

Министерство образования Республики Беларусь  
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

---

Кафедра «Электрические станции»

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В

Лабораторные работы (практикум)  
для студентов специальности 1–53 01 04  
«Автоматизация и управление энергетическими процессами»  
специализации 53.01.04.03 «Автоматизация и релейная защита  
электроустановок», специальности 1–43 01 01  
«Электрические станции»

Под редакцией И.И. Сергея

М и н с к 2 0 0 5

УДК 621.311

Лабораторный практикум содержит краткие теоретические сведения, описание лабораторных установок, методические рекомендации и порядок выполнения лабораторных работ по дисциплине «Электрооборудование напряжением до 1000 В».

Составители:

В.Н. Мазуркевич, И.И. Сергей

Рецензенты:

В.Н. Прима, М.И. Фурсанов

© Мазуркевич В.Н.,  
Сергей И.И., составление, 2004

## Список сокращений

- АВ – автоматический выключатель;
- БК – блок-контакты;
- БТМ – блок трансформатор-магистраль;
- БУРП – блок управления полупроводниковым расцепителем;
- Д – электродвигатель;
- К – контактор;
- КБ – батарея конденсаторов;
- КЗ – короткое замыкание;
- ККУ – комплектная конденсаторная установка;
- КРУ – комплектное распределительное устройство;
- КТП – комплектная трансформаторная подстанция;
- КУ – комплектное устройство;
- МТЗ – максимальная токовая защита;
- МП – магнитный пускатель;
- МШ – магистральный шинопровод;
- ПВ – плавкая вставка;
- ПП – промышленное предприятие;
- РМН – расцепитель минимального напряжения;
- РН – расцепитель независимый;
- РТ – расцепитель тепловой;
- РУ НН – распределительное устройство низкого напряжения;
- РШ – распределительный шкаф;
- РЭ – расцепитель электромагнитный;
- СС – силовая сборка;
- Т – трансформатор;
- ТТ – трансформатор тока;
- ЭП – электроприёмник.

## *Лабораторная работа № 1*

### **ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СХЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 кВ**

#### **1.1. Цель работы**

Потребление электрической энергии установками и агрегатами мощностью до 600 кВт чаще всего осуществляется на напряжении до 1 кВ (220, 380, 660 В). Для обеспечения энергией этих потребителей создается электрическая сеть соответствующего напряжения, получающая питание от понижающих трансформаторных подстанций, подключенных к распределительной сети напряжением выше 1 кВ (6, 10 кВ и выше).

Целью работы является изучение принципов построения схем электроснабжения потребителей энергии напряжением до 1 кВ в цехах промышленных предприятий.

#### **1.2. Краткие теоретические сведения**

В общем случае потребителей энергии напряжением до 1 кВ в цехах промышленных предприятий можно разделить на следующие основные группы: электроприводы; установки электрического освещения; электротермические установки; электротехнологические установки. В каждом цехе эти установки объединяются единым технологическим процессом и располагаются в технологических линиях более или менее равномерно по площади цеха. При этом каждое из устройств и агрегатов работает в определенном режиме (длительном, кратковременном, повторно-кратковременном), потребляет конкретную мощность и по-разному влияет на осуществление технологического процесса.

В этой связи схема внутрицехового электроснабжения должна обеспечить: передачу каждому из потребителей необходимой мощности при нормируемом качестве энергии; требуемую надежность электроснабжения; наглядность, удобство и безопасность эксплуатации; наименьшие возможные потери электроэнергии и затраты на создание и эксплуатацию.

Наиболее полного соответствия этим требованиям можно достичь при построении схем с использованием изготавливаемых промышленностью комплектных устройств и изделий – комплектных трансформаторных подстанций, токопроводов, распределительных шкафов и сборок, ящиков питания и т.п. Комплектные устройства и изделия представляют собой электротехнические установки, все элементы которых изготовлены и испытаны на заводе. Завод-изготовитель поставляет их блоками из нескольких шкафов или отдельными шкафами (ящиками) в полностью смонтированном виде со всей аппаратурой и всеми соединениями главных и вспомогательных цепей (если они требуются).

Общепринято внутрицеховые сети разделять на питающие и распределительные. Питающие сети отходят от трансформаторной подстанции (источника питания) к распределительным устройствам (шкафам, шинопроводам, силовым сборкам) или к отдельным крупным электроприемникам (ЭП). Они могут выполняться по схеме блока трансформатор – магистраль (БТМ). В этом случае к трансформатору трансформаторной подстанции (ТП) подключается магистральная линия (магистральный шинопровод – ШМ), по которой энергия передается к распределительным шкафам (РШ) и нескольким ЭП, присоединенным к магистрали ответвлениями (рис. 1.1).

Распределительные внутрицеховые сети – это сети, к которым непосредственно подключаются различные электроприемники цеха. Они выполняются с помощью распределитель-



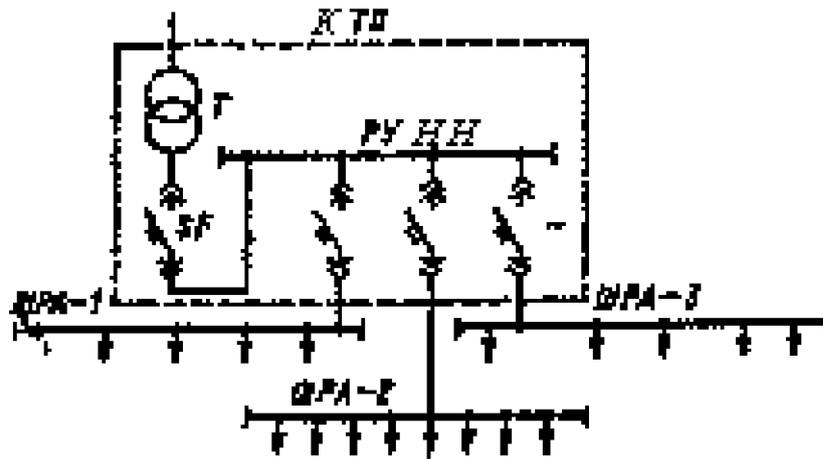


Рис. 1.2. Магистральная схема с несколькими магистралями

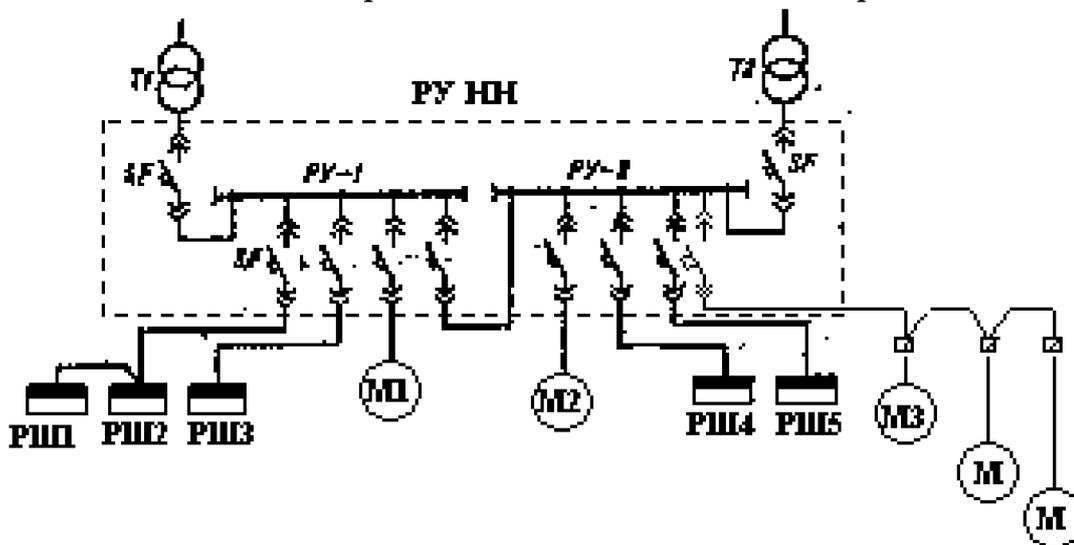


Рис. 1.3. Радиальная схема распределения электроэнергии на напряжение до 1 кВ

Радиальные схемы обеспечивают высокую надежность питания отдельных потребителей, так как аварии на них локализуются отключением автоматического выключателя поврежденной линии и не затрагивают другие линии. Достоинством их является и сосредоточение на РУНН ТП аппаратов управления и защиты присоединений, что упрощает выполнение автоматизации распределения энергии. Недостатками радиальных схем являются: малая экономичность, обусловливаемая значительной протяженностью кабелей и проводов, большим количеством

распределительных шкафов, большим числом защитной и коммутационной аппаратуры; малая приспособляемость к изменению технологического процесса из-за необходимых при этом перемещений ЭП на другие места цеха.

Магистральные схемы (см. рис. 1.1,1.2) применяются для питания силовых и осветительных нагрузок, распределенных относительно равномерно по площади цеха, а также для питания группы ЭП, принадлежащих одной технологической линии. В этих схемах одна питающая магистраль, рассчитанная на большой ток, обеспечивает энергией несколько распределительных шкафов или распределительных магистралей (шинопроводов) и крупные ЭП цеха. Разновидностью магистральных схем является схема БТМ (блок трансформатор–магистраль). В этом случае внутрицеховая сеть упрощается, поскольку в ТП отсутствует РУНН.

Достоинством магистральных схем являются: упрощение или вообще отсутствие РУНН в ТП; высокая гибкость сети, дающая возможность перестановок технологического оборудования без переделки сети; использование комплектных шинопроводов. Недостаток их – меньшая надежность электропитания, так как при аварии на магистрали все подключенные к ней ЭП теряют питание. При необходимости для повышения надежности в этих схемах вводятся резервные перемычки. Но это повышает затраты на схему.

На практике для электропитания цеховых ЭП радиальные и магистральные схемы редко встречаются в чистом виде. Наибольшее распространение имеют смешанные (комбинированные) схемы, сочетающие в себе элементы радиальных и магистральных схем и пригодные для любой категории электропитания (рис. 1.4).

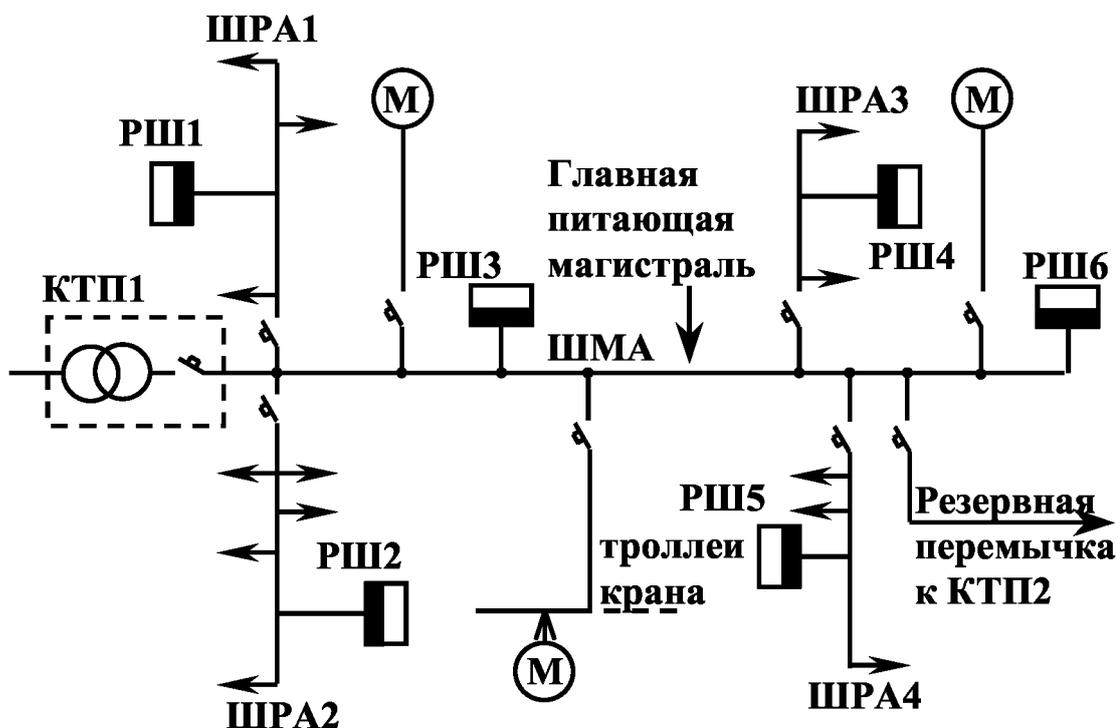


Рис. 1.4. Смешанная схема внутрицеховой электрической сети

В смешанных схемах от главных питающих магистралей и их ответвлений ЭП питаются через распределительные шкафы РШ или шинопроводы ШРА в зависимости от расположения оборудования в цехе. На участках с малой нагрузкой, где прокладка распределительных шинопроводов нецелесообразна, устанавливаются распределительные шкафы, присоединяемые к ближайшим шинопроводам (распределительным или магистральным). РШ устанавливаются в центре электрических нагрузок данной группы ЭП при среднем радиусе отходящих от РШ линий 10...30 м. Подключения РШ к шинопроводам и ЭП к РШ выполняются кабелями или изолированными проводами.

*Разработка целесообразной схемы цеховой сети конкретного предприятия невозможна без учета особенностей технологического процесса, размещения оборудования в цехе и требований ЭП к надежности питания. В общем случае питание сети может осуществляться от одной – или нескольких одно или двух трансформаторных подстанций.*

Чаще всего цеховые электрические сети снабжаются электрической энергией от комплектных трансформаторных подстанций (КТП), подключенных к распределительной сети 10(6) кВ. КТП изготавливаются на заводах и поставляются в виде отдельных блоков, каждый из которых содержит необходимую аппаратуру со всеми соединениями цепей. КТП состоит из вводного устройства высокого напряжения, одного или двух силовых трансформаторов 10(6)/0,4 – 0,69 кВ и комплектного распределительного устройства низкого напряжения (КРУНН) (рис. 1.5).

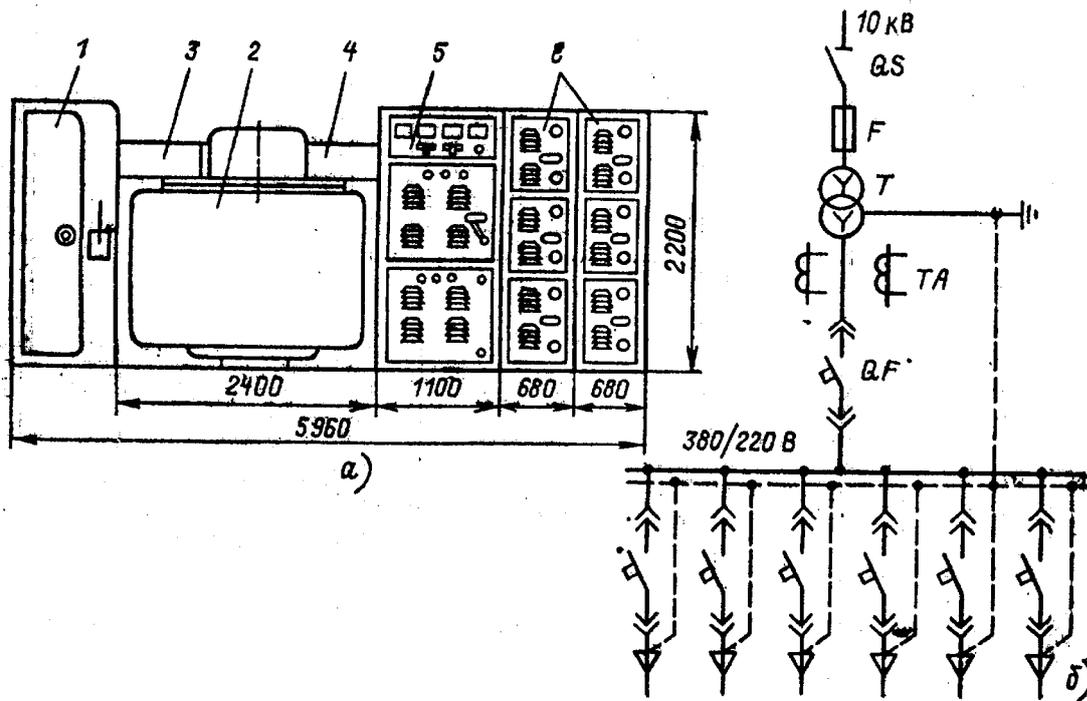


Рис. 1.5. Конструкция и схема КТП с одним трансформатором:

- 1 – шкаф ввода ВН; 2 – трансформатор; 3 – закрытый токопровод 6-10 кВ;
- 4 – то же 0,4-0,69 кВ; 5 – вводный шкаф НН; 6 – шкаф отходящих линий НН

Вводное устройство представляет собой закрытый дверцами металлический шкаф. В нем может размещаться разъединитель с предохранителем или без него, либо выключатель нагрузки с предохранителем (или без него). Ошиновка вводного устройства и подключение аппаратов к выводам высокого

напряжения трансформатора выполняются алюминиевыми либо медными шинами.

В качестве трансформаторов в КТП используются сухие или герметичные трансформаторы с «азотной подушкой» – ТМЗ или ТНЗ. Конструкция этих трансформаторов рассчитана на непосредственное примыкание к шкафам вводов высокого и низкого напряжений. КРУНН состоит из вводного шкафа, ряда шкафов отходящих линий, секционного шкафа (если он требуется). Корпуса шкафов выполнены из металла и закрываются дверцами. В них встраиваются автоматические выключатели выдвигного исполнения. В большинстве случаев в цехах ПП устанавливаются КТП с трансформаторами мощностью 160 – 2500 кВ·А.

Однотрансформаторные подстанции применяются для питания ЭП, допускающих перерыв электроснабжения на время доставки «складского» резерва, или при резервировании по переключкам на напряжении потребления энергии. Двухтрансформаторные подстанции применяются при преобладании приемников I и II категории по надежности электроснабжения.

Число и мощность одно и двухтрансформаторных подстанции (КТП) зависят от расчетной нагрузки цеха, предельной мощности трансформаторов соответствующего уровня напряжения (380 В – 1600 кВ·А, 660 В – 2500 кВ·А), а так же от особенностей технологического процесса и условий окружающей среды. В случае, когда в цехе имеются значительные, часто повторяющиеся толчковые нагрузки или электроприемники особой группы, для их питания могут устанавливаться отдельные трансформаторные подстанции.

Мощность трансформаторов выбирается с учетом графика их нагрузки и нагрузки взаиморезервирования. Необходимо, чтобы при выходе из работы наиболее мощного из них остальные приняли на себя всю нагрузку с учетом допустимой перегрузки и возможного временного отключения потребителей III категории. На двух трансформаторных подстанциях

номинальная мощность одного трансформатора обычно принимается 0,65 – 0,7 общей расчетной нагрузки.

В схемах цехового электроснабжения при расположении ТП внутри цеха преимущественно применяются сухие трансформаторы и трансформаторы, заполненные негорючей жидкостью. Масляные трансформаторы применяются при наружной их установке или внутри помещений с учетом ограничений, указанных в ПУЭ [12].

*Конструктивно цеховые электрические сети* выполняются изолированными проводами, кабелями и шинопроводами. Сети, выполненные изолированными проводами и небронированными кабелями сечением до 16 мм<sup>2</sup> с относящимися к ним креплениями и поддерживающими конструкциями, называются электропроводками. Электропроводки в цехах могут прокладываться открыто по стенам, потолкам на изолирующих опорах, в лотках, на тросах (струнах), и скрыто–внутри конструктивных элементов зданий (в стенах, полах, перекрытиях и т.п.), в коробах и трубах.

Открытая прокладка проводки чаще всего применяется по конструкциям. Электропроводки в трубах позволяют прокладывать провода по кратчайшей трассе, являются пожаробезопасными и высоконадежными, но дороги и трудоемки в изготовлении. Для снижения затрат взамен стальных водогазопроводных труб в сухих помещениях с невзрывоопасной средой используются тонкостенные стальные или пластмассовые трубы (винипластовые, полипропиленовые и др.) или металлокава. Правила устройства электроустановок регламентируют способы выполнения проводок, марки проводов и кабелей для различных условий окружающей среды и степени возгораемости строительных материалов и конструкций [12].

Шинопроводы по назначению разделяются на магистральные, распределительные, осветительные и троллейные. Их изготавливают в виде отдельных типовых секций, соединяемых между собой при монтаже сваркой или болтами. Для присоеди-

ния проводов и кабелей к шинам закрытых шинопроводов в их конструкции предусматриваются ответвительные коробки, устанавливаемые с определенным шагом по длине шинопровода. В цехах шинопроводы устанавливаются на специальных стойках, на стенах, кронштейнах и колоннах здания с помощью различных крепежных конструкций.

### **1.3. Содержание работы**

1. Изучить принципы построения схем цеховых электрических сетей, изложенные в разделе 1.2.
2. Рассмотреть, проанализировать, выявить достоинства и недостатки схемы внутрицеховой сети для варианта, указанного преподавателем.
3. Составить отчет о работе.

### **1.4. Методические указания и порядок выполнения работы**

1. Для изучения принципов построения схем цеховых электрических сетей (раздела 1.2) необходимо выяснить и запомнить требования к схемам, виды схем, указания к применению конкретных видов схем, принципы определения количества и мощности питающих трансформаторов, способы конструктивного исполнения.

2. Ознакомиться со схемой сети указанного варианта, проанализировать предложенную схему, определить ее достоинства и недостатки. Получить у преподавателя альбом с вариантами схем и номер варианта. В альбоме приведены планы различных цехов ПП с наложенной на них схемой электроснабжения. Электроприемники пронумерованы дробью. Числитель дроби – номер приемника, знаменатель – номинальная мощность. Во всех вариантах условно предполагается, что ЭП питаются трех-

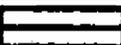
фазным переменным током при напряжении 380 В промышленной частоты. Окружающая среда в цехах нормальная.

Электроэнергия к отдельным приемникам поступает от КТП по кабельным линиям. В цехах смонтированы распределительные устройства 380 В из панелей ЩО-70М, от которых энергия передается к групповым (узловым) распределительным шкафом или шинопроводам. К конкретному приемнику энергия подводится проводами марки АПВ, проложенными в трубах или металлорукавах.

Условные обозначения, используемые в схемах, приведены в табл. 1.1.

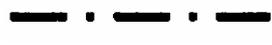
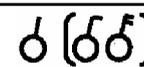
Т а б л и ц а 1.1

**Условные графические обозначения электроустановок и электрооборудования на планах зданий и сооружений**

Графическое обозначение	Элемент схемы	Буквенный код
	Подстанция открытой установки	
	Подстанция закрытой установки	
	Общее обозначение электрического устройства (внутри может быть указан вид: трансформатор; двигатель)	
	Щит, пункт распределительный	
	Щит распределительный, состоящий из п панелей (шести)	
	Шкаф, ящик управления	А

	Пускатель магнитный	<i>KM</i>
	Контактор трехполюсный	<i>QS</i>

Окончание табл. 1.1

	Светильник с лампой накаливания	<i>EL</i>
	Кнопка управления	
	Шинопровод на стойках	
	Общее обозначение линий электропроводки (наклонные штрихи указывают число проводов – 4)	
	Проводка в трубах	
	Линия заземлений	
	Линия заземления или зануления	
	Выключатель сети освещения (однополюсной, двухполюсной)	
	Однополюсной переключатель на два направления	
	Штепсельная розетка	
	Предохранитель плавкий	<i>F</i>
	Выключатель автоматический в силовых цепях	<i>QF</i>
	Выключатель автоматический в цепях управления	<i>SF</i>
	Рубильник	<i>S</i>
	Выключатель-предохранитель	<i>SK</i>

	Обмотка контактора, МП	<i>КМ</i>
---	------------------------	-----------

### 1.5. Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Краткое описание указанного преподавателем варианта цеховой сети.
3. Достоинства и недостатки заданного варианта схемы электроснабжения ЭП цеха.
4. Другие сведения (по усмотрению студента).

