

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Сибирский государственный индустриальный университет»**  
**Администрация Правительства Кузбасса**  
**Администрация г. Новокузнецка**  
**Институт проблем управления им. Трапезникова РАН**  
**Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН**  
**АНО «Научно-образовательный центр «Кузбасс»**

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ**  
**(в образовании, науке и производстве)**  
**AS' 2022**

**ТРУДЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ**  
**КОНФЕРЕНЦИИ**  
*(с международным участием)*

**15-16 декабря 2022 г.**

**Новокузнецк**  
**2022**

УДК 658.011.56

С 409

Редакционная коллегия:

д.т.н., проф. В.В. Зимин (ответственный редактор),  
д.т.н., проф. С.М. Кулаков, д.т.н., проф. В.Ю. Островляничик,  
д.т.н., проф. Л.Д. Павлова, д.т.н., доц. И.А. Рыбенко,  
к.т.н., доц. В.И. Кожемяченко (технический редактор).

С 409 Системы автоматизации (в образовании, науке и производстве) AS'2022: труды Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием), 15-16 декабря 2022 г. / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Сибирский государственный индустриальный университет ; под общ. ред. В.В. Зимина. – Новокузнецк : Издательский центр СибГИУ, 2022. – 632 с.

ISBN 978-5-7806-0583-6

Труды конференции посвящены научным и практическим вопросам в области современных систем автоматизации и информатизации учебных, исследовательских и производственных процессов. Представлены результаты исследования, разработки и внедрения методического, математического, программного, технического и организационного обеспечения систем автоматизации и информационно-управляющих систем в различных сферах деятельности.

Сборник трудов ориентирован на широкий круг исследователей, научных работников, инженерно-технический персонал предприятий и научно-исследовательских лабораторий, преподавателей вузов, аспирантов и обучающихся по программам бакалавриата и магистратуры.

УДК 658.011.56

© Сибирский государственный  
индустриальный университет, 2022

Тарасенко А.А.

Применение стемминга для информационного поиска среди медицинского кластера документов ..... 547

Рыбка А.Д., Пестунов А.И., Белов В.М.

Сессии в ASP.NET или как создать собственный сервис для работы с ними ..... 551

#### **СЕКЦИЯ 4. Современный автоматизированный электропривод и промышленная электроника**

Стищенко К.П., Кипервассер М.В.

Причины и влияние искажений питающего напряжения на функционирование устройств микропроцессорной электрической централизации железнодорожного транспорта ..... 555

Федоров В.В.

Управление электроприводом постоянного тока с применением регулятора на нечеткой логике ..... 559

Клевцов С.А., Модзелевский Д.Е.

Исследование системы векторного управления асинхронного многодвигательного электропривода кантования угольного вагоноопрокидывателя «ВРС-93-110М» ..... 564

Бедарев М.А., Коновалов О.В., Кипервассер М.В.

Проблемы применения силовых трансформаторов с группой соединения обмоток Y/Yn-0 в распределительных сетях 0,4 кв. .... 571

Мезенцева А.В.

Вопросы выбора и применения технических средств регулируемого электропривода буровых установок..... 575

Филина О.А., Прокопенко С.С.

Линейные модели систем в пространстве состояний ..... 578

Островлянич В.Ю., Кубарев В.А., Зайцев Н.С., Кузнецова Е.С.

Имитационное моделирование системы автоуправления с переменной структурой для векторного управления синхронным электродвигателем классической конструкции ..... 586

Островлянич В.Ю., Маршев Д.А., Кубарев В.А., Поползин И.Ю.

Синтез адаптивного управления магнитным потоком возбуждения статора асинхронного двигателя с фазным ротором..... 592

Сарсембин А.О., Кубарев В.А., Асмаубеков А.К.

Моделирование электропривода переменного тока с вентиляторной нагрузкой ..... 599

Бабушкин С.В., Кубарев В.А.

