

**Министерство науки и высшего образования РФ  
Рубцовский индустриальный институт  
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет  
им. И.И. Ползунова»**

**О.П. БАЛАШОВ**

## **СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

Методические указания к лабораторным работам  
для студентов направления «Электроэнергетика и электротехника»  
всех форм обучения

Рубцовск 2020

УДК 621.31

О.П. Балашов Системы электроснабжения и проектирование электрических сетей: Методические указания к лабораторным работам для студентов направления «Электроэнергетика и электротехника» всех форм обучения / Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2020. - 34 с.

Изложены цели, методика и порядок выполнения работ лабораторного практикума по дисциплинам «Системы электроснабжения» и «Проектирование электрических сетей». Методические указания содержат описания пяти лабораторных работ, тематически охватывающих в той или иной степени основные разделы соответствующего лекционного курса по дисциплинам: «Системы электроснабжения» и «Проектирование электрических сетей».

Рассмотрены и одобрены  
на заседании кафедры  
электроэнергетики РИИ.  
Протокол № 10 от 14.09.20.

Рецензент: к.т.н., доцент

Э.С. Маршалов

© Рубцовский индустриальный институт, 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

Правила безопасности для студентов, работающих в лаборатории «Электроэнергетика».....	4
Общие указания к выполнению лабораторных работ.....	5
Лабораторная работа №1. ....	7
Лабораторная работа №2. ....	11
Лабораторная работа №3. ....	15
Лабораторная работа №4. ....	21
Лабораторная работа №5. ....	25

## **ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ, РАБОТАЮЩИХ В ЛАБОРАТОРИИ «ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА»**

Ответственность за выполнение правил техники безопасности возлагается на преподавателей, проводящих занятия в лаборатории. К работе допускаются студенты после получения инструктажа по технике безопасности и изучения инструкций с отметкой в журнале инструктажа под роспись.

### ***В лаборатории необходимо выполнять следующие правила:***

- работать только за специально оборудованными столами и стендами, закрепленными за данной лабораторной работой;
- не касаться одновременно отопительных батарей и приборов, могущих оказаться под напряжением;
- токоведущие части и провода установок изолировать от возможного прикосновения при работе.

### ***При проведении лабораторных работ запрещается:***

- работать без предварительно составленной схемы и подготовки к ней проводов;
- пользоваться неисправным инструментом и оборудованием;
- включать под напряжение лабораторные стенды и схемы без предварительной проверки и разрешения преподавателя;
- производить пересоединение в электрических схемах под напряжением;
- оставлять без наблюдения схему, находящуюся под напряжением;
- снимать и перевешивать предупреждающие или запрещающие плакаты или знаки;
- загромождать рабочее место посторонними вещами;
- заходить за стенды;
- ходить без дела по лаборатории и отвлекать товарищей;
- оставлять схемы включенными после окончания работ.

### ***Если произошел несчастный случай, необходимо:***

- снять напряжение со схемы;
- оказать первую помощь пострадавшему;
- сообщить о случившемся преподавателю;
- при необходимости вызвать скорую помощь по телефону 03.

## ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Методические указания содержат описание и указания по выполнению лабораторных работ по основным разделам курсов «Проектирование электрических сетей» и «Системы электроснабжения». В описании каждой лабораторной работы приводятся цель выполнения работы, схема и особенности лабораторного стенда, программа и методика выполнения работы, указания по оформлению отчета.

Выполнение лабораторных работ, включенных в методические указания, способствует закреплению и углублению знаний студентов направления «Электроэнергетика и электротехника», лучшему усвоению теоретического материала. Все работы носят расчетно-экспериментальный характер.

Каждая лабораторная работа состоит из двух частей - подготовительной и экспериментальной и выполняется в два этапа.

**Подготовительный этап.** Перед выполнением очередной лабораторной работы студенты проводят предварительную подготовку: знакомятся с содержанием предстоящей работы, уясняют ее цель и назначение; прорабатывают теоретический материал по рекомендуемой литературе, отвечая при этом на контрольные вопросы; продумывают план проведения работы.

**Экспериментальный этап.** Экспериментальная часть работы выполняется бригадой студентов в составе 4-5 человек на лабораторных стендах. Лабораторные стенды представляют собой модели элементов системы электроснабжения. На лицевой стороне стенда рельефно изображена схема коммутации, установлены коммутационные аппараты и измерительные приборы.

На основе конкретного задания и кратких методических указаний проводится сборка схемы и сам эксперимент. При составлении схемы сначала рекомендуется собрать главную последовательную цепь, а затем выполнить соединение параллельных цепей. После сборки схемы и ее проверки следует проконтролировать правильность положения ручек регуляторов и переключателей, а также положения стрелок измерительных приборов на нулевой отметке шкалы.

Собранную и проверенную схему необходимо предъявить руководителю лабораторных работ и только после его разрешения можно включать установку. При включении под напряжение схемы необходимо следить за поведением приборов, при резких ударах стрелок приборов схема должна быть немедленно отключена от источника питания.

При проведении эксперимента нужно снять необходимые показания приборов, выполнить требуемые расчеты и занести их в соответствующие таблицы предварительного отчета. В отчете необходимо сделать анализ результатов измерений и расчетов, построить необходимые графики, векторные диаграммы и сделать выводы по лабораторной работе в соответствии с заданным вариантом. По окончании работы схема должна быть разобрана, и рабочий стол подготовлен для другой бригады. Полученные показания

приборов, оформленные в виде таблиц, предъявляется руководителю занятий для отметки о выполнении эксперимента.

При подготовке к защите работы студенты должны продумать ответы на контрольные вопросы, приводимые в конце каждой работы.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

### ИССЛЕДОВАНИЕ И КОМПЕНСАЦИЯ ВЫСШИХ ГАРМОНИК И НЕССИМЕТРИИ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

#### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение методики исследования несимметрии и высших гармоник тока и напряжения в промышленных электросетях и мероприятий по улучшению качества электрической энергии.

#### 2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Несимметрия и несинусоидальность напряжения отрицательно влияет на работу всех элементов электрической системы, приводит к увеличению потерь и снижению надежности работы электрооборудования и всей системы электроснабжения.

Из-за несимметрии питающего напряжения возникают дополнительные потери и дополнительный нагрев. Токи обратной последовательности, протекающие в обмотке статора двигателей, создают тормозной момент. В синхронных двигателях могут возникать вибрации в результате появления знакопеременных моментов и тангенциальных сил, пульсирующих с двойной частотой сети. В асинхронных машинах скорость вращения ротора уменьшается. Сопротивление обмоток машины обратной последовательности в 5–7 раз меньше сопротивлений прямой последовательности и при наложении токов двигатель быстро перегревается и стареет его изоляция. Соответственно, срок службы асинхронного двигателя, работающего с полной нагрузкой, сокращается вдвое.

При несимметрии напряжений конденсаторная установка (КУ) неравномерно загружается реактивной мощностью по фазам, что делает невозможным полное использование её мощности. При этом она усиливает несимметрию, т.к. выдаваемая в сеть мощность по фазам будет неодинакова. Однофазные потребители в этом случае будут включены на различное напряжение.

Несимметрия напряжений усложняет работу релейной защиты и ведет к ошибкам при работе счетчиков электроэнергии.

Несинусоидальность напряжения и тока оказывает отрицательное влияние на распределительные сети промышленного предприятия:

1. Появляются дополнительные потери в сетях, электрических машинах, трансформаторах, батареях конденсаторов.

2. Сокращается срок службы диэлектрика конденсаторов, а также изоляции (происходит старение) электрических машин, аппаратов и кабелей, что приводит к уменьшению надежности и срока службы электрооборудования.

3. Ухудшается точность электрических измерений, в том числе и учета электроэнергии.

4. Ограничивается и в ряде случаев становится невозможным применение батарей конденсаторов из-за перегрузки токами высших гармоник и возникновения резонансных явлений.

5. Ухудшается работа приемников электроэнергии, в том числе и тех, которые вызывают появление несинусоидальности в электрических сетях.

6. Воздействия высших гармоник на систему импульсно-фазового управления (СИФУ) вентильного преобразователя может привести к появлению на его входе большого напряжения четной гармоники или гармоники кратной трем, что в свою очередь может вызвать нарушение коммутации и неустойчивую работу СИФУ.

