

**КЫРГЫЗСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ К.И. СКРЯБИНА**

**КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Б.Н. ЕЛЬЦИНА**

Диссертационный совет Д 05.16.536

На правах рукописи
УДК 621.316.1

Сариев Бактыбек Имангазиевич

**РАЗРАБОТКА СИММЕТРИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА В
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 0,4 КВ**

05.20.02 – Электротехнологии и
электрооборудование в сельском хозяйстве

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Бишкек - 2018

Работа выполнена в Кыргызском государственном техническом университете им. И. Раззакова на кафедре «Электроснабжение»

Научный руководитель: кандидат технических наук, профессор,
Суеркулов Манас Асанбекович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор,
Алдибеков Исабай Танирбергенович

кандидат технических наук, доцент,
Гусаров Валентин Александрович

Ведущая организация Казахский научно-исследовательский
институт механизации и электрификации
сельского хозяйства, Республика Казахстан,
050005, г. Алматы, пр. Райымбека, 312.

Защита состоится «18» мая 2018 г. в 14:00 часов на заседании диссертационного совета Д 05.16.536 при Кыргызском национальном аграрном университете им. К.И. Скрябина и Кыргызско-Российском Славянском университете им. Б.Н. Ельцина по адресу: 720005, г. Бишкек, ул. Медерова, 68. Тел. +996 312 545210, 540548. Факс +996 312 540545. e-mail: knau-info@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке Кыргызского национального аграрного университета им. К.И. Скрябина по адресу: г. Бишкек, ул. Медерова, 68, <http://knau.kg/>

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 05.16.536, к.т.н., доцент

Токтоналиев Б.С.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В Национальной энергетической программе Кыргызской Республики на 2008-2010 годы и стратегии развития топливно-энергетического комплекса до 2025 года указано, что важнейшим направлением развития и совершенствования государственной системы управления энергосбережением является решение комплекса задач по улучшению качества и снижению потерь электроэнергии в электрических сетях электроэнергетического сектора КР.

Одним из главных факторов, ухудшающего режим напряжения у потребителей и увеличивающего потери электроэнергии в распределительных электрических сетях 0.4 кВ, является несимметрия и несинусоидальность напряжения в сочетании с низким коэффициентом мощности нагрузки.

Наличие этих искажений нарушает нормальную работу токоприемников (холодильников, ламп, телевизоров, погрешность измерений у счетчиков может достигать 33 %.. и др.), приводит к их преждевременному износу, а часто к повреждениям. Имеют место случаи повреждения самих трансформаторов из-за длительного протекания однофазных токов короткого замыкания в сети 0.4 кВ, так как они нередко соизмеримы с рабочими токами нагрузки, особенно в сельских электрических сетях, а выпускаемые промышленностью автоматические выключатели по своей чувствительности не обеспечивают своевременного отключения.

За рубежом для обеспечения допустимого режима напряжений в низковольтных сетях используются трансформаторы с малым сопротивлением нулевой последовательности (схемы соединения обмоток треугольник – звезда с нулем и звезда – зигзаг с нулем), устройства пофазного регулирования напряжения.

При этом зарубежный опыт не всегда может быть использован в КР. Существенными особенностями к появлению неуравновешенности напряжений в сетях с нулевым проводом, в нашей стране, относится следующее:

1. Большая протяженность сетей 0,4 кВ. Так, более 70% общей протяженности сельских распределительных сетей приходится на низковольтные сети. Сельские низковольтные сети практически все выполняются воздушными. При этом сопротивление нулевой последовательности сети, как минимум, в четыре раза превышает сопротивление прямой или обратной последовательности.

2. Наличие систематической и вероятностной несимметрии и неуравновешенности токов, обусловленных неравномерным подключением нагрузок между фазами сети и случайным характером изменения их параметров.

3. Нелинейный характер однофазных потребителей приводит к появлению нечетных высших гармоник (3, 5, 7, 9). Амплитуды 5, 7 и 9-й гармоник напряжения достигает иногда 3-4% от амплитуды основной гармоники, а третьей гармоники тока, имеющей нулевой порядок следования фаз, которая может достигать 12 % тока основной частоты, то есть имеет место

превышение значений $K_{н.с}$, предельно допустимые значения указанные ГОСТом .32144-2013.

4. Низковольтные сети проектируются в предположении, что нагрузки фаз симметричны. При этом не учитываются дополнительные отклонения напряжений, вызываемые составляющей нулевой последовательности ($1 \% U_0$ соответствует приблизительно $0,9 \%$ дополнительных отклонений напряжения у потребителей).

5. Длительная практика эксплуатации сетей $0,4 \text{ кВ}$ показала, что с помощью организационно-технических мероприятий (использование существующих технических средств, выравнивание нагрузки фаз вручную и др.) не может быть устранена неуравновешенность напряжений в сети. Необходимо либо усиливать сеть, что связано со значительными капитальными вложениями, либо использовать средства для уменьшения напряжения нулевой и обратной последовательностей.

Поэтому, решение проблемы повышения КЭ в электрических сетях $0,4 \text{ кВ}$, невозможно без дальнейшего развития теории и создания на ее основе эффективных симметрирующего устройства напряжения.

Этим вопросам и посвящена диссертационная работа.

Таким образом, развитие методов анализа и контроля КЭ в АСЭ является актуальной проблемой.

Связь темы диссертации с приоритетными научными направлениями: работа выполнена в рамках научно-исследовательской работы «Повышение эффективности распределительных электрических сетей и режимов работы их элементов» проведенный на основании договора №581 д/440 от 16.07.2012г. заключенного с ОАО «Северэлектро».

Целью диссертационной работы является повышение качества электроэнергии путем снижения несимметрии напряжений с помощью симметрирующего устройства в распределительных сетях $0,4 \text{ кВ}$.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе поставлены и решены следующие задачи:

1. разработка математической модели оценки параметров несимметрии напряжений в распределительных сетях $0,4 \text{ кВ}$;
2. разработка компьютерной модели симметрирующего устройства в распределительных сетях $0,4 \text{ кВ}$;
3. разработка симметрирующего устройства и его применение в распределительных сетях $0,4 \text{ кВ}$.

Методы исследований. В работе использованы методы математического моделирования распределительных сетей $0,4 \text{ кВ}$. Все вычисления производились на компьютере с применением следующих программ: Mathsoft Apps/MathCad, AutoCad, Visual studio C# и Microsoft Office. Исследования проводились с использованием компьютерного моделирования на Matlab/Simulink. Соответствие моделей подтверждены экспериментальными

данными, полученными на разработанном образце симметрирования напряжения в сетях 0,4 кВ.

Научная новизна работы.

1. Создана математическая модель оценки параметров несимметрии напряжений в распределительных сетях 0,4 кВ.

2. Создана на основе предложенной методики компьютерная модель симметрирующего устройства в распределительных сетях 0,4 кВ;

Практическая ценность работы состоит в следующем:

1. Разработан алгоритм оценки параметров несимметрии напряжений в сетях 0,4 кВ;

2. Разработана компьютерная модель симметрирующего устройства в распределительных сетях 0,4 кВ;

3. Разработано симметрирующее устройство напряжения в распределительных сетях 0,4 кВ.

Новизна и значимость технических решений подтверждены актами внедрения и регистрацией в Государственной патентной службе КР патента на полезную модель № 187 от 27.06.14 г. «Устройство для автоматического переключения однофазных потребителей» и свидетельства программы для ЭВМ № 271 от 21.05.13 г. «Управляющая программа устройства «Симметрирующее устройство для однофазных потребителей в распределительных электрических сетях 0,4 кВ», созданных в процессе выполнения диссертации, а также публикациями в научных изданиях.

Экономической значимостью полученных результатов

По результатам научных исследований выявлено, что сельские распределительные сети 0,4 кВ характеризуются значительной несимметрией токов и напряжений, которые являются одной из основных причин снижения качества электрической энергии и увеличения потерь мощности в сети. Разработанное устройство для снижения несимметрии в распределительных сетях 0,4 кВ, позволяет уменьшить потери мощности и энергии в сетях на 30...50 %.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Методика оценки параметров несимметрии напряжений в сетях 0,4 кВ;

2. Компьютерная модель симметрирующего устройства в распределительных сетях 0,4 кВ

3. Разработанное симметрирующее устройство в распределительных сетях 0,4 кВ на основе компьютерной модели.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на международной научно-технической конференции «Энергобезопасность и энергоэффективность: состояние и проблемы», посвященной 40-летию кафедры «Электроснабжения» и 5-летию образования факультета МЭИ-КГТУ (Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, Бишкек, 22-23 сентября, 2011 г.).

