

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Электроснабжение»

ПОТРЕБИТЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Пособие

для студентов специальностей

1-43 01 01 «Электрические станции»,

1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети»

и 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
по образованию в области энергетики и энергетического оборудования*

Минск
БНТУ
2021

УДК 621.311:658.26(076.5)(075.8)

ББК 31.19я7

П64

А в т о р ы:

И. В. Колосова, Т. М. Ярошевич,

М. Н. Джугля, В. Д. Тихно

Р е ц е н з е н т ы:

кафедра «Электроснабжение» УО «Белорусский
государственный аграрный технический университет»,

канд. техн. наук, доцент *В. М. Збродыга*;

заместитель директора ГП «Институт энергетики НАН Беларуси»,

канд. техн. наук, доцент *Н. Е. Шевчик*

П64

Потребители электрической энергии : пособие для студентов специальностей 1-43 01 01 «Электрические станции», 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети» и 1-43 01 03 «Электро-снабжение (по отраслям)» / И. В. Колосова [и др.]. – Минск : БНТУ, 2021. – 112 с.

ISBN 978-985-583-681-1.

Пособие предназначено для студентов дневной и заочной форм обучения и соответствует учебным программам курса «Потребители электрической энергии». Пособие необходимо для выполнения лабораторных работ, оно позволяет студентам лучше усвоить основные разделы курса и приобрести определенные практические навыки в работе с электроустановками.

УДК 621.311:658.26(076.5)(075.8)

ББК 31.19я7

ISBN 978-985-583-681-1

© Белорусский национальный
технический университет, 2021

ВВЕДЕНИЕ

В пособии содержится семь лабораторных работ. Своим содержанием они охватывают значительную часть вопросов, изучаемых студентами в основных разделах теоретического курса для указанных специальностей.

В лабораторных работах обозначена цель работы, т. е. вопросы, которые необходимо изучить; сведения теоретического и практического характера; порядок выполнения работы – показывает, в какой последовательности необходимо выполнять данную работу; содержание отчета – включает вопросы, которые должны быть отражены в отчете; контрольные вопросы ориентируют студентов в нужном направлении и помогают в проработке теоретического материала.

В конце пособия приведена основная литература, необходимая при подготовке к выполнению лабораторных работ.

ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА РАБОТЫ В ЛАБОРАТОРИИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

1. К работе в лаборатории студенты допускаются только после инструктажа по технике безопасности.

2. Каждый студент должен подготовиться к занятию по данному учебному пособию и рекомендуемой литературе: выполнить предварительный расчет к эксперименту, начертить необходимые схемы, графики и таблицы. Не подготовившиеся студенты к занятию не допускаются.

3. Перед сборкой электрической цепи необходимо убедиться в отсутствии напряжения на элементах цепи.

4. Сборку цепи следует начинать от зажимов источника, прежде всего собрать цепи тока, а затем цепи напряжения.

5. Перед включением источника питания на регулируемых элементах необходимо установить заданные параметры, а регулятор ЛАТРа должен находиться в нулевом положении.

6. Включение цепи под напряжением производится только после проверки ее преподавателем или лаборантом.

7. Изменения в структуре цепи производятся при отключенном источнике питания.

8. Согласно программе работы сделать необходимые измерения и заполнить соответствующие таблицы.

9. Отключить источник питания. Показать результаты преподавателю и получить разрешение на разборку цепи.

10. Привести в порядок рабочее место: разобрать цепи, аккуратно сложить провода.

11. Оформить отчет о выполненной работе согласно требованиям к содержанию отчета в конкретной работе.

12. Представить отчет о работе преподавателю, ответить на контрольные вопросы, получить зачет по выполненной работе и задание к следующему занятию.

Лабораторная работа № 1

НАЗНАЧЕНИЕ НЕАВТОМАТИЧЕСКИХ КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 кВ

Цель работы: изучить назначение и конструкцию электрических аппаратов, применяемых в электроустановках напряжением до 1кВ.

1.1. Краткие теоретические сведения

Контактными коммутационными электрическими аппаратами являются рубильники, разъединители, пакетные выключатели, выключатели-разъединители, кулачковые и универсальные переключатели, кнопки управления, контроллеры и командоконтроллеры.

Кнопки управления предназначены для подачи оператором управляющего воздействия при управлении различными электромагнитными аппаратами (реле, пускателями, контакторами), а также для коммутирования цепей управления сигнализацией, электрической блокировки и других цепей постоянного и переменного тока при напряжении соответственно 440 и 690 В.

Кнопки управления различаются по величине (нормальные и малогабаритные), количеству замыкающих и размыкающих контактов, номинальному току и напряжению, форме и цвету толкателя.

По конструктивному исполнению различают кнопки управления: с самовозвратом в исходное положение; с защелками, фиксирующими положение после нажатия; с включением специальным ключом.

Два, три и более кнопочных элемента, смонтированные в одном корпусе, образуют кнопочный пост. Выполняются для монтажа на пульте, стене (подвесные), полу (ножные).

Различают кнопки управления открытого исполнения (КЕ); переключатели открытого исполнения (ПЕ); кнопочные посты управления на 2, 3, 4 и более кнопочных элемента (ПКЕ).

Основной частью кнопок управления является кнопочный элемент (рис. 1.1), в пластмассовом корпусе 3 которого установлены неподвижные контакты 5. На стержне 8 закреплен контактный мостик 6, который поджат пружинами 7, обеспечивающими нажатие контактов. При свободном толкателе 1 (кнопка не нажата) нижняя

пружина прижимает контактный мостик к верхним неподвижным контактам, а если толкатель утоплен, то к нижним контактам. В исходное положение толкатель возвращает пружина 2, которая установлена между диском 4 и выточкой толкателя. Кнопка крепится к панели гайкой 9. Контакты кнопочных элементов посеребрены. Они рассчитаны на 40 000 циклов включений–отключений под нагрузкой.

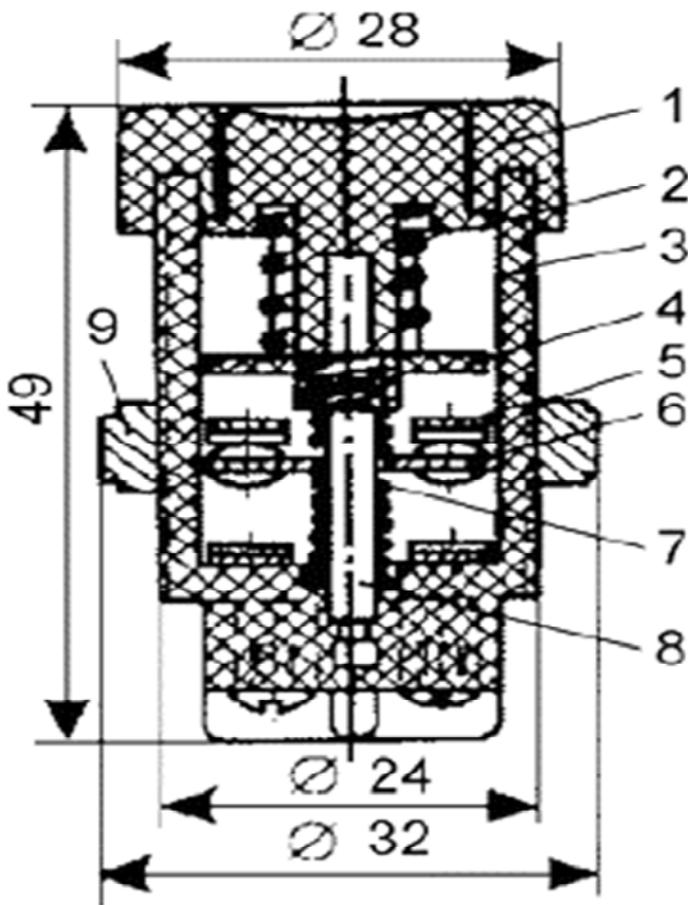


Рис. 1.1. Конструкция кнопки управления:
 1 – толкатель; 2 – пружина; 3 – корпус; 4 – диск;
 5 – неподвижные контакты; 6 – контактный мостик;
 7 – пружина; 8 – стержень; 9 – гайка

Пакетные выключатели и переключатели применяются для коммутации в цепях управления и сигнализации, в схемах пуска и реверса электродвигателя (ЭД) небольшой мощности под нагрузкой, в цепях постоянного тока напряжением до 230 В и переменного тока напряжением 400 В. Представляют собой малогабаритные многоцепные аппараты поворотного типа, состоят из двух основных узлов: контактной системы и переключающего элемента. Выпускаются пакетные выключатели, рассчитанные на ток 4–400 А и нечастые коммутации токов, не превышающих номинального значения выключателя, 15–20 включений и имеющие одно-, двух и трехполюсную конструкцию в открытом, защищенном и герметичном исполнении. **Переключатель** – это разновидность рубильника на два рабочих и одно нейтральное положения для поочередного подключения к двум различным электрическим цепям.

Типы пакетных выключателей и переключателей имеют следующие буквенные обозначения: ПВ – пакетный выключатель; ПВМ – пакетный выключатель малогабаритный; ГПВМ – герметичный малогабаритный и переключатели серии ПП. Следующие за буквами цифры обозначают количество полюсов и номинальный ток аппарата.

В пакетном выключателе каждый коммутируемый полюс выполнен в виде отдельного элемента – пакета. Пакеты разных полюсов (рис. 1.2) набираются на скобе 4 со стяжными шпильками 3. На валике с рукояткой 1 зафиксированы подвижные контакты 7, имеющие профильное отверстие 5. Неподвижные контакты 8 находятся между изоляционными дисками 6. Контактные нажатия происходят под действием пружинящих подвижных контактов. Дуга, возникающая при замыкании и размыкании контактов, гасится в закрытой крышкой 2 камере, которая находится между пакетами, при наличии искрогасительных шайб.

Выключатель снабжен механизмом мгновенного переключения. Он представляет собой заводную пружину, которая обеспечивает высокую скорость размыкания контактов.

Согласно ГОСТ, **кулачковый переключатель** – это аппарат для цепей управления, снабженный органом управления (рукояткой или ключом), приводимым в действие вращением. Кулачковые переключатели являются электрическими аппаратами, которые нужны для коммутации в электрических цепях напряжением до 500 В переменного тока частотой 50–60 Гц и до 220 В постоянного тока.

Кулачковые переключатели, как правило, имеют малый размер, они устойчивы к кратковременной перегрузке в цепи, а также обладают хорошими коммутационными способностями. Чтобы защитить их от тока коротких замыканий в электрической схеме нужны предохранители с плавкими вставками.

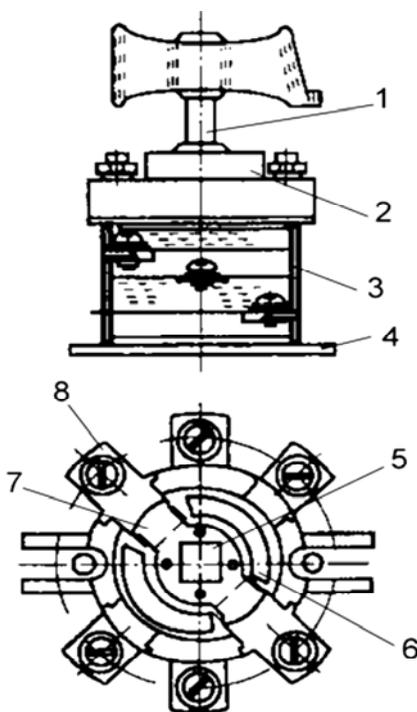


Рис. 1.2. Конструкция пакетного выключателя:
 1 – рукоятка; 2 – крышка; 3 – стяжная шпилька; 4 – скоба;
 5 – профильное отверстие; 6 – изоляционный диск;
 7 – подвижный контакт; 8 – неподвижный контакт

Из самого названия этого устройства следует, что конструкция обусловлена применением «кулачков», которые приводит в действие «толкатель». Кулачковые переключатели предназначены для переключения схем обмоток ЭД «звезда-треугольник», управления приводами секционных разъединителей и выключателей на трансформаторной подстанции, во вторичных цепях измерения, сигнализации и т. д.

Универсальные переключатели имеют два и более положений рукоятки, от 2 до 16 секций (8 исполнений), устанавливаются на щитах и пультах управления и служат для ручного переключения цепей управления напряжением до 440 В постоянного и до 500 В переменного тока.

Общий вид переключателя изображен на рис. 1.3. Через секции проходит валик, на одном конце которого находится пластмассовая рукоятка. Для закрепления переключателя на панели в его передней стенке сделаны три выступа с отверстиями под установочные винты. Коммутация электрических цепей осуществляется имеющимися контактами.



Рис. 1.3. Общий вид универсального переключателя

Конструкция рабочей секции универсального переключателя представлена на рис. 1.4.

Каждая секция состоит из пластмассовой перегородки 2, контактной скобы 1 с двумя приваренными серебряными контактами, двух скоб 5, взаимодействующих с пальцами 6, зажимов 4 для подключения проводов и кулачковых шайб 3, насаженных на центральный валик (рис. 1.4). В каждой секции находится по три кулачковые шайбы, одна из которых предназначена для перемещения левого пальца, другая – для перемещения правого пальца, средняя – для разведения обоих пальцев. Когда валик поворачивается в одну сторону, выступы рабочей поверхности крайней левой или правой шайбы нажимают на хвостовик скобы 5 и соответствующий палец

соприкасается с неподвижным контактом скобы 1. При этом шипы пальцев входят во впадины средней шайбы. Разведение пальцев происходит, когда выступ рабочей поверхности средней шайбы нажимает на шипы. Хвостовик скобы 5 в это время оказывается во впадине, соответствующей левой или правой крайней шайбе. Фиксация переключателя осуществляется специальным устройством, которое находится на его передней стенке.

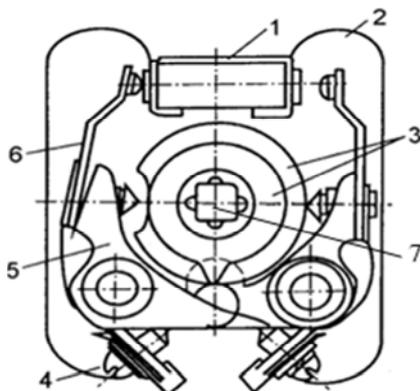


Рис. 1.4. Конструкция рабочей секции универсального переключателя:
 1 – контактная скоба; 2 – пластмассовая перегородка; 3 – кулачковые шайбы;
 4 – зажим; 5 – скоба; 6 – палец; 7 – центральный валик

Пакетные выключатели и переключатели в электроустановках напряжением до 1 кВ применяются в щитках электрического освещения, в шкафах и щитах управления и т. п.

Контроллер – это многоступенчатый коммутационный аппарат для непосредственных переключений в главных цепях и в цепях возбуждения ЭД напряжением до 500 В, а также для изменения сопротивлений резисторов, включенных в эти цепи. Кулачковые контроллеры получили широкое распространение в крановых электроприводах переменного тока мощностью до 30 кВт и постоянного тока мощностью до 20 кВт.

В контроллере переменного тока коммутация естественная, без дугогасительных устройств. Коммутационные элементы контроллера постоянного тока аналогичны по конструкции, но каждый из них имеет дугогасительное устройство с магнитным дутьем (рис. 1.5).

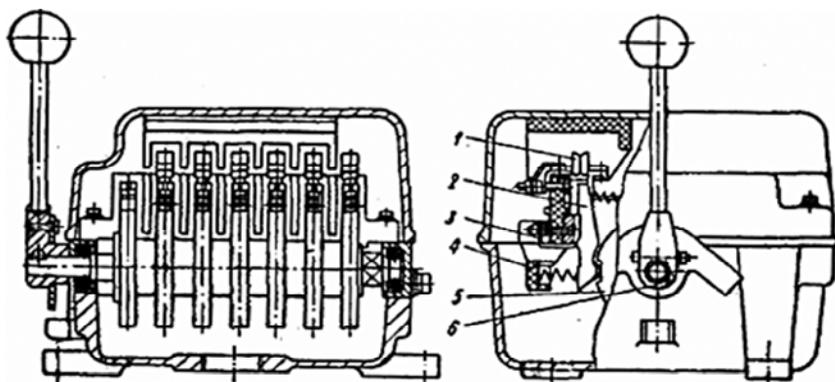


Рис. 1.5. Кулачковый контроллер ККТ60А:

1 – главные контакты; 2 – рычаг; 3 – пластмассовая рейка;
4 – гибкое соединение; 5 – кулачковые шайбы; 6 – рукоятка

Коммутационные элементы кулачкового контроллера размещены на двух пластмассовых рейках 3. Главные контакты 1 выполнены из меди. Неподвижные контакты укреплены непосредственно на пластмассовых рейках, а подвижные установлены на рычагах 2 с шарнирно-пружинной связью между рычагом и контактом. На валу контроллера, поворачиваемого рукояткой 6, смонтированы кулачковые шайбы 5, каждая из которых имеет определенный профиль для создания необходимой последовательности коммутации контактов. Электрическая связь с подвижными контактами осуществляется через гибкое соединение 4.

Выбор контроллера производится исходя из типа и мощности управляемого им двигателя. Основным параметром контроллера является номинальный ток главной цепи при ПВ = 40 % и общей продолжительности цикла не более 4 мин. Кулачковые контроллеры применяют вместе с контакторами, коммутационные свойства которых намного выше, чем контактов контроллера.

Командоконтроллеры – это аппараты, предназначенные для дистанционных переключений в нескольких цепях сравнительно малой мощности (максимальный коммутируемый переменный ток – 10 А, постоянный ток при напряжении 230 В и индуктивной нагрузке – 1,5 А).

Применяют два вида командоконтроллеров: контактные и бесконтактные. Контактный командоконтроллер представляет собой много-

позиционный аппарат с заданной программой замыкания и размыкания контактов при повороте приводного вала вручную или через механический привод. Существенными недостатками контактных механических выключателей являются возможность разрегулировки их при частых переключениях и недостаточная надежность, особенно при больших скоростях движения механизма. В связи с этим в настоящее время широко применяются аппараты с бесконтактными элементами, индуктивными и емкостными датчиками. Бесконтактный коммутационный аппарат осуществляет коммутационную операцию без перемещения и разрушения его деталей. Это является преимуществом, так как при включении–выключении их детали не соприкасаются, а значит, не изнашиваются, и служат дольше.

Разъединителем называют устройство, предназначенное для коммутации (разъединения) электрической цепи без тока или с малым током, который для обеспечения безопасности имеет в отключенном положении изоляционный промежуток, основной функцией разъединителя является создание видимого разрыва цепи. Должна быть визуальная видимость текущего положения разъединителя, а также невозможность самопроизвольного включения или отключения линии. Устройство не имеет элементов, предназначенных для искрогашения, поэтому, чтобы исключить возникновение дуги, указанные аппараты подключаются совместно с выключателями, которые обесточивают цепь. В электроустановках напряжением до 1 кВ разъединители устанавливаются в панелях распределительных пунктов и щитов ТП.

Рубильники – простейшие электрические коммутационные аппараты с ручным приводом и металлическими ножевыми контактами, входящими в неподвижные пружинящие контакты (гнезда), на которые обычно подается напряжение. Рубильники предназначены для нечастых (не более шести в час) включений–отключений нагрузки в электротехнических цепях, применяются в цепях переменного тока при напряжении до 690 В и постоянного тока при напряжении до 440 В.

По количеству полюсов они подразделяются на одно-, двух- и трехполюсные; по роду управления бывают с центральной или боковой рукояткой либо рычажным приводом; по способу присоединения – с передней или задней стороны аппарата. Рубильники выпускаются на величину номинального тока – 100; 200; 400; 600; 1000 А.

В трехфазных электроустановках напряжением до 1 кВ в основном применяются трехполюсные рубильники. Они устанавливаются в распределительных шкафах типа ШР на вводе, а также в силовых коммутационных ящиках. Переключатели перекидные имеют такое же конструктивное устройство, что и рубильники, и служат для коммутации электрических цепей.

Существует несколько типов рубильников и переключателей:

- Р (П) – рубильник (переключатель);
- РП (РБ) – рубильник (переключатель), рубильник с боковой рукояткой (рис. 1.6);
- РПБ (ППБ) – рубильник (переключатель) с боковым рычажным приводом;
- РПЦ (ППЦ) – рубильник (переключатель) с центральным рычажным приводом.

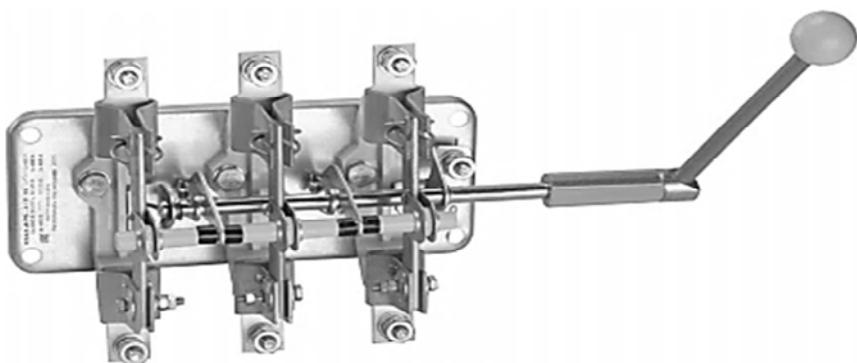


Рис. 1.6. Общий вид рубильника РБ с боковой рукояткой

В структуре обозначения за буквами следуют две цифры. Первая обозначает число полюсов, вторая – номинальный ток (1–100 А, 2–250 А, 4–400 А и 6–600 А).

Коммутирующим элементом рубильников является подвижный нож 2 (рис. 1.7), который входит в губки контактных стоек 3. Переключатель отличается наличием дополнительных контактных стоек 6 с выводами 5, что обеспечивает переключение с одной на другую подходящих к нему электрических цепей. Устройств гашения электрической дуги рубильники не имеют.

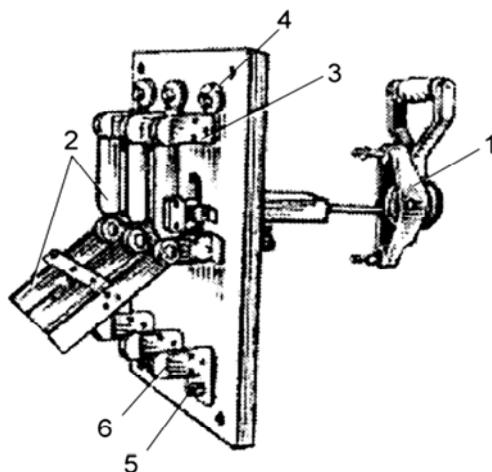


Рис. 1.7. Конструкция рубильника-переключателя РПЦ с центральным рычажным приводом:
 1 – рычаг; 2 – подвижный контактный нож;
 3, 6 – контактные стойки; 4, 5 – контактные выводы

Для надежного отключения и предохранения ножей от обгорания рубильники (на токи 100–400 А) выполняют с моментным отключением или с дугогасительными контактами. Моментное отключение достигается при помощи моментного (разрывного) ножа, связанного пружиной с параллельным главным ножом. При отключении сначала выходит главный нож и растягивает пружину. Скорость движения моментного ножа и раствор контактов определяются параметрами отключающей пружины. При использовании дугогасительных контактов (в рубильниках и переключателях на 600 А) моментные ножи обычно не применяют.

Дугогасительные контакты используют в рубильниках постоянного тока при токах более 100 А и во всех рубильниках переменного тока, где скорость расхождения контактов и их раствор практически не влияют на условия гашения дуги. Эти контакты отключаются последними и служат для защиты главных контактов от обгорания.

Гашение дуги постоянного тока (до 75 А) происходит вследствие ее механического растягивания. При больших токах гашение дуги осуществляется за счет ее перемещения электродинамическими силами взаимодействия. Чем короче нож, тем больше силы взаимо-

действия между дугой и деталями рубильника, что повышает отключающую способность рубильника.

Открытые рубильники, переключатели с центральной рукояткой применяют для замыкания и размыкания цепей без нагрузки, это относится и к рубильникам с боковой рукояткой при постоянном токе напряжением 440 В и 500 В при переменном. Аппараты с боковой рукояткой или рычажным приводом отключают токи до 0,3 номинального значения при напряжении 400 В. Допускается применять рубильники для непосредственного включения–отключения ЭД с короткозамкнутым ротором мощностью не более 10 кВт.

Выключатели-разъединители (рубильники) серии ВР предназначены для включения, пропуска и отключения переменного тока номинальным напряжением до 690 В номинальной частоты 50 и 60 Гц и постоянного тока номинальным напряжением до 440 В в устройствах распределения электрической энергии. Общий вид выключателя-разъединителя серии ВР представлен на рис. 1.8.

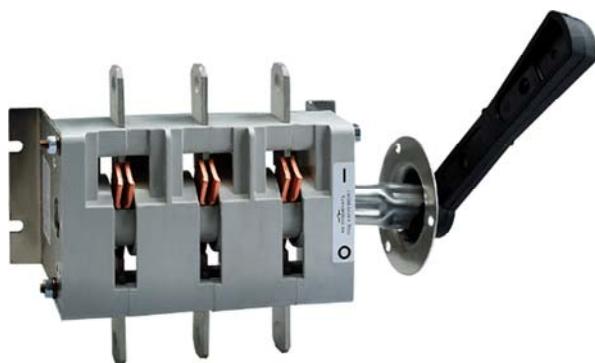


Рис. 1.8. Общий вид выключателя-разъединителя серии ВР

По виду рукоятки ручного привода ВР могут выполняться: без рукоятки; с боковой рукояткой; с передней смещенной рукояткой; с боковой смещенной рукояткой.

По числу полюсов и числу направлений они выпускаются однополюсные, двухполюсные, трехполюсные выключатели-разъединители на одно и на два направления.

Контакты – аппараты дистанционного действия, предназначенные для частых включений и отключений (от 30 до 3600 раз за

час) силовых электрических цепей при нормальных режимах работы (по сути, являются одним из типов электромагнитных реле). Для защиты от токов КЗ последовательно с контактором устанавливаются плавкие предохранители или автоматические выключатели без дистанционного управления. Электродинамическая и термическая стойкости контакторов не нормируется.

Электромагнитные контакторы нашли широкое применение в электроустановках, выпускаются контакторы постоянного и переменного тока. Контактторы постоянного тока изготавливаются одно- и двухполюсные, в зависимости от категории рассчитаны на коммутацию токов $I_{ном}$ от 10 до 630 А. На переменном токе применяются контакторы при напряжении до 690 В и токах до 1600 А, они могут быть одно-, двух-, трех-, четырех- и пятиполюсными.

