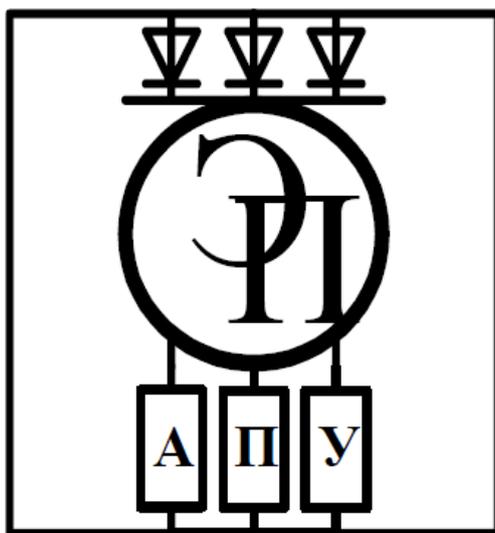


МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Электропривод и автоматизация промышленных установок»

# ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В СИСТЕМАХ ВЫРАБОТКИ, ПЕРЕДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

*Методические рекомендации к лабораторным работам  
для студентов специальности 1-43 80 01 «Электроэнергетика и  
электротехника» дневной и заочной форм обучения*



Могилев 2020

УДК 621.31  
ББК 31.29  
И 66

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Электропривод и автоматизация промышленных установок» «3» февраля 2020 г., протокол № 7

Составитель канд. техн. наук В. А. Селиванов

Рецензент канд. техн. наук, доц. С. В. Болотов

В методических рекомендациях изложены необходимые сведения для выполнения лабораторных работ по курсу «Инновационные технические решения в системах выработки, передачи и распределения электроэнергии».

Предназначены для студентов специальности 1-43 80 01 «Электроэнергетика и электротехника» дневной и заочной форм обучения.

Учебно-методическое издание

## ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В СИСТЕМАХ ВЫРАБОТКИ, ПЕРЕДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Ответственный за выпуск	Г. С. Ленеvский
Корректор	И. В. Голубцова
Компьютерная верстка	Е. В. Ковалевская

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 31 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«Белорусско-Российский университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 07.03.2019.

Пр-т Мира, 43, 212022, Могилев.

© Белорусско-Российский  
университет, 2020

## Содержание

Введение.....	4
1 Лабораторная работа № 1. Инновационные технологии в развитии энергетики и электрообеспечения промышленных и транспортных установок. Классификация приемников электрической энергии и их общие характеристики.....	6
2 Лабораторная работа № 2. Методы определения расчетной нагрузки. Порядок расчета электрических нагрузок на разных ступенях системы электрообеспечения.....	8
3 Лабораторная работа № 3. Требования промышленных потребителей к качеству электроэнергии и источникам питания. Колебание напряжения в системах электроснабжения.....	10
4 Лабораторная работа № 4. Местные источники активной электроэнергии (заводские ТЭЦ, аварийные и пиковые агрегаты электростанций, установка обеспечения бесперебойного электрообеспечения). Выбор типов мощности и мест присоединений источников реактивной энергии в сетях низкого и высокого напряжения.....	12
5 Лабораторная работа № 5. Автоматическое регулирование мощности конденсаторных установок. Факторы, определяющие конструкции линий в сетях НН и ВН промышленных предприятий.....	14
6 Лабораторная работа № 6. Классификация применяемых проводников. Токи короткого замыкания от бесконечно мощных источников и источников конечной мощности. Применение расчетных кривых.....	16
7 Лабораторная работа № 7. Классификация подстанций и сетевых узлов промышленных предприятий и транспортных установок. Классификация способов защиты подстанций. Основные параметры защиты сетей.....	18
8 Лабораторная работа № 8. Молниезащита сооружений. Дифференциальная токовая защита. Направленная защита. Дистанционная защита.....	21
9 Лабораторная работа № 9. Автоматическое повторное включение (АПВ) в электрических сетях. Регулирование процессов самозапуска. Автоматическое регулирование частоты сети (АЧР).....	23
Список литературы.....	25

## Введение

Целью преподавания учебной дисциплины является формирование академических компетенций, необходимых для осуществления научно-исследовательской работы и инновационной деятельности в области энергетики, а также углубленная профессиональная подготовка, обеспечивающая способность обучаемого выполнить и оформить диссертационную работу на соискание степени магистра технических наук.

Основные задачи дисциплины состоят в приобретении углубленных знаний по инновационным техническим решениям в системах выработки, передачи и потребления электрической энергии, способности видеть и обосновывать целесообразность применения прогрессивных решений при конструировании отдельных элементов и их эксплуатации в составе энергетических систем. Учебная дисциплина «Инновационные технические решения в системах выработки, передачи и распределения электроэнергии» взаимосвязана с такими научными направлениями, как «Техническая электродинамика», «Энергоэффективные технологии в энергетике и промышленности», «Перспективы развития электрических систем и сетей», «Цифровые технологии в электроэнергетике».

