

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

№ 10 - 2024

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, 2024. - № 9. – 350 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, 4-7 июня 2024 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

АВТОНОМНАЯ И ДИСТАНЦИОННО-УПРАВЛЯЕМАЯ ТЕХНИКА НА ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ.....	188
¹ д.э.н. Никитенко С.М., ¹ к.т.н. Никитенко М.С., ¹ Худоногов Д.Ю., ¹ Кизиллов С.А., ² PhD Вайс И.	188
1 – Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово, Россия	188
2 – EEP Elektro-Elektronik Pranjic GmbH, Гельзенкирхен, Германия	188
СПОСОБ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ С ИХ ФИЗИЧЕСКИМИ МАКЕТАМИ	193
¹ Кизиллов С.А., ¹ к.т.н. Никитенко М.С., ¹ Худоногов Д.Ю., ² Neogi B., ¹ Верховцев Д.О.....	193
1 – Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово, Россия	193
2 – Инженерный колледж JIS, Кальяни, Западная Бенгалия, Индия.....	193
A COMPREHENSIVE REVIEW ON ADVANCING COAL MINING THROUGH INDUSTRY 4.0 AND INDO-RUSSIA COLLABORATION.....	198
Shaw H. K., Rajak A., Chanda A., Pal M., Neogi B.	198
JIS College of Engineering, Kalyani, West Bengal, India	198
ДИСКРЕТНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТИРОВКИ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ ПО ПЕРЕСЫПНОМУ УЗЛУ СТАКЕРА-РЕКЛАЙМЕРА	203
к.т.н. Клишин С.В., Морев А.Э., Тимофеев Т.Т.	203
АО «Моделирование и цифровые двойники», г. Москва, Россия	203
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА T-ENERGY	209
к.т.н. Сеченов П.А., д.т.н. Рыбенко И.А.....	209
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	209
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ РЕМОНТОВ И РАБОТЫ КОНВЕРТЕРОВ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	213
Прохоров И. М., к.т.н. Турчанинов Е. Б., к.т.н. Шакиров М. К., д.т.н. Зимин А.В.....	213
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	213
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЯГОВЫХ НАГРУЗОК НА КАЧЕСТВО ПИТАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ НЕТЯГОВЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В РАЙОНАХ УГЛЕДОБЫЧИ.....	217
¹ Стишенко К.П., ² Герасимук А.В., ¹ к.ф.-м.н. Хаимзон Б.Б., ¹ к.т.н. Кипервассер М.В.	217
1 – Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия.....	217
2 – АО «Сибирский Тяжпромэлектропроект», г. Новокузнецк, Россия	217
ХАРАКТЕРИСТИКИ СХЕМ ЧАСТОТНОГО УПРАВЛЕНИЯ МНОГОВИДАТЕЛЬНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ МЕХАНИЗМОВ В ГОРНОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	222
Александров Н.А., Жданов Е.В., к.т.н. Кипервассер М.В.	222
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	222
ПРИМЕНЕНИЕ МАШИНЫ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК.....	226
к.т.н. Поползин И.Ю.	226
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	226
ВЛИЯНИЕ ПРОВАЛОВ НАПРЯЖЕНИЯ НА РАБОТУ ЧАСТОТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	230
Жданов Е.В., Александров Н.А., к.т.н. Кубарев В.А.	230
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	230
МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ МАТРИЧНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ	233
Петрущенко А.Ю.....	233
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	233
РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ.....	238
к.т.н. Кузнецова Е.С., Богдановская Т.В., Игнатенко О.А.	238
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	238
СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ГЕНЕРАТОРА МОЩНЫХ ИМПУЛЬСА НА БАЗЕ КОНТРОЛЛЕРА	243
Кузнецова Е.С., Арбузов И.С.	243
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	243

3. Планирование дискретного производства в условиях АСУ / Под ред. В.М. Глушкова. – Киев: Техника, 1975. – 295 с.
4. Программная координация в рамках комплекса сталь-прокат. Построение агрегированного расписания для конвертерных цехов. / А.А. Кугушин, В.В. Зимин, С.М. Кулаков [и др.] // Известия вузов. Черная металлургия. – 1980. – № 8. – С. 100-106.

УДК 621.311, 621.331

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЯГОВЫХ НАГРУЗОК НА КАЧЕСТВО ПИТАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ НЕТЯГОВЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В РАЙОНАХ УГЛЕДОБЫЧИ

¹Стищенко К.П., ²Герасимук А.В., ¹к.ф-м.н. Хаимзон Б.Б., ¹к.т.н. Кипервассер М.В.