### 1.6. Контрольные вопросы

1. Как обеспечивается электроснабжение потребителей энергии напряжением до 1 кВ.
2. Перечислите требования к цеховой электрической сети.
3. Назовите признаки радиальной схемы питания ЭП и перечислите ее достоинства.
4. В каких случаях применяется магистральная схема питания (ее достоинства)?
5. Поясните причины, почему в цеховых сетях используются комплектные изделия и устройства.
6. Определите понятие «комплектное устройство».
7. От чего зависит количество питающих цеховую сеть трансформаторов?
8. Как определяется мощность питающих цеховую сеть трансформаторов?
9. От чего зависит тип используемых трансформаторов схеме электроснабжения ЭП цеха?
10. Как конструктивно могут выполняться цеховые сети?

Литература: [3], с: 120-126;  
[6], с: 185-190;

[11], с: 170-175, 188-193.

## *Лабораторная работа № 2*

# **КОНСТРУКТИВНОЕ ВЫПОЛНЕНИЕ ВНУТРИЦЕХОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ И ИХ ОБОРУДОВАНИЯ**

## **2.1. Цель работы**

Внутрицеховые электрические сети напряжением до 1 кВ конструктивно могут быть выполнены по-разному. Используемое электрооборудование при этом должно выбираться с учетом конкретных условий размещения электроприемников (ЭП) в цехе, режимов их работы, условий окружающей среды и др. Оптимальное решение по цеховым сетям принимается на основании технико-экономических расчетов технически равноценных вариантов исполнения.

Целью работы является изучение конструктивного выполнения внутрицеховых электрических сетей и их оборудования.

## **2.2. Краткие теоретические сведения**

Цеховая электрическая сеть состоит из следующих основных элементов:

- проводников различных видов и конструкций;
- защитных, коммутационных и пусковых аппаратов;
- комплектных устройств (КУ) для приема и распределения электроэнергии;
- конденсаторных установок.

### **2.2.1. Конструктивное исполнение токоведущих частей цеховых сетей**

Различают следующие конструктивные виды проводников цеховых электрических сетей: шинопроводы, одножильные кабели на большие токи, электропроводки и кабельные линии. Шинопроводы представляют собой жесткие токопроводы для сетей до 1 кВ. Разновидностью шинопроводов являются открытые шинные линии, которые прокладываются на высоте 10...12 м по нижнему поясу ферм на изоляторах в цехах небольшой протяженности. Они достаточно надежны и дешевы. Стоимость их увеличивается за счет спусков и подъемов питающих линий и ответвлений. Открытые шинные линии применяются в цехах, где по условиям влажности и пыльности среды невозможно применение комплектных шинопроводов, предназначенных только для помещений с нормальной средой. Но в связи с тем что открытые шинные линии имеют большую индуктивность по сравнению с комплектными шинопроводами, их не следует применять в мощных протяженных сетях.

Комплектные шинопроводы изготавливают на заводах в виде отдельных секций длиной 3 м, соединяемых между собой сваркой, болтовыми зажимами или штепсельными разъемами. В состав секции входят алюминиевые шины, защитные стальные короба и изоляторы (рис. 2.1). Комплектные шинопроводы имеют высокую надежность, длительный срок службы, удобны при монтаже и эксплуатации (благодаря жесткости конструкции они являются самонесущими). Наличие готовых стандартных секций позволяет создать универсальную сеть, к которой можно дополнительно подключать ЭП при изменении технологии производства. В зависимости от назначений шинопроводы подразделяются на магистральные, к которым присоединяются распределительные шинопроводы и отдельные мощные ЭП; распределительные, служащие для присоединения к ним ЭП; троллейные – для питания передвижных и грузоподъемных ЭП; осветительные – для питания светильников.

Комплектные шинопроводы применяются только для внутренней электропроводки. При необходимости выхода шинопровода за пределы помещения, а также в условиях стесненности, сложных изгибов, в случаях пересечения трубопроводов, строительных конструкций и других используются кабельные вставки марки АВВ на большие токи (более 1000 А). В целях уменьшения потерь три одножильных кабеля АВВ разных фаз прокладывают в общем, пучке треугольником.

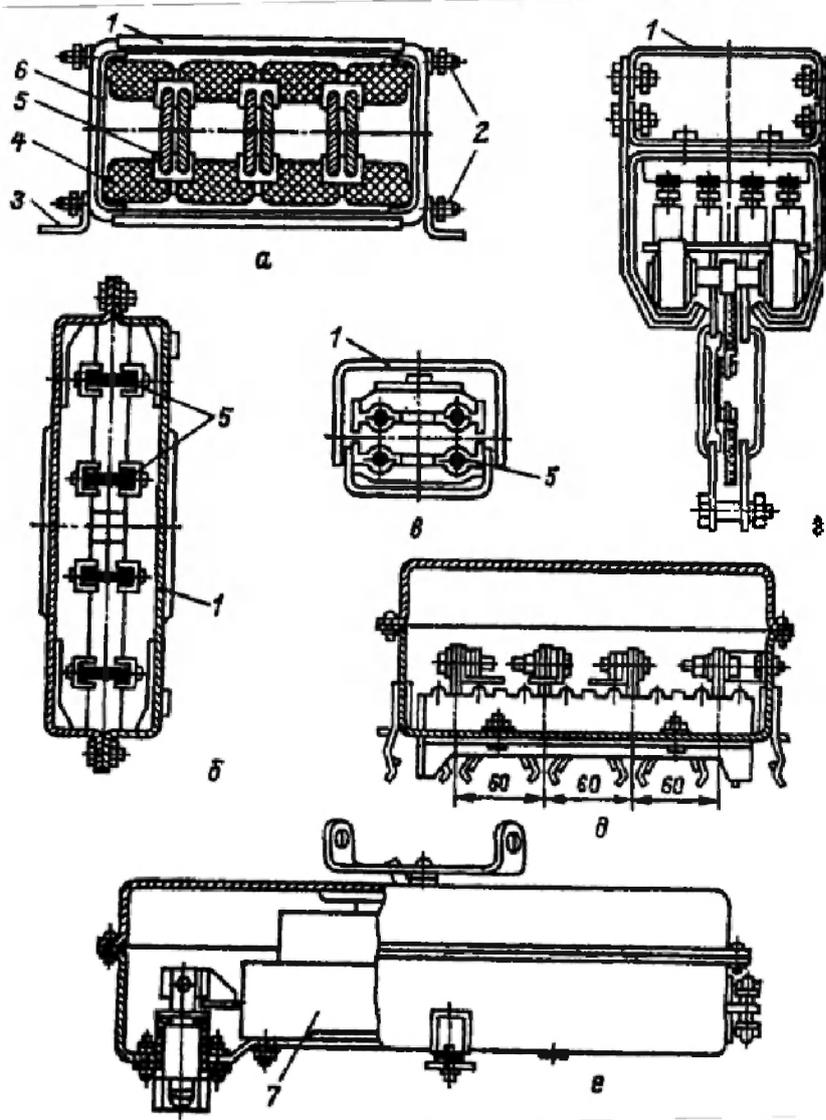


Рис. 2.1. Конструкции шинопроводов различных серий и их элементы:  
 а – магистральный ШМА; б – распределительный ШРА; в – осветительный

ШОС; г – троллейный ШТМ; д – вводная коробка; е – осветительная коробка с автоматическим выключателем; 1 – крышка; 2 – стяжные болты; 3 – алюминиевые уголки; 4 – изоляторы; 5 – шины; 6 – ярмо; 7 – автоматический выключатель

*Электропроводки.* Электрические сети, выполняемые изолированными проводами и небронированными кабелями малых (до 16 мм<sup>2</sup>) сечений с резиновой и пластмассовой изоляцией жил с относящимися к ним креплениями и поддерживающими конструкциями, называются электропроводками. В цехах промышленных предприятий (ПП) основным конструктивным видом электропроводок является открытая прокладка в лотках, коробах и на тросах. Электропроводки в коробах в отличие от электропроводок в лотках защищают провода и кабели от загрязнений. Короба изготавливаются в виде П-образных профилей с перегородками секциями длиной 3 м. В коробах есть планки для крепления проводов и изоляторов. Число проводов, прокладываемых в одном коробе, не должно быть более 12. Реже в цехах ПП применяется открытая прокладка на роликах и изоляторах. Скрытая проводка применяется в конструктивных элементах зданий, в стенах, полах и перекрытиях и может быть выполнена в трубах, в каналах и т.п. Важным компонентом электропроводок является изоляция проводов, которые изготавливаются из резины или полихлор-винилового пластиката. Изолированные провода и кабели отличаются друг от друга исполнением защитных оболочек. Кабели имеют поверх изоляции герметичную оболочку, защищающую изоляцию от неблагоприятного воздействия окружающей среды и механических повреждений.

*Кабельные линии.* Во внутрицеховых сетях кабели прокладываются по стенам, конструкциям, в трубах, в кабельных каналах. Для питания переносных и передвижных механизмов применяют шланговые многожильные гибкие кабели с медными жилами и резиновой изоляцией, например кабели КРПТ.

При сооружении цеховой сети применяются и *модульные сети*. Они представляют собой сеть, провода которой проло-

жены под полом в трубах с разветвительными коробками, над которыми устанавливаются напольные колонки. Сеть называется модульной, так как ответвительные коробки для присоединения ЭП выполняются с заданным шагом (модулем) 1,5...6 м в зависимости от характера производства.

### **2.2.2. Защитные, коммутационные и пусковые аппараты**

*Плавкие предохранители* служат для защиты электрических сетей от токов КЗ. Они являются простейшими аппаратами токовой защиты, действие которых основано на перегорании плавкой вставки (ПВ). Предохранители включают последовательно в фазу защищаемой цепи. Номинальным током ПВ называют ток, который может длительно проходить через нее, не вызывая расплавления металла вставки. При размещении предохранителей в электрической сети обязательным условием является обеспечение селективности (избирательности) их действия. Это значит, что при КЗ на каком-либо участке сети должна перегореть ПВ только предохранителя этого поврежденного участка. Поэтому каждый предохранитель на схеме сети по мере приближения к источнику питания должен иметь ПВ с  $I_{ном}$  на одну-две ступени выше, чем предыдущий.

*Автоматические выключатели (АВ)* предназначены для автоматического размыкания электрических цепей при КЗ и перегрузках, а также для выполнения редких оперативных переключений (3...5 в час). Они могут защищать электрическую цепь от недопустимых снижений напряжения. В АВ не применяется какой-либо специальной среды для гашения дуги. Дуга гасится в воздухе, поэтому АВ называются воздушными. По числу полюсов АВ бывают одно-, двух- и трехполюсные, изготавливаются на токи до 6000 А (рис. 2.2).

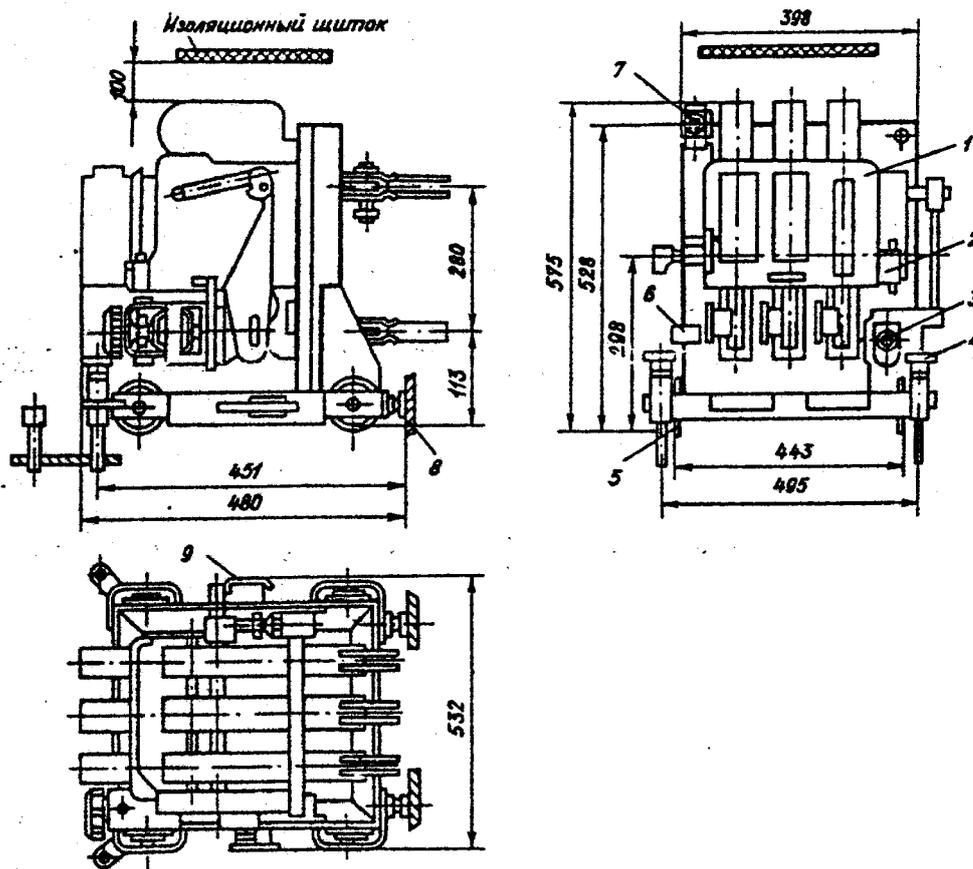


Рис. 2.2. Общий вид, габариты и установочные размеры выдвигающихся автоматических выключателей АВМ4 и АВМ10: 1 – панель управления; 2 – расцепитель независимый; 3 – электромеханический привод; 4 – фиксатор; 5 – ролик тележки каркаса напряжения; 6 – штепсельный разъем; 7 – расцепитель минимального напряжения; 8 – упор в ячейке распределительного устройства; 9 – контакт скользящий для заземления

*Контакторы (К) и магнитные пускатели (МП)* используются для управления работой электродвигателей. Контактором называется аппарат, приводимый в действие электромагнитом. Включение и отключение его можно осуществлять дистанционно с помощью кнопок или ключей управления. Вместе с другими аппаратами К служат для пуска, изменения чередования фаз и остановки ЭП при ручном и автоматическом управлении.

Контакторы применяются для коммутации силовых цепей электродвигателей (Д) мощностью 100 кВт и выше. В цепях переменного тока в основном используются трехполюсные контакторы серий КТ, КТВ, а в цепях постоянного тока – одно – и двухполюсные серии КП, КПВ. МП предназначены для дистанционного управления асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором мощностью до 100 кВт. Для пуска и останова электродвигателе используются нереверсивные МП; для пуска, останова и реверса двигателей - реверсивные МП. Встроенные в них тепловые реле защищают Д от перегрузок. В общем случае МП представляет собой аппарат, включающий в себя трехполюсный контактор переменного тока и два тепловых реле, включенные последовательно в две фазы главной цепи.

*Неавтоматические выключатели* предназначены: 1) для отключения отдельных частей установки, участков электрической сети от напряжения для обеспечения безопасного ремонта оборудования, выделенного участка сети; 2) для включения и отключения электрических цепей в нормальных режимах работы при рабочих токах, не превышающих  $0,2 \dots 1,0 I_{ном}$  выключателя. Операции включения и отключения выполняются только вручную с помощью простейших рычажных приводов. Неавтоматические выключатели не участвуют в защите цепей при перегрузках и КЗ. Дугогасительные устройства у них, как правило, отсутствуют.

Неавтоматические выключатели рубящего типа называются рубильниками. Они снабжаются линейными контактами с пружинами, обеспечивающими продолжительную работу при протекании номинального тока при допустимой температуре нагрева контактов. Номинальный ток отключения обычно меньше номинального тока рубильника. Токоведущая система рубильника не защищена от случайного прикосновения. Поэтому их устанавливают так, чтобы металлическая панель распределительного щита или шкафа защищала оператора от прикосновения к токоведущим частям и ожогов дугой. Рукоятку управления при этом выносят на лицевую сторону панели (шкафа). В

сетях до 1 кВ применяют рубильники серии Р, рубильники переключающие серии РП, выключатели и переключатели серии В2000, П2000, Р300, П3000 (рис. 2,3–2,5).

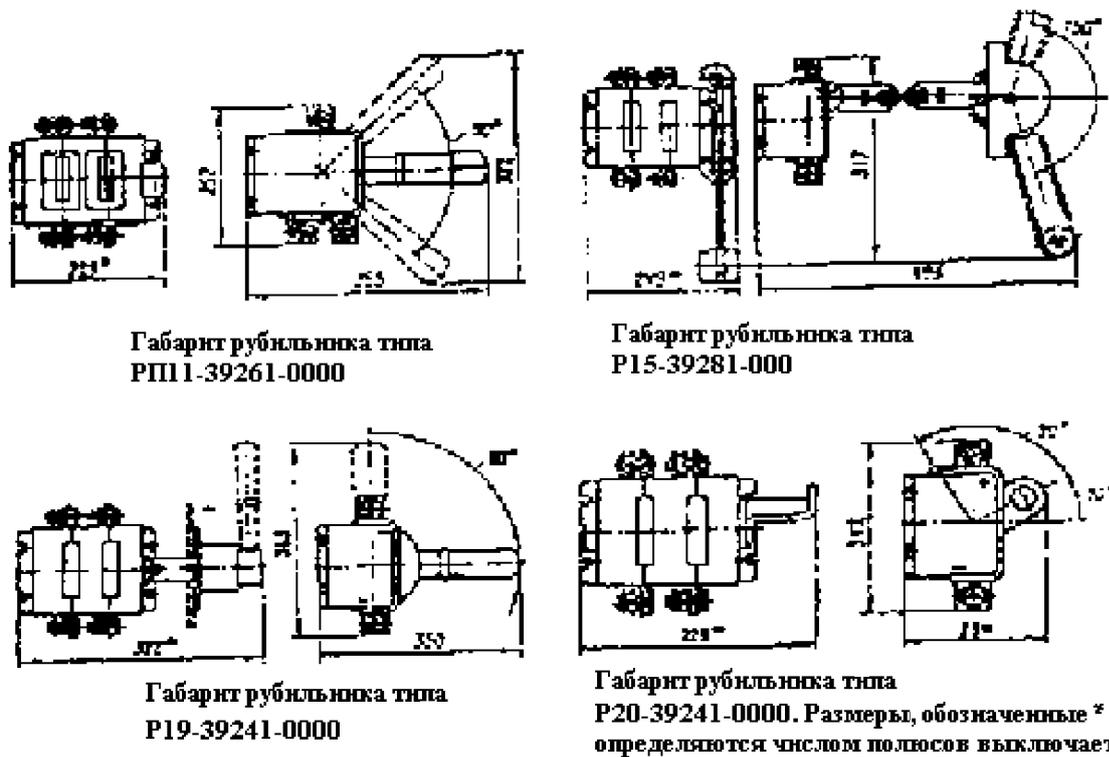
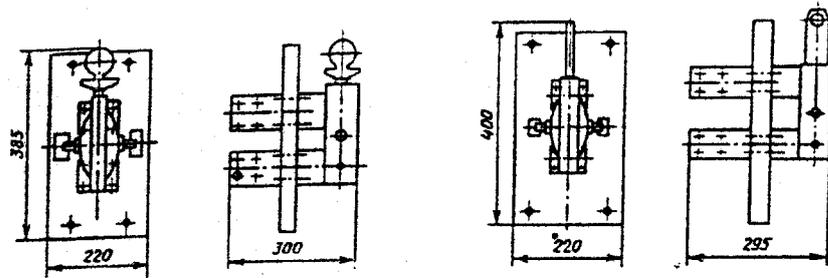
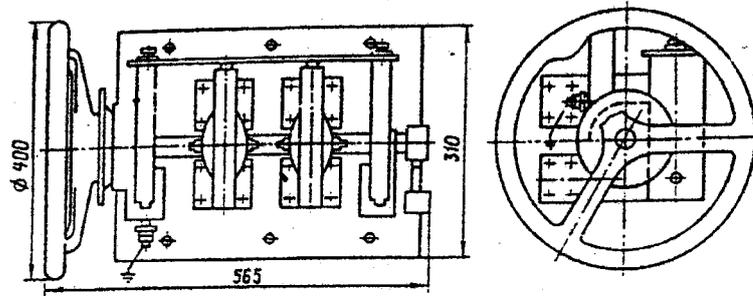


Рис. 2.3. Общий вид и габариты рубильников различного типа



Габарит рубильника типа P2511

Габарит рубильника типа P2541



Габарит рубильника типа P2523

Рис. 2.4. Габариты рубильников различных типов

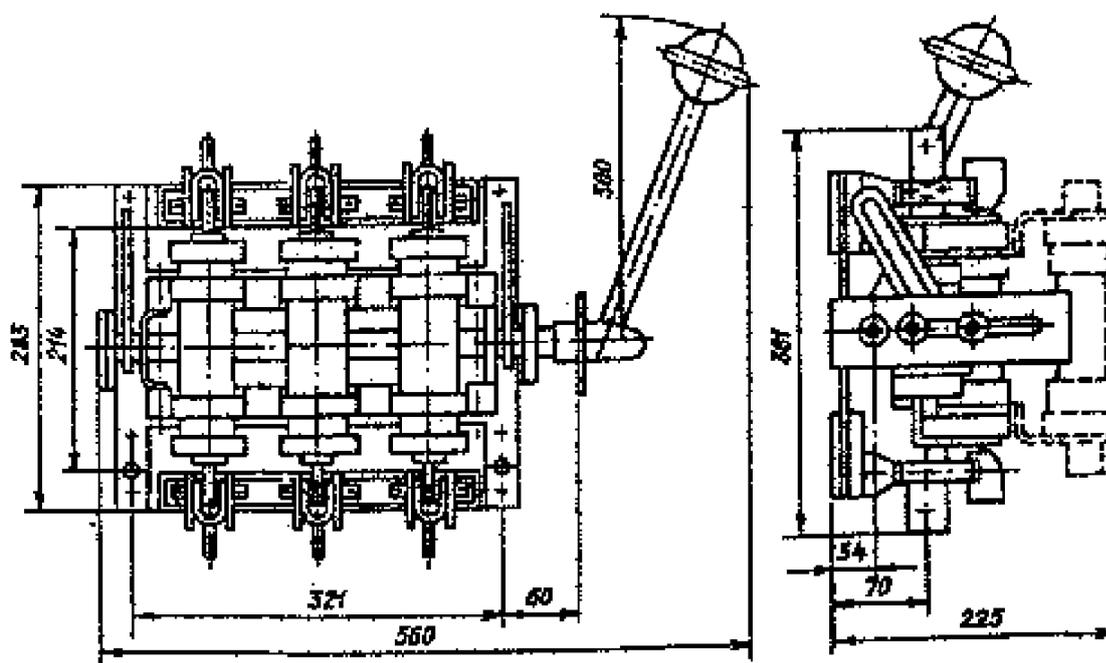
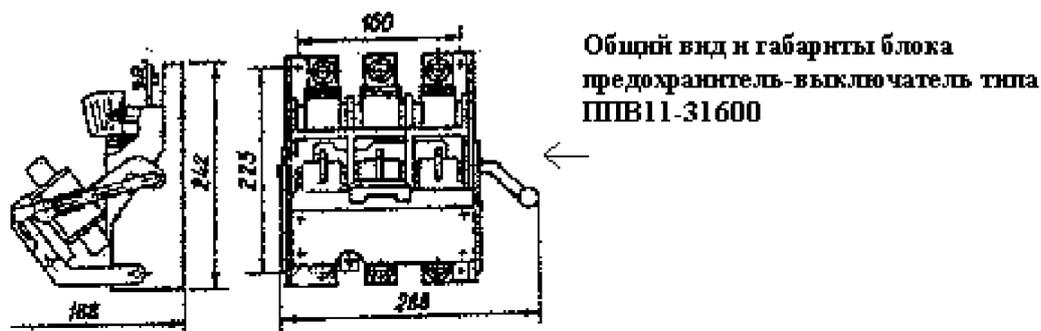


Рис. 2.5. Общий вид и габариты блоков предохранитель-выключатель

*Пакетные переключатели* применяют в качестве коммутационных аппаратов в силовых цепях распределительных шкафов, в комплектных РУНН до 1 кВ, для переключения без нагрузки ответвлений трансформаторов, а также в осветительных щитках. Выключатели этого типа состоят из ряда пакетов, связанных общим валом. Неподвижные контакты каждого пакета в виде ножей укреплены на изолированном валу. Последний приводится во вращение с помощью рукоятки. Их изготавливают для напряжения до 380 В переменного тока и 220 В постоянного тока с  $I_{ном}$  от 10 до 400 А (рис. 2.6).