В результате изучения учебной дисциплины «Инновационные технические решения в системах выработки, передачи и распределения электроэнергии» магистрант познает:

- альтернативные и возобновляемые источники электроэнергии;
  - цифровые устройства релейной защиты, автоматики, измерения и управления для электрических станций и сетей;
  - инновационные конструкции электрических аппаратов распределительных устройств электростанций и подстанций;
  - инновационные технические решения для повышения электродинамической стойкости и аэродинамической стабильности токоведущих конструкций электроустановок с гибкими проводами;
  - инновационные технические решения для воздушных линий электропередачи, а также по распределенным системам генерации и накопления энергии;
  - инновационные технические решения в системах электроснабжения промышленных предприятий;
- научится:
- самостоятельно проводить научно-исследовательскую работу (выполнять анализ, сопоставление, проверку достоверности данных, принимать решения);
  - генерировать и использовать новые идеи;
  - применять методологические знания и исследовательские умения, обеспечивающие решение задач научно-исследовательской и инновационной деятельности;
  - быть способным в течение жизни самостоятельно учиться, обеспечивать личностное и профессиональное развитие;

овладеет:

– методами формирования и реализации математических моделей для исследования аварийных режимов работы первичного электрооборудования и для анализа работы устройств релейной защиты и автоматики электроэнергетической системы;

– методами расчёта электродинамических усилий и потерь электрической энергии в системе проводников, соседствующих с проводящими и ферромагнитными средами;

– методами расчета параметров альтернативных источников электроэнергии.

# **1 Лабораторная работа № 1. Инновационные технологии в развитии энергетики и электрообеспечения промышленных и транспортных установок. Классификация приемников электрической энергии и их общие характеристики**

**Цель работы:** изучение индивидуальных и групповых потребителей электроэнергии различного уровня напряжений (10, 20 ... 100 кВ).

## ***Теоретические сведения***

В настоящее время в связи с ускорением научно-технического прогресса складывается устойчивое понимание важности и необходимости инноваций, которые будут способствовать развитию производства и обеспечению его долгосрочной конкурентоспособности.

Во-первых, в производстве укоренилось довольно ограниченное понимание термина «инновации». Как правило, под инновациями понимаются непосредственно новые технологии или продукты, которые не получили широкого распространения, что, в свою очередь, ограничивает руководителей в возможностях инновационного развития. Поэтому в первую очередь необходимо расширить понимание инноваций. Инновацией на предприятии можно считать «любое нововведение в деятельность производства, которое направлено на достижение стратегических целей, создание и получение новой ценности новыми способами».

Во-вторых, энергетическая отрасль является достаточно консервативной в отношении инноваций, т. к. срок службы основного оборудования составляет несколько десятков лет, а его модернизация требует больших инвестиций с длительными сроками окупаемости.

Около 70 % всей вырабатываемой в Республике Беларусь электрической энергии потребляется промышленными предприятиями.

Приемники электроэнергии промышленных предприятий делятся на следующие группы.

- 1 Приемники трехфазного тока напряжением до 1000 В, частотой 50 Гц.
- 2 Приемники трехфазного тока напряжением выше 1000 В, частотой 50 Гц.
- 3 Приемники однофазного тока напряжением до 1000 В, частотой 50 Гц.
- 4 Приемники, работающие с частотой, отличной от 50 Гц, питаемые от преобразовательных подстанций и установок.
- 5 Приемники постоянного тока, питаемые от преобразовательных подстанций и установок.

Для всех приемников вышеперечисленных групп необходимо выяснить:

- 1) требования, предъявляемые действующими Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) к надежности питания приемников (первая, вторая и третья категории);

2) режим работы (продолжительный, кратковременный, повторно кратковременный);

3) места расположения приемников электроэнергии и являются ли они стационарными или передвижными.

В настоящее время электроснабжение промышленных предприятий ведется на переменном трехфазном токе. Для питания групп приемников постоянного тока сооружаются преобразовательные подстанции, на которых устанавливаются преобразовательные агрегаты: полупроводниковые выпрямители, ртутные выпрямители, двигатели-генераторы и механические выпрямители.

Преобразовательные агрегаты питаются от сети трехфазного тока и поэтому являются приемниками трехфазного тока.

### ***Выполнение лабораторной работы***

1 Изучить схемы электрические принципиальные индивидуальных и групповых потребителей электроэнергии.

2 Изучить характерные особенности приемников электрической энергии.

3 Дать определение электрической нагрузке.

4 Определить влияние теплового воздействия электроэнергии на элементы передачи.

### ***Содержание отчета***

1 Цель работы.

2 Краткий обзор изученных вопросов.

3 Выводы.

