Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Уфимский государственный авиационный технический университет»

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

Международная научно-практическая конференция

Уфа 2018

УДК 621.3

Электротехнические комплексы и системы : материалы Международной научно-практической конференции / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа : РИК УГАТУ, 2018. – 272 с.

Представлены статьи, включенные в программу Международной научно-практической конференции «Электротехнические комплексы и системы», состоявшейся в г. Уфе 24 октября 2018 г. Основная тематика сборника связана с электрическими машинами и аппаратами, электрическим транспортом, электроэнергетикой, электроснабжением, а также подготовкой кадров в области электроэнергетики и электротехники.

Редколлегия:
Ф. Р. Исмагилов – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой электромеханики (ответственный редактор)
И. Х. Хайруллин – д-р техн. наук, профессор кафедры электромеханики
А. Р. Валеев – канд. техн. наук, доцент кафедры электромеханики (зам. ответственного редактора)
Т. А. Волкова – канд. техн. наук, доцент кафедры электромеханики

Материалы публикуются в авторской редакции.

ISBN 978-5-4221-1172-5

© Оформление. РИК УГАТУ, 2018

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ»
24 октября 2018 г.

проводится ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» совместно с АО «Башкирская электросетевая компания» и ООО «ИНПЦ «Энергия – УГАТУ» в рамках Российского энергетического форума.

Посвящается 100-летию со дня рождения
доктора технических наук, профессора И. М. Хомякова

ОРГКОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

КРИОНИ Николай Константинович	ректор УГАТУ, д-р техн. наук, профессор – **председатель**
ИСМАГИЛОВ Флюр Рашитович	зав. кафедрой электромеханики, д-р техн. наук, профессор – **заместитель председателя**;
АГЕЕВ Георгий Константинович	проректор по научной и инновационной деятельности, канд. техн. наук, доцент;
ЗАРЕМБО Игорь Викторович	технический директор АО «Уфимское агрегатное производственное объединение»
НУСЕНКИС Александр Александрович	директор ООО «ГИП-Электро»
ВАЛЕЕВ Азат Рустамович	доцент кафедры электромеханики УГАТУ, канд. техн. наук;
ВОЛКОВА Татьяна Александровна	доцент кафедры электромеханики УГАТУ, канд. техн. наук;
ВАВИЛОВ Вячеслав Евгеньевич	доцент кафедры электромеханики УГАТУ, канд. техн. наук.

МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ

г. Уфа, ул. Менделеева, 158, «ВДНХ-ЭКСПО», конгресс-зал

АДРЕС ОРГКОМИТЕТА

г. Уфа, ул. К. Маркса, 12, 4-207, УГАТУ, кафедра электромеханики
Тел. (347) 273-77-87, e-mail: elm.ugatu@gmail.com

СОДЕРЖАНИЕ

Гизатуллин Ф. А. Памяти профессора Хомякова И.М. 9
Раздел 1. Электротехнические комплексы и системы 12
Исмагилов Ф. Р., Вавилов В. Е., Минияров А. Х. Метод диагностики локальных размагничиваний и сколов постоянных магнитов ротора 12
Пашали Д. Ю., Демин А. Ю., Юшкова О. А., Сайфутдинов С. В. Устройство вибромониторинга роторных электромеханических преобразователей энергии 14
Завьялов В. М., Бевз Д. В. Метод оценки углового положения ротора синхронного двигателя с постоянными магнитами 19
Рогинская Л. Э., Горбунов А. С., Меднов А. А. Особенности расчета установленной мощности многофазных трансформаторно-выпрямительных устройств 23
Купова А. В., Купов А. В. Особенности автоматической настройки ПИ регулятора в моделях Simscape 26
Заико А. И. Измерение плотности вероятности процесса с экспоненциальной корреляционной функцией 29
Фаррахов Д. Р., Веселов А. М., Султанов Н. И. Высокоэффективный источник вторичного электропитания системы управления 35
Сироткин Е. А., Мирошниченко А. А., Бодрова Е. С. О необходимости использования аварийных систем управления в ветроэнергетических установках 38
Ямалов И. И., Каримов Р. Д., Степанова А. С. Моделирование стартерного режима электрического двигателя для стенда исследования авиационных генераторов 41
Хасанов З. М., Хасанов О. З., Хасанова Н. В. Динамические режимы адаптивной системы управления многосвязными электроприводами 44
Сидорова А. А., Мукимов А. Х., Филина О. А. Современные возможности вибродиагностики электротехнических комплексов и систем 48
Саяхов И. Ф. Электромеханический привод для системы управления летательного аппарата 50
Петушков М. Ю., Пустовой Д. О. Развитие метода проактивного диагностирования асинхронных двигателей 54
Рогинская Л. Э., Горбунов А. С., Меднов А. А. Улучшение технико-экономических показателей выпрямительных преобразовательных устройств в полупроводниковых источниках питания 58
Сологубов А. Ю., Кирпичникова И. М. Электромеханотронный подход к созданию систем самонаведения на Солнце в русле специальности 05.09.03 Электротехнические комплексы и системы 62
Рогинская Л. Э., Горбунов А. С., Меднов А. А. Источник питания постоянного тока с 24-кратной пульсацией выпрямленного напряжения 65