Также результаты работы докладывались на заседании кафедры «Электроснабжение» КГТУ имени И. Раззакова и Национальном исследовательском университете «Московский энергетический институт».

Публикации. Основные научные результаты, полученные в диссертации, опубликованы в 7 научных трудах, из них 2 научные статьи в зарубежных изданиях, входящих в РИНЦ, 2 авторских свидетельства на программы для ЭВМ и 1 патент Кыргызской Республики на полезную модель.

Структура и объем диссертации.

Диссертация изложена на 130 страницах машинописного текста, иллюстрируется 24 рисунками и 12 таблицами и состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованных источников из 75 наименований и 3 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность и поставлена цель работы, определены основные задачи исследования, отражена научная новизна полученных результатов, их практическая ценность и апробация.

В первой главе проведен краткий анализ современного состояния проблемы несимметрии напряжений в сетях 0,4 кВ, проведен обзор методов оценки уровня несимметрии напряжений в трехфазных сетях и существующих средств симметрирования. Статистическая оценка уровня несимметрии в сетях 0,4 кВ была проведена на основе замеров напряжений на шинах низкого напряжения в электрических сетях. Как показали расчеты, математическое ожидание (МО) коэффициента несимметрии по обратной последовательности на шинах низкого напряжения подстанций электрических сетей может превышать 5 %. Расчеты по результатам измерений показали, что МО коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности достигает на отдельных фидерах 6,5 %. При этом следует отметить, что при измерениях, не было зафиксировано ни одного случая снижения несимметрии менее 0,3 %, либо снижения ее ниже порога чувствительности прибора. Статистическое исследование изменения угла между векторами напряжений прямой и обратной последовательности выявило некоторые особенности распределения данной случайной величины. Значительная часть обследуемых объектов характеризуется достаточно малым среднеквадратичным отклонением данной величины $\alpha = 4... 15^\circ$. Это предполагает систематический характер несимметрии в рассматриваемых сетях и позволяет сделать вывод о том, что данная несимметрия напряжений может быть снижена перераспределением нагрузок относительно фаз питающей сети, либо с помощью статического симметрирующего устройства, подключенного к однофазным потребителям. Обзор влияния несимметрии на работу электрических сетей и электроприемников показал, что несимметрия напряжений является причиной увеличения потерь и снижения срока службы электрооборудования. Дополнительные потери от несимметрии могут достигать 25 % от суммарных потерь, снижению срока службы отдельных электроприемников в 2 и более раз,

даже в том случае, когда несимметрия не превышает нормируемого значения. Особое внимание в главе уделено методам расчета симметричных составляющих напряжений (точным и приближенным). Точные методы расчета напряжений прямой U_1 (1) и обратной U_2 (2) последовательности, вытекающие из метода симметричных составляющих, приводятся в ГОСТ 32144-2013:

$$U_1 = \sqrt{\frac{1}{12} \left[\left(\sqrt{3}U_{BA} + \sqrt{4U_{CB}^2 - \left(\frac{U_{CB}^2 - U_{AC}^2}{U_{BA}} + U_{BA} \right)^2} \right)^2 + \left(\frac{U_{CB}^2 - U_{AC}^2}{U_{BA}} \right)^2 \right]} \quad (1)$$

$$U_2 = \sqrt{\frac{1}{12} \left[\left(\sqrt{3}U_{BA} + \sqrt{4U_{CB}^2 - \left(\frac{U_{CB}^2 - U_{AC}^2}{U_{BA}} + U_{BA} \right)^2} \right)^2 + \left(\frac{U_{CB}^2 - U_{AC}^2}{U_{BA}} \right)^2 \right]} \quad (2)$$

Стандартом предписывается определять значение коэффициента несимметрии как результат усреднения N наблюдений на интервале времени T равном 3 секунды, по формуле (3):

$$K_{2U} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N K_{2Ui}^2}{N}} \quad (3)$$

Таким образом, при оценке коэффициента несимметрии в течение контрольных суток, необходимо произвести достаточно большой объем вычислительных работ. Из-за относительной громоздкости выражений (1) и (2) в инженерной практике могут применяться приближенные формулы расчета: 1) из ГОСТ 32144-2013:

$$U_1 = \frac{1}{3}(U_{AB} + U_{BC} + U_{CA}), \quad (4)$$

$$U_2 = 0,62(U_{HB} - U_{HM}), \quad (5)$$

где U_{HB} и U_{HM} – наибольшее и наименьшее из измеренных междуфазных напряжений.

2) у других авторов - Ю.С. Железко:

$$U_2 = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(U_{BC} - U_{CA})^2 + (U_{CA} - U_{AB})^2 + (U_{AB} - U_{BC})^2} \quad (6)$$

и И.В. Жежеленко:

$$U_2 = \frac{2}{3} \sqrt{(\Delta U_{BC} - \Delta U_{CA})^2 + \Delta U_{BC} \Delta U_{CA}} \quad (7)$$

где $\Delta U_{BC} = U_{BC} - U_{AB}$; $\Delta U_{CA} = U_{CA} - U_{AB}$

Анализ этих выражений выявил, что выражение (7) есть преобразованная форма записи выражения (6). Как показали расчеты с помощью указанных

приближенных формул, погрешность коэффициента несимметрии в некоторых режимах превышает нормируемое ГОСТ 32144-2013 значение (0,3 %) в несколько раз. Предварительная оценка погрешности различных методов расчета выявила, что наиболее точным из известных запрошенных методов оценки параметров несимметрии является метод использующий выражения (4) и (6). Как было указано ранее, ГОСТ 32144-2013 нормирует допустимые значения коэффициента несимметрии равные 2 и 4 % и время выхода параметра за эти пределы. В связи с этим, при создании простых приборов контроля несимметрии, большое значение имеют алгоритмы определения превышения указанных пороговых значений на основе измерения напряжений. Это позволит контролировать время выхода данного параметра за допустимые пределы. Согласно ГОСТ 32144-2013, время превышения нормально допустимого уровня коэффициента несимметрии не должно превышать 1 час 12 минут в сутки. Анализ номограмм (С. Гауффе, Т.П. Губенко, И.И. Иванова и др.) симметричных составляющих и коэффициента несимметрии позволил предположить, что использование методов аппроксимации позволит получить условия превышения коэффициентом несимметрии 2-х и 4-х процентных порогов. Обзор существующих средств симметрирования показал, что принцип работы большинства симметрирующих устройств (СУ) основан на эффекте компенсации токов обратной и нулевой последовательностей, привносимых в сеть несимметричной нагрузкой, токами симметрирующего устройства. Основными недостатками, выявленными в результате обзора известных СУ, можно считать: - возможность использования схемы только для индивидуального симметрирования (схема Скотта); - ограниченная возможность симметрирования (схема Штейнметца); - высокая стоимость емкостных элементов, а также сложность их эксплуатации и регулирования; отрицательный регулирующий эффект емкостных элементов (СУ на базе схемы Штейнметца, несимметричная батарея конденсаторов); - высокая стоимость и необходимость в механических средствах управления и регулирования, снижающих надежность (СУ на базе трансформаторов с вращающимся магнитным полем). Выводы, сделанные в результате анализа методик расчета параметров характеризующих уровень несимметрии, обосновывают необходимость их дальнейшего совершенствования и разработки подходов к оценке несимметрии. Анализ существующих методов и устройств симметрирования показал, что наиболее перспективными являются симметрирующие устройства для однофазных потребителей.

Вторая глава посвящена вопросам разработки инженерной методики оценки несимметрии. Рассмотрен метод симметричных составляющих (МСС), лежащий в основе методов расчета и оценки, рекомендованных ГОСТ 32144-2013. На базе МСС разработан и программно реализован алгоритм расчета симметричных составляющих (рис. 1) напряжений по известным действующим значениям междофазных напряжений сети.

Результатом работы программы является методика оценки параметров несимметрии напряжений в сетях 0.4 кВ по измеренным напряжениям на

участках фидера, позволяющая оперативно оценить уровень несимметрии напряжений трехфазной сети по результатам замеров напряжений сети.

