Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»

ВК «Кузбасская ярмарка»

НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

№ 9 - 2023

УДК 622.2 ISSN 2311-8342

ББК 33.1
Н 340

Главный редактор
д.т.н., проф. Фрянов В.Н.

Редакционная коллегия:
чл.-корр. РАН, д.т.н., проф. Клишин В.И., д.т.н., проф. Никитенко С.М.,
д.т.н. Павлова Л.Д. (технический редактор), д.т.н., проф. Домрачев А.Н.,
д.э.н., проф. Петрова Т.В.

Н 340 Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов : науч. журнал / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общей ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк, 2023. - № 9. – 390 с.

Рассмотрены аспекты развития инновационных наукоёмких технологий диверсификации угольного производства и обобщены результаты научных исследований, в том числе создание роботизированных и автоматизированных угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий, базирующиеся на использовании прорывных технологий добычи угля и метана, комплексной переработке этих продуктов в угледобывающих регионах и реализации энергетической продукции потребителям в виде тепловой и электрической энергии.

Журнал предназначен для научных и научно-технических работников, специалистов угольной промышленности, преподавателей, аспирантов и студентов вузов.

Номер подготовлен на основе материалов Международной научно-практической конференции «Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов», проводимой в рамках специализированной выставки технологий горных разработок «Уголь России и Майнинг» (Новокузнецк, 6-9 июня 2023 г.).

Основан в 2015 г.
Выходит 1 раз в год

Учредитель - Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»

УДК 622.2
ББК 33.1

© Сибирский государственный индустриальный университет, 2023

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ИНТЕГРАЦИИ СИСТЕМЫ 1С: ДОКУМЕНТООБОРОТ И СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ЗАЯВОК NAUMEN SERVICE DESK 253
Матюшкин Г.В., д.т.н. Кулаков С.М. 253
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия 253
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПИРОЛИЗА И ГОРЕНИЯ ТОПЛИВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА T-ENERGY 258
к.т.н. Сеченов П.А., д.т.н. Рыбенко И.А. 258
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия 258
МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ СКИПОВОГО ПОДЪЕМА ЦР6х3,2/0,75 АБАКАНСКОГО РУДНИКА 261
д.т.н. Островлянчик В.Ю., к.т.н. Кубарев В.А., Маршев Д.А., к.т.н. Поползин И.Ю. 261
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия 261
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ШАХТНОЙ ПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКИ С АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ И ДВУХЗОННЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ СКОРОСТИ 267
д.т.н. Островлянчик В.Ю., к.т.н Кубарев В.А, Маршев Д.А., к.т.н. Поползин И.Ю 267
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия 267
ИЗМЕРЕНИЕ ДВИЖУЩЕГО МОМЕНТА И МАССЫ ГРУЗА В АСИНХРОННОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ ДВУХСКИПОВОЙ ШАХТНОЙ ПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКИ ... 272
к.т.н. Поползин И.Ю. 272
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия 272
О ВОЗМОЖНОСТИ ДИАГНОСТИКИ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ ШАХТНЫХ ПОДЪЁМНЫХ УСТАНОВОК ПО ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ВЕЛИЧИНАМ ПРИВОДА С УЧЁТОМ ВЛИЯНИЯ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ В КАНАТАХ 276
к.т.н. Кипервассер М.В., к. ф-м.н., Хаимзон Б.Б., к.т.н. Симаков В.П. 276
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия 276
РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ MATHLAB/SIMULINK ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ НА КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ 280
Стишенко К.П., к.т.н. Кипервассер М.В. 280
Сибирский государственный индустриальный университет. г. Новокузнецк, Россия 280
ПРОБЛЕМЫ ВЛИЯНИЯ МОЩНОЙ РЕГУЛИРУЕМОЙ АКТИВНОЙ НАГРУЗКИ НА КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СЕТЯХ 0,4 кВ 286
Бедарев М.А., Коновалов О.В., Мамонтов Д.Н., к.т.н. Кипервассер М.В. 286
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия 286
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ В ОБЕСПЕЧЕНИИ УГОЛЬНОЙ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СТРАНАХ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ АЗИИ 291
[1,2]д.т.н. Зеньков И. В., [3]Мулюшкина А.А. 291
1 – Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия 291
2 – Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, г. Красноярск, Россия 291
3 – Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва, г. Красноярск, Россия 291
МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРА 294
к.т.н. Кузнецова Е.С., Усова Э.А., Комарова О.В., Качурин А.С. 294
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк 294
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ГОРНЫХ ПРЕДПРЯТИЯХ 298
[1]к.т.н. Кузнецова Е.С., [2]Кузьмина С.Ю., [3]Кузьмин С.А. 298

