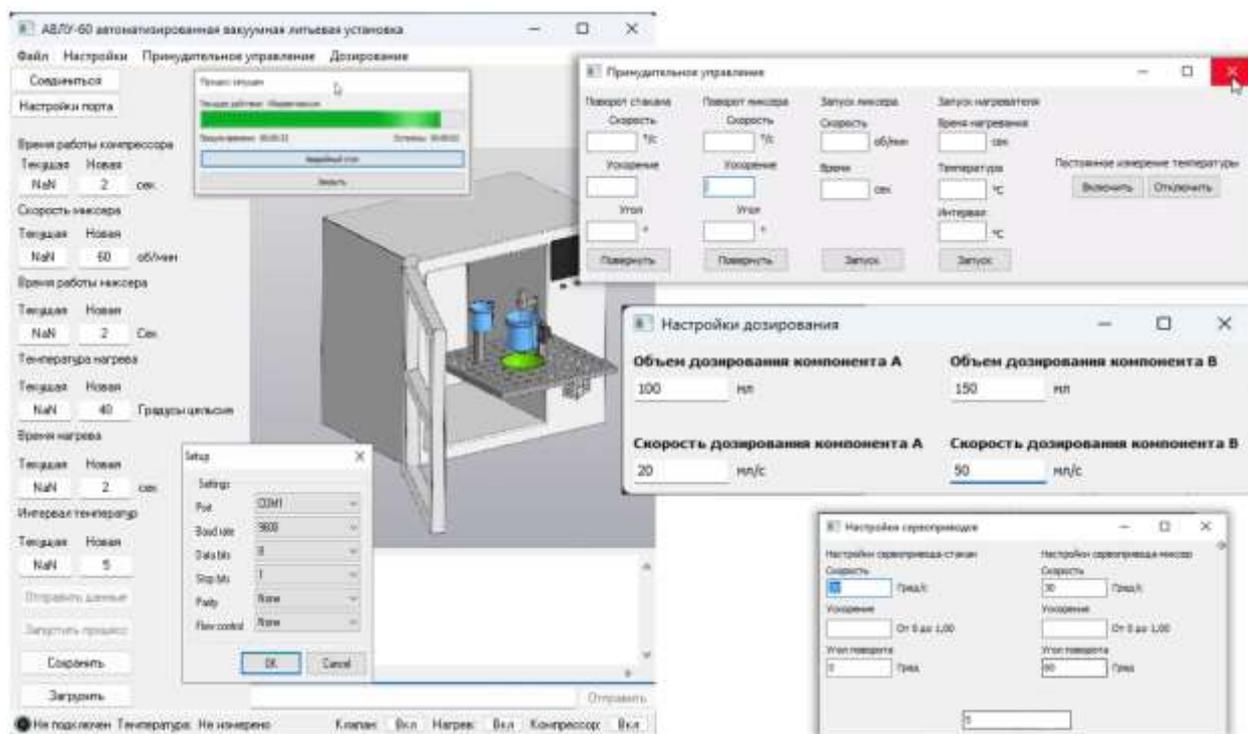


Рисунок 2 – Окно настройки дозирования

В главном окне задаются настройки порта для соединения с платой управления установки, а также задаются технологические параметры, такие как время вакуумирования, время работы и скорость вращения мешалки, температура и время нагрева литьевой формы. Также приложение позволяет сохранять установленные параметры литья в отдельный файл, а после открыть этот файл и настройки будут уже прописаны, что упрощает работу с различными полимерами, для которых необходимы различные параметры литья. Приложение создано в среде программирования Delphi 10.3 [6].

Работа с приложением:

Работа на ПК с ОС Windows. Соединение с ПК осуществляется выбором COM-порта, по которому будет проходить обмен данными и к которому подсоединена сама установка. После активации «настройка порта» открывается окно, для ввода COM-порта и скорости передачи в бодах. Для фиксации настроек необходимо нажать «ОК». После возможно соединение.

После установки соединения вводятся параметры. После нажатия «отправить данные» настройки поступают в микроконтроллер блока управления установки и сохраняются в его памяти. После отправки данных левый столбец заполняется технологическими значениями, которые были отправлены, что подтверждает передачу настроек произошла успешно.

После отправки настроек процесса литья в микроконтроллер блока управления литьевой установки, убедившись в правильности параметров, возможно «Запустить процесс». После микроконтроллер начинает отправлять на приложение отчет о выполненных действиях.

Параметры успешно осуществленного литья можно сохранить в «txt» файл для повторного запуска. Для сохранения необходимо нажать кнопку «файл» на панели и далее «сохранить».

Для исключения аварий механизмов и электроники при тестировании программного обеспечения был применен метод эмуляции в программе-эмуляторе SimulIDE-1.0.0. На рисунке 3 представлена эмуляция взаимодействия системы управления и программного обеспечения литьевой установки [7-8].

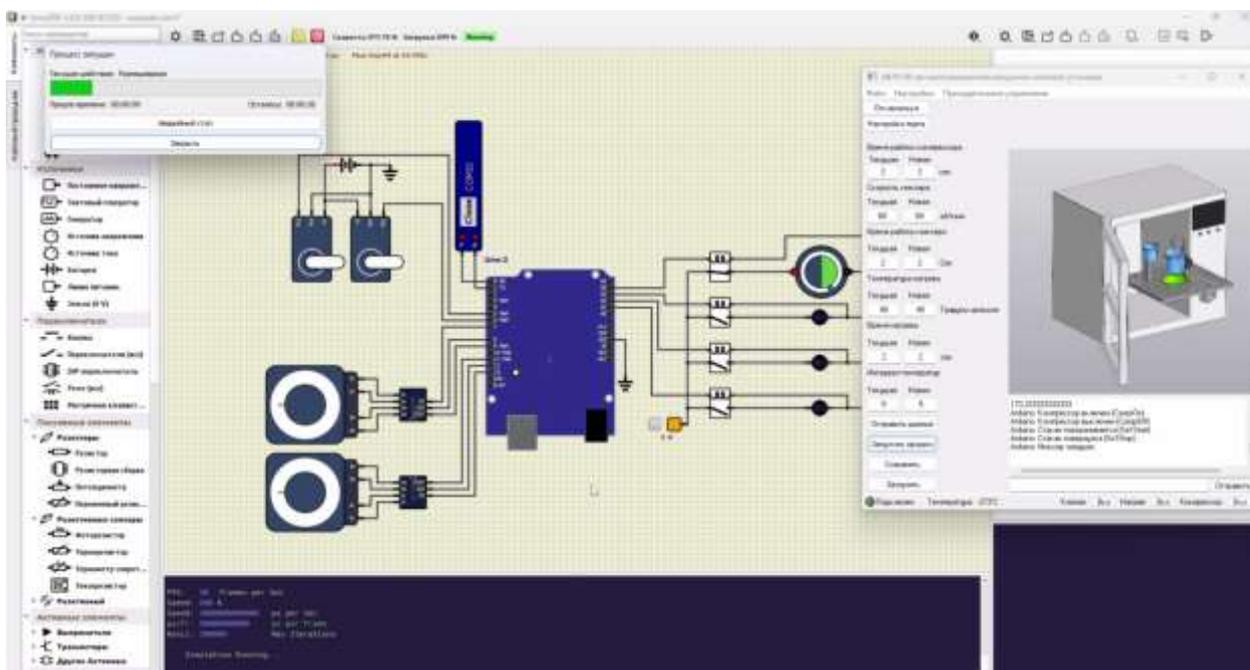


Рисунок 3 – Эмуляция ПО и системы управления в SimulIDE-1.0.0

Список литературы

1. Вакуумное литье пластмасс в силикон // 3D TODEY : офиц. сайт. – 2021. – Режим доступа: <https://3dtoday.ru/blogs/top3dshop/master-class-vacuum-plastic-molding-in-silicon/>
2. Micro-mould fabrication for a micro-gear via vacuum casting / Y. Tang, W.K. Tan, J.Y.H. Fuh, H.T. Loh, Y.S. Wong, S.C.H. Thian, L. Lu // Journal of Materials Processing Technology. – 2007. – Vol. 192–193. – P. 334–339.
3. Chil-ChyuanKuo, Yi-Ruei Chen, Rapid optical inspection of bubbles in the silicone rubber // Optik – International Journal for Light and Electron Optics. – Vol. 124, Issue 13. – July 2013. – P. 1480–1485.
4. Петин, В. А. Проекты с использованием контроллера Arduino / В. А. Петин. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2014. – 400 с. : ил.
5. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2022682698 от 25 ноября 2022 г. Российская Федерация. Программа контроллера опытного образца блока управления литьевой установкой для реактопластов / Г.Ю. Прокудин; ФГБОУ ВО ВолгГТУ. - 2022.
6. Эйдлина, Г. М. Delphi : программирование в примерах и задачах. Практикум : учеб. пособие / Г. М. Эйдлина, К. А. Милорадов. – Москва : ИНФРА-М, 2012. – 116 с.
7. Прокудин, Г.Ю. Разработка комплекса программного обеспечения автоматизированной установки для литья реактопластов / Г.Ю. Прокудин, М.Ю. Ветлицын // XXXIII Международная инновационная конференция молодых учёных и студентов по проблемам машиноведения (МИКМУС – 2021) : сб. тр. конф. (г. Москва, 30 ноября – 2 декабря 2021 г.) / Российская Академия наук, Отделение энергетики, машиностроения, механики и процессов управления, Ин-т машиноведения им. А. А. Благонравова Российской академии наук (ИМАШ РАН). - Москва, 2021. - С. 442-446.
8. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2022682696 от 25 ноября 2022 г. Российская Федерация. Приложение системы управления литьевой установкой для реактопластов / Г.Ю. Прокудин; ФГБОУ ВО ВолгГТУ. - 2022.

DEVELOPMENT OF CONTROL SYSTEM AND SOFTWARE OF THE UNIT FOR MOLDING OF REACTOPLASTICS IN VACUUM ENVIRONMENT

PROKUDIN GERMAN YURYEVICH

Postgraduate student of the APP department

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Volgograd State Technical University"

KONDRATEV SERGEI EVGENEVICH

Student of gr. M-EP-23-1

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

PIKALOV VLADIMIR VLADIMIROVICH

lecturer of the electric drive department

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

Abstract: This paper deals with the automation of technological process in injection molding plants in order to increase productivity and strength properties of molded products due to the possibility of optimizing technological parameters individually for each brand of polymers. The paper presents the development of the electrical scheme of the control system of the injection molding unit, as well as the developed software complex.

Keywords: control system, software package, injection molding machine, reactoplastics, plastic products, small-scale production.

ДИНАМИЧЕСКОЕ ТОРМОЖЕНИЕ НЕРЕГУЛИРУЕМЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

ПРОЦЮК ДМИТРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ

студент группы ЭП-21-2

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ПОНОМАРЕВ ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ

Научный руководитель, преподаватель кафедры электропривода
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

БОЙКОВ АНДРЕЙ ИГОРЕВИЧ

Научный руководитель, преподаватель кафедры электропривода
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: статья посвящена изучению динамического торможения нерегулируемых двигателей. Описывается принцип работы, области применения, а также достоинства и недостатки.

Ключевые слова: динамическое торможение, нерегулируемый двигатель, двигатель параллельного возбуждения.

В настоящее время в промышленности используется множество разновидностей электрических двигателей, а также способов их торможения. Один из таких способов – динамическое торможение. Динамическое торможение – режим работы электропривода, при котором в результате взаимодействия постоянного магнитного потока в электродвигателе с током замкнутого контура создаётся тормозное усилие.

Рассмотрим в качестве примера динамическое торможение двигателя параллельного возбуждения по схеме рисунка 1. Размыкая контактор Л и, соответственно, замыкая контактор Т, как показано на иллюстрации слева, якорь двигателя отключается и в работу вступает резистор r_T . Из-за явления инерции якорь продолжает вращаться магнитном поле и создавать ЭДС, которая создаёт в замкнутом контуре ток. Сопротивление $R_T = r_d + r_T$ ограничивает этот ток. Ток начинает противодействовать вращению двигателя, а мы в это время можем наблюдать то самое динамическое торможение. Якорь снижает собственную частоту вращения и прямо пропорционально частоте изменяются: ЭДС, ток и момент.

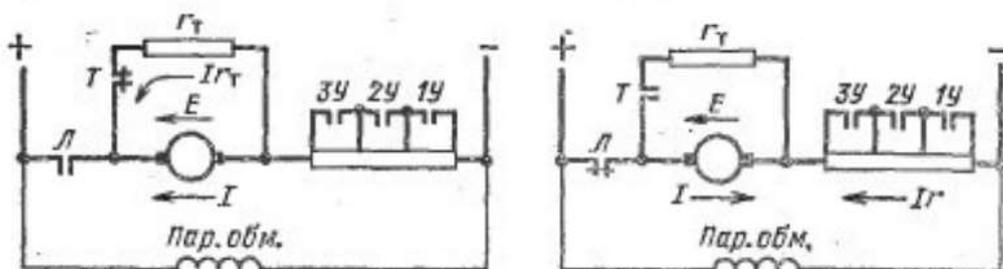


Рисунок 1 – Пусковые характеристики и характеристики динамического торможения

Известно, что при таком торможении часть кинетической энергии частично потратится на механическую работу и на преобразование в электрическую энергию, которая в дальнейшем трансформируется в тепло.

Динамическое торможение обычно используется в электродвигателях, где требуется точная остановка, от которой может зависеть жизнь работников предприятия. Такое торможение применяется в том числе и для тормозного спуска груза.

Из достоинств такого типа торможения можно выделить меньшие затраты энергии по сравнению с методом противовключения, а также плавное, надёжное и точное торможение.

Также немаловажно выделить низкую стоимость по сравнению с другими механическими системами.

Из недостатков можно выделить уменьшение тормозного момента двигателя по мере уменьшения скорости, а также необходимость в постоянном источнике тока.

Подведя итоги, можем сделать вывод, что метод динамического торможения нерегулируемых двигателей, как и любой другой метод, обладает как плюсами, так и минусами. Тем не менее, очень часто преимущества этого метода покрывают его недостатки. Это и является основной причиной, почему данный метод обладает такой высокой популярностью в современной промышленности.

Список литературы

1. Фираго, Б. И. Динамическое торможение синхронного двигателя с постоянными магнитами при скалярном частотном управлении [Электронный ресурс] / Б.И. Фираго, С.В. Александровский // Вестник Белорусско-Российского университета. 2018. №4 (61).

2. Шпиганович, А.Н. Электрические машины и трансформаторы систем электроснабжения предприятий металлургической и горной промышленности [Электронный ресурс] / А.Н. Шпиганович, Д.И. Шишлин // ЛГТУ: учебное пособие. – Липецк, 2006. – 210 с.

3. Вешеневский, С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе [Электронный ресурс] / С.Н. Вешеневский // Москва “Энергия”. 1977. №6.

4. Барыльник, Д. В. Реализация режима динамического торможения синхронного частотно – регулируемого электропривода при отключении питающего напряжения [Электронный ресурс] /

Д. В. Барыльник, О.А. Кравченко, А.Б. Бекин // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2013. №6 (175).

5. Пинский, А.А. Учебник для общеобразовательных учреждений и школ с углубленным изучением физики [Электронный ресурс] / А.А. Пинский, О.Ф. Кабардин // «Просвещение»: Академический школьный учебник-Москва, 2011, издание №13.

DYNAMIC BRAKING OF UNREGULATED ENGINES

PROTSYUK DMITRY VLADIMIROVICH

student of group EP-21-2

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Lipetsk State Technical University"

PONOMAREV PAVEL SERGEYEVICH

Scientific supervisor, lecturer of the electric drive department

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

BOYKOV ANDREY IGOREVICH

Scientific supervisor, lecturer of the Electric Drive Department of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

Abstract: The article is devoted to the study of dynamic braking of unregulated engines. The principle of operation, application areas, as well as advantages and disadvantages are described.

Keywords: dynamic braking, unregulated motor, parallel excitation motor.

СИСТЕМА СЛЕЖЕНИЯ ЗА ОБЪЕКТОМ НА БАЗЕ ARDUINO ПО ГОРИЗОНТАЛИ И ВЕРТИКАЛИ

САЗОНОВ ИВАН АНДРЕЕВИЧ

аспирант гр. ЭКС-22-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ПОНОМАРЕВ ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ

аспирант гр. ЭКС-22-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

МЕЩЕРЯКОВ ВИКТОР НИКОЛАЕВИЧ

Научный руководитель, преподаватель кафедры электропривода
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: это изобретение как подвижный дальномер, который использует ультразвуковой датчик HC-SR04. Сервомотор для отслеживания объекта в двух плоскостях. В проекте реализован основной функционал, включая написанную программу для слежения за объектом. Особое внимание уделяется использованию датчика в данной системе.

Ключевые слова: arduino, ультразвуковой датчик, сервомотор, отслеживание объекта, код.

Схема подключения представлена на рисунке 1.

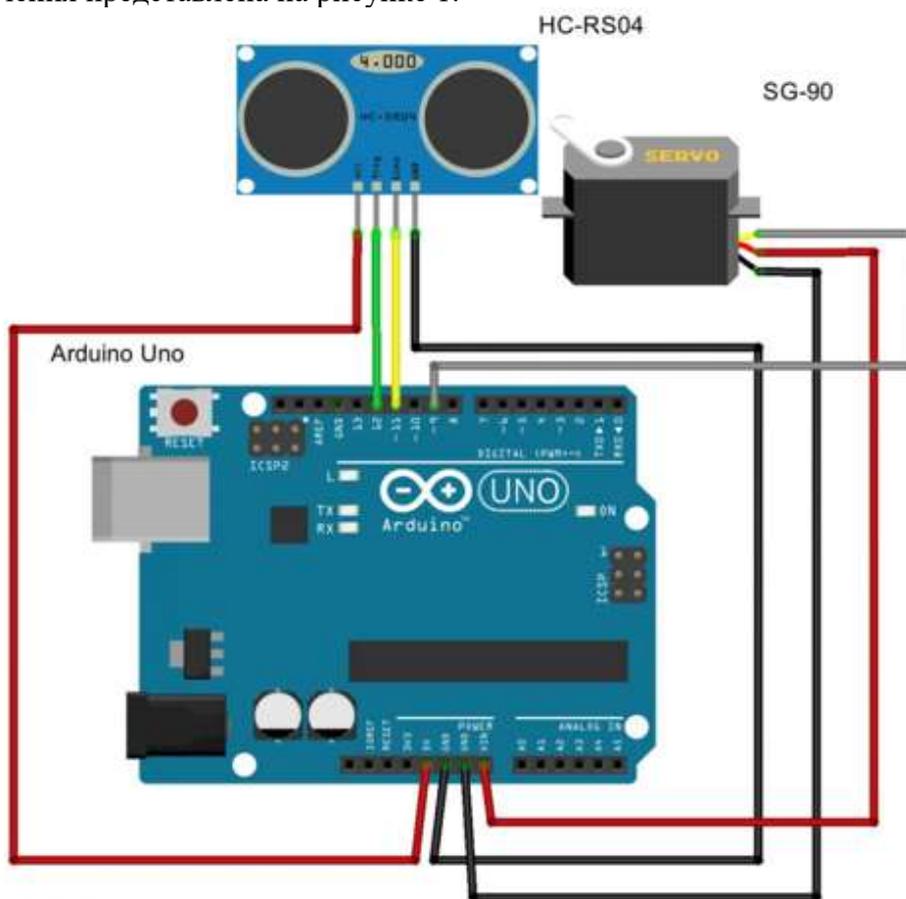


Рисунок 1 – Схема подключения датчика

В данном изобретении был создан механизм для измерения расстояния, вертикального и горизонтального. Используется ультразвуковой датчик HC-SR04 и сервомотор. Сервомотор вращает ультразвуковой датчик в диапазоне от 30 до 150 градусов по вертикальной и

горизонтальной осей [1]. При этом угол поворота сервомотора модели SG90 можно регулировать от 0 до 180 градусов [2]. На рисунке 2 представлен код для слежения с одним мотором.

```
#include <Servo.h> // Подключаем библиотеку для управления сервомотором
#include "Ultrasonic.h" // Подключаем библиотеку для работы с ультразвуковым датчиком
Servo servoNeck; // Создаем экземпляр класса для управления сервомотором
Ultrasonic ultrasonicSensor(12, 11); // Создаем объект для работы с ультразвуковым датчиком (trigPin - 12; echoPin - 11)
const int ledPin = 13; // Пин 13 используется для подключения светодиода
const int minDistance = 30; // Минимальное расстояние для захвата объекта
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(ledPin, OUTPUT); // Настраиваем пин светодиода на вывод
  servoNeck.attach(9); // Подключаем сервомотор к пину 9
  servoNeck.write(150); // Устанавливаем начальное положение сервомотора
  digitalWrite(ledPin, LOW); // Выключаем светодиод
}
```

Рисунок 2 – Код для слежения

На рисунке 3 представлен код для слежения с одним мотором.

```
}
void loop() {
  if (ultrasonicSensor.Ranging(CM) > minDistance) {
    digitalWrite(ledPin, LOW); // Выключаем светодиод
    servoNeck.write(90); // Возвращаем сервомотор в центральное положение
    delay(500);
    if (ultrasonicSensor.Ranging(CM) > minDistance) {
      digitalWrite(ledPin, LOW); // Выключаем светодиод
      servoNeck.write(150); // Поворачиваем сервомотор в одну сторону
      delay(500);
    }
    if (ultrasonicSensor.Ranging(CM) > minDistance) {
      digitalWrite(ledPin, LOW); // Выключаем светодиод
      servoNeck.write(90); // Возвращаем сервомотор в центральное положение
      delay(500);
    }
    if (ultrasonicSensor.Ranging(CM) > minDistance) {
      digitalWrite(ledPin, LOW); // Выключаем светодиод
      servoNeck.write(30); // Поворачиваем сервомотор в другую сторону
      delay(500);
    }
  } else {
    digitalWrite(ledPin, HIGH); // Включаем светодиод
  }
  delay(500);
}
```

Рисунок 3 – Код для слежения

На рисунке 4 представлен код с двумя сервомоторами.

```

#include <Servo.h> // Подключаем библиотеку для работы с сервомоторами
#define trigPin 12 // Подключаем Trig к пину 12 для отправки сигнала
#define echoPin 11 // Подключаем Echo к пину 11 для приема ответа
Servo servoNeck; // Создаем объект для управления сервомотором шеи
Servo servoHead; // Создаем объект для управления сервомотором головы
int distance1, distance2, distance3; // Переменные для записи расстояний по трем
направлениям
// Функция для замера расстояния
int getDistance() {
  long duration;
  int distance;
  // Замер расстояния
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigPin, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
  distance = (int) (duration / 58.2); // Вычисляем расстояние в сантиметрах
  return distance;}
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  pinMode(echoPin, INPUT);
  servoNeck.attach(9); // Подключаем сервомотор шеи к пину 9
  servoHead.attach(10); // Подключаем сервомотор головы к пину 10
  servoNeck.write(30); // Устанавливаем сервомотор шеи в начальное положение
  servoHead.write(30); // Устанавливаем сервомотор головы в начальное положение}
void loop() {
  // Первый замер расстояния
  distance1 = getDistance();
  if (distance1 < 30) { // Если расстояние меньше 30 см, качаем головой
    servoHead.write(20);
    delay(100);
    servoHead.write(30);
    delay(100);
  } else { // Иначе поворачиваем шею вперед
    servoNeck.write(90);
    delay(500); }
  // Второй замер расстояния
  distance2 = getDistance();
  if (distance2 < 30) { // Если расстояние меньше 30 см, качаем головой
    servoHead.write(20);
    delay(100);
    servoHead.write(30);
    delay(100);
  }
}

```

Рисунок 4 – Код для слежения

На рисунке 5 представлен код.

```

} else { // Иначе поворачиваем шею налево
servoNeck.write(150);
delay(500);}
// Третий замер расстояния
distance3 = getDistance();
if (distance3 < 30) { // Если расстояние меньше 30 см, качаем головой
servoHead.write(20);
delay(100);
servoHead.write(30);
delay(100);
} else { // Иначе поворачиваем шею вперед
servoNeck.write(90);
delay(500);
}
}
}

```

Рисунок 5 – Код для слежения

В данной программе реализовано определение минимального расстояния до объекта с помощью переменной `minDistance`. Когда объект приближается на расстояние, меньшее, чем `minDistance`, работа сервомотора останавливается, а светодиод включается, сигнализируя об обнаружении объекта.

Представленная программа предоставляет простой и эффективный инструмент для вертикального и горизонтального отслеживания объектов на базе Arduino с использованием ультразвукового датчика и сервомотора.

Список литературы

1. Shapiro L., Stockman G. Computer Vision, Prentice-Hall, Inc. 2001.
2. Hough P. V. C. Method and means for recognizing complex patterns, U.S. Patent 3,069,654, Dec. 18, 1962

OBJECT TRACKING SYSTEM BASED ON ARDUINO IN HORIZONTAL AND VERTICAL PLANES

SAZONOV IVAN ANDREEVICH
Student of group EX-22-1
Lipetsk State Technical University

PONOMAREV PAVEL SERGEEVICH
Student of group EX-22-1
Lipetsk State Technical University

MESCHERYAKOV VIKTOR NIKOLAYEVICH
Scientific supervisor, Lecturer of the Electric Drive Department
Lipetsk State Technical University

Abstract: This Arduino project implements a movable rangefinder using the HC-SR04 ultrasonic sensor and a servo motor for object tracking both horizontally and vertically. The main functionality is presented, and a program for tracking is written. The focus is on the sensor used.