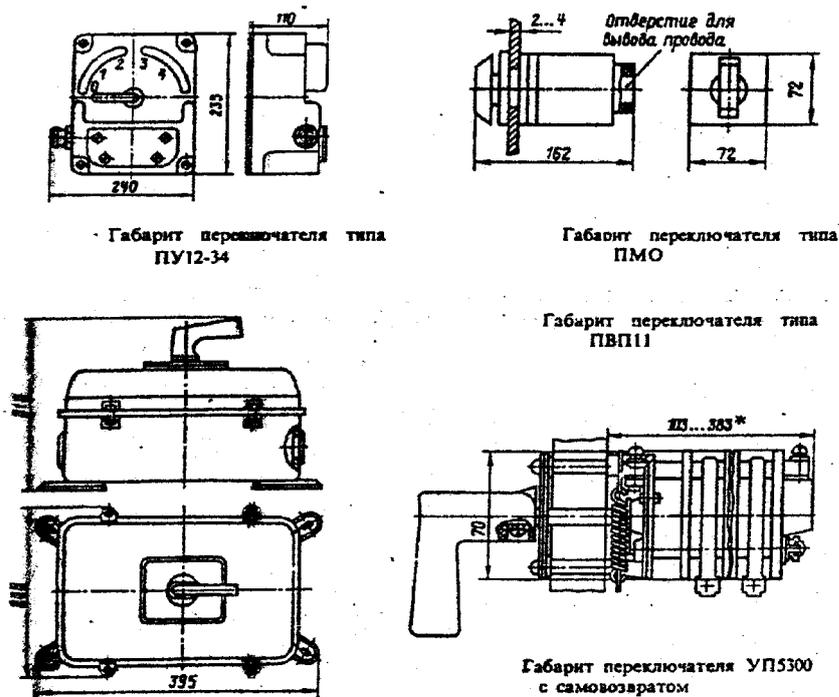


Рис. 2.6. Габариты переключателей различных типов

### 2.2.3. Комплектные устройства

Комплектные устройства (КУ) проектируют в соответствии с типовыми схемами электроснабжения цехов, что позволяет применять их в схемах электроснабжения цехов с различным технологическим циклом. Они устанавливаются на участках сети между магистральной линией питания и ЭП. Предназначены КУ для распределения электроэнергии и защиты ЭП при перегрузках и КЗ, а также для нечастых (не более 6 в час) включений и отключений. Применение КУ повышает надежность электроснабжения, сокращает сроки и стоимость монтажных работ. Промышленностью выпускаются КУ в виде щитков, распределительных пунктов, шкафов, панелей и ящиков. В последнее время широкое применение получили серии сборных КУ, состоящие из отдельных блоков и панелей, монтируемых на специальных стойках или рейках. Сборные КУ позволяют вследствие гибкости схем наиболее полно использовать установленное в них электрооборудование.

*Щиты осветительные* предназначены для приема и распределения электроэнергии, защиты от перегрузок и токов КЗ в осветительных сетях трехфазного переменного тока с глухозаземленной нейтралью. Щиты используют также для нечастых оперативных включений и отключений цепей. Кроме щитов в сетях электрического освещения для перехода от магистральной линии питания к групповым линиям светильников применяют различные типы щитков освещения (рис. 2.7).

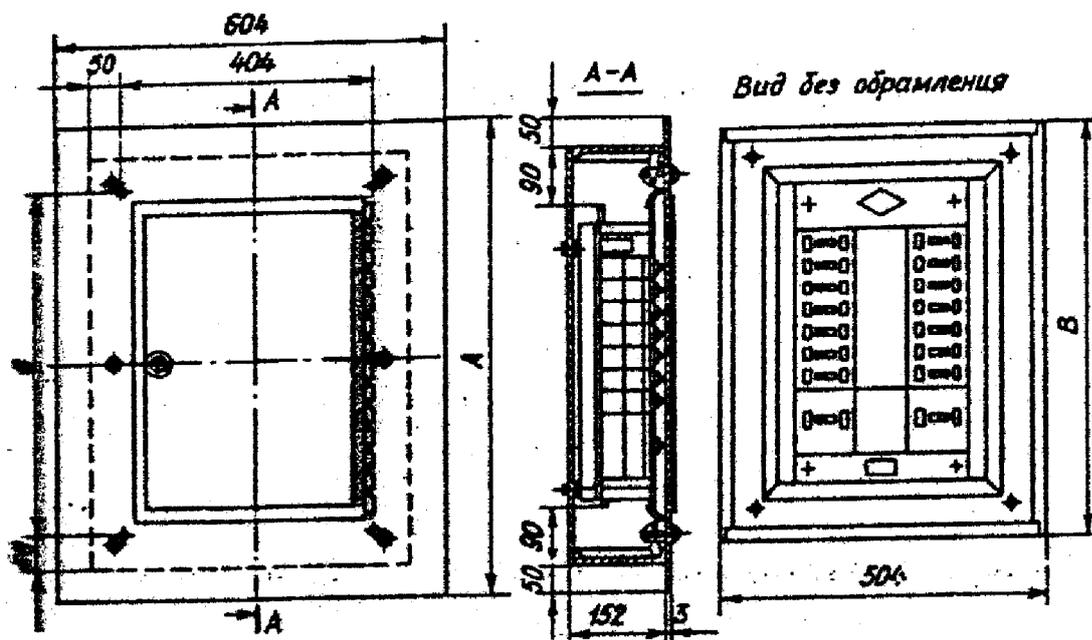


Рис. 2.7. Общий вид осветительного щитка типа СУ445

*Распределительные силовые пункты и шкафы* выполняются в виде металлического шкафа, внутри которого размещены предохранители или автоматические выключатели. Распределительные пункты серии ПР9000 (рис. 2.8) изготавливаются с встроенными в них АВ серии А3100; они предназначены для распределения электроэнергии и защиты установок I и II категории.

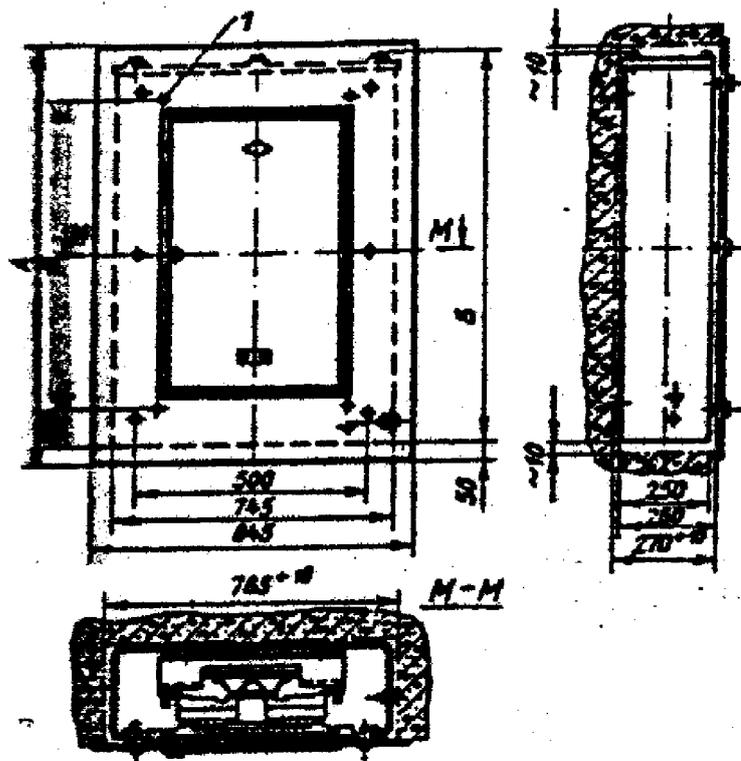


Рис. 2.8. Общий вид РУ пункта типа ПР9141:  
7 – отверстия для крепления распределительного пункта

*Распределительные пункты ПР11, ПР21, ПР22, ПР24, ПР41* изготавливаются с встроенными АВ серии АЗ700.

*Распределительные шкафы ШР11* устанавливают на полу. Они имеют  $I_{\text{ном}} = 400$  А. В качестве вводных в шкафах ШР11 используют рубильники Р18, предохранители ПН2-400 и ПП31, на питающих линиях установлены предохранители НПН2-60, ПН2-100, ПН2-250, ПП31-160, ПП32-250. Шкафы допускают установку предохранителей с указателем срабатывания и без него. Ввод питающих и вывод отходящих проводников сверху и снизу осуществляют через съемные крышки.

Силовые шкафы серии ШР-11 (и ШРС) применяют для распределения электроэнергии между ЭП III категории, а также в электрических сетях временного назначения (на стройплощадках).

В цеховых электрических сетях для подключения отдельных силовых ЭП применяют силовые ящики на напряжение 380 В и  $I_{\text{ном}} = 100, 160, 200, 250$  и 315 А различных типов: ЯППВУ-4, ЯБ1-2, ЯРП-20, ЯПП-15, ЯТП-0 и др. Ящик типа ЯППВУ-4 предназначен для защиты и нечастых включений и отключений под нагрузкой электрических цепей переменного тока 380 В. Комплектуется он блоками с предохранителями типа ПН2 (с  $I_{\text{ном}} \leq 400$  А). Ящик ЯТП-0,25УЗ содержит понижающий трансформатор для питания сетей местного освещения (12, 24, 36 В). Ящики серии ЯРПН (рис. 2.9) применяют для работы как в условиях окружающей среды, не содержащей примесей, разрушающих изоляцию, так и в химически активных средах.

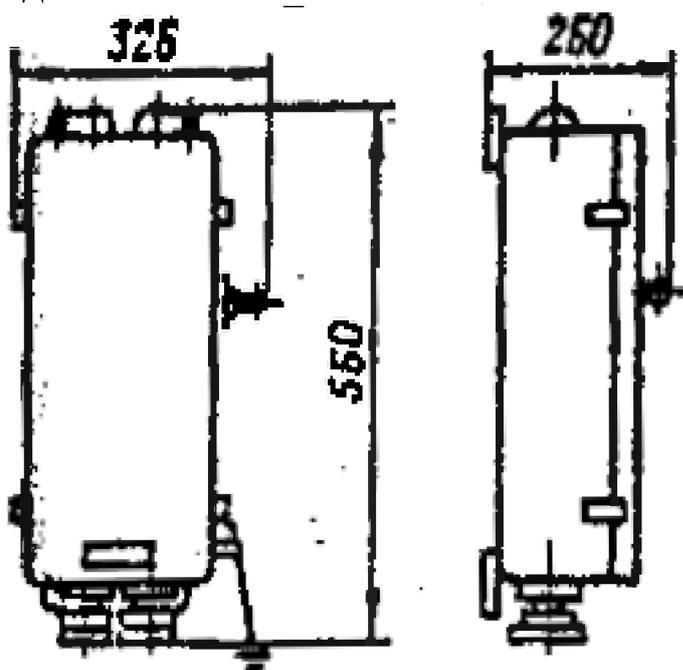


Рис. 2.9. Габарит ящиков серии ЯРП11-301-32УЗ

*Распределительные панели серии ЩО70 и ПАР11* предназначены для комплектования распределительных щитов трехфазного тока до 500 В. По назначению панели классифицируются на линейные, вводные, секционные, вводно-

линейные, секционно-линейные и панели с аппаратурой АВР. Вся коммутационная и защитная аппаратура установлена на рамках внутри шкафа. Электроизмерительные приборы размещают на фронтальных панелях шкафа. Вводные и секционные панели снабжают местной световой сигнализацией о положении вводных и секционных аппаратов.

*Распределительные панели собственных нужд серии ПСН* предназначены для приема и распределения электроэнергии при  $U_{ном} = 380$  В. Панели применяются для комплектации щитов собственных нужд тепловых станций, а также щитов других электроустановок, которым удовлетворяют схемы первичных и вторичных цепей отдельных присоединений.

На панелях ПСН устанавливают АВ типа АВМ4–АВМ15.

*Распределительные устройства серии РУС* предназначены для применения в качестве распределительных пунктов силовых, осветительных сетей и устройств управления электроприводами. Серия представляет собой набор блоков с установленными в них электрическими аппаратами, соединительными проводниками, устройствами ввода и вывода. Устройства комплектуют из типовых ящиков со сборными шинами и без них и аппаратами по любой схеме. Отдельные блоки (ящики) при комплектовании соединяют между собой болтами. Общий вид устройства приведен на рис. 2.10.

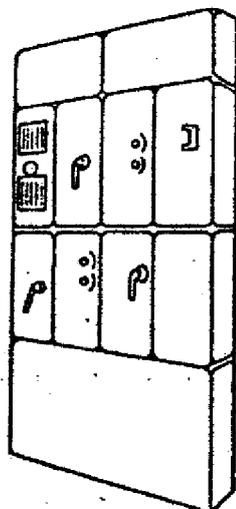


Рис. 2.10. Внешний вид сборного РУ типа РУС-Е

### 2.2.4. Компенсирующие устройства

Для повышения  $\cos \varphi$  цеховых сетей к ним подключаются специальные компенсационные устройства, обеспечивающие выработку реактивной мощности. В этих устройствах в качестве источников реактивной мощности используются конденсаторы с номинальным напряжением 220, 380 или 660 В. Для получения требуемой мощности конденсаторы соединяются в батареи. Для удобства использования промышленностью изготавливаются комплектные компенсирующие устройства (ККУ).

На рис. 2.11, а изображен общий вид ККУ напряжением 380 В и мощностью 300 кВАр, а на рис. 2.11, б – схема включения ККУ.

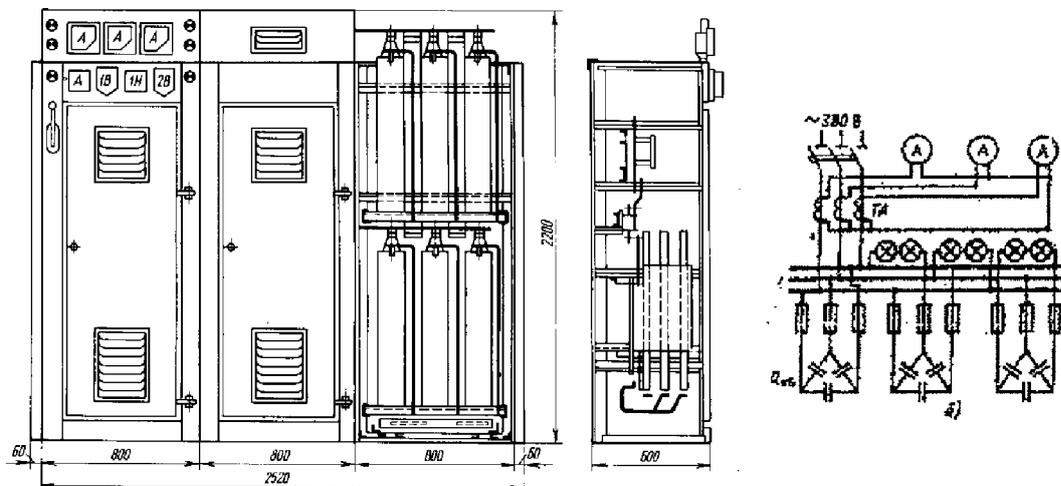


Рис. 2.11. а) конструкция ККУ 380 В мощностью 300 кВАр: 1 – шкаф ввода; 2 – шкаф конденсаторной батареи; 3 – рубильники; 4 – масляный конденсатор;  
б) схема включения КУ в сети 0,38 кВ

## 2.3. Содержание работы

1. Изучить конструкции проводников цеховых электрических сетей, имеющих в лаборатории.
2. Ознакомиться с представленными в лаборатории конструкциями защитных и коммутационных аппаратов.

3. Изучить конструкцию РУНН КТП 10/0,4 кВ, установленное в лаборатории.
4. Изучить конструкции распределительного пункта и ящика.
5. Составить схему электроснабжения цеховых потребителей и выбрать элементы схемы.

#### **2.4. Описание лабораторной установки**

Лабораторная установка включает стенды с образцами силовых кабелей и предохранителей, образцы комплектных шинопроводов, автоматических выключателей, контакторов, магнитных пускателей и переключателей. Для выполнения работы используется РУНН КТП 10/0,4 кВ.

#### **2.5. Методические рекомендации и порядок выполнения работы**

1. Изучить конструкции комплектных шинопроводов и силовых кабелей НН, представленных в лаборатории. Уяснить назначение основных элементов указанных проводников и особенности их конструктивного исполнения.

2. Ознакомиться с конструкциями защитных и коммутационных аппаратов, представленных в лаборатории, и усвоить принципы их работы. Обратит внимание на наличие дугогасительных устройств у АВ и предохранителей, наличие вспомогательных контактов у К и МП.

3. Изучить конструкцию щита РУНН КТП, установленного в лаборатории. Щит укомплектован типовыми шкафами: ввода, управления и линейными (фидерными). Шкафы выполнены двухстороннего обслуживания с выдвижными аппаратами и блоками силовыми и релейными. На выдвижных блоках аппаратура установлена стационарно. Сборные шины расположены горизонтально в верхней части шкафов в специальном отсеке.

Шкафы линий имеют два вертикальных отсека. Каждый отсек состоит из трех ячеек, расположенных друг над другом. В левом отсеке располагаются релейные блоки управления, автоматики и защиты линий. Ячейки правого отсека – силовые блоки – содержат АВ типа АЗ700 и магнитные пускатели типа ПМЕ-211. Для доступа к силовым и релейным блокам, кабелям, шинам и аппаратам предусматриваются двери, которые открываются съемной рукояткой–ключом. При выполнении работы открыть все двери КРУНН. По результатам визуального осмотра силовой ячейки составить трехфазную схему электрических соединений силового блока линейного шкафа.

4. Изучить конструкцию силового распределительного пункта типа ПР. Установить количество и типы встроенных АВ, их номинальные параметры. Исходя из этого детализировать марку ПР, выявить вид установки, дать характеристику внутренних проводников, составить схему электрических соединений ПР.

В структуре условного обозначения распределительного пункта буквы ПР означают пункт распределительный; первые две цифры – номер разработки серии; следующая цифра – вид установки; 3 – навесная, ввод питания сверху и снизу проводами и кабелями в резиновой и пластмассовой изоляции, снизу кабелями в бумажной изоляции; 4 – напольная, ввод питания проводами и кабелями сверху; 5 – навесная, ввод сверху и снизу проводами, кабелями в резиновой или пластмассовой изоляции; 6 – снизу кабелями в бумажной изоляции; 7 – напольная, ввод сверху или снизу проводами, кабелями в бумажной изоляции; 8 – напольные, ввод проводом или кабелем в резиновой или пластмассовой изоляции; 9 – напольная, ввод кабелем сечением 1000 мм<sup>2</sup>.

Следующая цифра – обозначение габарита пункта: 1 – первый, 2 – второй; 3 – третий; 4 – первый с вольтметром; 5 – второй с вольтметром; 6 – третий вольтметром.

Следующие две цифр – номер схемы, далее степень защиты

оболочки по ГОСТу, климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТу.

5. Изучить конструкцию ящика ЯПП-15УЗ с блоком выключатель–предохранители. Установить типы встроенных аппаратов и их технические параметры. Составить трехфазную схему электрических соединений.

6. Составить схему электроснабжения цеха ПП для заданного варианта исходных данных (табл. 2.1). Номер варианта определяется последней цифрой порядкового номера студента в групповом журнале. Выбрать проводники и электрооборудование схемы, указать их типы и параметры.

Исходя из заданного количества ЭП необходимо произвольно принять недостающее количество ЭП одинаковой мощности и категорию по надежности электроснабжения каждого из них или по группам ЭП. Пусковая и защитная аппаратура большинства ЭП поставляется в комплекте с этим оборудованием. Поэтому выбор аппаратуры ЭП не входит в объем работы. Выбору подлежит только аппаратура самой сети.

В помещениях с нормальной средой электрооборудование должно быть защищено от механических повреждений, а также от случайных прикосновений к голым токоведущим частям. В помещениях с химически активной средой должна предусматриваться защита электрооборудования от разрушения, что осуществляется применением специальных покрытий и материалов.

Степень защиты в пожаро – и взрывоопасных помещениях в зависимости от их классификации должна быть IP44. В соответствии со стандартом степень защиты электрооборудования обозначается буквами IP и двумя цифрами. Первая цифра означает степень защиты от прикосновения к токоведущим частям и попадания твердых тел, вторая – степень защиты от попадания воды (табл. 2.2). В сырых и особо сырых помещениях степень защиты от попадания воды принимается равной

2, 4, 7 и 8. Последние два исполнения создают герметичность оболочек.



Т а б л и ц а 2.1

№ пп.	Характеристики	Номер варианта исходных данных									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Цеховая ТП	ТМЗ-630/10	ТСЗ-630/10	ТМФ-400/10	2ХТМФ-250	2ХТМФ-400	ТМЗ-1000	2ХТМ-250	ТСЗ-1000	2ХТМФ-630	ТМЗ-1000
2	Количество магистралей	–	1	–	–	2	1	1	–	2	1
3	Количество распределительных шинопроводов	–	2	–	–	4	2	2	–	3	2
4	Количество распределительных пунктов	4	1	3	4	–	1	1	4	1	2
5	Количество ЭП	24	28	18	20	30	32	25	36	40	49
6	Наименьшая и наибольшая номинальная мощность ЭП, кВт, шаг ее изменения	1;31;2	2;34;2	3;27;3	1;25;6	1;30;4	4;32;3	2;28;2	1;30;3	2;36;4	3;30;4
7	Класс помещения цеха по характеру окружающей среды	Химически активная	Нормальная	Пыльная	Влажная	Нормальная	Нормальная	Нормальная	Взры-воопасная	Нормальная	Нормальная
8	Площадь цеха (прямоугольник), м <sup>2</sup>	18х54	30х60	30х48	36х42	18х42	18х60	30х48	24х42	24х60	30х54
9	Размещение оборудования в цехе	Равномерное по площади	Равномерное вдоль стен	Равномерное у одной стены	В две линии у обеих стен	Вдоль стен в линию	В три линии равномерно по цеху	Равномерно по площади	В четыре ряда у торцевых стен	В два ряда у одной стены	В четыре ряда вдоль стен



7. Для составления схемы электроснабжения цеха необходимо в соответствии с данными табл. 2.1 выполнить в масштабе эскиз плана цеха с расположением электроприемников в нем. ЭП условно обозначаются кружком диаметром 5 - 10 мм. Рядом с обозначением записывается номер ЭП (в числителе) и его мощность (в знаменателе). При этом следует учитывать следующее: шаг колонн здания – 6 м; здание шириной до 18 м – однопролетное, свыше 18 м – двухпролетное; в двухпролетном здании между пролетами шаг колонны – 12 м.

В цеху ЭП устанавливаются на расстоянии не менее 0,9 м от стен и 3 м друг от друга, в средней части здания предусматривается сквозной проезд шириной 3 м. Во всех цехах имеются кран-балки или мостовые краны.

Потребителями электроэнергии в цехах являются металлообрабатывающие станки, прессы, установки нагрева заготовок и др. Часть станков имеют 2-3 – двигательный привод. Все приемники рассчитаны на трехфазный ток и напряжение 380 В промышленной частоты. По надежности электроснабжения ЭП относятся ко II категории и установлены стационарно.

В соответствии с расположением ЭП на плане цеха их распределяют на группы и предварительно намечают, как они будут питаться – от силовых пунктов или распределительных шинопроводов. Для каждой группы определяют расчетные токи питающих линий:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_p^2}}{\sqrt{3} \cdot U_H},$$

где  $S_p$  – полная расчетная мощность;

$P_p$  – расчетная активная мощность группы ЭП, условно определяемая по сумме номинальных мощностей ЭП, входящих в группу, и коэффициенту спроса  $K_c$ .

$K_c$  принять условно равным 0,35...0,45;

$$P_p = K_c \sum P_H = (0,35...0,45) \sum P_H;$$

$Q_p$  – расчетная реактивная мощность группы:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi = (0,75...0,85) P_p,$$

где  $\operatorname{tg} \varphi$  условно принять равным 0,75...0,85.

Далее осуществляется выбор оборудования цеховой сети.

