

11.ГОСТ 31369-2008 Вычисление теплоты сгорания, плотности, отн. плотности и числа Воббе на основе компонентного состава // Москва, Стандартиформ 2009.

Научный руководитель: К.Б. Ларионов, ассистент каф. АТЭС ЭНИН ТПУ.

## **УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦИИ ПРИНЦИПА РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОТОКОВ МОЩНОСТИ В ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЯХ**

Р. Яруллов  
Лицей при ТПУ

В настоящее время почти все электростанции и подстанции России работают в составе энергообъединений. Основу любого энергообъединения составляют мощные электростанции (тепловые, атомные станции, гидроэлектростанции), связанные между собою воздушными линиями напряжением 500 или 750 кВ. Параллельная работа электростанций позволяет уменьшить себестоимость производства электрической энергии и повысить надежность электроснабжения.

С другой стороны, при объединении большого количества электростанций энергосистема становится более сложной, передаваемые по линиям мощности растут, увеличивается вероятность развития крупных системных аварий. В Америке такие системные аварии получили название «Black-Out». Системной называют аварию, которая приводит к вынужденной остановке части или всех электростанций энергообъединения. Известны случаи, когда системная авария начиналась с перегрузки нескольких линий.

В данной работе рассмотрена одна из возможных причин перегрузки линий электропередачи и разработано устройство, для демонстрации известного принципа регулирования потоков мощностей в разветвленных сетях.

Современные разветвленные электрические сети могут иметь в своем составе замкнутые кольцевые структуры. Один из возможных примеров такой структуры представлен на рис. 1.

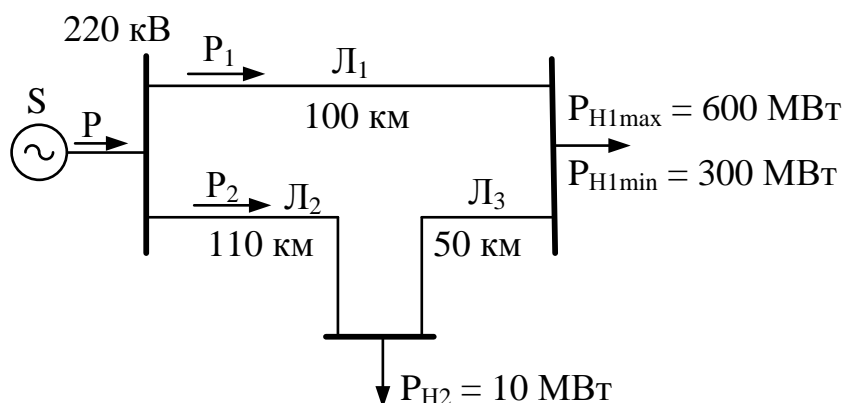


Рис. 1. Фрагмент схемы электрической сети

В данном примере мощная нагрузка  $P_{H1}$  питается по трем линиям Л1, Л2, Л3 от системы S. Нагрузка 1 изменяется, ее минимальное значение равно 300 МВт, а максимальное – 600 МВт. Нагрузка 2 постоянна и равна  $P_{H2} = 10$  МВт.

Удельное индуктивное сопротивление линий равно  $X_0 = 0,4$  Ом/км [1]. Длины линий указаны на рис. 1. Потери активной мощности в линиях не учитываем. Для линий задано ограничение – поток мощности по ним не должен превышать

$$P_{\text{пред}} = 340 \text{ МВт.}$$

Сопротивление линии Л1 значительно меньше, чем суммарное сопротивление линий Л2 и Л3, соединенных последовательно

$$X_1 = 40 \text{ Ом, } X_2 + X_3 = 44 + 20 = 64 \text{ Ом.}$$

Поэтому поток мощности P от системы распределяется по линиям неравномерно, в соответствии с правилом разброса. Например, при минимальной нагрузке  $P_{H1}$  мощность распределится следующим образом

$$P_1 = P(X_2 + X_3)/(X_1 + X_2 + X_3) = 300(44+20)/(40 + 44 + 20) = 185 \text{ МВт,}$$

$$P_2 = P \cdot X_1/(X_1 + X_2 + X_3) = 300 \cdot 40/(40 + 44 + 20) = 115 \text{ МВт,}$$

