

УДК 621.316:004.9:372.862

ТРЕНАЖЕР ПО СИММЕТРИРОВАНИЮ ФАЗНЫХ НАГРУЗОК РЭС  
PHASE LOAD BALANCING APPLICATION

Яр-Мухамедов И.Г., доцент, и.о. ст.научного сотрудника

Институт машиноведения и автоматики НАН КР, г. Бишкек, Кыргызстан

Ildar G. Yar-Mukhamedov, docent, senior researcher,

The Institute of Machine Science and Automation of the National Academy of Sciences  
of the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyzstan

*Аннотация. Описано компьютерное обучающее приложение-тренажер для изучения возможностей балансирования фазных нагрузок распределительной сети, выработки навыков оценки ситуаций и планирования требуемых управляющих воздействий. Приложение имеет типовую структуру и реализовано с использованием минимальных средств для обеспечения переносимости на любые доступные аппаратно-программные платформы.*

*Abstract. The described computer training application is designed to study the possibilities of balancing the phase loads of the electric grid, to develop skills for assessing situations and planning the required control actions. The application has a typical structure and implementation in order to ensure portability to any available hardware and software platforms.*

Ключевые слова: обучающая программа; симметрирование фаз; распределительные электросети.

Keywords: Training program; phase balancing; distribution power grids.

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из важных резервов повышения эффективности народного хозяйства остаются технические и коммерческие потери электроэнергии в распределительных электрических сетях (РЭС) напряжением 0,4 кВ [1, 2]. Пространственная распределенность и массовость бытовых потребителей создают определенные трудности в управлении электросетевым хозяйством.

Минимизация технических потерь связана с двумя основными эксплуатационными факторами. Во-первых, это сдвиг фаз, приводящий к потерям реактивной составляющей электроэнергии. Во-вторых – дисбаланс фазных нагрузок, обуславливающий увеличение потерь как в РЭС, так и в трансформаторной подстанции. Первый фактор регулируется с помощью устройств компенсации фазового сдвига на стороне потребителя, если они могут быть скомплексированы с потребляющими установками, для которых известны реактивные составляющие нагрузки, либо на трансформаторной подстанции, для повышения КПД трансформаторов. Второй фактор, до последнего времени, не мог быть оперативно контролируем и возможности оперативного управления балансом фазных нагрузок открылись лишь с появлением аппаратно-программных средств автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) [3], а

также разработки коммутаторов фазных токов (КФТ) [4] вкуче с алгоритмами управления на основе данных АСКУЭ [5].

Массовое распространение «умных» электронных счетчиков, внедрение АСКУЭ и планы по снижению технических и коммерческих потерь электроэнергии [1] обуславливают необходимость подготовки как студентов соответствующих специальностей, так и действующих специалистов эксплуатационных организаций. Для решения этой задачи и было разработано компьютерное обучающее приложение – тренажер по симметрированию фазных нагрузок РЭС.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Модель сети. Полагаем, что распределительная электросеть (РЭС) напряжением 0,4 кВ разбита на ряд участков, включающих в свой состав потребителей как с трехфазной, так и однофазной нагрузкой. Причем последние могут иметь либо коммутируемое (через коммутатор фазных токов – КФТ), либо некоммутируемое присоединение к одному из фазных проводников четырехпроводной трехфазной линии. Межабонентские участки (МАУ) линии имеют определенное сопротивление (импеданс). По этой причине абонентские счетчики электроэнергии фиксируют постепенное снижение напряжения от начальных к конечным участкам РЭС. Полагаем также, что по данным оперативных измерений автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии нам известны токи потребления абонентов и коэффициенты мощности.

Сразу отметим, что для эффективного функционирования распределительной энергосистемы требуется учитывать, как минимум, и амплитудные, и фазовые соотношения. В представляемой задаче рассматриваются только амплитудные либо действующие значения токов, т. е. предполагается, что фазовые сдвиги не влияют на потери электроэнергии. Это справедливо, если уже обеспечена компенсация фазовых сдвигов и переключения не приведут к их нарушению, либо их влияние несущественно по сравнению с потерями от дисбаланса фазных нагрузок. Таким образом, здесь рассматривается частный случай или часть более общей задачи. Это оправдано как с практической эксплуатационной, так и образовательной точки зрения.

На рисунке 1 показан один участок (секция), включающий по одному потребителю (абоненту) каждого из типов: трехфазного, однофазного с постоянным подключением, однофазного с коммутируемым подключением к одной из фаз через коммутатор фазных токов (КФТ). В действительности потребителей может быть больше, причем разных типов, а некоторые типы потребителей на конкретном участке могут и отсутствовать.

Слева секция соединяется с трансформаторной подстанцией либо продолжает сеть от предыдущего участка. Справа через линии следует другой участок либо сеть здесь заканчивается, если участок является последним. Количество участков (секций) в модели сети не фиксировано и определяется их реальным количеством в РЭС.

