

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ: ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ

№ 6 (216)
июнь / 2022

Журнал зарегистрирован
Министерством Российской Федерации
по делам печати, телерадиовещания
и средств массовых коммуникаций.
Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС77-83154 от 26.04.2022

ISSN 2074-9635

© ИД «Панорама»
www.panor.ru

Адрес редакции:
Россия, г. Москва,
Бумажный проезд, д. 14, стр. 2
Для писем: 125040, г. Москва, а/я 1

Генеральный директор
ИД «Панорама» —

Председатель Некоммерческого фонда
содействия развитию национальной
культуры и искусства
К. А. Москаленко

Издательство «Промиздат»

Главный редактор
Хатер Ж.С.

e-mail: oborud@panor.ru

Журнал распространяется через
официальный каталог Почты России
«Подписные издания» (индекс — **84817**),
каталог ОАО «Агентство „Роспечать“»,
Объединенный каталог «Пресса
России», «Каталог периодических
изданий. Газеты и журналы» агентства
«Урал-пресс»(индекс — **12532**),
а также путем прямой редакционной
подписки

Предложения и замечания:

e-mail: promizdat@panor.ru
тел.: 8 (495) 274-22-22 (многокан.)

Отдел подписки:

тел.: 8 (495) 274-22-22 (многокан.)
e-mail: podpiska@panor.ru

Отдел рекламы:

тел.: 8 (495) 274-22-22 (многокан.)
e-mail: reklama@panor.ru

Журнал издается под эгидой
Международной Академии
технических наук и промышленного
производства

Учредитель:

ООО «ИНДЕПЕНДЕНТ МАСС МЕДИА»,
121351, г. Москва,
ул. Молодогвардейская, д. 58, стр. 7

Приглашаем авторов
к сотрудничеству. Статьи в журнале
публикуются бесплатно.

Подписано в печать: 20.06.2022

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕМА НОМЕРА: ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ТЯГА НА НАЗЕМНОМ ТРАНСПОРТЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ

Тяговое электрооборудование локомотива3
Шульга Р. Н.

Рассмотрено выполнение тягового электрооборудования грузовых электролокомотивов (ЭЛ) производства фирм ABB и Siemens, которые питаются от контактной сети 3 кВ постоянного тока и 25 кВ переменного тока. Основой тягового электропривода указанных ЭЛ являются асинхронные электродвигатели с редукторами на колесных парах, которые питаются от DC/AC-инверторов и DC/DC-конверторов. Показано, что для перспективных электролокомотивов на водородной тяге без контактной сети с использованием аккумуляторных батарей (АБ) и топливных элементов (ТЭ) мощность большинства маневровых электролокомотивов (МЭЛ) должна варьироваться в диапазоне от 1000 до 2000 кВт. Выполнен анализ использования ТЭ и АБ на железнодорожном транспорте для маневровых локомотивов МЭЛ и грузопассажирских поездов ГПП. Показано, что сила тяги локомотива определяется его мощностью и снижается с ростом скорости и массы состава. В результате мощность тяги 1000–2000 кВт достаточна для перемещения составов от МЭЛ со скоростью 4–5 км/ч. Из-за ограниченной электроемкости АБ и значительной длительности заряда (часы) применение ТЭ с длительностью заряда (минуты) в комбинации с АБ позволяет заменить дизельные локомотивы на электролокомотивы с водородной или гибридной тягой.

**Система мониторинга параметров воздушных
линий электропередачи для решения задач
оперативно-технологического управления 13**
Листюхин В. А., Печерская Е. А.

В работе рассматривается тема повышения надежности воздушных линий электропередачи распределительных сетей 0,4–10 кВ. Обосновывается актуальность внедрения информационно-измерительных систем контроля параметров воздушных линий электропередачи для обеспечения надежности электроснабжения потребителей и решения задач оперативно-технологического управления распределительными сетями. Авторами была предложена информационно — измерительная система контроля эксплуатационных и метеорологических параметров воздушных линий электропередачи с целью технической поддержки оперативного персонала и улучшения качества оказываемых потребителям услуг по передаче электрической энергии.

**Контроль неисправностей силового
трансформатора 110/10 кВ 17**
Феоктистов Д. И., Воркунов О. В.

В работе представлена характеристика основных неисправностей силовых трансформаторов 110 кВ и причин их возникновения. Рассмотрены методы контроля в условиях эксплуатации. Выполнено разделение методов контроля на группы.

Контроллеры DC/DC-конверторов21
Шульга Р. Н.

Контроллеры DC/DC-конверторов получили высокое распространение в источниках питания и управления для бытовых и носимых устройствах батарейного питания. Контроллеры выполняются в виде микросхем с самой простой топологией и использованием диодов Шоттки, MOSFET-транзисторов. Микросхемы имеют частоту ШИМ свыше 100 кГц, КПД на уровне 98–99% и занимают площадь в несколько кв. мм. Миниатюризация контроллеров стала возможной благодаря разработке полупроводниковых приборов, у которых практически отсутствуют «хвосты» обратного тока при их выключении. Приведены структурные схемы контроллеров ведущих мировых фирм, отмечены их особенности в части дизайна, повышения надежности, удобства проектирования и наладки с использованием отладочных плат без необходимости программирования. Описаны микросхемы драйверов для управления транзисторов и силовых модулей мостовых и полумостовых схем преобразователей напряжения различной мощности.

РАСЧЕТЫ И МОДЕЛИ
**Разработка математической модели кривой
намагничивания магнитной цепи магнитоупругого
преобразователя 31**
Амиров С. Ф., Жураева К. К.

Редакционный совет:

Богатырев А. В., генеральный директор ООО «Теплоэнергоэксперт», г. Москва

Гамазин С. И., д-р техн. наук, профессор, НИУ МЭИ, Москва

Корнилов Г. П., д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск

Крюков О. В., д-р техн. наук, действит. член Академии инженерных наук им. А.М. Прохорова, доцент Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород

Кувалдин А. Б., д-р техн. наук, профессор, НИУ МЭИ, г. Москва

Михеев Г. М., д-р техн. наук, профессор кафедры электрических систем физики и математики, Чебоксарский политехнический институт (филиал Московского государственного университета машиностроения, МАМИ), г. Чебоксары

Шульга Р. Н., канд. техн. наук, вед. научный сотрудник ВЭИ – филиал ФГУП «РФЯЦ – ВНИИТФ им. академ. Е. И. Забабахина», г. Москва

Editorial board:

Bogatyrev A. V., general director of Teploenergoexpert LLC, Moscow

Gamazin S. I., Dr. habil. of technical sciences, professor, NRU MPEI, Moscow

Kornilov G. P., Dr. habil. of technical sciences, professor, the head of department of power supply at the industrial enterprises, Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, city of Magnitogorsk

Kriukov O. V., Dr. habil. of technical sciences, full member of the Academy of Engineering Sciences named after A.M. Prokhorov, associate professor of the Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, city of Nizhny Novgorod

Kuvaldin A. B., Dr. habil. of technical sciences, professor, NRU MPEI, Moscow

Mikheev G. M., Dr. habil. of technical sciences, professor, department of electrical systems of physics and mathematics, Institute of the Cheboksary branch of the Moscow State Polytechnical University, city of Cheboksary

Shulga R. N., candidate of technical sciences, senior researcher at the VEI – branch of FSUE "RFNC – VNIITF named after Academician E. I. Zababakhin", Moscow

В статье разработана математическая модель кривой намагничивания магнитной цепи магнитоупругого преобразователя при намагничивании постоянным и переменным токами с целью повышенной точности ее расчета. Дана оценка влияния переменной и постоянной составляющих магнитной индукции на характер кривой намагничивания.

Учет гармонических искажений при моделировании электромагнитных полей линий электропередачи, питающих тяговые подстанции..... 34

Крюков А. В., Черепанов А. В., Середкин Д. А.

В сетях 110–220 кВ, примыкающих к подстанциям, питающим тяговые сети 25 и 2х25 кВ железных дорог переменного тока, наблюдаются значительные гармонические искажения, в ряде случаев превышающие предельно допустимые величины. Поэтому электромагнитные поля, создаваемые этими линиями, содержат значительную долю высших гармоник. Этот фактор необходимо учитывать при оценке помехоустойчивости различного оборудования, а также при определении условий электромагнитной безопасности. Высшие гармоники усложняют картину поляризации, и наиболее оптимальный путь моделирования, реализованный в программном комплексе Fazonord, состоит в раздельном анализе полей для разных гармоник с последующей их суперпозицией. В статье представлены результаты исследований, выполненных применительно к сетям 220 кВ, реализованным на основе типовых трехфазных ЛЭП, а также перспективных линий шестифазной конструкции. Полученные результаты подтвердили важность учета гармонических искажений при моделировании ЭМП, создаваемых линиями электропередачи, примыкающими к тяговым подстанциям.

СЕТИ И СИСТЕМЫ

Повышение надежности распределительных электрических сетей, перспективы развития..... 44

Листюхин В. А., Печерская Е. А.

В данной статье рассмотрен вопрос повышения надежности распределительных электрических сетей. Проведен анализ количества технологических нарушений и показателей качества оказываемых потребителям услуг по передаче электрической энергии. Рассмотрены перспективы внедрения интеллектуальных систем Smart grid. Представлены основные технические решения, которые позволяют электросетевым компаниям повысить уровень надежности сети и повысить качество оказываемых потребителям услуг.

ТЕХНОЛОГИИ

Применение технологии смарт-контрактов блокчейн в области энергетики 48

Феоктистов Д. И., Воркунов О. В.

Рассматривается возможное расширение прав и возможностей рынка энергетики в дальнейшем, путем интеграции или создания блокчейн-среды для использования смарт-контрактов.

IT-ТЕХНОЛОГИИ

Аппаратный состав программно-логического контроллера 51

Шульга Р. Н.

Рассмотрены архитектура и состав ПЛК, реализация схемотехники преимущественно релейных схем. Приведены данные по структуре, алгоритмам, конструкции и применению ПЛК. Даны примеры реализации модульных, компактных и слотовых ПЛК, а также варианты встраивания ПЛК в транспортные и диспетчерские автоматические системы управления.

Глоссарий по тематике «Промышленные сети».

Часть 1 61

Шульга Р. Н.

УДК 621.33

ТЯГОВОЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ЛОКОМОТИВА

Шульга Р. Н., канд. техн. наук,

ВЕИ – филиал ФГУП «РФЯЦ – ВНИИТФ им. акад. Е. И. Забабахина», г. Москва

Рассмотрено выполнение тягового электрооборудования грузовых электролокомотивов (ЭЛ) производства фирм ABB и Siemens, которые питаются от контактной сети 3 кВ постоянного тока и 25 кВ переменного тока. Основой тягового электропривода указанных ЭЛ являются асинхронные электродвигатели с редукторами на колесных парах, которые питаются от DC/AC-инверторов и DC/DC-конверторов. Показано, что для перспективных электролокомотивов на водородной тяге без контактной сети с использованием аккумуляторных батарей (АБ) и топливных элементов (ТЭ) мощность большинства маневровых электролокомотивов (МЭЛ) должна варьироваться в диапазоне от 1000 до 2000 кВт. Выполнен анализ использования ТЭ и АБ на железнодорожном транспорте для маневровых локомотивов МЭЛ и грузопассажирских поездов ГПП. Показано, что сила тяги локомотива определяется его мощностью и снижается с ростом скорости и массы состава. В результате мощность тяги 1000-2000 кВт достаточна для перемещения составов от МЭЛ со скоростью 4–5 км/ч. Из-за ограниченной емкости АБ и значительной длительности заряда (часы) применение ТЭ с длительностью заряда (минуты) в комбинации с АБ позволяет заменить дизельные локомотивы на электролокомотивы с водородной или гибридной тягой.

Ключевые слова: тяговое электрооборудование, локомотив, асинхронный электродвигатель, конвертор, инвертор, водородная тяга.

TRACTION ELECTRICAL EQUIPMENT OF THE LOCOMOTIVE

Shulga R. N., PhD of technical sciences,

VEI – branch of FSUE "RFNC – VNIITF named after academician E. I. Zababakhina", Moscow

The implementation of traction electrical equipment of freight electric locomotives (EL) manufactured by ABB and Siemens, which are powered by a contact network of 3 kV DC and 25 kV AC, is considered. The basis of the traction electric drive of these ELs is asynchronous electric motors with gears on wheel sets, which are powered by DC/AC inverters and DC/DC converters. It is shown that for promising hydrogen-powered electric locomotives without a contact network using rechargeable batteries (AB) and fuel cells (FC), the power of most shunting electric locomotives (MEL) should vary in the range from 1000 to 2000 kW. The analysis of the use of fuel cells and batteries in railway transport for shunting locomotives MEL and freight-passenger trains

GGP is carried out. It is shown that the traction force of the locomotive is determined by its power and decreases with increasing speed and mass of the train. As a result, a traction power of 1000–2000 kW is sufficient to move trains from the MEL at a speed of 4–5 km/h. Due to the limited electrical capacity of the battery and the significant charge duration (hours), the use of fuel cells with a charge duration (minutes) in combination with the battery makes it possible to replace diesel locomotives with electric locomotives with hydrogen or hybrid traction.

Keywords: traction electrical equipment, locomotive, asynchronous electric motor, converter, inverter, hydrogen traction.

Наиболее перспективным направлением повышения эффективности электролокомотивов является перевод их тягового электропривода от контактной сети с постоянного тока напряжением 3 кВ на переменный ток напряжением 25 кВ с использованием DC/DC-конвертеров и DC/AC-инверторов. Кроме того, все больше расширяется сфера применения водородных и электрохимических накопителей электроэнергии в виде соответственно топливных элементов (ТЭ) и аккумуляторных батарей (АБ) с отказом от контактной сети или дизель-генераторов.

В связи с тем, что железнодорожный транспорт является наряду с энергетикой одним из самых устойчивых и консервативных направлений, в работе анализируются структуры и виды существующего тягового электрооборудования ведущих фирм ABB, Siemens и др., которые отражены в [1–4]. Эти структуры и требования отечественных стандартов и правил, например, отраженных в [5], должны быть учтены при переходе к электролокомотивам на водородной тяге без контактной сети с использованием аккумуляторных батарей (АБ) и топливных элементов (ТЭ), приведенных в [6–9]. Библиографический перечень [10–13] охватывает проблему водородного накопления, вопросы преобразования электроэнергии отражены в [14–18].

Цель настоящей работы состоит в выборе структуры и оценке тяговых характеристик современных электролокомотивов с водородной и гибридной тягой.

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ГРУЗОВОГО ЭЛЕКТРОЛОКОМОТИВА BORDLINE CC1500 DC (MS)_3KV

Электрооборудование грузового электролокомотива (ЭЛ) BORDLINE CC1500 DC(MS)_3kV разработки фирмы ABB выполнено в виде компактных конвертеров DC/DC и DC/AC, установленных в шкафу модульной конструкции повышенной надежности и оптимизируемой стоимостью жизненного цикла. Указанный шкаф размещается в кабине машиниста и получает питание от контактной сети 3 кВ через распределительное устройство с выключателями и фильтр, как показано на рис. 1. На рис. 1 представлена структурная схема тягового электропривода ЭЛ BORDLINE CC1500 DC_3kV. На рис. 1 принимаются следующие обозначения: РУ – распределительное устройство; фильтр – в составе дросселя и конденсатора; И1 – тяговый инвертор; К1 – конвертер блока тормозных сопротивлений; К2 – конвертер вспомогательного питания (ВСП).

РУ включает блок предварительного заряда конденсаторов и размыкатель линии питания. Фильтр ограничивает пульсации со стороны линии питания. На входах И1, К1, К2 имеются конденсаторы, которые входят в состав этих преобразователей и предварительно заряжаются от линии питания. Тяговый инвертор И1 нагружен на два тяговых электродвигателя, каждый мощностью 750 кВт. Конвертер К1 нагружен на блок тормозных сопротивлений мощностью 1350 кВт. Конвер-

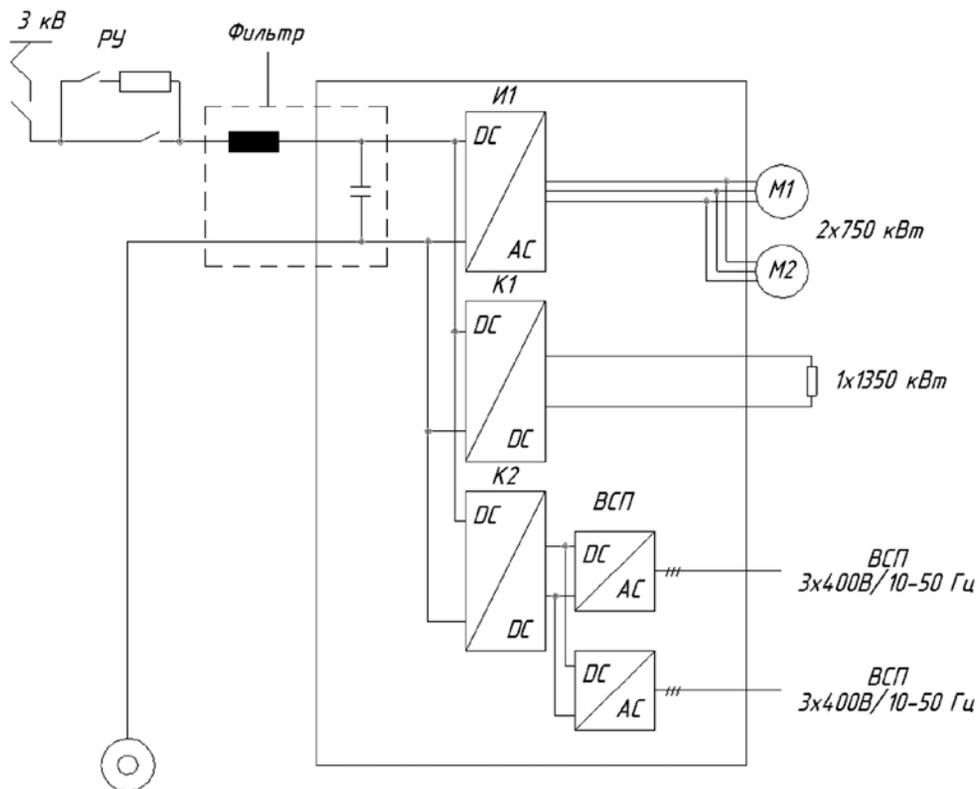


Рис. 1. Структурная схема тягового электропривода ЭЛ BORDLINE CC1500 DC_3kV

тер К2 нагружен на два инвертора ВСП, каждый из которых питает собственные нужды соответственно мощностями 210 и 20 кВт. В колесной тележке может быть от 2 до 3 электродвигателей, причем каждый из них питается от индивидуального инвертора.

Выходная мощность электродвигателя составляет от 770 до 833 кВт (соответственно для разного числа колесных пар), напряжение двигателей – 2250 и 2340 В, мощность чоппера для разряда конденсаторов – 900 и 1200 кВт.

Шкаф преобразователей (показан сплошной рамкой на рис. 1) устанавливается в кабине машиниста, дроссель фильтра и электродвигатели – на крыше и в подвагонном пространстве. Размеры шкафа преобразователей составляют 1800 × 875 × 1990 (2030) мм, масса – 1365 (1380) кг. Управление по шине CAN осуществляется от внешнего устройства в кабине машиниста. Предусмотрено воздушное и жидкостное охлаждение минеральным маслом шкафа преобразователей и электродвигателей.

Для варианта MS предусмотрено питание не только от контактной линии, но и от дизель-генератора мощностью 1800 кВт напряжением 1000–2800 В с дополнительным выпрямителем, который подключается к входу фильтра на рис. 1.

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ГРУЗОВОГО ЭЛЕКТРОЛОКОМОТИВА (ЭЛ) ЭВС1, ЭВС2

Высоковольтное оборудование электролокомотива (ЭЛ) ЭВС1, ЭВС2 спроектировано фирмой для работы от тяговой сети переменного тока 25 кВ, 50 Гц и постоянного тока напряжением 3 кВ. Структурная схема тягового электропривода ЭЛ фирмы Siemens приведена на рис. 2. На рис. 2 принимаются следующие обозначения: HSAC, HSDC – разъединители; DC-NTS/VLE, AC-NT/VLE – блоки предварительного заряда конденсаторов и размыкатель линии питания; VLW – резистор предварительного заряда; 4QS – выпрямители; Tr – трансформатор;

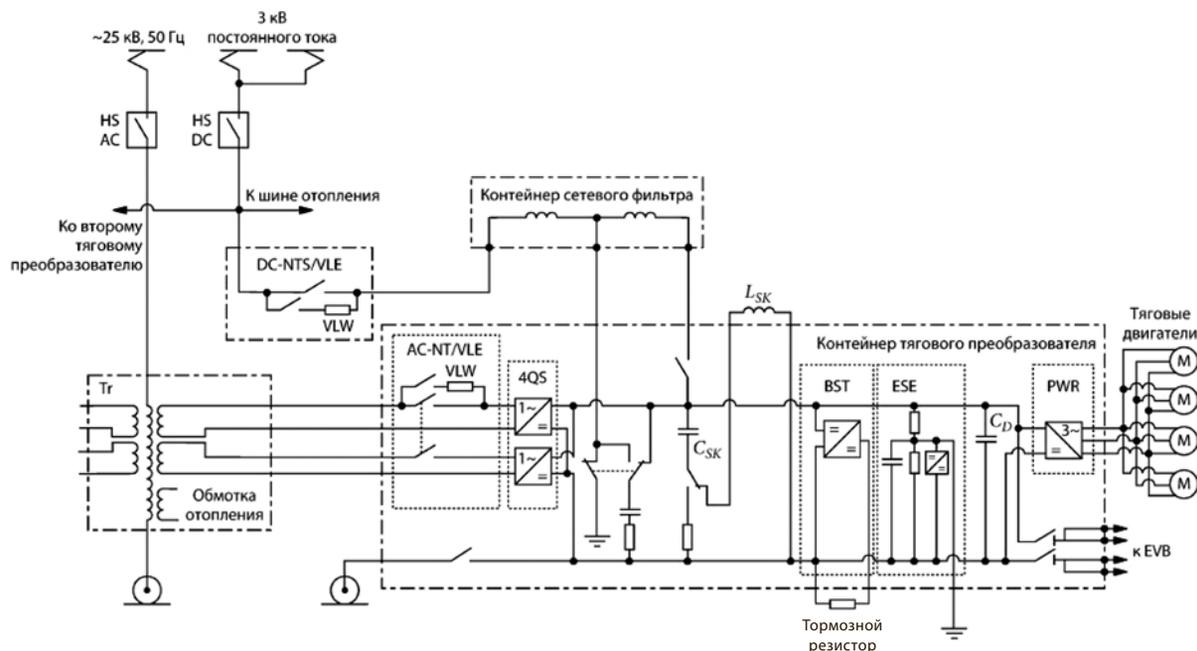


Рис. 2. Структурная схема тягового электропривода ЭЛ фирмы Siemens

L_{sk} , C_{ck} – индуктивность и емкость фильтра; BST-DC/DC – тормозной конвертор; ESE – DC/DC-конвертор со схемой контроля короткого замыкания в промежуточном звене постоянного напряжения; PWR – тяговый инвертор; EVB – собственные нужды с преобразователем ПСН.

Каждый подвагонный тяговый трансформатор мощностью 5460 кВА производства ABB содержит на вторичной стороне четыре тяговые обмотки напряжением по 1550 В, мощностью 1300 кВА и одну обмотку отопления напряжением 2990 В, мощностью 260 кВА.

Охлаждающая установка и трансформатор жестко закреплены вместе в общей несущей раме, которая упруго подвешивается под кузовом. Охлаждающая установка состоит из радиатора, грязеотделительной решетки и двух вентиляторов с электроприводом, регулируемым переключением полюсов.

Используя подключение и отключение этих вентиляторов, поддерживается низкий уровень шума и обеспечивается возможность регулирования уровня охлаждения, особенно в зимний период. Охлаждающей жидкостью является минеральное масло, которое обладает высокой вязкостью при температуре -50°C .

Регулирование трансформатора осуществляется с использованием электрической дифференциальной защиты, систем регистрации температуры и контроля циркуляции масла. Кроме того, установленное между трансформатором и расширителем радиатора реле Бухгольца реагирует на степень газообразования, потерю масла, а также на циркуляцию масла.

Каждый ЭЛ имеет два идентичных тяговых блока. Каждый тяговый блок имеет один тяговый преобразователь с блоком управления приводом (БУП), четыре параллельно подключенных тяговых асинхронных двигателя с редукторами, один модуль тормозных сопротивлений, а также в промежуточном контуре выход для преобразователей собственных нужд.

Если один из тяговых блоков повреждается, то он отключается, не влияя на работу другого блока. При этом электропоезд может продолжать движение с 75%-ной мощностью по тяге и по электрическому торможению.

Контейнерный тяговый преобразователь (рис. 2) с жидкостным охлаждением мощностью 2250 кВА представляет собой шкаф в кабине машиниста, имеющий в составе четырехквadrанный регулируемый

преобразователь 4QS, тормозной конвертер BST, схему контроля короткого замыкания в промежуточном звене постоянного напряжения ESE, автономный тяговый инвертор напряжения PWR. В качестве силовых полупроводников применяются биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT) на напряжение 6,5 кВ SIBAC BB SP3000WL, на базе которых построены охлаждаемые водой фазовые полумостовые вентили.

Ко входу каждого тягового преобразователя подключается LC-фильтр, который должен минимизировать уровни частот в диапазоне 25...50 Гц. В фильтре применяют два магнитно-разделенных между собой дросселя со стержневым магнитопроводом, которые рассчитаны на номинальный ток 740 А и размещены в отдельном охлаждаемом контейнере в вагоне DR. Конденсаторы фильтра размещены в контейнере тягового преобразователя и при питании от тяговой сети переменного тока используются в качестве дополнительной емкости для промежуточного контура.

Охлаждающая установка преобразователя использует добавленный в воду этиленгликоль Antifrogen N, предотвращающий замерзание воды.

Тяговый двигатель 1TB2019 производства Siemens представляет четырехполюсный трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором

мощностью 513 кВт. Два двигателя, установленные в моторной тележке, принудительно охлаждаются с помощью общего вентилятора.

Тяговое электрооборудование обеспечивает режимы рекуперативного и рекуперативно-реостатного торможения с плавным регулированием тормозного усилия. Система управления автоматически выбирает режим торможения в зависимости от условий в системе тягового электроснабжения. Основным тормозом является рекуперативный. Если происходит снижение мощности нагрузки, то тормозная мощность плавно перераспределяется между рекуперацией и тормозным реостатом. На рис. 3 приведена зависимость тягового усилия F , кН, на ободе колеса от скорости v , км/ч, при различной мощности тягового электропривода ЭЛ. Первый участок характеристики с наибольшим моментом и тяговым усилием ограничен по сцеплению и снижается с ростом скорости. Второй участок характеристики ограничен по коммутациям преобразователя и нагревом электродвигателей. Третье ограничение связано с конструкционной скоростью. Это ограничение для скоростных ЭЛ составляет 120–250 км/ч, для грузовых ЭЛ – 80–100 км/ч, для маневровых ЭЛ – 60–80 км/ч.