Хасанов З. М., Хасанов О. З., Хасанова Н. В. Программное цифровое устройство управления многосвязными электроприводами транспортеров робототехнического комплекса 68
Ямалов И. И., Степанова А. С. Модель регулирования напряжения высокооборотного интеллектуального стартер-генератора 72
Анашкин А. А., Угаров Г. Г. Пути повышения эффективности электрохимической защиты от коррозии подземных стальных трубопроводов 75
Охотников М. В., Савчик Д. С., Новин А. И. Зависимость напряжения питания электрофильтра от дымового потока 79
Алетдинов Р. Ф., Волкова Т. А. Способ гашения колебаний и электростатический демпфер для его воплощения 82
Охотников М. В., Ситдиков А. А., Нусенкис А. А. Поле в активном зазоре электрофильтра 86
Раздел 2. Электромеханика и электрические аппараты 90
Сологубов А. Ю., Кирпичникова И. М. О выборе электромеханического преобразователя энергии для систем слежения за солнцем 90
Черепенькин И. В., Хуснутдинов А. Н., Баймиева Д. Р. Анализ эксплуатационной надежности коллекторно-щеточного узла генераторов 93
Федосов Е. М., Чирков В. С. Защита электрического генератора с помощью оптоволокна 96
Стыскин А. В., Уразбахтина Н. Г., Хизбуллин А. М. Применение устройств форсирования в вентильно-индукторных двигателях 99
Терешкин В. М., Арслангалина Р. А., Высоцкий В. В., Терешкин В. В. Трехфазная и пятифазная электромеханические системы. Сравнительный анализ многофазных электромеханических систем с нечетным количеством фаз 105
Ткачук А. А. Применение пакета программы ELCUT при доказательстве корректности 4Т-образных моделей Шакирова М.А. для трансформаторов 118
Саяхов И. Ф. Авиационный электромеханический привод исполнительных устройств 122
Стыскин А. В., Юсупов И. И., Хизбуллин А. М. Параметрический трансформатор оригинальной конструкции с повышенной перегрузочной способностью 125
Ткачук А. А. Обоснованность и адекватность 4Т-образных схем замещения Шакирова М.А. для двухобмоточных трансформаторов 128
Салихов З. К. Новый взгляд на теоретическое представление принципа работы синхронного генератора 132