### ***Контрольные вопросы***

1 Классификация и характеристика потребителей электроэнергии.

2 Режимы работы электроприемников.

3 Категории электроприемников по степени надежности питания.

4 Методы определения электрических нагрузок. Определение расхода электроэнергии.

## **2 Лабораторная работа № 2. Методы определения расчетной нагрузки. Порядок расчета электрических нагрузок на разных ступенях системы электрообеспечения**

*Цель работы:* определение расчетных нагрузок потребителей.

### *Теоретические сведения*

Определение расчетной нагрузки является одной из основных задач электроснабжения. При этом различают две величины расчетной нагрузки: определяющая максимальный нагрев проводника; вызывающая максимальный износ изоляции. Расчетной нагрузкой по пику нагрева проводника называется такая неизменная во времени нагрузка, которая обуславливает максимальный перегрев проводника над температурой окружающей среды. Расчетной нагрузкой по пику теплового износа изоляции называется такая неизменная во времени нагрузка, которая вызывает такой же максимальный тепловой износ изоляции, как и реальная, изменяющаяся во времени нагрузка.

Формализация расчета электрических нагрузок развивалась в нескольких направлениях. В настоящее время используют следующие из них: эмпирические методы (коэффициента спроса, двухчленных эмпирических выражений, удельного расхода электроэнергии и удельных плотностей нагрузки, технологического графика); метод упорядоченных диаграмм (расчет по коэффициенту расчетной активной мощности); собственно статистические методы; метод вероятностного моделирования графиков нагрузки.

Порядок расчета электрических нагрузок следующий.

1 Составляется перечень (число) силовых электроприемников с указанием их номинальной  $P_{ном}(i)$  (установленной) мощности.

2 Определяется рабочая смена с наибольшим потреблением электроэнергии и выделяются характерные сутки.

3 Описываются особенности технологического процесса, влияющие на электропотребление, выделяются электроприемники с высокой неравномерностью нагрузки (которые рассчитывают по максимуму эффективной нагрузки).

4 Исключаются из расчета (перечня): электроприемники малой мощности; резервные по условиям расчета электрических нагрузок; включаемые эпизодически.

5 Определяются группы электроприемников, имеющих одинаковый тип (режим) работы.

6 Выделяются электроприемники одинакового режима работы и определяется их средняя мощность.

7 Вычисляется средняя реактивная нагрузка.

8 Находится групповой коэффициент использования активной мощности.

- 9 Рассчитывается эффективное число электроприемников в группе из  $n$  электроприемников.
- 10 Определяется расчетный максимум нагрузки.

### ***Выполнение лабораторной работы***

- 1 Изучить основные методы определения расчетных электрических нагрузок.
- 2 Определить коэффициенты заполнения и формы графиков нагрузки.
- 3 Определить время использования максимума годового графика нагрузки.
- 4 Определить средние нагрузки.
- 5 Определить расход электроэнергии.

### ***Содержание отчета***

- 1 Цель работы.
- 2 Краткий обзор изученных вопросов.
- 3 Выводы.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Для чего делается расчет электрических нагрузок?
- 2 Определение электрических нагрузок.
- 3 Определение коэффициентов заполнения и форм графиков нагрузки.
- 4 Определение максимального расчетного тока нагрузки элементов сети.

### **3 Лабораторная работа № 3. Требования промышленных потребителей к качеству электроэнергии и источникам питания. Колебание напряжения в системах электроснабжения**

*Цель работы:* изучение пропускной способности линий электропередач, запаса мощности центров питания электрических сетей, возможности передачи дополнительной мощности из других сетевых районов, источников питания.

#### ***Теоретические сведения***

Одной из наиболее сложных проблем, с которой приходится сталкиваться при проектировании систем электроснабжения различных электроустановок, является проблема качества электрической энергии. Внедрение электротехнологии вызывает широкое применение тиристорных преобразователей. Этот процесс при всей его технологической эффективности сопровождается ухудшением качества электроэнергии, что отрицательно сказывается на надежности электроснабжения: значительно повышаются активные потери в электрических машинах, трансформаторах, проводниках; происходит ускоренное старение изоляции кабелей и электрооборудования; снижается качество и надежность работы систем автоматики, телемеханики и связи; увеличиваются погрешности счетчиков; снижается эффективность устройств компенсации емкостных токов однофазного замыкания на землю в сетях 6...10 кВ, т. к. большие остаточные токи высших гармоник создают повышенную опасность перехода однофазного в двухфазное повреждение кабеля; ухудшается работа источников света.

