

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

«Курганский государственный университет»

Кафедра «Энергетика и технология металлов»

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПОТЕРЬ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ
И ВЕЛИЧИНЫ ПАДЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В РАДИАЛЬНО-
МАГИСТРАЛЬНЫХ СЕТЯХ ОТ МОЩНОСТИ И МЕСТА УСТАНОВКИ
УСТРОЙСТВ ПОПЕРЕЧНОЙ КОМПЕНСАЦИИ**

Методические указания
к выполнению лабораторной работы № 3
по курсу «Электроэнергетические системы и сети»
для студентов направления 13.03.03 «Электроэнергетика и электротехника»
(уровень бакалавриата)

Курган 2015

Кафедра: «Энергетика и технология металлов»

Дисциплина: «Электроэнергетические системы и сети»
(направления 13.03.03)

Составили: ст. преподаватель К. Н. Наумов, ассистент Д. В. Семакин, доцент, канд. техн. наук В. И. Мошкин.

Утверждены на заседании кафедры «27» августа 2014 г.

Рекомендованы методическим советом университета «20» декабря 2013 г.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПОТЕРЬ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ И ВЕЛИЧИНЫ ПАДЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В РАДИАЛЬНО-МАГИСТРАЛЬНЫХ СЕТЯХ ОТ МОЩНОСТИ И МЕСТА УСТАНОВКИ УСТРОЙСТВ ПОПЕРЕЧНОЙ КОМПЕНСАЦИИ

Цель работы: исследование влияния устройств поперечной компенсации на режимы работы радиально-магистральных электрических сетей высокого напряжения. Ознакомление с принципами моделирования компенсирующих устройств с использованием программного комплекса RastrWin.

1 Общие сведения

Активную мощность электрические сети получают от генераторов электрических станций, которые являются единственным источником активной мощности. В отличие от активной мощности реактивная мощность может генерироваться не только генераторами, но и компенсирующими устройствами – батареями статических конденсаторов (БСК), синхронными компенсаторами (СК) или статическими тиристорными компенсаторами (СТК), которые можно установить на подстанции электрической сети. При нормальной нагрузке генераторы вырабатывают лишь около 60% требуемой реактивной мощности, порядка 20% генерируются ЛЭП с напряжением выше 110 кВ, оставшиеся 20% вырабатывают компенсирующие устройства, расположенные на подстанциях или непосредственно у потребителя.

Компенсацией реактивной мощности называется ее выработка или потребление с помощью компенсирующих устройств.

Компенсация реактивной мощности, как и всякое важное техническое мероприятие, может применяться для нескольких различных целей. Во-первых, компенсация реактивной мощности необходима по условию баланса реактивной мощности. Во-вторых, установка компенсирующих устройств применяется для снижения потерь электрической мощности и, как следствие, энергии в сети. И, наконец, в-третьих, компенсирующие устройства применяются для регулирования напряжения.

Для уменьшения перетоков реактивной мощности по линиям и трансформаторам источники реактивной мощности должны размещаться вблизи мест ее потребления. При этом передающие элементы сети разгружаются по реактивной мощности, чем достигается снижение потерь активной мощности и напряжения.

Эффект установки компенсирующих устройств в конце линии иллюстрируется на рисунках 1 – 4.