Раздел 3. Электрооборудование летательных аппаратов, автомобилей и тракторов 136
Гусаков Д. В., Вавилов В. Е. Методика проектирования высокоэффективного трансформаторно-выпрямительного устройства авиационного применения 136
Петровский С. В. Бортовой комплекс диагностики для экспериментального анализа электромагнитной совместимости системы зажигания 139
Миняров А. Х. Перспективный вентильный электродвигатель для топливных насосов 143
Кильметов Р. А. Эффективный беспилотный летательный аппарат для полетов в сильнопересеченном пространстве 146
Гусаков Д. В. Повышение энергетической эффективности трансформаторно-выпрямительных устройств летательных аппаратов 149
Раздел 4. Электрический транспорт 151
Полуянович Н. К., Дубяго М. Н. Математическая модель и алгоритм управления взаимодействием электроподвижных составов через контактную сеть 151
Литвиненко А. Р., Ферапонтова М. В., Литвиненко Р. С. Пропускная способность инфраструктуры городского электротранспорта 158
Мукимов А. Х., Сидорова А. А., Филина О. А. Исполнительная подсистема диагностического контроля 163
Раздел 5. Электрические станции и подстанции 166
Варганова А. В., Байрамгулова Ю. М., Гончарова И. Н. Экономически целесообразные ремонтные режимы работы генераторов промышленных тепловых электростанций, работающих на вторичных энергоресурсах 166
Саттаров Р. Р., Гарафутдинов Р. Р. Потенциал развития распределенной генерации в России 169
Могилевец Ф. А. Применение систем дополненной реальности в системах ТОиР энергопредприятий 171
Панова Е. А., Варганова А. В., Хатюшина Т. В., Гредяев Е. Ф. Автоматизированный выбор схем распределительных устройств подстанций с высшим напряжением 35-220 кВ в условиях системы электроснабжения промышленного предприятия 174
Холикова А. Р., Петров Т. И. Модель ветрогенератора в среде Simulink 176
Раздел 6. Электроэнергетические системы и сети 180
Гайнанов Д. А., Каширина Е. С., Хабирова Я. Ф. Возобновляемые источники энергии как фактор демонополизации розничного рынка электроэнергии 180
Снопкова Н. Ю., Нишанбаев Ш. Р., Просекин И. Н., Катаев А. С. Определение и мониторинг величины наведенного напряжения на воздушной линии с двухцепными опорами 187

Проничев А. В., Солдусова Е. О., Шишков Е. М. Анализ режима внутрифазного короткого замыкания для разомкнутых линий электропередачи с продольной самокомпенсацией 190
Бабикова Н. Л., Волкова Т. Ю., Носкова А. В. К вопросу эксплуатации электрической изоляции в районах с загрязненной атмосферой 194
Хузяшев Р. Г., Кузьмин И. Л., Васильев В. Д., Тукаев С. М. Алгоритмы волнового метода определения места повреждения в разветвленных распределительных электрических сетях 6(10) кВ 196
Компанеец Б. С., Боярков Д. А. О необходимости разработки систем по оценке и управлению рисками выхода из строя электрических сетей 200
Ермолаев В. А., Потапчук Н. К., Зайдуллина К. А. Режимы заземления нейтрали в электрических системах 203
Зиннурова Э. Ф., Федосов Е. М. Методы диагностики кабельных линий 206
Саяхов Р. М., Уразбахтина Н. Г., Хизбуллин А. М. Проверка кабелей на невозгорание 210
Зайдуллина К. А., Потапчук Н. К., Ермолаев В. А. Мониторинг гололедной обстановки на воздушных линиях электропередачи 213
Бабикова Н. Л., Нусенкис А. А. Актуальность защиты сельских электрических сетей от повреждений 216
Снопкова Н. Ю., Нишанбаев Ш. Р., Просекин И. Н., Якимов Р. С. Способ определения мест повреждения многоцепных воздушных линий электропередачи с учетом наведенного напряжения 219
Компанеец Б. С., Боярков Д. А. Пути совершенствования методов оценки и управления рисками выхода из строя электрических сетей 222
Исмагилов Ф. Р., Янгиров И. Ф., Максудов Д. В. Демпфирование колебаний проводов воздушных линий в условиях гололедообразования 225
Раздел 7. Электроснабжение 234
Иванов К. А., Федоров С. В. Перспективы альтернативного электроснабжения потребителей малой мощности с использованием установок преобразования солнечной энергии в электрическую 234
Солдусова Е. О., Казанцев А. А., Проничев А. В. Анализ режимов сети при использовании новейших конструкций силовых трансформаторов в системах электроснабжения города 237
Газизова О. В., Соколов А. П., Малафеев А. В. Исследование влияния учета насыщения на переходную ЭДС промышленного генератора при расчете токов короткого замыкания 241
Кузьменко В. П., Соленый С. В., Квас Е. С. Влияние светодиодных светильников на потребителей электрической сети 245
Газизова О. В., Соколов А. П. Анализ влияния демпферных моментов на параметры режима источников распределенной генерации при расчете токов короткого замыкания 248

