

## СТЕНД ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

**Д. И. ЗАЛИЗНЫЙ, К. М. МЕДВЕДЕВ, Н. В. ПОТАПЕНКО**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого»,  
Республика Беларусь*

### Введение

Функционирование энергосистем практически невозможно без многоуровневой автоматизированной системы диспетчерского управления [1]. Качественная работа диспетчера по оперативным переключениям в электрических сетях, регулированию режимных параметров энергосистем, взаимодействию с нижестоящими службами является одним из основных критериев надежного электроснабжения потребителей. Вместе с тем, специалисты, ведущие оперативные переговоры с диспетчером и выполняющие его распоряжения, должны, в свою очередь, грамотно и квалифицированно выполнять требуемые операции и заполнять необходимую документацию. Все это свидетельствует о том, что при подготовке специалистов для работы в энергосистемах необходимо уделять внимание и вопросам диспетчерского управления.

На кафедре «Электроснабжение» ГГТУ им. П. О. Сухого авторами данной статьи разработана лабораторная установка (стенд) «Пульт диспетчерского управления», предназначенная для первичного ознакомления студентов с оперативным управлением в энергосистемах. Ниже рассмотрены теоретические, практические и методические вопросы, которые решались при работе над установкой.

### Конструкция стенда

Структурная схема стенда приведена на рис. 1.

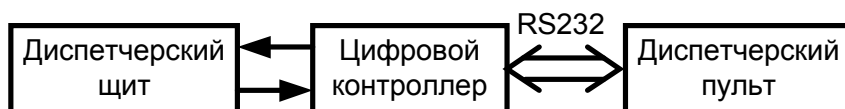


Рис. 1. Структурная схема стенда

Стенд представляет собой макет оперативно-информационного комплекса (ОИК) [2] и включает диспетчерский щит, цифровой контроллер и диспетчерский пульт. Внешний вид стенда приведен на рис. 2.

На диспетчерском щите изображена мнемосхема простейшей системы электроснабжения, состоящей из ТЭЦ и двух подстанций 110/10 кВ «Северная» и «Южная», которые соединены посредством трех линий электропередачи (ЛЭП) в кольцо. Данная схема представляет собой существенное упрощение реальных схем, так как в ней отсутствуют цепи резервирования на стороне 10 кВ подстанций, не выполняются условия по надежности электроснабжения потребителей, отсутствуют разъединители и т. д. Это упрощение введено для наглядности в учебных целях.

Помимо мнемосхемы на щите имеются тумблеры, имитирующие реальное положение высоковольтных выключателей, т. е. соответствующие сигналы телемеханики «Выключатель включен» или «Выключатель отключен». Положение тумблера вверх означает включение выключателя, вниз – отключение. Внутри обозначений выключателей имеются светодиоды, которые отображают следующие виды информации:

- светодиод светится – выключатель включен;
- светодиод не светится – выключатель отключен;
- светодиод мигает – реальное положение выключателя не соответствует команде диспетчерского пульта.

