



ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»  
Электроэнергетический факультет

Кафедра «Электрические станции, подстанции и диагностика электрооборудования»

# Лекции по дисциплине «Электрические и электронные аппараты»

**Лекции:** 30 ч. (15 шт./2 ч. на лекцию).

составил: ст. преподаватель С.Н. Литвинов

**Практические:** 12 ч. на подгруппу (6 шт./2 часа на семинар).

**Лабораторные:** 12 ч. на подгруппу (3 шт./4 часа на лаб.).

Аудитория проведения лабораторных занятий: В107.

**Аттестация:** экзамен.

Иваново 2022



ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»  
Электроэнергетический факультет  
Кафедра «Электрические станции, подстанции и диагностика электрооборудования»

# **Лекция №1.1 Вводная. Предмет изучения. Программа дисциплины. Литература.**



# Тематика занятий

Вид занятий	2 сент.	10 сент.	16 сент.	27 сент.- 2 окт.	4-9 окт.	11-16 окт.	18-23 окт.	25-30 окт.
<b>Лекции</b>	Вводная лекция. Режимы работы. Классификация аппаратов. Технические требования.	Технические требования, Защитные оболочки. Климатическое исполнение и категория размещения.	Параметры аварийного режима. Термическая стойкость. Электродинамическая стойкость.	Характеристики предохранителей, обозначение на схемах. Особенности работы.	Выбор и проверка предохранителя.	Характеристики выключателей, обозначение на схемах. Особенности работы.	Выбор и проверка автоматических выключателей	ПК1 (ЭИОС)
<b>Практические</b>		Расчет максимальных токов	Расчет пиковых токов	Расчет токов короткого замыкания в сетях до 1 кВ.	Задача на выбор предохранителя. Часть 1.	Задача на выбор предохранителей. Часть 2.	Задача на выбор автоматических выключателей.	
<b>Лабораторные</b>	-	-	Конструкции и принцип действия предохранителей.	Конструкции и принцип действия автоматических выключателей.	Конструкции и принцип действия контакторов и магнитных пускателей.	Конструкции и принцип действия измерительных трансформаторов тока и напряжения.		
Вид занятий	1-16 нояб.	8-13 нояб.	15-20 нояб.	22-27 нояб.	29 нояб.- 4 декаб.	6-11 декаб.	13-18 декаб.	
<b>Лекции</b>								
<b>Практические</b>								
<b>Лабораторные</b>								



# Литература по дисциплине

## Основная:

1. **Сидоров, А. Е.** Электрические и электронные аппараты [Электронный ресурс]: учебное пособие / А. Е. Сидоров, О. Ю. Маркин, Л. В. Долманюк, В. В. Максимов, А. Н. Цветков. - Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2016. — Текст :электронный // Электронно-библиотечная система «БиблиоТех» : [сайт]. — URL: <https://ivseu.bibliotech.ru/Reader/Book/2019060509151226200002736632>
2. **Агеев А.И. Шульпин А.А.** Коммутационная и защитная аппаратура электрических сетей напряжением до 1000 вольт: Учеб. Пособие/ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2014. – 176 с ISBN 987-5-00062-043-4
3. М-649. Комплекс лабораторных работ по дисциплине «Электрические аппараты до 1000 В».

## Дополнительная:

1. **Ляхомский, А.В.** Электрические и электронные аппараты распределительных устройств и подстанций горных предприятий [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Ляхомский А.В. - М. : МИСиС, 2019. - 144 с. - ISBN 978-5-907061-40-8 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. — URL: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785907061408.html>
2. **Сипайлова, Н.Ю.** Электрические и электронные аппараты. Учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 236 с.
3. **Васильев, А.А.** электрическая часть станций и подстанций: Учеб для вузов/ А.А. Васильев, И.П. Крючков, Е.Ф. Наяшкова и др.; Под ред. А.А. Васильева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.: ил. ISBN 5-283-01020-1



# Тематика лекционных и лабораторных занятий

## Лекции.

- 1.1. Вводная. Предмет изучения. Программа дисциплины. Литература.
- 1.2. Общие сведения об электрических аппаратах, их технические параметры. Климатическое исполнение и защитные оболочки аппаратов. Обозначение аппаратов. Нагрев и охлаждение электрических аппаратов
2. Параметры аварийного режима, необходимые для выбора электрических аппаратов и проводников. Электродинамическая стойкость. Термическая стойкость.
3. Электрические аппараты до 1000 В. Автоматические выключатели. Контактторы и пускатели. Предохранители.
4. Электрические аппараты выше 1000 В. Отделители и короткозамыкатели.
5. Электрическая дуга и способы ее гашение. Высоковольтные выключатели.
6. Разъединители.
7. Электродинамические усилия в элементах конструкции аппаратов.
8. Электронные аппараты.
9. Токоограничивающие реакторы

## Лабораторные

1. Предохранители и автоматические выключатели.
2. Рубильники, контакторы и магнитные пускатели.
3. Измерительные трансформаторы тока и напряжения.