$$u''_{1\text{L}}(x,p) - \frac{p^2}{{c_1}^2}u_{1\text{L}}(x,p) = 0, \quad E_1 S_1 u'_{1\text{L}}(0,p) = m_1 p^2 u_{1\text{L}}(0,p).$$

$$i_{\text{яL}}(p) = \frac{1}{C_e} M_{\text{двL}}(p),$$

$$E_{\text{гL}}(p) = Lpi_{\text{яL}}(p) + R_{\text{яц}} i_{\text{яL}}(p) + \frac{C_e}{R} p u_L(l,p),$$

$$T_{\text{тп}} p U_{\text{тпL}}(p) + U_{\text{тпL}}(p) = k_{\text{тп}} U_{\text{ртL}}(p), \quad T_{\text{вг}} p E_{г_L}(p) + E_{г_L}(p)_г = k_г U_{\text{тп}_L}(p), \qquad (23)$$

$$U_{\text{ос}\omega_{1_L}}(p) = \frac{k_{\text{дс}}}{R} p u_L(l,p), \quad U_{\text{ос}\omega_{1_L}}(p) = \frac{k_{\text{дс}}}{R} p u_L(l,p), \quad U_{\text{дт}_L}(p) = k_{\text{дт}} i_{я_L}(p).$$

Вывод. Полученная система позволяет решить задачу определения отклонения электрических величин привода при зависании сосуда с учётом волновых процессов в канате. Решение возможно на интервале времени до появления изгиба каната, то есть развития собственно напуска. Для фиксации зависания сосуда достаточно проследить за поведением характеристик процесса в начальные моменты времени порядка t_1.

Список литературы

1. Завозин Л.Ф. Шахтные подъемные установки. – М.: Изд-во «Недра», 1975. – 368 с.

2. Степанов А.Г., Корняков М.В. Динамика машин: монография. – 2-е изд., испр. и доп. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2014. – 412 с.

3. Шахтный подъем: науч.-произв. издание / В.Р. Бежок, В.И. Дворников, И.Г. Манец, В.А. Пристром: общ. ред. Б.А, Грядущий, В.А. Корсун. – 2-3 изд., перераб. и доп. – Киев: Альфа Реклама, 2017. – 600 с.

4. Степанов А.Г. Динамика шахтных подъёмных установок. – Пермь : УрО РАН, 1994. – 263 с.

5. Осипова Т.Н., Хорошилов О.Н., Писарцов А.С. Динамика подъемной установки с учетом упругости каната // Машинобудування. –2017. – №19. – С. 96-102.

6. Сребная Е.Г., Кондрахин В.П. Математическое моделирование динамических процессов в одноконцевой подъемной машине канатами большой длины // Подъемно-транспортное оборудование и логистика: V регион. студ. конф., 20-21 мая 2015 г. – Донецк: ДонНТУ, 2015.

7. Об использовании метода контроля состояния машин технологических агрегатов по энергетическим параметрам привода / А.Н. Савельев, М.В. Кипервассер, Д.С. Аниканов, В.Е. Реморов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2013. – № 12. – С. 31-33.

8. Кипервассер М.В. Влияние волновых процессов в канатах шахтных подъёмных установок на электрические величины электропривода / М.В. Кипервассер, Б.Б. Хаимзон // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2022. – № 8. – С. 261-265.

УДК 621.311, 621.331

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ MATHLAB/SIMULINK ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ НА КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Стишенко К.П., к.т.н. Кипервассер М.В.
Сибирский государственный индустриальный университет. г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. В статье рассматривается разработка модели на базе компьютерной программы Mathlab/Simulink, позволяющей исследовать искажения токов и напряжений в

сети электроснабжения, вызванных влиянием работы тяговых полупроводниковых выпрямителей.

Ключевые слова: гармонические искажения, полупроводниковый выпрямитель, математическая модель, качество электрической энергии, гармонический состав, тяговая подстанция.

Одним из основных способов доставки угля в Российской федерации к потребителям является железнодорожный транспорт. Увеличение объёмов перевозок, рост массы поездов ведут к повышению нагрузки на инфраструктуру электроснабжения железных дорог. Помимо устойчивого и надежного энергообеспечения тяговой нагрузки, в круг задач дистанций электроснабжения входит также энергообеспечение устройств сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ), обеспечивающих безопасность и автоматизацию перевозочного процесса.

Электрификация Западно-Сибирской железной дороги выполнена преимущественно на постоянном токе. Выпрямления тока осуществляется с помощью преобразователей, выполненных, в основном, по 6-ти и 12-ти пульсовым схемам. Процесс преобразования сопровождается генерацией несинусоидальных гармоник на сторонах переменного и выпрямленного напряжения, что в свою очередь снижает качество электрической энергии на всех уровнях системы электропотребления [1].