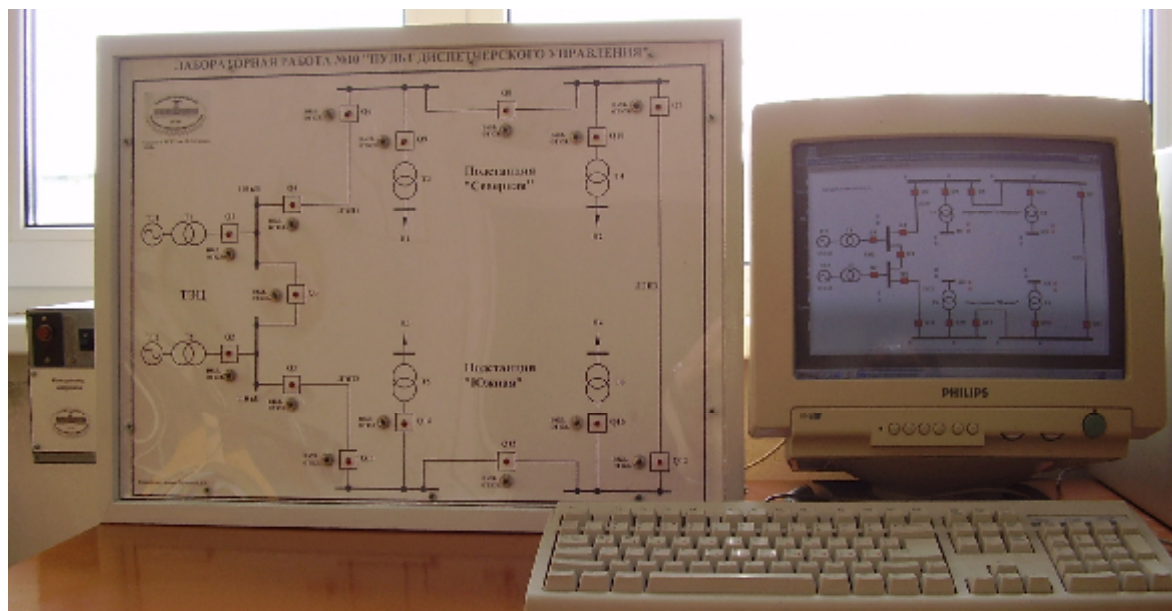


Рис. 2. Внешний вид лабораторного стенда

Функции диспетчерского пульта выполняет персональный компьютер (ПК).

Связь между щитом и диспетчерским пультом (ПК) осуществляется с помощью цифрового контроллера, прикрепленного к боковой части щита, посредством последовательного интерфейса RS-232. Контроллер реализован на основе однокристального микроконтроллера фирмы Atmel AT90S8535.

### Программное обеспечение

Для реализации функций диспетчерского пульта и его взаимодействия с контроллером в среде C++Builder была написана программа SupervisoryConsole, внешний вид главного окна которой приведен на рис. 3. Эта программа предназначена специально для выполнения лабораторной работы, но функционирует аналогично реальным программам, используемым в диспетчерских пунктах.

Программа SupervisoryConsole позволяет:

- осуществлять постоянный обмен данными с контроллером;
- отображать мнемосхему диспетчерского щита;
- вести расчет установившегося режима электрической сети вне зависимости от ее конфигурации (состояния выключателей);
- отображать модули и аргументы напряжений в узлах сети, а также значения активной и реактивной мощностей в узлах нагрузки;
- сигнализировать об отклонениях напряжения;
- изменять параметры силовых трансформаторов, ЛЭП и нагрузки;
- осуществлять оперативные переключения;
- моделировать случайные графики нагрузки в виртуальном времени.

Состояния выключателей программа SupervisoryConsole отображает следующим образом:

- красный цвет – выключатель отключен;
- зеленый цвет – выключатель включен;
- мигание – реальное положение выключателя не соответствует команде диспетчерского пульта.

Отклонения напряжения в узлах нагрузки программа SupervisoryConsole отображает следующим образом:

- черный цвет шин низкого напряжения подстанции – напряжение не выходит за границы предельно допустимых значений ( $\pm 10\%$  от номинального значения 10 кВ);
- синий цвет шин нагрузки – напряжение более чем на 10 % выше номинального значения;
- красный цвет шин нагрузки – напряжение более чем на 10 % ниже номинального значения.

