



**Негосударственное частное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Технический университет УГМК»**

**ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ  
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ  
ПО МОДУЛЮ  
МОДУЛЬ 3 АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМАМИ  
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ**

<b>Направление подготовки</b>	<b><i>13.04.02 Электроэнергетика и электротехника</i></b>
<b>Направленность (профиль)</b>	<b><i>Управление и устойчивое развитие электрохозяйства предприятия</i></b>
<b>Уровень высшего образования</b>	<b><i>магистратура</i></b> <i>(бакалавриат, специалитет, магистратура)</i>
<b>Квалификация выпускника</b>	<b><i>магистр</i></b>

Автор - разработчик: канд. техн. наук Жаткин А.Н.  
Рассмотрено на заседании кафедры Энергетики  
Одобрено Методическим советом университета 30 июня 2021 г., протокол № 4

г. Верхняя Пышма  
2021

Задания и методические указания для студентов по выполнению лабораторных работ по модулю " Модуль 3 Автоматизация управления системами электроснабжения предприятий".

Лабораторные занятия являются формой аудиторных занятий. Лабораторные работы по дисциплине имеют целью под руководством преподавателя на практике закрепление и углубление изученного материала и приобретение умений и навыков.

Магистрантам для лучшего усвоения материала рекомендуется вести запись информации, полученной во время обсуждения вопросов на лабораторных занятиях.

### **Тематика лабораторных работ**

№	Наименование работы
1	Предмет изучения дисциплины. Основные задачи. Договор энергоснабжения Тарифы и ценовые категории на электрическую энергию Показатели энергетической эффективности для промышленных предприятий
2	Основные тенденции развития систем автоматизации Микропроцессорные средства управления Применение элементов систем телеметрии
3	Качество электрической энергии. Показатель качества электрической энергии. Управление качеством электроэнергии на предприятии. Компенсация реактивной мощности.
4	Целевые функции и задачи функционирования интеллектуальных систем управления энергохозяйством предприятия. Выбор оптимальных параметров и режимов работы электротехнических комплексов. Интеллектуальные системы управления энергохозяйством предприятия.

#### **Лабораторная работа №1**

*Тема:* Анализ договора энергоснабжения.

*Задание:* Проанализировать договор, заключенный между предприятием и энергоснабжающей организацией на предмет соответствия действующим нормативно-правовым документам (ПП №442, Приказу Минэнерго №49, §6 Гражданского Кодекса РФ и т.д.).

*Вопросы самоконтроля.*

1. Какие документы используются при составлении и заключении договора энергоснабжения?
2. Перечень основных приложений к договору энергоснабжения?
3. Каковы особые условия договора энергоснабжения?
4. Какова процедура пересмотра условий договора энергоснабжения?

*Результатом успешного выполнения практического задания является представленный отчет по плану:*

- 1) Постановка задачи.
- 2) Анализ структуры договора энергоснабжения на соответствие действующим нормативно-правовым документам.
- 3) Выводы.

*Тема:* Расчет нормативных потерь электрической энергии в питающей линии.

*Задание:*

- 1) Рассчитать нормативные потери электрической энергии в линии внешнего электроснабжения.
- 2) Оценить переплату потребителя на завышенных договорных потерях за год.

№в	Параметры линии					Энергия		Потери ЭЭ по договору	Время, ч	Тариф, руб./кВтч
	Uном, кВ	L, км	S, мм <sup>2</sup>	r <sub>0</sub> , Ом/км	x <sub>0</sub> , Ом/км	W, кВтч	V, кварч	ΔWдог, %	T	
1	10	5	120	0,27	0,365	600000	300000	5,89	8760	3,778
2	10	6	25	1,38	0,42	500000	400000	5,89	8760	3,778
3	10	7	35	0,85	0,403	700000	400000	2,5	8760	3,778
4	10	8	50	0,65	0,392	700000	300000	2,5	8760	3,778
5	10	2	70	0,46	0,382	1000000	500000	2,5	8760	3,778
6	35	7	50	0,392	0,392	1500000	500000	5,89	8760	3,761
7	35	8	70	0,382	0,382	2000000	1000000	5,89	8760	3,761
8	35	5	95	0,371	0,371	3000000	1500000	2,5	8760	3,761
9	35	5	25	1,38	0,42	4000000	1500000	2,5	8760	3,761
10	35	5	35	0,85	0,403	5000000	2000000	5,89	8760	3,761

*Вопросы самоконтроля.*

- 1) В каких случаях в договоре указывается % потерь электрической энергии в питающей линии?
- 2) Какие методы расчета потерь рекомендованы для этого случая?
- 3) Как пересмотреть потери ЭЭ в договоре и вернуть переплату на завышенных договорных потерях?

*Результатом успешного выполнения практического задания является представленный отчет по плану:*

- 1) Постановка задач.
- 2) Аналитический расчёт по данным исходной задачи с оценкой.
- 3) Анализ полученного результата.

*Тема:* Расчет нормативных потерь электрической энергии в трансформаторах ГПП.

*Задание:*

- 1) Рассчитать нормативные потери электрической энергии в трансформаторах ГПП.
- 2) Оценить переплату потребителя на завышенных договорных потерях за год.

№в	Параметры трансформатора						Энергия		Потери ЭЭ по договору	Время, ч		Тариф, руб./кВт ч
	Uном, кВ	Sном, кВА	ΔPxx, кВт	ΔPкз, кВт	Ixx, %	Uкз, %	W, кВтч	V, кВАрч	ΔWдог, %	T	tmax	
1	10	100	0,32	1,75	2,3	4	600000	300000	3	8760	5000	3,778
2	10	100	0,32	1,75	2,3	4	500000	400000	3	8760	4500	3,778
3	10	100	0,32	1,75	2,3	4	700000	400000	3	8760	4000	3,778
4	10	160	0,46	2,45	2,1	4	700000	300000	3	8760	3700	3,778
5	10	160	0,46	2,45	2,1	4	1000000	500000	3	8760	3000	3,778
6	35	250	0,65	2	2	4,5	1500000	500000	4	8760	4000	3,761
7	35	250	0,65	2	2	4,5	2000000	1000000	4	8760	4500	3,761
8	35	400	0,93	1,9	1,9	4,5	3000000	1500000	4	8760	5000	3,761
9	35	400	0,93	1,9	1,9	4,5	4000000	1500000	4	8760	5000	3,761
10	35	630	1,16	1,7	1,7	4	5000000	2000000	4	8760	5000	3,761

*Вопросы для самоконтроля:*

- 1) В каких случаях в договоре указывается % потерь электрической энергии в трансформаторах ГПП?
- 2) Какие методы расчета потерь рекомендованы для этого случая?
- 3) Как пересмотреть потери ЭЭ в договоре и вернуть переплату на завышенных договорных потерях?

