

Курск 2017

Методические указания к лабораторным работам
для студентов специальности СПО 13.02.07
Электроснабжение (по отраслям)

УСТРОЙСТВО И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ СЕТЕЙ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ



Кафедра электроснабжения
(ЮЗЛУ)
«Орло-Западный государственный университет»
учреждение высшего образования
Федеральное государственное бюджетное образовательное

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

УДК 621.311

Составитель: О.М. Ларин

Рецензент:
Кандидат технических наук, доцент кафедры
«Электроснабжение» А.Н. Горюв.

Устройство и техническое обслуживание сетей электроснабжения: методические указания к лабораторным работам / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: О.М. Ларин. Курск, 2017. 61 с.: ил. 17. Библиогр.: с.61.

Содержат указания по проведению лабораторных исследований моделей сетей электроснабжения с заданными условиями распределения в сетях различной конфигурации потоков мощности и напряжения в узлах в зависимости от изменения режима источника питания и распределения нагрузок. Соответствуют программе курса по дисциплине «Устройство и техническое обслуживание сетей электроснабжения» для студентов специальности СПО 13.02.07 заочной формы обучения.

Текст печатается в авторской редакции
Подписано в печать 15.12.16 Формат 60x84/16.

Усл.печ.л. 3,54. Уч.-изд.л. 3,21. Тираж 100 экз. Заказ. Бесплатно. *3045*

Юго-Западный государственный университет.
305040, г.Курск, ул.50 лет Октября, 94

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Зависимость режима электрической сети от коэффициента мощности нагрузки.

1. Цель и содержание работы

Целью работы является определение посредством эксперимента и сопоставляющих расчетов характера зависимости параметра режима электрической сети от коэффициента мощности и нагрузки.

В эксперименте проводится регистрация совокупности параметров ряда режимов сети с условием, что должны задаваться изменения только реактивной потребляемой мощности. Выполняется так же сравнительный расчет режима ЛЭП по данным начала или конца периода, взятым по выбору из данных измерений.

2. Задача

2.1. Изучить п. 3 «Указания по работе в лаборатории».

2.2. Составить натуральную модель одной фазы ВЛ.

2.3. Установить параметры линии и элементов нагрузки, указанные в п. 3.3.

2.4. Включить питание модели. Провести эксперимент согласно указаниям п. 3.3.

Условием считать, что установление в опытах среднего нового значения реактивной потребляемой мощности $Q_{2\phi}$ означает замену прежнего потребителя другим – с отличающимся значением коэффициента мощности.

Показания приборов регистрируются сразу в таблицу, подготовленную по форме табл. 1.2.

По данным измерений определить все величины, указанные в табл. 1.2.

2.5. Построить смещенный график зависимостей от $\cos \phi_2$ реактивной и полной мощности нагрузок, величины потерь в ЛЭП, к.п.д. передачи, а так же – нагретая, полная мощности и $\cos \phi_1$ источника питания.

2.7. Дать оценку характера полученных зависимостей и определить связанные с ними выходы в отношении практических требований к нагрузке.

2.8. Построить векторную диаграмму мощностей – начала передачи, соответствующих максимальному и минимальному значению $\cos \varphi$.

2.9. Провести сравнительный расчет передачи мощности по П-образной схеме замещения ВЛ. Исходными данными – начала или конца передачи – являются при известных характеристиках модели ВЛ параметры такого режима опытов, который выбирается для сравнения.

3. Указания по работе в лабораторной работе

3.1. Перечень используемых блоков-модулей

Табл. 1.1. Перечень используемых блоков-модулей

Наименование	Тип	Кол-во	Параметры
1. Трехфазный источник питания	201.2	1	400В~; 10А
2. Регулируемый трансформатор	338	1	3x220/3x90...140В
3. Модель линии электропередачи	313.2	1	
4. Активная нагрузка	306.1	1	220/380В~ 3x0...50 Вт
5. Индуктивная нагрузка	324.2	1	220/380В~ 3x0...40 Вар
6. Коммутатор измерителя мощностей	349	1	5 положений
7. Измеритель мощностей	507.2	1	15;60;150;300В 0,05;0,1;0,2 А
8. Блок мультиметров	508.2	1	0...700 В

3.2. Описание электрической схемы модели

Электрическая схема натуральной модели к лабораторной работе «Зависимость режима электрической сети от коэффициента мощности нагрузки» дана на рис. 1.1.

Объектом исследования является простая сеть, включающая ЛЭП с нагрузкой, потребляющей активную и реактивную мощность. Модель одной фазы линии представляется один четырёхполюсник модуля 313.2. Нагрузка линии составляет параллельным соединением одного резистора и пары катушек индуктивности модулей 306.1 и 324.2.

Узел питания линии составляют трёхфазный источник питания (201.2) и регулируемый трёхфазный трансформатор (338), подключаемый к блоку источника питания по схеме У0/Δ. Для питания ЛЭП используется одна фаза вторичной обмотки трансформатора.

Измерение напряжений выполняется мультиметрами (508.2). Измеритель мощности подключается к началу или к концу передачи через свой коммутатор. Номера положений ручки коммутатора должны соответствовать номерам «ваттметров», обозначенным на схеме рис. 1.1.

Связь нагрузочной модели с сетью питания лаборатории 380 В осуществляется через блок трёхфазного источника питания.

3.3. Проведение экспериментов

Все используемые блоки-модули должны располагаться на соседних стенах.

Убедитесь, что основной (трёхфазный) источник питания и все блоки, требующие индуктивной нагрузки отключены от сети лаборатории.

Соединить гнезда защитного заземления используемых модулей с гнездами «РЕ» трёхфазного источника питания. Выполнить соединение нагрузочной модели по схеме рис. 1.1. Установить (по указанию преподавателя) вариант следующих параметров частей модели:

- Линия: а) $R+R_L = 58 \text{ Ом}; L = 0,3 \text{ Гн}; C/2 = 0,18 \text{ мкФ}$
б) $R+R_L = 66 \text{ Ом}; L = 0,6 \text{ Гн}; C/2 = 0,18 \text{ мкФ}$
Нагрузка: $R_H = 100\%; L_H = 50\%$.

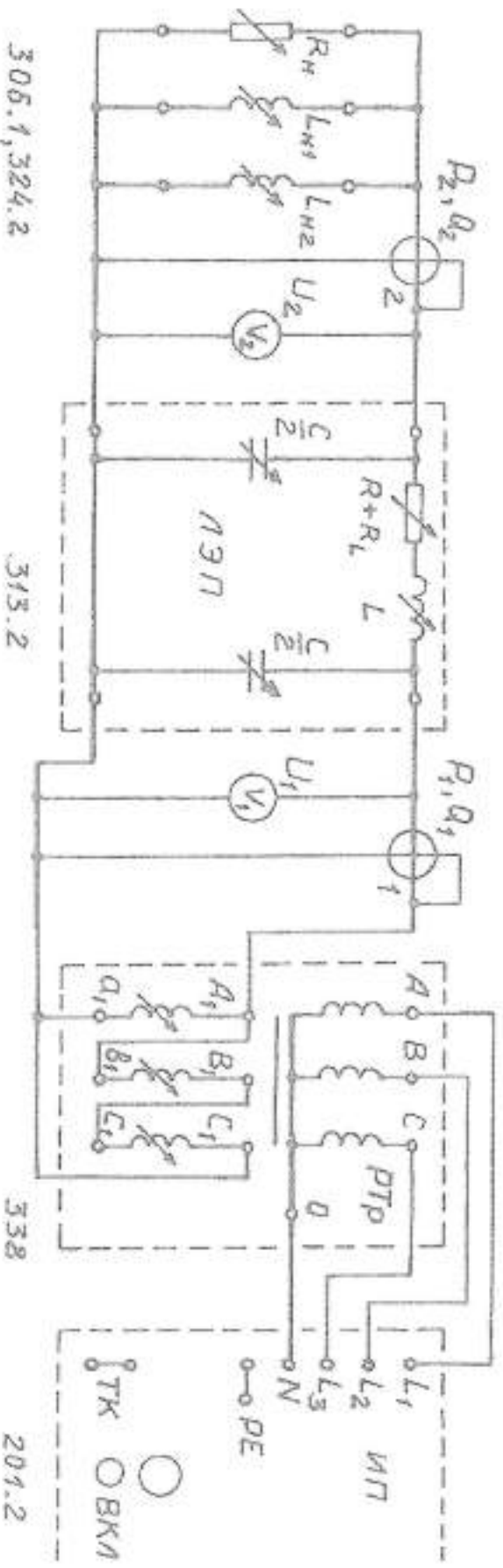


Рис. 1.1. Схема соединений модели установившегося режима одной фазы ЛЭП

Включить питание модели. Меняя напряжение модела, трансформатора в пределах 125-145 В, установить значение активной потребляемой мощности $P_{2\phi}$ в пределах 15 – 20 Вт в варианте а) или в пределах 13 – 18 Вт – в варианте б). Установленное значение $P_{2\phi}$ фиксируется в первой графе табл. 3.2, и в последующей работе оно должно быть величиной постоянной. Далее путем изменения I_n выполняется в диапазоне 50% - 150% ступенчатое наращивание реактивной потребляемой мощности $Q_{2\phi}$.

Замечаем: затопим изменением в опытах является изменением индуктивности L_n . Но режим, который вызван только изменением L_n , не подойдет измерениям. Каждый раз, чтобы окончательно установить очередь измерений режим, после переключения на новое значение L_n регулированием напряжения трансформатора следует добиться наибольшего приближения мощности $P_{2\phi}$ к ранее фиксированному значению. Затем снимаются показания показаний приборов.

При использовании только двух параллельных катушек блока 324.2 возможен следующий ряд значений реактивной мощности – в процентах, указанных на панели блока: 0; 25; 50; 70; 100; 125; 150; 175; 200. Чтобы получить удовлетворительные кривые на графике зависимости от $\cos \varphi_2$, достаточно взять 4-6 значений в диапазоне 50% - 150%.

В ходе считывания показаний стрелочных измерителей мощности для минимизации «персональной» погрешности следует смотреть на шкалу прибора прямо, а не слева или справа. Необходимо внимательно следить за сигналами лампочками измерителя мощности. Недопустимы измерения при засвечивании красных лампочек. При красном сигнале следует переходить на другую приборный диапазон – по току или напряжению, учитывая изменение цены деления шкалы мощности.

По окончании эксперимента отключить питание модели и индифферентное питание измерительных модулей.

4. Методические указания

4.1. График зависимости от коэффициента мощности нагрузок

Замечаем, что поскольку $\cos \varphi_2 = 0$ практически не бывает, а минимальное значение $\cos \varphi_2$ в опытах получается не ниже 0,5 – 0,6, равномерный ряд значений $\cos \varphi_2$, отмечаемых от начала

4.3. Расчет потерь мощности по Π -образной схеме замещения ЛЭП. Расчеты передачи по Π -образной схеме замещения выполняются для сетей районного значения – с напряжениями 110-220 кВ и выше.

Рассмотрим, обратаясь к обозначениям схемы замещения ЛЭП на рис. 1.2, краткое обоснование ряда расчетных формул.

А. Известны данные $S_{1\phi}$ и $U_{1\phi}$ начала передачи.

Потери активной и реактивной мощности в одной фазе линии $\Delta P_{\phi} = RI^2_{\phi}$, $\Delta Q_{\phi} = XI^2_{\phi}$,

где $I_{3\phi}$ – ток звена линии. Так как $I_{3\phi} = (S_{13\phi}/U_{1\phi})$, то

$$\Delta P_{\phi} = \left(\frac{S_{1\phi}}{U_{1\phi}} \right)^2 R \quad (1)$$

$$\Delta Q_{\phi} = \left(\frac{S_{1\phi}}{U_{1\phi}} \right)^2 X$$

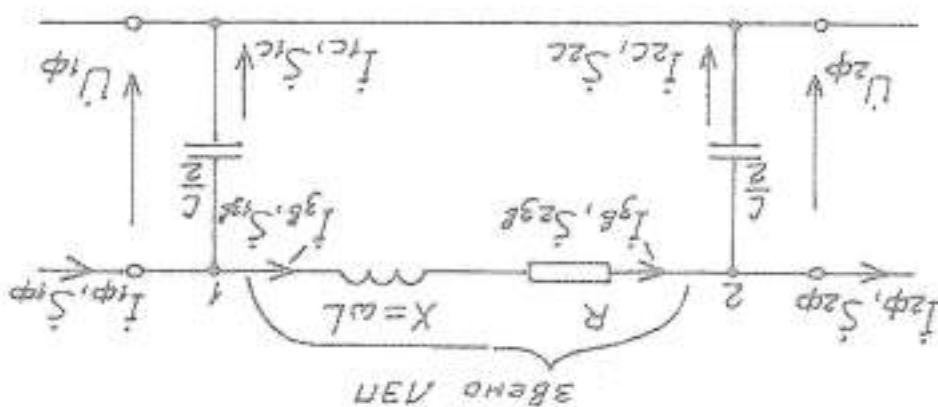


Рис. 1.2. Π -образная схема замещения ЛЭП

В этих формулах $S_{13\phi}$ – полная мощность, поступающая на вход звена линии. Ее выражение находим, по закону Кирхгофа.