1 – Сибирский государственный индустриальный университет,

г. Новокузнецк, Россия

2 – АО «Сибирский Тяжпромэлектропроект», г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. Выполнено моделирование тяговой подстанции с использованием среды Matlab/Simulink для анализа влияния работы полупроводниковых преобразователей электрифицированных железных дорог постоянного тока на качество электрической энергии, потребляемой нетяговыми потребителями.

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

В границах Западно-Сибирской железной дороги был зафиксирован ряд случаев ложного срабатывания защиты от нарушения чередования фаз напряжения, питающего электронное оборудование постов электрической централизации (ЭЦ) железных дорог постоянного тока. Срабатывание защиты сопровождалось переходом питания поста с основного на резервный фидер и нарушениями в работе электрической централизации. Поиск причин указанной проблемы привел к рассмотрению вопроса влияния полупроводниковых выпрямителей на качество электрической энергии в линиях электроснабжения нетяговых потребителей, к которым относятся посты электрической централизации.

По результатам выполненных замеров тока и напряжения, потребляемых постом ЭЦ и приведенных на рис. 1, было выявлено, что при увеличении тягового тока увеличивается степень несинусоидального искажения напряжения на вводной панели поста ЭЦ 0,4 кВ, что в свою очередь, и вызывает ложное срабатывание защиты.

Искажение формы кривой напряжения на шинах тяговой подстанции, и, соответственно в линиях питания нетяговых потребителей обуславливается наличием высших гармоник в составе сетевого тока выпрямительного агрегата, возникающих вследствие коммутации, т.е. короткого замыкания между вентильными плечами. Продолжительность коммутации определяется углом коммутации:

$$\gamma_m = \arccos \left(1 - 2u_k \sin \frac{\pi I_d}{m I_{dном}} \right), \quad (1)$$

где u_k – сумма напряжений короткого замыкания понизительного и преобразовательного трансформаторов тяговой подстанции; m – число пульсаций выпрямленного напряжения; I_d – тяговый ток, потребляемый локомотивом на стороне постоянного тока; $I_{dном}$ – номинальный ток нагрузки выпрямителя, равный 3150 А.

Из (1) следует, что при увеличении тягового тока увеличивается угол коммутации, увеличение которого ухудшает форму кривой выпрямленного и сетевого напряжения полупроводникового преобразователя [1].

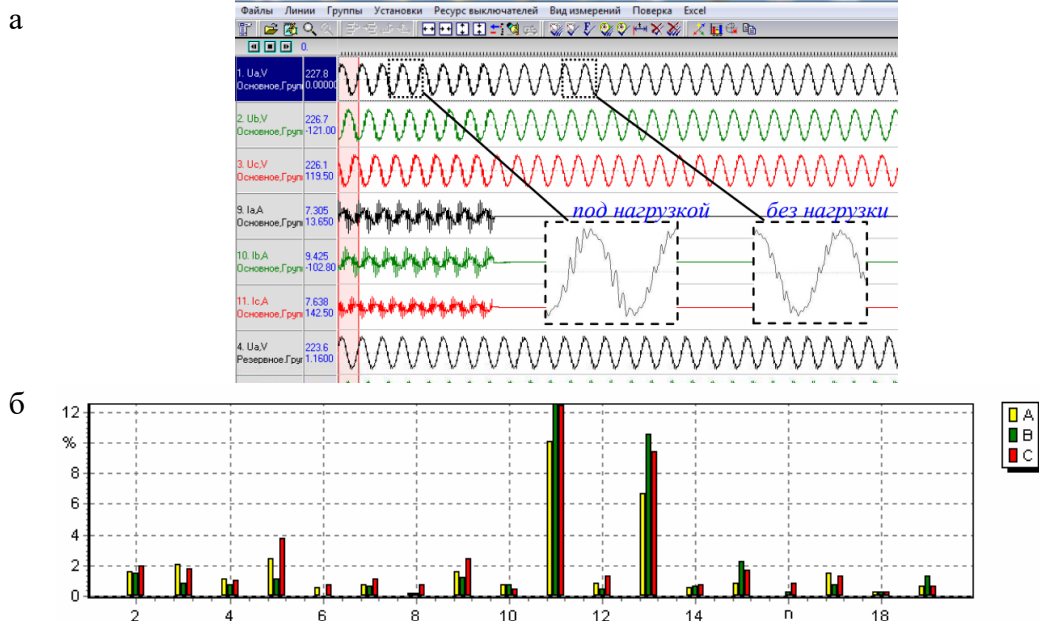


Рис. 1. Результаты натурных измерений: а – осциллограммы токов и напряжения 0,4 кВ поста ЭЦ; б – гармонический спектр напряжения 0,4 кВ поста ЭЦ

Ложное срабатывание защит поста ЭЦ препятствует надежной и устойчивой работе устройств сигнализации, обеспечивающих безопасность перевозочного процесса. С учетом повышения тяговых нагрузок, обусловленных ростом перевозок полезных ископаемых, проблема приобретает особенную актуальность.