Keywords: arduino, ultrasonic sensor, servo motor, object tracking, code.

ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА, ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ДЕШИФРАТОРОВ

СЕМЕНОВ СТЕПАН ВАДИМОВИЧ

студент гр. ЭП-22-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

НОЗДРЕВАТЫХ ВЛАДИСЛАВ АНДРЕЕВИЧ

студент гр. ЭП-22-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

МОЖАЙСКИЙ ВАЛЕРИЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ

Научный руководитель, ассистент кафедры автоматизированного электропривода и
робототехники

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: в данной статье рассматривается принцип действия и устройство дешифраторов.

Ключевые слова: дешифратор, двоичный код, логические элементы.

Дешифратор – комбинационное устройство, которое преобразует двоичный код, в логический сигнал, который появляется на выходе с тем номером, чей десятичный номер соответствует двоичному коду. [1] Количество входов и выходов может быть разным. Однако стоит учесть, что если количество выходов будет равняться неполному числу, то данный дешифратор будет считаться неполным. Дешифратор одно из часто используемых логических устройств, которые применяются для формирования адреса устройства, во время процесса обмена данными между микропроцессором и дешифратором. Помимо этого, дешифраторы можно отнести к простейшему преобразователю кода. [2] На рисунке 1 представлен дешифратор К555ИД6, рассмотрим на его примере обозначение входов и выходов

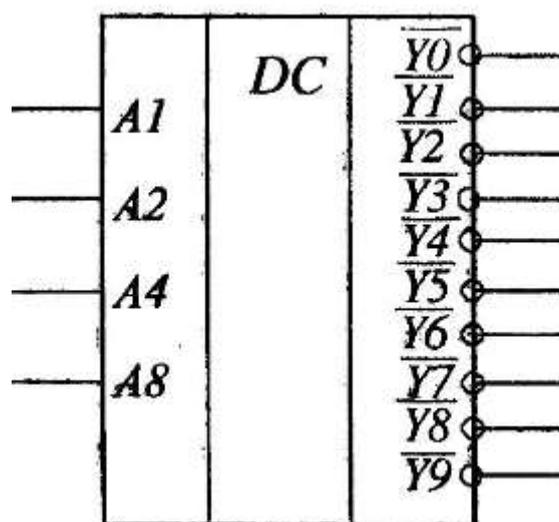


Рисунок 1 – УГО дешифратора

Исходя из рисунка, видно, что у данного дешифратора 4 прямых входа – A1, A2, A4, A8. А – обозначает “Адрес”. Цифры, стоящие после буквы А необходимы для определения значения активного уровня в соответствующем разряде двоичного числа. Выходов у данного дешифратора 10 – Y0...Y9. Тут цифры определяют десятичное число, которому соответствует заданное на входе двоичное число. Данный дешифратор CD является полным, в таком

дешифраторе количество входов n является условием для формулы выходов $m=2^n$. На рисунке 2 представлен дешифратор на 4 выхода, а поведение такого дешифратора описывает таблица истинности, показанная в таблице 1.

Дешифратор преобразует двоичный код со своих входов в единый сигнал на одном выходе. [3] Если для проверки преобразовать значения дешифратора из двоичного в десятичный код, то номер выхода всегда будет равняться десятичному эквиваленту двоичного кода.

В неполном дешифраторе DC количество выходов меньше, чем входов ($m < 2^n$). Подобные дешифраторы тоже применяются, например для управления. [4]

Ниже представлена таблица 1 – таблица истинности DC (2 – 4)

Таблица 1 – Таблица истинности DC(2 – 4)

№	N_{10}	Входы			Выходы			
		Служебный	Адресные		F_3	F_2	F_1	F_0
		EI	A_1	A_0				
1	0	1	0	0	0	0	1	
2	1	1	0	1	0	0	1	0
3	2	1	1	0	0	1	0	0
4	3	1	1	1	1	0	0	0
5	X	0	X	X	0	0	0	0

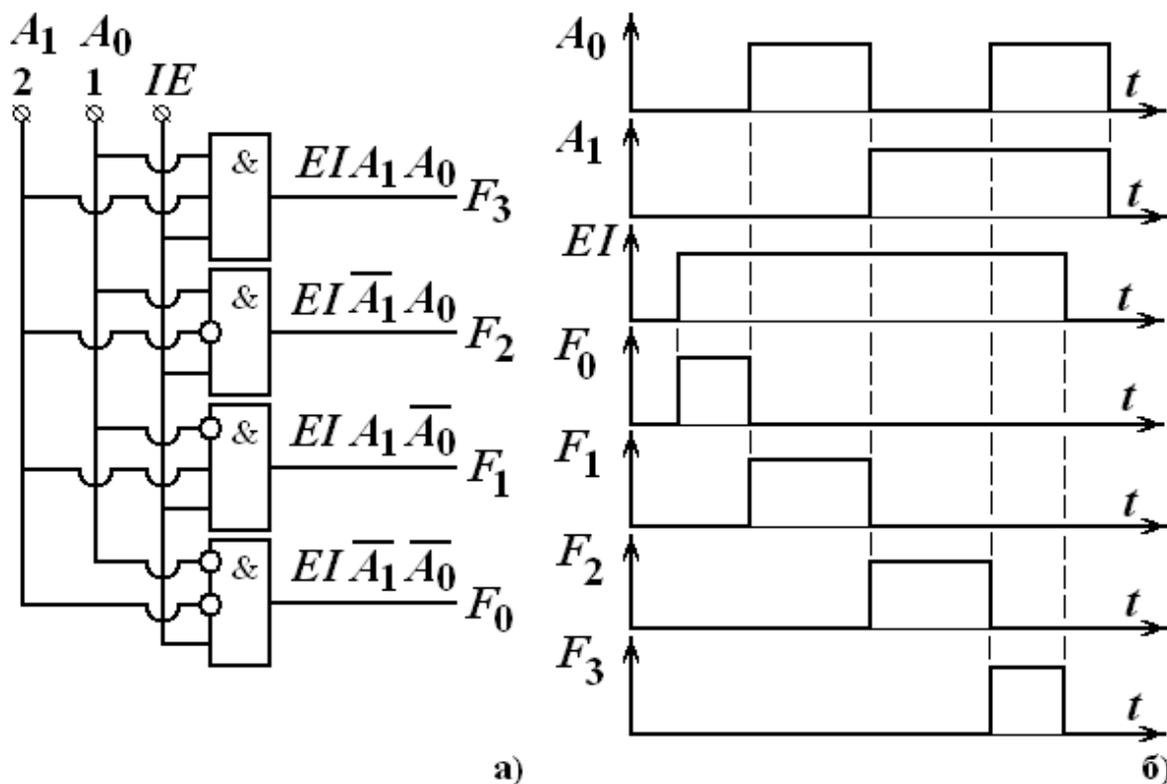


Рисунок 2 – а) Схема дешифратора CD (2 – 4)
б) Временная диаграмма работы дешифратора

Логические элементы – это элементы, необходимые для определения логических зависимостей между входным и выходными сигналами, построения логических схем

управления, схем разных устройств. Какого бы вида не был логический элемент, и неважна его физическая природа – дискретные значения входа и выходы характерны для каждого вида. Обычно, логический элемент состоит из нескольких входов и двух выходов. Значения 1 и 0 определяют благодаря логической функции. Физически, логические элементы представлены в виде интегральной схемы. [5] Основными логическими элементами являются:

1. Элемент “И” – необходим для выполнения логического умножения.
2. Элемент “ИЛИ” – необходим для выполнения логического сложения.
3. Элемент “НЕ” – необходим для операции логического отрицания.
4. Элемент “И-НЕ” – необходим в начале для логического умножения, а потом для логического отрицания.
5. Элемент “ИЛИ-НЕ” – необходим в начале для логического сложения, а потом для логического отрицания.

В данной статье было изучено, что такое дешифратор, как он работает и для чего применяется. Рассмотрели основные логические элементы, применяемые в дешифраторах, из чего состоят логические элементы.

Список литературы

1. В.Ю.Шишмарев. Типовые элементы систем автоматического управления [Электронный ресурс] / В.Ю.Шишмарев // Академия 2014;
2. А.М.Водовозов. Элементы систем автоматики [Электронный ресурс] / А.М.Водовозов. // Академия 2012;
3. Ревич Ю.В. Электроника [Электронный ресурс] / Ревич Ю.В. // БХВ Петербург 2013.
4. Панков. И.Г. Основы электроники [Электронный ресурс] / И.Г. Панков // Академия 2017.
5. ГОСТ 2.743-91 ОБОЗНАЧЕНИЯ УСЛОВНЫЕ ГРАФИЧЕСКИЕ В СХЕМАХ. Элементы цифровой техники

STUDY OF THE DEVICE, PRINCIPLE OF OPERATION AND APPLICATION OF DECODERS

SEMENOV STEPAN VADIMOVICH

Student gr. EP-22-1

Lipetsk State Technical University

NOZDREVATYKH VLADISLAV ANDREEVICH

Student gr. EP-22-1

Lipetsk State Technical University

MOZHAIKY VALERY EUGENEVICH

Scientific supervisor, Assistant of the Department of Automated Electrical Drive and Robotics
Lipetsk State Technical University

Abstract: This paper discusses the principle of operation and design of decoders.

Keywords: decoder, binary code, logic elements.

ИЗУЧЕНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АСИНХРОННЫХ МАШИН

СЕМЕНОВ СТЕПАН ВАДИМОВИЧ

студент гр. ЭП-22-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ПОНОМАРЕВ ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ

Научный руководитель, преподаватель кафедры автоматизированного электропривода и робототехники

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: в данной работе приведены общие сведения и различные режимы работы асинхронных машин.

Ключевые слова: асинхронные машины, двигательный режим, режим противовключения, генераторный режим.

Ток в обмотке статора, включенного в сеть трехфазного тока, создает в машине магнитное поле. Оно пересекается с обмотками ротора, благодаря чему наводится ЭДС, и по цепи ротора потечёт ток, при условии, что его цепь будет замкнута, которая будет взаимодействовать с вращающимся магнитным полем. Благодаря этому взаимодействию возникает электромагнитный момент на валу асинхронной машины, который, так же как в машинах постоянного тока, может быть вращающим или тормозящим. Между обмотками ротора и статора, как и в статическом трансформаторе присутствует только электромагнитная связь.

Скорость n , с которой вращается ротор, обязательно должна отличаться от скорости вращающегося магнитного поля n_1 , так как при $n=n_1$, поле статора было неподвижно относительно ротора и, следовательно, не было бы электромагнитного взаимодействия между статором и ротором.

Асинхронная машина может работать в нескольких режимах. Один из режимов, а именно двигательный был рассмотрен выше.

Привести асинхронную машину в генераторный режим можно путём включения обмотки статора в сеть, а ротор вращать в том же направлении, что и магнитное поле статора при помощи приводного двигателя, то есть источника механической энергии. Таким источником может служить двигатель внутреннего сгорания или, например, турбореактивный. Благодаря этому ротор изменит своё направление вращения относительно поля статора (относительно двигательного режима), из-за того, что ротор будет обгонять поле статора. ЭДС, а, соответственно, и электромагнитный момент также изменят своё направление, а скольжение станет отрицательным. Так как электромагнитный момент поменял своё направление, он начал оказывать тормозящее воздействие на приводной двигатель, и механическая мощность будет преобразована в электрическую.

Режим торможения противовключением осуществляется следующим образом: любую пару проводов меняют местами из-за чего поле статора меняет своё направление вращается против ротора, который под действием сил инерции продолжает вращаться. Иначе поле статора и ротор вращаются в разных направлениях и статор оказывает тормозящее воздействие на ротор. На такое торможение для компенсации механической мощности частично задействуется активная мощность из сети. Такой режим работы может использоваться для спуска грузов, например, на кранах или в лифтах. На рисунке 1 можно увидеть, как ведут себя момент двигателя и его скольжение при различных режимах работы.

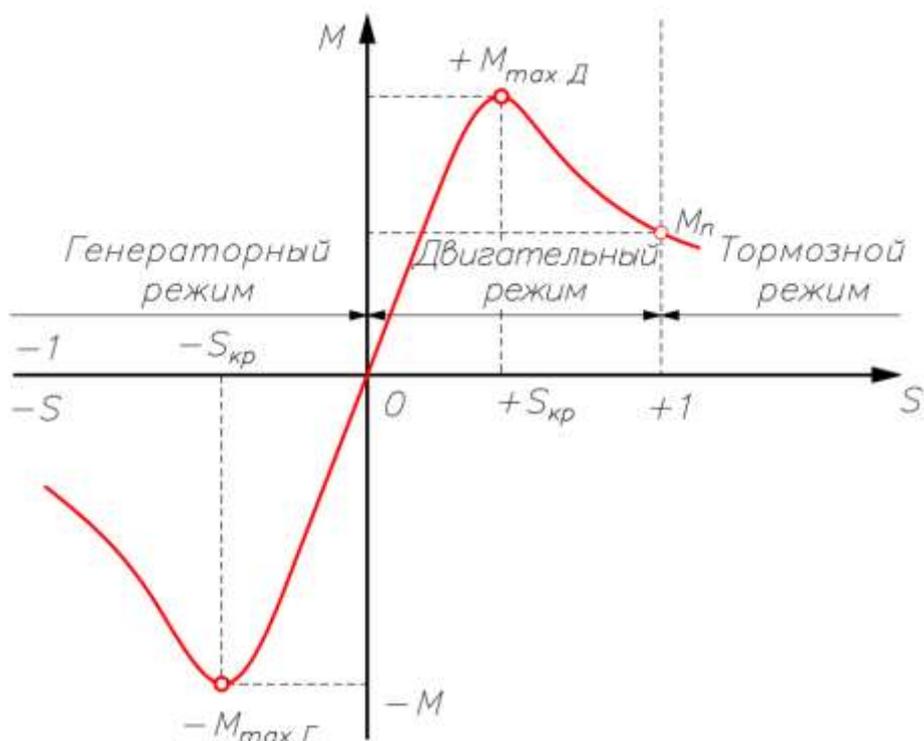


Рисунок 1 – Режимы работы асинхронной машины

Таким образом главной особенностью асинхронной машины можно выделить то, что поле статора и ротора вращаются с разными частотами. Именно она и создаёт в двигателе ЭДС. Также в зависимости от режима работы машины меняется и её скольжение, а следовательно, и частота вращения. Наибольшее распространение получили машины, работающие в двигательном режиме, именно они являются основой электропривода. Также они отличаются простотой конструкции и надёжностью.

Список литературы

1. Сотников В.В. Электрические машины [Электронный ресурс] / В.В. Сотников // Белгород 2019 №2,
2. Вольдек А.И. Электрические машины [Электронный ресурс] / А.И. Вольдек // Л.: Энергия, 1978.-832 с., ил.
3. Л.М. Пиотровский Электрические машины [Бумажный ресурс] / Л.М. Пиотровский // ГОСЭНЕРГОИЗДАТ
4. Г. А. Сипайлов, Ю. А. Романов, Ю. И. Пережиров Некоторые особенности конденсаторного самовозбуждения однофазных асинхронных машин [Электронный ресурс] / Известия ТПУ. 1973.
5. Карпова Екатерина Вячеславовна, Дворникова Елена Вадимовна Использование трёхфазной асинхронной машины (режимы работы) в повседневной жизни [Электронный ресурс] / APRIORI. Серия: Естественные и технические науки. 2016. №2.

STUDYING THE OPERATING MODES OF ASYNCHRONOUS MACHINES

SEMENOV STEPAN VADIMOVICH

student of gr. EP-22-1

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

PONOMAREV PAVEL SERGEYEVICH

Scientific supervisor, lecturer of the Department of Automated Electric Drive and Robotics.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

Abstract: this article provides general information and various operating modes of asynchronous machines.

Keywords: synchronous machines, motor mode, back-off mode, generator mode.

РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

СОЛОМАТИН СТЕПАН АЛЕКСАНДРОВИЧ

студент гр. М-ЭП-23-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

МУРАВЬЕВ АРТЕМ АРТУРОВИЧ

Научный руководитель, преподаватель кафедры электропривода
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: в данной статье рассматривается приточно-вытяжная система вентиляции, её основные функции, а также предусмотрено создание проекта автоматизации на базе программно-логического контроллера компании «Segnetics».

Ключевые слова: вентиляция, система автоматического управления, программно-логический контроллер, программирование.

В настоящее время в каждом промышленном предприятии, офисе, здании и сооружении важную роль играет вентиляция воздуха. Она обеспечивает бесперебойное поступление воздушных масс внутрь помещения, а также удаление загрязнённого воздуха. [1].

Приточно-вытяжная система вентиляции является самым распространённым типом вентиляции на производственных площадках. Несмотря на большие энергетические и экономические затраты, приточно-вытяжная вентиляция имеет ряд колоссальных преимуществ перед естественной системой вентиляции. Главным преимуществом является возможность поддерживать заданную температуру независимо от погодных условий, таких как: температура окружающей среды, скорость и направление ветра, а также влажность воздуха. Данная система, показанная на рисунке 1, включает в себя компоненты, позволяющие нагревать, осушать, охлаждать, увлажнять, очищать и циркулировать воздух.

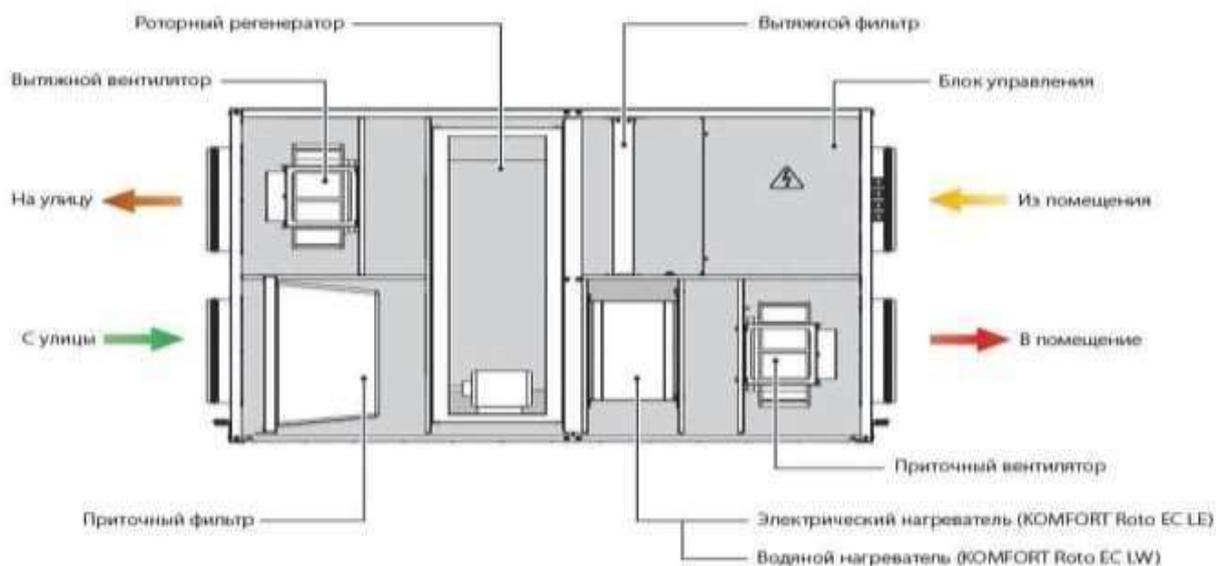


Рисунок 1 – Приточная система вентиляции

Данная установка включает в себя приточный и вытяжной воздушные клапаны, приточный и вытяжной фильтры грубой очистки, роторный рекуператор, водяной и электрический нагреватели, приточный и вытяжной вентиляторы. С помощью создания двух встречных потоков воздуха система обеспечивает принудительную замену воздуха в помещении.

Система автоматического управления данным типом вентиляции основана на базе ПЛК PIXEL 25-10 компании «Segnetics», представленного на рисунке 2.



Рисунок 2 – ПЛК PIXEL 25-10

Предлагается разработка системы автоматического управления приточно-вытяжной вентиляцией. Программирование контролера производится при помощи программного обеспечения SMLogix, поддерживающего создание программы на языке FBD (рисунок 3).

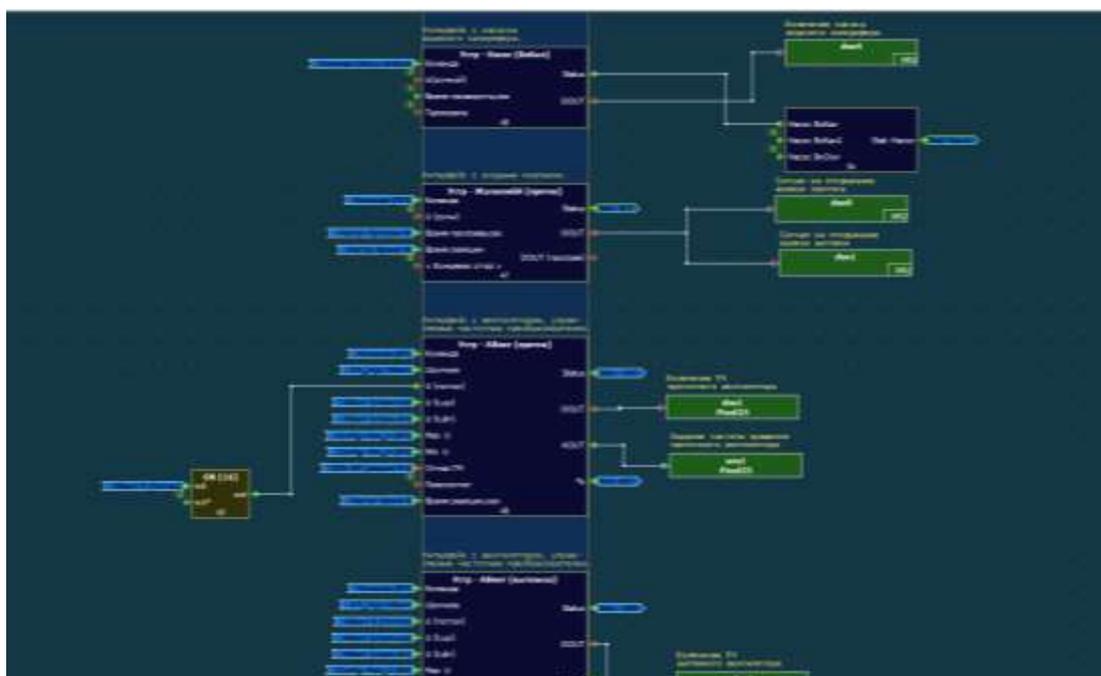


Рисунок 3 – Проект АСУ приточно-вытяжной системы

В данной программе реализован алгоритм работы приточно-вытяжной системы с водяным нагревателем. При запуске системы происходит открытие воздушных клапанов и спустя заданное время запускаются вентиляторы. Одновременно с этим запускается электрический нагреватель, а циркуляционный насос, являющийся водяным нагревателем, переходит в рабочий режим. Регулирование нагрева воздуха происходит при сравнении показания датчика температуры приточного воздуха с заданной пользователем уставкой температуры нагрева. Чем ниже показания датчика, тем выше процент нагрева каждого из калориферов и наоборот. Также предусмотрено регулирование частоты ПЧ при помощи аналогового сигнала 0-10 Вольт, благодаря чему программно меняется скорость вентилятора для достижения соответствующей уставки температуры, а также уставки частоты ПЧ. При возникновении любой критической аварии, например, аварии термостата, система останавливается до тех пор, пока авария не будет устранена. Все компоненты системы, за исключением насоса, не работают. После устранения аварии система запускается заново. При загрязнении фильтра система продолжает работать, уведомляя об ошибке.

В данной статье была рассмотрена работа приточно-вытяжной системы вентиляции, а также реализована автоматизированная система управления на базе программно-логического контроллера PIXEL 25-10, был описан алгоритм её работы как в рабочем, так и в аварийном состоянии. Данная автоматическая система управления позволяет снизить затраты на электроэнергию и затраты на обеспечение оптимальных климатических условий за счёт задания необходимой температуры и скорости перемещения воздуха.

Список литературы

1. ГОСТ 59972-2021 Системы вентиляции и кондиционирования воздуха общественных зданий. Технические требования.
2. Стефанов, Е.В. Вентиляция и кондиционирование воздуха / Е.В. Стефанов. Учебное пособие. – Санкт-Петербург: Авок Северо-Запад, 2005. – 242с.
3. Родин, А.К. Вентиляция производственных зданий / А.К. Родин. Учебное пособие. – Саратовский государственный технический университет, 1997. – 86 с.
4. Черенков В.В. Промышленные приборы и средства автоматизации. Справочник / В.В. Черенков. – Л.: Машиностроение, 1987. – 847 с.
5. Бандарь Е.С. Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Учебное пособие / Е.С. Бандарь, А.С. Гордиенко, В.А. Михайлов, Г.В. Нимич. – К.: Издательство «АванпостПрим», 2005. – 560 с.