*Результатом успешного выполнения практического задания является представленный отчет по плану:*

- 1) Постановка задач.
- 2) Аналитический расчёт по данным исходной задачи с оценкой.
- 3) Анализ полученного результата.

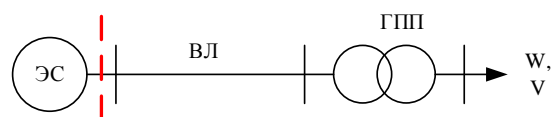
### **Лабораторная работа №2**

*Тип практического задания:* расчетное.

*Тема:* Обоснование коэффициента реактивной мощности на границе раздела балансовой принадлежности.

*Задание:*

- 1) По данным практических работ №2 и №3, приведенных выше, определить коэффициент реактивной мощности на границе раздела балансовой принадлежности (рис. 1).
- 2) Ориентируясь на рекомендуемые коэффициенты реактивной мощности (Приказ №49) оценить мощность компенсирующих устройств.



Граница раздела  
балансовой  
принадлежности

Рисунок 1 - Схема внешнего электроснабжения

*Вопросы самоконтроля.*

- 1) Параметры, от которых зависит рекомендуемый коэффициент реактивной мощности?
- 2) Как пересмотреть коэффициент реактивной мощности в договоре энергоснабжения?

*Результатом успешного выполнения практического задания является представленный отчет по плану:*

- 1) Постановка задач.
- 2) Аналитический расчёт по данным исходной задачи с оценкой.
- 3) Анализ полученного результата.

*Тема:* Участие потребителя в регулировании реактивной мощности. Расчет скидок и надбавок за реактивную мощность.

*Задание:*

- 1) По результатам практической работы №4 в соответствии с Приказом ФСТ РФ №219-э/б определить повышающие (понижающие коэффициенты) к ценовой категории на электрическую энергию.
- 2) Определить переплату потребителя за перебор реактивной мощности из сети (используя результаты примера №4). И возможную прибыль в случае, если потребитель участвует в регулировании реактивной мощности, отдавая ее избыток в сеть (используя результаты примера №4).

*Вопросы самоконтроля.*

1) Как определяются повышающие и понижающие коэффициенты к тарифу (ценовой категории) на электрическую энергию в соответствии с Приказом ФСТ №219-э\б?

2) Как в договоре прописывается участие потребителя в регулировании реактивной мощности?

Результатом успешного выполнения практического задания является представленный отчет по плану:

1) Постановка задач.

2) Аналитический расчёт по данным исходной задачи с оценкой.

3) Анализ полученного результата.

Расчет платежей за электрическую энергию по 1-6 ценовым категориям. Выбор оптимальной ценовой категории в соответствии с требованиями ПП №442.

### Лабораторная работа №3

Управление качеством электроэнергии в системе электроснабжения предприятия

Цель работы: анализ режима работы энергосистемы предприятия, управление качеством электроэнергии в энергосистеме

Влияние состава приемников электроэнергии на уровень напряжения на шинах ГПП

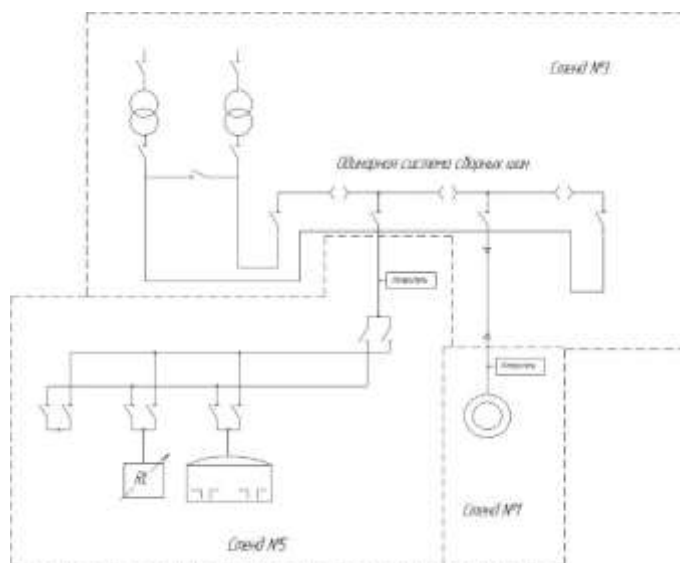


Схема проведения работы

Содержание – оценка влияния нагрузки на шинах ГПП на уровень напряжения на шинах ГПП. Оценка провала напряжения при пуске асинхронного двигателя.

Баланс реактивной мощности в системе электроснабжения предприятия

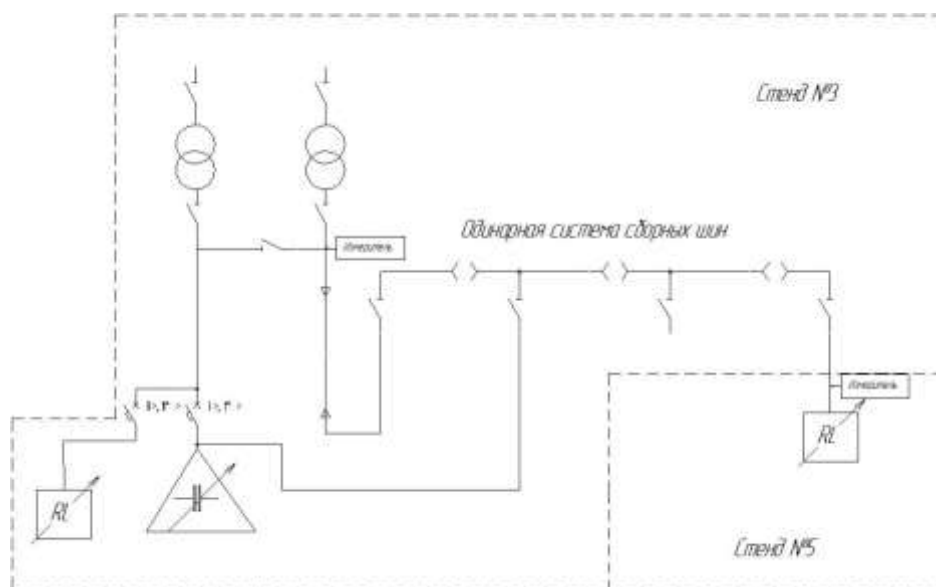


Схема проведения работы

Содержание – оценка влияния места расположения компенсирующей установки на уровень напряжения на потребителе и шинах ГПП.