Для узла 1:

$$I_{1\phi} = I_{\phi} + I_{1c}$$

Умножив это уравнение на напряжение на узле 1,

имеем:

$$U_{1\phi} I_{1\phi} = U_{1\phi} I_{\phi} + U_{1\phi} I_{1c}$$

т.е.

$$S_{1\phi} = S_{1\omega} + S_{1c} \tag{2}$$

Зарядная мощность S_{1c} пропорциональна проводимости $\omega C/2$:

$$S_{1c} = -j\omega \frac{C}{2} U_{1\phi}^2$$

Следовательно,

$$S_{1\omega} = S_{1\phi} - S_{1c} = P_{1\phi} + j(\delta_{1\omega} + \omega \frac{C}{2} U_{1\phi}^2) \tag{1}$$

и полная мощность в (1)

$$S_{1\omega} = \sqrt{P_{1\phi}^2 + (\delta_{1\omega} + \omega \frac{C}{2} U_{1\phi}^2)^2}$$

Замечаем: уравнение (2) по структуре не отличается от

уравнения Кирхгофа для токов. Следовательно направление токов

на схеме рис. 2 является также положительным направлением

тока мощности. Тогда уравнения для мощностей можно

записывать сразу, - так, как будто существует узловой закон

Кирхгофа для потоков мощностей.

Для перехода к трехфазным мощностям и линейному

напряжению достаточно выражение (1) умножить на три:

$$\Delta P = 3\Delta P_{\phi} = 3 \left(S_{1\omega} \right)_R = 3 \left(\frac{U_{1\phi}}{S_{1\omega}} \right)_R = 3 \left(\frac{U_{1\phi} / \sqrt{3}}{S_{1\omega}} \right)_R$$

т.е.

$$\Delta P = \frac{3\Delta S_{1\omega}}{R} \quad \Delta \bar{\sigma} = \frac{\Delta S_{1\omega}}{R} \quad \Delta \bar{\sigma} = \frac{U_{1\phi}^2}{(3S_{1\omega}) R}$$

В этих формулах

$$3S_{1\omega} = 3 \sqrt{P_{1\phi}^2 + (\delta_{1\omega} + \omega \frac{C}{2} U_{1\phi}^2)^2} = \sqrt{P_{1\phi}^2 + (\delta_{1\omega} + \omega \frac{C}{2} U_{1\phi}^2)^2}$$

В. Известны данные $S_{2\omega}$ и $U_{2\phi}$ конца передачи.

Потери в одной фазе линии

$$\Delta P_{\phi} = RI_{\phi}^2 = R \left(\frac{U_{2\phi}}{S_{2\omega}} \right)_R^2$$

(3)

$$\Delta \bar{\sigma}_{\phi} = XI_{\phi}^2 = X \left(\frac{U_{2\phi}}{S_{2\omega}} \right)_X^2$$

Согласно положительным направлениям мощностей

«втекающих» в узел 2 приемного конца схемы замещения

$$S_{2\omega} = S_{2\phi} + S_{2c}$$

Здесь зарядная мощность $S_{2c} = -j\omega \frac{C}{2} U_{2\phi}^2$. Поэтому

1. Что означает информация, которую предоставляет числовое значение коэффициента мощности? В чём состоит смысл понятия «естественный коэффициент мощности»?
2. Поясните различие понятий «коэффициент мощности единицы электрооборудования» и коэффициент мощности места потребления энергии. Как определяется коэффициент мощности ЛЭП от cosφ нагрузки.
3. Объясните зависимость потерь мощности и напряжения в цепи зависимости: реактивная мощность - ток линии - потери при передаче - напряжение нагрузки - полезная мощность нагрузки.
4. Приведите физическое объяснение изменений в следующей цепи зависимости: реактивная мощность - ток линии - потери при передаче - напряжение нагрузки - полезная мощность нагрузки.
5. Как выполняется в лабораторной работе «замена» нагрузок с постоянной потребляемой активной мощностью, но с разными значениями cosφ?
6. Почему в лабораторной работе с изменением cosφ меняется напряжение и коэффициент мощности источника питания?
7. Поясните применение П-образной схемы замещения для обоснования схемы замещения для обоснования формулы расчёта потерь мощности в ЛЭП.

5. Вопросы для самопроверки

1. Что означает информация, которую предоставляет числовое значение коэффициента мощности? В чём состоит смысл понятия «естественный коэффициент мощности»?

2. Поясните различие понятий «коэффициент мощности единицы электрооборудования» и коэффициент мощности места потребления энергии. Как определяется коэффициент мощности ЛЭП от cosφ нагрузки.

3. Объясните зависимость потерь мощности и напряжения в цепи зависимости: реактивная мощность - ток линии - потери при передаче - напряжение нагрузки - полезная мощность нагрузки.

4. Приведите физическое объяснение изменений в следующей цепи зависимости: реактивная мощность - ток линии - потери при передаче - напряжение нагрузки - полезная мощность нагрузки.

5. Как выполняется в лабораторной работе «замена» нагрузок с постоянной потребляемой активной мощностью, но с разными значениями cosφ?

6. Почему в лабораторной работе с изменением cosφ меняется напряжение и коэффициент мощности источника питания?

7. Поясните применение П-образной схемы замещения для обоснования схемы замещения для обоснования формулы расчёта потерь мощности в ЛЭП.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Исследование электрической сети с однофазным питанием.

1. Цели и содержание работы

Целями работы являются:

- экспериментальное изучение поведения сети с однофазным питанием в зависимости от режимов ее переключения и приемных контуров;
- углубление знаний о методах анализа и расчета режимов разомкнутых сетей.

В эксперименте составляется натуральная модель работы одной фазы простой разветвленной сети с однофазным питанием. На модели проводятся исследования при изменении режима питающего источника и распределения нагрузки.

С исходными данными, взятыми из результатов измерений, проводятся расчеты потерь мощности и напряжения, потокораспределения мощностей и напряжений по методикам электрического расчета разомкнутой сети. Выполняется графическое представление зависимостей параметров режимов, анализ зависимостей с заданной определенными инженерных выводов.

2. Задание

- 2.1. Изучить п.3 «Указания по работе в лаборатории».
- 2.2. Составить натурную модель работы одной фазы сети.
- 2.3. Установить параметры линий и нагрузок, указанные в п. 3.3 «Проведение экспериментов».
- 2.4. Включить питание модели. Согласно указаниям п. 3.3. А. Изменить напряжение питания сети, выполнить измерения распределения в сети мощностей и напряжений. Данные измерения внести таблицу по форме табл. 2.2
- Б. Провести измерения режимов сети при изменении нагрузки одной из линий. Данные опытов вносятся в таблицу, подготовленную по форме табл. 2.3.

Наименование	Тип	Кол-во	Параметры
1	2	3	4
1. Трёхфазный источник питания	201.2	1	400В~; 10А
2. Трёхфазная трансформаторная группа	347.1	1	230В~; 3x80ВА
3. Молния линии электропередачи	313.2	3	-
4. Активная нагрузка	306.1	2	220/380В~; 3x0...50 Вт
5. Индуктивная нагрузка	324.2	1	220/380В~; 3x0...40 Вар
6. Коммутатор измерителя мощности	349	1	5 положений
7. Измеритель мощности	507.2	1	15;60;150;300В; 0,05;0,1;0,2 А
8. Блок мультиметров	508.2	1	0...700 В

Табл. 2.1. Перечень используемых блоков-модулей

3.1. Перечень используемых блоков-модулей

3. Указание по работе в лаборатории

нагрузок.

Определить выходы о влияния в сети колебаний одной из мощностей нагрузок других линий и мощности S_1 , поступающей в от мощности изменяемой нагрузки график напряжений и зависимости в зависимости от мощности табл. 2.3, построить в зависимости от мощности табл. 2.4.

«Методические указания»). Результаты расчетов объединить в расчет напряжений всех узловых точек сети (см. п.4 табл. 2.2 выполнить «уточненный» расчет попераспределения и табл. 2.6. По опытным данным инвариантного варианта графы в зависимости от соотношения расчётной кривой.

Питания сети U_a . Привести так же опытную кривую $S_1(U_a)$, зависимости потерь линейных мощностей от напряжений S_2, S_3 и S_4 без учета потерь. Построить совмещённый график расчитать попераспределение (т.е. линейные мощности S_1 , табл. 2.2. По опытным данным каждой графы табл. 2.2

Схема соединения нагрузки к лабораторной работе представлена на рис. 2.1, б.

Объектом исследования является одна фаза трехфазной разомкнутой электрической сети, состоящей из нескольких участков с нагрузками.

Моделью каждого участка (линии) служит один из четырехполосников модулей 313.2: для линий П1 и П3 используются отдельные модули, для участков П2 и П4 – общий блок.

Для составления нагрузок Zc, Zd и Zf применяются два блока активных сопротивлений (306.1) и один блок индуктивных сопротивлений (324.2).

Узел питания модули составляют основной – трехфазный источник питания (201.2) и блок трансформаторной группы (347.1), в котором все три однофазных трансформатора соединены параллельно. В блоке группы имеется переключатель секций обмоток, что позволяет регулировать напряжение.

Для измерения напряжения используются мультиметры модуля 508.2.

Измерители мощности присоединяются к точкам измерения через свой коммутатор (блоки 507.2 и 349). Номер подключаемого «ваттметра» коммутатора должен совпадать с номером, указанным на схеме.

К блокам мультиметров и измерителя мощности подключается отдельное питание.

3.3. Проведение экспериментов

Все блоки-модули, используемые в работе, следует расположить на двух соседних стенах.

Убедитесь, что основной (трехфазный) источник питания модули (блок 201.2) и блоки измерительных приборов, требующие индуктивного питания, отключены от сети лабораторной.

Соединить между защитного заземления используемых модулей с гнездом «PE» основного источника питания.

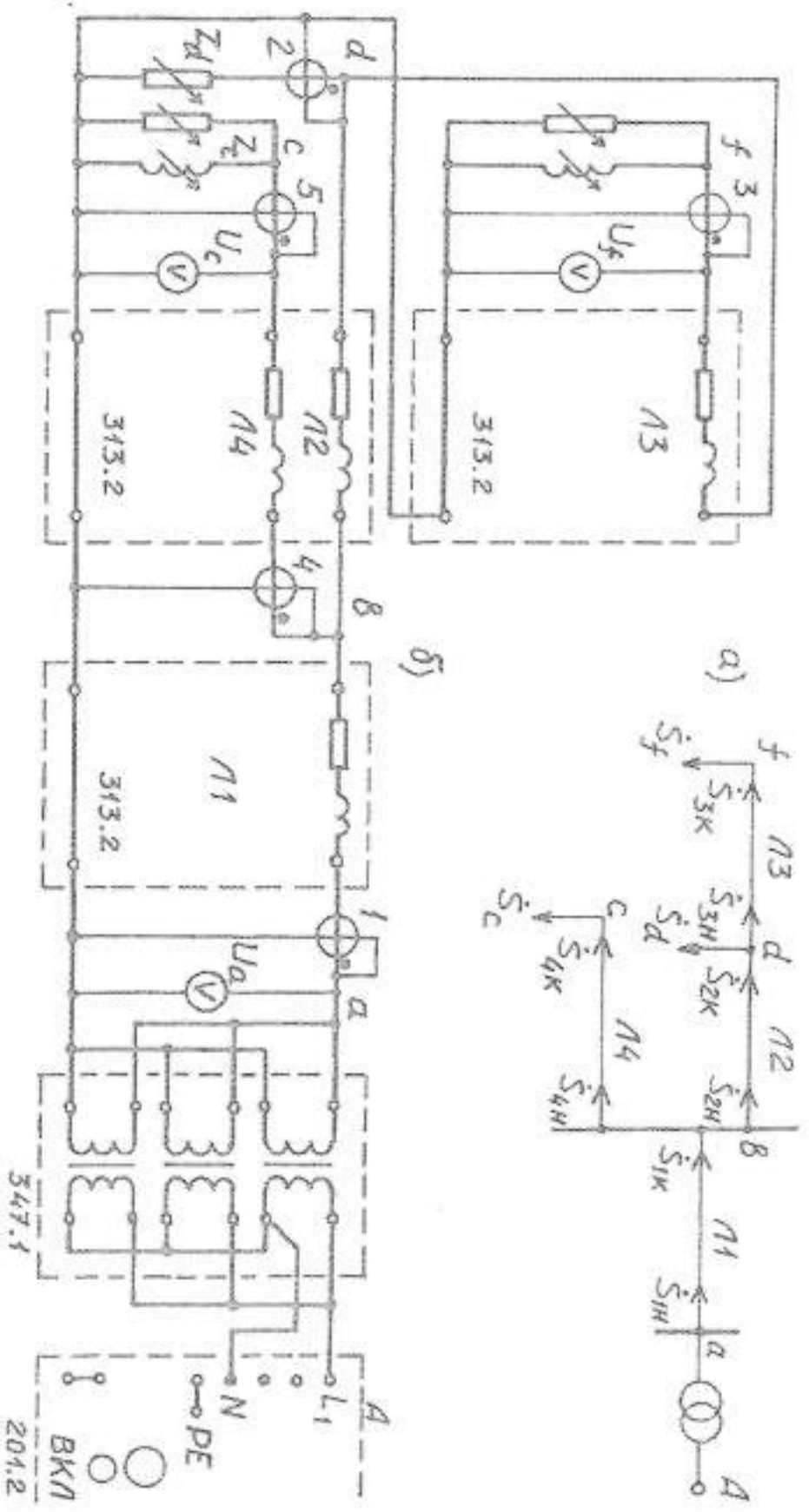


Рис. 2.1. Электрическая сеть с односторонним питанием:

а) — однолинейная схема; б) — схема соединений на модели сети в однофазном исполнении

Выполнить электрические соединения наатурной модели по схеме рис. 2.1, 6.