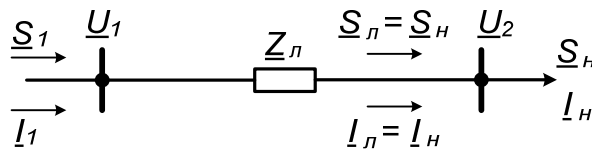


Рисунок 1 – Токи и потоки мощности до компенсации

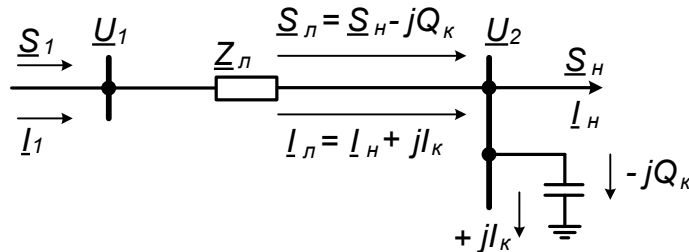


Рисунок 2 – Токи и потоки мощности после компенсации

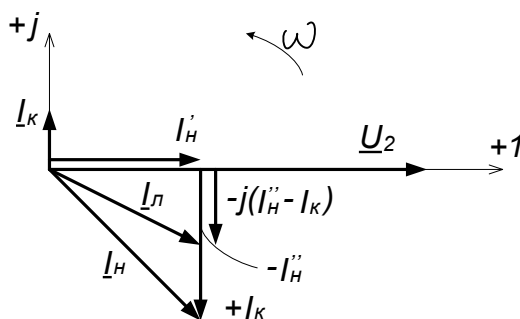


Рисунок 3 – Векторная диаграмма токов

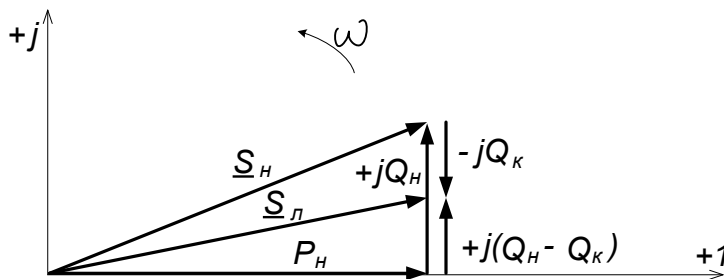


Рисунок 4 – Треугольник мощностей

Без применения компенсирующих устройств в линии протекают ток и мощность нагрузки (рисунок 1):

$$I_H = I_H' - jI_H'' \tag{1}$$

$$S_H = P_H + jQ_H \tag{2}$$

При установке компенсирующих устройств реактивный ток и реактивная мощность в линии уменьшается на величину реактивного тока и реактивной мощности, генерируемых компенсирующим устройством I_k, Q_k . В линии будут протекать меньшие по модулю ток и мощность (рисунок 2), соответственно равные:

$$I_H = I'_H - j(I''_H - I_K), \quad (3)$$

$$S_H = P_H + j(Q_H - Q_K). \quad (4)$$

Таким образом, вследствие применения компенсирующих устройств на подстанции при неизменной мощности нагрузки реактивные мощности и ток, потребляемые из внешней сети уменьшаются – линия разгружается по реактивной мощности. При этом в линии уменьшаются потери мощности и потери напряжения:

$$\Delta P_L = \frac{P_H^2 + (Q_H - Q_K)^2}{U_{ном}^2} \cdot r_L, \quad (5)$$

$$\Delta U_L = \frac{P_H \cdot r_L + (Q_H - Q_K)^2 \cdot x_L}{U_{ном}}. \quad (6)$$

Как отмечалось ранее, в качестве компенсирующих устройств используются синхронные компенсаторы, статические тиристорные компенсаторы и батареи конденсаторов.

Кроме того, к компенсирующим устройствам относятся шунтирующие реакторы, которые также можно применять для регулирования реактивной мощности и напряжения. Шунтирующие реакторы потребляют реактивную мощность и в нашей стране в основном используются для ограничения перенапряжений, возникающих в сетях высоких и сверхвысоких напряжений вследствие больших значений зарядных мощностей этих воздушных линий.

На сегодняшний день наибольшее распространение из всех выше перечисленных источников реактивной мощности получили батареи конденсаторов. Основной причиной этого заключается в том, что удельная стоимость (за 1 кВАр) батарей конденсаторов совместно с пускорегулирующей аппаратурой является наименьшей по сравнению со стоимостью других компенсирующих устройств.

Другие основные технико-экономические преимущества конденсаторов состоят в следующем:

- возможность применения как на низком, так и на высоком напряжении;
- малые потери активной мощности.

Недостатками конденсаторов с точки зрения регулирования режима являются:

- зависимость генерируемой ими реактивной мощности от напряжения;
- невозможность потребления реактивной мощности;
- ступенчатое регулирование выработки реактивной мощности и невозможность ее плавного изменения;
- чувствительность к искажениям формы кривой питающего напряжения.

Конденсаторные батареи также имеют ряд эксплуатационных преимуществ: простота эксплуатации (ввиду отсутствия вращающихся и трущихся частей); простота производства монтажа. Среди эксплуатационных недостатков

следует отметить сравнительно малый срок службы и недостаточную электрическую прочность (особенно при коротких замыканиях и напряжениях выше номинального).