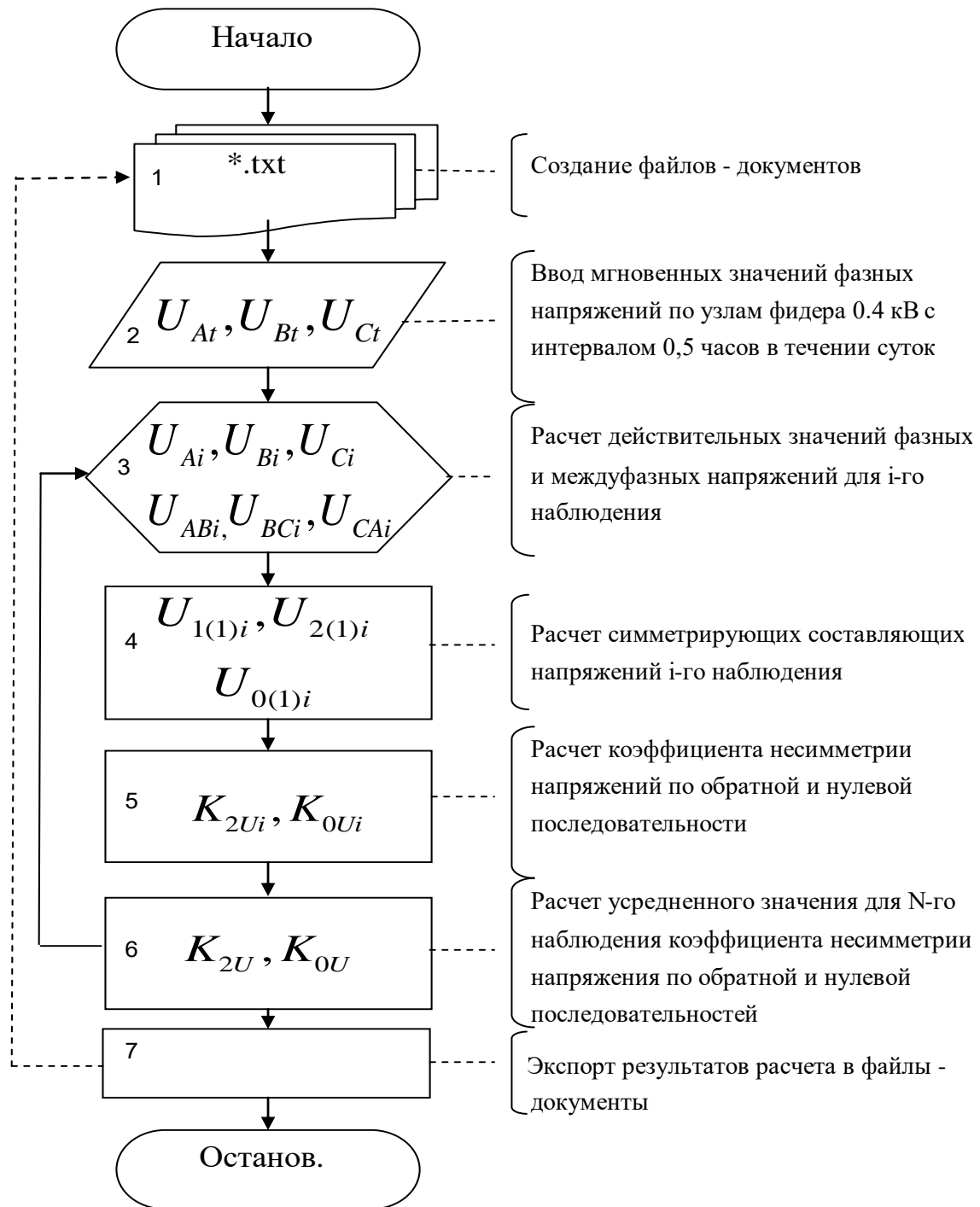


Рис. 1. Блок-схема алгоритма расчета параметров несимметрии системы трехфазных напряжений с нулевым проводом

Особенностью разработанных ТСС является то, что метод основан на анализе измеренных фазных напряжений и выборе четырех образцов анализируемой величины в интервалах времени равных $\Delta t = T/4$, где T- период . Метод четырех выборок асинхронен, так как выборки могут браться

независимо от мгновенного значения анализируемого сигнала в момент выбора первого образца и сводится к следующему отношению:

$$U = 0,25[(u_1 + u_2 - u_3 - u_4)^2 + (u_1 - u_2 - u_3 + u_4)^2]^{0,5}$$

или с учетом того, что выборки напряжения берутся для каждой четверти периода, т.е. $\omega\Delta=90^\circ$, получаем модифицированную формулу:

$$U = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{u_1^2 + u_2^2}$$

где u_1, u_2, u_3 и u_4 — выборки мгновенных значений напряжения.

Предложенная методика оценки несимметрии по узлам фидера оформлена в виде таблицы, которая позволит разработать мероприятия по повышению качества напряжения и снижению потерь электроэнергии в сетях с нулевым проводом.

В результате работы программы, были получены данные, позволяющие отыскать зависимости для расчета коэффициента несимметрии, напряжений прямой и обратной последовательности, а также фазовых соотношений между симметричными составляющими напряжений. Зависимость коэффициента несимметрии от напряжений в общем случае - есть функция трех аргументов, т.е. $k_{2U} = f(\Delta U_{AB}^*, \Delta U_{BC}^*, \Delta U_{CA}^*)$. В качестве базисной единицы было принято наибольшее из линейных напряжений (например, U_{AB}), остальные два напряжения были выражены относительно него. Это позволило рассмотреть зависимость как функцию двух переменных $k_{2U} = f(\Delta U_{BC}^*, \Delta U_{CA}^*)$, что существенно облегчило процесс отыскания эмпирических зависимостей. Графические зависимости $k_{2U}^{(i)} = f(\Delta U_{CA}^*)$ представлены на рис. 2.

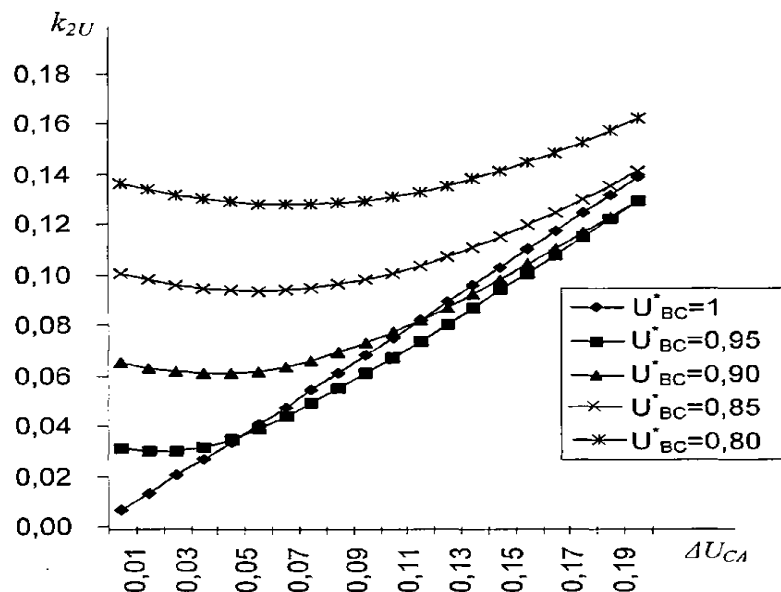


Рис. 2. Зависимость коэффициента несимметрии по обратной последовательности K_{H2} от отклонения напряжения ΔU_{CA} при различных значениях напряжения U_{BC} .

Здесь $\Delta U_{CA}^* = 1 - \Delta U_{CA}^*$ - отклонение напряжения ΔU_{CA}^* от максимального, верхний индекс коэффициента несимметрии указывает на соответствие кривой тому или иному значению напряжения ΔU_{BC}^* .

Анализ кривых $k_{2U}^{(i)} = f(\Delta U_{CA}^*)$ показал, что искомую зависимость достаточно точно можно описать функцией вида:

$$k_{2U} = \sqrt{A \cdot \Delta U_{CA}^2 + B \cdot \Delta U_{CA} + C}, \quad (9)$$

Был получен ряд зависимостей коэффициента несимметрии от соотношения линейных напряжений, связанных между собой видом аппроксимирующей функции.