В нижней части рис. 3 приведены плавно нарастающие с ростом скорости усилия сопротивления на ободе колеса

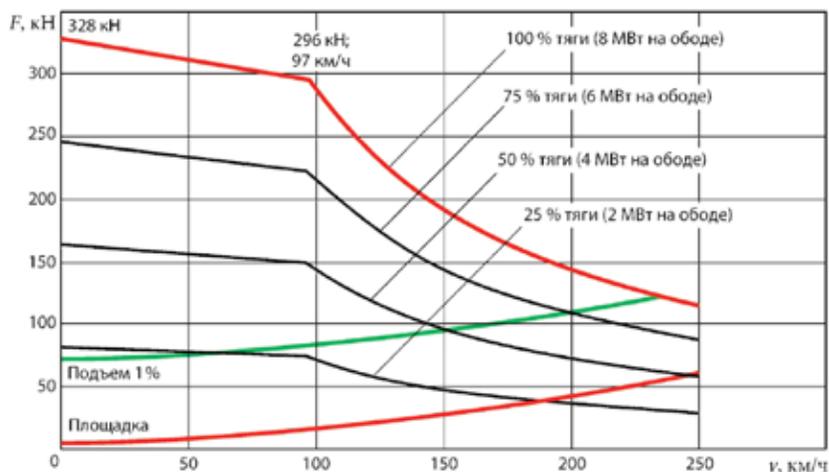


Рис. 3. Зависимость тягового усилия F , кН, на ободе колеса от скорости v , км/ч, при различной мощности тягового электропривода ЭЛ

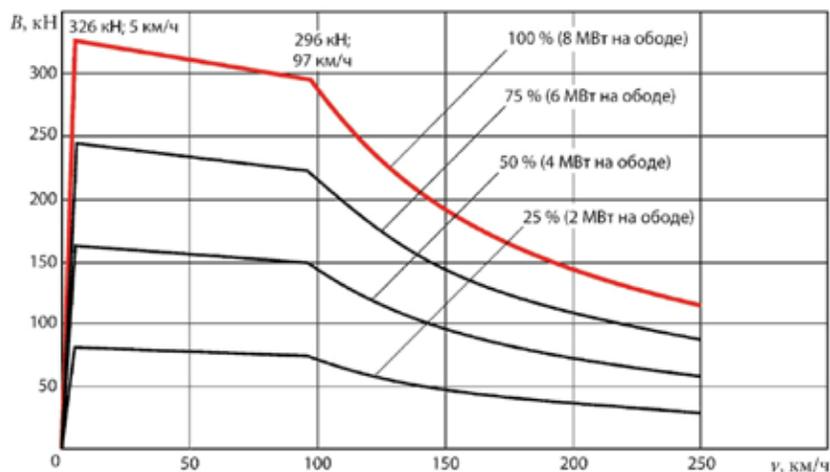


Рис. 4. Зависимость тормозного усилия B , кН, на ободе колеса от скорости v , км/ч, при различной мощности тягового электропривода ЭЛ

при подъеме на угол 1 % и на ровной площадке. Пересечение указанных линий с кривыми тягового усилия определяют баланс сил тяги и сопротивления при определенной скорости ЭЛ.

На рис. 4 приведена зависимость тормозного усилия B , кН, на ободе колеса от скорости v , км/ч, при различной мощности тягового электропривода ЭЛ. Мощность реостатного тормоза 10-вагонного электропоезда на ободе колеса составляет 3600 кВт. Два вентилируемых тормозных сопротивления смонтированы в корпусе и размещены на крыше вагона ВАТ. На каждый тяговый преобразователь приходится по одному тормозному сопротивлению. Вспомогательное электрооборудование, система отопления, климатическая установка, освещение и пневматические компрессоры питаются от промежуточных контуров тягового преобразователя. При работе от контактной сети постоянного или переменного тока переключение энергообеспечения собственных нужд происходит автоматически. При движении по нейтральным вставкам в контактной сети бортовая сеть получает питание от тяговых двигателей, которые в этом случае работают в режиме электрического торможения.

Каждый преобразователь собственных нужд (ПСН) имеет выходную мощность 160 кВА, суммарная установленная мощность ПСН на электропоезде составляет

960 кВА. При выходе из строя одного из ПСН бортовая сеть продолжает функционировать без потерь мощности от сети питающего напряжения 440 В трехфазного переменного тока частотой 50 (60) Гц. Отопление снабжается частично из поездной сборной шины, а частично от контактной сети постоянного тока либо через обмотку обогрева трансформатора на переменном токе. Энергообеспечение цепей собственных нужд 110 В постоянного тока с резервированием от аккумуляторной батареи для системы управления поездом происходит через два зарядных устройства мощностью 60 кВт, питающихся от бортовой сети переменного тока.

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ГИБРИДНОГО ЭЛЕКТРОЛОКОМОТИВА

Наиболее перспективным является перевод электролокомотивов на водородную тягу без контактной сети [3, 4]. Здесь рассмотрены два варианта реализации: а) маневровый электролокомотив (МЭЛ); б) гибридный грузопассажирский поезд (ГПП).

а) Маневровый электролокомотив (МЭЛ)

Прототипом МЭЛ могут послужить маневровые тепловозы (ТВ) с использованием дизель-генераторов. Используя

методику [5], скорость такого ТВ V_a , км/ч равна:

$$V_a = (0,367 \cdot \eta \cdot P) / (9,81 \cdot \psi_m \cdot m_n),$$

где η – коэффициент приближения реальной тяговой характеристики тепловоза к идеальной;

P – мощность локомотива, кВт;

ψ_m – коэффициент тяги тепловоза, равный значению 0,14 для электротяги с чистыми рельсами;

m_n – расчетная масса локомотива, т.

Для маневровых ТВ типов от ТГК2 до ТГМ6А с массой, соответственно, от 28 до 90 т, коэффициентами η от 0,58 до 0,64, маневровой скоростью V_a от 4 до 5 км/ч мощность ТВ изменяется от 162 до 883 кВт [5]. При этом максимальная скорость ТВ не превышает соответственно 60 и 80 км/ч.

Касательная сила тяги ТВ для автоматической характеристики, равная F_k , Н:

$$F_k = 9,81 \cdot 367 \cdot \eta \cdot P / V_a,$$

а удельная касательная сила тяги f_k , Н/т составляет:

$$f_k = F_k / (m_n + m_c),$$

где m_c – масса состава.

Анализ показывает, что мощность большинства маневровых локомотивов

для электротяги должна варьироваться в диапазоне от 1000 до 2000 кВт. Так, например, в 2009 г. фирма BNSF (США) заказала МЭЛ типа НН20В с тягой на водороде с использованием топливных элементов (ТЭ) мощностью 250 кВт производства фирмы Ballard (Канада) и литий-ионных аккумуляторов (ЛИА), далее обозначаемых как АБ, мощностью 1250 кВт. В 2010 г. мощность ТЭ была повышена до 500 кВт. Ориентировочная стоимость МЭЛ составила 3,5 млн долл.

Структурная схема МЭЛ приведена на рис. 5. На рис. 5 принимаются следующие обозначения (слева направо): Traction motors – тяговые электродвигатели (ТЭД); Traction motor blower – воздушный охладитель; Display Fuel cell – дисплей ТЭ; Hydrogen – водород; Battery – АБ; coolant – охлаждение; WEG HEX – теплообменник; Power module – ТЭ; ISOLATED DC/DC CONVERTER – DC/DC-преобразователь; Electrical Cabinet – распределительное устройство (РУ). Водород подается в два модуля ТЭ, где преобразуется в электроэнергию напряжением 600–850 В. Это напряжение подается на вход АБ, затем в РУ, выходы которого питают ТЭД напряжением 600 В. Переменное напряжение 208 VAC поступает на вентиляторы воздушных охладителей. Из рис. 5 видно, что половина объема МЭЛ занимают АБ и ТЭ. Гибридикация электрохимического и водо-

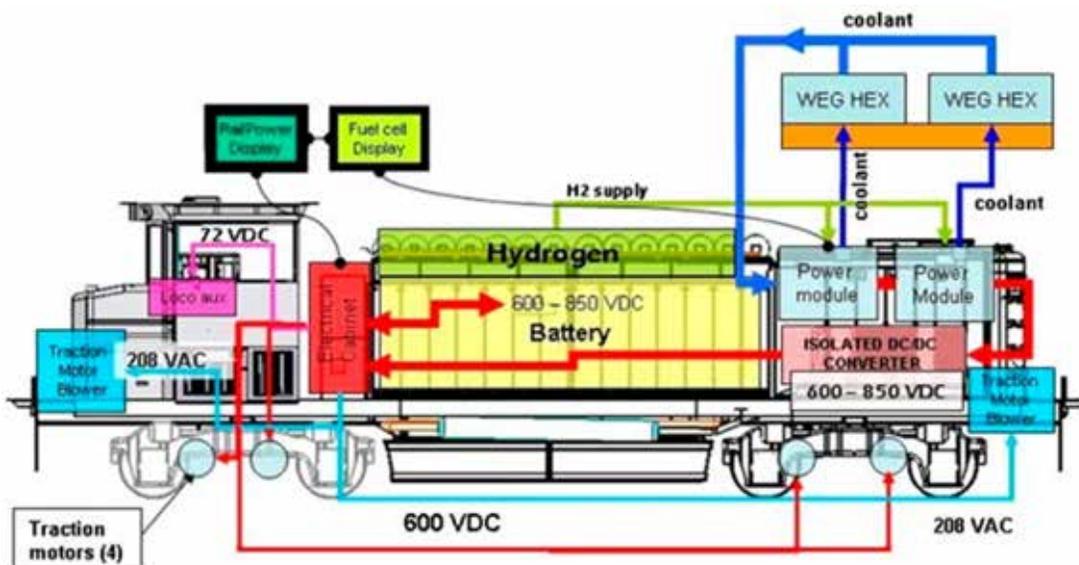


Рис. 5. Структурная схема МЭЛ

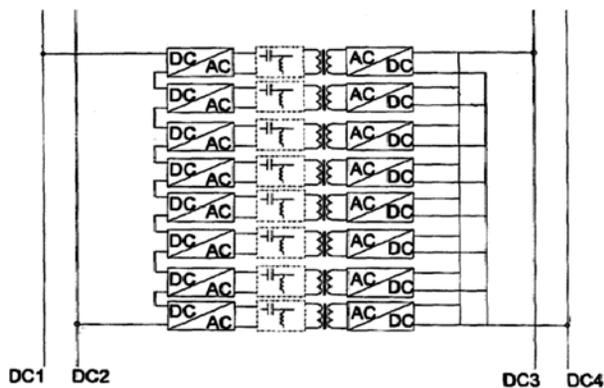


Рис. 6. Модульный DC/DC-конвертор [9]

родного источников позволяет наиболее полно использовать их свойства: в 3 раза большую удельную электроемкость и пробег за счет ТЭ сравнительно с АБ и более чем на порядок быстроту зарядки (3 мин. сравнительно с 3 ч.). Сочетание ТЭ с АБ позволяет быстро зарядить ТЭ и осуществить модульное исполнение АБ, изменяя число и состав элементов. Наряду с АБ и ТЭ основой тягового электропривода МЭЛ является DC/DC-преобразователь (далее – DC/DC-конвертор). Наиболее перспективным является построение модульного DC/DC-конвертора по типу [9].

Схема модульного DC/DC-конвертора на рис. 6 представляет аналог транс-

форматора, только на постоянном токе. При этом, меняя число и состав модулей, можно создать полный аналог силового трансформатора с меньшими габаритами за счет использования ВЧ, а не сетевой частоты. Стоимость такого модульного трансформатора, конечно, неизмеримо выше, чем традиционного силового трансформатора, однако, он находит применение в ряде особо ответственных и специальных устройств. Модульный конвертер позволяет реализовать как повышающий, так и понижающий трансформатор с использованием разных однофазных и трехфазных, а также 2- и 3-уровневых преобразователей.

На рис. 7 в виде примера показана реализация модульного конвертора с использованием однофазных 2-уровневых инверторов и выпрямителей на диодах [9], что заметно удешевляет устройство, однако, не защищает его от КЗ в цепях нагрузки.

б) Гибридный грузопассажирский поезд (ГПП)

Гибридные грузопассажирские поезда (ГПП) получили широкое распространение за рубежом для ж/д магистралей с малой интенсивностью движения и отсутствия контактной сети [3, 4].

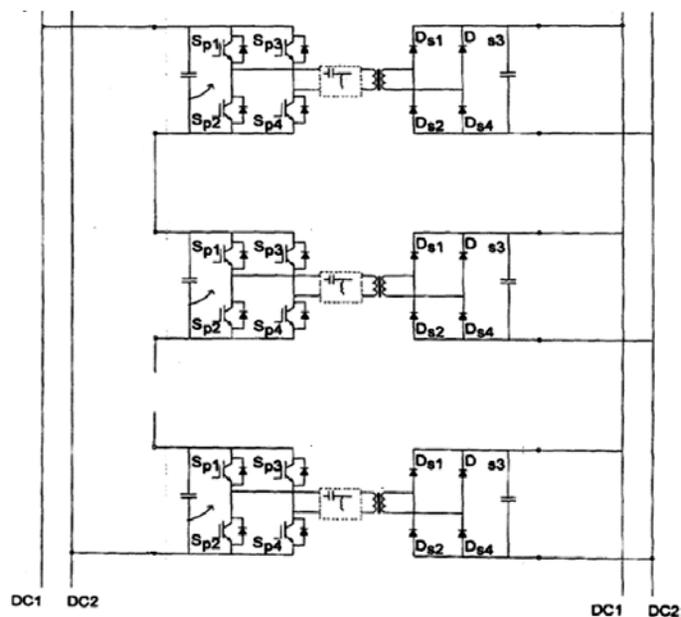


Рис. 7. Пример реализации модульного конвертора с использованием однофазных 2-уровневых инверторов и выпрямителей на диодах [9]



Рис. 8. Базовая комплектация в составе двух вагонов ГПП Coradia iLint

Наиболее известным является ГПП Coradia iLint, разработанный фирмой Alstom в 2016 г. в 2- и 3-вагонной комплектации. Водородный ТЭ для него производится фирмой Hydrogenics (Канада). Базовая комплектация ГПП Coradia iLint в составе двух вагонов представлена на рис. 8. В отличие от МЭЛ топливные элементы (ТЭ) и баки с водородом размещаются на крыше вагонов, а тяговый электропривод, инверторы и АБ – в подвагонном пространстве, что позволяет обеспечить вместимость поезда до 200 человек.

Мощность ТЭД составляет 2×272 кВт, мощность – ТЭ 2×200 кВт, дальность пробега – до 1000 км, скорость – до 140 км/ч. Емкость баков с водородом – 260 кг.

Следующий ГПП был представлен фирмой Siemens с ТЭ разработки фирмы Ballard (Канада) в 2017 г. в составе 2–3 вагонов соответственно дальностью пробега 550 и 900 км. Мощность ТЭД – 1700 кВт,

мощность ТЭ – 2×200 кВт. Емкость баков с водородом – 260 кг.

Аналогичные показатели имеет ГПП Mireo Plus H, которая разработана фирмой Hitachi совместно с East JAR East и Toyota (Япония) в 2022 г. в составе двух вагонов с дальностью пробега 140 км со скоростью 100 км/ч. В конструкции ГПП использована более компактная установка элементов на крыше вагонов, а в подвагонном пространстве в составе колесных тележек устанавливаются ТЭД в виде синхронных электромашин с постоянными магнитами (PMSM). Компоновка элементов ТЭД в составе ГПП фирмы Hitachi приведена на рис. 9, где принимаются обозначения (слева направо): DC/DC Converter – DC/DC-конвертер, Inverter – инвертор, Fuel cell – ТЭ, Hydrogen tanks – баки с водородом, ESS – АБ, Motor: [PMSM] – синхронный ТЭД с постоянными магнитами.



Рис. 9. Компоновка элементов ТЭД в составе ГПП фирмы Hitachi

ВЫВОДЫ

Рассмотрено выполнение тягового электрооборудования грузовых электролокомотивов (ЭЛ) производства фирм ABB и Siemens, которые питаются от контактной сети 3 кВ постоянного тока и 25 кВ переменного тока. Основой тягового электропривода указанных ЭЛ являются асинхронные электродвигатели с редукторами на колесных парах, которые питаются от DC/AC-инверторов и DC/DC-конвертеров.

Показано, что для перспективных электролокомотивов на водородной тяге без контактной сети мощность большинства маневровых электролокомотивов (МЭЛ) должна варьироваться в диапазоне от 1000 до 2000 кВт. В виде примера приведен МЭЛ типа NH20B (США) с тягой на водороде с использованием топливных элементов (ТЭ) мощностью 250 кВт, а затем 500 кВт производства фирмы Ballard (Канада) и литий-ионных аккумуляторов (ЛИА), далее обозначаемых как АБ мощностью 1250 кВт.

Выполнен анализ использования ТЭ и АБ на железнодорожном транспорте для маневровых локомотивов МЭЛ и грузопассажирских поездов ГПП. Показано, что сила тяги локомотива определяется его мощностью и снижается с ростом скорости и массы состава. В результате мощность тяги 1000–2000 кВт достаточна для перемещения составов от МЭЛ со скоростью 4–5 км/ч. Из-за ограниченной электроемкости АБ и значительной длительности заряда (часы) применение ТЭ с длительностью заряда (минуты) в комбинации с АБ позволяет заменить дизельные локомотивы на электролокомотивы с водородной или гибридной тягой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Compact converter BORDLINE CC1500 DC(MS)_3kV. – URL: <http://www.abb.com/railway>
2. Преобразователи тяговые SIBAG. – URL: <http://www.pab.sa.gov.br>
3. Водородная тяга. Обзор топовых проектов в сфере подвижного транспорта будущего. – URL: <http://www.vgudok.com/.2022/04/>

4. **Потаева К., Волобуев А., Виноградов И.** Водородные локомотивы могут быть дешевле дизельных. – URL: <http://www.vedomosti.ru/.2022/04/>

5. Методика тяговых расчетов (для промышленных электровозов). – URL: <http://www.faufcc.ru/.2022/04/>

6. **Шульга Р.Н.** Тяговые характеристики электромотоцикла и электролокомотива // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2022. – № 4. – С. 26–34.

7. **Шульга Р.Н.** Преобразователи частоты // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2022. – № 1. – С. 3–11.

8. **Шульга Р.Н.** Преобразователи напряжения малой и большой мощности // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – В портфеле редакции.

9. **Шульга Р.Н.** Контроллеры DC/DC-конвертеров // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – В портфеле редакции.

10. Система передачи и распределения электроэнергии. Патент RU2543516 C2, МПК H02j 3/36. Бюл. № 29, 20.10. 2013.

11. **Григорьев С.А., Порембский В.И., Фатов В.Н., Самсонов В.О., Козлов С.И.** Получение водорода электролизом воды. – URL: <http://www.cuberleninka.ru/.2022/04/>

12. **Радченко Р.В., Мокрушин А.С., Тюльпа В.В.** Водород в энергетике // Изд-во Уральского ун-та. – 2014. – 229 с.

13. **Шульга Р.Н.** Накопление и сохранение электроэнергии // Новости электротехники. – 2021. – № 1 (127). – С. 54–57.

14. **Шульга Р.Н.** Распределенная генерация с использованием водородной энергетики // Энергоэксперт. – 2021. – № 3 (79). – С. 22–26.

15. **Шульга Р.Н.** Преобразователи частоты // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2022. – № 1. – С. 3–11.

16. **Шульга Р.Н.** Силовые полупроводниковые приборы для электроэнергетики // Оперативное управление в электроэнергетике. – 2022. – № 1. – С. 5–13.

17. **Шульга Р.Н., Путилова И.В.** Мультиагентные системы постоянного тока с использованием ВИЭ и водородных топливных элементов // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE), 2019; 04-06:65-82.

18. **Шульга Р.Н., Петров А.Ю., Путилова И.В.** Арктика: Экология и водородная электроэнергетика // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE), 2019; 07-09:43-61.

УДК 621.316.13

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОПЕРАТИВНО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Листюхин В. А., аспирант кафедры информационно-измерительной техники и метрологии

e-mail: Vladyan4iklist@yandex.ru,

Печерская Е. А., зав. кафедрой информационно-измерительной техники и метрологии

e-mail: pea1@list.ru,

Пензенский государственный университет, г. Пенза

В работе рассматривается тема повышения надежности воздушных линий электропередачи распределительных сетей 0,4–10 кВ. Обосновывается актуальность внедрения информационно-измерительных систем контроля параметров воздушных линий электропередачи для обеспечения надежности электроснабжения потребителей и решения задач оперативно-технологического управления распределительными сетями. Авторами была предложена информационно-измерительная система контроля эксплуатационных и метеорологических параметров воздушных линий электропередачи с целью технической поддержки оперативного персонала и улучшения качества, оказываемых потребителям услуг по передаче электрической энергии.

Ключевые слова: *воздушные линии электропередачи, надежность, цифровизация, оперативно-технологическое управление, информационно-измерительные системы.*

MONITORING SYSTEM OF PARAMETERS OF OVERHEAD POWER TRANSMISSION LINES FOR SOLVING OPERATIONAL AND TECHNOLOGICAL MANAGEMENT TASKS

Listyukhin V. A., postgraduate student of the department of information and measurement technology and metrology,

Pecherskaya E. A., head of the department information and measurement technology and metrology,

Penza State University, Penza

The paper discusses the topic of increasing the reliability of overhead power transmission lines of distribution networks of 0.4–10 kV. The relevance of the intro-

duction of information and measurement systems for monitoring the parameters of overhead power transmission lines to ensure the reliability of power supply to consumers and solving the problems of operational and technological management of distribution networks is substantiated. The authors proposed an information and measurement system for monitoring operational and meteorological parameters of overhead power transmission lines in order to provide technical support to operational personnel and improve the quality of electric power transmission services provided to consumers.

Keywords: *overhead power transmission lines, reliability, digitalization, operational and technological management, information and measurement systems.*

Тенденции развития цифровой экономики в огромнейшей степени отразились и на важнейшей государственной отрасли – электроэнергетике [1, 2]. Внедрение современных интеллектуальных систем Smart grid требует обеспечения высокого уровня надежности каждого элемента электроэнергетической системы (ЭЭС), в т. ч., и воздушных линий электропередачи (ВЛ) [3]. В данной статье речь пойдет о перспективах развития систем мониторинга ВЛ распределительных сетей 0,4–10 кВ для решения задач оперативно-технологического управления.

АКТУАЛЬНОСТЬ ЗАДАЧИ

Согласно [5], ВЛ являются самыми повреждаемыми элементами ЭЭС. Развитие систем мониторинга параметров ВЛ является важнейшей задачей не только с точки зрения обеспечения надежной эксплуатации, но и с точки зрения повышения уровня оперативно-технологического управления. Это обусловлено тем, что порядка 66 % аварий в электрических сетях происходит на ВЛ [4]. Основная часть аварий на ВЛ приводит к перерыву электроснабжения потребителей [6]. Данное утверждение справедливо в основном для ВЛ распределительных сетей напряжением 0,4–10 кВ. Проблема ликвидации аварий ВЛ распределительных сетей состоит из следующего ряда факторов:

- длительное время поиска, а соответственно и ликвидации аварии;
- перерыв электроснабжения потребителей и его длительность;

- сложность локализации поврежденного участка ввиду сложной конфигурации сети;
- отсутствие резервирования в большинстве случаев;
- вовлеченность оперативного персонала ряда сетевых организаций в работу с потребителями (ответы на звонки-жалобы со стороны населения).

В связи с вышеизложенным проблема мониторинга параметров ВЛ распределительных сетей в процессе оперативно-технологического управления является актуальной.

Обеспечение надежного функционирования ВЛ осуществляется путем внедрения электросетевыми организациями на свои объекты информационно-измерительных систем контроля параметров ВЛ (ИИС) [7]. Существующие ИИС различаются между собой по технико-экономическим характеристикам, структуре и контролируемым параметрам. Авторами предлагается вариант ИИС, реализация которой обладает рядом преимуществ, по сравнению с имеющимися методами и системами, а именно:

- не требует изменения конструкции ВЛ и линейной арматуры;
- осуществляет контроль параметров без излишних расчетов и не требует составления сложных математических моделей;
- осуществляет только контроль параметров, оказывающих непосредственное влияние на надежное и устойчивое функционирование ВЛ.

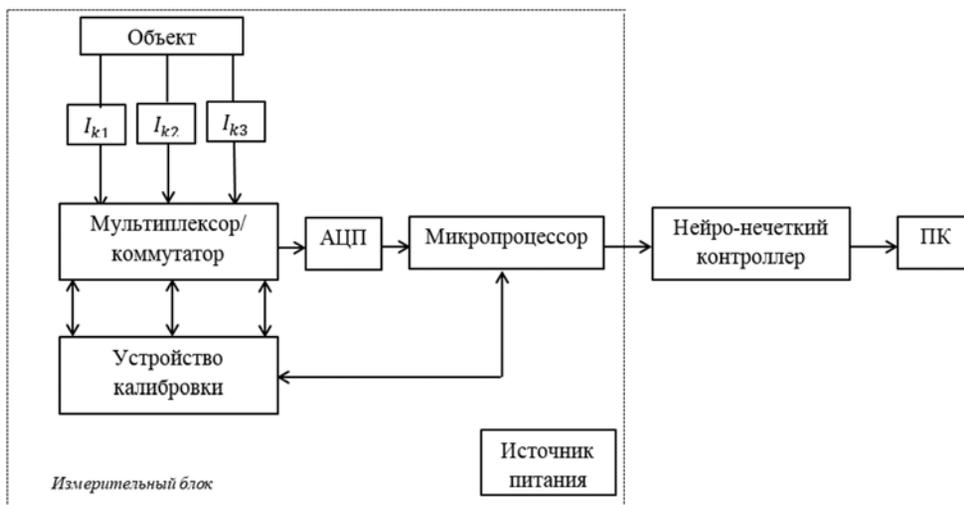


Рис. 1. Блок-схема ИИС

СТРУКТУРА И ФУНКЦИОНАЛ ИИС

На рис. 1 представлена блок-схема ИИС.

Реализация ИИС производится путем монтажа первичных измерительных преобразователей (ПИП) на токоведущих частях ВЛ (провода) в точке максимального провеса (середина пролета между опорами). Измерительная информация с ПИП передается по организованному каналу связи на сервер диспетчерского пункта. Обработка информации осуществляется с применением нейронной сети. В данной системе ИИС выполняет функцию системы поддержки и принятия решений. Режимы, характеризующие состояние контролируемого объекта, отображаются на экране персонального компьютера автоматизированного рабочего места диспетчерского персонала в виде следующих сообщений [7]:

1. Нормальный режим.
2. Начальный этап образования дефекта (начало разрегулировки провода относительно нормального положения).
3. Предавальный режим (провес провода, имеется возможность схлеста с другими проводами и землей).
4. Аварийный режим (схлест проводов или падение провода на землю).

Контроль эксплуатационных параметров ВЛ производится в три этапа:

1. Измерение контролируемых величин (расстояния от провода до земли, температура окружающего воздуха, скорость ветра, индикация места возникновения короткого замыкания).
2. Передача и обработка информации.
3. Принятие решений диспетчерским персоналом.

