



Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Электроснабжение»

А. В. Сычев, Д. И. Зализный

**ОСНОВЫ СИСТЕМ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
по одноименной дисциплине
для студентов специальностей
1-43 01 03 «Электроснабжение»
и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация
энергооборудования организаций»
дневной и заочной форм обучения**

Электронный аналог печатного издания

Гомель 2008

УДК 658.5:621.3(075.8)
ББК 30.2-5-05я73
С95

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 3 от 12.02.2007 г.)*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. каф. «Информационные технологии»
ГГТУ им. П. О. Сухого *В. И. Токочаков*

Сычев, А. В.

С95 Основы систем автоматизированного проектирования в энергетике : лаб. практикум по одному. дисциплине для студентов специальностей 1-43 01 03 «Электроснабжение» и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» днев. и заоч. форм обучения / А. В. Сычев, Д. И. Зализный. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2008. – 83 с.– Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://gstu.local/lib>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-420-673-8.

Изложены краткие теоретические сведения, необходимые для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Основы систем автоматизированного проектирования в энергетике». Приведены практические задания и порядок их выполнения в системе AutoCAD-2004, промышленные программы MUSTANG для расчета режимов электрических сетей и токов короткого замыкания ТКЗ-3000.

Для студентов специальностей 1-43 01 03 «Электроснабжение» и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» дневной и заочной форм обучения.

УДК 658.5:621.3(075.8)
ББК 30.2-5-05я73

ISBN 978-985-420-673-8

© Сычев А. В., Зализный Д. И., 2008
© Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», 2008

ВВЕДЕНИЕ

Объектом изучения дисциплины «Основы систем автоматизированного проектирования в энергетике» являются программные средства систем автоматизированного проектирования (САПР), специализированные пакеты прикладных программ и программы выполнения математических расчетов, позволяющие автоматизировать выполнение различных этапов проектирования электротехнических задач применительно к электроэнергетике – от выполнения электрических схем до выполнения расчетов режимов электрических сетей. В данном курсе изучаются возможности пакета AutoCAD и его использование для выполнения чертежей и электрических схем, а также специализированные пакеты расчетов установившихся и переходных режимов электрических систем MUSTANG и TKZ-3000. Для изучения теоретических основ расчетов режимов электрических сетей и моделирования их работы используется пакет MСAD.

В настоящем лабораторном практикуме приведены десять лабораторных работ, семь из которых отведены для изучения работы в пакете AutoCAD и три работы – для изучения методов моделирования электрических сетей, расчетов установившихся режимов и токов короткого замыкания.

Для успешного выполнения лабораторных работ из настоящего практикума необходимы знания по дисциплинам «Инженерная графика», «Электрические системы и сети», «Математические задачи энергетики», «Электромагнитные переходные процессы».

При выполнении чертежей AutoCAD рекомендуется использовать размер рабочего поля формата А4 (210 × 297), шаг координатной сетки 10 мм и шаг перемещения курсора 5 мм.

По каждой выполненной лабораторной работе студентом оформляется отчет. Отчеты по лабораторным работам № 1–7, связанным с изучением AutoCAD, должны содержать титульный лист, название и цель работы, краткие теоретические сведения по изучаемому в данной лабораторной работе материалу, распечатку результатов работы. Содержание отчетов по лабораторным работам № 8–10 приведено в конце этих работ. При сдаче лабораторной работы студент должен пояснить порядок выполнения работы, выполнить тестовое практическое задание и ответить на контрольные вопросы, которые приведены в каждой лабораторной работе.

Лабораторная работа № 1

ОСНОВЫ РАБОТЫ С ГРАФИЧЕСКИМ РЕДАКТОРОМ AutoCAD

Цель работы: изучение основных принципов работы в системе AutoCAD и приобретение практических навыков управления ее работой, ввода простейших команд, настройки рабочей среды и вывода документов на печать.

Краткие теоретические сведения

Система AutoCAD разработана американской фирмой Autodesk в начале 80-х гг. для автоматизации труда конструкторов и чертежников в части рисования на листе бумаги и была первоначально ориентирована на существовавшие в то время персональные компьютеры (PC XT, PC AT без сопроцессора и т. п.). Первые варианты системы содержали в основном инструменты для простого двумерного рисования, которые постепенно, от версии к версии, дополнялись и развивались. В результате AutoCAD стал очень удобным «электронным кульманом» с возможностями моделирования в трехмерном пространстве. Большим преимуществом такого средства рисования является возможность формирования электронного архива чертежей. Каждый из созданных в системе AutoCAD чертежей легко редактируется, что позволяет быстро разрабатывать чертежи-аналоги по чертежам-прототипам. Для облегчения процесса выпуска чертежной документации можно разрабатывать «библиотеки стандартных элементов» и создавать на базе AutoCAD системы локальных рабочих мест по различным конструкторским, архитектурным и другим направлениям, а также для разработки новых специализированных систем.

Создание рисунка выполняется в рабочем окне программы, которое содержит следующие основные элементы:

Строка меню с заголовками падающих меню.

Строка состояния, в которой отображаются координаты перекрестия курсора и состояние режимов рисования.

Графическое окно, в котором отображается рисунок AutoCAD и ведутся все операции по его редактированию.

Окно команд – служит для ведения диалога с пользователем и вывода сообщений АСAD при выполнении команд, которые пользователь указывает в *командной строке*.

Панели инструментов – содержат наборы различных видов команд AutoCAD, представленных в виде пиктограмм.

Ввод команд AutoCAD может производиться любым из следующих способов: выбором пункта меню, щелчком на пиктограмме панели инструментов, вводом имени команды с клавиатуры.

Для ввода команды с клавиатуры следует ввести полное имя команды в командной строке, затем нажать клавишу ENTER или ПРОБЕЛ либо щелкнуть правой кнопкой устройства указания (мыши).

Большинство команд в ходе выполнения требует от пользователя задания различных режимов их работы – *опций*. Ввод опций для некоторых команд производится в командной строке или в специальных *диалоговых окнах*. Для задания опции в командной строке достаточно напечатать хотя бы часть ее, выделенную заглавными буквами, после чего необходимо нажать клавишу ENTER.

Для *повторного вызова* последней команды следует нажать либо ENTER, либо ПРОБЕЛ, либо кнопку ввода устройства указания (правая клавиша мыши).

Для *прерывания* команд используется клавиша ESC или комбинация клавиш CTRL+C.

В AutoCAD имеется возможность отмены действия последней или нескольких последних команд. Отмена одной команды производится командой **O**. Повторное выполнение операций, отмененных командами **O** и **ОТМЕНИТЬ**, возможно с помощью команды **ВЕРНУТЬ**, которая должна вызываться сразу же после отмены.

Выполнение любого рисунка или чертежа всегда производится при некоторых ранее установленных *параметрах рабочей среды* и единицах измерения. При открытии имеющегося рисунка все системные настройки рабочей среды принимают значения, которые они имели в ходе последнего сеанса работы с ним. То же происходит и при настройке рабочей среды *по шаблону*.

Если же рисунок начинается вновь, пользователю следует задать ряд параметров рабочей среды и режимов работы (рабочих установок), к которым относятся следующие:

Единицы измерения – задают систему мер при построении и редактировании объектов (футы и дюймы, миллиметры, мили и т. п.).

Сетка координатная – выводится на экран для удобства ориентации в текущих единицах и представляет собой набор точек, расположенных на заданном расстоянии друг от друга. Это, в частности, предохраняет от грубых ошибок рисования в случаях частой смены экранного увеличения рисунка.

Лимиты чертежа – указывают, какая часть графической области AutoCAD предназначена для рисования. Сетка изображается только в пределах лимитов. Кроме того, лимиты воздействуют на некоторые из операций по изменению видимой части рисунка.

Шаговая привязка (дискретное перемещение курсора) позволяет производить точное указание координат. Величина шага не обязательно должна равняться расстоянию между узлами сетки: при интервале сетки, равном 4 мм, можно установить шаг 1 мм.

Объектная привязка курсора позволяет привязывать курсор к характерным точкам уже имеющихся объектов на рабочем пространстве чертежа (центры кругов, середины отрезков, места пересечения линий и др.). Объектная привязка устанавливается с помощью пункта меню СЕРВИС / РЕЖИМЫ РИСОВАНИЯ.

AutoCAD позволяет менять установки и в ходе сеанса, если в этом возникает необходимость. Для этого используют следующие команды: **ЕДИНИЦЫ, ШАГ, СЕТКА, ЛИМИТЫ.**

Установленный набор параметров сеанса можно сделать доступным и в последующих вновь создаваемых рисунках. Для этого следует сохранить рисунок как шаблон. *Шаблон* обычно представляет собой рисунок, не содержащий никаких графических объектов и используемый только для хранения стандартных значений системных переменных.

В AutoCAD имеются так называемые *Мастера* – служебные средства для создания нового рисунка. С их помощью можно, используя за основу текущий шаблон, модифицировать некоторые из базовых установок.

Мастер вызывается из диалогового окна «Начало работы» позволяет выполнить *быструю* или *детальную* подготовку рабочей среды.

Мастер быстрой подготовки позволяет задать для нового рисунка тип единиц измерения и длину и ширину области рисования – *лимиты*.

Мастер детальной подготовки позволяет задать для нового рисунка тип линейных и угловых единиц измерения, точность из измерения, способ измерения углов (направление нулевого угла и направление отсчета), размеры области черчения.

Порядок выполнения работы

1. Запустите AutoCAD в режиме «Без шаблона».
2. С помощью команды **СЕТКА** установите шаг координатной сетки 5 мм. С помощью клавиши F7 выполните включение/отключение сетки в графическом окне.
3. С помощью команды **ЛИМИТЫ** задайте область черчения размером 420 × 300 мм. Переустановите лимиты в диалоговом окне с помощью меню **ФОРМАТ / ЛИМИТЫ** до размера 210 × 300 мм.
4. С помощью команды **ШАГ** задайте шаг перемещения курсора 5 мм. Убедитесь, что курсор перемещается по области черчения с заданным шагом и попадает в узлы координатной сетки. С помощью клавиши F9 выполните включение/отключение шага. При отключенном шаге проверьте, как курсор перемещается по чертежу.
5. Задайте параметры шага 5 мм и сетки 10 мм, используя меню **СЕРВИС / РЕЖИМЫ РИСОВАНИЯ**.
6. Командой **ОТРЕЗОК** создайте рамку по границам области черчения с отступом справа 20 мм и сверху, снизу и слева по 5мм. Координаты начал/окончаний отрезков фиксируйте на чертеже с помощью устройства указания, при этом режим **ШАГ** должен быть включен.
7. Используя раздел меню **РИСОВАНИЕ** или одноименную панель инструментов начертите в области черчения любые фигуры.
8. С помощью меню **ФАЙЛ / СОХРАНИТЬ КАК** сохраните чертеж на диске. В имени файла укажите фамилию и номер лабораторной работы, например, *Иванов-лр1*.
9. Используя меню **ФАЙЛ / ПЕЧАТЬ** выведите чертеж на принтер предварительно выполнив настройки параметров печати в диалоговом окне:
Печатаемая область – Лимиты.
Масштаб печати – 1 мм чертежа = 1 единица рисунка.
Смещение от начала – по оси $X = 0$, по оси $Y = 0$.
Ориентация чертежа – альбомная.

Перед выводом на печать нажмите кнопку «*Полный просмотр чертежа*» и убедитесь, что ваш чертеж попадает в область печати и все настройки выполнены корректно.

10. Запустите AutoCAD в режиме «Открытие рисунка», для загрузки выберите любой dwg-файл, имеющийся на диске (место размещения файлов-чертежей указывается преподавателем).

11. Используя команду **ПОКАЗАТЬ** и ее опции выполните масштабирование чертежа.

12. Используя меню ФАЙЛ / СОЗДАТЬ, настройте рабочую среду для нового файла с помощью мастера детальной настройки (по заданию преподавателя).

Контрольные вопросы

1. Каково назначение пакета AutoCAD?
2. Как организован интерфейс AutoCAD для работы с пользователем?
3. Какие основные элементы управления содержит рабочее окно AutoCAD?
4. Какие способы ввода команд предусмотрены в AutoCAD?
5. Что понимается под параметрами рабочей среды AutoCAD, как они устанавливаются и как управляются в процессе работы?
6. Для чего используют мастера настройки рабочей среды AutoCAD, чем отличаются мастер быстрой и детальной настройки?
7. Как в AutoCAD осуществляется управление масштабом отображения чертежа?

Лабораторная работа № 2

ПОСТРОЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ В AutoCAD

Цель работы: изучение команд построения линейных графических примитивов в системе AutoCAD и приобретение практических навыков их использования для выполнения чертежей и схем.

Краткие теоретические сведения

Выполнение построения любого чертежа или схемы предполагает использование набора линейных и нелинейных примитивов, с помощью которых строятся более сложные фигуры. Любая команда построения какого-либо объекта требует указания опорных точек построения. При работе в двумерном пространстве в системе AutoCAD задание точек производится в плоскости построений XU , подобной листу бумаги в клетку. Координата X определяет расстояние от начала координат по горизонтали, координата U – по вертикали. Началом координат $(0,0)$ считается точка пересечения координатных осей.

Двумерные координаты некоторой точки могут вводиться как в *декартовой* (прямоугольной), так и в *полярной* форме.

Декартовы координаты X и U характеризуют смещение точки от начала координат в положительном направлении по оси абсцисс X и оси ординат U . При вводе декартовы координаты разделяются запятой – X, U .

Полярные координаты R и α характеризуют длину отрезка R , соединяющего описываемую точку с началом координат и угол наклона этого отрезка к горизонтальной оси α . При вводе полярные координаты разделяются символом открывающей угловой скобки \langle . Например, для указания точки, находящейся на расстоянии 1 единица и под углом 45° , нужно ввести $\langle 1\langle 45$.

В обоих случаях координаты можно задавать либо в *абсолютном*, либо в *относительном* виде. **Абсолютные** координаты отсчитываются от начала координат $(0,0)$, **относительные** – от последней указанной точки (т. е. за начало координат принимается последняя указанная точка). Для указания координат в относительном виде перед координатами указывается символ $@$, например, декартовы координаты $@-4, 2$; полярные – $@1\langle 45$.

Линейные объекты состоят из линий, которые могут быть выполнены отрезками (одинокими или объединенными в ломаную линию) или полилиниями.

Команда **ОТРЕЗОК** выполняет построение одного или нескольких отрезков и имеет следующие опции:

Отменить – отменяет построение последнего сегмента.

Замкнуть – соединяет начало первого построенного отрезка с концом последнего.

Для рисования нового отрезка с началом в конечной точке последнего из нарисованных отрезков нужно вновь вызвать команду **ОТРЕЗОК** и в ответ на запрос указания первой точки нажать ENTER.

В [1, с. 33] приведен пример 2.2 построения треугольника с использованием команды **ОТРЕЗОК** и указанием координат вершин в декартовой и полярной системах.

Полилиния используется, если предполагается работа с набором линейных и дуговых сегментов как единым объектом. Причем различные сегменты могут иметь различную ширину (как по всей длине, так и в начале и конце каждого участка) и кривизну.

Команда **ПЛИНИЯ** имеет следующие опции:

Дуга – переключение в режим создания дуговых сегментов полилиний. Дуги описываются заданием *угла, центра, направления* или *радиуса* с помощью соответствующих подопций. Кроме того, дугу можно построить указанием второй и конечной точек (см. команду **ДУГА**). Переход в режим создания линейных сегментов выполняется опцией **ОТРЕЗОК**.

Замкни – создание замкнутых полилиний.

Полуширина – создание широких полилиний. Для каждого сегмента можно задать свое значение ширины; кроме того, сегменты могут сужаться или расширяться, если значения ширины в начальной и конечной точках различны. Опцией **Полуширина** можно задавать расстояние от осевой линии широкой полилинии до ее края.

Длина – задает длину сегмента.

ОТМени – отменяет ввод последнего сегмента.

Ширина – аналогично опции **Полуширина** можно задавать расстояние от осевой линии широкой полилинии до ее края.

В [1, с. 34] приведен пример 2.3 использования команды **ПЛИНИЯ** для построения указателя направления, состоящего из нескольких сегментов различной ширины.

Многоугольники представляют собой замкнутые полилинии с количеством сторон от 3 до 1 024 равной длины. С помощью многоугольников можно создавать квадраты, равносторонние треугольники, правильные восьмиугольники и т. д.

Для построения многоугольника используется команда **МН-УГОЛ**, которая запрашивает число сторон фигуры, а также дополнительные параметры в зависимости от выбранной опции построения:

Вписанный – радиус окружности, в которую вписан многоугольник.

Описанный – радиус окружности, вписанной в многоугольник.

Сторона – начало и конец одной из сторон многоугольника.

В [1, с. 35–36] приведены примеры 2.4–2.5 построения многоугольников различными способами.

Порядок выполнения работы

1. Запустите AutoCAD и выполните настройки рабочей среды.
2. В качестве упражнений по использованию команд **ОТРЕЗОК**, **ПЛИНИЯ** и **МН-УГОЛ** выполните задания из примеров 2.2–2.5, приведенных в [1]. При указании абсолютных координат точек для построения рекомендуется использовать манипулятор «мышь», относительные координаты удобнее задавать с клавиатуры. Результаты выполнения упражнений покажите преподавателю.
3. Создайте новый файл и выполните необходимые настройки рабочей среды.
4. Командой **ОТРЕЗОК** создайте рамку по границам области черчения с отступом слева 20 мм и сверху, снизу и справа по 5 мм.
5. С помощью команды **ТИПЛИН** загрузите 10 типов линий из набора, предлагаемого AutoCAD.
6. С помощью команды **ОТРЕЗОК** в соответствии с заданным вариантом (Приложение 1) начертите равносторонний треугольник, для которого заданы:
 - координаты одной из вершин X и Y ;
 - длина ребра L ;
 - угол поворота основания α .

7. Начертите 6 параллельных отрезков, имеющих различные цвета и типы линий. Координаты начала ($X1, Y1$) и конца первого отрезка ($X2, Y2$) выбираются в соответствии с вариантом (табл. П.1.1). Координаты отрезков по оси Y должны быть одинаковы, а по оси X изменены на $\Delta X = 10$ мм по отношению к предыдущему.

8. С помощью команды **ПЛИНИЯ** в свободной области черчения нарисуйте указатель направления из примера 2.3 [1], для которого все линейные размеры должны быть увеличены на номер варианта.

9. С помощью команды **МН-УГОЛ** постройте многоугольник, вершины одной из сторон которого совпадают с вершиной треугольника и серединой ребра. Число сторон многоугольника $n = 2 + N$ (N – последняя цифра номера варианта). Для указания вершин ребра многоугольника включите режим объектной привязки, с активизацией способов привязки «*середина*» и «*конточка*».

10. Используя команду **ПЛИНИЯ**, в любом свободном месте чертежа постройте условные обозначения резистора, силового выключателя и диода (рис. 2.1).

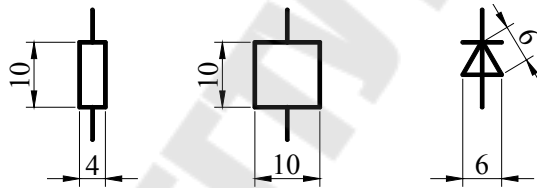


Рис. 2.1. Условные обозначения элементов электрических схем

11. С помощью панели инструментов «*Размеры*» проставьте все размеры (в том числе и угловые) на своем чертеже.

12. Выведите результаты работы на печать.

Контрольные вопросы

1. Какие системы координат поддерживаются в AutoCAD?
2. В чем отличие относительного и абсолютного способа указания координат, как записываются координаты в относительной и абсолютной форме?
3. Какие способы построения дуги имеются в AutoCAD?
4. Какие способы построения окружностей имеются в AutoCAD?
5. Для чего используют объектную привязку в AutoCAD и чем она отличается от шаговой?
6. Как проставить размеры в AutoCAD?

Лабораторная работа № 3

ПОСТРОЕНИЕ КРИВОЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ В AutoCAD

Цель работы: изучение команд построения криволинейных графических примитивов в системе AutoCAD и приобретение практических навыков их использования для выполнения чертежей и схем.

Краткие теоретические сведения

К криволинейным объектам относятся *дуги*, *круги*, *полилинии*, *кольца*, *эллипсы* и *сплайны*, которые можно вычертить с помощью одноименных команд.

КРУГ вычерчивается по заданным центру и радиусу (диаметру). Кроме того, AutoCAD позволяет использовать еще три дополнительных метода, которые определяются выбранной опцией:

3Т – по трем точкам, через которые проходит окружность;

2Т – по двум точкам, определяющим диаметр окружности;

ККР – по двум точкам касания других объектов и радиусу окружности.

Применение того или иного метода построения окружности обусловлено наличием данных по ее параметрам.

ДУГА строится с использованием различных сочетаний таких параметров, как центральная, начальная и конечная точки, радиус, центральный угол, длина и направление хорды.

Команда **ЭЛЛИПС** вычерчивает эллипсы и эллиптические дуги путем задания двух осей – *большой* (более длинная ось) и *малой* (короткая ось).

Команда **КОЛЬЦО** требует задать внутренний и внешний диаметры кольца, а также его центр. Команда позволяет построить любое количество колец, имеющих одинаковые диаметры, но разные центры. Если требуется построить закрашенный круг, следует задать нулевой внутренний диаметр кольца.

Более подробно о работе с этими командами и их возможностями можно познакомиться в [1]. Использование команд построения линейных и криволинейных объектов позволяет вычерчивать элементы электрических и электронных схем любой сложности (резистор, транзистор,

трансформатор, реактор, выключатель и т. д.) и в дальнейшем использовать их как новые графические примитивы для выполнения схем, содержащих множество таких элементов.

При выполнении сечений различных деталей и механизмов на чертежах, а также заполнения некоторой замкнутой области каким-либо узором используют штриховку. Штрихованием называется заполнение указанной области по определенному образцу. Штрихование замкнутой области или контура производится с помощью команд **ШТРИХ** и **КШТРИХ**.

Команда **КШТРИХ** управляет настройками штриховки с помощью диалогового окна «Штриховка по контуру» и позволяет наносить *ассоциативную* и *неассоциативную* штриховку. Ассоциативность означает, что при изменении границ области штрихования изменяется и штриховка. Неассоциативная штриховка не зависит от контура границы.

Порядок выполнения работы

Занятие 1

1. Запустите AutoCAD и выполните настройки рабочей среды.
2. Запустите AutoCAD в режиме «Без шаблона».
3. В качестве упражнений по использованию команд **КРУГ**, **ДУГА**, **КОЛЬЦО** и **ЭЛЛИПС** выполните задания из примеров 2.6–2.9, приведенных в [1]. Результаты выполнения упражнений покажите преподавателю.
4. Создайте новый файл и выполните необходимые настройки рабочей среды.
5. В соответствии с вариантом (Приложение 2), используя команду **ЭЛЛИПС**, выполните построения эллипсов по различным исходным данным:
 - по координатам точек начала A и конца B первой оси, а также половины длины второй оси L ;
 - по координатам центра эллипса O , конечной точки первой оси B_2 и половине длины другой оси (принять равной $2L$);
 - по координатам центра эллипса O , конечной точке первой оси B_2 и углу поворота α .

6. Постройте эллиптическую дугу по следующим исходным данным (табл. П.2.1): начальный и конечный углы α_1 и α_2 ; координаты начала A_3 и конца B_3 первой оси, половина длины второй оси – L .

7. С помощью команды **КОЛЬЦО** по заданным внутреннему ($D_{\text{внутр}}$) и внешнему ($D_{\text{внеш}}$) диаметрам нарисуйте два кольца, центры которых отстоят друг от друга на 10 мм по горизонтали. Координаты центра одного из колец (X, Y) заданы (табл. П.2.1).

8. Начертите равносторонний треугольник из предыдущей лабораторной работы и с помощью команды **КРУГ** начертите окружности:

- описанную и вписанную в треугольник;
- проходящую через вершину и середину ребра треугольника; окружность диаметром $1/5$ длины ребра, касающуюся двух ребер треугольника.

При выполнении построений рекомендуется установить режимы объектной привязки «конточка» и «касательная». Цвета окружностей не должны совпадать.

Занятие 2

9. С помощью команды **МН-УГОЛ** нарисуйте два многоугольника: вписанный (с числом сторон $n_{\text{впис}} = 6(7)$ для четных (нечетных) вариантов) и описанный (с числом сторон $n_{\text{впис}} - 1$) относительно окружности радиусом $R = 2L$. Для наглядности постройте окружность. Место построения на чертеже выберите произвольно.

10. С помощью команды **КШТРИХ** заштрихуйте замкнутые области, образовавшиеся в результате выполнения предыдущего пункта. Штриховку вписанного многоугольника выполните с помощью линии (для четных вариантов – наклон 30° , шаг 2 мм; для нечетных – наклон 45° , шаг 3 мм). Образцы штриховки для остальных областей принимаются произвольно, но не совпадающими. Масштаб стандартных типов штриховки выбирается самостоятельно, но обеспечивающим наглядность штрихования.

11. Используя команды **КРУГ**, **ДУГА** и **ПЛИНИЯ**, в любом свободном месте чертежа постройте условные обозначения двухобмоточного силового трансформатора, реактора и индуктивности. Диаметр окружностей обмоток для трансформатора, а также диаметр дуги для реак-

тора принять равными L , а радиус дуги для катушки индуктивности – $L/4$ (рис. 3.1).