Высшие гармоники напряжения и тока усиливают воздействие других видов электромагнитных помех. Так, например, при резких снижениях напряжения сети возрастает вероятность отказов электронных систем в условиях несинусоидальных режимов.

Наиболее простыми и эффективными методами симметрирования являются: равномерное распределение однофазных нагрузок по фазам, подключение несимметричных нагрузок на участки сети с большей мощностью КЗ, т.е. на более высокое напряжение, выделение несимметричных нагрузок большой мощности на отдельные трансформаторы. Если схемные решения не приводят к требуемому снижению несимметрии, то применяют симметрирующие устройства (СУ). В зависимости от характера графика нагрузки и места установки несимметричных ЭП используются управляемые и неуправляемые СУ.

Снижение несинусоидальности напряжения достигается либо схемными решениями в системе электроснабжения, либо использованием специальных схем включения нелинейных нагрузок и специальных фильтрокомпенсирующих устройств (ФКУ).

Среди схемных решений наиболее эффективным является разделение питания электроприемников с нелинейной вольтамперной характеристикой и обычных общепромышленных нагрузок. Это достигается выделением нелинейных нагрузок на отдельный трансформатор, отдельную секцию шин, питающихся от трансформатора с расщепленными обмотками или от отдельного плеча сдвоенного реактора.

Основным средством ограничения высших гармоник, генерируемых вентильными преобразователями, является увеличение числа фаз выпрямления.

Если схемные решения не приводят к уменьшению несинусоидальности до допустимого уровня, то используют специальные корректирующие устройства. Из них наиболее распространены силовые резонансные фильтры (СРФ), которые одновременно предназначены для компенсации реактивной мощности и снижения уровня гармоник

### **3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

3.1. Ознакомиться с основными понятиями и теоретическими сведениями о несимметрии и несинусоидальности тока и напряжения в системе электроснабжения предприятия.

3.2. На основании выданных исходных данных определить установившееся отклонение частоты и сравнить с допустимым значением.

$$\Delta f = f - f_n, \quad (1)$$

$$\omega = 2\pi f. \quad (2)$$

3.3. Графически представить несимметричные составляющие напряжения для трехфазной системы, разложив их на симметричные согласно закону изменения с помощью программы Calc пакета OpenOffice.

3.4. Определить коэффициенты искажения синусоидальности напряжения сети с учетом высших гармоник:

$$K_{Ui} = \frac{\sqrt{\sum_{v=3}^5 (U_{(v)i})^2}}{U_{(1)i}} \cdot 100\%. \quad (3)$$

3.5. Определить действующие значения тока и напряжения по несинусоидальным периодическим функциям согласно выданному заданию.

Основной гармоники:

$$U_{(1)} = \frac{U_{m(1)}}{\sqrt{2}}. \quad (4)$$

Третьей гармоники:

$$U_{(3)} = \frac{U_{m(3)}}{\sqrt{2}}. \quad (5)$$

Пятой гармоники:

$$U_{(5)} = \frac{U_{m(5)}}{\sqrt{2}}. \quad (6)$$

Действующее напряжение в сети:

$$U = \sqrt{U_{(1)}^2 + U_{(3)}^2 + U_{(5)}^2}. \quad (7)$$

Аналогичные расчеты провести для тока. Полученные данные оформить в виде таблицы.

3.6. Определить величину несимметрии трехфазной системы напряжений по основной гармоники.

Действующие значения напряжений прямой, обратной и нулевой последовательности:

$$\dot{U}_1 = \frac{1}{3}(\dot{U}_A + a\dot{U}_B + a^2\dot{U}_C), \quad (8)$$

$$\dot{U}_2 = \frac{1}{3}(\dot{U}_A + a\dot{U}_C + a^2\dot{U}_B), \quad (9)$$

$$\dot{U}_0 = \frac{1}{3}(\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C). \quad (10)$$

Коэффициенты несимметрии по обратной и нулевой последовательности:

$$K_{2U} = \frac{U_2}{U_1} \cdot 100\%, \quad (11)$$

$$K_{0U} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_0}{U_1} \cdot 100\%. \quad (12)$$

3.7. Провести сравнение полученных показателей несимметричности и несинусоидальности с нормируемыми значениями. В случае превышения расчетных показателей над нормально допустимыми значениями предложить ряд мероприятий по уменьшению высших гармоник и несимметрии в системе электроснабжения.

#### **4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

4.1. Каковы причины несимметричных режимов?

4.2. Какими ПКЭ характеризуется несимметрия и как они определяются?

4.3. Какое влияние оказывает несимметрия напряжений на электропотребителя?

4.4. Какими показателями характеризуется несинусоидальность напряжения в электросетях? Дайте их определения.

4.5. Каковы причины появления высших гармоник напряжения в электрических сетях предприятий?

4.6. К каким отрицательным явлениям приводит несинусоидальность питающего напряжения?

4.7. Назначение устройства ФКУ. Поясните принцип его работы.

#### **СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Гужов, Н.П. Системы электроснабжения: [текст]: Учеб. пособие/ Н.П. Гужов, В.Я. Ольховский, Д.А. Павлюченко. - Ростов н/Д: Феникс, 2011. - 382 с.

2. Балашов, О.П. Электроснабжение [текст] [Электронный ресурс]: Учеб. пособие для студентов, обучающихся по направлению 140400 "ЭиЭ" всех форм обучения/ О.П. Балашов. - Электрон. дан. - Рубцовск: РИИ, 2014. - 126 с.

3. Балашов О.П. Системы электроснабжения городов и промышленных предприятий: Учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению «Электроэнергетика и электротехника» всех форм обучения /Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2018. 76 с.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

### ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ В СЕТЯХ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

#### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Исследование оптимального распределения компенсирующих устройств в сетях промышленного предприятия на основании технических и экономических критериев.

#### 2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1. Получить у преподавателя следующую исходную информацию:

а) значения  $Q_{Э1}$ ;

б) удельную стоимость потерь активной мощности  $C_0$ .

2.2. Произвести регистрацию графиков  $P=f(t)$  ( $Wh_1$ ) и  $Q=f(t)$  ( $Varh_1$ ) до компенсации реактивной мощности на суточном цикле времени с помощью счетчиков лабораторного стенда «Электроснабжение промышленного предприятия».

2.3. Выделить интервалы времени, соответствующие периодам максимума активной мощности нагрузки. Определить мощности КУ по формулам (1), (2), (3) рисунок 1. Полученные значения округлить до ближайших возможных величин.

Мощность компенсирующих устройств низкого напряжения определяется:

$$Q_{KH} = Q_2^m - \frac{E \cdot \Delta K_H + C_0 \cdot \Delta P_H}{2 \cdot C_0 \cdot R_{ТЛ}} U^2 \cdot 10^3, \text{ квар} \quad (1)$$

где  $E$  – коэффициент отчислений капиталовложений (нормативные отчисления, отчисления на эксплуатацию и восстановление оборудования);

$\Delta K_H$  – удельная стоимость конденсаторных установок низкого напряжения (6 р/квар);

$C_0$  – удельная стоимость потерь активной мощности;

$\Delta P_H$  – удельные потери активной мощности в конденсаторных установках низкого напряжения (0,003 кВт/квар);

$R_{ТЛ}$  – приведенное к напряжению 10 кВ сопротивление трансформатора цеховой ТП и питающей его линии электропередачи, Ом;

$U$  – среднее напряжение на шинах ГПП (10 кВ);

$Q_2^m$  – наибольшая реактивная мощность нагрузки трансформатора Т4 в период максимальной активной мощности нагрузки энергосистемы.

Реактивная мощность синхронного двигателя:

$$Q_D = \frac{1}{K2} \left( \frac{E \cdot \Delta K_B}{C_o} + \Delta P_{KB} - K1 \right), \text{ квар} \quad (2)$$

где  $\Delta K_B$  – удельная стоимость конденсаторных батарей высокого напряжения (5 р/квар);

$\Delta P_B$  – удельные потери активной мощности в конденсаторных установках высокого напряжения (0,005 кВт/квар);

$K1, K2$  – коэффициенты, характеризующие потери активной мощности в СД, зависящие от  $Q_D$  ( $K1 = 0,001$  кВт/квар,  $K2 = 0,00015$  кВт/квар).