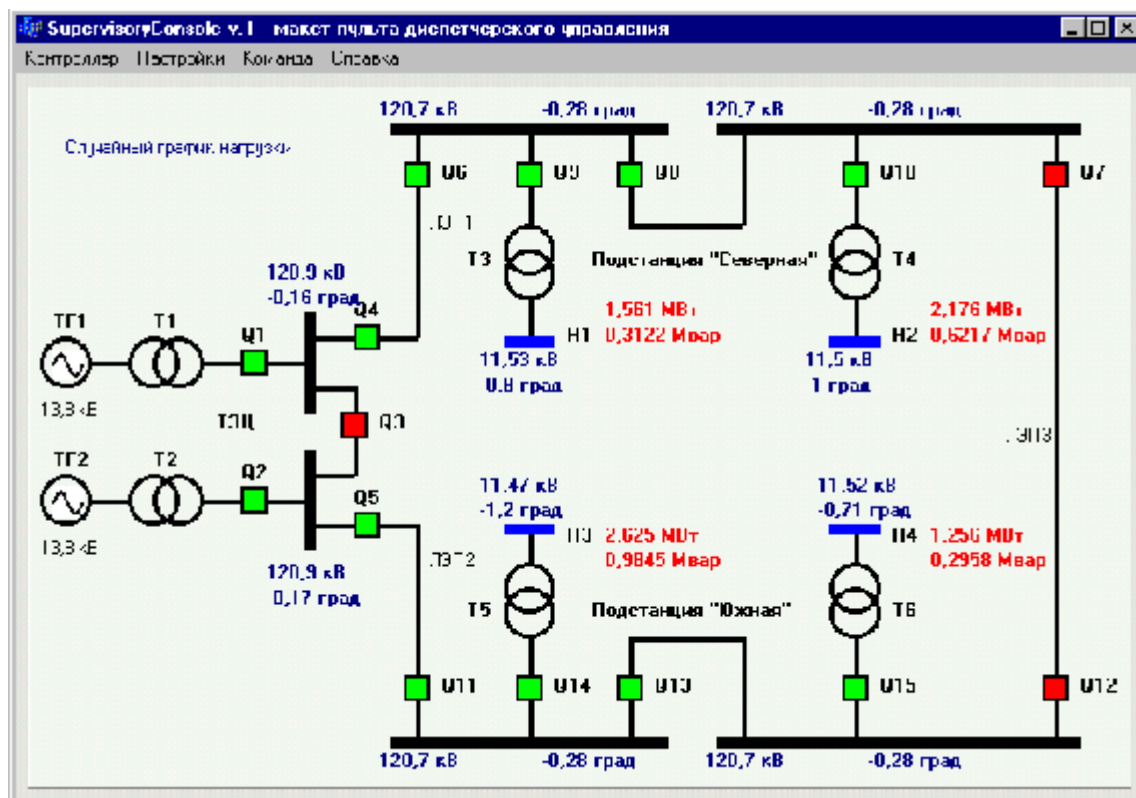


Рис. 3. Внешний вид главного окна программы SupervisoryConsole

Для ввода параметров схем замещения трансформаторов и ЛЭП, а также параметров нагрузки достаточно нажать мышью на обозначении соответствующих элементов и ввести данные в появившееся окно. Все параметры схем замещения трансформаторов и ЛЭП программой не рассчитываются, поэтому вводятся пользователем вручную. Изменение положения РПН также осуществляется только вручную. Это сделано в учебных целях.

Для изменения положения выключателя необходимо:

- 1) нажать мышью на обозначение требуемого выключателя;
- 2) прочитать текущее состояние выключателя и выбрать необходимое действие (как правило, если выключатель включен, то его отключают, или наоборот);
- 3) выдать требуемую команду на положение выключателя.

При вводе параметров нагрузки пользователь задает значения активной и реактивной мощности, соответствующие расчетному получасовому максимуму нагрузки при номинальном напряжении на шинах низкого напряжения подстанции. В процессе расчета установившегося режима программа SupervisoryConsole отображает значения активной и реактивной мощности нагрузки с учетом полученных значений напряжений в узлах.

Расчеты установившегося режима электрической сети программа SupervisoryConsole осуществляет совместно с пакетом MATLAB, реализуя циклический обмен данными через текстовые файлы. Этот пакет был выбран в силу простоты его соединения с другими программами, а также по причине отсутствия в среде разработки C++Builder (как и в

других аналогичных средах) встроенных математических средств для работы с матрицами и многих функций для работы с комплексными числами. Очевидно, что необходимые алгоритмы расчета можно написать и в среде C++Builder, но это достаточно трудоемкий процесс.