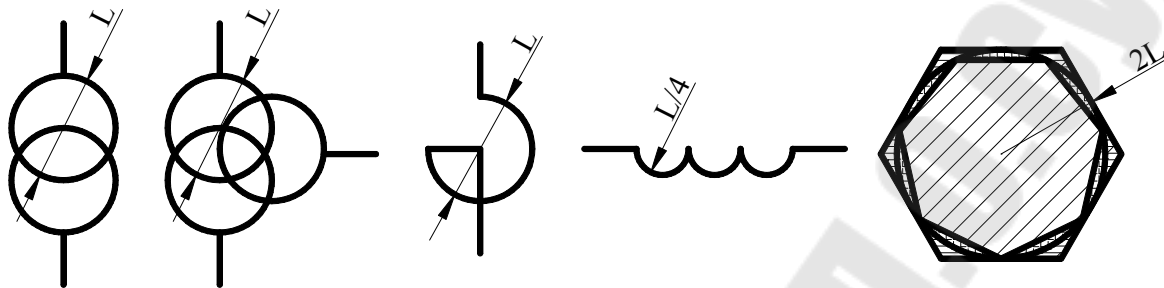


Рис. 3.1. Примеры выполнения графических построений

Контрольные вопросы

1. Какие способы построения эллипса имеются в AutoCAD?
2. Что понимается под эллиптической дугой и по каким параметрам она строится?
3. По каким параметрам в AutoCAD выполняется построение многоугольников?
4. Какие типы штриховки имеются в AutoCAD, в чем их отличия?
5. Что понимается под ассоциативностью штриховки?
6. Как указывается область для штрихования?
7. Какие параметры штрихования можно задавать в AutoCAD?
8. Какие способы построения окружностей и дуг предлагает AutoCAD?
9. Какие способы построения окружностей предусмотрены в AutoCAD?
10. Какие способы построения дуги предусмотрены в AutoCAD, как они активизируются?
11. Как выполняется построение кольца в AutoCAD, чем оно отличается от окружности?

Лабораторная работа № 4

РАБОТА С ТЕКСТОМ И СЛОЯМИ В AutoCAD

Цель работы: изучение возможностей программы AutoCAD для выполнения надписей на чертежах и работы со слоями, приобретение практических навыков работы с командами создания и управления слоями, создания текстовых стилей и надписей различными способами.

Краткие теоретические сведения

Построенные объекты всегда размещаются на определенном слое чертежа и подобны лежащим друг на друге прозрачным листам кальки. Слои используются для группирования на них различных типов данных рисунка, что позволяет упростить многие операции по управлению данными рисунка.

Управление слоями осуществляется командой **СЛОЙ** или с помощью диалогового окна «Диспетчер свойств слоев», которое доступно из меню ФОРМАТ / СЛОИ.

При создании нового слоя используется пользователь должен указать его определения (имя слоя, цвет и тип линий). Все объекты, создаваемые на слое, будут иметь назначенные этому слою цвета и тип линии.

Для всех слоев справедливы одни и те же лимиты рисунка, система координат и коэффициент экранного увеличения.

При работе со слоями в AutoCAD предусмотрены следующие функции управления слоями: установка текущего слоя, изменение видимостью отдельных слоев, их блокировка, удаление, фильтрация и сортировка.

Управление видимостью слоев необходимо, если при работе с объектами на одном или нескольких слоях рисунок слишком загроможден. Для отключения видимости объектов на неиспользуемых слоях эти слои можно *отключить* или *заморозить*. При этом AutoCAD не отображает объекты на экране и не выводит их на плоттер.

Различные функции управления слоями доступны из панели «Слои» или в диалоговом окне «Диспетчер свойств слоев».

В AutoCAD возможно выполнение текстовых надписей в виде *однострочного* текста (каждая строка текста является самостоятельным объектом) или *многострочного* (множество строк являются единым объектом).

Для выполнения однострочного текста используется команда **ДТЕКСТ**, которая запрашивает следующие параметры:

- **начальная точка**, относительно которой будет размещаться текст;
- **высота** символов текста;
- **угол поворота** надписи по отношению к горизонтали.

Перед указанием начальной точки пользователь может задать способ **выравнивания** относительно начальной точки и **стиль** гарнитуры шрифта для выполнения текста, выбрав одноименные опции.

Схема размещения текста (контуры текста обрاملены прямоугольником) относительно начальной точки (символ ×) для различных опций выравнивания показана на рис. 4.1. Первый символ опции означает положение точки по вертикали (Верх, Середина, Низ), а второй – по горизонтали (Лево, Центр, Право).

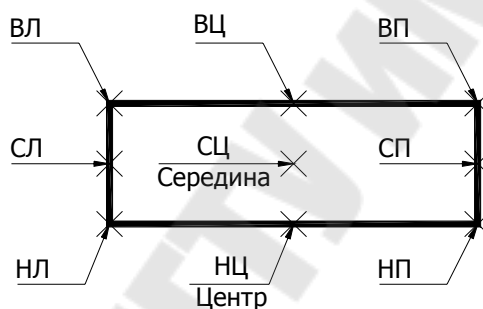


Рис. 4.1. Размещение текста относительно начальной точки при различных способах выравнивания

Для выполнения многострочного текста используется команда **МТЕКСТ**, которая запрашивает координаты противоположных углов прямоугольной области, в которой будет размещаться текст, после чего пользователь, используя диалоговое окно «Редактор многострочного текста» набирает текст.

В окне редактора из контекстного меню доступны основные стандартные функции редактирования текста, а также функция импорта текста из внешнего RTF-файла.

Примеры 2.10 и 2.11, иллюстрирующие выполнение надписи в виде однострочного и многострочного текста с помощью команд **ДТЕКСТ** и **МТЕКСТ**, приведены в [1].

Набор элементов форматирования текста хранится в текстовом стиле. Управление текстовым стилем, а также создание новых стилей осуществля-

ется в диалоговом окне «Текстовые стили» либо в командной строке. Диалоговое окно активизируется из меню ФОРМАТ / ТЕКСТОВЫЕ СТИЛИ или командой **СТИЛЬ**. Параметры текстового стиля и приемы работы с текстовыми стилями приведены в [1].

Порядок выполнения работы

1. С помощью команды **СЛОЙ** создайте три новых слоя со следующими параметрами:

Таблица 4.1

<i>Параметр</i>	<i>Слой 1</i>	<i>Слой 2</i>	<i>Слой 3</i>
Имя	<i>ЗАДАНИЕ-1</i>	<i>ЗАДАНИЕ-2</i>	<i>ЗАДАНИЕ-3</i>
Цвет	А	Б	В
Тип линии	А	Б	В

Примечание. АБВ – три последние цифры зачетной книжки.

2. С помощью команды **СТИЛЬ** создайте четыре новых текстовых стиля, параметры которых приведены ниже. При выборе шрифта необходимо выбирать гарнитуру, содержащую кириллицу (CYR).

Таблица 4.2

<i>Параметр</i>	<i>Стиль1</i>	<i>Стиль2</i>	<i>Стиль3</i>	<i>Стиль4</i>
Имя	<i>Мой стиль1</i>	<i>Мой стиль2</i>	<i>Мой стиль3</i>	<i>Мой стиль4</i>
Шрифт	Times	Arial	Times	Arial
Высота шрифта	5	7	5	0
Угол наклона	0	15	0	15
Степень сжатия	1	1	0,75	0,75
Начертание	Обычный	Полужирный	Полужирный	Обычный

3. Сделайте текущим слой *ЗАДАНИЕ-1* и в соответствии с вариантом начертите квадрат с длиной стороны L и центром в точке X, Y (табл. П.1.1). Проведите диагонали квадрата.

4. С помощью команды **ДТЕКСТ**, занесите в центр квадрата название вашей группы, используя текстовый стиль *Мой стиль1* и тип выравнивания текста «середина–центр» (СЦ). Убедитесь, что надпись находится точно в центре квадрата.

5. С помощью команды **ДТЕКСТ**, поместите слева от квадрата вашу фамилию, используя текстовый стиль *Мой стиль2* и тип выравни-

вания текста «середина–вправо (СП)», приняв в качестве базовой точки середину левого ребра квадрата. Убедитесь, что центр последней буквы касается центра левой стороны квадрата.

6. Поместите сверху квадрата ваше имя, используя текстовый стиль *Мой стиль3* и тип выравнивания текста «низ–центр» (НЦ), приняв в качестве базовой точки середину верхней стороны квадрата. Убедитесь, что надпись отцентрирована правильно и буквы нижнего регистра касаются верхнего ребра.

7. Поместите снизу квадрата ваше отчество, используя текстовый стиль *Мой стиль3* и тип выравнивания текста «верх–центр» (ВЦ), приняв в качестве верхней средней точки координаты середины нижней стороны квадрата. Убедитесь, что надпись отцентрирована правильно и буквы верхнего регистра касаются нижней стороны квадрата.

8. Поместите справа от квадрата год вашего рождения, используя текстовый стиль *Мой стиль4* и тип выравнивания текста «середина–влево» (СЛ). В качестве базовой точки примите середину правого ребра квадрата. Убедитесь, что центр первой цифры касается центра правой стороны (рис. 4.2).

9. Сделайте текущим слой *ЗАДАНИЕ-2* (остальные слои отключите) и в соответствии с вариантом начертите равносторонний треугольник с координатами вершины в точке $(X; Y - 100)$, длиной ребра L и углом наклона основания α (Приложение 1).

10. Поместите вдоль сторон треугольника ваши фамилию, имя и отчество, отцентрированные относительно середин ребер треугольника, выполненные стилями в соответствии с пп. 5–7 (рис. 4.2). Используйте типы выравнивания текста «низ–центр» (НЦ) и «вверх–центр» (ВЦ). Для указания координат начальных точек рекомендуется активизировать объектную привязку в режиме «Середина».

11. Сделайте текущим слой *ЗАДАНИЕ-3* (остальные слои отключите) и начертите прямоугольник размером $L \times L/2$ с координатами левой верхней вершины $(X1, Y1)$ (Приложение 1). Начертите диагонали прямоугольника.

12. С помощью команды **МТЕКСТ** поместите свои фамилию, имя, отчество и номер группы точно в центр прямоугольника. При этом текстовая рамка должна совпадать с прямоугольником, а к тексту применено

выравнивание «середина–центр». В качестве шрифта используйте Courier New Cyr.

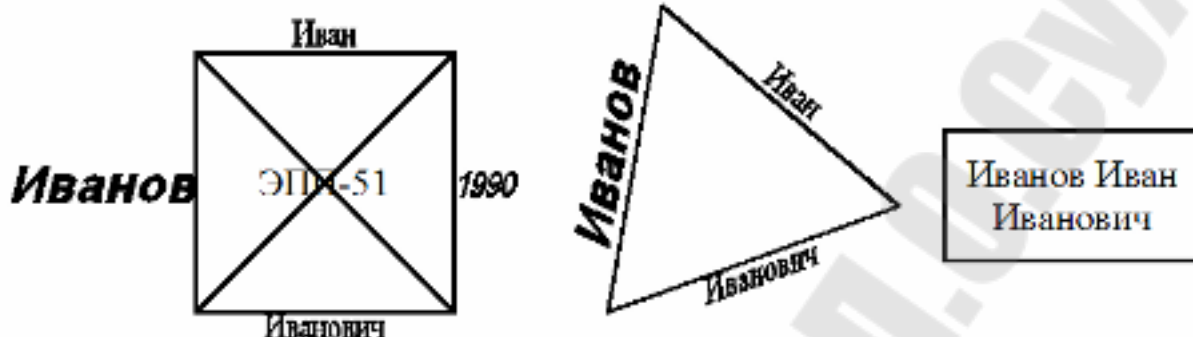


Рис. 4.2. Выполнение надписей однострочным и многострочным текстом

13. В текстовом редакторе Word создайте файл, содержащий название лабораторной работы и сохраните его с расширением RTF. С помощью команды **МТЕКСТ** в любом произвольном месте чертежа выполните импорт RTF-файл. Функция импорта становится доступна при вызове контекстного меню нажатием правой кнопки мыши.

14. Выполните распечатку каждого слоя в отдельности.

Контрольные вопросы

1. Для чего используют слои в AutoCAD?
2. Что понимается под определением слоя?
3. Какие операции можно выполнять со слоями?
4. Какой слой нельзя удалить?
5. Какие виды текста можно выполнять в AutoCAD, какие команды для этого используются?
6. Что необходимо указывать при выполнении однострочного текста?
7. Для чего используют текстовые стили и как они создаются?
8. Какие действия можно выполнять со слоями?
9. Какие способы выравнивания текста предусмотрены в AutoCAD и как при этом размещается текст?
10. Как осуществляется управление высотой символов при выполнении текстовых надписей в AutoCAD?

Лабораторная работа № 5

РЕДАКТИРОВАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ В AutoCAD

Цель работы: изучение методов редактирования чертежей в AutoCAD, приобретение практических навыков по использованию команд редактирования и выбора объектов для редактирования.

Краткие теоретические сведения

Для внесения изменений в текущий чертеж с использованием уже имеющихся на нем графических объектов используются команды редактирования. Электрические или электронные схемы содержат множество повторяющихся условных обозначений элементов, которые целесообразно выполнить один раз и в дальнейшем тиражировать с помощью команд редактирования.

Команды редактирования, как и все команды AutoCAD, могут быть активизированы в командной строке. Часть команд доступна через раздел меню РЕДАКТ или панель инструментов «*Редактирование*».

При выполнении любой из команд редактирования необходимо в ответ на запрос «*Выберите объекты*» указать (выбрать) объекты, к которым будут применены эти команды. В AutoCAD имеются различные методы формирования набора выбора: с помощью прицела, рамок и линий выбора, многоугольников выбора.

Редактированию могут подвергаться как отдельные примитивы, так и их свойства. Наиболее часто используемые способы редактирования объектов – это копирование, перемещение, масштабирование, удаление и др.

Команда **КОПИРОВАТЬ** выполняет копирование одного или нескольких объектов в другое место и активизируется в командной строке или из меню РЕДАКТ / КОПИРОВАТЬ. Для выполнения копирования команда запрашивает *объекты для копирования, базовую точку* (для привязки курсора к выбранным объектам) и *точку перемещения* для вставки копии.

Команда **МАССИВ** выполняет размещение копий объектов массивом в *круговом* массиве (упорядоченно по окружности) или в узлах *прямоугольного* массива.

Команда **ПЕРЕНЕСТИ** действует аналогично команде **КОПИРОВАТЬ**, только не копирует, а перемещает выбранные объекты.

Команда **ПОВЕРНУТЬ** выполняет поворот объектов и требует указать базовую точку (относительно которой должен быть выполнен поворот) и угол поворота (относительного или абсолютного). *Относительный* угол поворота означает, что объект поворачивается вокруг базовой точки на этот угол относительно текущего положения. Задание *абсолютного* угла поворота приводит к изменению угла поворота объекта с текущего на указанный.

Команда **ЗЕРКАЛО** выполняет копирование объекта по правилам осевой симметрии относительно оси отражения (симметрии), определяемой двумя точками, указанными пользователем.

Команда **РАСТЯНУТЬ** позволяет растягивать одну часть объекта относительно другой. Команда требует указать базовую точку для растягивания и две точки перемещения. Объекты для растягивания должны выбираться секущей рамкой. Сегменты объектов, пересеченные секущей рамкой, будут растягиваться, а сегменты (или объекты), полностью попавшие в рамку, будут перемещаться.

Примеры выполнения перечисленных выше команд редактирования приведены в [1].

Изменение содержания текста выполняется через меню РЕДАКТ / ОБЪЕКТЫ / ТЕКСТ в диалоговом окне «Редактирование текста» для однострочных надписей или в окне редактора многострочного текста, для надписей, выполненных командой **МТЕКСТ**. В последних версиях AutoCAD редактирование текста осуществляется двойным щелчком непосредственно по тексту.

Порядок выполнения работы

Занятие 1

1. Начертите шахматную доску с размером клетки $L = 5 \text{ мм} + K/2$ (K – номер варианта). Для заполнения темных клеток используйте штриховку.

2. Подпишите координаты клеток шахматной доски. Высота шрифта принимается $L/2$. Зазор между центральной осью вертикальной и горизонтальной строк и краем шахматного поля составляет $L/2$. Цен-

тральная точка каждого символа должны совпадать с центральной осью соответствующей строки и столбца.

3. Выполните обрамление шахматной доски штрихпунктирной линией. Зазор между линией обрамления и шахматным полем равен L .

Занятие 2

4. Начертите циферблат часов диаметром $D = 50 \text{ мм} + K$, для чего:

4.1. Начертите внешний контур часов диаметром $D = 10 \text{ мм}$ (толщина линии $0,5 \text{ мм}$) и окружность циферблата диаметром D .

4.2. Начертите минутную отметку в виде конуса высотой 3 мм с основанием 1 мм , соответствующую 12 часам.

4.3. С помощью команды **ПОВЕРНУТЬ** поверните минутную отметку относительно центра циферблата на угол, соответствующий 1 минуте (угол рассчитайте самостоятельно).

4.4. С помощью команды **МАССИВ** скопируйте минутную отметку 1-й минуты в положения минутных отметок 2-й, 3-й и 4-й минут в виде кругового массива. Предварительно рассчитайте угол заполнения кругового массива.

4.5. Начертите часовую отметку в виде сплошной линии длиной 5 мм и толщиной 2 мм .

4.6. Начертите часовые и минутные отметки, соответствующие 1–11 часам в виде кругового массива, элементом которого являются часовая и минутные отметки 12-го часа.

4.7. Подпишите отметку, соответствующую 12 часам (шрифт Arial). Центр надписи должен лежать на окружности между внешним контуром часов и окружностью циферблата, высота символов – 5 мм .

4.8. С помощью команды **МАССИВ** размножьте надпись «12» по кругу так, чтобы она легла на часовые отметки циферблата. При этом отключите опцию поворота элемента массива.

4.9. Используя команды редактирования текста, приведите в соответствие надписи отметок «1–11».

4.10. Начертите минутную стрелку, указывающую на 12 часов.

4.11. С помощью команды **ЗЕРКАЛО** скопируйте в виде зеркального отражения минутную стрелку так, чтобы она указывала на 3 часа. Ось симметрии должна проходить под углом 45° через центр циферблата.

4.12. Изменив длину новой минутной стрелки в два раза, преобразуйте ее в часовую, выполнив следующие действия: щелкните указателем по минутной стрелке для активизации «ручки», щелкните указателем по дальней от центра ручке и привяжите к ней прицел указателя и переместите окончание стрелки в новое место (ближе к центру).

4.13. С помощью команды **ПОВЕРНУТЬ** переместите стрелки таким образом, чтобы часы показывали K часов и $10 + K$ минут.

4.14. Подпишите номер варианта на циферблате (высота символов 3 мм). С помощью команд редактирования измените угол наклона надписи (15° к вертикали).

Примеры построений приведены на рис. 5.1.

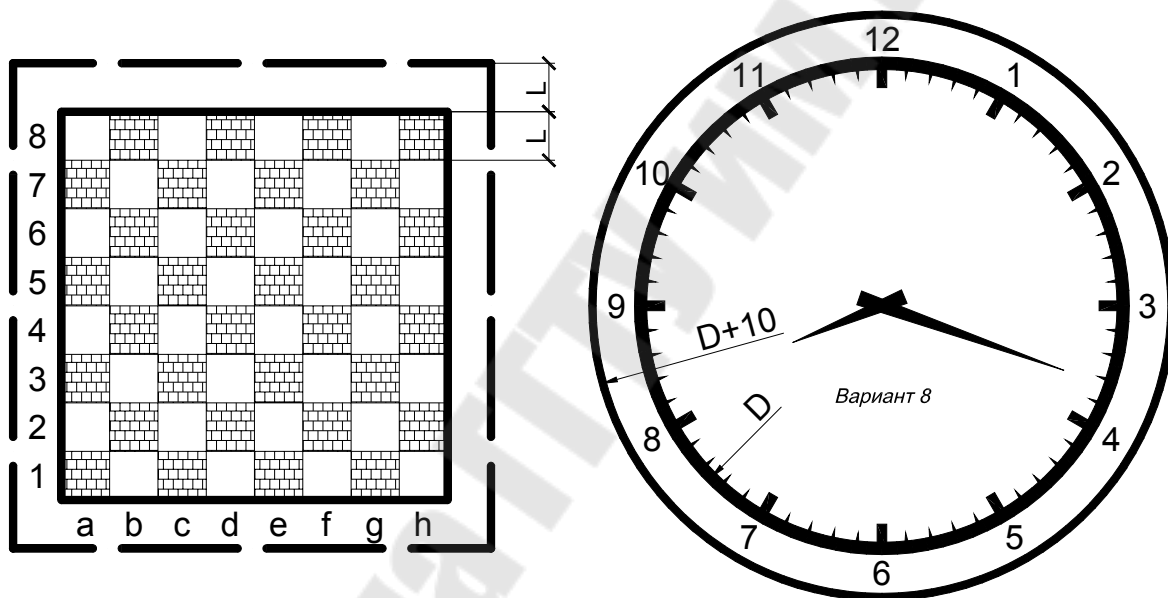


Рис. 5.1. Примеры построений групп элементов упорядоченных в прямоугольный и круговой массивы

5. Выполните распечатку результатов черчения.

6. Создайте новый файл и выполните электрическую схему трансформаторной подстанции (рис. 5.2). При построении повторяющихся элементов схемы используйте команды копирования (обычное, массивом или зеркальное). Условные обозначения должны быть выполнены в соответствии с ГОСТ 2.710-81.

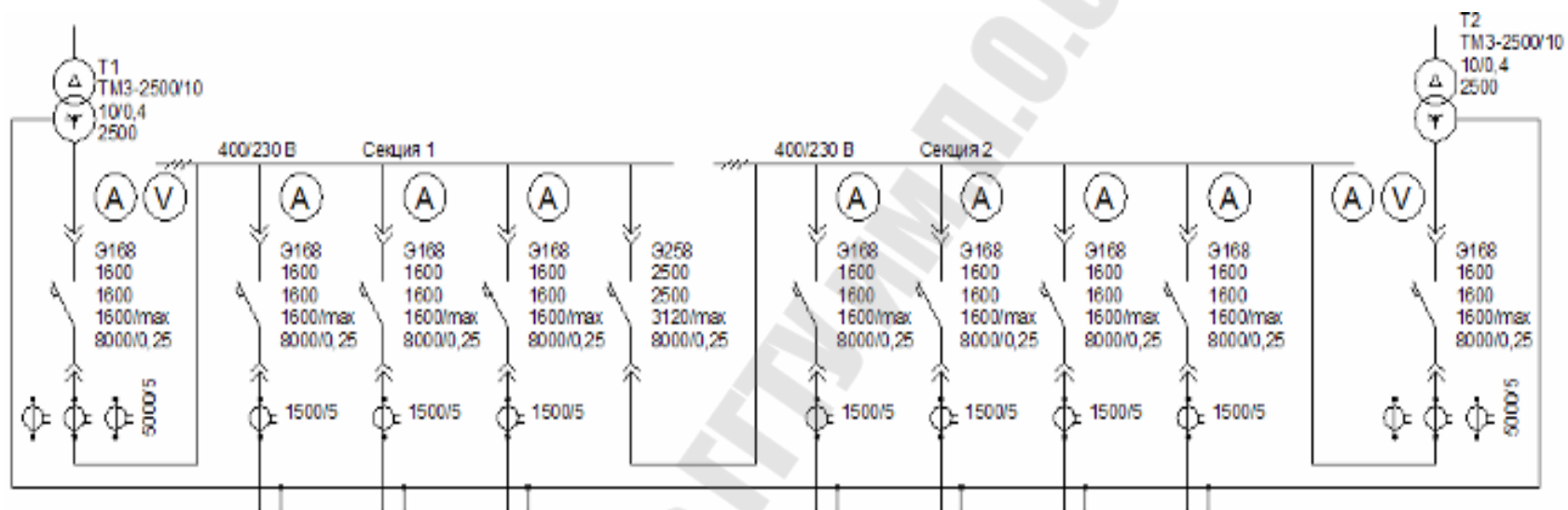


Рис. 5.2. Схема трансформаторной подстанции

Контрольные вопросы

1. Какие команды редактирования имеются в AutoCAD и для чего они используются ?
2. Какие способы выбора объектов для редактирования применяются в AutoCAD?
3. Какие команды позволяют копировать объекты в AutoCAD?
4. Какие виды массивов элементов чертежа можно построить в AutoCAD?
5. Каков порядок построения зеркальной копии объекта?
6. Какие параметры необходимо задавать при построении круговых и прямоугольных массивов?
7. Что указывается при выполнении поворота объекта?
8. Как редактируются содержание и свойства текстовых надписей?
9. Для чего предназначена и как работает команда **Обрезать**?

Лабораторная работа № 6

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЛОКОВ И АТТРИБУТОВ В AutoCAD

Цель работы: изучить методы и команды создания блоков и атрибутов в AutoCAD, приобрести практические навыки выполнения электрических схем с использованием условных обозначений элементов схем в виде блоков и атрибутов.

Краткие теоретические сведения

Одним из механизмов создания чертежа в AutoCAD является использование блоков с атрибутами и внешних ссылок на другие рисунки. Особенно востребованы возможности AutoCAD по работе с блоками при выполнении электрических и электронных схем, содержащих большое количество часто повторяющихся условных обозначений элементов схем. Использование блоков упрощает создание, редактирование и сортировку объектов рисунка и связанной с ними информации.

Блоки – это организованные в группы объекты рисунка, которыми можно манипулировать как единым целым объектом.

Для создания блока используется команда **БЛОК**, при выполнении которой в диалоговом окне «Описание блока» необходимо задать имя блока, базовую точку вставки, а также выбрать графические объекты и атрибуты, входящие в его состав.

Команда **ПБЛОК** аналогично команде **БЛОК** группирует объекты, но с записью их в отдельный файл, а также позволяет записать в отдельный файл ранее созданные блоки командами **БЛОК** или **СБЛОК**. Этот файл используется затем для вставок блока в другие рисунки.