Контакторы рассчитаны на работу в прерывисто-продолжительном, продолжительном, повторно-кратковременном или кратковременном режимах, состоят из электромагнитной системы, дугогасительного устройства, системы главных и вспомогательных контактов.

В отличие от автоматических выключателей контакторы не имеют механических устройств, запирающих контактор в положении «включено». Замыкание и размыкание контактов контактора осуществляется с помощью электромагнитного привода (рис. 1.9).

На рис. 1.9, *а* показана схема управления однополюсным контактором. Главные контакты контактора КМ включены в цепь двигателя М, а катушка – в цепь управления последовательно с кнопками управления *SB1*, *SB2* и вспомогательными контактами *SQ*.

На конструктивной схеме (рис. 1.9, *б*) контактор изображен в момент отключения, когда напряжение с катушки *15*, установленной на сердечнике *14*, снято и подвижная система под действием пружины *11* пришла в нормальное положение. Дуга (на рис. обозначена Д), возникшая между контактами *2* и *7*, гасится в камере *5* с изоляционными перегородками *4*. Втягивание дуги в камеру происходит за счет магнитного поля (на рисунке направление магнитного потока обозначено Ф), созданного магнитной системой, состоящей из катушки *16*, включенной последовательно в главную цепь, стального сердечника *1* и полюсных наконечников *17*. На выходе из камеры установлена пламегасительная решетка *3*, препятствующая выходу ионизированных газов за пределы камеры.

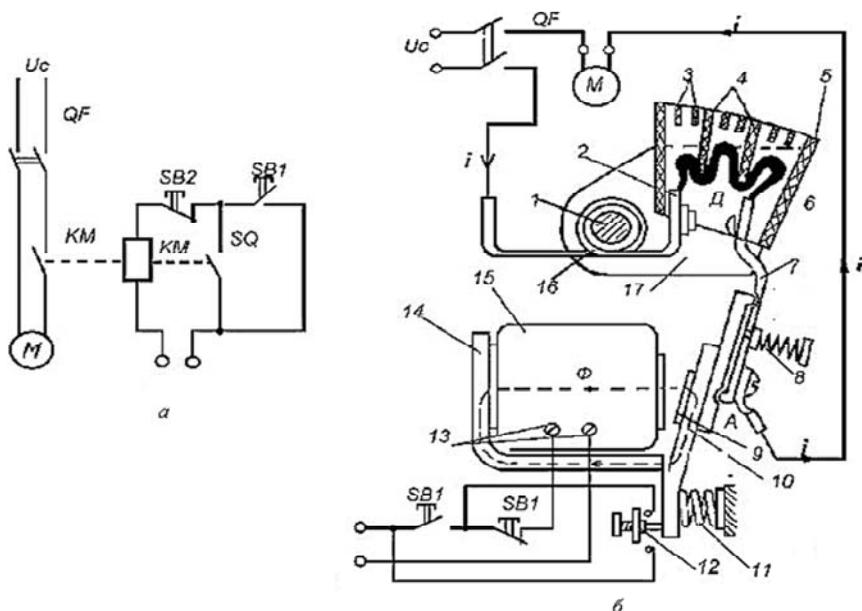


Рис. 1.9. Электромагнитный контактор КМ

Управление контактором может осуществляться с помощью кнопок, рубильников, реле, ключей управления.

Для включения контактора подается напряжение на зажимы катушки 13 путем нажатия кнопки SB1. В катушке создается магнитный поток, притягивающий якорь 10 к сердечнику. На якоре укреплен подвижный контакт 7, который после соприкосновения с неподвижным контактом 2 скользит по его поверхности, разрушая пленку окислов на поверхности контактов. Нажатие в контактах создается пружиной 8. Контактные накладки 6 из серебра обеспечивают минимальное переходное сопротивление. В некоторых случаях накладки выполняются из дугостойкой металлокерамики. Контактор удерживается во включенном положении своей катушкой. После включения контактора замыкаются вспомогательные контакты 12 (SQ), шунтирующие кнопку SB1, поэтому размыкание пусковой кнопки КМ не разрывает цепь катушки 15.

На якоре 10 предусмотрена немагнитная прокладка из латуни 9, которая уменьшает силу притяжения, обусловленную остаточной индукцией в сердечнике. Таким образом, при снятии напряжения

с катушки 15 якорь не «залипает». При значительном снижении напряжения в цепи управления, а также при его исчезновении контактор автоматически отключается.

Для отключения контактора достаточно нажать на кнопку SB2, которая разомкнет цепь питания катушки 15.

Основные технические данные контакторов:

- 1) номинальный ток главных контактов (ток прерывисто-продолжительного режима работы);
- 2) предельный отключаемый ток;
- 3) номинальное напряжение;
- 4) механическая износостойкость (определяется числом включений – отключений контактора без ремонта и замены его узлов. Ток в цепи при этом равен нулю. В современных контакторах механическая износостойкость равна $(10-20) \times 10^6$ операций);
- 5) электрическая износостойкость (определяется числом включений и отключений цепи с током, после которых требуется замена износившихся контактов. В современных контакторах электрическая износостойкость равна 2–3 млн операций);
- 6) допустимое число включений в час;
- 7) собственное время включения (состоит из времени нарастания потока до значения потока трогания и времени движения якоря);
- 8) собственное время отключения (время с момента обесточивания электромагнита до размыкания контактов).

Наибольшее распространение в электроустановках напряжением до 1 кВ получили трехполюсные контакторы.

Магнитный пускатель – это коммутационный аппарат, предназначенный для пуска, останова (с частотой 1200 включений в час) и защиты трехфазных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором.

Пускатель обычно представляет собой модифицированный контактор, он может быть укомплектован дополнительными устройствами, такими как тепловое реле для аварийного отключения двигателя; дополнительной слаботочной контактной группой или группами, используемыми в цепях управления; кнопкой пуска. Иногда пускатели снабжаются устройством аварийного отключения при потере одной из фаз трехфазной сети питания ЭД, при этом мгновенное размыкание контактов произойдет не только, после наме-

ренного отключения питания, но и если напряжение в сети упадет больше, чем на 60 % от номинального значения.

Наиболее распространенными сериями являются ПМЛ, ПМА, ПА, ПМБ. Пускатели могут быть реверсивными (путем изменения порядка следования фаз, для чего в пускатель встраивается второй контактор) и нереверсивными, в открытом, защищенном и пылебрызгонепроницаемом исполнении, с тепловыми реле и без них. Магнитные пускатели применяются для управления электродвигателями переменного тока напряжением до 660 В, мощностью до 75 кВт. Электрическая и конструктивная схема магнитного пускателя серии ПАЕ показана на рис. 1.10.

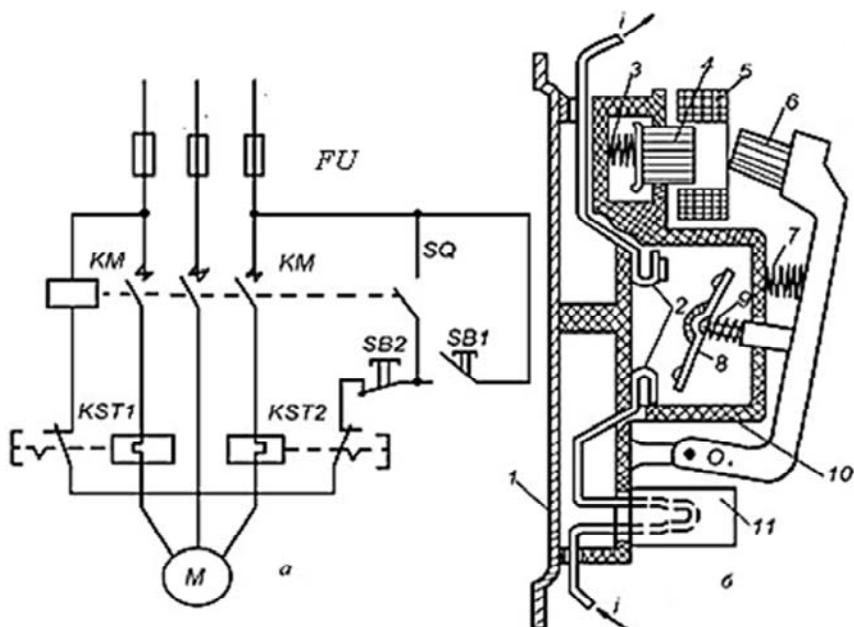


Рис. 1.10. Магнитный пускатель серии ПАЕ:
а – электрическая схема; б – конструктивная схема

При нажатии кнопки *SB1* подается питание в катушку 5 контактора *KM* через размыкающиеся контакты тепловых реле *KST1*, *KST2* и кнопку *SB2*. Якорь электромагнита 6 притягивается к сердечнику 4, вращаясь вокруг оси *O1*. При этом неподвижные контакты 2 замы-

каются подвижным контактным мостиком 8. Нажатие в контактах обеспечивается пружиной 9. Одновременно замыкаются вспомогательные контакты SQ (рис. 1.10, *a*), которые шунтируют кнопку $SB1$. При перегрузке электродвигателя срабатывают оба или одно тепловое реле 11, цепь катушки размыкается контактами $KST1$ и $KST2$. При этом якорь 6 больше не удерживается сердечником и под действием собственной массы и пружины 7 подвижная система переходит в отключенное положение, размыкая контакты. Двукратный разрыв в каждой фазе и закрытая камера 10 обеспечивают гашение дуги без специальных устройств. Точно так же происходит отключение пускателя при нажатии кнопки $SB2$.

Амортизирующая пружина 3 предохраняет подвижную часть от резких ударов при включении. Все детали пускателя крепятся на металлическом основании 1. Для защиты электродвигателя от КЗ в цепь включены предохранители (FU).

Магнитный пускатель защищает ЭД от перегрузки с помощью тепловых реле и при понижении напряжения до 50–60 % U_n отключает его. Предусмотрена нулевая защита с помощью нормально-открытого контакта пускателя, предотвращающая самопроизвольное включение пускателя при внезапном появлении напряжения. Для уменьшения пускового тока двигателя также применяется переключение обмоток ЭД со «звезды» на «треугольник». При такой схеме включения двигатель разгоняется до номинальных оборотов будучи включенным по схеме «звезда» и переключается на питание по схеме «треугольник» в нормальном режиме работы.

Тепловые реле – важный элемент в защите электрооборудования. С его помощью устройство защищается от перегрузок, а его характеристики позволяют переносить кратковременные скачки тока без ложных срабатываний, чего не может обеспечить автоматический выключатель. При перегрузке электродвигателя элементы тепловых реле нагревают биметаллическую пластину, изготовленную из сплавов, имеющих разные коэффициенты линейного расширения, которые при нагрузке изгибаются и размыкают цепь катушки. Тепловые реле, например РТЛ, крепятся на контакты пускателя ПМЛ или используются как самостоятельное защитное устройство (может размещаться в щитке на DIN-рейке и в электрошкафах). Магнитные пускатели не предназначены для разрыва цепи при коротком замыкании, так как его силовые контакты не рассчитаны на

отключение токов короткого замыкания. Поэтому последовательно с магнитными пускателями устанавливаются предохранители или автоматические выключатели с электромагнитными расцепителями для защиты от токов КЗ. В отличие от автомата тепловое реле не разрывает силовые цепи, а только отключает цепь управления магнитного пускателя. Нормально включенный контакт теплового реле работает подобно кнопке «стоп» пускателя, и соединяется с ней по последовательной схеме. В тепловом реле есть два режима работы – автоматический, когда после остывания тепловое реле включает контактор без участия человека, и ручной, когда оператор должен устранить причину срабатывания и вручную включить реле.

Современный модульный контактор – это электромагнитный пускатель, сконструированный для установки в электрические распределительные щиты для стандартных модульных устройств с креплением на DIN-рейку. Их достоинство – электробезопасность для операторов и неквалифицированного персонала. Недостаток – максимальное число коммутационных операций в день до 100. Исполнительным механизмом пускателей для включения и отключения нагрузки служит контактор. Современные пускатели, автоматические выключатели и УЗО можно размещать в одном ящике и на одну DIN-рейку.

1.2. Порядок выполнения лабораторной работы

1. Провести внешний осмотр выданного преподавателем аппарата ручного управления, определить его состояние. По внешним признакам определить исправность аппарата.

2. При помощи инструмента произвести разборку аппарата. Определить техническое состояние отдельных деталей аппарата.

3. Описать устройство и принцип действия аппарата, записать его буквенно-цифровое обозначение, условия выбора.

4. Сделать эскиз указанных преподавателем деталей аппарата.

5. Собрать аппарат.

1.3. Содержание отчета

1. Цель работы.

2. Описание устройства и принципа действия исследуемого аппарата, расшифровка его буквенно-цифрового обозначения.

3. Эскиз исследуемого аппарата.
4. Вывод.

1.4. Контрольные вопросы

1. Из каких материалов изготавливаются контакты?
2. Какие существуют конструкции коммутирующих контактов?
3. Какую конструкцию имеют контакты кнопок управления, рубильников, пакетных выключателей и переключателей, выключателей-разъединителей, контроллеров и командоконтроллеров?
4. Как происходит гашение дуги (постоянного и переменного токов) в пакетном выключателе и других аппаратах?
5. Вследствие каких явлений происходит износ контактов?
6. Укажите назначение кнопок управления, рубильников, разъединителей, выключателей-разъединителей, пакетных выключателей и переключателей, контроллеров и командоконтроллеров.
7. Из каких деталей состоит кнопка управления, контроллеры и командоконтроллеры?
8. Из каких деталей состоит рубильник, разъединитель?
9. Из каких деталей состоит пакетный выключатель?
10. Характеристика теплового реле.

Лабораторная работа № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАВКИХ ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ И АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Цель работы:

- 1) изучить устройство, конструкции и принцип действия низковольтных предохранителей и автоматических выключателей, применяемых в системах электроснабжения и в электроприводах;
- 2) сравнить времятоковые характеристики плавких предохранителей;
- 3) снять времятоковую характеристику автоматического выключателя и сравнить ее с расчетной.

2.1. Краткие теоретические сведения

Плавкий предохранитель – это электрический аппарат, предназначенный для защиты электрических цепей от сверхтоков (токов перегрузки и токов короткого замыкания). Основными элементами предохранителя являются плавкая вставка, включаемая последовательно с защищаемой цепью, и корпус предохранителя с дугогасительным устройством.

В настоящее время используют предохранители, различающиеся по принципу срабатывания и рабочему элементу:

– предохранители с плавкой вставкой представляют собой электрический расцепитель, размыкающий электрическую цепь, реагируя на превышение расчетной номинальной нагрузки посредством расплавления вставки. Последующее использование аппарата возможно лишь при замене вставного элемента;

– самовосстанавливающиеся предохранители после срабатывания могут использоваться повторно благодаря особым вставкам, изменяющим проводимость при изменении температуры в результате повышенных токов.

По конструктивному исполнению предохранители могут быть разборными (ПР) и неразборными (НПН), с наполнителем (ПН-2, ППН) или без него. В качестве наполнителя в предохранителях используется кварцевый песок. В предохранителях с наполнителем

дуга гасится в канале, образованном песчинками кварцевого песка. Предохранители обладают токоограничивающим эффектом, например, ППН имеют высокую отключающую способность до 100 кА, а также оснащены дополнительно указателем срабатывания и свободным контактом.

Эффект токоограничения заключается в том, что при большом токе тонкая проволока плавкой вставки плавится и испаряется за тысячные доли секунды по всей длине.

В канале дугового разряда создается высокое давление, интенсивно проходят процессы деионизации дугового столба, сопротивление дуги резко возрастает, ограничивая ток и срезая его до нулевого значения – до момента естественного перехода тока через ноль, т. е. много раньше, чем ток в цепи при КЗ успеет достигнуть установившегося значения (штриховая кривая на рис. 2.1).

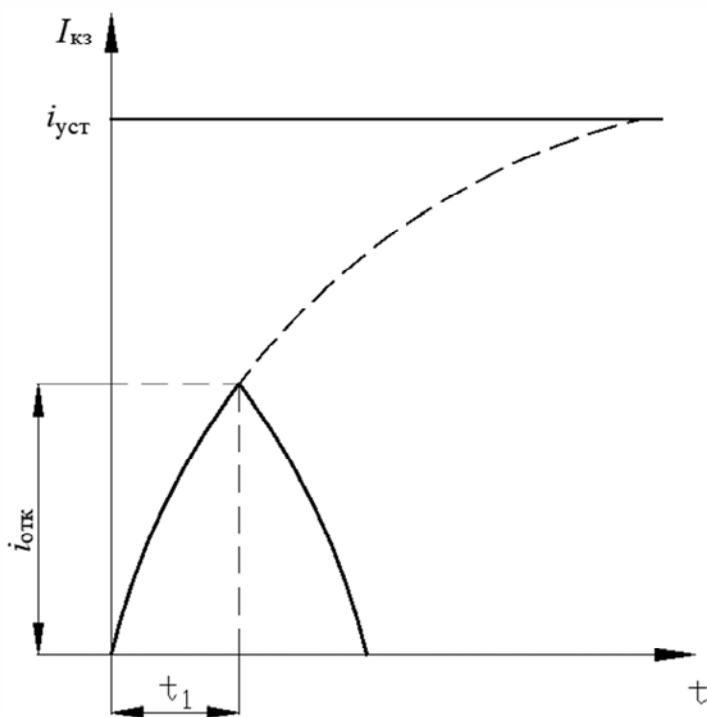


Рис. 2.1. Отключение тока КЗ токоограничивающим предохранителем

Таким образом, величина тока КЗ ограничивается в 2–5 раз. Возникающие при срезе тока ЭДС самоиндукции, накладываясь на напряжение сети, создают коммутационные перенапряжения. Специальными конструктивными мерами наибольшие допустимые перенапряжения, возникающие между выводами токоограничивающего предохранителя при отключении, ограничивают так, чтобы они не превышали допустимых значений.

Материалы для плавких вставок должны иметь малое удельное сопротивление, небольшую температуру плавления и, кроме того, быть стойкими к окислению. В современных предохранителях для плавких вставок обычно применяются медь, цинк, серебро.

Предохранители ПН-2 – это предохранители с мелкозернистым наполнителем. Корпус предохранителя ПН-2 квадратного сечения 1 (рис. 2.2) изготавливается из прочного фарфора или стеатита. Внутри корпуса расположены ленточные плавкие вставки 2 и наполнитель – кварцевый песок 3. Плавкие вставки привариваются к диску 4, который крепится к пластинам 5, связанным с ножевыми контактами 9. Пластины 5 крепятся к корпусу винтами.

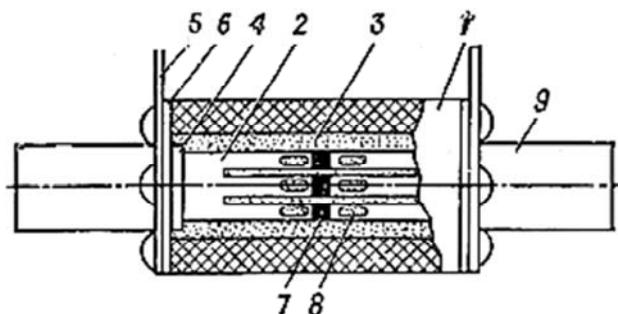


Рис. 2.2. Устройство предохранителя ПН-2

Плавкая вставка выполняется из медной ленты толщиной 0,1–0,2 мм, которая имеет суженные участки 8. Для снижения температуры плавления на вставки наносятся оловянные полоски 7, обеспечивающие металлургический эффект. Плавкая вставка разделена на три параллельные ветви для более полного использования кварцевого песка. При перегорании плавкой вставки дуга горит в узком канале, образованном зернами наполнителя. Этим обеспечивается гашение дуги за несколько миллисекунд.

После срабатывания предохранителя плавкая вставка вместе с диском 4 заменяется, патрон засыпается высушенным кварцевым песком. Для герметизации корпуса предохранителя под пластины 5 кладется асбестовая прокладка 6. Предохранители серии ППН – модификация предохранителей ПН-2. Предохранители серии ППН в отличие от предохранителей ПН-2 обладают меньшими габаритами и меньшими потерями мощности при проведении электрического тока.

Зависимость полного времени отключения цепи плавким предохранителем от тока называют времятоковой или защитной характеристикой (рис. 2.3).

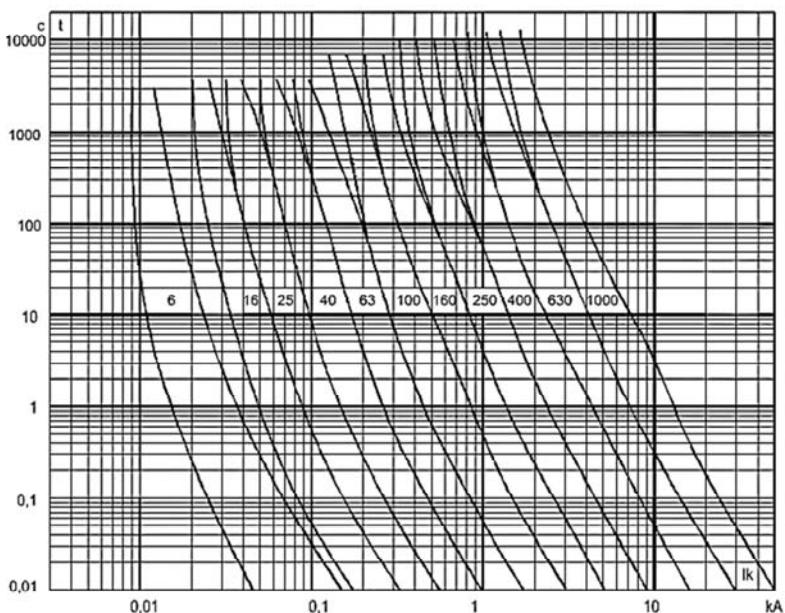


Рис. 2.3. Времятоковые характеристики предохранителей типа ППН

Крутизна защитной характеристики предохранителя определяет быстрдействие срабатывания предохранителя и, следовательно, надежность защиты.

Преимущества предохранителей серии ППН:

– благодаря конструкции плавких элементов и их расположения обеспечивают гарантированную защиту защищаемых цепей и установок;

- оптимальные показатели потерь мощности за счет современной конструкции, технологии изготовления и применяемых материалов позволяют экономить электроэнергию при их эксплуатации;
- высокие эксплуатационные показатели – длительный срок службы, простота обслуживания;
- большой диапазон номинальных токов позволяет сделать оптимальный выбор предохранителя в соответствии с параметрами защищаемой цепи;
- соответствие габаритных размеров и характеристик международным стандартам позволяет применять предохранители ППН вместо импортных и отечественных аналогов;
- предохранители производятся серийно в соответствии с современными отечественными и международными стандартами, что подтверждает сертификат соответствия.

В табл. 2.1 приведены обозначения предохранителей ППН.

Таблица 2.1

Обозначение предохранителей серии ППН
 ППН- X_1X_2 - X_3X_4 - X_5 - X_6 ...А-УХЛЗ

| Часть названия | Расшифровка |
|----------------|---|
| ППН | Серия (предохранитель плавкий наполненный) |
| X_1X_2 | Условное обозначение габарита 33–160 А, 35–250 А, 37–400 А, 39–630 А; |
| X_3 | Условное обозначение комплектации: 2 – на собственном основании (предохранитель); Х – без основания (плавкая вставка) |
| X_4 | Условное обозначение указателя срабатывания: 0 – без указателя срабатывания; 3 – с указателем срабатывания |
| X_5 | Габарит – 00С; 00; 0; 1; 2; 3; 4 |
| X_6 ...А | Номинальный ток плавкой вставки, А |
| УХЛЗ | Климатическое исполнение по ГОСТ 15150: УХЛЗ |

Пример: ППН-33-Х0-00С-80А-УХЛЗ – предохранитель плавкий с номинальным током плавкой вставки 80 А, без указателя срабатывания, габарит – 00С.

Учитывая вышеизложенное, можно сформулировать требования, предъявляемые к предохранителям:

1. Времятоковая характеристика предохранителя должна проходить ниже, но как можно ближе к времятоковой характеристике защищаемого объекта.

2. Время срабатывания предохранителя при коротком замыкании должно быть минимальным, особенно при защите полупроводниковых приборов. Предохранители должны работать с токоограничением.

3. При коротком замыкании в защищаемой цепи предохранители должны обеспечивать селективность.

4. Характеристики предохранителей должны быть стабильными, а технологический разброс параметров не должен сказываться на надежности защиты.

5. Предохранители должны обладать высокой отключающей способностью.

6. Конструкция предохранителя должна обеспечивать возможность быстрой замены плавкой вставки при ее перегорании.

Достоинства плавких предохранителей следующие:

- а) высокая отключающая способность;
- б) ограничение тока КЗ;
- в) при сверхтоках отключаются только те фазы, в которых возникает ток КЗ или перегрузки (это важно для однофазных ЭП);
- г) обеспечение селективности защиты электроустановок;
- д) простота конструкции;
- е) небольшая стоимость.

Предохранители имеют следующие недостатки:

1) плавкие элементы с течением времени стареют (исключение – плавкие элементы из серебра), вследствие чего они ложно срабатывают при пусковых токах или кратковременных перегрузках;

2) плавкие вставки имеют значительный разброс времени срабатывания в зависимости от состояния (холодного или горячего) плавкого элемента;

3) плавкая вставка однократного действия, поэтому после срабатывания ее необходимо заменять на длительное время;

4) плавкие предохранители не защищают электрооборудование при незначительных перегрузках. Они надежно срабатывают только при трехкратных (и более) перегрузках по току;

5) плавкие предохранители не рекомендуются для защиты силовых цепей асинхронных электродвигателей. Это связано с возникновением неполнофазных режимов работы в трехфазных сетях.

Автоматический воздушный выключатель (автомат) – аппарат, предназначенный для автоматического размыкания электрических цепей. Как правило, автоматические выключатели выполняют функции защиты при коротких замыканиях, перегрузках, снижении или исчезновении напряжения, изменениях направления передачи мощности или тока и т. п. Автоматы удобны, безопасны в обслуживании, обеспечивают надежную защиту, используются в электроустановках большой мощности.

Независимо от назначения автоматы состоят из следующих основных узлов:

- а) контактной системы;
- б) дугогасительной системы;
- в) привода;
- г) механизма свободного расцепления;
- д) расцепителей;
- е) коммутатора с блок-контактами.