Т а б л и ц а 2.2

### Степени защиты электрооборудования (JP)

Цифровое обозначение защит	Степень защиты от прикосновения к токоведущим частям и попадания твердых тел	Степень защиты от попадания воды
0	Отсутствие всякой защиты	Отсутствие всякой защиты
1	Защита от твердых тел размером более 50 мм	Защита от капель воды
2	Защита от твердых тел размером более 12 мм	Защита от капель воды при наклоне до 15°
3	Защита от твердых тел размером более 2,5 мм	Защита от дождя
4	Защита от твердых тел размером более 1 мм	Защита от брызг
5	Защита от пыли	Защита от водяных струй
6	Пыленепроницаемость	Защита от волн воды
7	–	Защита от попадания воды при погружении в воду
8	–	Защита при длительном погружении в воду

### 8. Выбор электрооборудования цеховой сети

*Выбор комплектных шинопроводов.* Комплектные шинопроводы ШМА для главных магистралей выбирают упрощенно по номинальному току силового трансформатора, к которому подключена магистраль. Распределительные шинопроводы ШРА выбирают по расчетному току питаемой группы ЭП( $I_p$ ) из условия

$$I_p \leq I_n, \quad (2.1)$$

где  $I_{ном}$  – номинальный ток шинопровода.

*Выбор сечений проводов и жил кабелей.* Сечение проводов и жил кабелей цеховой сети выбирают упрощенно по нагреву длительным расчетным током:

$$I_p \leq I_{доп} K_{сн}, \quad (2.2)$$

где  $I_{доп}$  – длительно допустимый ток проводника;  $K_{сн}$  – поправочный коэффициент на условия прокладки проводов и кабелей (принимается равным 0,5...0,85).

Выбранные сечения должны быть проверены по условию соответствия выбранному защитному аппарату.

Для защиты ответвлений от шинопровода к отдельным небольшим по мощности ЭП принимаются предохранители типа ПН2-100, а для защиты ответвлений, идущих к крупным ЭП – АВ типа АЗ700 или ВА.

*Выбор распределительных шкафов и пунктов.* Для цехов с нормальными условиями окружающей среды применяют шкафы серии СП-62 и ШРС1-20УЗ защищенного исполнения, а для пыльных и влажных – шкафы серий СПУ-62 и ШРС1-50УЗ закрытого исполнения. Номинальные токи шкафов СП-62 и ШРС1-20УЗ составляют 250 и 400 А, а шкафов СПУ-62 и ШРС1-50УЗ – 175 и 260 А.

Для автоматизации управления, при частых аварийных отключениях для избирательного действия защиты рекомендуются шкафы ПР. Их номинальные токи составляют 50, 100, 200, 600 А. Силовые пункты и шкафы выбирают с учетом условий окружающей среды рабочей зоны, числа подключаемых ЭП и их расчетной нагрузки:

$$I_p \leq I_{ном}, \quad (2.3)$$

где  $I_p$  – расчетный ток группы ЭП;

$I_{ном}$  – номинальный ток пункта.

## **2.6. Техника безопасности**

Работа выполняется на установке без напряжения и не требует соблюдения специальных мер безопасности.

## **2.7. Содержание отчета**

1. Наименование и цель работы.
2. Тип и технические данные шинпровода и силового кабеля.
3. Схему электрических соединений силового блока РУНН КТП 10/0,4 кВ лаборатории.
4. Схему электроснабжения цеха ПП в соответствии с заданным вариантом.
5. Перечень выбранного оборудования для схемы электроснабжения цеха.

## **2.8. Контрольные вопросы**

1. Расскажите о конструкции КТП 10/0,4 кВ.
2. Для чего предназначены защитные и коммутационные аппараты?
3. В чем отличие конструкции К от МП?
4. Какими достоинствами обладают комплектные токопроводы?
5. Какими аппаратами комплектуются силовые распределительные пункты типа ПР и ШР? Укажите области их применения.
6. Укажите область применения одножильных кабелей большего сечения.
7. Как влияет микроклимат помещения на степень защиты применяемого электрооборудования?
8. Как влияет категория ЭП по надежности электроснабжения на выбор схемы цеховой сети?
9. Расскажите о разработанной схеме электроснабжения цеховых потребителей ПП и применяемом оборудовании.

Литература: [3], с. 120–155;

[6], с. 25–38, с. 70–80;

[9], с. 250–276.

*Лабораторная работа № 3*

**ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ  
ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ**

**3.1. Цель работы**

Целью работы является изучение характеристик, электрических схем и конструкций автоматических выключателей и снятие времятоковой характеристики автомата АЗ726 ФУЗ.

**3.2. Краткие теоретические сведения**

В распределительных сетях напряжением до 1000 В промышленных предприятий, в системах собственных нужд станций и подстанций широкое распространение получили автоматические выключатели (автоматы). Автоматы представляют собой силовые выключатели переменного (постоянного) тока с встроенными в них простейшими релейными устройствами прямого действия (расцепителями). Расцепители обеспечивают автоматическое отключение выключателя при перегрузках, коротких замыканиях и при недопустимом снижении напряжения. Таким образом, автоматы служат для включения и отключения электрических цепей напряжением до 1000 В и осуществляют защиту этих цепей от токов перегрузки, коротких замыканий и понижения напряжения.

Для гашения электрической дуги, возникающей на контактах при отключении цепи под нагрузкой, автоматы снабжаются гасительными устройствами. В качестве гасительных устройств наибольшее применение получили:

- лабиринтно-щелевые камеры из дугостойких, инертных в отношении выделения газа материалов;
- камеры со стальными пластинами (металлическая решетка), в которых дуга делится на ряд коротких дуг, перемещающихся вдоль пластин под действием электродинамических сил;
- камеры комбинированного типа, в которых используются

элементы камер первых двух типов.

Основными параметрами автоматов являются:

1. Номинальное напряжение –  $U_{\text{ном}}$ .
2. Номинальный ток выключателя –  $I_{\text{н}}$ .
3. Отключающая способность (характеризуется номинальным током отключения) –  $I_{\text{н.откл}}$ .
4. Время отключения (промежуток времени от момента, когда ток в цепи достигает тока срабатывания автомата, до момента размыкания контактов) –  $t_{\text{откл}}$ .
5. Номинальный ток расцепителей –  $I_{\text{н.р}}$ .

Автоматические выключатели выпускаются для коммутирования цепей постоянного и переменного тока при напряжениях:  
переменное (В) – 320/220; 660/380;  
постоянное (В) – 100; 220; 440.

Номинальные токи автоматов российского изготовления лежат в пределах:

АВМ –  $I_{\text{н}} = 400 \dots 2000$  А; АМ –  $I_{\text{н}} = 800 \dots 5000$  А; АЕ –  $I_{\text{н}} = 0,3 \dots 100$  А; Э (электрон) –  $I_{\text{н}} = 630 \dots 4000$ ; ВА50 –  $I_{\text{н}} = 25 \dots 1600$  А; ВА75 –  $I_{\text{н}} = 2500 \dots 4000$  А;

Отключающая способность выключателей достигает 40–60, 100 и более килоампер (действующее значение).

По собственному времени отключения автоматы подразделяют на нормальные ( $t_{\text{с.о.}} = 0,02 \text{--} 0,1$  с); с выдержкой времени на отключение (селективные) и быстродействующие ( $t_{\text{с.о.}} < 0,05$  с). Быстродействующие выключатели отключают цепь прежде, чем ток КЗ достигнет максимального (ударного) значения, т.е. обладают токоограничивающим эффектом.

Автоматические выключатели с номинальным током до 630 А имеют одну пару контактов, являющихся одновременно главными и дугогасительными. Выключатели с номинальным током свыше 630 А имеют две пары контактов, включенных параллельно. При отключении главные контакты размыкаются раньше дугогасительных, обеспечивая появление дуги только на дугогасительных контактах.

### 3.2.1. Выключатель АЗ700

Автоматические выключатели этого типа предназначены для коммутации электрических цепей переменного тока напряжением до 660 В и постоянного – до 440 В (в зависимости от исполнения), а также для защиты электрических установок от токов КЗ и перегрузок. Выключатели допускают нечастые пуски короткозамкнутых асинхронных двигателей. Изготавливаются с ручным или электромеханическим приводом.

Выключатель (рис. 3.1) (образцы № 1, – 6) состоит из следующих узлов: корпуса, контактной системы, механизма управления, дугогасительных камер, электромагнитных, полупроводниковых (или тепловых) расцепителей максимального тока и дополнительных узлов.

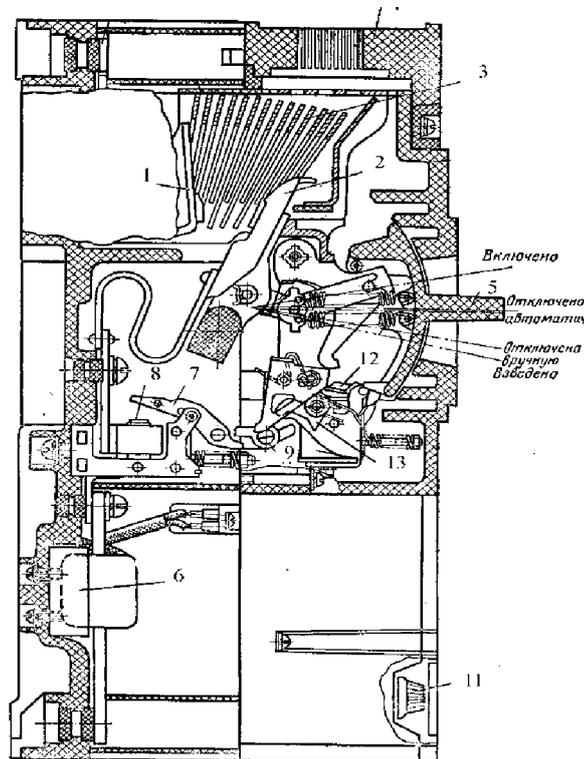


Рис. 3.1. Конструкция автоматического выключателя переменного тока АЗ700 на 660 В и 160 А

- 1 – неподвижный контакт; 2 – подвижный контакт; 3 – дугогасительная камера; 4 – пламегаситель; 5 – рукоятка; 6 – трансформатор тока; 7 – якорь расцепителя; 8 – сердечник расцепителя; 9 – рейка отключающая; 10 – расцепитель;

11 – рукоятка шкалы регулировки установок расцепителя; 12 – якорь независимого расцепителя; 13 – боек независимого расцепителя

Корпус выполнен из механически прочной пластмассы, и в нем смонтированы все детали и узлы выключателя. Между полюсами предусмотрены изолирующие перегородки.

Контактная система состоит из неподвижного (1) и подвижного (2) контактов, расположенных в каждом полюсе выключателя. Подвижные контакты каждого полюса соединены между собой посредством изоляционной траверсы, являющейся деталью механизма управления.

Механизм управления выполнен по принципу ломающихся рычагов и устроен так, что обеспечивает моментальное замыкание и размыкание контактов, не зависящие от скорости движения рукоятки.

По положению рукоятки 5 выключателя (при ручном управлении) можно определить коммутационное положение выключателя, во включенном положении выключателя рукоятка занимает крайнее верхнее положение, в отключенном вручную – крайнее нижнее, а при автоматическом отключении – промежуточное положение.

Дугогасительные камеры расположены над контактами каждого полюса и действуют по принципу дробления и деионизации электрической дуги омедненными стальными пластинами 3, укрепленными в изоляционных стенках камеры. Над камерой в самостоятельном пластмассовом корпусе укреплен пламегаситель 4, предназначенный для охлаждения ионизированных газов, которые поступают через отверстия в крышке выключателя. Своим корпусом пламегаситель закрывает зажимы неподвижных контактов, находящихся под напряжением, предотвращая тем самым возможность случайного прикосновения к ним.

Для автоматического отключения выключателя при сверхтоках перегрузки и коротком замыкании предусмотрена установка тепловых расцепителей и расцепителей максимального тока.

Расцепитель максимального тока РЭ встраивается в каждый полюс выключателя и представляет собой серийный электро-

магнит. При токах, больших тока уставки, якорь расцепителя 7 притягивается к сердечнику 8 и ударяет по кулачку отключающей рейки 9. Отключающая рейка поворачивается, разобщая детали механизма управления, и контакты размыкаются. Уставка электромагнитных расцепителей регулируется на заводе путем затяжки удерживающей пружины и в условиях эксплуатации не изменяется.

Тепловой расцепитель РТ состоит из биметаллической пластинки и шунта, по которому протекает ток цепи. При этом биметаллическая пластинка нагревается и изгибается. Если ток в цепи превышает  $1,35 I_{н.р.}$ , то конец пластинки упирается в отключающую рейку и выключатель отключается. Тепловой расцепитель срабатывает с обратной зависимостью от тока выдержкой времени и в эксплуатации не регулируется.

На рис. 3.1 показана конструкция выключателя с отдельными электромагнитным и полупроводниковым расцепителями. Полупроводниковый расцепитель (РП) конструктивно состоит из съёмного блока управления и измерительных трансформаторов тока 6 (или магнитных усилителей для выключателей постоянного тока), встроенных в каждый полюс выключателя. Блок управления выполнен в пластмассовом корпусе, внутри которого на печатных платах расположены элементы, обеспечивающие отключение автомата при токах цепи, превышающих ток уставки в зоне КЗ и с выдержкой времени (при токах перегрузки). На лицевой стороне блока под прозрачной крышкой расположены шкалы и ручки потенциометров для плавного или дискретного регулирования параметров расцепителя: номинального тока расцепителя ( $I_{н.р.}$ ), тока срабатывания в зоне КЗ, времени срабатывания при перегрузках или при КЗ. Там же располагаются клеммы для проверки работоспособности расцепителя.

Блок управления крепится на выключателе. Электрические связи между блоком управления и трансформатором тока, а также отключающим электромагнитом осуществляются через штыревые разъёмы.

На выключателях отдельных модификаций могут устанавливаться расцепители минимального напряжения и независимый расцепитель.

Расцепитель минимального напряжения представляет собой электромагнит с поворотным якорем, катушка которого подключена на напряжение контролируемой цепи. В рабочем положении якорь притянут к сердечнику. При недопустимом снижении напряжения якорь расцепителя отпадает, воздействуя на механизм управления, который отключает выключатель и препятствует включению отключенного выключателя.

Для дистанционного отключения выключателя используется независимый расцепитель (РН) (электромагнит отключения). При нажатии на кнопку «Откл.» на обмотку расцепителя подается напряжение, якорь воздействует на отключающую рейку и выключатель отключается.

Разновидности схем электрических соединений автоматов АЗ700 показаны на рис. 3.2 – 3.7.

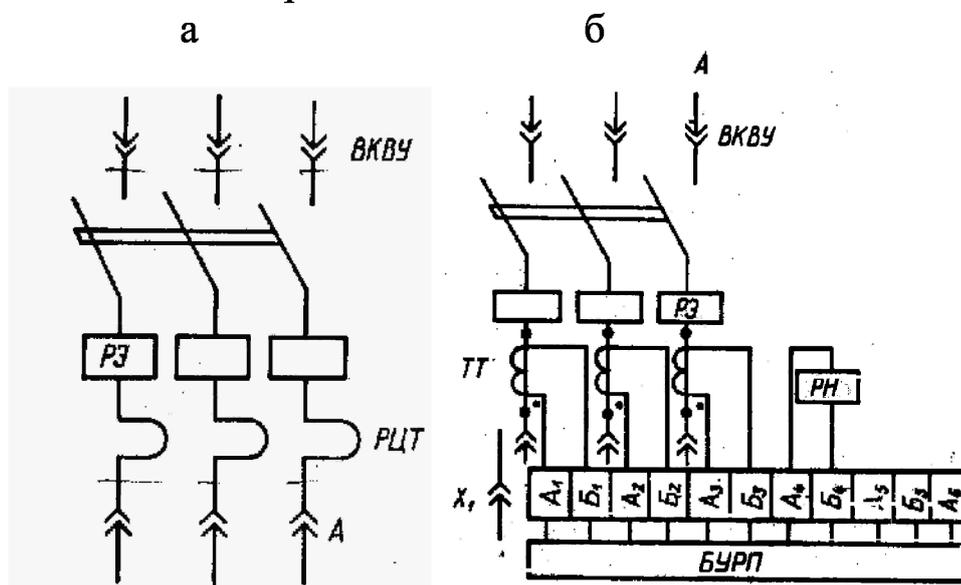


Рис. 3.2. Электрические схемы выключателей: а – АЗ706; б – АЗ704Б;

РЭ – расцепитель электромагнитный;

ВКВУ – штыревые контакты при выдвинутом исполнении выключателя;

РН – расцепитель независимый;

ТТ – встроенные трансформаторы тока;

РЦТ – расцепитель тепловой;

БУРП – блок управления полупроводниковым расцепителем

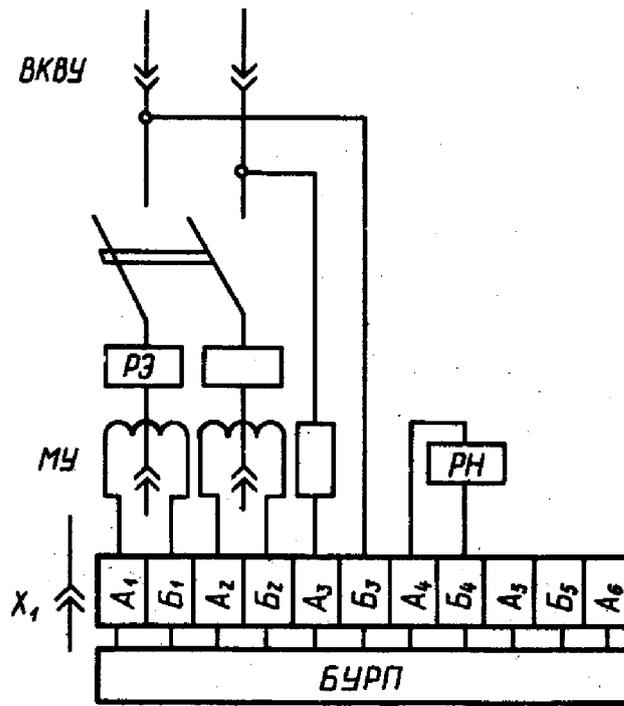


Рис. 3.3. Электрическая схема выключателя АЗ703Б

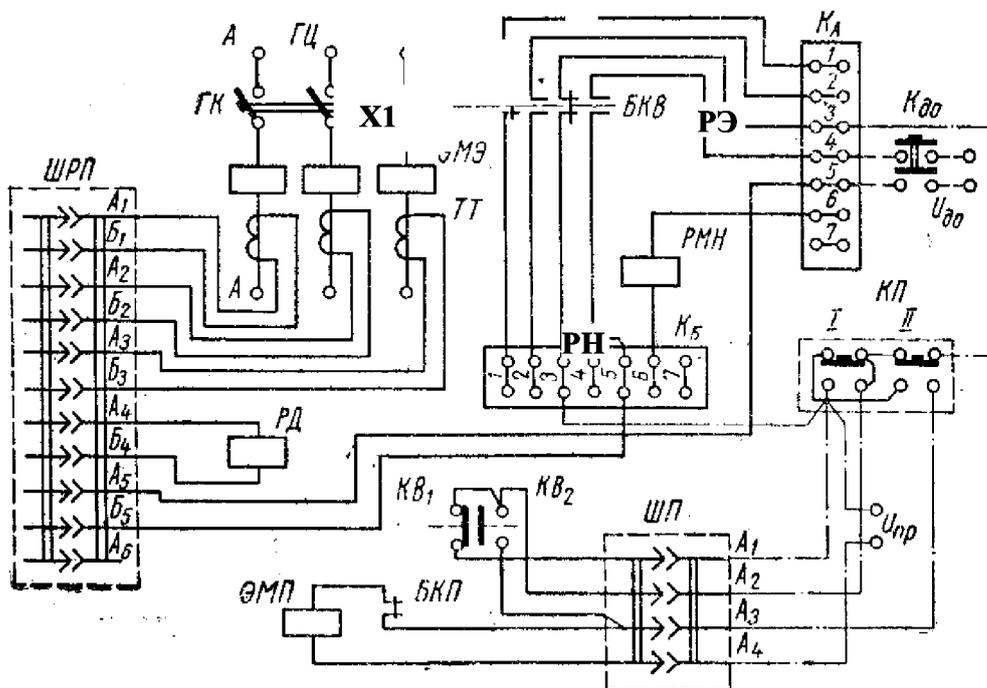


Рис. 3.4. Автоматический выключатель переменного тока с полупроводниковым расцепителем, блок-контактами (БКВ), дистанционным расцепителем, дистанционным приводом (ЭМП) и расцепителем минимального напряжения:  
 I – отключено; II – включено

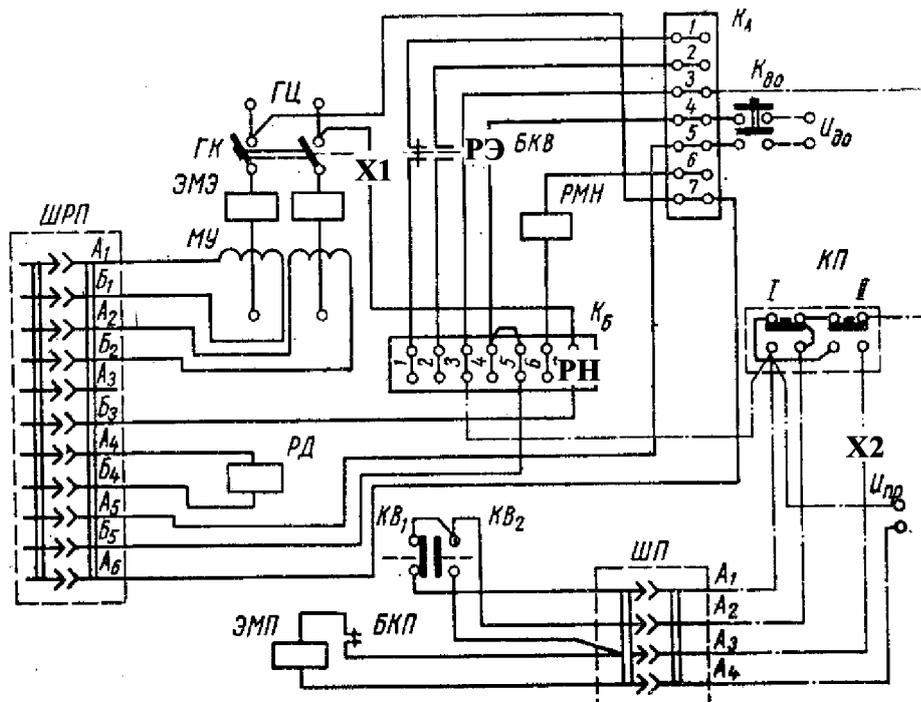


Рис. 3.5. Автоматический выключатель постоянного тока с полупроводниковым распределителем, блок-контактами, дистанционным распределителем, дистанционным приводом и распределителем минимального напряжения: I – отключено; II – включено

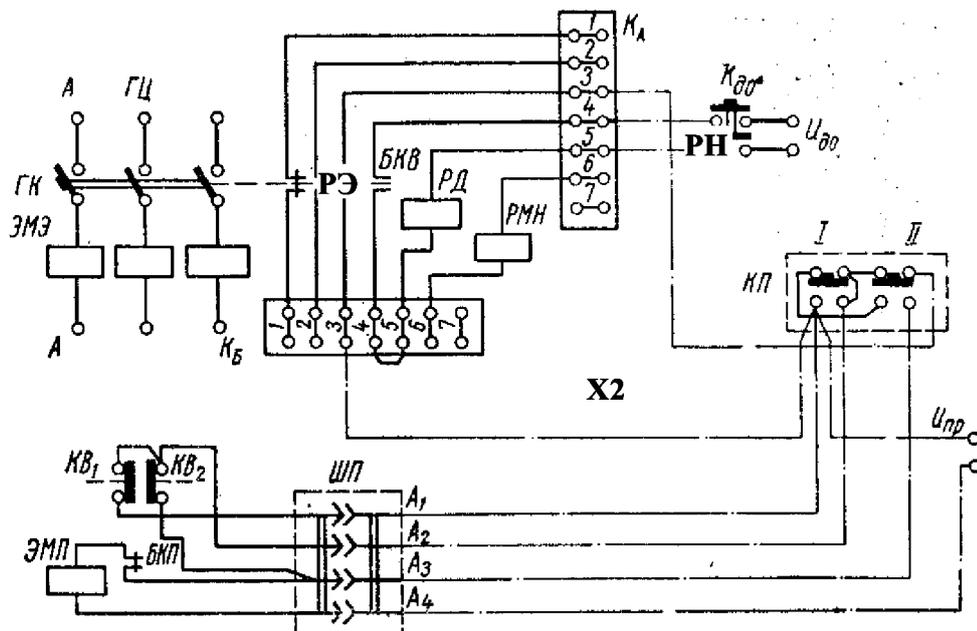


Рис. 3.6. Выключатель автоматический с электромагнитным распределителем максимального тока, блок-контактами, дистанционным распределителем, дистанционным приводом и распределителем минимального напряжения: I – отключено; II – включено

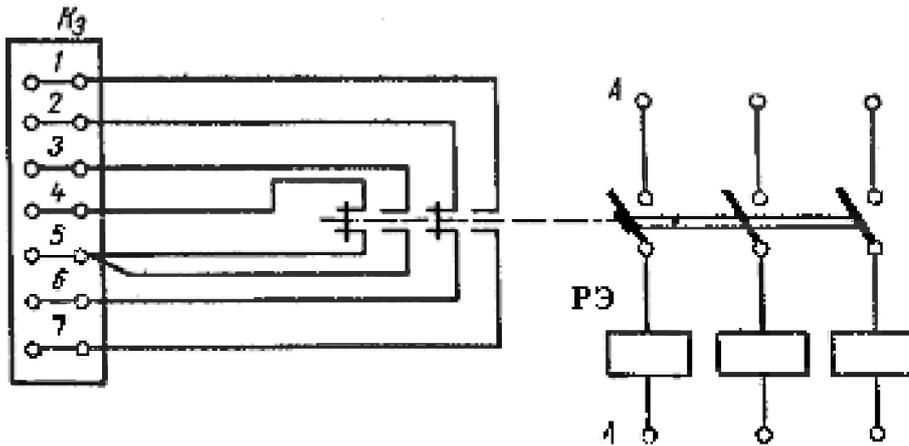


Рис. 3.7. Два замыкающихся и два размыкающихся дополнительных блок-контакта для выключателя А3740

Автоматические выключатели могут иметь следующие защитные характеристики (рис. 3.8):

- зависимую от тока характеристику времени срабатывания (только с тепловым расцепителем);

- независимую от тока характеристику времени срабатывания (только с токовой отсечкой);

- ограниченно зависимую от тока двухступенчатую характеристику времени срабатывания – в зоне токов перегрузки выключатель отключается с зависимой от тока выдержкой времени; в зоне токов КЗ выключатель отключает токовой отсечкой с независимой от тока заранее установленной выдержкой времени (для селективных выключателей) или без выдержки времени (с тепловым и электромагнитным расцепителями, с полупроводниковым расцепителем);

- трёхступенчатую защитную характеристику. В зоне токов перегрузки выключатель отключается с зависимой от тока выдержкой времени в зоне токов КЗ – с независимой, заранее установленной выдержкой времени (зона селективной отсечки), а при близких КЗ – без выдержки времени (зона мгновенного срабатывания) (с полупроводниковым расцепителем).