Команда **СБЛОК** вызывается в командной строке или меню РИСОВАНИЕ / БЛОК / СОЗДАТЬ и активизирует диалоговое окно «Описание блока», в котором задаются определения блока.

С блоками можно выполнять следующие операции:

- **вставлять** в рисунок с масштабированием и поворотом;
- **расчленять** на составляющие объекты и редактировать;
- **переопределять** описание блока, при этом AutoCAD обновляет все существующие вхождения блока и применяет новое описание ко вновь вставляемым блокам.

Вставка блока осуществляется с помощью команды **ВСТАВИТЬ** или пункта меню **ВСТАВКА / БЛОК**. При этом в диалоговом окне указываются имя блока, имеющегося в текущем рисунке, или имя файла, в котором хранится внешний блок, и параметры его вставки: точка вставки, масштабные коэффициенты по осям X и Y , угол поворота блока относительно базовой точки вставки.

Команда **РАСЧЛЕНИТЬ** используется для расчленения вхождения блока на составляющие объекты. Команда может быть активизирована в командной строке или из меню **РЕДАКТ / РАСЧЛЕНИТЬ**.

Атрибут позволяет связать с блоком какие-либо текстовые или числовые данные (позиционное обозначение элемента схемы и его тип, значения электрических параметров, стоимость и др.). В дальнейшем возможен экспорт информации, хранящейся в атрибутах рисунка, во внешний файл с последующим использованием в электронных таблицах или базах данных для генерации различных документов (спецификаций, ведомостей материалов и др.).

Создание атрибута выполняется командой **ДИАЛАТОП**, с помощью которой в диалоговом окне «Создание описания атрибута» пользователь указывает свойства и параметры атрибута: *имя, подсказку и значение по умолчанию; текстовые свойства; точку вставки* и его *необязательные режимы* (скрытый, постоянный, контролируемый и установленный).

Если описание атрибута включено в блок, то в ходе вставки блока AutoCAD предлагает ввести значение атрибута, используя в качестве подсказки указанную в описании текстовую строку. Порядок выбора атрибутов при записи в блок задает порядок следования запросов на ввод их значений при вставке этого блока.

Извлечение данных атрибутов из рисунка в отдельный текстовый файл осуществляется командой **ДИАЛАТЭК**. При этом необходимо предварительно определить структуру выходного файла и создать файл шаблона. По шаблону AutoCAD определяет, данные каких атрибутов нужно извлекать из рисунка и как их разместить во внешнем файле.

Порядок работы с командами создания блоков и атрибутов, а также их редактирования и изменения описан в [1]. Там же приведена последовательность выполнения экспорта информации из атрибутов, форматы экспорта и правила формирования файла-шаблона.

Порядок выполнения работы

Занятие 1

1. Начертите условные обозначения следующих элементов электрических цепей (в соответствии с ГОСТом): резистор, индуктивность, конденсатор, источник тока, источник ЭДС.

Элементы схемы должны быть вычерчены линиями толщиной 0,2 мм в вертикальном и горизонтальном исполнении. Рекомендуется размещать элементы на чертеже таким образом, чтобы точки подключения контактных ножек имели координаты, кратные 5 мм по осям X и Y . Это облегчит в дальнейшем формирование схемы из этих элементов при включенном шаге перемещения курсора 5 мм.

2. Используя команду **ДИАЛОГ**, создайте для каждого элемента схемы четыре атрибута:

ЭЛЕМЕНТ – является идентификатором элемента (резистор, конденсатор и т. п.).

ПОЗИЦИЯ – указывает позицию элемента.

НОМИНАЛ – числовой параметр элемента.

ЕД_ИЗМ – показывает единицы измерения номинала.

При создании описания атрибута руководствуйтесь следующей таблицей.

Таблица 6.1

Параметры	Атрибут			
	ЭЛЕМЕНТ	ПОЗИЦИЯ	НОМИНАЛ	ЕД_ИЗМ
Режим	Скрытый	–	–	Постоянный
Выравнивание	По центру	По центру	Вправо	Влево
Подсказка	Произвольно	Произвольно	Произвольно	–
Высота шрифта, мм	3	3	3	3
Значение	Резистор	R	Число	Ом
	Конденсатор	C	Число	мкф
	Индуктивность	L	Число	мГн
	Источник ЭДС	E	Число	В
	Источник тока	I	Число	А

Вначале создайте четыре атрибута для одного из условных обозначений, а затем их скопировать для других, а затем отредактировать в зависимости от конкретного элемента.

Базовые точки вставки атрибутов ЭЛЕМЕНТ и ПОЗИЦИЯ должны располагаться на оси симметрии условного обозначения элемента таким образом, чтобы зазор между условным обозначением и атрибутом составил 1 мм. Базовые точки вставки атрибутов НОМИНАЛ и ЕД_ИЗМ должны быть размещены левее и правее оси симметрии условного обозначения на 1 мм. Зазор между нижним краем атрибута и условным обозначением должен составить 5 мм. Примеры размещения атрибутов относительно условных обозначений приведены на рис. 6.1.



Рис. 6.1. Компоновка атрибутов и графических обозначений

3. Используя команду **БЛОК**, сохраните каждый элемент в совокупности с его атрибутами в виде блока. Имя блока должно быть ассоциировано с элементом, условное обозначение которого он отражает, например, «резистор», «конд» и т. п. Не рекомендуется использовать имена блоков, содержащие более 8 символов.

В качестве базовой точки удобно использовать точку подключения элемента к схеме или точку в центре элемента, причем координаты этой точки должны быть кратны 5 мм.

4. Используя команду **ВСТАВЬ**, в соответствии с вариантом (Приложение 3) начертите схему из созданных блоков, задавая в командной строке для каждого вставляемого блока значения его переменных атрибутов (НОМИНАЛ и ПОЗИЦИЯ).

5. Сохраните выполненную схему на диске.

Занятие 2

6. Откройте текстовый редактор БЛОКНОТ и создайте в нем шаблон для спецификации компонентов следующего вида:

VL:NAME	C008000
ЭЛЕМЕНТ	C015000
ПОЗИЦИЯ	C004000
НОМИНАЛ	N006002
ЕД_ИЗМ	C004000

Имя атрибута и его формат вывода должны быть разделены символом «пробел».

7. С помощью команды ДИАЛАТЭК извлеките данные из атрибутов в соответствии с шаблоном поочередно в текстовый файл формата SDF и CDF. В имени файла экспорта укажите номер варианта.

8. Распечатайте схему электрической цепи, файлы экспорта атрибутов и файл шаблона.

Контрольные вопросы

1. Что понимается под блоком в AutoCAD, для чего их применяют и в чем преимущества выполнения чертежей с помощью блоков?
2. Какие команды AutoCAD создают блоки, в чем их отличия?
3. Что необходимо указывать при определении блока?
4. Что понимается под переопределением блока, в каких случаях оно используется?
5. Что понимается под атрибутом блока и для чего их применяют?
6. Каков порядок создания атрибута и что входит в его определение?
7. Как выполняется редактирование атрибутов до и после их включения в блок?
8. Как и для чего выполняется экспорт атрибутов?
9. Какая информация хранится в файле-шаблоне для экспорта атрибутов, в каком формате она должна быть записана?
10. Как управляется видимость атрибутов в AutoCAD?

Лабораторная работа № 7

ВЫПОЛНЕНИЕ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ В AutoCAD

Цель работы: приобретение практических навыков выполнения сложной схемы электроснабжения в AutoCAD с использованием команд черчения и редактирования, а также блоков и атрибутов.

Краткие теоретические сведения

Неотъемлемой частью проектирования в электроэнергетике является разработка схем соединения силовых элементов, коммутационных аппаратов и других электротехнических устройств.

Схема электрических соединений выполняется в однолинейном виде и показывает соединения силовых и коммутационных элементов и аппаратов между собой и определяет провода и кабели, которыми осуществляются эти соединения. Элементы и устройства на схеме изображаются в виде условных графических обозначений.

При оформлении различных схем в зависимости от их назначения и объектов проектирования используются графические обозначения согласно следующим документам:

- ГОСТ 2.755-74 «Условные графические обозначения контактов коммутационных устройств»;
- ГОСТ 2.751-73 «Линии электрической связи, провода, кабели и шины»;
- ГОСТ 2.710-81 «Буквенные коды наиболее распространенных элементов»;
- ГОСТ 2.730-73 «Полупроводниковые приборы»;
- ГОСТ 2.729-68 «Электроизмерительные приборы»;
- ГОСТ 2.728-74 «Резисторы. Конденсаторы»;
- ГОСТ 2.727-68 «Разрядники, предохранители»;
- ГОСТ 2.726-68 «Токосъемники»;
- ГОСТ 2.723-69 «Катушки индуктивности, реакторы, дроссели, трансформаторы, автотрансформаторы и магнитные усилители»;
- ГОСТ 2.722-68 «Электрические машины»;
- ГОСТ 2.721-74 «Обозначения общего применения».

На схеме около графических обозначений устройств указывают позиционные обозначения, тип, основные параметры элементов и устройств.

При компоновке схемы необходимо обеспечить заполнение пространства листа не менее $\frac{3}{4}$.

Порядок выполнения работы

1. В соответствии с вариантом для заданной схемы (Приложение 4), согласно ЕСКД и ГОСТу выполните условные обозначения имеющихся элементов и задайте им следующие атрибуты: тип элемента, позиция и др. При выполнении задания используйте толщину линий 0,1 мм.

2. Запишите выполненные условные обозначения совместно с атрибутами в блоки.

3. Соберите схему из созданных блоков.

4. Выполните рамку и штамп в соответствии с ЕСКД и ГОСТом.

5. Выполните экспорт атрибутов всех элементов схемы в текстовый файл-спецификацию.

6. Распечатайте выполненную схему и спецификацию ее элементов.

Лабораторная работа № 8

МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЙ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Цель работы: изучение принципов решения уравнений состояния электрической системы методом Гаусса, методом простой итерации и методом Зейделя. Приобретение навыков работы в пакете MathCAD при решении систем уравнений различными методами.

Краткие теоретические сведения

Расчет установившегося режима электрической системы в общем случае выполняется для определения *параметров режима*, таких, как напряжения в ее узловых точках, потоки мощности и токи в ветвях схемы замещения, показатели экономичности и качества работы электрической сети (потери мощности, потери напряжения, отклонения напряжения от номинальных значений и др.).

Расчеты установившихся режимов выполняют как на стадии проектирования, так и в процессе эксплуатации этих систем.

Сеть электрической системы в расчетах установившихся режимов представляется *схемой замещения* в виде линейной электрической цепи, конфигурация и параметры которой могут быть описаны матрицами обобщенных параметров.

Конфигурацию схемы замещения электрической системы можно отобразить в виде графа. **Граф** представляет собой множество *вершин* (узлов) и *ребер* (ветвей), соединяющих некоторые (или все) пары вершин.

Для обобщенного аналитического представления *направленного графа* служат:

– *первая матрица инциденций* \mathbf{M} (матрица соединений ветвей в узлах) – это прямоугольная матрица $(n \times m)$, число строк которой равно числу вершин графа n , а число столбцов – числу ребер m :

$$\mathbf{M}_{\Sigma} = (m_{ij}), \quad i = 1, \dots, n; \quad j = 1, \dots, m. \quad (8.1)$$

– вторая матрица инцидентий \mathbf{N} (матрица соединений ветвей в независимые контуры) – это прямоугольная матрица ($k \times m$), число строк которой равно числу независимых контуров графа k , а число столбцов – числу ребер m :

$$\mathbf{N} = (n_{ij}), \quad i = 1, \dots, k; \quad j = 1, \dots, m. \quad (8.2)$$

Элементы матрицы \mathbf{M}_Σ могут принимать одно из трех значений:

$m_{ij} = +1$, если узел i является начальной вершиной ветви j (ток ветви выходит из i -го узла);

$m_{ij} = -1$, если узел i является конечной вершиной ветви j (ток ветви входит в j -й узел);

$m_{ij} = 0$, если узел i не является вершиной ветви j (нет связи между i -м узлом и j -й ветвью).

Элементы матрицы \mathbf{N} могут принимать одно из трех значений:

$n_{ij} = +1$, если ветвь j входит в i -й контур и их направления совпадают;

$n_{ij} = -1$, если ветвь j входит в i -й контур, но направления противоположны;

$n_{ij} = 0$, если ветвь j не входит в i -й контур.

Узловые уравнения состояния электрической цепи могут быть записаны через матрицу узловых проводимостей \mathbf{Y}_y и матрицу узловых сопротивлений \mathbf{Z} :

$$\mathbf{Y}_y \mathbf{U}_\Delta = \mathbf{J} - \mathbf{M} \mathbf{Z}_B^{-1} \mathbf{E} \quad \text{или} \quad \mathbf{U}_\Delta = \mathbf{Z} \mathbf{J} - \mathbf{Z}_B \mathbf{M} \mathbf{Z}_B^{-1} \mathbf{E}, \quad (8.3)$$

где $\mathbf{U}_\Delta = \mathbf{U}_y - U_0$ – столбец разностей напряжений U_y в $n-1$ узлах по отношению к напряжению базисного узла U_0 ; \mathbf{J} – столбец узловых токов; \mathbf{E} – столбец ЭДС в ветвях; \mathbf{Y}_y – квадратная матрица узловых проводимостей.

Контурные уравнения, по которым вычисляются токи в ветвях, имеют вид:

$$\mathbf{Z}_K \mathbf{I}_K = \mathbf{E}_K - \mathbf{N} \mathbf{Z}_B \begin{Bmatrix} \mathbf{M}_\alpha^{-1} \\ \mathbf{0} \end{Bmatrix} \mathbf{J}; \quad \mathbf{I} = \mathbf{N} \mathbf{I}_K + \begin{Bmatrix} \mathbf{M}_\alpha^{-1} \\ \mathbf{0} \end{Bmatrix} \mathbf{J}, \quad (8.4)$$

где $\underline{Z}_k = \mathbf{N}\underline{Z}_B\mathbf{N}_t$ – квадратная матрица контурных сопротивлений; \mathbf{I}_k – матрица контурных токов; \mathbf{I} – столбец токов в ветвях; \mathbf{M}_α – подматрица первой матрицы соединений \mathbf{M} , характеризующая связь ветвей дерева с ее узлами:

$$\mathbf{M} = \mathbf{M}_\alpha \mathbf{M}_\beta, \quad (8.5)$$

где \mathbf{M}_β – также подматрица матрицы \mathbf{M} , показывающая связь между хордами схемы и ее узлами. При составлении матрицы \mathbf{M} сначала записываются столбцы, отвечающие ветвям, образующим дерево схемы, а затем ветвям, являющимся ее хордами.

Методы решения узловых и контурных уравнений можно разделить на две большие группы: *прямые* и *итерационные*.

Практически в основе всех прямых методов решения линейных алгебраических уравнений установившегося режима электрической системы лежит метод последовательного исключения неизвестных, называемый *методом Гаусса*.

Итерационные методы решения систем линейных алгебраических уравнений позволяют получить значения искомых неизвестных в результате многократного выполнения единообразных шагов вычислений, называемых *последовательными приближениями*, или *итерациями*, которые выполняются до тех пор, пока значения искомых переменных на двух смежных итерациях, не будут отличаться на значение, меньшее заданной погрешности ϵ .

В отличие от прямых методов, итерационные методы дают решение только с заданной точностью, причем с увеличением точности растет и число итераций.

Алгоритмы решения систем линейных алгебраических уравнений методом Гаусса и методами итераций (простой и ускоренной) приведены в [1].

Порядок выполнения работы

Занятие 1

1. Загрузить в MathCAD файл «PYP_формирование_уравнения_UP.mcd» для расчета установившегося режима электрической сети и записать его с новым именем NAME, соответствующим имени пользователя.

2. Для заданной схемы (Приложение 5) выполнить нумерацию узлов и указать в MathCAD-документе ее общие характеристики в соответствующих переменных:

Ку, **Кв** – количество узлов и количество ветвей;

БУ – номер балансирующего узла (нумеруется последним).

3. Заполнить массивы параметров узлов для каждого i -го узла:

N_i – номер узла;

Un_i – номинальное напряжение, кВ;

U_i – начальное приближение напряжения, кВ;

J_i – значение задающего тока, А;

Gш_i – активная шунтовая проводимость, мкСм;

Bш_i – реактивная шунтовая проводимость, мкСм.

4. Заполнить массивы параметров ветвей для каждой k -й ветви:

Nn_k, **Nk_k** – номера начала и конца;

R_k, **X_k** – активное и реактивное сопротивление, Ом;

G_k, **B_k** – активная и реактивная проводимость, мкСм;

Kта_k, **Kтр_k** – активный и реактивный коэффициенты трансформации, о. е.

5. Произвести расчет матриц узлового уравнения. Результаты расчета сохранить в файле NAME.MCD и вывести на печать.

6. Выполнить расчет установившегося режима методом обратной матрицы:

6.1. Загрузить в MathCAD файл «PUP(метод обратной матрицы).mcd».

6.2. С помощью меню ВСТАВКА / ССЫЛКА вставить ссылку на файл NAME.MCD с узловыми уравнениями.

6.3. Выполнить расчет установившегося режима методом обратной матрицы и распечатать результаты.

7. Выполнить расчет установившегося режима методом Гаусса:

7.1. Загрузить в MathCAD файл «PUP(метод Гаусса).mcd».

7.2. С помощью пункта меню ВСТАВКА / ССЫЛКА вставить ссылку на файл NAME.MCD с узловыми уравнениями.

7.3. Выполнить расчет установившегося режима методом Гаусса и распечатать результаты.

Занятие 2

8. Выполнить расчет режима методом простой итерации:
 - 8.1. Загрузить в МСАД файл «*РУР(метод простой итерации).mcd*».
 - 8.2. С помощью пункта меню ВСТАВКА / ССЫЛКА вставить ссылку на файл NAME.MCD с узловыми уравнениями.
 - 8.3. Задавая значение переменной *iter* подобрать номер итерации N_end , на которой погрешность расчета напряжений в узлах будет удовлетворять условию $\varepsilon < 0,001\%$. Распечатать результаты.
 - 8.4. Исследовать ход итерационного процесса, изменяя номер итерации в диапазоне $iter = 2 \dots N_end$ для трех случаев, когда за начальные приближения напряжений узлов приняты $U_{нi}$; $1,5 U_{нi}$; $0,5 U_{нi}$.

Для контроля за ходом итерационного процесса примите 10–15 промежуточных точек *iter*. Результаты расчета напряжения и погрешности для одного узла схемы (задается преподавателем) свести в табл. 8.1.

Таблица 8.1

<i>iter</i>	<i>U</i> , кВ	ε
1		-
2		
...		
N_end		

9. Аналогично п. 8 выполнить расчеты установившегося режима **методом Зейделя** и исследовать ход итерационного процесса. Результаты исследования свести в таблицу.

10. По данным таблицы построить зависимости $U(iter)$ и $\varepsilon(iter)$, полученные по методу простой итерации и методу Зейделя. Оценить, во сколько раз итерационный процесс по методу Зейделя сошелся быстрее, чем по методу простой итерации.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Схема электрической сети и исходные данные для расчета.
4. Распечатка результатов работы.
5. Выводы по результатам расчета.

Контрольные вопросы

1. Для чего выполняют расчет установившегося режима электрической сети и что с помощью его определяют?
2. Как составляются узловые и контурные уравнения для электрической сети?
3. Что такое матрицы инцидентий и как они составляются?
4. Чем определяется размерность матриц инцидентий?
5. Как классифицируются методы решения систем линейных алгебраических уравнений?
6. В чем отличие точных методов расчета от приближенных?
7. Какие методы расчета систем линейных уравнений относятся к прямым, а какие – к приближенным?
8. Чем обусловлена точность расчета при использовании прямых методов?
9. До каких пор необходимо выполнять вычисления при использовании итерационных методов?
10. Что понимается под сходимостью итерационного процесса?
11. От чего зависит количество итераций в приближенных методах расчета систем уравнений?
12. Поясните алгоритм вычислений неизвестных системы уравнений по методу Гаусса?
13. Поясните алгоритм вычислений неизвестных системы уравнений по методу простой итерации?
14. В чем отличие метода Зейделя от метода простой итерации?
15. Как формулируется критерий сходимости итерационного процесса?

Лабораторная работа № 9

РАСЧЕТ УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ В ПАКЕТЕ MUSTANG

Цель работы: приобрести практические навыки работы с промышленными программами и выполнения расчетов установившихся режимов сложных электрических сетей в пакете MUSTANG.

Краткие теоретические сведения

Комплекс MUSTANG предназначен для выполнения на ПЭВМ расчетов по моделированию установившихся режимов (УР) и переходных электромеханических процессов в электрических системах. Расчеты установившегося электрического режима выполняются методом Ньютона-Рафсона с улучшением сходимости тяжелых режимов по методу Матвеева. Система линейных алгебраических уравнений решается методом Гаусса с предварительной оптимизацией порядка исключения неизвестных.

Структурно комплекс программ MUSTANG состоит из трех основных расчетных программ: расчета *установившегося режима*, расчета *переходного процесса*, программы *утяжеления режимов* (которая фактически представляет собой последовательную серию расчетов установившихся режимов).

При подготовке исходных данных для расчета на основании схемы электрической сети необходимо составить схему замещения и пронумеровать ее узлы. После этого конфигурация схемы замещения и ее параметры вводятся в таблицы параметров узлов и ветвей.

Параметры узлов. Каждый i -й узел электрической сети характеризуется при расчете стационарного режима следующими параметрами (рис. 9.1):

$P_{н_i}, Q_{н_i}$ – активная и реактивная нагрузка, МВт;

$U_{нор_i}$ – номинальное напряжение, кВ;

U_i, δ_i – расчетные модуль напряжения и фаза, кВ и град;

$P_{г_i}, Q_{г_i}$ – активная и реактивная генерируемая в узел мощность, МВт;

$Q_{ш_i}, B_{ш_i}$ – активная и реактивная проводимость шунта между узлом и землей, мкСм.

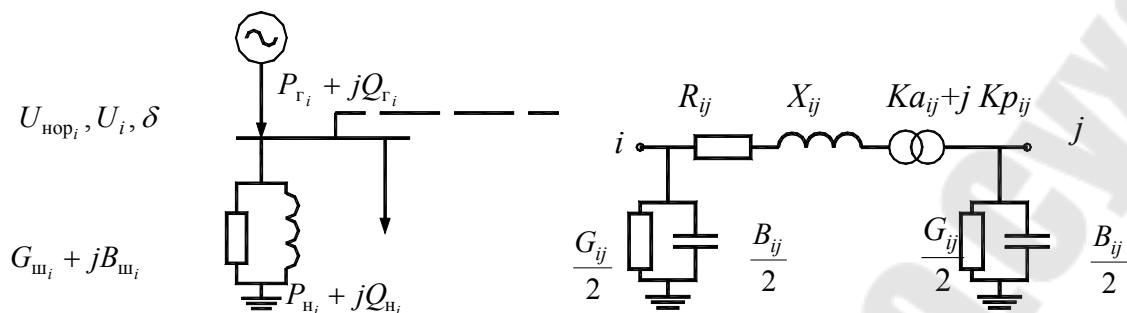


Рис. 9.1. Схема замещения узла и ветви

Реактивная мощность генератора Q_G может быть задана фиксированной либо свободной изменяющейся величиной в пределах ограничений $Q_{G_{\max}}$ и $Q_{G_{\min}}$. Для того чтобы программа могла определить, какой узловой параметр зафиксирован (является неизменным), используется **код узла** – четырехзначное число, каждый разряд которого содержит признак фиксации *напряжения, угла напряжения, активной и реактивной* генерируемой мощности в узле; «1» – означает фиксацию параметра, «0» – параметр свободен. Например: 1100 – в узле зафиксированы модуль и угол напряжения, а величины P_G и Q_G определяются в результате решения уравнений установившегося режима (что характерно для «балансирующего» узла энергосистемы бесконечной мощности); 1010 – в узле зафиксированы модуль напряжения U и P_G (что характерно для узла, к которому подключен генератор), 0 или 11 – для нагрузочного узла.

Для удобства анализа информации пользователь может задать необязательный параметр – *Название узла* (до 8 символов).

Параметры ветвей. Каждая связь $i-j$ представляется П-образной схемой замещения (рис. 9.1), в которую входят следующие параметры:

R_{ij} , X_{ij} – активное и реактивное сопротивления связи, Ом;

G_{ij} , B_{ij} – активная и реактивная продольные проводимости, обусловленная потерями на корону и зарядной мощностью, мкСм;

Ka_{ji} , Kr_{ji} – продольная и поперечная составляющие коэффициента трансформации.

В связи может быть только один трансформатор у узла j . Коэффициент трансформации задается отношением напряжения на связи в точке i к напряжению узла в точке j : $K_{ij} = U_i / U_j$.

Обычно в качестве связи, на которой находится трансформатор,

выступает сопротивление обмотки трансформатора. Коэффициент трансформации в этом случае определяется как отношение напряжения, к которому приведено сопротивление трансформатора, к напряжению другой ступени. Так, если сопротивление приведено к высокому напряжению, то коэффициент трансформации будет больше единицы, если к низкому, то меньше единицы.

Более подробно о порядке подготовки данных и работе в программе MUSTANG можно ознакомиться в [1].

Порядок выполнения работы

Занятие 1

1. Запустить в работу программу MUSTANG из каталога MUSTANG с помощью командного файла *!start.bat*.

2. Перейти в основное меню, нажав F10 и выполнить директиву: *УР-данные / Новая схема*.