DEVELOPMENT OF A PROJECT FOR AN AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR SUPPLY AND EXHAUST VENTILATION

SOLOMATIN STEPAN ALEKSANDROVICH

Student gr. M-EP-23-1

Lipetsk State Technical University

MURAVYOV ARTYOM ARTUROVICH

Scientific supervisor, lecturer of the Department of Electric Drive

Lipetsk State Technical University

Abstract: this article discusses the supply and exhaust ventilation system, its main functions, and also provides for the creation of an automation project based on the «Segnetics» software and logic controller.

Keywords: ventilation, automatic control system, software and logic controller, programming.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОБНАРУЖЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

СУЛТОНОВ РУЗИМАТЖОН АНВАРЖОН УГЛИ

доцент кафедры электротехники, электромеханики и электротехнологий
Ферганский политехнический институт

ХАЛИЛЖОНОВ БОТИРЖОН КОДИРЖОН УГЛИ

ассистент кафедры электротехники, электромеханики и электротехнологий
Ферганский политехнический институт

Аннотация: В статье уделяется внимание разработке алгоритма прогнозирования отказов с целью минимизации энергопотребления с использованием модулей управления искусственным интеллектом, повышения надежности и улучшения работы электрооборудования в экономичном режиме, а также повышения надежности промышленного оборудования.

Ключевые слова: Электропривод, асинхронный двигатель, искусственный интеллект, классы нагревостойкости, эксплуатационная надежность, искусственная нейронная сеть, электроприводная волна.

Недостаток методов повышения эксплуатационной надежности электрооборудования связан с трудностью создания базы данных для статистической проверки классификации отказов. Разработка такой базы данных осуществляется в зависимости от заранее прогнозируемого количества отказов. Будет указано, что неисправность должна быть описана на основе модели математических уравнений для ее устранения, а не просто требовать базы данных по каждой ее части. Соответственно, разработка базы данных, содержащей predetermined параметры для отслеживания неисправного и нормального оборудования и классификации ошибок, занимает много времени. Кроме того, в соответствии с производственным сектором базы данных надежность будет повышена, если предприятие будет полагаться на специальные алгоритмы, основанные на рабочем процессе [1].

Динамические процессы путем обнаружения неисправностей, вызванных механическими колебаниями в электрических канцелярских принадлежностях, также рассматриваются как часть модели [2]. В результате обнаружения и анализа колебаний надежность устройства может находиться под постоянным контролем и влиять на показатель повышенной чувствительности. Сравнение двигателя с базой данных, в которой такие процессы связаны с неисправностью, дает показатель внутренней емкости.

Распространенным недостатком обнаружения механических неисправностей является воздействие внешней среды по отношению к оборудованию. Структурированный алгоритм требует определения диапазона изменения механических параметров, а не только динамических процессов. Этот диапазон не определяется конкретным показателем, в то время как, т. е. если посмотреть на пример нагрузки, этот показатель рассматривается в случае, когда диапазон зависит от переменной, включая минимальное и максимальное значение. Еще один недостаток этого диапазона связан с трудностями, связанными с повторением измерений. В основном значения вибрации вводятся при определении показателя ускорения электрического привода и рассчитываются в зависимости от метода и расположения регулятора для обеспечения повторного обнаружения [3,4].

Даже при правильной установке и размещении элементов управления индикатор неисправности будет определяться в процессе обнаружения неисправности из-за таких изменений, как вибрация, рабочая скорость, входное напряжение и нагрузка на двигатель. Согласно опыту, при обнаружении механических неисправностей очень высока вероятность ошибочного отображения индикатора неисправности электрической системы электропривода [5,6].

Исходя из вышесказанного, можно повысить эксплуатационную надежность электропривода, определив:

- устранение обратимой неисправности, вызванной ошибками моделирования, ошибочно обнаруженными индикаторами и указанием на пропущенные неисправности двигателя;

- разработка комплексной базы данных по анализу причин неисправностей электродвигателей с помощью заранее описанной классификации неисправностей и на основе разработанных функциональных схем;

- устранение необходимости в дорогостоящих и сложных инструментах для извлечения и обработки данных, которые могут указывать на наличие сбоя [7,8];

Параметром, вызывающим наибольшую неисправность электрического хода, является температура, характеризующая классы термостойкости. Расход термостойкости ламелей электродвигателя составляет в среднем 20 000 часов, степень их долговечности отражается в математической модели. Температура, характеризующая классы термостойкости электропривода, определяется следующим образом.

$$T_{r0} = \frac{T_r}{e^{-\ln 2 \frac{\theta}{\Delta \theta}}}$$

Здесь T_r позволяет определить степень перегрева электропривода путем расчета класса термостойкости. θ -интегральный показатель степени. Этот показатель представляет собой промежуточные температуры, влияющие на выход из строя устройства на основе установления промежуточного значения температуры. На рисунке 1 показан первый интегральный показатель степени, основанный на значениях, для которых в основном выражается значение $\theta = 10^0 C$.

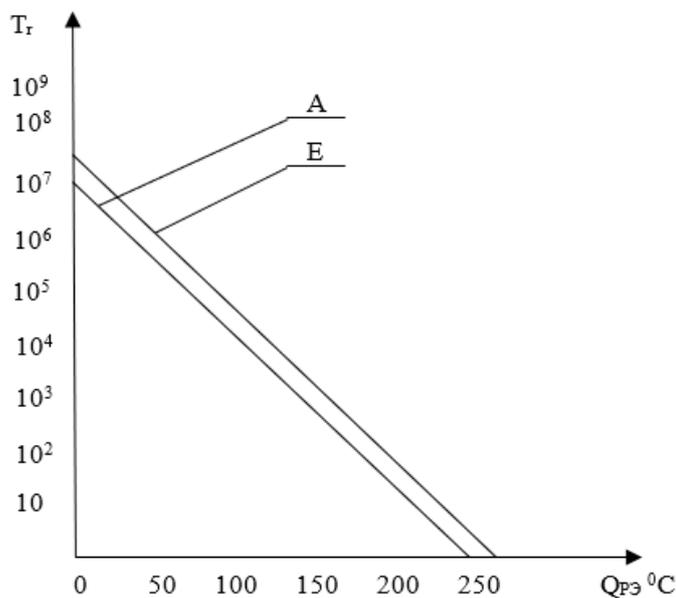


Рисунок 1 – Температурная зависимость источника изоляции различных классов термостойкости

Температурная зависимость источника изоляции различных классов термостойкости позволяет определить степень нагрева электропроводки, как показано на рисунке 1. Можно видеть, что индикатор имеет значение по тренду А и Е в алгоритме обнаружения отказа. При классификации множественных отказов и при разработке алгоритма в качестве первичного параметра в качестве основы выступают значения из таблицы 1.

Таблица 1 – Начальные значения интегрального показателя

Класс термостойкости	А	Е

T_{r0}	$2.6 \cdot 10^7$	$7.85 \cdot 10^7$
$\ln T_{r0}$	17.75	18.64

При разработке алгоритма повышения эксплуатационной надежности электрооборудования на основе постоянных значений интегральных показателей и интервалов их изменения разработана последовательность. Он в основном рассматривается как свойство электрического привода поддерживать постоянную работу в течение определенного периода времени. При организации алгоритм строился на основе последовательности состояний оперативности, надежности, долговечности, стабильности и ремонтпригодности [9,10]. В качестве основного показателя надежности алгоритм учитывал вероятность безотказной работы, частоту отказов и среднее время отказа, представляющее состояние работы.

При организации алгоритма по искусственным нейронным сетям с использованием основ современного программирования в качестве входного сигнала выступает U_f - сигнал обратной связи, а при приеме системой режима дискретного моделирования с шагом k - начальное значение, а (условия) выражается нулевым состоянием. Этот процесс характеризуется представлением неисправностей и формированием классификации неисправностей. Тот факт, что конечное значение a выравнивается вместе каждый раз, когда повторяется обратимый процесс, представляет собой влияние на надежность эксплойта (рис.2). В алгоритме, a при достижении значения сигнала обратной связи условно выражается нулевое значение что приводит к повышению надежности системы. В обратном положении срабатывает вероятность p ($T_{зд}$) что электропривод будет работать без сбоев. Это позволяет получить из алгоритма время простоя $T_{зл}$ электропривода. Также количество электровозов, непрерывно работавших до времени $T_{зл}$, определяется соотношением общего числа механических и электрических неисправностей.

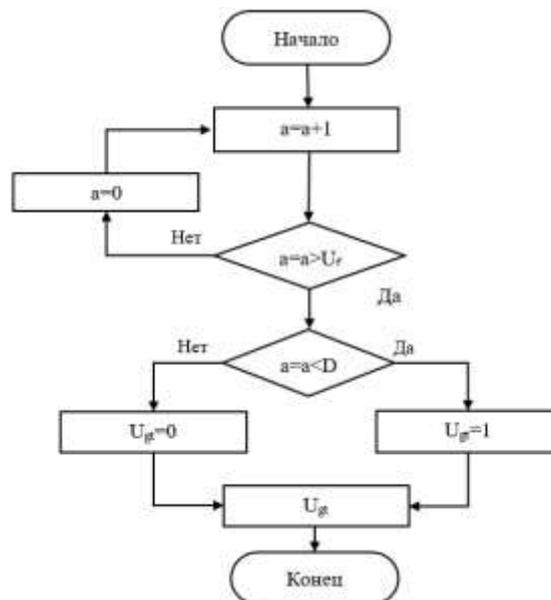


Рисунок 2 – Алгоритм обнаружения неисправностей и повышения надежности

Количественные показатели надежности: среднее время безотказной работы ($T_{жс}$) до наступления поломки (в часах); время простоя ($T_{ф}$); частота отказов (количество отказов в час); среднее время восстановления; алгоритм рассчитывает вероятность отказа за определенный период времени, скорость и время поломки отображаются в алгоритме. В идеале его стоимость равна единице. Удовлетворительное значение этого показателя-0,9 за 9 000 часов.

Список литературы

1. Xu, G.; Liu, M.; Jiang, Z.; Shen, W.; Huang, C. Online Fault Diagnosis Method Based on Transfer Convolutional Neural Networks. *IEEE Trans. Instrum. Meas.* 2020, 69, 509–520. [CrossRef] [1-10-б.]
2. Xu, G.; Liu, M.; Jiang, Z.; Soffker, D.; Shen, W. Bearing Fault Diagnosis Method Based on Deep Convolutional Neural Network and Random Forest Ensemble Learning. *Sensors* 2019, 19, 1088. [CrossRef] [1-7-б.]
3. Li, C.; Zhang, W.; Peng, G.; Liu, S. Bearing Fault Diagnosis Using Fully Connected Winner-Take-All Autoencoder. *IEEE Access* 2018, 6, 6103–6115. [CrossRef] [1-8-б.]
4. Principi, E.; Rossetti, D.; Squartini, S.; Piazza, F. Unsupervised electric motor fault detection by using deep autoencoders. *IEEE/CAA J. Autom. Sin.* 2019, 6, 441–451. [CrossRef] [1-7-б.]
5. Kalchbrenner, N. Grefenstette, E. A convolutional neural network for modelling sentences. In *Proceedings of the 52nd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, Baltimore, MD, USA, 2014. 1-15-б.
6. Усмонов Ш.Ю., Султонов Р.А., Кучкарова Д.Т. Асинхрон электроритманинг бошқариш тизимива функционал схемаси // *ФарПИ. Илмий техник журнал*, №1(1-қисм)-махсус сон. 2020 йил 242-245 б. [1-3-б.]
7. Хашимов А.А., Арипов Н.М. Частотно – регулируемый асинхронный электропривод шелкомотания. Ташкент. 2000. 92с. [1-3-б.]
8. Гегманенко В.М. "Методы, и средства повышения эксплуатационной надежности похружных насосов: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.20.02 МГАУ – М, 1986. – 55 ст
9. Martinez-Herrera, Ferrucho-Alvarez, Ledesma-Carrillo, Mata-Chavez, Lopez-Ramirez, Cabal-Yepe. Multiple Fault Detection in Induction Dvigatels through Homogeneity and Kurtosis Computation. *Energiyes* (2022) 3-16.
10. Brito, L.C., Susto, G., Brito, J.N., Duarte, M.A.. An Explainable Artificial Intelligence Approach for Unsupervised Fault Detection and Diagnosis in Rotating Machinery. *ArXiv*, abs/2102.11848 (2021) 1-12.

DEVELOPMENT OF A FAULT DETECTION ALGORITHM BASED ON IMPROVING ELECTRICAL DRIVE RELIABILITY

SULTONOV RUZIMATJON ANVARJON UGLI

associate professor of the department of electrical engineering, electromechanics and electrical technologies
Fergana polytechnic institute

KHALILJONOV BOTIRJON KODIRJON UGLI

assistant of the department of electrical engineering, electromechanics and electrical technologies
Fergana polytechnic institute

Abstract: The article focuses on the development of a failure prediction algorithm to minimize energy consumption using artificial intelligence control modules, increase reliability and improve the operation of electrical equipment in an economical mode, and increase the reliability of industrial equipment.

Keywords: Electric drive, asynchronous motor, artificial intelligence, heat resistance classes, operational reliability, artificial neural network, electric drive wave, diagnostics, convolutional system.

СПОСОБЫ ГАШЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ

СУРИН ДАНИЛ ВИТАЛЬЕВИЧ

студент гр. ЭП-22-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ПОНОМАРЕВ ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ

Научный руководитель, преподаватель кафедры автоматизированного электропривода и робототехники

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: Актуальность данной проблемы связана с большой опасностью для персонала, а также для электрических установок, находящихся рядом. В этой статье мы рассмотрим какие существуют методы гашения дуги. Как она возникает, и как она влияет на работу коммутационного оборудования.

Ключевые слова: электрическая дуга, градиент, способы гашения дуги

Электрическая дуга – это вид газового разряда, или электрический ток, проходящий через газовую среду, например, воздух. Но так как воздух почти не проводит ток, то в дело вступает процесс ионизации. Следовательно, явление электрической дуги сопровождается значительно сильной ионизацией воздуха. При соприкосновении электрода в точке контакта выделяется большое количество тепла и катод начинает излучать электроны, в следствии термоэлектронной эмиссии. При достаточном напряжении степень ионизации становится настолько высокой, что пространство между электродами заполняется плазмой, очень хорошо проводящей электрический ток.

При напряжении больше киловольта электрическая дуга может достигнуть немалых размеров, поэтому она представляет большую угрозу. Даже в установках меньше киловольта могут возникнуть серьезные последствия. Поэтому нужно как можно быстрее ограничить и устранить электрическую дугу.

Чтобы погасить дугу изобрели много разных способов и дугогасительных устройств. Одним из таких способов является гашение высоким давлением. Известно, что степень ионизации падает с ростом давления, а с увеличением давления повышается теплопроводность газа. Это в свою очередь сопровождается сильным охлаждением дуги и увеличением градиента напряжения. Таким образом дугу гасят в наглухо закрытых камерах при помощи давления, которое она создает сама.

Другой же способ – это способ гашения в масле, он широко используется в выключателях переменного тока. Когда выключатель погружают в масло то оно начинает быстро испаряться, из-за высокой температуры разорванной дуги. Вокруг дуги образуется газовая оболочка, которая состоит в основном из водорода, а он в свою очередь обладает высокими дугогасящими свойствами. Так же из-за интенсивного испарения масла, возрастает давление, что также помогает погасить дугу.

Так же существует более простой, но менее эффективный способ – растяжение дуги. Чтобы дуга горела ей нужно напряжение, а при растяжении дуги напряжение для горения начинает не хватать, что приводит к охлаждению. Но чтобы падение напряжения хватало для гашения, нужна большая длина дуги, что в аппаратах осуществить практически невозможно.

Еще один из способов – это гашение дуги магнитным полем. Чтобы дуга имела возможность перемещаться магнитное поле должно быть перпендикулярно к оси дуги. По правилу левой руки, дуга получит поступательное движение, в следствии которого начнет сворачиваться в спираль и делиться на параллельные волокна, что приводит к замедлению её движения. Из-за перемещения, длина дуги изменяется от нуля до неопределенного значения, что приводит к её гашению

И последний метод, который был рассмотрен – это гашение дуги в продольных щелях.

Когда дуга касается стенок дугостойкого изоляционного материала, начинается интенсивное отведение тепла из области, где происходит горение, это связано с плотным контактом между дугой и диэлектриком. Самым эффективным материалом для такого устройства служит керамика. Дугогасящие камеры с продольными щелями широко используют в выключающих аппаратах.

Таким образом, были рассмотрены основные способы гашения электрической дуги. Например - для маломощных используют гашение в узких щелях и магнитное гашение, а для высоковольтных устройств можно использовать гашение маслом, высоким давлением и удлинением дуги.

Список литературы

1. Аверьянова С. А. Теория гашения дуги в электрических аппаратах. Взаимодействие дуги отключения с газовым потоком в выключателях высокого напряжения: учеб. пособие / С. А. Аверьянова. [Электронный ресурс] – СПб. : Изд-во Полтехн. ун-та, 2015 – 68 с.
2. Лобанов Б. Н. Известия вузов. Электромеханика выпуск №2 2010 год. Формализация выбора способов гашения дуги в низковольтных электрических /Б.Н Лобанов [Электронный ресурс] – Известия вузов. Электромеханика выпуск № 2, 2010. 19 с.
3. Сидоров А. Е., Маркин О. Ю., Долломанюк Л. В. Электрические и электронные аппараты: учебное пособие /А.Е. Сидоров, О.Ю. Маркин, Л.В. Доло [Электронный ресурс] – Казань: Казан.гос.энерг. ун-т, 2016 – 126 с.4.
4. Червенчук В. Д. Электрические аппараты. Тепловые процессы в электрических аппаратах/ В. Д. Червенчук [Электронный ресурс]. - Электрон. дан. Омск: СибАДИ, 2016.
5. Девочкин О. В., Лохнин В. В., Меркулов Р. В., Смолин Е. Н. Электрические аппараты/ О. В. Девочкин, В. В. Лохнин, Р. В. Меркулов, Е. Н. Смолин [Электронный ресурс] – 5-е изд., стер. – М. : Издательский центр «Академия», 2015 – 240 с.

METHODS OF EXTINGUISHING ELECTRIC ARC

SURIN DANIL VITALIEVICH

student of gr. EP-22-1

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

PONOMAREV PAVEL SERGEYEVICH

Scientific supervisor, lecturer of the Department of Automated Electric Drive and Robotics.
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

Abstract: The relevance of this problem is due to the great danger to personnel, as well as to electrical installations nearby. In this article we will consider what methods of arc extinguishing exist. How it arises and how it affects the operation of switching equipment.

Keywords: electric arc, gradient, methods of arc extinguishing

ОСНОВНЫЕ ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

СУРОВЯТКИН ПАВЕЛ ВИТАЛЬЕВИЧ

студент гр. ЭП-22-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ПОНОМАРЕВ ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ

Научный руководитель, преподаватель кафедры автоматизированного электропривода и робототехники

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: данная работа посвящена рассмотрению основных достоинств и недостатков электромобилей. На мировой арене продажи электромобилей за последнее время быстро увеличиваются. И в данной работе будет определено, почему так происходит.

Ключевые слова: электромобиль, экологичность, шумность, крутящий момент, запас хода.

Электромобиль – это вид транспорта, использующий для движения электрическую энергию, преобразованную в механическую, сохраняемую в аккумуляторных батареях. По сути, это аналог обычного автомобиля, но с электроприводом, который получает питание от аккумулятора вместо двигателя внутреннего сгорания.

Достоинства электрического автомобиля:

1. Высокий крутящий момент во время старта. Ни бензиновый, ни дизельный двигатель не имеет такие показатели. Электрический привод обеспечивает хорошую динамику и тягу с самых низов работы двигателя.

2. Экономичность. Заряжать электромобиль дешевле, чем заправлять двигатель внутреннего сгорания, особенно в странах с дорогим топливом. Также благодаря отсутствию выхлопа, электромобиль не выделяет вредных веществ и запаха в окружающую среду.

3. Низкая шумность при езде. Электрический привод, используемый в электромобилях, практически бесшумный. Шум в автомобиле происходит из-за сцепления шин с дорожным полотном. Конструкция электромобилей не имеет вибрирующих, шумящих и греющихся агрегатов, что обеспечивает комфортные условия как в самом автомобиле, так и в непосредственной близости с ним.

4. Хорошая управляемость. За счёт удачного расположения батареи в электромобиле, он имеет низкий центр тяжести, благодаря чему обеспечивается отличная устойчивость, управляемость и развесовка по осям.

5. Электромобиль без проблем запускается практически в любую погоду и моментально прогревает салон. Владельцам данных автомобилей чужды проблемы зимнего запуска и прогрева ДВС. Исключение составляют лишь авто с устаревшей конструкцией аккумуляторных батарей, боящихся морозов.

6. Рекуперация энергии в электромобилях. Это процесс преобразования кинетической энергии в электрическую и последующий ее возврат в аккумуляторную батарею. Другими словами, это метод подзарядки аккумулятора и увеличения дальности хода электромобиля прямо во время движения. Используя тормоз с рекуперацией, можно сохранять часть израсходованной энергии и использовать ее позже.

Также у электромобилей есть и недостатки:

1. Стоимость нового электромобиля обычно выше, чем стоимость нового автомобиля аналогичного класса, что связано с дороговизной технологий, которые применяются при производстве.

2. Запас хода на одной зарядке у электромобилей обычно ниже, чем у автомобилей с двигателем внутреннего сгорания и полным топливным баком, что не является критичным в городских условиях. Но с каждым годом заправок для электромобилей становится все больше.

На данный момент электромобили не приспособлены для путешествий на большие расстояния.

3. При включении системы отопления салона энергия для его работы берется из аккумуляторных батарей, соответственно, запас хода будет уменьшаться. А в автомобиле с двигателем внутреннего сгорания тепло для обогрева салона является побочным продуктом от его работы.

4. Аккумуляторные батареи электромобилей имеют свойство изнашиваться и терять емкость с течением времени, что приводит к ремонту или замене батарей. Но данное утверждение применимо лишь к первым поколениям электромобилей. На них запас хода изредка превышал 500 км, а на современных уже более 1000 км.

Вывод:

Электромобили представляют собой эффективный и экологически чистый вид транспорта. Они обладают рядом преимуществ по сравнению с автомобилями, оснащенными двигателем внутреннего сгорания: высокий крутящий момент, экономичность, низкий уровень шума и отсутствие выбросов вредных веществ. Конструкция электромобилей также отличается комфортом и безопасностью для водителя и окружающих. Всё это делает электромобили привлекательным выбором для тех, кто ценит экологичность и технологичность в транспорте.

Список литературы

1. Андреев Д.М. ЭЛЕКТРОМОБИЛЬ / Радченко А.Д., Чакмин И.А., Богданова В.А.// Новые импульсы развития: вопросы научных исследований. 2021.
2. Маркиев М.И. / Электромобиль «Рапан» / Гайдук А.Ю./ Транспорт на альтернативном топливе. 2012.
3. Пирогова С.В. / Перспективы рынка электромобилей / Павлова А.В., Махмутов Б.Ф./ Концепт. 2017.
4. Тойлыбаев А.Е. / Электромобиль – транспорт будущего / Сейимхан С. / Universum: технические науки. 2018.
5. Киселев Д.В. / РЫНОК ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ В РОССИИ // Скиф. 2020.

MAIN ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF ELECTRIC VEHICLES

SUROVYATKIN PAVEL VITALIEVICH

student of gr. EP-22-1

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

PONOMAREV PAVEL SERGEEVICH

Scientific supervisor, lecturer of the Department of Automated Electric Drive and Robotics.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

Abstract: this article is devoted to the main advantages and disadvantages of electric vehicles. On the global car sales scene, electric vehicles have been surprising the buyer and the whole world lately. And in this article, we will try to understand why this is happening.

Keywords: electric car, environmental friendliness, noise, torque, power reserve.

СПОСОБЫ УПРАВЛЕНИЯ синхронного двигателя с постоянными магнитами

СЫСОЕВ РОМАН АЛЕКСЕЕВИЧ

студент гр. ЭП-21-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

МУЗЫЛЕВА ИННА ВАСИЛЬЕВНА

Научный руководитель, преподаватель кафедры автоматизированного электропривода и робототехники

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: в данной статье был представлен синхронный двигатель с постоянными магнитами, принцип действия и конструкция. Также в статье рассмотрены способы управления синхронным двигателем с постоянными магнитами и их разновидности.

Ключевые слова: синхронный двигатель, управления, трапецеидальное, полиориентированное.

Одной из ключевых технологий, которая активно развивается и применяется во многих отраслях промышленности для управления движением и повышению производительности является современный электропривод. В настоящее время современный электропривод становится все более эффективным, компактным и мощным.