Особенно чувствительными к качеству электроэнергии являются потребители, в составе которых есть микроэлектронные элементы. К таким относится оборудование постов электрической централизации и СЦБ. Любой сбой или отказ указанных технических средств могут привести к тяжелым последствиям: нарушениям графика движения, аварийных ситуациям с подвижным составом, опасным условиям труда персонала [2]. С учетом изложенного, вопрос качества и устойчивости энергоснабжения потребителей, питаемых от тяговых подстанций, является актуальным.

Одним из основных показателей качества формы кривой питающего напряжения является коэффициент несинусоидальности. Значения коэффициента несинусоидальности тока различно для 12-ти пульсовых 6-ти пульсовых схем [3]. На гармонический состав кривой сетевого тока также оказывает влияние величина угла коммутации вентилей преобразователя γ. Его значение зависит от величин индуктивных сопротивлений питающей системы, понизительного и тягового трансформаторов, а также коэффициента выбранной схемы выпрямления [1].

Напряжение питающей сети на шинах присоединения преобразовательного трансформатора также имеет искажения, вызванные коммутацией в вентильных плечах выпрямителя. На интервале коммутации происходит междуфазное короткое замыкание. Отношение мощности выпрямителя к мощности короткого замыкания питающей системы характеризует степень искажения напряжения. Спектр высших гармонических составляющий напряжения повторяет спектр тока питающей сети [3].

Для изучения влияния работы полупроводниковых выпрямителей на качество электрической энергии, питающей нетяговые потребители железных дорог, в статье предлагается модель тяговой подстанции, выполненная в программной среде Mathlab/Simulink.

В качестве исходной принципиальной электрической схемы для разрабатываемой модели принята упрощенная схема тяговой подстанции (рис. 1).

Модель тяговой подстанции в программной среде Mathlab/Simulink выполнена на основе типовых блоков библиотеки SimPowerSistem. Питание тяговой подстанции 110 кВ выполнено типовым блоком Three-Phase Sourse. Понизительный трансформатор с параметрами реального ТДН-16000/110 представлен блоком Three-Phase Transformer. Тяговый трансформатор с параметрами ТРДП-12500/10, применяемый в 12-ти пульсовых схемах тяговых подстанций, представлен тремя блоками Multi-Winding Transformer с расщепленными вторичными обмотками, собранными по схемам «звезда - треугольник».

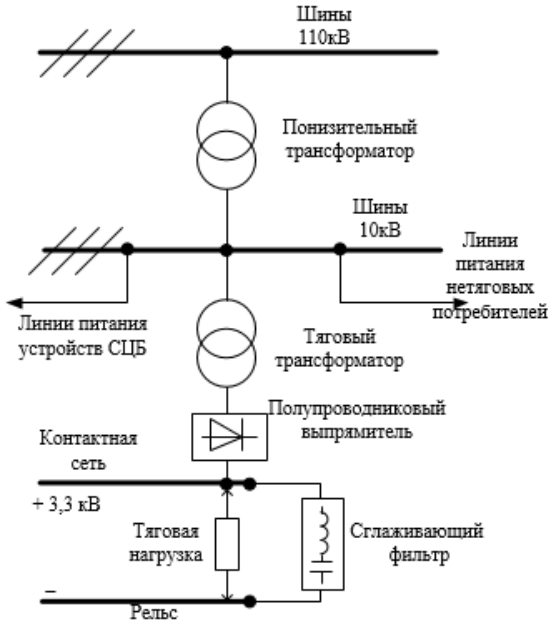

Рис. 1. Упрощенная схема тяговой подстанции постоянного тока

Выпрямительный 12-ти пульсовый агрегат, выполненный по последовательной схеме, принят как ТПЕД-3150-3,3к с номинальным значениями на стороне выпрямленного напряжения $Ud_н$=3,3 кВ и тока $Id_н$=3150 А и представлен блоками Diod, собранными в две последовательные секции и подключенными к вентильным обмоткам тягового трансформатора (рис. 2). Реактор РБФАУ-6500 4,1 мГн, включенный в цепь фидера отсоса, а также однозвенный резонансно-апериодический сглаживающий фильтр смоделированы на основе блока Series RLC Branch.