Электрическая энергия как товар обладает целым рядом специфических свойств. Она непосредственно используется при создании других видов продукции и оказывает существенное влияние на экономические показатели производства и качество выпускаемых изделий. Понятие качества электрической энергии (КЭ) отличается от качества других товаров. Качество электроэнергии проявляется через качество работы электроприемников (ЭП). Поэтому если ЭП работает неудовлетворительно и в каждом конкретном случае качество электроэнергии соответствует установленным требованиям, то причину следует искать в качестве изготовления ЭП. Если параметры КЭ не соответствуют требованиям, то предъявляются претензии поставщику – электроснабжающей организации.

Системы электроснабжения общего назначения должны обеспечивать следующие критерии:

- экономичность;
- надежность электроснабжения;
- безопасность и удобство эксплуатации;
- качество электрической энергии;
- гибкость системы (возможность дальнейшего развития);

– максимальное приближение источников питания (центров питания) к электроустановкам потребителей.

Обеспечение перечисленных критериев является основной задачей сетевого предприятия. Технологический процесс передачи электрической энергии устроен так, что данные критерии взаимосвязаны. При этом каждый из перечисленных критериев влияет на значение технических потерь электроэнергии и, как следствие, на экономичность системы электроснабжения общего назначения.

### ***Выполнение лабораторной работы***

- 1 Изучить основные показатели качества электроэнергии: отклонения и колебания напряжения, несинусоидальность и несимметрия.
- 2 Изучить методы повышения качества электроэнергии.
- 3 Изучить основные методы повышения качества электроэнергии.

### ***Содержание отчета***

- 1 Цель работы.
- 2 Краткий обзор изученных вопросов.
- 3 Выводы.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Что влияет на качество электроснабжения?
- 2 Методы повышения качества электроэнергии.
- 3 Как уменьшить несинусоидальность напряжения?
- 4 Как снизить потери напряжения в питающих линиях и кабелях?

#### **4 Лабораторная работа № 4. Местные источники активной электроэнергии (заводские ТЭЦ, аварийные и пиковые агрегаты электростанций, установка обеспечения бесперебойного электроснабжения). Выбор типов мощности и мест присоединений источников реактивной энергии в сетях низкого и высокого напряжения**

**Цель работы:** изучение местных источников активной электроэнергии. Методика определения мощности и выбора места размещения источника питания.

##### ***Теоретические сведения***

Электростанция представляет собой промышленное предприятие, на котором вырабатывается электрическая, а в некоторых случаях и тепловая энергия.

Основная задача электростанций – это обеспечение электроэнергией промышленных предприятий и коммунально-бытовых нужд населения. По особенностям технологического процесса преобразования энергии и видам природных источников энергии (твердое, жидкое, газообразное, ядерное топливо, водная и другие виды энергии) электростанции подразделяются на следующие типы:

1) тепловые электростанции (ТЭС), которые в свою очередь подразделяются на конденсационные (КЭС), теплофикационные (теплоэлектроцентрали – ТЭЦ) и газотурбинные (ГТУЭС);

2) атомные электростанции (АЭС), которые могут быть как конденсационными, так и теплофикационными (АТЭЦ), а также атомными станциями теплоснабжения (АСТ) и атомными станциями промышленного теплоснабжения (АСПТ);

3) гидроэлектростанции (ГЭС) и гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС);

4) солнечные или так называемые гелиоэлектростанции (СЭС);

5) геотермальные электростанции (ГТЭС); дизельные электростанции (ДЭС); приливные электростанции (ПЭС); ветроэлектростанции (ВЭС).

Теория определения местоположения источника питания основана на законах классической механики (определения центра тяжести).

Имеется ряд математических методов, позволяющих аналитически определить условный центр электрических нагрузок промышленного предприятия или отдельных его цехов. При отыскании центра электрических нагрузок предприятия средней мощности (для крупного поиск центра не имеет смысла) используется его генеральный план, а в качестве отдельных потребителей рассматриваются цехи предприятия.

### ***Выполнение лабораторной работы***

1 Изучить основные источники электроэнергии (электростанции – тепловые, гидроэлектростанции и электростанции атомные).

2 Изучить основные вопросы выбора напряжения, на котором выдается мощность, количество отходящих высоковольтных линий на каждом из напряжений, характер и объем потоков обменной мощности.

3 Изучить основные требования к главным схемам электрических соединений электростанций (АЭС, ГЭС, ТЭС).

### ***Содержание отчета***

1. Цель работы.
2. Краткий обзор изученных вопросов.
3. Выводы.

### ***Контрольные вопросы***

1 Основные источники электроэнергии в мире.

2 Из каких составляющих состоит полная мощность, определяющая расчетные токи и напряжения сети?

3 Какие факторы являются определяющими при выборе места расположения источника питания?

4 Сравните схемы распределительных устройств 6...10 кВ.

5 Как выбирают мощность трансформаторов ГПП?

6 Проанализируйте варианты исполнения распределительных устройств высшего напряжения.

7 В каких случаях необходима установка реакторов?

8 Какие схемные решения используют при наличии нелинейных и резкопеременных нагрузок?