Рассмотрим конструкцию СДПМ и её особенности. Ротор имеет конструктивную особенность ротора заключается в том, что на нем отсутствует обмотка возбуждения. Вместе с ней установлены постоянные магниты, которые создают магнитное поле для возбуждения машины. Исполнение статора у представленной машины такое же, как и у стандартного синхронного двигателя. Конструкция представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Конструкция синхронного двигателя на постоянных магнитах

Также СДПМ требуется подключать к сети только через инвертор напряжения или тока из-за особенности своей конструкции. Схема включения через инвертор напряжения на рисунке 2.

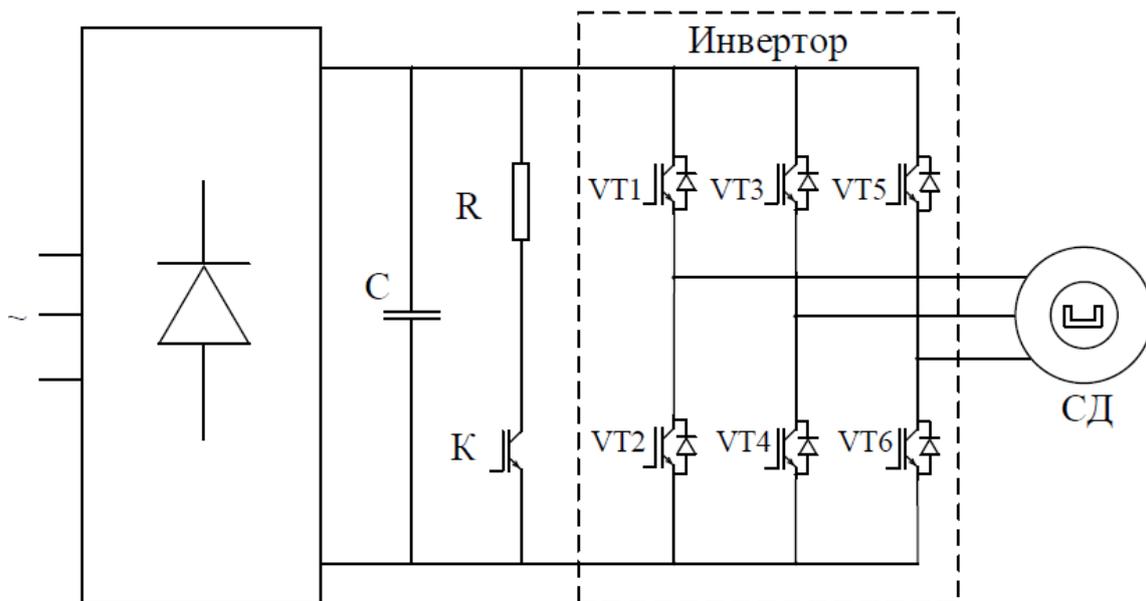


Рисунок 2 – Схема подключения СДПМ к сети через инвертор напряжения

Так как до недавнего времени не было подходящих магнитных материалов СДПМ не получило широко распространения. Магниты на роторе СДПМ должны создавать требуемую плотность магнитного поля и быть стойкими к воздействиям неблагоприятных факторов, размагничиванию во всем диапазоне температур эксплуатации. Но появления современных магнитных материалов исправило ситуацию и производство надежных СДПМ стало возможным.

Далее рассмотрим способы управления СДПМ. Самым простым способом управления СДПМ считается коммутация обмоток или, как его ещё называют, трапецеидальное управления. Так как данный способ управления прост в реализации его применяют в электроприводах, где не требуется точное управление. Данный способ управления применяется для СДПМ с трапецеидальной обратной ЭДС.

Данный вид управления подразделяется на 2 подвида: без обратной связи и с обратной связью по положению ротора. Управление с обратной связью по положению ротора можно разделить на управление с датчиком и бестычинковое управление. Причем бесдатчиковое управление реализуется путем пересчета обратной ЭДС. Управление СДПМ без обратной связи может привести к выходу машины из синхронизма, то есть к потере управления. При управлении трехфазного СДПМ с использованием датчиков положения ротора используют 3 датчика на эффекте Холла установленных на электродвигатель. Они дают возможность определить угол поворота с точностью в 30 градусов.

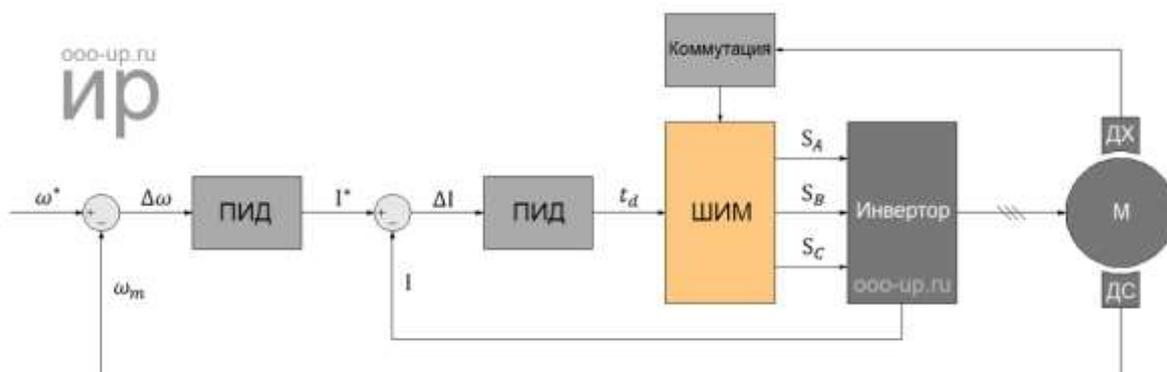


Рисунок 3 – Математическая модель трапецеидального управления СДПМ по датчикам положения ротора

Второй вид управления синхронным двигателем с постоянными магнитами – это полиориентированное управления или синусоидальное. Данный способ позволяет более плавно и точно регулировать скорость и момент на валу электродвигателя, что позволяет использовать представленный вид управления в электроприводах ответственных агрегатов.

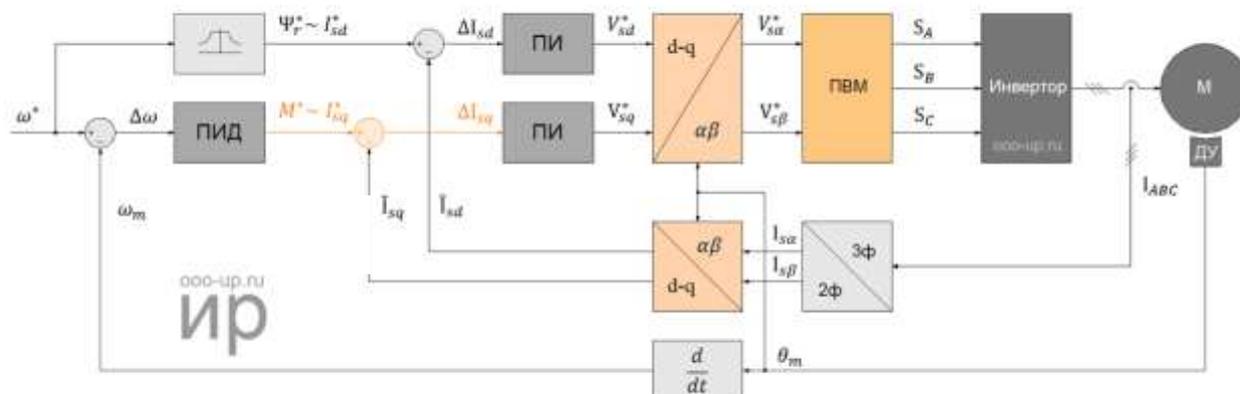


Рисунок 4 – Математическая модель полеориентированного управления СДПМ по датчикам положения ротора

Также существует и векторное управление СДПМ без использования датчиков положения ротора. Обратная ЭДС несет информацию о положении ротора в пространстве, следовательно, рассчитав величину обратной ЭДС можно узнать положение ротора. Но, когда ротор имеет малую скорость вращения или неподвижен, обратная ЭДС мала или отсутствует, а значит данный способ управления не подходит на тихоходных электродвигателях.

Таким образом были рассмотрены различные виды управления СДПМ. Существуют как бездатчиковые системы управления, так и системы с датчиками обратной связи по положению ротора. Выбор метода управления, в основном, зависит от требований к технологическому процессу и условиям эксплуатации. Также были рассмотрены конструкция синхронного двигателя с постоянными магнитами и ее особенности.

Список литературы

1. Овчинников, И.Е. Вентильные электрические двигатели и привод на их основе (малая и средняя мощность) / И.Е. Овчинников. Курс лекций. – Санкт-Петербург: Издание КОРОНА-Век, 2006. – 332 с.
2. Воеков, В.Н. Частотный электропривод на базе синхронного двигателя с постоянными магнитами с релейным управлением для насосов нефтегазовой отрасли : специальность 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Воеков Владимир Николаевич ; Липецкий государственный технический университет. – Липецк, 2019. – 161 с. – Библиогр.: с. 4–17.
3. Терехов, В.М. Системы управления электроприводов [Текст]: учеб. для студ. высш. учеб. заведений / В.М. Терехов, О.И. Осипов; под ред. В.М. Терехова – Москва: Издательский центр «Академия», 2005. – 304с.

SYSOEV ROMAN ALEKSEEVICH
student gr. EP-21-1
Lipetsk State Technical University

MUZYLEVA INNA VASILIEVNA
Scientific supervisor, lecturer of the Department of Automated Electric Drive and Robotics
Lipetsk State Technical University

Abstract: in this article, a synchronous motor with permanent magnets, the principle of operation and design were presented. The article also discusses ways to control an asynchronous motor with permanent magnets and their varieties.

Keywords: synchronous motor, controls, trapezoidal, polyoriented.

ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВНОГО МАГНИТНОГО ПОДШИПНИКА

ТИХОНОВ АЛЕКСАНДР АЛЕКСАНДРОВИЧ

студент гр. ЭП-22-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

САЗОНОВ ИВАН АНДРЕЕВИЧ

Аспирант гр ЭКС-22-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ПОНОМАРЕВ ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ

Научный руководитель, преподаватель кафедры автоматизированного электропривода и робототехники

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: в статье рассматривается строение, изучение и использования активных магнитных подшипников в электрических машинах.

Ключевые слова: активный магнитный подшипник, электрические машины.

Активный магнитный подшипник (АМП) в простом понимании представляет собой конструкцию электромеханической части и электронной системы управления. Общий вид АМП, представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Общий вид активного магнитного подшипника (АМП)

Конструкция электромеханической части предполагает собой статор, в пазы которого уложена обмотка электромагнита, и датчики положения ротора. Схема ротора представлена на рисунке 2.

Главной частью системы управления ротора в АМП выполняют датчики, изменением количества подаваемого тока можно удерживать ротор в центральной оси.

Поэтому положительной частью этого активного магнитного подшипника, как раз-таки будет отсутствие механического контакта между поверхностями подшипника, что позволяет довольно долго эксплуатировать данный вид подшипников.

Так же, основными плюсами АМП будет:

- отсутствие маслосистемы, что в свою очередь уменьшит габариты и сведёт к минимуму в моменте обслуживания;
- работа в температурах от -150 C до $+180\text{ C}$;
- работа в вакууме;
- работа в агрессивных средах.

Принцип действия АМП рассмотрен на рисунке 2.

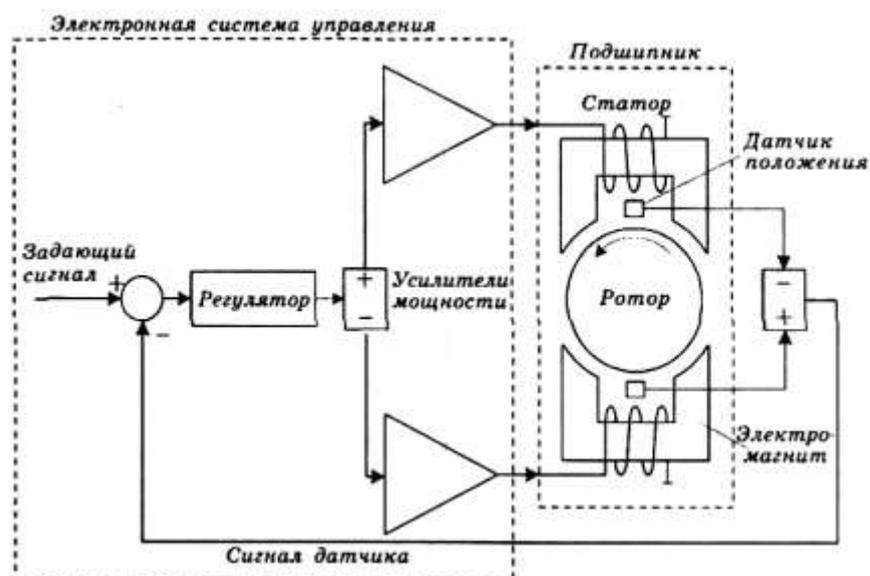


Рисунок 2 – Принцип действия активного магнитного подшипника (АМП)

В качестве примера можно взять основу геометрической конструкции исполнительной ступени в коническом (рисунок 3) и цилиндрическом профиле (рисунок 4).

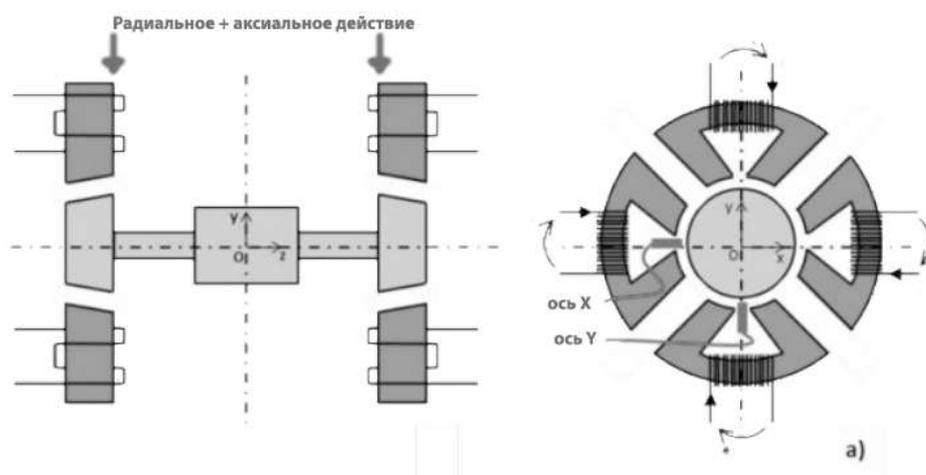


Рисунок 3 – Конический профиль

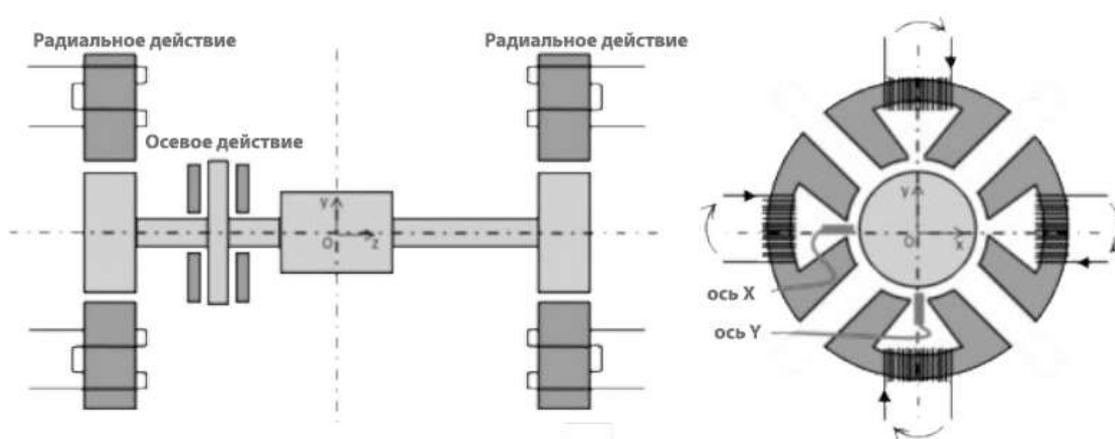


Рисунок 4 – Цилиндрический профиль

Стандартное оборудование АМП для подвески роторов реализуется с помощью пяти пар электромагнитов цилиндрической формы для осуществления активного управления с пятью степенями свободы.

Коническая форма магнитных подшипников, действующих одновременно в осевом и радиальном направлениях, позволяет сохранить одну пару электромагнитов и, следовательно, уменьшить габариты, хотя конструкция подшипника получается более сложной, чем стандартное цилиндрическое решение.

Такая геометрия позволяет достичь более высокой скорости вращения, которая в цилиндрическом решении ограничена деформациями, растущими в упорном диске подшипника.

Список литературы

1. Сотников В.В. Электрические машины [Электронный ресурс] / В.В. Сотников // Белгород 2019 №2,
2. Вольдек А.И. Электрические машины [Электронный ресурс] / А.И. Вольдек // Л.: Энергия, 1978.-832 с., ил.
3. Брускин Д.Э. Электрические машины и микромашины / Д.Э.Брускин, А.Е.Зорохович, В.С.Хвостов. – М.: Высшая школа, 1981.
4. Кацман М.М. Лабораторные работы по электрическим машинам и электрическому приводу / М.М.Кацман. – М.: Изд. центр «Академия», 2014.
5. Журавлёв Ю.Н. Активные магнитные подшипники [Электронный ресурс] / Журавлёв Ю.Н. // Активные магнитные подшипники: Теория, расчёт, применение. – СПб.: Политехника, 2003 – 206 с.: ил.

RESEARCH OF ACTIVE MAGNETIC BEARING

TIKHONOV ALEXANDER ALEXANDROVICH

student of gr. EP-22-1

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

SAZONOV IVAN ANDREEVICH

Postgraduate student of gr. EKS-22-1

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

PONOMAREV PAVEL SERGEYEVICH

Scientific supervisor, lecturer of the Department of Automated Electric Drive and Robotics
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

Abstract: The article deals with the structure, study and use of active magnetic bearing in electric machines.

Keywords: active magnetic bearing, electric machines.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ТРАНСФОРМАТОРА

ТИХОНОВ АЛЕКСАНДР АЛЕКСАНДРОВИЧ

студент гр. ЭП-22-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ЗНАМЕНСКИЙ ВЛАДИСЛАВ АЛЕКСАНДРОВИЧ

Аспирант ЭКС-23-2

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ПОНОМАРЕВ ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ

Научный руководитель, преподаватель кафедры автоматизированного электропривода и робототехники

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: в статье рассматривается строение, изучение и использования вращающегося трансформатора в электрических машинах.

Ключевые слова: вращающийся трансформатор (ВТ), электрические машины, внедрение вращающихся трансформаторов (ВТ) в электрические системы.

У вращающихся трансформаторов (ВТ) одним из видов использования служат передачи энергии от первичной обмотки к вторичной при условии, что две стороны находятся в относительном вращении. Общий вид показан на рисунке 1.



Рисунок 1 – Общий вид ВТ

Их использование стало весьма удобным с появлением силовой электроники, позволяющей использовать электрические системы на довольно высоких частотах.

Точный чертёж одного из вращающихся трансформаторов показан на рисунке 2.

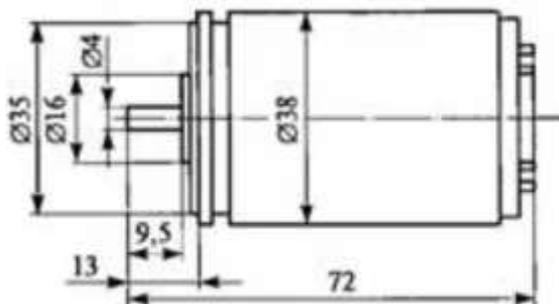


Рисунок 2 – Размеры и монтажные параметры ВТ

Вращающийся трансформатор, с конструктивной точки зрения, это устройство имеющие два полюса, в которой расположены два индуктора и которые как правило имеют сравнительно небольшую мощность. Индукторы расположены параллельно друг другу, обмотки индуктора есть как на неподвижной части (статоре), так и на вращающейся части (роторе), на рисунке 3 показано расположение указанных обмоток: обмотки статора – С1-С2 и параллельные им С3-С4, а обмотки ротора – Р1-Р2 и параллельные им Р3-Р4.

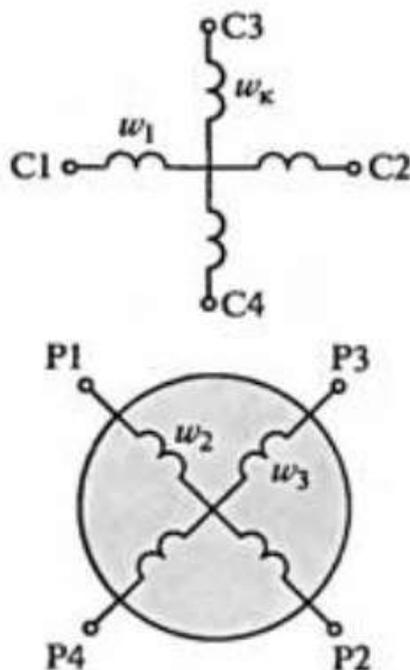


Рисунок 3 – Конструктивная схема обмоток вращающегося трансформатора

Контакт деталями вращающейся части (ротора) происходит за счёт контактных колец и щёток. При необходимости использования пружин спиральной пружины, угол поворота вращающейся части будет ограничен углом поворота данной пружины.

Индуктор С1-С2, питается переменным током, создавая магнитное поле, оказывает воздействие на индуктор С3-С4. Это воздействие изменяет магнитный поток, индуцируя переменное напряжение в индукторах ротора Р1-Р2 и Р3-Р4. Именно таким образом, угол поворота ротора напрямую воздействует на величину взаимной индуктивности и, следовательно, на выходное напряжение в обмотках ротора

Такой подход позволяет эффективно использовать конструкцию трансформатора, уменьшая количество необходимых контактов и упрощая технологический процесс. Это особенно важно при работе в условиях непрерывного вращения, где уменьшение числа движущихся частей может повысить долговечность и стабильность работы устройства.

В работе вращающийся трансформатор служит датчиком угла поворота, преобразуя величину угла (α) в один из параметров сигнала переменного тока, извлекаемого обмоткой ротора. Этот процесс может подвергаться воздействию внешних электромагнитных полей или шумов, которые могут внести дополнительные искажения в выходной сигнал в зависимости от режима работы устройства.

В основе работы, как правило, на одной обмотке вращающийся трансформатор имеет большую амплитуду, а на второй – маленькую. При вращении вала - амплитуды меняются вместе с поворотом. Достигается это за счёт синусной и косинусной обмотки. Схематично принцип работы показан на рисунке 4.

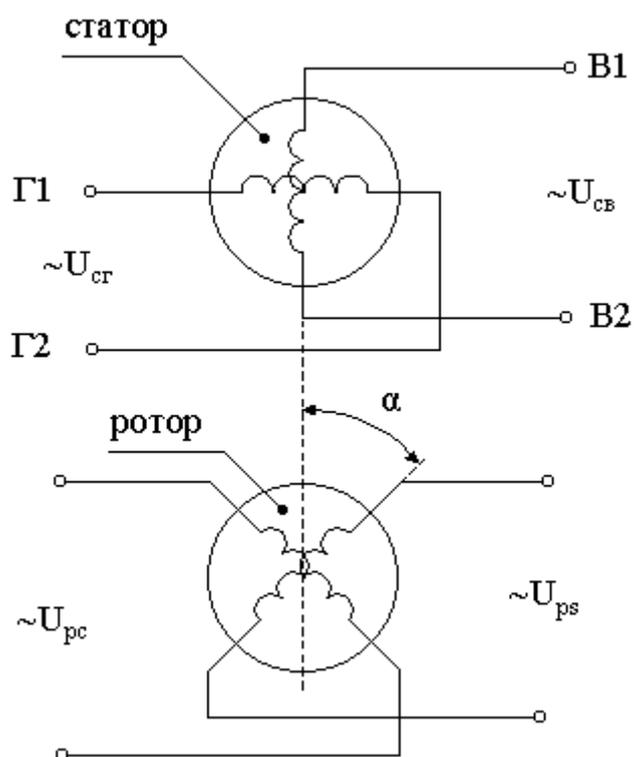


Рисунок 4 – Принципиальная схема работы вращающегося трансформатора с синусной и косинусной обмотками

Для обмотки синусоидальной, выражение трансформатора для напряжения может быть представлено следующей формулой (1):

$$U_{ps} = U_{cr} \sin(a) + U_{CB} \cos(a) \quad (1)$$

В случае, же косинусной обмотки формулой (2):

$$U_{pc} = U_{cr} \cos(a) + U_{CB} \sin(a) \quad (2)$$

Основными характеристиками для ВТ есть:

- Применение в схемах переменного тока частотой 300 - 2000 Гц.
- При температуре от -55°C до $+100^{\circ}\text{C}$
- При воздушной влажности 95 % / 40°C ;
- При частоте 1000 Гц замечается сопротивление колебаниям и следствием ускорения до 75 м/с^2 .