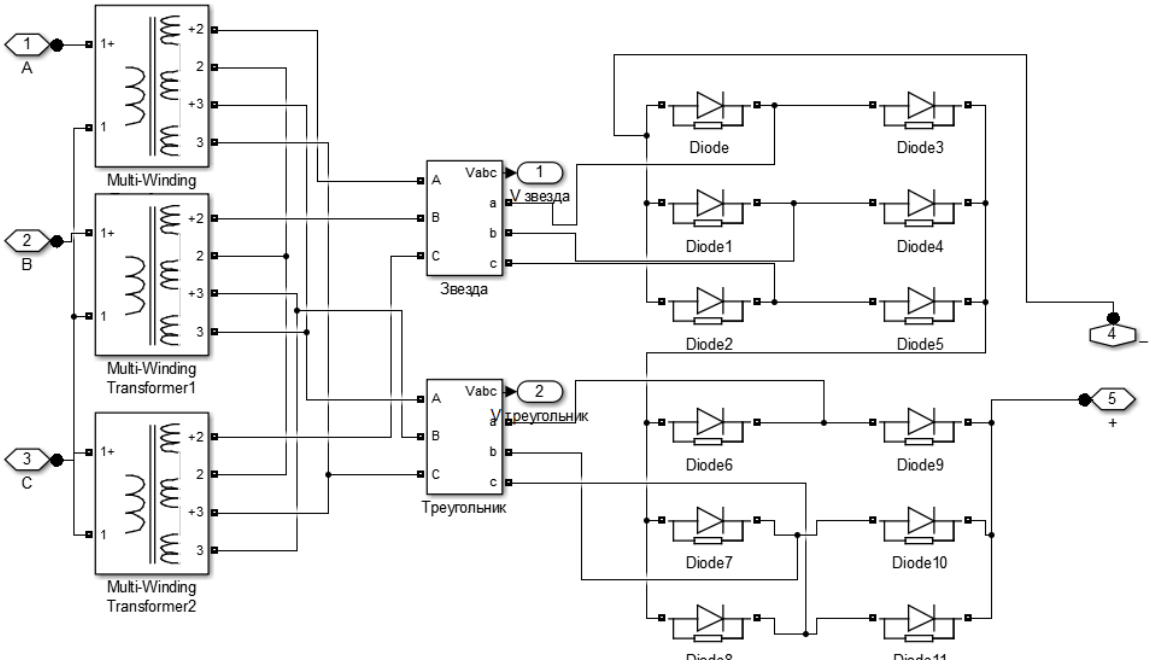

Рис. 2. Блок-схема преобразовательного агрегата

Программные средства для измерения параметров исследуемой модели представлены блоками Three-Phase Measurement, To Workspace, Voltage Measurement, Current Measurement, Display [4, 5].

Блок-схема разработанной модели представлена на рис. 3.

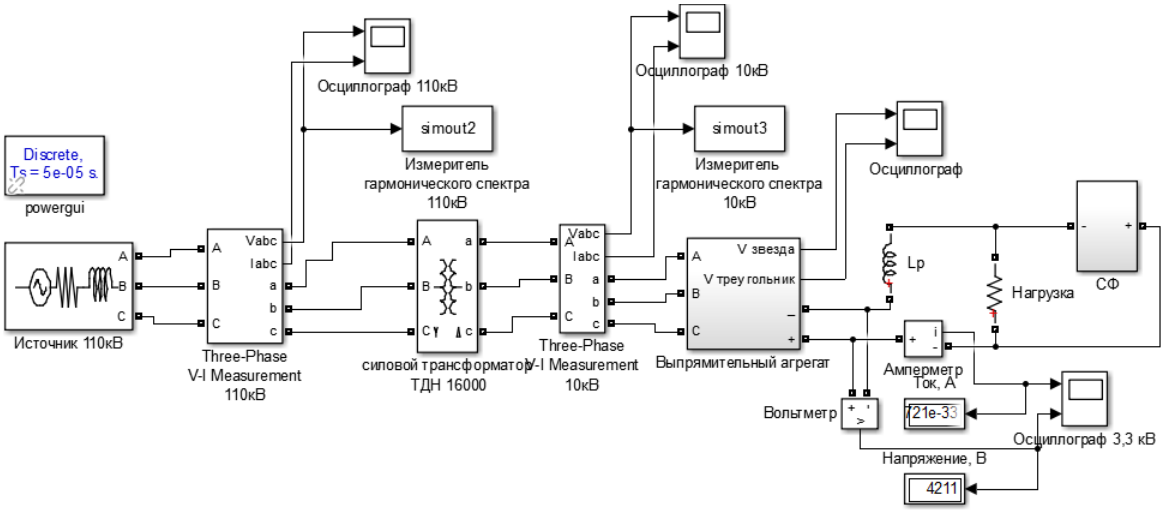

Рис. 3. Блок-схема разработанной модели тяговой подстанции постоянного тока

Расчет параметров, используемых при моделировании трансформаторов, в соответствии с требованиями моделирования в программной среде Mathlab производился с учетом теоретических и методических указаний, изложенных в [4, 6, 7]. Интервал времени моделирования составлял 10 секунд.