## **5 Лабораторная работа № 5. Автоматическое регулирование мощности конденсаторных установок. Факторы, определяющие конструкции линий в сетях НН и ВН промышленных предприятий**

**Цель работы:** изучение способов компенсаций реактивной мощности.

### ***Теоретические сведения***

Экономичный режим работы системы электроснабжения может быть осуществлен регулированием мощности конденсаторных установок.

Регулирование мощности конденсаторных установок по напряжению на шинах подстанции осуществляется, когда для потребителей предприятия важно обеспечить минимальное отклонение напряжения от номинального значения. Поскольку регулирование мощности конденсаторных установок выполняется ступенями, регулирование напряжения также происходит ступенями.

Автоматическое регулирование мощности конденсаторной установки по току нагрузки целесообразно осуществлять на подстанциях, график нагрузки которых отличается высокой неравномерностью в течение суток. Число и мощность ступеней регулирования, а также последовательность их включения определяются графиком нагрузки предприятия.

Электрические сети промышленных предприятий напряжением выше 1 кВ могут иметь следующие номинальные напряжения: 6, 10, 20, 35, 110 и 220 кВ. По назначению различают сети питающие, распределительные, местные и районные.

**Питающими** называют сети, передающие электроэнергию от энергосистемы предприятиям.

**Распределительными** называют сети, к которым непосредственно присоединяют электроприемники (6, 10, 20 и 35 кВ).

**Распределительными** также называют и сети более высокого напряжения (110, 220 кВ), если они питают подстанции глубокого ввода (ПГВ), расположенные на территории промышленного предприятия.

**Местные** электрические сети – это сети напряжением до 35 кВ, обслуживающие небольшие районы с относительно малой плотностью нагрузки.

**Районные** электрические сети – это сети напряжением 110 кВ и выше, охватывающие большие районы и связывающие электростанции системы между собой и с центрами нагрузок.

### ***Выполнение лабораторной работы***

1 Изучить автоматическое регулирование мощности конденсаторных установок промышленных предприятий в зависимости от характера нагрузок и требований к качеству напряжения в электросетях.

2 Изучить особенности конструкций линий в сетях НН и ВН промышленных предприятий.

### ***Содержание отчета***

- 1 Цель работы.
- 2 Краткий обзор изученных вопросов.
- 3 Выводы.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Способы компенсаций реактивной мощности.
- 2 Выбор мощности и размещение конденсаторных установок.
- 3 Нарисуйте схему присоединения конденсаторных установок к сборным шинам 6...10 кВ.
- 4 Отличие местных электрических сетей от районных сетей.
- 5 Требования к качеству напряжения в электросетях.

## **6 Лабораторная работа № 6. Классификация применяемых проводников. Токи короткого замыкания от бесконечно мощных источников и источников конечной мощности. Применение расчетных кривых**

**Цель работы:** изучение классификации проводников, токов короткого замыкания, понятия ударного тока, видов коротких замыканий, применения расчетных кривых.

### ***Теоретические сведения***

На современном этапе нет общепринятой классификации проводниковых материалов. Существует деление проводников по механизму прохождения тока. Если ток обусловлен дрейфом свободных электронов под воздействием электрического поля, то такие проводники называются проводниками с электронной электропроводностью или проводниками первого рода. Проводниками второго рода являются электролиты, прохождение тока через которые обусловлено ионной электропроводностью, а она, как известно, связана с переносом вещества в соответствии с законами Фарадея. Поэтому состав электролита постепенно меняется, а на электродах выделяются продукты электролиза.

Проводники с электронной электропроводностью – это металлы и сплавы металлов. Металлические проводники в физике, химии, технике классифицируют по разным признакам:

- 1) по составу (чистые металлы и сплавы);
- 2) по значению проводимости (проводники высокой проводимости, имеющие удельное сопротивление при 20 ос не более 0,05 мкОм·м, и проводники высокого сопротивления, у которых значение удельного сопротивления при 20 ос не менее 0,3 мкОм·м);
- 3) по положению в периодической системе элементов Д. И. Менделеева (щелочные металлы, благородные, щелочноземельные, многовалентные простые, актиниды, переходные и редкоземельные);
- 4) по особенностям строения электронных оболочек: нормальные и переходные металлы. К первой группе относятся металлы, используемые для проводов, токопроводящих жил кабелей, обмоток электрических машин и трансформаторов.

Метод типовых кривых является развитием метода расчетных кривых. Типовые кривые используются для расчета периодической составляющей тока КЗ в произвольный момент времени. Кривые применимы для генераторов и крупных синхронных компенсаторов. Кривые дают зависимость изменения во времени отношения действующего значения периодической составляющей тока КЗ от генератора в произвольный момент времени к его значению в начальный момент короткого замыкания при разных удаленностях точки КЗ.