Шилин А. Н., Дементьев С. С. Диагностика коротких замыканий на воздушных линиях электропередачи с применением искусственной нейронной сети 252
Малафеев А. В., Иманова Ю. С. Подход к учету коммутационного ресурса РПН при выборе оптимальных положений переключателей в процессе суточного регулирования напряжения на понизительных подстанциях промышленных предприятий 255
Раздел 8. Подготовка кадров в области электроэнергетики и электротехники 259
Бабикова Н. Л., Волкова Т. Ю., Исмагилов Р. Р. К вопросу подготовки кадров для электроэнергетики 259
Миронова Е. А. Педагогические аспекты решения проблемы кадрового потенциала энергетических предприятий 262
Муфтеев А. Ф., Огарков Ю. С., Диваева Э. А. Конкретные предложения по активизации инновационной работы в энергетических компаниях России 265
Хабирова Я. Ф. Реализация правовых гарантий надежного энергоснабжения 267
Указатель имен 270

для выбора технически верного решения. Для последующей оценки схем по показателям надежности и приведенным затратам в алгоритме предусмотрена возможность подбора нескольких технически реализуемых вариантов.

Список литературы

1. AutoCAD [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.autodesk.com/products/autocad/features, свободный.- Загл. с экрана.

2. Компас-3D [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://kompas.ru/kompas-grafik/about, свободный. – Загл. с экрана.

3. Ковалев А.А., Головин А.А. Применение САПР для расчета освещенности // Современные научные исследования и инновации. – 2014. – №6-1 (38). – URL: http://web.snauka.ru/en/issues/2014/06/36002.

4. Шишигин Д.С. AutoCAD приложение для расчета молниезащиты и заземления объектов электроэнергетики // Матер. XII Всеросс. совещания по проблемам управления. – С. 9374-9380.

5. Елисеев Д.С. Алгоритмы САПР для выбора проводов и кабелей:учеб. пособие. – Волгоград : ФГБОУ ВПО Волгоградский ГАУ, 2012. – 184 с.

6. Постановка задачи синтеза принципиальных схем промышленного электроснабжения средствами современных САПР / А.Л. Ахтулов, Л.Н. Ахтулова, Е.Н. Леонов, С.И. Смирнов // Вестник ИжГТУ им. М.Т. Калашникова. – 2011. – №1. – С. 110-113.

7. Трофимов А.В. Автоматизация проектирования вторичных цепей электрических станций и подстанций // Электрические станции. – 2009. – №10. С. 46-49.

8. Повышение эффективности применения сапр при проектировании схем управления механизмами собственных нужд / Е.С. Целищев, А.В. Котлова, И.С. Кудряшов, И.М. Чикунов // Автоматизация в промышленности. – 2015. – №9. – С. 10-15.

9. ПрЭВМ №2018660517. ОРУ CAD / Варганова А.В., Панова Е.А., Хатюшина Т.В., Кононенко В.С., Багаева Х.М.; правообладатель ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». – № 20186605174; заявл. 30.07.18; опубл. 23.08.18.

А. Р. ХОЛИКОВА, Т. И. ПЕТРОВ
Казань, ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

МОДЕЛЬ ВЕТРОГЕНЕРАТОРА В СРЕДЕ SIMULINK

Аннотация. Возобновляемые источники энергии являются одним из самых перспективных трендов современной энергетики. Однако, не стоит забывать и о минусах нетрадиционных источников энергии, главный из которых высокая стоимость оборудования. В ветроэнергетике важной частью является ветрогенератор, который смоделирован в данной работе. Модель возможно будет использовать в дальнейшем для многокритериальной оптимизации.