Внедрение системы предиктивной аналитики на агрегатах цеха химического улавливания и производства коксохимической продукции АО «ЕВРАЗ ЗСМК» ..... 605

Колчагов П.О., Борицинский М.Ю.

Разработка регулятора мощности с помощью системы автоматизированного проектирования Proteus..... 608

Рогожников И.П.

Технология подготовки печатных плат к производству..... 612

3. Эксплуатация и ремонт электрических машин: Учеб. Пособие для спец. «Электромеханика» вузов/ М.В. Антонов, Н.А. Акимов, Н.Ф. Котеленец. – Москва: «Высшая школа» 1989. – 192 с.
4. Справочник по автоматизированному электроприводу / Под ред. В.А. Елисеева и А.В. Шинянского. – Москва: «Энергоатомиздат», 1983. – 616с.

УДК 621.314:621.311

## ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ С ГРУППОЙ СОЕДИНЕНИЯ ОБМОТОК $Y/Y_n-0$ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 0,4 КВ.

Бедарев М.А., Коновалов О.В., Кипервассер М.В.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия, mbedarev@yandex.ru; tehconsultant@mail.ru;  
kipervasser2012@yandex.ru

*Аннотация.* Рассматривается проблема асимметрии фазных напряжений в сетях 0,4 кВ при использовании силовых распределительных трансформаторов с группой соединения обмоток  $Y/Y_n-0$  при несимметричной нагрузке.

*Ключевые слова:* трансформатор, несимметрия, группа соединения обмоток, сопротивление нулевой последовательности, регистрация параметров.

*Abstract.* The problem of asymmetry of phase voltages in 0.4 kV networks is considered when using power distribution transformers with a  $Y/Y_n-0$  winding connection group with an asymmetric load.

*Keywords:* transformer, unbalance, winding connection group, zero sequence resistance, parameter registration.

Силовые распределительные трансформаторы с группой соединения обмоток  $Y/Y_n-0$ , нашедшие массовое применение с начала прошлого века по причине максимальной простоты и минимальной металлоемкости обмоток, в настоящее время по-прежнему используются в распределительных сетях 0,4 кВ.

Известно, что основными особенностями схемы  $Y/Y_n-0$ , вызывающими проблемы при эксплуатации в распределительных сетях 0,4 кВ, являются большое сопротивление нулевой последовательности и повышенные нагрузочные потери при несимметричной нагрузке [1-3]. Определение параметров трансформаторных мощностей, в том числе схем соединения обмоток, в системах электроснабжения разного уровня является одной из обязательных процедур при их проектировании [4,5]. Во внутреннем документе основного электросетевого оператора в России ПАО «Россети» предписано преимущественное использование силовых трансформаторов со схемой соединения обмоток  $\Delta/Y_n$  или  $Y/Z_n$ , а схема  $Y/Y_n$  является допустимой при наличии соответствующего обоснования [6].

В действующих в настоящее время ГОСТ 11677-85 [7] и ГОСТ Р 52719-2007 [8] предписаны все три вышеупомянутые схемы, но схема  $Y/Y_n-0$  стоит по очереди первой. В тоже время в ГОСТ Р 52719-2007 ток нулевого вывода обмотки НН ограничен 25% от номинального фазного тока.

Таким образом, в настоящее время государственными стандартами для распределительных силовых трансформаторов по-прежнему в качестве основной предписывается схема соединения обмоток  $Y/Y_n-0$ . При этом проблемы большого сопротивления нулевой последовательности и повышенных нагрузочных потерь при несимметричной нагрузке остаются нерешёнными.