2 Порядок выполнения работы

Выполнение лабораторной работы производится на персональной ЭВМ с использованием специализированной программы для расчета установившихся электрических режимов работы электрических сетей и систем – RastrWin.

Схема электрической сети, для которой производится расчет режимов работы, изображена на рисунке 5.

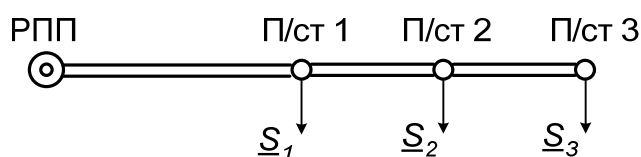


Рисунок 5 – Схема электрической сети

Параметры электрической сети, необходимые для выполнения работы (протяженность линий электропередачи, марка провода воздушных линий, узловые нагрузки, уровень напряжения, поддерживаемый на шинах РПП), приведены в приложении А.

Лабораторная работа выполняется в соответствии с номером варианта; номер варианта указывается преподавателем.

Выполнение лабораторной работы предполагает следующие основные этапы:

- подготовка к выполнению расчета режимов работы электрической сети;
- формирование расчетной модели в программе RastrWin и расчет установившегося режима работы электрической сети с исходными параметрами;
- выполнение расчетов, необходимых для исследования зависимости суммарных потерь активной мощности и уровней напряжения на шинах подстанций от суммарного объема компенсации реактивной мощности в сети;
- выполнение расчетов, необходимых для исследования зависимости потерь активной мощности и уровней напряжения на шинах подстанций от места установки компенсирующих устройств.

2.1 Подготовка к выполнению расчетов.

- на основании исходных данных к лабораторной работе и в соответствии с вариантом составить схему замещения электрической сети, изображенной на рисунке 5;
- на схему замещения нанести значения нагрузок потребителей, питающихся с шин подстанций, а также указать значение напряжения, поддерживаемого на шинах районной понижающей подстанции (РПП);

- все узлы схемы замещения пронумеровать цифрами от 1 до 100;
- выполнить расчет параметров элементов сети (при выполнении расчета обратить внимание на то, что все линии электрической сети показаны в двухцепном исполнении);
- расчетные параметры нанести на схему замещения.

2.2 Формирование расчетной модели в программе RastrWin и расчет установившегося режима работы электрической сети с исходными параметрами.

- в соответствии со схемой замещения произвести подготовку данных для расчета режима работы электрической сети в программе RastrWin: заполнить таблицу узлов и таблицу ветвей программного комплекса;
- на основании полученной расчетной схемы сформировать в программе RastrWin графическое отображение рассматриваемой электрической сети;
- выполнить контроль исходной информации, занесенной в программу; при обнаружении ошибок – исправить их;
- выполнить в программе RastrWin расчет нормального установившегося режима работы электрической сети;
- результаты расчета занести в таблицы.

2.3 Исследование зависимости суммарных потерь активной мощности $\Delta P_{\text{сети}}=f(\Sigma Q_{\text{КУ}})$ и уровней напряжения на шинах подстанций $U_1=f(\Sigma Q_{\text{КУ}})$, $U_2=f(\Sigma Q_{\text{КУ}})$, $U_3=f(\Sigma Q_{\text{КУ}})$ от суммарного объема компенсации реактивной мощности в сети.

В исходном режиме полная мощность, потребляемая с шин каждой подстанции, характеризуется некоторым заданным значением ее комплексных составляющих: активной и реактивной мощности. При этом подразумевается, что мощность компенсирующих устройств, размещенных на подстанциях, в исходном режиме равна нулю. В этом режиме из внешней сети потребляется реактивная мощность, равная реактивной мощности нагрузки (рисунок 1, уравнения (1) и (2)).

Для определения функциональных зависимостей величины потерь активной мощности и уровней напряжения от значения реактивной мощности, генерируемой КУ, необходимо:

- произвести ряд последовательных расчетов установившихся режимов работы исследуемой электрической сети, соответствующих различным значениям реактивной мощности, генерируемой компенсирующими устройствами;
- для каждого установившегося режима зафиксировать значения суммарных потерь активной мощности в электрической сети, а также значения напряжений в узлах сети;
- полученные значения занести в таблицу.