Рассмотренные частные случаи были сведены к одной эмпирической зависимости, учитывающей соотношения всех линейных напряжений. Путем замены в выражении общего вида параметров А, В, и С, на самостоятельные функции α, β ; и γ от переменной ΔU_{BC}^* . выражение (9) было приведено к виду:

$$k_{2U} = \sqrt{\alpha \cdot \Delta U_{CA}^2 + \beta \cdot \Delta U_{CA} + \gamma} \quad (10)$$

Аппроксимация функций α, β и γ полиномами второго порядка позволила получить формулу общего вида:

$$k_{2U} = \sqrt{8.6 \cdot \Delta U_{BC}^2 \cdot \Delta U_{CA}^2 + 0,451 \cdot (\Delta U_{BC}^2 + \Delta U_{CA}^2) - 0.44 \cdot \Delta U_{BC} \cdot \Delta U_{CA}} \quad (11)$$

Аналогичным образом были получены зависимости напряжений прямой и обратной последовательностей, а также величины фазового сдвига между ними.

$$U_1 = 0,04 \cdot \Delta U_{BC} \cdot \Delta U_{CA} + 0,31 \cdot (\Delta U_{CA} + \Delta U_{BC}) + 0,341 \quad (12)$$

$$U_2 = \sqrt{2,5 \cdot \Delta U_{BC}^2 \cdot \Delta U_{CA}^2 + 0,44 \cdot (\Delta U_{BC}^2 + \Delta U_{CA}^2) - 0,44 \cdot \Delta U_{BC} \cdot \Delta U_{CA}} \quad (13)$$

Во всех зависимостях, приведенных во второй главе, в роли базисного напряжения может выступать любое из трех линейных напряжений системы больше двух других. Напряжения в формулах (кроме формул определения фазового сдвига между векторами прямой и обратной последовательности) могут быть взаимно переставлены в пределах формулы.

Реализация этих условий позволит создать достаточно простые приборы контроля несимметрии, работающие в режиме реального времени.

Во третьей главе При компьютерном моделировании СУ использован блочный принцип с использованием уже имеющихся в Matlab R2010b моделей основных элементов, что позволило создать сложные объектно-ориентированные модели из отдельных подмоделей. Полученные модели легко трансформировать и наращивать по степени сложности, т.к. изменение отдельных подмоделей может производиться без нарушения общей структуры модели, которая определяется связями между отдельными блоками.

Рассматриваемая в работе симметрирующее устройство представляет собой систему блоков управления (рис.3) и коммутации (рис.4).

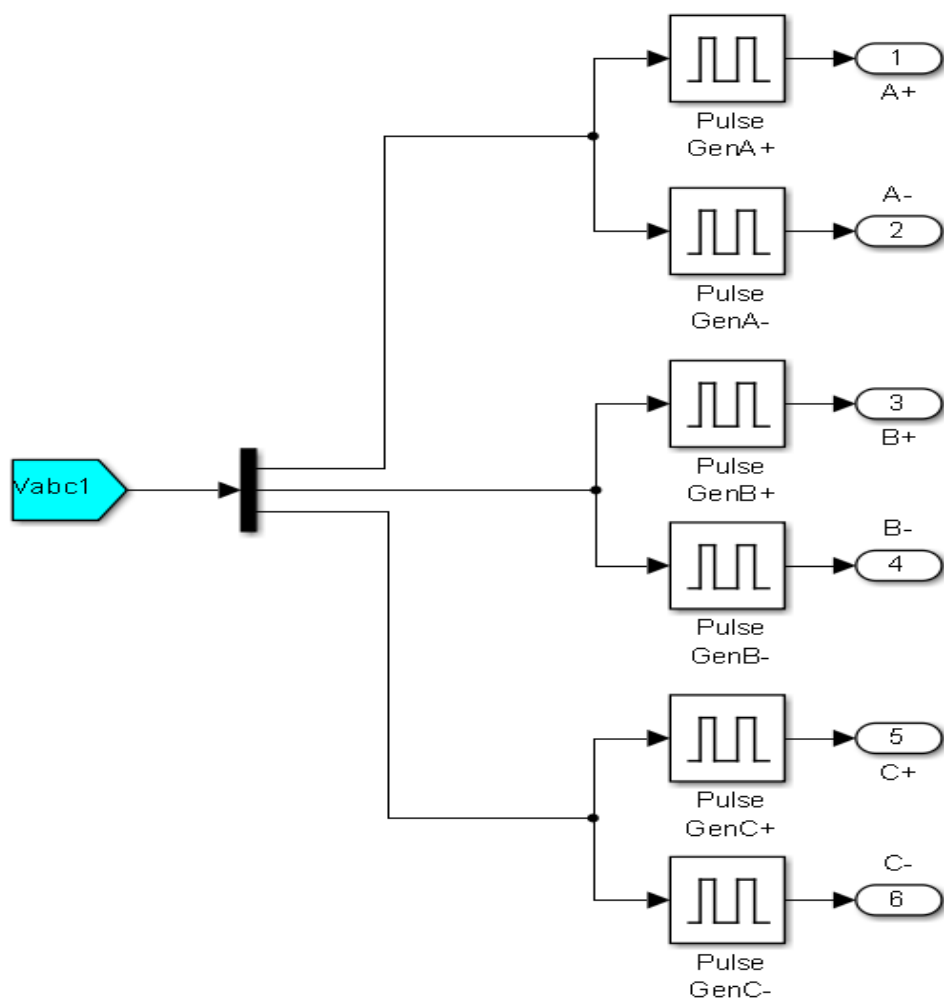


Рис. 3. Блок управления симметрирующего устройства

Блок управления выполняет следующие действия: измеряет напряжение с периодом 1 мс, осуществляет измерения величины напряжения всех трех фаз входные напряжения, сравнивает их с уставками и осуществляет выбор наиболее оптимальной фазы, дает сигнал на открытие того или иного ключа блока коммутации.

Разрабатываемая модель СУ предназначена для повышения качества электрической энергии с заданными параметрами, используемыми для симметрирования напряжения в распределительных сетях 0,4 кВ. Рассматриваемая модель СУ предусматривает питание потребителя от трехфазной электролинии напряжением 380 В с частотой 50 Гц.

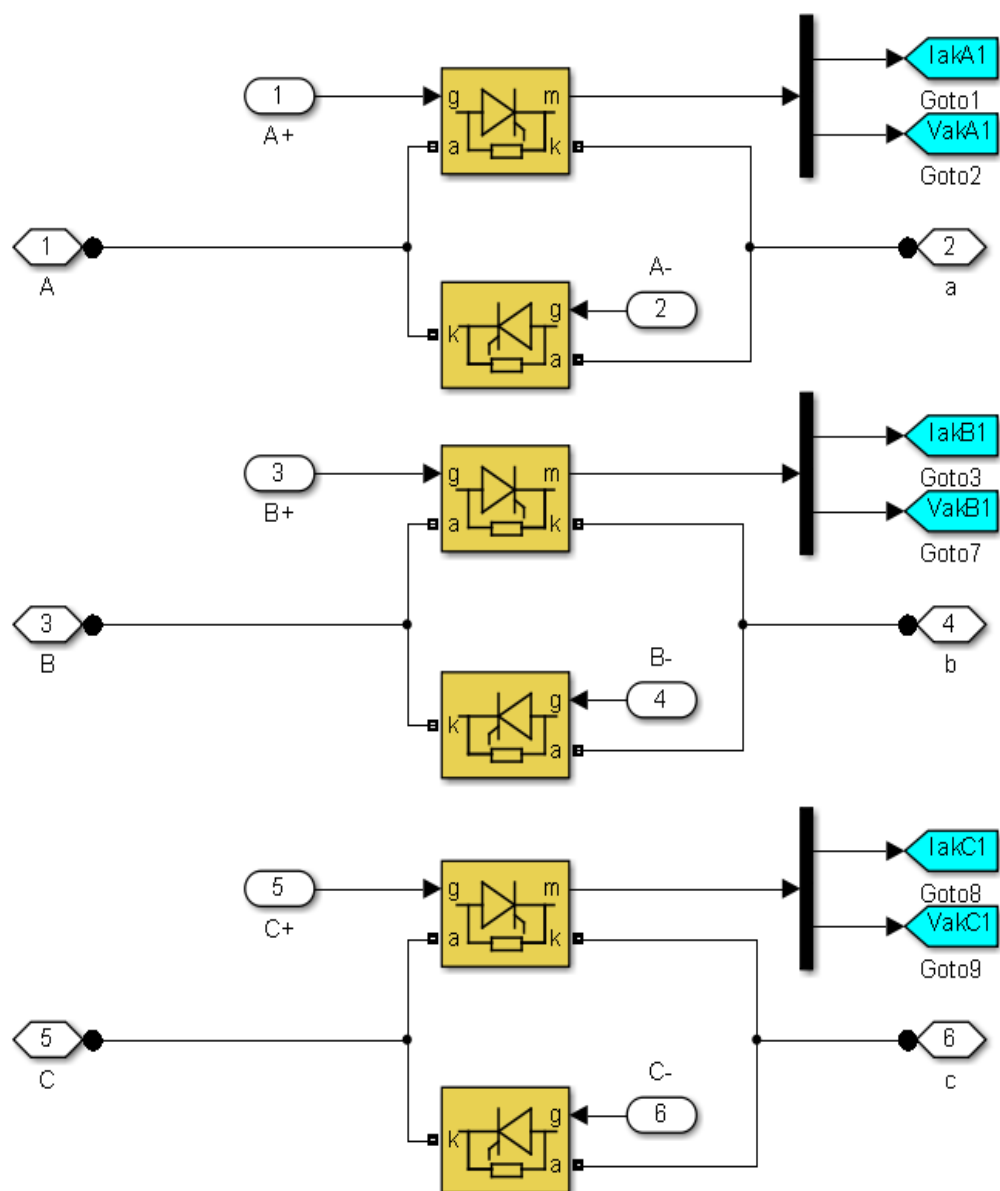


Рис. 4. Блок коммутации симметрирующего устройства

Реализация обобщенной модели СУ представляет собой объединение моделей подсистемы объекта, контуров уравнения, элементов с заданными параметрами и их связей, реализованных в среде Simulink с использованием блоков из стандартной библиотеки Block Library и дополнительной библиотеки SimPowerSystems, ориентированной на имитационное моделирование электротехнических устройств.