Контактная система автоматов должна находиться под нагрузкой не отключаясь весьма длительное время и быть способной выключать большие токи короткого замыкания. Широкое распространение получили двухступенчатые (главные и дугогасительные) и трехступенчатые (главные, промежуточные и дугогасительные) контактные системы.

При отключении автомата первыми размыкаются главные контакты и весь ток переходит в параллельную цепь дугогасительных контактов с накладками из дугостойкого материала. На главных контактах дуга не должна возникать, чтобы они не обгорали. Дугогасительные контакты размыкаются, когда главные контакты расходятся на значительное расстояние. На них возникает электрическая дуга, которая поднимается вверх и гасится в дугогасительной камере.

Привод в автомате служит для включения автомата по команде оператора. Автоматы выполняются:

- 1) с ручным приводом непосредственного действия;
- 2) с дистанционным приводом (ручным, соленоидным, моторным, пневматическим).

Отключение автоматов осуществляется отключающими пружинами.

Механизм свободного расцепления предназначен:

а) для исключения возможности удерживать контакты автомата во включенном положении (рукояткой, дистанционным приводом) при наличии ненормального режима работы защищаемой цепи;

б) обеспечения моментального отключения, т. е. не зависящую от операторов, рода и массы привода скорость расхождения контактов.

Механизм свободного расцепления представляет собой систему шарнирно-связанных рычагов, соединяющих привод включения с системой подвижных контактов, которые связаны с отключающей пружиной. Механизм свободного расцепления позволяет автомату отключаться в любой момент времени, в том числе и в процессе включения, когда включающая сила воздействует на подвижную систему автомата (рис. 2.4).

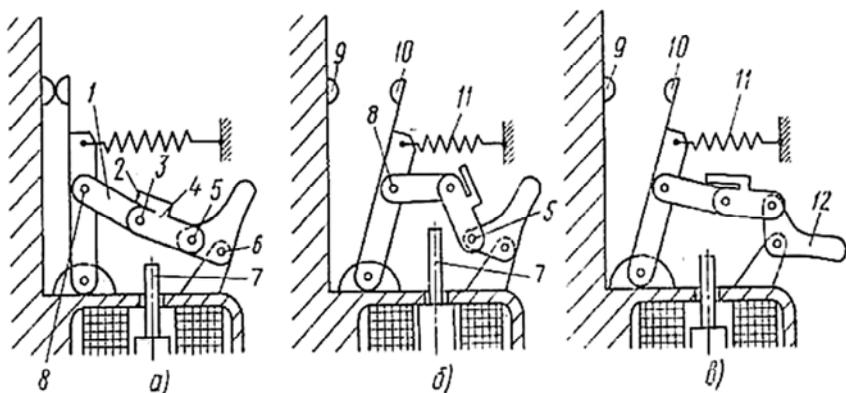


Рис. 2.4. Принцип работы механизма свободного расцепления:

a – при включении; *б* – при отключении; *в* – при взводе;

1; 4 – звенья рычагов; 2 – ограничительный упор; 3; 5; 6; 8 – шарнирные оси;

7 – шток отключающего электромагнита; 9; 10 – контакты;

11 – пружина; 12 – рукоятка

Расцепители – элементы, контролирующие заданный параметр цепи и воздействующие через механизм свободного расцепления на отключение автомата при отклонении заданного параметра за установленные пределы.

В автоматических выключателях применяются следующие расцепители:

1) электромагнитный максимального тока (предназначен для защиты проводников и электрооборудования от токов КЗ);

2) электромагнитный максимального тока с гидравлическим замедлением срабатывания (обеспечивает зависимость от тока выдержку времени – защищает от токов перегрузки и КЗ);

3) полупроводниковый. Главные его преимущества состоят в широких диапазонах регулирования токов и времени срабатывания, а также в более тонкой и точной регулировке;

4) тепловой (предназначен для защиты электрической цепи от токов перегрузок). По конструкции и принципу действия аналогичен тепловым реле;

5) комбинированный (максимального тока и тепловой);

6) минимального напряжения;

7) независимый;

8) электромагнитный максимального тока в нулевом проводе;

9) электромагнитный максимального тока для цепей управления.

Первые 5 типов расцепителей автоматических выключателей – основные, остальные – дополнительные.

Полупроводниковые расцепители состоят из измерительного элемента, блока полупроводниковых реле и выходного электромагнита, воздействующего на механизм свободного расцепления выключателя. В качестве измерительного элемента используется трансформатор тока (на переменном токе) или дроссельный магнитный усилитель (на постоянном токе). Полупроводниковый расцепитель тока допускает регулировку следующих параметров: номинального тока расцепителя; уставки по току срабатывания в зоне токов короткого замыкания (ток отсечки); уставки по времени срабатывания в зоне токов нагрузки; уставки по времени срабатывания в зоне токов короткого замыкания (для селективных выключателей). Во многих автоматических выключателях применяют комбинированные расцепители, использующие тепловые элементы для защиты от токов перегрузок и электромагнитные для защиты от токов коротких замыканий без выдержки времени (отсечки).

Минимальный и нулевой расцепители могут выполняться с выдержкой времени и без выдержки времени. С помощью независи-

мого или минимального расцепителя возможно дистанционное отключение автоматического выключателя.

Наибольшее применение имеют автоматы с комбинированным нерегулируемым расцепителем, т. е. тепловым и электромагнитным. Тепловой расцепитель обеспечивает защиту от перегрузки с обратно зависимой характеристикой, а электромагнитный – от токов короткого замыкания без выдержки времени.

Выключатель также имеет дополнительные сборочные единицы, которые встраиваются в выключатель или крепятся на нем снаружи. Ими могут быть независимый, нулевой или минимальный расцепители напряжения, свободные или вспомогательные контакты, ручной, электромагнитный или электродвигательный привод, сигнализация автоматического отключения, устройство для запираания выключателя в положении «Отключено». Независимый расцепитель представляет собой электромагнит с питанием от постороннего источника напряжения.

Блок-контакты служат для производства переключения в цепях управления, блокировки, сигнализации в зависимости от коммутационного положения автомата. Блок-контакты выполняются нормально разомкнутыми (закрывающимися) и нормально замкнутыми (размыкающимися).

Согласно стандарта МЭК 60947 – 2 (ч. II) определяется две категории автоматических выключателей: «А» и «В».

Аппараты категории «А» предназначены для общего применения и представляют собой токоограничивающие автоматы. Их основной функцией является эффективное ограничение тока. Они не предусматривают возможности протекания сквозных токов КЗ через автоматы и не обеспечивают селективность по времени.

Автоматические выключатели категории «В» с полупроводниковыми расцепителями являются селективными защитными аппаратами, специально предназначенными для обеспечения избирательности защиты при сверхтоках. Эти аппараты допускают протекание сквозных токов КЗ в течение определенного промежутка времени (до 3 с) и обеспечивают временную селективность благодаря наличию уставок по времени срабатывания. Такие автоматы устанавливаются в главных распределительных щитах ТП.

В табл. 2.2 приведены технические данные выключателей серии ВА5Х.

Таблица 2.2

Технические данные автоматические выключатели серии ВА

| Серия выключателя | Разновидности выключателей и их расцепители | Номинальные токи расцепителей, А | Кратность тока отсечки по отношению к $I_{ном,р}$ (пределы срабатывания отсечки). |
|-------------------|--|----------------------------------|---|
| ВА 51 | Нетокоограничивающие с комбинированными или только с электромагнитными расцепителями | 0,3 до 630 | 3; 7; 10; 12; 14 |
| ВА 52 | Токоограничивающие с комбинированными или только с электромагнитными расцепителями | 16 до 630 | 3; 7; 10; 12 |
| ВА 53 | Токоограничивающие с электронными расцепителями и электромагнитными расцепителями | 160 до 2500 | 2; 3; 5; 7; 10 |
| ВА 55 | Селективные с электронными расцепителями | 160 до 1600 | 2; 3; 5; 7; 10 |
| ВА 75 | Селективные с электронными расцепителями | 2500; 4000 | 2; 3; 5; 7 |

Автоматические выключатели по конструкции делятся на 3 группы:

1) все полюса расположены в одном блоке (корпусе), обеспечивается однократный разрыв электрической цепи (АЕ2000, АЗ700, ВА51-25);

2) все полюса расположены в одном блоке (корпусе), обеспечивается двойной разрыв электрической цепи. Такие аппараты, как ВА13, ВА21, АК50Б, АК63-МГ, содержат электромагнитный расцепитель с гидравлическим замедлением срабатывания или только электромагнитный расцепитель;

3) каждый полюс расположен в своем корпусе (модуле). Такую конструкцию имеют современные автоматические выключатели серий S200, BA14, BA16, BA22, BA47, BM40, BA61F29, B A77.

Автоматические выключатели 3-й группы имеют отличительные черты:

- крепление на монтажной рейке (DIN-рейке);
- модульность, т. е. двух-, трех- и четырехполюсные выключатели состоят из соответствующего числа одиночных однополюсных выключателей (модулей).

DIN-рейка – профиль из металла, который используется для крепления автоматических выключателей, устройств защитного отключения (УЗО) и другого модульного оборудования.

На DIN-рейку можно ставить множество наименований:

- дифавтоматы с защитой от сверхтоков;
- выключатели нагрузки на токи до 63 А;
- модульные автоматы на переменный ток до 125 А и 63 А, на постоянный – до 50 А;
- электромеханические модульные контакторы для распределительного щита;
- ограничители тока до 63 А;
- УЗО на токи до 100 А;
- устройства по защите от перенапряжения для систем энерго-снабжения.

На токи от 0,5 до 63 А удобно применять модульные автоматические выключатели, которые крепятся на DIN-рейку. Модельный ряд автоматических выключателей Schneider Electric серии Acti 9 с времятоковыми характеристиками типа *C, B, D, K, L, Z, MA* позволяет применять их в офисах, промышленности, энергетике, медицине.

В зависимости от величины $K_{то}$ имеется несколько видов защитных характеристик автоматов, основными из которых являются *B, C, D* (табл. 2.3, рис. 2.5).

На рис. 2.5 приведены времятоковые характеристики типа *B, C, D* автоматического выключателя с комбинированным расцепителем.

Защитная характеристика, представленная на рис. 2.5, имеет две зоны: в первой (для небольших значений сверхтоков) осуществляется защита от перегрузки тепловым расцепителем с обратной зависимостью от тока характеристикой; во второй обеспечивается защита мгновенного действия (токовой отсечки) КЗ с помощью электро-

магнитного расцепителя. Таким образом, одна часть графика (верхняя) отражает зависимость времени отключения теплового расцепителя (биметаллической пластины) от тока длительной перегрузки, а вторая часть (нижняя) – электромагнитного расцепителя от тока КЗ при соответствующих кратностях токовой отсечки $K_{то}$.

Таблица 2.3

Применение кривых отключения в зависимости от нагрузки

| Характеристика | Кратность тока отсечки $K_{то}$ | | Применение |
|----------------|---------------------------------|------|--|
| | мин | макс | |
| <i>B</i> | 3 | 5 | Применяются в осветительных электросетях общего назначения, а также для защиты потребителей преимущественно с активной нагрузкой и протяженных линий. Рекомендуются для установки в отходящих линиях для обеспечения селективности с вышестоящими автоматами |
| <i>C</i> | 5 | 10 | Применяются в цепях общего назначения: цепи освещения, бытового и промышленного назначения. Автоматы с кривой отключения «C» являются самыми распространенными |
| <i>D</i> | 110 | 220 | Применяются в цепях, в которых в качестве нагрузки используются электрические двигатели со значительными пусковыми токами или частыми запусками, а также электрические цепи с активнo-индуктивной нагрузкой |

Достоинства автоматических выключателей по сравнению с плавкими предохранителями:

1. Обеспечивает более надежное отключение при отклонении от заданного параметра, это защитное устройство многократно действия.
2. Обеспечивает более стабильное время отключения.
3. При защите трехфазного устройства невозможна его работа при отсутствии одной из фаз.
4. Значительно сокращается время простоя электрооборудования, так как на включение сработавшего автомата требуется меньше времени, по сравнению с предохранителем.

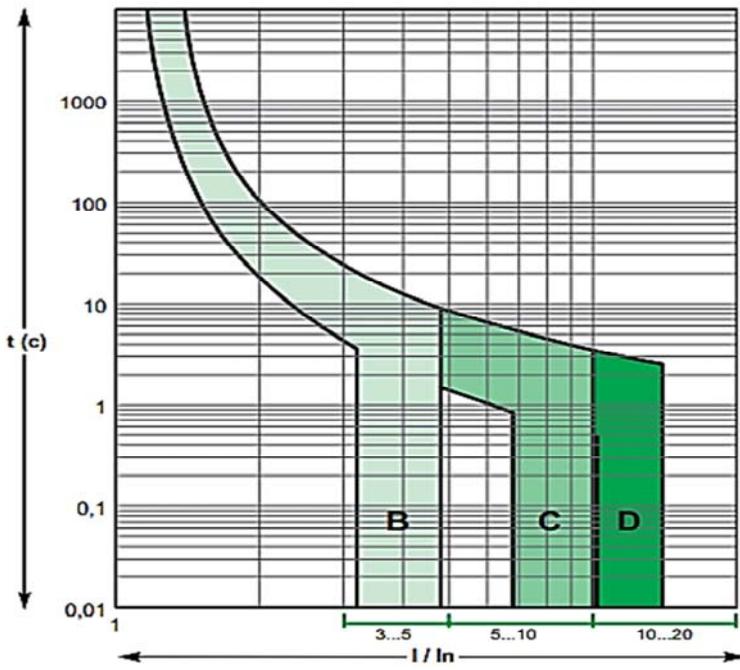


Рис. 2.5. Времятоковая характеристика автоматического выключателя Schneider Electric серии Easy9

Недостатки автоматических выключателей по сравнению с плавкими предохранителями:

1. Более высокая стоимость.
2. Невозможность замены под напряжением.
3. Периодическое обслуживание и проверка.

Выбор защитных аппаратов производится по условиям, представленным в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Условия выбора защитных аппаратов

| Критерий | Плавкий предохранитель | Автоматический выключатель |
|----------------------------|---|--|
| по номинальному напряжению | $U_{\text{ном. пр}} \geq U_{\text{сети}}$ | $U_{\text{ном. а}} \geq U_{\text{сети}}$ |

| Критерий | Плавкий предохранитель | Автоматический выключатель |
|--|---|--|
| по нагреву токами нормального режима | $I_B \geq I_{дл}$ | $I_{ном. а} \geq I_{дл};$ $I_{ном. р} \geq I_{дл}$ |
| по нагреву пиковыми (пусковыми) токами | <p>Для АД с короткозамкнутым ротором):</p> $I_B = I_{пуск} / \alpha,$ <p>α – коэффициент, зависящий от условий пуска</p> $\alpha = 1,6 - 2,5.$ <p>Если пуск легкий, т. е. не более 1 с, коэффициент $\alpha = 2,5$, а если тяжелый, т. е. пуск затягивается до 10 с, коэффициент $\alpha = 1,6$.</p> <p>Для АД с фазным ротором:</p> $I_{пуск} \leq 2I_{ном. дв}$ | $I_{ср. р} \geq 1,25I_{кр},$ Кратность токовой отсечки: $K_{то} \geq \frac{1,25I_{кр}}{I_{ном. р.}}$ $I_{кр} = I_{пуск},$ при одном ЭП или $I_{кр} = I_{пик},$ при более одного ЭП |
| проверка по предельной отключающей способности | $I_{пр. отк} \geq I_{к. з.}^{(3)},$ <p>где $I_{пр. отк}$ – предельный ток отключения защитного аппарата;</p> $I_{к. з.}^{(1)}$ – наибольшее действующее значение периодической составляющей тока КЗ в точке установки аппарата | |
| проверка по условиям короткого замыкания | $I_{к. з.}^{(1)} / I_B \geq 3 - 4$ | $I_{к. з.}^{(1)} / I_{ном. р} \geq 3 - 6$ |
| Время отключения однофазного $I_{к. з.}^{(1)}$ | В распределительных и групповых сетях – не более 0,4 с при $U_{\phi} = 230$ В и 0,2 с при $U_{\phi} = 400$ В. В питающих сетях не более 5 с | |

| Критерий | Плавкий предохранитель | Автоматический выключатель |
|----------------------|---|--|
| Селективность | $t_{\text{б}} > 3 \cdot t_{\text{м}}$ | $t_{\text{б}} > 1,5 \cdot t_{\text{м}}$ |
| Защита от перегрузки | $I_{\text{доп}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{в}}$ | $I_2 \leq 1,45 \cdot I_{\text{дл}}$, где I_2 – ток, обеспечивающий надежное срабатывание защитного устройства, принимается равным току плавления плавкой вставки при заданном времени срабатывания для предохранителей или току срабатывания при заданном времени срабатывания для автоматов |

2.2. Порядок выполнения лабораторной работы

1. Для исследования свойств автоматического выключателя необходимо собрать схему (рис. 2.6) и снять времятоковую характеристику теплового расцепителя.

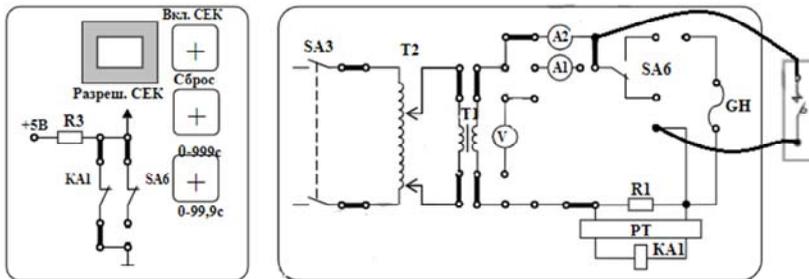


Рис. 2.6.

2. Включать ЛАТР (Т2) и устанавливать ток нагрузки через автомат, равный $1,5 I_{\text{н.р}}$. Отключить ЛАТР, дать остыть тепловому расцепителю (3 минуты) и установить секундомер на ноль. Вновь

включить ЛАТР и дождаться срабатывания теплового расцепителя и отключения автоматического выключателя. Зафиксировать время по секундомеру и «сбросить» его показания. Отключить ЛАТР и после паузы (5 мин) включить ЛАТР, автоматический выключатель, установить новое значение тока и повторить опыт. Полученные значения занести в табл. 2.5 и построить времятоковую характеристику теплового расцепителя.

Таблица 2.5

Результаты опыта

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|
| Номинальный ток расцепителя $I_{\text{ном.р}}$, А | | | | | | |
| Ток нагрузки $I_{\text{нагр}}$, А | | | | | | |
| Кратность тока нагрузки $I_{\text{нагр}} / I_{\text{н.р}}$, А | | | | | | |
| Время срабатывания $t_{\text{ср}}$, с | | | | | | |

2.3. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения, пояснение устройства и паспортные данные предохранителя и автоматического выключателя.
3. По заданию преподавателя сравнить времятоковые характеристики нескольких типов плавких предохранителей (автоматов).
4. По данным проведенного опыта построить расчетные времятоковые характеристики автоматического выключателя.
5. Для заданной преподавателем схемы питания ЭП построить карту селективности.
6. Вывод.

2.4. Контрольные вопросы

1. Назначение и основные параметры автоматических выключателей и предохранителей.

2. Основные требования, предъявляемые к защитным аппаратам.
3. Понятие о времени срабатывания. Как по времятоковой характеристике определить время срабатывания защитного аппарата при заданном токе перегрузки (короткого замыкания)?
4. Основные узлы автоматов и их назначение.
5. Функции и виды расцепителей (привести защитные характеристики).
6. Требования к материалам из которых изготовлены плавкие вставки предохранителей.
7. Условия выбора и проверки предохранителей и автоматических выключателей.
8. Особенности применения автоматических выключателей вместо предохранителей.
9. Понятие о селективности защит.
10. Нарисуйте защитную характеристику плавкого предохранителя и автоматического воздушного выключателя на одном графике.
11. Поясните смысл времятоковых характеристик защитных аппаратов.
12. Какие аппараты применяют для защиты полупроводниковых приборов? В чем их особенность?
13. От каких параметров зависит время срабатывания защитного аппарата?

Лабораторная работа № 3

УСТРОЙСТВО И КОНСТРУКТИВНОЕ ВЫПОЛНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 кВ

Цель работы: изучить устройство и конструктивное исполнение электрических сетей на напряжении до 1 кВ.

3.1. Краткие теоретические сведения

Система электроснабжения (СЭС) является частью электроэнергетики промышленности, транспорта, агропромышленного комплекса и всех остальных составляющих, обеспечивающих нормальную жизнедеятельность граждан. СЭС может быть разделена на несколько характерных уровней от границы раздела «предприятие – энергосистема», до отдельных электроприемников (рис. 3.1). Число уровней зависит от схемы электроснабжения, мощности потребителей электроэнергии и их размещения на территории предприятия.

Рассмотрим внутрицеховое электроснабжение напряжением до 1 кВ. Источниками питания в системе внутреннего электроснабжения цехов являются ТП (6)10/(0,4)0,23 кВ к которым через коммутационные и защитные аппараты присоединяются проводники, магистральные шинопроводы (МШ), запитывающие отдельное крупное электрооборудование или группы электроприемников через силовые пункты, распределительные, троллейные и осветительные шинопроводы, щитки освещения и др. Также источниками питания могут быть главные распределительные устройства или вводно-распределительные устройства.

Электрические сети напряжением до 1кВ условно делятся на питающие и распределительные.

Питающие внутрицеховые сети на промышленных предприятиях строятся по *магистральным* схемам, где широко применяются шинопроводы. В ТП магистральные шинопроводы подключаются к небольшим распределительным устройствам через линейный автоматический выключатель или наглухо.

Радиальные схемы питающих сетей внутри помещений применяются в том случае, если магистральные схемы не могут быть приняты из-за территориального расположения потребителей или

неблагоприятных условий окружающей среды, при повышенных требованиях к надежности электроснабжения, а также по технико-экономическим соображениям.

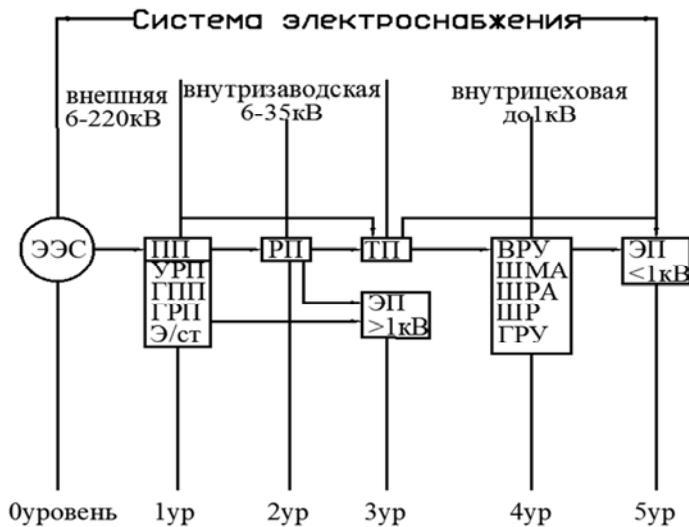


Рис. 3.1. Структурная схема электроснабжения приемников промышленного предприятия:

ЭЭС – электроэнергетическая система; ПП – пункт приема электроэнергии на предприятии; УРП – узловая распределительная подстанция; ГПП – главная понизительная подстанция; ГРП – главный распределительный пункт; Э/ст – собственная электростанция; РП – распределительный пункт; ТП – цеховая трансформаторная подстанция; ВРУ – вводно-распределительное устройство; ШМА – магистральный шинопровод; ШРА – распределительный шинопровод; ШР – распределительный шкаф; ЭП – электроприемники

Распределительные внутрицеховые сети выполняются по магистральной, радиальной или смешанной схеме.

Магистральные схемы, выполненные распределительными шинопроводами, применяются для электроснабжения групп электроприемников относительно небольшой мощности, равномерно распределенных по производственной площади.

Радиальные схемы следует предусматривать в тех случаях, когда применению распределительных шинопроводов препятствуют условия окружающей среды и территориальное размещение элек-

троприемников. Радиальные схемы обеспечивают большую надежность питания отдельных потребителей, т. к. при аварии отключается только поврежденная линия. Радиальные схемы легче автоматизировать, однако они требуют больших капитальных затрат и имеют худшие экономические показатели.

Радиальные схемы строятся с применением распределительных панелей, щитов, силовых пунктов, шкафов управления и т. д.

Смешанные схемы строятся с применением шинопроводов и распределительных пунктов.

Распределительная сеть в цехах промышленных предприятий с нормальной средой может быть выполнена в виде модульной электропроводки. Такую проводку целесообразно применять в помещениях, где электроприемники располагаются по всей площади, а также там, где часто производится смена или перемещение технологического оборудования.

Для электроснабжения силовых электроприемников следует выбирать экономически выгодные схемы, обеспечивающие необходимую надежность, безопасность и удобство эксплуатации электроустановок.

Внутрицеховые электрические сети напряжением до 1 кВ выполняются в виде шинопроводов, кабельных линий и электропроводок.

Электрические сети напряжением до 1 кВ различаются между собой в зависимости от конструкции, способов изоляции и прокладки проводников. Выбор конструктивного исполнения сети зависит от ее назначения, расстановки производственного оборудования, требований к надежности электроснабжения электроприемников, условий окружающей среды, размещения ТП, вероятности изменения технологического процесса, вызывающего перемещение или замену оборудования и т. п.

По способу изоляции сети могут быть разделены на две группы:

- 1) выполненные неизолированными проводами и шинами;
- 2) выполненные изолированными проводами.

К первой группе относятся воздушные линии и шинопроводы, а ко второй – кабельные линии и электропроводки.

Воздушные линии напряжением до 1 кВ на промышленных предприятиях применяются ограничено. Их используют в основном в сельских сетях, в сетях наружного электрического освещения, а также для питания обособленных маломощных потребителей,

расположенных на периферии предприятия или за его пределами. Самый простой и дешевый способ – пользоваться неизолированными (голыми) проводами или шинами. Все потребители электроэнергии (жилые дома, постройки хозяйственного назначения и др.) в таких сетях подключаются к воздушным линиям отпайками, выполняемыми, как правило, изолированными проводами с целью обеспечения пожаро- и электробезопасности.

На современных промышленных предприятиях применяются самонесущие изолированные провода (СИП) с более высокими эксплуатационными свойствами, так как в качестве материала для изоляции фаз применяется светостабилизированный сшитый полиэтилен.