При выполнении расчетов реактивная мощность, генерируемая компенсирующими устройствами, на каждой подстанции должна быть изменена от нуля, что соответствует отсутствию компенсации, до величины равной реактив-

ной мощности нагрузки подстанции, что соответствует полной компенсации реактивной мощности.

Компенсацію реактивной мощности необходимо производить одновременно на всех подстанциях, равными долями с разбиением на 5÷7 этапов.

2.4 Исследование зависимости потерь активной мощности и уровней напряжения на шинах подстанций от места установки компенсирующих устройств

Для исследования влияния места расположения компенсирующих устройств на величину потерь активной мощности и уровни напряжения радиально-магистральной сети в лабораторной работе необходимо:

- поочередно, для каждой из подстанций электрической сети произвести компенсацию реактивной мощности, изменяя величину мощности компенсирующих устройств от нуля до величины, равной реактивной мощности нагрузки соответствующей подстанции. Изменение мощности КУ производить равными долями с разбиением на 5÷7 этапов;

- для каждого нового значения мощности КУ произвести расчет установившегося режима в программе RastrWin, зафиксировать значения суммарных потерь активной мощности в электрической сети, а также значения напряжений в узлах сети;

- полученные значения занести в таблицу.

Поочередность расчетов для каждой из подстанций подразумевает, что сначала выполняется комплекс расчетов, связанный с компенсацией реактивной мощности на некоторой отдельно взятой подстанции (например, на подстанции 1). Затем, после проведения всех необходимых расчетов, в программе RastrWin восстанавливается режим, соответствующий исходным данным лабораторной работы, и все расчеты повторяются для следующей подстанции.

Результатом этой работы должны стать следующие функциональные зависимости, сформированные в виде таблиц и графиков:

- $\Delta P_{\text{сети}} = f(Q_{\text{КУ1}})$, $\Delta P_{\text{сети}} = f(Q_{\text{КУ2}})$, $\Delta P_{\text{сети}} = f(Q_{\text{КУ3}})$;
- $U_1 = f(Q_{\text{КУ1}})$, $U_1 = f(Q_{\text{КУ2}})$, $U_1 = f(Q_{\text{КУ3}})$;
- $U_2 = f(Q_{\text{КУ1}})$, $U_2 = f(Q_{\text{КУ2}})$, $U_2 = f(Q_{\text{КУ3}})$;
- $U_3 = f(Q_{\text{КУ1}})$, $U_3 = f(Q_{\text{КУ2}})$, $U_3 = f(Q_{\text{КУ3}})$.

Для удобства анализа полученных результатов, функциональные зависимости, соответствующие одному и тому же исследуемому параметру, рекомендуется построить в единых числовых осях, т.е. объединить в указанные выше группы. Такое распределение будет более наглядно показывать влияние места расположения КУ на уровень напряжения в некоторой точке электрической сети.

3 Содержание и оформление отчета

Отчет должен содержать следующие данные:

- схему замещения модели исследуемой электрической сети с нанесенными на нее параметрами;
- расчеты параметров схемы замещения;
- таблицы с результатами расчетов установившихся режимов работы электрической сети и соответствующие им графические зависимости;
- анализ полученных результатов, выводы.

Отчет оформляется на листах формата А4. На титульном листе указывается фамилия студента, курс, группа, специальность, а также название работы и номер варианта.

Контрольные вопросы

- 1 Для чего нужна компенсация реактивной мощности?
- 2 Какие компенсирующие устройства вы знаете? Какое еще оборудование электрических сетей служит источником реактивной мощности?
- 3 Какие компенсирующие устройства получили наибольшее распространение и почему?
- 4 Расскажите об особенностях работы компенсирующих устройств различных видов.
- 5 Расскажите о достоинствах и недостатках батарей конденсаторов.
- 6 Что называется компенсацией реактивной мощности?
- 7 Где в электрической сети наиболее целесообразно устанавливать компенсирующие устройства и почему?
- 8 Проиллюстрируйте влияние компенсирующего устройства, расположенного в конце радиальной линии электропередачи, на ее режим работы.
- 9 Нарисуйте векторную диаграмму токов.
- 10 Нарисуйте векторную диаграмму мощностей.
- 11 Какие электроприемники в основном потребляют реактивную мощность?
- 12 Как рассчитать рабочую реактивную мощность конденсаторной батареи?