### ***Выполнение лабораторной работы***

1 Изучить проводники с электронной электропроводностью и электролиты, электропроводность металлов, материалы высокой проводимости, криопроводники и сверхпроводники, неметаллические проводники, материалы высокого сопротивления.

2 Изучить причины возникновения короткого замыкания, виды коротких замыканий.

3 Изучить понятия ударного тока короткого замыкания, мощности короткого замыкания, метода расчета тока короткого замыкания.

### ***Содержание отчета***

1 Цель работы.

2 Краткий обзор изученных вопросов.

3 Выводы.

### ***Контрольные вопросы***

1 Какие вещества не являются проводниками?

2 Какие металлы являются металлами высокой проводимости?

3 Как определить сопротивление проводника произвольных размеров с постоянным поперечным сечением?

4 Виды коротких замыканий.

5 Целесообразность использования метода типовых кривых при расчете токов КЗ.

## **7 Лабораторная работа № 7. Классификация подстанций и сетевых узлов промышленных предприятий и транспортных установок. Классификация способов защиты подстанций. Основные параметры защиты сетей**

**Цель работы:** изучение типов подстанций, видов защит подстанций, параметров защиты.

### ***Теоретические сведения***

Функционально подстанции делятся на:

- трансформаторные – подстанции, предназначенные для преобразования электрической энергии одного напряжения в энергию другого напряжения при помощи трансформаторов;

- преобразовательные – подстанции, предназначенные для преобразования рода тока или его частоты.

Электрическое распределительное устройство, не входящее в состав подстанции, называется распределительным пунктом. Преобразовательная подстанция, предназначенная для преобразования переменного тока в постоянный и последующего преобразования постоянного тока в переменный исходной или иной частоты, называется вставкой постоянного тока.

По значению в системе электроснабжения:

- главные понизительные подстанции (ГПП);

- подстанции глубокого ввода (ПГВ);

- тяговые подстанции для нужд электрического транспорта. Часто такие подстанции бывают трансформаторно-преобразовательными для питания тяговой сети постоянным током;

- комплектные трансформаторные подстанции 10 (6)/0,4 кВ (КТП). Их ещё называют цеховыми подстанциями в промышленных сетях, городскими – в городских сетях.

В зависимости от места и способа присоединения подстанции к электрической сети нормативные документы не устанавливают классификации подстанций по месту и способу присоединения к электрической сети. Однако ряд источников даёт классификацию исходя из применяющихся типов конфигурации сети и возможных схем присоединения подстанций:

- тупиковые – питаемые по одной или двум радиальным линиям;

- ответвительные – присоединяемые к одной или двум проходящим линиям на ответвлениях;

- проходные – присоединяемые к сети путем захода одной линии с двухсторонним питанием;

- узловые – присоединяемые к сети не менее чем тремя питающими линиями.

Электроэнергия в энергетике производится на генераторных станциях, передается на большие расстояния по линиям электропередач. Воздушные и

кабельные ЛЭП расположены между трансформаторными подстанциями и потребителями, подводят электричество к последним.

На всех технологических этапах производства, передачи и распределения электрических мощностей возможно возникновение аварийных ситуаций, которые способны разрушить техническое оборудование или привести к гибели обслуживающего персонала за очень короткое время, исчисляемое долями секунды.

Человеческий организм просто не способен реагировать на такие кратковременные события. Поэтому контролировать отклонения номинальных параметров электроустановок, выявлять начальный этап создания аварии и принимать действенные меры к ее ликвидации могут только специальные технические устройства, работающие в автоматическом режиме по заранее подготовленным алгоритмам. Исторически сложилась традиция называть их защитами.

Согласно определению ПУЭ – «на каждом из элементов электроустановки должна быть предусмотрена основная защита, предназначенная для ее действия при повреждениях в пределах всего защищаемого элемента с временем, меньшим, чем у других установленных на этом элементе защит.»

Таким образом, на любом присоединении всегда есть основная защита. Это любая защита, которая защищает весь участок и действует быстрее, чем другие защиты.

Согласно определению ПУЭ – «для действия при отказах защит или выключателей смежных элементов следует предусматривать резервную защиту, предназначенную для обеспечения дальнего резервного действия. Если основная защита элемента обладает абсолютной селективностью (например, высокочастотная защита, продольная и поперечная дифференциальные защиты), то на данном элементе должна быть установлена резервная защита, выполняющая функции не только дальнего, но и ближнего резервирования, т. е. действующая при отказе основной защиты данного элемента или выведении ее из работы...».

Таким образом, резервная защита присутствует также всегда и для любого присоединения. На любом участке энергосистемы, на любом классе напряжения, есть как минимум две защиты – основная и резервная.