#### Влияние на сеть мощных циклических нагрузок

Используемое оборудование:

- трехфазный трехобмоточный трансформатор
- циклическая нагрузка
- сдвоенный реактор
- трехфазные измерительные комплекты

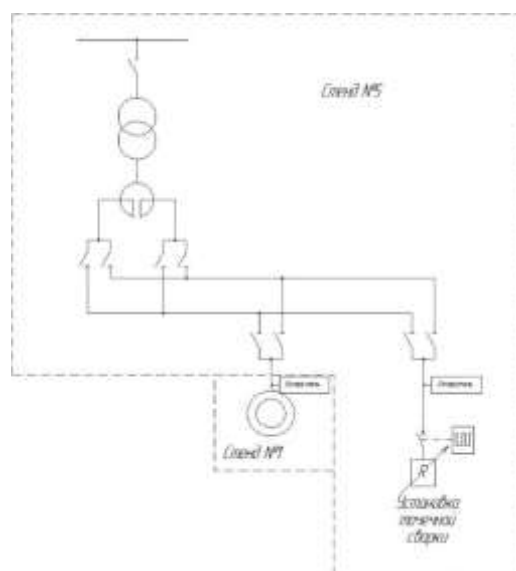


Схема проведения работы

Содержание – оценка влияния колебаний напряжения на работу электрооборудования (фликкер, повышение вибрации эл. двигателей). Использование сдвоенного реактора.

#### Подавление высших гармоник напряжения в системе электроснабжения

Используемое оборудование:

- трехфазный трехобмоточный трансформатор
- блок выпрямителей и нагрузочный реостат
- асинхронный двигатель (спарка)
- трехфазные измерительные комплекты
- двухтрансформаторная подстанция
- двояная система сборных шин
- кабельная линия
- фильтр высших гармоник

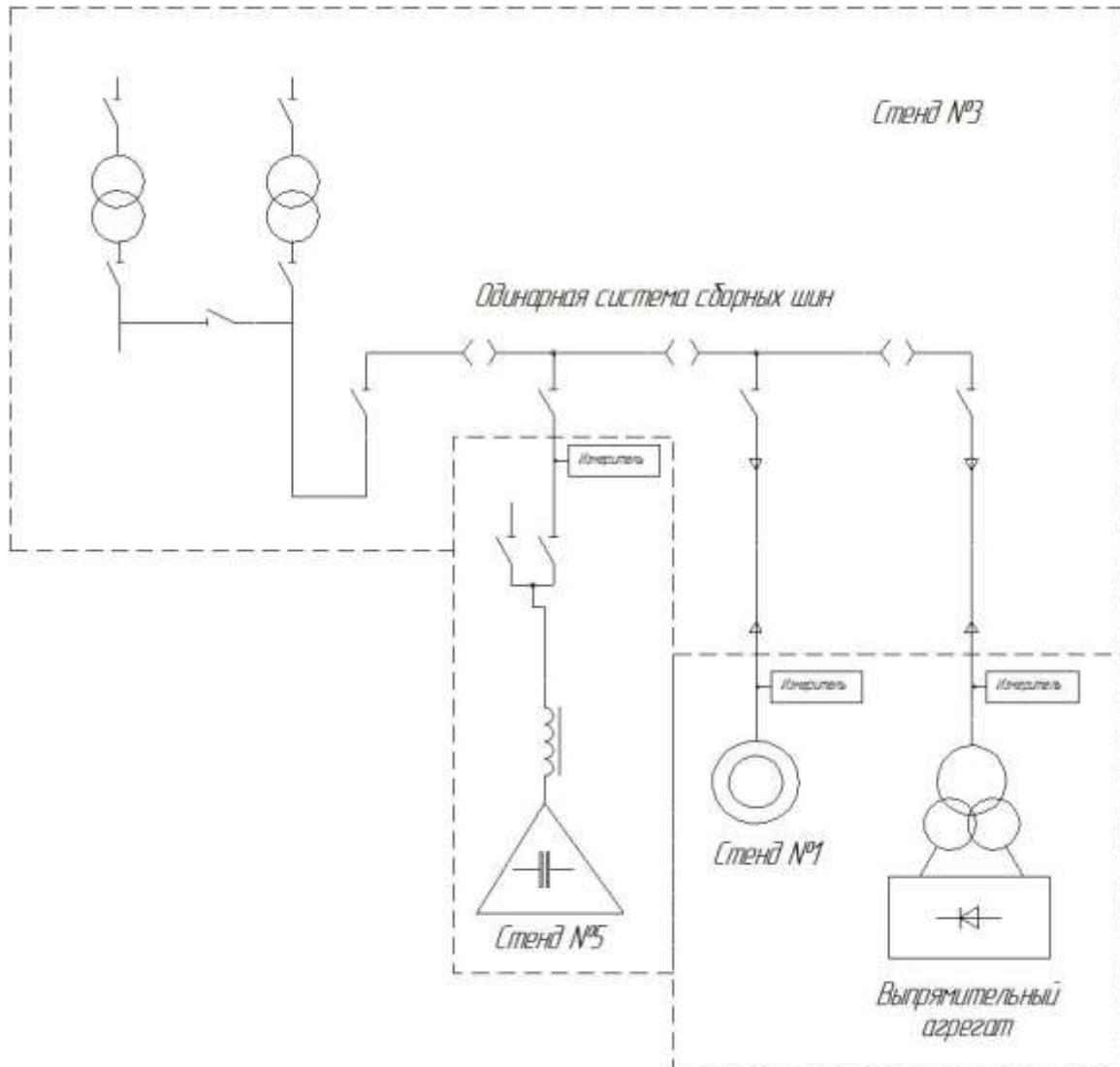


Схема проведения работы

Содержание – определение отклонений напряжения, коэффициента мощности потерь узла нагрузки, содержащего мощные выпрямительные установки. Сопоставление с данными для узла нагрузки при наличии фильтра.