При максимальной нагрузке  $P_{H1}$  потоки мощности по линиям будут равны

$$P_1 = 600(44+20)/(40 + 44 + 20) = 369 \text{ МВт,}$$

$$P_2 = 600 \cdot 40/(40 + 44 + 20) = 231 \text{ МВт,}$$

Большая часть потока ( $P_1$ ) идет по линии Л1, меньшая ( $P_2$ ) по линиям Л2 и Л3. В результате линия Л1 перегружена

$$P_1 = 369 \text{ МВт} > P_{\text{пред}} = 340 \text{ МВт,}$$

а остальные линии недогружены.

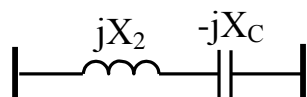


Рис. 2. Компенсация сопротивления линии

Известен ряд способов, позволяющих перераспределить потоки мощности. Рассмотрим один из них, который заключается в уменьшении индуктивного сопротивления недогруженной линии за счет компенсации. Компенсация заключается в том, что в рассечку недогруженной линии (линия 2), в каждую фазу, включается конденсаторная батарея с емкостным сопротивлением  $X_C$  (рис. 2). В результате имеет место электрический резонанс напряжений. Если сопротивления  $X_2$  и  $X_C$  равны, то получается, что относи-

тельно источника линия имеет нулевое сопротивление (если пренебречь активным сопротивлением провода), то есть имеет место полная компенсация.

На практике полная компенсация недопустима, рекомендуется компенсировать не более 50% сопротивления линии. В соответствии с данной рекомендацией примем максимальное значение  $X_C = 0,5X_2 = 22\text{ Ом}$ .

Расчет потоков мощности проведем по формулам

$$P_1 = P(X_2 - X_C + X_3)/(X_1 + X_2 - X_C + X_3), \quad (1)$$

$$P_2 = P \cdot X_1/(X_1 + X_2 - X_C + X_3). \quad (2)$$

Зависимости перетоков мощности по линиям от значения сопротивления конденсаторной батареи, рассчитанные по (1), (2), приведены на рис. 3. Зависимости  $P_{1\max}$ ,  $P_{2\max}$  получены соответственно для первой и второй линий при максимальной нагрузке 600 МВт. Зависимости  $P_{1\min}$ ,  $P_{2\min}$  получены при минимальной нагрузке 300 МВт.

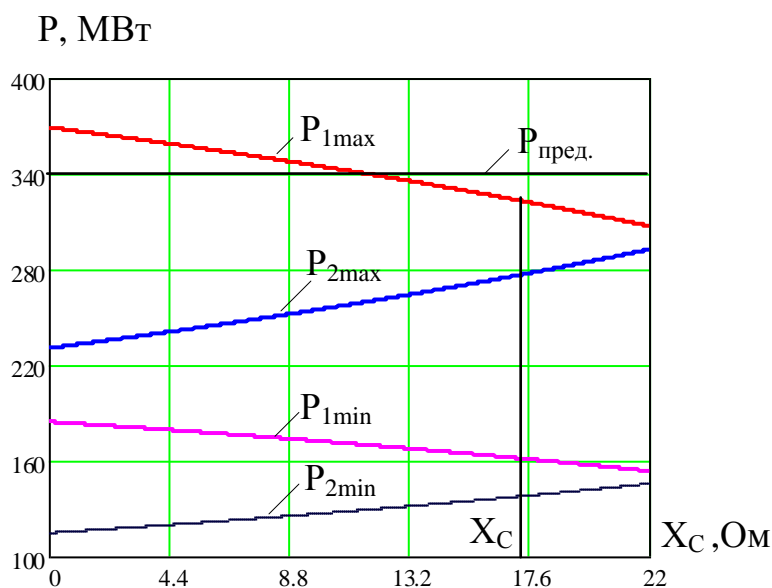


Рис. 3. Зависимости перетоков мощности по линиям от значения сопротивления конденсаторной батареи

Как видно, при максимальной нагрузке достаточно включить конденсаторную батарею с сопротивлением около 17 Ом, чтобы разгрузить линию  $L_1$  до значений, меньших предельного перетока.