Подробное описание моделирования элементов и подсистем СУ, учитывающее важные особенности физических процессов объекта, а также вопросы математического описания, были рассмотрены выше. Разработанная обобщенная модель представлена на рис. 5.

Реализация обобщенной модели СУ представляет собой объединение моделей подсистемы объекта, контуров уравнения, элементов с заданными параметрами и их связей, ориентированной на имитационное моделирование электротехнических устройств. В работе приведены подробное описание

моделирования элементов и подсистем СУ с учетом особенностей физических процессов объектов, а также вопросы математического описания. Разработанная обобщенная модель представлена на рис. 6.

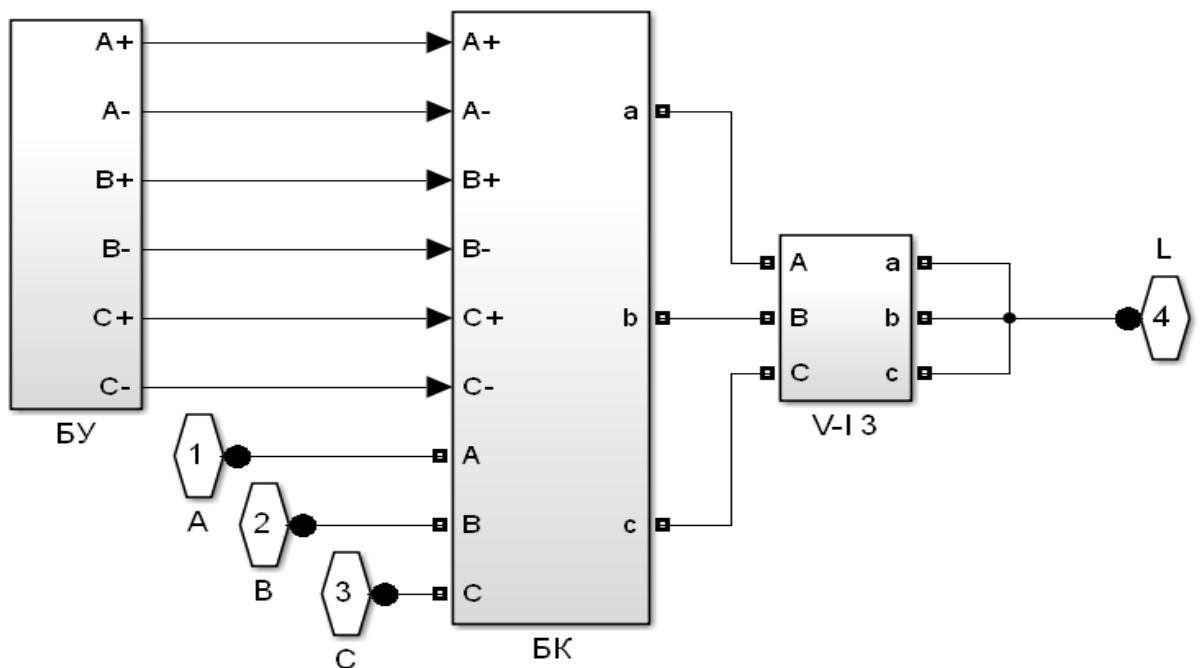


Рис. 5. Схема модели СУ в среде Matlab.

В четвертой главе для выполнения требований ГОСТ 32144-2013, для снижения несимметрии, целесообразно осуществить анализ измерительных данных. По этой причине, а также с целью увеличения скорости, в разработанной диссертационной работе симметрирующего устройства реализован алгоритм расчета параметров несимметрии системы трехфазных напряжений с нулевым проводом.

Проведенный анализ показал, что для достижения повышенной точности наиболее оптимальным является метод на базе применения микроконтроллеров с разработкой для них специального программного обеспечения, которым является разработанное устройство (рис. 7).

Устройство принимает напряжение трехфазной сети переменного тока по четырем проводам А, В, С и N с параметрами:

- действующее значение входного напряжения по каждой фазе в диапазоне 0...380 В;
 - форма напряжения синусоидальная, коэффициент гармоник не более 10%;
 - разность фаз между напряжениями в нормальных условиях $120^\circ \pm 5^\circ$.
- Устройство выдает переменное однофазное напряжение с параметрами:
- действующее значение выходного напряжения в диапазоне 160...265 В;
 - максимальная сила вытекающего тока не менее 40 А;
 - форма напряжения синусоидальная (повторяет параметры входного напряжения выбранной фазы);

- коэффициент гармоник не более 10 % (повторяет параметры входного напряжения по выбранной фазе);
- в случае понижения входного напряжения менее 160 В или повышения выше 265 В, должно быть осуществлено отключение потребителя от сети переменного тока во избежание повреждения бытовых электроприборов потребителя.

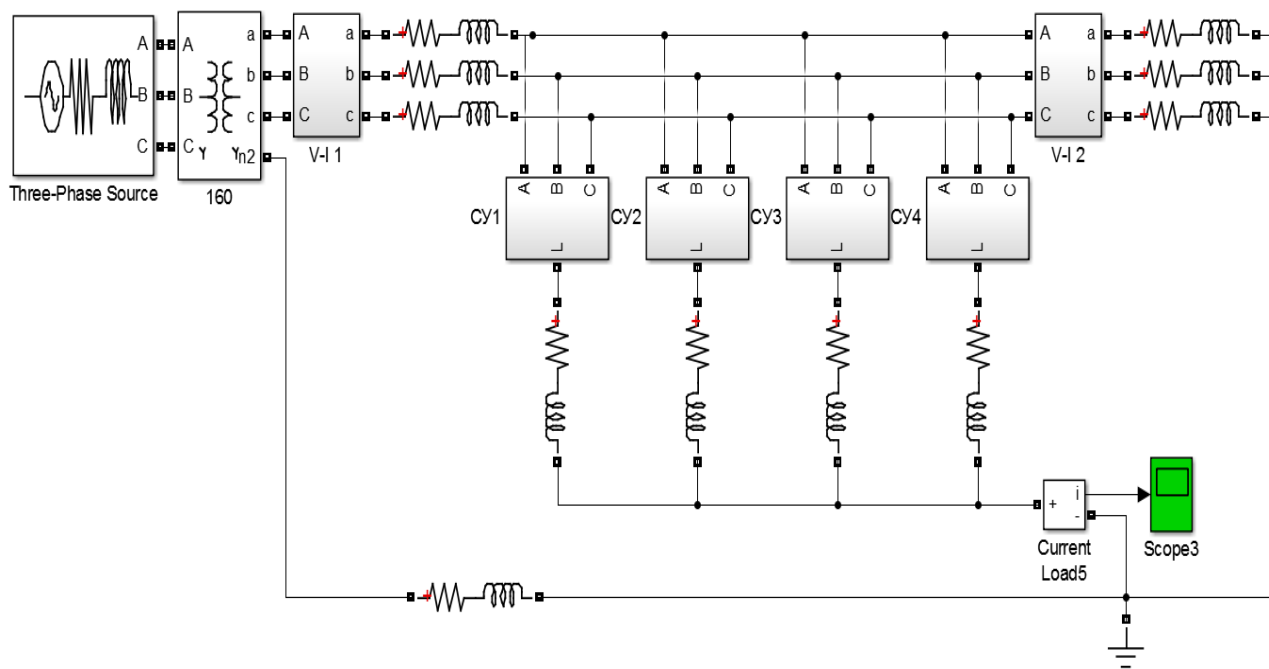


Рис. 6. Обобщенная модель СУ в среде Matlab.

Устройство измеряет значение напряжений входной трехфазной и выходной однофазной сети в диапазоне от 0 до 540 В (мгновенное значение) с точностью ± 1 В, дискретность измерений 1 мс.