Ключевые слова: *ветроэнергетика, генератор, ротор.*

Введение

Ветровая энергетика − это часть энергосистемы, которая связанна с разработкой методологии и совокупности средств для преобразования энергии ветров в механическую, тепловую или электрическую энергию. Отличительная особенность ветроэлектроэнергетики, как и солнечных панелей, состоит в том то, что ее можно использовать практически везде и бесплатно.

На территории России насчитывается около 7 ВЭС, не считая изолированных энергосистем и Крымской энергосистемы. Нас заинтересовала Ульяновская ветровая электростанция , так как она является совсем юной ВЭС, начавшая свою работу в январе 2018 года и считается самым крупным проектом Российской Федерации.

В данной работе рассмотрена ветроэлектроустановка с активным выпрямителем, которая позволит увеличить диапазон значений номинальных скоростей ветра, и это приведет к повышению эффективности ВЭУ [1]. Данная модель была реализована в Matlab Simulink.

На Ульяновской ВЭС-1 смонтированы 14 ветрогенераторов производства китайской компании *DongFang* мощностью 2,5 МВт каждый.

Исходные данные и расчет

Заданы следующие желаемые параметры ВЭУ:

- $P_{\text{вэу}} = 350$ кВт, активная мощность ветроустановки;
- $n_{\text{ном}} = 760$ об/мин, номинальное значение скорости вращения ротора;
- $U_{\text{акб}} = 400$ В, стандартное напряжение аккумуляторной АКБ;
- $V_{\text{ветра}} = 7$ м/с, номинальное значение скорости ветра;
- Генератор – синхронный, с постоянными магнитами.

КПД генератора примем 95%, а выпрямителя 98%:

$$\eta_{\text{ВЭУ}} = \eta_{\text{ГЕН}} \cdot \eta_{\text{ВЫПР}} = 0{,}95 \cdot 0{,}98 = 0{,}93 \text{ о.е.}$$

Мощность ветроколеса найдем по формуле:

$$P_{\text{КОЛЕСА}} = \frac{P_{\text{ВЭУ}}}{\eta_{\text{ВЭУ}}} = \frac{350000}{0{,}93} = 376{,}344 \text{ кВт}.$$

Номинальная скорость вращения ротора:

$$\omega_{\text{НОМ}} = n_{\text{НОМ}} \cdot \frac{2\pi}{60} = 760 \cdot \frac{2 \cdot 3{,}14}{60} = 79{,}547 \text{ рад/с}.$$

Зная, мощность ветроколеса и скорость ротора[2], найдем номинальный момент:

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{КОЛЕСА}}}{\omega_{\text{НОМ}}} = \frac{376344}{79{,}547} = 4731{,}091 \text{ Н×м}.$$

Данные расчеты ветроколеса продемонстрированы на рис. 1.

Предположим, что амплитудное значение линейного напряжения на 10% меньше напряжения аккумуляторной батареи, следовательно, получим:

$$U_{\text{ЛИН}} = \frac{U_{\text{АКБ}}}{0{,}85} = \frac{400}{0{,}9} = 444{,}44 \text{ В}.$$

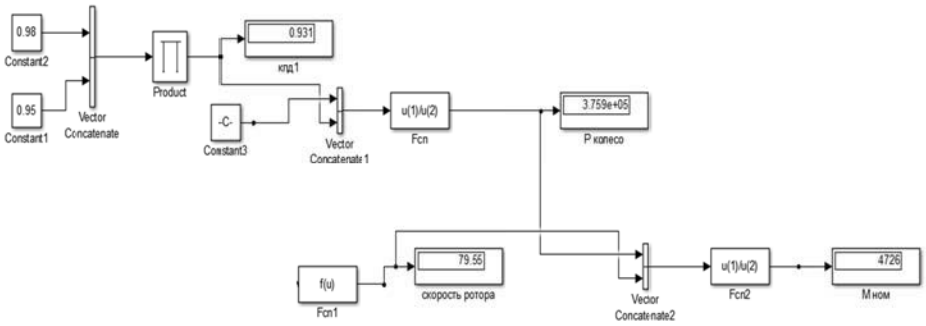


Рис. 1. Часть расчета ветроколеса

Отсюда следует, что приведенный момента генератора к значению амплитуды тока генератора, можно вычислить по формуле:

$$k_m = \frac{U_{\text{ЛИН}}}{\omega_{\text{НОМ}}} \cdot \sqrt{\frac{3}{4}} = \frac{444,44}{79,547} \cdot \sqrt{\frac{3}{4}} = 4,84 \ \frac{\text{В}}{\text{рад/с}}.$$