Установить следующие параметры линий:

$$L1: R+R_L=58 \text{ Ом}; L=0,3 \text{ Гн}; C/2=0;$$

$$L2: R+R_L=58 \text{ Ом}; L=0,3 \text{ Гн}; C/2=0;$$

$$L3: R+R_L=58 \text{ Ом}; L=0,3 \text{ Гн}; C/2=0;$$

$$L4: R+R_L=66 \text{ Ом}; L=0,6 \text{ Гн}; C/2=0.$$

Параметры нагрузок:

$$R_C - 50\%; R_D - 100\%; R_F - 50\%; L_C - 50\%; L_F - 50\%.$$

Установиться в правильности определения соответствия обозначений на электрической схеме модели и однолинейной схеме сети также – соответствия в натурной модели всех позиций коммутатора измерителя мощности и вольтметров их месту измерений, указанному на схеме модели.

Работать по п. 2.4. «Задания».

Включить питание модели. Установить переключитель трансформаторной группы (З47.1) в положение «242», что соответствует максимальному напряжению питания сети Ua.

Провести измерения режимов сети при изменении Ua, меняя позиции переключателя в соответствии с заданной первой строкой табл. 2.2.

Работать по п. 2.5. «Задания».

Установить переключитель трансформаторной группы в положение «220». Изменяя активное сопротивление нагрузки линии L4 (в точке «С»), при неизменных значениях всех прочих параметров сети – провести измерения режимов в соответствии с заданной первой строкой табл. 2.3.

По окончании экспериментов следует отключить питание модели и индуктивное питание блоков измерительных приборов.

4. Методические указания

4.1 Расчеты по п.п. 2.5 и 2.6.

Распределение мощностей в разомкнутой сети является «принудительным» - определяется нагрузками разных точек сети. Оценка (по п. 2.5) такого потока распределения соответствует первому этапу электрических расчетов: выполняется без учета потерь в участках. При этом полная мощность в каждом из

Затяжение по п. 2.6 исходит из того положения, что в местных сетях в большинстве случаев заданным является напряжение и система передаточного конца. Поэтому приведенная ниже система расчетных операций уточненного расчета мощности и напряжений, который следует выполнить по данным индустриальной графы табл. 2.2, соответствует расчету от передаточного конца сети к ее приемным концам, т.е. – по данным начала каждого из участков.

						$P_5 + jQ_5, (BA)$
						$P_4 + jQ_4, (BA)$
						$P_3 + jQ_3, (BA)$
						$P_2 + jQ_2, (BA)$
						$P_1 + jQ_1, (BA)$
						U_f, B
						U_c, B
						U_a, B
						$R_c, \%$
	100					
		80				
			60			
				40		
					20	
						0

Табл. 2.3 Измерения режимов сети при изменении нагрузки одной из линий

						$P_5 + jQ_5, (BA)$
						$P_4 + jQ_4, (BA)$
						$P_3 + jQ_3, (BA)$
						$P_2 + jQ_2, (BA)$
						$P_1 + jQ_1, (BA)$
						U_f, B
						U_c, B
						U_a, B
Переключатель блока трансформаторов						
	«220»					
		«226»				
			«230»			
				«235»		
					«242»	

Табл. 2.2. Измерения распределения мощности и напряжения

участков сети получаются суммированием значений мощности всех нагрузок, которые питаются по данному участку.

2. В ходе работы необходимо строить порядок в

обозначениях. Допускается, как выше отмечено, индекс фазы «ф» опустить, приписывая символам величину только «индекс места».

Потери активной мощности в одной фазе отдельной линии:

$$\Delta P^{\phi} = I^2 R = (I_a^2 + I_p^2) R \quad (1)$$

где I_a и I_p — активная и реактивная составляющие. Если известны мощность, поступающая в линию и напряжение начала

линии, то

$$I_a = \frac{P^{\phi}}{U^{\phi}}; I_p = \frac{Q^{\phi}}{U^{\phi}} \quad (2)$$

С подстановками получаем:

$$\Delta P^{\phi} = \frac{U^2}{P^2 + Q^2} R \quad (3)$$

Потери реактивной мощности находим аналогичным

преобразованием формулы $\Delta Q^{\phi} = I^2 X$:

$$\Delta Q^{\phi} = \frac{U^2}{P^2 + Q^2} X \quad (4)$$

Фазная мощность в конце передачи получается с учетом

потери:

$$S^{\phi} = S^{\phi} + \Delta S^{\phi} = (P^{\phi} + \Delta P^{\phi}) + j(Q^{\phi} + \Delta Q^{\phi}) \quad (5)$$

Формулы потери напряжения и напряжения в конце линии определяются по схеме замещения линии с помощью векторной

диаграммы.

Четырёхполюсник схемы замещения и диаграмма его режима при типично активно-индуктивной нагрузке приведена на рис. 2.2.

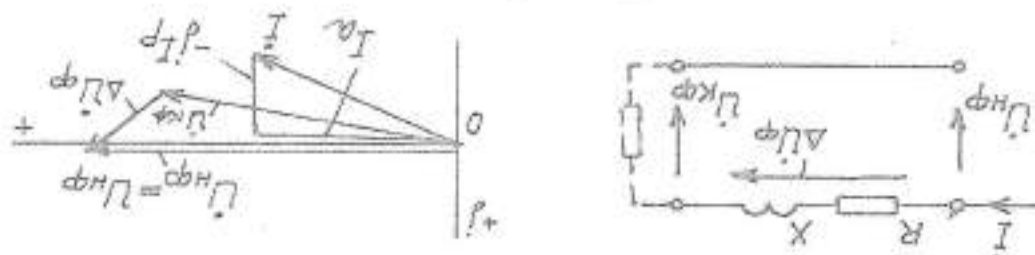


Рис. 2.2. Четырёхполюсник схемы замещения и диаграмма его режима при активно-индуктивной нагрузке.

Согласно указанным обозначениям:

$$-U^{\phi} + \Delta U^{\phi} + U^{\phi} = 0$$

$$\text{где } \Delta U^{\phi} = (R + jX)I - \text{падение напряжения на фазе линии.}$$
 Отсюда

$$(6) \quad U^{\phi} = U^{\phi} - (R + jX)I$$

Если вектор U^{ϕ} направить вдоль от действительных (т.е. будет $U^{\phi} = U^{\phi} e^{j\alpha} = U^{\phi} \angle \alpha$ (рис. 2.2, б), то при напряжении индуктивности отстающий по фазе ток $I = I^{\circ} - jI^{\circ}$, а напряжение конца линии

$$U^{\phi} = U^{\phi} - (R + jX)(I^{\circ} - jI^{\circ})$$

Перемножив здесь комплекс в скобках и выразив составляющие I° и jI° через мощности и напряжения начала линии, приходим к формуле:

$$(7) \quad U^{\phi} = U^{\phi} - \frac{P^{\phi} R + \bar{Q}^{\phi} X}{P^{\phi} X - \bar{Q}^{\phi} R} - j \frac{U^{\phi}}{P^{\phi} X - \bar{Q}^{\phi} R}$$

Используются обозначения:

$$\frac{U^{\phi}}{P^{\phi} R + \bar{Q}^{\phi} X} = \Delta U^{\phi}; \quad \frac{U^{\phi}}{P^{\phi} X - \bar{Q}^{\phi} R} = \delta U^{\phi}$$

Имеем

$$(8) \quad U^{\phi} = U^{\phi} - (\Delta U^{\phi} + j\delta U^{\phi})$$

где $\Delta U^{\phi} + j\delta U^{\phi} = \Delta U^{\phi}$ - сравниваем с (6). Из сравнения видно, что ΔU^{ϕ} и $j\delta U^{\phi}$ не совпадают по фазе с $R I^{\circ}$ и $jX I^{\circ}$, т.е. $\Delta U^{\phi} \neq R I^{\circ}$, $\delta U^{\phi} \neq X I^{\circ}$. Значит, ΔU^{ϕ} и $j\delta U^{\phi}$ - особые составляющие вектора

падения напряжения ΔU^{ϕ} : вектор ΔU^{ϕ} располагается вдоль вектора U^{ϕ} , называется продольной составляющей; вектор $j\delta U^{\phi}$ нормален к вектору U^{ϕ} - поперечная составляющая. Не следует путать их с активной и реактивной составляющими вектора ΔU^{ϕ} - см. векторную диаграмму на рис. 2.3.

Известно, что в линиях местных сетей величина поперечной составляющей существенно меньше, чем продольная составляющая, и ею обычно пренебрегают. При этом формула (8) упрощается к виду простой разности:

$$(9) \quad U^{\phi} = U^{\phi} - \Delta U^{\phi}$$

$$\Delta U_{\phi} = \frac{U_{\phi}^2}{p_{\phi}^2 + \delta_{\phi}^2} \cdot X \cdot \delta_{\phi}; \quad \delta_{\phi} = (p_{\phi} + \Delta p_{\phi}) + j(\delta_{\phi} + \Delta \delta_{\phi})$$

$$\Delta p_{\phi} = 3 \cdot \Delta p_{\phi} = 3 \cdot R \cdot \frac{U_{\phi}^2}{p_{\phi}^2 + \delta_{\phi}^2} = 3 \cdot R \cdot \frac{U_{\phi}^2}{(3R_{\phi}^2 + (3\delta_{\phi}^2))} = 3 \cdot R \cdot \frac{U_{\phi}^2}{(3R_{\phi}^2 + 3\delta_{\phi}^2)}$$

(4) и (5) на три:

Формулы потерь Δp и ΔQ трёхфазной мощности и линейная трёхфазная мощность в конце участка получаются умножением (3), по номинальному напряжению.

В случаях, когда напряжение на концах участка неизвестны, расчёты можно проводить с достаточной для практики точностью, напряжения должны быть взяты в одной и той же точке сети.

Формулы отвечают требованию точного расчёта: мощность и напряжение, и напряжения относятся к началу участка, т.е. Важно отметить, что в формулах (3), (4), (10) и (11) где «i» - номер участка.

(11)

$$\Delta U_{\phi} = \sum \frac{U_{\phi}^2}{p_{\phi}^2 + \delta_{\phi}^2} \cdot X$$

несколько участков сети определяется как

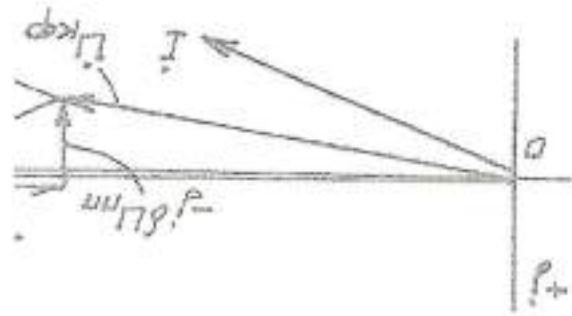
Потерю напряжения по пути от источника питания через

(10)

$$\Delta U_{\phi} = \frac{U_{\phi}^2}{p_{\phi}^2 + \delta_{\phi}^2} \cdot X$$

составляющей падения напряжения: $\Delta U_{\phi} \approx \Delta U_{\phi}$. Тогда согласно (7) Отсюда $U_{\phi} - U_{\phi} = \Delta U_{\phi}$. Но разность напряжений начала и конца линии есть потеря напряжения. Значит, в линиях местной сети потерю напряжения можно прибавить продольной

Рис. 2.3. Векторная диаграмма.