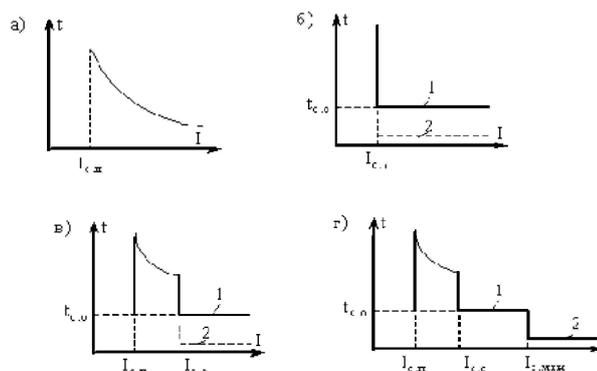


Рис. 3.8. Защитные характеристики автоматических выключателей

На рис. 3.9 приведена трёхступенчатая защитная характеристика выключателя А3790С. Полупроводниковый расцепитель допускает плавную регулировку номинального рабочего тока расцепителя  $I_{н.раб}$  (точка А на рис. 3.9 соответствует току срабатывания перегрузки при принятом значении  $I_{н.раб}$ ), тока срабатывания отсечки  $I_{с.о}$  (точки Б, В, Г, Д, Е), времени срабатывания защиты от перегрузки  $t_{с.п}$  и при токе  $6 I_{н.раб}$  (точки М, И, К), времени срабатывания отсечки  $t_{с.о}$  (точки Л, М, Н) для селективных выключателей. Пунктирными линиями обозначена характеристика неселективных выключателей в зоне токов КЗ.

Технические характеристики выключателей А3700 приводятся в [4, 8, 12]

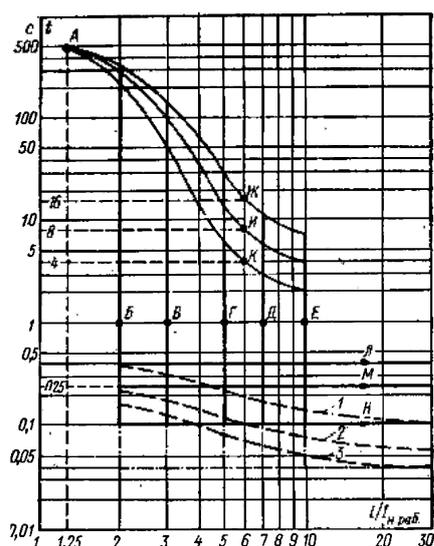


Рис. 3.9. Защитные характеристики автоматических выключателей А3700 переменного тока с полупроводниковым расцепителем. Селективные выключатели А3794С при токе более 20 кА (действующее значение) отключаются без выдержки времени

### 3.2.2. Автоматические выключатели «Электрон»

Выключатели серии «Электрон» выпускаются двух – и трех-полюсными для сетей напряжением 440 В постоянного и 660 В переменного тока. Номинальные токи Э–06–600 А; Э–10–1000 А; Э–16–1600 А; Э–25–2500 А; Э–40–4000 А. Автоматы имеют максимальный, независимый или минимальный расцепитель. Защита от токов короткого замыкания и перегрузки осуществляется электронным блоком. Для дистанционного управления выключатели имеют моторно-пружинный привод.

Выключатели выпускают для стационарного монтажа и выкатные для комплектных распределительных устройств.

Выключатель серии «Электрон» имеет контактную систему (рис. 3.10) с дугогасительными камерами и пламегасителями 1. Каждый полюс имеет две пары контактов. Рабочие подвижные контакты (мостикового типа) 12 и дугогасительные 3 покрыты металлокерамикой, неподвижные рабочие 10 – серебром, дугогасительные 15 – металлокерамикой. Замыкание контактов происходит за счет энергии включающей пружины через механизм свободного расцепления. Сначала замыкаются дугогасительные, а затем рабочие контакты. Сразу после включения выключателя электродвигатель с редуктором готовит пружину к новым операциям.

Размыкание контактов происходит под действием пружины 5 и 11 после того, как механизм свободного расцепления освободит главный вал, а рычаг 7 повернется вокруг оси 9 и основной подвижный контакт разомкнется с неподвижным. Когда зазор между ними станет больше 66 мм, ролик 4 повернет подвижные дугогасительные контакты, и в результате между подвижным и неподвижным дугогасительными контактами образуется зазор, равный 20 мм. Одновременно с отключением происходит самозавод механизма свободного расцепления.

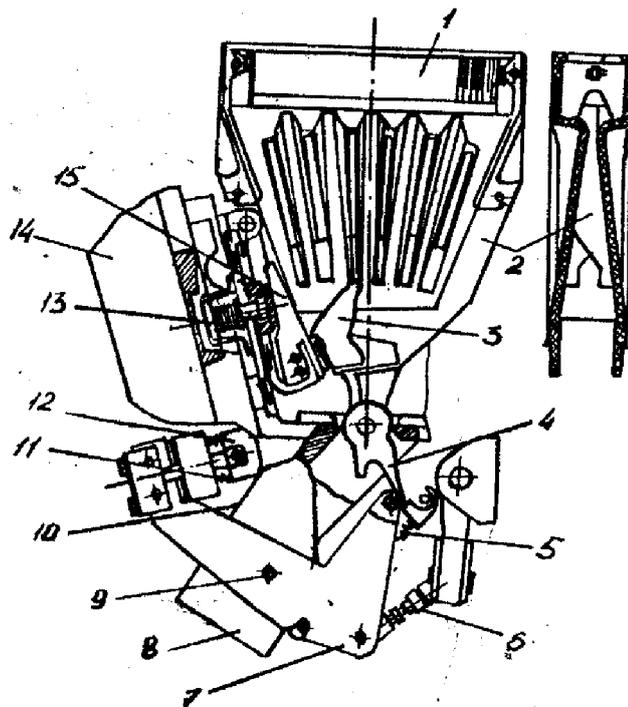


Рис. 3.10. Контактная и дугогасительная системы выключателя «Электрон»  
 1 – пламегасительное устройство; 2 – дугогасительная камера; 3 и 15 – подвижный и неподвижный дугогасительные контакты; 4 – ролик; 5 – отключающая пружина; 6 – изолированная тяга; 7 – рычаг; 8 и 14 – нижний и верхний выводы; 9 – ось рычага; 10 и 12 – основные подвижный и неподвижный контакты; 11 и 13 – пружины основного подвижного и дугогасительного контактов

Возникшая на дугогасительных контактах дуга втягивается в дугогасительные камеры и, раздробленная деионной решеткой, гаснет. Сечение дугогасительной камеры уменьшается кверху, что создает благоприятные условия для гашения.

В верхней части камеры расположено пламегасительное устройство, ограничивающее выброс пламени и ионизированных газов.

Максимальный расцепитель осуществляет отключение выключателя при протекании токов перегрузки и токов КЗ. Напряжение на отключающую катушку подается при срабатывании электронного блока максимальной токовой защиты. Блоки выполняются мгновенного и замедленного действия с большим диапазоном регулировки токовых и временных характеристик.

Блоки МТЗ питаются от встроенных трансформаторов тока. Ток и время срабатывания устанавливают пятью ручками на панели управления блоком, которая расположена на лицевой стороне корпуса выключателя (рис. 3.11).

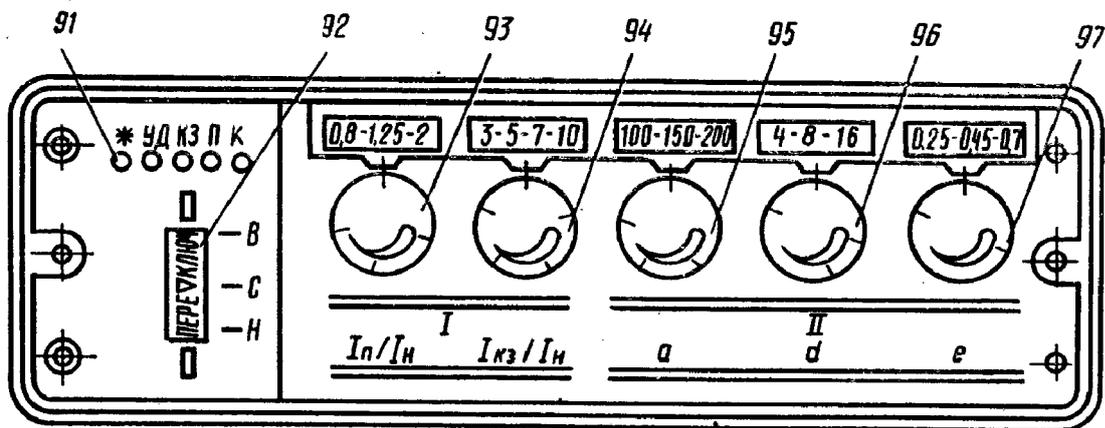


Рис. 3.11. Лицевая панель реле МТЗ:

I – уставки по току; II – уставки по времени, с; *a* – при  $I_n$ ; *d* – при  $6I_n$ ; *e* – при  $I_{кз}$

Времятоковые характеристики МТЗ выключателей в зоне перегрузки приведены на рис. 3.12.

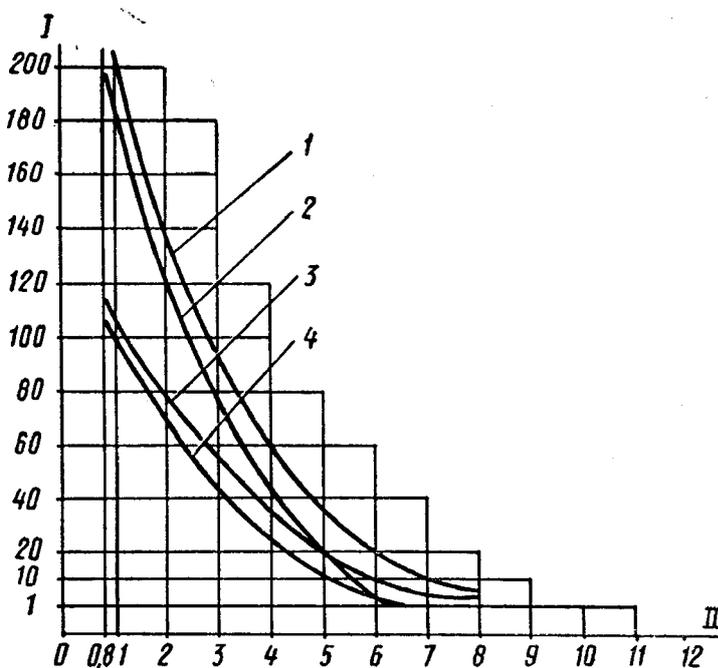


Рис. 3.12. Время токовые характеристики МТЗ выключателей в зоне перегрузки:  
I – выдержка времени, с; II – ток  $I / I_n$

**Выдвижные выключатели** изготавливают на базовых конструкциях стационарных выключателей и дополнительно снабжают втычными контактами на выводах главной цепи, рычагами для механической блокировки и колесами для передвижения по рельсам каркаса. Они поставляются с металлическими каркасами, в которых установлены неподвижные втычные контакты, фиксирующее и вкатное устройства с откидными рельсами.

Выдвижные выключатели могут быть установлены в рабочем, контрольном и ремонтном положениях.

Рабочее положение: главная и вспомогательная цепи замкнуты, т. е. втычные контакты выключателя сочленены с контактными выводами каркаса, а штепсельный разъем соединен.

Контрольное положение: главная цепь разомкнута, а вспомогательная замкнута.

Ремонтное положение: главная и вспомогательная цепи разомкнуты. В этом положении выключатель находится на откидных рельсах за пределами каркаса.

Заземление выключателя с каркасом в рабочем и контрольном положениях осуществляется скользящими контактами. Для заземления каркаса на его задней стенке имеются два болта.

Выдвижные выключатели имеют механическую блокировку, которая препятствует вкатыванию и выкатыванию их при включенном положении.

Комплектно с выдвижным выключателем Э06В ручного управления поставляется ручной привод, который устанавливается заказчик на дверках распределительного устройства. В привод встроена кнопка для механического отключения выключателя. Конструкция позволяет выдвинуть вперед рукоятку привода и зафиксировать ее. В этом положении при закрытой дверце распределительного устройства нельзя включить или выключить выключатель.

Кроме рассмотренных выключателей А3700, «Электрон» в электроустановках используются выключатели АЕ2000 (на токи от 0,3 А до 100 А) и ранее изготавливаемые А3000, А3300,

A3600, A4100. Все они имеют подобную конструкцию. В настоящее время взамен этих выключателей в России изготавливаются выключатели серии ВА50 на токи от 25 до 1600 А, и ВА75 на токи 2500–4000 А. ВА50 имеют пластмассовый корпус. ВА75 предназначен для замены выключателя «Электрон» и выпускается в открытом исполнении с двигательным приводом. ВА50 выполнен конструктивно подобно А3700, но имеет лучшие технические характеристики и более чем в 2 раза меньшие габариты и массу. Они предназначены для использования взамен выключателей А3700.

В странах Западной Европы изготавливаются аналогичные конструкции выключателей с тепловым, электромагнитным и комбинированным расцепителями. Кроме того выключатели на токи 160 А–6300 А могут изготавливаться с микропроцессорными блоками управления. Микропроцессорные блоки управления позволяют реализовать любую из требуемых форм действия защиты от перегрузки и отсечки. имеют цифровой дисплей для отображения электрических величин ( $I$ ,  $U$ ,  $\cos\varphi$ ,  $P$ ,  $f$ ) и параметров тока повреждения, самоконтроль исправности, могут передавать информацию на более высокий уровень и многое другое (фирмы АВВ, SACE, Wgroup, SCHNEIDER и др).

Наиболее широко в распределительных сетях низкого напряжения используются выключатели западных фирм на токи от 0,5 до 63 А. Эти выключатели имеют встроенные расцепители, обеспечивающие защиту цепей от перегрузки и коротких замыканий. Изготавливаются 1-, 2-, 3-, 4- полюсными и устанавливаются на специальной рейке. Дополнительно на рейке могут устанавливаться вспомогательные электрические устройства, позволяющие осуществлять дистанционное отключение и сигнализацию состояния выключателей. Они монтируются с левой или правой стороны выключателя на рейке. Фирмы разных стран мира изготавливают и дифференциальные автоматические выключатели, позволяющие отключать цепь автоматически в случае повреждения изоляции между фазой и землёй при токе утечки 10-30, 300,

500

мА.

При токе утечки 10–30 мА осуществляется защита людей от поражения электрическим током при прямом контакте с токопроводящими частями. Дифференциальные выключатели, отключающиеся при токе утечки 300, 500, 1000 мА, обеспечивают защиту электроустановки от риска возникновения пожара.

Имеются и дополнительные дифференциальные блоки, монтируемые на рейке рядом с обычным выключателем: сетевые ограничители перенапряжения, импульсные блоки, модули задержки (от 1 с до 1 ч) и др.

### **3.3. Содержание работы**

1. Детально изучить конструкцию выключателей АЗ700.
2. Составить схему электрических соединений заданного типа выключателя.
3. Изучить конструкцию выключателя «Электрон», установленного в шкафу КРУ – 0,5.
4. Снять времятоковую характеристику выключателя, смонтированного на лабораторном столе.
5. Составить отчет по лабораторной работе.

### **3.4. Описание лабораторной установки**

1. Для изучения конструкции автоматических выключателей в лаборатории представлены образцы выключателей. Ознакомившись с конструктивным исполнением электроустановок с автоматическими выключателями нужно при изучении шкафов КРУ–СН – 0,5.

2. Установка для снятия времятоковой характеристики автоматического выключателя смонтирована на лабораторном стенде. Схема установки приведена на рис. 3.13.

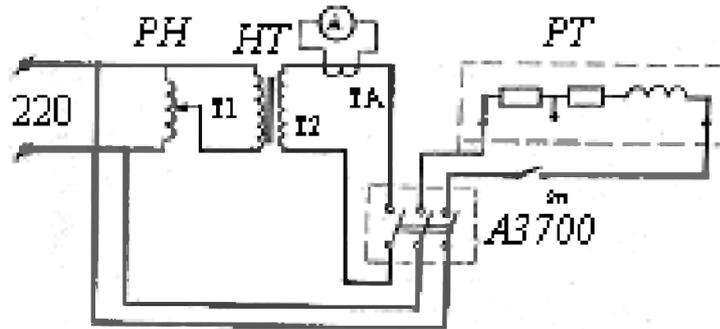


Рис. 3.13. Схема для снятия защитной характеристики теплового расцепителя

Установка состоит из:

- источника регулируемого напряжения (ЛАТР) Т1;
- нагрузочного трансформатора Т2;
- трансформатора тока ТТ;
- амперметра и электрического секундомера РТ, который подключается через тумблер SN.

Автомат подключается к установке с помощью втычных контактов.

### 3.5. Техника безопасности

При выполнении работы необходимо соблюдать «Инструкцию по технике безопасности при работе в лабораториях кафедры «Электрические станции».

### 3.6. Методические рекомендации и порядок выполнения работы

1. Изучить конструкции автоматических выключателей на образцах, представленных в лаборатории, обратив внимание на конструктивное выполнение расцепителей. По заданию преподавателя составить схему электрических соединений одного из выключателей.

2. Изучить конструкцию выдвигного выключателя «Электрон» в шкафу КРУ–СН–0,5, обратив внимание на выполнение

механических блокировок, фиксирующие, вкатные и удерживающие устройства.

3. Снять времятоковую характеристику выключателя АЗ726 ВФУЗ. Измерения производятся после прогрева выключателя номинальным током в течение 2–3 мин.

Измерения производятся в следующем порядке:

1. При отключенном тумблере SN и рукоятке ЛАТРа, находящейся в крайнем левом положении, включается автомат. Плавно увеличивают ток до значения  $1,35I_{\text{н}}$ . После этого автомат отключается.

2. Включают тумблер SN и устанавливают стрелку секундомера РТ на «ноль».

3. Включают автомат. Секундомер начинает работать. После отключения автомата секундомер покажет выдержку времени защиты от перегрузки автомата при данном токе.

4. Устанавливают новые значения тока (табл. 3.1), предварительно отключив тумблер SN, и повторяют измерения. Опыты проводятся с интервалом в 2–3 минуты.

Т а б л и ц а 3.1

Ток $I$ , А	$1,3I_{\text{н}}$	$1,5I_{\text{н}}$	$1,7I_{\text{н}}$
Время $t$ , с			

### 3.7. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткое описание исполнения заданного типа АВ и его параметры.
3. Схема электрических соединений заданного типа АВ.
4. Результаты измерения времени срабатывания автомата при разных токах.
5. Времятоковая характеристика автомата  $t = f(I)$ .

6. Другие сведения (по усмотрению студента).

### **3.8. Контрольные вопросы**

1. Назначение и область применения автоматических выключателей.
2. Устройство и принцип работы дугогасительных камер.
3. Назначение пламегасителей.
4. Почему на рабочих контактах выключателя «Электрон» не загорается дуга?
5. Какие типы расцепителей устанавливаются на выключателе АЗ700?
6. Какими расцепителями оснащен «Электрон»?
7. Назначение нулевого расцепителя.
8. Какие расцепители допускают изменение установок в процессе эксплуатации?
9. Объяснить работу и устройство теплового расцепителя.
10. Для чего строится времятоковая характеристика выключателя?
11. Назначение механических блокировок выдвижных выключателей в КРУ–СН–0,5.
12. Назначение независимого расцепителя.
13. В чём отличие выключателей западных фирм от выключателей российских?

Литература: [4];  
[8];  
[12], с. 201–208.

### ***Лабораторная работа № 4***

#### **ПЛАВКИЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛИ**

##### **4.1. Цель работы**

Целью работы является изучение конструкции и методики выбора плавких предохранителей.

Плавкие предохранители представляют собой однополюсные аппараты, предназначенные для автоматического однократного отключения электрической цепи при коротких замыканиях или перегрузке. Автоматическое отключение осуществляется путем расплавления металлической вставки предохранителя током защищаемой цепи и гашения возникающей при этом электрической дуги. После срабатывания предохранителя его плавкая вставка заменяется вручную.

Простота конструкции, малая стоимость предохранителей позволяют широко применять их для защиты оборудования от сверхтоков электроустановок. Для силовых полупроводниковых преобразователей плавкие предохранители являются единственно эффективными средствами защиты.

#### **4.2. Краткие теоретические сведения**

Плавкие предохранители состоят из следующих основных частей: корпуса с контактной системой, плавкой вставки, устройства для гашения дуги и указателя срабатывания.

Корпуса предохранителей изготавливаются из керамических или органических изоляционных материалов и по концам имеют медные, латунные или алюминиевые контакты. На контактах предусматриваются зажимы для подключения плавкой вставки. Плавкие вставки выполняются из серебра, меди, цинка, свинца и алюминия и помещаются внутри корпуса предохранителя. Конструкцией предусматриваются устройства для гашения дуги возникающей при плавлении вставки.

В нормальном режиме работы по плавкой вставке протекает ток нагрузки цепи, и в ней выделяется теплота. Эта теплота отдается в окружающую среду, и температура вставки и всех частей предохранителя не превышает допустимых значений. При увеличении тока в цепи выше номинального температура вставки возрастает. Чем больше ток, тем выше температура вставки.

При некотором токе, называемом минимальным током плавления  $I_{пл}$ , вставка расплавляется. Возникающая электрическая дуга гасится, и цепь оказывается отключенной. При токах, превышающих  $I_{пл}$ , вставка плавится тем быстрее, чем больше ток.