Шинопроводы представляют собой электротехнические устройства, предназначенные для передачи и распределения электроэнергии на напряжении до 1 кВ внутри помещений промышленных предприятий.

Шинопроводом называется устройство, предназначенное для передачи и распределения электроэнергии, состоящее из шин и относящихся к ним изоляторов, поддерживающих и опорных конструкций, защитных оболочек и ответвительных устройств. Они применяются в помещениях с разнообразной окружающей средой, кроме взрывоопасной, химически активной и особо сырой. Шинопроводы целесообразно использовать при нестабильном расположении оборудования, так как они позволяют относительно быстро перестраивать электрическую сеть (рис. 3.2).

По назначению закрытые комплектные шинопроводы делятся на магистральные (ШМА на переменном и ШМАД на постоянном токе); распределительные (ШРА с алюминиевыми и ШРМ с медными шинами); троллейные (ШТА, ШТМ); осветительные (ШОС).

1) *Магистральные шинопроводы* (МШ) служат для передачи электроэнергии от силовых трансформаторов к потребителям. Это комплектные устройства, имеющие разные номинальные токи, состоит из секций определенного назначения (прямых, угловых, вертикальных, присоединительных и т. д.).

МШ переменного тока серии ШМА и постоянного тока серии ШМАД служат для передачи электроэнергии от силового трансформатора к потребителям.

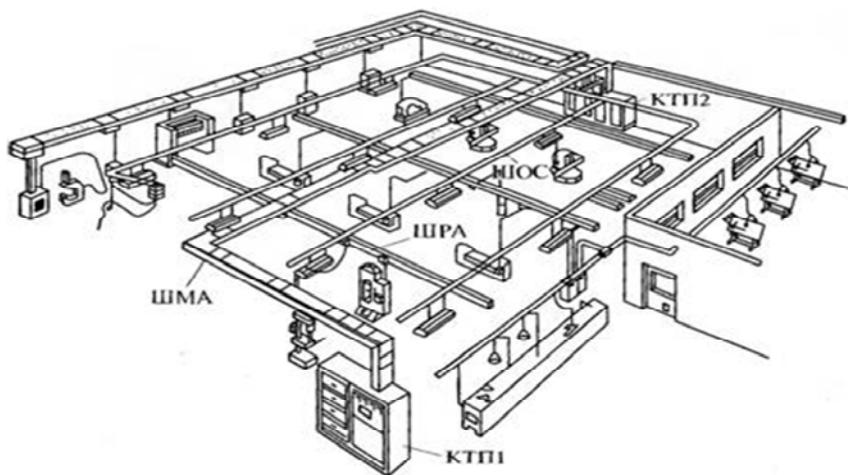


Рис. 3.2. Шинопроводы в цехе:
 КТП1, КТП2 – комплектные трансформаторные подстанции;
 ШМА – магистральный шинопровод;
 ШРА – распределительный шинопровод;
 ШОС – осветительный шинопровод

МШ имеет изолированные алюминиевые (реже медные) шины, заключенные в металлический кожух, предохраняющий от случайных прикосновений к шинам и защищающий от их повреждений. Изготавливаются в виде отдельных типовых секций, соединяемых на месте монтажа при помощи сварки или болтового сжима. Магистральный шинопровод ШМА состоит из прямых секций, для разветвления шинопроводов предусмотрены ответвительные секции, для присоединения кабельных ответвлений – присоединительные секции. Существуют также угловые, подгоночные и гибкие секции. Ответвительные секции устанавливаются в местах соединения секций. Ответвительные секции шинопроводов ШМА4 и ШМА5 могут быть без коммутационных аппаратов (с глухим присоединением), с разъединителем с номинальным током 630 А и с автоматическими выключателями с номинальным током 400 А (типов ВА 51-37, ВА 52-37, ВА 55-41) и 630 А (типов ВА 51-39, ВА 52-39, ВА 55-41). Номинальное напряжение применяемых коммутационных аппаратов должно соответствовать номинальному напряжению шинопровода.

При длине ответвления до 3 м оно может быть глухим, т. е. провода или жилы кабеля присоединяются непосредственно к шинам ответвительной секции без защитного аппарата. При прокладке шинопровода в труднодоступных местах (например, на большой высоте) длина глухого ответвления может достигать 30 м. Площадь сечения ответвления должна быть не меньше площади сечения, определяемого расчетным током, и не менее 10 % пропускной способности магистрали (защищенного участка шинопровода), при этом проводники могут прокладываться в стальных трубах, коробах или иметь негорючую оболочку.

При необходимости выполнить ответвления от МШ большой длины без защитного аппарата, например, при присоединении распределительных шинопроводов, в удобном для обслуживания месте устанавливается защитный аппарат, в качестве которого, как правило, применяются ящики с рубильниками, автоматическими выключателями типа ВА или с рубильниками и предохранителями.

На промышленных предприятиях применяются магистральные комплектные шинопроводы типов ШМА4, ШМА5 и др.

МШ переменного тока типа ШМА5 (для пятипроводных сетей) на номинальные токи 1250, 1600, 2500 и 3200 А предназначен для работы внутри производственных помещений в электрических сетях с глухозаземленной нейтралью с нулевыми рабочим (N) и защитным (PE) проводниками. Шинопровод ШМА4 отличается от ШМА5 только тем, что он предназначен для четырехпроводных сетей с одним нулевым проводником PEN . Шинопроводы служат для передачи и распределения электроэнергии как при горизонтальной, так и при вертикальной прокладке. Высота вертикальной прокладки шинопровода не ограничивается. Шинопроводы допускается применять в пожароопасных зонах П-I (при этом допустимый ток составляет 65 % номинального значения) и П-IIа. Они не предназначены для эксплуатации в химически активных средах и взрывоопасных зонах.

Шинопровод ШМА5 представляет собой компактный пакет шин, выполненных из алюминия марки АДЮ, изолированных стеклолакотканью и плотно стянутых швеллерообразными боковинами из алюминиевых листов. Сверху и снизу пакет шин закрыт стальными завальцованными крышками.

Минимальное расстояние между проводниками создает оптимальное распределение плотности тока по сечению шины, снижая ее

активное и индуктивное сопротивления к минимуму по сравнению с другими схемами расположения шин. Боковины используются и как несущая конструкция, и как защитный (*РЕ*) проводник. Степень защиты магистральных шинопроводов ШМА4 и ШМА5 – *IP44*.

МШ присоединяется к цеховому трансформатору через небольшое распределительное устройство по схеме блок трансформатор – магистраль. Главные магистрали прокладывают на высоте не менее 3 м над полом. Прокладка шинопроводов на высоте более 7 м не рекомендуется из-за увеличения длины ответвлений и сложности обслуживания в процессе эксплуатации. Они могут крепиться с помощью стальных стоек (высотой 3505 мм), кронштейнов и подвесов. Максимально допустимое расстояние между точками крепления шинопроводов типа ШМА4 и ШМА5 составляет 6 м.

Трассы шинопроводов целесообразно располагать по стенам и колоннам здания, вдоль нижнего пояса строительных и подстропильных ферм подкрановых балок. В крановых пролетах МШ должен располагаться в мертвой зоне кранов. При наличии кранов рекомендуется располагать главные магистрали на уровне нижнего пояса ферм.

К главным магистралям следует присоединять относительно небольшое число ответвлений, предназначенных для питания лишь крупных потребителей электроэнергии. МШ должен иметь не менее трех присоединений с током нагрузки 250 А и более. Подключение проводников к магистральному шинопроводу выполняется с помощью ответвительных секций.

Магистральные шинопроводы дают возможность эффективно заменить кабельную сеть, так как при больших передаваемых мощностях кабельная канализация становится довольно громоздкой, занимающей в помещении много пространства. Шинопровод примерно на 40 % легче кабельной установки одной и той же пропускной способности (с учетом кабелей и их крепежных конструкций). Они создают меньший уровень электромагнитного излучения (примерно на порядок ниже кабельных линий), имеют высокие уровни электро- и пожаробезопасности, при пожаре служат преградой для огня и не теряют работоспособности в течение определенного периода (огнестойкость составляет примерно 2 ч), обладают большим сроком службы (более 30 лет) и высокой надежностью.

2) *Распределительные шинопроводы (РШ)* применяются в трехфазных электроустановках переменного тока частотой 50 и 60 Гц

при напряжении до 690 В для питания силовых электроприемников относительно небольшой мощности, рассчитаны на номинальный ток 250, 400 и 630 при нестабильном расположении электропотребляющего оборудования. Это позволяет при необходимости быстро перестраивать распределительную сеть без больших материальных и трудовых затрат. Шинопровод ШРА4 на 100 А оснащается ответвительными коробками с защитными аппаратами на 25 А, что ограничивает его применение.

РШ изготавливаются на заводах и поставляют в виде комплекта из прямых участков – секций (длина прямой секции 3 м), снабженных переходными элементами для последовательного соединения ряда секций, устройства ответвлений (ответвительные коробки), а также вводных коробок, присоединяющих шинопроводы к питающей сети.

Распределительный шинопровод представляет собой короб из листовой стали, в котором закреплены на изоляторах неизолированные алюминиевые (медные) шины. Электроприемники подключаются через ответвительные коробки, присоединяемые к шинопроводам через штепсельные разъемы, в которых устанавливается необходимая защитно-коммутационная аппаратура (табл. 3.1). Каждая прямая трехметровая секция имеет восемь штепсельных разъемов для присоединения ответвительных коробок. Шины секций шинопровода соединяют болтами.

Таблица 3.1

Ответвительные коробки шинопроводов ШРА4 и ШРА5

| Тип коробки | Наименование аппарата | Номинальный ток аппарата, А | Номинальный ток шинопровода, А |
|-------------|------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| У2031,У5031 | Предохранитель ПН2-100 | 100 | 250, 400, 630 |
| У2032,У5032 | Разъединитель | 160 | 250, 400, 630 |
| У2033,У5033 | То же | 250 | 400, 630 |
| У5039 | Автомат ВА51-33 | 160 | 250, 400, 630 |
| У5051 | Автомат ВА51-35 | 250 | 400, 630 |
| У2038,У5038 | Автомат АЕ2046 | 40 | 250, 400, 630 |
| У2038,У5038 | Автомат АЕ2056 | 100 | 250, 400, 630 |
| У2180 | Разъединитель | 400 | 400, 630 |

От РШ к электроприемникам проводники прокладываются в трубах, металлорукавах, коробах, на лотках, перфополосах. В шинопроводе обеспечивается повышенная электробезопасность благодаря тому, что доступ к аппаратам в ответвительной коробке возможен только после снятия коробки с шинопровода, т. е. после размыкания штепсельного разъема (рис. 3.3, 3.4).

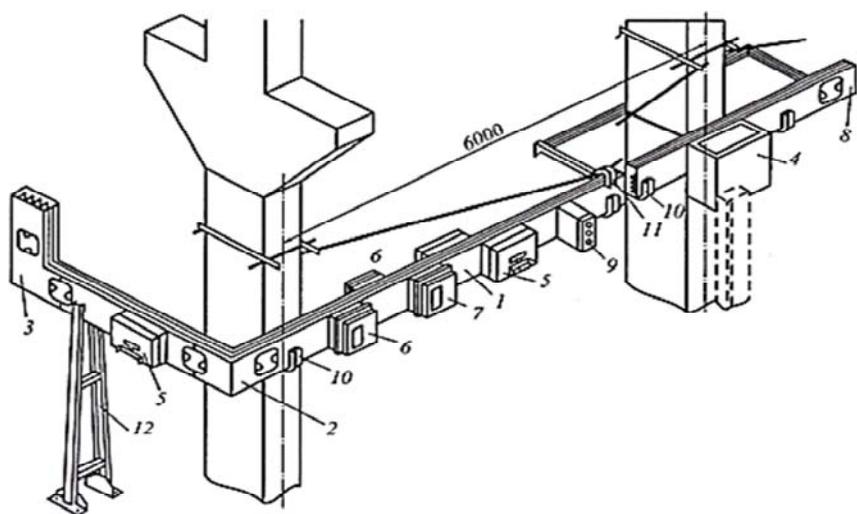


Рис. 3.3. Распределительный шинопровод:

- 1 – прямая секция; 2 – секция с изгибом шин на ребро;
- 3 – секция с изгибом шин на плоскости; 4 – вводная коробка с автоматом;
- 5 – ответвительная коробка с автоматом;
- 6 – ответвительная коробка с предохранителем;
- 7 – ответвительная коробка с пусковым аппаратом;
- 8 – заглушка торцевая; 9 – коробка с указателем наличия напряжения;
- 10–12 конструкция для установки и крепления токопровода

Подвод питания к шинопроводу осуществляется через специальные вводные секции, которые могут устанавливаться как вдоль линии шинопровода, так и на его торцах. Ввод проводов или кабелей во вводную секцию возможен как снизу, так и сверху. Коммутационных аппаратов вводная секция не имеет.

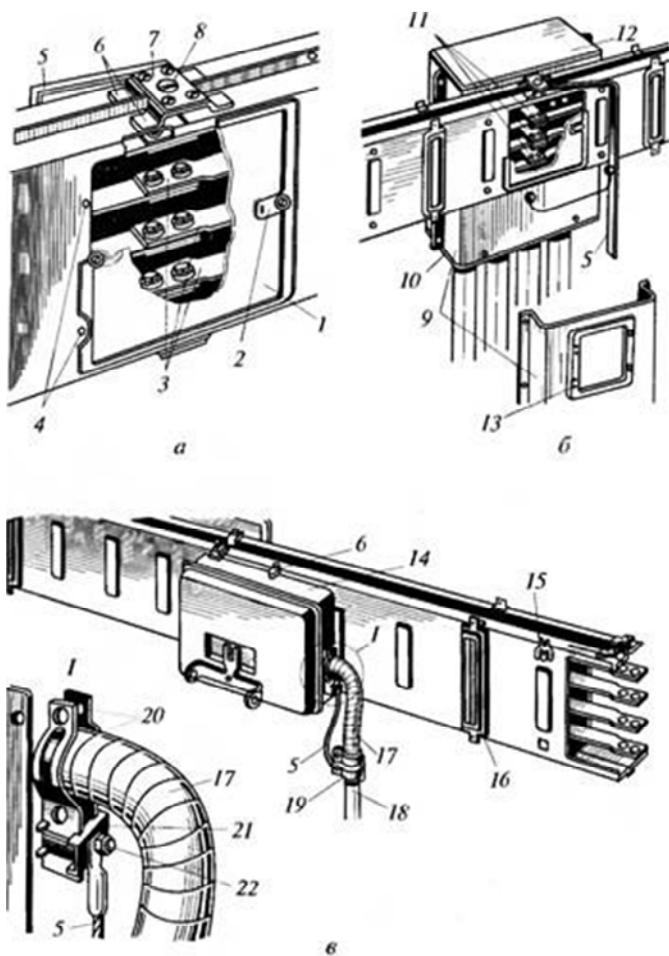


Рис. 3.4. Элементы распределительного шинопровода:

- a* – соединение секций ШРА; *б, в* – вводная и ответвительная коробки;
- 1* – съемная крышка монтажного окна; *2* – прижим; *3* – концы стыкуемых секций;
- 4* – отверстия для крепления корпуса вводной коробки;
- 5* – проводник сети заземления; *6* – лапки; *7* – соединительная планка;
- 8* – отверстие для приварки планки к лапкам; *9* – задняя стенка вводной коробки;
- 10* – съемное дно; *11* – присоединительные элементы вводной коробки;
- 12* – вводная коробка; *13* – отверстие для ввода кабеля сверху;
- 14* – ответвительная коробка; *15* – вилка; *16* – заглушка; *17* – металлорукав;
- 18* – труба; *19* – муфта; *20* – скоба; *21* – швеллерообразный элемент;
- 22* – болт заземления

РШ устанавливаются в непосредственной близости от технологического оборудования на высоте не менее 2,5 м на стойках, кронштейнах и подвесах. В цехах с нормальной средой используются шинопроводы ШРА4 и ШРА5, имеющие степень защиты *IP32*, в помещениях с пыльной средой (в том числе в пожароопасных зонах класса П-П и П-Па) – типа ШРП со степенью защиты *IP54*.

В шинопроводе типа ШРА5 три фазных (*L1*, *L2* и *L3*) и нулевой рабочий (*N*) проводники помещены в защитный металлический кожух, который играет роль нулевого защитного проводника *PE*. Аналогично устроен распределительный шинопровод ШРА4, у которого нулевой проводник *N* соединен с металлическим кожухом и образует совмещенный нулевой проводник *PEN*.

3) *Троллейные шинопроводы* (ТШ) используются для питания передвижных электроприемников (кранов, кран-балок, тельферов и т. п.).

В настоящее время эксплуатируется шинопровод монотроллейный ШМТ-А на токи 250–400 А, который предназначен для выполнения в производственных помещениях или на открытом воздухе (под навесом) троллейных линий, питающих электрооборудование передвижных подъемно-транспортных механизмов: мостовых кранов, кранов подвесных однобалочных, электрических талей, передаточных тележек и т. д.

Конструкция шинопровода позволяет выполнять троллейные линии с любым числом полюсов. Троллейная линия – это участок сети, предназначенный для передачи электроэнергии электроприемникам при помощи скользящих или катящихся токосъемников.

Монотроллейный шинопровод представляет собой профили фигурного сечения из алюминия, заключенные в изоляционную оболочку и закрепленные через клицы на кронштейнах. Продольный паз оболочки обеспечивает доступ контактной щетки токосъемника к контактной поверхности троллея (токоведущего троллея). Передача электроэнергии осуществляется через токосъемники от 40 до 160 А, степень защиты шинопровода ШМТ-А – *IP21* по ГОСТ 14254, степень защиты токосъемников не нормируется. Климатическое исполнение шинопроводов – У2, Т3 по ГОСТ 15150.

Ранее промышленностью выпускались и находятся в эксплуатации в настоящее время ТШ типа ШТМ70 на 200 А, 660 В; ШТМ72 на 400 А, 660 В с медными шинами и ШТА75 на 200 А, 660 В

с алюминиевыми шинами (рис. 3.5). В настоящее время разработаны и широко используются троллейные шинопроводы «Tehnotron», Multiconductor компании Belden.

Так же широко применяются троллейные шинопроводы TR85 итальянской компании Giovenzana Int. B.V.

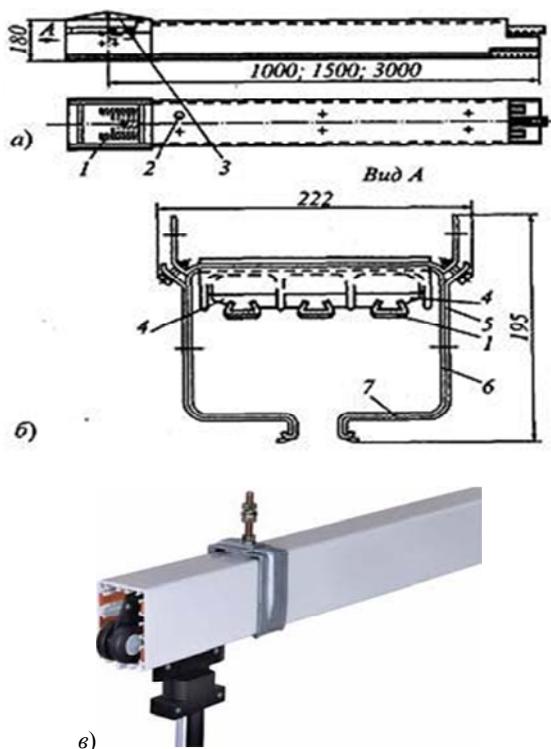


Рис. 3.5. Троллейный шинопровод:

- а* – общий вид; *б* – поперечный разрез; *в* – общий вид с токосъемником;
 1 – троллей; 2 – крепление изолятора; 3 – серьга подвески; 4 – изолятор;
 5 – короб; 6 – корпус соединительной муфты; 7 – уступ короба

4) *Осветительные шинопроводы* применяются для питания световых приборов в обоснованных случаях, вместо осветительных щитков. Например, осветительные шинопроводы серии ШОС67УЗ, Canalis серии КВА и КВВ компании Schneider Electric, предназначены для выполнения в помещениях групповых осветительных се-

тей, а также для питания электрического ручного инструмента и других электроприемников небольшой мощности. Представляют собой закрытый металлический короб, внутри которого расположены четыре изолированных медных проводника. Соединение секций между собой осуществляется штепсельным устройством. Ответвления присоединяются с помощью специального штепсельного с разъема. Они выпускаются на напряжение 400/230 В, номинальный ток – 25, 63 и 100 А. Принципиальное отличие осветительных шинопроводов от распределительных состоит в отсутствии ответвительных коробок с защитно-коммутационными аппаратами. Светильники подвешивают к несущим конструкциям или подключают непосредственно к осветительным шинопроводам через штепсельные окна, в которые вставляют штепсельные вилки с фазным, нулевым рабочим и нулевым защитным проводниками (рис. 3.6).

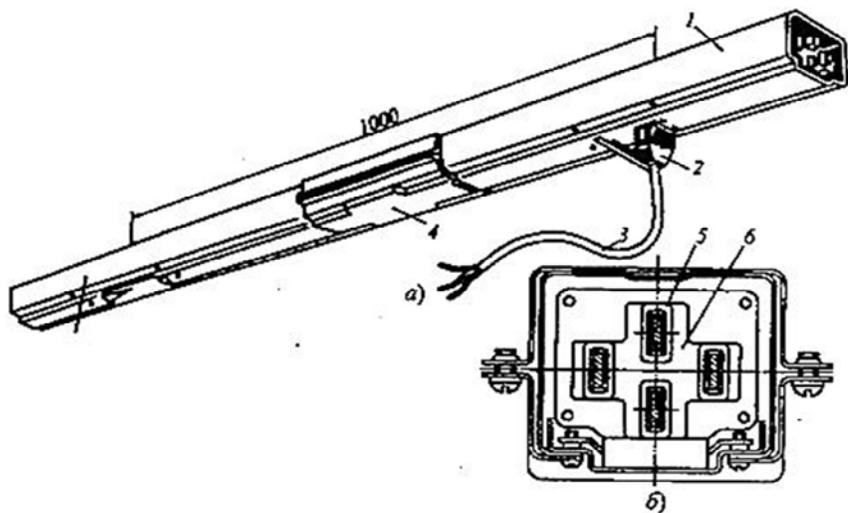


Рис. 3.6. Элементы осветительного шинопровода ШОС:

a – общий вид; *б* – штепсельное соединение секций;

1 – прямая секция; *2* – осветительный штепсель; *3* – провод к светильнику;

4 – соединительная муфта; *5* – гнездо розетки; *6* – изолятор

Современные шинопроводы осветительные серии ШОС (производитель Россия, Самара) – ШОС2, ШОС3, ШОС4, ШОС5 – 25–40 А. Шинопроводы имеют нулевой рабочий проводник *N* (изолиро-

ванный от корпуса) и защитный проводник *PE*, в качестве которого используются алюминиевые корпуса секций, компактную конструкцию и малый вес, благодаря оптимальному расположению проводников внутри алюминиевого кожуха, сохраняя при этом хорошую огнестойкость и безопасность, а также обеспечивают низкое электромагнитное поле, не создающее помех в работе информационных систем.

Шинопровод серии ШОС-АМ включает в себя вводные секции подачи питания; прямые секции размером 3, 1,5 и 0,5 м; гибкие соединения для обхода препятствий и поворотов и отводные штепселя может использоваться в интерьерах с высокими техническими и эстетическими требованиями.

Заводское изготовление частей (секций) шинопроводов способствует применению индустриального монтажа сетей из стандартных секций, количество и конфигурация которых определяются проектом.

Комплектные шинопроводы предназначены для установки только внутри помещений. При необходимости выхода шинопровода за пределы помещения, а также в условиях стесненности трассы, сложных поворотах и переходах через строительные конструкции вместо секций шинопровода целесообразно применять кабельные вставки на соответствующие допустимые токи.

Кабельные линии предназначены для передачи электроэнергии или ее отдельных импульсов и состоят из одной или нескольких параллельных кабелей с соединительными, стопорными и концевыми муфтами и крепежными деталями.

Кабель является наиболее совершенным с точки зрения защищенности от внешней среды и электробезопасности заводским изделием, позволяющим в максимальной степени обеспечить индустриализацию монтажа сетей.

Кабель представляет собой одну или более изолированных алюминиевых или медных жил, заключенных в герметичную оболочку (пластмассовую, резиновую или металлическую), поверх которой могут быть броня и защитные покровы. В электроустановках напряжением до 1 кВ используются силовые кабели с числом токопроводящих жил от одной до пяти. Четырех- и пятижильные кабели выпускаются с жилами одинакового сечения или одна из жил может иметь уменьшенное сечение и использоваться в качестве нулевого проводника. Сечение жилы кабеля имеют круглую, секторную или сегментную форму.

Лучшими оболочками в отношении герметичности и влагонепроницаемое являются металлические (алюминиевые, свинцовые, стальные), применяемые для влагоемкой (бумажной) изоляции. Однако использование в сетях напряжением до 1 кВ кабелей с металлическими оболочками (например, марок АСБ, СБ, ААБ, ААШвУ, АПвБШв и т. п.) приводит к удорожанию СЭС и усложнению ее эксплуатации.

Кабели с невлагоемкой изоляцией (пластмассовой или резиновой) не нуждаются в металлической оболочке. В связи с этим такие кабели изготавливаются в пластмассовой или резиновой оболочке (например, АВВГ, АНРГ, АПВГ и т. п.), что снижает их стоимость, упрощает монтаж и эксплуатацию электрических сетей.

В электрических сетях напряжением до 1 кВ в большинстве случаев применяются кабели с полимерной (из поливинилхлоридного пластиката, полиэтилена, сшитого полиэтилена и т. д.) или резиновой изоляцией.

При прокладке в земле рекомендуется использовать кабели, имеющие ленточную или проволочную броню, защищающие оболочку и токопроводящие жилы от механических повреждений. Бронированные кабели можно прокладывать во взрывоопасных зонах.

Марка кабеля состоит из последовательно расположенных букв, обозначающих материал жилы, изоляции, а также тип защитного покрова поверх металлической, резиновой и пластмассовой оболочки.