ИИС должна удовлетворять ряд предъявляемых к ней требований, а именно: устойчивость к внешним природным явлениям; бесконтактный способ питания; оповещение при неисправностях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей статье поставлена задача повышения надежности ВЛ распределительных сетей 0,4–10 кВ. Доказана актуальность внедрения ИИС контроля параметров ВЛ для решения задач оперативно-технологического управления. Авторами предложена структура ИИС, осуществляющей контроль положения проводов ВЛ и прогнозирование метеорологической обстановки на участках ВЛ с целью заблаговременного выявления предаварийных режимов оперативным персоналом сетевых организаций и разработки превентивных мероприятий по обеспечению устойчивого электроснабжения. Также внедрение данной ИИС позволит детектировать начальный этап

образования дефекта. Внедрение данной ИИС позволит сетевым компаниям повысить качество оказываемых потребителям услуг по передаче электрической энергии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Указ Президента Российской Федерации** от 09.05.2017 № 203 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы». – 2017. – 29 с.

2. **Указ Президента Российской Федерации** от 07.05.2018 № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». – 2018. – 19 с.

3. **ПАО «Россети»**. Концепция «Цифровая трансформация – 2030». – М., 2018. – 31 с.

4. **Захаренко С.Г.** Анализ аварийности в электросетевом комплексе / С.Г. Захаренко, Т.Ф. Малахова, С.А. Захаров и др. // Вестник КузГТУ. – 2016. – № 4. – С. 95–98.

5. **Дементьев С.С.** Интеллектуальная система мониторинга гололедообразования на воздушных линиях электропередачи [Текст]: дис. ... канд. техн. наук. – Волгоград, 2019. – С. 142.

6. **Listyukhin V.A., Pecherskaya E.A., Safronova O.A., Artamonov D.V.** Systematization and monitoring of quality parameters of overhead power transmission lines functioning // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 990 (2022) 012058. DOI: 10.1088/1755-1315/990/1/012058.

7. **Listyuhin V.A., Pecherskaya E.A., Timokhina O.A., Smogunov V.V.** System for monitoring the parameters of overhead power lines // Journal of Physics: Conference Series, 2021, 2086 (1), 012059.

ВСЕ РИСКИ ПОД КОНТРОЛЕМ

ottbp.panor.ru

Уникальный производственно-технический журнал «Охрана труда и техника безопасности на промышленных предприятиях» посвящен актуальным вопросам охраны труда и безопасности на производстве в различных отраслях промышленности, а также новейшим разработкам в области средств индивидуальной и коллективной защиты, проблемам энергобезопасности.

Широкий охват тем, мониторинг основных тенденций развития и обзор последних научно-практических достижений в этой области позволяют в одном издании найти ответы на важные вопросы, связанные с повышением уровня безопасности на конкретном производстве.

Редакционный совет: **Файнбург Г.З.**, д-р техн. наук, проф., директор Пермского краевого центра охраны труда и Института безопасности труда, производства и человека ПГТУ; **Бабанов С.А.**, д-р мед. наук, проф. ГБОУ ВПО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России; **Щербачков В.И.**, чл.-корр. Академии наук социальных технологий и местного

самоуправления, руководитель группы управления профессиональными рисками; **Державец А.С.**, д-р техн. наук, проф., академик РАЕН и МАНЭБ; **Вяткин Н.Л.**, д-р экон. наук, канд. техн. наук, техн. директор ЗАО «Взрывиспытания».

Издается при информационной поддержке ФГБУ «ВНИИ охраны и экономики труда» Минтруда России и Клинского института охраны и условий труда.

Ежемесячное издание.

Распространяется по подписке и на отраслевых мероприятиях.

ОСНОВНЫЕ РУБРИКИ

- Управление охраной труда
 - Аттестация рабочих мест
 - Управление профессиональными рисками
 - Новое в законодательстве
 - Надзор и контроль
 - Гигиена труда
 - Охрана труда и социальное партнерство
 - Инструкции по технике безопасности
 - Зарубежный опыт
- И другие рубрики.

ОХРАНА ТРУДА
И
ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ
НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

ОХРАНА ТРУДА
И ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ
НА ПРОМЫШЛЕННЫХ
ПРЕДПРИЯТИЯХ



На правах рекламы

ПОДПИСНЫЕ ИНДЕКСЫ



82721



P7217

Для оформления подписки через редакцию пришлите заявку в произвольной форме по адресу электронной почты podpiska@panor.ru или позвоните по тел. 8 (495) 274-22-22 (многоканальный).

УДК 681.335

КОНТРОЛЬ НЕИСПРАВНОСТЕЙ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА 110/10 КВ

Феоктистов Д. И.

e-mail: Feoktistov.dima@list.ru,

Воркунов О. В., канд. техн. наук, доцент кафедры электроэнергетических систем и сетей

e-mail: Vorcunov_oleg@mail.ru,

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,
г. Казань

В работе представлена характеристика основных неисправностей силовых трансформаторов 110 кВ и причин их возникновения. Рассмотрены методы контроля в условиях эксплуатации. Выполнено разделение методов контроля на группы.

Ключевые слова: силовой трансформатор, контроль, техническое состояние, неисправности, дефекты изоляции.

FAULT MONITORING OF THE POWER TRANSFORMER 110/10 KV

Feoktistov D. I.,

Vorkunov O. V., PhD of technical sciences, associate professor of the department electric power systems and networks,

Kazan State Power Engineering University, Kazan

The paper presents the characteristics of the main malfunctions of 110 kV power transformers and the causes of their occurrence. Methods of control in operating conditions are considered. The division of control methods into groups has been carried out.

Keywords: power transformer, control, technical condition, malfunctions, insulation defects.

Основными задачами контроля отказов трансформаторного оборудования являются: выявление повреждений, возможность выявления отклонений от нормы в кратчайшие сроки, выполнение необходимого объема профилактических работ и качественный ремонт. В настоящее время существует достаточ-

ное количество методов обнаружения тех или иных дефектов, таких как хроматографический анализ растворенных в трансформаторном масле газов, тепловизионная диагностика, вибродиагностика и др. Рассмотрим причины выхода из строя силового трансформатора:

- Старение изоляции из-за действия электрического поля и катализаторов.
- Увлажнение масла, снижение его уровня в баке.
- Внутренние или внешние перенапряжения.
- Повышенный нагрев элементов активной части, вызванный перегревом вихревыми токами, перегрузкой и старением.
- Износ контактов распределительного устройства.
- Частичные разряды в изоляции.

Характерными неисправностями трансформаторов класса напряжения 110 кВ являются увлажнение изоляции из-за разгерметизации и повреждения токоведущих частей. С этой точки зрения преобладающим направлением контроля силовых трансформаторов 110 кВ является оценка влажности, старения изоляции, коротких замыканий и интенсивности частичных разрядов.

Условия разрушения изоляции трансформаторов можно условно разделить на две группы.

Первая группа характеризуется старением масла из-за повышенного нагрева элементов трансформатора, взаимодействия масла с кислородом воздуха и сильным электрическим полем. Одним из доминирующих факторов старения трансформаторного масла являются реакции окисления его углеводородов, смол и продуктов разложения серы. В результате образуются активные радикалы и молекулы воды. В эту группу также входит увлажнение изоляции за счет проникновения влаги через уплотнения бака и других элементов трансформатора. Растворимость воды в различных маслах зависит от их состава, увеличиваясь с увеличением содержания ароматических углеводородов. Образование продуктов старения в окисленном масле обуславливает наличие в соединениях воды, измерить которую стандартными методами определения

растворенной влаги практически невозможно.

Ко второй группе относятся те условия, которые вызывают образование осадка, в результате протекающих в нефти физико-химических реакций, в результате которых изменяется и ее цвет, начинается активное газообразование.

Проанализировав существующие методы и средства контроля, можно констатировать, что контроль состояния изоляции основан на обнаружении образующихся продуктов разложения изоляции, концентрация которых значительна [3]. В этом случае возникают побочные эффекты, такие как частичные разряды.

Комплексное испытание силового трансформатора включает: анализ результатов эксплуатационных испытаний, замеры на отключенном трансформаторе, замеры на трансформаторе в рабочем состоянии, физико-химические анализы свойств масла, анализ технической документации. Все работы по диагностике неисправностей трансформаторов можно условно разделить на пять групп [3]. Представлены только четыре.

Первая группа – это традиционные измерения на отключенном трансформаторе $\tan\delta$ (тангенса угла диэлектрических потерь) и сопротивления изоляции обмоток постоянного тока, вводов, потерь холостого хода и короткого замыкания. Все эти измерения, как правило, должны регулярно выполняться обслуживающим персоналом.

Вторая группа – измерения на трансформаторах, работающих в режимах максимальной нагрузки и холостого хода. Здесь можно выделить следующие работы: измерения частичных (ЧР) и других электрических разрядов; акустическое обследование бака трансформатора с целью выявления источников электрических разрядов. Вибродиагностика трансформатора для определения степени обжатия обмотки и магнитопр-

вода, общей прочности конструкции, а также исследование масляных насосов системы охлаждения для оценки состояния их подшипников и других узлов; термографическое обследование бака трансформатора, корпусов расширителей теплообменников (радиаторов), термосифонных фильтров, электродвигателей и маслонасосов системы охлаждения, контактных соединений.

Третья группа – это физико-химические анализы масла, маслonaполненных вводов, переключателей ответвлений, включающие большую группу традиционных измерений напряжения пробы, кислотных чисел и т. д., которые широко используются в эксплуатации. Кроме того, проводится хроматографический анализ одиннадцати характеристических газов. Производные фурана определяют методом высокоэффективной жидкостной хроматографии и оценивают степень разрушения твердой изоляции трансформатора. Инфракрасная спектроскопия позволяет определить содержание антиоксидантной присадки, выявить различные шламы и отложения, растворенные в трансформаторном масле. Фракционный состав механических примесей в масле можно анализировать с помощью автоматических счетчиков частиц и лаборатории мембранной фильтрации. Измерения диэлектрических потерь масла и их изменения с температурой дают информацию о наличии в масле полярных продуктов.

Четвертая группа – анализы, выполняемые для трансформаторов с плановым капитальным ремонтом по результатам первых трех групп измерений. В эту группу входят: определение степени полимеризации бумажной изоляции, непосредственные измерения ее влажности, прочности и др.

При анализе полученной диагностической информации необходимо учитывать следующее:

Вероятность нескольких дефектов (особенно в трансформаторах с длительным сроком службы), проявление которых по некоторым диагностическим показателям может быть практически одинаковым; вероятность инструментальной или методической ошибки измерения; наличие «скрытых» дефектов, которые не обнаруживаются при непосредственных измерениях или могут быть обнаружены только в определенных режимах (например, короткое замыкание); саморазрушающие ошибки, которые можно исправить, например, при физико-химическом анализе нефти.

Широкий спектр методов диагностики позволяет преодолеть эти трудности и получить относительно объективную информацию о состоянии всех трансформаторных агрегатов. Эффективность результатов обследования подтверждается выявленными дефектами, а также многолетней успешной эксплуатацией осмотренных и оставленных в эксплуатации трансформаторов.

Вышеприведенный анализ показывает, что ни один из известных методов не может дать полной картины состояния трансформаторов. Целесообразно использовать комбинированные диагностические системы для наилучшей оценки состояния, локализации неисправностей и выявления их причин.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Голоднов Ю.М.** Контроль за состоянием трансформаторов // Б-ка электромонтера. Вып. 603. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 88 с.
2. **Джебрил М.Р., Лопухова Т.В., Ислентьев И.С.** О создании диагностической модели силового трансформатора // Известия вузов. Проблемы энергетики. – 2015. – № 7-8. – С. 18–25.
3. **Денисова А.Р., Спасов Д.П., Галютдинова А.Р., Иванова В.Р.** Исследование работоспособности и качества функционирования трансформаторного оборудования электро-технических систем // Известия вузов. Проблемы энергетики. – 2020. – 22 (3). – С. 23–35.

4. Способы диагностики состояния трансформаторов [Электронный ресурс]. – URL: <https://molotokrus.ru/sposoby-diagnostiki-sostoyaniya-transformatorov/> (дата обращения: 09.04.2022).

5. Повреждаемость, оценка состояния и ремонт силовых трансформаторов / А.П. Долин, В.К. Крайнов, В.В. Смекалов и др. // Энергетик. – 2001. – № 7. – С. 30–34.

6. Оперативное обслуживание трансформаторов [Электронный ресурс]. – URL: <https://helpiks.org/5-78276.html> (дата обращения: 09.04.2022).

7. Энергетика, оборудование и документация [Электронный ресурс]. – URL: <https://forca.ru/spravka/transformatory/osnovnye-vidy-povrezhdeniy-transformatorov> (дата обращения: 09.04.2022).

ЛУЧШИЕ ИДЕИ. ЛУЧШИЙ ОПЫТ

gd.panor.ru

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ДИРЕКТОР УПРАВЛЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ



На правах рекламы

ПОДПИСНЫЕ ИНДЕКСЫ



82714



П7310

Журнал «Генеральный директор. Управление промышленным предприятием» освещает актуальные вопросы управления производством, практический опыт лучших российских и зарубежных предприятий.

Отличительная особенность журнала «Генеральный директор. Управление промышленным предприятием» — практическая направленность и прикладной характер публикуемых материалов, их нацеленность на решение конкретных вопросов, возникающих в процессе управления промышленным предприятием.

Наши эксперты и авторы: **Адлер Ю.П.**, президент Международной гильдии профессионалов качества; **Бережной А.А.**, гендиректор компании ЗАО «Ральф Рингер»; **Быков В.А.**, профессор РАНХиГС; **Верещагин В.В.**, президент общества «РусРиск»; **Гутенев В.В.**, Первый зампрединдент Комитета ГД РФ по промышленности, Первый вице-президент Союза машиностроителей России; **Емельянова Е.Л.**, президент Ассоциации межрегиональных маркетинговых центров; **Жданкин Н.А.**, д-р техн. наук, академик РАЕН, профессор НИТУ «МИСиС», президент ООО «РЕГУЛ-КОНСАЛТ»; **Кушнарев А.В.**, управляющий директор ОАО «Нижнетагильский металлургический комбинат»; **Москаленко К.А.**, президент Академии общественно-экономических наук и предпринимательской деятельности, академик; **Поляков И.В.**, гендиректор Омского производственного объединения «Радиозавод им. А.С. Попова»; **Спири-**

чев В.А. гендиректор ЗАО «Валетек»; **Фролов Е.Б.**, д-р техн. наук, профессор МГТУ «СТАНКИН»; **Юрьев А.Б.**, управляющий директор Новокузнецкого металлургического комбината, а также руководители министерств и ведомств, руководители комитетов ТПП РФ и РСПП, Комитета ГД РФ по экономической политике и предпринимательству, ведущие эксперты в области управления, технической политике, финансов, экономической безопасности.

Журнал издается при информационной поддержке РСПП, ТПП РФ, Института статистических исследований и экономики знаний ГУ-ВШЭ, Русского общества управления рисками.

Ежемесячное полноцветное издание.

Распространяется по подписке и на отраслевых мероприятиях.

ОСНОВНЫЕ РУБРИКИ

- Менеджмент инноваций
- Техническая политика
- Антикризисное управление
- Управление финансами
- Стратегический менеджмент
- Управление качеством
- Экономическая безопасность
- Риск-менеджмент
- Арбитражная практика
- Зарубежный опыт
- Нормирование, организация и оплата труда
- Психология управления

Для оформления подписки через редакцию пришлите заявку в произвольной форме по адресу электронной почты podpiska@panor.ru или позвоните по тел. 8 (495) 274-22-22 (многоканальный).

УДК 004.3

КОНТРОЛЛЕРЫ DC/DC-КОНВЕРТОРОВ

Шульга Р. Н., канд. техн. наук,

ВЭИ – филиал ФГУП «РФЯЦ – ВНИИТФ им. акад. Е. И. Забабахина», г. Москва

Контроллеры DC/DC-конверторов получили высокое распространение в источниках питания и управления для бытовых и носимых устройствах батарейного питания. Контроллеры выполняются в виде микросхем с самой простой топологией и использованием диодов Шоттки, MOSFET-транзисторов. Микросхемы имеют частоту ШИМ свыше 100 кГц, КПД на уровне 98–99 % и занимают площадь в несколько кв. мм. Миниатюризация контроллеров стала возможной благодаря разработке полупроводниковых приборов, у которых практически отсутствуют «хвосты» обратного тока при их выключении. Приведены структурные схемы контроллеров ведущих мировых фирм, отмечены их особенности в части дизайна, повышения надежности, удобства проектирования и наладки с использованием отладочных плат без необходимости программирования. Описаны микросхемы драйверов для управления транзисторов и силовых модулей мостовых и полумостовых схем преобразователей напряжения различной мощности.

Ключевые слова: контроллер, DC/DC-конвертор, транзистор, микросхема, драйвер.

DC/DC CONVERTER CONTROLLERS

Shulga R. N., PhD of technical sciences,

VEI – branch of FSUE "RFNC – VNIITF named after academician E. I. Zababakhina", Moscow

DC/DC converter controllers are widely used in power and control sources for household and wearable battery-powered devices. Controllers are made in the form of microcircuits with the simplest topology and the use of Schottky diodes, MOSFET transistors. The chips have a PWM frequency of over 100 kHz, an efficiency of 98–99 % and occupy an area of several square meters. mm. Miniaturization of controllers has become possible thanks to the development of semiconductor devices that have virtually no reverse current tails when they are turned off. Block diagrams of controllers of the world's leading companies are given, their features in terms of design, reliability improvement, ease of design and setup using debugging boards without the need for programming are noted. Driver chips for controlling transistors and power modules of bridge and half-bridge circuits of voltage converters of various capacities are described.

Keywords: controller, DC/DC converter, transistor, chip, driver.

Силовая электроника (СЭ) стала неотъемлемой принадлежностью носимых и бытовых устройств батарейного питания. Эти устройства прошли длительный путь развития и отражены в многочисленных работах, например, в [1–3]. Развитие СЭ тесно связано с переходом от использования полупроводниковых приборов на основе кремния к приборам на основе карбида кремния и нитрида галлия, которые повысили частоту преобразования напряжения свыше 100 кГц [4, 5]. Повышение частоты преобразования привело к бурному развитию и миниатюризации преобразователей напряжения, частоты, отраженных в [6, 7].

Широкое применение на транспорте в виде частотного электропривода и в электроэнергетике для мощных и высоковольтных преобразователей напряжения передач и вставок постоянного тока описано в [8–10]. Управление и питание как маломощных низковольтных устройств, так и высоковольтных устройств большой мощности стало возможным на основе применения контроллеров DC/DC-конверторов, описанию топологии и свойств которых посвящена настоящая статья.

КОНТРОЛЛЕРЫ МАЛОМОЩНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НАПЯЖЕНИЯ

Максимальное значение КПД импульсных преобразователей (ИП) теоретически не ограничено, но из-за наличия

потерь на неидеальность элементной базы действительное значение КПД импульсных преобразователей находится на уровне 98...99%.

При расчете КПД импульсного преобразователя следует учитывать также затраты энергии на работу схемы управления. Известны два метода управления: по напряжению (рис. 1) и по току (рис. 2), в которых для обеспечения выходного напряжения необходимого качества требуется значительное количество узлов. Для ИП малой мощности ток потребления узлов управления может оказаться соизмеримым с током нагрузки. На рис. 1 и 2 принимаются следующие обозначения: V_{ref} – уставка; V_{ramp} – развертка; V_{error} – ошибка; V_{switch} – переключения. При малой мощности конвертора достаточно большое число элементов на схеме рис. 5 и путей утечки тока может дать значительные потери. Эти потери складываются из токов утечки входных и выходных цепей.

Несмотря на высокую технологию изготовления контроллеров, в случае, когда мощность силовой части конвертора ничтожно мала, ток утечек может оказаться соизмеримым с током нагрузки. Анализ большинства контроллеров показывает, что токи входной и выходной цепей в активном состоянии невелики и не превышают 1 нА. Ток утечки в выключенном состоянии на 2 порядка превышает указанные токи и определяет потери в контроллере и длительность непрерывной работы конвертора при питании от АБ.

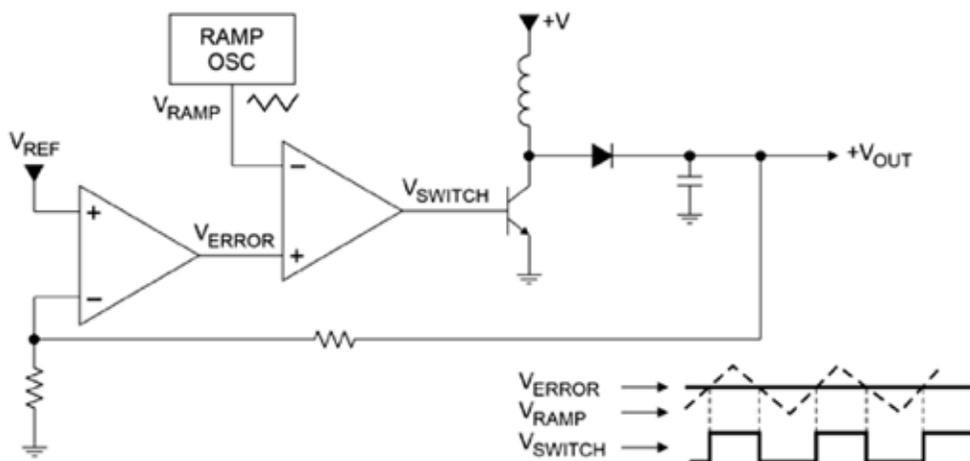


Рис. 1. Контроллер преобразователя с методом управления по напряжению

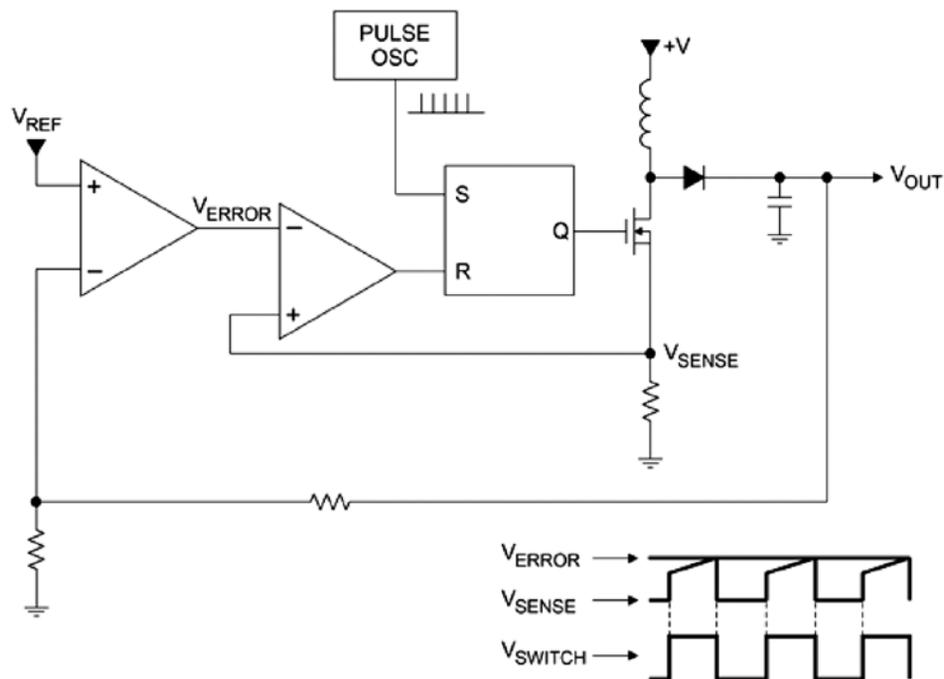


Рис. 2. Контроллер преобразователя с методом управления по току

Для контроллеров ИП выделяются три основных тока утечки: ток, потребляемый от входной I_{QINT} , выходной I_{QOUT} цепи в активном режиме и ток утечки I_{SDT} , потребляемый микросхемой в выключенном состоянии (рис. 3). Эти токи должны быть минимальными для повышения КПД ИП в виде микросхемы MAX17222 [2].

Наиболее важным для ИП с батарейным питанием является ток утечки I_{SDT} ,

т. к. преобразователь большую часть времени находится либо в спящем (дежурном), либо в выключенном состоянии. Из-за невозможности отключения схемы управления ИП от источника питания ток утечки I_{SDT} непосредственно влияет на время автономной работы от АБ.

Благодаря тщательной отработке схемы контроллеров MAX17222...25 ток, потребляемый от цепей нагрузки (I_{QOUT}),

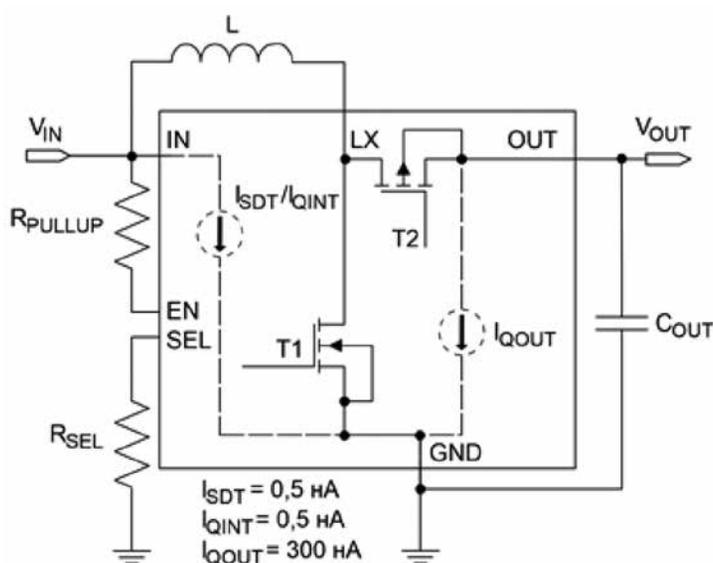


Рис. 3. Пути протекания токов I_{QINT} , I_{QOUT} и I_{SDT} микросхемы MAX17222

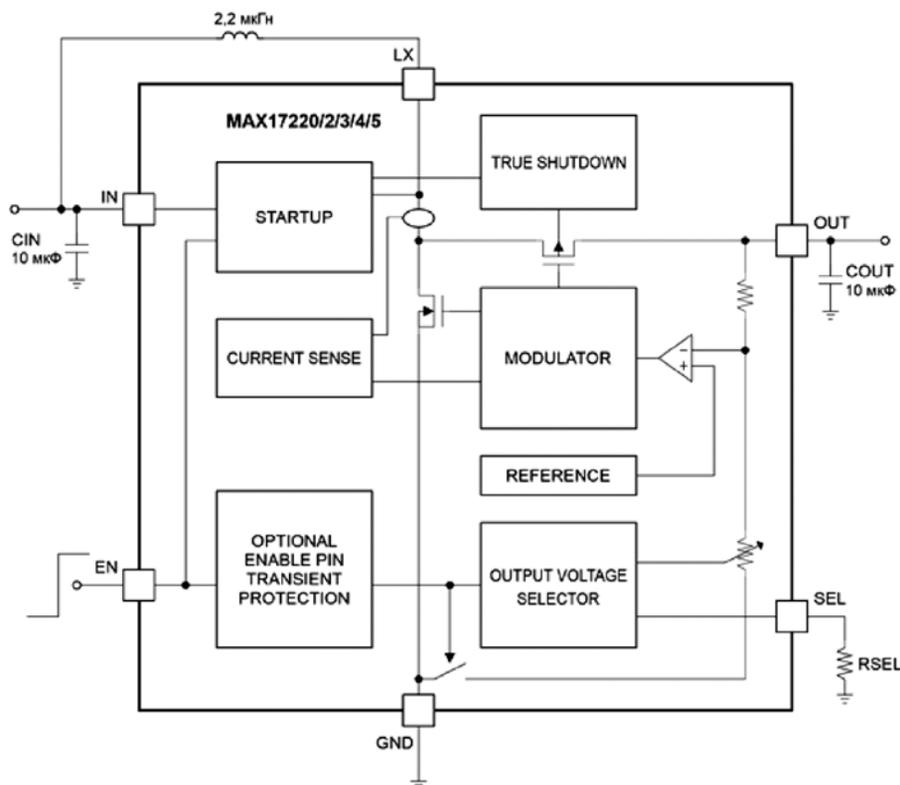


Рис. 4. Структурная схема микросхем MAX17220...25

не превышает 300 нА, а токи, потребляемые от источника питания (IQINT, ISDT), равны всего 0,5 нА. Линейка повышающих преобразователей MAX17220...25 (рис. 4) позволяет обеспечить нагрузку выходным напряжением 1,8...5 В, устанавливаемым путем выбора внешнего резистора RSEL с шагом 0,1 В. Входное напряжение при этом может находиться в диапазоне 0,4...5,5 В. На рис. 4 принимаются следующие обозначения: STARTUP – старт; TRUE SHUTDOWN – истинное отключение; CURRENT SENSE – чувствительность по току; MODULATOR – модулятор; REFERENCE – уставка; OPTIONAL ENABLE PIN TRANSIENT PROTECTION – опциональное включение защиты контактов от переходных процессов; OUTPUT VOLTAGE SELECTOR – выбор выходного напряжения.