3. Для схемы, приведенной в [1, рис. 4.1], используя меню *УР-данные / Узлы-СВЯЗИ*, ввести исходные данные для расчета в таблицы параметров узлов и параметров ветвей [1, табл. 4.1, табл. 4.2]. Для переключения таблиц параметров узлов и ветвей используйте кнопку Tab.

4. Сохранить введенные параметры, выполнив директиву *Диск / Сохранение режима*.

5. Выполнить расчет установившегося режима с помощью меню *УР-данные / Расчет Режима*. Убедиться, что расчет выполнен.

6. Из меню *УР-данные / Узлы-СВЯЗИ* вывести таблицы исходных параметров узлов и ветвей в файл результатов GOLIST.LST с помощью клавиши F8.

7. С помощью меню *УР-рез / Узлы-СВЯЗИ* просмотреть результаты расчета параметров узлов и параметров ветвей и вывести результаты расчетов в файл GOLIST.LST с помощью клавиши F8.

8. С помощью меню *УР-рез / Просмотр PRINT файла* просмотреть сформированный файл-отчет GOLIST.LST сохранить его на диске с именем NAME.TXT (NAME – фамилия студента).

9. Вернуться в главное меню и выйти из программы MUSTANG.

10. С помощью редактора MS-WORD загрузить файл NAME.TXT с перекодировкой текста DOS в текст WINDOWS, отформатировать текст для удобного просмотра и вывести на печать.

Занятие 2

11. В соответствии с вариантом для заданной схемы электрической сети (Приложение 6) составить схему замещения и пронумеровать узлы.

12. Повторить пп. 1–10 для заданного варианта схемы.

13. После выполнения расчетов и их оформления выполнить анализ режима работы электрической сети по следующим показателям:

- определить долю потерь активной мощности по отношению к мощности узла источника питания;

- сравнить величину потерь активной мощности в линиях и в трансформаторах;

- оценить уровень отклонения напряжений в узлах от номинальных значений (%), определить самый электрически удаленный узел, сделать вывод о допустимости отклонений напряжений в соответствии с ГОСТом;

- определить величину потерь напряжения в линиях электропередачи (%);

- определить коэффициенты загрузки трансформаторов.

14. Используя данные по РПН трансформаторов, установленных в электрической сети, для снижения отклонений напряжений в узлах подобрать ответвления РПН и скорректировать в MUSTANG коэффициенты трансформации (в таблице параметров ветвей).

15. Выполнить расчет установившегося режима со скорректированными коэффициентами трансформации. Убедиться, что подобранные ответвления РПН позволили снизить отклонения напряжений в узлах.

16. Распечатать результаты расчета.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Исходная схема электрической сети и ее схема замещения.
3. Расчеты параметров схемы замещения.
4. Распечатки результатов расчета в программе MUSTANG.
5. Выводы по результатам работы и анализ режимов электрической сети.

Контрольные вопросы

1. Какие расчеты позволяет выполнять программа MUSTANG?
2. Какие исходные данные требует MUSTANG для выполнения расчетов?
3. Какова последовательность подготовки данных и выполнения расчетов в пакете MUSTANG?
4. Как кодируется характер изменения параметров узла в MUSTANG?
5. Как задается значение коэффициента трансформации для трансформаторной ветви в MUSTANG?

Лабораторная работа № 10

РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ПРОГРАММЕ TKZ-3000

Цель работы: приобрести практические навыки работы с промышленными программами и выполнения расчетов токов короткого замыкания в сложных электрических сетях в пакете TKZ-3000.

Краткие теоретические сведения

Комплекс программ TKZ-3000 выполняет расчеты токов и напряжений при повреждениях в трехфазной симметричной сети любого напряжения, содержащей до 3 000 узлов и 7 500 связей.

Исходной информацией для выполнения расчетов являются схемы замещения электрической сети *прямой*, *обратной* и *нулевой* последовательностей, параметры которых заносятся в соответствующие таблицы, указываются в именованных единицах и без приведения к какой-либо степени напряжения. При наличии в сети ветвей с магнитными связями заполняется таблица ветвей с взаимной индукцией.

Ввод схем замещения прямой и обратной последовательности совмещен в одной таблице, так как их топологии предполагаются совпадающими. Параметры обратной последовательности вводят лишь для тех элементов, у которых $Z1 \neq Z2$.

При задании схемы прямой последовательности нужно руководствоваться табл. 10.1.

Таблица 10.1

Тип	Пар	У1	У2	R1(2)	X1(2)	E/K/B(c)	F	N _{эл}
0	?	+	+	+	+	—	—	?
1	?	+	+	—	—	—	—	—
3	?	+	+	+	+	K _{тр}	—	?
4	?	+	+	+	+	ЭДС	+	—
5	?	+	+	+	+	Емкостная проводимость	—	?

Примечание. «+» – обязательно задавать, «-» нельзя задавать; «?» – можно задавать или не задавать.

Колонки таблицы содержат следующую информацию:

Тип – типы ветвей: 0 – простая ветвь; 1 – ветвь с нулевым сопротивлением; 3 – трансформаторная ветвь; 4 – генераторная ветвь; 5 – ветви с емкостной проводимостью;

Пар – номер ветви в параллели с другими ветвями;

У1, У2 – начальный и конечный узлы;

R1(2), X1(2) – продольные активное и реактивное сопротивления прямой (обратной) последовательностей, Ом;

E, F – модуль ЭДС и ее угол, кВ и град;

K_{тр} – коэффициент трансформации $K_{тр} = U(Y1)/U(Y2)$;

B – емкостная проводимость, мкСм;

N_{эл} – номер элемента (линии, трансформатора), к которому относится ветвь. У ветвей, принадлежащих одному и тому же элементу, номер должен быть одинаков.

Для трансформаторных ветвей сопротивления *R* и *X* должны быть приведены к напряжению начального узла ветви *У1*.

В таблице нулевой последовательности могут быть указаны все ветви, кроме генераторных типа <4>. При задании схемы нулевой последовательности нужно руководствоваться табл. 10.2.

Таблица 10.2

Тип	Пар	У1	У2	R0	X0	K/B (с)
0	?	+	+	+	+	–
1	?	+	+	–	–	–
3	?	+	+	+	+	<i>K_{тр}</i>
5	?	+	+	+	+	Емкостная проводимость

Подготовка исходных данных в пакете ТКЗ-3000 осуществляется из главного меню **Ввод исходных данных**.

Расчет токов КЗ с указанием точек КЗ (включая один или два пояса присоединений), выполняется с помощью модуля **Расчет по месту повреждения**, который активизируется из главного меню.

Более подробно порядок работы и организация работы в пакете ТКЗ-3000 излагается в [1].

Порядок выполнения работы

Занятие 1

1. Запустить в работу программу ТКЗ-3000 из каталога ТКЗ-3000\ДАН\tkz3000.bat.

2. С помощью клавиши F9 из списка обнаруженных схем выбрать НОВАЯ СЕТЬ и указать имя сети (не более 8 символов).

3. Из меню **Подготовка и обслуживание сетевой информации / Ввод и коррекция исходных данных / Прямая, обратная последовательности** активизировать таблицу ввода исходных данных для схемы замещения прямой последовательности.

4. Для электрической сети [1, рис. 5.1] ввести параметры схемы замещения прямой [1, табл. 5.3], а затем и обратной последовательностей в соответствующие таблицы. Переключение таблиц прямой и обратной последовательностей осуществляется клавишей F7.

5. Из меню **Ввод и коррекция исходных данных / Нулевая последовательность** ввести параметры схемы замещения нулевой последовательности в соответствующую таблицу [1, табл. 5.4].

6. С помощью меню **Контроль сети** последовательно выполнить проверку связности сети, полноту задания параметров схем замещения и т. д. и убедиться, что схема замещения введена корректно.

7. С помощью меню **Расчет ТКЗ по месту повреждения** в диалоговом окне с помощью пунктов меню или функциональных клавиш выполнить следующие установки:

F2 – ввести имя расчетной сети;

F3 – ввести номера узлов для расчета КЗ (задаются преподавателем);

F4 – ввести виды КЗ (задаются преподавателем).

При выборе вида КЗ в дополнительном окне «Задаваемые величины» отображаются установленные параметры замера. Для изменения набора измеряемых параметров необходимо нажатием клавиши «Влево» вызвать на экран список «Величины», содержащий доступные для замера параметры и выбрать необходимый параметр. Включить/отключить параметр для замера в списке «Величины» можно с помощью клавиши ENTER.

8. Для выполнения расчета токов КЗ нажать F6 и просмотреть результаты расчета.

9. Нажать F9 и установить формат файла вывода на печать результатов расчета. Результаты расчетов выводятся на экран и в файл *имя_сети.fl* в двух формах:

– в *табличной форме*, если указан формат печати 2 или 3 (сеть без учета или с учетом активных сопротивлений). При этом виды КЗ должны быть указаны однофазное или трехфазное виды КЗ, а число поясов не более одного;

– *без оформления таблицы*, если указан формат печати 1. При этом могут быть указаны любые виды КЗ и до 2-х поясов.

10. Распечатать результаты расчета из файла *имя_сети.fl*.

Занятие 2

11. В соответствии с вариантом для заданной схемы электрической сети (Приложение 6) составить схему замещения для ТКЗ-3000 и пронумеровать узлы.

12. Повторить пп. 1–10 для заданного варианта схемы.

13. Распечатать результаты расчета.

14. По результатам расчета для одной из точек КЗ построить векторные диаграммы для различных видов КЗ.

15. Оформить результаты расчетов в виде таблицы.

Таблица 10.3

Точка короткого замыкания	Вид короткого замыкания			
	<i>I1</i>	<i>I2</i>	<i>I3</i>	<i>I(1,1)</i>

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Схема расчетной сети и ее схемы замещения прямой и нулевой последовательности.
3. Расчеты параметров схем замещения.
4. Распечатка результатов расчета в программе ТКЗ-3000.
5. Векторные диаграммы для заданной точки КЗ.

Контрольные вопросы

1. Какие исходные данные требует программа ТКЗ-3000 для выполнения расчетов?
2. Каков порядок составления схем замещения для ТКЗ-3000 и их ввода в программу?
3. Для чего в ТКЗ-3000 выполняется контроль сети и в чем он заключается?
4. Как кодируются типы ветвей схемы замещения в ТКЗ-3000?
5. В каких форматах может программа ТКЗ-3000 представлять результаты расчетов?
6. Как формируется задание на расчет токов КЗ в ТКЗ-3000?

ЛИТЕРАТУРА

1. Сычев, А. В. Основы систем автоматизированного проектирования в энергетике : курс лекций по одноим. дисциплине для студентов специальностей 1-43 01 03 «Электроснабжение» и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» днев. и заоч. форм обучения / А. В. Сычев. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2008. – 117 с.
2. Полещук, Н. Н. Самоучитель AutoCAD-2004 / Н. Н. Полещук, В. А. Савельева. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2003. – 640 с.
3. Электрические системы. Математические задачи электроэнергетики: учеб. для вузов / под ред. В. А. Венникова. – Москва : Высш. шк., 1981.

Приложение 1

Варианты заданий к лабораторным работам № 2 и 4

Таблица П.1.1

Номер варианта	Параметры треугольника				Параметры отрезка			
	X, мм	Y, мм	L, мм	α , градусов	X1, мм	Y1, мм	X2, мм	Y2, мм
1	155	170	60	25	220	170	240	230
2	205	185	70	20	120	185	135	265
3	140	35	20	40	215	35	240	130
4	215	130	45	60	110	130	120	95
5	125	205	60	-30	210	175	235	235
6	190	75	30	230	210	30	235	90
7	150	120	60	-25	250	170	230	245
8	125	145	45	45	210	145	225	210
9	165	35	75	-30	195	10	230	55
10	235	90	30	60	115	85	105	140
11	170	165	60	75	235	165	200	220
12	195	115	40	60	105	100	125	140
13	135	120	45	10	210	120	220	195
14	165	160	75	-40	215	155	240	225
15	225	140	60	50	120	145	105	200

Приложение 2

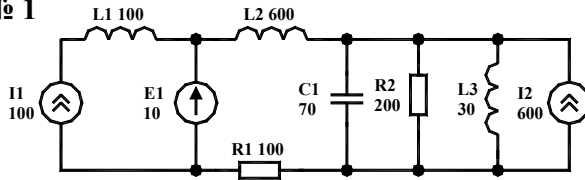
Таблица П.2.1

Варианты заданий к лабораторной работе № 3

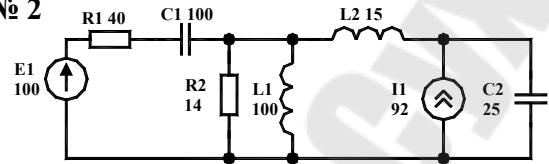
Номер варианта	Параметры эллипса										Параметры эллиптической дуги, мм						Параметры кольца, мм			
	Координаты начала оси A1, мм		Координаты конца оси B1, мм		Длина 2-й полуоси, мм L	Центр O, мм		Координаты конца оси B2, мм		Угол поворота, градусов α	Начало оси A3, мм		Конец оси B3, мм		Нач. угол, градусов $\alpha 1$	Кон. угол, градусов $\alpha 2$	Диаметры, мм		Центр, мм	
	X	Y	X	Y		X	Y	X	Y		X	Y	X	Y			$D_{\text{внутр}}$	$D_{\text{внеш}}$	X	Y
1	130	250	170	250	10	250	250	290	250	45	170	200	130	200	270	0	15	17	230	200
2	130	50	180	50	20	250	50	290	50	60	180	80	130	80	180	0	20	22	175	130
3	150	210	150	270	15	230	240	230	280	70	290	270	290	210	90	180	12	14	140	190
4	120	230	160	230	10	210	230	240	230	80	300	230	260	230	0	135	25	30	140	190
5	160	250	110	250	20	210	230	210	280	50	160	190	110	190	45	135	10	12	120	180
6	120	30	180	30	15	250	40	290	40	30	180	70	120	70	-90	90	18	22	220	120
7	170	220	120	220	10	250	220	300	220	80	170	170	120	170	210	40	16	18	210	180
8	120	250	180	250	20	240	220	290	220	70	180	200	120	200	90	225	17	20	140	160
9	120	250	180	250	15	250	250	295	250	85	120	200	180	200	0	180	15	20	215	200
10	120	50	180	50	20	220	160	240	60	55	120	100	180	100	45	335	10	12	260	80
11	120	50	150	50	20	180	50	200	50	45	120	100	150	100	50	150	18	20	230	40
12	240	250	290	250	15	260	195	210	195	75	240	130	290	130	90	360	23	27	140	240
13	120	30	170	30	10	150	80	190	80	70	200	30	250	30	90	270	15	22	230	80
14	120	240	200	240	10	250	240	280	240	10	120	210	200	210	45	270	21	24	130	170
15	210	50	280	50	15	240	110	290	110	75	120	50	190	50	0	285	11	15	130	120

Приложение 3

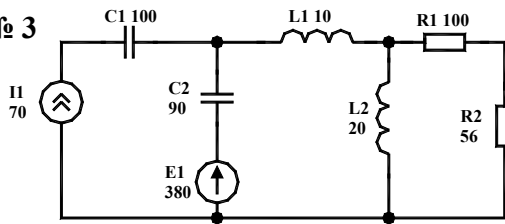
№ 1



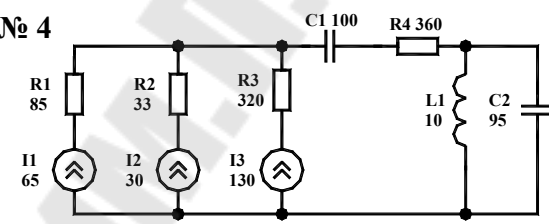
№ 2



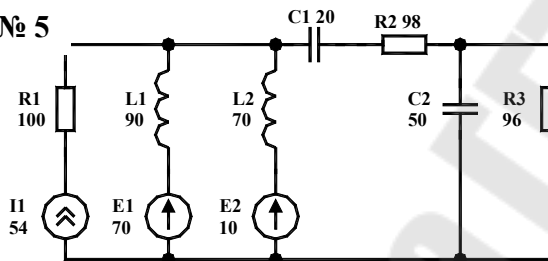
№ 3



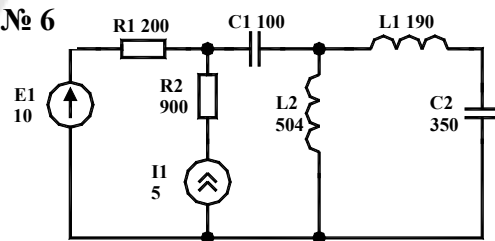
№ 4



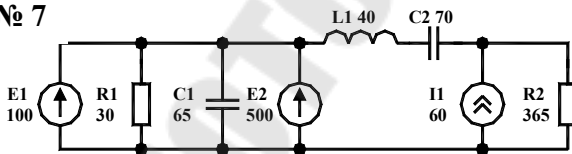
№ 5



№ 6



№ 7



№ 8

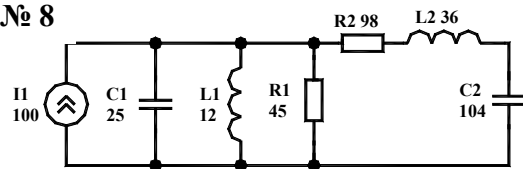


Рис. П.3.1. Варианты схем к лабораторной работе № 6

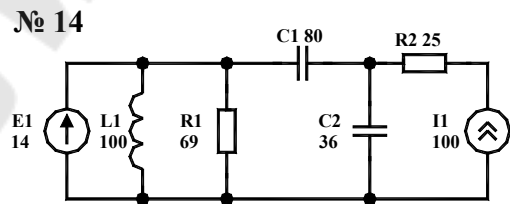
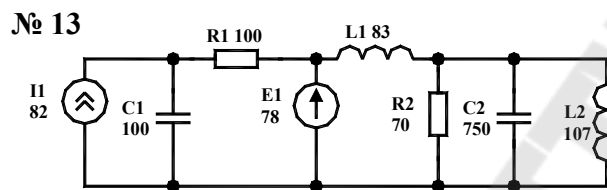
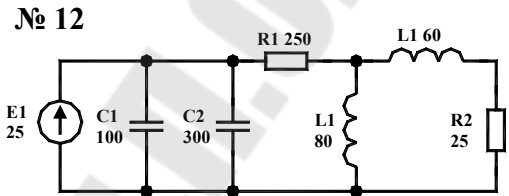
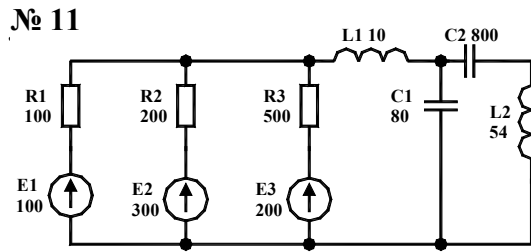
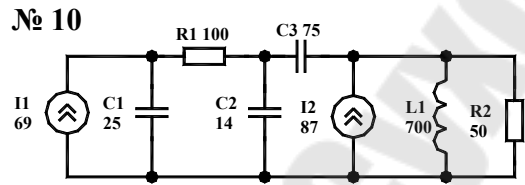
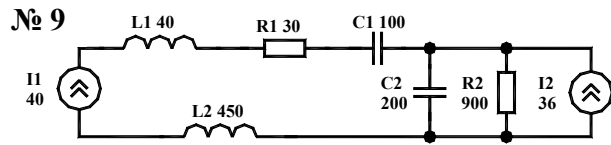
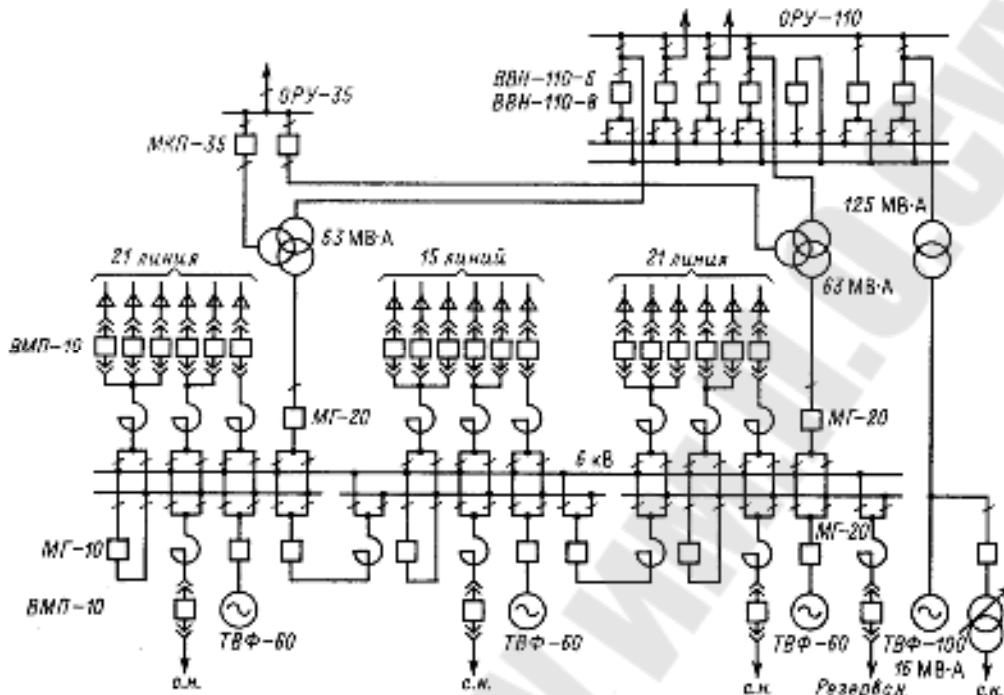


Рис. П.3.1. Окончание (начало см. на с. 54)

Приложение 4

№ 1



№ 2

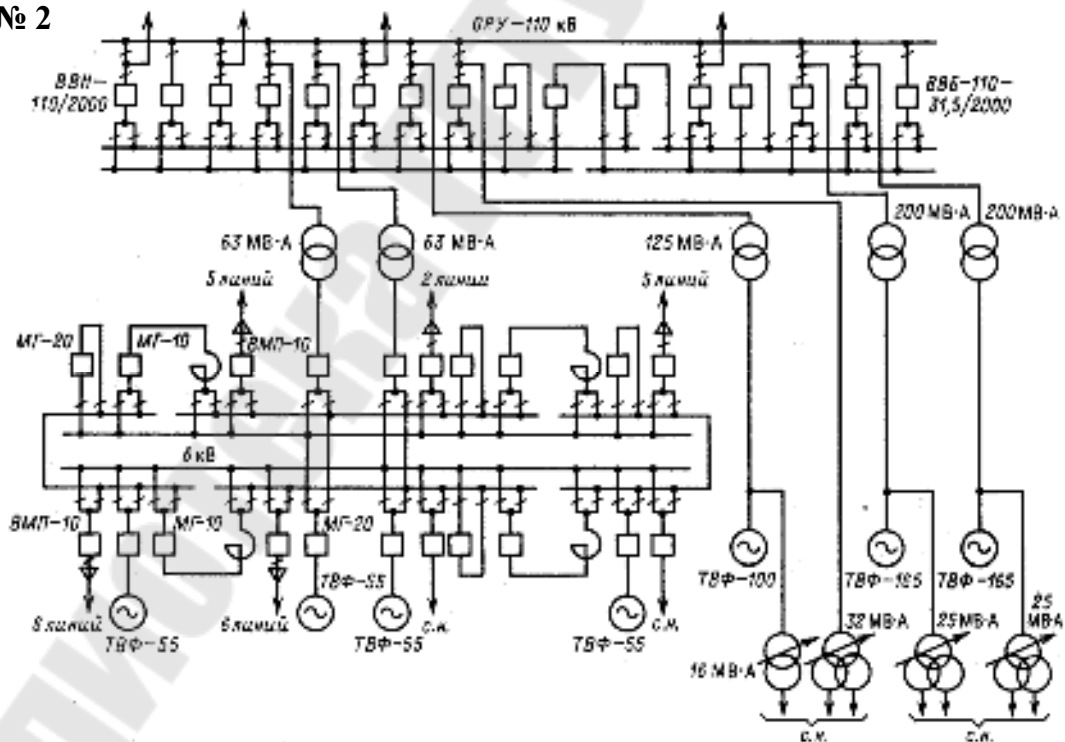
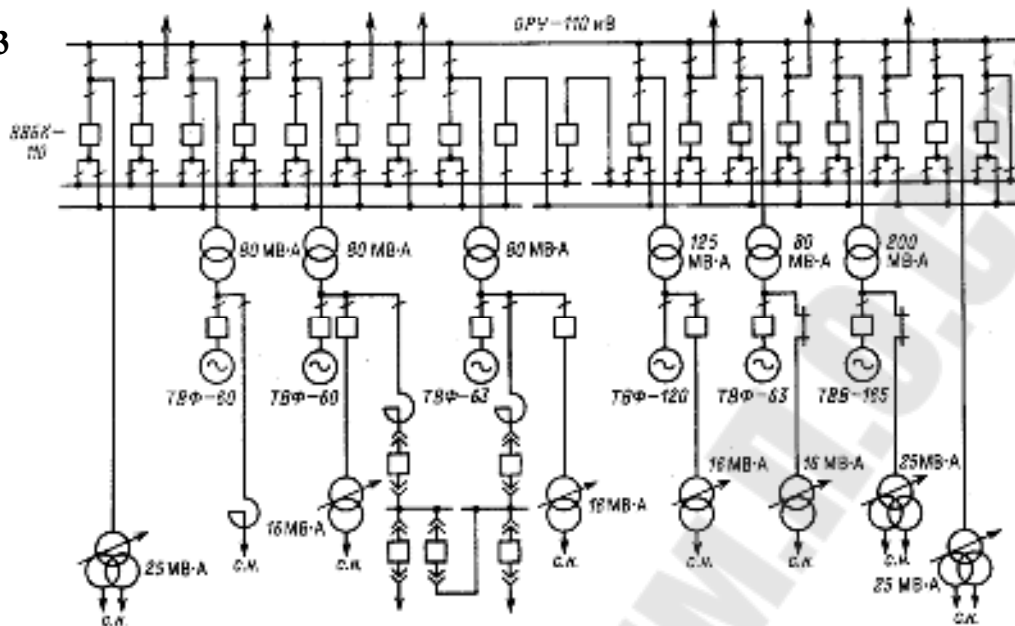