Мощность компенсирующих устройств высокого напряжения определяется:

$$Q_{KB} = Q_1^m + Q_{кн\ факт} - Q_{Э1} - Q_{Д\ факт}, \text{ квар} \quad (3)$$

где  $Q_1^m$  – наибольшая реактивная мощность нагрузки трансформатора Т2 в период максимальной активной мощности нагрузки энергосистемы.

2.4. Выбрать мощности конденсаторных установок в сетях 10 кВ и 0,4 кВ из-за необходимости поддержания заданного cosφ в течение суточного графика нагрузки. Выбор параметров представить в виде таблицы 1.

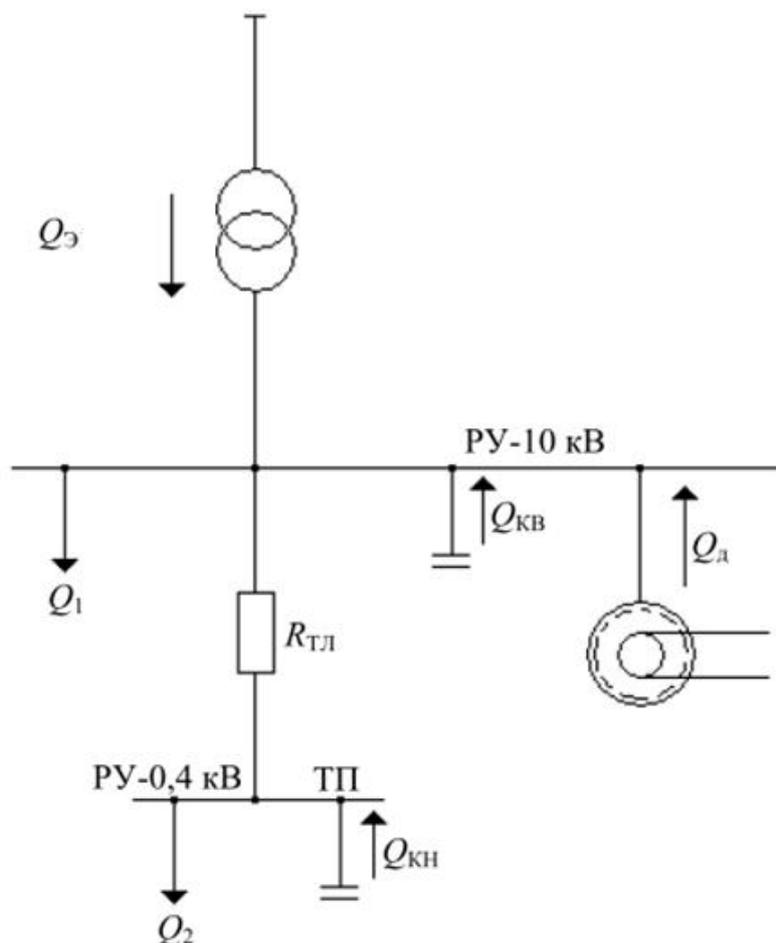


Рисунок 1 – Схема замещения узла нагрузки

Таблица 1 - Выбор компенсирующих устройств на шинах 10 и 0,4 кВ

$Q_{\text{КН факт}}$	$Q_{\text{Д факт}}$	$Q_{\text{КВ факт}}$

2.5. Определить реактивную мощность на каждом часе графика нагрузки, при потреблении которой она не выходит за величину  $Q_{\text{Э1}}$ .

2.6. На основании полученных расчетов составляется суточный график включения компенсирующих устройств. Следует учесть, что при определении мощности, которую необходимо скомпенсировать, надо вычесть мощность, скомпенсированную на стороне 0,4 кВ и мощность СД, которую планируется использовать для компенсации. Расчеты занести в табл. 2.

Таблица 2 – График включения компенсирующих устройств

Т, час	$P_1$ , кВт	$Q_1$ , квар	$Q_2$ , квар	$Q_{\text{КН факт}}$ , квар	$Q_{\text{КВ факт}}$ , квар	$Q'_1$ , квар
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						

2.7. Проверить баланс реактивной мощности на шинах ГПП в часы минимума активной нагрузки СЭС.

2.8. Построить графики нагрузки  $P_1 = f(T)$ ,  $Q_1 = f(T)$  до компенсации и  $Q'_1 = f(T)$  после компенсации с учетом компенсирующих устройств.

2.9. Представить выводы по результатам работы и ответить на контрольные вопросы.

### **3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Дайте понятие реактивной мощности, поясните ее физический смысл и особенности в сравнении с активной.

2. Чем определяются предельные значения реактивной мощности, которую может подать в сеть синхронная машина?

3. Дайте сравнительную характеристику источников реактивной мощности, используемых в СЭПП.

4. Каким образом задается режим потребления реактивной мощности для промышленного предприятия?

5. С какой целью выполняется регулирование мощностей компенсирующих устройств?

6. Почему входные реактивные мощности задаются предприятиям дифференцированно?

7. Что понимается под оптимизацией режима компенсации реактивных мощностей нагрузок?

### **СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Гужов, Н.П. Системы электроснабжения: [текст]: Учеб. пособие/ Н.П. Гужов, В.Я. Ольховский, Д.А. Павлюченко. - Ростов н/Д: Феникс, 2011. - 382 с.

2. Балашов, О.П. Электроснабжение [текст] [Электронный ресурс]: Учеб. пособие для студентов, обучающихся по направлению 140400 "ЭиЭ" всех форм обучения/ О.П. Балашов. - Электрон. дан. - Рубцовск: РИИ, 2014. - 126 с.

3. Балашов О.П. Системы электроснабжения городов и промышленных предприятий: Учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению «Электроэнергетика и электротехника» всех форм обучения /Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2018. 76с.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

### ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

#### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучить назначение, конструкцию, принцип действия высоковольтного оборудования в системе электроснабжения на базе высоковольтной ячейки типа КСО. Исследовать работу силовых аппаратов, электромагнитного привода силового выключателя, схем релейной защиты и автоматического повторного включения в различных режимах.

#### 2. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

##### 2.1. Подготовительная часть

Подготовка к лабораторной работе включает:

2.1.1. Изучение теоретического материала курса по разделу «Электрическое оборудование высоковольтных подстанций. Выбор и компоновка комплектных распределительных устройств 6-10 кВ».

2.1.2. Ознакомление с лабораторной установкой.

2.1.3. Подготовка к экспериментальной части.

##### Краткие теоретические сведения

Одним из основных устройств, применяемых в современных электрических системах, являются комплектные распределительные устройства (КРУ).

КРУ напряжением 6-10 кВ имеют два конструктивных исполнения в зависимости от способа установки аппаратов высокого напряжения: выкатное исполнение (КРУ) и стационарное (КСО и КРУН).

Достоинствами выкатных КРУ являются: возможность быстрой замены аппарата резервным, компактность устройств, надежная защита токоведущих частей.

Конструкция КСО обеспечивает безопасный осмотр и доступ к оборудованию без снятия напряжения со сборных шин.

По условиям обслуживания комплектные РУ могут быть одностороннего и двухстороннего обслуживания.

Тип исследуемого в лабораторной работе оборудования – КСО (камера сборная одностороннего обслуживания).

Стационарное КРУ КСО (высоковольтная ячейка) изготавливается на напряжение 6-10 кВ с масляным выключателем ВМГ-10, номинальные токи главных ножей – 630 А, 1000 А; номинальный ток отключения выключателя – 20 кА; электродинамическая стойкость – 51 кА; термическая стойкость – 20 кА/4 с. Кроме этого имеются исполнения камер КСО с выключателями и разъединителями, а также аппаратами общего назначения: трансформаторами напряжения и собственными нужд.

Габаритные размеры ячеек КСО – 1000 x1200 x2870 мм. Камеры устанавливаются в отапливаемых и не отапливаемых помещениях.

Ячейка КСО комплектуется устройствами релейной защиты, сигнальной аппаратурой, приборами учета и измерения, устройством автоматического повторного включения.

