

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ТОРГОВЛИ  
РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН  
ФГБОУ ВО «КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
АО «СИСТЕМНЫЙ ОПЕРАТОР ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ»  
ПАО «ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЕТЕВАЯ КОМПАНИЯ ЕДИНОЙ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ»  
РОССИЙСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ КОМИТЕТ МЕЖДУНАРОДНОГО СОВЕТА  
ПО БОЛЬШИМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СИСТЕМАМ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ  
(РНК СИГРЭ)  
БЛАГОТВОРИТЕЛЬНЫЙ ФОНД «НАДЕЖНАЯ СМЕНА»

ХII ВСЕРОССИЙСКАЯ ОТКРЫТАЯ МОЛОДЕЖНАЯ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ  
В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

МАТЕРИАЛЫ ДОКЛАДОВ

01–03 ноября 2017 г.

*Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова*

Казань 2017

УДК 621.31

БКК 31.2

Д48

*Рецензенты:*

Начальник службы автоматизированных систем диспетчерского управления Филиала АО «СО ЕЭС» РДУ Татарстана *Т.А. Садреев*; Начальник отдела балансов мощности, электроэнергии и статистики службы энергетических режимов и балансов Филиала АО «СО ЕЭС» РДУ Татарстана *И.Р. Мухаметгалеев*; Главный специалист отдела противоаварийной автоматики службы релейной защиты и автоматики Филиала АО «СО ЕЭС» РДУ Татарстана, к.т.н., *И.Ю. Иванов*; Проректор по интеграции с производством, кандидат технических наук, доцент, Казанского государственного энергетического университета *Д.Ф. Губаев*; Профессор кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», д.т.н., Казанского государственного энергетического университета *Е.И. Грачева*; Доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», к.т.н., Казанского государственного энергетического университета *А.Н. Цветков*; Доцент кафедры «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем», к.т.н., Казанского государственного энергетического университета *Ю.В. Писковацкий*; Научный сотрудник Казанского государственного энергетического университета *Н.В. Чернова*; Доцент кафедры «Электроснабжение и электротехника», к.т.н., Иркутского национального исследовательского технического университета *К.В. Сулов*.

Д48      **Диспетчеризация и управление в электроэнергетике:**  
материалы докладов XII Всероссийской открытой молодежной научно-практической конференции / под общ. ред. Э.Ю. Абдуллазянова. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2017. – 525 с.

**ISBN 978-5-89873-493-0**

В сборнике представлены материалы докладов, в которых изложены результаты научно-исследовательских работ по диспетчеризации и управлению в области электроэнергетики.

Сборник адресуется студентам, аспирантам и преподавателям вузов, а также широкому кругу лиц, интересующихся перспективными решениями в электроэнергетике.

УДК 621.31

БКК 31.2

**ISBN 978-5-89873-493-0**

© Казанский государственный  
энергетический университет, 2017

УДК 621.316

## **ПРИМЕНЕНИЕ СПЕЦИАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

К.Н. Мартышкин, Р.Ф. Ахметов, А.М. Мусина  
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,  
г. Казань, Россия  
E-mail: martishkin\_2017@mail.ru

На производстве и в быту используется множество электроприборов, в состав которых входят элементы крайне чувствительные к отклонениям напряжения от допустимых значений. Сбой в их работе может обусловить выход из строя оборудования или расстройство технологических процессов. В свою очередь, это приводит к экономическим потерям для электросетевых компаний, так как потребитель вправе потребовать не только замену вышедшего из строя оборудования, но и денежные средства от недоотпуска продукции.

Ключевые слова: вольтдобавка, качество электроэнергии, трансформаторы с симитрирующим устройством.

## **APPLICATION OF SPECIAL EQUIPMENT FOR INCREASING ELECTRICITY QUALITY**

K.N. Martyshkin  
Kazan State Energy University, Kazan, Russia  
E-mail: martishkin\_2017@mail.ru

At the workplace and at home a lot of electrical appliances are used, which include elements extremely sensitive to voltage deviations from the permissible values. Failure in their work can lead to failure of equipment or the breakdown of technological processes. In turn, this leads to economic losses for electric grid companies, since the consumer has the right to demand not only the replacement of out-of-order equipment, but also money from non-release of products.

Keywords: voltodobavka, power quality, transformers with simulating devices.

На сегодняшний день актуальной задачей является обеспечение потребителей распределительных электрических сетей (РЭС) напряжением 0,4–10 кВ качественной электроэнергией (КЭ), соответствующей ГОСТ 32144-2013 [1].

На производстве и в быту используется множество электроприборов, в состав которых входят элементы крайне чувствительные к отклонениям напряжения от допустимых значений. Сбой в их работе может обусловить выход из строя оборудования или расстройство технологических процессов. В свою очередь, это приводит к экономическим потерям для электросетевых компаний, так как потребитель вправе потребовать не только замену вышедшего из строя оборудования, но и денежные средства от недоотпуска продукции. Для РЭС напряжением 10 кВ характерны большое количество понизительных подстанции (до 20–30 штук на одном фидере) и расстояния до конечных потребителей до нескольких десятков километров. Линии электропередачи (ЛЭП), спроектированные по нормам электропотребления более чем десятилетней давности, уже не обладают требуемой пропускной способностью. В результате напряжение у потребителей снижается за допустимый уровень.