В микросхемах MAX17220...25 реализован метод управления по току, поэтому величина индуктивности накопительного дросселя во многом определяет величину рабочей частоты преобразователя. Для большинства приложений на основе

данных микросхем можно использовать малогабаритные дроссели индуктивностью 2,2 мкГн с максимальным током 225, 500 мА или 1 А. Все это позволяет реализовывать ультракомпактные повышающие преобразователи, занимающие на печатной плате площадь, не превышающую 6,75 мм².

Для оценки реальных возможностей микросхем фирма Maxim Integrated предлагает специализированные отладочные платы. Например, для микросхем MAX17220...25 доступна отладочная плата MAX17222EVKIT, которая представлена на рис. 5 и состоит из двух независимых частей, содержащих одну и ту же микросхему MAX17222, но изготовленную в разных корпусах: µDFN и WLP.

КОНТРОЛЛЕРЫ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

Контроллеры для импульсных источников питания от компании Texas Instruments прочно заняли нишу среди недорогих, надежных, многофункциональных



Рис. 5. Внешний вид отладочной платы MAX17222EVKIT

и в то же время простых в эксплуатации ИП малой, средней и большой мощности. Областью их применения являются бытовая электроника (компьютеры, ноутбуки, DVD-проигрыватели, ЖК-телевизоры и мониторы и т. п.) и промышленная и медицинская аппаратура [13, 14].

Микросхемы TPS40192 и TPS40193 представляют синхронные понижающие ШИМ-контроллеры с выходом POWER GOOD (рис. 6) и внутренним опорным источником повышенной точности (0,5%). Широкий диапазон входного напряжения (от 4,5 до 18 В) позволяет применять эти контроллеры в составе DC/DC-преобразователей компьютерных видео/

аудиокарт, телевизоров, мониторов и прочей бытовой электроники. Все контроллеры Texas Instruments имеют в своем составе адаптивный узел, предотвращающий протекание сквозного тока через оба внешних силовых транзистора.

Микросхемы TPS40131 и TPS40132 представляют синхронные понижающие двухфазные ШИМ-контроллеры. Основная область применения: низковольтные DC/DC-источники питания с высоким выходным током (до 50 А). Отличительные особенности: встроенные драйверы для двух пар внешних силовых транзисторов, работающих в противофазе, что позволяет увеличить КПД и надежность источ-

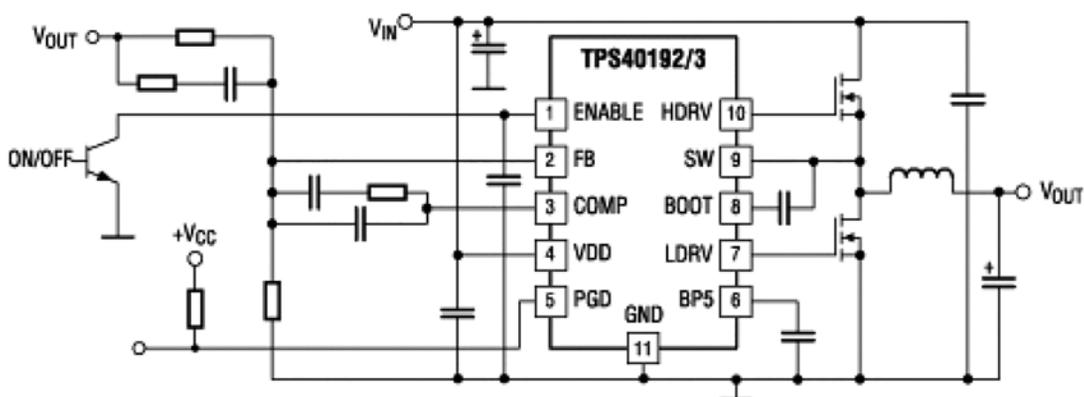


Рис. 6. Микросхемы контроллеров TPS40192/ TPS40193

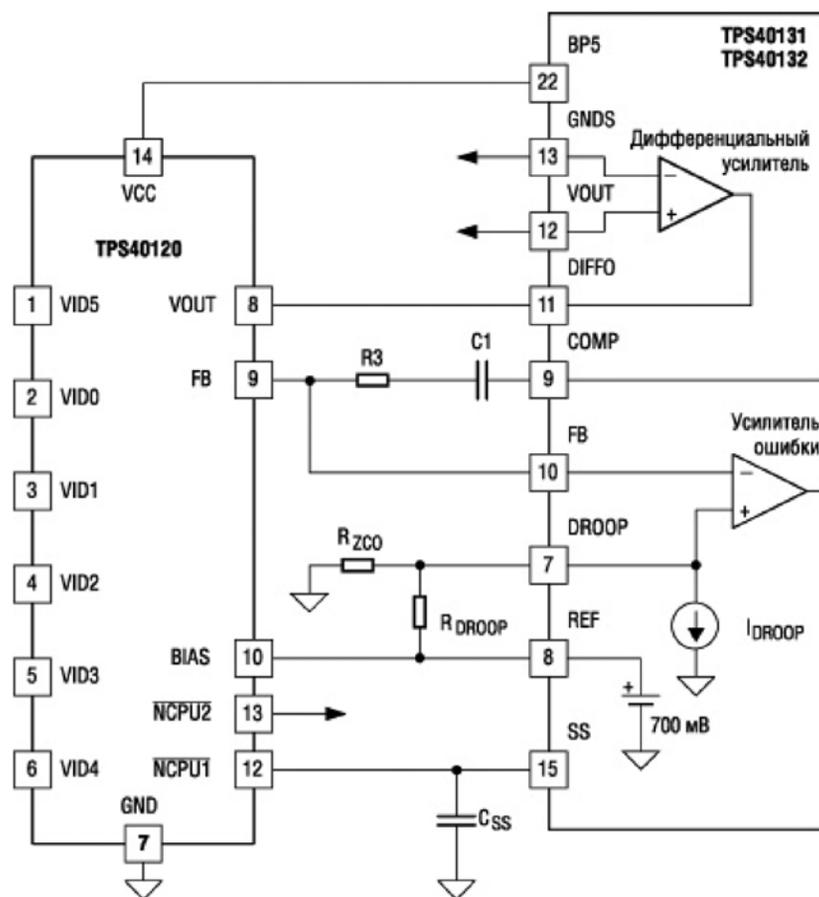


Рис. 7. Типовая микросхема подключения цифрового делителя TPS40120 с контроллерами TPS40131/ TPS40132

ника. Встроенный дифференциальный усилитель может использоваться для помехозащищенного контроля выходного напряжения на нагрузке, что в значительной степени упрощает требования к топологии печатной платы. При использовании 6-битного цифрового делителя выходного напряжения TPS40120 появляется возможность программного управления выходным напряжением источника ИП. На рис. 7 представлена типовая микросхема подключения цифрового делителя TPS40120 с контроллерами TPS40131/TPS40132.

Особняком стоят синхронные понижающие контроллеры, оптимизированные для работы на широкий диапазон нагрузки. Такие контроллеры предназначены для преобразователей напряжения аккумуляторных батарей в ноутбуках, источниках питания ЖК-мониторах и телевизорах. Примером такой микро-

схемы является TPS51120 в виде синхронного понижающего двухфазного ШИМ-контроллера. Основные особенности: при отсутствии нагрузки собственный ток потребления микросхемы в активном режиме не превышает 0,5 мА (в выключенном состоянии – 7 мкА, в режиме ожидания – 100 мкА) во всем диапазоне входного напряжения (от 4,5 до 28 В), наличие регулируемой частоты преобразования (200 кГц... 1 МГц). Для целей управления помимо данных о напряжении на нагрузке контролируется ток в катушке, т. е. реализована обратная связь по току. Фактически при наличии нагрузки контроллер работает в режиме непрерывного тока, а при малой или отключенной нагрузке – в режиме прерывистых токов. Такая схема построения позволяет увеличить КПД преобразователя во всем диапазоне нагрузок.

КОНТРОЛЛЕРЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ФИРМЫ IR

Контроллер с регулятором частоты является самым дорогостоящим звеном системы управления электроприводом. Производители стремятся сократить его стоимость путем упрощения структуры и уменьшения встроенных функциональных возможностей. Однако такие компоненты требуют программной доработки и программирования. Новое решение фирмы IR – встроенный алгоритм управления iMOTION, где программирование сводится к простому вводу рабочих параметров в интерфейсе меню. Теперь разработка электропривода становится доступной и для инженеров, не имеющих большой опыт в проектировании и программировании. Ядром платформы iMOTION являются контроллеры IRMCF3xx. Они интегрируют в одном корпусе:

1. Блок управления двигателем (Motion Control Engine™, MCE) содержит векторный алгоритм управления двигателями с постоянными магнитами (ПМ) без датчика ротора, освобождая разработчика от написания сложного программного кода управления.
2. Блок аналоговой обработки (Analog Signal Engine™, ASE) интегрирует все схемы усиления и преобразования сигнала для бездатчикового контроля с помощью одного безиндуктивного шунта. Блок MCE реализует алгоритм контроля момента за 11 мкс, что позволяет одновременно управлять как двигателем, так и схемой коррекции мощности.
3. Микроконтроллер прикладного уровня 8051 управляет работой всей системы независимо от блока MCE [15].

Простое программное обеспечение позволяет разработчику оценить работу контроллера и изменить ее под необходимый алгоритм, в зависимости от специфики применения. Таким образом, заботой разработчика теперь становится не управление приводом, а решение за-

дач оптимизации системы под конечный продукт. IRMCF3xx – единственные приборы своего класса, которые осуществляют управление сразу тремя системами электропривода.

Преимуществами контроллера IR являются: упрощение дизайна, сокращение сроков разработки, не требуют внешнего микроконтроллера.

Область применения: кондиционеры и сплит-системы, стиральные машины, вентиляторы и насосы.

Особенностями являются: ККМ и управление двумя двигателями с ПМ без датчиков ротора, не требуют программирования, пользовательское программирование через встроенный микроконтроллер 60 MIPS.

УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

Высоковольтные микросхемы драйверов (HVIC), которыми являются микросхемы драйверов, преобразующие слабый сигнал управляющей микросхемы с его последующим усилением в сигналы управления одним или более ключами (MOSFET или IGBT-транзисторами). Многие устройства управления электроэнергией (освещением, электроприводом и др.) требуют одного или нескольких ключей между землей и питанием. Потенциал затвора верхнего ключа намного превышает потенциалы сигналов управляющей микросхемы, поэтому необходима технология обеспечения высоковольтного сдвига уровня (плавающий выходной потенциал). Фирма IR разработала уникальную технологию реализации системы управления транзисторными ключами (СУТК) с плавающим потенциалом, высокая степень интеграции таких микросхемы сочетается с компактностью, надежностью и доступностью изделий.

Микросхемы драйверов HVIC – это простое, малогабаритное и недорогое решение для управления MOSFET и IGBT-транзисторами до 1200 В в приложениях мощностью до 12 кВт. Построение схемы на драйверах IR позволяет на 30 % снизить число комплектующих и в 2 раза

сократить объем платы по сравнению с дискретными решениями на оптопарах и трансформаторах. С помощью всего нескольких внешних компонентов обвязки микросхемы драйверов обеспечивают полный цикл управления при сверхвысоких рабочих частотах, высокой стойкости к пробоям и малой мощности потребления. Микросхемы драйверов генерируют необходимые для включения и выключения транзисторов ток и напряжение, поступающие с логического выхода процессора, микроконтроллера или другого логического устройства (2,5/3,3 В). Все драйверы IR совместимы с выходными сигналами CMOS, а большинство из них – с TTL-логикой. Уровень выходных токов достигает 2 А. Преимуществами контроллеров IR являются:

- время задержки менее 500 нс гарантирует работу на частотах до 100 кГц;
- увеличение контроля над скоростью и крутящим моментом двигателя;
- малая мощность рассеяния – в сравнении с оптопарами и трансформаторами (уменьшение на 30 % числа комплектующих и на 50 % площади платы);
- не требуют дополнительных источников питания;
- в 10 раз превосходят по согласованию задержки (± 50 нс);
- отсутствует деградация параметров в процессе эксплуатации;
- быстрая защита при токовой перегрузке (1,5 мкс вместо 6 мкс);
- уменьшение ЭМП и выбросов напряжения.

Особенностями HVIC являются:

- драйверы MOSFET и IGBT 600 и 1200 В в монолитном корпусе микросхемы;
- управление от логических сигналов любого уровня (от 2,5 В);
- унификация драйверов по назначению и расположению выводов – различные конфигурации микросхем драйверов;
- выходной ток до +2/–2 А обеспечивает быстрое переключение;
- встроенные функции защиты и схемы обратной связи;

- управление временем задержки;
- стойкость к отрицательному напряжению переходных процессов;
- стойкость к защелкиванию и скорости нарастания напряжения до 50 В/нс (dV/dt) – мягкий старт – недорогое бустерное питание (диод и конденсатор);
- совместимость по входу с CMOS и TTL-выходами.

1. Важным преимуществом является упрощение дизайна схемы. Управление MOSFET или IGBT верхнего плеча в полумостовых или трехфазных инверторных схемах часто сопряжено с определенными проблемами, поскольку напряжение затвора соединено с источником, а не с землей. Напряжение истока и затвора находится в плавающем состоянии относительно земли вплоть до максимального уровня напряжения питания. Фирма IR использует запатентованную технологию сдвига для работы в высоковольтных приложениях и является единственным производителем драйверов для 1200 В транзисторов. Благодаря высокой функциональности такие микросхемы позволяют значительно упростить дизайн схемы. Благодаря сверхмалому собственному току потребления питание драйвера может осуществляться с помощью недорогого бустерного каскада, в то время как схемы на оптопарах требуют дополнительных источников питания. Некоторые драйверы IR имеют дополнительную возможность одноканального или двухканального программирования времени задержки (драйверы верхнего и нижнего плеча, а также 3-фазные драйверы), что предоставляет определенную свободу разработчику, а также минимизирует встречную проводимость.

Область применения: электропривод, электронные балласты ламп, импульсные источники питания, автомобильная электроника, плазменные панели.

2. Другим преимуществом является повышенная надежность. Драйверы затвора были специально разработаны для систем управления электроприводом. Режим мягкого выключения огра-

ничивает выбросы напряжения и тока, а также уменьшает уровень помех. Кроме того, микросхемы отличаются стойкостью к нарастанию напряжения (dV/dt) до 50 В/нс и нечувствительностью к выбросам отрицательного напряжения переходных процессов. Все драйверы имеют блокировку при понижении управляющего напряжения, предотвращая аварийные ситуации в процессе включения и выключения питания.

Выходной каскад драйверов имеет буфер импульсных токов, который минимизирует перекрестную проводимость. Защита от шумов является важным моментом защиты высокого плеча транзистора с плавающим потенциалом, используемых для управления приводом. Помехозащищенность исключает возможность случайного открывания MOSFET или IGBT-транзистора благодаря использованию входных триггеров Шмитта. Дополнительную защиту от помех гарантирует разделение выводов логики и земли (в 14-выводных 600 В драйверах).

3. Высокая скорость переключения. По сравнению с решениями на оптопарах драйверы IR имеют в 10 раз лучшее согласование времени задержки между включением транзисторов верхнего и нижнего плеча (± 50 нс). Это позволит разработчикам увеличить скорость работы и управление крутящим моментом двигателя. Быстрое переключение, в свою очередь, сокращает потери мощности и позволяет использовать все преимущества быстродействующих IGBT-транзисторов.

МОСТОВЫЕ ДРАЙВЕРЫ ДЛЯ СХЕМ УПРАВЛЕНИЯ 3-ФАЗНЫМ МОСТОВЫМ ИНВЕРТОРОМ

Драйверы управления 3-фазным мостовым инвертором отличаются высокой степенью интеграции, что позволяет на 30% уменьшить число компонентов схемы и в 2 раза сократить площадь платы. Они содержат три каскада управления верхнего плеча и три каскада управле-



Рис. 8. Внешний вид 3-фазного драйвера 600 В 240 мА (PLCC-44) фирмы IR

ния нижнего плеча транзисторов, а также набор функций защиты. Некоторые модели содержат дополнительный канал управления тормозным транзистором (чоппером).

Микросхемы мостовых драйверов позволяют разработчикам увеличить эффективность схемы по сравнению с традиционными оптопарами и трансформаторами. Благодаря задержке между переключениями верхнего и нижнего транзисторов (менее 500 нс) схема может работать на частотах до 100 кГц. Микросхемы драйверов предназначены для работы во входных инверторах 110–360 В маломощного электропривода до 2 кВт. На рис. 8 приведен внешний вид 3-фазного драйвера 600 В, 240 мА (PLCC-44) производства фирмы IR [15]. Указанный драйвер может устанавливаться в силовой модуль IGBT 1200/1700 В, 700 А в 3-фазной конфигурации и 2800 А в полумостовой конфигурации на плату драйвера модуля SKiM5 фирмы SEMIKRON.

ВЫВОДЫ

Контроллеры DC/DC-конверторов получили высокое распространение в источниках питания и управления для бытовых и носимых устройствах батарейного питания. Контроллеры выполняются в виде микросхем с самой простой топологией и использованием диодов Шоттки, MOSFET-транзисторов. Микросхемы имеют частоту ШИМ свыше 100 кГц, КПД на уровне 98–99% и занимают площадь в

несколько кв. мм. Миниатюризация контроллеров стала возможной благодаря разработке полупроводниковых приборов, у которых практически отсутствуют «хвосты» обратного тока при их выключении.

Приведены структурные схемы контроллеров ведущих мировых фирм, отмечены их особенности в части дизайна, повышения надежности, удобства проектирования и наладки с использованием отладочных плат без необходимости программирования. Описаны микросхемы драйверов для управления транзисторов и силовых модулей мостовых и полумостовых схем преобразователей напряжения различной мощности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Розанов Ю.К.** Силовая электроника: учебник для вузов. – М.: Изд. дом «МЭИ», 2007. – 632 с.
2. **Ивакин В.Н., Сысоева Н.Г., Худяков В.В.** Электропередачи и вставки постоянного тока и статические тиристорные компенсаторы. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – С. 335.
3. **Kimbark E.W.** Direct Current Transmission. – Wiley Interscience, 1971.
4. **Шульга Р.Н.** Приборы на основе нитрида галлия для преобразователей напряжения и частоты // Силовая электроника. – 2021. – № 6. – С. 27–31.
5. **Шульга Р.Н.** Приборы на основе карбида кремния – основа преобразователей для электроэнергетики // Силовая электроника. – 2021. – № 6. – С. 12–16.
6. **Шульга Р.Н.** Силовые полупроводниковые приборы для электроэнергетики // Оперативное управление электроэнергетикой. – 2022. – № 1. – С. 5–13.
7. **Шульга Р.Н.** Преобразователи частоты // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2022. – № 1. – С. 3–11.
8. **Шульга Р.Н.** Преобразовательные подстанции на тиристорах // Оперативное управление электроэнергетикой. – 2021. – № 6. – С. 5–14.
9. **Шульга Р.Н.** Преобразовательные подстанции на IGBT-транзисторах // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2021. – № 12. – С. 38–50.
10. DC/DC-преобразователи. – URL: <http://www.microwave-e.ru/>
11. **Шульга Р.Н., Стальков П.М.** Системы управления и регулирования вставок.
12. DC/DC-преобразователи: принципы работы и уникальные решения Maxim Integrated. – URL: <http://www.compel.ru/>
13. **Цветков Д.** ШИМ-контроллеры STMicroelectronics // Новости электроники. – 2008. – № 3.
14. **Еськин Д.** TPS40210 и TPS40211 – новые повышающие DC/DC-контроллеры Texas Instruments // Новости электроники. – 2008. – № 15.
15. ШИМ-контроллеры для DC/DC-конверторов. – URL: <http://www.irf.ru/>



подписные индексы



41614



P7218

КОНТРОЛЬ — ГАРАНТИЯ НАДЕЖНОСТИ И ЭКОНОМИИ

smetod.panor.ru

Производственно-технический журнал «Современные методы технической диагностики и неразрушающего контроля деталей и узлов» посвящен системам технического диагностирования, применяемым в различных отраслях промышленности.

Издание публикует актуальную информацию в области неразрушающего контроля: инновационные способы неразрушающего контроля и многое другое. Статьи отличаются своей конкретностью, практической направленностью и основаны на реальном опыте специалистов в данной области.

Распространяется по подписке и на отраслевых мероприятиях.

ОСНОВНЫЕ РУБРИКИ

- Новые виды и методы контроля
- Внедрение систем диагностики
- Визуальный и измерительный контроль
- Энергоаудит и измерительный контроль
- Обзор диагностического оборудования
- Средства комплексной диагностики
- Датчики приборов неразрушающего контроля
- Зарубежный опыт
- Технический контроль на предприятиях (организация контроля и диагностики)
- Нормативные документы

УДК 621.396

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КРИВОЙ НАМАГНИЧИВАНИЯ МАГНИТНОЙ ЦЕПИ МАГНИТОУПРУГОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Амиров С. Ф., д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой электроснабжения,
Жураева К. К., докторант кафедры электроснабжения,
Ташкентский государственный транспортный университет, г. Ташкент,
Республика Узбекистан

В статье разработана математическая модель кривой намагничивания магнитной цепи магнитоупругого преобразователя при намагничивании постоянным и переменным токами с целью повышенной точности ее расчета. Дана оценка влияния переменной и постоянной составляющих магнитной индукции на характер кривой намагничивания.

Ключевые слова: магнитоупругий преобразователь, магнитная цепь, кривая намагничивания, постоянный ток, переменный ток, математическая модель, экспериментальные кривые.

DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL OF THE MAGNETIZATION CURVE OF A MAGNETIC CIRCUIT OF A MAGNETOELASTIC TRANSDUCERS

Amirov S. F., doctor of technical sciences, professor, head of the department power supply,

Jurayeva K. K., doctoral student of the department of power supply,
Tashkent State Transport Converter University, Tashkent, Republic of Uzbekistan

The article develops a mathematical model of the magnetization curve of the magnetic circuit of a magnetoelastic converter during magnetization by direct and alternating currents in order to increase the accuracy of its calculation. The influence of the variable and constant components of magnetic induction on the nature of the magnetization curve is estimated.

Keywords: magnetoelastic converter, magnetic circuit, magnetization curve, direct current, alternating current, mathematical model, experimental curves.

Магнитные элементы широко используются в информатике, измерительной технике, вычислительных и управляющих системах. Исследование и разработка новых преобразователей, основанных на использовании магнитных свойств материалов, является актуальным направлением при создании информационных систем [1,2].

ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧ

В настоящее время известен ряд работ отечественных и зарубежных ученых, посвященных вопросам разработки математической модели кривой намагничивания магнитной цепи магнитоупругого преобразователя с учетом нелинейности магнитных характеристик. Однако большинство из этих работ велось методом кусочно-линейной аппроксимации, основанной на линеаризации магнитных характеристик, где частично учитываются нелинейности, что приводит к неточному расчету, в результате чего невозможно правильно выбирать оптимальные соотношения между параметрами для получения наиболее эффективных значений основных характеристик магнитных цепей магнитоупругих преобразователей. Поэтому необходимо разработать математические модели кривой намагничивания магнитной цепи магнитоупругих преобразователей. Поэтому необходимо разработать математические модели кривой намагничивания магнитной цепи магнитоупругого преобразователя, дающую возможность решить поставленную задачу в общем виде, что является преимуществом перед графическим и графоаналитическими методами расчета. Для достижения данной цели необходимо описать магнитные характеристики аналитическими выражениями [3].

МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Так как качество разрабатываемой математической модели определяет точность расчета магнитных цепей магнитоупругого преобразователя, с учетом

нелинейности магнитных характеристик, необходимо проанализировать существующие аналитические выражения.

В системах контроля и управления находят широкое применение различные преобразователи, магнитопроводы которых намагничиваются одновременно постоянными и переменными магнитными полями. К таким преобразователям относятся магнитные цепи магнитоупругого преобразователя. Для аналитического расчета магнитных цепей требуется разработать математическую модель кривой намагничивания магнитной цепи магнитоупругого преобразователя при одновременном намагничивании постоянными и переменными магнитными полями. Кривые намагничивания магнитомодуляционных магнитных цепей в отличие от кривых намагничивания $B = f(H)$ магнитных цепей с одним магнитным полем описываются функцией с двумя неизвестными в виде $B_{\sim} = f(H_{\sim}, B_{\sim})$ или $B_{\sim} = f(H_{\sim}, B_{\sim})$, т. е. кривая намагничивания постоянного тока $B_{\sim} = f(H'_{\sim})$ является функцией подмагничивающей величины H_{\sim} или B_{\sim} , а кривая намагничивания переменного тока $B_{\sim} = f(H_{\sim})$ является функцией подмагничивающей H_{\sim} или B_{\sim} .

Экспериментальные кривые намагничивания для магнитной цепи с параллельно направленными постоянными и переменными магнитными полями даются в [4, 5], где приводятся формулы аппроксимации кривой намагничивания. Однако эти формулы пригодны для расчета магнитных цепей, подобных дросселям, магнитным усилителям или магнитных стабилизаторов, использование их при аналитическом расчете магнитомодуляционных магнитных цепей приводит к большой погрешности. Следовательно, должны быть получены аналитические выражения, описывающие кривую намагничивания магнитомодуляционных магнитных цепей с продольными и поперечными модуляциями. Для определения аналитических выражений построим экспериментальную кривую намагничивания в виде $B_{\sim} = f(H_{\sim})$ при различных значениях переменной магнитной индукции D как

для магнитной цепи с продольной модуляцией, так и для магнитной цепи с поперечной модуляцией [6].