Потеря напряжения ΔU и величина линейного напряжения U_k конца участка получается умножением (10) на $\sqrt{3}$:

$$\Delta U = \sqrt{3} \frac{P_{\phi} R + Q_{\phi} X}{P_{\phi} R + Q_{\phi} X} \cdot \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3}} \frac{U_{\phi}}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3}} \frac{U_{\phi}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3}} \frac{U_{\phi}}{\sqrt{3}} = \sqrt{3} U_{\phi} - \sqrt{3} U_{\phi} \cos \phi = U^* - \Delta U^* ;$$

5. Вопросы для самопроверки

1. Сеть с односторонним питанием называется так же разомкнутой сетью. В чем заключается смысл понятия «разомкнутая»?
2. Объясните смысловые взаимосвязи следующих понятий: нагрузка участка сети, мощность участка, линейные мощности, потокораспределение.
3. От чего зависит в сети с односторонним питанием распределение потоков мощности?
4. Как выполняется начальный этап электрического расчета разомкнутой сети?
5. Поясните условия, допускающие применение в расчетах номинального напряжения вместо действительных?
6. Какова лабораторная модель схемы замещения участка сети? Какой реальной сети она соответствует?
7. Что составляет содержание «точного» электрического расчета сети с односторонним питанием?
8. Почему при точных расчетах режимов ВЛ напряжения и мощности для подстановок следует брать в одной и той же точке сети?
9. Как зависит режим нагрузок сети при увеличении или уменьшении потребляемой мощности одной из них?
10. Дайте объяснение порядка расчета режима мощности и напряжения заданной схемы сети.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Исследование распределения мощностей в кольцевой сети.

1. Цель и содержание работы

Целью работы является применение эксперимента для изучения особенностей передачи мощности и методики практического расчета режимов в простой замкнутой сети.

Рассматривается поведение натурной модели замкнутой сети в нормальном и аварийном режимах.

Проводится опытная проверка метода расчета кольцевой сети, основанного на расчетном эквиваленте сети с двухсторонним питанием.

2. Задание

2.1. Изучить п.3 «Указание по работе в лаборатории».

2.2. Составить натурную модель работы одной фазы

кольцевой сети.

2.3. Установить параметры линий и нагрузок, задаваемые по

п.3.3. Установить также (по указанию преподавателя) присоемлю

позицию переключателя группы трансформаторов – источника

питания сети.

2.4. Включить напряжение питания. Выполнить измерения

режима в следующих случаях:

а) кольцевая сеть (в модели – соединение «КС»);

б) отключение (или «обрыв») линии Аа;

в) отключение (или «обрыв») линии Аб;

Замечем следующее. В цепи модели все измерители

мощностей включены так, что отклонения их указателей по шкале

вправо соответствуют положительным направлениям, указанным

на схеме сети. Отклонение влево при отсутствии емкостей означает

противоположное направление потока мощности, т.е.

соответствующие значения активной и реактивной мощности

следует записывать как отрицательные.

Данные измерений регистрируются вносить сразу в таблицу, подготовленную по форме табл. 3.2.

Наименование	Тип	Кол-во	Параметры
1. Трёхфазный источник питания	201.2	1	400 В~; 10А
2. Трёхфазная трансформаторная группа	347.1	1	230 В~; 3×80ВА
3. Трёхполюсный выключатель	301.1	1	380 В~/10А
4. Модуль линии электропередач	313.2	3	
5. Активная нагрузка	306.1	1	220/380 В~ 3×0...50 Вт
6. Индуктивная нагрузка	324.2	1	220/380 В~ 3×0...40 ВАр
7. Коммутатор измерения мощностей	349	1	5 положений
8. Измеритель мощностей	507.2	1	15; 60; 150; 300В 0,05; 0,1; 0,2 А
9. Блок мультиметров	508.2	1	0...700 В

Табл. 3.1. Перечень используемых блоков-модулей

3.1. Перечень используемых блоков-модулей

3. Указания по работе в лабораториях

- 2.5. Объяснить для случая обрыва одной из линий причины отличия всех измеренных величин режима от таких же величин замкнутой сети.
- 2.6. Сравнить линейные и нагрузочные мощности кольцевой сети и сети с двухсторонним питанием.
- 2.7. Читая заданные измерения в кольцевой сети значения мощностей участков сети с двухсторонним питанием. По результатам расчёта определить точку токораздела.
- 2.8. Показать разделение расчётной модели сети на две раздельные – с односторонним питанием. Схемы этих сетей привести с числовыми обозначениями расчётных мощностей.
- 2.9. С целью уточнения линейных мощностей данной кольцевой сети расчитать режим раздельных линий. Сравнить результаты расчётов с данными измерений по п. 2.4а.
- 2.10. Расчитать напряжение в узловой точке сети с двухсторонним питанием, где подключена нагрузка большей мощности. Результаты сравнить с опытом значением в п. 2.4а.

3.2. Описание электрической схемы модели одной фазы сети

Электрическая схема натурной модели к лабораторной работе «Исследование распределения мощности в кольцевой сети» дана на рис. 3.1.

В модели объектом исследования является простая кольцевая сеть, составленная из трех линий. Моделью линии служит четырёхпроводник модели 313.2. Для наглядности соответствия типу цепи схемы сети и схемы соединения модели, каждую линию представляет отдельный блок. В качестве нагрузок за и зр подстанции применяется последовательное соединение одного резистора и одной катушки блоков 306.1 324.2.

Узел питания сети составляют трехфазный источник питания (201.2) и трансформаторная группа (347.1). Используются только два трансформатора группы. Их первичные обмотки, соединенные параллельно, питаются от одной фазы трехфазного источника.

Для удобства работы в схеме используется трехполюсный выключатель – блок 301.1. В момент его включения создается кольцевая сеть.

При этом питающие сеть вторичные обмотки трансформаторов группы соединяются параллельно. В момент отключения блока создается сеть с двухсторонним питанием. При этом те же обмотки разобмотаются – подключаются к противоположным концам сети, причем соблюдается требование равенства их напряжений и синфазной работы.

Для измерения напряжения используются мультиметры модели 508.2.

Измерения мощности производятся через свой коммутатор (блоки 507.2 и 349). Номер очередного подключаемого «ваттметра» коммутатора должен совпадать с номером, указанным на схеме. К блокам мультиметров, измерителя мощности и трехполюсного выключателя, подводятся отдельные питание.

3.3. Проведение экспериментов

Все используемые блоки-модели располагаются на двух соседних стенах.

Убедиться, что основной (трехфазный) источник питания и модули, требующие индифферентного питания, отключены от сети лаборатории.

Соединить гнезда защитного заземления, используемых блоков, с гнездом «PE» трехфазного источника питания. Выполнить соединения по схеме нагнурной модели, данной на рис. 4.1.

Установить следующие параметры линий модели:
линий «Аа» и «аб»: $R+R_L=58 \text{ Ом}; L=0,3 \text{ Гн}; (C/2)=0;$
линия «Ав»: $R+R_L=66 \text{ Ом}; L=0,6 \text{ Гн}; (C/2)=0;$
нагрузка за: $R_a=50\%; L_a=50\%;$
нагрузка зб: $R_b=100\%; L_b=100\%.$

Установить переключатель блока группы трансформаторов в положение «220», «226» или «230» - по указанию преподавателя. Это положение сохраняется на протяжении всей работы. Действительное напряжение, подаваемое в сеть, показывается вольтметр V_a .

После подключения модели к сети лаборатории работа проволитса согласно «Заданию» в следующем порядке:
Режим колючей сети. Включить трехполосный выключатель. Записать параметры режима.

Значение напряжения нагрузки в этом режиме на подстанции «в» далее принимается как номинальное.
Аварийный режим - «обрыв» линии «Аа». Разъединить конечник соединительного провода и входное гнездо линии «Аа». Записать параметры режима и вернуть конечник в прежнее положение.

Следует обратить внимание на изменение направления потока мощности в линии «аб».
Аварийный режим - «обрыв» линии «Ав». Отсоединить конечник соединительного провода от входного гнезда линии «Ав». Записать показания приборов, вернуть конечник на прежнее место.

Режим сети с двухсторонним питанием. Отключить трехполосный выключатель. При этом колючая сеть преобразуется в линию с двухсторонним питанием. Записать параметры режима.

- 3) по результатам предварительного расчета находят точку раздела мощности;
- 4) в точке раздела сеть разбивается на две самостоятельные разомкнутые («раздельные») линии;
- 5) по найденным приближенным значениям мощностей при номинальном напряжении определяются, начиная от точки раздела, потери мощности и уточненные значения линейных мощностей;
- 6) по уточненным значениям мощностей рассчитываются потери напряжения до узловых точек сети и значения напряжений в этих точках.

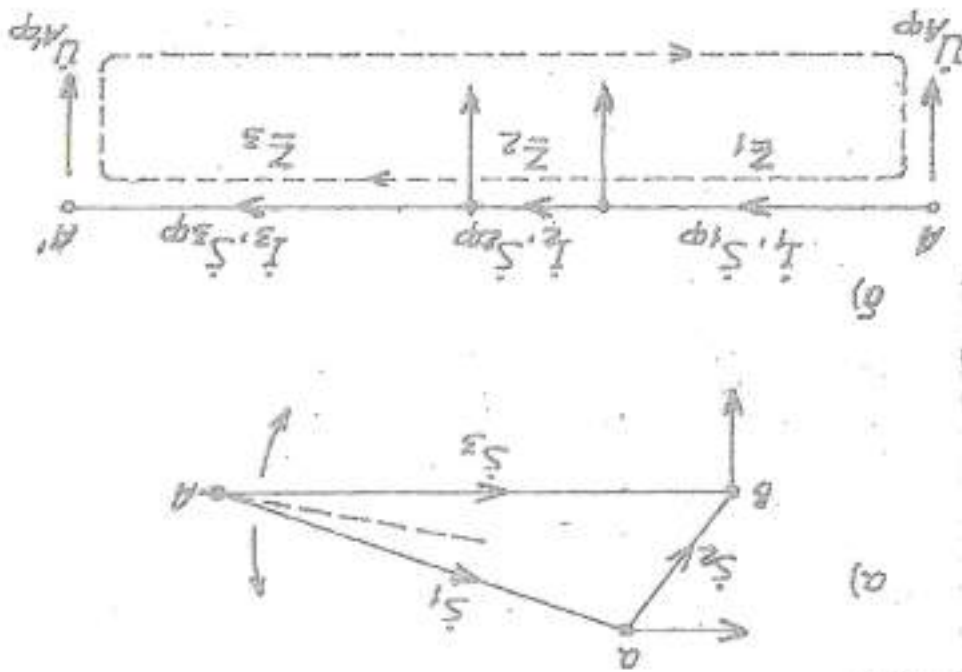


Рис. 3.2. Преобразование кольцевой сети.

Рассмотрим рабочие формулы предварительного расчета мощности участков одной фазы сети.

Согласно контурному закону Кирхгофа для контура, обозначенного на рис. 3.2, б пунктиром, при указанных положительных направленных можно записать:

$$-U_{\text{нп}} + \bar{z}_1 I_1 + \bar{z}_2 I_2 + \bar{z}_3 I_3 + U_{\text{нп}} = 0$$

Так как $U_{\text{нп}} = U_{\text{нп}}$, то:

$$\bar{z}_1 I_1 + \bar{z}_2 I_2 + \bar{z}_3 I_3 = 0 \quad (1)$$

Введем в это уравнение мощности участков одной фазы сети. Принимаются допущение: фазное напряжение $U_{\text{нп}}$ равно всей сети

одно и то же, т.е. нет потерь мощности и, значит, нет потерь напряжения. Тогда мощность любого «к»-го участка:

$$S_{k\phi} = U_{\phi} I_{k\phi}^*$$

Чтобы выразить в (1) токи участков, обратимся к

сопряженному комплексу

$$S_{k\phi} = U_{\phi} I_{k\phi}^*$$

Подставим в (1) $I_{k\phi}^* = \left(S_{k\phi} / U_{\phi} \right)^*$, имеем:

$$\frac{S_{1\phi}}{z_1} U_{\phi} + \frac{S_{2\phi}}{z_2} U_{\phi} + \frac{S_{3\phi}}{z_3} U_{\phi} = 0$$

Откуда $z_1 S_{1\phi} + z_2 S_{2\phi} + z_3 S_{3\phi} = 0$ (2)

Выразим мощности S и S через мощности нагрузок и мощность S головного участка. Здесь замечаем:

уравнение любых величин, записанное в «нормальных» комплексам;

уравнение сопряженных токов, записанное по узловому закону Кирхгофа, сразу переходит в уравнение мощностей, если каждый ток умножить на U_{ϕ} .

Значит, согласно положительным направлениям на рис. 3.2,6 по закону Кирхгофа:

$$S_{2\phi} = S_{1\phi} - S_{k\phi}$$

$$S_{3\phi} = S_{2\phi} - S_{k\phi}$$

В сопряженных комплексках:

$$S_{2\phi}^* = S_{1\phi}^* - S_{k\phi}^*$$

$$S_{3\phi}^* = S_{2\phi}^* - S_{k\phi}^*$$

Подставим эти выражения в (2):

$$z_1 S_{1\phi}^* + z_2 \left(S_{1\phi}^* - S_{k\phi}^* \right) + z_3 \left(S_{1\phi}^* - S_{k\phi}^* - S_{k\phi}^* \right) = 0$$

Откуда:

$$S_{1\phi}^* = \frac{z_1 + z_2 + z_3}{z_1 + z_2 + z_3 + S_{k\phi}^* z_3}$$

(4)

Таким образом, для преобразованного расчета линейных мощностей достаточно согласно (4) знать сопротивления линии и задать мощности нагрузок. В начале по (4) определяем

сопряженный и действительный комплекс мощности головного участка, затем по (3) – мощности остальных участков.

