

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)
Кафедра электроэнергетики и электротехники



ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

Методические указания к лабораторным работам для
студентов направления подготовки 13.03.02
«Электроэнергетика и электротехника»

Курск 2025

УДК 621.31

Составители: О.М. Ларин

Рецензент:

Кандидат технических наук, доцент кафедры
«Электроэнергетика и электротехника» *И.В. Ворначева*

Электроэнергетические системы и сети: методические указания к лабораторным работам для студентов направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: О.М. Ларин. - Курск, 2025. - 46 с.: ил. 20, табл. 12, Библиогр.:с.46.

Содержат указания по проведению лабораторных и теоретических исследований моделей работы электроэнергетических систем с задачами изучения 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 «Электроэнергетические системы и сети» для студентов направления подготовки 13.03.02 всех форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84/16.
Усл.печ.л. 2,67. Уч.–изд.л 2,42. Тираж 100 экз. Заказ.
Бесплатно.

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

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа №1. Моделирование электрических сетей.....	4
Лабораторная работа №2. Зависимость режима электрической сети от коэффициента мощности нагрузок.....	22
Лабораторная работа №3. Исследование электрической сети с односторонним питанием	33
Библиографический список.....	46

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Моделирование электрических сетей

Введение

Электрические сети и системы – очень сложная техника, сложная по физическим основам функционирования, по преобразованиям в них электроэнергии, по особенностям реализации, эксплуатации и обслуживания, по масштабам – многокилометровая протяженность и сложная конфигурация.

Возникают некоторые вопросы. В каком соотношении должны находиться действительная электрическая сеть и ее малая модель, занимающая два – три лабораторных стола? Что должно быть общего между реальной электрической сетью и ее физической моделью?

Очевидно, модель адекватна, если, несмотря на многократно меньшие масштабы, в ней воспроизводятся такие же электромагнитные процессы, что и в реальности, таким образом выполняется натурное моделирование.

В цикле лабораторных работ по курсу на базе комплекта учебного оборудования «Электроэнергетика» выполняется натурное моделирование установившихся синусоидальных режимов электрических сетей. При этом становится возможным изучение в эксперименте широкого круга вопросов связанных с электрическими режимами сетей.

В ходе экспериментов, в расчетах и в анализах результатов для изучения дисциплины важен следующий момент: модели сетей и каждый их компонент – блок и даже элементы блоков (резисторы, катушки индуктивности, конденсаторы и т.д.), а также все режимные величины (токи, напряжения и мощности) надлежит воспринимать и учитывать в терминах и понятиях данной дисциплины.

1. Цели и содержание работы.

Целью работы является получение необходимого для последующих лабораторных занятий минимума сведений о сущности, задачах и способах натурального моделирования электрических сетей.

Ведется изучение блочного (модульного) принципа выполнения и использования аппаратной части комплекта типового лабораторного оборудования.

Рассматриваются характеристики и возможности отдельных компонентов комплекта – натуральных аналогов элементов реальных электрических сетей.

Проводится начальная учебная практика составления электрической цепи моделей установившихся режимов сетей.

2. Структура лабораторных стендов.

Лабораторный стенд одной натурной модели электрической сети занимает два, реже – три лабораторных стола, располагаемых рядом.

В комплектации стенда для каждой очередной лабораторной работы по курсу используется блочный (модульный) принцип. Это значит, что комплект стенда составляется компонентами в виде функциональных блоков-модулей, каждый из которых можно рассматривать как аналог (модель) соответствующего элемента оборудования или части реальной сети.

Основные модули (блоки трансформаторов, модели линий, модули нагрузок) снабжены встроенными средствами регулировки.

Каждый блок имеет собственную переднюю панель с гнездами для электрических соединений, органами регулировок и с изображением мнемосхемы внутренних соединений.

Все внешние соединения выполняются гибкими изолированными проводами со специальными наконечниками, исключающими непреднамеренное касание неизолированных токоведущих частей.

Ряд блоков имеют гнезда для обязательного подключения к общему контуру защиты от коротких замыканий.

Индивидуального питания, т.е. отдельного подключения к сети лаборатории, кроме основного блока питания, требуют также два измерительных модуля и блок автоматического выключателя.

Все блоки устанавливаются на специальной раме, при оперативной необходимости их легко переместить или заменить.

3. Аппаратура моделей электрических сетей.

3.1. Перечень и количество компонентов одного стенда.

Таблица 3.1. Перечень и количество компонентов одного стенда.

Тип	Название	Номер лабораторной работы			
		2	3	4	5
201.2	Трехфазный источник питания	1	1	1	1
347.1	Трехфазная трансформаторная группа	-	1	1	-
338	Регулировочный трансформатор	1	-	-	1
301.1	Трехполюсный выключатель	-	-	1	1
313.2	Модель линии электропередачи	1	3	3	1
306.1	Активная нагрузка	1	1	1	1
324.2	Индуктивная нагрузка	1	1	1	1
317.2	Емкостная нагрузка	-	-	-	1
314.2	Линейный реактор	-	-	-	-
315.2	Устройство продольной емкостной компенсации	-	-	-	1
508.2	Блок мультиметров	1	1	1	1
507.2	Измеритель мощностей	1	1	1	1
349	Коммутатор измерителя мощностей	1	1	1	1

Примечание: в перечне компонентов могут быть изменения в связи с возможными заменами, обновлением, совершенствованием или расширением цикла лабораторных работ.

3.2. Характеристика основных блоков-модулей.

3.2.1. Трехфазный источник питания (201.2)

Блок трехфазного источника питания используется как основной, так как:

1. Необходим в каждой лабораторной работе;
2. Осуществляет связь учебной модели электрической сети с трехфазным и однофазным контурами электропроводки лаборатории;
3. Обеспечивает питание током промышленной частоты функциональных блоков всех возможных однофазных и трехфазных лабораторных комплексов;
4. Содержит элементы защиты: ключ-выключатель – для предотвращения несанкционированного включения, автоматические фазные выключатели и устройства защитного заземления;
5. Ручные органы управления включением или выключением питания модели сети размещены на передней панели этого блока;
6. Блок и всю трехфазную совокупность напряжений на его выходе следует в лабораторной работе рассматривать как модель питающей энергосистемы.

Подключение блока к сети лаборатории выполняется с помощью специального трехфазного кабеля.

Изображение панели блока источника питания с необходимыми пояснениями дано на рис. 1.1.

Подготовительные действия на панели для включения блока в работу выполняются в следующем порядке:

1. Поворачивается ключ-выключатель до упора в положение «I»;
2. Соединяются гнезда «ТК» термоконтакта;
3. Включаются автоматические выключатели в фазах;
4. Включается устройство защитного заземления.

Включение в работу выполняется кнопкой «ВКЛ».

В ходе работы необходимо постоянно иметь ввиду красную кнопку-«грибок» для выключения источника питания, в особенности – в случае экстренной необходимости. Блок выключается также для существенных изменений в схеме цепи модели и сразу же по окончании работы.

Входные электрические характеристики блока трехфазного источника питания:

линейное напряжение – 380 ± 38 В;

ток – не более 16 А.

Выходные характеристики:

линейное напряжение – 380 ± 38 В;

фазное напряжение – 220 ± 22 В;

ток – не более 10 А.

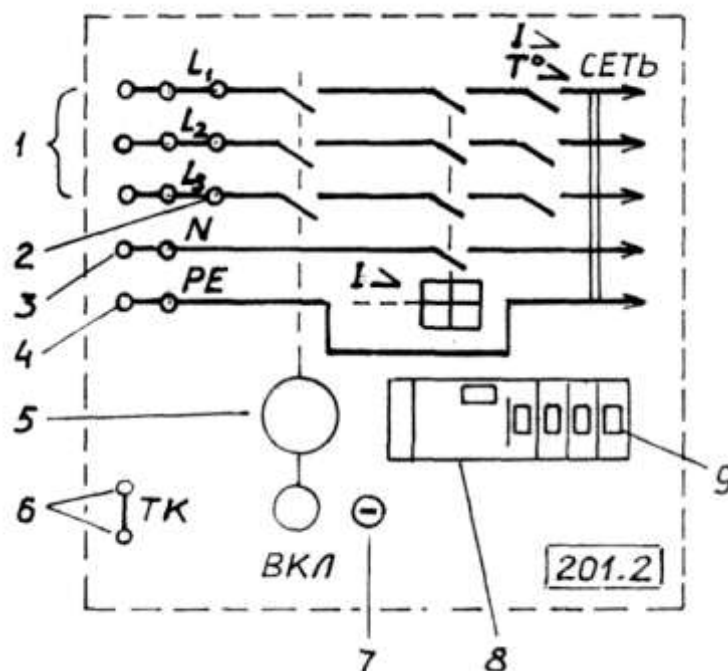


Рис. 1.1. Трехфазный источник питания.

1 – фазы питающей сети; 2 – светодиоды; 3 – нулевой провод; 4 – гнезда защитного заземления; 5 – кнопка отключения; 6 – гнезда термоконтакта; 7 – ключ-выключатель; 8 – устройство защитного отключения; 9 – автоматические выключатели.

3.2.2. Трехфазная трансформаторная группа (347.1) и регулировочный трансформатор (338).

В моделировании каждый из этих трансформаторных блоков может использоваться как аналог силового трансформатора подстанции.

Рабочими элементами блоков являются три классических однофазных двухобмоточных трансформатора с отпайками.

Обмотки первичной стороны трансформаторов в блоках каждого типа связаны по схеме звезды с нейтралью. При этом возможно и трехфазное питание блоков и однофазное. При трехфазном питании вторичные обмотки соединяются звездой

или треугольником, сообразно задачам каждой лабораторной работы. В случае однофазного питания трансформаторы блоков могут использоваться по отдельности или соединенные параллельно.

Наличие отпаяк трансформаторных обмоток отвечает необходимости в лабораторных работах изменять напряжение.