Для демонстрации изложенного принципа было реализовано устройство на основе контроллера STM32 Discovery. Физическая модель состоит из трех катушек индуктивности, моделирующих сопротивления трех линий электропередачи, соединенных в кольцевую схему. Изменение нагрузки моделируется с помощью потенциометра. Согласно разработанному алгоритму при увеличении тока в катушке  $X_1$  до определенного значения в схему автоматически вводится конденсатор, соединенный последовательно с катушкой  $X_2$ .

В настоящее время качественное управление объектами электроэнергетики невозможно без внедрения новых технологий, реализованных с помощью микропроцессорных технических средств. Автор надеется в своей будущей профессиональной деятельности принять участие в разработке и внедрении технологий Smart Grid.

## ЛИТЕРАТУРА:

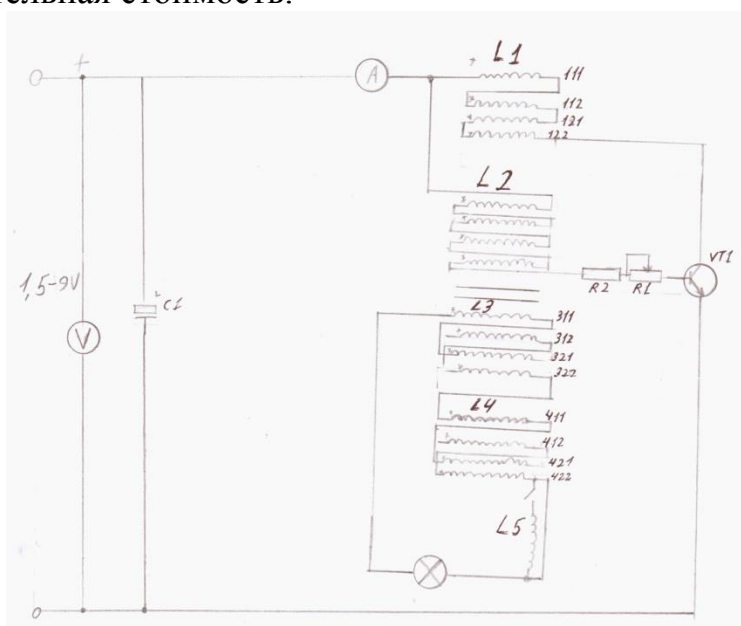
1. Неклепаев Б.Н. и др. Электрическая часть электростанций и подстанций. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.
2. Герасименко А.А., Федин В.Т. Передача и распределение электрической энергии. – Москва: КноРус, 2014. – 645 с.
3. Быстрицкий, Геннадий Федорович Общая энергетика (производство тепловой и электрической энергии) : учебник для вузов / Г. Ф. Быстрицкий, Г. Г. Гасангаджиев, В. С. Кожиченков. — 2-е изд., стер.. — Москва: КноРус, 2014. — 407 с.
4. Основы современной энергетике: учебник для вузов в 2 т. / под ред. Е. В. Аметистова. — 5-е изд., стер.. — М.: Издательский дом МЭИ, 2010 – 472 с.
5. Рыжкин, Вениамин Яковлевич Тепловые электрические станции : учебник для вузов / В. Я. Рыжкин; под ред. В. Я. Гиршфельда. — 4-е изд., стер.. — Москва: АРИС, 2014. — 328 с.

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Ф.А. Сизиков Т.А. Тюленин  
Школа №4 им И.С.Черных

В данной работе были проведены исследования тороидального трансформатора, намотанного с продольной обмоткой, и была проверена теория А. Мишина об использовании межобмоточной емкости катушек в работе трансформатора.

Приблизительная стоимость:



Транзистор КТ 405 (КТ829)  
Резистор 220 Ом – 2шт  
Резистор переменный 47 кОм