Применение комплектных РУ в системах электроснабжения повышает надежность работы электроустановок, удобство и безопасность обслуживания, обеспечение быстрого расширения и мобильности при реконструкциях.

## **2.2. Экспериментальная часть и обработка результатов**

2.2.1. Начертить однолинейную схему первичных соединений. Записать тип и технические характеристики высоковольтного оборудования:

- разъединителей;
- выключателей;
- трансформаторов тока.

2.2.2. Определить порядок включения и отключения силовой цепи высоковольтной ячейки. Произвести ручное включение силовой цепи.

2.2.3. Изучить схему управления силовым выключателем. Записать технические характеристики электромагнитного привода. Собрать схему (рисунок 1) электромагнитного привода. Произвести включение силовой цепи высоковольтной ячейки, используя электромагнитный привод.

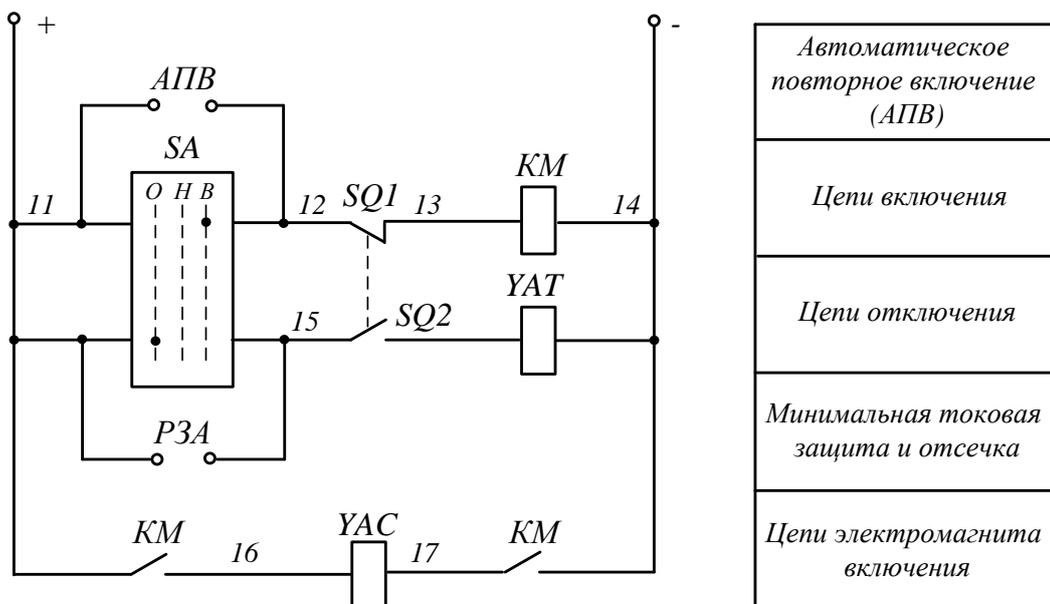
2.2.4. Изучить схему релейной защиты для отходящей линии. Собрать схему (рисунок 2) релейной защиты. Проверить работу релейной защиты при нормальном режиме и режимах дальнего и ближнего коротких замыканий.

2.2.5. К схеме релейной защиты подключить устройство автоматического повторного включения (АПВ) (рисунок 3). Опробовать работу схемы АПВ при включении ее на линию с устойчивым и самоустранившимся короткими замыканиями.

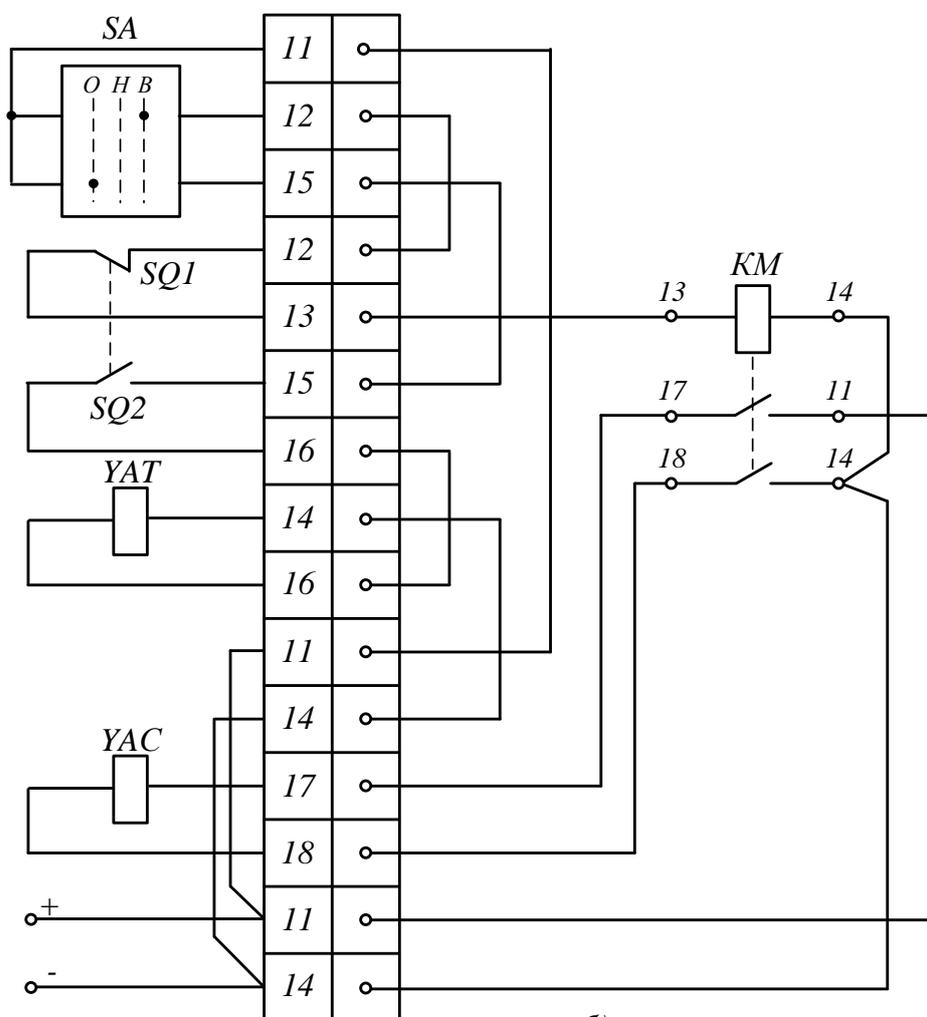
2.2.6. Разобрать силовой выключатель и выполнить его эскизный чертеж. Описать процесс гашения дуги в маломасляном силовом выключателе. Собрать силовой выключатель.

2.2.7. Оформить отчет по лабораторной работе, который должен содержать:

- формулировку задачи лабораторного исследования;
- однолинейную схему первичных соединений высоковольтной ячейки с указанием типа и характеристик высоковольтного оборудования;
- схемы управления высоковольтным выключателем, релейной защиты и устройства АПВ;
- выводы по работе.