Обычная бумажная изоляция жил, пропитанная маслосиликоновым составом, в марке кабеля не обозначается. Наиболее распространенными марками кабелей, применяющихся в электрических сетях напряжением до 1 кВ, являются:

– АВВГ – с алюминиевыми жилами, с изоляцией из поливинилхлоридного пластиката, в оболочке из ПВХ пластиката, без защитного покрова поверх оболочки (голый);

– ВВГ – то же, но с медными жилами;

– АВБбШв – с алюминиевыми жилами, с изоляцией из ПВХ пластиката, имеется броня из двух оцинкованных стальных лент без подушки, наложенных так, что верхняя лента перекрывает зазоры между витками нижней ленты, и защитный шланг, выпрессованный из ПВХ пластиката;

– АПвБбШв – с алюминиевыми жилами, с изоляцией из сшитого полиэтилена, имеется броня из двух оцинкованных стальных лент без подушки и защитный шланг, выпрессованный из ПВХ пластиката;

- КГ – кабель гибкий с медными жилами с резиновой изоляцией. Внутри зданий кабели могут прокладываться:
- открыто (по конструкциям зданий, технологическим эстакадам);
- скрыто (внутри конструкций, в траншеях);
- в кабельных сооружениях (в каналах, туннелях, блоках, на галереях и эстакадах).

По территории предприятия рекомендуется прокладывать кабели открыто на эстакадах, по наружным стенам зданий и сооружений, если указанные способы не возможны, то кабельные линии в земле.

Помимо силовых кабелей в цехах промышленных предприятий широко используются контрольные, телефонные и другие специальные кабели.

При малых токах (при питании мелких потребителей) во многих случаях эффективнее использовать вместо кабелей электропроводки.

Электропроводка – это совокупность изолированных проводов и кабелей с относящимися к ним креплениями, поддерживающими и защитными конструкциями и деталями. В электропроводках применяются изолированные провода всех сечений, а также небронированные силовые кабели с резиновой или пластмассовой изоляцией, в любой оболочке с площадью сечения фазных жил до 16 мм².

Электропроводки подразделяются на открытые и скрытые. Открытая электропроводка прокладывается по поверхности стен и потолков, по фермам и другим строительным элементам зданий и сооружений, на опорах и т. п. При скрытой прокладке проводники и элементы электропроводки находятся внутри конструктивных элементов зданий и сооружений.

Электропроводки выполняются изолированными проводами (АПР, АПВ, АПРВ, АПРТО, АРТ). Они широко применяются внутри зданий и сооружений как для выполнения силовых и осветительных сетей, так и для цепей вторичной коммутации, защиты и управления. Изолированный провод – это одна или более одной изолированных жил, поверх которых могут быть оболочка и защитные покровы. Изолированные провода, используемые в электропроводках, называются установочными.

На рис. 3.7 показаны варианты открытой электропроводки на лотках, на рис. 3.8 – в коробах.

Лотком называется открытая конструкция, предназначенная для прокладки на ней защищенных изолированных проводов и кабелей.

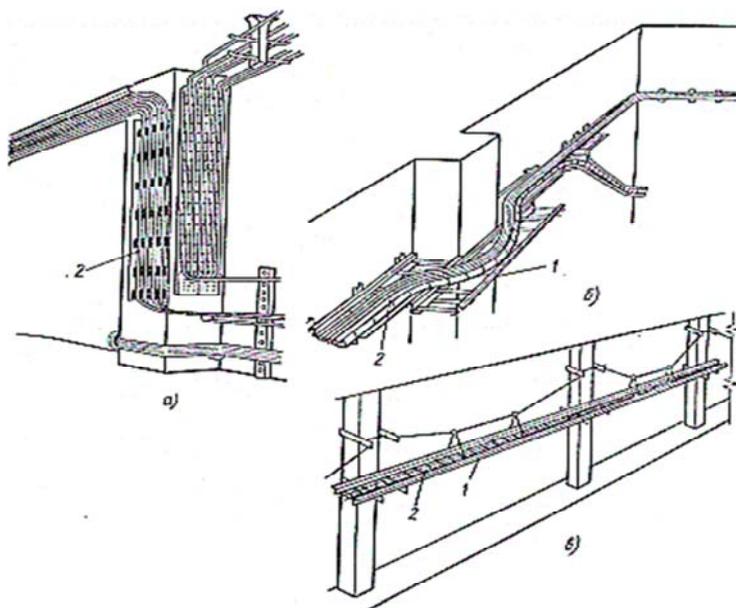


Рис. 3.7. Выполнение открытой электропроводки на лотках:
a – по колоннам; *б* – вдоль стен; *в* – подвеска на тросах;
 1 – лоток; 2 – электропроводка

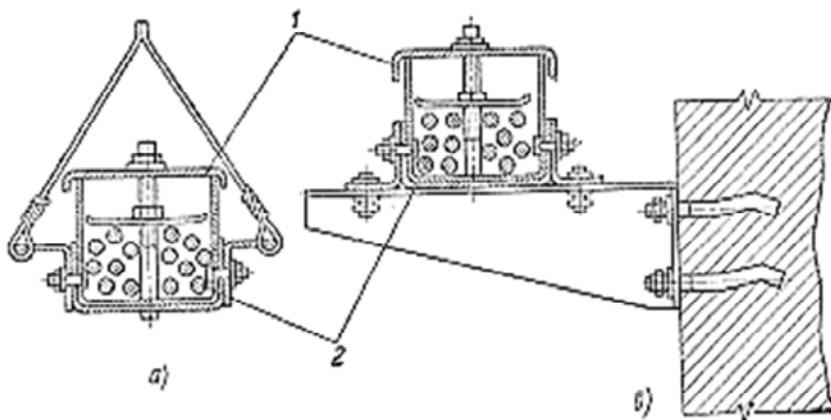


Рис. 3.8. Выполнение открытой электропроводки в коробах:
a – на тросах; *б* – на кронштейнах;
 1 – короб; 2 – электропроводка

Коробом называется полая конструкция прямоугольного или другого сечения, предназначенная для прокладки в ней изолированных проводов и кабелей.

Электропроводки в коробах в отличие от электропроводок в лотках защищают провода и кабели от загрязнений. Короба изготавливают в виде П-образных профилей с перегородками секциями длиной 3 м. В коробах есть планки для крепления уложенных в них проводов и кабелей. Число проводов, прокладываемых в одном коробе, не должно быть более 12.

Решающее влияние на выбор способа выполнения электропроводки оказывают условия окружающей среды и степень возгораемости строительных материалов и конструкций. Незащищенные изолированные провода могут прокладываться только тремя способами: на изоляторах, в трубах и коробах. Реже в цехах промышленных предприятий применяется прокладка на роликах и изоляторах.

Скрытая электропроводка применяется в конструктивных элементах зданий, в стенах, полах и перекрытиях, в фундаментах оборудования и т. п. и может быть выполнена в трубах, в каналах, образованных в толщине бетона, и закладывается в строительные элементы зданий и трубы. Если предусмотрена электропроводка в трубах, то во всех случаях, где это допустимо, следует вместо металлических труб применять пластмассовые трубы. Металлические трубы следует использовать во взрывоопасных помещениях и в помещениях с коррозионной-активной средой.

В электрических сетях напряжением до 1 кВ широко используются **распределительные пункты**, которые представляют собой электротехнические устройства, состоящие из полностью или частично закрытых шкафов или блоков со встроенными в них аппаратами, устройствами защиты и автоматики. В сетях напряжением до 1 кВ применяются распределительные щиты, панели, силовые пункты, ящики, осветительные щитки и др.

Если требуется большее число присоединений и большая распределяемая мощность, то используются более громоздкие и более дорогие распределительные щиты, которые комплектуются из отдельных панелей (вводных, секционных, торцевых и др.). Устанавливают их на трансформаторных подстанциях, в машинных залах и на электростанциях. Щиты изготавливают из панелей, устанавливаемых в специальных электротехнических помещениях, в открытом

и закрытом исполнении. Щиты закрытого исполнения располагаются в цехах промышленных предприятий.

В силовых электрических сетях распределительные пункты с небольшим количеством присоединений часто называют силовыми пунктами (шкафами). Эти пункты являются границей между силовыми питающими и силовыми распределительными сетями и выполняют две функции: распределение электроэнергии и защита линий силовых распределительных сетей. В зависимости от используемых защитных аппаратов различают два вида силовых пунктов.

Первый тип – силовые пункты с плавкими предохранителями, например, типа ШР-11 (рис. 3.9). Шкафы представляют собой металлический корпус с дверью, внутри которого установлена съемная сборка, представляющая собой раму с вводным рубильником, и предохранителями отходящих линий. Эти силовые пункты отличаются небольшой стоимостью и, естественно, некоторыми неудобствами в эксплуатации, возникающими при замене сгоревших предохранителей. Имеют 5–8 трехполюсных групп предохранителей серии ПН-2 или ППН на номинальные токи 100, 160, 250 и 400 А и вводной рубильник, с помощью которого отключается напряжение при работе какого-либо электроприемника, или при замене предохранителей требуется отключение всего силового пункта вводным рубильником.

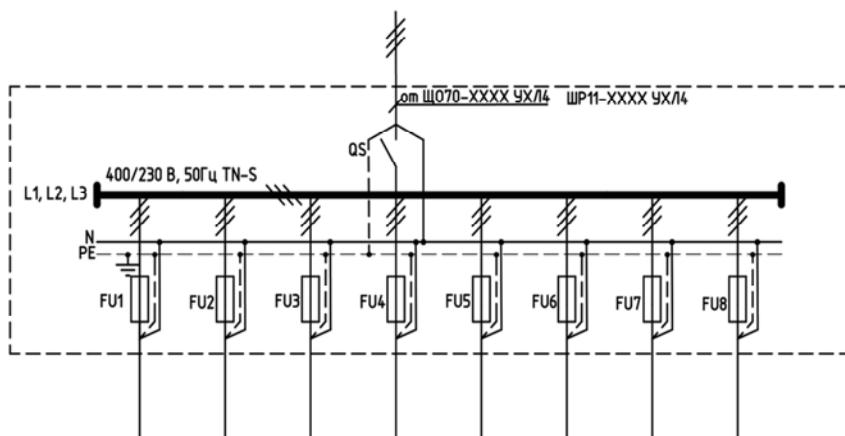


Рис. 3.9. Электрическая схема силового шкафа типа ШР

Второй тип – силовые пункты с автоматами, например, серий ПР8500, ПР8700, ПР11 (рис. 3.10) с автоматами типа ВА, АЕ. Эти силовые пункты, естественно, дороже, но отличаются большим удобством в эксплуатации, имеют от четырех до двенадцати трехполюсных автоматов для отходящих линий и, если необходимо, вводной автомат. Для восстановления питания по какой-либо отходящей линии после устранения неисправности в ней достаточно включить соответствующий автомат. При этом не нужно как в первом случае отключать весь силовой пункт.

В осветительных сетях производственных и административных зданий в качестве пунктов разветвления используются щитки осветительные типа ОЩВ, ЩОА, оснащаемые трехполюсными и однополюсными автоматами. Щитки осветительные с аппаратами защиты предназначены для распределения электрической энергии трехфазного тока переменного напряжения 400/230 В, защиты от перегрузок и токов короткого замыкания в групповых сетях и для нечастых включений и отключений электрических цепей.

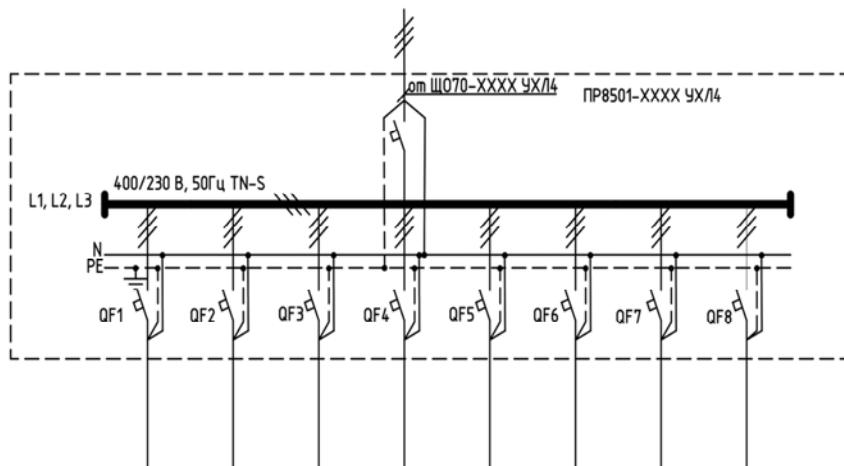


Рис. 3.10. Электрическая схема силового пункта типа ПР

Силовые пункты, содержащие лишь один аппарат и служащие для коммутации и защиты одной трехфазной линии напряжением 400/230 В, называются силовыми ящиками, например, ЯС, ШС, ЯУ,

ЯРП, ЯВЗ. Они могут оснащаться рубильником, блоком рубильник-предохранитель либо автоматом.

Выбор вида электрической сети напряжением до 1 кВ зависит от размещения оборудования по площади цеха, требований по бесперебойности электроснабжения, условий окружающей среды, вероятности изменения технологического процесса, вызывающего замену оборудования, размещения цеховых ТП.

Распределительная сеть в цехах промышленных предприятий с нормальной средой может быть выполнена в виде модульной электропроводки. Такую проводку целесообразно применять в помещениях, где электроприемники располагаются по всей площади, а также где часто производится смена или перемещение технологического оборудования.

Модульная сеть представляет собой проложенные под полом магистрали с утопленными в пол распределительными коробками, предназначенными для подключения электроприемников и расположенными с определенным шагом (модулем) между ними.

Модульные коробки целесообразно располагать вдоль магистралей через 2 м для малогабаритного и через 3 м для крупного технологического оборудования. Модульные магистрали, как правило, выполняются проводами с алюминиевыми жилами сечением от 16 до 35 мм², проложенными в виниловых или стальных тонкостенных трубах. Расстояние между магистралями рекомендуется принимать 3 м, а от стены (или оси колонн) до магистрали – 1,5 м.

Модульные сети более сложны в эксплуатации, так как требуют постоянного ухода и наблюдения. Поэтому применение модульных сетей в проектах должно обосновываться.

Каждый вид прокладки электрической сети имеет свою предпочтительную область применения.

3.2. Порядок выполнения лабораторной работы

1. Изучить теоретические материалы по лабораторной работе.
2. Ознакомиться с конструкциями шинопроводов, имеющимися в лаборатории.
3. Ознакомиться с конструкциями кабелей и их расшифровкой, имеющимися в лаборатории.

4. Построить схему электроснабжения для потребителей электроэнергии, которые задаются преподавателем.

3.3. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Описание конструкции шинопроводов.
3. Описание конструкции кабеля и расшифровка его буквенно-цифрового значения. Кабель задается преподавателем.
4. Схема электроснабжения для потребителя электроэнергии.
5. Вывод.

3.4. Контрольные вопросы

1. Какие схемы электроснабжения напряжением до 1 кВ применяются на промышленных предприятиях?
2. Основные особенности радиальных схем электрических сетей в отличие от магистральных (привести рисунок).
3. Шинопроводы и область их применения.
4. Назначение кабельных линий и их конструкция.
5. Какие кабели используются для электрической сети напряжением до 1 кВ?
6. Назначение электропроводки и способы ее прокладки.
7. Что такое электропроводка? Виды электропроводок.

Лабораторная работа № 4

КОМПЛЕКТНЫЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 кВ

Цель работы: изучить основные виды распределительных устройств напряжением до 1 кВ по функциональному назначению, конструктивному исполнению и другим признакам.

4.1. Краткие теоретические сведения

В электрических сетях напряжением до 1 кВ широко используются комплектные распределительные устройства (РУ), которые представляют собой электротехнические устройства со встроенными в них аппаратами, устройствами защиты и автоматики, измерительными и вспомогательными устройствами.

Основными видами комплектных распределительных устройств на напряжении до 1 кВ являются распределительные щиты, панели, силовые пункты, шкафы управления, ящики и осветительные щиты.

Шкаф – это устройство, закрытое со всех сторон, т. е. представляет собой металлический корпус с дверью, внутри которого на изоляторах установлена съемная сборка, представляющая собой раму с коммутационными и защитными аппаратами. Шкафы бывают напольными и навесными, одностороннего или двухстороннего обслуживания.

На рис. 4.1 показан шкаф распределительный одностороннего обслуживания, конструкция которого предусматривает установку его на фундамент.



Рис. 4.1. Общий вид распределительного шкафа (с предохранителями)

Щит – устройство, состоящее из одной или нескольких панелей и, как правило, напольной установки переднего или заднего обслуживания. Щиты бывают как открытого, так и закрытого (шкафного) исполнения.

На рис. 4.2 показан распределительный щит с тремя панелями.



Рис. 4.2. Общий вид распределительного щита типа ЩО (П)

Панель – устройство для комплектования распределительных щитов. Представляет собой металлическую конструкцию, внутри которой размещаются коммутационные аппараты, электроизмерительные приборы и сборные шины.

На рис. 4.3 показана линейная панель распределительного щита.



Рис. 4.3. Общий вид панели распределительного щита (с автоматами)

Низковольтные комплектные распределительные устройства подразделяются:

- по конструктивному исполнению и размерам – щиты (собираемые из панелей или шкафов), шкафы, щитки, ящики;
- по способу установки коммутационных аппаратов – с выкатными аппаратами, со стационарной установкой аппаратов;
- по типам аппаратов на отходящих линиях – с предохранителями, автоматами, блоками предохранитель-выключатель и др.;
- по схемам электрических соединений – с вводными или без вводных аппаратов;
- для пяти-, четырех-, трех– или двухпроводных отходящих линий;
- с четырех-, трех-, двух– и однополюсными аппаратами;
- по способу установки – напольные, навесные, утопленные (для установки в нишах);
- по степени защиты от воздействия окружающей среды – открытые, защищенные, защищенные с уплотнением и др.;
- по характеру питаемых электроприемников – силовые, осветительные.

Кроме того, РУ могут классифицироваться в зависимости от выполняемых функций и места в схеме внутрицехового электроснабжения промышленных предприятий, в схеме электроснабжения жилых, общественных, административных зданий сооружений и т. д.

Рассмотрим краткую характеристику соответствующих основных серий комплектных распределительных устройств напряжением до 1 кВ, классифицированных по вышеуказанным принципам. Порядок рассмотрения соответствует РУ на рис. 4.4, отражающем место отдельных видов РУ в 3-х вариантах схем внутрицехового распределения электроэнергии:

- в цехе № 1 – питание от РУ низшего напряжения цеховой ТП;
- в цехе № 2 – от магистрального шинпровода (поз. 10 на рис. 4.4) по схеме «блок – трансформатор – магистраль»;
- в цехе № 3 – питание цеха осуществляется на напряжении до 1 кВ от подстанции соседнего цеха.

Поз. 1 на рис. 4.4 – РУ вторичного напряжения цеховой комплектной ТП 6–10/0,4–0,69 кВ (РУ НН КТП) выполняется, как правило, в виде распределительного щита (РЩ) и состоит из набора металлических шкафов, установленных в ряд и соединенных общими сборными шинами.

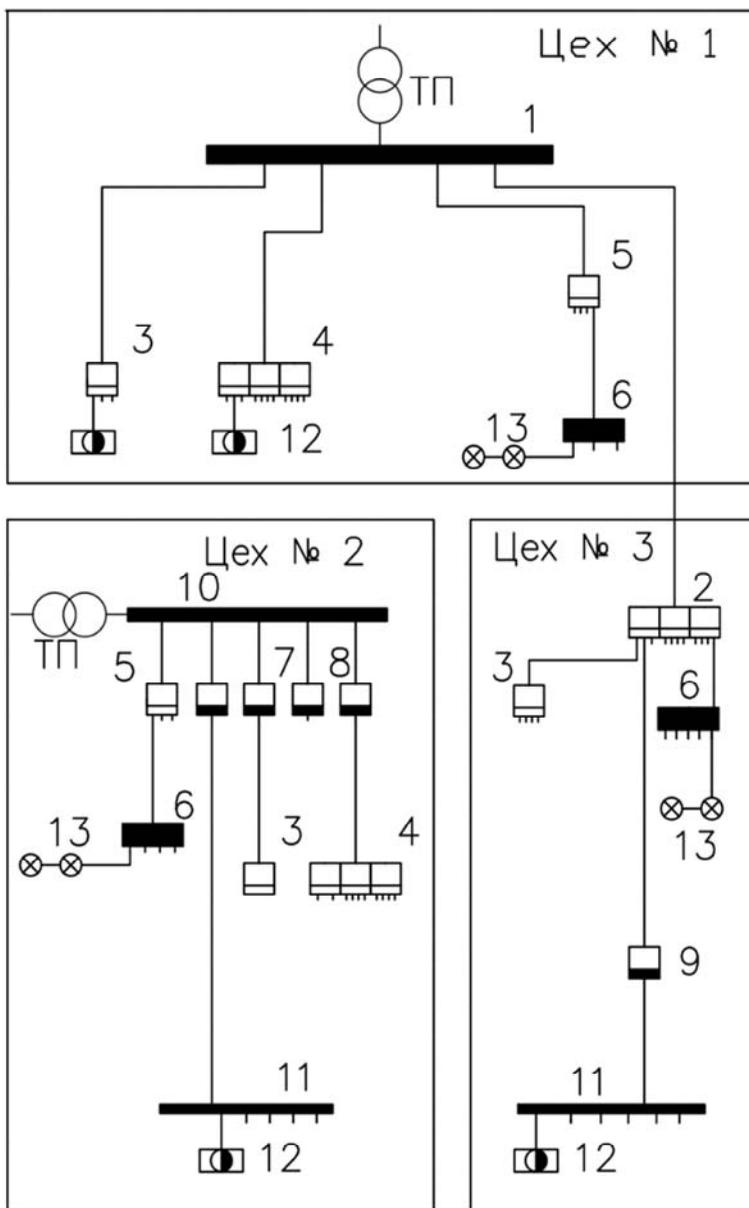


Рис. 4.4. Пример функциональной схемы внутрицехового распределения электроэнергии напряжением до 1 кВ

В качестве коммутационных и защитных аппаратов в РУ второго напряжения КТП используются автоматические выключатели выдвижного исполнения, которые расположены в закрытых шкафах. Управление автоматическими выключателями производится с помощью ручек или ключей, установленных на дверцах шкафов. Использование выдвижных автоматических выключателей, располагаемых в отдельных ячейках шкафа, обеспечивает удобное и безопасное обслуживание каждого выключателя без нарушения работы остальных присоединений и возможность быстрой его замены.

Панель, с помощью которой осуществляется ввод напряжения на сборные шины РУ, называется вводной (соответственно, шкаф – вводным). Панели (шкафы), к которым присоединяются отходящие линии, получили название линейных. Кроме того, в состав РУ НН КТП могут входить панели или шкафы секционные (для секционирования сборных шин при наличии двух вводов), с аппаратурой автоматического включения резерва (АВР) и др. Помимо коммутационно-защитных аппаратов РУ НН КТП комплектуется измерительными приборами (амперметрами, вольтметрами, а в случае необходимости – и счетчиками).

Комплектация РУ НН КТП берется, как правило, из технической документации завода изготовителя. В табл. 4.1 и 4.2 показан пример структуры условного обозначения шкафа и их схемы (см. каталог МТЭЗ им. В. И. Козлова).

Таблица 4.1

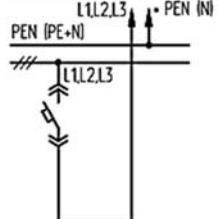
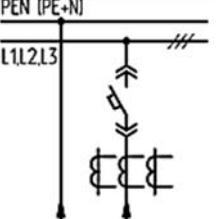
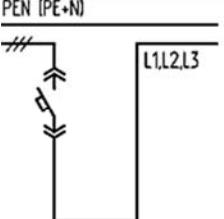
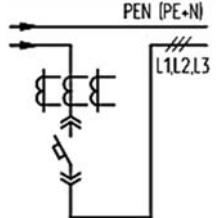
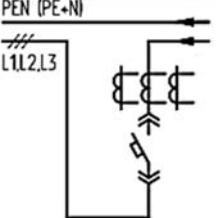
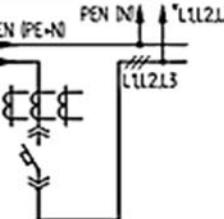
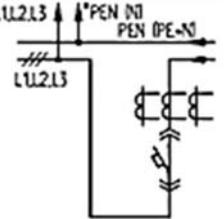
Обозначение вводных и секционных низковольтных шкафов модульной конструкции

| Х | Ш | Н | Х | Х | ХХ |
|------------------------------------|----------------------|--------------------|---|-------------------------------|-------------------------------------|
| Мощность подстанции, кВ·А | Наименование изделия | Тип напряжения | Тип устанавливаемого выключателя | Материал фазных и нулевых шин | Тип схемы |
| 160–400; 630–1000; 1250–1600 | Шкаф | Низкого напряжения | Masterpact ВА (в стадии проектирования) | М – медь, А – алюминий | 11; 12; 13; 14; 15; 18; 19 |

Пример обозначения: шкаф вводной низкого напряжения, мощность подстанции – 400 кВ·А, тип выключателя – Masterpact, номер схемы – 14, исполнение медными шинами: 1ШНММ-14.

Таблица 4.2

Номер схем вводных и секционных шкафов

| 11 | 12 | 13 |
|--|--|---|
| Шкаф секционного выключателя при двухрядной компоновке КТП | Шкаф выключателя резервного ввода на секцию (кабельный ввод снизу или сверху на секцию от ДЭС и т. д.) | Шкаф секционного выключателя при однорядной компоновке КТП |
|  |  |  |
| 14 | 15 | |
| Шкаф выключателя рабочего ввода на секцию от тр-ра (левый) | Шкаф выключателя рабочего ввода на секцию от тр-ра (правый) | |
|  |  | |
| 18 | 19 | |
| Шкафы выключателя рабочего ввода на секцию от тр-ра (левый), с вводом от ШМА к выключателю | Шкафы выключателя рабочего ввода на секцию от тр-ра (правый), с вводом от ШМА после выключателя | |
|  |  | |

На рис. 4.5 показаны шкафы ввода и распределения двухстороннего обслуживания распределительного устройства низкого напряжения, которые являются составной частью комплектных трансформаторных подстанций промышленного исполнения.



Рис. 4.5. Распределительные устройства низкого напряжения КТП

Поз. 2 – Главный распределительный щит (ГРЩ) цеха (см. цех 3 на рис. 4.4), который служит для приема и распределения электроэнергии в цеху (здании и т. п.), как правило, выполняется в виде РУ, собранного из типовых панелей ЩО 70 со стационарной установкой аппаратов, панелями модифицированного исполнения серии ПХХМ или шкафами вводно-распределительного устройства (ВРУ).