Для использования этих кривых намагничивания при аналитическом расчете магнитных цепей необходимо выразить их математическими связями, имеющими следующий вид:

$$H_{\approx} = a \frac{a_0}{a_0 - B_a} B_1 - b \left(\frac{a_0}{a_0 - B_a} \right)^3 B_1^3 + c \left(\frac{a_0}{a_0 - B_a} \right)^5 B_1^5 \quad (1)$$

или

$$H_a = a' B_1 - b' B_1^3 + c' B_1^5,$$

где a, a', b, c – постоянные коэффициенты $a_0 = (1,7 \div 3)T$; $a = 3,26 \text{ A/мТ}$; $b = 3,68 \text{ A/мТ}^3$; $c = 2,96 \text{ A/мТ}^5$;

B_a – амплитудное значение магнитной индукции переменного тока, причем $B_a = (0,5 \div 1,2)T$ и B_a ;

B_1 – магнитная индукция постоянного тока при наличии индукции B_a .

Кривые, определенные по формуле (1) при $B_a = 0,3; 0,6; 0,9; 1,2; T$; для продольной модуляции с $a_0 = 1,8T$ и для поперечной модуляции с $a_0 = 1,7T^{-1}$, приведены в [6].

Там же показано, что расчетные кривые отличаются от экспериментальных кривых не больше, чем на 5–6%, а в некотором участке кривой намагничивания эта разность составляет меньше, чем 1%.

Полученные кривые намагничивания магнитной цепи с продольной и их формулы аппроксимации успешно могут применяться для расчета магнитомодуляционных магнитных цепей, где модулируется постоянное магнитное поле, соответствующее области кривой намагничивания выше релейской.

Магнитным цепям магнитоупругого преобразователя как с поперечной, так и с продольной модуляцией, позволяющей преобразовать в переменное ЭДС в диапазоне $E_x = 0 \div 100[\text{MV}]$, и тока $I_x = 0 \div 100[\text{MA}]$, соответствует ряд конструкций с $B_{\text{max}} = 0,1 \text{ [Т]}$. После компенсации B_{max} компенсирующей магнитной индукцией $B_{\approx K}$ их разность $\Delta B_{\approx} (\Delta B_{\approx} =$

$= B_{\approx \text{max}} - B_{\approx K}$) стремится к минимуму $B_{\approx \text{min}}$, который соответствует порогу чувствительности усилителя ($B_{\approx \text{min}} = E$). Если взять порог чувствительности усилителя $E^1 = 10 \cdot 10^{-6} \text{ В}$, то $B_{\approx \text{min}} = 1 \cdot 10^{-4}[\text{Т}]$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что приведенное значение индукции $B_{\approx \text{min}}$ очень мало по сравнению с переменной магнитной индукцией B_{\approx} и почти не влияет на характер кривой намагничивания магнитной цепи как при продольной, так и при поперечной модуляции.

Показано, что при маленьком сигнале постоянного тока зависимости $\mu = f(\omega t)$ и $\mu_g = f(\omega t)$ соответственно определяются законами изменения магнитной индукции B_{all} и B_{al} или напряженности H_{all} , H_{al} и почти не зависят от величины магнитной индукции B_{\approx} или напряженности H_{\approx} постоянного тока.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Roman M.** Instrumentation and Measurement in Electrical Engineering. – USA: Brown Walker Press, 2011.
2. **Bohnert K.A.** Revolution in high de current measurement / K. Bohnert, P. Guggenbach // ABB Review. – 2005. – Vol. 1. – P. 6–10.
3. **Новиков В.Ф., Протобок В.В., Остахов В.Н.** Влияние переменных механических напряжений на гармонический спектр магнитоупругого преобразователя. – Тюмень: Вектор Бук, 2005. – 46 с.
4. **Матюк В.Ф., Осипов А.А.** Математические модели кривой намагничивания и петель магнитного гистерезиса. Ч. I. Анализ моделей // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2011. – № 2. – С. 33–35.
5. **Бедрицкий И.М., Жураева К.К.** Погрешности расчетов ферромагнитных элементов стабилизаторов напряжения и тока параметрической природы // Мухаммад ал-Хоразмий авлодлари. – 2020. – № 1 (11). – С. 90–94.
6. **Сафаров А.М.** Повышение точности расчета магнитных цепей электромагнитных преобразователей больших токов // Мухаммад ал-Хоразмий авлодлари. – 2021. – № 2 (16). – С. 156–160.

УДК 621.311, 621.331

УЧЕТ ГАРМОНИЧЕСКИХ ИСКАЖЕНИЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ, ПИТАЮЩИХ ТЯГОВЫЕ ПОДСТАНЦИИ

^{1,2} **Крюков А. В.**, д-р техн. наук, профессор,

¹ **Черепанов А. В.**, канд. техн. наук, доцент,

¹ **Середкин Д. А.**, аспирант,

¹ Иркутский государственный университет путей сообщения,

² Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск

В сетях 110–220 кВ, примыкающих к подстанциям, питающим тяговые сети 25 и 2×25 кВ железных дорог переменного тока, наблюдаются значительные гармонические искажения, в ряде случаев превышающие предельно допустимые величины. Поэтому электромагнитные поля, создаваемые этими линиями, содержат значительную долю высших гармоник. Этот фактор необходимо учитывать при оценке помехоустойчивости различного оборудования, а также при определении условий электромагнитной безопасности. Высшие гармоники усложняют картину поляризации, и наиболее оптимальный путь моделирования, реализованный в программном комплексе Fazonord, состоит в раздельном анализе полей для разных гармоник с последующей их суперпозицией. В статье представлены результаты исследований, выполненных применительно к сетям 220 кВ, реализованным на основе типовых трехфазных ЛЭП, а также перспективных линий шестифазной конструкции. Полученные результаты подтвердили важность учета гармонических искажений при моделировании ЭМП, создаваемых линиями электропередачи, примыкающими к тяговым подстанциям.

Ключевые слова: моделирование электромагнитных полей, высоковольтные линии электропередачи, учет гармонических искажений.

ACCOUNTING FOR HARMONIC DISTORTIONS IN MODELING ELECTROMAGNETIC FIELDS OF POWER LINES, SUPPLYING TRACTION SUBSTATIONS

^{1,2} **Kryukov A. V.**, doctor of technical sciences, professor,

¹ **Cherepanov A. V.**, PhD of technical sciences, associate professor,

¹ **Seredkin D. A.**, post-graduate student,

¹ Irkutsk State Transport University,

² Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk

In 110–220 kV networks adjacent to substations supplying traction networks of 25 and 2×25 kV AC railways, significant harmonic distortions are observed, in some cases exceeding the maximum permissible values. Therefore, the electromagnetic fields created by these lines contain a significant proportion of higher harmonics. This factor must be taken into account when assessing the noise immunity of various equipment, as well as when determining the conditions for electromagnetic safety. Higher harmonics complicate the picture of polarization, and the most optimal way of modeling, implemented in the Fazonord software package, consists in a separate analysis of the fields for different harmonics with their subsequent superposition. The article presents the results of studies carried out in relation to 220 kV networks, implemented on the basis of typical three-phase transmission lines, as well as promising lines of a six-phase design. The results obtained confirmed the importance of taking into account harmonic distortions when modeling EMF created by power transmission lines adjacent to traction substations.

Keywords: modeling of electromagnetic fields, high-voltage power lines, accounting for harmonic distortions.

ВВЕДЕНИЕ

Тяговые сети железных дорог (ЖД) переменного тока являются источниками высших гармоник (ВГ), напряжения которых часто превышают нормативные значения [1]. Российские выпрямительные электровозы с номинальным напряжением 25 кВ наряду с потреблением тока из контактной сети генерируют значительные ВГ, что приводит к существенным искажениям кривых токов и напряжений. Тяговые гармоники трансформируются в питающие сети напряжением 110–220 кВ, что приводит к увеличению гармоник сетевых напряжений. Поэтому электромагнитные поля (ЭМП), создаваемые питающими тяговые подстанции (ТП) линиями электропередачи, содержат значительную долю ВГ [2]. Этот фактор необходимо учитывать при оценке помехоустойчивости различного оборудования, а также при определении условий электромагнитной безопасности. Высшие гармоники усложняют картину поляризации [3], и наиболее оптимальный путь моделирования состоит в раздельном анализе полей для разных

гармоник с последующей их суперпозицией.

Для повышения надежности и энергоэффективности электрических сетей, а также улучшения качества электроэнергии возможно использовать перевод высоковольтных ЛЭП в многофазный режим [4–6]. Получение многофазной системы напряжений может быть реализовано на основе специальных трансформаторов [7]. Изучению многофазных ЛЭП, в частности, шестифазных, посвящен ряд работ. Так, например, в статьях [8–10] приведены результаты исследования условий работы релейной защиты шестифазной линии электропередачи. Вопросам конструктивной модификации и компоновки подстанций для ЛЭП этого типа посвящена работа [11]. Аспекты стабильности шестифазной системы передачи рассмотрены в статье [12]. Результаты анализа неисправностей шестифазных линий электропередачи представлены в работах [13–15]. Коронирование и полевые эффекты на работающей шестифазной линии электропередачи исследованы в статье [16]. Результаты анализа шестифазной линии приведены в работе [17].

Ниже представлены результаты исследований, направленных на дальнейшее развитие методов моделирования электромагнитных полей ЛЭП с учетом гармонических искажений [3]. Моделирование проводилось для системы электроснабжения железной дороги, внешняя сеть которой была реализована в двух вариантах: на основе трехфазных ЛЭП 220, а также перспективных линий шестифазной конструкции.

МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ

Расчетное определение напряженностей ЭМП требует предварительного расчета режима однофазной тяговой сети и трехфазной системы внешнего электроснабжения. Нестационарность и изменение местоположения тяговых нагрузок создают дополнительные трудности расчета режимов, в значительной степени преодоленные для основной частоты в работе [18].

Учет изменения величин и пространственного расположения тяговых нагрузок производится путем расчетов серии режимов, отвечающих заданным моментам времени. Схемы для таких расчетов, называемые мгновенными, обычно формируются с дискретностью в 1 мин. Электромагнитное поле тяговой сети определяется напряжениями и токами проводов контактной сети и рельсов. Токи рельсов рассчитываются как наведенные токи заземленных проводников, расположенных на поверхности земли. Электрическое и магнитное поля параллельных друг другу прямолинейных проводов являются плоско поляризованными, с изменением

положения векторов напряженностей в течение периода.

Высшие гармоники усложняют картину поляризации, и наиболее оптимальный путь моделирования состоит в раздельном анализе полей для разных гармоник с последующей их суперпозицией. Подробное описание методики моделирования ЭМП с учетом ВГ, реализованной в программном комплексе Fazonord, приведено в работе [3].

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Рассматривалась достаточно типичная система электроснабжения магистральной ЖД, включающая шесть тяговых подстанций и пять линий электропередачи 220 кВ, выполненных проводами АС-240. На ТП были установлены трансформаторы типа ТДТНЖ-40000/220/27,5 кВ. Тяговая сеть двухпутного участка включала пять межподстанционных зон протяженностью в 50 км. Моделировалось движение шести поездов массой 3900 т в четном и нечетном направлениях (рис. 1, а). Зависимости токов, потребляемых локомотивами от их положения в пространстве, показаны на рис. 1 б, в.

Спектральный состав токов электропоездов иллюстрируется диаграммой, приведенной на рис. 2. Часть схемы расчетной модели, отвечающая ЛЭП, для которой определялись ЭМП, представлена на рис. 3. Максимальные значения суммарных коэффициентов гармоник для этой ЛЭП сведены в табл. 1.

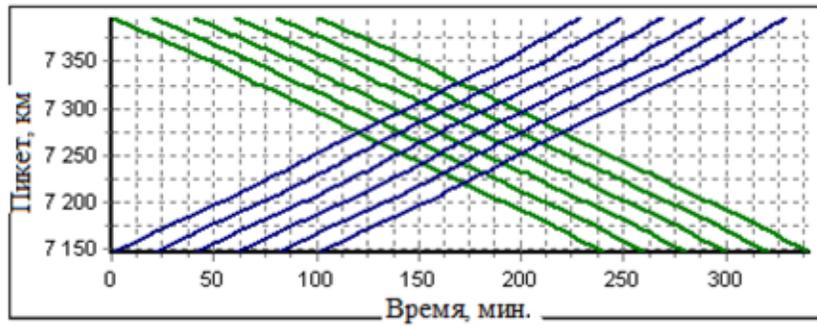
Результаты моделирования представлены на рис. 4–15.

На рис. 4 показаны графики, характеризующие вариацию напряженностей

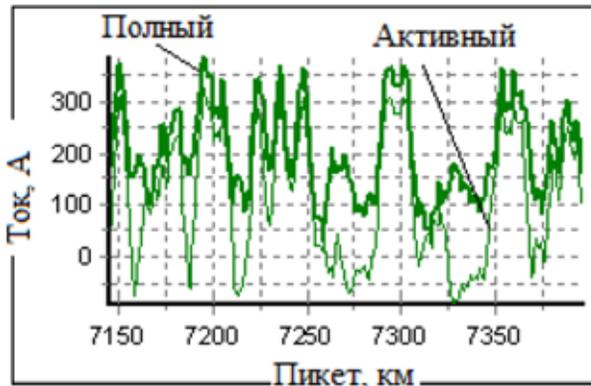
Таблица 1

Максимумы суммарных коэффициентов гармоник, %

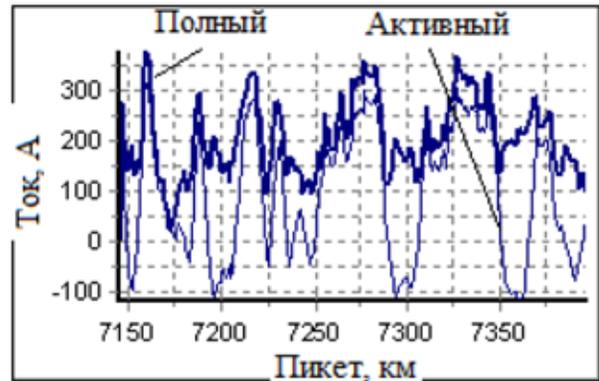
Тип ЛЭП	Номера узлов по рис.					
	54	55	56	59	57	58
Трехфазная	12,29	17,47	14,4	17,37	14,25	12,67
Шестифазная	12,15	17,37	14,19	17,24	14,29	12,11
Различие, %	1,14	0,57	1,46	0,75	-0,28	4,42



а)



б)



в)

Рис. 1. График движения (а) и зависимости токов поездов массой 3900 т от пикета (б, в): б – нечетный наезд массой 3900 т; в – четный той же массы

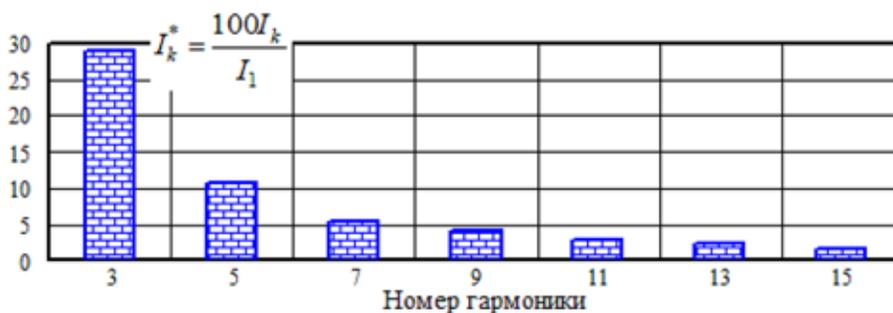


Рис. 2. Спектральный состав токов электровозов

электрического и магнитного полей. Зависимости максимальных и средних значений составляющих напряженностей от координаты x оси, направленной перпендикулярно трассе ЛЭП, представлены на рис. 5–12.

Зависимости максимумов амплитуд напряженностей от координаты x показаны на рис. 13. Годографы векторов напряженностей представлены на рис. 14. Они отвечают точке с координатами $x = 0, y = 1,8$ и 175-й минуте времени моделирования.

На рис. 14 приведены графики, иллюстрирующие отличия максимумов амплитуд напряженностей на основной частоте с учетом ВГ.

Представленные выше результаты моделирования позволяют сделать следующие выводы:

1. Рис. 4 демонстрирует существенную вариабельность напряженностей ЭМП, связанную с движением поездов. Максимумы амплитуд напряженностей электрического поля ЛЭП, рассчитанные для трехфазной

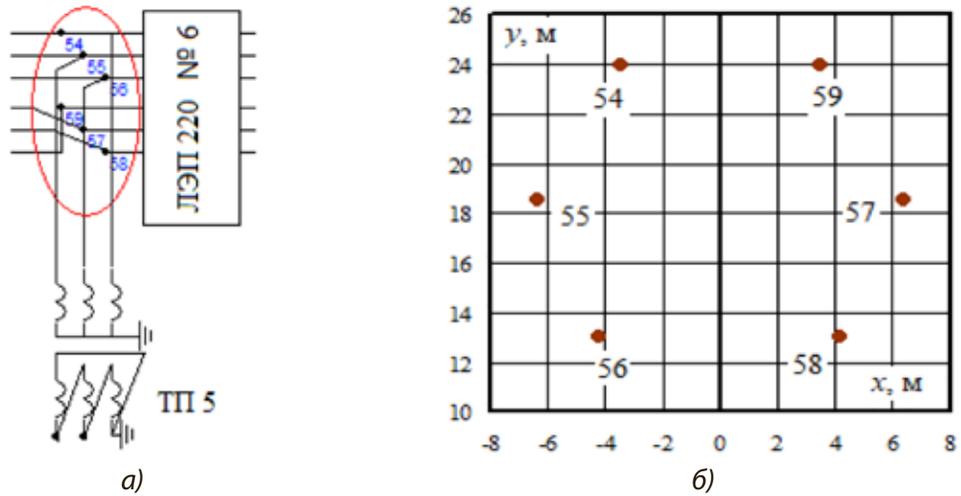


Рис. 3. Часть схемы расчетной модели (а), отвечающая ЛЭП, для которой рассчитывались ЭМП, и расположение проводов в пространстве (б): эллипсом выделено место моделирования ЭМП

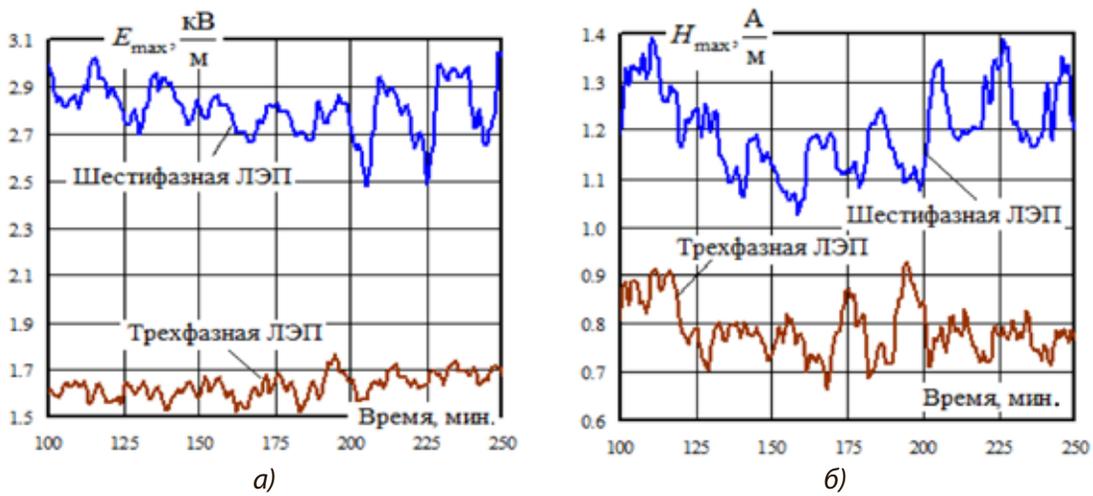


Рис. 4. Изменения напряженностей во времени в точке с координатами $x = 0; y = 1,8$ м: а – напряженности электрического поля; б – напряженности магнитного поля

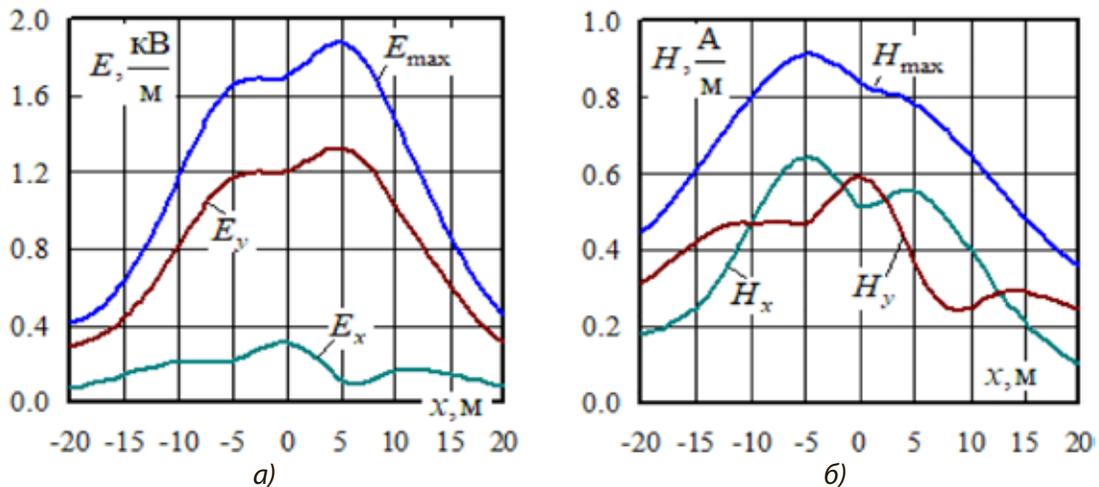


Рис. 5. Зависимости максимальных значений составляющих напряженностей ЭМП на частоте 50 Гц от координаты x для трехфазной ЛЭП: а – составляющие напряженности электрического поля; б – составляющие напряженности магнитного поля

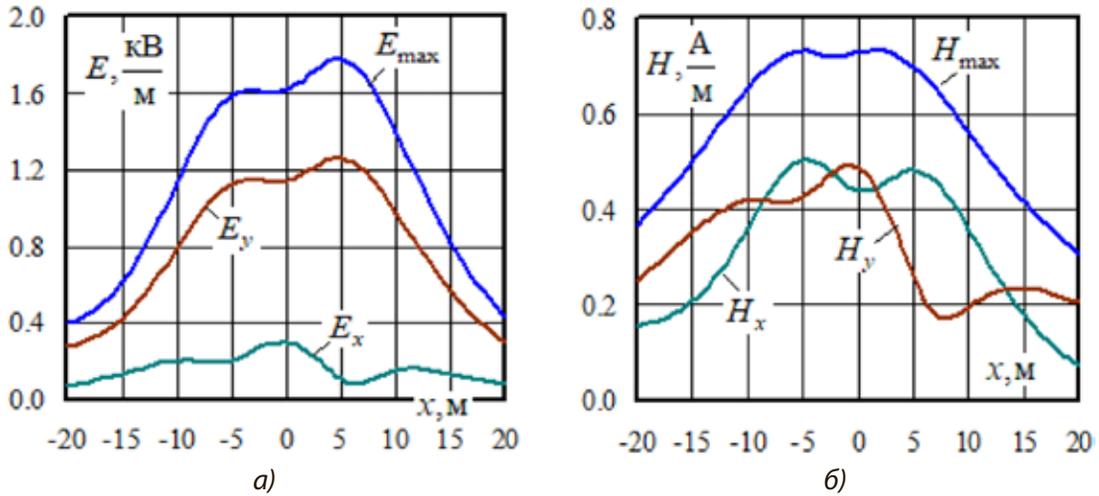


Рис. 6. Зависимости средних значений составляющих напряженностей ЭМП на частоте 50 Гц от координаты x для трехфазной ЛЭП: а – составляющие напряженности электрического поля; б – составляющие напряженности магнитного поля

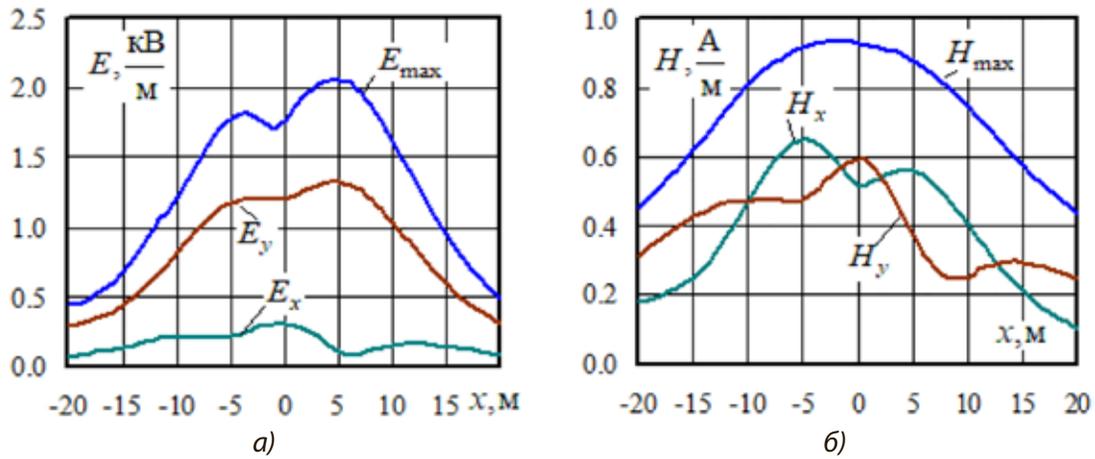


Рис. 7. Зависимости максимальных значений составляющих напряженностей ЭМП на частотах ВГ от координаты x для трехфазной ЛЭП: а – составляющие напряженности электрического поля; б – составляющие напряженности магнитного поля

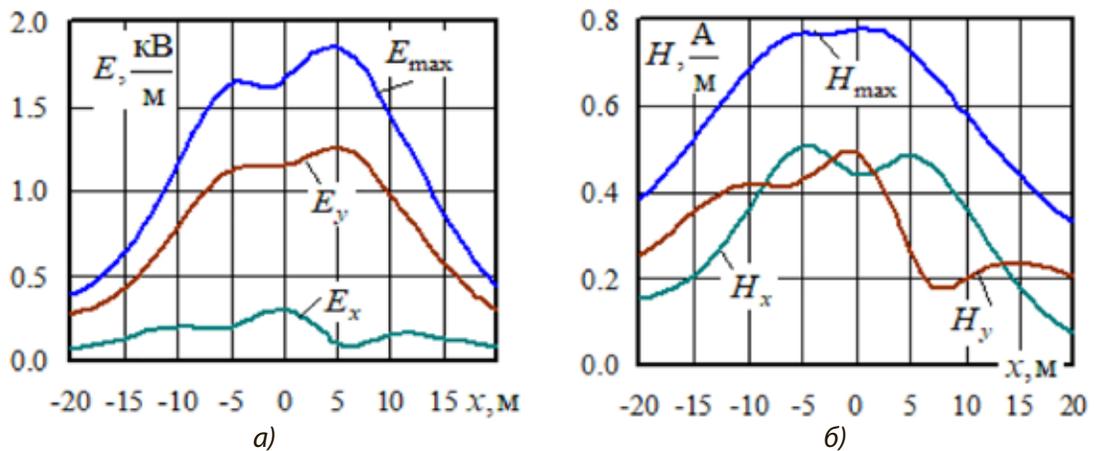


Рис. 8. Зависимости средних значений составляющих напряженностей ЭМП на частоте ВГ от координаты x для трехфазной ЛЭП: а – составляющие напряженности электрического поля; б – составляющие напряженности магнитного поля