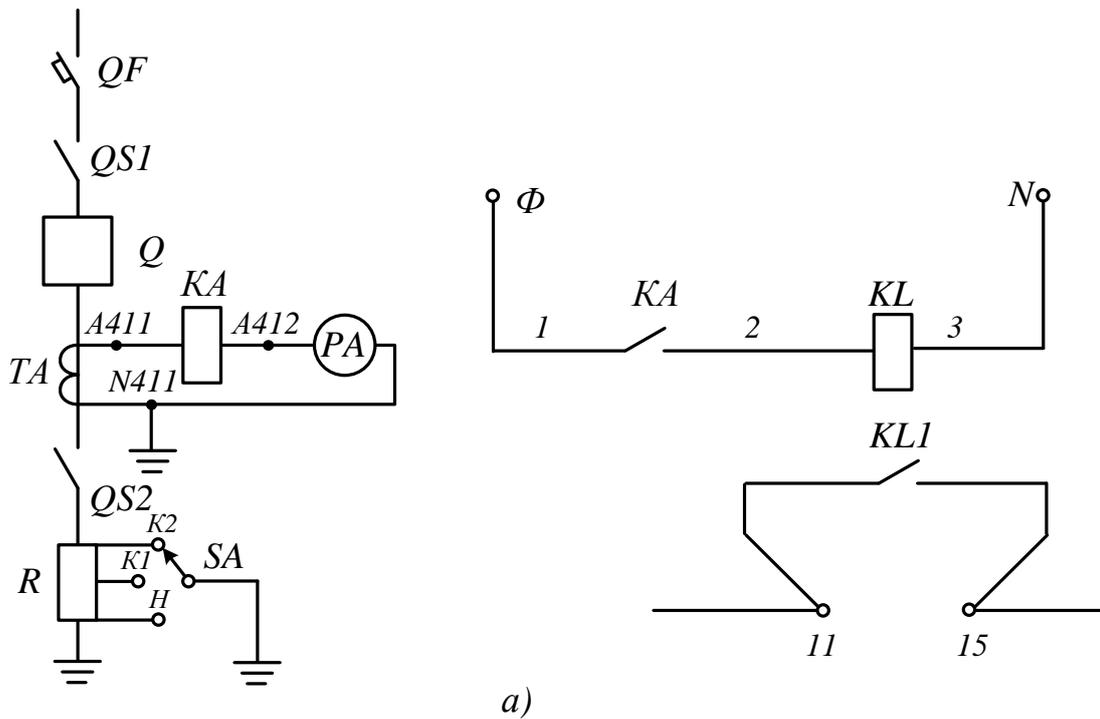


a)

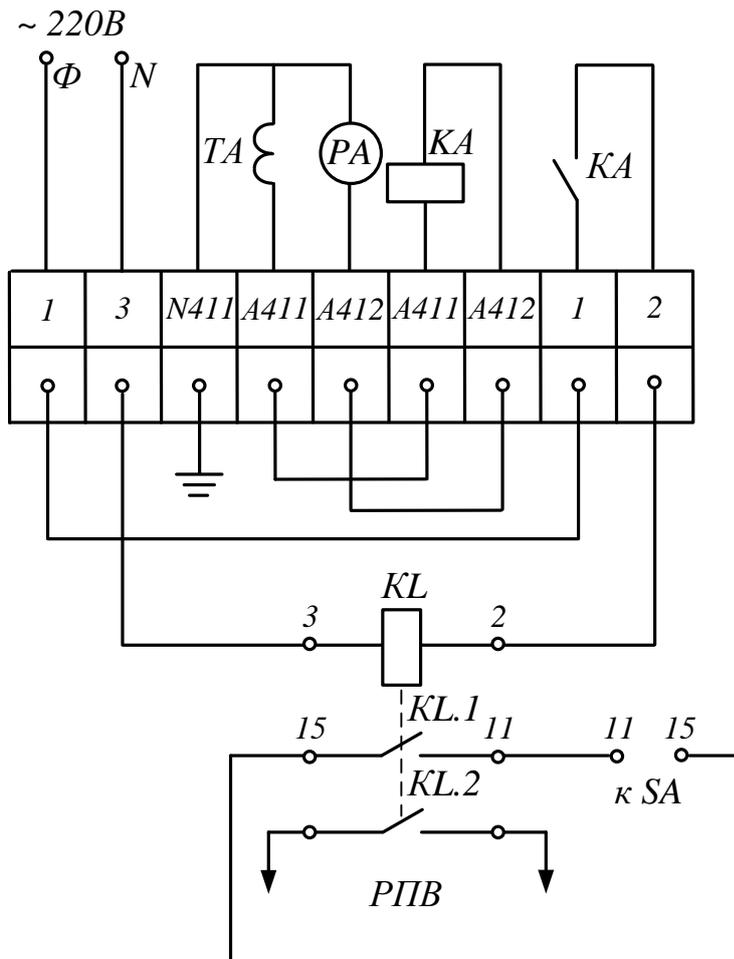


б)

Рисунок 1 - Принципиальная (а) и монтажная (б) схема управления электромагнитным приводом



a)



б)

Рисунок 2 - Принципиальная (а) и монтажная (б) схема токовой защиты

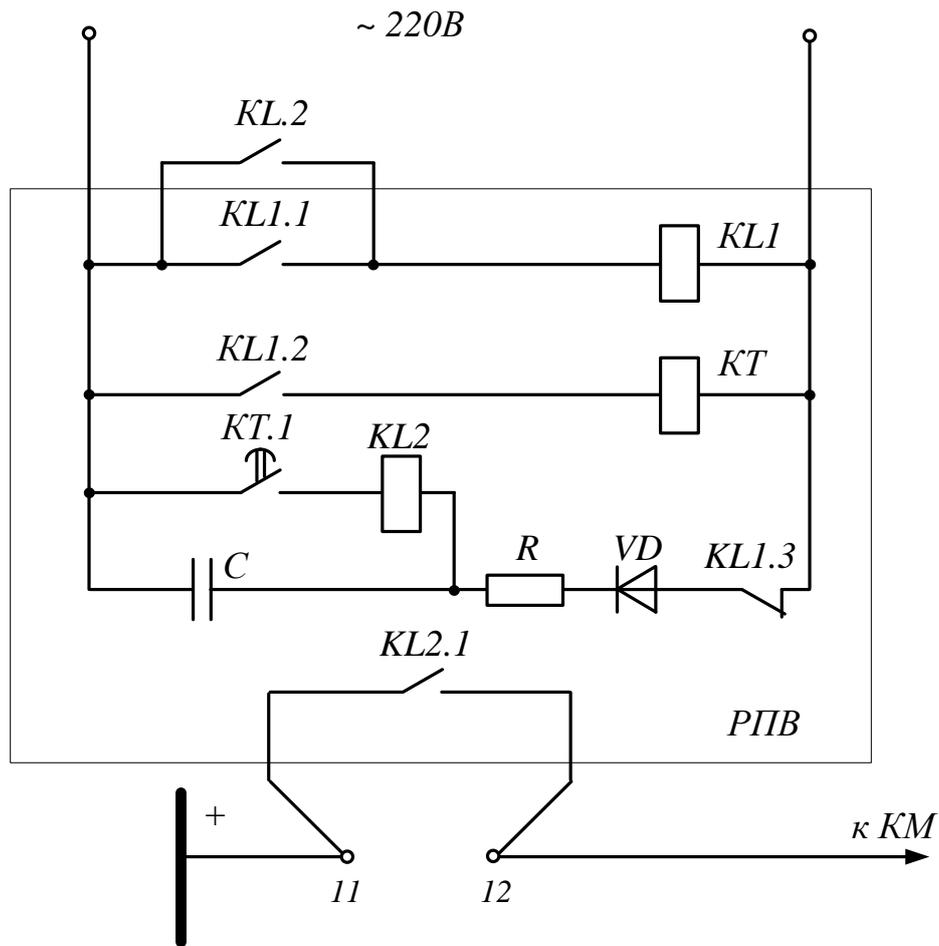


Рисунок 3 - Принципиальная схема реле повторного включения

### 3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назначение высоковольтной ячейки КСО и электрического оборудования, установленного в ней.
2. Как осуществляется маркировка силового высоковольтного оборудования (выключателя, разъединителя, трансформаторы тока)? Расшифровать тип выключателя, разъединителя, трансформатора тока.
3. Каким образом можно осуществить включение высоковольтного выключателя?
4. На каком реле выполнена защита отходящей линии?
5. На каких элементах построена токовая защита отходящей линии? Произвести расчет уставок защит.
6. На каком принципе основано действие АПВ линии?
7. Чем обеспечивается однократность действия АПВ?
8. Какую роль играет выдержка времени, создаваемая реле времени КТ?
9. Как происходит процесс гашения дуги в высоковольтном выключателе?
10. Пояснить работу электромагнитного привода.

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гужов, Н.П. Системы электроснабжения: [текст]: Учеб. пособие/ Н.П. Гужов, В.Я. Ольховский, Д.А. Павлюченко. – Ростов н/Д: Феникс, 2011. – 382 с.
2. Киреева, Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий: [текст]: Учеб. пособие/ Э.А. Киреева. – М.: Кнорус, 2011. – 368 с.
3. Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению: [Текст]: / В.П. Шеховцов. – М.: ФОРУМ: ИНФРА – М, 2009.-136с.
4. Балашов О.П. Системы электроснабжения городов и промышленных предприятий: Учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению «Электроэнергетика и электротехника» всех форм обучения /Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2018. 76с.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ НАГРУЗКИ

#### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение основных эксплуатационных характеристик элементов системы электроснабжения. Исследование параметров системы электроснабжения при изменении коэффициента мощности нагрузки.