С целью исследования вопросов, связанных с работой трансформаторов со схемой соединения обмоток  $Y/Y_n$ , питающих несимметричную нагрузку, был выполнен анализ работы трансформатора ТМГ-10/0,4 кВ мощностью 100 кВА производства ОАО «Алт-транс», установленном в комплектной трансформаторной подстанции (КТП). Для регистрации электрических параметров работы трансформатора использовался измеритель

показателей качества электрической энергии Ресурс UF-2M(A) (далее ИПКЭЭ). Точкой подключения было выбрано распределительное устройство (РУ) 0,4кВ КТП. Измерения проводились в зимний период. Основным потребителем являлось отопительное оборудование, состоящее из большого количества однофазных конвекторов 220 В мощностью от 0,5 до 2 кВт, однофазного электрического котла мощностью 9,45 кВт и трехфазного электрического котла мощностью 18 кВт 380/220 В. Нагреватели последнего подключены по схеме «треугольник» на линейное напряжение 380В. Электрические конвекторы и однофазный электрический котел были подключены к электросети таким образом, что их суммарная установленная мощность распределена по фазам максимально равномерно, но в процессе их работы неизбежно возникала асимметрия.

На объекте применена система заземления TN-C-S. Точки разделения совмещенных нулевых рабочих и защитных проводников PEN на проводники PE и N выполнены после главного вводного распределительного устройства (ВРУ). ИПКЭЭ был подключен в РУ-0,4кВ КТП по четырехпроводной схеме (рисунок 1).

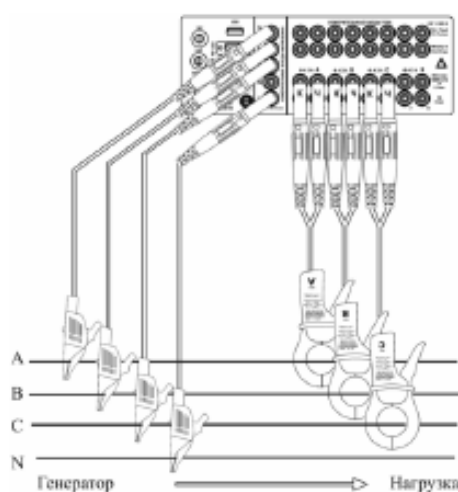


Рисунок 1 – Четырехпроводная схема подключения ИПКЭЭ

При такой схеме подключения ИПКЭЭ непосредственно измеряет и регистрирует среднеквадратические значения линейных напряжений, фазных напряжений относительно проводника PEN, и фазных токов. Так как в четырехпроводной схеме проводники PE и N объединены, ИПКЭЭ в этом режиме не измеряет и не регистрирует напряжение на нулевом проводнике.

Регистрация параметров проводилась в течение часа. Регистрировались перечисленные параметры при усреднении значений на интервале времени в одну минуту. В результате был получен массив данных, из которых в программе MS Excel построены графики отклонения фазных напряжений и графики фазных токов (рисунок 2), графики отклонения линейных напряжений и графики фазных токов (рисунок 3).

На графике отклонения фазных напряжений отчетливо наблюдаются значительные колебания напряжения, вызванные изменением тока нагрузки в фазе В. Отклонения напряжения в фазе С выходят за допустимые 10%, ввиду наименьшей нагрузки на этой фазе. В то же время отклонения напряжения в фазе А уменьшаются до значения 0%. На представленных графиках за номинальное напряжение принято значение 230 В, и при наиболее симметричной нагрузке (в начале графика) отклонение напряжения на шинах 0,4 кВ КТП составляло примерно 4,5%.

Повышенное напряжение на этом объекте было обусловлено высоким уровнем напряжения в линии 10 кВ, при этом переключатель напряжения на исследуемом трансформаторе находился в положении минус 5%.