Характеристики блока трехфазной трансформаторной группы:

номинальная мощность – 3×80 ВА;

номинальное первичное фазное напряжение – 230 В;

номинальное вторичное фазное напряжение – 127, 133, 220, 226, 230, 235, 242 В.

Характеристики регулировочного трансформатора:

номинальная мощность – 250 ВА;

номинальное первичное напряжение – 380 В;

номинальное вторичное напряжение – $90 + 2,5 \times (1 \div 20)$ В.

3.2.3. Модель линии электропередачи (3.13.2)

Блок модели линии электропередачи (ЛЭП) – единственный, в котором натурное моделирование (в смысле воспроизведения характера процесса) не выполняется. Действительная ЛЭП, как известно из курса ТОЭ, – это устройство с распределенными по длине линии параметрами, и в установившемся режиме напряжение и ток являются результатом наложения непрерывно распространяющихся прямой и обратной электромагнитных волн. В модели линии синусоидальный режим – это процесс в цепи с сосредоточенными параметрами, где возникновение волн не возможно.

Линия конечной длины (однофазная или трехфазная) представляет собой симметричный четырехполюсник, а для любого такого четырехполюсника можно определить расчетный эквивалент – П-образный или Т-образный четырехполюсник, который в теории электрических сетей принимается как схема замещения ЛЭП. Этот переход к схеме замещения уже есть моделирование, но теоретическое. «Натурным» моделированием будет составление электрической цепи по схеме замещения.

Электрические цепи в блоке модели линии содержат три четырехполюсника (рис. 1.2), их резисторы и катушки индуктивности представляют сопротивление и индуктивность фазных проводов ЛЭП, а конденсаторы, располагающиеся по концам четырехполюсников, - рабочую емкость фаз.

Весь блок представляет собой одну линию, если в модели создается трехфазный режим. Если блок используется в однофазной модели, можно считать, что в нем содержатся три линии, которые могут включаться по любой схеме.

Для всех элементов, изображенных в мнемосхеме на передней панели блока, предусмотрена ступенчатая регулировка параметров.

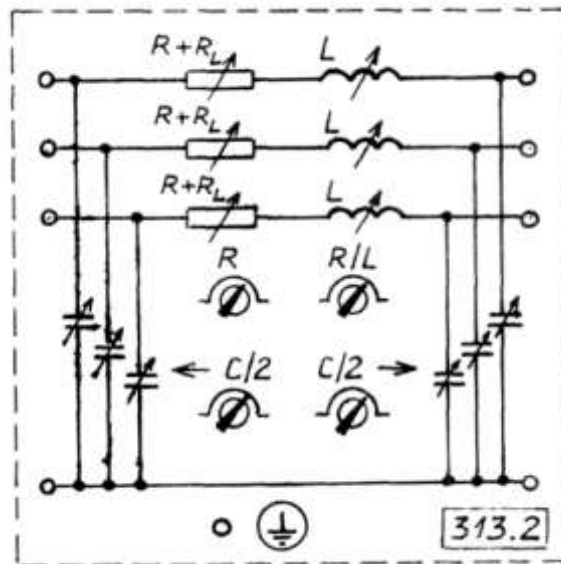


Рис. 1.2. Лицевая панель блока модели ЛЭП.

3.2.4. Блоки – модули нагрузок: «активная нагрузка 3 х 0...50 Вт» (306.1); «индуктивная нагрузка 3 х 0...40 Вар» (324.2); «емкостная нагрузка 3 х 0...40 Вар» (317.2)

Элементы блоков нагрузок в моделях электрических сетей используются в трехфазном или в однофазном режиме в качестве потребителей энергии активного или активно-реактивного характера.

Регулирование параметров элементов блоков ступенчатое, выполняется переключателями. На шкалах переключателей обозначены не сопротивления, индуктивности или емкости, а проценты от допустимой потребляемой элементами активной или реактивной мощности. Это связано с тем, что нагрузки в

электрических сетях обычно задаются своей мощностью. Сопротивления нагрузок легко определить по мощности и напряжению.

Ступени регулирования (дискретность) параметров элементов одной фазы блоков:

- в блоке активной нагрузки – 10 %;
- в блоке индуктивной нагрузки – 25 %;
- в блоке емкостной нагрузки – 25 %.

Заметим, что проценты, считываемые по шкалам переключателей на панелях блоков нагрузок, ни в какие формулы не входят, так как действительная потребляемая блоками мощность зависит и от установленных параметров элементов, и от их напряжения, и определяется она в результате измерений. Если же в ходе лабораторной работы должны задаваться изменения нагрузок, то фиксируемые проценты являются обозначениями ступеней изменений, составляя первую строку таблицы опытных данных. В однофазном режиме три элемента каждого из блоков нагрузок могут включаться последовательно или параллельно, и условная сумма их процентов будет не более, чем обозначение ступени регулирования.

Все блоки нагрузок должны подключаться к контуру защитного заземления.

3.2.5. Измеритель мощности (507.2.)

Блок измерителя мощности в соединении с блоком коммутатора измерителя мощностей (349) позволяет проводить одновременную регистрацию активных и реактивных мощностей (до 600 Вт и до 600 ВАр) в нескольких точках модели сети.

Значения мощностей снимаются по показаниям аналоговых («стрелочных») щитовых приборов – ваттметра и варметра. Это приборы магнитоэлектрической системы, т.е. – с равномерной шкалой, и отклонение их указателя пропорционально току, протекающему через прибор. Встроенные в блок преобразователи обеспечивают пропорциональность тока измеряемой активной или реактивной мощности.

Так как мощность пропорциональна току и напряжению, для измерения мощности, потребляемой каким-нибудь объектом, к измерителю мощности необходимо подключить источники тока и напряжения. Поэтому любой измеритель мощности имеет две внутренних цепи: токовую, включаемую как амперметр (последовательно) и цепь напряжения, подключаемую как вольтметр (параллельно). Из четырех выводов этих цепей одна пара выводов, обращаемых на схемах моделей к источнику (генераторные выводы) образует узел внутри блока измерителя. Поэтому на панели блока измерителя имеются, связанные мнемосхемой, только три вывода приборов. Эти выводы можно подключить к интересующему объекту непосредственно или через коммутатор, позволяющий, не меняя режима и без изменения цепи, провести регистрацию мощностей сразу в пяти различных точках модели сети.

Пример включения измерителя мощностей показан на рис. 1.3.

Необходимо учитывать, что нулевое положение указателей приборов находится посередине шкалы. Значит, приборы учитывают не только характер (индуктивный или емкостный) реактивной составляющей мощности, но также регистрируют изменение направления потока мощности.

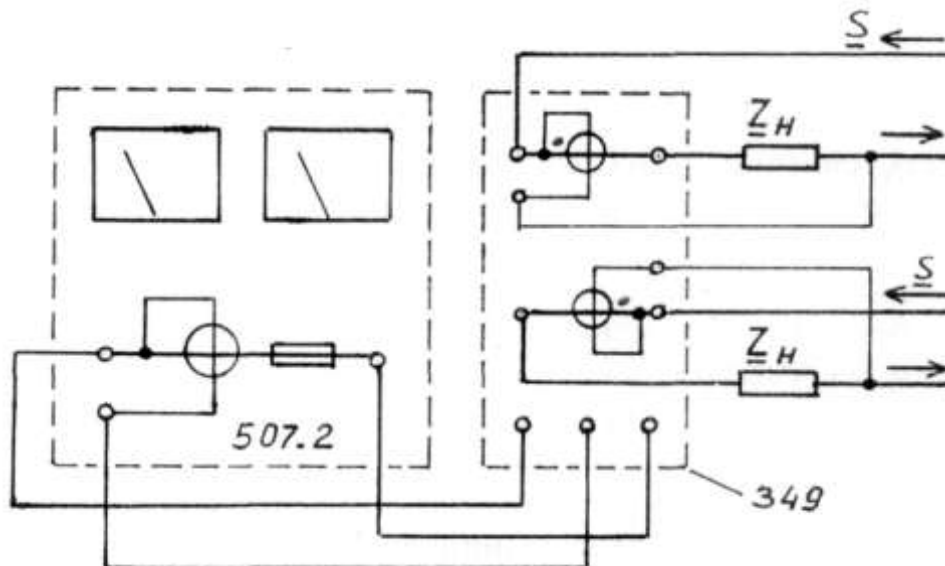


Рис. 1.3. Пример включения измерителя мощностей.

Число делений шкалы приборов – 15. Цена деления определяется отношением к этому числу величины

произведения установленных пределов по напряжению и току. приборная погрешность измерений – порядка 2,5 %.

На панели блока в ходе экспериментов требуют также внимания выключатель сетевого питания, переключатель чувствительности измерителя (положения «х 10» и «х 1»), переключатели пределов измерения по напряжению и току и переключатель режима измерений – его положения «Р», «Р,Q» и «Q». для работы удобен режим «Р,Q», остальные позиции необходимы в случаях, когда один из приборов «зашкаливает» (при $P \gg Q$ или наоборот).

Светодиоды на панели сигнализируют о выходе получаемого прибором напряжения или тока за предел, установленный переключателем пределов, и о необходимости перехода на иной предел.

3.2.6. Блок мультиметров

Блок мультиметров включается в работу только после включения сетевого питания (220 В).

В лаборатории мультиметры используются, в основном, для измерения и контроля действующего значения напряжений.

До включения блока для каждого мультиметра необходимо провести следующие операции:

установка рода напряжения – на шкале переключателя выбирается диапазон переменного напряжения;

установка наибольшего предела измерений – 750 В;

проверка правильности присоединения к исследуемой цепи гнезд-выводов «СОМ» и «V».

При наличии питания блока, мультиметр начинает давать показания после двукратного нажатия кнопки «Power».

На пределе измерений «750 В» разрешение прибора – 1 В, точность – $1,2 \% \pm 3$ ед. счета.