Для анализа факторов, влияющих на качество электрической энергии в смежных тяговых подстанциях сетей и линиях электроснабжения, была разработана имитационная модель тяговой подстанции с линией питания поста ЭЦ в программной среде Matlab/Simulink, на основе однолинейной схемы электроснабжения постов электрической централизации. Схема электроснабжения приведена на рис. 2.

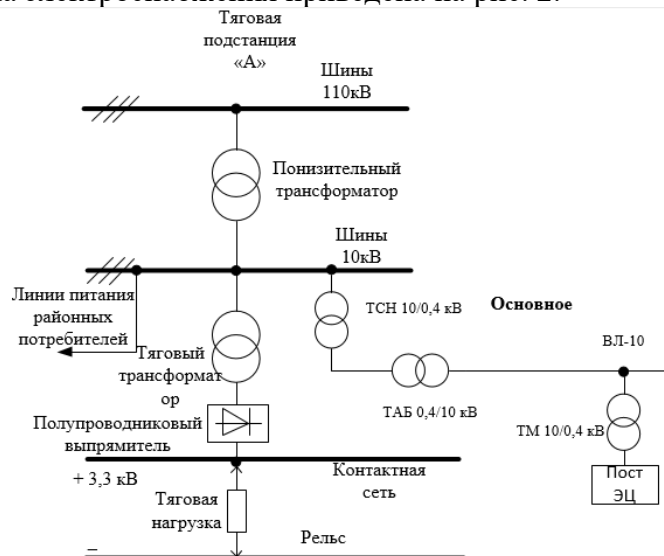


Рис. 2. Схема электроснабжения поста электрической централизации

Основное питание поста ЭЦ осуществляется от общих с тяговым выпрямителем шин 10 кВ тяговой подстанции «А». Далее через понижающий трансформатор собственных нужд (ТСН) питание по кабельной линии подаётся на повышающий трансформатор

автоблокировки (ТАБ), вторичные обмотки которого подключены к воздушной линии 10 кВ, питающей понизительный трансформатор (ТМ) поста ЭЦ.

Имитационная модель включает в себя трехфазный источник электрической энергии напряжением 110 кВ, воздушную линию, питающую тяговую подстанцию, силовой трансформатор ТДН 16000 110/10, тяговый трансформатор ТРДП 12500 с 12-ти пульсовым тяговым выпрямителем, тяговую нагрузку и сглаживающий фильтр на стороне постоянного тока [2]. На рис. 3 приведена блок-схема модели системы электроснабжения поста ЭЦ.