Замечаем, что поскольку формулы (3) и (4) получены при динамовых (на рис. 3.2, б) положительных направлениях потоков мощности, в расчете могут получаться отрицательные значения. Это должно указывать, что действительные направления таких потоков обратны выбранным положительным. Поэтому для продолжения расчетов следует сначала изобразить схему сети с указанием действительных направлений.

По результатам предварительного расчета определяется точка раздела (токораздела или потококораздела) – та узловая точка, где протекающая с разных сторон мощность полностью потребляется напряжкой. Надо учитывать, что вообще точек раздела должно быть две: по активным мощностям и по реактивным мощностям. В простых сетях они обычно совпадают. Также имеют ввиду, что при изменении нагрузок точка раздела может входить сети перемещаться или «раздвигаться».

Пример определения точки раздела дан на рис. 3.3. На рис. 3.3, а показано распределение мощностей после предварительного расчета. Видно, что точкой раздела является узловая точка «а», так как $S_a = S_1 + S_2$.

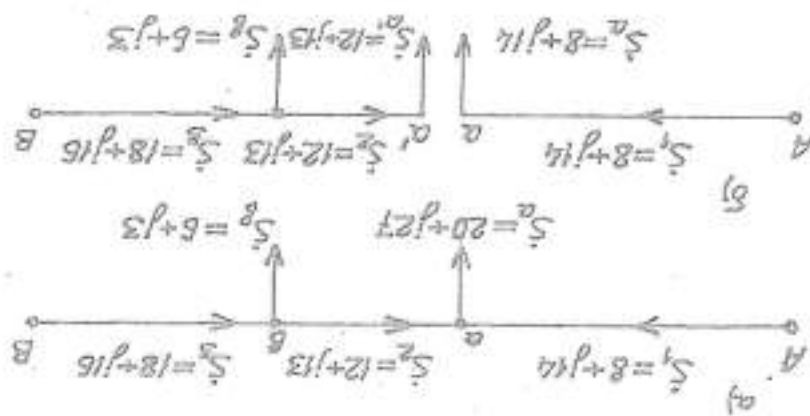


Рис. 3.3. Определение точки потококораздела.

Рис. 3.3, б показывает «разрез» сети в точке раздела на две самостоятельные разомкнутые линии. Для расчета потерь мощности и уточнения значений линейных мощностей исходными данными конца этих линий служат значения S_1 и S_2 и номинальное напряжение.

1. Определите понятия «замкнутая сеть», «сеть с двухсторонним питанием», «кольцевая сеть».
2. Назовите основные свойства замкнутой сети, составляющие ее преимущества.
3. Покажите на заданной схеме кольцевой сети пути потоков мощности к нагрузкам при обрыве любой из трех линий.

5. Вопросы для самопроверки

$$S_2 = S_1 - S_2^a, \quad S_1^a = S_1 - S_2^a - S_2^a$$

$$S_1^a = \frac{S_1^a(z_2 + \bar{z}_1) + S_2^a z_1}{z_1 + \bar{z}_2 + \bar{z}_1}$$

Двумя нагрузками и получаем умножением (3) и (4) на три: формулы трехфазных мощностей для рассматриваемой сети с мощностей одной фазы сети.

где $P_{1\phi}$, $P_{2\phi}$ и $P_{3\phi}$ а также $Q_{1\phi}$, $Q_{2\phi}$ и $Q_{3\phi}$ - уточненные значения

$$\Delta U_{\phi} = \Delta U_{r_1} + \Delta U_{r_2} = \frac{P_{1\phi} R_1 + Q_{1\phi} X_1}{U_{\phi}} + \frac{P_{2\phi} R_2 + Q_{2\phi} X_2}{U_{\phi}}$$

или

$$\Delta U_{\phi} = \Delta U_{r_1} = \frac{P_{1\phi} R_1 + Q_{1\phi} X_1}{U_{\phi}}$$

разомкнутых линий. Например, для точки раздела на рис. 3.3, а расчет потерь напряжения можно выполнить по любой из наибольшей потерь напряжения будет именно до этой точки, а

Замечаем, что при наличии только одной точки раздела формулам этой составляющей.

потерь напряжения, и расчет потерь напряжения ведется по пренебрежимо мала. Протяженная составляющая почти совпадает с поэтому поперечная составляющая падения напряжения в них

Участки сетей местного значения относительно коротки и номинальному напряжению.

еще подлежат определению, расчет составляющих ведется по поскольку действительные напряжения точек сети неизвестны, - напряжение следует взять в одной и той же точке сети. Но участка. При этом очевиден закон: вводимые в расчет мощность и вначале рассчитываются составляющие падения напряжения на

Для определения напряжений узловых точек сети

4. Почему для расчета потокораспределения простой кольцевой сети ее следует преобразовывать в сеть с двусторонним питанием? Как обосновывается преобразование?
5. Объясните структуру и работу натурной модели сети, использованной в лаборатории. Объясните также порядок проведения опытов.
6. Что означают отрицательные показания измерителя мощности в модели одного из аварийных режимов?
7. Что называют точкой разлома мощности? Определите те данные измерений, совокупность которых указывает место точки разлома.
8. Изложите методику и последовательность расчета потокораспределения мощности и напряжений в простой кольцевой сети.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Компенсация реактивной мощности.

1. Цель и содержание работы

Целью настоящей работы является изучение принципов и эффективности компенсации реактивной мощности, передаваемой по ЛЭП.

Выполняется лабораторная проверка выбора мощности компенсации в следующих вариантах задания исследования:

а) требуется повысить до некоторого заданного значения коэффициент мощности в месте потребления, например, - с целью снижения потерь в линии (поперечная компенсация);

б) требуется при неизменной мощности, поступающей в линию, понизить до некоторого заданного значения напряжение питающего трансформатора, например, - с целью обеспечить нормальную работу его высоковольтной изоляции (продольная компенсация).

2. Задание

2.1. Изучить в п.3 «Указания по работе в лаборатории».

2.2. Составить натурную модель работы одной фазы ЛЭП с присоединением элементов компенсации реактивной мощности.

2.3. Установить параметры линии, нагрузки к КВ2 – батарея конденсаторов продольной компенсации, указанные в п.3.3

2.4. Подготовить модель для включения режима ЛЭП без компенсации реактивной мощности.

2.5. Включить режим без компенсации. Установить напряжение питания линии U_1 в пределах 30-150 В. Измерить параметры режима.

Данные измерений регистрируются сразу в таблицу, подготовленную по форме табл. 4.2.

Замечание: измеренное значение напряжения нагрузки U_2 далее рассматривается как номинальное.

2.6. Рассчитать естественный коэффициент

при значении $\cos\varphi' > \cos\varphi$, задаваемой в пределах 0,8-0,9.

2.7. Включить режим с попережной компенсацией. Регулировать попеременно ёмкость батарей конденсаторов KV1 и напряжение питания, получать наибольшее приближение действительной мощности компенсации Qкб к рассчитанному значению Qк. Записать параметры режима.

2.8. Восстановить исходный (по п. 2.5) режим – без компенсации. Данные режима внести в таблицу, подготовленную по форме табл. 4.3.

Примечания к таблице: U₁ – напряжение на входных зажимах KV2; U₂ – напряжение на входных зажимах KV2, - равно напряжению питающего трансформатора.

2.9. Отключить питание модели. Рассчитать $\sin\varphi$, $\cos\varphi$ и мощность Qк пропорциональной компенсации при напряжении U₁, значение которого следует задать ниже, чем U₁ на 6-8%.

Замечание: здесь величина φ – сдвиг фаз в начале всего, что подключено к трансформатору, т.е. – включая ЛЭП. Следовательно, $\varphi = \arctg(Q_1/P_1)$, где Q₁ и P₁ – данные режима без компенсации

2.10. Включить последовательно батарею конденсаторов KV2 предназначенную для пропорциональной компенсации. Включить питание сети при напряжении, равном напряжению U₁ режима без компенсации. Снять показания приборов.

2.11. Регулировать напряжение питания, добывая наибольшего приближения действительной мощности пропорциональной компенсации Qкб к рассчитанному значению Qк. Записать параметры режима.

2.12. Определить все расчетные величины, указанные в табл. 4.2 и табл. 3.3.

2.13. Выполнить сравнительный анализ данных по п.п. 2.5 - 2.7. Определить выводы о значении попережной компенсации для режима ЛЭП и питающего трансформатора.

2.14. Определить выводы из сравнительного анализа результатов п.п. 2.8 и 2.10. Объяснить изменение режима при включении компенсации.

2.15. Сравнить параметры режимов в п.п. 2.8 и 2.11. Дать оценку эффекта включения пропорциональной компенсации,

расчитанной с условием сохранения режима сети, установленного до компенсации.

3. Указана по работе в лаборатории
3.1. Перечень используемых блоков-модулей

Табл. 4.1. Перечень используемых блоков-модулей

Наименование	Тип	Кол-во	Параметры
1. Трехфазный источник питания	201.2	1	400 В~; 10А
2. Регулируемый трансформатор	338	1	3×220/3×90...140В
3. Трехполюсный выключатель	301.1	1	380 В~/10А
4. Модуль линии электропередач	313.2	3	
5. Активная нагрузка	306.1	1	220/380 В~ 3×0...50 Вт
6. Индуктивная нагрузка	324.2	1	220/380 В~ 3×0...40 ВАр
7. Емкостная нагрузка	317.2		220/380 В~ 3×0...40 ВАр
8. Устройство продольной компенсации	315.2		400 В~/0,3 А
9. Коммутатор измерения мощностей	349	1	5 положений
10. Измеритель мощностей	507.2	1	15; 60; 150; 300В 0,05; 0,1; 0,2 А
11. Блок мультиметров	508.2	1	0...700 В

3.2. Описание электрической схемы модуля одной фазы сети

Электрическая схема натурной модели к лабораторной работе «Компенсация реактивной мощности» дана на рис. 4.1.

Объектом исследования является ЛЭП с нагрузкой, потребляющей активную и реактивную мощность. Модель одной фазы линии представлена четырёхполюсником модуль 313.2. Нагрузкой линии является параллельное соединение резистора и катушек индуктивности – модуль 306.1 и 324.2.

Узел питания ЛЭП составляют трехфазный источник питания (201.2) и регулировочный трехфазный трансформатор (338), подключаемый к источнику питания по схеме «звезда с нулем/Δ». Используется одна фаза вторичной обмотки трансформатора. Питание в ЛЭП подается через контакты трехполюсного выключателя – блок 301.1.

В режиме с попеременной компенсацией используется «Батарея» конденсаторов регулируемой емкости КУ-1 – модуль 317.2. Для продольной компенсации применяется «Батарея» КУ-2 – специальный блок 315.2.

Для измерения напряжения питания, напряжений в начале и в конце передачи используются мультиметры блока 508.2.

Измеритель мощности работает всегда в паре со своим коммутатором (модуль 507.2 и 349). Номера «ваттметров», обозначенные на схеме, должны соответствовать номерам положений ручки коммутатора: 1 и 2 – для измерения мощности в начале и в конце передачи; 4 и 5 для измерения емкостной мощности попеременной и продольной компенсации. Контуры напряжения «ваттметров» 1, 2 и 4 присоединяются к «обратному» проводу всей цепи. Цепь напряжения измерителя 5 должна получать напряжение «Батарея» КУ2.

К блокам мультиметров, измерителя мощности и трехполюсного выключателя подключается питание.

3.3. Проведение экспериментов

Все используемые блоки-модули должны располагаться на двух соседних стендах.

Убедиться, что основной (трехфазный) источник питания и все блоки, получающие индуктивное питание, отключены от сети лаборатории.

Соединить гнезда защитного заземления, используемых моделей, с гнездом "PE" трехфазного источника питания.

Выполнить соединения по схеме натральной модели на рис. 4.1. Установить следующие параметры элементов модели:
линия: $R+R_L=66 \text{ Ом}$; $L=0,6 \text{ Гн}$; $(C/2)=0$;
нагрузка: $R_n - 100\%$; $L_{n1} - 100\%$; $L_{n2} - 100\%$;
батарея конденсаторов KV2: общая емкость $C = 48 \text{ мкФ}$.

После подключения модели к сети лаборатория работа по п. 2.4. Задания проводятся в следующем порядке:
По п. 2.4. Установить переключатели блока KV1 в положение «0». При этом блок отключается.

Включить трехполюсный выключатель. Его контакты В замкнутся, шунтируя батарею KV2. В таком состоянии модель готова для исследования режима без компенсации.

По п. 2.5. Включив напряжение питания, установить значение U_1 в интервале 130-150 В. Снять показания приборов.

По п. 2.7. Режим поперечной компенсации начинается с момента начала регулировки емкости KV1. Работа выполняется согласно содержанию п. 2.7.

По п. 2.8. Для возвращения к исходному режиму установить емкость KV1 в положение «0», а напряжение довести до значения U_1 в п. 2.5.