4. Задание

А. Изучить содержание настоящих методических указаний.

Б. Определить согласно п.5 «Указания к лабораторному моделированию» соответствия предлагаемых в работе схем электрических сетей и схем их натуральных моделей.

В. Составить на лабораторном стенде модель электрической сети по одной из предлагаемых схем. Правильность сборки цепи проверяется преподавателем.

Г. Составить отчет, в котором:

- 1) изложить цель и содержание работы;
- 2) изобразить все рассматриваемые в работе варианты однолинейных схем электрических сетей с пояснениями их сущности и указанием рисунков схем соответствующих натурных моделей;
- 3) привести электрическую схему составленной в работе модели сети с обозначениями типов и названий включаемых блоков-модулей;
- 4) дать письменные ответы на контрольные вопросы п.6.

5. Указания к лабораторному моделированию

Несколько схем электрических сетей и схем их натурных моделей, предлагаемых здесь для получения начального опыта моделирования, приведены на рис. 1.4. и 1.6. – 1.9.

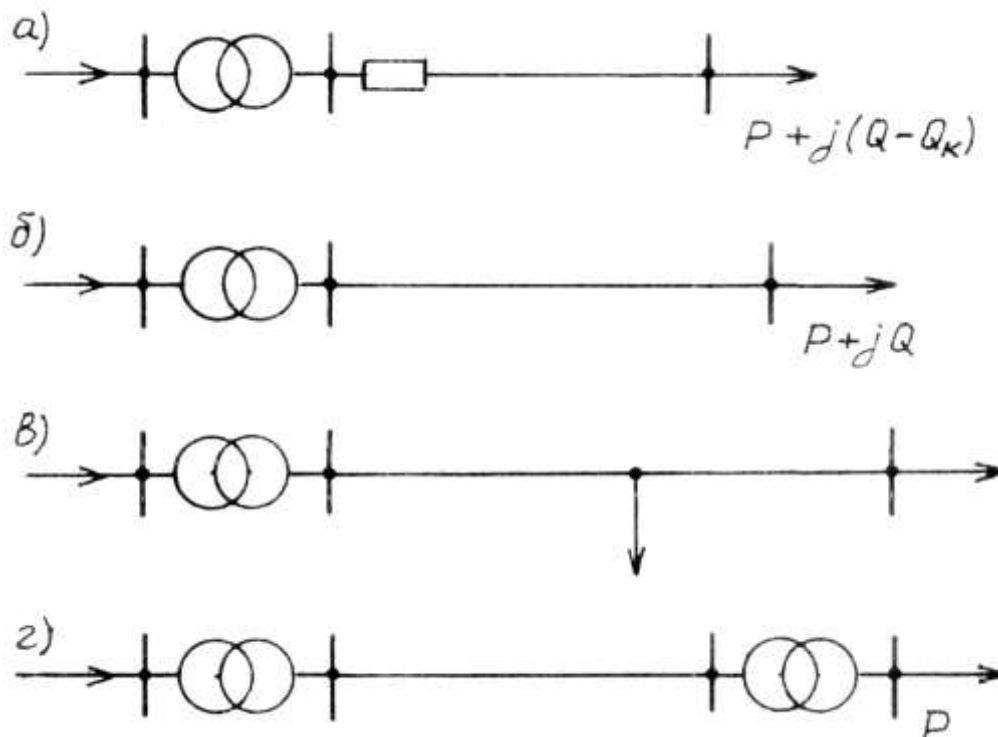


Рис. 1.4. Схемы электрических сетей.

Согласно заданию требуется, обращаясь вначале к рис. 1.4., определить схему сети, соответствующую каждому из следующих понятий:

- ЛЭП радиальной сети;
- передача с компенсацией реактивной мощности;
- ЛЭП сети районного значения;
- магистральная сеть.

Затем необходимо установить взаимные соответствия схем сети и электрических схем натуральных моделей.

Рекомендуемый порядок действий:

- 1) изучить на лабораторном стенде состав его комплекта оборудования, подготовленного к началу занятия;
- 2) определить схему модели, электрическую цепь которой можно реализовать на компонентах установленного комплекта;
- 3) составить электрическую цепь определившегося варианта модели сети.

Составляя модель, вначале следует соединить гнезда защитного заземления тех блоков, которые включаются в электрические цепи модели, с гнездом «РЕ» трехфазного источника питания.

Чтобы избежать ошибок и потерь времени, при составлении цепей модели необходимо четко определить, какие цепи токовые и какие надо отнести к цепям напряжения. Токовые цепи образуют контуры, в которые входят обмотки питающих трансформаторов, контакты выключателей, участки линий, сопротивления нагрузок, амперметры и последовательные элементы измерителей мощности.

Сборку и проверку цепей рекомендуется проводить именно по контурам: начинать от источника, затем, обходя последовательно все элементы каждого из контуров, вернуться к источнику.

Цепи напряжения – это цепи присоединяемых вольтметров и элементов цепей напряжения измерителей мощности. Соединения этих цепей выполняются в последнюю очередь.

Необходимо понимать, что все компоненты – блоки модели сети сами являются моделями элементов или частей реальной сети – силовых трансформаторов, линий, нагрузок и т.д. Это позволяет с самого начала и в последующем в учебных целях воспринимать все элементы модели в терминах и

понятиях курса электрических сетей. С этим связаны и некоторые правила составления моделей.

Например, в реальной линии, а значит и в ее модели есть передающий и приемный концы, и если необходимо измерять напряжение приемного конца, то в модели линии вольтметр следует подключить к выводам-гнездам именно выходной стороны блока. Это поясняет также рис. 1.5.: приемлемое присоединение выполняется согласно рис. 1.5, б, несмотря на то, что в этом случае могут потребоваться более длинные соединительные провода.

Данная лабораторная работа выполняется без подключения модели к сети лаборатории. Во всех последующих работах лабораторного цикла начальным пунктом техники безопасности является следующее обязательное положение: после проверки правильности собранной схемы первое ее включение делает преподаватель.

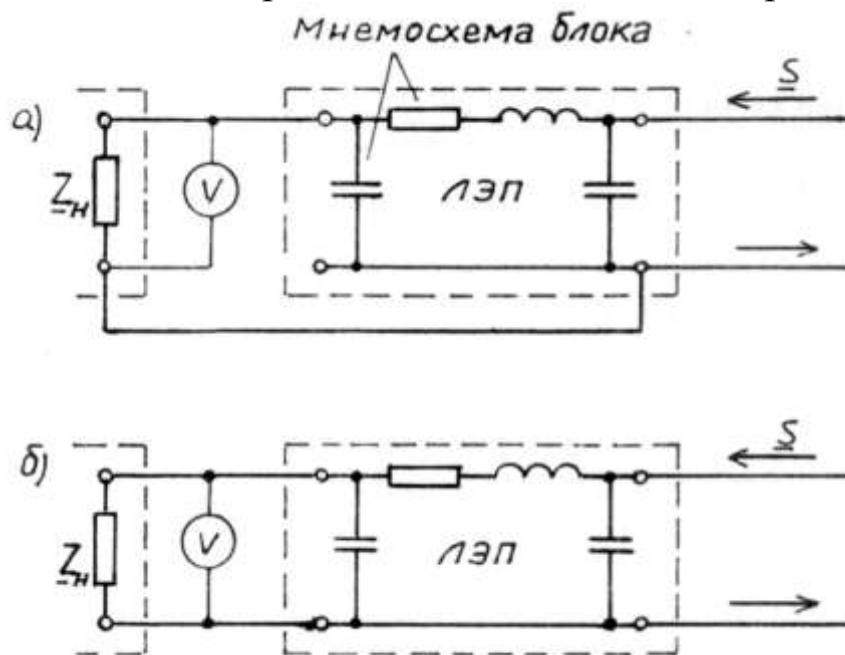


Рис. 1.5. Присоединение вольтметра
а) некорректное; б) правильное присоединение

6. Вопросы для самопроверки

1. Что принято понимать под натурным моделированием электрической сети?
2. Объясните сравнительные преимущества модульного принципа составления моделей сети?

3. Если составляемая электрическая цепь является моделью распределительной сети, то что из комплекта лабораторного стенда должно представлять модель питающей сети? Какие блоки служат аналогом подстанции связи с питающей сетью?
4. Что представляет собой блок модели ЛЭП? Как используется этот блок в качестве модели одной фазы ЛЭП и в трехфазном режиме? Можно ли использовать один блок для моделирования двух или трех линий?
5. Какова очередность действий при составлении модели сети, подготавливаемой к включению под напряжение?
6. Укажите органы управления включением и отключением питания всей модели. Где находится кнопка для экстренного отключения напряжения?
7. как выполняется подготовка блока источника питания к включению в сеть лаборатории? Какие еще модули требуют индивидуального питания?
8. Как регулируется напряжение питания работающей модели?
9. Поясните схему корректного включения зажимов измерителя мощности.
10. Объясните содержание лабораторной работы в соответствии с заданием.
11. Укажите взаимно соответствующие определения электрических сетей (по п.5), номера рисунков однолинейных схем сетей и схем их натурных моделей.