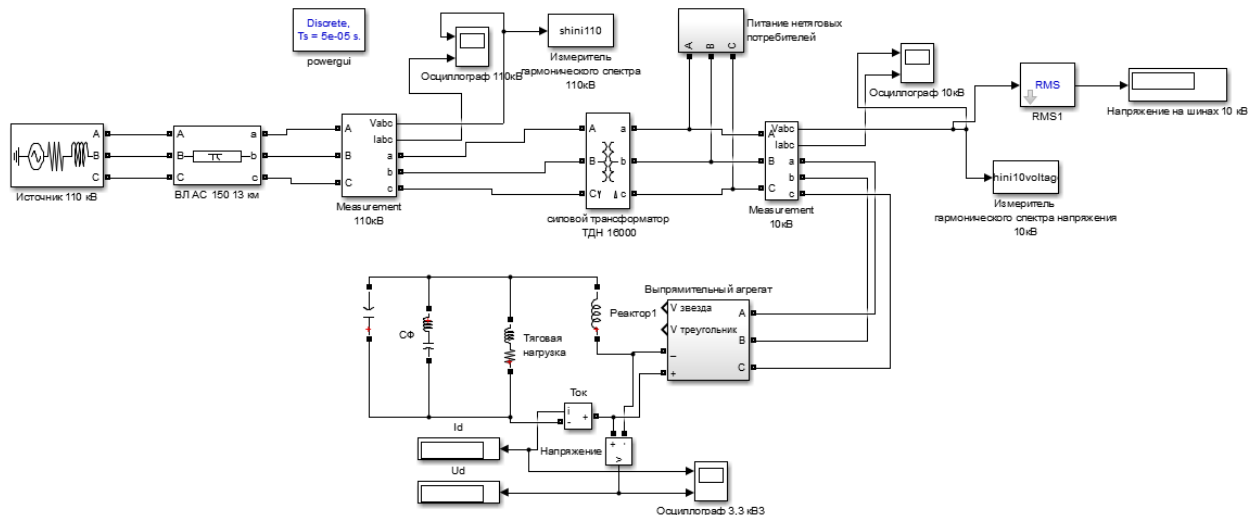


Рис. 3. Блок-схема модели системы электроснабжения поста ЭЦ

Подсистема «Питание нетяговых потребителей» включает трансформатор собственных нужд ТС-400 10/0,4, кабельную вставку, трансформатор автоблокировки ТС-250 0,4/10, воздушную линию 10 км, выполненную проводом АС-35, и КТП поста электрической централизации с трансформатором ТМ-160 10/0,4. Измерения кривых напряжений и гармонических спектров осуществляется блоками из библиотеки Matlab/Simulink. Трансформатор ТМ-160 работает в режиме холостого хода в целях оценки непосредственного влияния на качество электрической энергии тягового выпрямителя. Блок-схема подсистемы приведена на рис. 4.

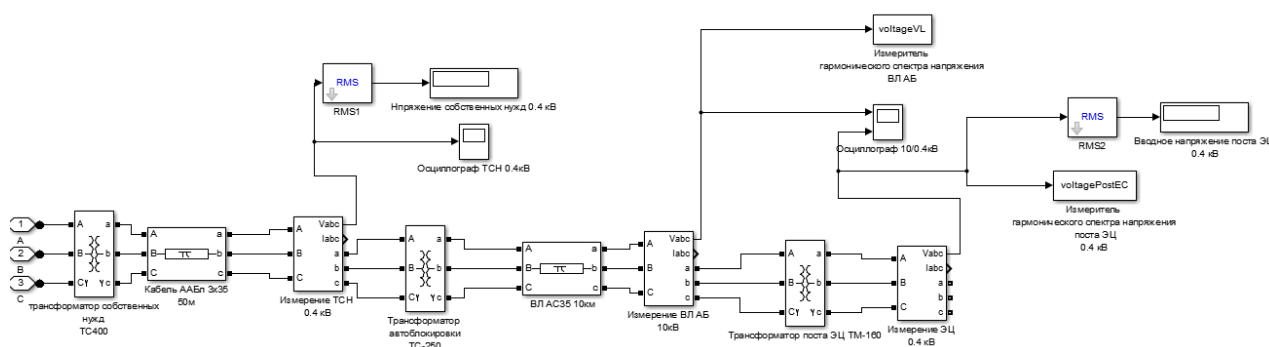


Рис.4. Блок схема подсистемы «Питание нетяговых потребителей»

Расчет параметров используемого в модели оборудования, осуществлялся на основе паспортных данных, методик и результатов, приведенных в [1, 3-6].

Моделирование осуществлялось в двух режимах на интервале времени моделирования 10 минут:

- при тяговом токе, составляющем 10% от номинального (3150 А), полностью симметричном и синусоидальном питающем напряжении 110 кВ;
- при тяговом токе, составляющем 100% от номинального (3150 А), полностью симметричном и синусоидальном питающем напряжении 110 кВ.

В ходе моделирования первого режима были получены результаты, приведенные на рис. 5, 6.