Панели распределительных щитов ЩО 70 предназначены для комплектования распределительных устройств (щитов) напряжением 400/230 В переменного тока частотой 50 Гц с глухозаземленной или изолированной нейтралью и служат для приема, распределения электрической энергии и защиты от перегрузок и токов короткого замыкания.

Структура условного обозначения:

ЩО 70 – X – XX УЗ

1 2 3 4 5

- 1) панель распределительного щита одностороннего обслуживания;
- 2) модификация;

- 3) индекс разработки;
- 4) условный номер схемы;
- 5) вид климатического исполнения по ГОСТ 15150.

Например, линейная панель ЩО 70 – 3 – 01, которая комплектуется рубильниками с предохранителями (100×2 + 250×2).

По назначению панели ЩО 70 подразделяются на линейные, вводные, секционные, вводно-секционные, панели АВР, торцевые.

Эти панели комплектуются рубильниками с предохранителями, автоматами с последовательно включенными с ними разъединителями, предохранителями-выключателями, трансформаторами тока, измерительными приборами. Ввод от питающей сети во вводной панели осуществляется шинами сверху или кабельными линиями снизу. В нижней части корпуса установлена нулевая и защитная шины для подсоединения нулевых и защитных проводников к потребителям. При установке панелей в электропомещениях, как правило, принимается открытое исполнение (сверху и сзади), вне электропомещений – защищенное исполнение.

В настоящее время получили широкое применение **модульные распределительные устройства**, позволяющие создавать компактные распределительные щиты любой конфигурации стационарного, выдвижного и разъемного исполнения на номинальные токи до 6300 А. В качестве защитных аппаратов в модульных распределительных системах на рейках могут устанавливаться автоматические выключатели и предохранители.

Панели распределительные серии ПХХМ (модифицированного исполнения) напряжением 0,4 кВ предназначены для приема и распределения электроэнергии в цепях трехфазного переменного тока напряжением 400/230 В, частотой 50 Гц. Панели составляют щиты, устанавливаемые в помещении. Обслуживание одностороннее.

Щиты, состоящие из панелей серии ПХХМ, могут применяться в качестве главного распределительного щита на объектах различных отраслей народного хозяйства, так же как низковольтное распределительное устройство в составе ТП или КТП на напряжении 6–10/0,4 кВ.

Панели серии ПХХМ представляют собой конструкцию из листогнутых профилей с установленными в них коммутационными защитными аппаратами и электроизмерительными приборами.

Панели подразделяются на вводные, линейные, секционные и торцевые.

Все автоматические выключатели, устанавливаемые в панелях, имеют переднее присоединение. **Выключатели серии ВА выдвигного исполнения в панелях не применяются.**

На рис. 4.6 показана вводная панель, в которой устанавливаются коммутационные и защитные аппараты, трансформаторы тока, приборы измерения. Панели разделены на функциональные отсеки: аппаратный, для сборных шин, для релейной защиты кабельных присоединений. В панелях установлены выключатели выдвигного исполнения (Masterpact NW, NT, Compact NS) или стационарного (ВА) в связке с выключателем нагрузки (Interpact).

Аппаратура вторичных цепей располагается на стационарных или поворотных блоках в нижней части панелей.

Шинный ввод осуществляется сверху или сзади. Кабельный – сверху, снизу и сзади.

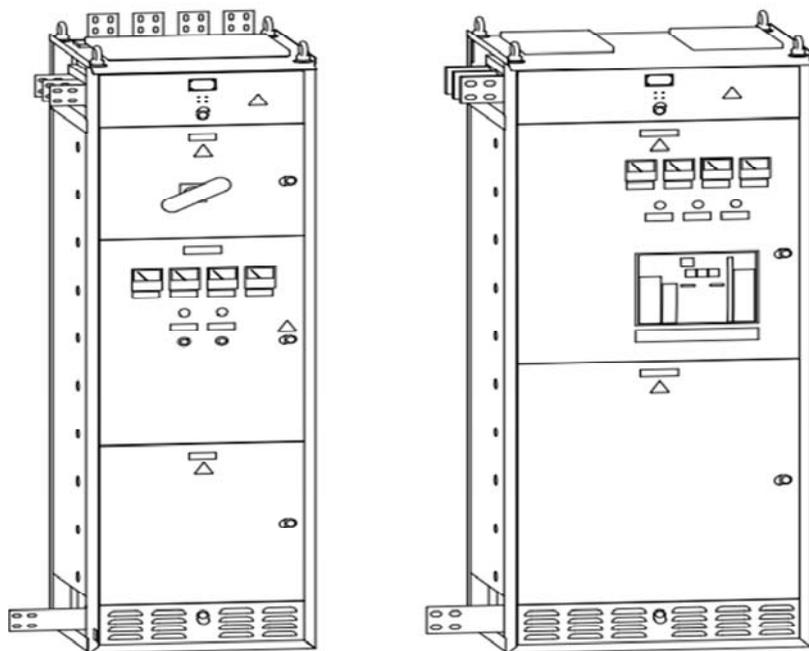


Рис. 4.6. Общий вид вводной панели

На рис. 4.7 показана линейная панель, которая комплектуется выключателями втычного исполнения (CompactNSX) или стационарного (ВА) в связке с выключателем нагрузки (Interpact). Панели могут комплектоваться блоками рубильник – предохранитель реечного типа. Автоматический выключатель располагается в отдельном отсеке. Присоединения к сборным шинам отделены съемными перегородками. Все присоединения к отходящим линиям с автоматическими выключателями осуществляются в специально выделенном кабельном отсеке. В панелях с предохранителями и разъединителями – кабели присоединены снизу.

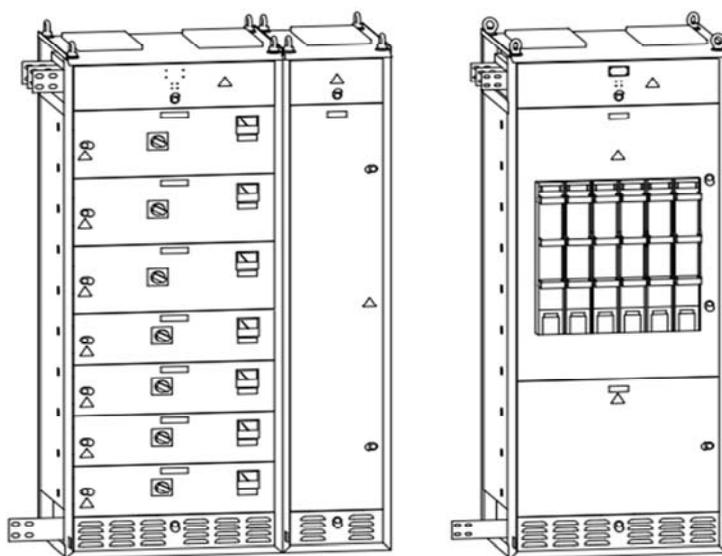


Рис. 4.7. Общий вид линейной панели

Панели шинные применяются для организации шинных мостов, торцевые – для закрытия распределительного щита с торца.

На рис. 4.8 показана секционная панель, в которой в качестве аппарата могут использоваться выключатели нагрузки (Interpact), автоматический выключатель выдвижного исполнения (Masterpact NW, NT, Compact NS) или стационарного (ВА) в связке с двумя выключателями нагрузки (Interpact). По заказу может предусматриваться установка в панели блока АВР.

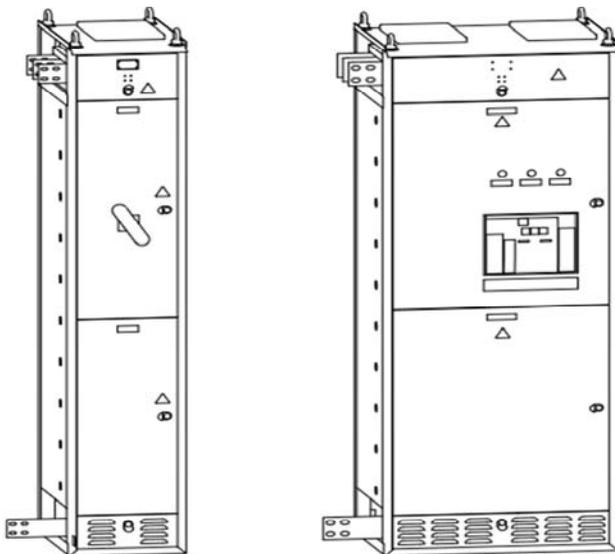


Рис. 4.8. Общий вид секционной панели

Назначением вводно-распределительного устройства (ВРУ) является прием, распределение и учет электроэнергии напряжением 400/230 В трехфазного переменного тока частотой 50 Гц в сетях с глухозаземленной нейтралью, защита линий от перегрузок и коротких замыканий, а также для нечастых (до 6 включений в час) оперативных включений и отключений электрических сетей. Устройства ВРУ применяются для распределения электроэнергии на промышленных предприятиях и в общественных, административных, бытовых и других типах зданиях и сооружениях.

Классификация ВРУ по назначению:

- вводные ВА с автоматическим выключателем;
- вводные ВР с рубильником;
- вводные ВП с переключателем;
- распределительные с автоматическим выключателем на отходящих линиях;
- распределительные с автоматикой управления освещением лестнично-лифтового узла и коридоров;
- распределительные с отделением учета;
- распределительные со станциями управления «АВР».

Вводно-распределительное устройство ВРУ представляет собой ящик(и) бескаркасной конструкции или шкаф(ы) каркасной конструкции. На каркасах устанавливаются двери и панели, далее они могут соединяться в ряд. Панели представляют собой сварные металлоконструкции, выполненные из гнутых стальных профилей, внутри панелей размещается аппаратура для главных и вспомогательных электрических цепей. Монтажные распределительные панели служат для установки комплектов коммутационной аппаратуры, которая устанавливается строго в соответствии со схемой заказчика. Коммутационный аппарат выполняет функцию базы, на которой формируется функциональный блок. Состав функционального блока – плата монтажа (на которой и монтируется аппарат) и передней панели (служит для блокирования доступа к элементам, находящимся под напряжением). По способу установки шкафы изготавливаются двух видов: напольные и навесные. Эти особенности обеспечивают возможность ввода и вывода отходящих и питающих электрических линий снизу и сверху. Вводно-распределительные устройства изготавливаются на ток от 16 А до 630 А.

Конструкция ВРУ дает возможность иметь один или два основных ввода, а также дополнительный ввод от дизель-генератора.

Конструктивно: **вводная** панель ВРУ **исключает** применение шкафов **учета электроэнергии** совместно с вводной панелью. Вводный отсек конструктивно отделен от отсека учета электроэнергии, который разделяется на две части:

- отсек счетчика электроэнергии, дверь которого пломбируется;
- отсек в котором смонтированы шесть трансформаторов тока (три из них предназначены для подключения счетчика электроэнергии, остальные – для подключения контрольно-измерительных приборов (амперметров, вольтметров), оборудованный прозрачной пломбируемой панелью.

Структура условного обозначения:

ВРУ – X (IPXX) (В×Ш×Г)

1 2 3 4 5 6

- 1) вводно-распределительное устройство;
- 2) количество дверей;
- 3) степень защиты *IP*;
- 4) высота корпуса;
- 5) ширина корпуса;

б) глубина корпуса.

Например, на рис. 4.9 показано вводно-распределительное устройство ВРУ-1 – 22 – 53 УХЛ4, в котором аппараты учета размещаются в отдельном отсеке и закрываются индивидуальной дверью.



Рис. 4.9. Общий вид вводно-распределительного устройства

Распределительные пункты с небольшим количеством присоединений называют **силовыми пунктами (СП)** (поз. 3, рис. 4.4), которые выполнены, как правило, в виде шкафов. Они служат для распределения электроэнергии между силовыми электроприемниками и защиты линий распределительных сетей от сверхтоков. Наиболее широко применяются распределительные **шкафы с трехфазными группами плавких предохранителей** серии ПН2 и ППН, для защиты отходящих линий с рубильниками или рубильниками и предохранителями на вводе. Основная серия таких шкафов – ШР 11. Они рассчитаны на 5–8 присоединений, исполнение напольное.

Структура условного обозначения:

ШР 11 – 73 X XX – XX X

1 2 3 4 5 6 7

- 1) шкаф распределительный силовой;
- 2) условный номер разработки;
- 3) вид установки – напольное исполнение, ввод проводников в любой комбинации;
- 4) ширина шкафа (5–600 мм, 7–500 мм);
- 5) номер схемы шкафа;
- 6) степень защиты по ГОСТ 14255-96;
- 7) обозначение климатического исполнения и категории размещения по ГОСТ 15543-70.

Например, ШР11 – 73517 – 22У3 с одним рубильником на вводе и 8 отходящих линий с предохранителями (6×100 + 2×250).

В табл. 4.3 показаны некоторые шкафы распределительные серии ШР11.

Таблица 4.3

Шкафы распределительные серии ШР11

| Тип шкафа | Номинальный ток вводного рубильника, А | Тип и количество групп предохранителей на отходящих линиях | |
|------------|--|--|-------------------|
| | | ППН – 33 160 А | ППН – 35 250 А |
| ШР11-73504 | 400 | – | |
| ШР11-73505 | 400 | 8 | - |
| ШР11-73506 | 400 | - | 8 |
| ШР11-73511 | 400 | 6 | 2 |
| ШР11-73513 | 400 | 8 | - |

При повышенных требованиях к надежности электроснабжения в качестве СП используются **пункты распределительные с автоматами** (основные серии пунктов – ПР8500, ПР8700 и т. д.), которые выпускаются в напольном исполнении в виде шкафа, а также в виде щитков (для освещения) – навесное и утопленное исполнение. Указанные распределительные пункты выполняются с вводными трехполюсными автоматами и без вводного автомата. Автоматы отходящих линий – трехполюсные и (или) однополюсные.

Структура условного обозначения:

ПР 85XX-XXXX-X-XX

1 2 3 4 5 6 7 8

1) ПР – шкаф (пункт) распределительный;

2) 8 – класс низковольтного комплектного устройства – ввода и распределения электроэнергии;

3) группа класса 5 – распределение электроэнергии с применением автоматических выключателей переменного тока;

4) порядковый номер в серии (01, 03);

5) исполнение по способу установки:

1 – навесное;

2 – напольное;

3 – утопленное;

6) номер схемы;

7) степень защиты оболочки, ввода и изоляции кабеля;

8) климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150-69.

Например, пункт распределительный ПР8501-003-21УЗ, с глухим присоединением на вводе и с одним трехполюсным и тремя однополюсными автоматами на отходящих линиях.

Шкафы серии ПР8501 используют для распределения электроэнергии напряжением до 690 В переменного тока 50 и 60 Гц, а шкафы серии ПР8701 – до 220 В постоянного тока и для обеспечения защиты при перегрузках и коротких замыканиях. По виду установки шкафы бывают следующих исполнений: утопленные – для установки в нишах; навесные – для установки в стенах, колоннах и других подобных конструкциях; напольные – для установки на полу.

Шкафы ПР8501 и ПР8701 укомплектованы однополюсными линейными нетокоограничивающими выключателями ВА51-31-1 с расцепителями на токи 6,3–100 А и трехполюсными ВА 51-31 и ВА 51-35 – с расцепителями на токи 6,3–100 А и 100–250 А соответственно.

Шкафы изготавливаются без выключателей ввода (с вводными зажимами) и с выключателями ввода. Используются следующие выключатели ввода: ВА-51-33, ВА-51-35, ВА-51-37, ВА-51-39 – нетокоограничивающие с тепловыми и электромагнитными расцепителями тока; ВА-55-37 и ВА-55-39 – селективные с полупровод-

никовыми максимальными расцепителями тока; ВА-56-37, ВА-56-39 – без максимальных расцепителей тока.

Встраиваемые в шкафы выключатели на отходящих линиях устанавливаются в любом сочетании по номинальному току расцепителя. При этом одновременная суммарная нагрузка выключателей не должна превышать номинальный рабочий ток шкафа.

Шафы изготавливаются со следующим расположением вводного выключателя или вводных зажимов (для шкафов без вводного выключателя): в верхней части шкафа при вводе питающих проводников сверху; в нижней части шкафа при вводе питающих проводников снизу.

Шафы с вводными выключателями или без них снабжены зажимами, которые обеспечивают втычное присоединение (без пайки и кабельных наконечников) медных или алюминиевых проводников.

Внутри шкафа установлены неизолированная нулевая и защитная шины, имеющие электрическое соединение с корпусом шкафа. Они пропускают ток, равный номинальному. Силовые пункты типа ПР предназначены для приема и распределения электроэнергии в силовых и осветительных сетях переменного тока напряжением до 690 В.

Эти силовые пункты, типа ПР, дороже, но отличаются большими удобствами в эксплуатации, имеют от четырех до двенадцати трехполюсных автоматов для отходящих линий и, если необходимо, вводной автомат. Для восстановления питания по какой-либо отходящей линии после устранения неисправности в ней достаточно включить соответствующий автомат. При этом не нужно, как в случае с предохранителями, отключать весь силовой пункт.

Поз. 4 (рис. 4.4) – Щиты (шкафы) управления (ЩУ, ШУ) комплектуются из блоков (панелей) управления с защитными и коммутационными аппаратами. ЩУ предназначены главным образом для дистанционного и автоматического управления электроприводами. В то же время щиты управления осуществляют распределение электроэнергии. В зависимости от места установки ЩУ выполняются открытыми или защищенными.

В настоящее время для управления асинхронными электродвигателями с короткозамкнутым ротором в продолжительном, кратковременном и повторно-кратковременном режимах работы применяются блоки и панели серий Б5030, П5030, а также ящики управления серии Я5000.

Блоки и панели рассчитаны на управление электродвигателями с номинальным током статора 0,6–630 А – для неревверсивных, 0,6–400 А – для реверсивных электродвигателей и 0,6–16 А – для электродвигателей без тепловой защиты.

Номинальное напряжение силовой цепи: 400(380), 415 В частотой 50 Гц и 380, 440 В – частотой 60 Гц.

Поз. 5 – Магистральные щитки осветительные (МЩО) осуществляют распределение электроэнергии между групповыми осветительными щитками (см. рис. 4.4). В качестве МЩО используются распределительные шкафы ШР11 с предохранителями и распределительные пункты серий ПР11, ПР8500, ПР8700, ПР8800 и др. с однополюсными и трехполюсными линейными автоматами.

Поз. 6 – Групповые щитки осветительные (ЩО) комплектуются однополюсными и трехполюсными линейными автоматами, вводными трехполюсными автоматами. Широко используются ЩО без вводного автомата.

Основные серии групповых щитков – ЩО8505, ЩРО8505, ОП, ОЩ, УОЩВ, ЯОУ8500 и др. Исполнение – навесное и утопленное.

Поз. 7, 8, 9 – Ящички силовые (Я) служат для коммутации и защиты одной трехфазной линии напряжением 0,4/0,23 кВ, содержащие лишь один коммутационный аппарат.

Ящички силовые устанавливаются на ответвлениях от **магистральных шинопроводов поз. 10** (см. рис. 4.4) на вводах **распределительных шинопроводов поз. 11**, троллейных линий, отдельных электроприемников (например, сварочных аппаратов), а также используются в помещениях с небольшим числом электроприемников, где установка СП типа ШР или ПР нецелесообразна.

Ящички коммутационные выпускаются с рубильником и предохранителем или блоком предохранитель-выключатель (**7**), с автоматом (**8**), с рубильником (**9**).

Основные серии ящичков имеют следующую маркировку: ЯРП, ЯВЗ, ЯПП, ЯРВ.

На рис. 4.4 обозначены силовые электроприемники (**поз. 12**) с двигателями и **светильники (поз. 13)**.

4.2. Порядок выполнения лабораторной работы

1. Изучить конструктивные разновидности и особенности электрических схем, используемых комплектных элементов РУ напряжением до 1 кВ.

2. Изучить установленные в лаборатории комплектные распределительные устройства напряжением до 1 кВ и составить их принципиальные электрические схемы в однолинейном исполнении.

3. Составить электрическую схему РУ напряжением до 1 кВ из комплектных элементов по заданию преподавателя.

4.3. Содержание отчета

1. Цель работы.

2. Краткие теоретические сведения.

2. Пример функциональной схемы внутрицехового распределения электроэнергии напряжением до 1 кВ (рис. 4.4).

3. Принципиальные электрические схемы установленных в лаборатории комплектных РУ до 1 кВ.

4. Электрическая схема РУ напряжением до 1 кВ по заданию преподавателя.

5. Вывод.

4.4. Контрольные вопросы

1. Классификация РУ напряжением до 1 кВ по различным принципам.

2. Назначение и конструкция РУ до 1 кВ.

3. Вариант выполнения РУ НН КТП, области их применения.

4. Общая характеристика РУ серий ШР11, ПР11, ЩО31, ПР8501, ПР8701.

5. Общая характеристика ГРЩ, СП, ЩУ, МШО, ЩО.

6. Чем отличаются по функциональному назначению панели ЩО 70 и шкафы распределительные различных серий?

Лабораторная работа № 5

ИЗУЧЕНИЕ ГРАФИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Цель работы: исследование графиков нагрузки потребителей электроэнергии, их характеристики, а также практические задачи электроснабжения, решаемые на основе графиков электрических нагрузок.

5.1. Краткие теоретические сведения

При проектировании и эксплуатации систем электроснабжения имеют дело с тремя видами электрической нагрузки: активной P (кВт), реактивной Q (квар) и токовой I (А). Особенность электрической нагрузки состоит в том, что в любой точке системы электроснабжения ее величина постоянно изменяется, т. е. носит случайный характер.

Кривая, характеризующая изменение нагрузки во времени называется графиком электрической нагрузки (рис. 5.1).

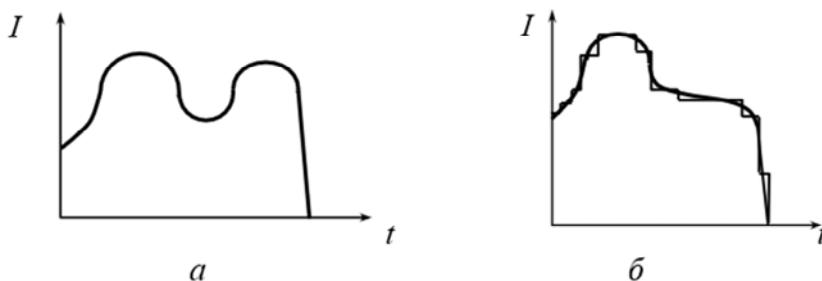


Рис. 5.1. Графики нагрузки:
 a – непрерывный; b – дискретный

Под величиной нагрузки в данный момент времени понимается ее действующее значение, показываемое измерительными приборами с достаточно малой инерцией. Для решения практических задач непрерывный график, получаемый с помощью самопишущих приборов (рис. 5.1, a), заменяют дискретным (рис. 5.1, b).

Различают индивидуальные (для отдельных электроприемников) и групповые (для группы электроприемников) графики электрических нагрузок.

Групповой график электрических нагрузок складывается из индивидуальных графиков нагрузок электроприемников, входящих в данную группу. Степень регулярности групповых графиков определяется типами индивидуальных графиков и взаимосвязей электрических нагрузок электроприемников в технологическом процессе предприятия.

По продолжительности различают суточные и годовые графики нагрузок потребителей электроэнергии.

Суточные графики действующих предприятий строятся на основе показаний интегрирующих приборов учета электроэнергии и носят, как правило, ступенчатый характер (рис. 5.2).

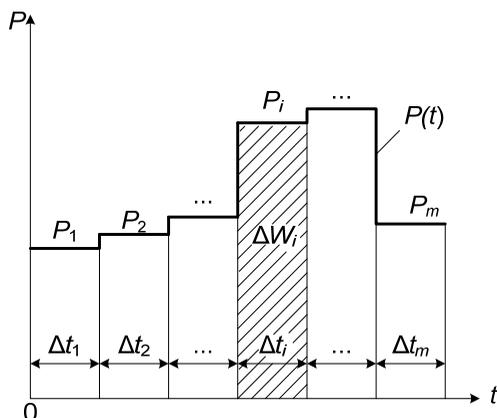


Рис. 5.2. График активной нагрузки в виде ступенчатой функции:
 m – количество ступеней графика

Они отражают изменение нагрузки потребителя в течение суток, начиная с 0 до 24 часов. Наиболее непостоянной составляющей в графике является осветительная нагрузка, которая зависит от географической широты местности, времени суток и года. При расчетах часто ограничиваются двумя характерными суточными графиками активных и реактивных нагрузок: для летних (20–23 июня) и зимних (20–23 декабря) суток. В справочной литературе для каждой отрасли промышленности имеется свой типовый график.

Годовые упорядоченные графики строятся по убывающим ординатам активной и реактивной мощности в течение года. На таком графике по оси абсцисс откладывается время в часах (8760 ч), а по оси ординат – соответствующие нагрузки.

Годовой график составляется на основе суточных графиков нагрузки за все дни года (включая нерабочие дни). С достаточной для практических целей точностью годовой график по продолжительности можно построить на основе только двух характерных суточных графиков – зимнего и летнего (для Беларуси 200 суток по зимнему и 165 – по летнему графику).

Порядок построения годового графика следующий. На суточном графике нагрузки выделяется максимальная нагрузка и время ее действия в часах. Далее аналогично определяются следующие в порядке убывания значения нагрузок и их продолжительность из суточного графика и откладываются на годовом. Пример типового графика нагрузки по продолжительности приведен на рис. 5.3.

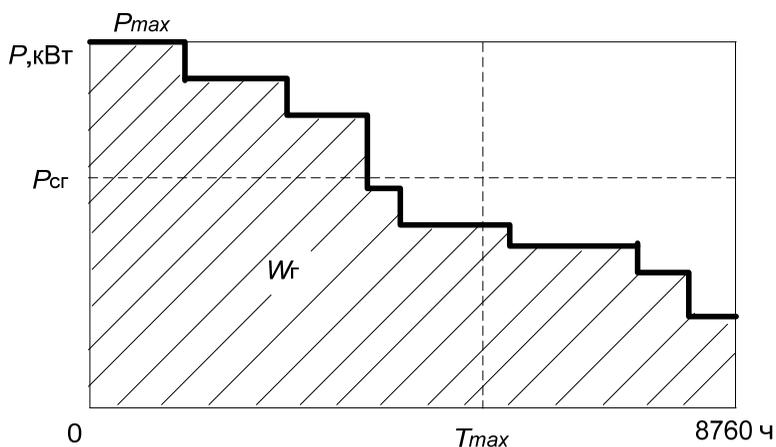


Рис. 5.3. Определение времени использования максимума нагрузки по годовому графику по продолжительности

По годовому упорядоченному графику можно определить годовой расход электроэнергии W_r , среднегодовую мощность $P_{с.г.}$, длительность Δt_i каждой нагрузки P_i и годовое время использования максимальной нагрузки T_{max} .