При необходимости тиражирования лабораторного стенда в C++Builder может быть написан код, непосредственно взаимодействующий с библиотеками MATLAB и не требующий установки пакета MATLAB. Базовый набор библиотек MATLAB распространяется бесплатно.

В разработанном стенде алгоритмы расчета по методам узловых уравнений и обратной матрицы записаны в файле-сценарии MATLAB.

### **Особенности расчетов**

При написании алгоритмов для файла-сценария MATLAB авторы данной статьи столкнулись с задачей автоматического учета положений высоковольтных выключателей в конфигурации расчетной схемы сети. Эта задача имеет определенный научный уровень и достаточно слабо представлена в публикациях. Так, в классической монографии [3] она даже не упоминается.

Существующие программные пакеты типа RASTR позволяют вести расчет режимов электрической сети с учетом изменения положений выключателей в автоматическом режиме, принимая сигналы телемеханики. Однако подробные алгоритмы таких расчетов разработчиками программ не предоставляются из коммерческих соображений.

С позиций схемы замещения электрической сети идеальный выключатель имеет два значения проводимости: нулевое, когда он отключен, и бесконечное, когда он включен. В топологии сети это можно учесть, меняя значения элементов матрицы инцидентий (матрицы связности сети). Проблема заключается в том, как это делать автоматически непосредственно в программе для любой случайной конфигурации сети. Совершенно очевидно, что такой алгоритм вполне реализуем, но достаточно сложен.

Авторами данной статьи предлагается простая методика учета положений высоковольтных выключателей, состоящая в следующем. Каждый выключатель необходимо выделить в отдельную ветвь, проводимость которой может принимать два значения: высокое, но не бесконечное, и низкое, но не нулевое, что позволяет избежать деления на ноль при решении системы уравнений. Так, при написании файла-сценария MATLAB было принято значение проводимости включенного выключателя  $Y_{Q+} = 100$  См, что соответствует сопротивлению 0,01 Ом, а значение проводимости отключенного выключателя  $Y_{Q-} = 10^{-15}$  См, что соответствует сопротивлению  $10^{15}$  Ом. Далее необходимо воспользоваться методом узловых уравнений [3], т. е. составить матрицу узловых проводимостей  $Y$  всей сети со всеми имеющимися выключателями независимо от их положения и матрицу-столбец токов в узлах  $I$  для всех имеющихся источников питания. Тогда система уравнений запишется классически:

$$Y \cdot U = I, \quad (1)$$

где  $U$  – матрица-столбец искомых напряжений в узлах.

Однако в исходном виде такая методика не работает. Дело в том, что, несмотря на очень малые значения проводимостей отключенных выключателей, сеть остается соединенной, и на сопротивлениях таких выключателей имеются падения напряжения. Так, например, если отключить все выключатели сети, напряжения в узлах не будут равны нулю, а распределятся согласно II закону Кирхгофа. Для устранения этого недостатка было найдено простое решение. Непосредственно после ближайших выключателей возле всех источников питания нужно условно подключить достаточно малую шунтирующую проводимость  $Y_{ш}$ , значение которой практически не скажется на режимах сети, но, вместе с тем, будет намного больше проводимостей отключенных выключателей. Такое подключение для схемы сети, используемой для стенда, показано на рис. 4.