Рис. П.4.1. Варианты схем к лабораторной работе № 6

№ 3



№ 4

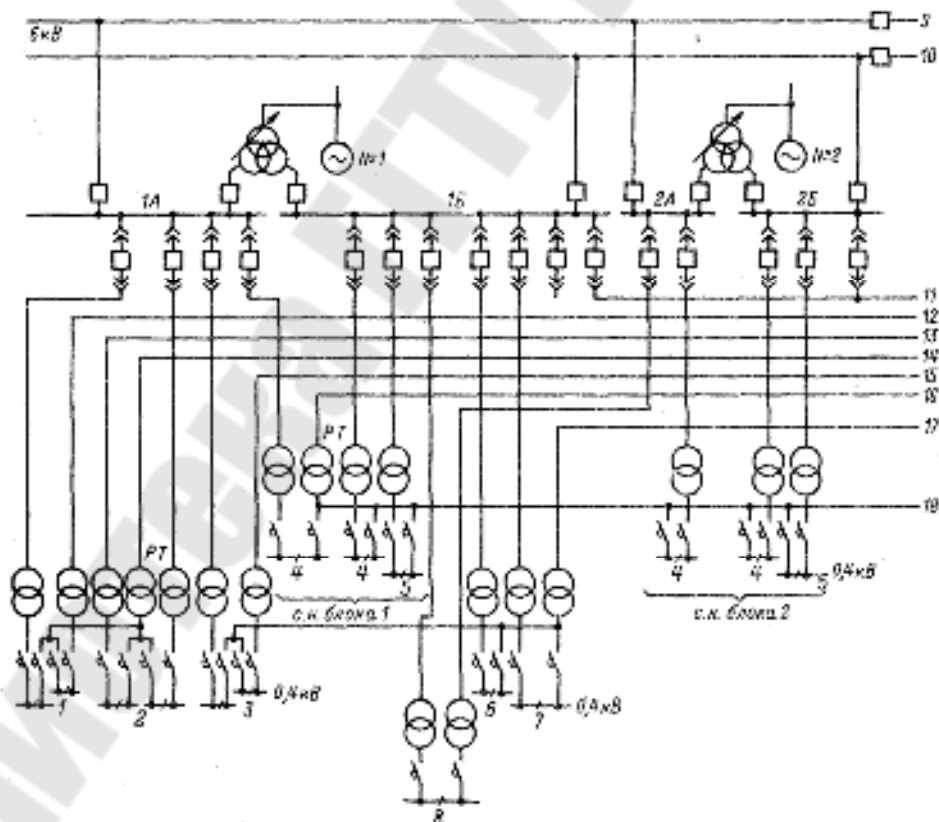
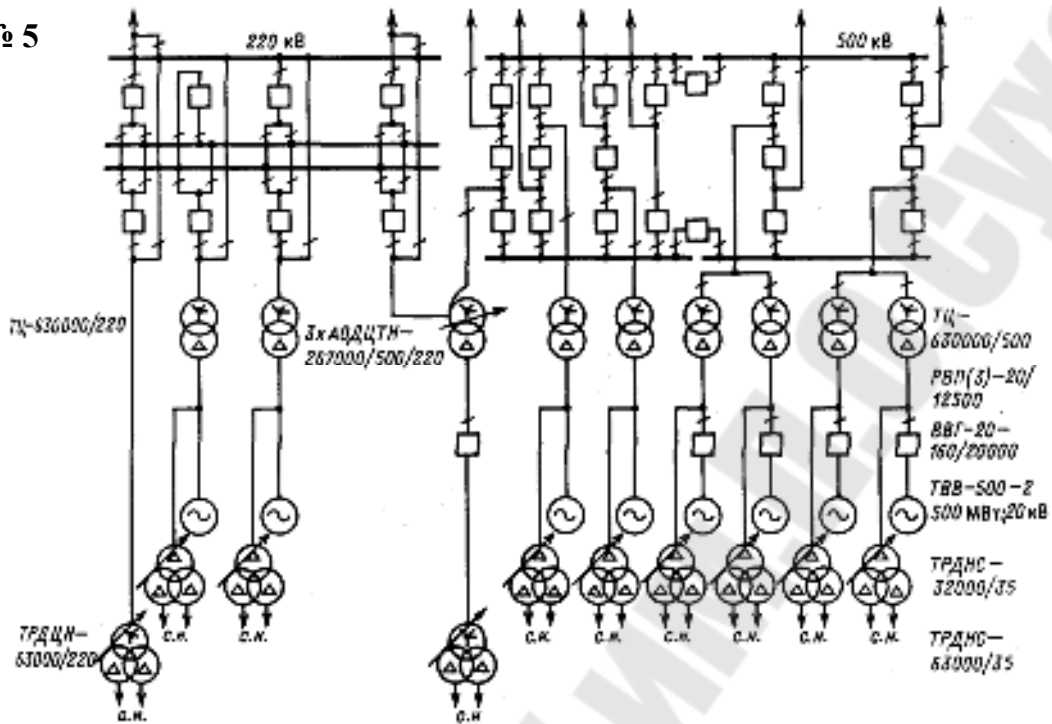


Рис. П.4.1. Продолжение (начало см. на с. 56, окончание – на с. 62)

№ 5



№ 6

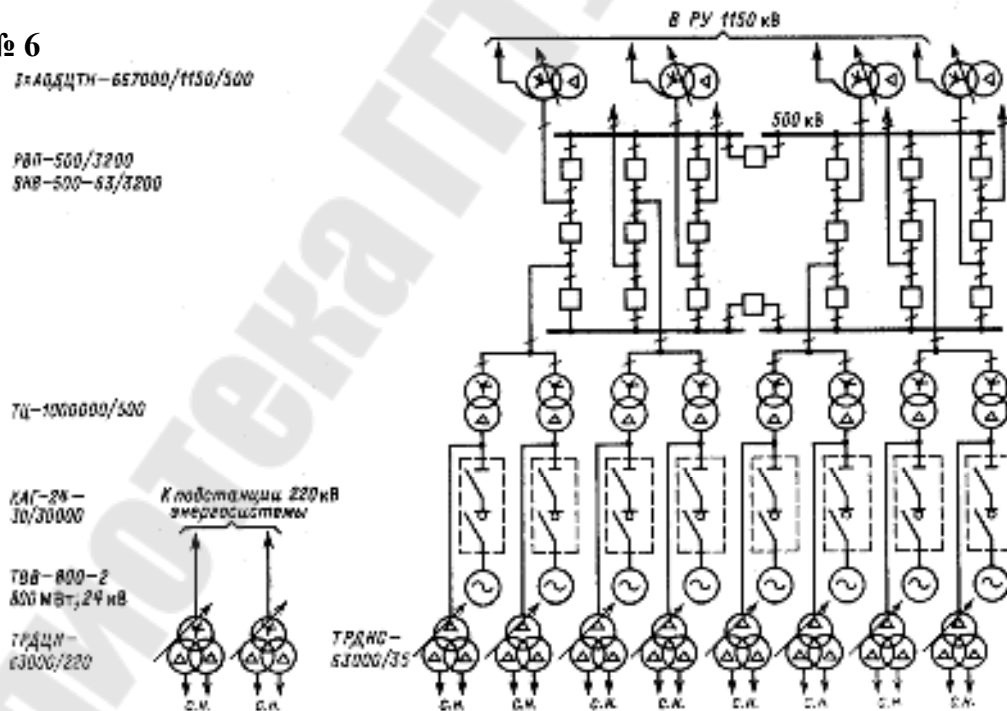
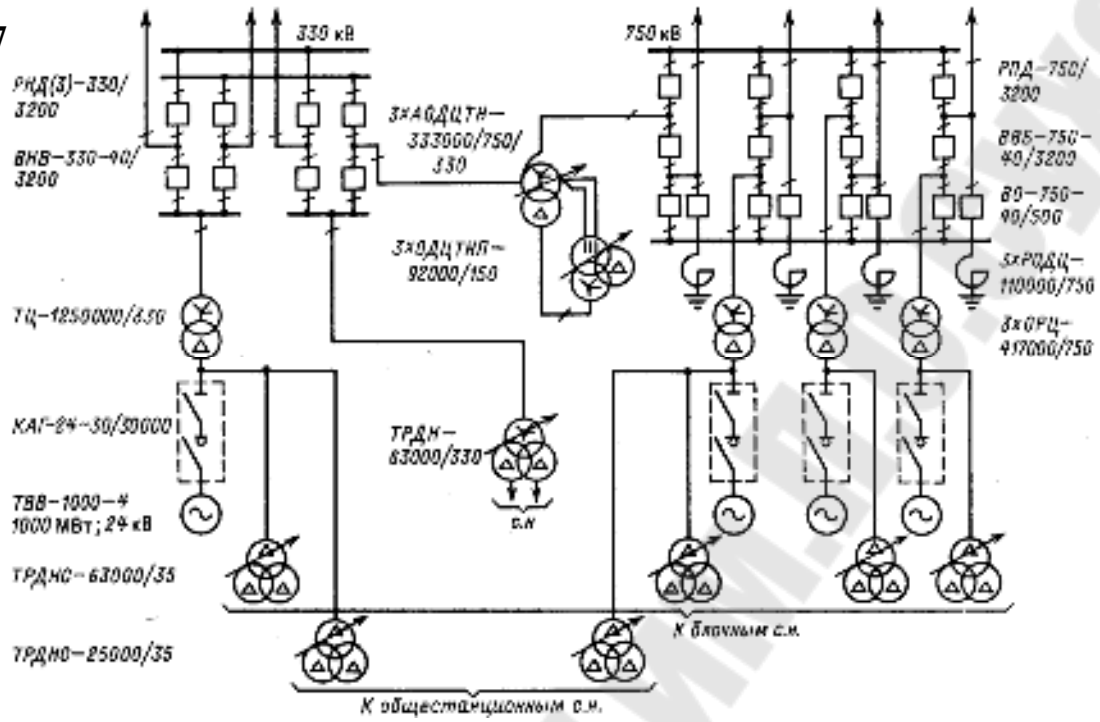


Рис. П.4.1. Продолжение (начало см. на с. 56, окончание – на с. 62)

№ 7



№ 8

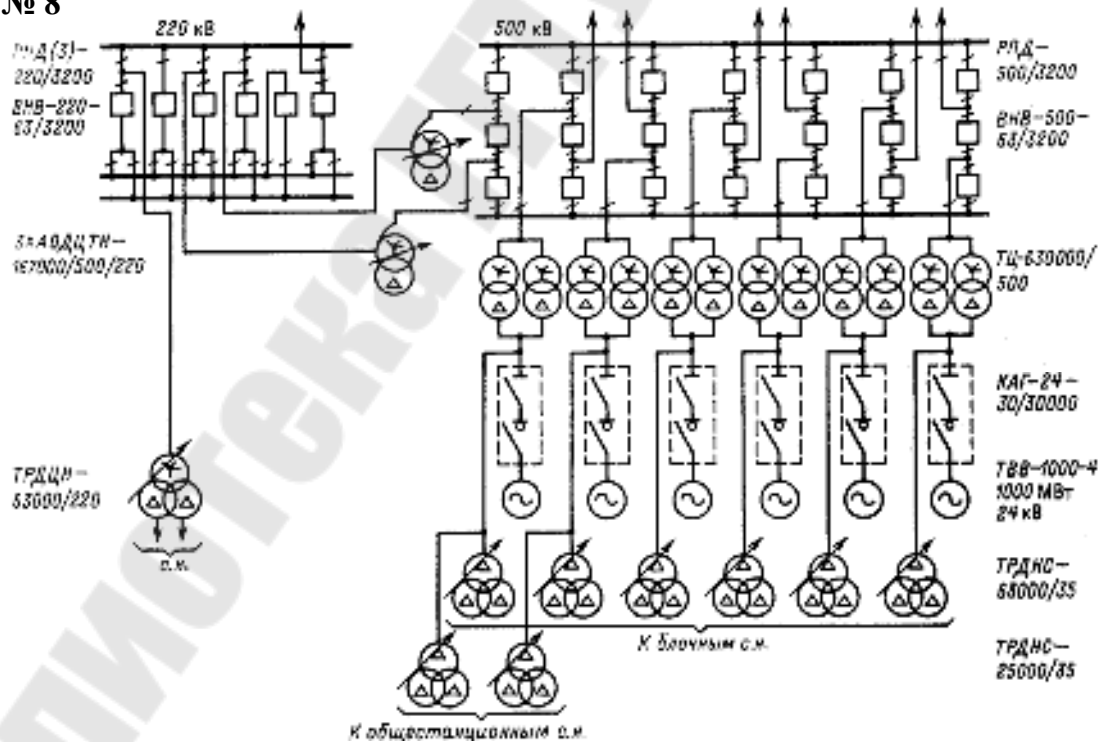
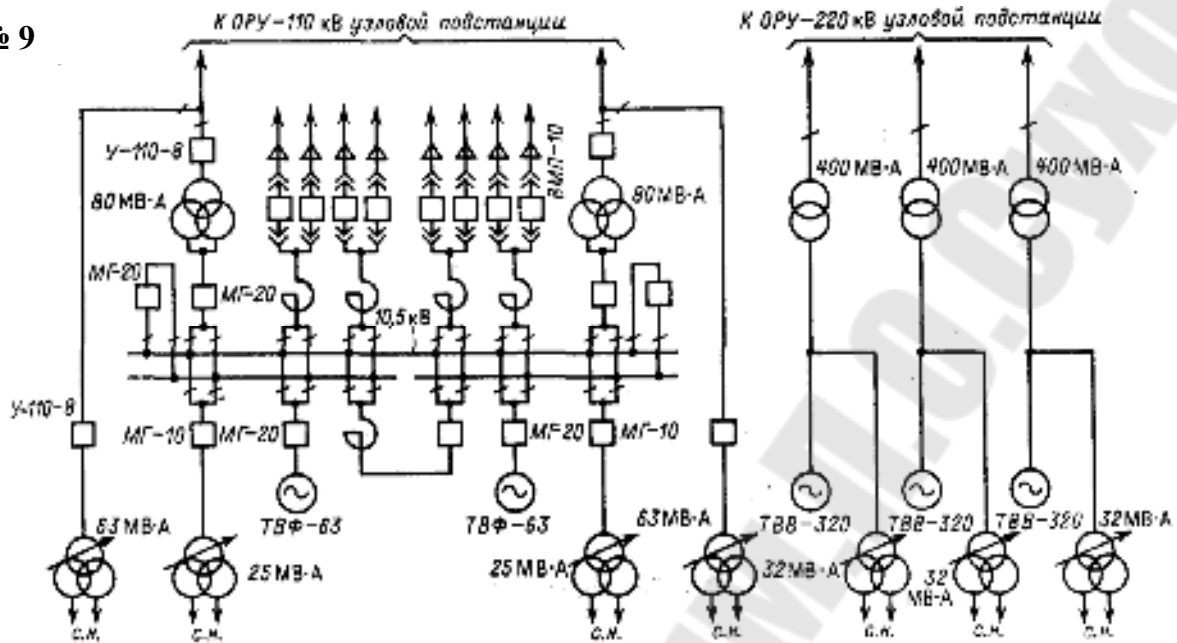


Рис. П.4.1. Продолжение (начало см. на с. 56, окончание – на с. 62)

№ 9



№ 10

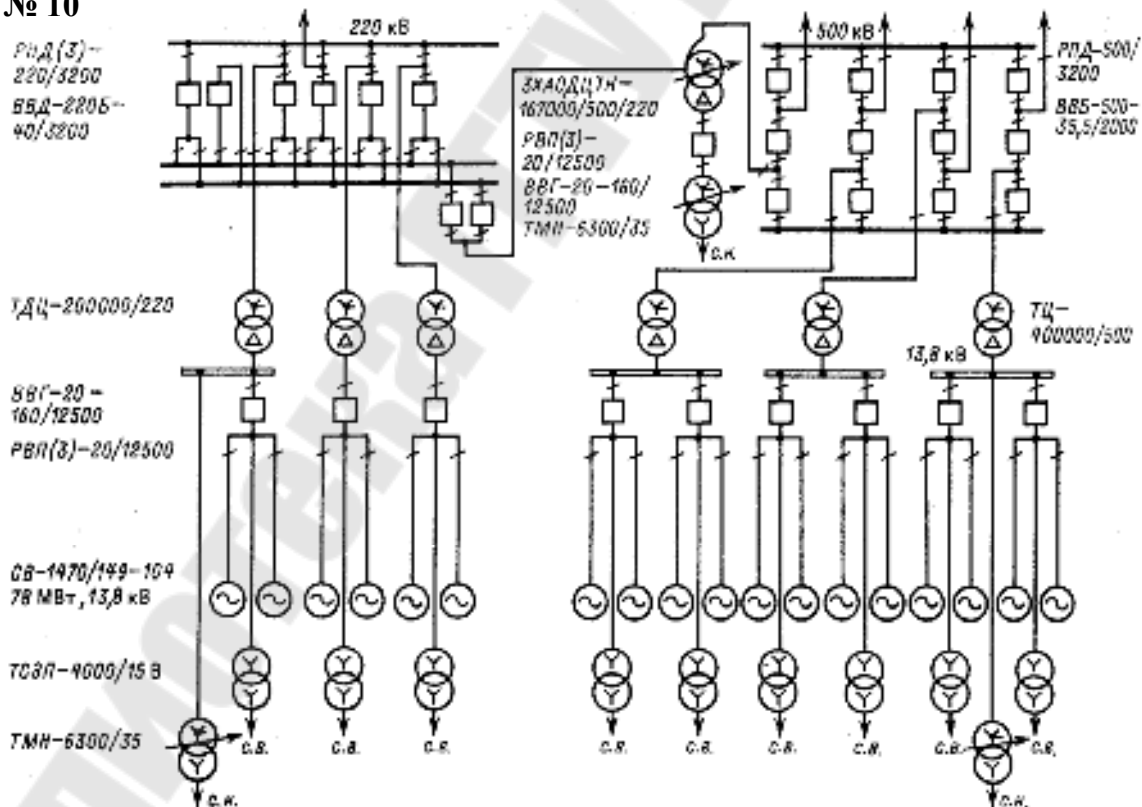
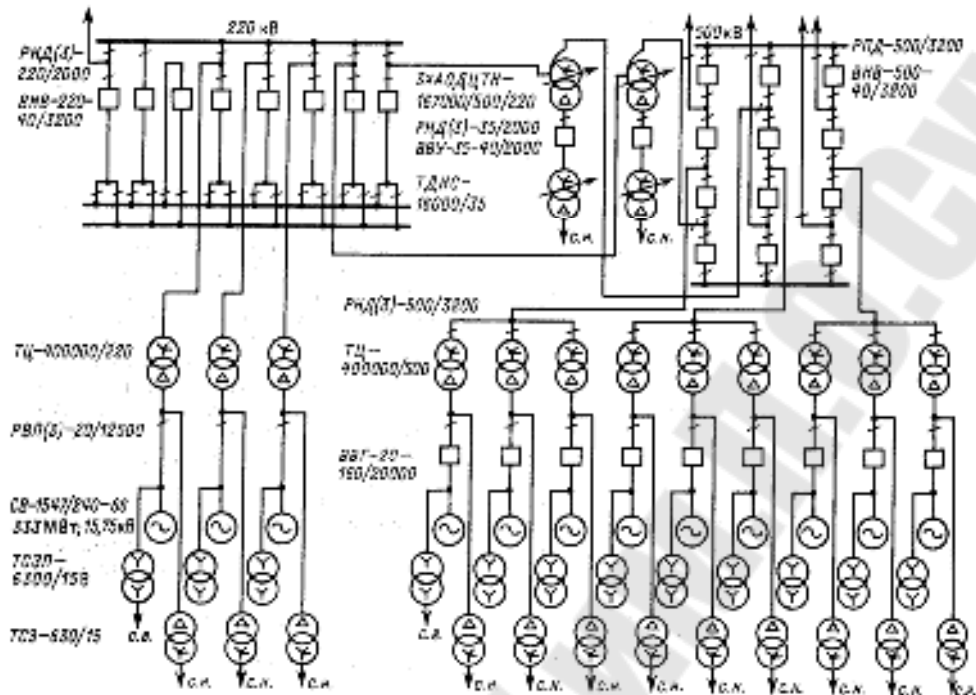


Рис. П.4.1. Продолжение (начало см. на с. 56, окончание – на с. 62)

№ 11



№ 12

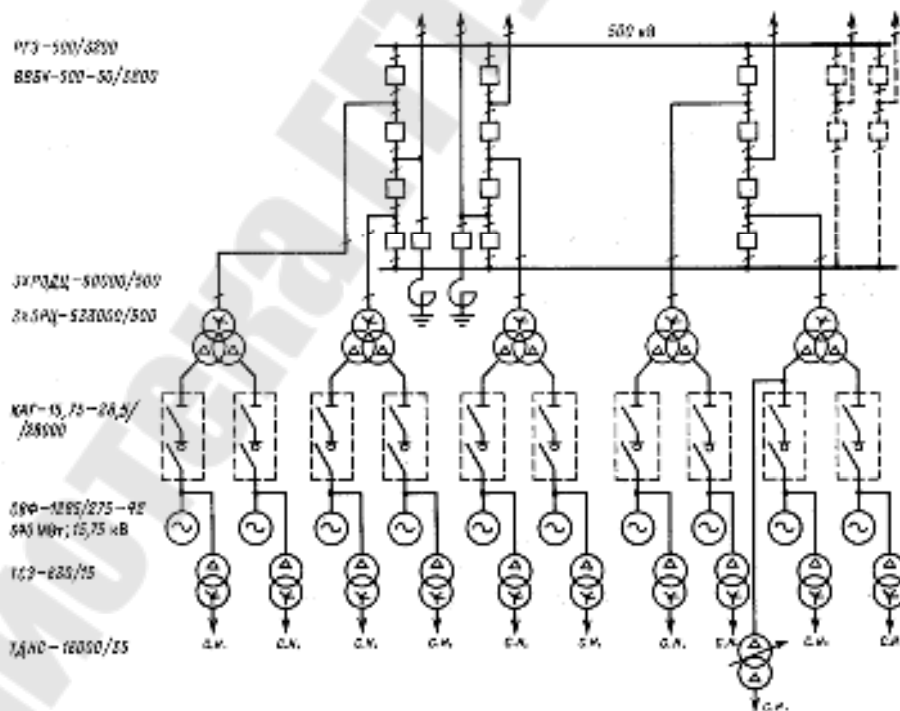
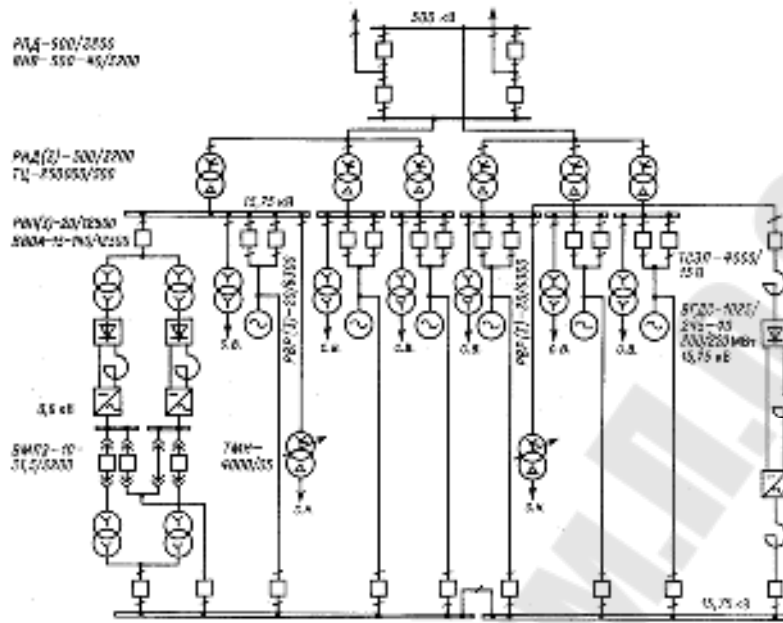


Рис. П.4.1. Продолжение (начало см. на с. 56, окончание – на с. 62)