Годовое потребление электроэнергии по графику

$$W_{\Gamma} = \sum_{i=1}^m P_i \cdot \Delta t_i; \quad V_{\Gamma} = \sum_{i=1}^m Q_i \cdot \Delta t_i,$$

где m – число ступеней графика.

Таким образом, типовые графики нагрузки (как правило, суточные) приводятся в справочной литературе, где нагрузка представлена в относительных единицах. Однако на практике оперировать с графиками нагрузки не всегда удобно, поэтому при расчетах электрических нагрузок, согласовании технических условий на электроснабжение, решении задач на лимитирование и управление электропотреблением пользуются показателями, характеризующими графики нагрузки.

Для анализа графиков используют следующие их численные характеристики: установленная мощность; средняя нагрузка; средняя квадратическая (эффективная) нагрузка; максимальная и минимальная нагрузки; эффективное число электроприемников; годовое число часов использования максимума; расчетная нагрузка.

Под *установленной мощностью* группы понимают суммарную номинальную мощность электроприемников

$$P_{\text{уст}} = \sum_{i=1}^n P_{i\text{ном}},$$

где n – количество электроприемников в группе.

Номинальная мощность для любого электроприемника – это такая мощность, при которой в нормальном режиме работы его нагрев не превышает допустимого.

В качестве номинальной мощности для электродвигателей принимается мощность, указанная в паспорте, а для остальных токоприемников мощность, потребляемая ими из сети (электрические печи, осветительные установки и т. п.).

Средняя нагрузка – постоянная, неизменная во времени нагрузка в течение рассматриваемого промежутка времени, которая вызывает такой же расход электроэнергии, что и реальная, изменяющаяся нагрузка за этот же промежуток времени T (год, сутки, наиболее загруженная смена):

$$P_c = \frac{1}{T} \int_0^T P(t) dt.$$

Среднюю нагрузку для любого графика можно определить, например, за сутки $P_c = \frac{1}{24} \sum_{i=1}^{24} P_i$, если длительность ступени 1 ч.

На практике средняя нагрузка определяется по показаниям электрических счетчиков, либо других приборов, с помощью формул

$$P_c = \frac{W}{T}, \quad Q_c = \frac{V}{T}.$$

Среднеквадратическая (эффективная) нагрузка – такая неизменная в течение промежутка времени T нагрузка, которая вызывает потери мощности и электроэнергии (на нагрев) в элементах системы электроснабжения потребителей такие же, как реальная изменяющаяся за это же время (T) нагрузка:

$$P_{\text{ск}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T P^2(t) dt}; \quad I_{\text{ск}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I^2(t) dt}; \quad P_{\text{ск}} = \sqrt{\frac{P_i \cdot \Delta t_i}{T}}.$$

Максимальная нагрузка – это наибольшая из средних нагрузок за рассматриваемый промежуток времени. При этом различают максимальную длительную и кратковременную нагрузки.

Максимальная длительная нагрузка характеризуется периодом усреднения от нескольких минут до нескольких часов. Она используется для выбора токоведущих частей СЭС по условию нагрева.

Максимальная кратковременная нагрузка характеризуется периодом усреднения от доли до нескольких секунд. Ее называют кратковременной (пиковой) нагрузкой. Пиковая нагрузка используется для расчетов релейной защиты и автоматики, выбора аппаратов защиты, колебаний напряжения в сетях. Из максимальной длительной нагрузки важнейшее значение имеет расчетная нагрузка.

Под *расчетной нагрузкой* понимается такая условная нагрузка, которая эквивалентна реальной нагрузке по наиболее тяжелому тепловому взаимодействию: расчетная нагрузка, определяющая нагрев

(износ) изоляции и расчетная нагрузка, определяющая нагрев токоведущих частей.

Так как нагрев проводника определяется продолжительностью нагрузки, то должны существовать определенные периоды усреднения графика нагрузки. Наиболее часто длительность интервала осреднения принимается равной 30 мин, эта величина равна утреннему значению постоянной времени нагрева токоведущих частей системы электроснабжения, на которые рассчитывается нагрузка.

Эффективное число электроприемников группы – это такое число n_3 одинаковых по мощности токоприемников с заданным режимом работы, которые при той же суммарной номинальной мощности дают тот же расчетный максимум нагрузки, что и действительное число токоприемников, различных по мощностям. Вычисляется n_3 как отношение квадрата суммы к сумме квадратов номинальных мощностей токоприемников группы:

$$n_3 = \frac{(\sum_{i=1}^n P_{\text{ном}})^2}{\sum_{i=1}^n P_{\text{ном}}^2}.$$

Расчет всех элементов систем электроснабжения выполняется обычно из условия длительно допустимого нагрева. *Расчетная нагрузка* – это такая неизменная во времени нагрузка, которая эквивалентна фактически изменяющейся (ожидаемой) нагрузке по наиболее тяжелому тепловому действию, т. е. по максимально допустимой температуре или по тепловому износу изоляции.

Методы определения расчетных электрических нагрузок, применяемые в настоящее время в практике проектирования промышленных предприятий, следующие: с помощью коэффициента расчетной мощности; установленной мощности и коэффициента спроса; средней мощности и коэффициента формы графика.

Для определения расчетной нагрузки при известном графике нагрузки можно использовать статистический метод. Данный метод основывается на результатах исследований, согласно которым групповая нагрузка (начиная с 4–5 электроприемников) подчиняется нормальному закону распределения случайных величин. По это-

му закону нагрузка от электроприемников может быть описана следующим выражением:

$$P = P_c \pm \beta \cdot \sigma,$$

где P_c – средняя нагрузка при достаточно большом количестве осреднений m продолжительностью $3 \cdot T_0$:

$$P_c = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_m}{m},$$

где σ – среднеквадратичное (стандартное) отклонение, определяемое по выражению

$$\sigma = \sqrt{\frac{(P_1 - P_c)^2 + (P_2 - P_c)^2 + \dots + (P_m - P_c)^2}{m}},$$

где P_1, P_2, \dots, P_m – средние значения нагрузки на каждом интервале осреднения продолжительностью $3 \cdot T_0$;

β – принятая кратность меры рассеяния ($\beta = -3 \dots +3$).

Придавая β различные значения, можно получить возможные величины нагрузки.

Число часов использования максимума нагрузки – это такое число часов работы данного элемента, за которое при максимальной нагрузке потребление электроэнергии было бы равно фактическому за все время работы по графику с переменной нагрузкой. Эта характеристика чаще всего применяется для годового графика нагрузки и представляет собой абсциссу прямоугольника, построенного по ординате P_{\max} и равновеликого по площади ступенчатой трапеции годового графика нагрузки (рис. 5.3). Вычисляется годовое число использования максимума нагрузки как отношение годового потребления электроэнергии к величине максимума нагрузки

$$T_{\max} = \frac{W_{\Gamma}}{P_{\max}}.$$

Для различных предприятий T_{\max} составляет от 2000 до 6500 ч в год.

При анализе графиков нагрузок удобнее использовать безразмерные характеристики в виде коэффициентов использования; максимума; спроса; заполнения; формы графика. Эти коэффициенты устанавливают связь между основными физическими величинами, характеризуют неравномерность графиков нагрузки, а также использование электроприемников и потребителей электроэнергии по мощности и времени.

Рассмотрим коэффициенты, характеризующие связь между основными физическими величинами графиков нагрузки:

– коэффициент максимума графика

$$K_M = \frac{P_M}{P_C},$$

где $P_M (P_{\max})$ – максимальная потребляемая активная нагрузка за рассматриваемый период.

Коэффициент максимума относится к групповым графикам нагрузки и устанавливает связь между средней и максимальной нагрузками за наиболее загруженную смену, т. е. $P_C = P_{\text{см}}$.

При проектировании систем электроснабжения используется коэффициент расчетной нагрузки.

$$K_P = \frac{P_P}{P_C},$$

где P_P – расчетная нагрузка, представляет собой максимальную нагрузку, эквивалентную реальной по тепловому эффекту.

Коэффициент расчетной нагрузки определяется по справочной литературе:

– коэффициент заполнения графика

$$K_3 = \frac{P_C}{P_M} = \frac{1}{K_M}.$$

Данный коэффициент находится как для группового, так и для индивидуального графика нагрузки;

– коэффициент формы графика

$$K_{\phi} = \frac{P_{\text{СК}}}{P_{\text{СМ}}}, \quad K_{\phi} \geq 1,$$

где $K_{\phi} = 1-1,2$ – для групповых графиков;

$K_{\phi} = 1-1,3$ – для индивидуальных графиков.

Коэффициент формы характеризует степень неравномерности графика нагрузки. Чем ровнее график нагрузки, тем ближе его K_{ϕ} к единице.

Коэффициенты, характеризующие режимы работы приемников и потребителей электроэнергии следующие:

– коэффициент включения

$$K_{\text{В}} = \frac{t_{\text{В}}}{t_{\text{В}} + t_{\text{О}} + t_{\text{ХХ}}},$$

где $t_{\text{В}}$ – время включения и работы электроприемников;

$t_{\text{О}}$ – время отключения электроприемника;

$t_{\text{ХХ}}$ – время работы в режиме холостого хода.

Для групповых графиков коэффициент включения определяется как средневзвешенное значение коэффициентов включения входящих в группу электроприемников:

$$K_{\text{В}} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{\text{В}i} \cdot P_{\text{НОМ}i}}{\sum_{i=1}^n P_{\text{НОМ}i}}.$$

– коэффициент использования – представляет собой отношение средней мощности ЭП (или группы ЭП) к номинальной мощности ЭП (или группы ЭП) за некоторый период (наиболее загруженную смену).

$$K_{\text{И}} = \frac{P_{\text{СМ}}}{P_{\text{НОМ}}}.$$

Для группы электроприемников вычисляется средневзвешенное значение коэффициента использования, если электроприемники имеют разный режим работы:

$$K_{\text{и}} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{\text{и}i} \cdot P_{\text{ном}i}}{\sum_{i=1}^n P_{\text{ном}i}};$$

Коэффициент включения характеризует использование электроприемников по времени;

– *коэффициент загрузки* определяется как

$$K_3 = \frac{P_{\text{св}}}{P_{\text{ном}}},$$

где $P_{\text{св}}$ – средняя мощность электроприемников за время включе-

ния в течение цикла $P_{\text{св}} = \frac{t_{\text{ц}}}{t_{\text{в}}} \cdot P_{\text{с}}$

$$K_3 = \frac{t_{\text{ц}} \cdot P_{\text{с}}}{t_{\text{в}} \cdot P_{\text{ном}}} = \frac{t_{\text{ц}}}{t_{\text{в}}} \cdot K_{\text{и}} = \frac{K_{\text{и}}}{K_{\text{в}}} \Rightarrow K_3 = \frac{K_{\text{и}}}{K_{\text{в}}};$$

– *коэффициент спроса* – это отношение максимально потребляемой мощности (в условиях эксплуатации) или расчетной активной нагрузки (при проектировании) к номинальной мощности электроприемника или группы электроприемников за рассматриваемый период.

$$K_{\text{с}} = \frac{P_{\text{max}}}{P_{\text{ном}}} = \frac{P_{\text{р}}}{P_{\text{ном}}};$$

$$K_{\text{с}} = \frac{K_{\text{max}} \cdot P_{\text{с}}}{P_{\text{ном}}} = \frac{K_{\text{max}} \cdot K_{\text{и}} \cdot P_{\text{ном}}}{P_{\text{ном}}} = K_{\text{max}} \cdot K_{\text{и}};$$

$$K_c = K_{\max} \cdot K_{и};$$

$$K_c \leq 1.$$

Если $K_{\max} = 1 \Rightarrow K_c = K_{и}$.

5.2. Методические указания по выполнению работы

Лабораторная установка представляет собой модель узла электрических нагрузок (рис. 5.4). В качестве нагрузки используются асинхронные двигатели типа АОЛ-21/4 ($P_{\text{ном}} = 270$ Вт, $\cos\varphi = 0,75$) – X₁, X₂, X₅, X₆; АОЛ-12/4 ($P_{\text{ном}} = 180$ Вт, $\cos\varphi = 0,74$) – X₃; АОЛ-11/2 ($P_{\text{ном}} = 150$ Вт, $\cos\varphi = 0,86$) и трехфазные проволочные реостаты ($P_{\text{ном}} = 150$ Вт) – (R₁ ... R₆).

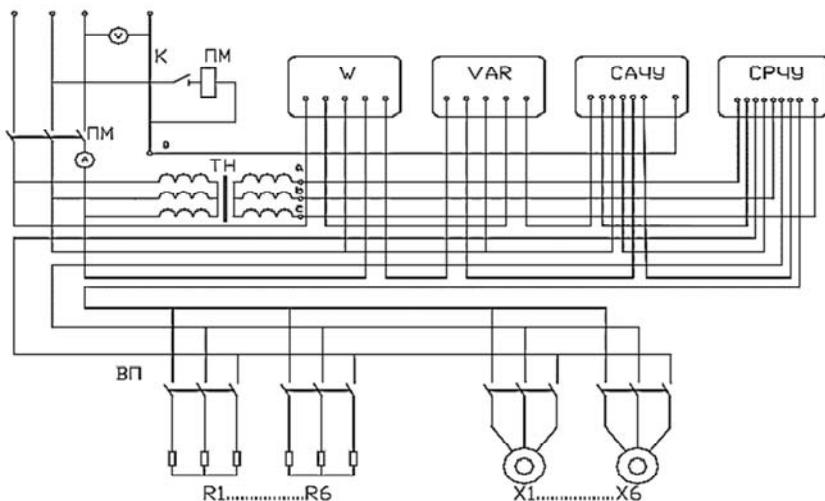


Рис. 5.4. Схема лабораторной установки

Стенд оснащен необходимыми коммутационными аппаратами и измерительными приборами. Питание осуществляется от сети переменного тока 400/230 В. Включение лабораторной установки осуществляется при помощи магнитного пускателя, управляемого ключом К. Набор необходимых величин активной и реактивной

нагрузки осуществляется пакетными выключателями ВП. Для измерения расхода электроэнергии установлены счетчики активной (САЧУ-И672Т) и реактивной (СРЧУ-673М) нагрузки. Для измерения мощности предусмотрены ваттметр (Д309) и варметр (Д309).

5.3. Порядок выполнения работы

1. Изучить инструкцию и ознакомиться со схемой лабораторной установки.

2. Заготовить табл. 5.1–5.4.

3. Собрать электрическую схему лабораторной установки.

4. Разработать вариант формирования графика нагрузки по указаниям преподавателя (табл. 5.1).

5. После разрешения преподавателя произвести снятие графика нагрузки, т. е. выполнить 24 замера длительностью в одну минуту. Результаты замера занести в табл. 5.2.

6. Замеры выполнять в следующей последовательности:

а) согласно табл. 5.1 пакетными выключателями ВП выбрать нагрузку ступени;

б) при помощи ключа К включить схему под нагрузку, в течение одной минуты сосчитать числа оборотов счетчика активной и реактивной энергии, снять показания ваттметра, вольтметра и амперметра;

в) при помощи ключа К отключить схему от сети для изменения ступеней нагрузки.

7. Вычислить все величины для заполнения табл. 5.3.

8. Построить суточные графики активной и реактивной мощности и силы тока.

9. Вычислить необходимые показатели для заполнения табл. 5.4.

10. Для каждого варианта задаются данные суточного типового графика нагрузки (табл. 5.5) и установленная мощность электроприемников потребителя (табл. 5.6).

11. Расчеты представить в виде табл. 5.7.

Таблица 5.1

Состав приемников для формирования суточного
графика нагрузки

| Замер № | Состав реостатов и электродвигателей | Наименование ступеней |
|---------|---|--------------------------|
| 1 | | |
| ... | | |
| 24 | | |

Таблица 5.2

Результаты опытов

| № п/п | Потребление электроэнергии | | | | Мощность | | Сила тока, А |
|----------|----------------------------|--------------------|-------------------|---------------------|----------------|-----------------|--------------------|
| | активной | | реактивной | | акт. | реак. | |
| | Число оборотов | W_i , кВт · ч | Число оборотов | V_i , квар · ч | P_i , кВт | Q_i , квар | |
| 1 | | | | | | | |
| ... | | | | | | | |
| 24 | | | | | | | |

Для заполнения табл. 5.2 используют следующие выражения:

$$W_{\text{сутки}} = \sum_{i=1}^{24} W_i; \quad V_{\text{сутки}} = \sum_{i=1}^{24} V_i;$$

$$W_i = \frac{60 \cdot n_p}{N_a}; \quad V_i = \frac{60 \cdot n_p}{N_p},$$

где n_a, n_p – число оборотов диска счетчика за 1 мин;

N_a, N_p – постоянная счетчика – значение энергии, которое счетчик измеряет за один оборот.

$$P_c = \frac{\sum_{i=1}^{24} P_i}{24}; \quad Q_c = \frac{\sum_{i=1}^{24} Q_i}{24}.$$

Таблица 5.3

Показатели суточного графика нагрузки

| № п/п | Наименование показателей | Расчетная формула | Значение и размерность |
|-------------------------|---|---|------------------------|
| Установленная мощность: | | | |
| 1 | активная, кВт | $P_{уст} = \sum_{i=1}^n P_{номi}$ | |
| | реактивная, квар | $Q_{уст} = \sum_{i=1}^n Q_{номi}$ | |
| 2 | коэффициент реактивной мощности | $\operatorname{tg}\varphi = \frac{Q_{уст}}{P_{уст}}$ | |
| 3 | среднесуточный коэффициент реактивной мощности | $\operatorname{tg}\varphi_{сут} = \frac{Q_c}{P_c}$ | |
| 4 | коэффициент заполнения графика по активной мощности | $K_3 = \frac{P_c}{P_{max}}$ | |
| 5 | среднеквадратическая активная мощность, кВт | $P_{ск} = \sqrt{\frac{1}{24} \sum_{i=1}^{24} P_i^2}$ | |
| 6 | средняя нагрузка за наиболее загруженную смену, кВт | $P_{см} = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 P_i$ | |
| 7 | коэффициент формы графика по активной мощности | $K_{\phi} = \frac{P_{ск}}{P_{см}}$ | |
| 8 | коэффициент использования по активной мощности | $K_{и} = \frac{P_{см}}{P_{уст}}$ | |
| 9 | коэффициент максимума по активной мощности | $K_{м} = \frac{P_{max}}{P_{см}}$ | |
| 10 | коэффициент заполнения графика по активной мощности | $K_3 = \frac{P_{см}}{P_{max}}$ | |
| 11 | коэффициент спроса по активной мощности | $K_c = \frac{P_{max}}{P_{уст}} = K_{иa} \cdot K_{ма}$ | |

Таблица 5.4

Показатели годового графика нагрузки

| № п/п | Наименование показателей | Расчетные формулы | Значения и размерности |
|-------|--|---|------------------------|
| 1 | Годовое потребление электроэнергии | | |
| | активное, кВт · ч | $W_{\Gamma} = W_{\text{сут}} \cdot 200 + P_{\text{min}} \cdot 24 \cdot 165$ | |
| | реактивное, квар · ч | $V_{\Gamma} = V_{\text{сут}} \cdot 200 + Q_{\text{min}} \cdot 24 \cdot 165$ | |
| 2 | Среднегодовая нагрузка | | |
| | активная, кВт | $P_{\text{с}} = \frac{W_{\Gamma}}{8760}$ | |
| | реактивная, квар | $Q_{\text{с}} = \frac{V_{\Gamma}}{8760}$ | |
| 3 | коэффициент реактивной мощности | $\text{tg}\varphi_{\text{н}} = \frac{Q_{\text{с}}}{P_{\text{с}}}$ | |
| 4 | Минимальная нагрузка | | |
| | активная, кВт | P_{min} | |
| | реактивная, квар | Q_{min} | |
| 5 | Максимальная нагрузка | | |
| | активная, кВт | P_{max} | |
| | реактивная, квар | Q_{max} | |
| 6 | Годовое число часов использования максимума нагрузки | | |
| | активной | $T_{\text{max}} = \frac{W_{\Gamma}}{P_{\text{max}}}$ | |
| | реактивной | $T_{\text{maxp}} = \frac{V_{\Gamma}}{Q_{\text{max}}}$ | |

Примечание. По годовому графику нагрузки необходимо определить K_3 и K_4 .

Таблица 5.5

Данные типовых графиков нагрузки по вариантам

| Т, ч | Потребляемая мощность в часы смены, % | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|---------------------------------------|----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|-----|----|-----|-----|
| | Номер варианта | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 0–1 | 100 | 52 | 98 | 68 | 94 | 60 | 70 | 75 | 42 | 74 | 54 | 100 | 39 | 72 | 77 |
| 1–2 | 98 | 54 | 60 | 70 | 100 | 62 | 65 | 70 | 44 | 76 | 46 | 66 | 95 | 100 | 47 |
| 2–3 | 96 | 95 | 60 | 72 | 97 | 64 | 60 | 100 | 46 | 78 | 82 | 95 | 90 | 70 | 67 |
| 3–4 | 94 | 58 | 60 | 74 | 54 | 100 | 65 | 95 | 48 | 80 | 75 | 68 | 60 | 95 | 68 |
| 4–5 | 92 | 60 | 60 | 76 | 46 | 66 | 75 | 90 | 50 | 82 | 68 | 70 | 32 | 74 | 64 |
| 5–6 | 90 | 62 | 60 | 78 | 82 | 95 | 75 | 58 | 52 | 84 | 39 | 72 | 34 | 76 | 69 |
| 6–7 | 88 | 64 | 100 | 80 | 75 | 68 | 75 | 50 | 54 | 60 | 95 | 100 | 75 | 78 | 100 |
| 7–8 | 86 | 75 | 96 | 82 | 68 | 70 | 75 | 45 | 56 | 68 | 84 | 39 | 44 | 50 | 64 |
| 8–9 | 84 | 68 | 94 | 84 | 39 | 72 | 75 | 100 | 60 | 66 | 60 | 95 | 46 | 52 | 48 |
| 9–10 | 82 | 70 | 100 | 60 | 95 | 100 | 70 | 95 | 60 | 64 | 86 | 95 | 48 | 54 | 44 |
| 10–11 | 80 | 72 | 97 | 32 | 74 | 54 | 100 | 98 | 60 | 62 | 88 | 95 | 50 | 56 | 50 |
| 11–12 | 78 | 74 | 54 | 34 | 76 | 46 | 66 | 50 | 60 | 60 | 90 | 95 | 52 | 58 | 60 |
| 12–13 | 76 | 76 | 46 | 75 | 78 | 82 | 95 | 55 | 60 | 58 | 92 | 95 | 54 | 60 | 60 |
| 13–14 | 74 | 78 | 82 | 38 | 80 | 75 | 68 | 57 | 52 | 56 | 94 | 69 | 56 | 62 | 60 |
| 14–15 | 72 | 80 | 75 | 40 | 82 | 68 | 70 | 58 | 63 | 54 | 96 | 47 | 58 | 100 | 60 |
| 15–16 | 70 | 82 | 68 | 42 | 84 | 39 | 72 | 50 | 74 | 56 | 66 | 60 | 95 | 66 | 62 |
| 16–17 | 68 | 84 | 39 | 44 | 60 | 95 | 100 | 48 | 75 | 57 | 64 | 86 | 95 | 68 | 64 |
| 17–18 | 66 | 60 | 95 | 46 | 75 | 90 | 70 | 46 | 75 | 59 | 62 | 88 | 95 | 70 | 66 |
| 18–19 | 64 | 86 | 95 | 48 | 75 | 100 | 65 | 44 | 75 | 61 | 60 | 90 | 95 | 75 | 68 |
| 19–20 | 62 | 88 | 95 | 50 | 85 | 95 | 60 | 42 | 75 | 63 | 58 | 92 | 95 | 77 | 70 |
| 20–21 | 60 | 90 | 95 | 52 | 60 | 90 | 100 | 100 | 75 | 65 | 56 | 94 | 69 | 79 | 72 |
| 21–22 | 58 | 92 | 95 | 54 | 60 | 85 | 95 | 98 | 85 | 67 | 54 | 96 | 47 | 81 | 74 |
| 22–23 | 56 | 94 | 69 | 56 | 62 | 80 | 90 | 97 | 100 | 69 | 74 | 58 | 86 | 83 | 100 |
| 23–24 | 54 | 96 | 47 | 58 | 96 | 75 | 85 | 92 | 96 | 73 | 76 | 75 | 75 | 85 | 72 |

Примечание. Номера вариантов соответствуют типовым графикам: 1 – автомобильная промышленность; 2 – деревообрабатывающая промышленность; 3 – легкая промышленность; 4 – нефтеперерабатывающая промышленность; 5 – печатные фабрики; 6 – пищевая промышленность; 7 – прядильно-ткацкие фабрики; 8 – ремонтно-механические заводы; 9 – станкостроение; 10 – торфоразработка; 11 – тяжелое машиностроение; 12 – угледобывающая промышленность; 13 – химическая промышленность; 14 – цветная металлургия; 15 – целлюлозно-бумажная промышленность.

Таблица 5.6

Данные по установленной мощности предприятий

| Значения | Варианты типовых графиков нагрузки | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|------------------------------------|----|-----|-----|-----|----|----|-----|----|----|----|----|----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| $P_{\text{уст}}, \text{МВт}$ | 40 | 20 | 340 | 250 | 400 | 50 | 65 | 500 | 40 | 20 | 60 | 30 | 70 | 150 | 250 |

Таблица 5.7

Данные типового графика нагрузки предприятия

| | | | | | | | | |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $t, \text{час}$ | 0–1 | 1–2 | 2–3 | 3–4 | 4–5 | 5–6 | 6–7 | 7–8 |
| $P, \%$ | | | | | | | | |
| $t, \text{час}$ | 8–9 | 9–10 | 10–11 | 11–12 | 12–13 | 13–14 | 14–15 | 15–16 |
| $P, \%$ | | | | | | | | |
| $t, \text{час}$ | 16–17 | 17–18 | 18–19 | 19–20 | 20–21 | 21–22 | 22–23 | 23–24 |
| $P, \%$ | | | | | | | | |

5.4. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Результаты измерений (табл. 5.1, 5.2).
3. Показатели суточного и годового графика нагрузки (табл. 5.3, 5.4) и рисунок суточного графика активной и реактивной мощности и силы тока.
4. Суточный типовой график нагрузки по варианту, заданному преподавателем.
5. Годовой график нагрузки, построенный исходя из данных суточного графика.
6. Расчеты привести в табл. 5.7.
7. Выводы.