Благодаря своим характеристикам и конструкции ВТ можно использовать в широком спектре областей промышленности, например:

- Система управления (передачи управляющих сигналов и обратной связи)
- Энергетике (в устройствах возобновляемой энергии – передачи энергии от лопастей к генератору)
- Электромеханических системах (в генераторах и моторах – передачу энергии между неподвижными и вращающимися компонентами)

Список литературы

1. Сотников В.В. Электрические машины [Электронный ресурс] / В.В. Сотников // Белгород 2019 №2,

2. Вольдек А.И. Электрические машины [Электронный ресурс] / А.И. Вольдек // Л.: Энергия, 1978.-832 с., ил.
3. Брускин Д.Э. Электрические машины и микромашины / Д.Э.Брускин, А.Е.Зорохович, В.С.Хвостов. – М.: Высшая школа, 1981.
4. Кацман М.М. Лабораторные работы по электрическим машинам и электрическому приводу / М.М.Кацман. – М.: Изд. центр «Академия», 2014.
5. Пермяков И.И., Янчарук П.П. Вращающиеся трансформаторы и их применение в вычислительных устройствах навигационных приборов [Электронный ресурс] / Пермяков И.И., Янчарук П.П. // Вращающиеся трансформаторы и их применение в вычислительных устройствах навигационных приборов.- Владивосток, 1967 – 132 с.: Изд. центр Тихоокеанское высшее военно-морское училище имени С.О. Макарова.

RESEARCH OF ROTATING TRANSFORMER

TIKHONOV ALEXANDER ALEXANDROVICH

student of gr. EP-22-1

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

ZNAMENSKY VLADISLAV ALEKSANDROVICH

Postgraduate student EKS-23-2

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

PONOMAREV PAVEL SERGEYEVICH

Scientific supervisor, lecturer of the Department of Automated Electric Drive and Robotics
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

Abstract: the article deals with the structure, study and use of rotating transformer in electrical machines.

Keywords: rotating transformer, electric machines, integration of rotating transformers into electrical systems.

АНАЛИЗЫ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ СИММЕТРИРУЮЩЕГО СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА В ПРЕДПРИЯТИЯХ ФЕРГАНСКОЙ ДОЛИНЫ

УСМОНОВ ШУКУРИЛЛО ЮЛБАРСОВИЧ

Научный руководитель, заведующий кафедры “Электротехники, электромеханики и электротехнологии”, Ферганский политехнический институт

ЖОББОРОВ БАХОДИР ТУЛКИНЖОН УГЛИ

Преподаватель кафедры “Электротехники, электромеханики и электротехнологии”, Ферганский политехнический институт

Аннотация: В данной статье проведены экспериментальные исследования по симметрированию несимметричных состояний, вызванных нелинейными нагрузками, с помощью симметрирующего силового трансформатора, определены коэффициенты асимметрии нулевой последовательности в симметричных случаях, а также были упомянуты возможность повышения надежности силовых трансформаторов за счет исключения эти асимметричные состояния.

Ключевые слова: надежность, показатель качества, силовой трансформатор, коэффициент несимметрии.

Введение

Надежность электроснабжения, определяемая состоянием энергосистем и работающих в них силовых трансформаторов, считается важной, а вопросам увеличения срока службы этого электрооборудования придается особое значение. В настоящее время “на мировом уровне особое внимание уделяется вопросам повышения надежности силовых трансформаторов суммарной мощностью более 10000 ГВА [1]”. Эксплуатационная надежность такого крупного комплекса объясняется надежностью его составных частей, составляющих его основную часть. В то же время одним из факторов, приводящих к выходу из строя силовых трансформаторов 10/0,4 кВ, является асимметрия тока и напряжения, и устранению этой дисбаланса и повышению надежности трансформаторов уделяется большое внимание.

Несимметрия напряжения в электрических сетях 10/0,4 кВ в основном возникает за счет подключения однофазных маломощных потребителей [4]. несимметрия напряжения существенно влияет на состояние трансформаторов и сокращает срок их службы [4]. При несимметрии тока 10% [4] снижение изоляционных свойств трансформатора снижается на 16% [4; 5] от указанного периода.

Цель работы

Определить повышение надежности силовых трансформаторов за счет устранения несимметричных состояний, вызванных нелинейными нагрузками, с использованием экспериментальных исследований.

Полученные результаты и их обсуждение

С помощью модели лабораторной сборки LD DIDACTIC [3] создано симметричное состояние напряжений в сети и проведены экспериментальные исследования и получены результаты. Результаты данного экспериментального исследования представлены в таблице 1.



Рисунок 1 – Процессы экспериментальных исследований с использованием трехфазного симметрирующего силового трансформатора и макета лабораторной сборки LD DIDACTIC

Таблица 1 – LD DIDACTIC [3] результаты симметричного состояния напряжений в сети с использованием лабораторной модели суммирования

t/c	U _A , В	U _B , В	U _C , В	φ_{UA}	φ_{UB}	φ_{UC}
0,0	243,3	246,7	208,2	0,0	110,3	-124,8
0,1	243,3	246,7	208,2	0,0	110,2	-124,7
0,2	243,3	246,8	208,2	0,0	110,2	-124,7
0,3	243,3	246,8	208,2	0,0	110,2	-124,7
0,4	243,3	246,7	208,2	0,0	110,2	-124,7
0,5	243,3	246,7	208,3	0,0	110,2	-124,7

В этой таблице напряжения каждой фазы сети в симметричном состоянии равны $U_A=243,3$ В; $U_B=246,7$ В; $U_C=208,2$ В; значения между векторами $\varphi_A=0^\circ$; $\varphi_B=110,2^\circ$; Определено, что $\varphi_C=124,8^\circ$.

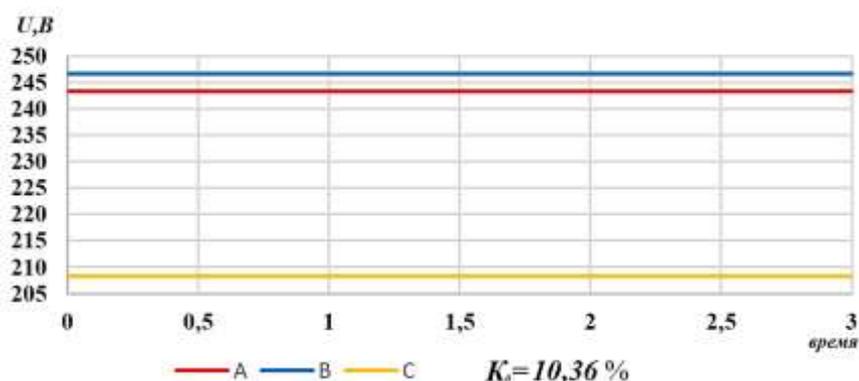


Рисунок 2 – График напряжений каждой фазы сети в симметричном состоянии

Как видно из графика, коэффициент асимметрии нулевой последовательности сети составляет $K_0=10,36\%$. Установлено, что коэффициент несимметричной асимметрии сети не соответствует требованиям ГОСТ 32144–2013 [2].

С помощью лабораторной модели суммирования LD DIDACTIC [3] было проведено экспериментальное исследование по балансировке симметричных напряжений в сети через симметрирующий силовой трансформатор, а результаты напряжения для каждой фазы на

нижней стороне симметрирующего силового трансформатора были определены экспериментальным путем. Исследования, результаты представлены в табл.2.

Уравновешивающая сила возникает из-за напряжения на нижней стороне трансформатора в чисто рабочем состоянии.

Таблица 2 – Результаты

t/c	U _A , В	U _B , В	U _C , В	φ _{UA}	φ _{UB}	φ _{UC}
0,0	234,4	238,3	237,8	0,0	120,1	-120,1
0,1	234,4	238,3	237,8	0,0	120,1	-120,1
0,2	234,4	238,2	237,8	0,0	120,1	-120,1
0,3	234,4	238,2	237,8	0,0	120,1	-120,1
0,4	234,4	238,2	237,8	0,0	120,2	-120,1
0,5	234,4	238,3	237,7	0,0	120,1	-120,1

В этой таблице напряжения на нижней стороне симметрирующего силового трансформатора в рабочем состоянии U_A=234,4 В; U_B=238,3 В; U_C=237,8 В; значения между векторами φ_A=0°; φ_B=120,1°; Определено, что φ_C=-120,1°

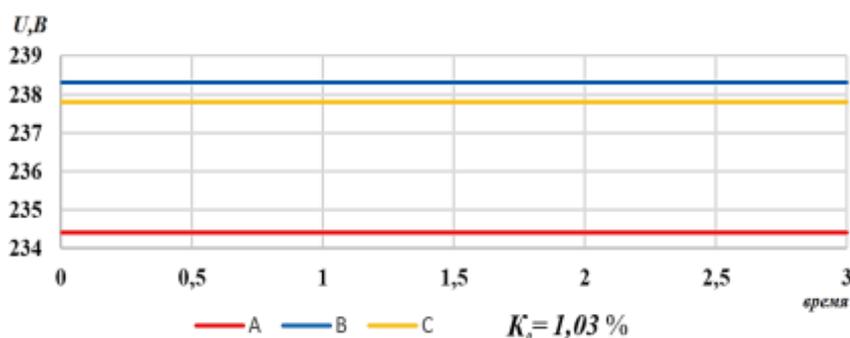


Рисунок 3 – График напряжений на каждой фазе симметрирующего силового трансформатора при нормальной работе

Как видно из графика, коэффициент асимметрии нулевой последовательности сети составляет K₀=1,03%. Как видно из этого было определено, что силовой трансформатор, балансирующий сеть в симметричном состоянии, соответствует требованиям ГОСТ 32144–2013 [2] за счет приведения его в состояние полной симметрии.

Следующий опыт заключается в подключении сети в симметричном состоянии к верхней стороне симметрирующего силового трансформатора и к стороне низшего напряжения нелинейного актива, т.е. P_A=0,147 кВт; к фазе А, P_B=0 кВт; на фазу В, P_C=0,150 кВт на фазу С; нагрузки подключены, результаты нашего экспериментального исследования представлены в таблице 3, график фазных напряжений и токов представлен на рисунке 4.

Таблица 3 – Результаты, полученные для случая симметричной сети и нелинейного подключения активной нагрузки

t/c	I _A , А	U _B , В	I _C , А	U _A , В	φ _{UA}	P _A , кВт	φ _{UB}	I _B , А	P _B , кВт	U _C , В	P _C , кВт	φ _{UC}
0,0	0,662	228,8	0,656	222,9	0,0	0,147	121	0,002	0,0	229,4	0,150	-120,0
0,1	0,662	228,9	0,656	222,9	0,0	0,147	121	0,002	0,0	229,4	0,150	-120,0

0,2	0,662	228,8	0,656	222,9	0,0	0,147	121	0,002	0,0	229,3	0,150	—	120,1
0,3	0,662	228,8	0,656	222,9	0,0	0,147	121	0,002	0,0	229,3	0,150	—	120,1
0,4	0,662	228,8	0,656	222,9	0,0	0,147	121	0,002	0,0	229,3	0,150	—	120,0
0,5	0,662	228,8	0,656	222,9	0,0	0,147	121	0,002	0,0	229,3	0,150	—	120,0

В приведенной выше таблице в случае нелинейной активной нагрузки, подключенной к симметрирующему силовому трансформатору, напряжения на нижней стороне определены $U_A=222,9$ В, $U_B=228,8$ В, $U_C=229,4$ В, значения углов между векторами $\varphi_A=0^\circ$, $\varphi_B=121^\circ$, $\varphi_C=-120,1^\circ$.

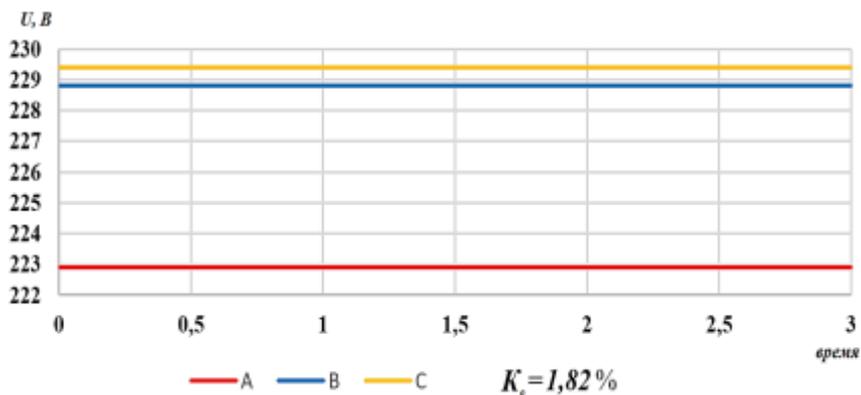


Рисунок 4 – График напряжений по фазам при подключении симметричной сети и нелинейной активной нагрузки

В экспериментальном исследовании коэффициент асимметрии нулевой последовательности сети составляет $K_0=1,82\%$, из графика видно, что в случае симметричной сети и нелинейной активной нагрузки установлено, что симметричные случаи не превышает 2%, указанных в ГОСТ 32144–2013 [2] при полной симметрии.

Выводы

Из результатов экспериментальных исследований, проведенных с использованием трехфазного симметрирующего силового трансформатора и лабораторной модели суммирования LD DIDACTIC [3], известно, что сеть и нагрузки (продольные и поперечные) могут устранить несимметричные условия при отсутствии симметрии, коэффициент несимметрии нулевой последовательности ГОСТ 32144–2013 [2]. Возможность доведения до значений, указанных в требовании, определяли путем проведения экспериментальных исследований. Доведение этого коэффициента несимметрии до значений, указанных в нормативных документах, с помощью трехфазного симметрирующего силового трансформатора позволяет повысить надежность работы трансформаторов.

Список литературы

1. Statistical Review of World Energy, 67–th edition, June 2018.
2. ГОСТ 32144–2013 Совместимость технических средств электромагнитная //Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения/Москва Стандартиформ 2014 г. С. 19.

3. WWW. LD DIDACTIC.COM. С. 21–25.

4. Jawad Faiz, Milad Ghazizadeh, Hashem Oraee Derating of transformers under non–linear load current and non–sinusoidal voltage–an overview // ISSN 1751–8660/IET Electric Power Applications July 2015 pp. 486–495.

5. И.И. Карташев, В.Н. Тульский, Р.Г. Шамонов, Ю.В. Шаров, Р.Р. Насыров Управление качеством электроэнергии //Учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 140200 “Электроэнергетика”/Москва, Издательский дом МЭИ 2017 г. С. 347.

6. Криштопа Н.Ю. Повышение эффективности энергосбережения в сельских сетях 0, 38 кв при несимметричной нагрузке // диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Санкт–Петербург–Пушкин–2016 г. С. 148.

7. Жежеленко И.В.1, Саенко Ю.Л., Горпинич А.В. Расчёт надёжности силовых трансформаторов при наличии несинусоидальности и несимметрии напряжений//Вестник приазовского государственно–технического Университета. Вып. №14. 2004 г С. 1–6.

ANALYSIS OF THE RESULTS OF EXPERIMENTS OF BALANCED POWER TRANSFORMER IN ENTERPRISES OF THE FERGHANA VALLEY

USMONOV SHUKURILLO YULBARSOVICH.

Scientific supervisor, head of the department of "Electrical Engineering, Electromechanics and Electrotechnology"
Fergana Polytechnic Institute

ZHOBBOROV BAKHODIR TULKINJON UGLI

Lecturer of the department of "Electrical Engineering, Electromechanics and Electrotechnology"
Fergana Polytechnic Institute

Abstract: In this article, experimental studies were carried out on balancing asymmetric states caused by nonlinear loads using a balun power transformer, the zero-sequence asymmetry coefficients in symmetric cases were determined, and the possibility of increasing the reliability of power transformers by eliminating these asymmetric states was mentioned.

Keywords: reliability, quality indicator, power transformer, asymmetry coefficient.

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

УСМОНОВ ШУКУРИЛЛО ЮЛБАРСОВИЧ

доцент кафедры электротехники, электромеханики и электротехнологий
Ферганский политехнический институт

КУЧКАРОВА ДИЛНОЗА ТОПТИЕВНА

доцент кафедры электротехники, электромеханики и электротехнологий
Ферганский политехнический институт

СУЛТОНОВ РУЗИМАТЖОН АНВАРЖОН УГЛИ

доцент кафедры электротехники, электромеханики и электротехнологий
Ферганский политехнический институт

ХАЛИЛЖОНОВ БОТИРЖОН КОДИРЖОН УГЛИ

ассистент кафедры электротехники, электромеханики и электротехнологий
Ферганский политехнический институт

Аннотация: В статье на основе анализа путей повышения эксплуатационной надежности электросистем текстильного предприятия разработана математическая модель надежности электросистемы ткацкого станка с использованием модулей искусственной нейронной сети на основе классификации отказов. Вероятностный алгоритм, модели надежности и технического состояния изоляции электродвигателей.

Ключевые слова: Электропривод, асинхронный двигатель, искусственный интеллект, эксплуатационная надежность, аномалии.

В ткацких станках при подаче пряжи к определенному рабочему органу важны скорости электропривода, от показателя надежности зависят все протекающие в них процессы. Улучшение показателей надежности достигается на основе конструкции указанной системы.

Основным потребителем энергии в текстильной промышленности является электричество. Энергия, используемая при обработке, зависит от различных факторов, таких как форма перерабатываемого продукта (волокно, пряжа, ткань), тип машины, конкретный тип процесса, состояние конечного продукта и т. д. [1].

Изменение способа управления энергопотреблением в масштабах предприятия путем реализации программы управления – один из наиболее успешных и экономичных способов повышения его эффективности. Современные тенденции развития технических средств защиты электродвигателей связаны с направлениями технического прогресса в нескольких областях техники: прежде всего, в области производства и эксплуатации электродвигателей, определяющих характеристики и режимы работы защищаемых объектов; а во-вторых, разработка элементной базы для вновь создаваемых защитных устройств [2].

Неисправности, которые могут быть связаны с системой электропривода, проявляются в следующих частях [3]:

- Электродвигатель;
- Преобразователи;
- Контроль скорости;
- Датчики напряжения;
- Блок управления;
- Оценочный блок.

Классификация моделей электродвигателей по надежности и техническому состоянию представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Классификация моделей по надежности и техническому состоянию изоляции электродвигателей

Правильное программное обеспечение для управления энергопотреблением необходимо для создания основы для позитивных изменений и руководства по управлению энергопотреблением на предприятии. Поэтому постоянное повышение энергоэффективности возможно только при наличии сильной организационной приверженности. Программы управления энергопотреблением помогают гарантировать, что при повышении энергоэффективности выполняется не только разовая реализация, но и постоянное обнаружение в процессе совершенствования.

Основные параметры электрического привода через искусственную нейронную сеть можно выразить комплексные показатели надежности и на их основе осуществить классификацию неисправностей.

В ткацких станках управление напряжением является важным приложением для управления распределением энергии, которое поддерживает напряжение на основе измеренных данных [4]. Общая цель-улучшить режим напряжения и снизить общие потери в сети [5]. Схема управления напряжением реализована централизованными или децентрализованными подходами с контролем нагрузки, регуляторами напряжения, конденсаторами и т. д.

Каждый подход включает в себя определенный алгоритм решения проблем для достижения желаемых целей сети. Централизованная схема управления может достичь теоретически глобально оптимального объекта за счет серии управляющих действий. Однако этот подход требует правильной модели распределения и надежных результатов оценки потока энергии и состояния. Также на результаты влияют сетевые изменения.

С другой стороны, децентрализованная схема управления использует измерения в реальном времени для управления одним или группой контроллеров напряжения для достижения определенной цели. Это сказывается на показателях надежности ткацких станков. Посредством практического статистического анализа зависимостей входных и выходных параметров объекта в двигателях управляемых электроприводов формальные модели могут быть регрессивными, авто регрессивными, средними.

Современные теоретические методы определения надежности и технического состояния электроприводов можно сгруппировать по следующим научным признакам:

- по способу изучения объекта (индивидуального или группового);
- по методу аналитического решения задачи (экстраполяция и статистическая классификация, искусственная нейронная сеть);

- по применяемым математическим методам-методы экстраполяции; интерполяции; методы регрессионного и корреляционного анализа; методы кластерного анализа, комбинаторные и ступенчатые методы.

Для выявления неисправного состояния электродвигателей необходима разработка экспресс-метода эффективной оценки влияния условий эксплуатации. В целях повышения эффективности проводимых научно-исследовательских работ и ускорения внедрения полученных результатов в научно-практическую деятельность разработана концепция изучения методов и средств повышения эксплуатационной надежности электроприводов, используемые в легкой промышленности.

При рассмотрении возможностей реализации нейронной ассоциативной памяти предлагается реализация ассоциативной памяти путем умножения ассоциативного вектора на матрицу ассоциаций. В результате этого действия восстанавливается входной вектор. В свою очередь, матрица ассоциаций получается путем суммирования отдельных входных данных и матрицы ассоциативных векторных ассоциаций. В многослойных нейронных сетях, то есть сетях с обратной связью, есть структура, которая реализует ассоциативную память.

Матрица ассоциации рассчитывается по формуле:

$$W = \sum_i A_i^T B_i$$

Где A_i и B_i - i -входные и ассоциативные векторы, W -матрица ассоциаций. Выражение вектора A выглядит следующим образом:

$$A = F(BW^T)$$

Эта структура имеет следующие недостатки: изучение новой ассоциации приводит к полному пересчету матрицы ассоциации; количество ассоциаций ограничено размером входного вектора; связь с неполными данными во входном векторе не может быть определена.

Для устранения этих недостатков в качестве входного и ассоциативного векторов выбирается один вектор. Тогда:

$$W = \sum_i A_i^T A_i$$

Восстановление использует A_i^* , компонент A_i , в качестве ассоциативного вектора.

$$F_{1,2} = \frac{\Delta}{2K\delta_u\gamma} \pm \sqrt{\frac{\Delta^2}{(2K\delta_u\gamma)^2} - x}$$

Здесь

K - усиление низкочастотным фильтром;

Δ - предел для квантования увеличений;

δ_u, γ - амплитуда и длительность импульса.

Работа частотно-импульсного модулятора описывается уравнением:

$$\int_{t_{n+1}}^{t_n} x(t) dt = \Delta$$

Здесь

t_n и t_{n+1} временной интервал последовательности импульсов;

Δ - стадия квантования;

$x(t)$ - объем вводимых данных.

В многосвязных импульсно-частотных системах распространение частотных импульсов от одного элемента к другому аналогично распространению световой волны в пространстве.

В результате анализа энергоэффективности текстильного предприятия разработана структурная схема повышения эксплуатационной надежности электрооборудования ткацкого станка. Было обнаружено, что 60% неисправностей, возникающих на ткацких станках,

являются механическими, а 40% - электрическими. На основе диагностики неисправностей асинхронного двигателя, классификации аномалий и неисправностей была разработана техническая классификация, которая легла в основу разработки алгоритма показателей повышения надежности системы электроснабжения.

Список литературы

1. Ганина.Х.В. Повышение срока службы асинхронного электродвигателя, работающего на гармоническую нагрузку (на примере электропривода сегментно - пальцевой косилки КН-1.1): Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.20.02 - Саратов.: СГАУ;2000. – 22 ст
2. Гольдберг О. Д. Статистические методы контроля и анализ качества асинхронных двигателей. - М.: Отд-ние ВНИИЭМ по научно-технической информации, 1966, 90-101 ст.
3. Павлов А.П. Анализ себестоимости продукции текстильного предприятия с помощью ЭВМ // Изв.ВУЗов. Технология текстильной промышленности. 1964X25, 1-12.
4. Principi, E.; Rossetti, D.; Squartini, S.; Piazza, F. Unsupervised electric motor fault detection by using deep autoencoders. IEEE/CAA J. Autom. Sin. 2019, 6, 441–451. [CrossRef] [1-7-6.]
5. Гольдберг О.Д. Работы по повышению надёжности асинхронных двигателей мощность 06-100кВт, 1966, 41 ст

IMPROVING THE OPERATIONAL RELIABILITY OF ELECTRIC DRIVES USED IN LIGHT INDUSTRY

USMONOV SHUKURILLO YULBARSOVICH

associate professor of the department of electrical engineering, electromechanics and electrical technologies
Fergana polytechnic institute

KUCHKAROVA DILNOZA TOPTIYEVNA

associate professor of the department of electrical engineering, electromechanics and electrical technologies
Fergana polytechnic institute

SULTONOV RUZIMATJON ANVARJON UGLI

associate professor of the department of electrical engineering, electromechanics and electrical technologies
Fergana polytechnic institute

KHALILJONOV BOTIRJON KODIRJON UGLI

assistant of the department of electrical engineering, electromechanics and electrical technologies
Fergana polytechnic institute

Abstract: In the article, based on the analysis of ways to improve the operational reliability of electrical systems of a textile enterprise, a mathematical model of the reliability of the electrical system of a weaving machine is developed using modules of an artificial neural network based on the classification of failures. Probabilistic algorithm, models of reliability and technical condition of the insulation of electric motors.

Keywords: Electric drive, asynchronous motor, artificial intelligence, operational reliability, anomalies.

СРАВНЕНИЕ ВЕКТОРНОГО И СКАЛЯРНОГО УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ В СИСТЕМАХ ЦЕНТРИРОВАНИЯ

Аннотация: в данной статье освещен вопрос управления асинхронным электроприводом в системах центрирования. В статье проанализированы основные характеристики обоих методов управления, исследованы их особенности и возможности применения.