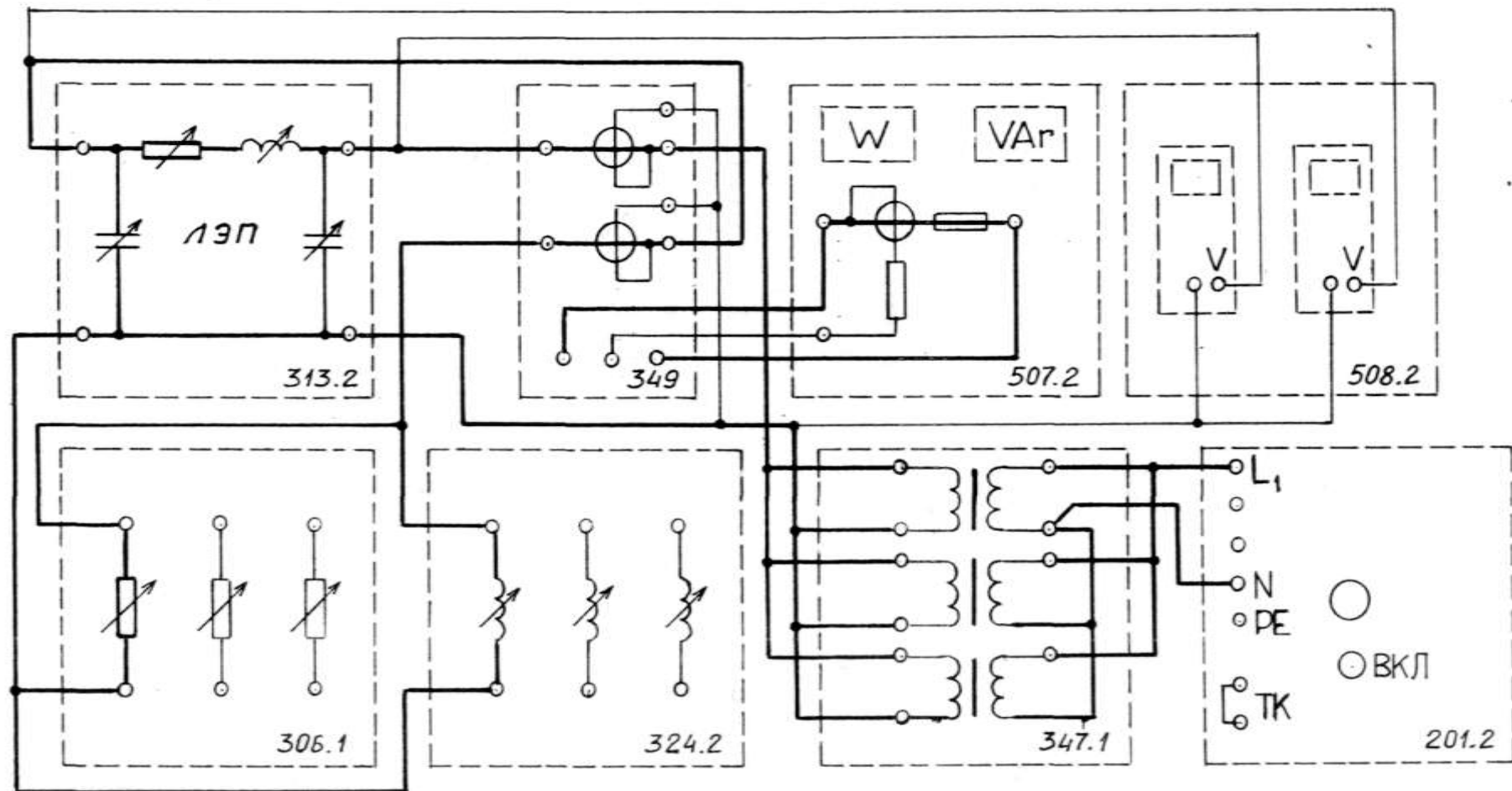


Рис. 1.6. Схема модели электрической сети

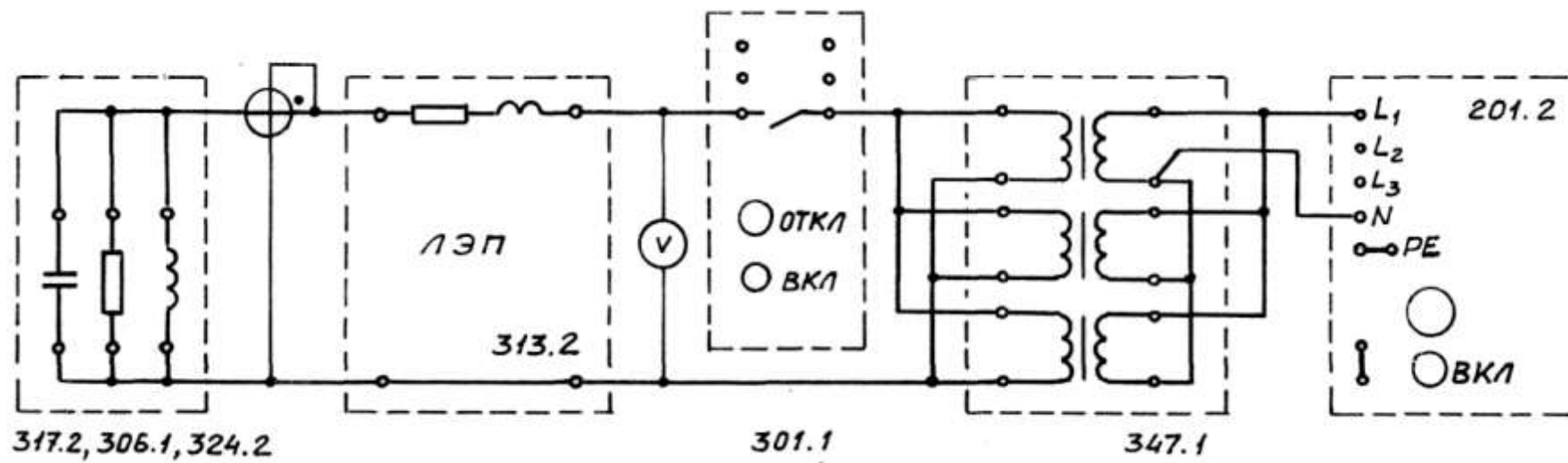


Рис. 1.7. Схема модели электрической сети

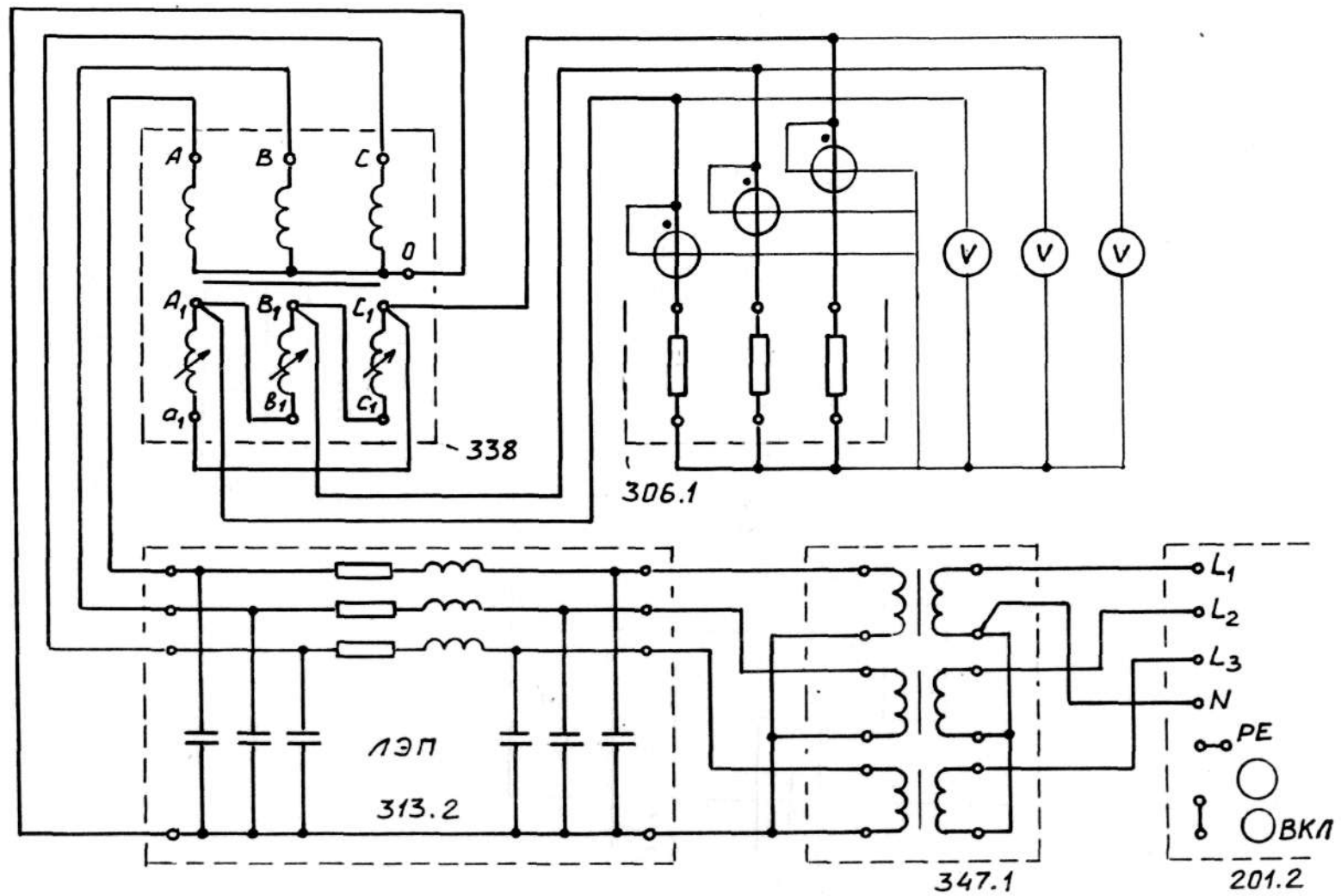


Рис. 1.8. Схема модели электрической сети

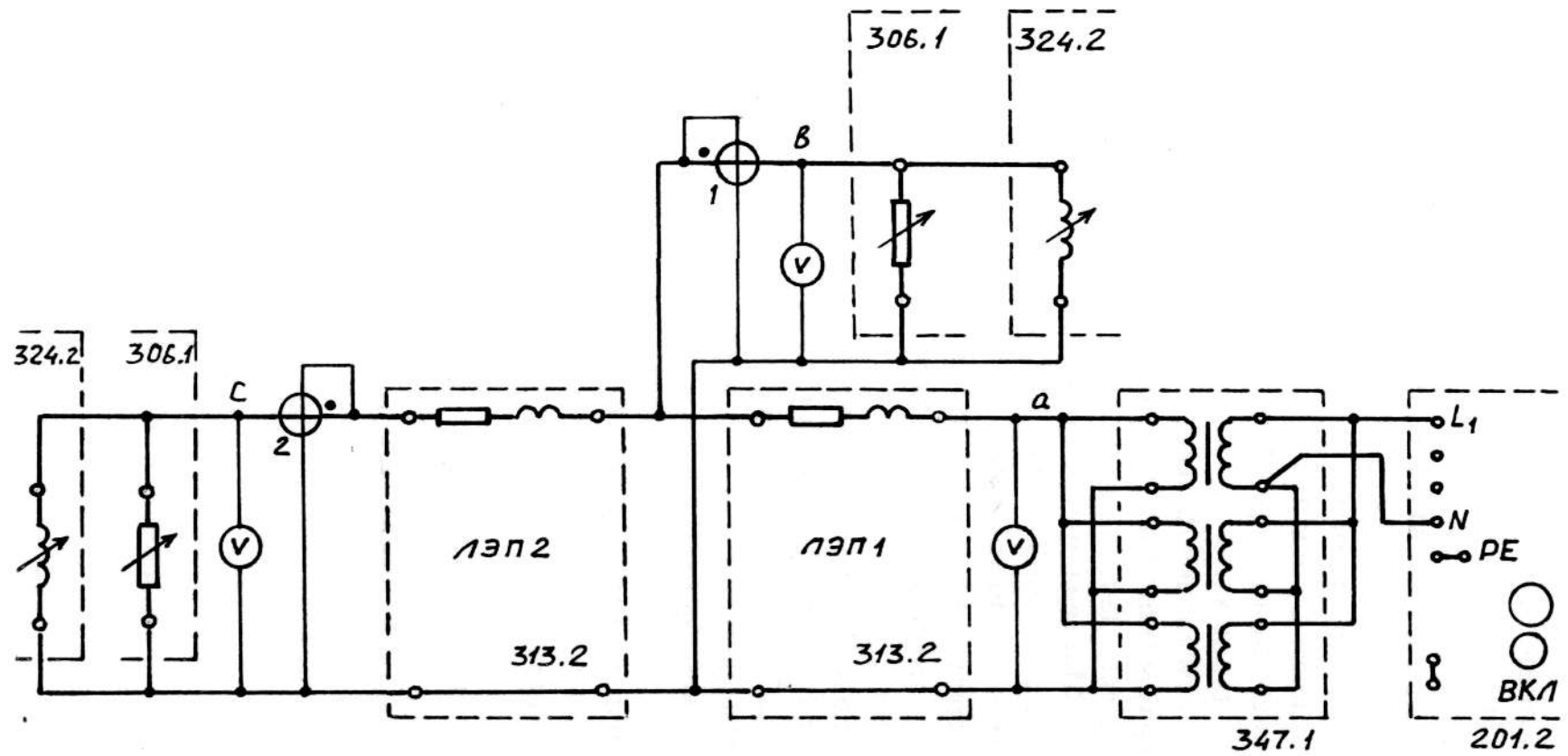


Рис. 1.9. Схема модели электрической сети

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Зависимость режима электрической сети от коэффициента мощности нагрузок

Введение

Основную электрическую нагрузку большинства промышленных предприятий составляют трехфазные асинхронные двигатели. По характеру – это активно-индуктивная нагрузка. Схему замещения такой нагрузки можно привести к простому последовательному или параллельному соединению активного и индуктивного элементов, сопротивления или проводимости которых можно определить, например, по данным измерений режима. Важно то, что значения сопротивлений или проводимостей обоих элементов не только всегда отличны от нуля, но часто оказываются одного порядка. Значит, естественно, что двигатель и вся нагрузка (цеха, предприятия) получает номинальную активную мощность при неизбежном потреблении так же реактивной мощности, причем реактивная мощность нередко превышает потребляемую активную мощность.

Когда возникает вопрос об эффективности использования электроэнергии, потребляемую активную и реактивную мощности необходимо сопоставить. Например, взять отношение $(Q/P) = \tan \varphi$. Гораздо чаще используется отношение $(P / \sqrt{P^2 + Q^2}) = \cos \varphi$ – «коэффициент мощности». Величина $\cos \varphi$ – универсальная, она входит в набор номинальных параметров единичных приемников энергии и генераторов и так же характеризует режим потребления, как отдельной единицы нагрузки, так и объединенной (суммарной) нагрузки целого предприятия.

Общее требование – повышение коэффициента мощности. По причине низкого $\cos \varphi$ нагрузок:

- увеличиваются потери мощности и напряжения в электрической сети;
- понижается коэффициент мощности работающего генератора, т. е. при неизменной полной мощности он может отдавать в сеть меньшую активную мощность;
- для передачи необходимой потребителям активной мощности требуется сооружение линий и применение

трансформаторов с большей пропускной способностью, что связано так же с усложнением и удорожанием эксплуатации.

В настоящей работе лабораторный эксперимент проводится на модели фазы простой сети. В качестве нагрузки ВЛ для удобства регулирования ее коэффициента мощности с возможностью быстрого восстановления зарядного значения активной мощности выбран вариант параллельного соединения активного и индуктивного элементов.

В итоге выполнения работы, анализируя данные опытов и связанных с ними расчетов, следует определить выводы о результатах последовательной «замены» в ряду приемников энергии, различающихся при одинаковой величине потребляемой полезной мощности значениями реактивной мощности, необходимой им в «естественном» режиме потребления.