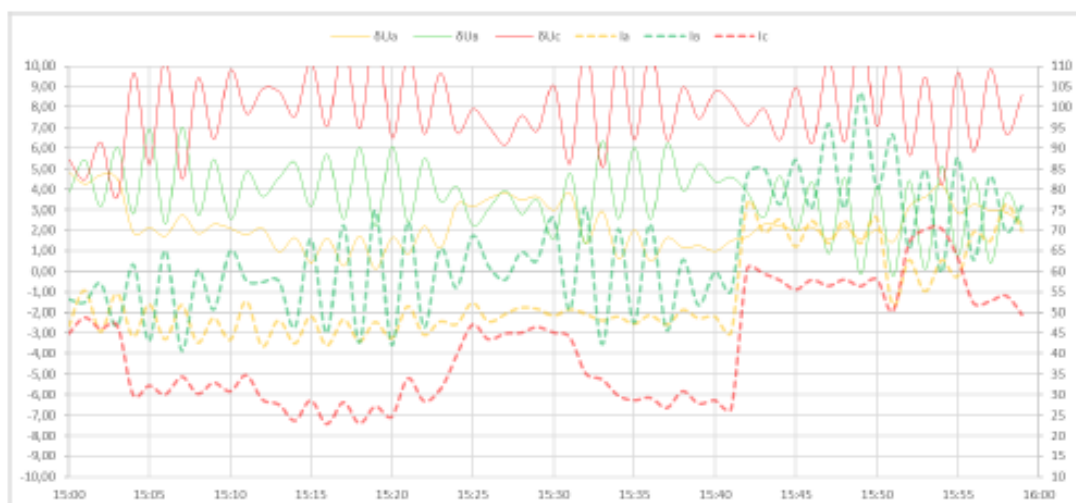


Рисунок 2 – Графики отклонения фазных напряжений и графики фазных токов

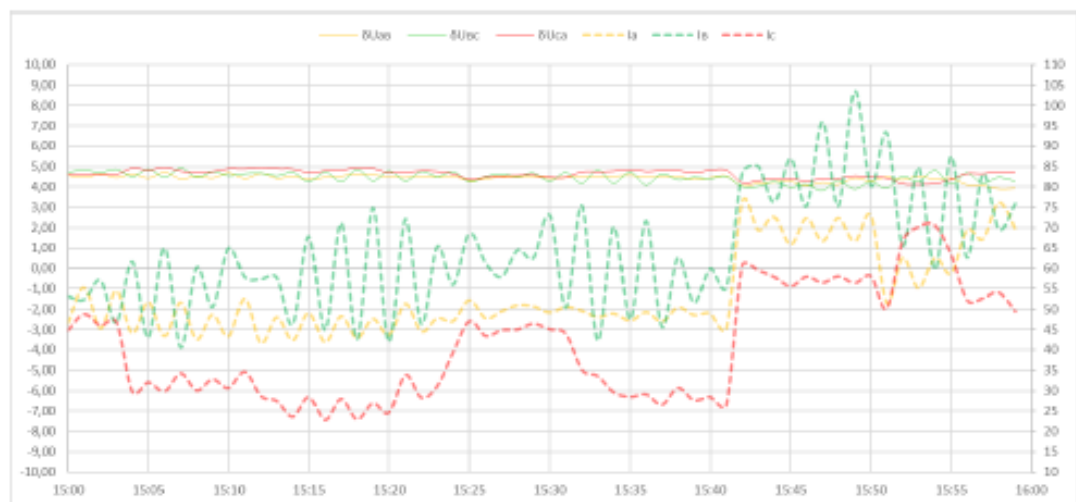


Рисунок 3 – Графики отклонения линейных напряжений и графики фазных токов

В отличие от фазных, отклонения линейных напряжений за весь период наблюдения находились в диапазоне от 4 до 5%, что обусловлено низким внутренним сопротивлением прямой последовательности исследуемого трансформатора.

График коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности так же построен в программе MS Excel (рисунок 4). Значения коэффициента несимметрии вычислены по формуле:

$$K_{0U} = \frac{\sqrt{3}U_0}{U_1} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $U_1$  - действующее значение междуфазного напряжения прямой последовательности, В;

$U_0$  - действующее значение напряжения нулевой последовательности трехфазной системы напряжений, В, которое вычисляется по формуле:

$$U_0 = \frac{1}{6} \sqrt{\left[ \frac{U_{BC}^2 - U_{CA}^2}{U_{AB}} - 3 \cdot \frac{U_B^2 - U_A^2}{U_{AB}} \right]^2 + \left[ \sqrt{4U_{BC}^2 - \left( U_{AB} - \frac{U_{BC}^2 - U_{CA}^2}{U_{AB}} \right)^2} - 3 \sqrt{4U_B^2 - \left( U_{AB} - \frac{U_B^2 - U_A^2}{U_{AB}} \right)^2} \right]^2} \quad (2)$$