Ключевые слова: частотный преобразователь, векторный алгоритм, частотный алгоритм.

Системы центрирования представляют собой комплексы оборудования, используемые для обеспечения оптимального положения объекта относительно центральной оси или точки. Для этого применяются различные технологии и методы управления, такие как использование асинхронных электроприводов, из-за их простоты и надежности. Однако эффективное управление двигателем является ключевым аспектом его работы. Векторное и скалярное управление – два основных подхода к управлению асинхронными двигателями, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки.

1. Скалярное регулирование.

Асинхронный электропривод со скалярным(частотным) управлением скоростью является на сегодняшний день самым распространенным. Основное положение этого метода заключается в том, что скорость двигателя зависит от выходной частоты. В случае скалярного управления изменение напряжения подается в соответствии с формулой $U/f_n = \text{const}$, что гарантирует постоянный магнитный поток в двигателе.

Частотный метод управления рекомендуется применять в случаях, когда зависимость момента нагрузки двигателя известна, и практически не меняется при одном и том же значении частоты, а также нижняя граница регулирования частоты не ниже 5...10 Гц при независимом от частоты моменте. Расширить возможности метода можно путем добавления обратной связи по скорости(энкодер). При этом величина U/f поддерживается при различных скоростях, повышается точность регулирования угловой частоты вала. Область применения – электроприводы различного назначения с постоянной или изменяющейся по-известному закону нагрузкой.

Главное преимущество вольт-частотных преобразователей частоты – простота и невысокая стоимость. Настройка устройства намного проще, также можно управлять несколькими электродвигателями.

К недостаткам относится зависимость скорости вала от нагрузки. Такое оборудование не позволяет управлять частотой вращения и моментом на валу одновременно, не обладает высокой перегрузочной способностью, плохая работа с динамически изменяющейся нагрузкой

2. Векторное управление.

Это способ управления асинхронными двигателями, при котором формируются не только гармонические токи (напряжения) фаз, но и обеспечивается управление магнитным потоком ротора, а именно, моментом на валу электродвигателя. Данный тип управления применяется в случае, когда нет четкой зависимости между моментом нагрузки и скоростью вращения, а также когда необходимо получить расширенный диапазон регулирования частоты при номинальных моментах.

У данного метода есть свои недостатки. Главный из них – значительный объем вычислений. Векторный метод управления частотным преобразователем реализуется путем сложных расчетов в реальном времени, производимых процессором на основе информации о выходном токе, частоте и напряжении, что ведет к значительному удорожанию преобразователя. Такое оборудование применяется в механизмах с динамической нагрузкой, грузоподъемных устройств, точных механизмов и т.д.

Правильное центрирование позволяет улучшить качество и эффективность процессов, минимизировать отклонения, предотвратить повреждение оборудования и продукции, обеспечить качественную работу оборудования и механизмов. Важной характеристикой систем центрирования является их точность, скорость реакции и надежность. Поэтому при выборе конкретной системы управления необходимо учитывать требования производства, особенности рабочего процесса и специфику конкретного объекта, который требуется центрировать.

Векторный метод обладает более высокой точностью и эффективностью по сравнению со скалярным управлением в условиях центрирования, однако требует более сложной настройки и больших затрат на оборудование. Таким образом, выбор между векторным и скалярным управлением должен быть сделан с учетом конкретных требований по точности и эффективности системы центрирования, а также финансовых возможностей для реализации необходимых технических решений

Список литературы

1. Лурье Б., Энрайт П. Д. Классические методы автоматического управления: Изд-во БХВ-Петербург, 2004. – 628 с.
2. Дунаев В. Косилов А. Автоматизированное проектирование систем управления: Изд-во Машиностроение, 1989. – 344 с.
3. Козярук, А. Е. Современное и перспективное алгоритмическое обеспечение частотно-регулируемых электроприводов / А. Е. Козярук, В. В. Рудаков. – СПб.: СанктПетербургская электротехническая компания, 2004. – 127 с.
4. Анхимюк, В. Л. Теория автоматического управления / В. Л. Анхимюк, О. Ф. Опейко, Н. Н. Михеев. – Минск: Дизайн ПРО, 2000. – 352 с.
5. Соколовский, Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием / Г. Г. Соколовский. – М.: Академия, 2007. – 2-е изд. – 272 с.
6. Фираго, Б. И. Регулируемые электроприводы переменного тока / Б. И. Фираго, Л. Б. Павлячик. – Минск: Техноперспектива, 2006. – 363 с.

COMPARISON OF VECTOR AND SCALAR CONTROL OF AN ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE IN CENTRING SYSTEMS

FRIZEN DANIL VADIMOVICH
Student gr. M-EP-23-1
Lipetsk State Technical University

Abstract: This article covers the issue of controlling an asynchronous electric drive in centering systems. The article analyzes the main characteristics of both control methods, explores their features and application possibilities.

Keywords: frequency converter, vector algorithm, frequency algorithm.

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИЯ НАСОСНЫХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЧАСТОТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ И ПЛАТФОРМЫ MASTERSCAD4D

ХОМУТИННИКОВ МАКСИМ ВАЛЕРЬЕВИЧ

студент гр. ЭП-20-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ШИШЛИН ДЕНИС ИВАНОВИЧ

Научный руководитель, преподаватель кафедры электропривода

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: в статье рассматривается модернизация системы насосов подпитки цикла на примере УТЭЦ ПАО «НЛМК» с применением SCADA-системы. Представлены логика управления с использованием частотного преобразователя, описание программного обеспечения и структуры программы. Описаны этапы наладки связи между средой разработки и исполнительным механизмом.

Ключевые слова: SCADA, частотное регулирование, насосы, автоматизация, программное обеспечение.

Использование частотного привода позволяет экономить значительные объемы (более 30%) электроэнергии за счет регулирования скорости электродвигателя. Помимо экономии электроэнергии за счет снижения давления в системе уменьшаются утечки воды, а, следовательно, экономится перекачиваемая жидкость, до 10%. Преобразователи частоты позволяют избежать повреждения двигателей, так как за их счет осуществляется плавный пуск и отсутствуют прямые пуски с 6-7 кратными пусковыми токами.

В работе рассматривается модернизация системы насосов подпитки цикла, замена дросселирования на частотное регулирование для повышения экономичности работы насосов. Сравнительные характеристики этих способов регулирования представлены на рисунке 1, где показана исходная QH – характеристика (кривая 1) с номинальным расходом QH и номинальным напором HN насоса, а также характеристика магистрали (кривая 3) при полностью открытой заслонке. Если необходимо получить расход $0,6QH$ при регулировании дросселированием, задвижка частично закрывается, изменяя характеристику магистрали (кривая 4). При этом полезная мощность, потребляемая насосом, определяется площадью четырехугольника $0DBF$. При регулировании подачи изменением скорости вращения (кривая 2), насос будет работать при снижении расхода и напора, а полезная мощность равняется мощности, развиваемой насосом, то есть площади четырехугольника $0ECF$. Отсюда следует, что наиболее экономичным способом является изменение расхода посредством регулирования скорости вращения.

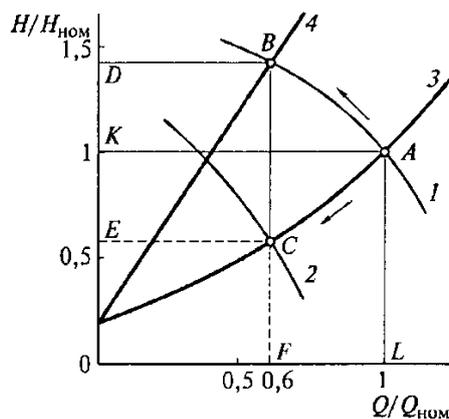


Рисунок 1 – Сравнительные характеристики способов регулирования расхода

Следовательно, для повышения эффективности системы подпитки цикла теплосети необходимо внедрение частотного регулирования и автоматического управления.

MasterSCADA 4D – платформа для автоматизации и диспетчеризации с web-доступом, поддерживающая разнообразные аппаратные платформы и среды передачи данных. Программа позволяет создавать проекты автоматизации на всех уровнях. На рисунке 2 представлено среда разработки.

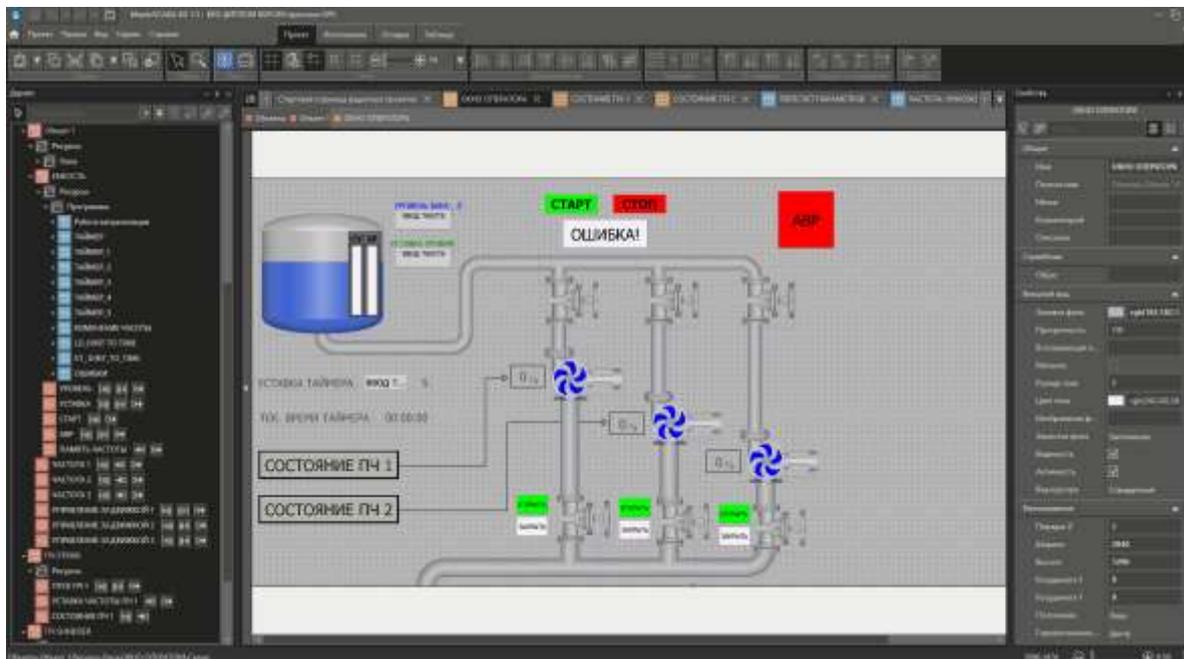


Рисунок 2 – Среда разработки.

На экране управления отображаются параметры, такие как уровень бака и уставка уровня. Кнопки старт/стоп, ошибка и открыть/закрыть, позволяющие управлять системой. На панели оператора представлены динамические кнопки для управления системой и отображения состояния частотных преобразователей. Программа написана на языке стандарта МЭК 61131-3 StructuredText. Логика управления описывает процесс изменения частоты насосов в зависимости от уровня воды в баке и других параметров.

Исполнение программы начинается с нажатия кнопки Старт и открытия всех задвижек. Частота увеличивается или уменьшается в зависимости от уровня воды в баке. Программа позволяет опрашивать устройства по протоколу Modbus и передавать данные в MasterScada4d.

Для настройки связи между скадой и частотным преобразователем (далее по тексту ПЧ) использован протокол связи ModbusTCP, где программа ModbusUniversalMasterOPCServer является MASTER, а ПЧ SLAVE. В таблице 1 приведены формулы для расчета параметров насоса.

Таблица 1 – Расчет параметров насоса, необходимых при моделировании

Пояснение	Формула
Сопротивление магистрали	$R = \frac{H}{Q^2}$
Инерционная составляющая давления	$C = \frac{H_0 - H}{Q^2}$
Отношение напора к скорости	$A = \frac{H_0}{w_H^2}$

Разработка направлена на импортозамещение и позволяет управлять производственными процессами с компьютера оператора. Система подходит для мелких предприятий и аварийных систем.

Список литературы

1. Онищенко, Г. Б. Автоматизированный электропривод промышленных установок [Текст] / Г. Б. Онищенко, М. И. Аксенов, В. П. Грехов. – Москва.: РАСХН – 2001. – 520 с.
2. Инструкция по эксплуатации системы подпитки пароводяного цикла котлов, турбин (БЗК, ПОВ, ППЦ, насосы БЗК, конденсатные насосы ПОВ, насосы ППЦ, деаэраторы 0,02МПа) котлотурбинного отделения Утилизационной теплоэлектроцентрали. ИЭ 05757665-221-006-2012 [Текст]: Краткое описание технологического оборудования и производственного процесса – Липецк, 2012. –26 с.
3. Агрегаты электронасосные центробежные конденсатные типа 1КсВ [Текст]: Руководство по эксплуатации – Ливны, 2011. – 62 с.
4. MasterSCADA 4D [Текст]: Руководство по программированию, 2023. – 2750 с.
5. Методы снижения осложнений работы центробежных насосов нефтегазовых скважин на базе концепции цифрового двойника [Электронный ресурс]: Автоматизация и ИТ в нефтегазовой области / В.Н. Мещеряков, А.С. Волков, А.Б. Кононенко, О.В. Крюков. – 2024. – №1(55). С. 16-25. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=60381886>, свободный.

AUTOMATION AND DISPATCHING OF PUMPING SYSTEMS USING FREQUENCY CONVERTERS AND THE MASTER SCADA 4D PLATFORM

HOMUTINNIKOV MAKSIM VALERIEVICH

student gr. EP-20-1

Lipetsk State Technical University

SHISHLIN DENIS IVANOVICH

Scientific supervisor, lecturer of the electric drive department

Lipetsk State Technical University

Abstract: The article discusses the modernization of the cycle recharge pump system using the example of NLMK's UTEC with the use of a SCADA system. The logic of control using a frequency converter, a description of the software and the structure of the program are presented. The stages of establishing communication between the development environment and the actuator are described.

Keywords: SCADA, frequency control, pumps, automation, software.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УСТАНОВКОЙ ОЧИСТКИ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ СТАНА 1400 ЦДС

ХОХЛОВ ЗАХАР ВАЛЕРЬЕВИЧ

студент гр. М-ЭП-23-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

МУРАВЬЕВ АРТЁМ АРТУРОВИЧ

Научный руководитель, преподаватель кафедры электропривода
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: Установки очистки смазочно-охлаждающих жидкостей – это аппараты, которые используются для очистки масел и жидкостей, используемых в механических и промышленных устройствах.

Ключевые слова: ток, системы координат, электропривод, стан 1400

Объектом исследования являются установки очистки смазочно-охлаждающей жидкости. Установки очистки СОЖ стана 1400 находятся в эксплуатации с апреля 2001 г.

Система управления установками очистки смазочно-охлаждающей жидкости стана 1400 предназначена для управления режимами работы следующих узлов:

- 1) системы управления установкой грубой очистки 1;
- 2) системы управления установкой грубой очистки 2;
- 3) системы управления установкой тонкой очистки 1;
- 4) системы управления установкой тонкой очистки 2.

Каждая установка тонкой очистки имеет 4 нерегулируемых электропривода переменного тока 380В с контакторным пуском и 4 гидропривода.

В качестве программируемого логического контроллера используется Siemens SimaticS7-300. Разработка программного обеспечения осуществляется на базе S7-MicroWin по отработанным алгоритмам работы оборудования. В качестве сенсорной операторской панели используется SIMATIC MP 177 6", TOUCH.

Исходные данные электродвигателя АИР63А4У3 приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные АД

Тип	АИР63А4У3
Синхронная частота вращения n , об/мин	1500
Число пар полюсов p_p	2
Номинальное скольжение s_n	0,087
Номинальная механическая мощность P_n , кВт	0,25
Номинальное линейное напряжение питания U , В	380
КПД в номинальном режиме η_n	0,68
Коэффициент мощности двигателя $\cos\varphi_n$	0,67
Кратность максимального момента λ	2.2
Кратность пускового момента $k_{пм}$	2.3
Кратность пускового тока $k_{пт}$	5
Момент инерции двигателя $J_{дв}$, кг · м ²	0,178

Для проверки рассчитанных значений регуляторов предлагается использовать полную схему моделирования электропривода с использованием модели асинхронного электропривода в неподвижной системе координат и система регулирования с прямым и обратным координатными преобразователями, и ориентацией вращающихся координат по вектору потокосцепления ротора. Такая модель в оболочке Simulink

Matlab приведена на рисунке 1.

Для функций VF (рисунок 2) использовались блоки Simulink перевода из действительных и мнимых переменных потокосцепления ротора в комплексные числа Real-Imag to Complex и Complex to Magnitude-Angle перевода комплексного числа в значение амплитуды вектора потокосцепления и его текущий угол в неподвижной системе координат (x, y).

UQ2 (рисунок 3) выполняет преобразование из неподвижной системы координат во вращающуюся синхронно с потокосцеплением ротора используя следующие выражения:

$$i_{sd} = i_{sx} \cdot \cos \gamma + i_{sy} \cdot \sin \gamma ;$$

$$i_{sq} = -i_{sx} \cdot \sin \gamma + i_{sy} \cdot \cos \gamma .$$

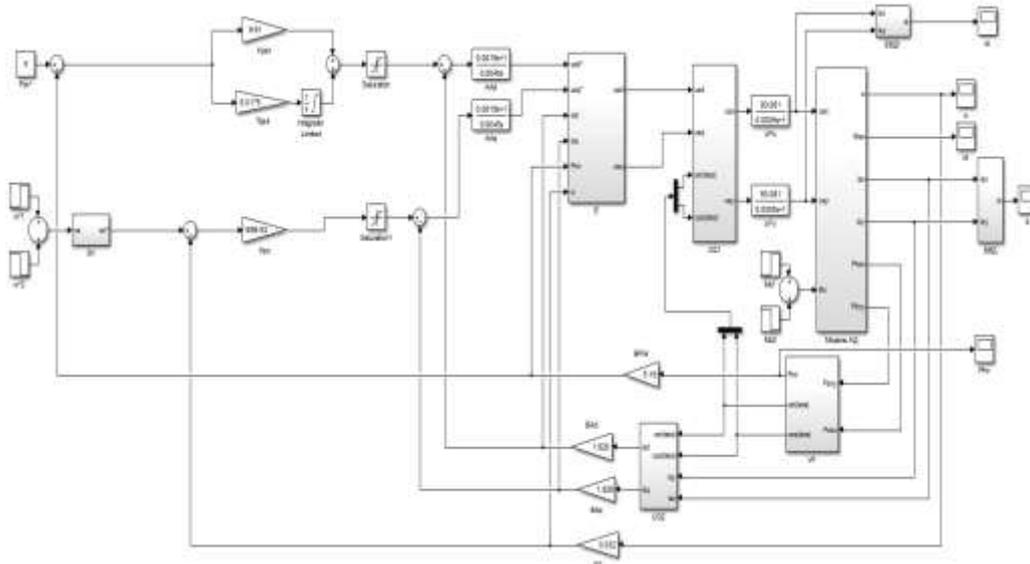


Рисунок 1 - Математическая модель асинхронного электропривода с векторным управлением и преобразованием координат в программном пакете Simulink Matlab

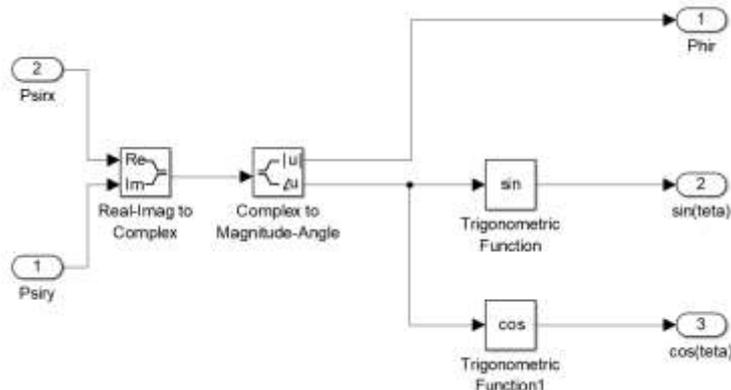


Рисунок 2 - Математическая модель VF

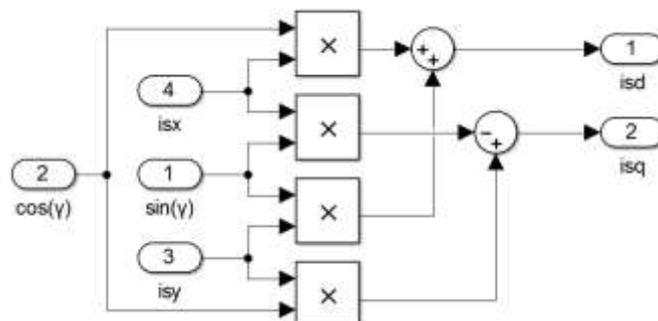


Рисунок 3 - Блок преобразования координат UQ2

Аналогично выполняется обратное преобразование в UQ1 (рисунок 4) используя выражения:

$$u_{sx} = u_d \cdot \cos \gamma - u_q \cdot \sin \gamma ;$$

$$u_{sy} = u_d \cdot \sin \gamma + u_q \cdot \cos \gamma .$$

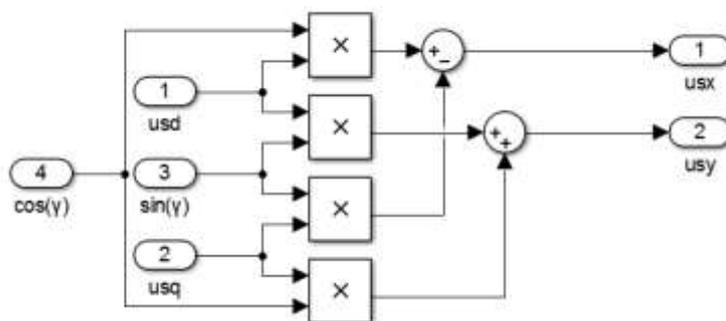


Рисунок 4 - Блок преобразования координат UQ1

На рисунках 6-7 приведены временные характеристики пуска асинхронного электропривода с частотным регулированием.

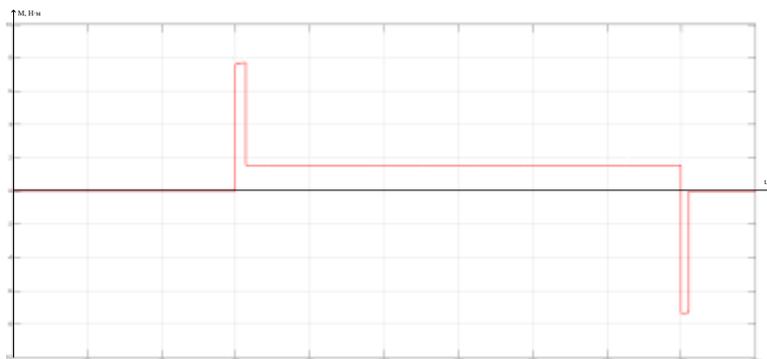


Рисунок 5 - Переходный процесс момента при пуске асинхронного электропривода с векторным управлением

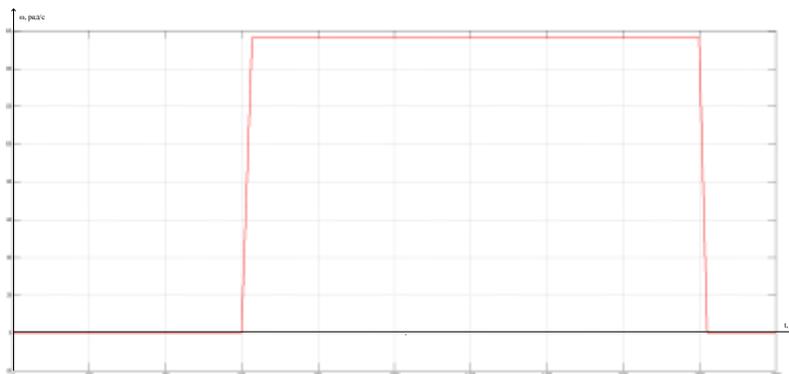


Рисунок 6 - Переходный процесс скорости при пуске асинхронного электропривода с векторным управлением



Рисунок 7 - Переходный процесс тока статора при пуске асинхронного электропривода с векторным управлением

Список литературы

1. Левин, П.Н. Управление электроприводами [Текст]: методические указания к курсовой работе для студентов направления подготовки 140400 «Электроэнергетика и электротехника» профиля подготовки «Электропривод и автоматика» очной и очно-заочной форм обучения [Текст] / сост. П.Н. Левин. – Липецк: Изд-во Липецкого государственного технического университета, 2014. – 79 с.
2. Стандартные преобразователи SINAMICS G120 [Текст]: каталог. – Москва: SIEMENS, 2012. – 104с.
3. SINAMICS G120 с управляющими модулями CU240B-2, CU240E-2 DP [Текст]: руководство по эксплуатации. – Москва: SIEMENS, 2011. – 306 с.
4. Фираго Б.И., Векторные системы управления электроприводами: учеб. пособие / Б.И. Фираго, Д.С. Васильев - Минск: Выш. шк., 2016. - 159 с.
5. Анучин А.С. Системы управления электроприводов: учебник для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2015 – 373 с.
6. Аносов В.Н. Векторное управление асинхронными электроприводами на основе прогнозирующих моделей: учебное пособие / В.Н. Аносов, А.А.З. Диаб, Д.А. Котин. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – 175с.