1. Цель и содержание работы

Целью работы является определение посредством эксперимента и сопутствующих расчетов характера зависимостей параметров режима электрической сети от коэффициента мощности и нагрузок.

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 передачи, взятыми по выбору из данных измерений.

2. Задание

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.

Условимся считать, что установление в опытах очередного нового значения реактивной потребляемой мощности $Q_{2ф}$ означает

замену прежнего потребителя другими – с отличающимся значением коэффициента мощности.

Показания приборов рекомендуется включать сразу в таблицу, подготовленную по форме табл. 3.2.

По данным измерений определить все величины, указанные в табл. 2.

2.5. Построить совмещенный график зависимостей от $\cos \varphi_2$ реактивной и полной мощности нагрузок, величины потерь в ЛЭП, к.п.д. передачи, а так же – напряжения, полной мощности и $\cos \varphi_1$ источника питания.

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

2.8. Построить векторную диаграмму мощностей – начала передачи, соответствующих максимальному и минимальному значениям $\cos \varphi_1$.

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 сравнений.

3. Указания по работе в лаборатории

3.1. Перечень используемых блоков-модулей

Таблица 3.1. Перечень используемых блоков-модулей

Наименование	Тип	Кол-во	Параметры
1	2	3	4
1. Трехфазный источник питания	201.2	1	400В~; 10А
2. Регулировочный трансформатор	338	1	3х220/3х90...140В
3. Модель линии электропередачи	313.2	1	
4. Активная нагрузка	306.1	1	220/380В~ 3х0...50 Вт
5. Индуктивная	324.2	1	220/380В~

нагрузка			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 нагрузок» дана на рис. 2.1.

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

Узел питания линии составляют трехфазный источник питания (201.2) и регулировочный трехфазный трансформатор (338), подключаемый к блоку источника питания по схеме Y_0/Δ . Для питания ЛЭП используется одна фаза вторичной обмотки трансформатора.

Измерение напряжений выполняется мультиметрами (508.2).

Измеритель мощностей подключается к началу или к концу передачи через свой коммутатор. Номера положений ручки коммутатора должны соответствовать номерам «ваттметров», обозначенным на схеме рис. 2.1.

Связь натурной модели с сетью питания лаборатории 380 В осуществляется через блок трехфазного источника питания. Для работы блоков мультиметров и измерителя мощностей подводится индивидуальное питание напряжением 220В.

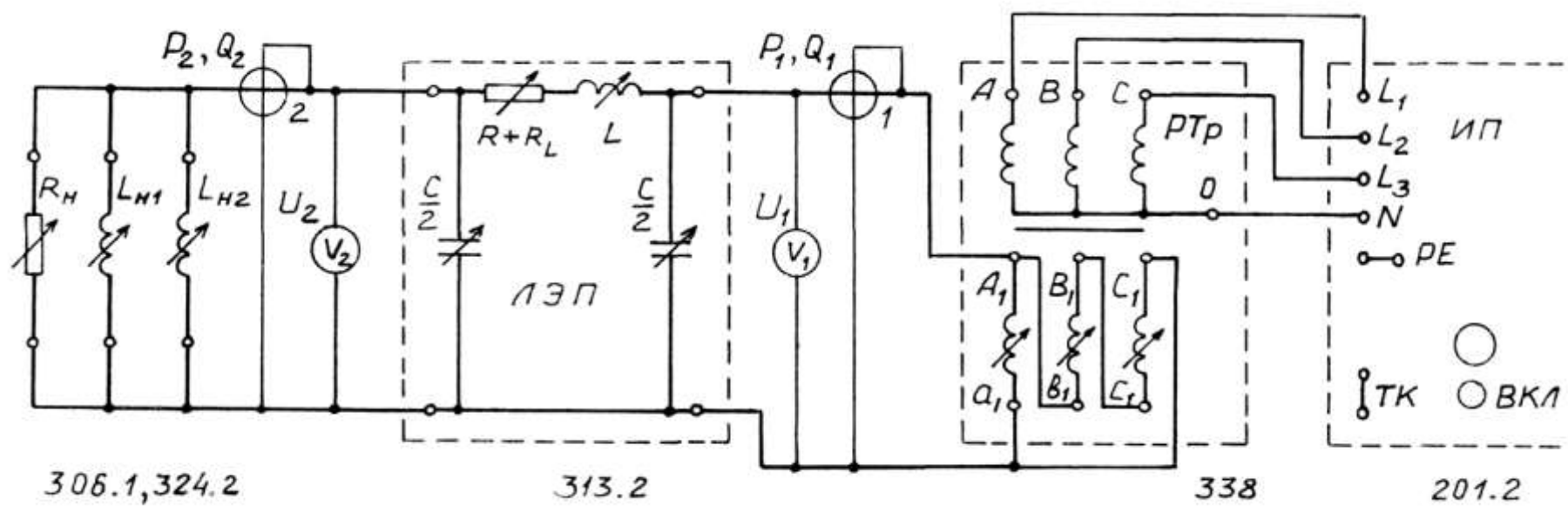


Рис. 2.1. Схема соединений модели установившегося режима одной фазы ЛЭП

3.3. Проведение экспериментов

Все используемые блоки-модули должны располагаться на соседних стендах.