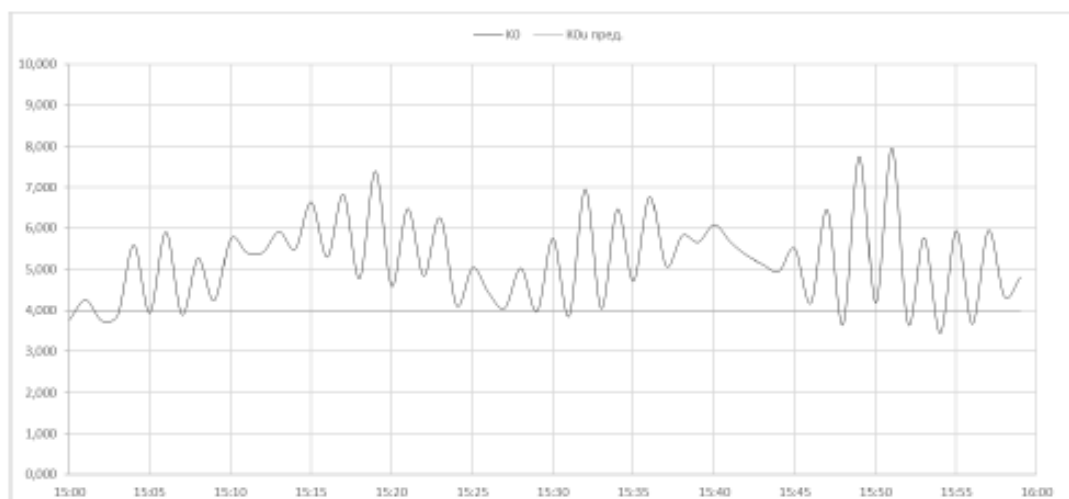


Рисунок 4 - График коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности,  $K_{0n \text{ пред.}}$  - предельно допустимое значение коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности

Из графика видно, что коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности практически все время наблюдения превышает допустимое значение 4% и временами доходит до 8%.

По результатам проведенных исследований отчетливо прослеживается особенность работы трансформатора со схемой соединения обмоток  $Y/Y_n-0$  при резкопеременной асимметричной фазной нагрузке. Основные параметры качества электрической энергии выходят за допустимые значения. Это указывает, что применение трансформаторов со схемой соединения обмоток  $Y/Y_n-0$  в распределительных сетях приводит к проблемам с качеством электроэнергии. Особенно это касается трансформаторов небольшой мощности, питающих отдельные объекты, где небольшое количество относительно мощных однофазных потребителей случайным образом вызывают значительную асимметрию фазных токов, потребляемых от трехфазной системы. Ситуацию на рассматриваемом в примере объекте можно исправить, установив в КТП трансформатор со схемой соединения обмоток  $Y/Z_n-11$ , для которого значение сопротивления нулевой последовательности ниже, чем сопротивление прямой последовательности.

#### Библиографический список

1. Фишман В.С., Федоровская А.И. Силовые трансформаторы 6(10)/0,4 кВ. Области применения разных схем соединения обмоток [Электронный ресурс]. URL: <http://news.elteh.ru/arh/2006/41/09.php> (Дата обращения 01.11.2022).
2. Фишман В.С., Федоровская А.И. Силовые трансформаторы 6(10)/0,4 кВ. Особенности применения различных схем соединения обмоток [Электронный ресурс]. URL: <http://news.elteh.ru/arh/2009/60/07.php> (Дата обращения 01.11.2022).
3. Распределительные трансформаторы 6 (10) кВ. Проблема качества электрической энергии в сетях 0,4 кВ. Исследование несимметричной работы трансформаторов. Б.