INVESTIGATION OF THE CONTROL SYSTEM OF THE LUBRICATING COOLANT PURIFICATION PLANT OF THE 1400 CDU MILL

HOHLOV ZAHAR VALERIEVICH
student gr. M-EP-23-1
Lipetsk State Technical University

MURAVYEV ARTYOM ARTUROVICH
Scientific supervisor, lecturer of the Electric Drive Department
Lipetsk State Technical University

Abstract: Coolant cleaning plants are devices that are used to clean oils and liquids used in mechanical and industrial devices.

Keywords: current, coordinate systems, electric drive, mill 1400

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

ЧЕРНЫХ НИКИТА АНДРЕЕВИЧ

студент группы ЭП-21-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ПОНОМАРЕВ ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ

Научный руководитель, преподаватель кафедры электропривода
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: работа посвящена изучению автоматической системы обеспечения пожарной безопасности. Описывается состав системы, принцип действия и способ её установки.

Ключевые слова: пожарная безопасность, пожарные извещатели, система оповещения.

Одним из ключевых аспектов обеспечения безопасности человека и его имущества является пожарная безопасность. Использование большого количества горючего материала и электротехники вызывает риск возникновения возгорания. По этой причине, в последние годы много внимания уделяется разработке автоматических систем обеспечения пожарной безопасности. Такие системы представляют собой комплекс технических устройств, которые направлены на своевременное обнаружение, оповещение и управление эвакуацией людей, локализацию и тушение пожара.

Система автоматической пожарной сигнализации включает в себя:

- прибор приёмно-контрольный;
- адресные шлейфы, с расположенными на них пожарными извещателями.

Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре включает в себя:

- прибор приёмно-контрольный;
- ручные пожарные извещатели;
- оповещатели (звуковые, световые).

Возгорание в помещении определяют пожарные извещатели. Они классифицируются на автоматические и ручные (приводится в действие человеком), а также по опасным факторам пожара: дымовые, тепловые, извещатели пламени и тд.

Пожарные извещатели устанавливаются в каждом помещении, кроме непожароопасных помещений (душевые, санузлы, лестничные клетки, тамбуры и венткамеры).

Принятие решения о возникновении пожара происходит по одному из 2 алгоритмов.

Алгоритм А выполняется после получения сигнала от ручных пожарных извещателей, включенных в адресную линию связи.

Принятие решения по алгоритму Б выполняется после получения сигнала от пожарных извещателей.

При поступлении сигнала о пожаре от пожарных извещателей на приёмно-контрольный прибор формируется сигнал на срабатывании системы оповещения и управления эвакуации людей при пожаре и через оповещатели происходит информирование людей о пожаре.

Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре делится на классы:

- I класс – звуковое оповещение;
- II класс – звуковое и световое оповещение;
- III класс – речевое и звуковое;
- IV класс – речевое (по зонам) и световое;
- V класс – речевое (по зонам), световое и аварийная телефония.

При выборе типа оповещателей учитываются особенности людей, находящихся в здании. Например, в здании, где могут находиться люди с нарушением слуха, применяются

специальные световые оповещатели. В лечебных учреждениях применяются вибробраслеты, которые при срабатывании системы обеспечения пожарной безопасности вибросигналом будят людей в ночное время.

Прибор приёмно-контрольный циклически опрашивает подключенные пожарные извещатели и следит за их состоянием путём оценки полученного ответа.

Ручные пожарные извещатели устанавливаются на высоте от уровня пола – 1,5 м; от дверной коробки – 0,1 м.

Правильно разработанная и установленная автоматическая система обеспечения пожарной безопасности обеспечивает круглосуточную противопожарную защиту здания. Важно отметить, что такая система должна быть установлена в соответствии с требованиями законодательства и проходить регуляторное техническое обслуживание для поддержания ее работоспособности и эффективности.

Список литературы

1. Серeda, М. И. Формирование механизма обеспечения пожарной безопасности путём управления пожарным риском [Электронный ресурс] / М. И. Серeda // Экономика и социум. 2020. №12-2 (79). – 3-4 с.

2. Самошин, Д. А. К вопросу о защите людей техническими средствами пожарной автоматики [Электронный ресурс] / Д. А. Самошин // Пожаровзрывобезопасность. 2015. №12. – 57-58 с.

3. Нуруллин, Ж. С. Эффективность разработки автоматической системы водяного пожаротушения в подземной автостоянке [Электронный ресурс] / Ж. С. Нуруллин, А. Р. Минушева // StudNet. 2021. №5. – 5-6 с.

4. Швырев, Б. А. Применение спринклеров для организации пожарной безопасности в тюрьмах [Электронный ресурс] / Б. А. Швырев. // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». 2018. №4. – 2-3 с.

5. Морин, В. Г. Инновации в обеспечении пожарной безопасности и экспертиза сил и средств для тушения пожара в ледовом дворце “Байкал” в г. Иркутске. [Электронный ресурс] / В. Г. Морин, К. Л. Кузнецов. // XXI век. Техносферная безопасность. 2022. №4 (28). – 355-356 с.

AUTOMATIC FIRE SAFETY SYSTEM

CHERNYKH NIKITA ANDREYEVICH

student of group EP-21-1

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Lipetsk State Technical University"

PONOMAREV PAVEL SERGEYEVICH

Scientific supervisor, lecturer of the electric drive department

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

Abstract: The article is devoted to the study of an automatic fire safety system. The composition of the system, the principle of operation and the method of its installation are described.

Keywords: fire safety, fire detectors, warning system.

АВТОМАТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

ЧЕРНЫХ НИКИТА АНДРЕЕВИЧ

студент группы ЭП-21-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ПОНОМАРЕВ ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ

Научный руководитель, преподаватель кафедры электропривода
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: работа посвящена изучению автоматических установок пожаротушения. Рассматривается их состав, назначение, классификация и принцип действия.

Ключевые слова: пожарная безопасность, огнетушащие вещества, пожарные извещатели.

Важным аспектом обеспечения пожарной безопасности является ряд мер, направленных на предотвращение, локализацию пожара, а также его эффективное тушение в случае возникновения. Одним из ключевых элементов пожарной безопасности являются автоматические установки пожаротушения (АУПТ).

Автоматическая установка пожаротушения – это установка, автоматически срабатывающая при превышении контролируемым фактором (факторами) пожара установленных пороговых значения в защищаемой зоне.

Состав АУП:

- Средства обнаружения пожара;
- Конструкции включения;
- Побудительная система;
- Резервуары хранения огнетушащего вещества;

Автоматическая система пожаротушения проектируется для различных зданий, а также на отдельные участки в зданиях. Так же учитываются климатические и природные условия.

Классификация автоматических установок пожаротушения:

По виду применяемого огнетушащего вещества:

- водяные;
- пенные;
- газовые;
- порошковые;
- аэрозольные.

Водяные АУПТ применяются в помещениях, где возможен пожар с горением твёрдых веществ и материалов.

Пенные АУПТ применяются в помещениях, где возможен пожар легковоспламеняющихся жидкостей, горючих жидкостей или электроустановок с напряжением до 1000 В.

Газовые АУПТ применяются в помещениях, где возможен пожар электроустановок более 1000 В, а также повреждение или уничтожение от опасных факторов пожара или воздействие огнетушащего вещества на уникальные экспонаты культуры (музеи, библиотеки).

Порошковые АУПТ применяются в модульных АУПТ, для защиты небольших помещений.

Аэрозольные АУПТ применяются в помещениях, где использование других огнетушащих веществ нецелесообразно.

Принцип действия автоматической установки: пожарные извещатели при превышении уровня воздействия опасного фактора пожара (дым, тепло или пламя)

формирует сигнал о пожаре на побудительную систему. Далее формируется сигнал на подачу огнетушащих веществ.

При запуске АУПТ учитывается время задержки. Это время, необходимое для эвакуации людей из помещения, так как применение порошка, газов, аэрозоли является вредным для здоровья людей. Исключением являются водяные АУПТ.

При расчёте необходимого количества огнетушащего вещества применяются 2 метода: метод поверхностного пожаротушения и метод объёмного пожаротушения. Например, при расчёте необходимого количества порошка, используемого в качестве огнетушащего вещества, может быть применён метод поверхностного пожаротушения. В этом случае учитывается площадь помещения. Или метод объёмного пожаротушения. В этом случае учитывается объём помещения и время его заполнения порошковой взвесью.

Автоматические установки пожаротушения должны быть спроектированы специалистами в соответствии с нормами законодательства. Для их надёжной и бесперебойной работы требуется периодическое техническое обслуживание.

Таким образом, можно сказать, что АУПТ играют ключевую роль в обеспечении пожарной безопасности различных объектов.

Список литературы

1. Самединов, Д. А. Автоматические установки оповещения и пожаротушения [Электронный ресурс] / Д. А. Самединов // Символ науки. 2022. №12-1.
2. Тимофеева, А. В. Базовые сведения об автоматических установках пожаротушения [Электронный ресурс] / А. В. Тимофеева // StudNet. 2020. №12.
3. Бурмистрова Е. Е. К вопросу о автоматических установках пожаротушения тонкораспыленной струей. [Электронный ресурс] / Е. Е. Бурмистрова, С. Г. Аксенов // E-Scio. 2022. №11 (74).
4. Лапшин Ю. Н. Причины пожаров и взрывов, автоматические установки пожаротушения [Электронный ресурс] / Ю. Н. Лапшин, С. С. Зиньковский // Символ науки. 2022. №1-2.
5. Танклевский Л.Т. Об оценке эффективности спринклерной автоматической установки пожаротушения [Электронный ресурс] / Л. Т., Танклевкий, А. А. Таранцев, О. А. Зыбина и др. // Пожаровзрывобезопасность. 2021. №1.

AUTOMATIC FIRE EXTINGUISHING INSTALLATIONS

CHERNYKH NIKITA ANDREYEVICH

student of group EP-21-1

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Lipetsk State Technical University"

PONOMAREV PAVEL SERGEYEVICH

Scientific supervisor, lecturer of the electric drive department

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State Technical University"

Abstract: The article is devoted to the study of automatic fire extinguishing systems. Their composition, purpose, classification and principle of operation are considered.

Keywords: fire safety, fire extinguishing agents, fire detectors.

ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА В РОССИИ

ШАБАНОВ МИХАИЛ ВИКТОРОВИЧ

Студент группы ЭП-22-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ПОНОМАРЕВ ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ

Научный руководитель, преподаватель кафедры электропривода
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: в данной статье рассматривается история электропривода в Российской империи и СССР. Просматривается эволюция представлений об электрических двигателях. В завершении рассматриваются направления развития электропривода в современной России.

Ключевые слова: электропривод, история, современность, тенденции развития

Электропривод, как отрасль научного знания, сформировался в начале 19 века. Тогда Б.С. Якоби и Э.Х. Ленц впервые создали электродвигатель постоянного тока. В дальнейшем созданный двигатель модифицировался, к нему добавлялись все новые и новые элементы, делающие его работу эффективной и экономичной.

1838 г. считается годом рождения электропривода [1]. Именно в этом году, Б.С. Якоби усовершенствовал созданный им совместно с Э.Х. Ленцем электродвигатель. Действующий образец двигателя Якоби хранится в московском Политехническом музее. В устройство двигателя были привнесены все элементы, которые мы можем видеть и сегодня: обмотка статора с восемью аксиальными полюсами электромагнитов (возбуждение), ротор, обмотка ротора также с восемью полюсами (якорь), щеточно-коллекторный узел (коммутатор), вал, гальваническая батарея [2].

Мощность собранного Якоби двигателя достигала 15 Вт [3]. Это было намного эффективнее, чем использование человеческой силы, и поэтому, уже к концу 19 века электропривод использовался для швейных машин, дуговых ламп, подъёмниках на морских кораблях. Само собой, все использование электрических двигателей на практике повлекло за собой накопление практического опыта. Этот опыт требовал систематизации, обобщения и теоретического обоснования. Огромную работу проделал Д.А. Лачинов. Его работа под названием «Электромеханическая работа», доказывала, что машина электрическая превосходит ручную (механическую) по производительности [1].

В конце 19 века, Российская империя была больше сельскохозяйственной страной, нежели индустриальной, не было большого количества фабрик, а мелким промышленникам было достаточно ручного производства. Поэтому внедрение электропривода в промышленность происходило неохотно, несмело.

Оптимистичнее ситуация стала с приходом к власти большевиков. В.И. Ленин, посетивший Францию – страну-родоначальницу промышленной революции и машинного труда, прекрасно осознавал необходимость электрификации государства. Один из первых разработанных им государственных планов включал в себя строительство тепло- и гидроэлектростанций. В.И. Ленин отмечал, что «электрический привод как раз наиболее надежно обеспечивает и любую быстротходность, и автоматическую связанность операций на самом обширном поле труда» [4]. Доля электродвигателей начала увеличиваться, и к 1927 году достигла 75 % в стране.

Одновременно с активным внедрением электроэнергии в производства, в крупных городах (Ленинграде и Москве) начинают формироваться научные школы изучения электропривода. Стартует подготовка кадров в Ленинградском электротехническом и в Ленинградском индустриальном институтах, а позже и в Московском энергетическом институте. В предвоенные годы особенную популярность приобрели работы, освещающие

теоретические аспекты применения электропривода в сельском хозяйстве: в 1932 году академик М.Г. Евреинов написал учебное пособие по применению электроэнергии в сельском хозяйстве, С.П. Смирнова написал монографию «Электропахота», а вслед за ней – «Электромолотьба». В годы войны в Москве было организовано Центральное конструкторское бюро по электроприводу и автоматике ЦКБ «Электропривод». Бюро занималось внедрением электрических механизмов в сельское хозяйство, промышленное и добывающее производство.

Вплоть до 1970-х происходило накопление опыта применения электропривода во всех областях производства: горная добыча, добыча нефти и газа, металлургия, легкая промышленность. В 1970-м опять появилась необходимость обоснования полученного опыта, появилась необходимость в активные передачи знаний. Сразу многие кафедры начали заниматься написанием учебных пособий. Например, в 1972 году было издано учебное пособие авторского коллектива Челябинского института механизации и электрификации сельского хозяйства «Основы электропривода и автоматическое управление электроприводом в сельском хозяйстве».

Как и многие другие науки и отрасли технологического развития, советский электропривод переживал в 90-е – 00-е годы период своего упадка. В то время, как в России разворачивались трагичные события, в Европе, Японии и США электродвигатели, за счет внедрения в производство компьютерных технологий, стремительно развивались. В своей книге «Основы регулируемого электропривода» Ю.Н. Калачёв и Д.В. Самохвалов отмечают, что «в начале двухтысячных на российском рынке появились корейские, тайваньские и китайские электроприводы. Они превосходили российские аналоги по цене и качеству» [5]. Россия оказалась в страшной зависимости, все оставшиеся в живых после перестройки отрасли (коммунальная, пищевая, добывающая, военная промышленность) – перешли на зарубежные электроприводы.

Электропривод сегодня – удачный пример сотрудничества научных коллективов и производственных фондов. Научная деятельность осуществляется под патронажем и при участии бизнеса. Представители крупных корпораций, как никто иной заинтересованы в энергосберегающем и недорогом производстве. Вслед за некоторыми авторами можно выделить некоторые приоритетные направления развития электропривода.

Н.С. Волтковская отмечает, что в условиях современного мира, когда происходит стремительный рост цен на энергоносители «эффективное их использование является существенным внутренним резервом, позволяющим повысить конкурентоспособность валового продукта и уровень жизни населения страны» [6]. Это наталкивает на мысль о необходимости разработки энергосберегающих и при этом эффективных электродвигателей.

Решением проблемы импортозамещения, повышения точности и уменьшения размеров двигателей, по мнению Е.Г. Бородацкого и К.В. Кривовязова, может служить разработка и производство выпрямительных полупроводниковых секций [7]. У этих секций есть ряд преимуществ: хорошие регулировочные характеристики, малые размеры и масса, невысокая стоимость, простота и надёжность в эксплуатации.

Т.В. Горлова и В.П. Обрусник отмечают необходимость расширения в России области применения регулируемого электропривода. Согласно их исследованию, за рубежом доля регулируемых двигателей составляет порядка 40%, а в России, только 10%. Также авторы ратуют за внедрение дополнительного контроля точности и непрерывной диагностики электродвигателей [8].

Список литературы

1. Кабдин Н.Е. Электропривод: учебник / Н.Е. Кабдин, В.Ф. Сторчевой. – М.: МЭСХ, 2021.
2. История электротехники / Под ред. И. А. Глебова. М.: Изд-во МЭИ. 1999.
3. Яроцкий А. В. Борис Семенович Якоби, 1801-1874. М.: Наука. 1988.

4. Ещин Е. К. Динамика скребковых конвейеров. Обзор // Вестник КузГТУ. 2015. №1 (107). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dinamika-skrebkovyh-konveyerov-obzor-1> (дата обращения: 23.04.2024).

5. Калачёв Ю. Н., Самохвалов Д. В. Основы регулируемого электропривода / М.: ДМК-Пресс. 2023 г.

6. Волтковская Н.С., Семенов А.С., Федоров О.В. Энергоэффективность и энергосбережение в системах электроснабжения горнодобывающих предприятий // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. 2019. №3 (78). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/energoeffektivnost-i-energoberezhenie-v-sistemah-elektrosnabzheniya-gornodobyvayuschih-predpriyatiy> (дата обращения: 23.04.2024)

7. Бородацкий Е. Г., Кривовяз К. В. Выпрямительные полупроводниковые секции для автоматизированных электроприводов // Известия ТулГУ. Технические науки. 2010. №3-2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vypryamitelnye-poluprovodnikovye-sektsii-dlya-avtomatizirovannyh-elektroprivodov> (дата обращения: 23.04.2024).

8. Горлова Т.В., Обрусник В.П. Электропривод, его состояние и перспективы // Доклады ТУСУР. 2015. №1 (35). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/elektroprivod-ego-sostoyanie-i-perspektivy> (дата обращения: 23.04.2024).

THE HISTORY AND MODERN DIRECTIONS OF ELECTRIC DRIVE DEVELOPMENT IN RUSSIA

SHABANOV MIKHAIL VIKTOROVICH

Student of group EP-22-1

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Lipetsk State Technical
University"

PONOMAREV PAVEL SERGEEVICH

Scientific supervisor, lecturer of the Department of Automated Electric Drive and Robotics
robotics

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State
Technical University"

Abstract: this article examines the history of the electric drive in the Russian Empire and the USSR. The evolution of ideas about electric motors is being viewed. In conclusion, the directions of electric drive development in modern Russia are considered.

Keywords: electric drive, history, modernity, development trends

ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ТАХОГЕНЕРАТОРА, ЕГО ПРИНЦИП РАБОТЫ

ШАЦКИХ НИКИТА ВЛАДИМИРОВИЧ

Студент группы ЭП-21-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ПОНОМАРЕВ ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ

Научный руководитель, преподаватель кафедры электропривода
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: работа посвящена изучению асинхронного тахогенератора. Описывается принцип работы, достоинства и недостатки, а также сферы деятельности, в которых данная машина нашла применение.

Ключевые слова: синхронные машины, тахогенератор, измерение вращения устройств.

В современном мире асинхронные тахогенераторы используются для измерения частот вращения устройств, или же выполняя операции дифференцирования в счетных устройствах. К положительным свойствам можно отнести: высокую надежность и легкую конструкцию, к отрицательным же свойствам стоит отнести: нелинейность выходной характеристики.

Устройство, которое получает электрический сигнал, преобразуя угловую скорость носит название тахогенератор. Зависимость напряжения его выходной характеристики

$$U_{\text{вых}} = K_{\text{тг}} \omega_2 = K_{\text{тг}} \frac{d\Theta_2}{dt}.$$

Главными задачами тахогенератора являются: минимальное измерение выходной ЭДС, максимальная крутизна и малая погрешность отображении отклонения выходной характеристики от линейной зависимости. Устройство тахогенератора повторяет асинхронный двигатель с полым немагнитным ротором. Принцип работы асинхронного тахогенератора представлен на рисунке 1.

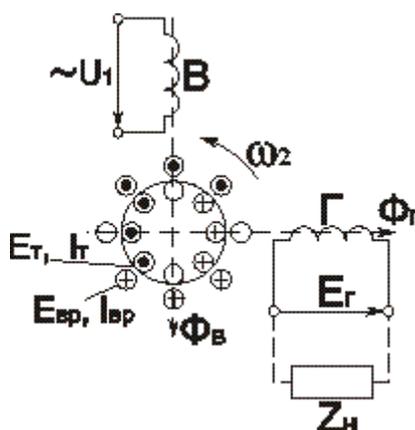


Рисунок 1 – Принцип работы тахогенератора

В данной схеме для простоты анализа работу бесполого ротора будут выполнять конечное число проводников, которые замкнуты накоротко. Они исполнены в 2 слоя, однако, в реальном тахогенераторе только 1 слой. К первой обмотке статора подпитывается напряжение, суть которого является в том, что у него неизменная амплитуда и частота. Другая же обмотка будет иметь генераторный характер, а значит, выходной сигнал будет сниматься именно с её выводов. Если взять общий случай, то на нагрузочном сопротивлении будет

замкнута обмотка. В случае, когда вектор магнитного потока ОВ (обмотки возбуждения) будет перпендикулярен оси обмотки. ЭДС в генераторной обмотке будет равна нулю, при условии соблюдения неподвижного ротора.

В случае если привести ротор во вращение с некоторой угловой скоростью. Магнитный поток начнет пульсацию по оси, в первом приближении его считают независимым от ω_2 из рисунка 1. ЭДС вращения наводится в проводниках ротора, которые вращаются в поле Φ_B . Если ЭДС равна полю, то это линейная функция. Ток вращения, который протекает под действием ЭДС, создает магнитный поток Φ_r . Так как ток и ЭДС пропорциональны, то можно сделать вывод что, магнитный поток Φ_r и угловая скорость ω_2 так же будут пропорциональны друг другу. Частоты Φ_r и напряжения возбуждения аналогично будут совпадать. Можно сделать вывод что магнитный поток Φ_r выполняет работу индуцируя трансформаторную ЭДС в обмотке статора. Если взять поток Φ_{w_r} и сравнить его с угловой скоростью ротора, то можно увидеть их пропорциональность. Однако функция $E_r=f(\omega_2)$ будет линейной, поскольку принято условие что поток Φ_B будет постоянным. А значит, частота выходной ЭДС и частота потока будут совпадать, следовательно, нет зависимости от угловой скорости ω_2 .

В реальности же будет создаваться увеличение размагничивания от воздействия токов ротора, а магнитный поток Φ_B уменьшится из-за увеличения угловой скорости ω_2 . Выходная характеристика будет отклоняться от линейной и создастся погрешность в функциональной зависимости. При условии замыкания обмотки на нагрузочное сопротивление в ней начинает протекать ток. Следовательно, поток Φ_r создастся из магнитодвижущей силы ротора и обмотки статора. Это отобразится на амплитуде ЭДС. А выходное напряжение будет определяться, за счет разности ЭДС и падения напряжения на сопротивлении обмотки Z_r . Получится зависимость

$$U_r = E_r - I_r Z_r.$$

Разобрав конструкцию и принцип работы асинхронного тахогенератора, можно сделать вывод, что данная машина весьма и очень полезна в промышленности и её можно использовать, для разных целей и задач.

Список литературы

1. Караушев, В. Ф. Оптимальный выбор основной геометрии интегрирующих асинхронных тахогенераторов [Электронный ресурс] / В.Ф Краушев // Известия ТПУ. 1975.
2. Вольдек, А. И. Гашение магнитного поля и переходные процессы в цепях индуктора [Электронный ресурс] / А. И. Вольдек. // Л.: Энергия, 1978. – 612-615 с.
3. Шпиганович, А.Н. Электрические машины и трансформаторы систем электроснабжения предприятий металлургической и горной промышленности [Электронный ресурс] / А.Н. Шпиганович, Д.И. Шишлин // ЛГТУ: учебное пособие. – Липецк, 2006. - 210 с.
4. Зайцев, А.И. Установка для снятия динамических механических характеристик, асинхронного двигателя [Электронный ресурс] / А.И. Зайцев, М. П. Табинский, А. С. Бобровский // Известия ТПУ.
5. 1963 Пинский, А.А. Учебник для общеобразовательных учреждений и школ с углубленным изучением физики [Электронный ресурс] / А.А. Пинский, О.Ф. Кабардин // «Проявление»: Академический школьный учебник. - Москва, 2011, издание №13.

RESEARCH OF AN ASYNCHRONOUS TACHOGENERATOR, ITS OPERATING PRINCIPLE

SHATSKIKH NIKITA VLADIMIROVICH

Student of group EP-21-1

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State
Technical University"

PONOMAREV PAVEL SERGEYEVICH

Lecturer of the Department of Automated Electrical Drive and robotics

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State
Technical University"

Abstract: The article is devoted to the study of an asynchronous tachogenerator. The operating principle, pros and cons, as well as the areas of activity in which this machine is used are described.