Убедиться, что основной (трехфазный) источник питания и все блоки, требующие индивидуального питания, отключены от сети лаборатории.

Соединить гнезда защитного заземления используемых модулей с гнездами «РЕ» трехфазного источника питания.

Выполнить соединение натуральной модели по схеме рис. 2.1.

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: $R_H - 100\%$; $L_H - 50\%$.

Включить питание модели. Меняя напряжение 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 L_H выполняется в диапазоне 50% - 150% ступенчатое наращивание реактивной потребляемой мощности $Q_{2\phi}$.

Замечаем: задающим изменением в опытах является изменением индуктивности L_H . Но режим, который вызван только изменением L_H , не подлежит измерениям. Каждый раз, чтобы окончательно установить очередной регистрируемый режим, после переключений на новое значение L_H регулированием напряжения трансформатора следует добиться наибольшего приближения мощности $P_{2\phi}$ к ранее фиксированному значению. Затем снимаются показания 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 зависимостей 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 сигнальными лампочками измерителя мощностей. Недопустимы измерения при засвечивании красных лампочек. При красном сигнале следует переходить на другой приборный диапазон – по току или напряжению, учитывая изменение цепи деления шкалы мощностей.

По окончании экспериментов отключить питание модели и индивидуальное питание измерительных модулей.

Табл. 3.2 Результаты измерений

Линия: $R+RL = \text{Ом}$; $L = \text{Гн}$; $C/2 = 0,18 \text{ мкФ}$

$L_H, \%$						Примечание
$P_2, \text{Вт}$						Постоянная
$Q_2, \text{ВАр}$						Задается
$U_2, \text{В}$						
$\dot{S}_2, \text{ВА}$						$P_2 + jQ_2$
$\cos \varphi_2$						P_2 / S_2
$P_1, \text{Вт}$						
$Q_1, \text{ВАр}$						
$U_1, \text{В}$						
$\dot{S}_1, \text{ВА}$						$P_1 + jQ_1$
$S_1, \text{ВА}$						
$\cos \varphi_1$						P_1 / S_1
$\Delta P_{\text{л}}, \text{Вт}$						
$\Delta Q_{\text{л}}, \text{ВАр}$						
к.п.д., %						P_2 / P_1

4. Методические указания

4.1. График зависимостей 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

координат на горизонтальной оси, лучше начинать со значения, близкого к минимальному, например, так: 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0.

Следует изобразить три оси ординат – так же с равномерными рядами значений вольт, Вт (ВА) и $\cos \varphi_1$.

4.2. Векторная диаграмма мощностей

Диаграмма мощностей начала передачи должна быть изображением векторов $\dot{S}'_1 = P'_1 + jQ'_1$ и $S''_2 = P''_2 + jQ''_2$, соответствующих максимальному и минимальному значениям $\cos \varphi_1$. Надо учесть, что активная компонента векторов совпадает с осью действительных, а реактивная имеет индуктивный характер.

Рекомендуемый масштаб векторов – 0,2 Вт/мм.

Наглядность векторной диаграммы сразу подводит к выводам об условиях, в которые попадает генератор, когда нагрузка «принуждает» его работать с низким $\cos \varphi_1$.

4.3. Расчёт потерь мощности по П-образной схеме замещения ЛЭП.

Расчёты передачи по П-образной схеме замещения выполняются для сетей районного значения – с напряжениями 110-220 кВ и выше.

Рассмотрим, обращаясь к обозначениям схемы замещения ЛЭП на рис. 2.2, краткое обоснование ряда расчётных формул.

А. Известны данные $\dot{S}_{1\phi}$ и $U_{1\phi}$ начала передачи.

Потери активной и реактивной мощности в одной фазе линии

$$\Delta P_{\phi} = R I_{зв}^2, \quad \Delta Q_{\phi} = X I_{зв}^2,$$

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

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

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

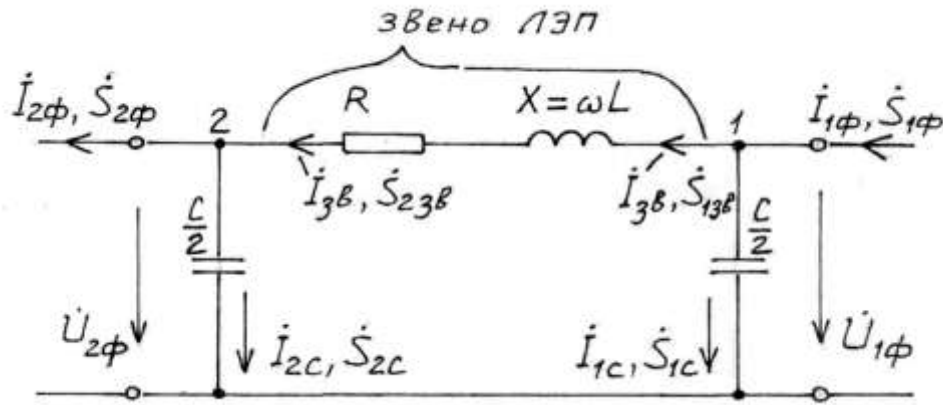


Рис. 2.2. П-образная схема замещения ЛЭП

В этих формулах $S_{13\phi}$ – полная мощность, поступающая на вход звена линии. Её выражение находим, по закону Кирхгофа. Для узла 1:

$$\dot{I}_{1\phi} = \dot{I}_{3\phi} + \dot{I}_{1c}$$

Умножая это уравнение на напряжение $\dot{U}_{1\phi}$ того же узла 1, имеем:

$$\dot{U}_{1\phi}^* \dot{I}_{1\phi} = \dot{U}_{1\phi}^* \dot{I}_{3\phi} + \dot{U}_{1\phi}^* \dot{I}_{1c}$$

т.е.

$$\dot{S}_{1\phi} = \dot{S}_{13\phi} + \dot{S}_{1c} \quad (2)$$

Зарядная мощность $\dot{S}_{1c}$ пропорциональна проводимости $\omega C/2$:

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

Следовательно,

$$\dot{S}_{13\phi} = \dot{S}_{1\phi} - \dot{S}_{1c} = P_{1\phi} + j(Q_{1\phi} + \omega \frac{C}{2} U_{1\phi}^2),$$

и полная мощность в (1)

$$S_{13\phi} = \sqrt{P_{1\phi}^2 + (Q_{1\phi} + \omega \frac{C}{2} U_{1\phi}^2)^2}$$

Замечаем: уравнение (2) по структуре не отличается от уравнения Кирхгофа для токов. Следовательно направление токов на схеме рис. 2 является также положительными направлениями потока мощности. Тогда уравнения для мощностей можно записывать сразу, - так, как будто существует узловой закон Кирхгофа для потоков мощностей.

Для перехода к трёхфазным мощностям и линейному напряжению достаточно выражение (1) умножить на три:

$$\Delta P = 3\Delta P_{\phi} = 3\left(\frac{S_{13\phi}}{U_{1\phi}}\right)^2 R = 3\left(\frac{S_{13\phi}}{U_1/\sqrt{3}}\right)^2 R,$$

т.е.

$$\Delta P = \frac{(3S_{13\phi})}{U_1^2} R \quad \text{и} \quad \Delta Q = \frac{(3S_{13\phi})}{U_1^2} X$$

В этих формулах

$$3S_{13\phi} = 3\sqrt{P_{1\phi}^2 + (Q_{1\phi} + \omega \frac{C}{2} U_{1\phi}^2)^2} = \sqrt{P_1^2 + (Q_1 + \omega \frac{C}{2} U_1^2)^2}$$

Б. Известны данные $\dot{S}_{2\phi}$ и $U_{2\phi}$ конца передачи.