По п. 2.10. Для введения продольной компенсации выключить блок трехполюсного выключателя. При этом контакты В разомкнутся и «батарея» KV2 включится последовательно с линией.

По окончании эксперимента отключить питание модели и индифицирующее питание модели.

4. Методические указания

Формулы емкостной мощности компенсирующей батареи конденсаторов (KV) получаем с условием, что потребляемая активная мощность – величина заданная, т.е. поддерживается постоянной. Этому соответствует векторная диаграмма на рис. 4.2.

4.2. Таблица 4.2. Результаты измерений (поперечная

компенсация)

Мощность компенсации	При заданном $\cos \varphi' =$ $Q_k = , \text{Var}$	Установлена мощность $Q_{kb} = , \text{Var}$	Q_k
Параметры режима	Без компенсации	Поперечная компенсация	Примечания
$U_1, \text{В}$			Измерено
$P_1, \text{Вт}$			Измерено
$Q_1, \text{Вар}$			Измерено
$U_2, \text{В}$			Измерено
$P_2, \text{Вт}$			Измерено
$Q_2, \text{Вар}$			Измерено
Кэфф. мощности	$\cos \varphi =$	$\cos \varphi_k =$	
$\Delta P, \text{Вт}$			$P_1 - P_2$
Мощность от трансф. $S_1, \text{ВА}$			$\sqrt{P_1^2 + Q_1^2}$

4.3. Таблица 4.3. Результаты измерений (продольная
компенсация)

Параметры режима	Без компенсации	Продольная компенсация	Примечания
$U_1, \text{В}$			Измерено
$U_1', \text{В}$	$U_1 =$		Измерено
$P_1, \text{Вт}$			Измерено
$Q_1, \text{Вар}$			Измерено
$U_2, \text{В}$			Измерено
$P_2, \text{Вт}$			Измерено
$Q_2, \text{Вар}$			Измерено
потеря напряжения в линии $\Delta U, \text{В}$			$(U_1 - U_2)$ или $u_1 - u_2$
Мощность компенсации			Q_k

На диаграмме векторы $\dot{S} = P + jQ$ и $\dot{S}' = P + jQ'$ - потребляемые мощности до и после компенсации; $jQ' = jQ - jQ_k$ - реактивная мощность нагрузки (или передачи в целом) при работе с подключенным КУ.

В случае поперечной компенсации задача состоит в том, чтобы определить значение Q_k мощности КУ, обеспечивающее повышение коэффициента мощности на месте потребления от естественного значения $\cos \phi$ до заданного значения $\cos \phi'$

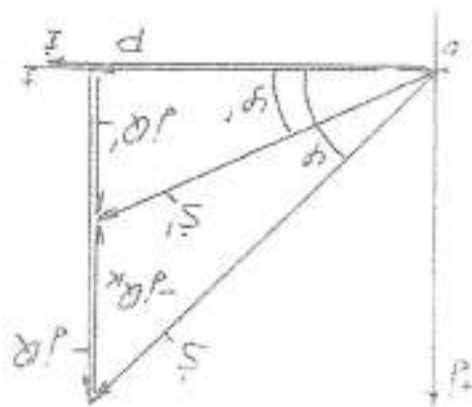


Рис. 4.2. Векторная диаграмма

По диаграмме видно:

$$Q_k = Q - Q';$$

если ввести величину активной мощности P , то:

$$Q_k = P \left(\frac{Q}{P} - \frac{Q'}{P} \right),$$

где $(Q/P) = \tan \phi$; $(Q'/P) = \tan \phi'$; следовательно,

$$Q_k = P (\tan \phi - \tan \phi')$$

(1)

Замечаем: в соответствии с обозначениями на схеме рис. 4.1 $P = P_2$.

В случае поперечной компенсации конденсаторная батарея включается в расщельку линии последовательно. Такое включение применяется не для повышения коэффициента мощности в месте потребления, а для ослабления влияния индуктивного сопротивления линии. Но если активная мощность, проходящая через КУ, поддерживается постоянной, то векторная диаграмма компенсации (по рис. 4.2) не меняет своего вида и, значит, формула (1) остается пригодной и для этого случая.

Обратимся к рис. 4.3. Положим, что до компенсации (контакты В замкнуты) напряжение на входных и выходных зажимах КУ равно U_1 . Коэффициент мощности всего, что установлено в сторону потребления (линии со всеми нагрузками), равен $\cos \phi$. Проходящая мощность Р и Q. При включении КУ (контакты В размыкаются) все параметры режима меняются, причем создается превышение напряжения на стороне потребления.

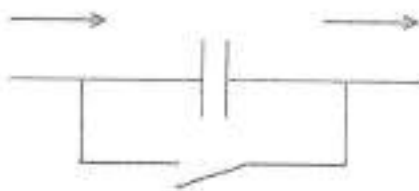


Рис. 4.3. Пояснения к лабораторной работе

С этим можно связать следующие варианты задачи:

1) определить мощность Qк такого КУ, которое при некотором заданном напряжении питающего трансформатора $U_1 > U_1'$ обеспечит на своих выходных зажимах (на стороне потребления) прежние значения U_1 , Р и Q;

2) определить мощность такого КУ, которая при неизменном напряжении питания U_1 обеспечит на стороне потребления некоторое заданное напряжение $U_1' > U_1$.

Рассмотрим обоснование формулы мощности U_1' и U_1 , компенсации по первому варианту – с напряжениями U_1 и U_1' , $U_1' > U_1$.

Используется общая формула компенсации (1)

$$Q_k = P(\tan \phi - \tan \phi')$$

где теперь величина ϕ – фазовый сдвиг в сети на выходных зажимах КУ (или – до компенсации); ϕ' – фазовый сдвиг в сети при включении компенсации, т.е. уже на входных зажимах КУ.

Напряжения U_1 и U_1' вводим следующим образом. Поскольку активная мощность Р, проходящая через конденсаторы, не

меняется, можно написать:

$$U_1 I \cos \phi = U_1' I \cos \phi'$$

Следовательно,

5. Вопросы для самопроверки

1. Как объясняется понятие «компенсация реактивной мощности»?
2. Поясните принцип компенсации реактивной мощности с помощью векторной диаграммы (мощностей).
3. Конденсаторное устройство (КУ) пассивное, энергия не вырабатывает. Почему его рассматривают как источник или как генератор реактивной мощности?
4. Сравните назначение, принципы включения и действия поперечной и продольной компенсации.
5. В чем заключается задача выбора мощности КУ в случаях поперечной и продольной компенсации?
6. Какие данные эксперимента показывают правильность расчета мощности КУ?
7. Поясните, почему, устанавливая в эксперименте заданную мощность компенсации, в режиме с поперечной компенсацией приходится регулировать и емкость КУ, и напряжение источника питания, тогда как в режиме с продольной компенсацией – только напряжение.
8. Почему целесообразно компенсировать устройство устанавливая поближе к месту потребления?

Замечание: в соответствии с обозначениями на схеме рис. 4.1 $P=P_1$.

$$Q_1 = \frac{\cos \phi}{P} \left[\sin \phi - \sqrt{\left(\frac{U_1}{U_2} \right)^2 - \cos^2 \phi} \right] \quad (2)$$

или

$$Q_1 = P \left[\frac{U_1 \cos \phi}{\sqrt{(U_2 \cos \phi)^2 - (U_1 \cos \phi)^2}} - \tan \phi \right]$$

С подстановкой и преобразованиями получаем:

$$\begin{aligned} \tan \phi &= \frac{U_1 \cos \phi}{\sqrt{(U_2 \cos \phi)^2 - (U_1 \cos \phi)^2}} \\ \cos \phi &= \frac{U_1}{U_2} \cos \phi \end{aligned}$$

9. Как изменяется потеря активной и реактивной мощности и потеря напряжения в линии, если увеличить мощность КУ, установленного у потребителя?
10. Как возможно повысить напряжение в сети при неизменных потребляемой мощности и напряжении питающего трансформатора?
11. Положим, поток линейной мощности направлен вправо, а используемое компенсирующее устройство установлено посредине линии. С какой стороны КУ напряжение будет больше?
12. Падение общей нагрузки в ночные часы приводит в местной сети к опасному для изоляции повышению напряжения. Можно ли в это время понизить напряжение сети только посредством регулирования мощности КУ, установленного вблизи нагрузки?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

Асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором как потребитель реактивной мощности

Цель работы: экспериментальное исследование изменения потребляемой реактивной мощности при отклонении от номинального значения и определении по опытным данным статистических характеристик асинхронных электродвигателей.

Краткие методические указания.

Во время работы систем электроснабжения происходит изменение напряжения на зажимах работающих асинхронных электродвигателей ($V_{\text{д}}$), составляющих значительную часть нагрузки промышленных предприятий. Поэтому при решении тех или иных задач эксплуатации систем электроснабжения часто требуется проводить анализ работы $V_{\text{д}}$ при отклонении напряжения от номинального значения.

Для выполнения такого анализа удобно использовать статистическую характеристику – зависимость потребления реактивной мощности от значения напряжения, приведенного к $V_{\text{д}}$. Статистические характеристики $V_{\text{д}}$ имеют сложный характер, так как их вид зависит от номинальной мощности $V_{\text{д}}$, коэффициента загрузки, характеристики момента сопротивления со стороны производственного механизма и т.д.

В лабораторной работе экспериментальное определение зависимости потребления мощности от напряжения выполняется по схеме, приведенной на рис. 1. В этой схеме нагрузка на валу $V_{\text{д}}$ создается с помощью машины постоянного тока (МПТ). Эта нагрузка изменяется путем регулирования напряжения питания

МПТ.

нагрузкой при величине питающего напряжения 220 В.
 Q_{220} – значение реактивной мощности, потребляемой
 где Q – текущее значение потребляемой активной мощности;

(1)

$$\dot{Q} = \frac{dQ_{220}}{dt}$$

напряжения в относительные единицы по следующим формулам:
 5. Перевести полученные значения реактивной мощности и
 Построить графики зависимости $Q=f(U)$.

вольтметра и угловое показание ваттметра в таблицу 1.
 регулировочного трансформатора, записывать показания
 4. Изменяя питающее напряжение с помощью

отключить ΔI от схемы и поменять местами два провода.
 должна отключиться влево). Если направление вращения
 оно должно быть левым (стрелка измерителя частоты вращения
 3. Подключить ΔI к схеме, проверить направление вращения,
 установит равное нулю.

трансформатора, равное 220 В. Напряжение питания МПТ
 междуфазное напряжение на выходе регулировочного
 2. Подать напряжение на собранную схему, установить
 ΔI , обмотки ΔI соединить в Δ .

1. Собрать схему для определения статических характеристик
 Порядок выполнения работы.

Рис. 1. Схема проведения опыта по изучению статической
 характеристики ΔI

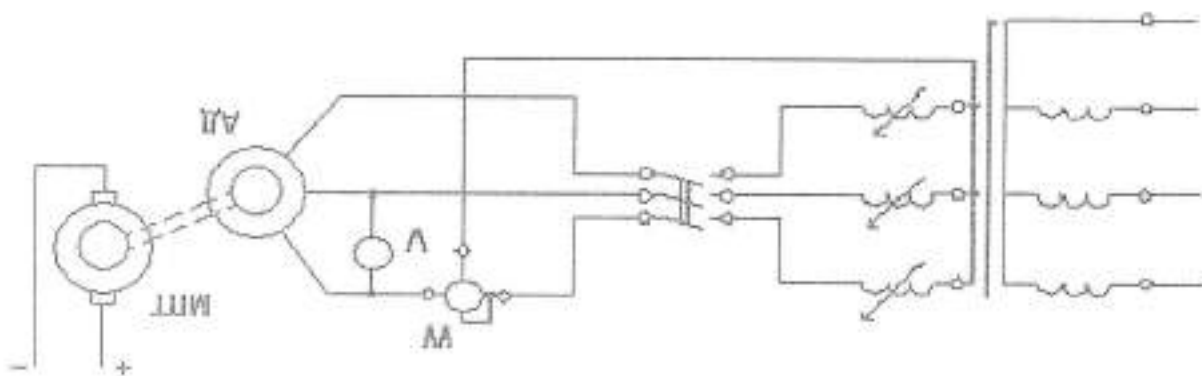


Таблица 5.1. Зависимость потребляемой мощности \dot{U} от напряжения питания

Q, var	$U, \text{В}$	\dot{Q}	\dot{U}

$$\dot{U} = \frac{220}{U} \quad (2)$$

где U – текущее значение питающего напряжения.
 6. Снова установить междуфазное напряжение на выходе регулирующего трансформатора, равное 220 В. Создать нагрузку на валу ΔI регулированием напряжения питания МП U_0 значения, указанного преподавателем. Снизкая напряжение питания ΔI , проводить измерения реактивной мощности и напряжения. Результаты опытов занести в таблицу, аналогичную табл.1.

7. Повторить несколько раз пункт 6, для каждого из опытов построить графики зависимости $Q=f(U)$.