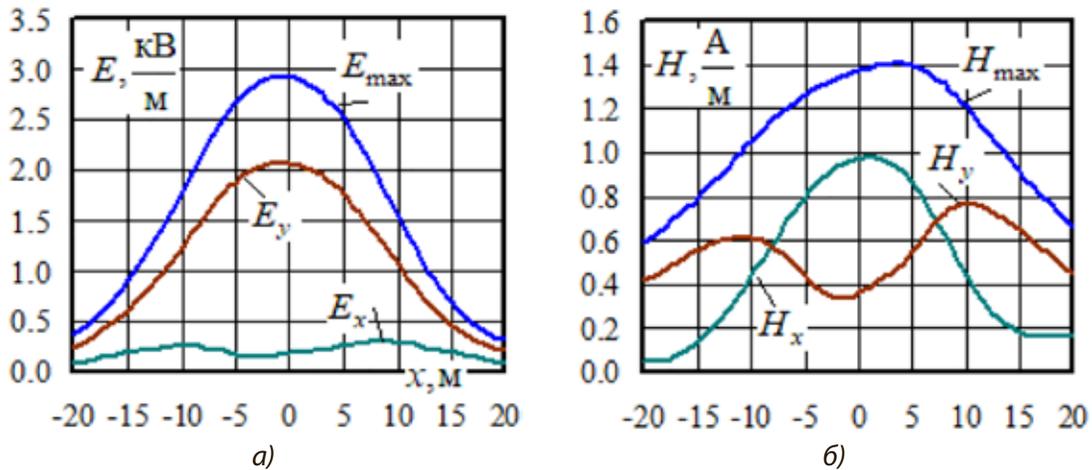


Рис. 9. Зависимости максимальных значений составляющих напряженностей ЭЛШ на частоте 50 Гц от координаты x для шестифазной ЛЭП: а – составляющие напряженности электрического поля; б – составляющие напряженности магнитного поля

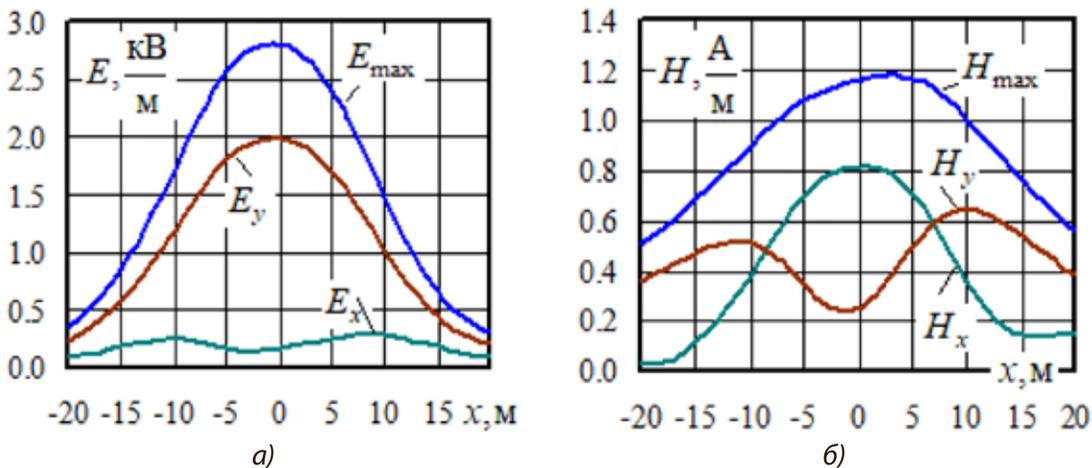


Рис. 10. Зависимости средних значений составляющих напряженностей ЭМП на частоте 50 Гц от координаты x для шестифазной ЛЭП: а – составляющие напряженности электрического поля; б – составляющие напряженности магнитного поля

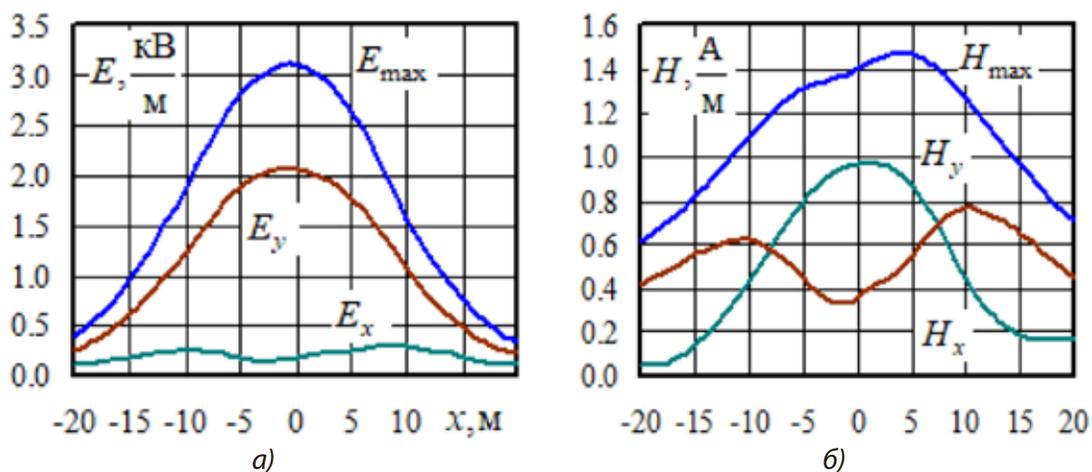


Рис. 11. Зависимости максимальных значений составляющих напряженностей ЭМП на частоте ВЧ от координаты x для шестифазной ЛЭП: а – составляющие напряженности электрического поля; б – составляющие напряженности магнитного поля

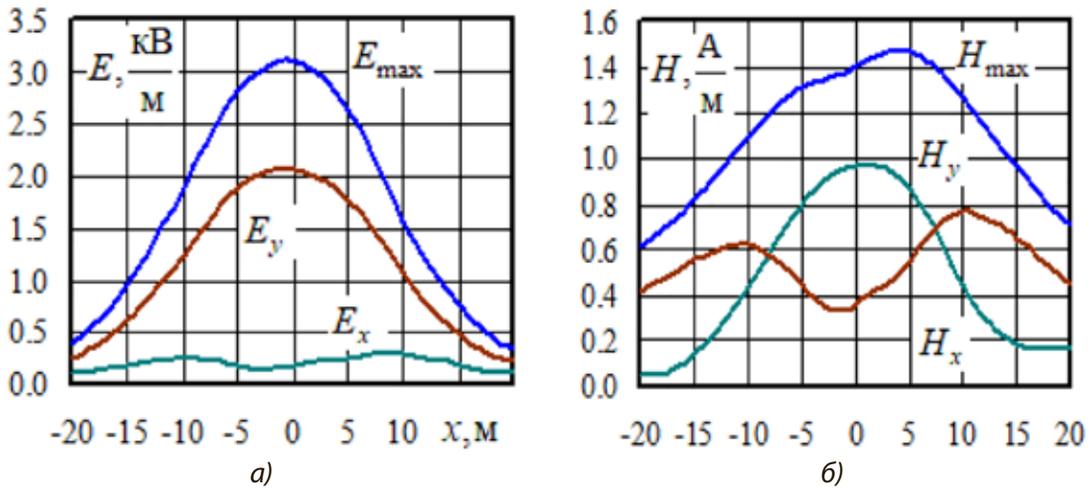


Рис. 12. Зависимости средних значений составляющих напряженностей ЭМП на частоте ВГ от координаты x для шестифазной ЛЭП: а – составляющие напряженности электрического поля; б – составляющие напряженности магнитного поля

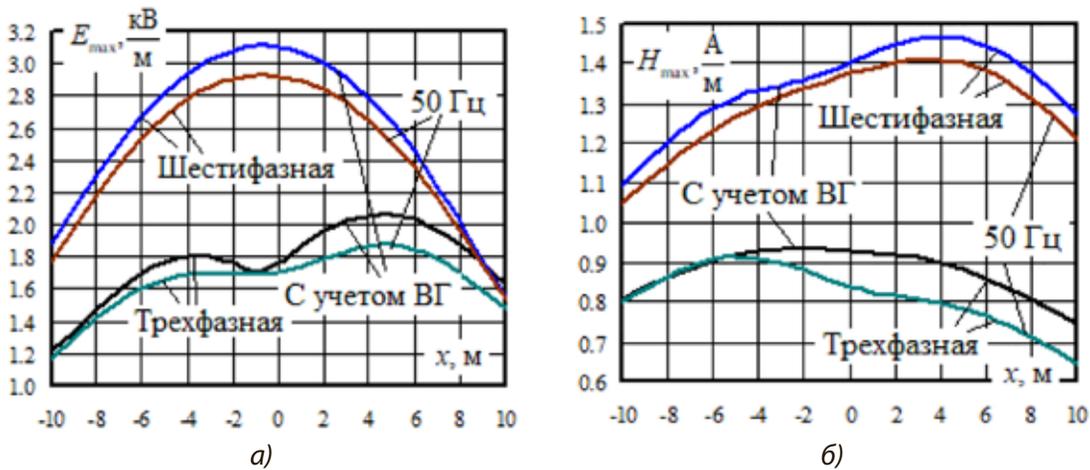


Рис. 13. Сравнительные трафики: а – максимумы амплитуд напряженности электрического поля; б – максимумы амплитуд напряженности магнитного поля

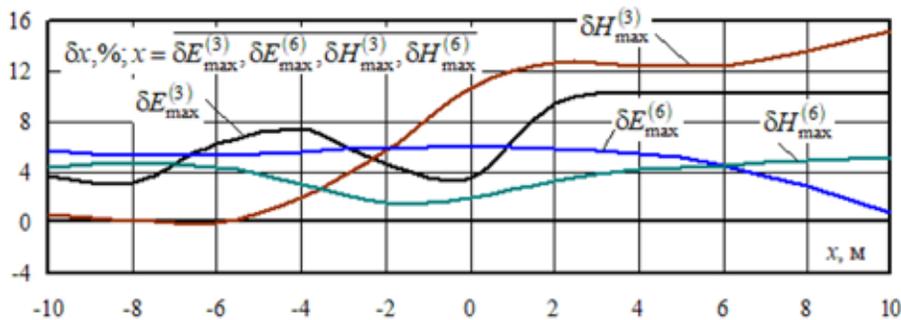


Рис. 14. Отличия максимумов амплитуд напряженностей на основной частоте

с учетом ВГ: $\delta E_{\max} = \frac{E_{\max}^{(hx)} - E_{\max}^{(50)}}{E_{\max}^{(50)}} \cdot 100$; $E_{\max}^{(hx)}$ – максимум амплитуды электрического поля с учетом ВГ; $E_{\max}^{(50)}$ – максимум амплитуды электрического поля на основной частоте $\delta H_{\max} = \frac{H_{\max}^{(hx)} - H_{\max}^{(50)}}{H_{\max}^{(50)}} \cdot 100$; $H_{\max}^{(hx)}$ – максимум амплитуды магнитного поля с учетом ВГ; $H_{\max}^{(50)}$ – максимум амплитуды магнитного поля на основной частоте

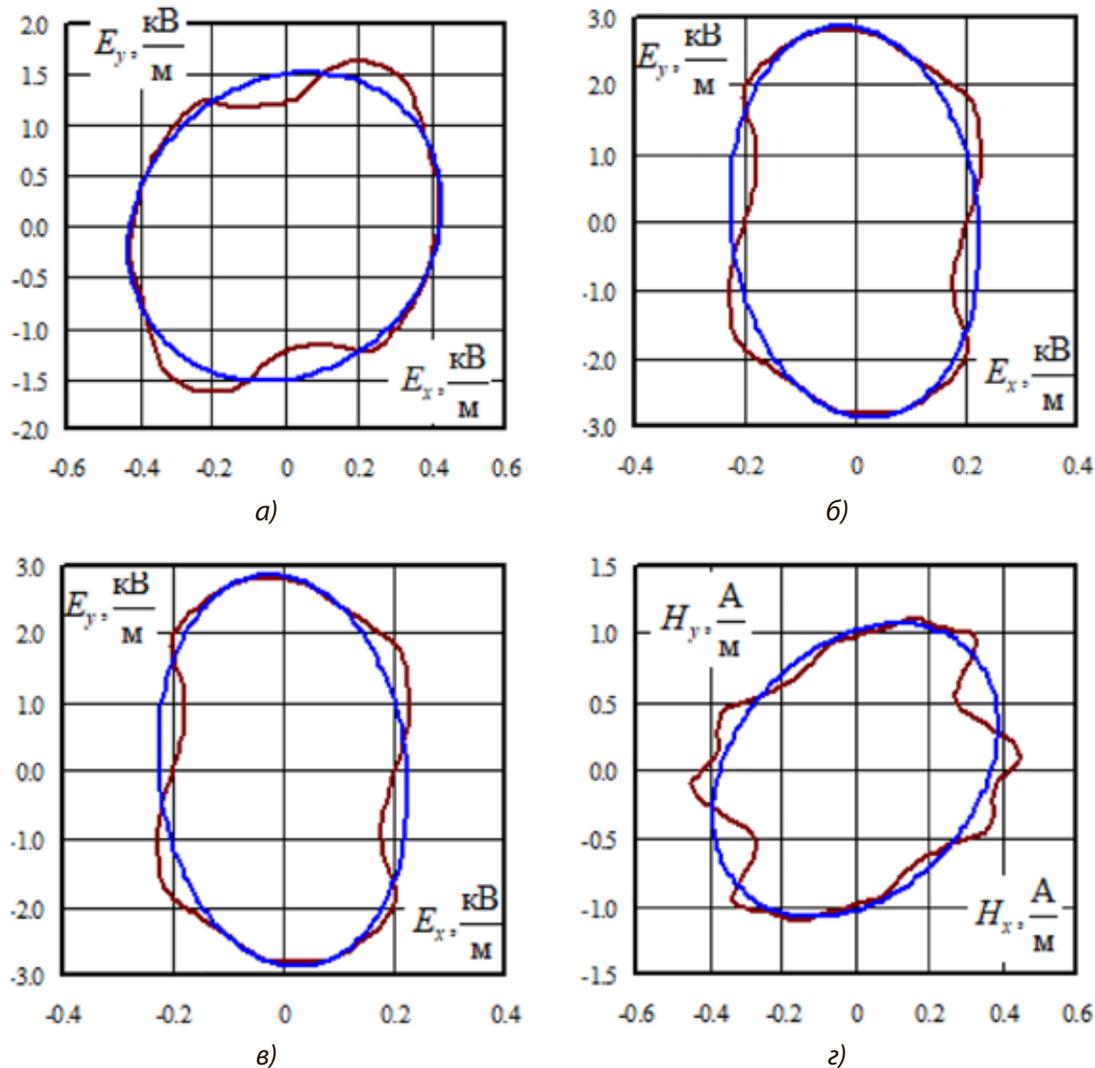


Рис. 15. Годографы векторов напряженностей в точке с координатами $x = 0$ м; $y = 1,8$ м: а, в – электрическое поле; б, г – магнитное поле; а, б – трехфазная ЛЭП; в, г – шестифазная ЛЭП

ЛЭП, ниже аналогичных показателей для шестифазной линии на 1,36...82% (рис. 4–13). По магнитному полю различия лежат в пределах 36...71%. Следует отметить, что данные различия характерны для конкретной фазировки участка ЛЭП. При транспонировании ЛЭП фазировки проводов могут меняться; при этом уровни напряженностей ЭМП для шестифазной ЛЭП могут быть меньше, чем у трехфазной. Подробно этот вопрос рассмотрен в работе [5].

2. При учете высших гармоник результирующие величины напряженно-

стей ЭМП могут заметно увеличиваться (рис. 14), что подтверждает важность учета гармонических искажений при моделировании ЭМП, создаваемых линиями электропередачи, примыкающими к тяговым подстанциям.

3. Годографы векторов напряженностей ЭМП (рис. 15) показывают наличие искажений эллипсов из-за влияния высших гармоник токов и напряжений.

Исследования выполнены в рамках государственного задания «Проведение прикладных научных исследований» по

теме «Повышение качества электрической энергии и электромагнитной безопасности в системах электроснабжения железнодорожного транспорта, оснащенных устройствами Smart Grid, путем применения методов и средств математического моделирования на основе фазных координат», проект № АААА-А20-120111690029-4 от 16.11.2020.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Мустафа Г.М., Гусев С.И., Ершов А.М.** и др. Расчет мощности активного фильтросимметрирующего устройства для нормализации напряжения на шинах ПС 220 кВ «Сковородино» // Электрические станции. – 2015. – № 3. – С. 46–53.
2. Управление режимами систем электроснабжения железных дорог на основе технологий интеллектуальных сетей (smart grid) / Г.О. Арсентьев, Ю.Н. Булатов, А.В. Крюков [и др.]. – Иркутск: ИргУПС, 2019. – 414 с.
3. **Buyakova N.V., Zakaryukin V.P., Kryukov A.V., Seredkin D.A.** Simulation of Electromagnetic Fields Generated by Overhead Power Lines and Railroad Traction Networks // Energy Systems Research. – 2021. – Vol. 4, N 2. – Pp. 70–88.
4. **Гершенгорн А.И.** Многофазные линии электропередачи высокого и сверхвысокого напряжения // Электрические станции. – 1994. – № 8. – С. 67–70.
5. **Закарюкин В.П., Крюков А.В., Ван Лэ Тхао.** Комплексное моделирование мультифазных, многоцепных и компактных линий электропередачи. – Иркутск: ИргУПС, 2020. – 296 с.
6. **Закарюкин В.П., Крюков А.В., Лэ Ван Тхао.** Моделирование электромагнитных полей, создаваемых многофазными линиями электропередачи // Вестник ИргТУ. – 2016. – № 3 (110). – С. 67–75.
7. **Красильникова Т.Г., Манусов В.З.** Фазо-преобразующий трансформатор для четырехфазных электропередач // Научный вестник НГТУ. – 2010. – № 3 (40). – С. 143–151.
8. **Apostolov A.P., Raffensperger R.G.** Relay protection operation for faults on Nyseg's six-phase transmission line // IEEE Trans. on Power Delivery. – 1996. – Vol. 11, N 1. – P. 191–196.
9. Protection of 138 kV six phase transmission systems / W.C. Guyker, W.H. Booth, J.R. Konragunta, E.K. Stanek, S.S. Venkata // Proceedings of the Pennsylvania Electrical Association's (PEA). Electric Relay Committee Meeting in Tamiment, Pennsylvania. – 1979. – Vol. PAS-101, N 5. – P. 1203–1218.
10. Selection and application of relay protection for six phase demonstration project / R.V. Rebbapragada, H. Panke, H.J.Jr. Pierce, J.R. Stewart, L.J. Opper // IEEE Trans. Power Delivery. – 1992. – Vol. 7, N 4. – P. 1900–1911.
11. Design modification and layout of utility substations for six phase transmission / R.V. Rebbapragada, M.T. Brown, T.F. Dorazio, J.R. Stewart // IEEE Trans. Power Delivery. – 1993. – Vol. 8, N 1. – P. 24–30.
12. **Chandrasekaran P., Elangovan S., Subrahmanian P.S.** Stability aspect of a six phase transmission system // IEEE Trans. Power Systems. – 1986. – Vol. 1, N 1. – P. 108–111.
13. 138-kV, six-phase transmission system: fault analysis / S.S. Venkata, W.C. Guyker, W.H. Booth, J. Kondragunta, N.K. Saini, E.K. Stanek // IEEE Power Engineering Review. – 1982. – Vol. PER-2, N 5. – P. 40–41.
14. **Nanda S.P., Tiwari S.N., Singh L.P.** Fault analysis of six phase systems / S.P. Nanda // IEEE Power system protection. – 1981. – Vol. 4, N 3. – P. 1–6.
15. Six-phase (mul-ti-phase) power transmission systems: fault analysis / N.B. Bhatt, S.S. Venkata, W.C. Guyker, W.H. Booth // IEEE Trans. Power Apparatus and Systems. – 1977. – Vol. 96, N 3. – P. 758–767.
16. **Stewart J.R., Opper L.J., Richeda R.J.** Corona and field effects experience on an operating utility six-phase transmission line // IEEE Trans. Power Delivery. – 1998. – Vol. 13, N 4. – P. 1363–1369.
17. Utility system demonstration of six phase power transmission / M.T. Brown, R.V. Rebbapragada, T.F. Dorazio, J.R. Stewart // Proceedings of IEEE Power Engineering Society Transmission and Distribution Conference. – 1991. – P. 983–990.
18. **Закарюкин В.П., Крюков А.В.** Сложнонесимметричные режимы электрических систем. – Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 2005. – 273 с.

УДК 621.316.13

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Листюхин В. А., аспирант кафедры информационно-измерительной техники и метрологии

e-mail: Vladyan4iklist@yandex.ru,

Печерская Е. А., зав. кафедрой информационно-измерительной техники и метрологии

e-mail: pea1@list.ru,

Пензенский государственный университет, г. Пенза

В данной статье рассмотрен вопрос повышения надежности распределительных электрических сетей. Проведен анализ количества технологических нарушений и показателей качества оказываемых потребителям услуг по передаче электрической энергии. Рассмотрены перспективы внедрения интеллектуальных систем Smart grid. Представлены основные технические решения, которые позволят электросетевым компаниям повысить уровень надежности сети и повысить качество оказываемых потребителям услуг.

Ключевые слова: надежность, воздушные линии электропередачи, электроэнергетика, автоматизация, аварийность, показатели качества.

IMPROVING THE RELIABILITY OF ELECTRICAL DISTRIBUTION NETWORKS, DEVELOPMENT PROSPECTS

Listyukhin V. A., postgraduate student of the department of information and measurement technology and metrology,

Pecherskaya E. A., head of the department information and measurement technology and metrology,

Penza State University, Penza

This article discusses the issue of improving the reliability of distribution electrical networks. The analysis of the number of technological violations and quality indicators of electric power transmission services provided to consumers has been carried out. The prospects for the introduction of Smart grid intelligent systems are considered. The main technical solutions that will allow electric grid companies to increase the level of network reliability and improve the quality of services provided to consumers are presented.

Keywords: reliability, overhead power lines, electric power industry, automation, accident rate, quality indicators.

В данной статье речь пойдет о повышении надежности воздушных линий распределительных электрических сетей. На сегодняшний день актуальна тенденция внедрения современных интеллектуальных технологий Smart grid на объекты электросетевого комплекса Российской Федерации. Современные условия создают возможность для реализации технологии Smart grid в распределительных электрических сетях 0,4–20 кВ. Существующие технологические решения открывают широкий спектр перспектив для реализации поставленных задач повышения надежности.

АКТУАЛЬНОСТЬ ЗАДАЧИ

Сегодня в электросетевом комплексе РФ остро стоит вопрос обеспечения надежности воздушных линий электропередачи (ВЛ) 0,4–20 кВ. Это обусловлено высокой степенью износа оборудования и ростом числа аварийных отключений [1]. На рис. 1 представлен анализ аварийности в распределительных электрических сетях 0,4–20 кВ [2].

На рис. 2 представлен анализ причин аварий на воздушных линиях электропередачи распределительных сетей 0,4–20 кВ.

Основная часть аварий в распределительных сетях происходит на ВЛ, порядка 95 % от общего числа [3]. В электросетевом комплексе РФ наблюдается тенденция внедрения интеллектуальных систем Smart grid, одной из целей которой является обеспечение надежности ВЛ распределительных сетей 0,4–20 кВ. Данная тенденция развития в отечественной электроэнергетике получила название «цифровизация». Основными задачами обеспечения надежности распределительных сетей являются [4]:

- сокращение времени перерыва электроснабжения потребителей при аварийных отключениях;
- сокращение времени поиска места повреждения;
- сокращение числа операций с коммутационными аппаратами;
- исключение рисков травматизма персонала.



Рис. 1. Анализ аварийности в распределительных электрических сетях 0,4–20 кВ



Рис. 2. Анализ причин аварий на воздушных линиях электропередачи распределительных сетей 0,4–20 кВ

В рамках цифровизации электросетевого комплекса РФ для решения вышеуказанных задач сетевыми компаниями планируется реализация следующих технических решений [5, 6]:

- оснащение микропроцессорными устройствами релейной защиты и автоматики подстанций, в том числе с защитой от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ);
- ввод устройств автоматического ввода резерва (АВР) на участках с потребителями I и II категории;
- установка индикаторов короткого замыкания (ИКЗ) на магистрали ВЛ и на каждое ответвление (отпайку);
- оптимизация топологии сети путем установки пунктов коммерческого учета (ПКУ), телеуправляемых разъединителей и реклоузеров на всех ответвлениях;
- применение защищенного провода (СИП);
- установка на центрах питания ВЛ распределительных сетей (трансформаторных подстанциях) автоматизированных информационно-измерительных комплексов контроля эксплуатационных параметров (учет электроэнергии, системы мониторинга и управления).

Реализация вышеуказанных технических решений позволит электросетевым

компаниям повысить уровень надежности сети и повысить качество оказываемых потребителям услуг за счет:

- повышения наблюдаемости сети;
- прогнозирования рисков и угроз для нормальной работы оборудования;
- оперативного оповещения потребителей о режимах работы сети и возможных сетевых ограничениях;
- сокращения времени поиска места повреждения, а, соответственно, и времени ликвидации аварии;
- снижения числа операций с коммутационными аппаратами;
- исключения рисков травматизма персонала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ввиду высокого уровня аварийности и износа становится актуальной задача повышения надежности ВЛ распределительных сетей, решение которой реализуется путем внедрения интеллектуальных систем Smart grid. Повышение надежности ВЛ распределительных сетей позволит обеспечить качество оказываемых потребителям услуг по передаче электрической энергии посредством сокращения времени ликвидации аварий, сохранения коммутационного ресурса оборудования, создания безопасных условий труда для обслуживающего персонала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Усачева И.В., Волкова А.В.** Разработка программного обеспечения для оценки экономической эффективности эксплуатации и последствий модернизации оборудования электросетевых компаний // Математическая физика и компьютерное моделирование. – 2017. – Т. 20. – Вып. 5. – С. 63–75; Методические рекомендации по цифровизации объектов электросетевого хозяйства и организации эксплуатации электроустановок на базе цифровых технологий, утв. Решением Электроэнергетического совета СНГ. Протокол № 57 от 25 декабря 2020 г. – М., 2020. – 36 с.

2. **Листюхин В.А., Печерская Е.А.** Информационно-измерительная система контроля параметров воздушных линий электропередачи распределительных сетей 0,4–20 кВ // В сб. XVI Всероссийской открытой молодежной научно-практической конференции «Диспетче-

ризация и управление в электроэнергетике» (Казанский государственный энергетический институт, г. Казань, 20–22 октября 2021 г.).

3. **Листюхин В.А.** Анализ аварийности в электросетевом комплексе Пензенской области // В сб.: Информационные технологии в науке и образовании. Проблемы и перспективы. Сборник статей по материалам VIII Всероссийской межвузовской научно-практической конференции. – Пенза, 2021. – С. 322–324.

4. **ПАО «Россети».** Концепция «Цифровая трансформация 2030». – М., 2018. – 31 с.