Эту проблему позволяют решить пункты автоматического регулирования напряжения (ПАРН), выпускаемые компанией ЗАО «Инновационная Энергетика» для напряжений 6–10 кВ, а также вольтодобавочные трансформаторы (ВДТ) типа ТВМГ, выпускаемые компанией ООО «СКЭ-Электро» и предназначенные к установке в сетях напряжением 0,4–35 кВ.

Использование этих устройств продольного регулирования напряжения в сетях 0,4 и 10 кВ позволяет во многих случаях отказаться от дорогостоящей реконструкции ВЛ и обеспечить требуемый уровень напряжения у потребителей районных РЭС.

Под воздействием неравномерного распределения нагрузок в трехфазной электрической сети имеет место несимметрия напряжений. В результате возникают дополнительные потери мощности, значительно снижается срок службы электрических машин. Для устранения несимметрии фазных напряжений выпускаются трансформаторы с симметрирующей обмоткой (СО) типа ТМГСУ и симметрирующие автотрансформаторы типа АТС-С.

Автотрансформаторы типа АТС-С эффективно устанавливать непосредственно у потребителя, в точке разветвления трехфазной линии в однофазные. В жилых многоквартирных домах установка АТС-С на ответвлениях к каждому стояку, питающему квартиры жилых домов, позволяет симметрировать напряжение и снизить потери в трехфазных групповых и питающих линиях распределительной сети [2]. На рис. 1, а представлена электрическая схема автотрансформатора с компенсационной обмоткой, выполненной на каждой фазе, которые соединены

в открытый треугольник. На рис. 1, б представлена электрическая схема автотрансформатора с компенсационной обмоткой, выполненной поверх обмоток всех трех фаз автотрансформатора, образуя открытый треугольник.

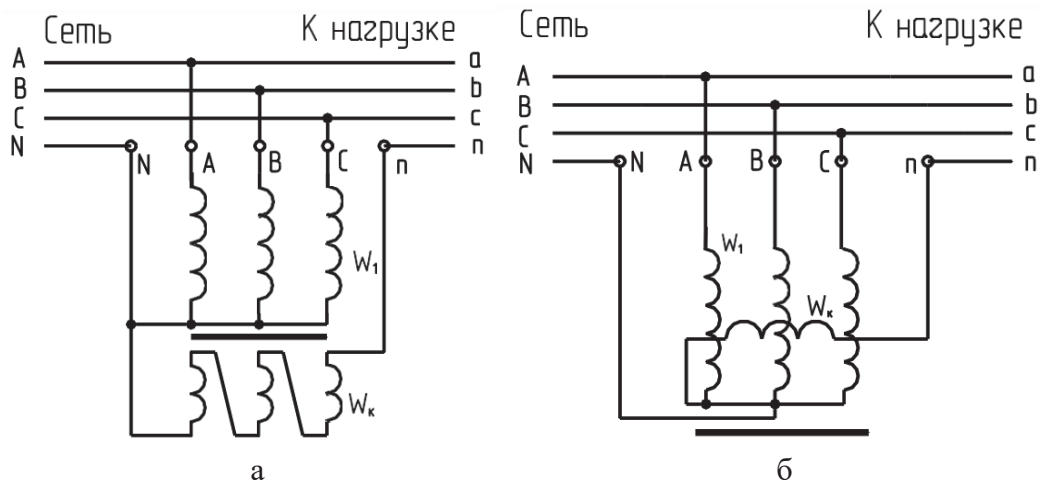


Рис. 1. Автотрансформатор с компенсационной обмоткой, выполненной на каждой фазе (а), поверх обмоток всех трех фаз автотрансформатора (б)

К достоинствам АТС-С следует отнести то, что они обладают способностью фильтрации токов высших гармоник, кратных трем, ограничивая их протекание как из сети к нагрузке, так и наоборот. При необходимости можно компенсировать 5, 7 или 11 гармоники [2].

Заводом изготовителем (ОАО «Минский электротехнический завод им. В.И. Козлова»), при необходимости, в целях повышения или понижения напряжения, может быть предусмотрена возможность переключений регулировочных отводов при его монтаже [2].

Симметрирование напряжения в трансформаторах типа ТМГСУ происходит за счет использования специальной СО, позволяющей при несимметричной нагрузке уменьшить перекас фазных напряжений и соответственно снизить потери электроэнергии в РЭС.

Для трансформаторов типа ТМГСУ авторами была разработана методика определения параметров схемы замещения трансформаторов с СО (ТСО) с разными схемами соединения обмоток, так как стандартных параметров трансформаторов, полученных из опытов холостого хода и короткого замыкания, недостаточно для расчета параметров схемы замещения ТСО. Поэтому в работе было предложено дополнительно использовать внешние характеристики, снятые для неполнофазных режимов работы ТСО.