Потери в одной фазе линии

$$\Delta P_{\phi} = R I_{3\phi}^2 = \left(\frac{S_{23\phi}}{U_{2\phi}}\right)^2 R \quad (3)$$

$$\Delta Q_{\phi} = X I_{3\phi}^2 = \left(\frac{S_{23\phi}}{U_{2\phi}}\right)^2 X$$

Согласно положительным направлениям мощностей «втекающих» в узел 2 приемного конца схемы замещения

$$\dot{S}_{23\phi} = \dot{S}_{2\phi} + \dot{S}_{2c}$$

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

$$\dot{S}_{23\phi} = P_{2\phi} + jQ_{2\phi} + (-j\omega \frac{C}{2} U_{2\phi}^2) = P_{2\phi} + j(Q_{2\phi} - \omega \frac{C}{2} U_{2\phi}^2)$$

и полная мощность, которую следует подставить в (3)

$$S_{23\phi} = \sqrt{P_{2\phi}^2 + (Q_{2\phi} - \omega \frac{C}{2} U_{2\phi}^2)^2}$$

Формулы трёхфазных потерь мощности для симметричного режима получаем умножением на (3) на три

$$\Delta P = \frac{(3S_{23\phi})^2}{U_2^2} R; \quad \Delta Q = \frac{(3S_{23\phi})^2}{U_2^2} X$$

Здесь $U_2 = \sqrt{3}U_{2\phi}$ - линейное напряжение в конце передачи;

$$3S_{23\phi} = \sqrt{P_2^2 + (Q_2 - \omega \frac{C}{2} U_2^2)^2}$$

5. Вопросы для самопроверки

1. Что включает информация, которую представляет 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 с нагрузками?
3. Объясните зависимости потерь мощности и напряжения в ЛЭП от $\cos\varphi$ нагрузок.
4. Положим, источник питания работает с неизменным напряжением, а $\cos\varphi$ нагрузки возрастает.
5. Приведите физическое объяснение изменений в следующей цепи зависимостей: реактивная мощность - ток линии - потери при передаче - напряжение нагрузки - полезная мощность нагрузки.
6. Как выполняется в лабораторной работе «замена» нагрузок с постоянной потребляемой активной мощностью, но с разными значениями $\cos\varphi$?
7. Почему в лабораторной работе с изменением $\cos\varphi$ меняется напряжение и коэффициент мощности источника питания?
8. Работающий генератор регулируется так, чтобы при измененном напряжении полная мощность S , отдаваемая им в сеть, не превосходила допустимого для него значения $S_{ном}$. Почему следует говорить, что при низком $\cos\varphi$ потребителей даже при $S \approx S_{ном}$ генератор используется не эффективно?
9. Поясните применение П-образной схемы замещения для обоснования схемы замещения для обоснования формул расчёта потерь мощности в ЛЭП.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Исследование электрической сети с односторонним питанием

Введение

Сети с односторонним питанием («разомкнутые сети») в электроэнергетике составляют наиболее многочисленную категорию. Такие сети в большинстве относятся к сетям местного значения, подающим электроэнергию потребителям на расстояния до 20-30 км при напряжении 6, 10 и 35 кВ.

В проектировании и практическом устройстве любой сети во всем множестве решаемых технико-экономических и иных инженерных задач все принципиальные решения сопряжены с электрическими расчетами сети. Электрические расчеты имеют большое значение, так как в реальных сетях из-за неизбежных изменений нагрузок происходит непрерывный процесс перераспределения потоков мощности, изменения напряжений и мощности, потребляемой всеми нагрузками. При этом всегда необходимо определять предельно допустимые значения и соответствующие технические меры.

В теме настоящей лабораторной работы уделяется внимание следующим вопросам анализа режимов:

- распределение в сети потоков мощности;
- потери мощности в линиях;
- потери и падения напряжения на участках сети;
- расчеты режимов по данным начала передачи.

В качестве предмета исследования в работе используется натурная модель фазы сети с односторонним питанием. Моделью каждого участка является упрощенный четырехполюсник схемы замещения линии местной сети, где поперечная проводимость, обусловленная несовершенством изоляции и ёмкостью линий, незначительна и не учитывается.

В экспериментальной части работы студенты получают определенные знания о поведении сети как инженерного объекта. При обработке данных эксперимента студенты применяют, а следовательно углубляют и закрепляют знание методов расчета.

Итогом работы является отчет, выполненный в соответствии с приведенными здесь указаниями.

1. Цели и содержание работы

Целями работы являются:

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

В эксперименте составляется натуральная модель работы одной фазы простой разветвленной сети с односторонним питанием. На модели проводится исследования потокораспределения и режима напряжений в узловых точках сети при изменении режима питающего источника и распределения нагрузок.

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 задачей определения 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. Изменяя напряжение питания сети, выполнить измерения распределений в сети мощности и напряжения. Данные измерения внести таблицу по форме табл. 3.2

Б. Провести измерения режимов сети при изменении нагрузки одной из линий. Данные опытов вносятся в таблицу, подготовленную по форме табл. 3.3.

2.5. По опытным данным каждой графы табл. 3.2 рассчитать потокораспределение (т.е. линейные мощности S_1 , S_2 , S_3 и S_4) без учета потерь. Построить совмещенный график зависимостей полных линейных мощностей от напряжения питания сети U_a .

Привести так же опытную кривую $S_1(U_a)$, объяснить ее отличие от соответствующей расчетной кривой.

2.6. По опытным данным индивидуального варианта графы в табл. 3.2 выполнить «уточненный» расчет потокораспределения и расчет напряжений всех узловых точек сети (см. п.4 «Методические указания»). Результаты расчетов объединить в таблице по форме табл. 4.1.

2.7. По опытным данным табл. 3.3. построить в зависимости от мощности изменяемой нагрузки график напряжений и мощностей нагрузок других линий и мощности S_1 , поступающей в сеть. Определить выводы о влиянии в сети колебаний одной из нагрузок.

3. Указания по работе в лаборатории

3.1. Перечень используемых блоков-модулей

Таблица 3.1. Перечень используемых блоков-модулей

Наименование	Тип	Кол- во	Параметры
1	2	3	4
1. Трехфазный источник питания	201.2	1	400В~; 10А
2. Трехфазная трансформаторная группа	347.1	1	230В~; 3х80ВА
3. Модель линии электропередачи	313.2	3	-
4. Активная нагрузка	306.1	2	220/380В~; 3х0...50 Вт
5. Индуктивная нагрузка	324.2	1	220/380В~; 3х0...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

Схема соединений натурной модели к лабораторной работе представлена на рис. 3.1, б.

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

Моделью каждого участка (линии) служит один из четырёхполюсников модулей 313.2: для линий Л1 и Л3 используются отдельные модули, для участков Л2 и Л4 – общий блок.

Для составления нагрузок Z_c , Z_d и Z_f применяются два блока активных сопротивлений (306.1) и один блок индуктивных сопротивлений (324.2).

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

Для измерения напряжений используются мультиметры модуля 508.2.

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

К блокам мультиметров и измерителя мощностей подводится отдельное питание.

3.3. Проведение экспериментов

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

Убедиться, что основной (трёхфазный) источник питания модели (блок 201.2) и блоки измерительных приборов, требующие индивидуального питания, отключены от сети лаборатории.

Соединить гнёзда защитного заземления используемых модулей с гнездом «РЕ» основного источника питания.

Выполнить электрические соединения натурной модели по схеме рис. 3.1, б.

Установить следующие параметры линий:

Л1: $R+R_L=58 \text{ Ом}$; $L=0,3 \text{ Гн}$; $C/2=0$;

Л2: $R+R_L=58 \text{ Ом}$; $L=0,3 \text{ Гн}$; $C/2=0$;

Л3: $R+R_L=58 \text{ Ом}$; $L=0,3 \text{ Гн}$; $C/2=0$;

Л4: $R+R_L=66 \text{ Ом}$; $L=0,6 \text{ Гн}$; $C/2=0$.

Параметры нагрузок:

$R_c - 50 \%$; $R_d - 100\%$; $R_f - 50\%$; $L_c - 50\%$; $L_f - 50\%$.

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

Работать по п. 2.4. «Задания».

Включить питание модели. Установить переключатель трансформаторной группы (347.1) в положение «242», что соответствует максимальному напряжению питания сети U_a .

Провести измерения режимов сети при изменении U_a , меняя позиции переключателя в соответствии с задающей первой строкой табл. 3.2.

Работать по п. 2.5. «Задания».

Установить переключатель трансформаторной группы в положение «220». Изменяя активное сопротивление нагрузки линии Л4 (в точке «С»), при неизменных значениях всех прочих параметров сети – провести измерения режимов в соответствии с задающей первой строкой табл. 3.3.

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

Таблица 3.2. Измерения распределений мощности и напряжения

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

Таблица 3.3 Измерения режимов сети при изменении нагрузки одной из линий

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

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 потокораспределения соответствует первому этапу электрических расчётов: выполняется без учета

потерь в участках. При этом полная мощность в каждом из участков сети получается суммированием значений мощности всех нагрузок, которые питаются по данному участку.

Задание по п. 2.6 исходит из того положения, что в местных сетях в большинстве случаев заданным является напряжение передающего конца. Поэтому приведённая ниже система расчётных операций уточнённого расчета мощностей и напряжений, который следует выполнить по данным индивидуальной графы табл. 3.2, соответствует расчёту от передающего конца сети к её приемным концам, т.е. – по данным начала каждого из участков.

Надо иметь ввиду, что все измеренные и рассчитанные величины в работе – фазные. С целью упрощения записей можно рекомендовать приписывать обозначению каждой величины только «индексы места»: первый индекс – номер линии или буквенное обозначение узловой точки сети; второй индекс «н» или «к» - обозначение начала или конца участка.

$$\dot{S}_{1н}, \dot{U}_{1н} = U_a \Rightarrow \Delta P_1, \Delta Q_1, \dot{S}_{1к}; \Delta U_1, U_{1к} = U_a;$$

$$\dot{S}_{4н}, \dot{U}_{4н} = U_c \Rightarrow \Delta P_4, \Delta Q_4, \dot{S}_{4к} = \dot{S}_c; \Delta U_4, U_{4к} = U_c;$$

$$\dot{S}_{2н} = \dot{S}_{1к} - \dot{S}_{4н}, \dot{U}_{2н} = U_c \Rightarrow \Delta P_2, \Delta Q_2, \dot{S}_{2к}; \Delta U_2, U_{2к} = U_d;$$

$$\dot{S}_{3н} = \dot{S}_{2к} - \dot{S}_d, \dot{U}_{3н} = U_d \Rightarrow \Delta P_3, \Delta Q_3, \dot{S}_{3к} = \dot{S}_f; \Delta U_3, U_{3к} = U_f;$$

Из результатов измерений в расчёт вводятся значения $\dot{S}_{1н}, U_{1н}, \dot{S}_{4н}$ и S_d .

Результаты расчетов следует объединить в таблице 4.1.