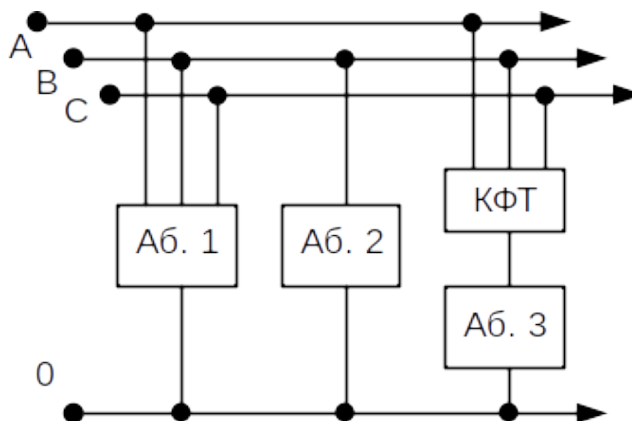


Рисунок 1 – Схема участка с типовыми потребителями

Исходные данные обучающего приложения имеют следующую структуру:

<Количество сетей (вариантов заданий)>

<Количество секций (участков) в сети>

<Количество абонентов на Первом участке>

<Тип> <Переключаемый> <Фаза> <Ток1> <Ток2> <Ток3>

... ..

<Тип> <Переключаемый> <Фаза> <Ток1> <Ток2> <Ток3>

<Количество абонентов на Втором участке>

<Тип> <Переключаемый> <Фаза> <Ток1> <Ток2> <Ток3>

... ..

<Тип> <Переключаемый> <Фаза> <Ток1> <Ток2> <Ток3>

... ..

Тип абонента: однофазный либо трехфазный. Признак «Переключаемый» показывает, подключен ли абонент через коммутатор фазных токов. Поле «Фаза» – это номер фазы, к которой подключен однофазный абонент. Далее задаются токи, потребляемые от каждой из фаз.

Функции приложения. Вначале пользователю предлагается выбрать номер варианта задания. После загрузки отображаются основные характеристики РЭС и приложение ожидает ввода команды. Набор команд невелик и включает в себя следующие основные.

- Отображение состояния отдельного участка (токи, потребляемые каждым из абонентов), включая суммарные фазные токи.

- Отображение фазных токов, потребляемых участками и всей РЭС.

- Отображение токов межабонентских участков на протяжении всей РЭС.

- Отображение величины несимметрии потребляемых токов.

- Переключение абонента рассматриваемого участка на другую фазу.

Параллельно отображается критериальный показатель, в качестве которого используется сумма квадратов отклонений фазных токов всех участков от нормативных значений.

Характер приложения, выводимой информации, а также необходимость протоколирования работы пользователя обусловили выбор формы организации взаимодействия с пользователем. Это – традиционное консольное приложение.

Компьютерная реализация. Разработка велась в среде GNU OS на языке C. В качестве компилятора использовался gcc, но может использоваться и tcc. Программа является автономной и не требует установки (портатбельное приложение). Это важно при его использовании в учебных классах, так как не требуются права администратора. Исходные данные имеют формат простого текстового файла и их можно подготовить с использованием любого редактора.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования и разработки показывают, что имеются резервы повышения энергоэффективности народного хозяйства и средства достижения этой цели не только на путях автоматизации учета и контроля, но и в части подготовки кадров для решения вновь выявляющихся задач оперативного управления РЭС, а также тестирования и разработки новых алгоритмов выработки управляющих воздействий для АСУ ТП энергообъектов.

Следующей задачей, также настоятельно требующей решения, является задача оперативной компенсации фазовых сдвигов и, при необходимости, снижения токов нулевого провода. Расчеты показывают, а эксплуатационная практика подтверждает, что подчас плотность тока нулевого провода, обусловленная фазовыми сдвигами, может превышать плотность тока фазных линий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Концепция сотрудничества государств-участников СНГ в области инновационного развития энергетики и разработки передовых энергетических технологий. План первоочередных мероприятий по реализации Концепции. [Электронный ресурс]. Утвержден решением Совета глав правительств СНГ от 1 июня 2018 г. Режим доступа: <http://energo-cis.ru/wyswyg/file/Documents EES SNG/Razdel 1/1.32. Концепция инновационного развития энергетики.pdf>. (Дата обращения 12.04.2021).

2. Правила пользования электрической энергией. [Электронный ресурс]. Утверждены постановлением правительства КР от 22 августа 2012 г. № 576. Режим доступа: <http://cbd.minjust.gov.kg/act/view/ru-ru/93715>. (Дата обращения 12.04.2021).

3. Еремина М.А. Развитие автоматических систем коммерческого учета энергоресурсов (АСКУЭ) // Молодой ученый. 2015. № 3. С. 135–138.

4. Патент № 2101 (КР). Способ симметрирования фазных токов распределительной сети 0,4кВ и устройство его осуществления / Б.К.Такырбашев, Т.Т. Оморов, А.В. Новиков, А.Г. Боронин // Бюллетень. 2018, №10. С. 16–17.

5. Оморов Т.Т. Симметрирование распределенной электрической сети методом цифрового регулирования // Мехатроника, автоматизация, управление. 2018. Т. 19, № 3. С.194–200.