Схема замещения ТСО относительно фазных переменных, приведенная к вторичной обмотке, представлена на рис. 2.

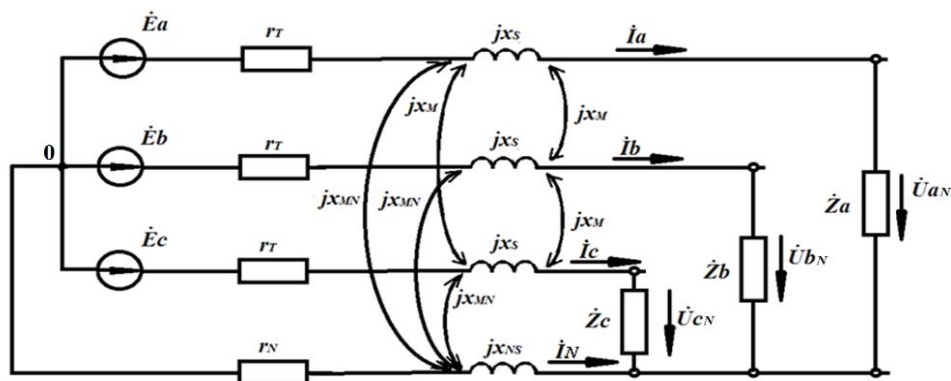


Рис. 2. Схема замещения ТСО, приведенная к его вторичной стороне:  
 $\dot{E}_a, \dot{E}_b, \dot{E}_c$  – фазные ЭДС;  $r_T$  – активное сопротивление фаз обмоток;  $x_S$  – собственное фазное индуктивное сопротивление обмоток;  $r_N$  – активное сопротивление СО;  
 $x_{NS}$  – собственное индуктивное сопротивление СО;  $x_M$  – сопротивление  
 взаимной индукции между фазами;  $x_{MN}$  – сопротивление взаимной индукции  
 между фазами и СО;  $Z_a, Z_b, Z_c$  – сопротивления нагрузки;  
 $\dot{U}_{aN}, \dot{U}_{bN}, \dot{U}_{cN}$  – фазные напряжения на нагрузке

Для трансформаторов со схемой соединения «звезда – звезда с нулем» часть магнитного потока замыкается в несимметричных режимах через бак. Поскольку этот поток обусловлен той частью фазных токов, которая идентифицируется как токи нулевой последовательности, то логично использовать математическое описание несимметричных режимов работы трансформаторов через симметричные последовательности токов и напряжений, вводя соответствующие параметры в схему замещения.

По итогам исследования был сделан вывод, что результаты расчетов с использованием симметричных составляющих значительно близки по загруженной фазе к аппроксимированным значениям, построенным по данным завода изготовителя, и в дальнейшем для оценки технической и экономической эффективности применения ТСО предлагается использовать метод симметричных составляющих.

*Статья подготовлена в процессе выполнения НИР «Методы повышения надежности электроснабжения и качества электроэнергии в распределительных электрических сетях», задание №2014/448 на выполнение государственных работ в сфере научной деятельности в рамках базовой части государственного задания Минобрнауки России.*

### Список литературы

1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения [Текст]. – Введ. 2014.07.01. – М.: Стандартинформ, 2014.

2. ОАО «Минский электротехнический завод им. В.И. Козлова» [Электронный ресурс]: URL: <http://www.metz.by> (дата обращения: 27.11.15).

УДК 681.51

## **АНАЛИЗ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ВЛОЖЕНИЯ СИСТЕМ ПРИ ПОЛНОМ УЧЕТЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ РЕГУЛЯТОРОВ ВОЗБУЖДЕНИЯ**

Т.Ф. Махмудов, ст. преп.  
Ташкентский государственный технический университет, г. Ташкент,  
Узбекистан  
e-mail: [tox-05@yandex.com](mailto:tox-05@yandex.com)

Примерно 20–25 лет назад в литературе появились новые подходы к исследованиям систем автоматического управления на основе матричных методов. Были разработаны новые конструкции матриц (делители нуля, канонизаторы), позволяющие расширить круг решаемых задач, в число которых входят не только минимально-фазовые, но и неминимально-фазовые системы.

Ключевые слова: технология вложения систем, электрическая система, математическая модель, матрицы вложения, проматрица

## **ANALYSIS OF THE STATIC STABILITY OF THE ELECTRICAL SYSTEM USING THE TECHNOLOGY OF EMBEDDING SYSTEMS WITH FULL CONSIDERATION OF AUTOMATIC EXCITATION REGULATORS**

T.F. Makhmudov  
Tashkent State Technical University, Tashkent  
e-mail: [tox-05@yandex.com](mailto:tox-05@yandex.com)

Approximately 20–25 years ago, new approaches to the research of automatic control systems based on matrix methods appeared in the literature. New matrix designs (zero divisors, canonizers) have been developed that make it possible to extend the range of solvable problems, including not only minimal-phase, but also non-minimal-phase systems.

Keywords: Technology of embedding systems, electrical system, mathematical model, nesting matrices, promatrix.