Устройство измеряет силу тока по выходной однофазной сети в диапазоне 0...60 А с точностью ± 1 А, дискретность измерений 1 мс.

Входная сеть считается с хорошим качеством, если отклонение напряжения $\pm 10\%$ лежит в диапазоне от 188 В до 242 В.

Работа блока управления начинается с момента подключения его к трехфазному напряжению питания сети переменного тока. Устройство питается от любой фазы входного напряжения.

При подаче напряжения питания запускается встроенный микроконтроллер и дальнейшие действия подчиняются встроенному программному обеспечению блока управления.

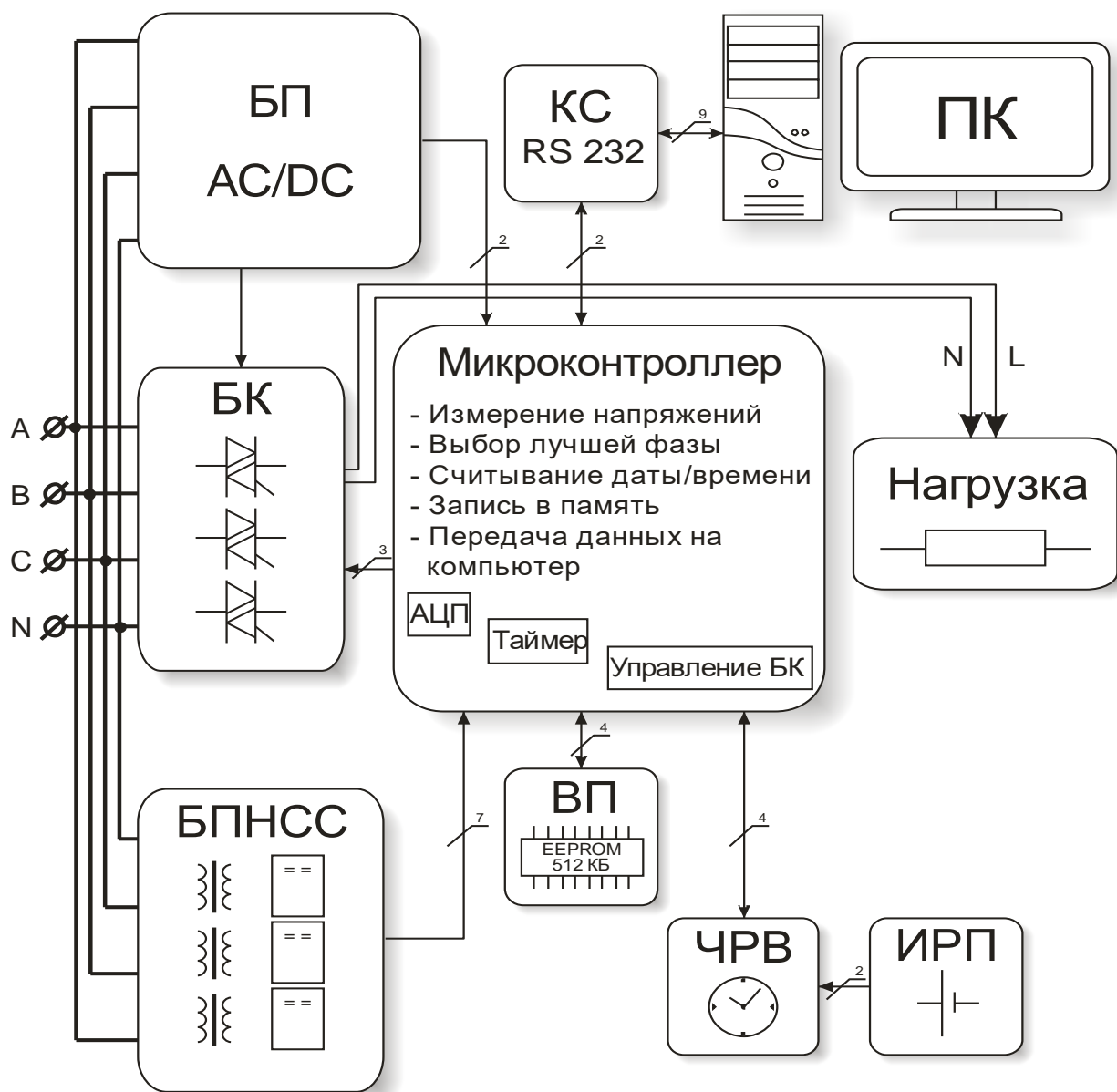


Рис. 7. Структурная схема симметрирующего устройства в распределительных сетях 0,4 кВ

После запуска блока управления (БУ) выполняются следующие действия:

- измеряются величины напряжения всех трех фаз входные напряжения, с периодом 1 мс, сравниваются их значения с уставками и осуществляется выбор наиболее оптимальной фазы;
- через блок преобразования напряжения и синхронизации с сетью (БПНСС) трансформируются входящие в 3-фазный сеть напряжения и передаются БУ, осуществляется синхронизация с сетью посредством компарирования напряжений;
- подается сигнал на открытие того или иного ключа блока коммутации (БК);
- считывается дата и время с часов реального времени (ЧРВ), значения входных напряжений и выбранных фаз в момент переключения с сохранением на энергонезависимой памяти EEPROM с объемом 512 kb;

- питание ЧРВ осуществляется от источника резервного питания (ИРП);
По запросу компьютера через канал связи (КС) осуществляется передача сохраняемого журнала переключений в память компьютера через программу «Com port toolkit» для дальнейшей обработки данных. Для этой цели на приборе предусмотрен выход RS232, который подключается к СОМ-порту компьютера по команде сервисной программы.
Если качество сети вышло за пределы 160...265 В по всем трем фазам, то должно быть осуществлено отключение потребителя от любой фазы трехфазной сети.
Если качество сети изменяется очень быстро (на выбранной линии работает сварочный агрегат), то необходимо анализировать среднее напряжение за 1 с. Если среднее напряжение в норме, то переключение не производится.
Если в течение времени качество сети вошло в заданные пределы, программа должна осуществить подключение потребителя и продолжить свою работу.
Если рабочий ток превышает максимально заданный, то необходимо осуществлять отключение потребителя от любой фазы трехфазной сети, выдержать время 10 с, произвести повторное подключение.
Если величина максимального тока не изменилась, произвести отключение от сети на время 100 с, после чего повторить пробное включение.
Ресурс работы изделия не менее 20000 часов. Подтверждается применением элементов с ресурсом работы более 20000 часов.
Время непрерывной работы изделия должно быть не менее 24 часов (круглосуточно).
Применение предложенного устройства для симметрирования однофазных потребителей в распределительных электрических сетях 0,4 кВ по сравнению с существующими, обеспечивает следующие преимущества: высокую точность определения загруженности фаз сети и тем самым высокую точность симметрирования режима; быстрое действие процесса переключения однофазных потребителей, повышенную надежность в работе устройства в процессе эксплуатации и достаточно малые весогабаритные показатели.
Внутренний блок интерфейсов, который реализован в симметрирующее устройство в распределительных сетях 0,4 кВ, изображен на рис. 8.
Для управления прибором симметрирующего устройства качества электроэнергии, для сбора и анализа данных используется программный комплекс «Com port toolkit». Программный комплекс позволяет получить и передать результаты измерений Excel. Листинги некоторых участков программы приведены в диссертации. Загрузка параметров и режимов измерений в приборы, а так же скачивание результатов измерений с памяти приборов, осуществляется по протоколу RS232 через СОМ-порт и через радиоканал связи (bluetooth).