Таблица 4.1. Результаты расчетов

	Л1	Л4	Л2	Л3
$P_n + jQ_n, (BA)$				
U_n, B				
$\Delta P, Bт$				
$\Delta Q, Bap$				
$P_k + jQ_k, (BA)$				
$\Delta U, B$				
U_k, B				
Измеренные значения		$\dot{S}_c = S_{4к} =$ $U_c = U_{4к} =$		$\dot{S}_f = S_{34к} =$ $U_f = U_{3к} =$

4.2. Рабочие формулы

Здесь приводится краткое обоснование необходимых расчетных формул.

Основные допущения:

1. Исследуемая в работе электрическая цепь является моделью одной фазы сетей местных, в которых зарядная мощность и утечка сквозь изоляцию участков незначительны и по этому в схеме замещения участка и в соответствующих формулах не учитываются.

2. В ходе работы необходим строгий порядок в обозначениях. Допускается, как выше отмечено, индекс фазы «ф» опустить, приписывая символам величин 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

$$I_a = \frac{P_{нф}}{U_{нф}}; I_p = \frac{Q_{нф}}{U_{нф}} \quad (2)$$

С подстановками получаем:

$$\Delta P_{\phi} = \frac{P_{нф}^2 + Q_{нф}^2}{U_{нф}^2} R \quad (3)$$

Потери реактивной мощности находим аналогичным преобразованием формулы $\Delta Q_{\phi} = I^2 X$:

$$\Delta Q_{\phi} = \frac{P_{нф}^2 + Q_{нф}^2}{U_{нф}^2} X \quad (4)$$

Фазная мощность в конце передачи получается с учетом потерь:

$$\dot{S}_{кф} = \dot{S}_{нф} + \Delta \dot{S}_{\phi} = (P_{нф} + \Delta P_{\phi}) + j(Q_{нф} + \Delta Q_{\phi}) \quad (5)$$

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

Четырехполюсник схемы замещения и диаграмма его режима при типично активно-индуктивной нагрузке приведена на рис. 3.2.

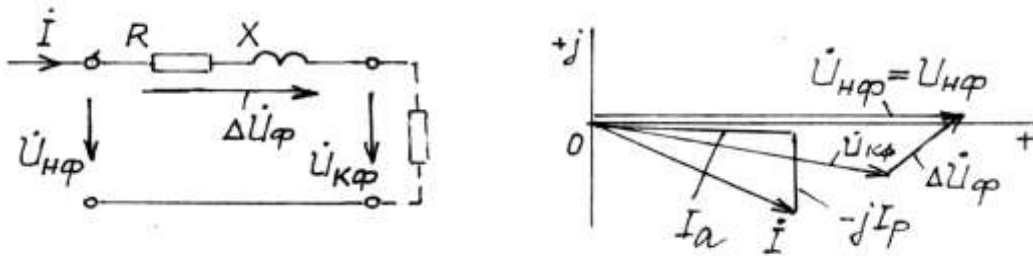


Рис. 3.2. Четырехполюсник схемы замещения и диаграмма его режима при активно-индуктивной нагрузке.

Согласно указанным обозначениям:

$$-\dot{U}_{нф} + \Delta\dot{U}_{\phi} + \dot{U}_{κф} = 0$$

Где $\Delta\dot{U}_{\phi} = (R + jX)I$ - падение напряжения на фазе линии.

Отсюда

$$U_{κф} = U_{нф} - (R + jX)I \quad (6)$$

Если вектор $\dot{U}_{нф}$ направить вдоль от действительных (т.е. будет $\dot{U}_{нф} = U_{нф} e^{j0} = U_{нф1}$ - (рис. 3.2, б), то при нагрузке с индуктивностью отстающий по фазе ток $\dot{I} = I_a - jI_p$, а напряжение конца линии

$$\dot{U}_{κф} = U_{нф} - (R + jX)(I_a - jI_p)$$

Перемножив здесь комплексы в скобках и выразив составляющие I_a и I_p через мощности и напряжения начала линии, приходим к формуле:

$$\dot{U}_{κф} = U_{нф} - \frac{P_{нф} R + Q_{нф} X}{U_{нф}} - j \frac{P_{нф} X - Q_{нф} R}{U_{нф}} \quad (7)$$

Используются обозначения:

$$\frac{P_{нф} R + Q_{нф} X}{U_{нф}} = \Delta U_{np}; \quad \frac{P_{нф} X - Q_{нф} R}{U_{нф}} = \delta U_{nn}$$

Имеем

$$\dot{U}_{κф} = U_{нф} - (\Delta U_{np} + j\delta U_{nn}), \quad (8)$$

Где $\Delta U_{np} + j\delta U_{nn} = \Delta\dot{U}_{\phi}$ - сравниваем с (6). Из сравнения видно, что ΔU_{np} и $j\delta U_{nn}$ не совпадают по фазе с RI и jXI , т.е. $\Delta U_{np} \neq RI$, $\delta U_{nn} \neq XI$. Значит, ΔU_{np} и $j\delta U_{nn}$ - особые составляющие вектора падения напряжения $\Delta\dot{U}_{\phi}$: вектор ΔU_{np} располагается вдоль вектора

$\dot{U}_{нф}$, называется продольной составляющей; вектор $j\delta U_{нп}$ нормален к вектору $\dot{U}_{нф}$ - поперечная составляющая. Не следует путать их с активной и реактивной составляющими вектора $\Delta \dot{U}_{\phi}$ - см. векторную диаграмму на рис. 3.3.

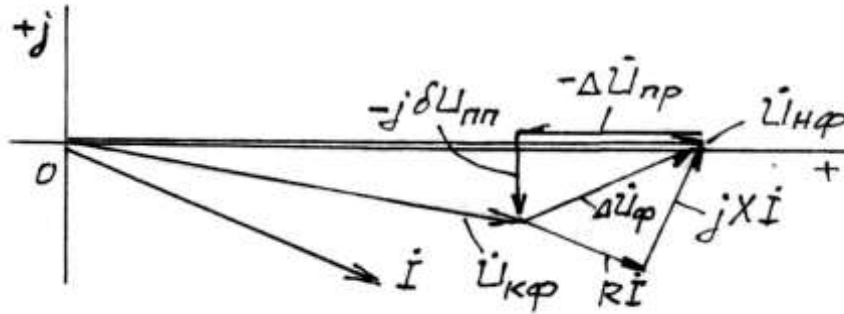


Рис. 3.3. Векторная диаграмма.

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:

$$U_{кф} = U_{нф} - \Delta U_{нп} \quad (9)$$

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

$$\Delta U_{\phi} = \frac{P_{нф} R + Q_{нф} X}{U_{нф}} \quad (10)$$

$$U_{кф} = U_{нф} - \Delta U_{\phi}$$

Потерю напряжения по пути от источника питания через несколько участков сети определяется как

$$\Delta U_{\phi} = \sum \frac{P_{нф}^{(i)} R_i + Q_{нф}^{(i)} X_i}{U_{нф}^{(i)}} \quad (11)$$

где «i» - номер участка.

Важно отметить, что в формулах (3), (4), (10) и (11) и мощности, и напряжения относятся к началу участка, т.е. формулы отвечают требованию точного расчёта: мощность и напряжение должны быть взяты в одной и той же точке сети.

В случаях, когда напряжение на концах участка неизвестны, расчёты можно проводить с достаточной для практики точностью по номинальному напряжению.

Формулы потерь ΔP и ΔQ трёхфазной мощности и линейная трехфазная мощность в конце участка получаются умножением (3), (4) и (5) на три:

$$\Delta P = 3 \cdot \Delta P_{\phi} = 3 \cdot \frac{P_{\text{нф}}^2 + Q_{\text{нф}}^2}{U_{\text{нф}}^2} \cdot R \cdot \frac{3}{3} = \frac{(3P_{\text{нф}})^2 + (3Q_{\text{нф}})^2}{(\sqrt{3}U_{\text{нф}})^2} \cdot R = \frac{P_{\text{н}}^2 + Q_{\text{н}}^2}{U_{\text{н}}^2} \cdot R ;$$

$$\Delta Q = \frac{P_{\text{н}}^2 + Q_{\text{н}}^2}{U_{\text{н}}^2} \cdot X ; \dot{S}_{\kappa} = (P_{\text{н}} + \Delta P) + j(Q_{\text{н}} + \Delta Q) ;$$

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

$$\Delta U = \sqrt{3} \frac{P_{\text{нф}} R + Q_{\text{нф}} X}{U_{\text{нф}}} \cdot \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3}} = \frac{(3P_{\text{нф}}) R + (3Q_{\text{нф}}) X}{\sqrt{3}U_{\text{нф}}} = \frac{P_{\text{н}} R + Q_{\text{н}} X}{U_{\text{н}}} ;$$

$$U_{\kappa} = \sqrt{3}U_{\text{нф}} = \sqrt{3}U_{\text{нф}} - \sqrt{3}\Delta U_{\phi} = U_{\text{н}} - \Delta U ;$$

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. В какие рабочие формулы включаются результаты предварительного расчета потокораспределения?
6. Поясните условия, допускающие применение в расчетах номинального напряжения вместо действительных?
7. Какова лабораторная модель схемы замещения участка сети? Какой реальной сети она соответствует?
8. Что составляет содержание «точного» электрического расчета сети с односторонним питанием?

9. Почему при точных расчетах режимов ВЛ напряжения и мощности для подстановок следует взять в одной и той же точке сети?
10. В анализе и расчетах напряжения рассматривается пара активной и реактивной составляющих падения напряжения в ВЛ и пара продольной и поперечной составляющих того же падения напряжения. Объяснить различие между ними по векторной диаграмме ВЛ.
11. Как зависит режим нагрузок сети при увеличении или уменьшении потребляемой мощности одной из них?
12. Дайте объяснение порядка расчета режима мощностей и напряжений заданной схемы сети.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ 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. Д.Л. Файбисовича. – М.: НЦ ЭНАС, 2005.