### ***Выполнение лабораторной работы***

- 1 Изучить классификацию подстанций.
- 2 Изучить классификацию подстанций по месту размещения подстанции.
- 3 Изучить основные и резервные защиты, параметры защиты.

### ***Содержание отчета***

- 1 Цель работы.
- 2 Краткий обзор изученных вопросов.
- 3 Выводы.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Виды трансформаторных подстанций.
- 2 Классификации подстанций по месту размещения.
- 3 Что такое основная и резервная защита присоединения?
- 4 Понятие релейной защиты.
- 5 Основные параметры защиты сетей.

## **8 Лабораторная работа № 8. Молниезащита сооружений. Дифференциальная токовая защита. Направленная защита. Дистанционная защита**

**Цель работы:** изучение комплекса защитных мероприятий от молнии, видов защит.

### ***Теоретические сведения***

Молниезащита – комплекс мер, направленных на обеспечение безопасной эксплуатации зданий, сооружений и инженерных коммуникаций при воздействии на них грозовых проявлений, вызванных прямым ударом молнии и ее вторичными проявлениями.

Молниезащита обеспечивается путем создания низкоомной электрической цепи между верхней точкой объекта защиты и землей путем применения специальных токопроводящих инженерных и вспомогательных крепежных элементов, что в совокупности позволяет принять удар молнии и отвести без последствий ток молнии в землю.

К мерам молниезащиты относятся:

- защита от контактного и шагового перенапряжений – присоединение оборудования к главной заземляющей шине;
- защита от прямого удара молнии – молниеотвод;
- защита от заноса высокого потенциала – применение УЗИП;
- защита от электромагнитных наводок – экранирование.

В целях обеспечения безопасности электроустановок и оборудования выполняются различные действия, одним из которых является дифференциальная защита. Ее отличает быстрота действия и абсолютная селективность, т. е. способность точно выявлять неисправные сети или установки и быстро отключать их от нормально функционирующих участков. Данные устройства защищают трансформаторы и генераторы, электродвигатели, сборные шины, линии электропередач.

Направленной называют защиту, действующую при КЗ только при определенном направлении тока КЗ или, соответственно, мощности КЗ, т. е. при определенном знаке тока или мощности КЗ. Эту защиту применяют в сетях с двухсторонним питанием, где направление тока КЗ и мощности КЗ может иметь два противоположных направления. Направление тока КЗ и мощности КЗ зависит от места КЗ.

Дистанционная защита – это сложная защита, состоящая из ряда элементов (органов), каждый из которых выполняет свою определенную функцию, в том числе пусковой и дистанционный органы, органы направления и выдержки времени, а также блокировка для вывода защиты из действия при повреждениях цепей напряжения, питающих защиты.

Дистанционные защиты получили свое название за способность определять расстояние (дистанцию) от места установки защит до места повреждения и в зависимости от расстояния отключать поврежденный участок с заданной выдержкой времени.

### ***Выполнение лабораторной работы***

- 1 Изучить комплекс мер, направленных на обеспечение безопасной эксплуатации зданий, сооружений и инженерных коммуникаций.
- 2 Изучить виды защит для обеспечения безопасной эксплуатации электроустановок и оборудования.
- 3 Изучить принцип действия дифференциальной защиты.

### ***Содержание отчета***

- 1 Цель работы.
- 2 Краткий обзор изученных вопросов.
- 3 Выводы.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Какие воздействия оказывает молния на незащищенные объекты?
- 2 В чем отличие дифференциальной защиты от других видов защит?
- 3 Меры, направленные на обеспечение безопасной эксплуатации зданий, сооружений и инженерных коммуникаций.
- 4 Из каких элементов состоят системы защиты от молний?

## **9 Лабораторная работа № 9. Автоматическое повторное включение (АПВ) в электрических сетях. Регулирование процессов самозапуска. Автоматическое регулирование частоты сети (АЧР)**

**Цель работы:** изучение назначения автоматического повторного включения (АПВ) в электрических сетях, процесса самозапуска асинхронного электродвигателя.

### ***Теоретические сведения***

Ввиду большой протяженности электрических сетей их обслуживание и ремонт, в случае повреждения, усложняются необходимостью доставления бригады к месту выполнения работ. Из-за этого большинство внештатных ситуаций, которые приводят к отсутствию напряжения, решает автоматическое повторное включение (АПВ) без необходимости вмешательства работников.

Автоматическое повторное включение предназначено для включения выключателей после того, как аварийное отключение обесточило линию. При этом АПВ позволяет уменьшить перерывы в электроснабжении на количество кратковременных аварий.

Ввиду данного факта все аварийные ситуации по их продолжительности можно условно поделить на:

- кратковременные – те, которые обуславливаются относительно непродолжительным фактором (перемещением животных, падением веток и прочих элементов), которые создали протекание токов короткого замыкания на доли или несколько секунд, после чего и причина, и замыкание самоустранились;

- устоявшиеся – обусловленные постоянным фактором, который не может самоустраниться без вмешательства персонала (обрыв провода, разрушение изоляции и пр.). В таких ситуациях возникают устойчивые КЗ, которые устраняются только отключением выключателей и последующим ремонтом.