Основными параметрами предохранителей являются: номинальное напряжение  $U_n$ , номинальный ток плавкой вставки  $I_{н.вст}$ , номинальный ток предохранителя  $I_{н.пред}$ , номинальный отключаемый ток  $I_{н.откл}$ , время–токовая (защитная) характеристика отключения цепи  $t_{откл} = \tilde{f}(I_{ц})$  и характеристика токоограничения  $i_{скв} = f(I_{кз})$ . Здесь  $I_{ц}$  – ток в цепи;  $i_{скв}$  – мгновенное значение сквозного тока,  $I_{кз}$  – периодическая составляющая ожидаемого в цепи тока короткого замыкания.

Различают два класса предохранителей: до 1000 В и выше 1000 В. Наиболее широко распространены предохранители до 1000 В. Предохранители выше 1000 В применяются реже, в основном для защиты трансформаторов напряжения, силовых трансформаторов небольшой мощности и статических конденсаторов.

Плавкие предохранители до 1000 В изготавливаются на токи от миллиампер до тысячи ампер следующих серий: ПР (предохранитель с разборным патроном), ПН (с наполнителем и разборным патроном), НПН (с наполнителем и неразборным патроном), ППЗ1 (с алюминиевой плавкой вставкой). Общий вид их показан на рис. 4.1.

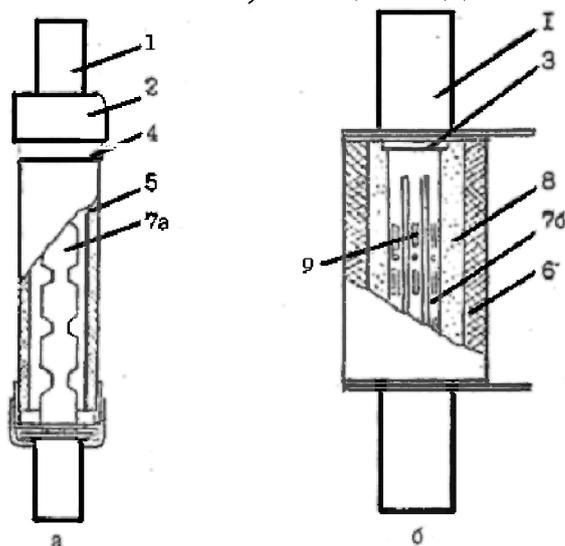


Рис. 4.1. Конструкции плавких предохранителей типа: а– ПР; б– ПН-2;

1 – ножевой контакт; 2 – латунный контакт; 3 – контактный диск; 4 – латунная втулка; 5 – фибровый корпус; 6 – фарфоровый корпус; 7 – плавкая вставка: а – фигурная; б – ленточная; 8 – кварцевый песок; 9 – оловянные шарики

Плавкие вставки этих предохранителей имеют большие сечения и для сокращения времени плавления они выполняются плоской формы с несколькими суженными участками. На серебряные или медные вставки в одной точке наплавлены оловянные шарики.

В качестве наполнителя предохранителей используется кварцевый песок. Песок химически инертен, имеет высокую температуру плавления и значительный коэффициент теплопроводности. Он засыпается в корпус со вставленной плавкой вставкой. При плавлении вставки возникающая дуга горит в узкой щели между песчинками. Это приводит к интенсивной деионизации дугового промежутка и улучшению условий гашения дуги.

Интенсивное гашение дуги в предохранителях с кварцевым песком приводит к тому, что при больших токах КЗ цепь отключается раньше, чем ток достигает ударного значения. В результате отключения тока в полупериоде в цепи возникают перенапряжения, в отдельных случаях достигающие величины  $(4,5-5)U_{\phi}$ . Такие перенапряжения опасны для изоляции оборудования, и необходимо принимать меры для их снижения.

У предохранителей серии ПР корпус не заполняется наполнителем. Гашение дуги в них осуществляется газом при высоком давлении. Этот газ образуется при горении дуги в результате воздействия ее высокой температуры на корпус предохранителя, выполненный из газогенерирующего материала.

К предохранителям ниже 1000 В относятся и быстродействующие предохранители серии ПН85, ПП57, ПП71. Они предназначены для защиты силовых полупроводниковых приборов и выпускаются на номинальные токи до 800 А и напряжения 220–1250 В. Плавкие вставки быстродействующих предохранителей изготавливаются из серебра. Серия ПП71 предназначена для защиты выпрямителей бесщеточных систем возбуждения син-

хронных генераторов. Их вставка выполнена в виде мембраны (диска). Внешний вид ее показан на рис. 4.2.

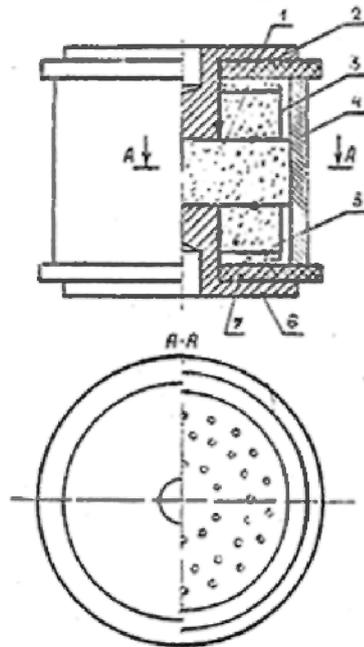


Рис. 4.2. Плавкая вставка роторного предохранителя ПП71 (разработка ВНИИ Электроаппарат). Стрелками показан путь тока между контактами вставки.  
 1 – мембранный (дисковый) плавкий элемент; 2 – контакт вставки – фланец;  
 3 – держатель мембраны; 4 – корпус; 5 – наполнитель; 6 – контакт вставки;  
 7 – изоляционная шайба

Выбор плавких предохранителей производится:

- 1) по напряжению установки  $U_n \geq U_c$ ;
- 2) по конструкции и роду установки;
- 3) по току –  $I_{нвст} \geq I_{раб.мах}$  ;  $I_{нвст} \geq \frac{I_{мах}}{\alpha}$  ,

где  $\alpha$  - коэффициент, зависящий от условий работы и длительности пуска;

- 4) по току отключения –  $I_{нст} \geq I_{п0}$ ;
- 5) по характеристике токоограничения.

### 4.3. Содержание лабораторной работы

1. Изучить представленные в лаборатории конструкции предохранителей.
2. Снять защитную характеристику предохранителя.
3. Выбрать предохранители для защиты отдельных участков электрической схемы, приведенной на рис. 2.4 (по заданию преподавателя).
4. Составить отчет о выполненной работе.

#### 4.4. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка включает в себя стенд с предохранителями разных серий и установку для определения защитной характеристики плавкой вставки. Определение защитной характеристики проводится в однофазной цепи с активно-индуктивной нагрузкой. Электрическая схема установки приведена на рис. 4.3. Исследуемый предохранитель размещается в специальной камере. Время перегорания вставки определяется по электрическому секундомеру.

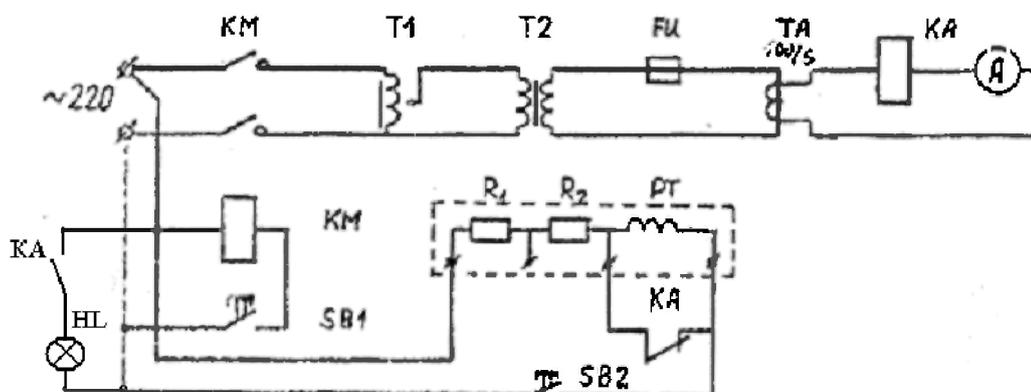


Рис. 4.3. Принципиальная электрическая схема лабораторной установки

#### 4.5. Методические рекомендации, пояснения и порядок выполнения работы

1. Для выполнения лабораторной работы необходимо получить у преподавателя плавкие вставки и задание на выбор предохранителей. Исследуемые плавкие вставки представляют собой отрезки медной проволоки малого сечения. Для снятия за-

щитной характеристики одна вставка закрепляется в камере лабораторной установки. Собирается схема по рис. 4.3 и подается напряжение на установку (включается тумблер SB1). С помощью ЛАТРа плавно увеличивается ток в цепи до значения, при котором сигнальная лампа НЛ загорается. Напряжение снимается. Тумблер SB1 отключается. После 2 – 3 мин. включается тумблер SB2, «секундомер», затем включается SB1. После перегорания вставки записывается ток и время перегорания. С установки снимается напряжение (отключается SB1), в камере закрепляется новая вставка. Рукоятка ЛАТРа сдвигается в сторону увеличения тока. Подается напряжение, и опыт повторяется (при большей величине тока).

2. Выбор 3–4 предохранителей (типа предохранителей и номинальных токов их плавких вставок) производится в схеме (рис. 4.4) для варианта, заданного преподавателем по табл. 4.1,

Для выбора предохранителей по схеме, изображенной на рис. 4.4, определяются номинальные токи конкретных потребителей.

Номинальный ток двигателей определяется по выражению

$$I_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot \cos \varphi \cdot \eta}, \quad \text{А},$$

где  $\eta$  - КПД двигателя

Номинальный ток нагрузки освещения

$$I_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}}}{U_{\text{н}}}.$$

Т а б л и ц а 4.1

Номер варианта	Мощность маслянного трансформатора	Максимальный ток КЗ, А $I_{\text{кз.мах}}$	Минимальный ток КЗ, А $I_{\text{кз.мин}}$	Мощность двигателей, $P_{\text{н}}$ , кВт ( $U_{\text{н}} = 380 \text{ В}$ $\cos \varphi = 0,82$ ; КПД = 0,86; $I_{\text{пуск}} = 6I_{\text{н}}$ )				Нагрузка освещения  Р, кВт
				Д1	Д2	Д3	Д4	
1	63	320	290	4,5	4,5	4,5	4,5	3,9
2	100	500	480	30	4,0	4,5	4,0	4,5

3	160	835	800	30	10,0	8,0	4,0	4,4
4	250	1200	1205	40	14,0	19,0	8,0	2,4
5	150	835	800	30	5,6	8,0	13,2	4,6

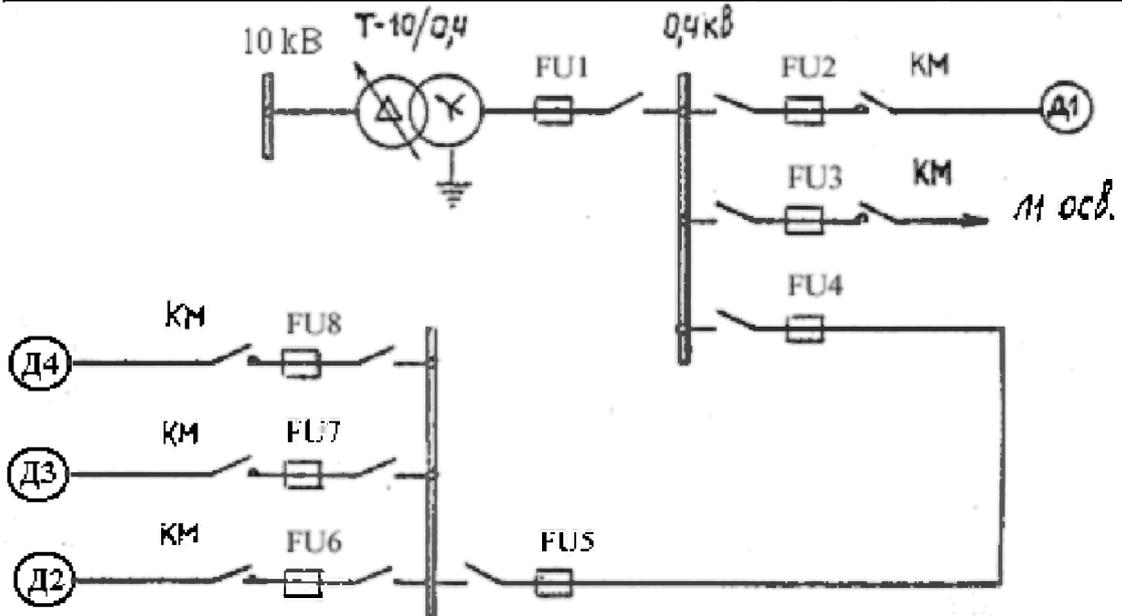


Рис. 4.4. Принципиальная схема распределительной сети

Номинальный ток плавкой вставки предохранителя при напряжении до 1000 В выбирается по величине длительного тока цепи ( $I_{д.раб.}$ ) и кратковременного пускового тока ( $I_{пуск}$ ):

$$I_{н.вст} \geq I_{\max \text{ раб}}; \quad (4.1)$$

$$I_{н.вст} \geq \frac{I_{\text{пуск}}}{\alpha}, \quad (4.2)$$

где  $\alpha$  – коэффициент снижения кратковременного пускового тока. (Для питания одиночного асинхронного двигателя с легкими условиями работы и редкими пусками  $\alpha = 2,5$ . При частых включениях двигателя, имеющего тяжелые условия пуска,  $\alpha = 1,6$ )

Номинальный ток плавкой вставки предохранителей осветительных сетей, силовых сетей во взрыво- и пожароопасных помещениях выбирается по условию защиты сети:

$$I_{\text{н.вст}} = \frac{I_{\text{доп}}}{1,25}, \quad (4.3)$$

где  $I_{\text{доп}}$  – допустимый по условию нагрева ток для провода сети. Для медных проводов сечения  $2,5 \text{ мм}^2$   $I_{\text{доп}} = 27 \text{ А}$ .

Для защиты цепей оперативного тока или во вторичных цепях трансформаторов напряжения электрических станций и подстанций номинальный ток токовой вставки принимается по следующему выражению:

$$I_{\text{н.вст}} = \frac{I_{\text{ном}}}{2,5}. \quad (4.4)$$

В цепях электромагнитов включения приводов выключателей предохранители устанавливаются для их защиты от длительного прохождения тока. Номинальный ток вставок таких предохранителей принимается  $0,3 \dots 0,4$  от максимального тока цепи включения.

Ток вставок на стороне низшего напряжения понижающих силовых трансформаторов равен номинальному току трансформатора.

После выбора номинального тока необходимо убедиться, что вставка надежно защищает участок цепи, на которой установлена. При коротком замыкании в наиболее удаленной точке  $I_{\text{кз.мин}}$  она должна быстро перегореть. Для этого кратность тока однофазного КЗ в сетях с заземленной нейтралью или двухфазного КЗ в сетях с изолированной нейтралью должна быть не менее 3 по отношению к  $I_{\text{н.вст}}$  (не менее 4 для взрывоопасных помещений).

Предохранители ниже 1000 В, установленные для защиты электродвигателей, должны перегорать за время  $0,15 \dots 0,2 \text{ с}$ . При большем времени сгорания вставки контакторы или пускатели, последовательно установленные в цепи, отпадают раньше, чем отключается цепь, и разрывают ток КЗ. В резуль-

тате контакторы повреждаются. Поэтому номинальный ток вставок предохранителей для защиты двигателей в 10...15 раз должен быть меньше тока 2 – фазного КЗ за пускателем.

Плавкая вставка с номинальным током 200 А является предельной по условиям селективности работы пускателя (контактора).

Для обеспечения селективности действия предохранителей в магистральных сетях необходимо, чтобы время перегорания большего из двух установленных последовательно предохранителей превышало время перегорания меньшего предохранителя больше чем в 3 раза. Время перегорания проверяется по защитным характеристикам во всем диапазоне токов КЗ и перегрузок (с учётом разброса срабатывания по времени).

Выбранный предохранитель проверяется на отключающую способность. Номинальный ток отключения должен быть равен или больше максимального значения тока КЗ в месте установки предохранителя.

#### **4.6. Техника безопасности**

При выполнении работы необходимо соблюдать требования «Инструкции по технике безопасности при работе в лабораториях кафедры «Электрические станции».

Исследование плавких вставок надо выполнять при закрытой камере. Замену сгоревших вставок проводить при полностью снятом с лабораторной установки напряжении через 2...3 минуты после опыта.

#### **4.7. Содержание отчета**

1. Наименование и цель работы.
2. Защитная характеристика предохранителя.
3. электрическая схема цепи с нагрузками;

4. Таблица с типами выбранных предохранителей и номинальными токами плавких вставок.(табл. 4.2).

Т а б л и ц а 4.2

	FU1	FU2	FU3	FU4	FU5	FU 6	FU7	FU 8
Рабочий (расчетный) ток на защищаемом присоединении								
ТИП выбранного предохранителя								
Номинальный ток плавкой вставки (по каталогу)								

#### 4.8. Контрольные вопросы

1. Как конструктивно выполнены предохранители разных серий?
2. Чем отличается номинальный ток предохранителя от номинального тока плавкой вставки?
3. Почему плавкие вставки предохранителей ниже 1000 В имеют несколько суженных участков?
4. С какой целью на плавкие вставки из тугоплавких материалов наплавляются оловянные шарики?
5. Для чего корпуса предохранителей заполняют кварцевым песком?
6. Как осуществляется выбор предохранителей для защиты от КЗ трансформаторов, асинхронных двигателей, сетей освещения?
7. Как выбираются номинальные токи плавких вставок предохранителей, установленных на участках магистральных линий питания (в начале или в конце участков), и как они согласуются по условиям селективности?

Литература : [1,] с. 45–56;  
[10], с. 197–200;  
[12], с. 187–193, 210–211.

### *Лабораторная работа № 5*

## **РАЗРАБОТКА И ПРОВЕРКА РАБОТЫ СХЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ**

### **5. 1. Цель работы**

В промышленности, сельском хозяйстве и быту широко применяются простейшие схемы автоматизированного управления асинхронными короткозамкнутыми электродвигателями, обеспечивающие технологический процесс работы различных механизмов и устройств. Такие схемы обычно относят к схемам технологической автоматизации и обслуживаются персоналом электроцехов. В этой связи будущие инженеры-электроэнергетики должны уметь разрабатывать, и выполнять наладку схем автоматизированного управления электродвигателями.

Цель работы состоит в изучении аппаратуры и принципов построения схем автоматизированного управления электродвигателями.

### **5. 2. Принципы построения схем управления электродвигателями**

Схемы управления электродвигателями напряжением до 1000 В включают в себя оборудование силовой (первичной) цепи и цепи управления (вторичной цепи).

Оборудование силовой цепи обеспечивает протекание рабочего тока электродвигателя. В большинстве случаев в силовой цепи электродвигателей последовательно по направлению

энергии устанавливаются рубильники, плавкие предохранители либо автоматические воздушные выключатели, контакторы или пускатели (рис. 5.1). Рубильники предназначены для снятия напряжения со всей силовой цепи и цепи управления. Это позволяет осуществлять осмотр всего оборудования и его ремонт без напряжения.

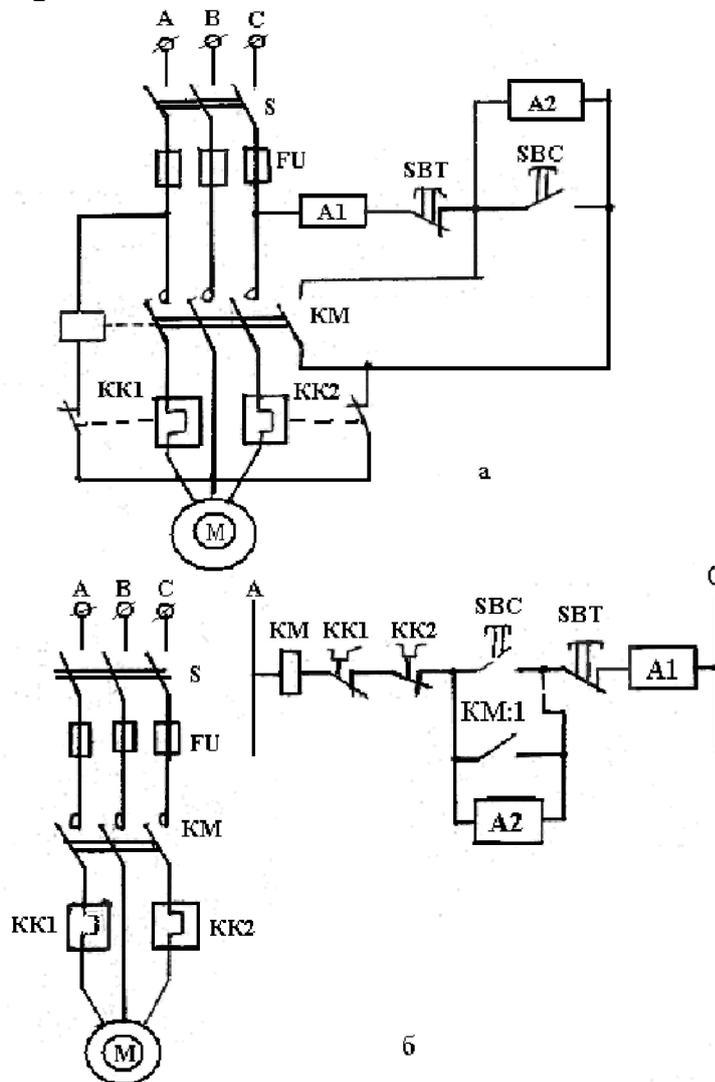


Рис. 5.1. Принципиальная схема управления электродвигателем, выполненная совмещенным (а) и разнесенным (б) способами

Плавкие предохранители или автоматические воздушные выключатели осуществляют защиту электродвигателя и его электрооборудования от коротких замыканий и перегрузок.

Они отключают одновременно все проводники, подходящие к двигателю. В отдельных случаях автоматические воздушные выключатели используются для нечастых включений и отключений электродвигателя. Контактторы и магнитные пускатели предназначены для дистанционного включения и отключения питания электродвигателя.

Контактторы и магнитные пускатели предназначены для дистанционного включения и отключения электродвигателя.

Оборудование вторичных цепей более разнообразно. Оно включает в себя различные аппараты, обеспечивающие управление коммутационным аппаратом (контактором, пускателем, автоматом), в цепи питания его электродвигателю. Для ручного управления двигателями используются командоаппараты. Простейшие из них – выключатели и кнопки, которые замыкают и размыкают свои контакты под воздействием руки оператора. Для этой цели могут использоваться командоконтроллеры и ключи управления. Непосредственно аппаратурой, реализующей определенную программу управления двигателем, могут быть различные датчики (температуры, уровня жидкости, давления, скорости и т. д.), реле (промежуточные, времени, тока и др.), концевые выключатели и переключатели и т. д. Эти аппараты устанавливаются в электрической цепи управления коммутационным аппаратом с тем, чтобы обеспечить выполнение логической последовательности его включения, отключения или переключения в зависимости от положения датчиков.

На рис. 5.1 приведена схема ручного управления электродвигателем. Схема выполнена совмещенным (а) и разнесенным (б) способами. На рис. 5.1, а показано оборудование силовой и вторичной цепей со всеми выполненными соединениями. При этом все приборы и аппараты изображены в собранном виде со всеми их обмотками и контактами. При разнесенном способе изображения (рис. 5.1, б) приборы и аппараты силовой и вторичной цепей расчленены на составные функциональные элементы и размещены на чертеже в порядке прохождения тока от полюса к

полосу. Схема при этом состоит из отдельных цепей, расположенных горизонтально или вертикально и имеющих определенное назначение. Этот широко распространенный способ выполнения вторичных цепей упрощает их составление и монтаж.

В приведенной на рис. 5.1, б схеме все элементы управления (кнопки S1 и S2, контакты электротепловых реле КК1 и КК2, катушка магнитного пускателя КМ) образуют одну цепь управления электродвигателем, включенную между фазами А и С сети, к которой подключен двигатель.