Влияние на сеть мощных трехфазных выпрямителей

Используемое оборудование:

- трехфазный трехобмоточный трансформатор
- блок выпрямителей и нагрузочный реостат
- асинхронный двигатель (спарка)
- трехфазные измерительные комплекты
- двухтрансформаторная подстанция
- двойная система сборных шин
- кабельная линия

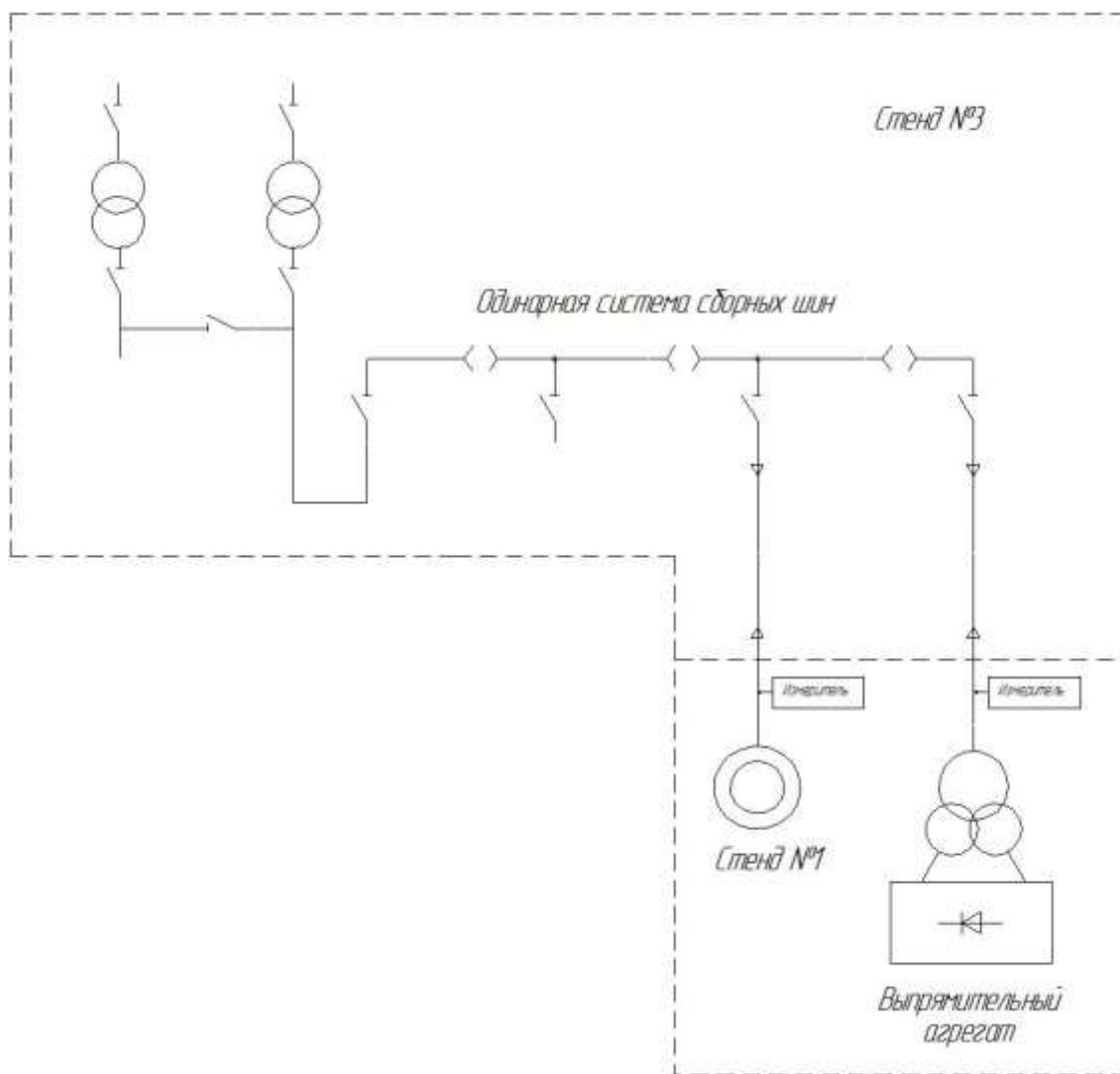


Схема проведения работы

Содержание – определение отклонений напряжения, коэффициента мощности потерь узла нагрузки, содержащего мощные выпрямительные установки. Сопоставление с данными для узла нагрузки без таких выпрямителей.

#### Генерация и распределение электроэнергии в системе электроснабжения предприятия

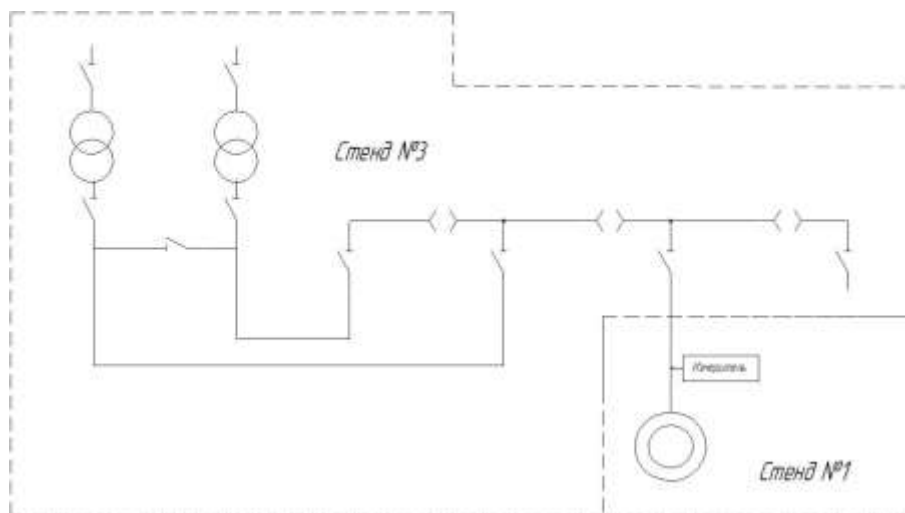
Цель работы: отработка процедур управления источниками электроэнергии в системе электроснабжения предприятия

Ввод резервных источников электроснабжения при исчезновении напряжения на действующем вводе



Используемое оборудование:

- асинхронный двигатель
- регистрирующий амперметр
- двухтрансформаторная подстанция
- система сборных шин
- кабельная линия



Содержание – влияние перерыва питания при АВР на работу электроприемников (на примере асинхронных двигателей).