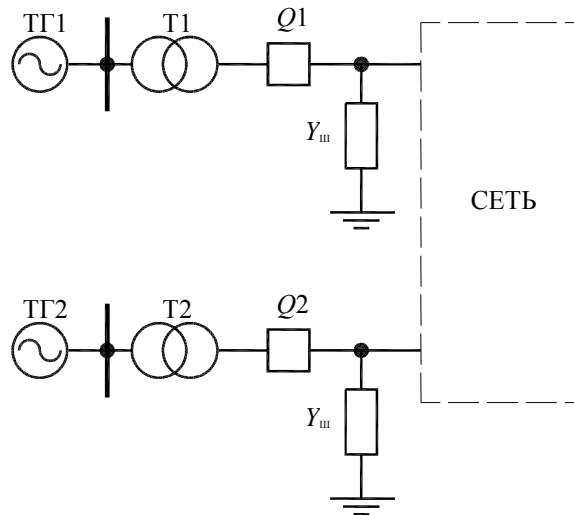


Рис. 4. Подключение условных шунтирующих проводимостей

При выборе значения  $Y_{ш}$  должно выполняться соотношение:

$$Y_{ш} \gg Y_{Q-}, \quad (2)$$

где  $Y_{Q-}$  – проводимость отключенного выключателя.

Если соотношение (2) выполняется, то при отключении выключателей  $Q1$  и  $Q2$  напряжения в узлах остальной сети (пунктир на рис. 4) будут близкими к нулю.

При написании файла-сценария MATLAB было принято значение  $Y_{ш} = 4 \cdot 10^{-9}$  См при  $Y_{Q-} = 10^{-15}$  См. Для напряжения 110 кВ это соответствует потребляемой мощности 28 Вт. Очевидно, что такое низкое значение мощности дополнительной нагрузки практически не скажется на результатах расчетов установившегося режима сети.

Решение системы (1) осуществлялось методом обратной матрицы, т. е. система считалась линейной при фиксированных значениях напряжений генераторов. При этом MATLAB позволяет решать и нелинейные системы уравнений, но, исходя из назначения стенда, было принято решение не усложнять алгоритмы.

Результаты работы файла-сценария MATLAB были проверены в стандартной программе расчета режимов электрических сетей Mustang для различных конфигураций рассматриваемой сети при различных мощностях нагрузок.

### Применение стенда

Разработанный стенд применяется на кафедре «Электроснабжение» для выполнения четырехчасовой лабораторной работы «Пульт диспетчерского управления» по дисциплинам «Автоматизация электрических сетей» и «Микропроцессорные устройства в энергетике» (в зависимости от специальности студентов).

Лабораторная работа состоит из двух занятий. На первом занятии студентам предлагается составить схемы замещения рассматриваемой сети в нормальном и ремонтном режимах, заполнив стандартный бланк переключений. Затем студенты выполняют расчет установившегося режима для обоих вариантов сети в программе Mustang и выбирают требуемые ступени РПН силовых трансформаторов для обеспечения номинального напряжения на шинах потребителей.

На втором занятии студенты работают непосредственно со стендом: запускают его, выполнив требуемые настройки, вводят параметры схемы замещения сети, устанавливают расчетные ступени РПН трансформаторов, производят необходимые переключения, согласовывая работу диспетчерского щита и диспетчерского пульта.

При выполнении лабораторной работы присутствует эффект увлекательной игры, что очень важно в психологическом плане для студентов вне зависимости от их возраста.

В результате выполнения работы студенты знакомятся с основными принципами работы оперативно-диспетчерского персонала, повышая свой квалификационный уровень.

### **Заключение**

Разработанный стенд имеет аппаратную часть и персональный компьютер, между которыми осуществляется обмен данными, что обуславливает его широкие функциональные возможности. Помимо рассмотренной области применения, стенд может быть использован для выполнения лабораторных работ по различным дисциплинам, связанным с электрическими сетями.

### **Литература**

1. Калентионок, Е. В. Оперативное управление в энергосистемах : учеб. пособие / Е. В. Калентионок, В. Г. Прокопенко, В. Т. Федин. – Минск : Выш. шк., 2007. – 351 с.
2. Митюшкин, К. Г. Телеконтроль и телеуправление в энергосистемах / К. Г. Митюшкин. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 288 с.
3. Идельчик, В. И. Расчеты и оптимизация режимов электрических сетей и систем / В. И. Идельчик. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 288 с.

*Получено 08.02.2011 г.*