#### 2. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

##### 2.1. Подготовительная часть

Подготовка к лабораторной работе включает:

2.1.1. Изучение теоретического материала курса по разделу «Качество электрической энергии. Потери напряжения в системе электроснабжения».

2.1.2. Подготовка к экспериментальной части.

##### Краткие теоретические сведения

В системах электроснабжения следует различать падение напряжения и потерю напряжения.

Падение напряжения  $\Delta U$  есть векторная разность напряжения  $U_1$  на входе линии и напряжения  $U_2$  на её выходе и не даёт однозначной зависимости между действующими значениями напряжений.

$$\Delta U = U_1 - U_2 = I \cdot Z, \quad (1)$$

где  $Z$  – комплексное сопротивление линии.

С точки зрения энергоснабжения потребителей более важна разность действующих значений входного и выходного напряжений, которая называется потерей напряжения в линии и определённым образом зависит от падения напряжения.

$$\Delta U = U_1 - U_2, \quad (2)$$

Другой расчётной характеристикой элементов системы электроснабжения является коэффициент полезного действия.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P}, \quad (3)$$

где  $P_2$  – активная мощность нагрузки;

$\Delta P$  – потери мощности при передаче энергии.

$$P_2 = I \cdot U_2 \cdot \cos \varphi_2,$$

$$\Delta P = I^2 \cdot R_3.$$

Из последней формулы видно, что при неизменных параметрах линии ( $R3 = \text{const}$ ), а также мощности  $P_2$  и напряжении  $U_2$  КПД линии будет тем выше, чем больше коэффициент мощности  $\cos\varphi_2$  нагрузки.

Большинство потребителей имеет низкое значение коэффициента мощности, поэтому для искусственного повышения его до значений 0,85 – 0,9 в ряде случаев используют параллельное подключение батареи конденсаторов. Величину ёмкости, необходимую для повышения  $\cos\varphi_2$  от номинального значения  $\cos\varphi_{2н}$  до требуемого  $\cos\varphi_{2тр}$ , можно определить, воспользовавшись формулой:

$$C1 = \frac{P_2 (tg\varphi_{2н} - tg\varphi_{2тр})}{U_2^2 \cdot \omega}, \quad (4)$$

где  $\omega = 2\pi \cdot f = 314 \text{ с}^{-1}$  – угловая частота сети.

Повышение  $\cos\varphi_2$  за счёт подключения конденсаторов обусловлено тем, что часть реактивного тока  $I_{2рн}$  нагрузки компенсируется ёмкостным током  $I_c$  и результирующий реактивный ток  $I_{2р}$  уменьшается.

При  $I_c = I_{2рн}$  индуктивная составляющая тока полностью компенсируется ёмкостным током  $I_c$  и в цепи, образованной потребителем и батареей конденсаторов, наступает резонанс токов.

Важной особенностью резонанса токов является то, что ток потребителя с батареей конденсаторов становится в этом случае минимальным и чисто активным, а КПД линии достигает максимального значения.

В системе электроснабжения считается целесообразной некоторая недокомпенсация реактивного тока нагрузки ( $\cos\varphi_{2тр} = 0,85 - 0,9$ ).

## 2.2. Экспериментальная часть и обработка результатов

### 2.2.1. Ознакомьтесь с лабораторной установкой.

Схема электрической сети показана на рисунке 1. В настоящей лабораторной работе электрическая сеть представлена на стенде последовательно включенными индуктивностью  $L1$  и резистором  $R3$ . Нагрузка потребителей при этом имеет активно-индуктивный характер с эквивалентными параметрами  $L2$ ,  $R4$ , а конденсатор  $C1$  предназначен для повышения коэффициента мощности. Таким образом, в первом приближении систему электроснабжения совместно с нагрузкой можно рассматривать в качестве цепи (рисунок 1) с последовательным соединением элементов  $L1$ ,  $R3$ ,  $L2$ ,  $R4$ .

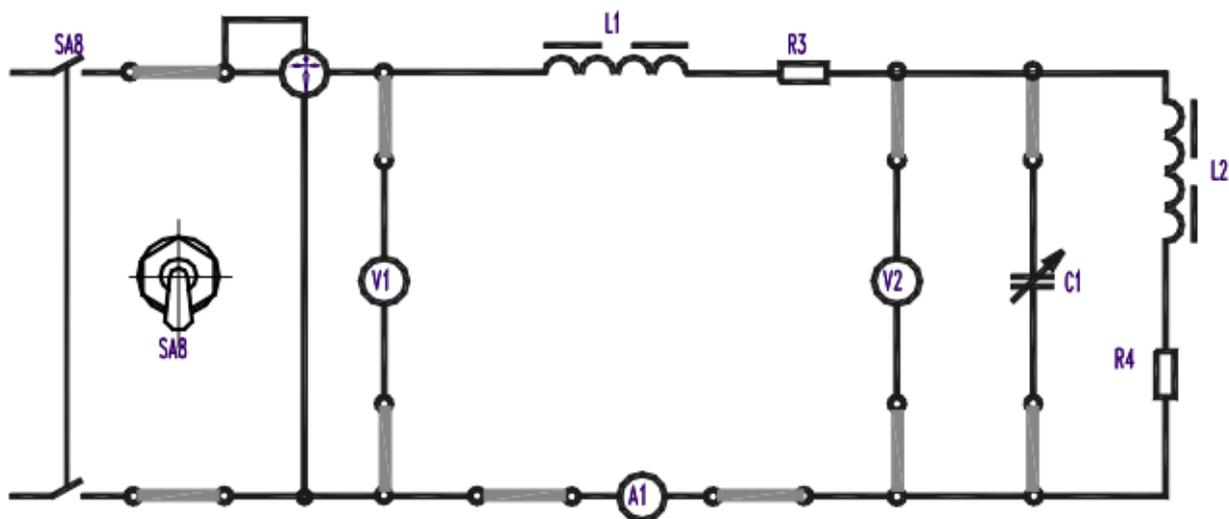


Рисунок 1 – Схема замещения лабораторной установки

2.2.2. Изучить схему замещения электрической сети на стенде и подключить нагрузку, батарею конденсаторов и необходимые измерительные приборы.

2.2.3. Определить опытным путем величину емкости  $C1$  батареи конденсаторов для повышения коэффициента мощности нагрузки до значения  $\cos \varphi_{2mp}$ , заданного преподавателем.

2.2.4. Изменяя емкость батареи конденсаторов, экспериментально исследовать зависимость  $\eta = f(C1)$  при изменении  $C1$  от 0 до 16 мкФ. Результаты испытаний необходимо оформить в виде таблицы в свободной форме.

2.2.5. Оформить отчет по лабораторной работе, который должен содержать:

- цель работы;
- краткое теоретическое описание предмета исследования;
- схему лабораторной установки;
- таблицу с данными, полученными в результате экспериментов;
- зависимость  $\eta = f(C1)$  при изменении  $C1$  от 0 до 16 мкФ;
- выводы о проделанной работе.

### 3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чём заключается различие между падением напряжения и потерей напряжения?

2. Как объяснить зависимость коэффициента полезного действия элемента СЭС от характера нагрузки?

3. Почему активная мощность  $P_2$  пропорциональна активной составляющей тока, а реактивная  $Q_2$  - реактивной?

4. Что такое резонанс токов и каковы условия его возникновения?