№ 13



№ 14

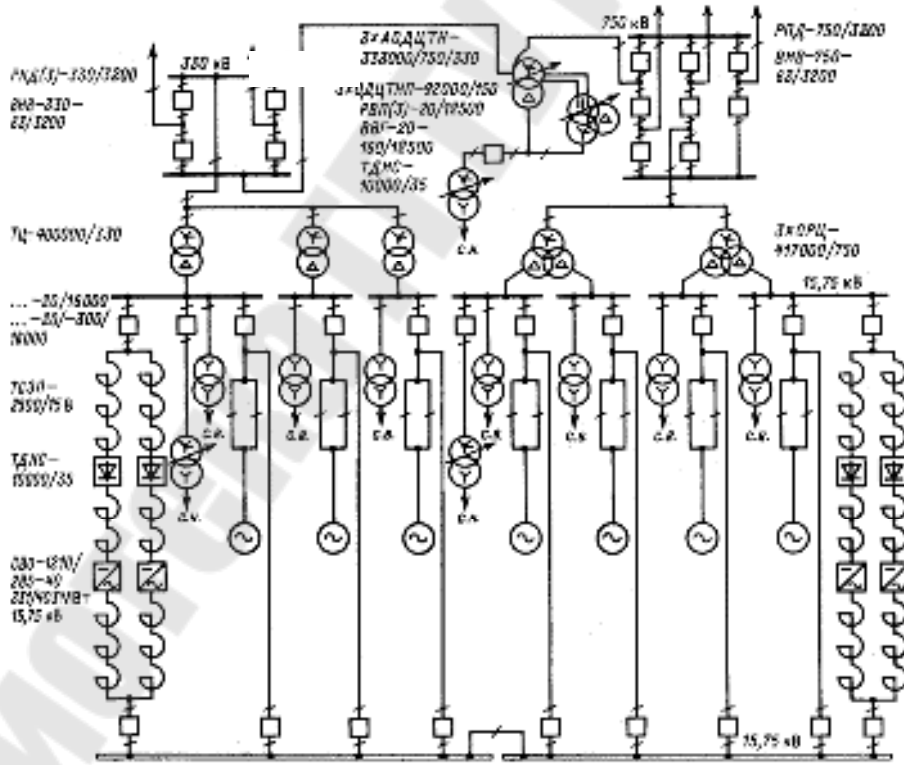
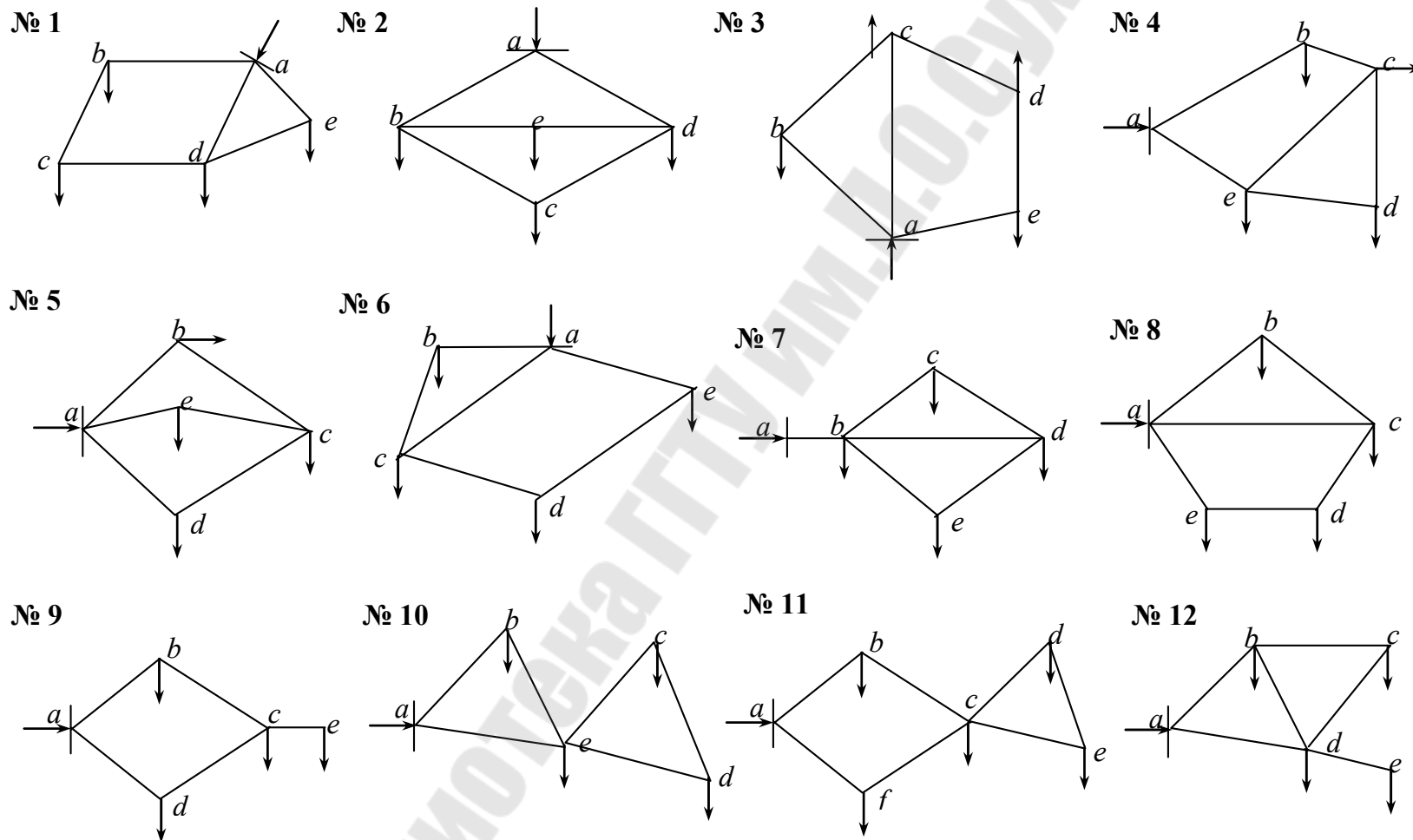


Рис. П.4.1. Окончание (начало см. на с. 56)

Приложение 5



63

Рис. П.5.1. Варианты заданий к лабораторной работе № 8

Таблица П.5.1

Параметры узлов, $U_H = 110$ кВ

Схема	Узел	P , МВт	Q , Мвар	I_a , А	I_p , А
1	b	20	10	105	53
	c	30	15	158	79
	d	30	20	158	105
	e	10	8	53	42
2	b	15	5	79	26
	c	400	20	210	105
	d	20	10	105	53
	e	20	5	105	26
3	b	20	8	105	42
	c	30	20	158	105
	d	30	20	158	105
	e	20	15	105	79
4	b	15	15	79	79
	c	40	30	210	158
	d	20	5	105	26
	e	20	15	105	79
5	b	20	10	105	53
	c	50	20	263	105
	d	20	15	105	79
	e	20	5	105	26
6	b	30	15	158	79
	c	25	10	131	53
	d	40	30	210	158
	e	15	15	79	79
7	b	20	10	105	53
	c	50	25	263	131
	d	20	15	105	79
	e	10	5	53	26
8	b	20	15	105	79
	c	50	30	263	158
	d	10	5	53	26
	e	25	10	131	53
9	b	40	20	210	105
	c	29	11	152	58
	d	15	5	79	26
	e	20	10	105	53
10	b	37	15	194	79
	c	15	8	79	42
	d	27	13	142	68
	e	20	10	105	53
11	b	30	15	158	79
	c	30	20	158	105
	d	24	15	126	79
	e	15	8	79	42
	f	18	8	95	42
12	b	24	15	126	79
	c	20	10	105	53
	d	50	20	263	105
	e	17	5	89	26

Примечание. Напряжение балансирующего узла принять равным $U_a = 115$ кВ.

Таблица П.5.2

Параметры ветвей

Схема	Начало	Конец	R_0 , Ом/км	X_0 , Ом/км	B_0 , См/км·Е-6	L , км	R , Ом	X , Ом	B , См·Е-6
1	<i>a</i>	<i>b</i>	0,198	0,420	2,700	60,000	11,880	25,200	162,000
	<i>b</i>	<i>c</i>	0,249	0,427	2,660	30,000	7,470	12,810	79,800
	<i>c</i>	<i>d</i>	0,162	0,431	2,750	70,000	11,340	30,170	192,500
	<i>d</i>	<i>e</i>	0,249	0,427	2,660	40,000	9,960	17,080	106,400
	<i>e</i>	<i>a</i>	0,198	0,420	2,700	30,000	5,940	12,600	81,000
	<i>a</i>	<i>d</i>	0,249	0,427	2,660	30,000	7,470	12,810	79,800
2	<i>a</i>	<i>b</i>	0,198	0,420	2,700	40,000	7,920	16,800	108,000
	<i>a</i>	<i>d</i>	0,162	0,431	2,750	50,000	8,100	21,550	137,500
	<i>b</i>	<i>e</i>	0,306	0,432	2,610	25,000	7,650	10,800	65,250
	<i>e</i>	<i>d</i>	0,306	0,432	2,610	25,000	7,650	10,800	65,250
	<i>b</i>	<i>c</i>	0,249	0,427	2,660	40,000	9,960	17,080	106,400
	<i>c</i>	<i>d</i>	0,249	0,427	2,660	35,000	8,715	14,945	93,100
3	<i>a</i>	<i>b</i>	0,198	0,420	2,700	30,000	5,940	12,600	81,000
	<i>a</i>	<i>e</i>	0,198	0,420	2,700	40,000	7,920	16,800	108,000
	<i>e</i>	<i>d</i>	0,198	0,420	2,700	30,000	5,940	12,600	81,000
	<i>d</i>	<i>c</i>	0,198	0,420	2,700	40,000	7,920	16,800	108,000
	<i>a</i>	<i>c</i>	0,198	0,420	2,700	50,000	9,900	21,000	135,000
	<i>b</i>	<i>c</i>	0,198	0,420	2,700	40,000	7,920	16,800	108,000
4	<i>a</i>	<i>b</i>	0,198	0,420	2,700	70,000	13,860	29,400	189,000
	<i>b</i>	<i>c</i>	0,306	0,434	2,610	50,000	15,300	21,700	130,500
	<i>a</i>	<i>e</i>	0,198	0,420	2,700	40,000	7,920	16,800	108,000
	<i>e</i>	<i>d</i>	0,306	0,434	2,610	50,000	15,300	21,700	130,500
	<i>e</i>	<i>c</i>	0,306	0,434	2,610	60,000	18,360	26,040	156,600
	<i>c</i>	<i>d</i>	0,306	0,434	2,610	30,000	9,180	13,020	78,300
5	<i>a</i>	<i>b</i>	0,198	0,420	2,700	50,000	9,900	21,000	135,000
	<i>b</i>	<i>c</i>	0,198	0,420	2,700	50,000	9,900	21,000	135,000
	<i>a</i>	<i>e</i>	0,198	0,420	2,700	30,000	5,940	12,600	81,000
	<i>e</i>	<i>c</i>	0,198	0,420	2,700	30,000	5,940	12,600	81,000
	<i>d</i>	<i>c</i>	0,198	0,420	2,700	40,000	7,920	16,800	108,000
	<i>a</i>	<i>d</i>	0,198	0,420	2,700	40,000	7,920	16,800	108,000
6	<i>a</i>	<i>b</i>	0,249	0,427	2,660	40,000	9,960	17,080	106,400
	<i>b</i>	<i>c</i>	0,249	0,427	2,660	40,000	9,960	17,080	106,400
	<i>a</i>	<i>c</i>	0,249	0,427	2,660	40,000	9,960	17,080	106,400
	<i>a</i>	<i>e</i>	0,249	0,427	2,660	40,000	9,960	17,080	106,400
	<i>e</i>	<i>d</i>	0,249	0,427	2,660	60,000	14,940	25,620	159,600
	<i>c</i>	<i>d</i>	0,198	0,420	2,700	40,000	7,920	16,800	108,000
7	<i>a</i>	<i>b</i>	0,162	0,431	2,750	70,000	11,340	30,170	192,500
	<i>b</i>	<i>c</i>	0,198	0,420	2,700	40,000	7,920	16,800	108,000
	<i>b</i>	<i>e</i>	0,198	0,420	2,700	50,000	9,900	21,000	135,000
	<i>b</i>	<i>d</i>	0,198	0,420	2,700	50,000	9,900	21,000	135,000
	<i>c</i>	<i>d</i>	0,198	0,420	2,700	30,000	5,940	12,600	81,000
	<i>e</i>	<i>d</i>	0,198	0,420	2,700	45,000	8,910	18,900	121,500

Окончание табл. П.5.2

Схема	Начало	Конец	R_0 , Ом/км	X_0 , Ом/км	B_0 , См/км·Е-6	L , км	R , Ом	X , Ом	B , См·Е-6
8	<i>a</i>	<i>b</i>	0,198	0,420	2,700	80,000	15,840	33,600	216,000
	<i>b</i>	<i>c</i>	0,198	0,420	2,700	40,000	7,920	16,800	108,000
	<i>c</i>	<i>d</i>	0,198	0,420	2,700	30,000	5,940	12,600	81,000
	<i>d</i>	<i>e</i>	0,198	0,420	2,700	50,000	9,900	21,000	135,000
	<i>a</i>	<i>e</i>	0,198	0,420	2,700	70,000	13,860	29,400	189,000
	<i>a</i>	<i>c</i>	0,198	0,420	2,700	50,000	9,900	21,000	135,000
9	<i>a</i>	<i>b</i>	0,162	0,431	2,750	60,000	9,720	25,860	165,000
	<i>a</i>	<i>d</i>	0,198	0,420	2,700	50,000	9,900	21,000	135,000
	<i>b</i>	<i>c</i>	0,249	0,427	2,660	40,000	9,960	17,080	106,400
	<i>d</i>	<i>c</i>	0,249	0,427	2,660	35,000	8,715	14,945	93,100
	<i>c</i>	<i>e</i>	0,249	0,427	2,660	30,000	7,470	12,810	79,800
10	<i>a</i>	<i>b</i>	0,198	0,420	2,700	60,000	11,880	25,200	162,000
	<i>a</i>	<i>e</i>	0,198	0,420	2,700	50,000	9,900	21,000	135,000
	<i>b</i>	<i>e</i>	0,198	0,420	2,700	30,000	5,940	12,600	81,000
	<i>e</i>	<i>c</i>	0,306	0,434	2,610	40,000	12,240	17,360	104,400
	<i>e</i>	<i>d</i>	0,306	0,434	2,610	35,000	10,710	15,190	91,350
	<i>c</i>	<i>d</i>	0,306	0,434	2,610	30,000	9,180	13,020	78,300
11	<i>a</i>	<i>b</i>	0,198	0,420	2,700	50,000	9,900	21,000	135,000
	<i>b</i>	<i>c</i>	0,198	0,420	2,700	40,000	7,920	16,800	108,000
	<i>f</i>	<i>c</i>	0,198	0,420	2,700	35,000	6,930	14,700	94,500
	<i>a</i>	<i>f</i>	0,198	0,420	2,700	60,000	11,880	25,200	162,000
	<i>c</i>	<i>d</i>	0,306	0,434	2,610	30,000	9,180	13,020	78,300
	<i>c</i>	<i>e</i>	0,306	0,434	2,610	35,000	10,710	15,190	91,350
	<i>d</i>	<i>e</i>	0,306	0,434	2,610	25,000	7,650	10,850	65,250
12	<i>a</i>	<i>b</i>	0,198	0,420	2,700	70,000	13,860	29,400	189,000
	<i>a</i>	<i>d</i>	0,162	0,431	2,750	60,000	9,720	25,860	165,000
	<i>b</i>	<i>d</i>	0,198	0,420	2,700	50,000	9,900	21,000	135,000
	<i>b</i>	<i>c</i>	0,249	0,427	2,660	35,000	8,715	14,945	93,100
	<i>d</i>	<i>c</i>	0,249	0,427	2,660	40,000	9,960	17,080	106,400
	<i>d</i>	<i>e</i>	0,306	0,434	2,610	30,000	9,180	13,020	78,300

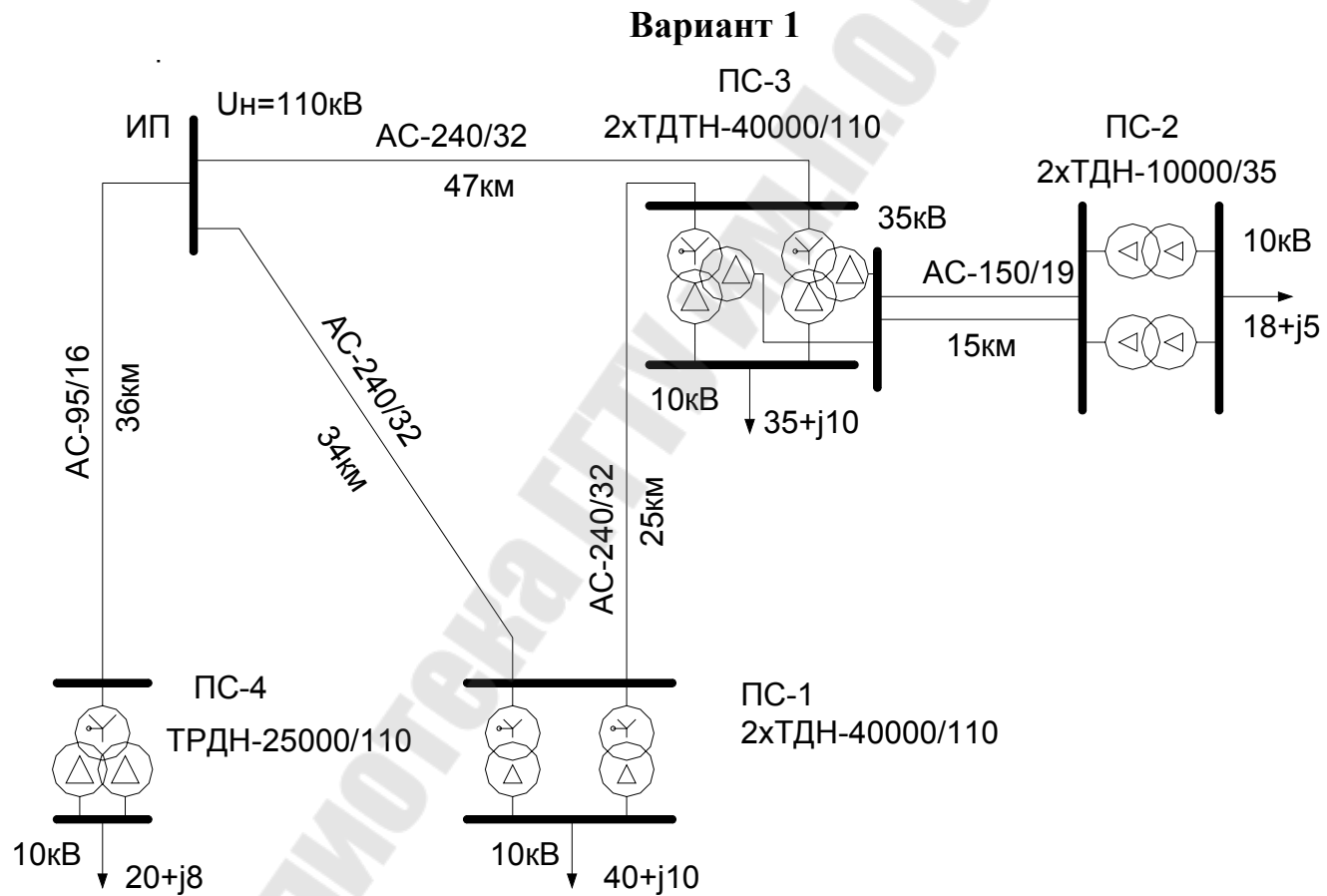


Рис. П.6.1. Схемы электрической сети для лабораторной работы № 9
(окончание см. на с. 82)

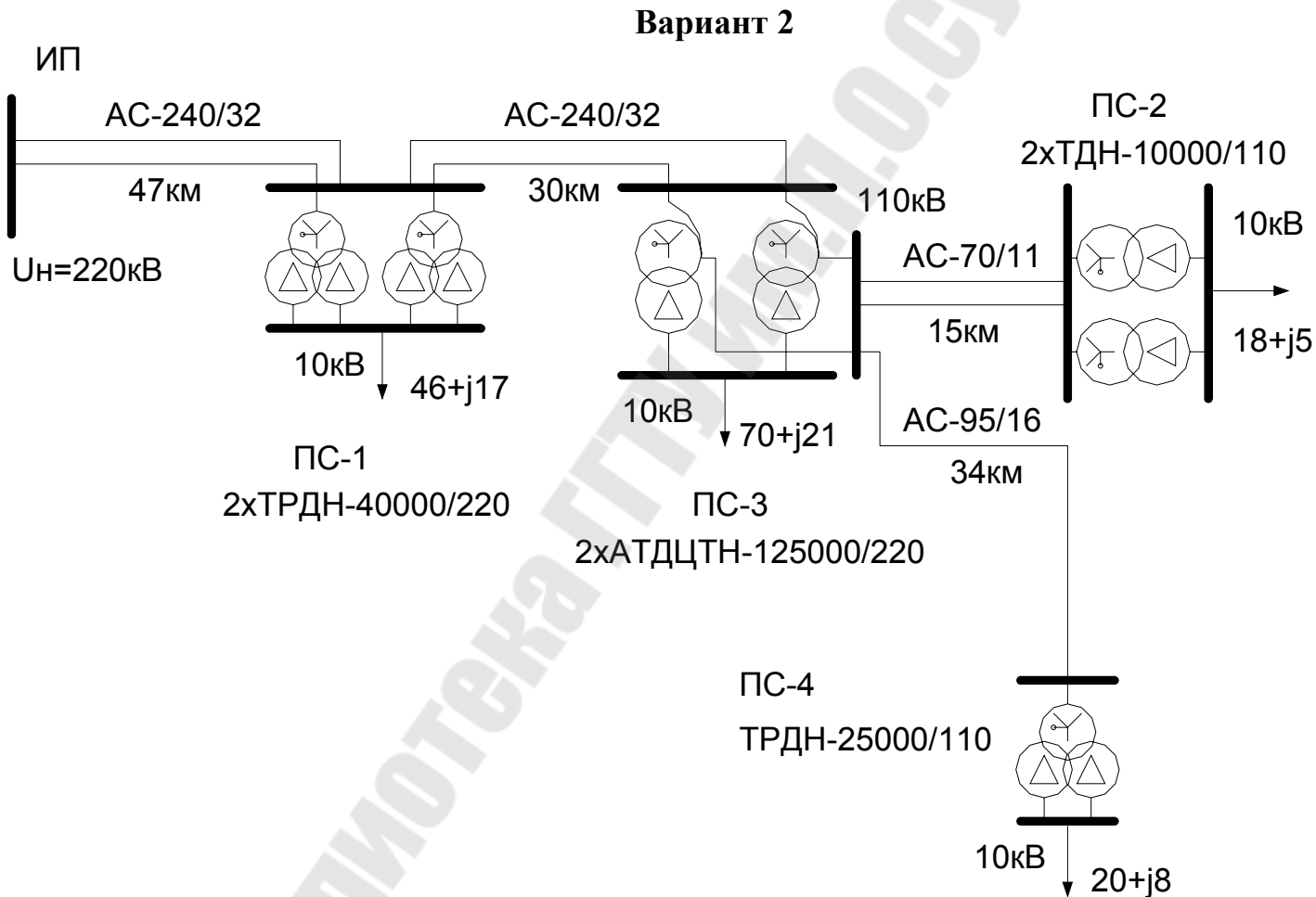


Рис. П.6.1. Продолжение (начало см. на с. 67, окончание – на с. 82)

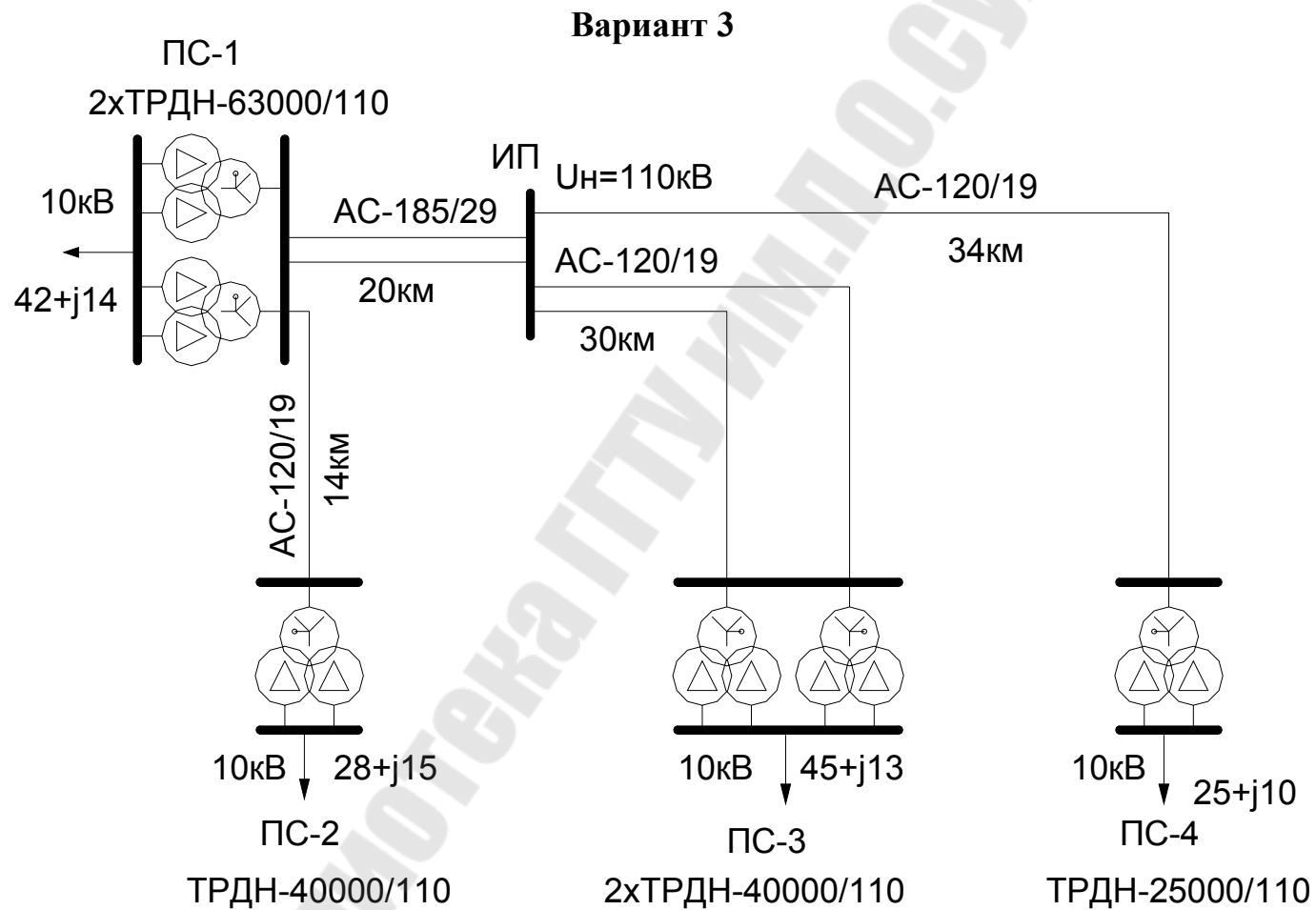


Рис. П.6.1. Продолжение (начало см. на с. 67, окончание – на с. 82)