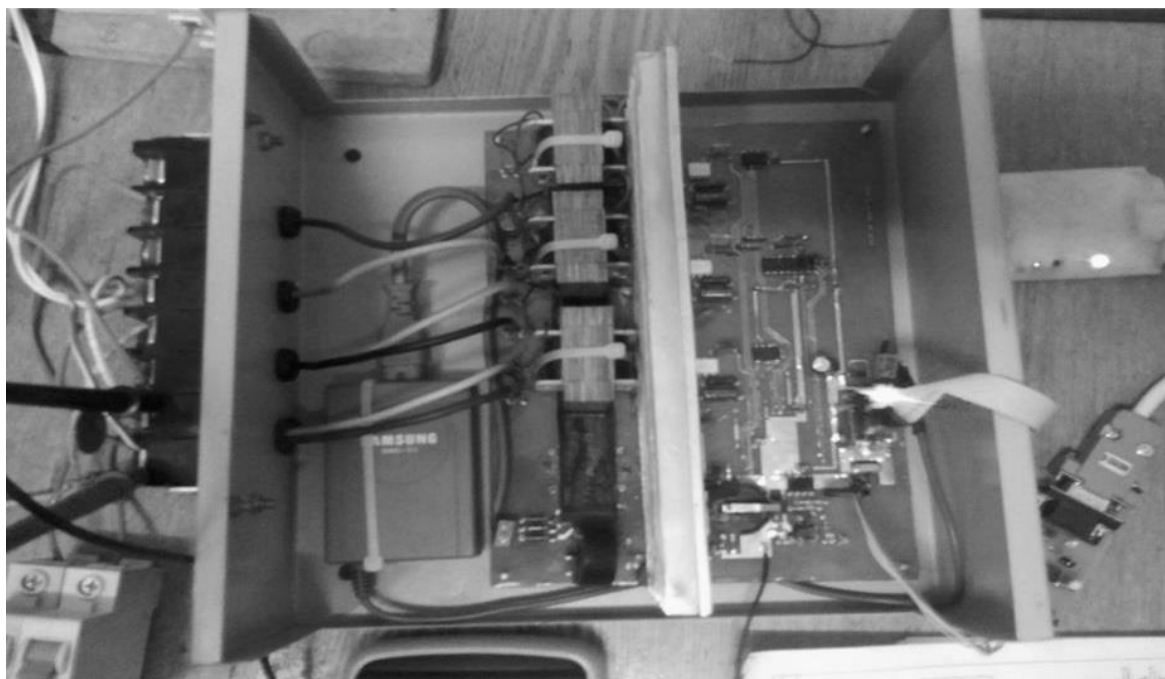


Рис. 8. Внутренний блок интерфейсов

После скачивания результатов измерений с приборов Программа «Com port toolkit» позволяет получать следующие показатели, характеризующие напряжение у абонента:

1. время переключения из одной фазы на другую;
2. значения напряжения в фазах А, В, С в момент переключения.

Журнал переключений СУ экспортируемый из «Com port toolkit» в EXCEL смотрите в табл. 1.

Таблица 1 - Журнал переключений СУ

U_A	U_B	U_C	Выбранная фаза	Число	Месяц	Год	часы	мин.	сек.
0	173	0	В	22	1	13	16	19	2
222	173	0	А	22	1	13	16	21	40
8,2	0	208	С	22	1	13	16	21	45
215	0	208	А	22	1	13	16	21	46
188	0	208	С	22	1	13	16	21	47
221	0	208	А	22	1	13	16	21	49
245	0	208	С	22	1	13	16	21	49
216	0	208	А	22	1	13	16	21	50
177	0	206	С	22	1	13	16	21	50
0	174	207	С	22	1	13	16	21	53
0	171	0	В	22	1	13	16	21	53
208	173	0	А	22	1	13	16	21	54
0	0	207	С	22	1	13	16	21	55
212	171	0	А	22	1	13	16	21	56

На базе полученных результатов, изготовлен действующий образец симметрирующего устройства в распределительных сетях 0,4 кВ, изображенный на рис. 9.



Рис. 9. Симметрирующее устройство в распределительных сетях 0,4 кВ

Созданный СУ, использовался в эксплуатации, в сетях 0,4 кВ ОАО «Северэлектро» и в учебном процессе на кафедрах «Электроснабжение» КГТУ им. И Раззакова и в дипломных проектах студентов. Достоверность полученных результатов обеспечена удовлетворительной сходимостью расчетных, имитационных, экспериментальных данных и с эксплуатационными показателями распределительных сетей ОАО «Северэлектро», а также соответствием полученных результатов с данными литературных источников и современными теориями электротехники.

Результаты измерений с СУ и без СУ изображены на рис. 10.

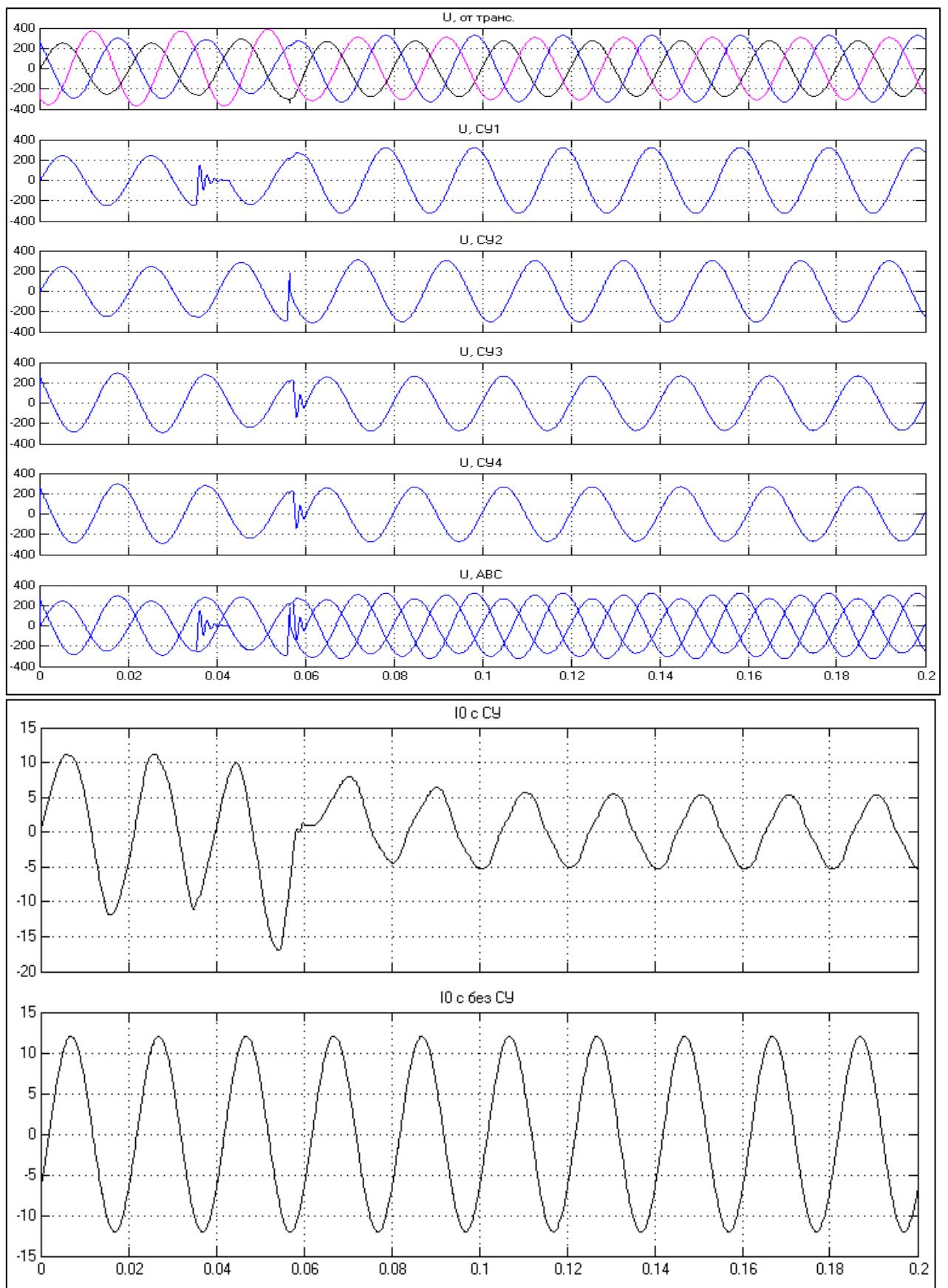


Рис. 10. Результаты с СУ и без СУ

ВЫВОДЫ

Основные результаты работы и выводы, сделанные в ходе выполнения диссертационной работы:

1. Исследования распределительных сетей 0,4 кВ выявили, что несимметрия напряжения является постоянным фактором в сети. В некоторых случаях, уровень несимметрии существенно (2,5-3 раз) превосходит номинальное значение. Обзор имеющихся способов и приборов симметрирования выявил, что более многообещающими, с нашей точки зрения, из числа симметрирующих устройств является способ перераспределения однофазных нагрузок по фазам.

2. Разработана методика оценки параметров несимметрии напряжений в сетях 0.4 кВ по измеренным напряжениям на участках фидера, применяемая в качестве начальных данных итогов замеров напряжений и разрешающая уменьшить объем вычисляемых действий.

3. Разработана компьютерная модель СУ, предназначенная для повышения показателей качества электрической энергии для потребителей. Реализация модели СУ представляет собой объединение моделей подсистемы объекта, контуров уравнения, элементов с заданными параметрами и их связей, реализованных в среде Simulink, ориентированной на имитационное моделирование электротехнических устройств.