#### Подключение и синхронизация с сетью синхронного генератора

Используемое оборудование:

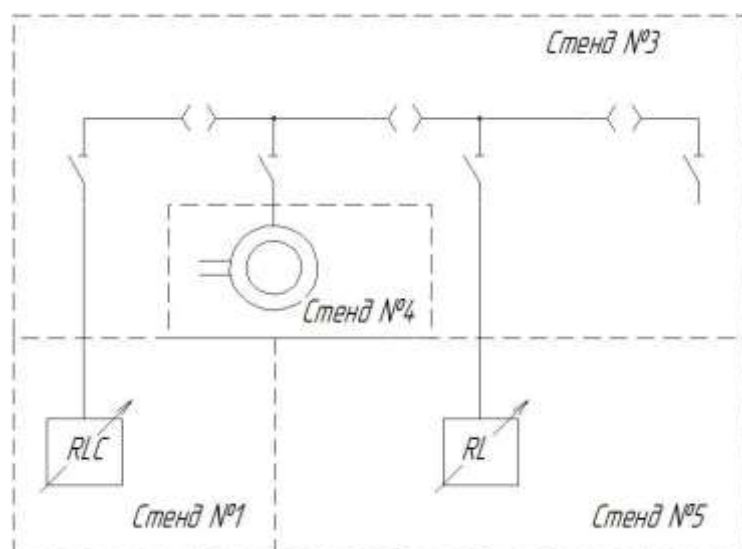
- силовой трансформатор
- синхронный генератор
- возбудитель
- блок синхроскопов

Содержание – получение практических навыков синхронизации синхронных генераторов с сетью.

#### Настойка системы автоматической частотной разгрузки

Используемое оборудование:

- RLC нагрузка
- система сборных шин
- микропроцессорная защита
- синхронный генератор
- возбудитель
- RL нагрузка

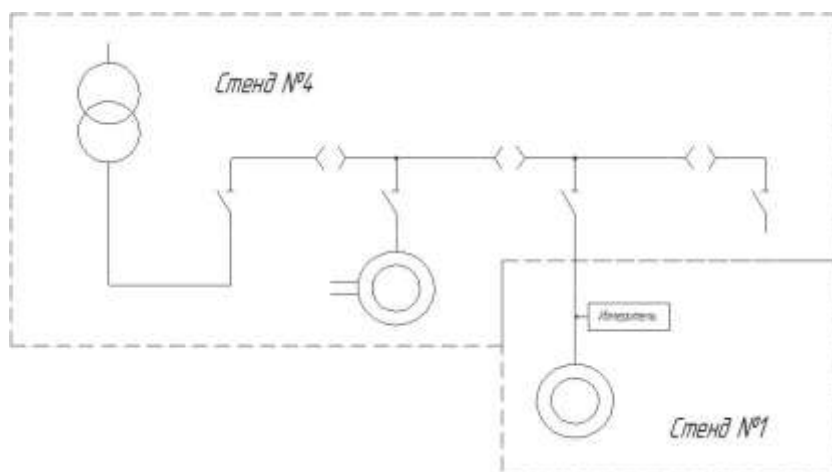


Содержание – исследование процессов в энергосистеме при дефиците мощности

Управление синхронным генератором (регулирование тока возбуждения генератора) при изменении нагрузки

Используемое оборудование:

- асинхронный двигатель
- регистрирующий амперметр
- силовой трансформатор
- синхронный генератор
- возбудитель
- блок синхроскопов



Содержание – Исследование изменения статических и динамических нагрузок на величину напряжения синхронного генератора. Регулирование тока возбуждения, как способ поддержания номинального напряжения сети при таких возмущениях.

#### Релейная защита

Цель работы: получение навыков согласованной настройки микропроцессорных релейных защит

Расширение зоны действия микропроцессорной защиты трансформатора

Используется блок дифференциальной защиты трансформатора Сириус-Т-1/1-220В-И1 совместно с одним или двумя блоками защит отходящих кабельных\воздушных линий на сборных шипах из набора Сириус 2л-1-220В-и1, БМР3101-д-кл (ДИВГ.648228.014), Seram S24 используемых в качестве токовых отсечек.

Используемые Функции:

- МТЗ резервирующая защиту на присоединениях в случае неправильной настройки
- дифференциальная отсечка силового трансформатора
- дифференциальная защита силового трансформатора
- контроль срабатывания выключателя
- резервирования защиты линии со стороны ВН с пуском по напряжению
- возможность контроля срабатывания выключателя отходящей линии по сигналу

УРОВ от другого блока РЗ через релейные выходы, выведенные на лицевые панели.

Содержание – настройка ступеней МТЗ микропроцессорного блока релейной дифференциальной защиты для:

- резервирования защиты линии со стороны ВН с пуском по напряжению (дискретно с НН) и со стороны НН
- селективного срабатывания.

Трехступенчатая токовая защита линии с односторонним питанием

В качестве основной защиты, могут использоваться токовые отсечки блока Сириус 2л-1-220В-и1 или БМР3101 -д-кл-01 (ДИВГ.648228.014) для защиты своей длинной линии с односторонним питанием, имеющей активно-индуктивную нагрузку.

В качестве резервной защиты для дальнего резервирования линий, присоединенных к ней с помощью настройки МТЗ нескольких ступеней, в зависимости от количества подключенных линий (Для основной защиты каждого участка используются токовые отсечки блоков, не используемых в качестве основной защиты первой линии)

Возможность контроля срабатывания выключателей линий, присоединенных к первой по сигналу УРОВ от другого блока РЗ через релейные выходы

Может быть организована связь между блоками для работы автоматики АПВ и АЧР через релейные выходы, выведенные на лицевые панели

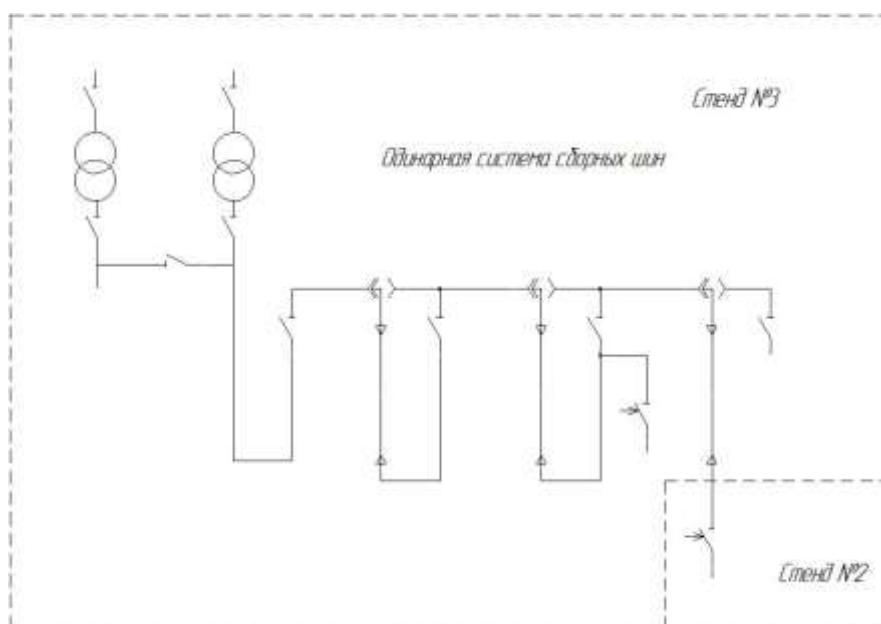


Схема проведения работы

Содержание – согласованная настройка блоков релейных защит при имитации отказа срабатывания собственного выключателя.