Исследовались величины напряжений и токов на шинах 10 кВ и их гармонический состав. Исследование модели тяговой подстанции включало в себя рассмотрение 3 (трёх) режимов.

1. Исследование показателей качества электрической энергии при режиме отсутствия тяговой нагрузки, Id=0, Ud=4200 В (рис. 4, 5).

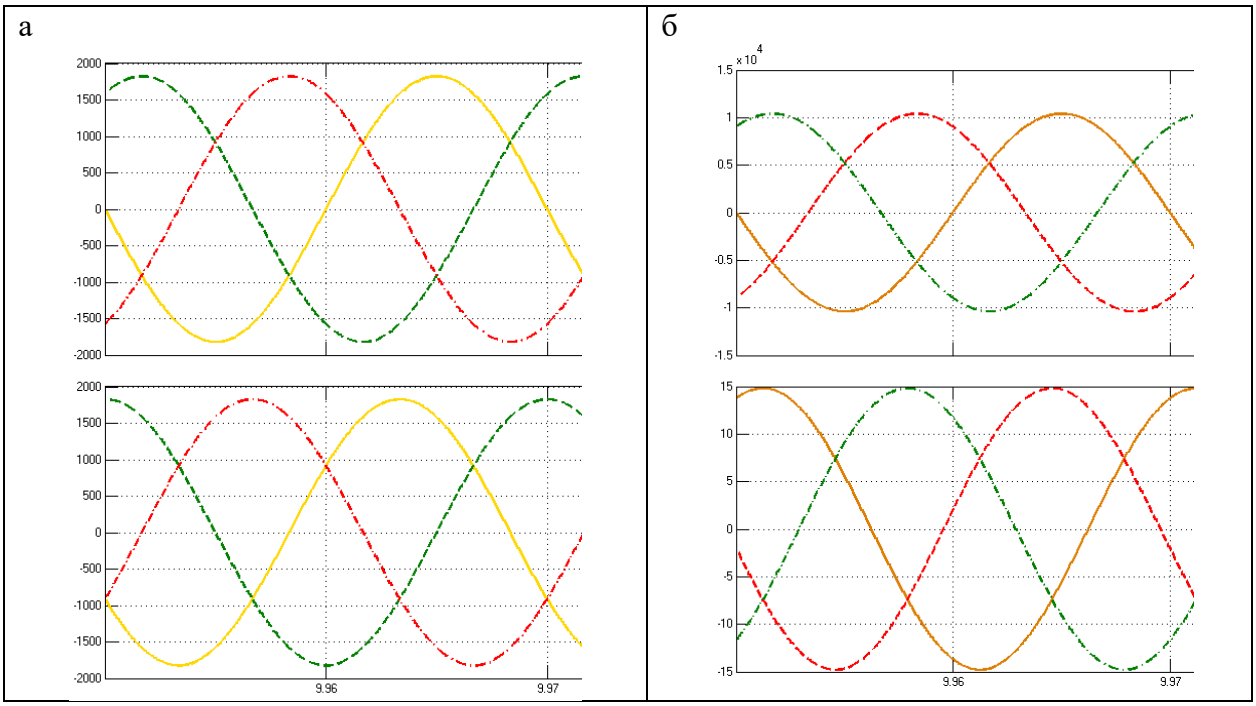

Рис. 4. Величины напряжений и токов: а) графики напряжений вентильных секций тягового трансформатора; б) графики напряжения и тока на шинах 10 кВ в режиме отсутствия тяговой нагрузки

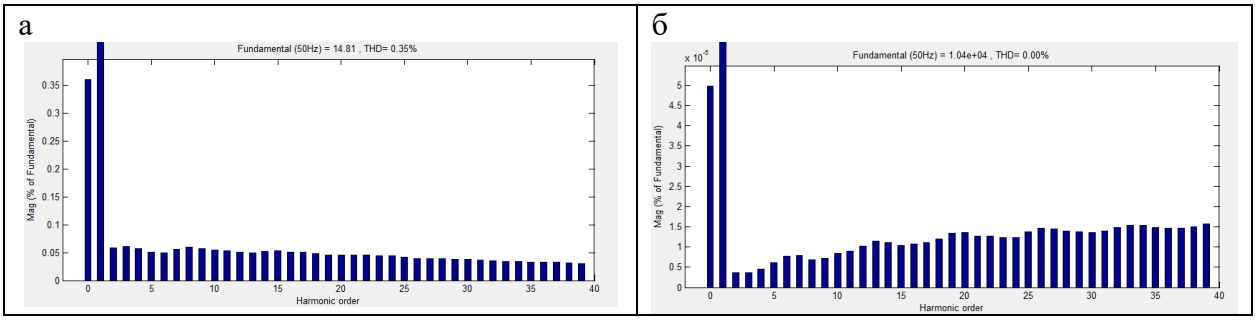

Рис. 5. Гармонический состав сигналов: а) гармонический состав тока; б) гармонический состав напряжения на шинах 10 кВ

По приведенным выше осциллограммам и спектральной диаграмме можно сделать вывод об отсутствии негативного воздействия на качество электрической энергии на шинах 10 кВ, при работе выпрямителя в режиме холостого хода.