5. **Овсянников М.Ю.** Автоматизированная распределительная сеть 10 кВ // Вестник науки и образования. – 2020. – №. 11-1 (89). – С. 40–43.

6. **Воротницкий В.Э.** Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в электрических сетях. – М.: Интехэнергоиздат, 2016. – 336 с.

ЭНЦИКЛОПЕДИЯ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ СОВРЕМЕННЫХ КБ

kb.panor.ru

Производственно-технический журнал «Конструкторское бюро» является информационной площадкой, объединяющей инженеров-конструкторов и инженеров-технологов в создании промышленного оборудования высокого уровня.

Отличительная особенность журнала — профессиональная компетентность, прикладной характер публикуемых материалов, их конкретность, полезность для текущей работы конструктора, новые знания, широкий охват тематики и вопросов. Отдельное внимание журнал «Конструкторское бюро» уделяет вопросам внедрения новейших разработок в практику, а также повышению квалификации конструкторов различных категорий.

Наши эксперты и авторы: Шаталов В.В., ОАО «КБ „Вымпел“»; Бирюков Г.П., КБ транспортного машиностроения; Драгунов Ю.Г., ОКБ «Гидропресс»; Серов И.Н., ЦКБ СПК; Антюфеев В.А., КБ «Спецтехника»; Дыдычкин В.П., ЗАО «НПФ

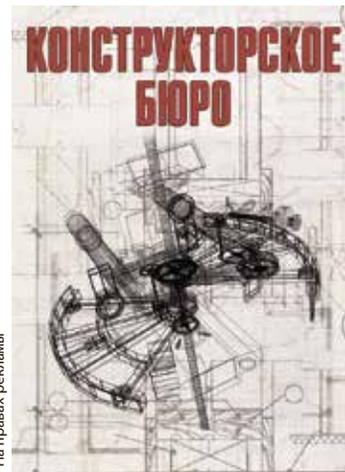
„ЦКБА“»; Черниховский М.Г., КБ «Агава»; сотрудники КБ «А-Лазер», КБ «Росметалл» и многие другие ведущие ученые и специалисты.

Издается при информационной поддержке Ассоциации механиков, Российской инженерной академии и Академии технических наук.

Распространяется по подписке и на отраслевых мероприятиях.

ОСНОВНЫЕ РУБРИКИ

- Методология проектирования
- Инновации в технологии проектирования
- Испытание опытных образцов
- Доводка серийных изделий
- IT-технологии в проектировании
- Патентная экспертиза технических решений
- Из опыта НИИ и КБ
- Научные разработки и образцы (от теории к практике)
- Нормирование и оплата труда



На правах рекламы

ПОДПИСНЫЕ ИНДЕКСЫ



36391



P7213

Для оформления подписки через редакцию пришлите заявку в произвольной форме по адресу электронной почты podpiska@panor.ru или позвоните по тел. 8 (495) 274-22-22 (многоканальный).

УДК 004.75, 004.031.43

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СМАРТ-КОНТРАКТОВ БЛОКЧЕЙН В ОБЛАСТИ ЭНЕРГЕТИКИ

Феоктистов Д. И.

e-mail: Feoktistov.dima@list.ru,

Воркунов О. В., канд. техн. наук, доцент кафедры электроэнергетических систем и сетей,

e-mail: Vorcunov_oleg@mail.ru,

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,
г. Казань

Рассматривается возможное расширение прав и возможностей рынка энергетики в дальнейшем будущем путем интеграции или создания блокчейн-среды для использования смарт-контрактов.

Ключевые слова: блокчейн, электроэнергетика, смарт-контракт, цифровизация, цифровая информация, рынок электроэнергетики.

APPLICATION OF BLOCKCHAIN SMART CONTRACT TECHNOLOGY IN THE FIELD OF ENERGY

Feoktistov D. I.,

Vorkunov O. V., PhD of technical sciences, associate professor of the department electric power systems and networks,

Kazan State Power Engineering University, Kazan

The possible empowerment of the energy market in the future, by integrating or creating a blockchain environment for the use of smart contracts, is being considered.

Keywords: blockchain, electric power industry, smart contract, digitalization, digital information, electric power market.

Впервые термин «смарт-контракт» был введен в 1993–1996 гг. Суть смарт-контракта заключается в том, что стороны прописывают в нем условия сделки и санкции за их невыполнение, ставят цифровые подписи. Умный контракт самостоятельно определяет, все ли исполнено, и принимает решение: завершить сделку и выдать требуемое (деньги, акции, недвижимость), наложить на одну из сторон штраф и закрыть доступ к активам. Самым простым примером является вендинго-

вый автомат: выбираешь товар, опускаешь валюту, подтверждаешь и получаешь товар. Только в отличие от вендинговых аппаратов смарт-контракты в блокчейне полностью цифровые и написаны языком программирования. Средой для таких смарт-контрактов является блокчейн, который содержит в себе информацию о всех транзакциях, которые произведены в системе ее участниками. В наше время понятие «смарт-контракт» немного видоизменилось и трактуется как ком-

пьютерный алгоритм, предназначенный для заключения и поддержания самоисполняемых контрактов, выполняемых в блокчейн-среде. С развитием цифровых технологий смарт-контракты в блокчейне стали применяться в различных областях, таких как банковские системы, сферы страхования и государственных услуг.

В энергетике развитие технологии блокчейн началось в 2018 г. В рамках цифровизации закупочной деятельности эта технология была использована Газпромнефть в качестве управления цепочками поставки. Для этого были использованы специальные датчики и радиочастотные метки, которые подсоединялись к грузам. Их скорее можно сравнить с NFC-метками, которые в последнее время реализовали в некоторых смартфонах. То есть по прохождению определенного этапа поставки (транспортировки) смарт-контрактом фиксировалась информация (т. е. заданные условия, по их исполнению) и отражалась в блокчейне. В дальнейшем информация о складских и транспортных операциях – оприходование продукции на склад, перемещение на причал для погрузки, доставка на пункт назначения – передавалась в аналогичной схеме. Блокчейн обеспечил неразрывную связь физической поставки, всех сопровождающих процессов и документооборота, а также позволил всем участникам процесса получить доступ к достоверной информации в зашифрованном виде. Успешная реализация данного пилотного проекта позволила сделать выводы, что данную технологию можно использовать уже на данный момент в управлении цепочками поставок. 20 мая 2019 г. вышла в свет децентрализованная анонимная одноранговая платформа Enerchain для торговли энергоресурсами для внебиржевого оптового рынка электроэнергии без использования посредников. Разработкой занималась немецкая компания Ponton GmbH. Создатели были нацелены перевести на блокчейн весь цикл сделок и позволить всей экосистеме поставщи-

ков услуг подключаться к платформе. Сегодня его уже поддерживают более 30 ведущих европейских энергетических торговых компаний, среди которых Enel и RWE. На данном этапе интеграция в блокчейн-платформе Enerchain может собирать показания со счетчиков потребителей в онлайн-режиме, таким образом, показания потребления, записанные один раз, невозможно изменить или удалить. Все это полностью исключает возможность фальсификации данных компаниями-потребителями и, по нашим оценкам, может существенно увеличить прибыль энергосбытовых компаний. Благодаря надежной фиксации данных потребления в блокчейне, потребители, наряду с энергосбытовыми компаниями, также получают преимущества. Система автоматически анализирует и предлагает наиболее экономный тариф, данную возможность уже оценили клиенты компании. В будущем также рассматривается возможность дополнить продукт смарт-контрактами, которые позволят производить оплату электроэнергии в автоматическом режиме, без необходимости человеческого участия. Все, что нужно, это вовремя пополнять баланс.

Достоинствами системы смарт-контрактов в блокчейне являются:

- автоматизированный процесс обработки информации без личного участия с высокой скоростью обработки;
- исключено вмешательство третьих сторон в процесс сделки, данные записанные в блокчейн не могут быть изменены;
- в случае невыполнения одного из условий сделки одной из сторон другая сторона будет защищена условиями интеллектуального договора;
- высокая точность выполнения контрактов.

Вроде бы все, на первый взгляд, прекрасно, но ничто не идеально, и потому даже у такой системы есть недостатки:

- отсутствие регулирования. В международно-правовой области от-

- существуют концепции: blockchain, «умный контракт» и «криптовалюты»;
- сложность реализации. Интеграция интеллектуальных контрактов с элементами реального мира часто занимает много времени, денег и усилия;
- невозможность изменения интеллектуального контракта. Если стороны достигают более выгодного соглашения или возникают новые факторы, они не смогут изменить контракт. По этой причине варианты дополнительных соглашений должны быть реализованы по мере разработки новых blockchain-платформ.

Если же посмотреть немного в будущее и учесть то, как развиваются технологии, то такие технологии, как мне кажется, будут использоваться в качестве основы для энергетического рынка. Потребители будут способны приобретать электроэнергию без участия третьей стороны, то есть напрямую от генерирующей компании. А в блокчейн-среде будут записываться данные о совершении транзакции, происхождении электроэнергии, ее количестве или, возможно, срока, на который ее покупает потребитель. За счет этого снижаются транзакционные издержки, а неизменность и прозрачность информации смарт-контрактов обеспечат снижение ручной проверки информации о количестве потребленной электроэнергии. Правда, тогда придется избавиться от посредника в виде сбытовой компании,

но в наших реалиях по законодательству такого не может быть, чтобы генерирующая компания заключала сделки напрямую с потребителями, за исключением прямых потребителей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Юнусов Р., Чаленко Е., Пердеро А., Кривошея Е. Московская школа управления. Блокчейн в электроэнергетике: ландшафт проекторов и инвесторов. – Сколково, 2019. – С. 10–40.
2. РосБизнесКонсалтинг [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.rbc.ru/crypto/news/600bd6409a79473b23a6d3c4> (дата обращения: 15.09.2021).
3. ХАБР-система тематических коллективных блогов [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/post/448056/> (дата обращения: 15.09.2021).
4. Enerchain. Торговая площадка на основе блокчейна [Электронный ресурс]. – URL: <https://erachain.org/ru/industries-energy> (дата обращения: 15.09.2021).
5. Газпромнефть испытали блокчейн [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.gazprom-neft.ru/press-center/news/v-gazprom-nefti-ispytali-blokcheyn-i-internet-veshchey-v-logistike/> (дата обращения: 15.09.2021).
6. Лучшие идеи блокчейна [Электронный ресурс]. – URL: <https://101blockchains.com/ru/история-технологии-блокчейн/i> (дата обращения: 15.09.2021).
7. Тематическое интернет-издание Право RU «Смарт-контракты: как они работают и зачем нужны» [Электронный ресурс]. – URL: <https://pravo.ru/story/205151/> (дата обращения: 15.09.2021).

НА ПУТИ К ЭФФЕКТИВНОМУ ПРОИЗВОДСТВУ!

linteh.panor.ru

Научно-практический журнал «ЛИН-технологии: бережливое производство» по вопросам оптимизации производственного процесса, снижения издержек и себестоимости продукции.

ОСНОВНЫЕ РУБРИКИ

- Лин-технологии в антикризисном менеджменте.
- Лин-школа.
- Ресурсосбережение.

Распространяется по подписке

и на отраслевых мероприятиях.

подписные индексы



80871



П7214



На правах рекламы

УДК 681.58

АППАРАТНЫЙ СОСТАВ ПРОГРАММНО-ЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЛЕРА

Шульга Р. Н., канд. техн. наук,

ВЭИ – филиал ФГУП «РФЯЦ – ВНИИТФ им. акад. Е. И. Забабахина», г. Москва

Рассмотрены архитектура и состав ПЛК, реализация схемотехники преимущественно релейных схем. Приведены данные по структуре, алгоритмам, конструкции и применению ПЛК. Даны примеры реализации модульных, компактных и слотовых ПЛК, а также варианты встраивания ПЛК в транспортные и диспетчерские автоматические системы управления.

Ключевые слова: *программно-логический контроллер, архитектура, состав, алгоритм, конструкция, автоматическая система.*

HARDWARE COMPOSITION OF THE SOFTWARE AND LOGIC CONTROLLER

Shulga R. N., PhD of technical sciences,

*VEI – branch of FSUE "RFNC – VNIITF named after academician E. I. Zababakhina",
Moscow*

The architecture and composition of the PLC, the implementation of circuitry mainly relay circuits are considered. Data on the structure, algorithms, design and application of the PLC are presented. Examples of the implementation of modular, compact and slot PLCs, as well as the integration of PLCs into transport and dispatching automatic control systems are given.

Keywords: *software logic controller, architecture, composition, algorithm, design, automatic system.*

Современный программно-логический контроллер (ПЛК) стал чрезвычайно востребованным универсальным рабочим инструментом в системах автоматизации производственных процессов и для управления отдельными устройствами различного назначения. ПЛК представляет особый тип программируемых логических автоматов, отличающийся повышенной надежностью, легко встраиваемый и модернизируемый, способный длительное время работать практически без обслуживания в реальном масштабе

времени и самых неблагоприятных условиях.

В литературе [1, 2] приведены данные по типовым ПЛК. Проблемы разработки современных автоматических железнодорожных систем отражены в [3–6]. Литература [7–9] посвящена протоколам и стандартам промышленных сетей с использованием ПЛК. Аппаратная реализация приборов, конверторов, контроллеров для использования в промышленных сетях выполнена в работах [10–13]. Аппаратный состав и реализация ПЛК в составе

человеко-машинного интерфейса (HMI) рассматривается в настоящей статье.

АРХИТЕКТУРА И СОСТАВ ПЛК

ПЛК представляет промышленный микропроцессорный контроллер с программируемой памятью, используемый для хранения программных инструкций и различных функций. Он состоит из:

- процессорного блока (CPU), который интерпретирует входные сигналы, выполняет управляющую программу, хранящуюся в памяти, и посылает выходные сигналы;
- блока питания, преобразующего переменное напряжение в постоянное;
- блока памяти, хранящего данные с входов и программу, выполняемую процессором;
- интерфейса ввода-вывода, при котором контроллер получает и отправляет данные с/на внешние устройства;
- коммуникационный интерфейс для приема и передачи данных по сетям связи от/к удаленным ПЛК.

Для ПЛК требуется программирующее устройство, которое используется для разработки и последующей загрузки созданной программы в память контроллера.

Современные ПЛК обычно содержат операционную систему реального времени, такую как OS-9 или VxWorks.

Архитектура и состав ПЛК представлены на рис. 1.

РАБОТА ПЛК

Программа ПЛК работает циклично. Время цикла может быть от единиц миллисекунд до единиц секунд, в зависимости от задач, которые на этот ПЛК возложены. Большинство ПЛК позволяют задавать время цикла разработчику программы, однако в некоторых моделях такой возможности нет. Многие ПЛК позволяют в одной программе создать более одной циклически выполняемой задачи, и задать приоритет для этих задач.

Пример. Рассмотрим автоматическую работу вентиляционной установки с ПЛК и панелью управления, подключенной через интерфейс RS232. Температура в помещениях меняется не быстро, и запускать алгоритм управления вентиляцией чаще, чем раз в 50–100 мс, нерационально. Однако панель оператора опрашивает контроллер постоянно, и задержка ответа ПЛК более 10 мс уже выражается в торможении интерфейса пользователя, а при задержке 20 мс переполняется



Рис. 1. Архитектура и состав ПЛК

аппаратный буфер COM-порта. Наличие нескольких задач позволяет решить эту проблему таким образом, что «быстрая» задача работает с COM-портом, и вызывается каждые 2 мс, а «медленная» реализует логику работы вентиляции, и вызывается каждые 50 мс. В результате панель оператора не тормозит, пользователь доволен.

КОНСТРУКЦИИ ПЛК

Существует два типа механической конструкции ПЛК. Одиночный блок в виде моноблока представляет небольшой программируемый контроллер, который помещает все блоки и интерфейсы в один компактный корпус, хотя возможны дополнительные модули расширения для входов и выходов.

Второй тип конструкции в виде модульного ПЛК имеет шасси (обычно в виде стойки блока или шкафа), которое обеспечивает пространство для модулей с различными функциями: источник питания, процессор, модули ввода-вывода и интерфейсы связи, настроенные для конкретного применения. Ряд стоек может управляться одним процессором и иметь сотни-тысячи входов и выходов. Для распределения стоек вдали от процессора применяется либо высокоскоростная последовательная линия ввода-вывода, либо сопоставимый метод связи, что снижает затраты на проводку

для крупных установок. Также доступны варианты крепления точек ввода-вывода непосредственно к машине и использования быстроразъемных кабелей к датчикам и клапанам, что экономит время на проводку и замену компонентов.

ПЛК обычно можно установить непосредственно на производственной машине. Это экономит необходимое пространство. Помимо возможности удаленного управления ПЛК, одним из его самых больших преимуществ является коммуникационная способность.

РЕАЛИЗАЦИЯ СХЕМОТЕХНИКИ НА ПЛК

Реализация цепи из релейных контактов для описания операторов программы на ПЛК приведена на рис. 2 и показывает возможность обычного инженера быстро освоить профессию программирования. На рис. 2 приняты обозначения: *Start* – запуск, *Accelrt* – ускорение. Такое программирование осуществляется на языке релейной логики LD (Ladder Diagram). Задачи на ПЛК существенно расширяются за счет использования дополнительных функций: счетчиков, таймеров и других логических блоков.

Возможности программирования ПЛК существенно упрощаются благодаря наличию пяти стандартов в части языков для всех типов ПЛК. Существуют три графических и два текстовых языка про-

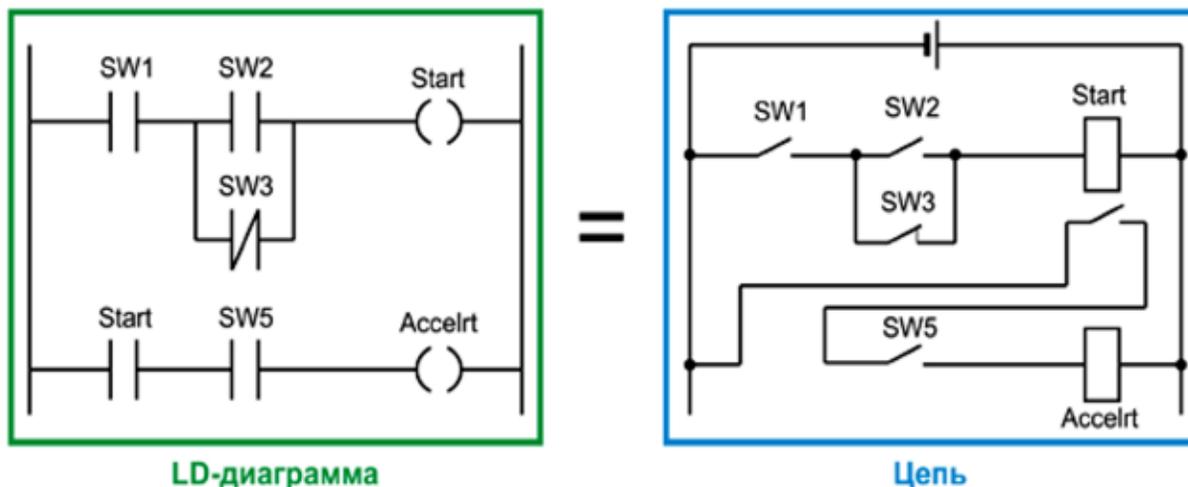


Рис. 2. Пример программной реализации цепи из релейных контактов

Языки программирования ПЛК

Графический		Текстовый	
LD	Язык релейных схем	IL	Ассемблеро – подобный язык
FBD	Язык функциональных блоков	ST	Паскале – подобный язык
SFC	Язык диаграмм состояний	CFC	Не сертифицирован IEC61131-3

граммирования, которые взаимно совместимы. Одна из частей программы может быть на одном языке, а другая записана на другом более удобном языке.

Графическими языками, понятными для инженеров, являются: язык последовательных функциональных блоков SFC (Sequential Function Chart) и язык функциональных блокочных диаграмм FBD (Function Block Diagram). Программистам более удобно пользоваться средствами: язык структурированного текста STL (Statement List), аналогичный языку Паскаль, и язык инструкций IL (Instruction List), похожий на Ассемблер. Языки программирования ПЛК приведены в табл. 1.

Простота программирования ПЛК довольно условна и зависит от сложности задачи. Программирование небольшого устройства требует лишь знания элементарной логики, знакомой для любого инженера. Для сложного устройства необходимо знание основ программирования ПЛК.

ПЛК программируются в соответствии со стандартом МЭК-61131-3. Программируются ПЛК с помощью специализированных комплексов, одним из наиболее популярных является CoDeSys, который включает вышеупомянутые языки, приведенные в табл. 1. На рис. 3 приведен рабочий экран программирования в сре-

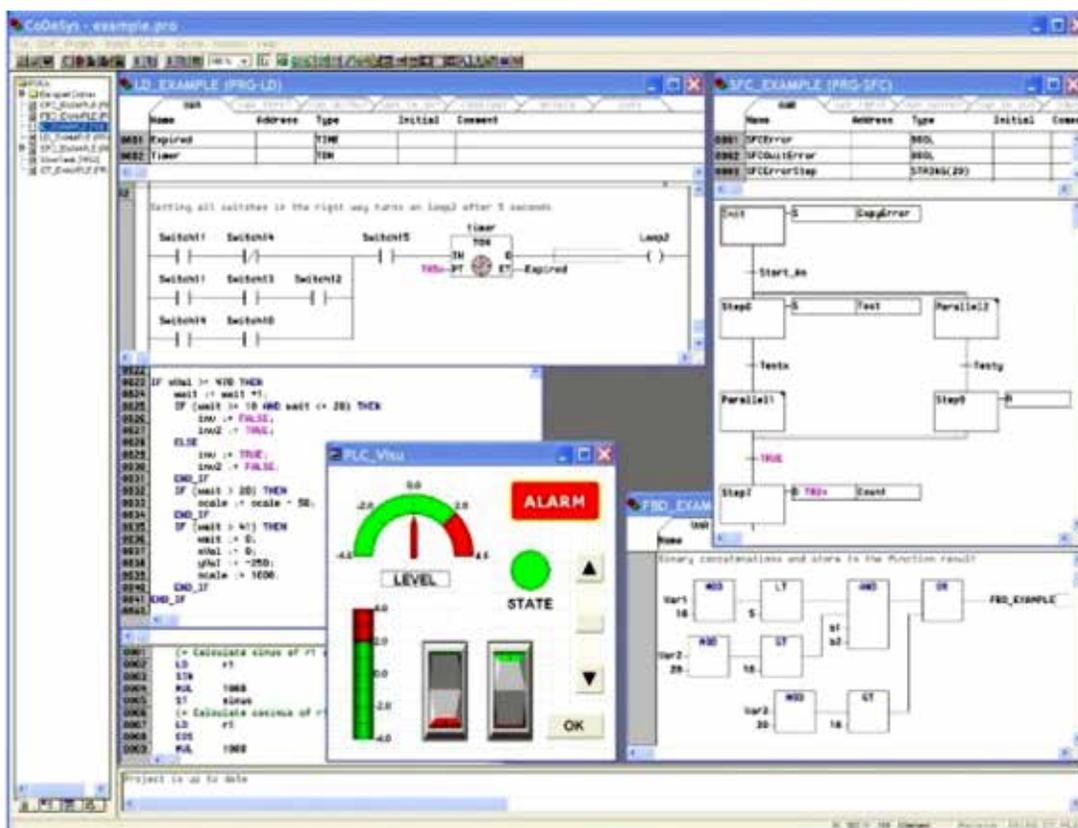


Рис. 3. Рабочий экран программирования в среде CoDeSys

де CoDeSys применительно к релейной схеме с насосной установкой с рядом контактов, которая показана в верхней части экрана. В правой части экрана показана функциональная схема, а в левой части приведен текст на языке функциональных блоков и пульт управления установкой.

ПОРЯДОК РАБОТЫ НА ПЛК

Перед началом работы ПЛК выполняет:

- первичное тестирование оборудования;
- загрузку в ОЗУ и ПЗУ операционной системы и рабочей программы пользователя.

Стандартный ПЛК имеет режимы:

- рабочий;
- отладки с пошаговым выполнением программы, с возможностью просмотра и редактирования значений переменных.

Рабочий режим ПЛК состоит из повторяющихся однотипных циклов, каждый из них включает три этапа:

- опрос всех датчиков с регистрацией их состояния в оперативной памяти;
- последовательный анализ рабочей программы с анализом данных текущего состояния датчиков и с формированием управляющих воздействий, записываемых в буферных регистрах;
- одновременное обновление ПЛК состояния всех своих выходов и начало очередного этапа опроса датчиков.

Порядок выполнения программы ПЛК контролируется на экране подключенного компьютера с отображением состояния отдельных параметров. Для приведенного на рис. 3 порядка включения и выключения насоса можно изменять время необходимой задержки, которая задается отдельной переменной.

В случае необходимости можно остановить выполнение программы и перевести ПЛК в режим программирования, после чего на экране компьютера изменить ход выполнения программы (возможно задать другие параметры). При этом необходимо снова записать их в память ПЛК.

СТРУКТУРА ПЛК

Стандартные ПЛК представляют из себя модули, которые можно программировать с помощью ПК. Затем ПК не используется для работы ПЛК. Конструктивно различают модульные, компактные и слотовые ПЛК.

Компактные ПЛК дешевле, занимают меньший объем и применяются для простых процессов и средств автоматизации. Применяются также компактные ПЛК, которые можно программировать с панели управления без ПК.

Модульные ПЛК позволяют осуществить гибкую сборку блока управления из отдельных сменных модулей, чтобы можно было реализовать сложные автоматизированные задачи.

Применяются также модули, которые могут быть реализованы в системе в виде подключаемых плат в свободный слот на материнской плате.

ПЛК могут отличаться по способу выполнения работы. Наряду с ПЛК, которые управляют входами в заранее определенном цикле и/или с обработкой выходных данных, возможно использовать ПЛК, которые управляют событиями.

При выборе типа ПЛК необходимо задать необходимое число и тип входов и выходов. Затем выбирают модель ПЛК либо со встроенным дисплеем и сенсорной панелью, либо при их отсутствии. В ряде вариантов можно использовать существующую систему обработки сигналов датчиков и средств управления технологическим процессом.