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гужов, Н.П. Системы электроснабжения: [текст]: Учеб. пособие/ Н.П. Гужов, В.Я. Ольховский, Д.А. Павлюченко. - Ростов н/Д: Феникс, 2011. - 382 с.
2. Киреева, Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий: [текст]: Учеб. пособие/ Э.А. Киреева. - М.: Кнорус, 2011. - 368 с.
3. Балашов, О.П. Электроснабжение [текст] [Электронный ресурс]: Учеб. пособие для студентов, обучающихся по направлению 140400 "ЭиЭ" всех форм обучения/ О.П. Балашов. - Электрон. дан. - Рубцовск: РИИ, 2014. - 126 с.
4. Балашов О.П. Системы электроснабжения городов и промышленных предприятий: Учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению «Электроэнергетика и электротехника» всех форм обучения /Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2018. 76с.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

### ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ НЕЙТРАЛИ ИСТОЧНИКОВ И ПРИЕМНИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

#### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучить виды режимов нейтрали электроустановок напряжением до и выше 1000 В; ознакомиться с влиянием способа заземления нейтрали на надежность работы сети и электроприемников, бесперебойность электроснабжения потребителей; выбор уровня изоляции системы; величину возникающих перенапряжений и мероприятия по их ограничению; электробезопасность систем электроснабжения.

#### 2. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

##### 2.1. Подготовительная часть

Подготовка к лабораторной работе включает:

2.1.1. Изучение теоретического материала курса по разделу «Режим нейтрали электрических сетей».

2.1.2. Ознакомление с лабораторной установкой.

2.1.3. Подготовка к экспериментальной части.

##### Краткие теоретические сведения

Рост мощности источников питания и потребителей электрической энергии приводит к ужесточению требований надежности систем электроснабжения, которая в значительной мере зависит от режима нейтрали.

Наиболее частым повреждением в системе электроснабжения, порядка 90% всех повреждений, является однофазное замыкание на землю. Ток в месте такого замыкания называется током однофазного замыкания на землю.

В соответствии с классификацией ПУЭ, электроустановки напряжением выше 1000 В подразделяются на электроустановки с большими токами замыкания на землю, в которых ток однофазного замыкания на землю превышает 500 А, и установки с малыми токами замыкания на землю, в которых ток однофазного замыкания на землю равен или менее 500 А.

В ПУЭ дается следующая классификация электроустановок по режимам нейтрали;

- 1) системы с изолированной нейтралью;
- 2) системы с компенсированной нейтралью, т.е. заземленной через дугогасящий реактор или резистор-нейтраль;
- 3) системы с глухозаземленной нейтралью;
- 4) системы с эффективно заземленной нейтралью.

Электрическая сеть с эффективно заземленной нейтралью представляет собой трехфазную электрическую сеть, в которой коэффициент замыкания на землю не превышает 1,4 ( $K_z \leq 1,4$ ). Под коэффициентом замыкания на землю подразумевается отношение разности потенциалов между неповрежденной

фазой и землей в точке замыкания на землю другой фазы или двух других фаз к разности потенциалов между фазой и землей в этой точке до замыкания.

Выбор того или иного режима нейтрали электроустановок является результатом учета многих технико-экономических факторов конкретной системы электроснабжения. При выборе способа заземления нейтрали должны учитываться следующие требования:

- 1) надежность работы сетей;
- 2) бесперебойность электроснабжения приемников электрической энергии;
- 3) электробезопасность системы;
- 4) экономичность;
- 5) возможность устранения опасных перенапряжений;
- 6) ограничение электромагнитного влияния на другие электрические сети;
- 7) возможность дальнейшего развития системы без значительной реконструкции.

В системах электроснабжения напряжением 6, 10, 20 и 35 кВ применяется изолированная нейтраль, если величины емкостных токов замыкания на землю не превосходят допустимых значений по ПУЭ (для 6 кВ-30 А; 10 кВ-20 А; 20 кВ –15 А и 35 кВ-10 А), в противном случае применяются нейтрали с компенсацией емкостного тока, где заземление осуществляется через дугогасящие аппараты.

Основными недостатками системы с изолированной нейтралью являются:

1. Повышенные капитальные вложения, вызываемые требуемым уровнем изоляции электроустановок, т.к. в аварийном режиме происходит увеличение напряжения неповрежденных фаз относительно земли до линейного значения;

2. возможность замыкания фазы на землю через электрическую дугу и появление перемежающих дуг, имеющих при определенных условиях устойчивый характер и вызывающих перенапряжения, превосходящие в  $2,5 \div 3,2$  раза нормальное фазное напряжение, которое распространяется на всю электрически связанную сеть.

Для уменьшения емкостных токов однофазного замыкания на землю в месте повреждения между нейтралью источника или приемника электроэнергии и землей включаются компенсирующие устройства: заземляющие катушки (дугогасящие) или трехфазные заземляющие трансформаторы или активные сопротивления.

Системы с компенсацией емкостных токов при однофазном замыкании на землю характеризуется следующими положительными факторами:

1) при однофазном замыкании на землю развивающийся пробой изоляции электроустановок предупреждается на ранней стадии;

2) неустойчивое замыкание на землю подавляется, причем 70-90% таких замыканий ликвидируется без отключения, медленно возрастает напряжение в месте повреждения до  $U_n$ , что способствует восстановлению диэлектрической прочности изоляции;

3) при устойчивых замыканиях на землю ток, проходящий через место замыкания, снижается до нескольких процентов емкостного, что позволяет работать электроприемникам на период отыскания и устранения повреждения, т.е. число отключений и нарушений питания у потребителя минимально;

4) градиенты напряженности вблизи места повреждения значительно снижены, что обеспечивает безопасность людей;

5) отсутствие больших электромагнитных влияний на линии связи.

К недостаткам систем с нейтралью, заземленной через дугогасящую катушку, можно отнести:

1) увеличенные капитальные затраты, вызываемые повышенными требованиями к уровню изоляции электроустановок;

2) сложность эксплуатации систем с компенсированной нейтралью из-за необходимости вести постоянное наблюдение за состоянием компенсации и трудности в определении места повреждения, если оно не развилось;

3) возможность повышения напряжения неповрежденных фаз относительно земли более линейного и существование перенапряжений, если нет точки настройки и дуга устойчива;

4) увеличение капитальных вложений и эксплуатационных расходов в связи с установкой дугогасящих аппаратов по сравнению с системой с изолированной нейтралью;

5) сложность в настройке релейной защиты.

В системах 110 кВ применяется эффективно заземленная, а 220 кВ и выше - глухое заземление нейтрали части трансформаторов в связи с необходимостью ограничения тока однофазного короткого замыкания.

Основными достоинствами системы с глухозаземленной нейтралью являются:

1) стабилизация потенциала нейтрали и устранение возможности появления устойчивых заземляющих дуг и связанных с ними последствий;

2) облегченная работа изоляции при замыканиях на землю и переходных процессах, что приводит к возможности снижения уровня изоляции, а следовательно, экономии в затратах либо к повышению надежности работы электроустановок вследствие большого запаса прочности изоляции, при сохранении такого же уровня изоляции, как и при других способах заземления нейтрали;

3) обеспечение выполнения четкой, надежной селективной и быстродействующей релейной защиты.

Система с глухим заземлением нейтрали обладает рядом недостатков:

1) любое однофазное замыкание на землю является коротким, и релейная защита немедленно отключает поврежденный участок, т.е. нарушается бесперебойность электроснабжения, что требует применения устройств АПВ и выполнения систем с резервированием для наиболее ответственных потребителей (повышение затрат, дополнительные капитальные вложения и ущерб от недоотпуска продукции);

2) значительное электромагнитное влияние на линии связи, что приводит к увеличению затрат на защиту последних;

3) удорожание релейной защиты в связи с устройством ее в трехфазном исполнении;

4) токи короткого замыкания могут достигать больших значений при замыканиях на землю, что является причиной динамических разрушающих усилий, распространяющихся на значительную часть системы, примером тому может служить повреждение железа статора генератора при пробое изоляции на корпус, разрывы оболочек кабелей, разрушение гирлянд изоляторов на воздушных ЛЭП и др.;

5) при больших токах короткого замыкания уменьшается синхронизирующий момент (синхронные двигатели могут затормозиться, а параллельно работающий генератор – выйти из синхронизма);

6) опасность поражения людей вследствие больших напряжений прикосновения и шага из-за тока короткого замыкания при однофазном замыкании на землю;

7) значительное увеличение затрат на заземляющие устройства.

В электроустановках напряжением до 1000 В применяют следующие режимы нейтрали:

1. глухое заземление нейтрали трансформаторов и генераторов;
2. полностью изолированная нейтраль;
3. нормально изолированная нейтраль трансформатора с включенным в нейтраль или фазу заземленным пробивным предохранителем.