## Особенность построения защит на линиях с двухсторонним питанием

Используются 2 блока из набора Сириус 2л-1-220В-И1, БМР3101-д-кл-01 (ДИВГ.648228.014), Seram S24 в качестве токовых отсечек, установленных с двух сторон кабельной линии. Проверяется совместное срабатывание обеих защит и отключение линии с двух сторон.

Возможна передача сигнала УРОВ на отключение выключателей на высокой стороне трансформаторов, обеспечивающих питание линии.

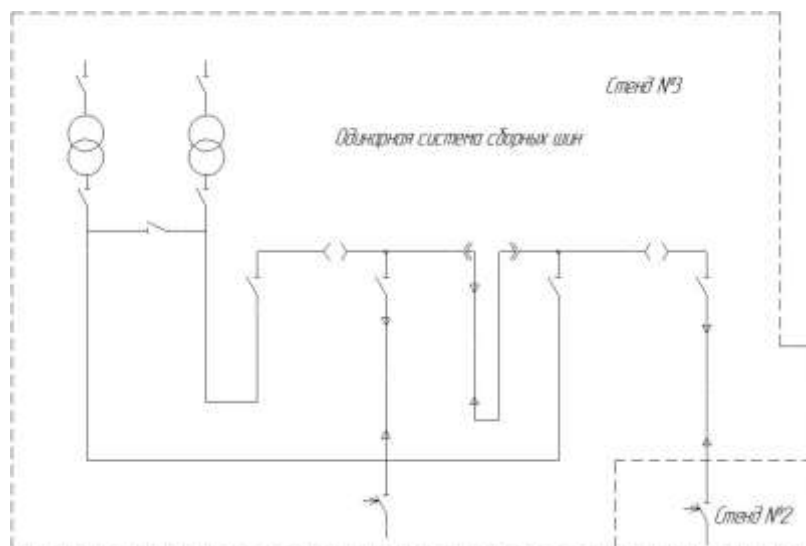


Схема проведения работы

Содержание работы – отстройка чувствительности блоков микропроцессорных защит линии от коротких замыканий на отходящих линиях.

Повреждения и ненормальные режимы работы генераторов. Типы защит генераторов

Совместное использование блока Сириус-Т -1/1-220В-И1, используемого в качестве основной дифференциальной защиты генератора, и блока из набора Сириус 2л-1-220В-и1, БМР3101-д-кл-01 (ДИВГ.648228.014), Seram S24 в качестве основной защиты линий, присоединенных к трансформатору для их резервирования селективными уставками МТЗ.

Используемое оборудование:

- короткозамыкатель.
- генератор и приводная машина с соответствующими блоками питания.

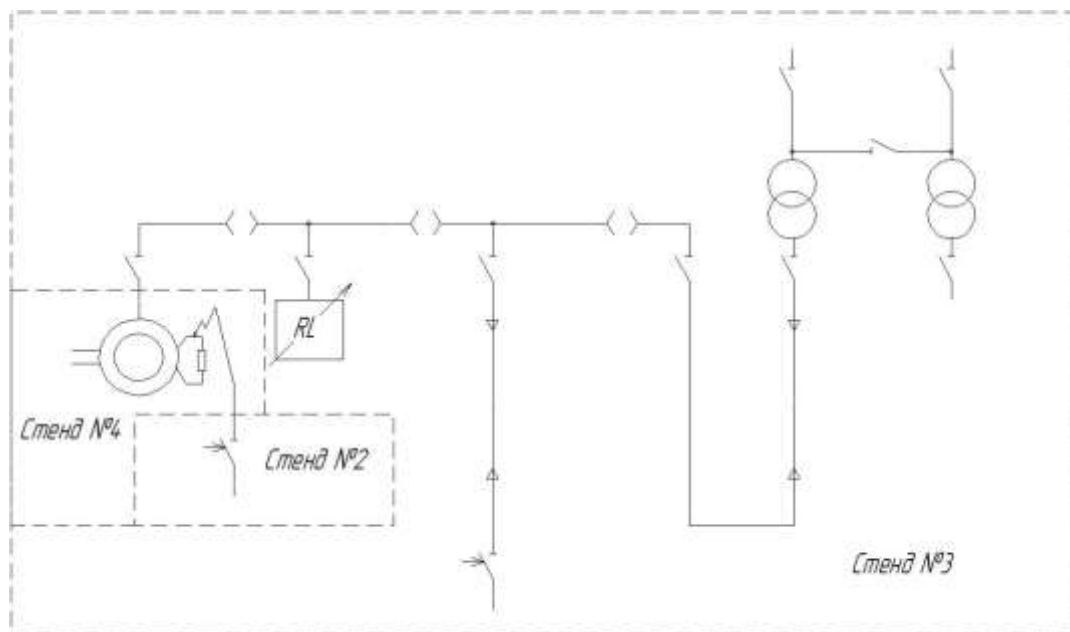


Схема проведения работы

Содержание работы – настройка микропроцессорного блока релейной дифференциальной защиты на срабатывание при перегрузках и коротких замыканиях на шинах генератора.

#### Лабораторная работа №4

*Тема:* Экономический режим работы трансформаторов.

*Задание:* Оценить экономический режим работы трансформаторов в соответствии с заданным графиком нагрузки трансформаторной подстанции. Распределить нагрузку для случая параллельной работы трансформаторов.

*Исходные данные:*

График нагрузки трансформаторной подстанции на интересующий период (сутки (могут быть характерные), неделя, месяц, год); паспортные данные трансформаторов ( $U_{\text{ном}}$ , кВ;  $S_{\text{ном}}$ , кВА;  $\Delta P_{\text{кз}}$ , кВт;  $\Delta P_{\text{хх}}$ , кВт;  $I_{\text{хх}}$ , %;  $U_{\text{кз}}$ , %). Число часов использования максимума нагрузки  $T_{\text{max}}$ ; число часов максимальных потерь  $\tau_{\text{max}}$ ; тариф на электрическую энергию (в соответствии с ценовой категорией); экономический эквивалент реактивной мощности  $k_3$ , кВт/кВАр (принимается в зависимости от уровня напряжения, удаленности потребителя от источника, режима работы).