Keywords: synchronous machines, tachogenerator, measurement of device rotation.

СПОСОБЫ ГАШЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ И ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА В ЦЕПЯХ ИНДУКТОРА

ШАЦКИХ НИКИТА ВЛАДИМИРОВИЧ

Студент группы ЭП-21-1

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

ПОНОМАРЕВ ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ

Научный руководитель, преподаватель кафедры электропривода
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: статья посвящена изучению способов гашения магнитного поля и переходного процесса в цепях индуктора. Описываются главные достоинства и недостатки разных способов, а также сферы деятельности, в которых эти средства нашли применения.

Ключевые слова: синхронные генераторы, магнитное поле, индуктор.

В нашей жизни синхронные двигатели применяются во многих сферах деятельности, основными примерами данных сфер являются: металлургия, а именно в приводах мощных машин или же при наличии больших ударных нагрузок на ротор. Из-за увеличенного спроса на данные машины, проектировщики стараются усовершенствовать их и сделать более выгодными для производства.

Устройство, в котором частота вращения ротора равна частоте вращения магнитного поля, носит название синхронная машина и различается на генератор и двигатель соответственно. Большинство предприятий используют данные устройства. Наиболее распространённые простые способы использования синхронных двигателей это: механизмы насосов, вентиляции и тому подобное. Синхронные генераторы же применяются в тепловозах или же для генерации постоянного тока в летательных аппаратах. Главными достоинствами синхронных машин являются: высокая надежность, стабильность работы и частоты вращения, а также упрощенное обслуживание. К минусам же можно отнести такие свойства как: более усложненный пуск и конструкция, присутствие источника постоянного тока, роль которого может выполнить выпрямитель.

У данной машины имеется недостаток: при возникновении в обмотке якоря тока короткого замыкания внутри генератора, даже при отключении генератора от сети, ток короткого замыкания не исчезает, и ток возбуждения поддерживает ЭДС. Из-за этого медная обмотка подвергается повышенным температурам в месте протекания тока короткого замыкания. Чтобы исключить данный момент используется метод гашения магнитного поля.

Существует несколько методов гашения магнитного поля.

Первый способ представлен на рисунке 1.

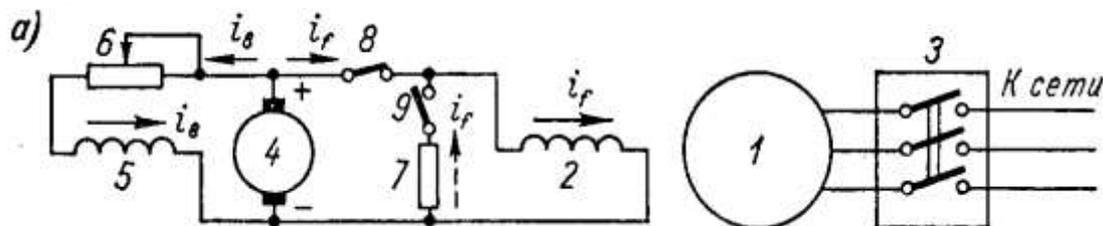


Рисунок 1 – Разрыв цепи для погашения поля генератора

В этом методе поле гасится благодаря разрыву цепи возбуждения генератора с использованием контактов.

Однако может случиться пробой изоляции, так как ЭДС, индуцируемая в обмотках из-за резкого снижения магнитного потока, становится слишком большой. Иной причиной

является энергия, которая создается в магнитном поле генератора, из-за размыкания цепи возбуждения эта энергия гасится в дуге между двумя контактами. Что может послужить выходу из строя этих контактов.

Так же не желательно осуществлять разрыв цепи, так как создается перенапряжение в обмотке возбудителя, тогда обмотка возбуждения генератора, изображенного на рисунке 1 (2), которая замкнется через якорь (6) по причине большой индуктивности и малого активного сопротивления цепи, ток возбуждения будет затухать крайне медленно, 2-10 сек. Из-за данных условий и внутренних коротких замыканий повреждения становятся фатальными для генератора.

Из вышеперечисленного можно сказать, что проблема гашения поля решается путём спада тока возбуждения, с условием, что не допускаются перенапряжения, а повреждения генератора будут незначительными.

Второй метод представлен на рисунке 2.

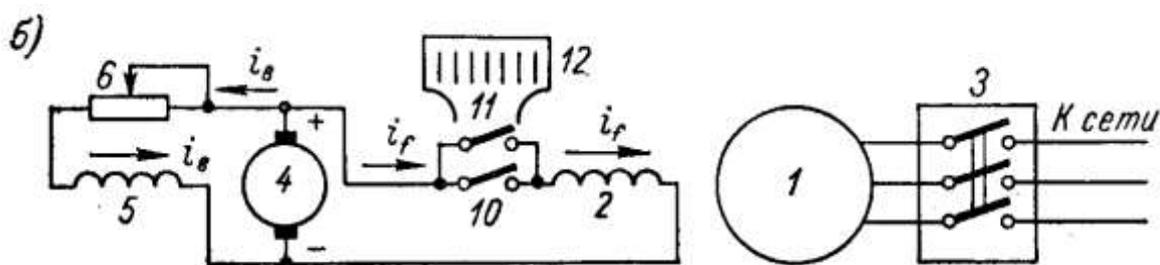


Рисунок 2 – Погашение поля методом переноса дуги с контактов

В данном методе сопротивление устранено, а гашения поля не используется, дуга из-за воздействия электродинамических сил переносится с контактов на рисунке 2 (11) на дугогасительную решетку (12) и устраняется в ней.

Разобрав данные способы гашения магнитного поля, можно сделать вывод, что у двух данных методов есть свои плюсы, и каждый из них можно использовать. Проектировщики путем проб и ошибок выбирали наилучшие способы гашения магнитного поля, с целью исключения нанесения вреда синхронному генератору. Поэтому у современных машин меньше шансов выйти из строя по сравнению с теми же устройствами более старшего поколения.

Список литературы

1. Прокудин, А. В. Измерение некоторых параметров синхронного генератора методом гашения поля с использованием штатных элементов систем возбуждения [Электронный ресурс] / А. В. Прокудин, М. Е. Гольдштейн // Вестник ЮУрГУ. Серия: Энергетика. 2019. №4. – 4-8 с.
2. Вольдек, А. И. Гашение магнитного поля и переходные процессы в цепях индуктора [Электронный ресурс] / А. И. Вольдек. Л.: Энергия, 1978. – 672-675 с.
3. Шпиганович, А.Н. Электрические машины и трансформаторы систем электроснабжения предприятий металлургической и горной промышленности [Электронный ресурс] /А.Н. Шпиганович, Д.И. Шишлин//ЛГТУ: учебное пособие. –Липецк,2006. -210 с.
4. Сафонов, Е.П. Особенности переходных процессов в генераторных цепях мощных электротехнических комплексов [Электронный ресурс] / Сафонов Е.П, Фролов В.Я. // Известия вузов, проблемы энергетики. 2021. №1.
5. Пинский, А.А. Учебник для общеобразовательных учреждений и школ с углубленным изучением физики [Электронный ресурс]/А.А. Пинский, О.Ф. Кабардин// «Просвещение»: Академический школьный учебник-Москва,2011, издание №13.

METHODS OF DAMPING MAGNETIC FIELD AND TRANSIENT PROCESS IN INDUCTOR CIRCUITS

SHATSKIKH NIKITA VLADIMIROVICH

Student of group EP-21-1

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State
Technical University"

PONOMAREV PAVEL SERGEYEVICH

Lecturer of the Department of Automated Electrical Drive and
robotics

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Lipetsk State
Technical University"

Abstract: the article is devoted to the study of methods for damping magnetic fields and the transient process in inductor circuits. The main advantages and disadvantages of different methods, as well as the areas of activity in which these means are used.

Keywords: synchronous generators, magnetic field, inductor.

УСТРОЙСТВО, УПРАВЛЕНИЕ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАСКАДНО-ЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

ШИШЛИН ДЕНИС ИВАНОВИЧ

доцент кафедры автоматизированного электропривода и робототехники
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Аннотация: рассмотрен принцип создания гибридных схем на основе частотно-регулируемых асинхронных электроприводов и асинхронных вентильных каскадов (АВК) и принципы работы их системы управления, Выгодное использование энергии скольжения путем ее возврата в статорную цепь двигателя призвано повысить энергоэффективность установки в целом.

Ключевые слова: каскадно-частотный электропривод, система управления, энерго-сбережение, математическое моделирование.

Вопросы энергосбережения в условиях современного производства в настоящее время в основном связаны с модернизацией электротехнических установок путем оснащения электроприводов общепромышленных механизмов асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором, которые питаются от преобразователей частоты [1]. Однако ряд электроприводов (краны, шаровые мельницы, некоторые типы конвейеров) оснащены асинхронными двигателями с фазным ротором, которые обладают более широкими регулировочными возможностями. Полезное использование энергии скольжения, то есть, возврат в сеть (асинхронные вентильные каскады и машины двойного питания [2, 3]) или в статорную цепь двигателя [4, 5]) повышает энергоэффективность установки.

Функциональная схема силовой части системы каскадно-частотного электропривода представлена на рисунке 1. Система электропривода связана с сетью через трансформатор TV, на выход которого подключен преобразователь UZ1, работающий в режиме регулируемого выпрямителя. Преобразователь UZ2 работает в режиме автономного инвертора и соединен с обмоткой статора асинхронного двигателя с фазным ротором, в цепь которого включен нерегулируемый выпрямитель UZ3. Снижение пульсаций выпрямленного тока достигается включением в его цепь сглаживающего реактора L.

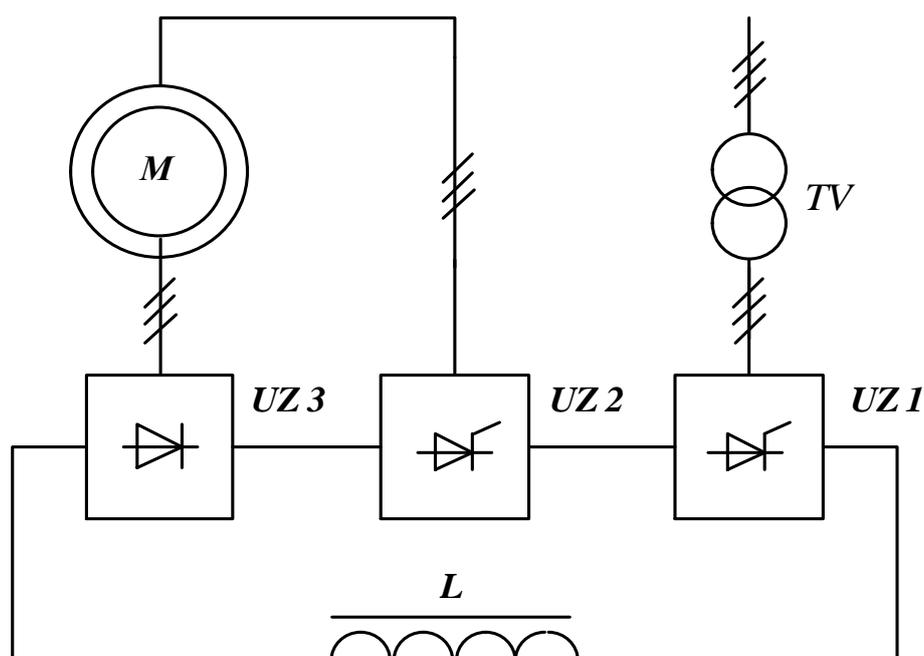


Рисунок 1 – Функциональная схема каскадно-частотного электропривода

Принципиальными отличиями данной системы от АВК является то, что асинхронный двигатель не имеет прямого включения в сеть; энергия скольжения передается в статорную цепь двигателя за исключением потерь; регулируемый преобразователь работает в выпрямительном режиме. Обмотки статора и ротора, таким образом, оказываются включенными в общую цепь, что позволяет управлять одновременно токами, протекающими в них. Наличие в системе каскадно-частотного электропривода регулируемого выпрямителя и возможность изменения угла управления им в широких пределах приводит к снижению потребления реактивной мощности при работе на высоких скоростях и повышению коэффициента мощности электропривода.

Напряжение, подводимое к цепи статора двигателя, формируется как сумма напряжений регулируемого преобразователя $UZ1$ и нерегулируемого выпрямителя в цепи ротора двигателя $UZ3$ с вычитанием падения напряжения в обмотках ротора и трансформатора. Напряжение, подводимое к ротору двигателя, формируется как разность напряжений регулируемого преобразователя $UZ1$, противо-эдс статора двигателя и падения напряжения в цепи статора и обмотках трансформатора.

Расчетные механические характеристики для разомкнутой системы электропривода представлены на рисунке 2 и соответствуют экспериментальным характеристикам [4].

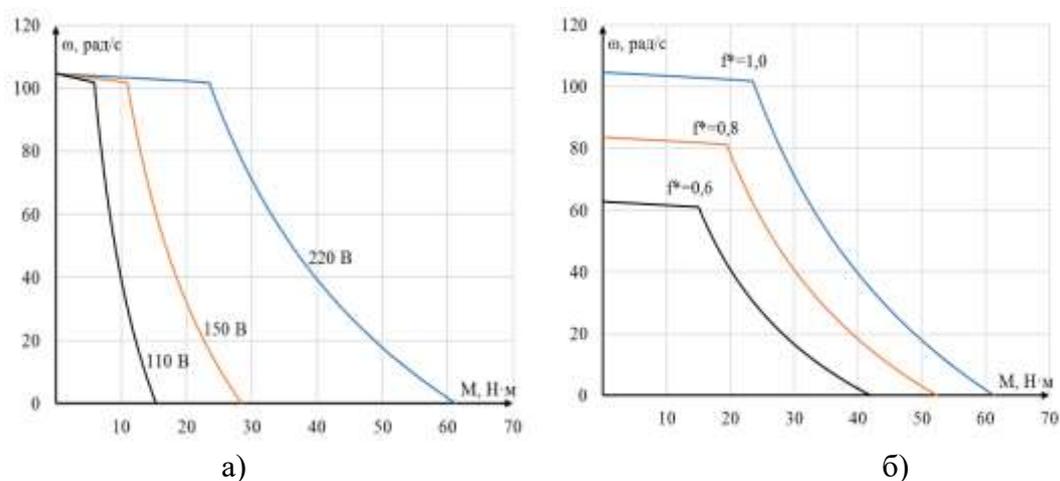


Рисунок 2 – Механические характеристики каскадно-частотного электропривода при различных значениях напряжения, приложенного к статору двигателя при частоте 50 Гц (а) и при законе управления $U_d f = const$ (б).

Двигатели переменного тока совместно с управляемыми преобразователями представляют собой сложные нелинейные объекты управления, имеющими громоздкое математическое описание. Практическое распространение получил синтез систем управления, основанный на принципах подчиненного регулирования координат электропривода с использованием унифицированных настроек контуров регулирования.

Управление каскадно-частотным электроприводом осуществляется по цепи выпрямленного тока, что позволяет применять для расчета системы регулирования те же методы, что и для систем с двигателями постоянного тока. Особенностью каскадно-частотного электропривода является постоянство напряжения, подводимое к статору двигателя в переходных режимах, если поддерживать постоянным выпрямленный ток. Это позволяет поддерживать магнитный поток в двигателе на постоянном уровне [4].

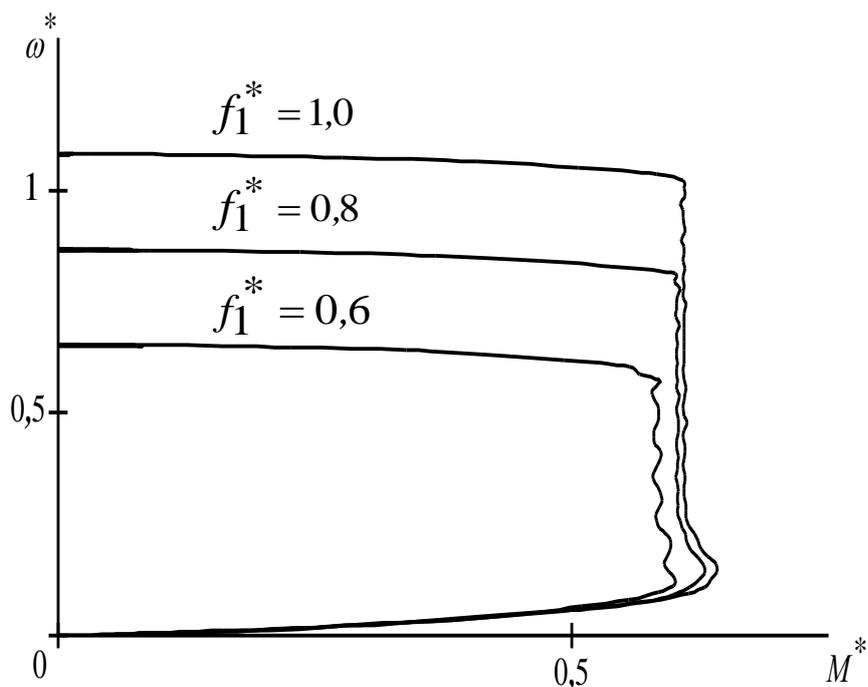


Рисунок 3 – Характеристики системы каскадно-частотного электропривода при законе управления $U_d f = const$ с относительными значениями частоты $f_1^* = 1,0; 0,8; 0,6$.

При частотном управлении асинхронным двигателем напряжение статора может в общем случае регулироваться как в функции относительной частоты f_1^* , так и в функции момента нагрузки [1]. Закон управления $U_1/f_1 = const$ обеспечивает постоянство момента, определяемое стабилизацией магнитного потока двигателя. В каскадно-частотном электроприводе управляющим воздействием на систему является напряжение на выходе регулируемого выпрямителя U_d , поэтому используется закон управления $U_d f_1 = const$. При этом в системе подчиненного регулирования сигнал на напряжение и частоту может подаваться одновременно на оба канала управления. Механические характеристики системы электропривода при законе управления $U_d f_1 = const$ с относительными значениями частоты $f_1^* = 1,0; 0,8; 0,6$ представлены на рисунке 3. Необходимое качество регулирования тока (момента) и скорости каскадно-частотного электропривода в динамических режимах обеспечивается применением корректирующих устройств [6].

Основными энергетическими показателями электропривода являются КПД и коэффициент мощности $\cos\varphi$. КПД системы определяется полезной мощностью на валу двигателя и потерями в системе, числом ступеней преобразования энергии и возможностью реализации энергии скольжения в электроприводах, где применяются асинхронные двигатели с фазным ротором. Улучшение часто требует применения различных устройств, компенсирующих реактивную энергию, потребляемую из сети, однако это приводит к увеличению габаритов системы, снижает надежность работы и может быть рекомендовано для мощных электроприводов.

Система каскадно-частотного электропривода потребляет меньше реактивной мощности, чем система АВК (на 25-30%) и обладает более высоким коэффициентом мощности $\cos\varphi$. Согласно экспериментальным данным, коэффициент мощности повышается примерно на 20%. КПД обеих систем за счет полезной реализации энергии скольжения остаются относительно высокими и примерно на одном уровне [7].

В основу математического описания системы каскадно-частотного электропривода положена система уравнений, описывающих асинхронный двигатель с фазным ротором при использовании ортогональной системы координат (x, y) [8]. Эта система координат вращается

с синхронной скоростью магнитного поля двигателя ω_0 . Вектор подводимого к статору напряжения является определяющим. Его направление совпадает с осью x , а проекция на ось y равна нулю. В каскадных схемах включения асинхронного двигателя при использовании в роторной цепи нерегулируемого выпрямителя независимым параметром является вектор напряжения, подводимого к ротору. Этот вектор находится в противофазе с вектором тока ротора и его фаза определена [2].

Для наиболее полного отражения свойств системы электропривода при составлении ее математической модели выделены основные координаты (частота вращения, момент, ток), а также энергетические параметры (кпд, коэффициент мощности, потери мощности в элементах системы, активная и реактивная мощности) [9]. Такое представление данных в модели позволяет анализировать значения указанных параметров в статических и динамических режимах при регулировании системы электропривода по различным каналам.

Переходные процессы и динамические характеристики полученные при моделировании, соответствуют экспериментальным данным.

В заключении можно сделать следующие выводы:

1. Система каскадно-частотного электропривода сочетает в себе свойства асинхронного вентильного каскада и системы «преобразователь частоты – асинхронный двигатель». Полезное использование энергии скольжения обеспечивает большой коэффициент полезного действия, а использование регулируемого преобразователя в качестве выпрямителя повышает надежность работы системы при нестабильном питании со стороны сети и снижает потребление реактивной мощности по сравнению с асинхронным вентильным каскадом. Это позволяет говорить об энергоэффективности данной системы электропривода.

2. Механические характеристики двигателя в разомкнутой системе электропривода не имеют экстремального момента, что делает его работу стабильной в диапазоне скоростей вращения от нуля до номинального значения.

3. Синтез регуляторов системы подчиненного управления проводится с учетом допущения, что асинхронный двигатель представляет собой апериодическое звено первого порядка и подобен синтезу регуляторов в электроприводах постоянного тока. Для получения динамических механических характеристик, аналогичных характеристикам двигателей постоянного тока в замкнутой системе управления применяются корректирующие звенья.

4. Математическая модель каскадно-частотного электропривода позволяет наблюдать практически за всеми значимыми координатами асинхронного двигателя с фазным ротором в динамических и статических режимах работы, разомкнутой и замкнутой системах электропривода. Результаты математического моделирования соответствуют экспериментальным данным.

Список литературы

1. Браславский, И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков. – М.: Академия, 2004. – 256 с.
2. Онищенко, Г.Б. Асинхронные вентильные каскады и двигатели двойного питания / Г.Б. Онищенко, И.Л. Локтева. – М.: Энергия, 1979. – 200 с.
3. Мещеряков В.Н., Муравьев А.А. Электроэнергетическая установка на базе машины двойного питания с релейной системой управления возбуждением // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. 2017. № 6. С. 26-32.
4. Статические характеристики системы асинхронного вентильного каскада с последовательным возбуждением / В.Н. Мещеряков, Д.И. Шишлин, Р.С. Рысляев, В.А. Зотов // Известия вузов. Электромеханика. 2009. № 2. С. 57-60.
5. Мещеряков В.Н., Ласточкин Д.В. Частотно-каскадный электропривод на базе инвертора тока с релейным регулятором напряжения // Информационные системы и технологии ИСТ-2018. Материалы докладов XXIV Международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию Нижегородской радиолaborатории. Нижний Новгород. 2018. С. 706-711.

6. Шишлин Д.И., Языкова Л.Н., Мантухов Е.С. Синтез регуляторов замкнутой системы управления каскадно-частотным электроприводом // Системы управления электротехническими объектами. Труды восьмой Всероссийской научно-практической конференции СУЭТО – 8. Тула. 2018. С. 104-109.

7. Шишлин Д.И., Соловьев Р.С. Каскадно-частотный электропривод: особенности энергетики и определение энергетических показателей // Энергетика. Проблемы и перспективы развития [Электронный ресурс]: материалы IV Всероссийской молодежной научной конференции / отв. ред. Т. И. Чернышова. – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2019.

8. Ключев, В.И. Теория электропривода. Учеб. для вузов – 2-е изд., перераб. и доп. / В.И. Ключев. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 704 с.: ил.

9. Мещеряков В.Н., Шишлин Д.И. Построение математической модели системы каскадно-частотного электропривода для определения ее энергетических показателей // Энерго- и ресурсосбережение – XXI век: материалы XII Международной научно-практической интернет-конференции. Орел. 2016. С. 78-82.

DEVICE, CONTROL, ENERGY SAVING, MATHEMATICAL MODELING OF A CASCADE-FREQUENCY ELECTRIC DRIVE

SHISHLIN DENIS IVANOVICH

Associate Professor of the Department of Automated Electric Drive and Robotics
Lipetsk State Technical University

Abstract: the principle of creating hybrid circuits based on frequency-controlled asynchronous electric drives and asynchronous valve cascades (AVCS) and the principles of operation of their control system are considered, the beneficial use of sliding energy by returning it to the stator circuit of the engine is designed to increase the energy efficiency of the installation as a whole.

Keywords: cascade-frequency electric drive, control system, energy saving, mathematical modeling.

Научное электронное издание

Автоматизированный электропривод, робототехника и электроэнергетика
Automated electric drive, robotics and electric power engineering

Сборник материалов международной
научно-практической конференции, посвященной 50-летию
юбилею кафедры электропривода ЛГТУ
г. Липецк, 21 июня 2024 г.

Ответственный за выпуск: С. Е. Кондратьев
Компьютерная верстка: Н. В. Казюра

ISBN 978-5-00175-275-2



9 785001 752752

Подписано к использованию 08.07.2024.
Усл. печ. л. 20,5.
Липецкий государственный технический
университет.
Отдел полиграфических работ и услуг.
398055, Липецк, ул. Московская, 30.