8. Используя компьютерные математические системы (MATLAB и подобные) найти коэффициенты уравнений второго порядка, представляющих найденные статические характеристики в относительных единицах. В системе MATLAB это выполняется в следующем порядке (для активной нагрузки):

- создать вектор Q , содержащий значения потребляемой мощности в относительных единицах;
- создать вектор U , содержащий значения питающего напряжения в относительных единицах;
- найти с помощью функции $\text{polyfit}(U, Q, 2)$ коэффициенты полинома $a_1 a_2 a_3$, представляющего статическую характеристику по реактивной мощности как:

$$\dot{P} = a_1 \cdot \dot{U}^2 + a_2 \cdot \dot{U} + a_3 \quad (4)$$

1. Как определяется реактивная мощность, потребляемая АД?
2. Основные причины реактивной мощности.
3. Значения отклонения напряжения по ГОСТ 13109-97.
4. Какие мероприятия следует использовать для сохранения питающего напряжения на АД в пределах, заданных ГОСТ 13109-97.
5. Как определить отклонение напряжения на АД расчетным путем.

Контрольные вопросы

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Схема проведения опыта.
4. Таблицы с опытными данными.
5. Графики зависимости потребления мощности от величины питающего напряжения.
6. Уравнения статических характеристик.
7. Выводы по работе.

Содержание отчета

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

Синхронный электродвигатель как источник реактивной мощности

Цель работы: экспериментальное исследование генерации реактивной мощности синхронными электродвигателями при различных режимах работы и определение по опытным данным угловой характеристики по реактивной мощности.

Краткие методические указания.

В системах электроснабжения промышленных предприятий одним из наиболее важных источников реактивной мощности являются синхронные машины (синхронные электродвигатели – СД). Их достоинствами являются возможность плавного регулирования вырабатываемой реактивной мощности, работы как с опережающим (источник) так и отстающим (потребитель) значением угла φ . Поэтому при решении тех или иных задач компенсации реактивной мощности в системах электроснабжения часто требуется проводить анализ работы СД при отклонении напряжения от номинального значения.

В лабораторной работе экспериментальное определение зависимости потребления мощности от напряжения выполняется по схеме, приведенной на рис. 1.

Обмотка возбуждения машины постоянного тока, используемой как первичный дивиталь М1 с независимым возбуждением, присоединена к нерегулируемому выходу "ВОЗБУЖДЕНИЕ" источника G2, к регулируемому выходу "ЯКОРЬ" которого присоединена якорная обмотка этой же машины. Вход питания источника G2 присоединен с помощью электрического шнура к розетке "380 В" трехфазного источника питания G1. Обмотка ротора СД – G4, через гнезда "F1", "F3" присоединена к выходу возбудителя G3, вход питания которого присоединен с помощью электрического шнура к розетке "220 В" трехфазного источника питания G1.

Электрическая схема соединений

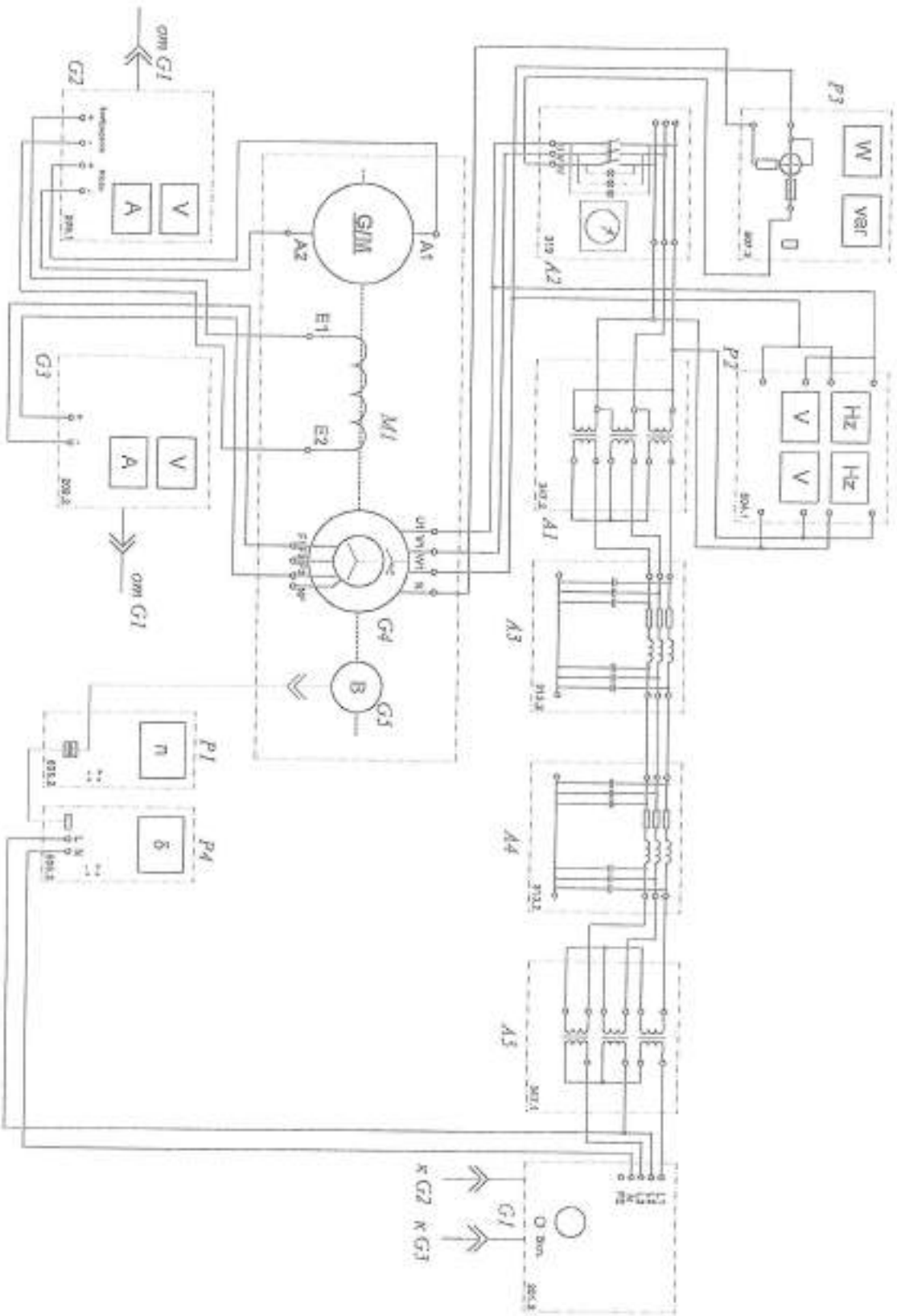


Рис. 1. Схема проведения испытаний синхронного двигателя

Фазы статорной обмотки С1 Г4 через блок синхронизации А2 и трехфазную трансформаторную группу А1 с номинальными напряжениями 230/230 В присоединены к выходу трехфазного источника Г1, через две последовательно соединенные модели линии электропередачи А3, А4 и трехфазную трансформаторную группу А5 с номинальными фазными напряжениями 230 / 230 В.

Частоту вращения С1 Г4 можно контролировать с помощью указателя Р1, соединенного с выходом преобразователя Г5. Величину и частоту напряжения генератора Г4 и сети можно контролировать с помощью измерителя напряжения и частот Р2. Активную Р и реактивную Q мощности генератора Г4 можно измерять с помощью измерителя мощностей Р3.

Фазовый угол δ статора ЭДС С1 и напряжения сети можно измерять с помощью указателя Р4 угла нагрузки синхронной машины, связанного контрольным кабелем с преобразователем угловых перемещений Г5 и выходом источника Г1 (сетью).

Порядок выполнения работы.

1. Собрать схему для испытания С1.
2. Осуществите ручное подключение к сети синхронного двигателя Г4 методом точной синхронизации в соответствии с указаниями по проведению эксперимента раздела 1 настоящего руководства.
3. Включите выключатель "СЕТЬ" указателя угла нагрузки Р4.
4. Вращая регуляторные рукоятки источника Г2 и возбуждателя Г3, установите равными нулю значения активной и реактивной мощностей генератора Г4.
5. С помощью потенциометров «РУВО» и «ТОЧНО» установите нуль указателя Р4 настройте последний путем установки его стрелки на нулевое значение (средину) шкалы. Если этого сделать не удается, то проводник, соединяющий гнездо «L» указателя Р4 с гнездом «L2» источника Г1, пересоедините так, чтобы он соединил гнездо «L» указателя Р4 с гнездом «L1» или «L3» источника Г1.
6. Установите вращением регуляторной рукоятки возбуждателя Г3 требуемый ток возбуждения I_г генератора Г4.

например 1,5 А, и поддерживайте его неизменным

в ходе эксперимента.

7. Вращая регуляторную рукоятку источника G2, измените угол δ нагрузки и записывайте показания указателя P4 угла нагрузки синхронной машины, ваттметра и varmметра измерителя мощностей P3 и вольтметра, блока P2 в таблицу 1.

7. Повторить несколько раз пункт 6, для каждого из опытов построить графики зависимости $Q=f(U)$.

δ , град	P, Вт	Q, Вар	U _н , В

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Схема проведения опыта.
4. Таблицы с опытными данными.
5. Графики зависимости потребления мощности от величины питающего напряжения.
6. Уравнения статических характеристик.
7. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Как определяется реактивная мощность, потребляемая или вырабатываемая СИ?
2. Основные источники реактивной мощности.
3. Как регулируется реактивная мощность, вырабатываемая СИ?
4. Достоинства и недостатки СИ как источника реактивной мощности.

Исследование режимов нейтралей электростановок
напряжением до 1000 В

*Цель работы: экспериментальное исследование режимов
нейтралей в электростановках переменного тока напряжением до
1 кВ в нормальных и аварийных условиях эксплуатации.*

Краткие методические указания

В электростановках переменного тока напряжением до 1 кВ применяются следующие режимы (системы) нейтралей:

- система TN - система, в которой нейтраль источника питания глухо заземлена, а открытые проводящие части электростановки присоединены к глухо-заземленной нейтрали источника посредством нулевых защитных проводников;
- система TN-C - система TN, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике на всем ее протяжении;
- система TN-S - система TN, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники разделены на всем ее протяжении;
- система TN-C-S - система TN, в которой функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике в какой-то ее части, начиная от источника питания

- система IT - система, в которой нейтраль источника питания изолирована от земли или заземлена через приборы или устройства, имеющие большое сопротивление, а открытые проводящие части электростановки заземлены;

- система TT - система, в которой нейтраль источника питания глухо заземлена, а открытые проводящие части электростановки заземлены при помощи заземляющего устройства, электрически независимого от глухозаземленной нейтрали источника.

В лабораторной работе будет производиться моделирование систем TN-C, TN-S, IT и TT. Эти системы исследуются как в нормальных режимах работы, так и в аварийных, связанных с частичным (утечка) или полным (пробой) повреждением фазной изоляции. Такие повреждения приводят к появлению напряжений

на открытых проводящих частях (ОПЧ), в рассматриваемых случаях – на корпусах электроприемников.

Системы TN-C и TN-S моделируются тремя однофазными нагрузками, четырёх или пятипроводной питающей линией и источником питания – трёхфазным трансформатором – рис.1 и рис.2.