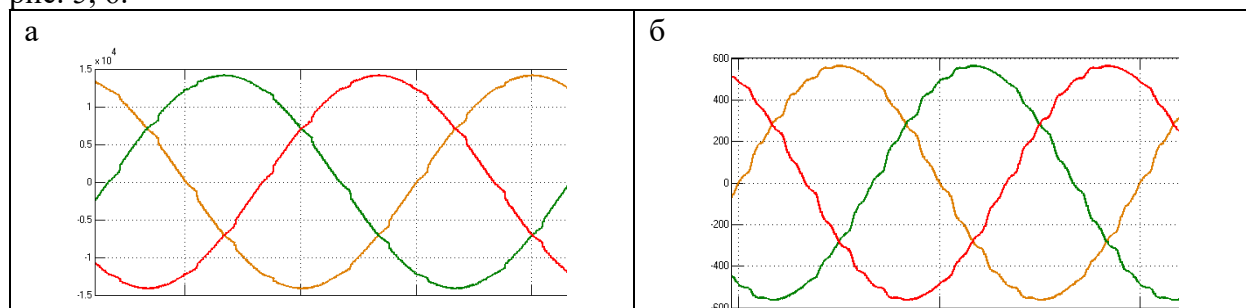


Рис. 5. Кривые напряжения: а – на шинах 10кВ; б – на шинах 0,4 кВ поста ЭЦ

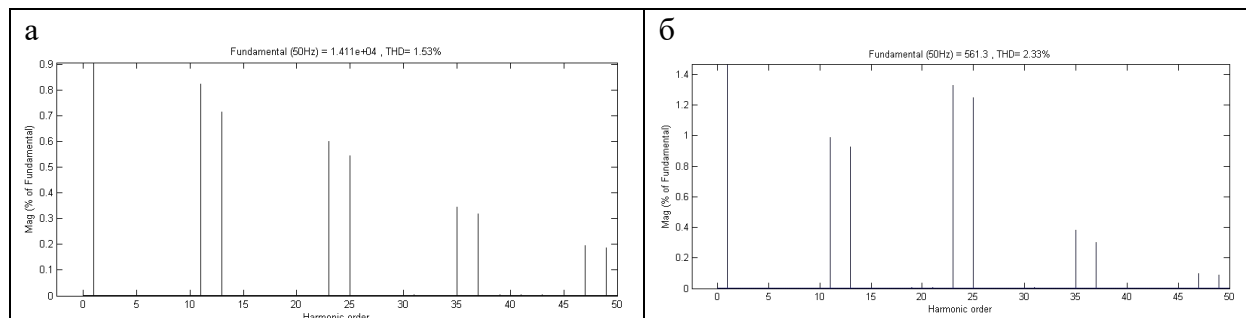


Рис. 6. Гармонические спектры напряжения: а – на шинах 10 кВ; б – на шинах 0,4 кВ поста ЭЦ

В ходе моделирования второго режима были получены результаты, приведенные на рис. 7, 8.