- В. Борисов. Современные проблемы электроэнергетики. Алтай - 2013. Сборник статей I международной научно-технической конференции. С. 24-28.
4. Расчёт параметров схемы замещения трансформаторов с расщеплённой обмоткой с учётом устройства регулирования напряжения под нагрузкой в обмотке высшего напряжения. Герасимук А.В., Семькина И. Ю., Кипервассер М.В. Горное оборудование и электромеханика. 2019. № 2 (142). С. 52-59.
  5. Особенности расчёта токов трёхфазного короткого замыкания за мощным силовым трансформатором в сетях электроснабжения районов ведения горных работ. Герасимук А.В., Романова В.А., Кипервассер М.В. Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2022. № 8. С. 272-277.
  6. СТО 34.01-3.1-001-2016 Комплектные трансформаторные подстанции 6-20/0,4 кВ Общие технические требования. Стандарт организации ПАО «Россети». Дата введения: 07.04.2016
  7. ГОСТ 11677-85 Трансформаторы силовые. Общие технические условия.
  8. ГОСТ Р 52719-2007 Трансформаторы силовые. Общие технические условия.

УДК 624.154-8

## **ВОПРОСЫ ВЫБОРА И ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА БУРОВЫХ УСТАНОВОК**

**Мезенцева А.В.**

*Нижневартковский государственный университет  
г. Нижневартовск, Россия, mezentseva\_a@bk.ru*

***Аннотация.** Рассмотрены направления совершенствования эксплуатационных характеристик электрооборудования буровых установок на основе выбора и применения технических средств регулируемого электропривода, проанализированы факторы, обеспечивающие получение экономического эффекта при разработке и внедрении регулируемых систем электропривода на буровых установках.*

***Ключевые слова:** регулируемый электропривод, буровая установка, тиристорные преобразователи, электрический двигатель, электрооборудование.*

***Abstract.** The directions of improving the operational characteristics of electrical equipment of drilling rigs on the basis of the choice and application of technical means of an adjustable electric drive are considered, the factors ensuring the economic effect in the development and implementation of adjustable electric drive systems on drilling rigs are analyzed.*

***Keywords:** adjustable electric drive, drilling rig, thyristor converters, electric motor, electrical equipment.*

Научно-технический прогресс в нефтяной и газовой промышленности обусловлен широкой электрификацией производственных процессов, техническим уровнем нефтяной электроэнергетики, совершенствованием применяемых электроприводов. Основным направлением совершенствования привода главных механизмов буровых установок является применение регулируемого электрического привода (ЭП). Именно в этом направлении наблюдается развитие средств электропривода для многих промышленных механизмов, в том числе и для буровых установок.

Отличительной особенностью электромеханических комплексов новых буровых установок является широкая унификация технических решений, вследствие которой существенно сокращается номенклатура применяемого электрооборудования. В ряде случаев, на установках разных классов применяются одинаковые изделия, в других используются однотипные изделия, отличающиеся номинальными параметрами. При создании комплектных устройств управления, как правило, учитывают конкретные особенности разрабатываемой установки, унификация обеспечивается за счет использования одинаковой элементной базы [1].

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ**  
**(в образовании, науке и производстве)**  
**AS' 2022**

**ТРУДЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО–ПРАКТИЧЕСКОЙ**  
**КОНФЕРЕНЦИИ**  
*(с международным участием)*

15-16 декабря 2022 г.

Под общей редакцией д.т.н., доц. В.В. Зимина

Техническое редактирование и компьютерная верстка В.И. Кожемяченко

Подписано в печать 05.12.2022 г.

Формат бумаги 60×84 1/16. Бумага писчая. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 37.13. Уч.-изд. л. 40.40. Тираж \_\_\_\_ экз. Заказ \_\_\_\_.

Сибирский государственный индустриальный университет  
654007, Кемеровская область – Кузбасс, г. Новокузнецк, ул. Кирова, зд. 42.  
Издательский центр СибГИУ