Список литературы

- 1 Идельчик В. И. Электрические системы и сети. М. : Энергоатомиздат, 1989. 592 с.
- 2 Пospelов Г. Е., Федин В. Т. и др. Электрические системы и сети. Минск : УП Технопринт, 2004. 720 с.
- 3 Герасименко А. А., Федин В. Т. Передача и распределение электрической энергии. Ростов н/Д. : Феникс, 2006. 720 с.
- 4 Лыкин А. В. Электрические системы и сети : учеб. пособие. М. : Логос, 2006. 254 с.
- 5 Макаров Е. Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4-1150 кВ. М. : Энергия, 2006.
- 6 Веников В. А. Электрические системы. Электрические сети. М. : высшая школа, 1998. 511 с.

Приложение А

Задание для лабораторной работы № 3

Таблица А1 – Параметры оборудования электрической сети

Вариант								
	1	2	3	4	5	6	7	8
Протяженность участка ЛЭП, км								
$l_{РПП-1}$	20	35	26	25	19	24	27	20
l_{1-2}	10	20	25	22	17	21	24	18
l_{2-3}	18	21	21	18	25	22	22	21
Марка провода ЛЭП								
$РПП-1$	АС-240	АС-240	АС-185	АС-240	АС-240	АС-240	АС-240	АС-185
$1-2$	АС-240	АС-240	АС-185	АС-185	АС-185	АС-240	АС-185	АС-185
$2-3$	АС-185	АС-185	АС-185	АС-185	АС-150	АС-185	АС-185	АС-150
Нагрузка подстанции, МВА								
П/С 1	40+j30	35+j25	30+j20	25+j25	30+j25	35+j30	32+j22	28+j20
П/С 2	40+j30	35+j25	30+j20	25+j25	30+j25	35+j30	32+j22	28+j20
П/С 3	40+j30	35+j25	30+j20	25+j25	30+j25	35+j30	32+j22	28+j20
Уровень напряжения, поддерживаемый на шинах РПП, кВ								
РПП	119	118	117	116	114	115	116	117

Вариант								
	9	10	11	12	13	14	15	16
Протяженность участка ЛЭП, км								
$l_{РПП-1}$	35	26	25	19	24	27	20	20
l_{1-2}	20	25	22	17	21	24	18	10
l_{2-3}	21	21	18	25	22	22	21	18
Марка провода ЛЭП								
$РПП-1$	АС-240	АС-185	АС-185	АС-240	АС-185	АС-185	АС-185	АС-240
$1-2$	АС-185	АС-150	АС-185	АС-185	АС-150	АС-185	АС-185	АС-185
$2-3$	АС-150	АС-150	АС-150	АС-150	АС-150	АС-150	АС-185	АС-150
Нагрузка потребителя на стороне 10 кВ подстанции, МВА								
П/С 1	29+j23	22+j18	25+j20	27+j22	20+j18	25+j20	30+j24	35+j30
П/С 2	29+j23	22+j18	25+j20	27+j22	20+j18	25+j20	30+j24	35+j30
П/С 3	29+j23	22+j18	25+j20	27+j22	20+j18	25+j20	30+j24	35+j30
Уровень напряжения, поддерживаемый на шинах РПП, кВ								
	119	118	117	116	114	115	116	117

Наумов Константин Николаевич
Семакин Даниил Владимирович
Мошкин Владимир Иванович

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПОТЕРЬ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ
И ВЕЛИЧИНЫ ПАДЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В РАДИАЛЬНО-
МАГИСТРАЛЬНЫХ СЕТЯХ ОТ МОЩНОСТИ И МЕСТА УСТАНОВКИ
УСТРОЙСТВ ПОПЕРЕЧНОЙ КОМПЕНСАЦИИ**

Методические указания
к выполнению лабораторной работы № 3
по курсу «Электроэнергетические системы и сети»
для студентов направления 13.03.03 «Электроэнергетика и электротехника»
(уровень бакалавриата)

Редактор Е.А. Могутова

Подписано в печать	Формат 60x84 1/16	Бумага 65 г/м ²
Печать цифровая	Усл. печ. л. 0,75	Уч.-изд. л. 0,75
Заказ	Тираж 25	Не для продажи

РИЦ Курганского государственного университета.
640000, г. Курган, ул. Советская, 63/4.
Курганский государственный университет.