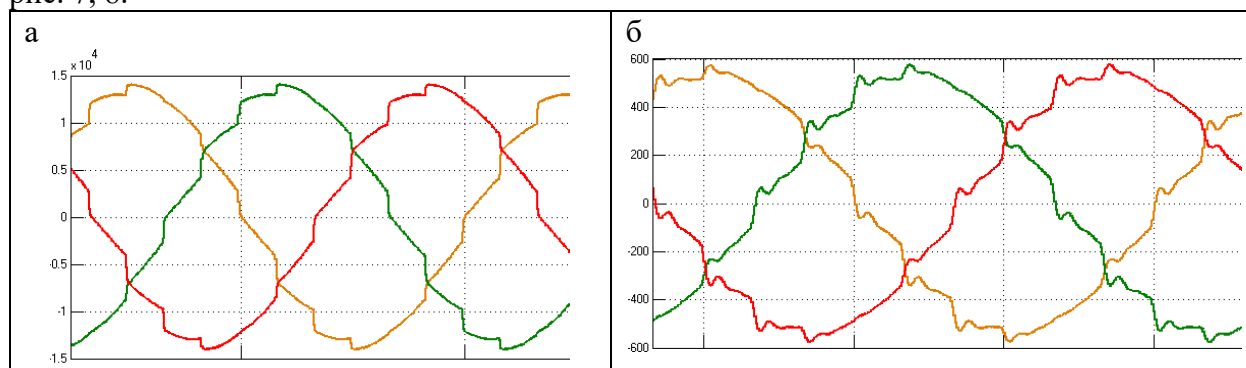


Рис. 7. Кривые напряжения: а – на шинах 10кВ; б – на шинах 0,4 кВ поста ЭЦ

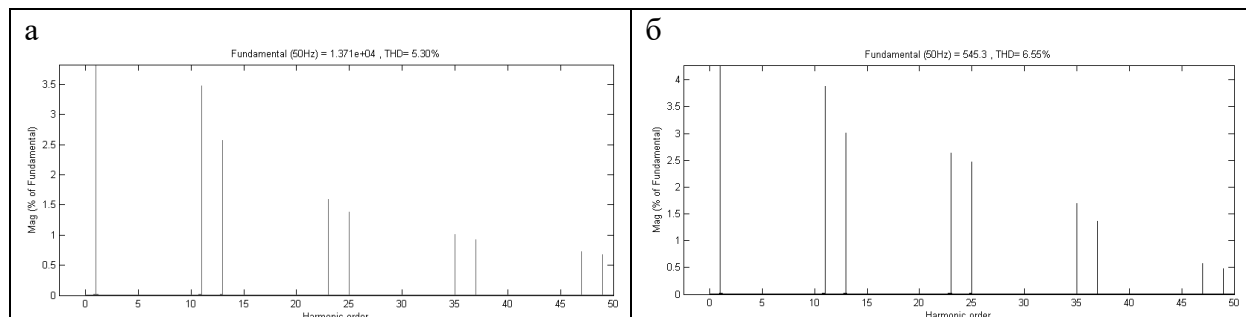


Рис. 8. Гармонические спектры напряжения: а – на шинах 10 кВ; б – на шинах 0,4 кВ поста ЭЦ

Анализ результатов моделирования показывает наличие влияния тягового тока на качественный уровень напряжения 0,4 кВ на вводной панели поста электрической централизации. При тяговом токе, соответствующем 10 % от номинального, суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения (K_U) на шинах 10 кВ тяговой

подстанции составляет 1,53%. Кривая напряжения имеет видимые искажения, обусловленные коммутацией вентильных плеч тягового преобразователя. Гармонический спектр напряжения 10 кВ включает канонические для 12-ти пульсовой схемы выпрямления высшие гармоники. На шинах 0,4 кВ поста ЭЦ, K_U составляет 2,33%, состав гармонического спектра повторяет спектр на шинах 10 кВ, за исключением непропорционального усиления 23-ей и 25-ой гармоник, что может быть вызвано наличием возможного резонансного режима. Наличие резонансного режима возможно по причине последовательного включения трансформаторов собственных нужд и автоблокировки, представляющих собой индуктивность, которая может резонировать с емкостью проводов ЛЭП.[1]

При моделировании второго режима, соответствующего номинальной нагрузке тягового выпрямителя, суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения 10 кВ увеличился до 5,3%. Кривая напряжения приобрела выраженные искажения под действием коммутации вентильных плеч. На шинах вводной панели поста ЭЦ 0,4 кВ степень искажения кривой напряжения увеличилась: суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения составил 6,55 %. Амплитуда 11-ой гармоники (3,88%) превышает допустимое значение (3,5%) , приведенное в требованиях ГОСТ [7].

Выводы. Результаты моделирования с использованием имитационной модели коррелирует с результатами натурных замеров, что подтверждает адекватность модели. Выявлено ухудшение показателей качества напряжения 0,4 кВ, питающего пост ЭЦ, свыше допустимых пределов, по мере увеличения тягового тока.

В реальных условиях на качество напряжения 0,4 кВ также будут оказывать влияние несимметрия и несинусоидальность сетевого напряжения 110 кВ, обусловленные наличием в системе тягового электроснабжения также 6-ти пульсовых выпрямителей и мощных однофазных нагрузок, особенно в районах станций стыкования. Наличие искажений требует разработки технических мероприятий по увеличению помехозащищённости постов ЭЦ и исключению нарушений в работе электрической централизации.

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. Стищенко К.П., Кипервассер М.В. Разработка математической модели в программной среде Mathlab/Simulink для исследования влияния полупроводниковых выпрямителей тяговых подстанций на качество электрической энергии // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2023. – № 9. – С. 280-286.
3. 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. – С. 12–24.
4. Герасимук А.В., Семькина И.Ю., Кипервассер М.В. Расчет параметров схемы замещения трансформаторов с расщепленной обмоткой с учетом устройства регулирования напряжения под нагрузкой в обмотке высшего напряжения // Горное оборудование и электромеханика. – 2019. – № 2(142). – С. 52-59. – DOI 10.26730/1816-4528-2019-2-52-59.
5. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB. SimPowerSystems и Simulink. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 288 с.
6. Мамошин Р.Р., Зимакова А.Н. Электроснабжение электрофицированных железных дорог: учебник для техникумов ж.-д. трансп. – М.: Транспорт, 1980. – 296 с.
7. ГОСТ 32144–2013. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Введ. 01.07.2014. – М.: Стандартинформ, 2014. – 6 с.

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 21.05.2024 г.

Формат бумаги 60x84 1/16. Бумага писчая. Печать офсетная.

Усл.печ.л. 20,80 Уч.-изд. л. 22,09 Тираж 1000 экз. Заказ 97

Сибирский государственный индустриальный университет

654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42.

Издательский центр СибГИУ