На практике автоматическое повторное включение срабатывает во всех ситуациях, но успешное включение происходит только в случае, когда причина устранилась, т. е. при кратковременных повреждениях. Если же после первой повторной подачи автоматическое восстановление не произошло, в зависимости от типа могут применяться следующие ступени повторного включения. В соответствии с местными условиями системы АПВ могут иметь различные особенности работы.

Так как 50 % всех отключений удастся повторно запитать от однократного АПВ, то первая ступень считается наиболее эффективной. Вторая отстраивается с временным промежутком в несколько секунд или десятков секунд и, как показывает статистика, позволяет запитать потребителя еще в 15 % случаев.

Рассмотрим процесс самозапуска электродвигателей собственных нужд электростанций и котельных. Начнем с определения.

Самозапуск – процесс частичного или полного останова электродвигателей (снижения частоты вращения) в результате кратковременного перерыва питания с последующим восстановлением частоты вращения.

Электроснабжение потребителей предусматривает четкое соблюдение основных параметров сети, т. к. их отклонение от нормативного значения вызывает сбои в работе высокоточных устройств, снижает срок эксплуатации оборудования или может привести к возникновению аварийного режима. Наиболее ощутимые нарушения и последствия возникают при снижении частоты, для борьбы с которой используется автоматическая частотная разгрузка (АЧР).

Автоматическая частотная разгрузка представляет собой систему автоматического регулирования нагрузки, подключенной к энергосистеме, в случае резкого снижения частоты. Регулирование осуществляется посредством отключения потребителей в зависимости от категории их значимости. То есть сначала прекращается питание наименее значимой части потребителей.

В зависимости от количества фаз, задействованных для повторного включения, все АПВ подразделяют на:

- однофазные – предназначены для автоматического ввода только одной фазы, на которой произошло замыкание, как правило, применяются для линий 500 кВ и выше;

- трехфазные – характеризуются воздействием на привод выключателя, который сразу повторно включает все три фазы;

- комбинированные — осуществляют автоматическое включение электрических аппаратов посредством логического выбора одной или всех трех в зависимости от типа замыкания.

### ***Выполнение лабораторной работы***

1 Изучить требования, предъявляемые к устройствам АПВ, классификацию АПВ, ускорение действия защиты при АПВ.

2 Изучить причины самозапуска асинхронного электродвигателя в процессе эксплуатации.

3 Изучить назначение и принцип действия АЧР.

### ***Содержание отчета***

1 Цель работы.

2 Краткий обзор изученных вопросов.

3 Выводы.

### ***Контрольные вопросы***

1 Классификация АВП.

2 Назначение АЧР.

3 Причины самозапуска асинхронного электродвигателя.

## Список литературы

- 1 **Кудрин, Б. И.** Электроснабжение промышленных предприятий: учебник для вузов / Б. И. Кудрин. – Москва: Интермет Инжиниринг, 2007. – 672 с.
- 2 **Шеховцов, В. П.** Аппараты защиты в электрических сетях низкого напряжения. Выключатели нового поколения Российских компаний «Интерэлектрокомплект» (ИЭК) и «Щит»: учебное пособие для вузов / В. П. Шеховцов. – Москва: Форум, 2010. – 160 с.
- 3 **Шеховцов, В. П.** Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования: учебное пособие для вузов / В. П. Шеховцов. – 2-е изд., испр. – Москва: Инфра-М; Форум, 2012. – 214 с.
- 4 **Москаленко, А. В.** Электрические сети и системы: учебник для вузов / А. В. Москаленко. – Москва: Маршрут, 2007. – 252 с.
- 5 О развитии малой и нетрадиционной энергетики: постановление Совета Министров Республики Беларусь от 24 апр. 1997 г. № 400: с изм. 28.02.2002.
- 6 **Олешкевич, М. М.** Нетрадиционные источники энергии: учебное пособие для вузов / М. М. Олешкевич. – Минск: БНТУ, 2016. – 206 с.
- 7 **Радкевич, В. Н.** Электроснабжение промышленных предприятий: учебное пособие для вузов / В. Н. Радкевич, В. Б. Козловская, И. В. Колосова. – 2-е изд., испр. – Минск: Минфин, 2017. – 588 с.
- 8 **Шнеерсон, Э. М.** Цифровая релейная защита / Э. М. Шнеерсон. – Москва: Энергоатомиздат, 2007. – 277 с.
- 9 **Федин, В. Т.** Инновационные технические решения в системах передачи электроэнергии / В. Т. Федин. – Минск: БНТУ, 2012. – 221 с.