2. Исследование показателей качества электрической энергии в режиме тяговой нагрузки при токе выпрямителя $I_d=0,5I_н\approx1600$А.

В режиме тяговой нагрузки, составляющей половину от номинальной, кривые тока и напряжения на шинах тяговой подстанции принимают вид, приведенный на рис 6.

На приведенных осциллограммах видно искажение формы кривых напряжения вторичных обмоток трансформатора (рис. 6, а) и сетевых тока и напряжения выпрямителя (рис. 6, б), обусловленное влиянием коммутационных процессов в вентильных «плечах».

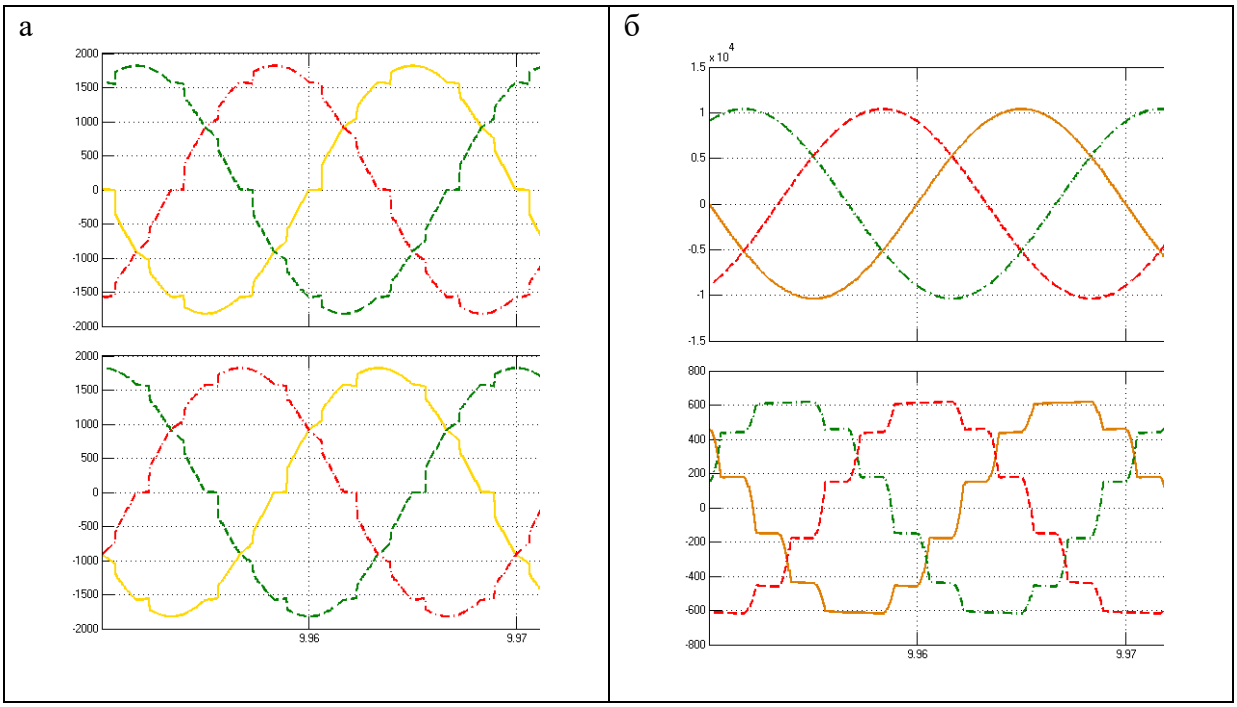

Рис. 6. Величины напряжений и токов; а) графики напряжений вентильных секций тягового трансформатора в режиме тяговой нагрузки;
б) графики напряжения и тока на шинах 10 кВ

Спектральные диаграммы показывают зависимость порядкового состава гармонических составляющих от выбранной схемы выпрямления. Наблюдается преобладание канонических для 12-ти пульсовой схемы выпрямления гармоник с номерами 11,13,23,25 … в спектральном составе кривой напряжения 10 кВ (рис. 7).