Вариант 4

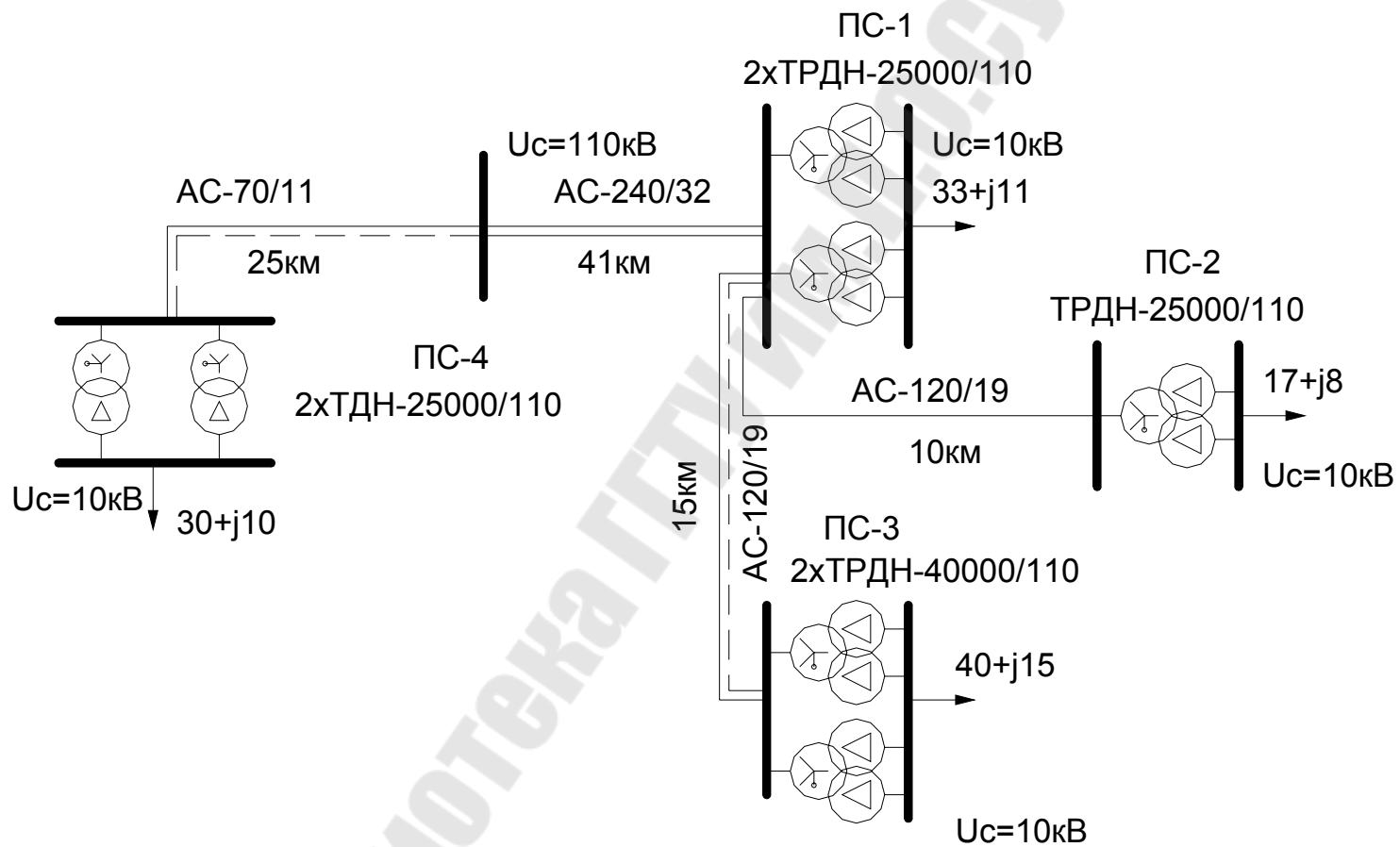


Рис. П.6.1. Продолжение (начало см. на с. 67, окончание – на с. 82)

Вариант 5

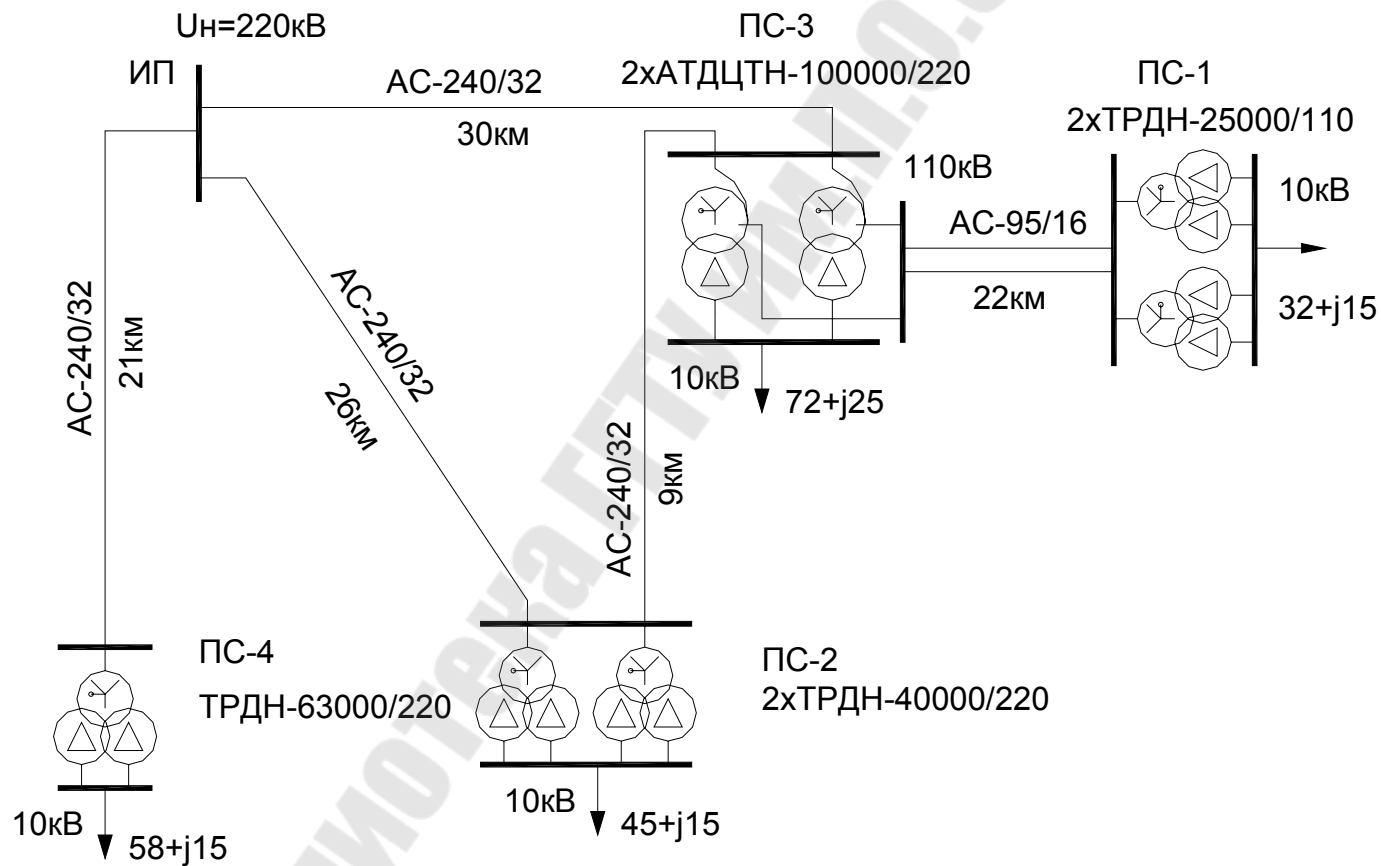


Рис. П.6.1. Продолжение (начало см. на с. 67, окончание – на с. 82)

Вариант 6

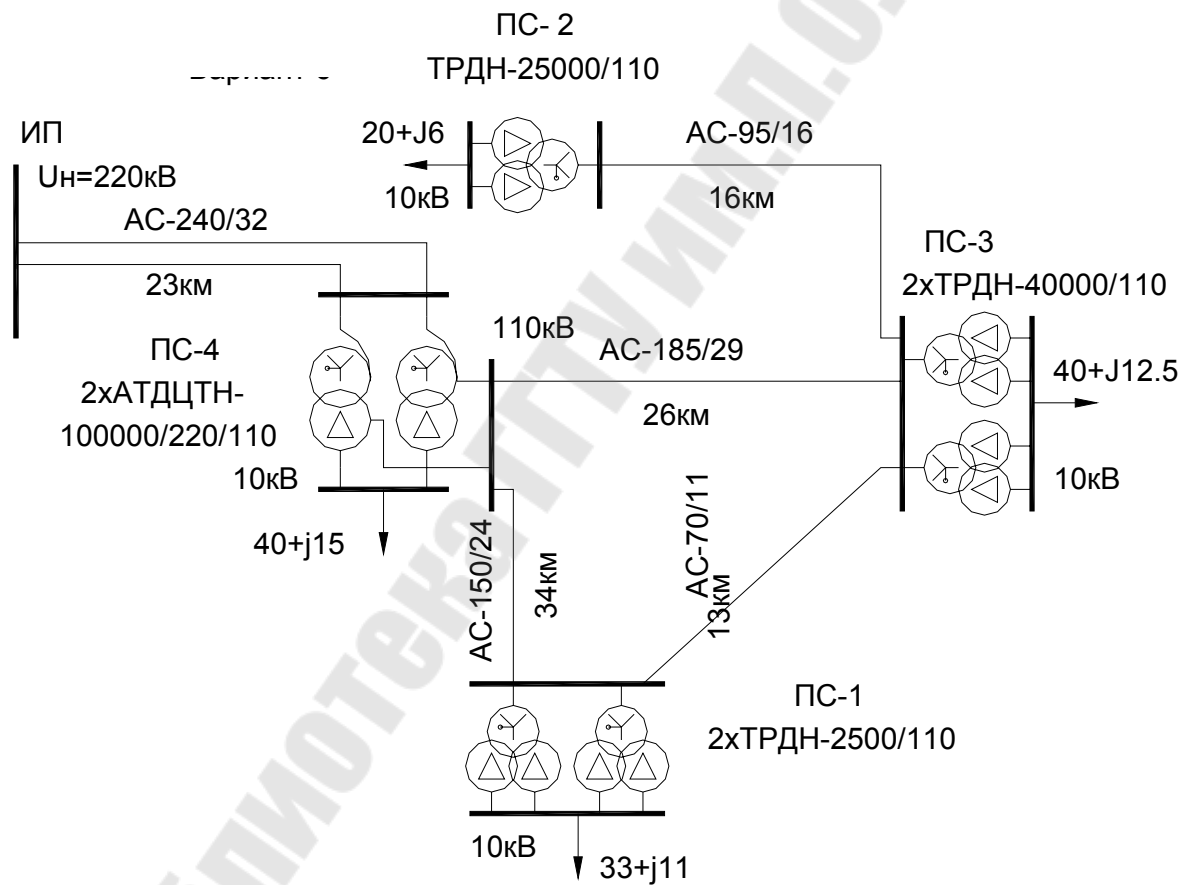


Рис. П.6.1. Продолжение (начало см. на с. 67, окончание – на с. 82)

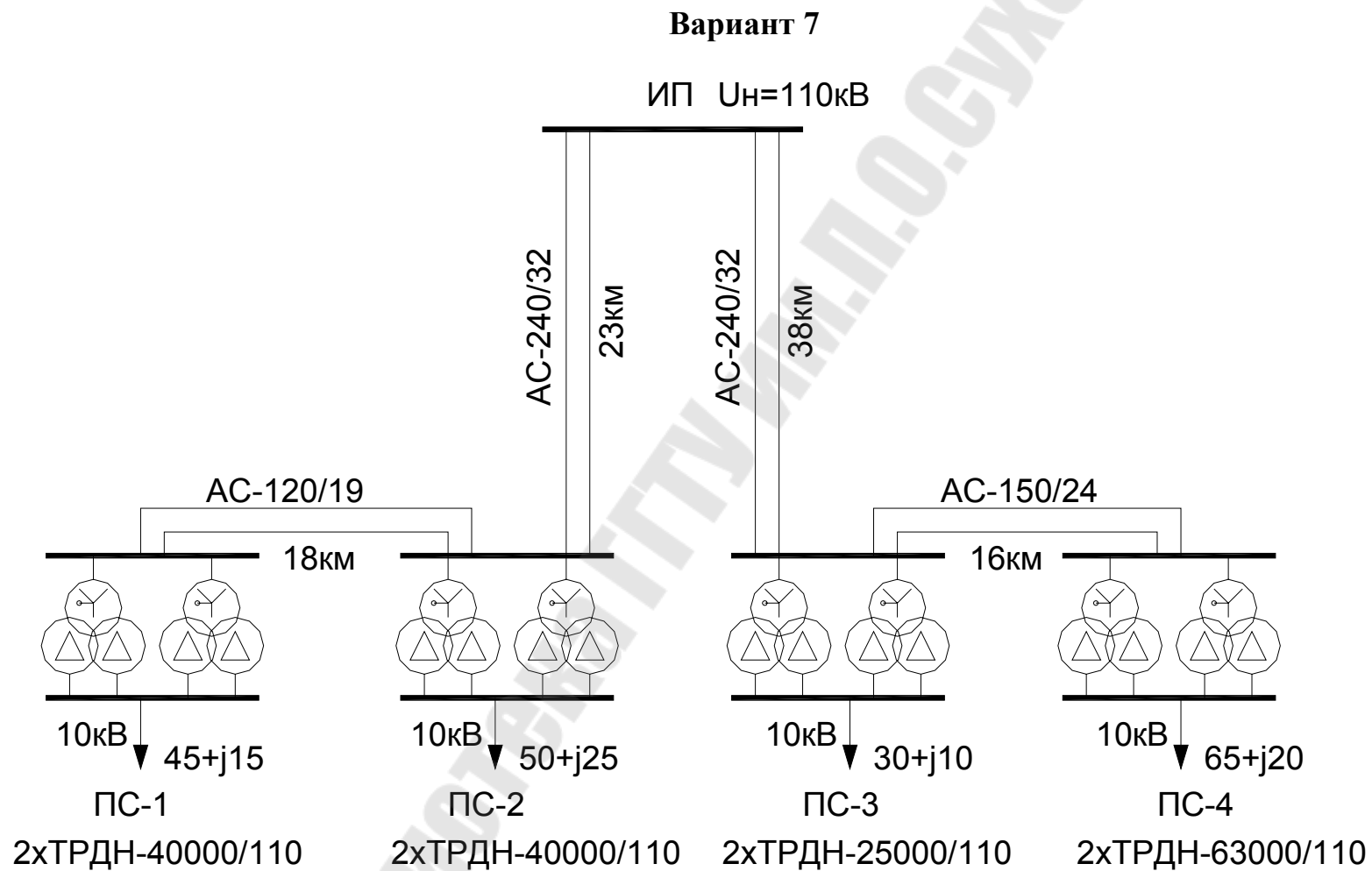


Рис. П.6.1. Продолжение (начало см. на с. 67, окончание – на с. 82)

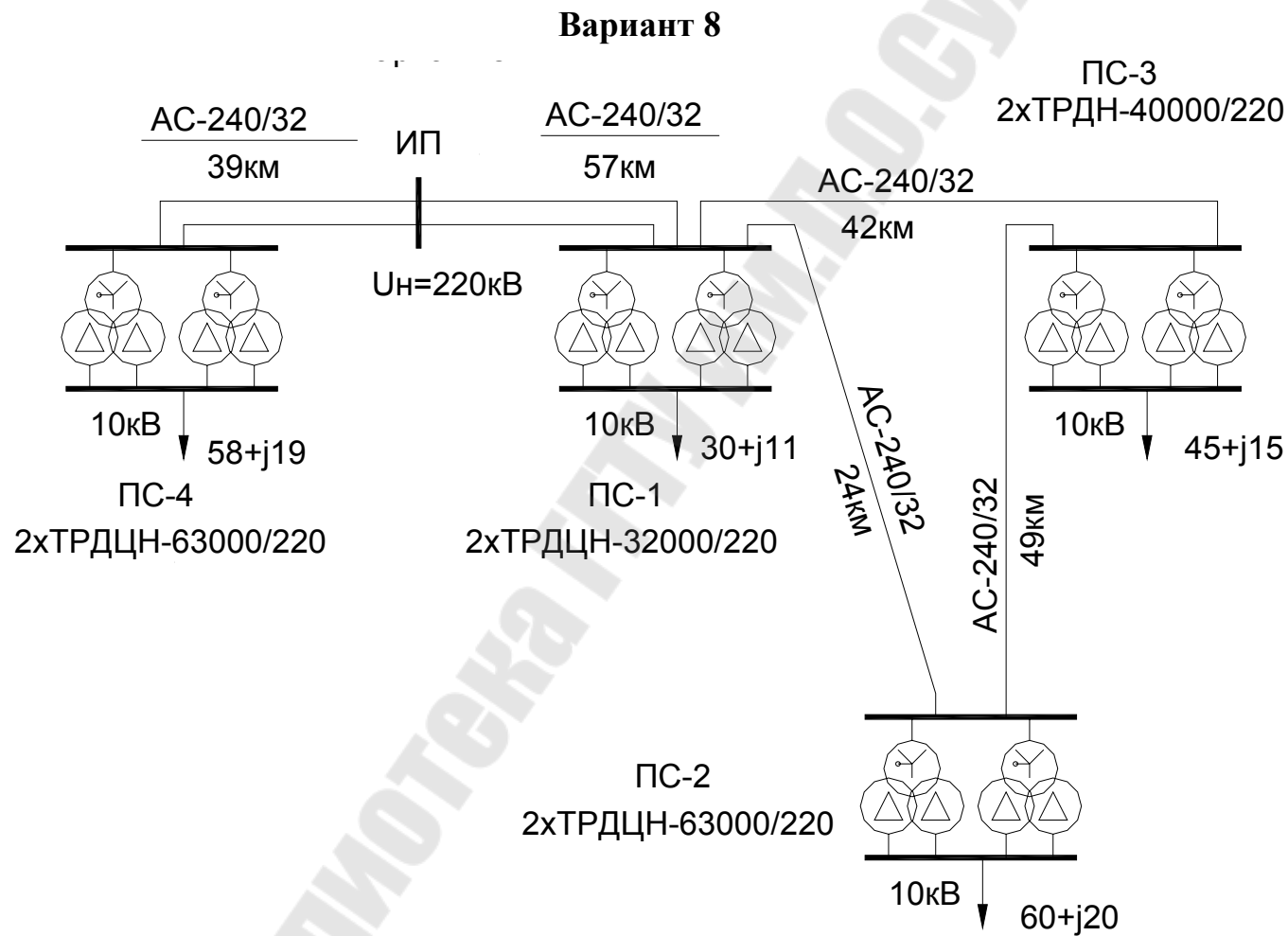


Рис. П.6.1. Продолжение (начало см. на с. 67, окончание – на с. 82)

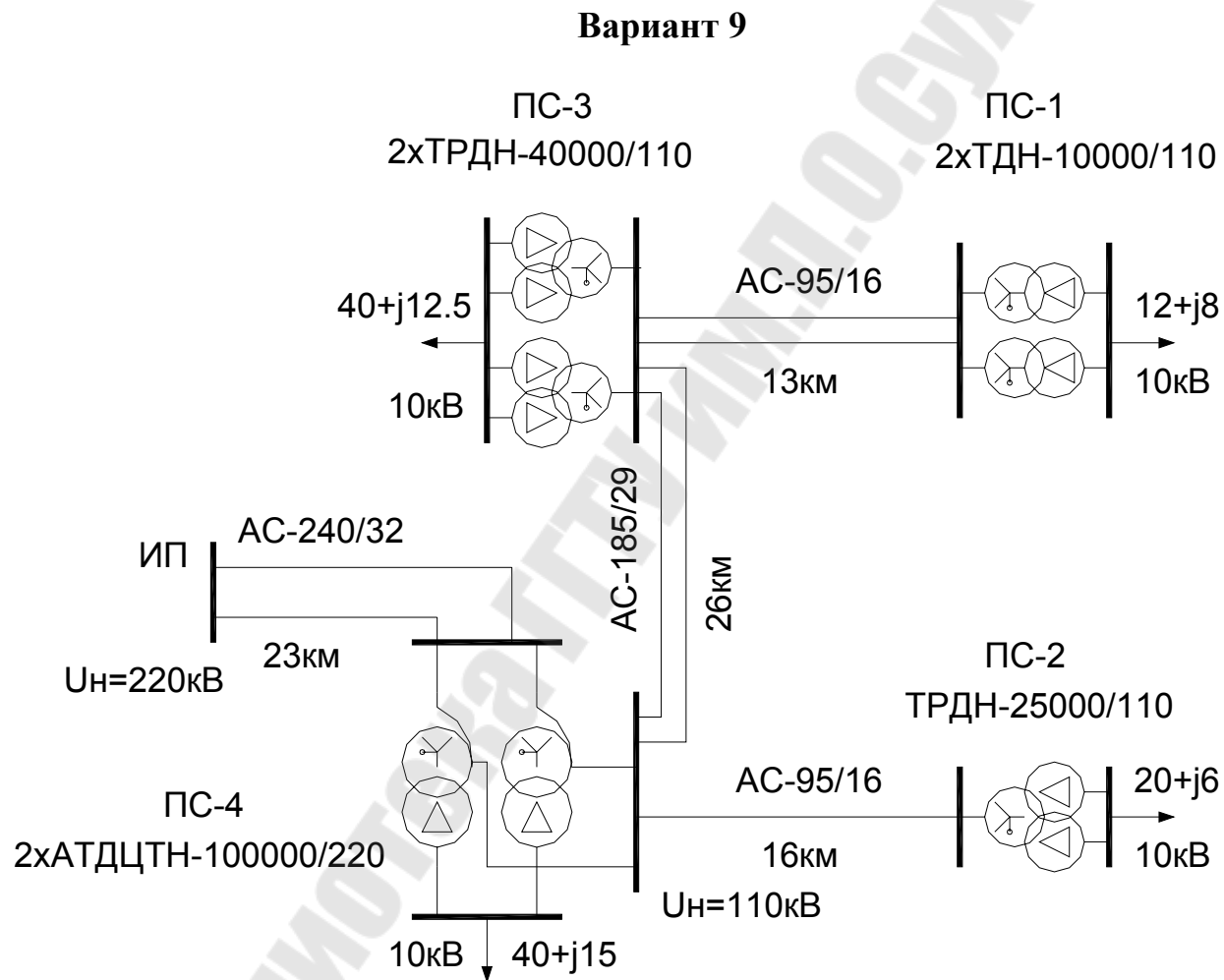


Рис. П.6.1. Продолжение (начало см. на с. 67, окончание – на с. 82)

Вариант 10

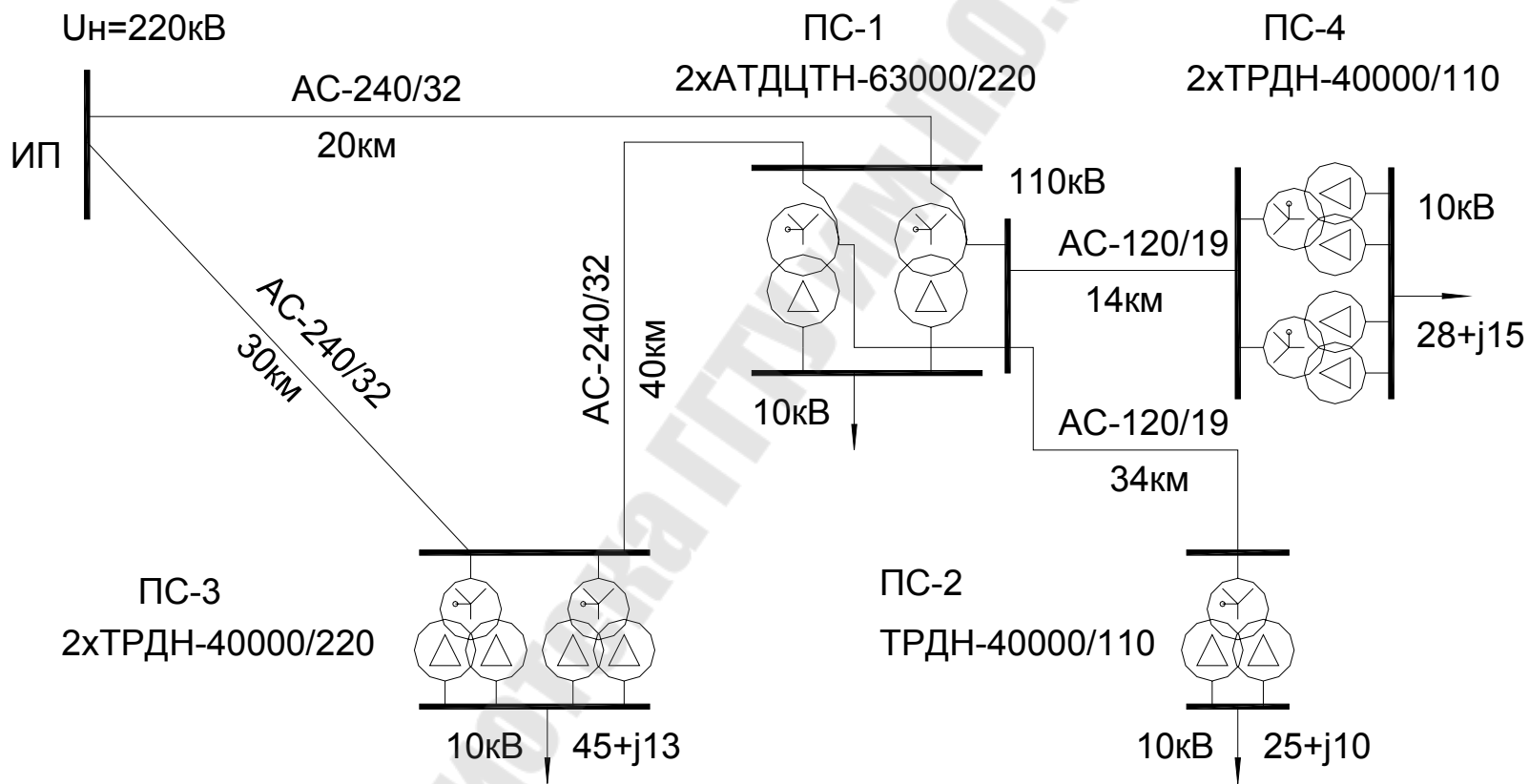


Рис. П.6.1. Продолжение (начало см. на с. 67, окончание – на с. 82)