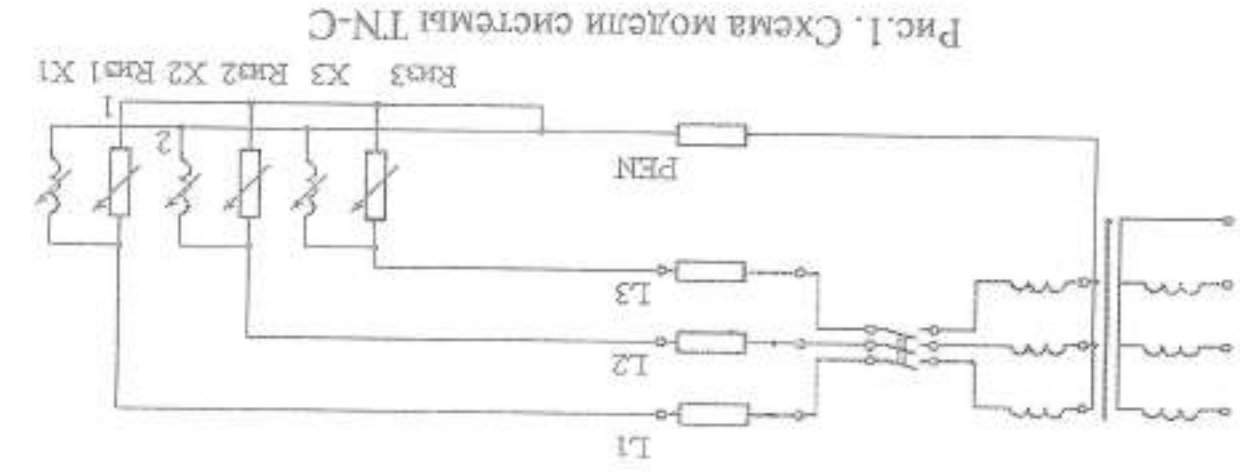


Рис.1. Схема модели системы TN-C

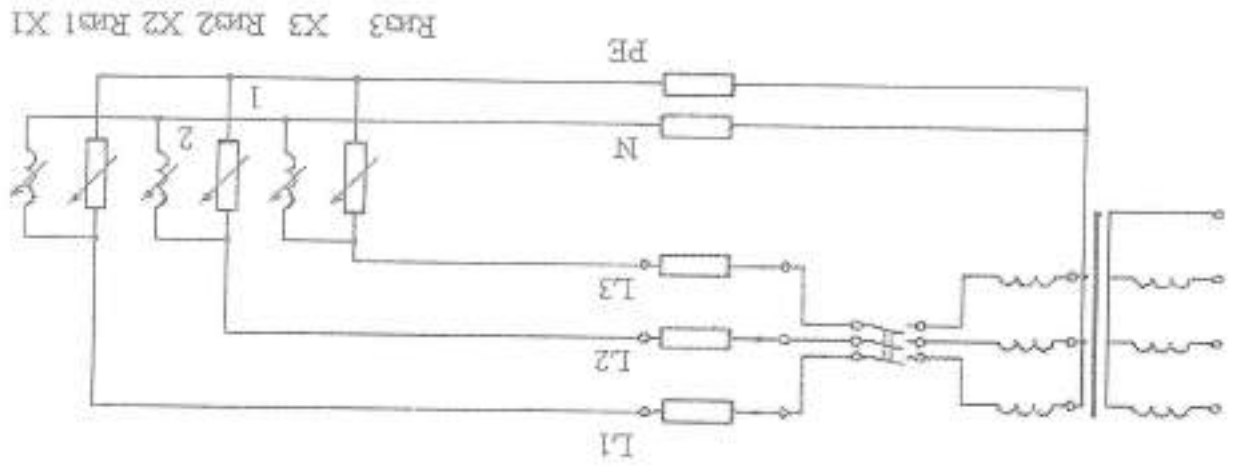


Рис.2. Схема модели системы TN-S

В качестве однофазных нагрузок или электроприемников используются три индуктивные нагрузки (X_1 , X_2 и X_3). Параллельно с ними подключены три однофазные активные нагрузки, имитирующие сопротивление фазной изоляции электроприемников (R_1 , R_2 и R_3). Одни выходы однофазных активных нагрузок подключаются к фазным проводам (точка 2), другие выходы представляют собой корпус электроприемников (точка 1) и подключаются либо к PEN проводнику (система TN-C), либо к PE проводнику (система TN-S). Значения мощности однофазных активных нагрузок изменяются во время опытов, что моделирует возникновение

Утечки изоляции на корпус, а также во время опытов производится шунтирование однофазных активных нагрузок – создание пробов изоляции на корпус. Параметры нагрузок устанавливаются по указанию преподавателя.

Четырех или пятипроводные линии выполняются в работе на основе модели линий электропередач (на одной модели используются три провода, на второй – один или два в зависимости от исследуемой системы). Емкости линий относительно земли полностью выводятся из работы установкой соответствующих переключателей в нулевое положение. Остальные параметры устанавливаются по указанию преподавателя.

В качестве питающего трансформатора используется регулировочный трансформатор. Он подключается первичной обмоткой, соединенной в звезду, к источнику трехфазного напряжения. Вторичная обмотка также соединяется в звезду с нулевым проводом и к ней подключается четырех или пятипроводная линия. Напряжение вторичной обмотки устанавливается по указанию преподавателя.

Схема модели системы IT приведена на рис.3. В этой модели используется источник питания – регулировочный трансформатор, вторичная обмотка соединяется в звезду без нулевого провода. Питающая линия выполняется трехпроводной (используется одна модель линии электропередач).

Электроприсемники с фазной изоляцией моделируются аналогично предыдущим опытам. Нейтрали электроприсемников соединяются в точку 2. Противоположные изоляции соединяются с остальными выводами в точку 1, представляющую точку присоединения корпусов электроустановок к заземляющему устройству, а другими – к соответствующим фазным проводам.

Заземляющее устройство моделируется одним из проводов второй модели линии электропередач. Первый вывод этого провода присоединяется к точке 1, второй вывод (земля) используется для присоединения трех однофазных емкостных нагрузок, представляющих собой емкости фаз питающей линии относительно земли.

Все параметры схемы модели устанавливаются по указанию преподавателя.

Схема модели системы ТТ приведена на рис.4. В этой схеме источник питания (делурированный трансформатор) имеет вторичную обмотку со схемой соединения - звезда с нулевым проводом. Питающая линия выполняется четырехпроводной (используется одна мода линия электропередачи с тремя фазами и нулевым проводом). Нейтрали электроприемников соединяются в точку 2, к которой подключается нулевой провод N. Сопротивления фазной изоляции электроприемников (R_1, R_2 и R_3) подключаются одними выводами к соответствующим фазным проводам, а другими (в

Рис.4. Схема модели системы ТТ

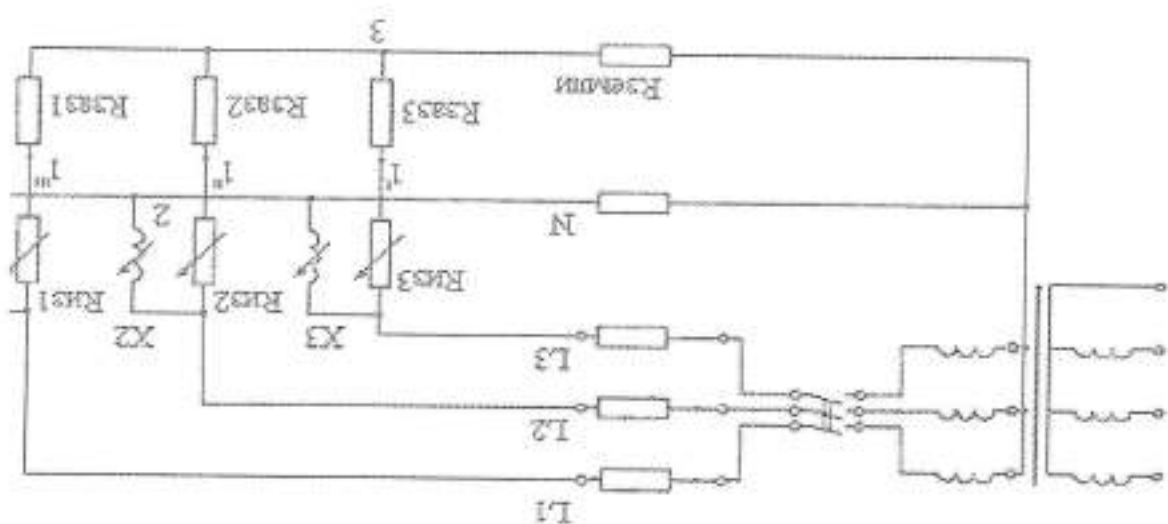
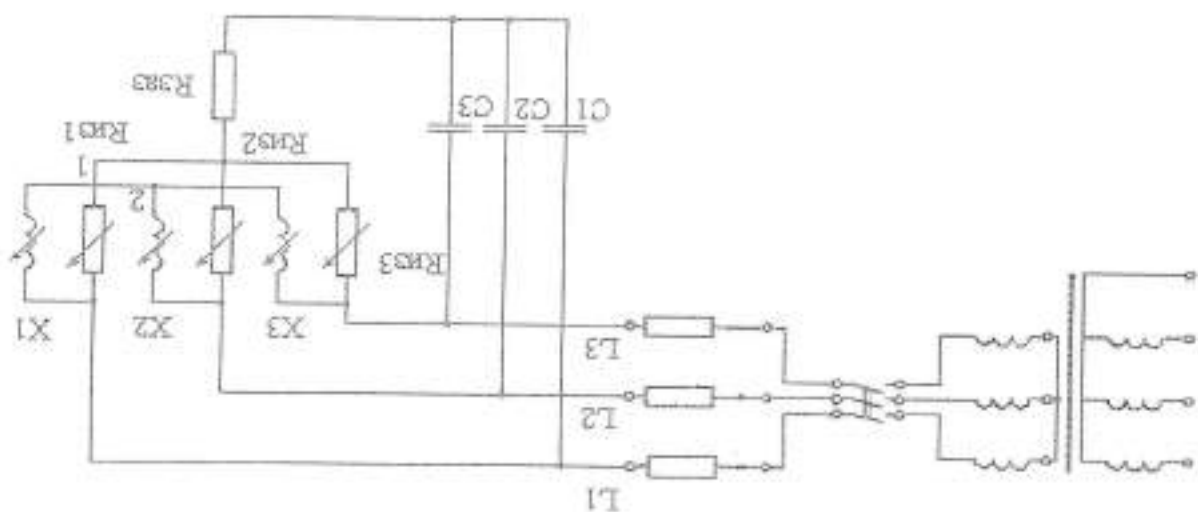


Рис.3. Схема модели системы IT



точках I_1, I_2, I_3 к заземляющим устройствам (R_{3a1}, R_{3a2} и R_{3a3}). Заземляющие устройства собираются на основе второй модели линии электропередачи. Для представления в схеме сопротивлений заземляющих устройств используются фазные провода модели, присоединяемые к R_1, R_2 и R_3 — с одной стороны, а с другой (точка 3) к нейтрали трансформатора. Точка 3 представляет собой землю.

Порядок выполнения работы

1. Собрать схему модели TN-C.
2. Изменить значение нагрузки X_1 в пределах, указанных в табл. 1, измерить величину напряжения между точкой присоединения корпусов электроприемников к PEN проводнику и нейтралью трансформатора. Полученные данные занести в табл. 1.

Таблица 1. Исследование системы TN-C

X_1	X_2	X_3	R_1	R_2	R_3	Мощности нагрузок, %		
						U, B		
100	100	100	0	0	0			
40								
20								
100			60					
			80					
			100					

3. Сделать вывод о напряжении на PEN проводнике при несимметричной нагрузке и исправной изоляции.

4. Изменить значение нагрузки R_1 в пределах, указанных в табл. 1, измерить величину напряжения между точкой присоединения корпусов электроприемников к PEN проводнику и нейтралью трансформатора. Полученные данные занести в табл. 1.

5. Сделать вывод о напряжении на PEN проводнике при симметричной нагрузке и возникновении повреждения изоляции.

6. Собрать схему модели TN-S.
7. Изменить значение нагрузки X_1 в пределах, указанных в табл. 2, измерить величину напряжения между точкой

8. Сделать вывод о напряжении на PE проводнике при несимметричной нагрузке и исправной изоляции.
9. Изменить значение нагрузки R_1 в пределах, указанных в табл.1, измерить величину напряжения между точкой присоединения корпусов электроприемников к PE проводнику и нейтралью трансформатора. Полученные данные занести в табл.2.
10. Сделать вывод о напряжении на PE проводнике при симметричной нагрузке и возникновении повреждения изоляции.
11. Собрать схему модели IT.
12. Изменить значение нагрузки R_1 в пределах, указанных в табл.3, измерить величину напряжения между точкой присоединения корпусов электроприемников к заземляющему устройству и землей, а также измерить емкостные токи фаз. Полученные данные занести в табл.3.
13. Сделать вывод о напряжении между корпусами электроприемников и землей при возникновении повреждения изоляции.
14. Собрать схему модели TT.
15. Изменить значение нагрузки R_1 в пределах, указанных в табл.4, измерить величину напряжения между корпусами электроприемников и землей. Полученные данные занести в табл.4.

U, V	Мощности нагрузок, %			X_1	X_2	X_3	R_1	R_2	R_3
	100	100	0						
100	---	---	---	---	---	---	---	---	---
40	---	---	---	---	---	---	---	---	---
20	---	---	---	---	---	---	---	---	---
100	---	---	---	---	---	---	---	---	---
60	---	---	---	---	---	---	---	---	---
80	---	---	---	---	---	---	---	---	---
100	---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Таблица 2. Исследование системы TN-S

присоединения корпусов электроприемников PE занести в табл.2.

Контрольные вопросы

1. Область применения системы TN.
2. Область применения системы IT.
3. Область применения системы TT.
4. Основное условие электробезопасности в системе TN.
5. Основное условие электробезопасности в системе IT.
6. Основное условие электробезопасности в системе TT.

БИБЛІОГРАФІЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Л.А. Бессонов. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи [Текст] Учебник для вузов / Л.А. Бессонов. – М.: «Высшая школа», 1978.
2. Блок В.М. Электрические сети и системы [Текст] Учебник для вузов / В.М. Блок. – М.: Высшая школа, 1986.
3. Идельчик В.И. Электрические сети и системы [Текст] Учебник для вузов / В.И. Идельчик. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
4. Лыкин А.В. Электрические системы и сети [Текст] Учебное пособие / А.В. Лыкин. – М.: Логос, 2006.
5. Мельников Н.А. Электрические сети и системы [Текст] Учебник для вузов / Н.А. Мельников. – М.: Энергия, 1975.
6. Справочник по проектированию электрических сетей [Текст] / Под ред. Л.Л. Файбисовича. – М.: НИ ЭНАС, 2005.