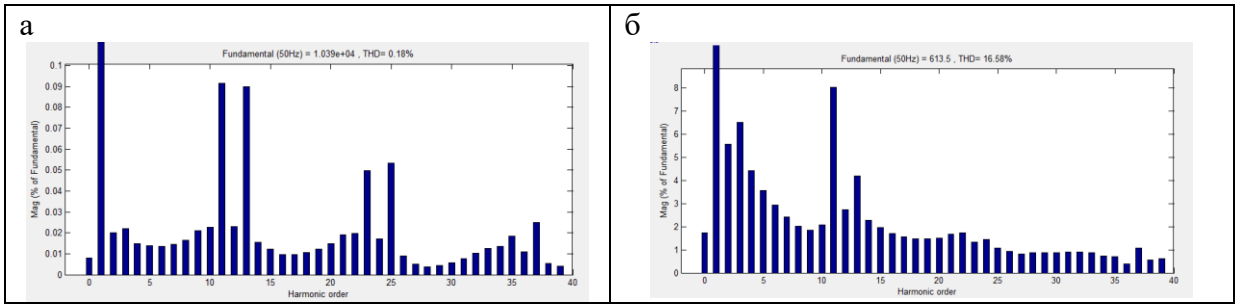

Рис. 7. Гармонический состав сигналов: а) гармонический состав напряжения; гармонический состав тока (б)

3. Исследование показателей качества электрической энергии в режиме номинальной тяговой нагрузки на выпрямителе $I_d=I_н \approx 3150$А (рис. 8, 9).

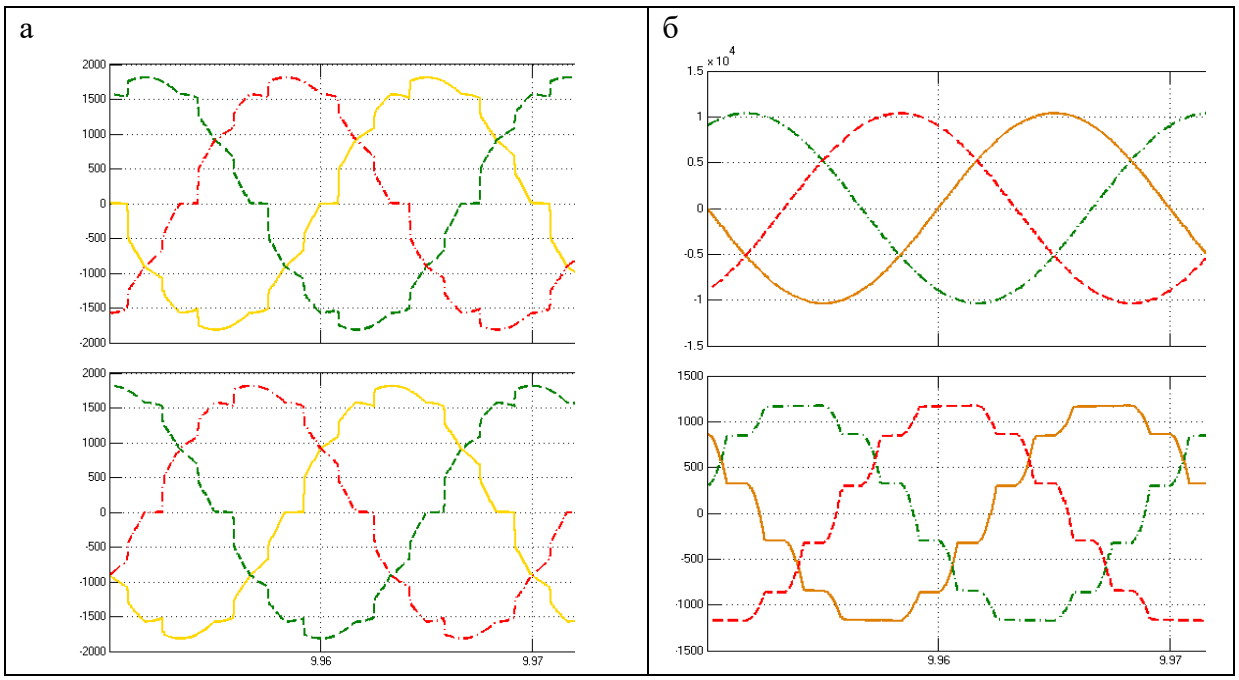

Рис. 8. Величины напряжений и токов: а) графики напряжений вентильных секций тягового трансформатора в режиме номинальной тяговой нагрузки; б) графики напряжения и тока на шинах 10 кВ