Структура работы ПЛК отражена на рис. 4 и в дополнение к рис. 1 добавляет блок с управляемым оборудованием. Блок управляемого оборудования выполняет конкретный технологический процесс с использованием клапанов, реле, инверторов и другого технологического оборудования. С выхода ПЛК на это технологическое оборудование поступают управляющие сигналы. Датчики, которые отражают изменения технологического процесса, передают свои значения на входы ПЛК. Выходы ПЛК отображаются

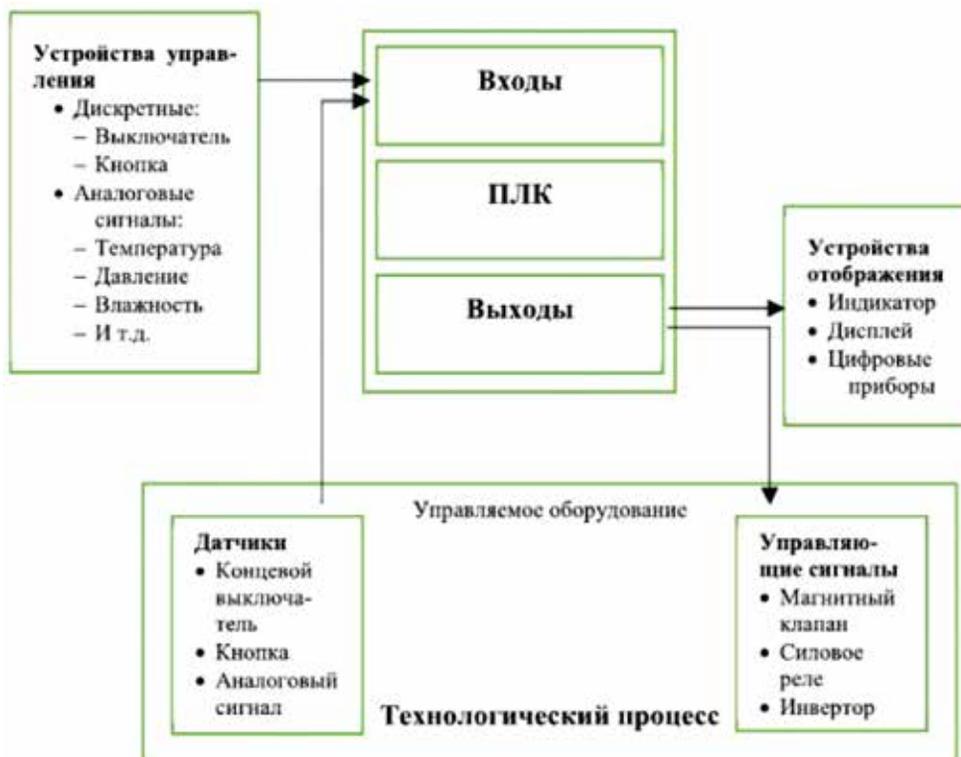


Рис. 4. Структура работы ПЛК4

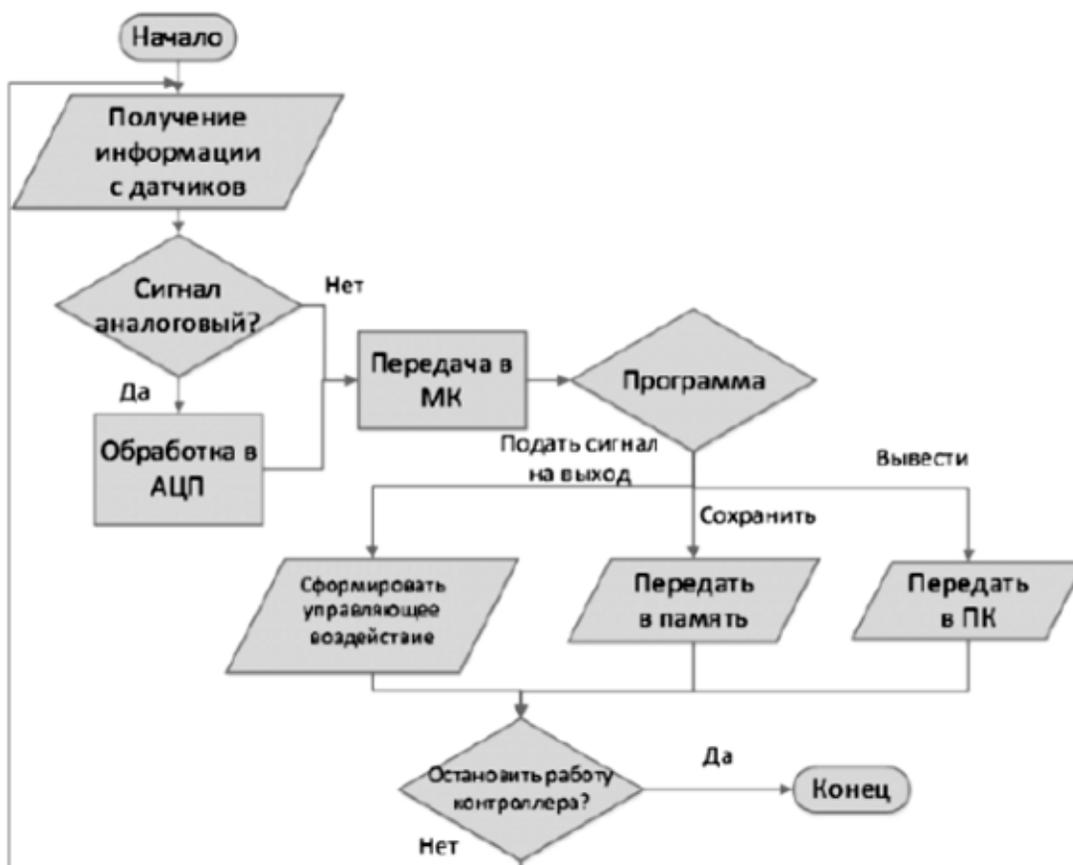


Рис. 5. Алгоритм работы ПЛК

на устройствах отображения информации.

АЛГОРИТМ РАБОТЫ ПЛК

Алгоритм работы ПЛК предусматривает выполнение функций, описанных в начальном разделе, касающемся архитектуры и состава ПЛК. Этот алгоритм получает информацию от датчиков, выявляет тип сигнала: аналоговый или цифровой, обрабатывает в АЦП, передает в микроконтроллер (МК) и передает в процессорный блок (CPU). Выходные сигналы CPU формируют управляющее воздействие, сохраняются в памяти и передаются в ПК. В конце цикла программа выбирает либо остановку ПЛК, либо конец цикла. Алгоритм работы ПЛК приведен на рис. 5.

СПЕЦИФИКА ПЛК

Основным режимом работы ПЛК является длительное автономное применение, причем в ряде случаев, вызванных неблагоприятными внешними воздействиями, без серьезного обслуживания, а в ряде применений без вмешательства человека, что присуще использованию в устройствах АСУ ТП.

Важнейшими производителями ПЛК за рубежом являются: фирмы Siemens AG, Allen-Bradley, Rockwell Automation, Schneider Electric, Omron и др., а отечественными производителями являются: компании ООО КОНТАР, Овен, Сегнетикс, Fastwel Гупп, группа компаний Текон и

другие. Безусловным лидером как в части формирования стандарта PROFINET, так и разработки автоматизированных систем, наподобие SIBUS 16, SIBUS 32, SIBUS PN (3-е поколение поездных транспортных систем на основе IO-контроллеров на основе ПЛК). Фирма Siemens AG занимает примерно 40% мирового рынка ПЛК и наиболее продвинута в части железнодорожных скоростных поездов (выпущено числом свыше 7 тыс. шт.), которые в России известны, как Сапсан и Ласточка. 16- и 32-разрядные ПЛК по-прежнему востребованы в ПЛК, хотя для перспективных АСУ ТП (как в SIBUS PN) разрядность с применением новых технологий перестает играть решающее значение.

Промежуточная модель ПЛК типа S7-400 обладает следующими характеристиками: рабочая память программ и данных составляет 5, 6...15 Мбайт, количество дискретных и аналоговых каналов ввода-вывода – 131072 и 8192 соответственно, дополнительно встроенный интерфейс MPI/PROFIBUS DP и дополнительный модульный PROFINET. Все это позволяет при желании построить на базе одного контроллера S7-400 всю систему управления большим предприятием.

В линейке ПЛК Simatic наиболее совершенным является тип S7-1500, представленный на рис. 6, который наиболее подходит для автоматизации циклических процессов во всех секторах промышленного производства.

Различные сигнальные, технологические и коммуникационные модули, вхо-



Рис. 6. ПЛК мuna S7-1500



Рис. 7. Моноблочный ПЛК фирмы ОВЕН

дящие в состав периферийных блоков S7-1500, разделены на отдельные классы, отличающиеся поддержкой различных наборов функций, которые отличаются степенью диагностики параметров, помехоустойчивости и скорости преобразования.

Внешние цепи сигнальных модулей подключаются посредством 40-полюсных фронтальных соединителей, конструктивной особенностью которых является операция механического кодирования при первой установке на выбранный модуль. В дальнейшем данный фронтальный соединитель не может быть установлен на модули других типов, что исключает возможность возникновения ошибок при их замене. Максимальная конфигурация контроллера включает в свой состав один

центральный процессор и до 30 сигнальных, технологических и коммуникационных модулей.

Как упоминалось выше, различают конструктивное исполнение ПЛК в виде моноблочных и модульных вариантов. В корпусе моноблочного ПЛК наряду с ЦП, памятью и блоком питания размещается фиксированный набор входов/выходов. Моноблочный ПЛК фирмы ОВЕН представлен на рис. 7.

В модульных ПЛК используют отдельно устанавливаемые модули входов/выходов. Согласно требованиям МЭК 61131, их тип и количество могут меняться в зависимости от поставленной задачи и обновляться с течением времени. Пример модульного ПЛК на дин-рейке представлен на рис. 8. Подобные ПЛК могут дей-



Рис. 8. Пример модульного ПЛК на дин-рейке

ствовать в режиме «ведущего» и расширяться «ведомыми» ПЛК через интерфейс Ethernet.

УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ И ОПЕРАЦИИ ПЛК

ПЛК среднего и высокого уровня обычно содержат встроенные аппаратно-программные средства управления движением, в частности, модули быстродействующих счетчиков, модули позиционирования и др., которые дают возможность сравнительно просто реализовать функции управления движением и обеспечить позиционирование с высокой точностью.

Конструкции ПЛК должны работать в типовых условиях применения: в части загрязнения атмосферы, уровней сигналов, стойкости по климатике, нестабильности источников питания, воздействия механических ударов и вибраций. С этой целью аппаратная часть заключается в прочный корпус, который защищает микроэлектронику от негативного влияния указанных производственных факторов.

Главным отличием ПЛК от релейных схем управления является алгоритмы, которые реализованы с помощью программ. Один ПЛК может заменить схему, эквивалентную тысячам элементов жесткой логики, не снижая ее надежности. ПЛК представляют нижнее звено АСУ ТП для любого производства и реализуют первый шаг при построении такой системы.

Тогда, когда необходимость автоматизации любой установки или системы возникает, применение ПЛК дает очевидный эффект в части экономических показателей, улучшения качества и показателей производства, улучшая экологию и заменяя нестабильный человеческий фактор.

Главным преимуществом ПЛК является замена одним микропроцессорным устройством громадного количества электромеханических реле, с повышением быстродействия, компактности систем ввода/вывода, при повышении надежности работы. При этом используются

стандартные средства программирования и специальные интерфейсы, которые позволяют подключать любые устройства автоматики непосредственно к ПЛК и/или объединять разные устройства в единую систему управления производственным процессом.

Важнейшим средством автоматизации становятся промышленные сети, к которым можно отнести: сеть Ethernet со стандартами PROFIBUS, PROFINET, которые представляют семейство технологий пакетной передачи данных между устройствами. Типовыми последовательными интерфейсами в этих сетях являются: CAN, Ethernet, Modbus, RS-485 и др. с использованием проводных и беспроводных каналов связи.

Примерами реализации промышленных сетей, в которых ПЛК являются первичным звеном обработки информации и средством управления, являются вышеупомянутая транспортная автоматическая система SIBUS, система сбора данных и оперативно-диспетчерского управления (SCADA-система).

В указанных системах главными звеньями являются коммуникационные интерфейсы между человеком и машиной HMI (Human Machine Interface). Такие интуитивно понятные и удобные интерфейсы используются, чтобы позволить машинисту или оператору управлять машинами или аппаратами без глубоких знаний программирования ПЛК.

ВЫВОДЫ

Рассмотрены архитектура и состав ПЛК, реализация схмотехники преимущественно релейных схем. Приведены данные по структуре, алгоритмам, конструкциям и применению ПЛК. Даны примеры реализации модульные, компактные и слотовых ПЛК, а также встраивания ПЛК в транспортные и диспетчерские автоматические системы управления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Что такое ПЛК. – URL: <http://www.faufcc.ru/.2022/04/>

2. **Лившиц Ю.У., Лакин В.И., Мониц Ю.И.** Программируемые логические контроллеры для управления технологическими процессами. – Минск: БНТУ, 2014. – Ч. 1. – 206 с.

3. Profinet от Siemens: лидер промышленных сетей. – URL: <http://www.compel.ru>

4. От LOGO до SIMATIC: контроллеры Siemens задач любой сложности. – URL: <http://www.compel.ru/2022/04/>

5. **Колчин И.** Система железнодорожной автоматизации SIBAS PN, СТА 2/2015. – URL: <http://www.cta.ru>

6. Преобразователи тяговые SIBAG. – URL: <http://www.pab.sa.gov.ru>

7. **Шульга Р.Н.** Стандарт PROFINET для железнодорожного транспорта // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – В портфеле редакции.

8. Методика тяговых расчетов (для промышленных электровозов). – URL: <http://www.faufcc.ru/2022/04/>

9. **Шульга Р.Н.** Тяговые характеристики электромотовоза и электродвигателя // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2022. – № 4. – С. 26–34.

10. **Шульга Р.Н.** Преобразователи частоты // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2022. – № 1. – С. 3–11.

11. **Шульга Р.Н.** Преобразователи напряжения малой и большой мощности // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – В портфеле редакции.

12. **Шульга Р.Н.** Контроллеры DC/DC-конвертеров // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – В портфеле редакции.

13. **Шульга Р.Н.** Распределенная генерация с использованием водородной энергетики // Энергоэксперт. – 2021. – № 3 (79). – С. 22–26.

14. **Шульга Р.Н.** Силовые полупроводниковые приборы для электроэнергетики // Оперативное управление в электроэнергетике. – 2022. – № 1. – С. 5–13.

ГРАМОТНЫЕ НОРМЫ — ЭФФЕКТИВНЫЙ ТРУД

niotp.panor.ru

Ежемесячное издание большого формата (205×285 мм), 80 страниц.

Журнал «Нормирование и оплата труда в промышленности» включен в РИНЦ.

Научно-производственный журнал «Нормирование и оплата труда в промышленности» для специалистов по вопросам системы нормирования и оплаты труда.

Публикации издания — проверенные, востребованные методические и практические материалы, которые позволят использовать самый современный отечественный и зарубежный опыт построения систем оплаты.

Журнал «Нормирование и оплата труда в промышленности» откроет доступ к проверенным и действенным рекомендациям по введению, замене и пересмотру системы нормирования и оплаты труда. Одно из главных направлений публикаций журнала — актуальные разработки и схемы, направленные на комплексную оптимизацию мотивационных факторов, которые способствуют росту производительности труда.

Издается при научной и методической поддержке НИИ труда и социального страхования, Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова и РАГС.

Ежемесячное издание.

Распространяется по подписке и на отраслевых мероприятиях.

ОСНОВНЫЕ РУБРИКИ

- Труд и норма
- В помощь нормировщику
- Оплата труда: политика и механизм формирования
- Проблемы производительности труда
- Мотивы и стимулы
- Социально-трудовые отношения
- Статистика и труд
- Поощрительные системы предприятия
- Доходы и уровень квалификации
- Современные проблемы использования рабочего времени



На правах рекламы

подписные индексы



82720



P7215

Для оформления подписки через редакцию пришлите заявку в произвольной форме по адресу электронной почты podpiska@panor.ru или позвоните по тел. 8 (495) 274-22-22 (многоканальный).

ГЛОССАРИЙ

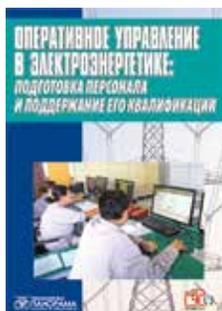
по тематике «Промышленные сети».

Часть 1

- *промышленная сеть* (ПС) – сеть передачи данных, включая аппаратную часть (АЧ) и ПО, между несколькими устройствами, по IEC 61158;
- *сеть Ethernet* – семейство технологий пакетной передачи данных между устройствами;
- *сеть PROFIBUS*, далее *PROFINET* – промышленный стандарт для автоматизации от ассоциации Ethernet;
- *модель OSI* (Open System Interconnect) – модель сети с декомпозицией на 7 уровней;
- *основной (центральный) процессор* (ЦПУ или CPU) – электронный блок, выполняющий машинные инструкции;
- *промышленный контроллер* (ПЛК или PLC) – подсистема управления подключенными устройствами;
- *контроллер ввода-вывода* – использует систему TwinCAT по IEC 61158;
- *контроллер прерываний* – микросхема в процессоре;
- *системный контроллер* – компонент чипсета для взаимодействия процессора с ОЗУ;
- *контроллер машиниста* – орган управления тягой и торможением;
- *драйвер* – программа управления АЧ устройства;
- *микронтроллер* – микросхема для электронного устройства;
- *сетевой адаптер* – сетевая плата (дополнительное устройство для связи ПК с сетью);
- *сетевой интерфейс* – набор компонентов и ПО между устройствами и средой передачи;
- *последовательные интерфейсы и порты* – CAN, Ethernet, RS-485 и др.;
- *протокол обмена (сетевой)* – набор правил, управляющих обменом информацией;
- *стек протокола* – набор коммутационных протоколов;
- *сервер* – объект, предоставляющий сервис;
- *клиент* – запрашивающее устройство;
- *мастер (master)* – главное устройство в обмене, задающее вопрос;
- *ведомое (slave)* – подчиненное устройство, отвечающее на запрос;
- *идентификатор* – маркер;
- *канал* – линия связи и приемо-передающие устройства;
- *сигнал* – результат измерения от датчика и измерительного преобразователя;
- *команда* – сообщение для выполнения действия;
- *состояние* – текущее или будущее состояние системы;
- *событие* – достижение параметра граничного значения с гарантированным временем доставки;
- *запрос* – команда для получения ответа;
- *фрейм* – набор данных в сети с определенной структурой (форматом) или кадр, сегмент, дейтаграмма;
- *топология шинная* – промышленная сеть (синоним);
- *производительность ПС* – время реакции между «запрос-ответ»;
- *пропускная способность ПС* – количество информации в единицу времени (бит/с);
- *коэффициент готовности* – отношение времени наработки до отказа (НО) к сумме НО и времени восстановления;
- *вероятность доставки* – определяет помехоустойчивость канала и детерминированность доступа к каналу;
- *сетевой коммутатор (switch)* – устройство для соединения нескольких узлов сегмента сети;
- *безопасность ПС* – способность защиты от несанкционированного доступа;

- *отказоустойчивость ПС* – способность функционировать при отказе элементов;
- *маршрут* – путь от истока к приемнику;
- *сетевой уровень* – отвечает за адресацию и доставку пакета;
- *транспортный уровень (transport level)* – доставка сообщения с требуемой надежностью (доставка уровня сервиса);
- *пакет данных* – сообщение с разбивкой;
- *сеансовый уровень (session layer)* – управление диалогом (сеанс связи);
- *уровень представления (presentation layer)* – форма представления информации (преобразованная форма);
- *прикладной уровень (application layer)* – набор популярных протоколов для доступа к файлу;
- *квитирование* – подтверждение приема-передачи, структурная единица передачи;
- *маршрутизатор (роутер)* – соединяет несколько сетей, обрабатывает пакеты с одним протоколом;
- *концентратор* – устройство распространяет трафик от одного устройства к остальным;
- *IP-адрес* – 32-битный адрес (MODBUS);
- *TCP-порт* – номер порта (MODBUS);
- *сокет* – гнездо для адреса и порта;
- *управляющий контроллер (IO-controller) (PROFINET)*;
- *подчиненное устройство (PROFINET)*;
- *устройство обслуживания сети (IO-supervisor) (PROFINET)*;
- *трафик* – объем информации за определенный период времени;
- *аутентификация* – средство защиты подлинности лица для доступа к сети;
- *профиль (security profile)* – формат;
- *сертификат* – документ, подписанный центром сертификации;
- *адресное пространство (address space)* – совокупность объектов, которое сервер предоставляет клиенту (nodes), соединенных связями (references);
- *атрибут* – тип;
- *набор служб (services set)* – сервисные услуги;
- *сетевой шлюз (Gateway)* – аппаратный маршрутизатор-преобразователь протоколов или ПО для сопряжения устройств;
- *шина компьютера (computer bus)* – коммуникационная шина данных с устройствами полевого уровня;
- *шина полевая (field bus)* – промышленная сеть ПС (синоним) для АСУ ТП.

Р. Н. Шульга (предварительно,
список по функционалу) 06.06.2020



На правах рекламы

подписные индексы



18256



P7216

ДЛЯ ПРОФЕССИОНАЛОВ, УПРАВЛЯЮЩИХ ЭНЕРГОСИСТЕМАМИ

oper.panor.ru

Издание большого формата (205×285 мм), 64 страницы. Выходит три раза в полугодие.

Производственно-технический журнал «Оперативное управление в электроэнергетике: подготовка персонала и поддержание его квалификации» посвящен проблемным вопросам отрасли. Рассматриваются последние события в энергетике России и зарубежных стран.

Основная задача журнала «Оперативное управление в электроэнергетике: подготовка персонала и поддержание его квалификации» — оказание методической помощи коллективам энергопредприятий в повышении квалификации оперативного персонала. Публикуемые материалы подробно освещают основные направле-

ния деятельности оперативного персонала всех уровней.

Распространяется по подписке и на отраслевых мероприятиях.

ОСНОВНЫЕ РУБРИКИ

- Релейная защита и автоматика энергосистем
- Противоаварийное управление
- Аварии, аварийные режимы и их ликвидация
- Теория и практика диспетчерского управления в электроэнергетике
- Телемеханика и телеуправление подстанционным оборудованием
- Подготовка персонала. Тренинги. Обмен опытом

Издательский Дом

WWW.PANOR.PRF Издательский Дом
ПАНОРАМА представляет
WWW.PANOR.RU НАУКА И ПРАКТИКА

Журнал «Водоочистка»



Производственно-технический журнал «Водоочистка» охватывает самый широкий спектр вопросов, связанных с водоочисткой, экологией водных объектов и водопотребления. Рассматриваются инновационные разработки в области очистки воды и улучшения ее качества; методы санации трубопроводов; водоснабжение и водоотведение; технологии очистки сточных вод; электроимпульсные технологии обеззараживания; схемы ионнообменной очистки; мембранные технологии водоподготовки. Публикуются мнения и оценки экспертов, рекомендации практиков, передовой опыт ведущих компаний и многое другое.

Одно из главных направлений материалов журнала «Водоочистка» — разработка или применение новых методов, подходов и современных разработок, а также результаты их внедрения на реальных объектах. Особое значение и внимание придается публикациям высококвалифицированных специалистов из ближнего и дальнего зарубежья, что позволяет одновременно отслеживать передовые разработки разных стран и взять их на вооружение в различных отраслях.

ОСНОВНЫЕ РАЗДЕЛЫ И РУБРИКИ ЖУРНАЛА «ВОДОЧИСТКА»

✓ **Водоочистка**

- Очистка производственных сточных вод
- Обработка и использование осадков
- Обеззараживание сточных вод

✓ **Водоподготовка**

- Методы и технологии
- Современное оборудование

✓ **Водоснабжение**

- Системы водоснабжения
- Обратное водоснабжение
- Вода в производстве

✓ **Водоотведение**

- Утилизация осадка
- Водоочистные сооружения
- Канализационные насосные станции и установки
- Автоматизация и контроль

✓ **Проектирование систем водоснабжения и водоотведения**

✓ **Трубопроводные системы**

- Проектирование
- Реконструкция

✓ **Передовые научные разработки**

✓ **Инновации**

- Очистка промышленных стоков
- Трубопроводные системы

✓ **Производство**

- Водоочистка на предприятиях

✓ **Мониторинг**

- Нанотехнологии в водоочистке
- Непрерывный экомониторинг воды

✓ **Экология водных объектов**

✓ **Обзор патентов**

✓ **Выставки. Конгрессы. Конференции.**

✓ **Семинары**

✓ **Зарубежный опыт ...и многое другое**

Ежемесячное издание объемом 80 страниц.
В свободную продажу не поступает. Распространяется по подписке.
Оформить подписку с **любого месяца** можно:

1. На нашем сайте panor.ru;
2. Через нашу редакцию по тел. **8 (495) 274-2222** (многоканальный) или по заявке в произвольной форме на адрес: podpiska@panor.ru;
3. По «Каталогу периодических изданий. Газеты и журналы» агентства «Урал-пресс» (индекс на полугодие — **84822**);
4. По официальному каталогу Почты России «Подписные издания» (индекс — **П7309**);
Тел. редакции: 8 (495) 274-2222 (многоканальный)

vod.panor.ru



индекс
84822

индекс
П7309

ИНФОРМАЦИЯ О ПОДПИСКЕ

WWW.PANOR.PH Издательский Дом
ПАНОРАМА
WWW.PANOR.RU НАУКА И ПРАКТИКА



**ЗНАК
КАЧЕСТВА
В ПЕРИОДИКЕ**

Свыше 20 лет мы издаем для вас журналы. Более 85 деловых, научных и познавательных журналов 10 издательств крупнейшего в России Издательского Дома «ПАНОРАМА» читают во всем мире более 1 миллиона человек.

Вместе с вами мы делаем наши журналы лучше и предлагаем удобные вам варианты оформления подписки на журналы Издательского Дома «ПАНОРАМА».

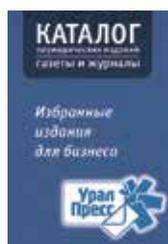
ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛЫ ИД «ПАНОРАМА», В ТОМ ЧИСЛЕ НА ЖУРНАЛ «ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ: ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ», С ЛЮБОГО МЕСЯЦА

✓1 ПОДПИСКА НА НАШЕМ САЙТЕ

Подпишитесь в пару кликов на нашем сайте panor.ru

Мы принимаем практически любой способ оплаты: с р/счета, через Robokassa, через квитанцию Сбербанка, пластиковой картой и т.д.

✓2 ПОДПИСКА ЧЕРЕЗ АГЕНТСТВО «УРАЛ-ПРЕСС»



— По «Каталогу периодических изданий. Газеты и журналы» агентства «Урал-Пресс» (индекс 84817). Просто позвоните в «Урал-Пресс». Доставлять издания будет курьер агентства вашего города.

Подробнее — на сайте ural-press.ru

✓3 ПОДПИСКА НА ПОЧТЕ



— По **официальному каталогу Почты России «Подписные издания» (индекс P7221)** во всех почтовых отделениях России. Доставку осуществляет «Почта России».

— На сайте Почты России **podpiska.pochta.ru**

✓4 ПОДПИСКА ЧЕРЕЗ НАШУ РЕДАКЦИЮ

Для оформления подписки позвоните по тел. **8 (495) 274-2222 (многоканальный)** или отправьте заявку в произвольной форме на адрес: **podpiska@panor.ru**

В заявке укажите название журнала, на который вы хотите оформить подписку, наименование вашей компании и банковские реквизиты, Ф.И.О. получателя, телефон и e-mail для связи.

Вас интересует международная подписка, прямая доставка в офис по Москве или оплата кредитной картой? Просто позвоните по указанному выше телефону или отправьте e-mail по адресу podpiska@panor.ru.

ВЫПИСЫВАЙТЕ, ЧИТАЙТЕ, ПРИМЕНЯЙТЕ!

В стоимость РЕДАКЦИОННОЙ ПОДПИСКИ уже включены затраты по обработке, упаковке и отправке выписанных журналов, что делает подписку через редакцию ОСОБЕННО ВЫГОДНОЙ!

ПОДРОБНАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ПОДПИСКЕ:

Тел.: 8 (495) 274-2222 (многоканальный)

e-mail: podpiska@panor.ru; panor.ru