Включение двигателя осуществляется нажатием кнопки S2. При этом создается путь для протекания тока через катушку магнитного пускателя КМ (замыкается цепь катушки пускателя), который включается и замыкает свои силовые и вспомогательный контакты КМ:1. Последние шунтируют кнопку S2, что обеспечивает протекание тока через катушку пускателя после отпускания кнопки. Для отключения двигателя нажимается кнопка S1, размыкающая цепь катушки КМ. При этом контактор отключается и двигатель останавливается.

При перегрузке двигателя срабатывают электротепловые реле КК1 или КК2 и размыкают свои контакты. Магнитный пускатель при этом отключается.

Показанная на рис. 5.1 схема управления электродвигателем кроме ручного управления может быть оснащена и устройством его автоматического управления. С этой целью в схему управления вводятся устройства А1 и А2. Устройство А1 предназначено для отключения электродвигателя при выполнении заданной программы. Устройство А2 обеспечивает автоматическое включение двигателя и его работу при срабатывании датчиков или логической схемы.

Для управления двигателем, который должен вращаться попеременно в обе стороны – по часовой и против часовой стрелки, применяются реверсивные магнитные пускатели (рис. 5.2). Такой пускатель содержит 2 контактора (КМ1 и КМ2), объединенных в одном корпусе. Один контактор подает на двигатель

напряжение с прямым чередованием фаз (А, В, С), второй – с обратным (А, С, В). В зависимости от этого двигатель вращается по часовой или против часовой стрелки.

Схема ручного управления реверсивным пускателем изображена на рис. 5.3. В схеме показана электромагнитная блокировка контакторов КМ1 и КМ2, исключающая одновременное включение обоих контакторов и устройства автоматического включения и отключения двигателя в соответствии с заданной программой.

Схемы автоматизированного управления двигателями должны обеспечивать заданный режим работы механизма или машины и надежно работать во всех режимах технологического процесса. Чтобы исключить аварии и повреждения, обязательно предусматриваются устройства, размыкающие цепи управления электродвигателем при опасном для механизма или устройства состоянии: так называемые блокировки. Блокировки могут быть электрическими и механическими.

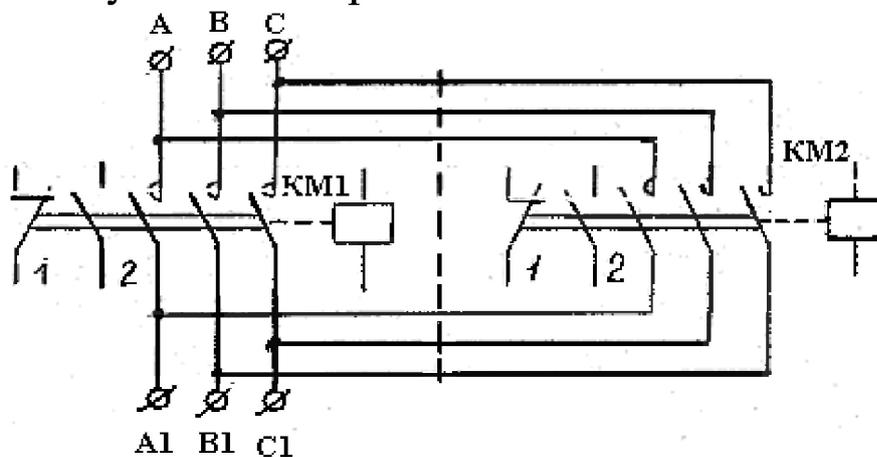


Рис. 5.2. Схема реверсивного магнитного пускателя

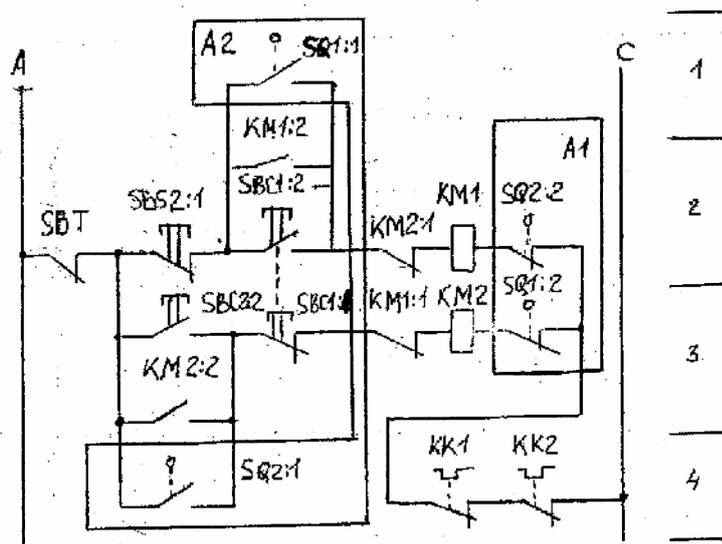


Рис. 5.3. Схема ручного управления реверсивным пускателем

### 5.3. Принципы построения схем автоматизированного управления двигателями

В схемах автоматического управления предусматривается возможность ручного управления. Если имеется необходимость управлять двигателем из нескольких мест, то устанавливаются специальные переключатели управления, исключающие возможность пуска двигателя из нескольких мест одновременно. Но останов двигателя должен осуществляться с любого из этих мест.

Чертежи схем управления выполняются в многолинейном исполнении. С помощью условных обозначений вычерчиваются все элементы и соединения. Конкретные элементы изображаются в положении, которое они имеют, когда в цепях нет напряжения, а рычаги и штифты конечных выключателей, переключателей и кнопок управления показываются в исходном положении.

Обычно цепи управления двигателей питаются от силовых цепей через защитные аппараты. В них используется минимально возможное количество элементов. В начале цепи устанавливают аварийный выключатель, кнопку управления и т. д., а затем — остальную аппаратуру (блок - контакты, контакты концевых выключателей, датчиков, реле, технологических уст-

роЙств и т. п.). При этом предусматривается, чтобы исполнительные органы – катушки пускателей, контакторов, электромагниты включения и отключения – при разомкнутом контакте любого из аппаратов последовательной цепи управления находились без напряжения.

Все часто применяющиеся схемы автоматизированного управления можно условно разделить на следующие типы: схемы, работающие в функции предельных положений (перемещения рабочего органа механизма, уровня жидкости и т. п.); в функции времени (насосы-дозаторы, технологические конвейеры, тележки и др.); в функции положения и времени. Схемы управления в функции предельных положений содержат в своем составе конечные выключатели, которые замыкают свои контакты при достижении предельного положения контролируемого перемещения. Например, двигатель насоса насосной установки должен включаться при опорожнении резервуара и отключаться при его наполнении. С этой целью устанавливается поплавковое реле, замыкающее один контакт (SL:1) при снижении уровня воды до нижней допустимой отметки и замыкающее второй контакт (SL:2) при верхнем уровне воды (рис. 5.4).

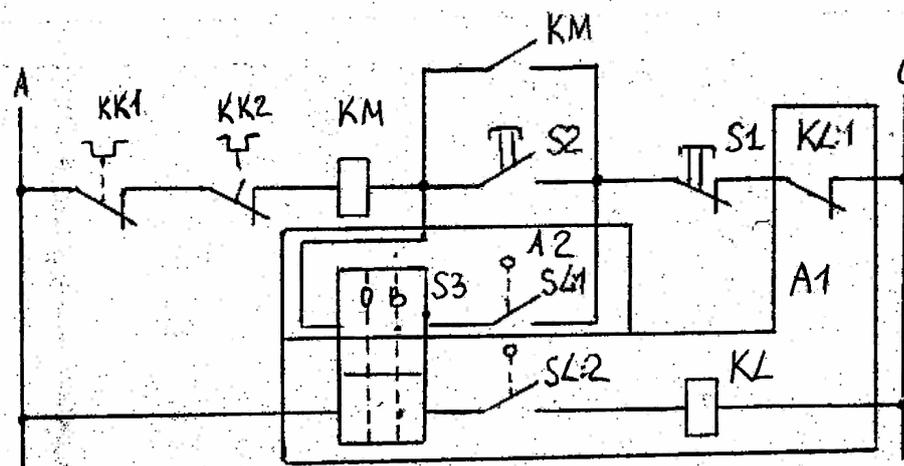


Рис. 5.4. Схема управления пускателем в функции предельных положений

Значительно сложнее реализуется автоматическое управление двигателем перемещения стола фрезерного или шлифовального станка. Здесь технологическая схема работы следую-

шая. После ручного пуска двигателя стол перемещается до предельного положения. При этом он специальным упором нажимает на штифт или рычаг конечного выключателя. Этот выключатель имеет 2 контакта – один нормально замкнутый (НЗ), другой – нормально разомкнутый (НР). Вначале размыкается НЗ – контакт, а затем замыкается НР. При этом магнитный пускатель вращения двигателя в сторону перемещения стола до предельного положения отключается и включается магнитный пускатель вращения двигателя в противоположную сторону. Стол перемещается в другом направлении до срабатывания такого же конечного выключателя, и все повторяется. На рис. 5.3 показаны цепи управления, содержащие контакты конечных выключателей, обеспечивающих описанную последовательность работы двигателя стола фрезерного станка.

На рис. 5.5 приведена схема управления ленточным транспортером. Особенность ее в том, что вначале на протяжении определенного времени работает сирена, предупреждающая о пуске механизма. После этого включается двигатель. Дополнительно в схеме предусматривается останов двигателя при сходе транспортной ленты с рабочего положения (технологическая блокировка). Для этого в цепь катушки пускателя включены НЗ – контакты конечных выключателей SQ1 и SQ2.

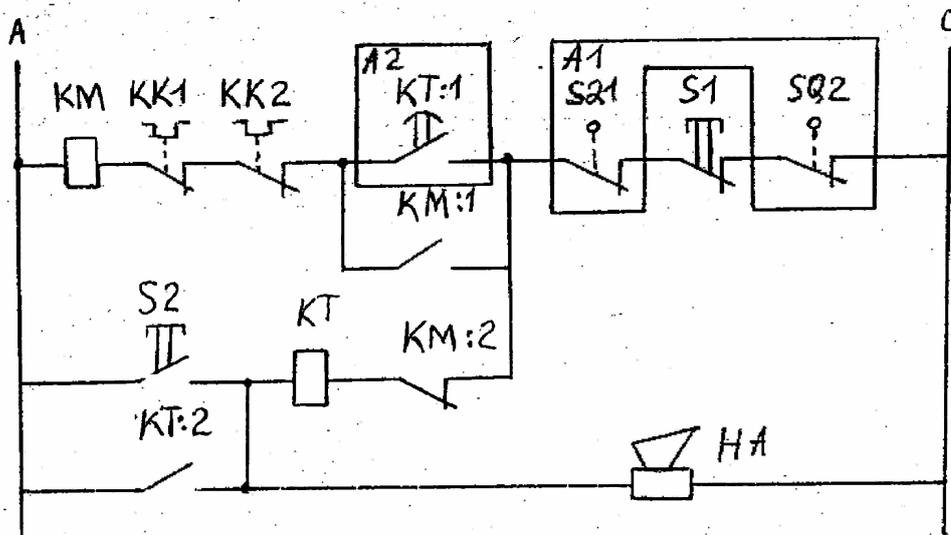


Рис. 5.5. Схема управления ленточным транспортером

#### 5.4. Оборудование лабораторного стенда

Лабораторная работа выполняется на стенде, содержащем 2 магнитных пускателя (KM1, KM2), 2 тепловых реле (KK1, KK2), 2 кнопочных поста: один на 2 кнопки (пуск, стоп) и второй – на три кнопки (вперед, стоп, назад); 2 концевых выключателя; промежуточное реле; реле времени; сигнальную лампу. Для удобства пользования все оборудование размещено на лицевой стороне панели. Рядом с оборудованием смонтированы клеммы его выводов с необходимыми пояснительными надписями.

Лабораторный стенд позволяет сборку любой из схем, обеспечивающих указанные в табл. 5.1 режимы работы различных устройств.

Т а б л и ц а 5.1

Номер варианта	Режим работы устройства
1	Автоматическое включение и отключение устройства по предельному положению рабочего органа (уровня жидкости)
2	Ручное включение и отключение двигателя с предварительной подачей светового сигнала в течение $t$ с.
3	Ручное включение и автоматическое отключение двигателя при достижении конечного положения с подачей светового сигнала о работающем устройстве
4	Ручное включение двигателя с двух мест и автоматическое отключение по конечному положению рабочего органа механизма
5	Ручное включение и автоматическое отключение двигателя через 5 с со световой сигнализацией работы двигателя
6	Ручное включение и отключение двигателя с реверсированием его вращения и световой сигнализацией обратного хода
7	Автоматическое изменение направления вращения двигателя при достижении конечных положений рабочего органа

## **5.5. Рекомендации по выполнению работы**

Для выполнения работы преподаватель задает из табл. 5.1 вариант режима работы устройства. Пользуясь изложенными в разработке материалами, собственными знаниями и понятиями, студенты составляют схему управления, собирают ее и после проверки преподавателем опробуют ее работу. Если схема не работает в соответствии с заданным вариантом режима, то нужно самостоятельно найти и устранить ошибки в ней.

При опробовании работы схемы предельное положение рабочего органа механизма осуществляется нажатием рукой на шток концевых выключателей SQ1 и SQ2.

## **5.6. Содержание отчета**

1. Наименование и цель работы.
2. Схема управления электродвигателем в соответствии с заданным вариантом работы устройства.

## **5.7. Контрольные вопросы**

1. Что дает автоматизация схем управления электродвигателями?
2. Расскажите о принципах построения схем управления электродвигателями.
3. Как питаются и защищаются от повреждения цепи управления двигателями?
4. Как работает схема автоматического управления в функции предельных положений?
5. Чем отличается схема автоматического управления в функции времени от схемы управления в функции предельных положений?
6. Расскажите о конструкции конечных выключателей, кнопок управления и командоконтроллеров.
7. Какой принцип положен в основу схемы управления электродвигателем с двух мест?

Литература: [2], с. 9-15;  
[5], с. 55-59.

### *Лабораторная работа № 6*

## **КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В СЕТЯХ ДО 1 кВ**

### **6.1. Цель работы**

Изучение конструкций комплектных конденсаторных установок и схем их включения в сетях 0,4 кВ.

### **6.2. Краткие теоретические сведения**

При подключении к электрической сети активно-индуктивной нагрузки ток отстает от напряжения на угол сдвига  $\varphi$ . Электроприемник (ЭП) с такой нагрузкой потребляет не только активную, но и реактивную мощность

$$Q = P \operatorname{tg} \varphi \quad (6.1)$$

Реактивная мощность  $Q$  не связана с полезной работой и расходуется на создание электромагнитных полей в двигателях, трансформаторах, линиях. Основными потребителями реактивной мощности на промышленных предприятиях являются асинхронные двигатели (60...86 % общего ее потребления), трансформаторы (20...25 %), вентильные преобразователи, реакторы и другие ЭП.

При отсутствии устройств для компенсации реактивной мощности ее вынуждены давать генераторы электрических станций. Это приводит к недоиспользованию обмоток генераторов по активному току и к увеличению потерь мощности, энергии и напряжения во всех элементах электрической сети.

При отсутствии компенсации почти половина всех потерь

мощности вызвана передачей реактивной мощности. Если учесть, что потери электроэнергии в сетях энергосистем находятся на уровне 9...10 % электроэнергии, отпущенной в сеть, то тогда с экономической точки зрения становится понятной необходимость компенсации реактивной мощности.

Наглядное представление о сущности компенсации реактивной мощности дает векторная диаграмма (рис. 6.1, а). На рис. 6.1, б ЭП, имеющий активное сопротивление  $R$  и индуктивное  $X_L$ , питается от сети напряжением  $U$ . Угол  $\varphi$  определяется соотношением  $R$  и  $X_L$ :

$$\varphi = \arccos \frac{R}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}.$$

До компенсации ЭП имел активную мощность  $P$ , активный ток  $I_a$  и реактивную мощность от индуктивной нагрузки  $Q_p$  с соответствующим током  $I_p$ . После компенсации (после подключения конденсатора с мощностью  $Q_k$  и током  $I_c$ ) суммарная реактивная мощность составит  $Q_p - Q_k$ , ток  $I_k = I_p - I_c$  и соответственно снизится угол сдвига фаз с  $\varphi$  до  $\varphi_k$  и повысится коэффициент мощности с  $\cos\varphi$  до  $\cos\varphi_k$

$$\varphi_k = \arccos \frac{R}{\sqrt{R^2 + (X_L + X_c)^2}}.$$

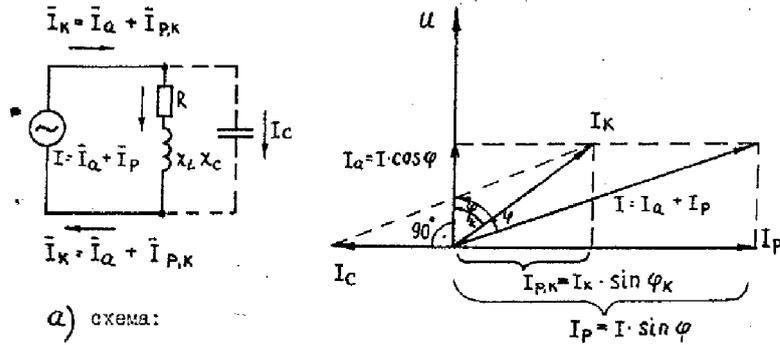


Рис. 6.1. Принцип компенсации реактивной мощности

Полная потребляемая мощность снизится с  $S = \sqrt{P^2 + Q_p^2}$  до  $S_k = \sqrt{P^2 + (Q_p - Q_k)^2}$  при той же потребляемой активной мощности.

Следовательно, в результате компенсации можно при том же сечении проводов повысить пропускную способность сети по активной мощности, а также уменьшить потери мощности, электроэнергии и напряжения в элементах сети:

$$\Delta P = \frac{P^2 + (Q_p - Q_k)^2}{U^2} R + \Delta P_{КУ}; \quad (6.2)$$

$$\Delta U = \frac{PR + (Q_p - Q_k)X_L}{U}; \quad \Delta W = \Delta P \tau_{\max}$$

где  $\Delta P_{КУ}$  – потери мощности в КУ;

$R, X_L$  – параметры элементов сети;

$\tau_{\max}$  – время максимальных потерь электроэнергии.

Наибольший экономический эффект от снижения потерь электроэнергии достигается при размещении КУ в непосредственной близости от потребляющих реактивную мощность электроприемников до 1 кВ.

### 6.2.1. Источники реактивной мощности до 1 кВ

К техническим средствам компенсации реактивной мощности в сетях до 1 кВ относятся конденсаторные батареи и синхронные двигатели. Наибольшее распространение на ПП имеют конденсаторы. Их изготавливают на 220, 380 и 660 В в одно – и трехфазном исполнении масляными (КМ) и соволочными (КС).

Конденсаторы имеют следующие достоинства:

1) незначительные удельные потери мощности (до 0,005 кВт/кВАр);

1) отсутствие вращающихся частей;

2) простота монтажа и эксплуатации;

3) невысокая стоимость;

4) возможность установки в любом сухом помещении около отдельных групп ЭП.

Конденсаторы собираются в батареи (КБ) и выпускаются заводами-изготовителями в виде комплектных конденсаторных установок (ККУ). К недостаткам конденсаторов как источников реактивной мощности относятся:

1) невозможность плавного регулирования отдаваемой реактивной мощности;

2) пожароопасность (при заполнении конденсаторным маслом);

3) наличие остаточного заряда, что повышает требования к технике безопасной работы с ними;

4) зависимость генерируемой реактивной мощности от напряжения в сети  $U_c$ :

$$Q_r = \left( \frac{U_c}{U_k} \right)^2 Q_k; \quad (6.3)$$

5) чувствительность к искажениям питающего напряжения (высшим гармоникам).

При выборе мощности батарей конденсаторов учитывают располагаемую суммарную реактивную мощность всех синхронных двигателей (СД) цеха. Известно, что при увеличении тока возбуждения выше номинального значения СД они могут вырабатывать реактивную мощность. Главным отличием СД от АД является то, что магнитное поле, необходимое для работы СД, создается от отдельного источника постоянного тока (возбудителя). Вследствие этого СД в нормальном режиме почти не потребляет из сети реактивную мощность, необходимую для создания магнитного потока, а в режиме перевозбуждения может генерировать емкостную мощность в сеть.

СД обычно рассчитаны на опережающий коэффициент мощности  $\cos\varphi = 0,9$  и при номинальной активной нагрузке  $P_H$  и  $U_H$  могут вырабатывать номинальную реактивную мощность

$$Q_H \approx 0,5P_M. \quad (6.4)$$

При недогрузке СД по активной мощности  $\left( \beta = \frac{P}{P_H} < 1 \right)$  возможна перегрузка по реактивной мощности  $(\alpha = Q/Q_H > 1)$ .

Преимуществом СД, используемых для компенсации реактивной мощности, по сравнению с КБ является возможность плавного регулирования генерируемой реактивной мощности. Недостатком является то, что активные потери на генерирование реактивной мощности для СД больше, чем для КБ:

$$\Delta P_H = \frac{Q_H^2 r}{U_H^2}, \quad (6.5)$$

где  $Q_H$  – номинальная реактивная мощность СД, кВАр;

$r$  – сопротивление одной фазы обмотки СД в нагретом состоянии, Ом;

$U_n$  – номинальное напряжение сети, кВ.

При совместном применении для компенсации реактивной мощности СД и КБ первые снимают пики суточного графика реактивной нагрузки, а КБ осуществляют компенсацию базовой части графика.

### 6.2.2. Комплектные конденсаторные установки

В настоящее время выпускаются регулируемые и нерегулируемые ККУ мощностью до 750 кВАр (одна-пять секций по 150 кВАр). В сетях 380 В не рекомендуется уменьшать мощность КБ до значения менее 30 кВАр, поэтому ККУ выпускаются с мощностью более 30 кВАр [13].

Схемы присоединения ККУ приведены на рис. 6.2.

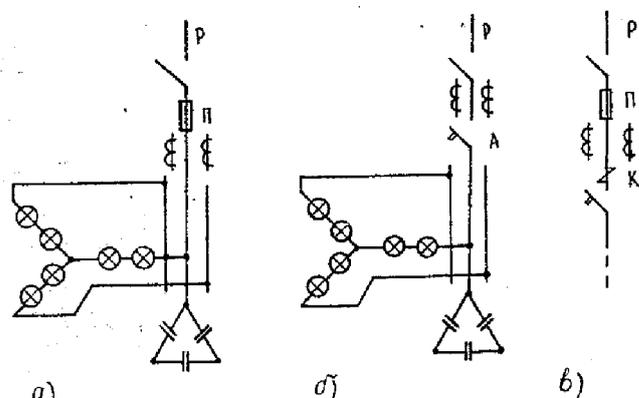


Рис. 6.2. Присоединение конденсаторных батарей в сетях 0,38-0,66 кВ: а) через рубильники и предохранитель; б) через автоматический выключатель; в) через рубильник, предохранитель и контактор

При оперировании с конденсаторными батареями возникают перенапряжение и бросок тока, в особенности при включении на параллельную работу с другими батареями или секциями. Необходимы специальные быстродействующие выключатели, имеющие повышенную износоустойчивость контактных и механических частей и рассчитанные на такие броски и допускающие частые переключения. В случае примене-

ния выключателей и контакторов 380 В, не рассчитанных на чисто емкостную нагрузку, их следует выбирать с запасом по номинальному току не менее чем на 30 %.

Защита конденсаторных батарей выбирается с учетом отстройки от токов включения и разряда конденсаторов. При защите КБ предохранителями номинальный ток плавной вставки  $I_{н.вст}$ , А определяется по формуле

$$I_{н.вст} \leq 1,6n \frac{Q_k}{\sqrt{3}U_H}, \quad (6.6)$$

где  $n$  – общее количество конденсаторов ККУ, шт.;

$Q_k$  – номинальная мощность одного однофазного конденсатора, кВАр.