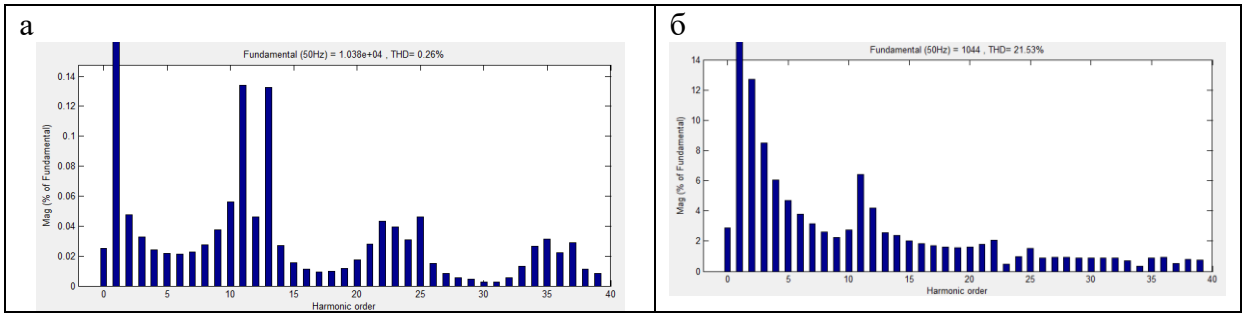

Рис. 9. Гармонический состав сигналов: а) гармонический состав напряжения; гармонический состав тока (б)

Анализ полученных данных показывает, что при токе нагрузке, равном половине номинального, суммарное наличие гармоник высших порядков в кривой питающего

напряжения 10кВ составляет 0,18% от амплитуды первой гармоники. При номинальном токе нагрузки этот показатель увеличивается до 0,26%.

Выводы. В результате проведенного исследования программной математической модели, были получены данные о величинах тока и напряжения на вентильных обмотках тягового трансформатора и питающего сетевого напряжения первичной обмотки. Анализ полученных данных подтверждает зависимость степени снижения качественных показателей электрической энергии от тяговой нагрузки выпрямителя. Продемонстрировано наличие канонических гармоник искажения 12-ти пульсового выпрямителя в спектре питающего напряжения. На основе разработанной модели возможно проведение исследований влиянии тяговой нагрузки на показатели качества электроэнергии в системе электроснабжения.

Список литературы

1. Двенадцатипульсовые полупроводниковые выпрямители тяговых подстанций / Б.С. Барковский, В.П. Маценко, М.Г. Шалимов [и др.]; Под ред. М.Г. Шалимова. - М.: Транспорт, 1990. – 126 с.

2. Стишенко К.П., Кипервассер М.В. Причины и влияние искажений питающего напряжения на функционирование устройств микропроцессорной электрической централизации железнодорожного транспорта // Системы автоматизации (в образовании, науке и производстве) : труды всерос. науч.-практ. конф., Новокузнецк, 15 – 16 декабря 2022 г. – Новокузнецк: СибГИУ, 2022. – С. 555-559.

3. Бурков А.Т. Электронная техника и преобразователи: учеб. для вузов железнодорожного транспорта – М.: Транспорт, 1999. – 464с.

4. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB. SimPowerSystems и Simulink. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 288 с.

5. Дьяконов В.П. SIMULINK 4. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2002. – 528 с.

6. Новаш И.В., Румянцев Ю.В. Расчет параметров модели трехфазного трансформатора из библиотеки MatLab-Simulink с учетом насыщения магнитопровода // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2015. – №1.

7. Расчет параметров схемы замещения трансформаторов с расщепленной обмоткой с учетом устройства регулирования напряжения под нагрузкой в обмотке высшего напряжения / А.В. Герасимук, И.Ю. Семыкина, М.В. Кипервассер // Горное оборудование и электромеханика. – 2019. – № 2(142). – С. 52-59. – DOI 10.26730/1816-4528-2019-2-52-59.

УДК 621.314

ПРОБЛЕМЫ ВЛИЯНИЯ МОЩНОЙ РЕГУЛИРУЕМОЙ АКТИВНОЙ НАГРУЗКИ НА КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СЕТЯХ 0,4 кВ

Бедарев М.А., Коновалов О.В., Мамонтов Д.Н., к.т.н. Кипервассер М.В.
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. Рассматривается проблема ухудшения параметров качества электроэнергии в сетях 0,4 кВ, вызванная регулированием мощной активной нагрузки. Приводятся решения для снижения влияния мощной регулируемой активной нагрузки на параметры качества электроэнергии.

Ключевые слова: электрический нагреватель, колебания, дискретное регулирование, широтно-импульсное модулирование, фликер.

Научное издание

НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Под общей редакцией профессора В.Н. Фрянова

Компьютерная верстка Л.Д. Павловой

Подписано в печать 23.05.2023 г.
Формат бумаги 60х84 1/16. Бумага писчая. Печать офсетная.
Усл.печ.л. 23,18 Уч.-изд. л. 24,74 Тираж 1000 экз. Заказ 114

Сибирский государственный индустриальный университет
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42.
Издательский центр СибГИУ