*Ход работы:*

1. В соответствии с параметрами трансформаторов определить нагрузку каждого из них для режима параллельной работы.
2. Рассчитать приведенные потери мощности и электроэнергии в трансформаторах при различных режимах их работы в соответствии с графиком нагрузки.
3. Представить динамику изменения приведенных потерь мощности при различных режимах работы трансформаторов в графическом виде  $\Delta P'(S)$  (см. рис. 1).
4. Определить графическим и аналитическим методом точки экономически-целесообразного переключения режимов работы трансформаторов.
5. Сравнить плату предприятия за потери энергии в экономическом режиме с платой при раздельном режиме работы трансформаторов.

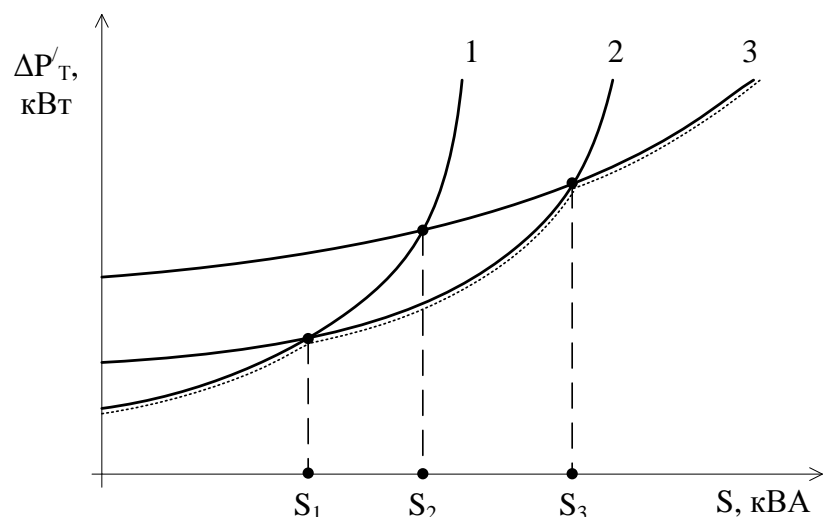


Рисунок 2 - Приведенные потери активной мощности в силовых трансформаторах

Пример исходных данных:

Тип	$S_{ном.тр.}$ , МВА	$U_{ном.}$ , кВ		$\Delta P_{xx}$ , кВт	$\Delta P_{кз}$ , кВт	$U_{кз}$ , %	$I_{xx}$ , %
		ВН	НН				
ТРДН-80000/110	80	115	10,5	58	310	10,5	0,45
ТРДН-80000/110	80	115	10,5	58	310	10,4	0,45

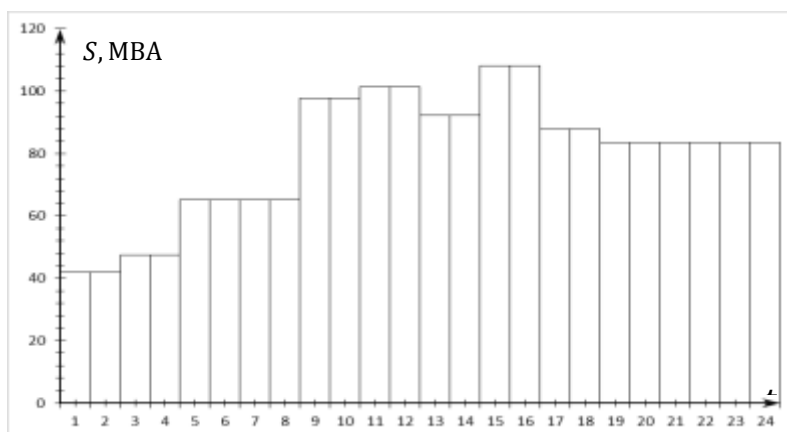


Рисунок 3 – Суточный график потребления полной мощности

Принимаем  $k_s = 0,05$  кВт/квар;  $T_{max} = 6258$  ч.;  $\tau_{max} = 4925$  ч.

Вопросы самоконтроля.

- 1) Дайте определение экономическому режиму работы трансформаторов.
- 2) Перечислите условия параллельной работы трансформаторов.
- 3) Достоинства и недостатки раздельного и параллельного режимов работы трансформаторов?
- 4) Как технически реализуются переключения режимов работы трансформаторов?

Результатом успешного выполнения практического задания является представленный отчет по плану:

- 1) Постановка задач.
- 2) Аналитический расчёт по данным исходной задачи с оценкой.
- 3) Графическое представление.
- 4) Анализ полученного результата.

*Тема:* Баланс реактивной мощности предприятия: компенсация реактивной мощности.

*Задание:* составить баланс реактивной мощности предприятия. Оценить величину реактивной мощности для компенсации на стороне низкого и высокого напряжения в системе электроснабжения предприятия.

*Исходные данные:*

На рис. 4 представлена схема одной секции распределительного пункта (РП) промышленного предприятия. К шинам  $U_{\text{ВН}}=10$  кВ РП присоединены два синхронных двигателя СДН мощностью по 4000 кВт с частотой вращения 1000 об/мин., работающих с коэффициентом загрузки 0,8 при номинальном напряжении на шинах распределительного пункта.

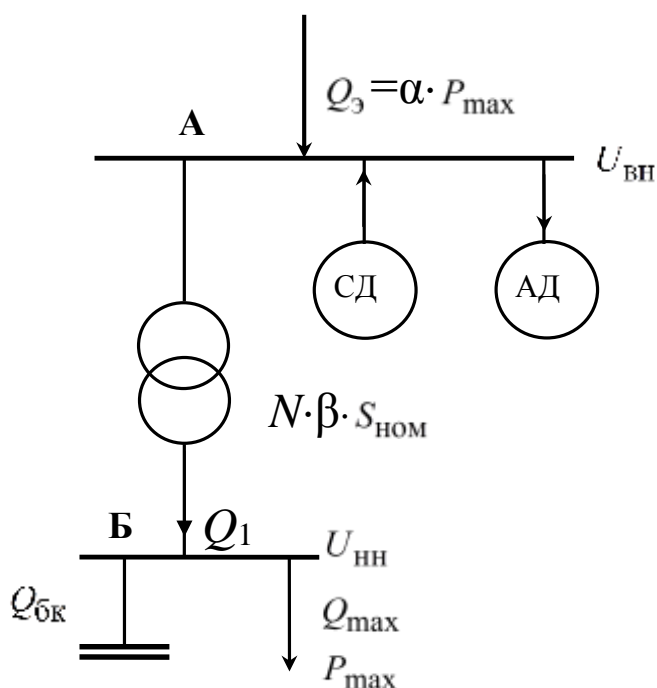


Рисунок 4 - Схема для одной секции РП промышленного предприятия

Суммарное потребление мощности в сетях до 1000 В  $P_{\text{max}}=4$  МВт,  $Q_{\text{max}}=3$  Мвар; потребление реактивной мощности в сети напряжением 10 кВ  $Q_{\text{АД}}=3$  Мвар. На промышленном предприятии устанавливаются трансформаторы 10/0,4 кВ по 1000 кВ·А, коэффициент загрузки которых  $\beta=0,7$ . Стоимость установки БК на напряжение 380 В  $K_{\text{у}}=12$  у.е./квар; стоимость установки одной подстанции 1000 кВ·А  $K_{\text{Т}}=17\ 000$  у.е. и стоимость потерь электрической энергии  $C_0 = 70$  у.е./кВт.