## Практические

1. Расчет максимальных и пиковых токов электроприемников в низковольтных сетях.
2. Расчет токов короткого замыкания в низковольтных сетях.
3. Выбор и проверка плавких предохранителей.
4. Выбор и проверка автоматических выключателей.



ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»  
Электроэнергетический факультет  
Кафедра «Электрические станции, подстанции и диагностика электрооборудования»

**Лекция №1.2 Общие сведения об электрических  
аппаратах, их технические параметры.  
Климатическое исполнение и защитные оболочки  
аппаратов. Обозначение аппаратов.**



# Общие сведения об электрических аппаратах

**Электрический аппарат** – это электротехническое устройство (прибор), предназначенное для управления электрической мощностью и/или преобразования, измерения параметров электрической энергии или других параметров режима работы сети/оборудования (ток, напряжение, частота, количество фаз и т.д.);

## Основные функции:

- 1) Коммутационная (включение или отключение) электрических цепей;
- 2) Защита электрического оборудования от аварийных режимов, а людей и животных от поражения электрическим током;
- 3) Контроль, регулирование и измерение параметров электрической энергии (величина тока, напряжения, активной, реактивной и полной мощности и энергии и т.д.).

## Область применения:

- 1) Бытовое;
- 2) Транспорт;
- 3) Промышленность;
- 4) Энергетика (электрические станции, подстанции (электрические сети)).