5.5. Контрольные вопросы

1. Виды графиков электрических нагрузок.
2. Численные характеристики электрических нагрузок.

3. Коэффициенты, характеризующие графики электрических нагрузок.

4. Величины, характеризующие электрические нагрузки.

5. Какова взаимосвязь между физическими величинами, показателями графиков и режимов электрических нагрузок потребителей? Какие величины являются справочными?

6. Как рассчитываются и в чем заключается физический смысл величин, характеризующих графики нагрузки?

7. Как классифицируются графики нагрузки потребителей электроэнергии? Для решения каких практических задач они используются?

8. Как определить расход электроэнергии потребителя при известном графике нагрузки; при заданных величинах графиков нагрузки?

9. Каким методом определяется расчетная нагрузка потребителя электроэнергии, если известны графики нагрузки? Приведите расчетные формулы.

Лабораторная работа № 6

ПОТРЕБИТЕЛИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ

Цель работы: экспериментальное исследование режима потребления асинхронным электродвигателем (АД) активной и реактивной мощности при изменении нагрузки на его валу.

6.1. Краткие теоретические сведения

Реактивная мощность (РМ) электрических сетей и электрических цепей электроприемников затрудняет изменение параметров электроэнергии. Индуктивности препятствуют любому изменению тока в них, а емкости – изменению напряжения. Это происходит потому, что указанные элементы в определенные интервалы времени «запасают» и «отдают» электроэнергию. В сетях переменного тока это приводит к колебательному процессу обмена энергией между индуктивностями и емкостями, рассредоточенными между элементами электростанций, подстанций, ЛЭП и электроприемниками. Эта доля энергии называется *реактивной энергией*.

Потребление РМ не связано с потреблением активной мощности и обусловлено параметрами сети переменного тока и режимами ее работы. Активная мощность, генерируемая электростанциями, способна совершать работу и преобразовываться в механическую, тепловую, световую и химическую энергию.

Работа потребителей реактивной мощности Q (например, АД, трансформаторов) сопровождается непрерывным изменением рабочего тока и связанного с ним магнитного потока. При этом с увеличением мгновенного значения магнитного потока таких электроприемников в их магнитном поле накапливается энергия за счет потребления реактивной мощности от источника. С уменьшением магнитного потока энергия, накопленная магнитным полем электроприемников, также уменьшается. Процесс уменьшения энергии магнитного поля сопровождается возвращением реактивной мощности от электроприемника к источнику питания.

Таким образом колебательный процесс обмена реактивной мощностью между источником и электроприемниками не требует рас-

хода активной мощности самого источника питания. Последний покрывает лишь потери активной мощности во всех звеньях схемы, где циркулирует реактивная мощность.

Несмотря на специфические особенности, в электроэнергетике РМ придают такой же смысл, как и активной мощности. Для нее приняты такие же понятия: потребление, генерирование, передача, потери и баланс мощности. При этом считается, что если ток отстает по фазе от приложенного к рассматриваемому элементу напряжения (индуктивный характер нагрузки), то реактивная мощность потребляется данным элементом и имеет положительный знак. В том случае, когда ток опережает напряжение (емкостный характер нагрузки), РМ генерируется и имеет отрицательное значение.

Характерным признаком электроприемников, потребляющих реактивную мощность, является наличие в них индуктивных элементов, создающих электромагнитное поле.

Передача РМ на значительные расстояния от мест генерации до точек потребления связана с увеличением тока элементов системы электроснабжения (СЭС), а значит, с дополнительными потерями активной мощности и напряжения, что существенно ухудшает технико-экономические показатели СЭС.

Если рассматривать систему электроснабжения в широком смысле, начиная от шин генераторного напряжения и заканчивая электроприемниками, структура потребления реактивной мощности выглядит примерно так:

- трансформаторы – 45 % от общего потребления;
- асинхронные электродвигатели – 35 %;
- линии электропередачи и электрические сети напряжением до 1кВ – 13 %;
- прочие потребители – 7 %.

В СЭС промышленных предприятий доля отдельных видов электроприемников и электрооборудования в общем потреблении реактивной мощности в среднем составляет следующие значения:

- асинхронные электродвигатели – 60–65 %;
- трансформаторы – 20–25 %;
- вентильные преобразователи, электротехнологические установки, реакторы, установки электрического освещения и др. – 10–20 %.

Потребление активной и реактивной мощностей асинхронным электродвигателем характеризуется графическими зависимостями,

представленными на рис. 6.1, *a*. Как следует из графиков, с изменением коэффициента загрузки K_3 от 0 до 1, активная мощность P_1 , потребляемая АД, изменяется почти пропорционально нагрузке P_2 , на его валу. Изменение реактивной мощности Q , потребляемой двигателем, при этом происходит медленнее. Потребление РМ состоит из постоянной слагающей Q_0 (поток намагничивания) $Q_0 = (0,6 \div 0,85) \cdot Q_{хх}$ (поток холостого хода), не зависящей от тока нагрузки, и переменной Q_p (поток рассеяния), пропорциональной квадрату коэффициента загрузки. Поток рассеяния Q_p составляет $(0,4 \div 0,15) \cdot Q$.

Таким образом, коэффициент реактивной мощности $\text{tg}\varphi = Q / P$ с уменьшением нагрузки на валу АД быстро возрастает. Значение $\text{tg}\varphi$ двигателя существенно зависит также и от величины напряжения на его выводах при номинальной нагрузке на валу. Графические зависимости P , Q и $\text{tg}\varphi$ от подводимого напряжения (статистические характеристики АД) приведены на рис. 6.1, *a*, *б*. Как следует из рис. 6.1, *б* изменение подводимого к АД напряжения сопровождается быстрым изменением Q и $\text{tg}\varphi$ по сравнению с активной мощностью P_1 .

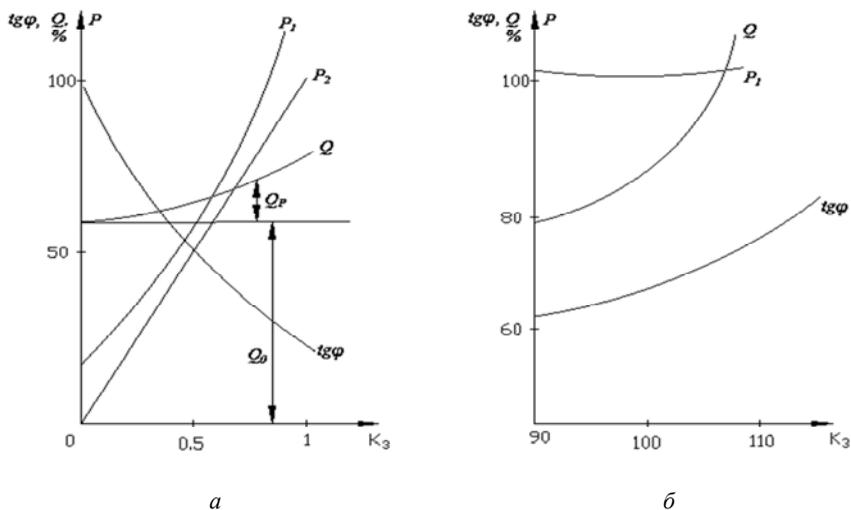


Рис. 6.1. Изменение характеристик АД в зависимости от различной загрузки

Значительная часть реактивной мощности Q потребляется трансформаторами, имеющимися в СЭС промышленных предприятий. Магнитопровод трансформатора, в отличие от электродвигателя, не имеет явно выраженного немагнитного (воздушного) зазора, являющегося большим сопротивлением на пути магнитного потока. Поэтому силовой трансформатор потребляет реактивную мощность меньше, чем асинхронный двигатель одинаковой с ним мощности.

В настоящее время прирост потребления РМ существенно превышает прирост потребления активной мощности. Все большую долю в общем объеме суммарных нагрузок занимают электроприемники с нелинейными характеристиками и с повышенным потреблением реактивной мощности, например, электропечные (дуговые, индукционные) установки, а также вентильные преобразователи постоянного тока и др.

6.2. Порядок выполнения лабораторной работы

1. Собрать схему (рис. 6.2.)

В качестве нагрузки на валу двигателя D_1 используется асинхронный двигатель D_2 , работающий в режиме динамического торможения (рис. 6.2).

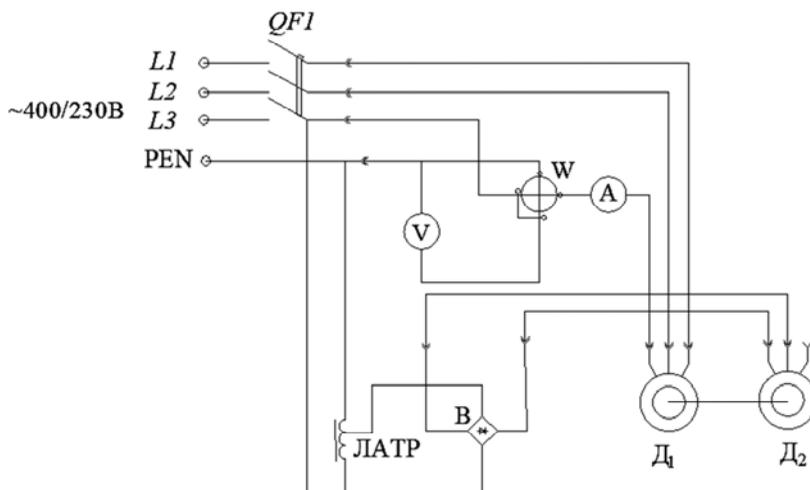


Рис. 6.2. Схема лабораторной установки

Изменение тормозного момента двигателя D_2 осуществляется изменением постоянного тока в его обмотках. Коэффициент загрузки двигателя D_1 определяется по приближенной формуле

$$K_3 = \frac{P_1}{P_{1н}}$$

где P_1 – активная мощность, потребляемая из сети, Вт;

$P_{1н}$ – мощность, потребляемая из сети при $U = U_n$, $\eta = \eta_n$ и $P_{1н} = P_n / \eta_n$.

2. Измерить необходимые данные для построения графических зависимостей двигателя D_1 :

$$P = f(K_3), Q = f(K_3) \text{ и } \text{tg}\varphi = f(K_3).$$

Измерение произвести при 7–8 значениях тока нагрузки двигателя D_1 . Результаты измерений и вычислений занести в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Результаты измерений и вычислений

| № п/п | Измерено | | | Вычислено | | | | |
|-------|----------|----------|----------|----------------------|-----------------------------------|------------------------|--------------------|-------|
| | I_ϕ | U_ϕ | P_ϕ | $P = 3 \cdot P_\phi$ | $S = 3 \cdot I_\phi \cdot U_\phi$ | $Q = \sqrt{S^2 - P^2}$ | $\text{tg}\varphi$ | K_3 |
| | А | В | Вт | Вт | В·А | вар | – | – |
| | | | | | | | | |

К работе на лабораторной установке допускаются студенты, прошедшие инструктаж по ТБ.

Внимание! На лабораторном стенде имеются трансформаторы тока ТТ1-ТТ4, поэтому для корректной работы стенда перед включением установки вторичные обмотки трансформаторов тока необходимо замкнуть накоротко.

6.3. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Электрическая схема лабораторной установки.
3. Паспортные данные двигателей D_1 и D_2 .
4. Таблица результатов измерений и вычислений.
5. Экспериментальные графические зависимости $P = f(Kз)$, $Q = f(Kз)$ и $\text{tg}\varphi = f(Kз)$.
6. Общий вид статических характеристик двигателя D_1 .
7. Основные характеристики потребителей реактивной мощности.
8. Вывод.

6.4. Контрольные вопросы

1. Основные потребители реактивной мощности в СЭС.
2. Для каких целей потребляется электроприемниками реактивная мощность?
3. Долевое участие в потреблении реактивной мощности отдельными группами электроприемников.
4. Как влияет наличие воздушного зазора в магнитопроводах электроприемников на потребление ими реактивной мощности?
5. Мероприятия по снижению потребления реактивной мощности.

Лабораторная работа № 7

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВ ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ

Цель работы: изучить устройство, конструкции и принцип действия устройств защитного отключения.

7.1. Краткие теоретические сведения

Устройства защитного отключения (УЗО) предназначены для автоматического отключения электрических цепей при непосредственном прикосновении человека к токоведущим частям или при возникновении в защищаемой электроустановке тока утечки, превышающего заданное значение (рис. 7.1).



Рис. 7.1. Общий вид устройства защитного отключения

Функционально УЗО можно определить как быстродействующий защитный выключатель, реагирующий на дифференциальный ток (ток утечки) в проводниках, подводящих электроэнергию к защищаемой электроустановке. Основные функциональные блоки УЗО представлены на рис. 7.2.

Важнейшим функциональным блоком УЗО является дифференциальный трансформатор тока *1*. Пусковой орган (пороговый элемент) *2* выполняется, как правило, на чувствительных магнитоэлектрических реле прямого действия или электронных компонентах.

Исполнительный механизм 3 включает в себя силовую контактную группу с механизмом привода. В нормальном режиме при отсутствии дифференциального тока (тока утечки в силовой цепи по проводникам, проходящим сквозь окно магнитопровода трансформатора тока I) протекает рабочий ток нагрузки. Проводники, проходящие сквозь окно магнитопровода, образуют встречно включенные первичные обмотки дифференциального трансформатора тока. Если обозначить ток, протекающий по направлению к нагрузке, как I_1 а от нагрузки – как I_2 , то можно записать равенство $I_1 = I_2$.

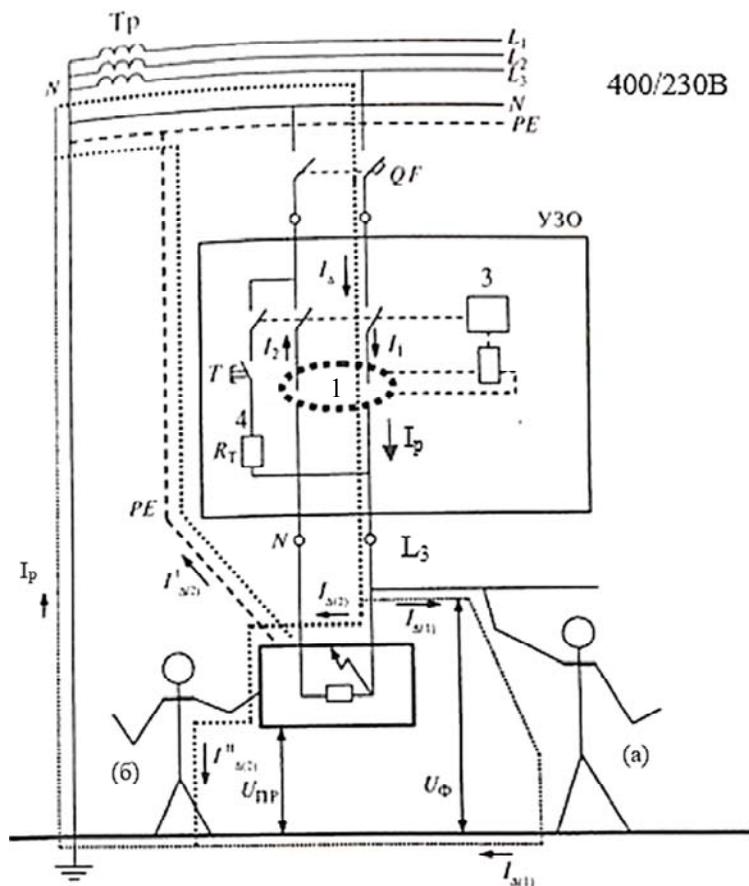


Рис. 7.2. Структурная схема работы устройства защитного отключения

Равные токи во встречно включенных обмотках наводят в магнитном сердечнике трансформатора тока равные и встречно направленные магнитные потоки Φ_1 , и Φ_2 . Результирующий магнитный поток равен нулю, ток во вторичной обмотке дифференциального трансформатора также равен нулю. Пусковой орган 2 находится в этом случае в состоянии покоя.

При прикосновении человека к открытым токопроводящим частям или при пробое изоляции на корпус по фазному проводнику через УЗО кроме тока нагрузки I_p протекает дополнительный ток – ток утечки I_{Δ} , являющийся для трансформатора тока дифференциальным (разностным). Неравенство токов в первичных обмотках ($I_1 + I_p$ в фазном проводнике и $I_1 = I_2$ в нейтральном проводнике) вызывает неравенство магнитных потоков и, как следствие, возникновение во вторичной обмотке трансформированного дифференциального тока. Если этот ток превышает значение уставки порогового элемента пускового органа 2, последний срабатывает и воздействует на исполнительный механизм 3. Исполнительный механизм, обычно состоящий из пружинного привода, спускового механизма и группы силовых контактов, размыкает электрическую цепь. В результате защищаемая УЗО электроустановка обесточивается. Для осуществления периодического контроля исправности УЗО предусмотрена цепь тестирования 4. При нажатии кнопки T (тест) искусственно создается отключающий дифференциальный ток. Срабатывание УЗО означает, что оно в целом исправно.

На рис. 7.2 представлены две расчетные ситуации:

а) непосредственное прикосновение человека к токоведущей части, находящейся под напряжением. Человек попадает под полное фазное напряжение и через его тело проходит ток утечки $I_{\Delta 1}$ (показан на рисунке прерывистой линией). Если этот ток превосходит ток уставки, происходит быстрое отключение УЗО. Электробезопасность при этом обеспечивается быстротой срабатывания УЗО.

б) косвенное прикосновение. Это прикосновение к проводящему корпусу электроустановки, на котором появилось напряжение прикосновения $U_{пр}$, вызванное повреждением изоляции фазного проводника. Корпус электроустановки занулен (присоединен к защитному PE-проводнику) и по петле фаза-ноль протекает ток утечки

$I_{\Delta 2} = I'_{\Delta 2} + I''_{\Delta 2}$, величина которого зависит от сопротивления в месте пробоя изоляции на корпус. Максимальное значение этого тока равно току однофазного КЗ при нулевом сопротивлении в месте пробоя, величина тока утечки в защитном проводнике $I_{\Delta 2}$ определяет напряжение прикосновения $U_{пр}$, наибольшее значение которого, равное фазному, будет иметь место лишь при обрыве защитного проводника ($I_{\Delta 2} = 0$). Таким образом, возможный диапазон напряжения прикосновения $U_{пр}$ представляет интервал от нуля до фазного. Если $I_{\Delta 2} = I'_{\Delta 2} + I''_{\Delta 2}$ превышает дифференциальный ток срабатывания, то УЗО так же быстро отключается, что обеспечивает необходимую электробезопасность.

Выбор УЗО осуществляются по следующим условиям:

- 1) по номинальному напряжению $U_{ном.} \geq U_{сети}$;
- 2) по номинальному току сети $I_{ном} \geq I_{дл}$.

Поскольку УЗО должно быть защищено от КЗ и перегрузок последовательным защитным устройством (ПЗУ), номинальный ток УЗО должен быть скоординирован с номинальным током ПЗУ.

Номинальный ток УЗО должен быть равен или на ступень выше номинального тока последовательного защитного устройства (автоматического выключателя QF на рис. 7.2);

- 3) по номинальному отключающему дифференциальному току $I_{\Delta H}$.

Уставку УЗО для каждого конкретного случая применения выбирают с учетом следующих факторов:

- значения существующего в данной электроустановке суммарного тока утечки на землю – так называемого «фонового тока утечки»;
- реального значения отключающего дифференциального тока УЗО, которое находится в диапазоне $0,5I_{\Delta H} - I_{\Delta H}$.

Согласно требованиям ПУЭ номинальный дифференциальный отключающий ток УЗО должен быть в три раза больше или равен суммарному току утечки защищаемой цепи электроустановки – $I_{\Delta H}$, т. е. $I_{\Delta H} \geq 3 \cdot I_{\Delta}$.

Суммарный ток утечки электроустановки измеряется специальными приборами либо определяется расчетным путем;

4) по номинальному не отключающему дифференциальному току $I_{\Delta H0}$ – значение дифференциального тока, которое не вызывает отключение УЗО, т. е. $I_{\Delta H0} = 0,5 \cdot I_{\Delta H}$.

В настоящее время изготавливаются и широко применяются так называемые дифференциальные автоматы (дифавтоматы), совмещающие функции автомата и УЗО.

Таблица 7.1

Автоматические выключатели дифференциального тока
вида XXXX1 – X2 X3 X4 X5 – X6 – УХЛ4

| | |
|-------|---|
| XXXX1 | Серия и типоразмер дифавтомата |
| X2 | Количество полюсов |
| X3 | Показатель отключающего дифференциального тока, А |
| X4 | Вид защитной характеристики |
| X5 | Параметр номинального тока, А |
| X6 | Характеристика по дифференциальному току |
| УХЛ4 | Исполнение по климатическим условиям |

Например, АВДТ32-22С16-А-УХЛ4 – Автоматический выключатель дифференциального тока двухполюсный, с защитной характеристикой «С» на номинальный ток 16 А и номинальный отключающий дифференциальный ток 30 мА.

7.2. Порядок выполнения лабораторной работы

На основании условий выбора УЗО суммарный ток утечки сети с учетом присоединяемых стационарных и переносных электроприемников в нормальном режиме работы не должен превосходить 1/3 номинального тока УЗО. При отсутствии данных ток утечки электроприемников следует принимать из расчета 0,4 мА на 1 А тока нагрузки, а ток утечки сети – из расчета 10 мкА на 1 м длины фазного проводника, т. е. $I_{\Delta} = 0,4 \cdot I_p + 0,01 \cdot l$.

На основании схемы, представленной на рис. 7.3 и данных, заданных преподавателем необходимо выполнить расчет и выбрать УЗО.

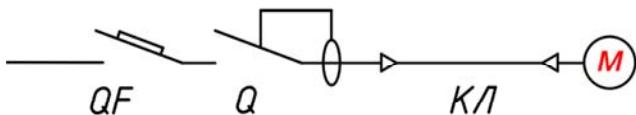


Рис. 7.3. Расчетная схема

7.3. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Описание устройства и принципа действия исследуемого аппарата, расшифровка его буквенно-цифрового обозначения.
3. Эскиз исследуемого аппарата.
4. Вывод.

7.4. Контрольные вопросы

1. Назначение и основные параметры автоматических выключателей и предохранителей.
2. Для чего предназначены УЗО?
3. Как обозначается УЗО на электрических схемах?
4. Как определяется фоновый ток утечки?
5. Нарисовать принципиальную электрическую схему включения УЗО в электроустановках системы $TN-C$, $TN-S$, $TN-C-S$, IT , TT .
6. Рекомендуемые значения номинального отключающего дифференциального тока $I_{\Delta N}$ УЗО (для одиночных и группы потребителей), а также для УЗО противопожарного назначения.
7. Можно ли обеспечить селективность УЗО?
8. Какие установлены стандартные значения максимально допустимого времени отключения УЗО?

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила устройства электроустановок. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 640 с.

2. Электроустановки на напряжение до 750 кВ. Линии электропередачи воздушные и токопроводы, устройства распределительные и трансформаторные подстанции, установки электросиловые и аккумуляторные, электроустановки жилых и общественных зданий. Правила устройства и защитные меры электробезопасности. Учет электроэнергии. Нормы приемо-сдаточных испытаний: ТКП 339-2011 (02230). – Введ. 01.12.2011. – Минск: Минэнерго, 2011. – 329 с.

3. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей: ТКП 181-2009 (02230). Введ. 20.05.2009 (с отменой Правил технической эксплуатации электрооборудования потребителей, утвержденных приказом Министерства энергетики СССР от 15.06.1987 г. №347). – Минск: Минэнерго, 2009. – 326 с.

4. Электроустановки зданий. Ч. 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Гл. 52. Электропроводки: ГОСТ 30331.15 – 2001 (МЭК 364 – 5 – 52 – 93). Введ. 01.03.2003. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2001. – 21 с.

5. Силовое и осветительное электрооборудование промышленных предприятий. Правила проектирования: ТКП 45-4.04-296-2014 (02250). Введ. 01.10.2014. – Минск: Мин. арх. и строительства Республики Беларусь, 2014. – 87 с.

6. Гужов, Н. П. Системы электроснабжения: учеб. пособие / Н. П. Гужов, В. Я. Ольховский, Д. А. Павлюченко. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2011. – 382 с.

7. Радкевич, В. Н. Электроснабжение промышленных предприятий: учеб. пособие / В. Н. Радкевич, В. Б. Козловская, И. В. Колосова. – 2-е изд., исправленное. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 589 с.

8. Чунихин, А. А. Электрические аппараты. Общий курс: учебник для вузов / А. А. Чунихин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 720 с: ил.

9. Копылов, И. П. Проектирование электрических машин: учебное пособие для вузов/ И. П. Копылов, Б. К. Клоков, Морозкин В. П. – М.: Высш. шк., 2005 – 768с.

10. Каталог продукции [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.metz.by/>. – Дата доступа: 03.10.2021.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|-----|
| Введение | 3 |
| Основные правила работы в лаборатории электроснабжения | 4 |
| Лабораторная работа № 1. Назначение неавтоматических коммутационных аппаратов, применяемых в электроустановках напряжением до 1 кВ | 5 |
| Лабораторная работа № 2. Исследование характеристик плавких предохранителей и автоматических выключателей | 23 |
| Лабораторная работа № 3. Устройство и конструктивное выполнение электрических сетей напряжением до 1 кВ | 41 |
| Лабораторная работа № 4. Комплектные распределительные устройства напряжением до 1 кВ | 63 |
| Лабораторная работа № 5. Изучение графиков электрических нагрузок | 81 |
| Лабораторная работа № 6. Потребители реактивной мощности в системах электроснабжения предприятий | 99 |
| Лабораторная работа № 7. Исследование устройств защитного отключения | 105 |
| Литература | 111 |

Учебное издание

КОЛОСОВА Ирина Владимировна
ЯРОШЕВИЧ Тамара Михайловна
ДЖУГЛЯ Маргарита Николаевна и др.

ПОТРЕБИТЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Пособие
для студентов специальностей
1-43 01 01 «Электрические станции»,
1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети»
и 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)»

Редактор *Е. В. Герасименко*
Компьютерная верстка *Е. А. Беспанской*

Подписано в печать 15.10.2021. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 6,57. Уч.-изд. л. 5,14. Тираж 200. Заказ 454.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.