При защите автоматическими выключателями последние должны иметь комбинированные расцепители. Уставка тока  $I_y$ , выбираемая исходя из перегрузочной способности конденсаторов, не должна превышать 13 %  $I_{ном.к}$ :

$$I_y \leq 1,3n \frac{Q_k}{\sqrt{3}U_H}. \quad (6.7)$$

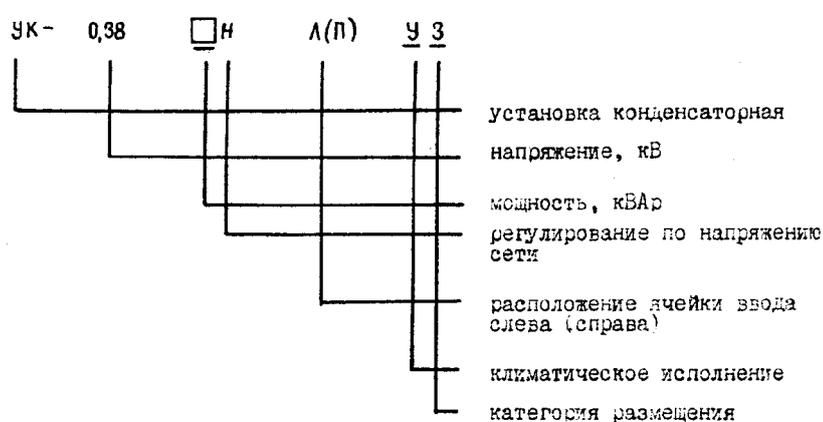
Для быстрого разряда конденсаторов после их отключения применяются индуктивные или активные разрядные резисторы, подключенные параллельно КБ с сопротивлением

$$R = 15 \frac{U_{\phi}^2}{Q_k} \cdot 10^6, \quad (6.8)$$

где  $U_{\phi}$  – фазное напряжение сети, кВ;

$Q_k$  – мощность КБ, кВАр.

Типовая ККУ состоит из ячейки ввода и в зависимости от мощности и числа ступеней из двух и более конденсаторных ячеек. Различают левое и правое исполнение установок (в зависимости от расположения ячейки ввода). Ячейки выполнены в виде отдельных шкафов с открывающейся передней дверью. Вторичные цепи ячеек соединяются при помощи разъемов, силовые цепи – посредством сборных шин. Степень защиты обслуживающего персонала от соприкосновения с токоведущими частями установок должна быть IP21 по ГОСТ 14254–80. Окружающая среда – невзрывоопасная, не содержащая агрессивных паров и газов в концентрациях, разрушающих металлы и изоляцию, и не насыщенная токопроводящей пылью. Типовое обозначение установок расшифровывается следующим образом.



В качестве примера рассмотрим нерегулируемую ККУ типа УКА-0,38-76УЗ с автоматическим выключателем. Принципиальная электрическая схема установки приводится на рис. 6.3.

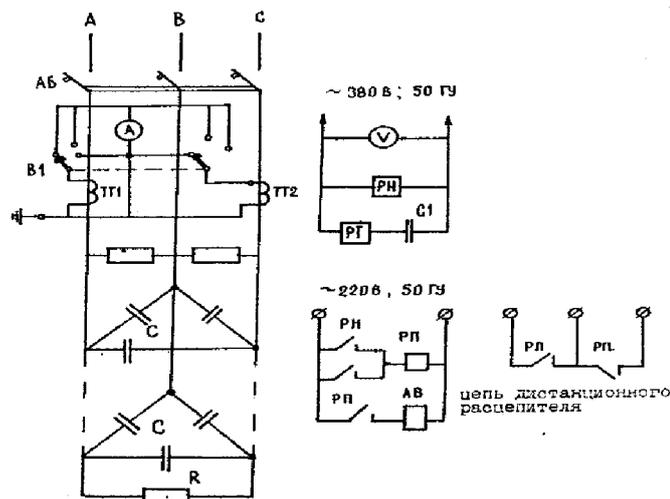


Рис. 6.3. Принципиальная электрическая схема установок УКА-0,38-78У3

Установка включена в сеть постоянно. Команда на отключение подается с чувствительного элемента (реле напряжения РН). При повышении напряжения до уровня  $1,1U_{\text{н}}$  замыкающий контакт реле РН замыкает цепь независимого расцепителя АВ, который и отключает установку от сети.

В установке предусмотрена схема защиты от токов высших гармонических составляющих. Схема токовой защиты состоит из реле тока РТ, реле промежуточного РП и конденсатора С1. Принцип работы схемы основан на идентичности зависимостей величины тока защищаемой батареи КБ и конденсатора С1 от величины и формы напряжения сети. Сигнал на отключение установки подается с реле РТ при увеличении тока в сети до  $1,3I_{\text{н}}$ . Реле тока своим замыкающим контактом замыкает цепь промежуточного реле, которое в свою очередь замыкает цепь отключения АВ, и установка отключается. Установка состоит из одного шкафа с открывающейся передней дверью и пригодна для одностороннего обслуживания. В шкафу размещены три конденсатора (КМ2 – 0,38 – 26), соединенные по схеме треугольника, измерительные приборы, аппаратура защиты.

Регулируемые ККУ могут иметь беспшкафную конструкцию (Б) и быть регулируемыми по току (Т) и напряжению (Н). На-

пример, УКБН-0,38-100-50УЗ имеет две ступени регулирования по напряжению сети, номинальная мощность – 100 кВАр, номинальная мощность ступени регулирования – 50 кВАр. Установка отключается при повышении действующего значения напряжения до  $1,1U_H$  или при повышении действующего значения тока до  $1,3I_H$ , полученного за счет повышения напряжения высших гармоник или того и другого вместе независимо от гармонического состава тока. Установка может работать в режиме автоматического или ручного управления. Выбор режима определяется выключателем, расположенным на передней панели программной приставки ПП-АРКОН-1. В режиме автоматического управления при отклонении напряжения на сборных шинах от  $U_H$  командный блок АРКОН-1 выдает команды программным приставкам ПП1, ПП2 на включение и отключение ступеней конденсаторов с выдержкой времени.

Установка состоит из конденсаторов, соединенных по схеме треугольника, контакторов, устройства автоматического управления, вольтметра для контроля напряжения и аппаратуры защиты (рис. 6.4). Включение и отключение ступеней производится контакторами К1 и К2.

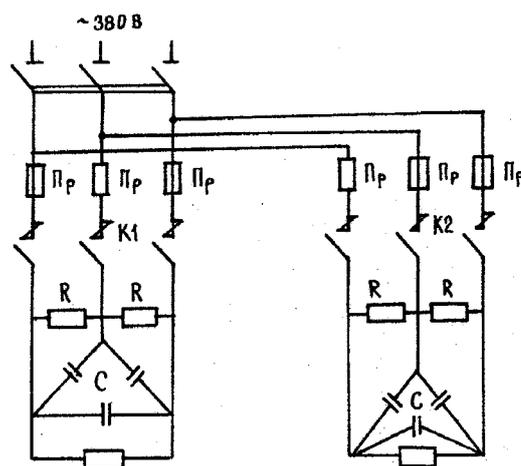


Рис. 6.4. Схема силовых цепей УКБН-0,38-100-50УЗ

На рис. 6.5 показана принципиальная схема регулирования с применением автоматического регулятора АРКОН, которая позволяет осуществлять регулирование по напряжению с коррек-

цией по току нагрузки и углу между ними. Устройство АРКОН состоит из командного и программного блоков. При регулировании по напряжению на командный блок подается входное напряжение  $U_B$  и напряжение питания. При регулировании же с коррекцией по току нагрузки кроме того подается ток свободной фазы с трансформаторов тока ввода  $I_{ТТ1}$  и  $I_{ТТ2}$  и ток  $I_{ТТ3}$  от трансформатора тока КБ. Командный блок 1 в соответствии с полученным входным сигналом подает программному блоку 2 команду на включение или отключение секции 3.

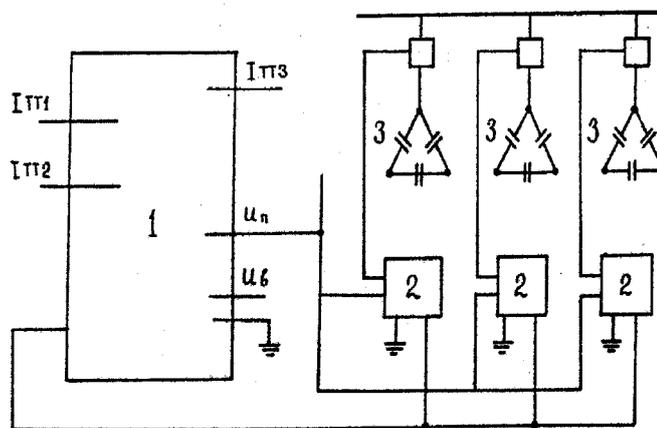


Рис. 6.5. принципиальная схема регулирования ККУ при помощи устройства «АРКОН» 1 – командный блок; 2 – приставка программного блока; 3 – секция регулируемой ККУ

### 6.3. Содержание работы

1. Ознакомиться с принципом работы и устройством источников реактивной мощности до 1 кВ.
2. Изучить схемы и конструкции комплектных конденсаторных установок.
3. Для заданного преподавателем варианта, выполнить расчет элементов и схемы замещения радиальной и магистральной цеховой электрической сети.
4. Собрать схему замещения радиальной и магистральной цеховой сети и исследовать их работу с КБ и без нее.

### 6.4. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка включает в себя набор нерегулируемых и регулируемых резисторов, катушек индуктивности и конденсаторов различных номиналов, моделирующих элементы цеховой сети. Масштаб модели принят равным  $M : 100$ , исходя из соображений техники безопасности при работе с батареями конденсаторов и удобства их компактного размещения на лабораторном стенде стандартного размера. Питание модели схемы сети производится от понижающего трансформатора ТБС–2,2/70. Набор элементов позволяет смоделировать радиальную и магистральную схемы цеховой сети. Нагрузка сети моделируется регулируемыми резисторами с предельными величинами 56, 47, 100, 140 и 680 Ом и катушками индуктивности 50, 120, 150, 170, 200 и 236 Ом.

Силовые кабели и комплектные шинопроводы сети моделируются нерегулируемыми резисторами и катушками индуктивности, установленными в верхнем ряду лабораторного стенда под приборным рядом.

Модель КБ может состоять из 7 конденсаторов емкостью 30, 20, 10, 4, 3 и 1 мкФ. Конкретная величина суммарной емкости КБ определяется расчетом. Каждый конденсатор включается в схему КБ отдельным тумблером. КБ шунтирована высокоомным резистором для ее разряда после отключения от источника питания.

## **6.5. Техника безопасности**

При выполнении работы подавать напряжение на лабораторную установку можно только с разрешения преподавателя. Все пересоединения в схеме допускается выполнять только при отключении модели от источника питания.

## **6.6. Методические рекомендации и порядок выполнения работы**

1. Изучить схемы и конструкции комплектных конденсаторных установок, приведенные в лабораторной инструкции и выбрать по одной ККУ, выполнив расшифровку их типов, и вычертить схему силовых цепей.

2. Выполнить расчет емкости КБ модели цеховой сети для заданного преподавателем варианта исходных данных в табл. 6.1. Исходя из заданной в табл. 6.1 мощности КБ на стороне 0,4 кВ Q КБ следует определить стандартную мощность каждой КБ в радиальной схеме и одной-двух КБ в магистральной схеме заданной цеховой сети.

Т а б л и ц а 6.1

Исходные данные	Номер варианта				
	1	2	3	4	5
$P_1 + jQ_1$ кВт кВАр	$370 + j290$	$160 + j120$	$160 + j120$	$120 + j96$	$110 + j85$
$P_2 + jQ_2$	$160 + j120$	$120 + j96$	$120 + j96$	$370 + j290$	$80 + j61$
$P_3 + jQ_3$	$120 + j96$	$60 + j61$	$110 + j85$	$160 + j120$	$120 + j96$
$P_4 + jQ_4$	$110 + j85$	$370 + j290$	$80 + j61$	$110 + j85$	$160 + j120$
$P_5 + jQ_5$	$90 + j61$	$110 + j85$	$370 + j290$	$80 + j61$	$370 + j290$

Окончание табл. 6.1

Суммарная мощность конденсатора НБК, кВАр	500	550	600	525	600
Сечение кабелей радиальной схемы и их длина $S_m$	$35 \text{ мм}^2$ , $l_1 = l_2 = l_3 = l_4 = 20 \text{ м}$	$16 \text{ мм}^2$ , $l_1 = l_2 = l_3 = l_4 = l_5 = 25 \text{ м}$	$25 \text{ мм}^2$ , $l_1 = l_2 = l_3 = l_4 = l_5 = 30 \text{ м}$	$16 \text{ мм}^2$ , $l_1 = l_2 = l_3 = l_4 = l_5 = 0 \text{ м}$	$35 \text{ мм}^2$ , $l_1 = l_2 = l_3 = l_4 = l_5 = 20 \text{ м}$
Тип шинпровода и длина его участков, м	ШМА-73, $I_H = 1600 \text{ А}$ , $l_1 = l_2 = l_3 = l_4 = l_5 = 50 \text{ м}$	ШМА-78, $I_H = 2500 \text{ А}$ , $l_1 = l_2 = l_3 = l_4 = l_5 = 45 \text{ м}$	ШМА-73, $I_H = 1600 \text{ А}$ , $l_1 = l_2 = l_3 = l_4 = l_5 = 60 \text{ м}$	ШЗМ-16, $I_H = 1600 \text{ А}$ , $l_1 = l_2 = l_3 = l_4 = l_5 = 55 \text{ м}$	ШМА-73, $I_H = 1600 \text{ А}$ , $l_1 = l_2 = l_3 = l_4 = l_5 = 45 \text{ м}$

Мощность КБ определяется мощностью реактивной нагрузки силового пункта. В сетях 0,4 кВ не рекомендуется уменьшение мощности КБ до значения менее 30 кВАр. Если расчетная мощность КБ на отдельном пункте получается менее указанных значений, то конденсаторы на них не устанавливаются, а полученная по расчету мощность КБ перераспределяется между близко расположенными более мощными КБ путем пропорционального увеличения их мощности.

Расчет суммарной емкости стандартной КБ выполняется по формуле

$$C = \frac{Q_{\text{НБК}} \cdot 10^3}{U_{\text{н}}^2 \omega \cdot M}, \text{ мкф}, \quad (6.9)$$

где  $Q_{\text{НБК}}$  – номинальная мощность НБК, кВАр;

$U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение НБК, кВ;

$M$  – масштаб моделирования схемы сети ( $M$  1:100).

$\omega = 2\pi f$  – угловая частота сети.

3. Произвести расчет параметров нагрузки цеховой сети:

$$\begin{aligned} R_i &= \frac{U_{\text{н}}^2 M \cdot 10^{-3}}{P_i}, \text{ Ом}; \\ X_i &= \frac{U_{\text{н}}^2 M \cdot 10^{-3}}{Q_i}, \text{ Ом} \end{aligned} \quad (6.10)$$

где  $P_i$ ,  $Q_i$  – заданные в табл. 6.1 значения  $i$ -й нагрузки, кВАр.

Расчетные значения на регулируемых резисторах необходимо устанавливать с использованием омметра. По расчетным значениям  $X_i$  подбираются катушки индуктивности, установленные на стенде.

4. Определить активные и индуктивные сопротивления участков цеховой сети:

$$\begin{aligned} R_{\text{уч}} &= R_0 l_{\text{уч}}, \text{ Ом}; \\ X_{\text{уч}} &= X_0 l_{\text{уч}}, \text{ Ом}, \end{aligned} \quad (6.11)$$

где  $R_0, X_0$  – удельные сопротивления кабелей и шинпроводов.  
 $l_{\text{уч}}$  – длина участка, м.

Результаты расчета параметров модели схемы замещения сети заносятся в табл. 6.2.

Т а б л и ц а 6.2

Параметры	Порядковый номер элемента на схеме				
	1	2	3	4	5
Активное сопротивление нагрузки, Ом					
Индуктивное сопротивление нагрузки, Ом					
Емкость КБ, мкФ					

Окончание табл. 6.2

Активное сопротивление участка радиальной сети, Ом					
Индуктивное сопротивление участка радиальной сети, Ом					
Активное сопротивление участка магистральной схемы, Ом					
Индуктивное сопротивление участка магистральной схемы, Ом					

5. Составить и собрать модель схемы замещения радиальной цеховой сети в однолинейном изображении. Для измерения токов на участках сети используются амперметры (для мощных нагрузок) и миллиамперметры приборного ряда. Для контроля напряжения в узлах сети используется вольтметр на 150 В.

Измерение  $\cos\varphi$  производится на головном участке сети. Все измерения выполняются дважды: при наличии и отсутствии компенсации. По результатам измерений выполняется расчет потерь мощности на участках сети. Результаты расчетов и измерений заносятся в табл. 6.3.

Т а б л и ц а 6.3

Номер участка	Измеренные и расчетные параметры								
	при наличии НБК				без компенсации				
	I, А	U, В	$\cos\varphi$	$\Delta P = I^2 R$	I, А	U, В	$\cos\varphi$	$\Delta P$	$\delta P^*\%$

\*  $\delta P, \%$  – увеличение суммарных потерь мощности при отсутствии компенсации.

$$\left( \delta P\% = \frac{\Delta P_{\text{с НБК}} - \Delta P_{\text{без НБК}}}{\Delta P_{\text{без НБК}}} \cdot 100\% \right).$$

6. Составить и собрать модель схемы замещения магистральной цеховой сети. На одиночном магистральном шинопроводе предусматривают установку не более двух близких по мощности ККУ суммарной мощностью

$$Q_{\text{НБК}} = Q_{\text{НБК1}} + Q_{\text{НБК2}}.$$

Если основные реактивные нагрузки шинопровода присоединены ко второй его половине, то устанавливают только одну НБК. Точку ее подключения определяют из условия

$$Q_h \geq Q_{\text{НБК}} / 2 \geq Q_{h+1} \quad (6.12)$$

где  $Q_h, Q_{h+1}$  – наибольшие реактивные нагрузки шинпровода перед узлом  $h$  и после него соответственно (рис. 6.6).

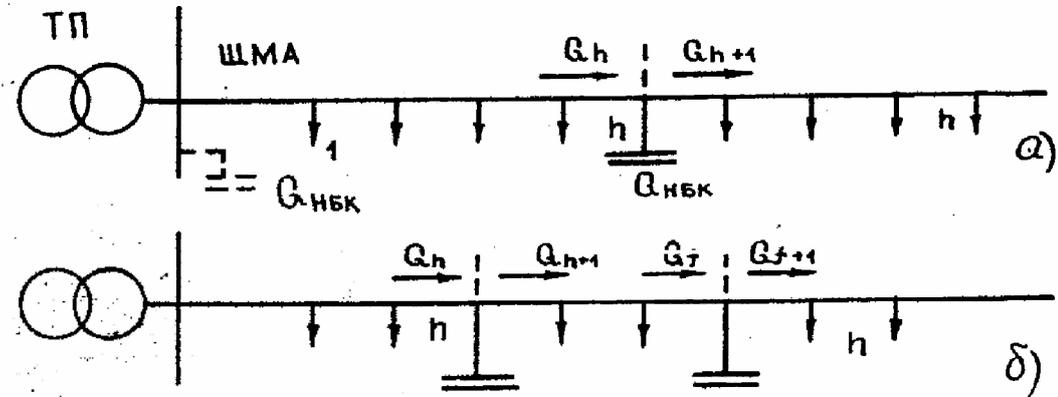


Рис. 6.6. Схема подключения БК к магистральным шинпроводам:  
а – одна БК; б – две БК

Вслучае присоединения к шинпроводу двух БК точки их подключения находят из следующих условий:

точка подключения дальней НБК (рис. 6.6, а)

$$Q_f \geq Q_{\text{НБКд}} \geq Q_{f+1}, \quad (6.12)$$

точка подключения ближней к трансформатору НБК (рис. 6.6, б)

$$Q_h - Q_{\text{НБКд}} \geq Q_{\text{НБК}} \delta / 2 \geq Q_{h+1} - Q_{\text{НБКд}} \cdot \quad (6.13)$$

Результаты проверки шинпровода заносятся в табл. 6.4.

Т а б л и ц а 6.4

Номер узла	Реактивная мощность перед	Реактивная мощность после	Условие (10)	Выполнение условия (10)
------------	---------------------------	---------------------------	--------------	-------------------------

	узлом, кВАр	узла, кВАр		
1				
2				
3				
4				
5				

Результаты измерений заносятся в таблицу 6.3. По данным измерений построить эпюры распределения напряжения вдоль шинпровода при наличии КБ и без них [ $U = f(n)$ ].

### 6.7. Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Схема силовых цепей ККУ (по указанию преподавателя).
3. Схема замещения радиальной и магистральной цеховой сети.
4. Таблицы результатов расчета и измерений.
5. Эпюры распределения напряжения в магистральной схеме сети.

### 6.8. Контрольные вопросы

1. Назовите основные потребители реактивной мощности на ПП.
2. Как изменяется пропускная способность цеховой сети при установке КБ?
3. Какие источники реактивной мощности применяются в цеховых сетях? Назовите их достоинства и недостатки.
4. Укажите способы присоединения ККУ в сетях 0,4–0,69 кВ.
5. Какие требования предъявляются к среде помещения, в котором устанавливаются ККУ?
6. С какой целью применяются высокоомные резисторы в конструкции ККУ?

7. Какую конструкцию имеют ККУ?
8. Как производится регулирование мощности КБ?
9. Как изменяются потери мощности и напряжения в сети при установке КБ в Вашем варианте?
10. Почему исследование компенсации реактивной мощности производится на модели сети?

Литература: [3], с. 299–328;  
[11], с. 216–246.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Веркович М. А., Семенов В. А.* Основы техники и эксплуатации релейной защиты. – М.: Энергия, 1971.
2. *Зимин Е. И. Чувашов Н. И.* Автоматизированный электропривод и электрооборудование промышленных механизмов. – М.: Стройиздат, 1977.
3. *Коновалова Л. Л., Рожкова Л. Д.* Электроснабжение промышленных предприятий и установок. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
4. *Коротков Г. С., Членов М. Я.* Ремонт оборудования и аппаратуры распределительных устройств. – М.: Высшая школа, 1979.
5. *Кузнецов Р. О.* Аппараты распределения электрической энергии до 1000 В. – М.: Энергия, 1970.
6. *Липкин Б. Ю.* Электроснабжение промышленных предприятий и установок. – М.: Высшая школа, 1990.
7. *Родштейн Л. А.* Электрические аппараты. – Л.: Энергоиздат, 1981.
8. *Рожкова Л. Д., Козулин В. С.* Электрооборудование станций и подстанций. – М.: Энергия, 1975.
9. *Руцкий А. И.* Электрические станции и подстанции. – Мн.: Вышэйшая школа, 1974.

10. Федоров А. А., Старкова Л. Е. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 1987.

11. Электрическая часть станций и подстанций / Под ред. А. А. Васильева. – М.: Энергия, 1980.

12. Проектирование промышленных электрических сетей / Под ред. В.И. Круповича – М.: Энергия, 1979.

## СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1. . . . .	4
ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СХЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 кВ. . . . .	4
Лабораторная работа № 2. . . . .	17
КОНСТРУКТИВНОЕ ВЫПОЛНЕНИЕ ВНУТРИЦЕХОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ И ИХ ОБОРУДОВАНИЯ. . . . .	17
Лабораторная работа № 3. . . . .	40
ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ. . . . .	40
Лабораторная работа № 4. . . . .	58
ПЛАВКИЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛИ. . . . .	58
Лабораторная работа № 5. . . . .	69
РАЗРАБОТКА И ПРОВЕРКА РАБОТЫ СХЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ. . . . .	69
Лабораторная работа № 6. . . . .	78
КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В СЕТЯХ ДО 1 кВ. . . . .	78
ЛИТЕРАТУРА. . . . .	96

Учебное издание

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В

Лабораторные работы (практикум)  
для студентов специальности 1–53 01 04  
«Автоматизация и управление энергетическими процессами»  
специализации 53.01.04.03 «Автоматизация и релейная защита  
электроустановок», специальности 1–43 01 01  
«Электрические станции»

Составители: Мазуркевич Владимир Николаевич,  
Сергей Иосиф Иосифович

Под редакцией И.И. Сергея

Редактор Е.И. Кортель. Корректор М.П. Антонова  
Компьютерная верстка А.А. Бусько

---

Подписано в печать .2004.

Формат 60x84 1/16. Бумага типографская № 2.

Печать офсетная. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 100. Заказ 229.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

Лицензия № 02330/0056957 от 01.04.2004.

220013, Минск, проспект Ф.Скорины, 65.