Амплитуда номинального тока генератора:

$$I_{\text{Г}} = \frac{M_{\text{НОМ}}}{k_m} = \frac{4731,091}{4,84} = 977,498 \text{ А}.$$

Номинальный выходной ток:

$$I_{\text{ВЫХ}} = \frac{P_{\text{ВЭУ}}}{U_{\text{АКБ}}} = \frac{350000}{400} = 87,5 \text{ А}.$$

Для дальнейшего расчета воспользуемся дополнительными данными:

– 3-х лопастное ветроколесо, лопасти длинной 56 метра массой 4,7 тонны;
– Масса магнитов генератора 420 кг, радиус ротора равен 18,5 метра.

Вычислим момент инерции по следующим формулам:

$$J_{\text{КОЛЕСА}} = 3 \cdot \frac{m_{\text{ЛОПАСТИ}} \cdot i^2_{\text{ЛОПАСТИ}}}{3} = 14739200 \text{ кг}\times\text{м}^2;$$

$$J_{\text{ГЕН}} = \frac{m_{\text{ГЕН}} \cdot r^2}{3} = 71872,5 \text{ кг}\times\text{м}^2;$$

$$J = J_{\text{КОЛЕСА}} + J_{\text{ГЕН}} = 14811072,5 \text{ кг}\times\text{м}^2.$$

Полная модель представлена на рис. 2.

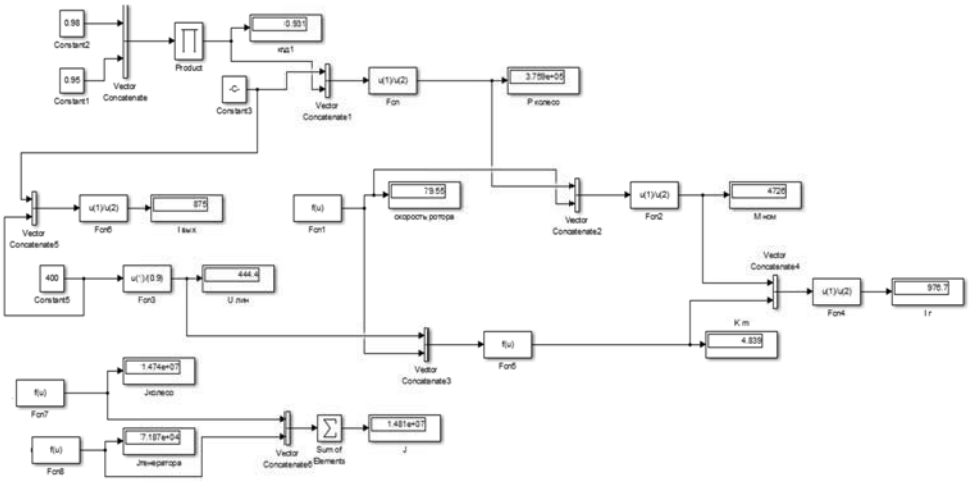


Рис. 2. Часть расчета ветроколеса

Заключение

Реализована, на основе системы уравнений, модель ветрогенератора в среде Simulink, что позволяет в будущем модернизировать существующую модель, посредством добавления системы управления (широтно-импульсная модуляция) и проведением многокритериальной оптимизации.

Список литературы

1. L.V. Divone, "Evolution of modern wind turbines," in Wind Turbine Technology, D. A. Spera, Ed: AMSE Press, 1995, ch. 3, pp. 73-138.

2. Д.де Рензо, В. В. Зубарев. Ветроэнергетика. Москва, Энергоатомиздат, 1982.