Энергосистемой задано значение оптимальной мощности, передаваемой предприятию из сети системы  $Q_3=2$  Мвар (на каждую секцию шин РП  $Q_3=1$  Мвар).

Определить оптимальное число устанавливаемых на предприятии трансформаторов и суммарную мощность БК на напряжение 380 В.

*Вопросы самоконтроля.*

- 1) Максимальная генерирующая способность синхронных двигателей по реактивной мощности?
- 2) Может ли потребитель брать из энергосистемы всю требуемую ему реактивную мощность?
- 3) Где для потребителя дешевле компенсировать реактивные нагрузки: на стороне высокого или на стороне низкого напряжения?

*Результатом успешного выполнения практического задания является представленный отчет по плану:*

- 1) Постановка задач.
- 2) Аналитический расчёт по данным исходной задачи с оценкой.
- 3) Анализ полученного результата.

*Тема:* Распределение конденсаторных батарей в системе электроснабжения предприятия.

*Задание:* определить оптимальное место установки конденсаторных батарей в системе электроснабжения предприятия (в том числе учитывая классификацию: централизованная, групповая, индивидуальная компенсация реактивной мощности).

*Исходные данные:*

*Вариант 1*

На рис. 5 представлена схема радиальной сети 380 В с указанием реактивных нагрузок (квар). Оптимальная величина суммарной мощности устанавливаемых БК составляет  $Q_C = 900$  квар. Определить мощность БК, присоединяемых к шинам щита «А» и распределительных пунктов, при которой эффект снижения потерь в сети напряжением 380 В был бы максимальным. Шкала номинальных мощностей комплектных БК: 75, 150, 225, 450 квар.

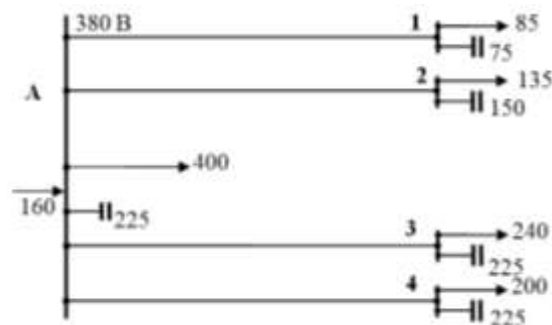


Рисунок 5 - Схема радиальной сети к варианту 1

*Вариант 2*

Определить мощность БК для схемы, представленной на рис. 6, на которой указаны сопротивления радиальных линий и реактивные нагрузки распределительных пунктов, если суммарная мощность БК составляет  $Q_C = 700$  квар. Шкала номинальных мощностей комплектных БК: 75, 150, 225, 450 квар.



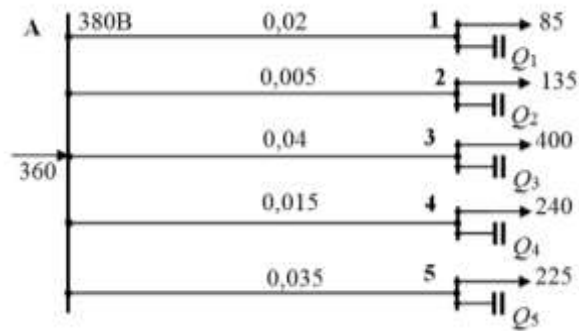


Рисунок 6 - Схема радиальной сети к варианту 2

*Вариант 3*

На рис. 7 представлена схема токопровода с указанием реактивных нагрузок (квар). Определить мощность БК, присоединяемых в точках 1, 2, 3 и 4, если  $Q_C = 770$  квар и сопротивлением ответвлений можно пренебречь. Шкала номинальных мощностей комплектных БК: 75, 150, 225, 450 квар.

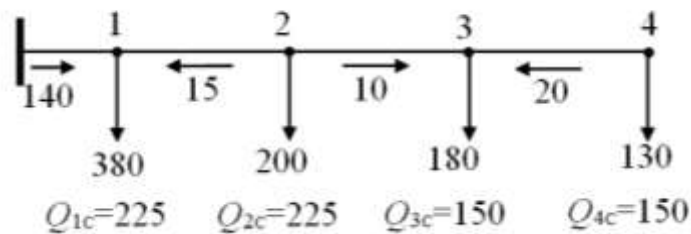


Рисунок 7 - Схема радиальной сети к варианту 3

*Вариант 4*

На рис. 8 представлена схема токопровода с ответвлениями к распределительным пунктам. Сопротивления участков сети (Ом) и реактивные нагрузки (квар) указаны на рисунке. Определить мощность БК, если  $Q_C = 600$  квар. Шкала номинальных мощностей комплектных БК: 75, 150, 225, 450 квар.

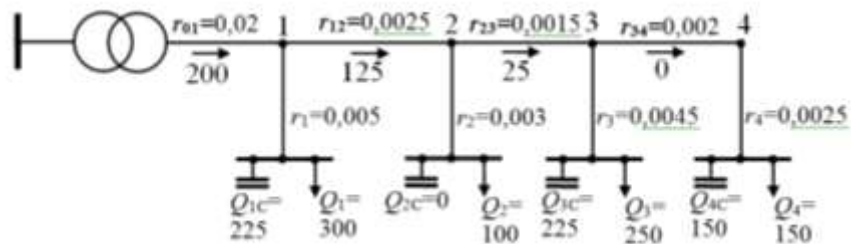


Рисунок 8. Схема радиальной сети к варианту 4

*Вопросы самоконтроля.*

- 1) Представьте алгоритм распределения конденсаторных батарей в радиальных схемах электроснабжения.
- 2) Представьте алгоритм распределения конденсаторных батарей в магистральных схемах электроснабжения.

Результатом успешного выполнения практического задания является представленный отчет по плану:

- 1) Постановка задач.
- 2) Аналитический расчёт по данным исходной задачи с оценкой.
- 3) Анализ полученного результата.