Выбор того или иного режима нейтрали должен проводиться с учетом всех местных условий с целью обеспечения наилучших условий электробезопасности.

### **Описание лабораторной установки**

Лабораторная установка состоит из испытательного стенда, трехфазного трансформатора, катушек индуктивности и сопротивлений.

Испытательный стенд предназначен для моделирования систем электроснабжения трехфазного тока с различными режимами нейтрали. Зажимы питающего трансформатора ( $A, B, C$  и  $a, в, с$ ), катушки индуктивности и сопротивления, установленные внутри стенда, выведены на контакты клавишных переключателей коммутационной панели стенда. Принципиальная схема лабораторной установки приведена на рисунке 1.

Распределение емкости проводов относительно земли в трехфазной системе представлены на стенде в виде сосредоточенных емкостей  $C_1-C_9$  и сопротивлений  $R_3-R_5$ , имеющих различное значение, соответственно фаз  $A, B, C$  относительно земли.



Подключая емкости и сопротивления в определенном порядке при помощи клавишных переключателей, можно задавать как симметричные, так и несимметричные режимы работы системы.

Измерение токов и напряжений производится щитовыми приборами. При нажатом переключателе  $S_0$  снимаются показания напряжения фаз относительно земли, а при отключенном создается искусственная нулевая точка.

## 2.2. Экспериментальная часть и обработка результатов

2.2.1. Зарисовать принципиальную схему лабораторной установки.

2.2.2. Составить таблицу для занесения показаний приборов (таблица 1).

2.2.3. Исследовать режимы нейтрали по программам, при этом наличие знака «+» рядом с номером клавишного переключателя (КП) означает включенное (нажатое) положение клавиши переключателя.

Собрать схему, замыкая переключатели слева направо:

Режим 1: Эффективное заземление нейтрали при симметричной проводимости фаз относительно земли.

КП	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	-	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-

Снять показания приборов, разобрать схему.

Режим 2: Эффективное заземление нейтрали при несимметричной проводимости фаз относительно земли.

Собрать схему

КП	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-

Снять показания приборов, разобрать схему.

Режим 3: Эффективное заземление нейтрали при симметричной проводимости фаз относительно земли, замыкание фазы С на землю.

Собрать схему:

КП	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	-	+	-	-	+	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-	-	-

Снять показания приборов и разобрать схему.

Режим 4: Компенсированная нейтраль при симметричной проводимости фаз относительно земли.

Собрать схему:

КП	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-

Режим 5: Компенсированная нейтраль при несимметричной проводимости фаз относительно земли.

Собрать схему:

КП	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-

Снять показания приборов и разобрать схему.

Режим 6: Компенсированная нейтраль при симметричной проводимости фаз, замыкание фазы С на землю.

Собрать схему:

КП	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	+	-	-	-	+	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-	-	-

Снять показания приборов и разобрать схему.

Режим 7: Изолированная нейтраль при симметричной проводимости фаз относительно земли.

Собрать схему:

КП	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-

Снять показания приборов и разобрать схему.

Режим 8: Изолированная нейтраль при несимметричной проводимости фаз относительно земли.

Собрать схему:

КП	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-

Снять показания приборов и разобрать схему.

Режим 9: Изолированная нейтраль при симметричной проводимости фаз относительно земли, замыкание фазы С.

Собрать схему:

КП	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	-	-	-	-	+	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-	-	-

Снять показания приборов и разобрать схему.

Режим 10: Изолированная нейтраль при несимметричной проводимости фаз относительно земли, замыкание фазы С.

Собрать схему:

КП	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-

Снять показания приборов и разобрать схему.

Режим 11: Глухозаземленная нейтраль при симметричной проводимости фаз относительно земли.

Собрать схему:

КП	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	-	-	+	-	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-	-	-

Снять показания приборов и разобрать схему.

Режим 12: Глухозаземленная нейтраль при несимметричной проводимости фаз относительно земли.

Собрать схему:

КП	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	-	-	+	-	-	+	+	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-

Снять показания приборов и разобрать схему.

Режим 13: Глухозаземленная нейтраль при несимметричной проводимости фаз относительно земли с учетом активных сопротивлений.

Собрать схему:

КП	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	-	-	+	-	-	+	+	-	+	-	+	-	+	+	+	+	+

Снять показания приборов и разобрать схему.

Режим 14: Глухозаземленная нейтраль при симметричной проводимости фаз относительно земли, замыкание фазы С (*Примечание:* Данный режим должен носить кратковременный характер из-за возможности возникновения неисправности стенда).

Собрать схему:

КП	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	-	-	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-	-	-

Снять показания приборов и разобрать схему.

Режим 15: Глухозаземленная нейтраль при несимметричной нагрузке, замыкание фазы С (*Примечание:* Данный режим должен носить кратковременный характер из-за возможности возникновения неисправности стенда).

Собрать схему:

КП	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	-	-	+	-	+	+	-	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+

Снять показания приборов и разобрать схему.

2.2.4. По окончании опытов необходимо начертить векторные диаграммы токов и напряжений по указанию преподавателя.

2.2.5. Оформить отчет по лабораторной работе, который должен содержать:

- формулировку задачи лабораторного исследования;
- схему лабораторной установки;
- необходимые расчеты и результаты измерений;
- векторные диаграммы токов и напряжений;
- выводы по работе.

### 3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие существуют основные способы заземления нейтрали?
2. Что характеризует коэффициент замыкания на землю?
3. Перечислите достоинства и недостатки различных режимов нейтрали.
4. Какие существуют особенности выбора режима нейтрали для электроустановок напряжением до 1000 В и выше?
5. Поясните основные расчетные соотношения и векторные диаграммы для систем напряжений с заземленной и изолированной нейтралью.
6. Какие существуют особенности обеспечения электробезопасности в зависимости от режима нейтрали?

### СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гужов, Н.П. Системы электроснабжения: [текст]: Учеб. пособие/ Н.П. Гужов, В.Я. Ольховский, Д.А. Павлюченко. - Ростов н/Д: Феникс, 2011. - 382 с.
2. Киреева, Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий: [текст]: Учеб. пособие/ Э.А. Киреева. - М.: Кнорус, 2011. - 368 с.
3. Балашов, О.П. Электроснабжение [текст] [Электронный ресурс]: Учеб. пособие для студентов, обучающихся по направлению 140400 "ЭиЭ" всех форм обучения/ О.П. Балашов. - Электрон. дан. - Рубцовск: РИИ, 2014. - 126 с.
4. Балашов О.П. Системы электроснабжения городов и промышленных предприятий: Учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению «Электроэнергетика и электротехника» всех форм обучения /Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2018. 76с.

Таблица 1 - Регистрация значения токов и напряжений в электрической сети с различным режимом нейтрали

Номер режима	$I_A, A$ (PA <sub>1</sub> )	$I_B, A$ (PA <sub>2</sub> )	$I_C, A$ (PA <sub>3</sub> )	$I_O, A$ (PA <sub>4</sub> )	$U_{A, B}$ (PV <sub>1</sub> )		$U_{B, B}$ (PV <sub>2</sub> )		$U_{C, B}$ (PV <sub>3</sub> )		$U_{O, B}$ (PV <sub>4</sub> )	$U$ (PV <sub>5</sub> )
					S <sub>0+</sub>	S <sub>0-</sub>	S <sub>0+</sub>	S <sub>0-</sub>	S <sub>0+</sub>	S <sub>0-</sub>		
Режим 1												
Режим 2												
Режим 3												
Режим 4												
Режим 5												
Режим 6												
Режим 7												
Режим 8												
Режим 9												
Режим 10												
Режим 11												
Режим 12												
Режим 13												
Режим 14												
Режим 15												

Балашов Олег Петрович

## СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Методические указания к лабораторным работам  
для студентов направления «Электроэнергетика  
и электротехника» всех форм обучения

Подписано к печати 23.09.20. Формат 60X84 1/16.  
Усл. печ. л. 2,12. Тираж 100 экз. Зак. 201730. Рег. № 11.

Отпечатано в ИТО Рубцовского индустриального института  
658207, Рубцовск, ул. Тракторная, 2/6.