4. Создан действующий образец симметрирующего устройства, проведенные экспериментальные исследования которого показали, что разработанный и реализованный алгоритм симметричных составляющих существенно увеличивает точность измерений и сокращает время переключений между фазами.

5. На основании договора №581 д/440 от 16.07.2012г. заключенного с ОАО «Северэлектро», выполнена научно-исследовательская работа «Повышение эффективности распределительных электрических сетей и режимов работы их элементов». По результатам НИР выявлено, что сельские распределительные сети 0.4 кВ характеризуются значительной несимметрией токов и напряжений, которые являются одной из основных причин снижения качества электрической энергии и увеличения потерь мощности в сети. Внедрено устройство для снижения несимметрии в распределительных сетях 0,4 кВ, так как несимметрия токов приводит к возрастанию потерь мощности и энергии в сетях на 30...50 %, по сравнению с симметричным режимом.

Список опубликованных работ по теме диссертации

1. **Сариев, Б.И.** Методика расчета потерь электроэнергии в сетях 0,38 кВ по измеренным напряжениям на участках фидера [Текст] / Б.И. Сариев // Известия КГТУ и. И. Раззакова № 23, Бишкек: 2011.- С.38-42.
2. **Сариев, Б.И.** Методика оценки параметров несимметрии напряжений в сетях 0,38 кВ по измеренным напряжениям на участках фидера [Текст] / Б.И. Сариев // Известия КГТУ И. И.Раззакова № 23, Бишкек: КГТУ, 2011.- С. 103-106.
3. **Свидетельство 271** Кыргызской Республики, Симметрирующее устройство для однофазных потребителей в распределительных электрических сетях 0,4 кВ [Текст] / Б.И. Сариев, Х.Т. Касмамбетов; № 20130008.6; заявл. 08.05.2013; опубл. 31.07.2013, Бюл. № 7(172).- 2 с.
4. **Свидетельство 272** Кыргызской Республики, Трехфазный преобразователь напряжения со стабилизацией выходных параметров однофазной сети переменного тока [Текст] / Х.Т. Касмамбетов, Б.И. Сариев; № 20130009.6; заявл. 17.05.2013; опубл. 31.07.2013, Бюл. № 7(172).- 2 с.
5. **Патент 187** Кыргызской Республики, МПК H02J/ 26. Устройство для автоматического переключения однофазных потребителей [Текст] / Б.И. Сариев, Х.Т. Касмамбетов, М.А.Суеркулов, З.Э. Абдиева; № 2014004.2; заявл. 27.06.2014; опубл. 31.07.2015, Бюл. № 7(196).- 15 с.
6. **Сариев, Б.И.** Перспективы энергетической стратегии КР и роль подготовки кадров для успешной ее реализации [Текст] / Б.И. Сариев, В.М. Касымова, З.Э. Абдиева, Р.Б. Куржумбаева, Х.Т. Касмамбетов, // Международный научно-исследовательский журнал - № 7-3 (61), - Екатеринбург: 2017. С. 41-44
7. **Сариев, Б.И.** Влияние несимметрии напряжения на потери электроэнергии в системах электроснабжения [Текст] / Б.И. Сариев, З.Э. Абдиева, Р.Б. Куржумбаева, Х.Т. Касмамбетов // Научно-технический журнал «Автоматика и программная инженерия» Новосибирский институт программных систем, - Новосибирск 2017. - №2 (20) С. 46-51

Сариев Бактыбек Имангазиевичтин 05.20.02 – Айыл чарба электрдик технологиялар жана жабдуулар адистиги боюнча техника илиминин кандидаты окумуштуулук даражасы үчүн изилдеген “0,4 кВ бөлүштүргүч тармагындагы симметриялоочу орнотмону иштеп чыгуу” деген темадагы диссертациясына

КОРУТУНДУ

Негизги сөздөр: симметриясыздык, симметриялоо, симметриялык бөлүк, түз, тескери жана нөл удаалаштыктары, кедерги мааниси.

Иш 0,4 кВ бөлүштүргүч тармагындагы чыңалуунун симметриялоочу түзүлүшүн иштеп чыгууга арналган.

Иштин максаты: 0,4 кВ бөлүштүрүүчү тармактарда симметриялык орнотмону колдонуу менен чыңалуунун симметриясыздыгын азайтып ЭЭ сапатын жогорулатуу.

Иштин жыйынтыгы: 0,4 кВ бөлүштүрүү тармагындагы чыңалуу несимметриясынын параметрлерин баалоонун математикалык моделдерин түзүү; 0,4кВ бөлүштүрүү тармагындагы симметрлөөчү түзүлүштүн компьютердик моделин түзүү; 0,4кВ бөлүштүргүч электр тармактарындагы бир фазалуу керектөөчүлөрдү симметрлөө үчүн симметриялоочу түзүлүштү иштеп чыгуу болуп саналат. Булардын мурункулары менен салыштырганда төмөнкүдөй артыкчылыктарга ээ болот: тармактагы фазалардын жүктөлгөндүгүн аныктоонун жогорку тактыгы жана ошону менен режимди симметрлөөнүн жогорку тактыгы, бир фазалуу керектөөчүлөрдү которуп кошуу процессинин тездиги, эксплуатация процессинде түзүлүштүн иштөөсүнүн жогорку ишенимдүүлүгү жана аз салмактуулук көрсөткүчтөр.

Алынган жыйынтыктар: 0,4кВ бөлүштүргүч тармактарында чыңалууну симметрлөөдө кеңири колдонсо болот, натыйжада электр тармактары менен электр энергиясын керектөөчүлөрдүн электромагниттик бирдиктүүлүгү сакталган учурда ГОСТ 32144-2013 тарабынан бекитилген чекке чейин ПКЭни тез арада жөнгө салуу мүмкүнчүлүгүн камсыз кылат.

РЕЗЮМЕ

диссертации Сариева Бактыбека Имангазиевича на тему «Разработка симметрирующего устройства в распределительных сетях 0,4 кВ» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве

Ключевые слова: несимметрия, симметрия, симметричные составляющие, прямая, обратная, нулевая и последовательности, пороговое значение.

Работа посвящена разработке устройства симметрирования напряжения в распределительных сетях 0,4 кВ.

Цель работы: повышение качества электроэнергии путем снижения несимметрии напряжений с помощью симметрирующего устройства в распределительных сетях 0,4 кВ.

Результаты работы: создана математическая модель оценки параметров несимметрии напряжений в распределительных сетях 0,4 кВ; создана компьютерная модель симметрирующего устройства в распределительных сетях 0,4; разработано симметрирующее устройство для симметрирования однофазных потребителей в распределительных электрических сетях 0,4 кВ, обеспечивает следующие преимущества: высокую точность определения загруженности фаз сети и тем самым высокую точность симметрирования режима, быстроедействие процесса переключения однофазных потребителей, повышенную надежность в работе устройства в процессе эксплуатации и достаточно малые весогабаритные показатели.

Полученные результаты могут быть широко использованы при симметрировании напряжения в распределительных сетях 0,4 кВ, что обеспечивает возможность проведения оперативной регулировки ПКЭ до норм, установленных ГОСТ 32144-2013, при соблюдении которых обеспечивается электромагнитная совместимость электрических сетей и потребителей электрической энергии.

SUMMARY

Sariev Baktybek's theses on a subject: « Development of a balancing device in 0.4 kV distribution networks » on a degree of Candidate of Technical Sciences in the specialty 05.20.02- Electrotechnologies and electrical equipment in agriculture.

Keywords: asymmetry, symmetry, symmetric components, direct, inverse, zero and succession, threshold values.

Research object: The work is devoted to the development of a voltage balancing device in 0.4 kV distribution networks.

Research objective: development of a methodology and a comparative evaluation of the asymmetry parameters of voltages in 0.4 kV networks and the development of a voltage balancing device in 0.4 kV networks.

The creation of a mathematical model for estimating the asymmetry parameters of voltages in 0.4 kV distribution networks; creation of a computer model of a symmetrical device in distribution networks 0.4; the development of a symmetrical device for the symmetrization of single-phase consumers in 0.4 kV distribution networks in comparison with existing ones provides the following advantages: high accuracy in determining the network phase load and, thus, high accuracy of the symmetry of the regime, the speed of the switching process of single-phase consumers, increased reliability in the operation of the device in the process of operation and sufficiently small weight dimensions.

The obtained results can be widely used for voltage symmetry in 0.4 kV distribution networks, which makes it possible to carry out the operational adjustment of the SCE to the standards established by GOST 32144-2013, with observance of which electromagnetic compatibility of electrical networks and electric consumers energy.