Вариант 11

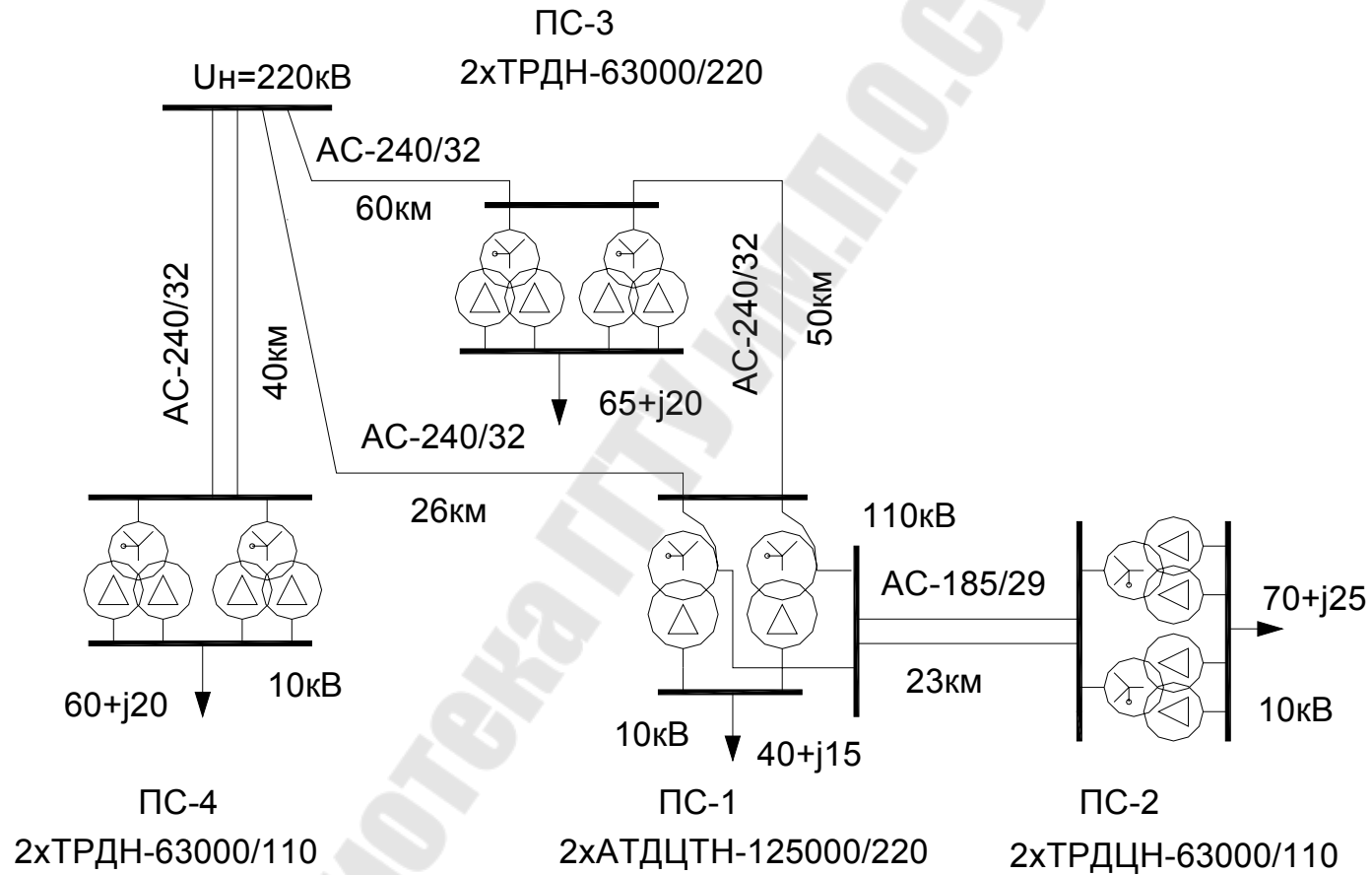


Рис. П.6.1. Продолжение (начало см. на с. 67, окончание – на с. 82)

Вариант 12

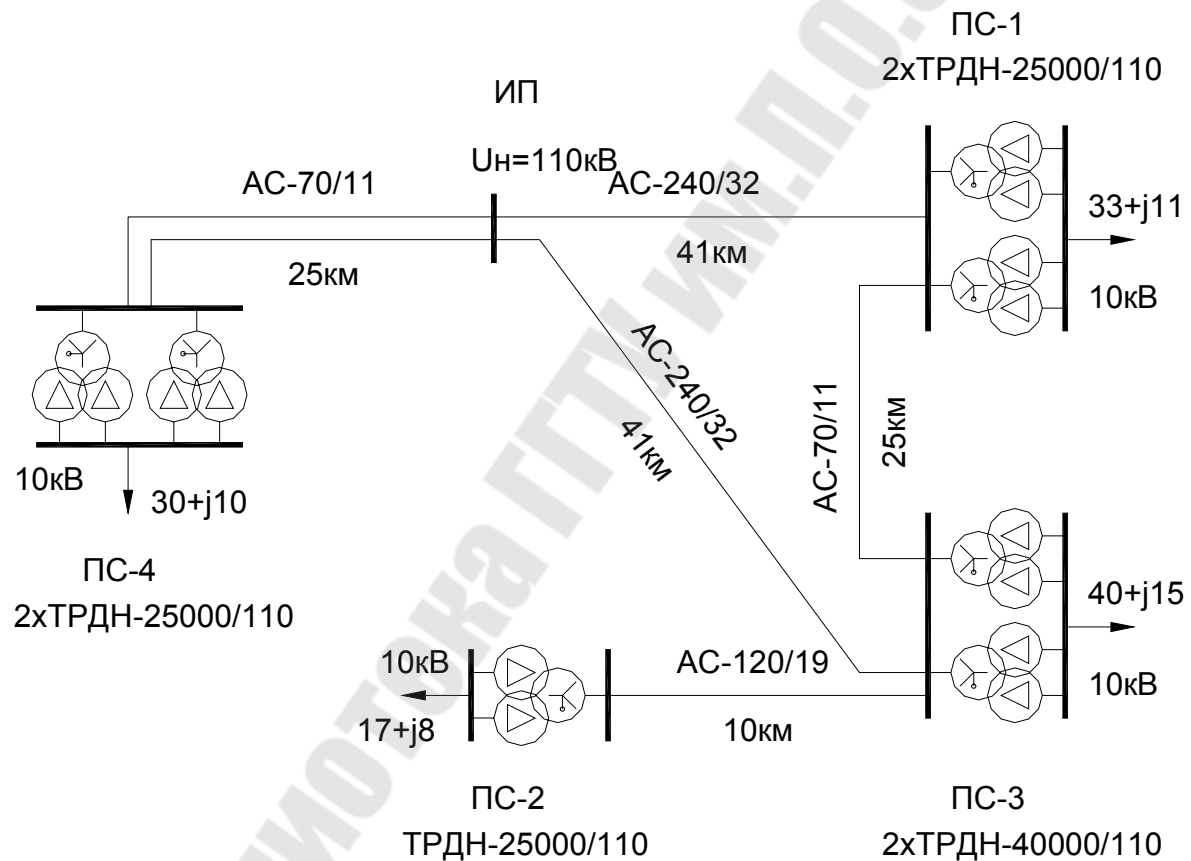


Рис. П.6.1. Продолжение (начало см. на с. 67, окончание – на с. 82)

Вариант 13

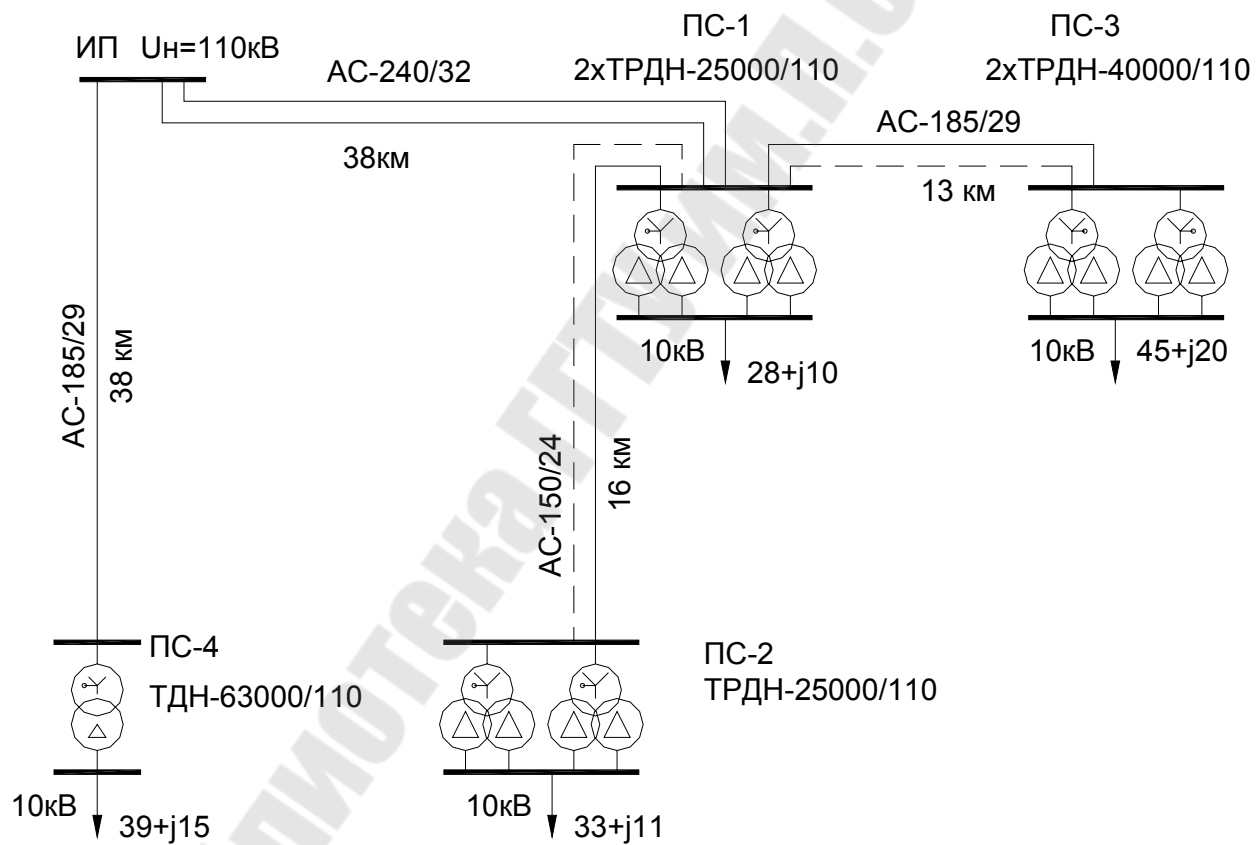


Рис. П.6.1. Продолжение (начало см. на с. 67, окончание – на с. 82)

Вариант 14

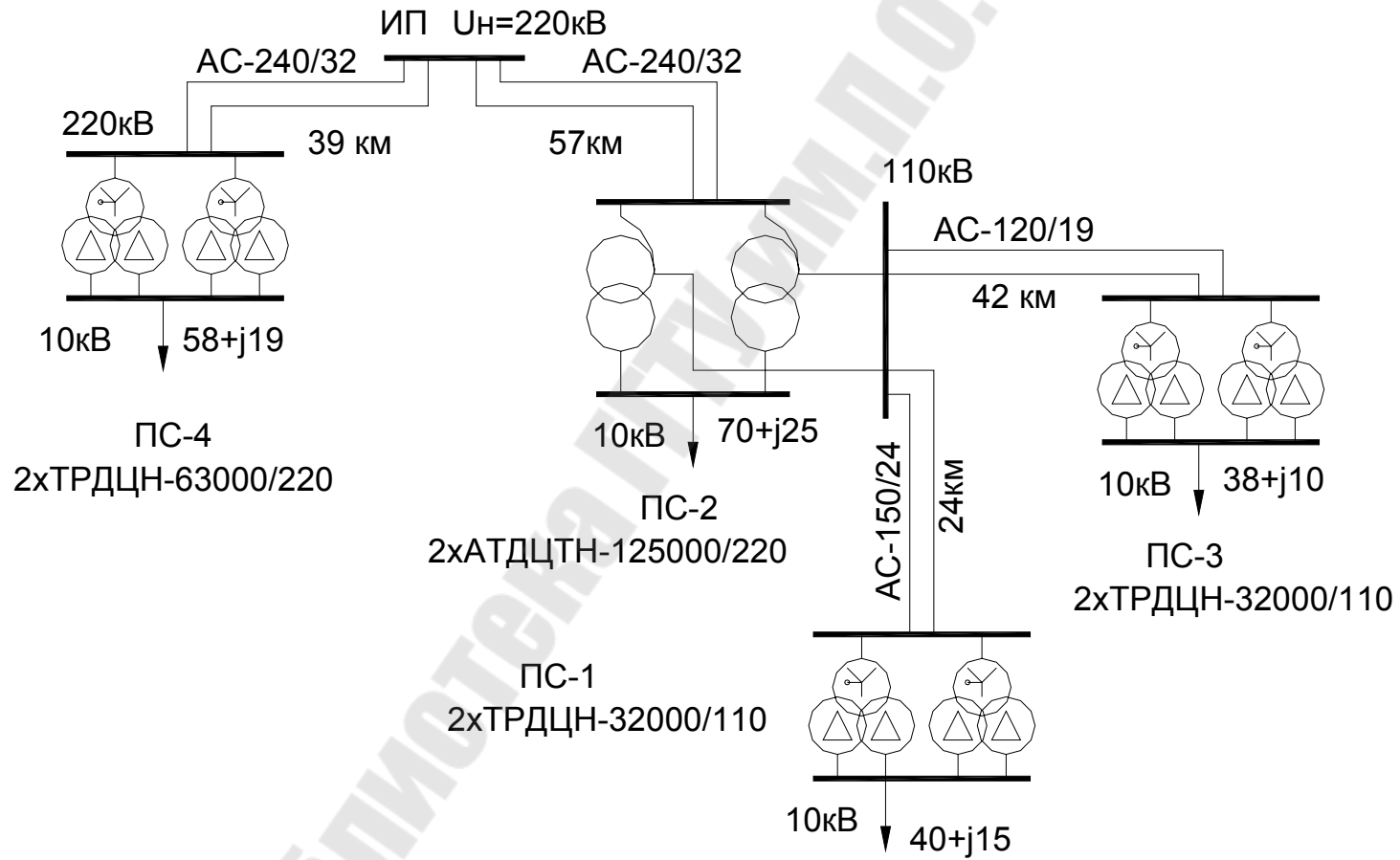


Рис. П.6.1. Продолжение (начало см. на с. 67, окончание – на с. 82)

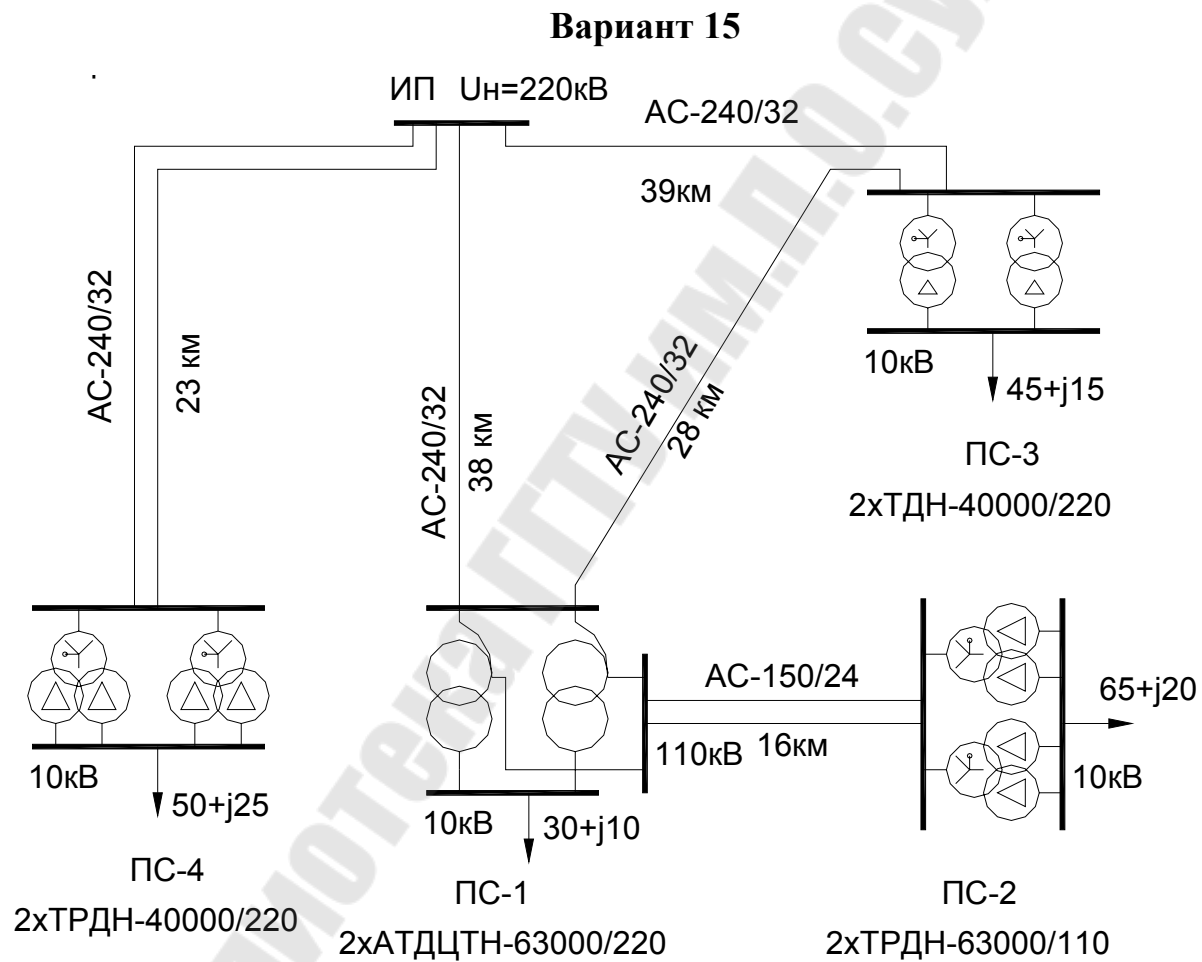


Рис. П.6.1. Продолжение (начало см. на с. 67, окончание – на с. 82)

Вариант 16

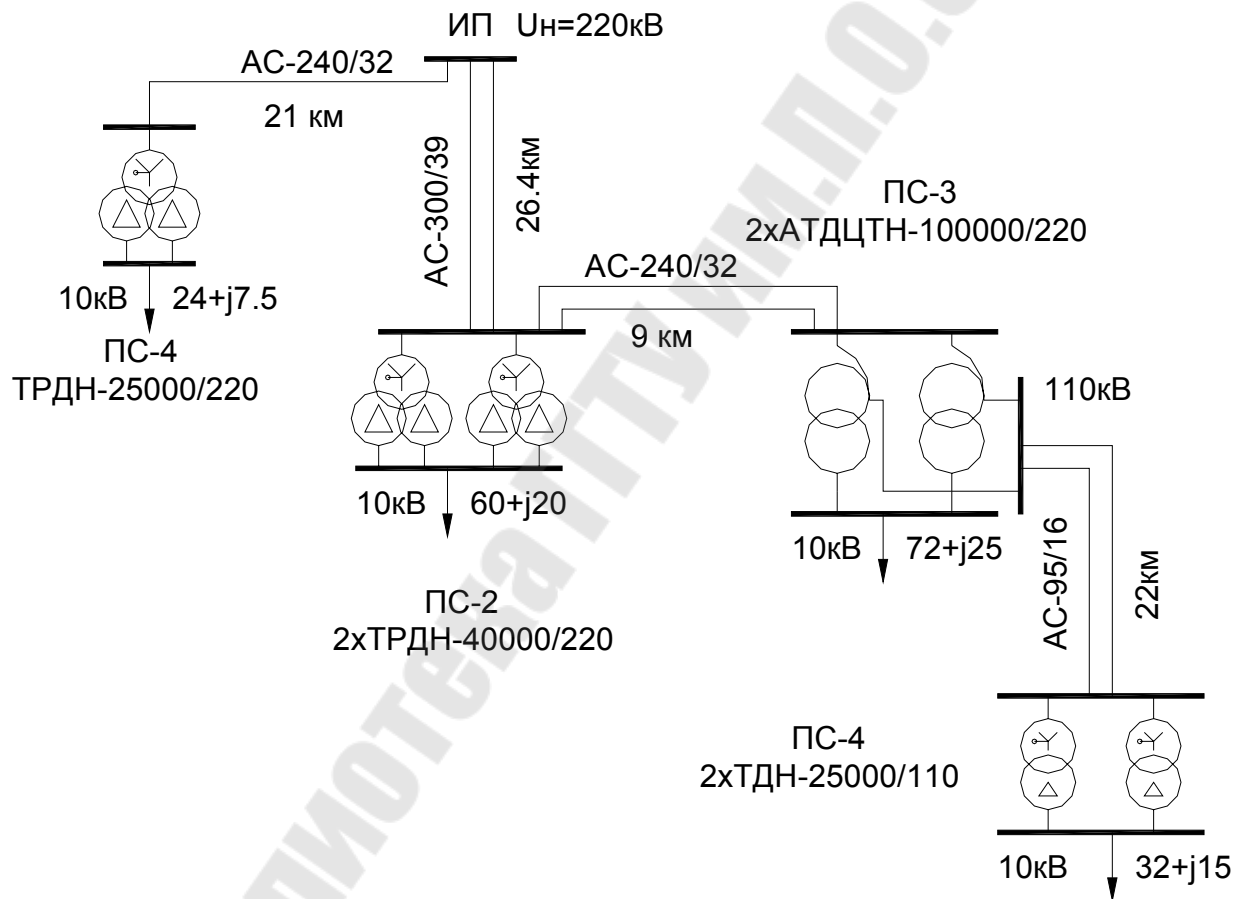


Рис. П.6.1. Окончание (начало см. на с. 67)

Содержание

Введение	3
Лабораторная работа № 1. Основы работы с графическим редактором AutoCAD	4
Лабораторная работа № 2. Построение линейных объектов в AutoCAD	9
Лабораторная работа № 3. Построение криволинейных объектов в AutoCAD	13
Лабораторная работа № 4. Работа с текстом и слоями в AutoCAD	17
Лабораторная работа № 5. Редактирование чертежей в AutoCAD	22
Лабораторная работа № 6. Использование блоков и атрибутов в AutoCAD	28
Лабораторная работа № 7. Выполнение схемы электроснабжения в AutoCAD	33
Лабораторная работа № 8. Методы решения уравнений состояния электрической системы	35
Лабораторная работа № 9. Расчет установившихся режимов электрической сети в пакете MUSTANG	41
Лабораторная работа № 10. Расчет токов короткого замыкания в программе TKZ-3000	46
Литература	51
Приложения	52

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

Сычев Александр Васильевич
Зализный Дмитрий Иванович

**ОСНОВЫ СИСТЕМ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

**Лабораторный практикум
по одноименной дисциплине
для студентов специальностей
1-43 01 03 «Электроснабжение»
и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация
энергооборудования организаций»
дневной и заочной форм обучения**

Редактор *С. Н. Санько*

Компьютерная верстка *Н. В. Широглазова*

Подписано в печать 30.01.08.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.

Ризография. Усл. печ. л. 4,88. Уч.-изд. л. 5,06.

Изд. № 56.

E-mail: ic@gstu.gomel.by

<http://www.gstu.gomel.by>

Издатель и полиграфическое исполнение:

Издательский центр

учреждения образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого».

ЛИ № 02330/0131916 от 30.04.2004 г.

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.