# Общие сведения об электрических аппаратах. Режимы работы

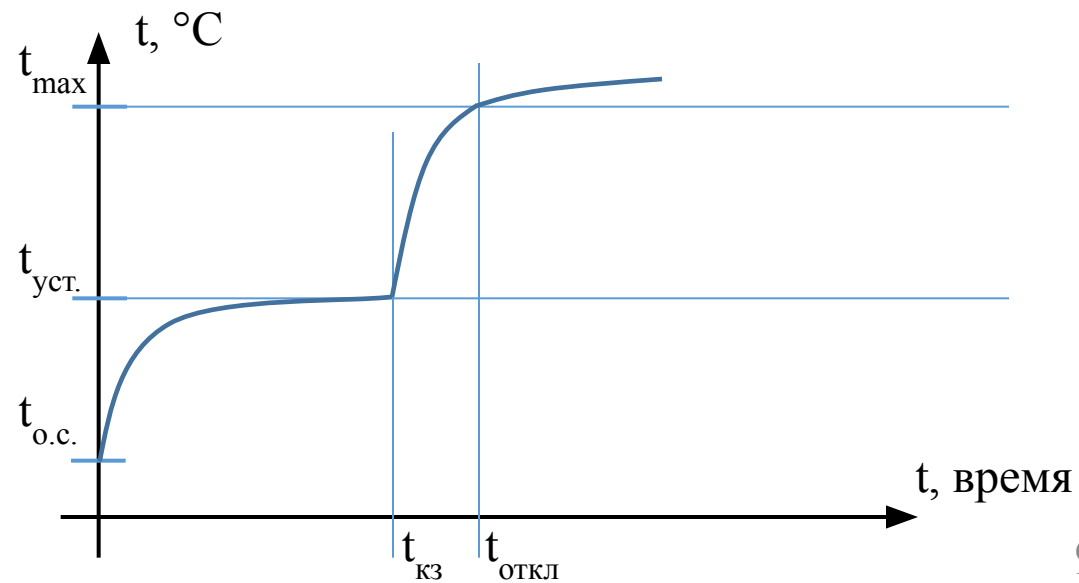
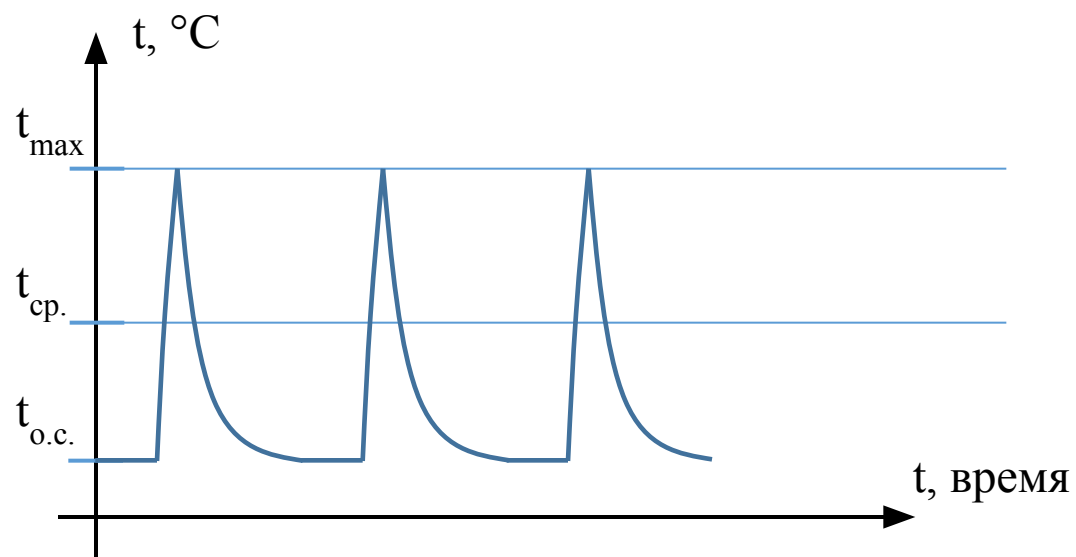
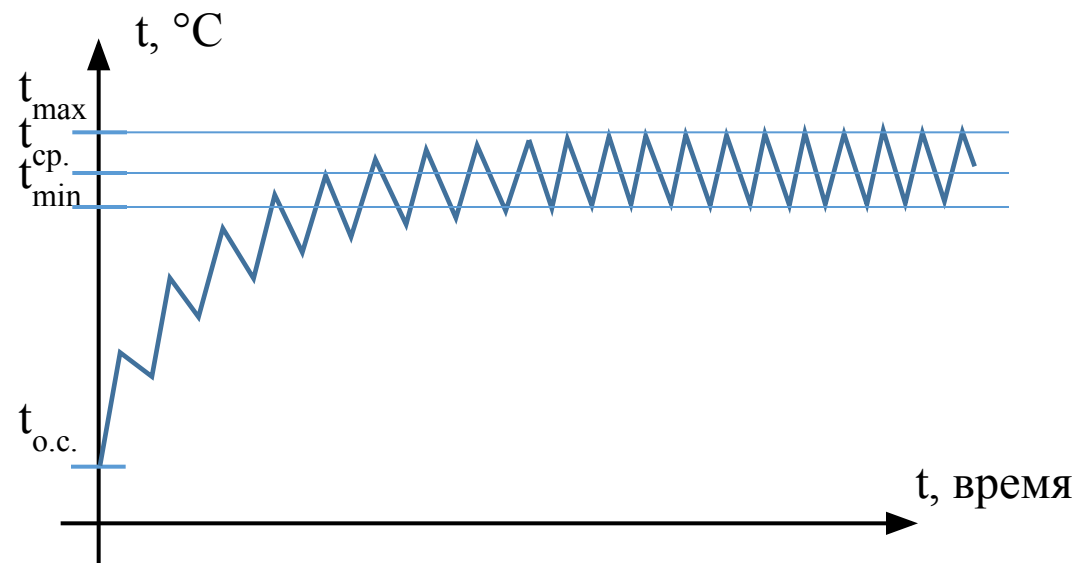
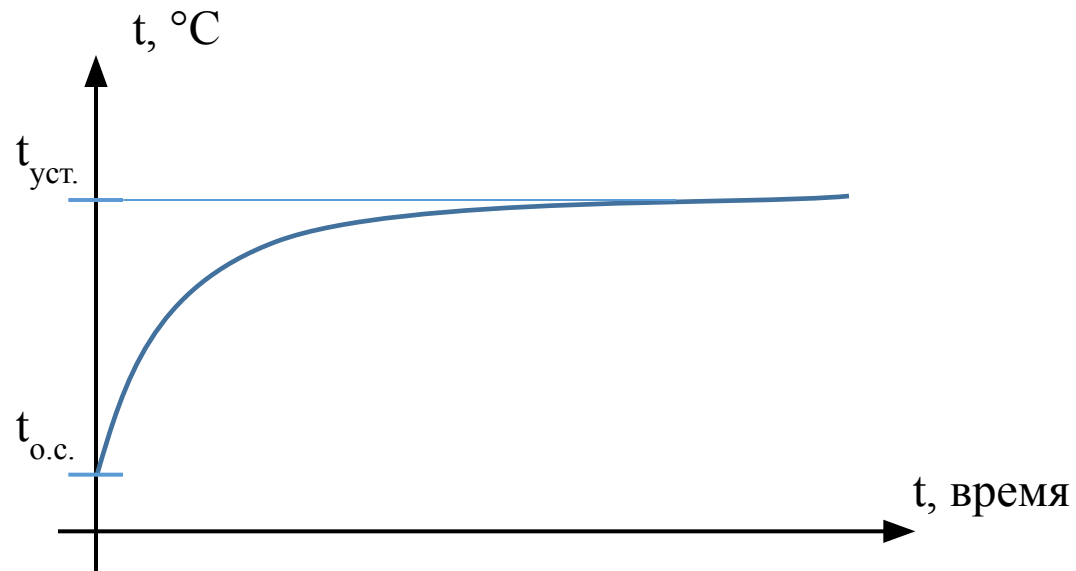
**По времени действия и величине нагрева:**

- 1.Продолжительный.** Аппаратом достигается установившееся значение температуры (превышения) нагрева при протекании нормированного тока. Если изготовителем нормируется время протекания тока, такой режим называется *прерывисто-продолжительным*;
- 2.Повторно-кратковременный.** Температура (превышение) аппарата не достигает установившегося значения, при протекании тока, а во время бестоковой паузы не успевает снизиться до значения температуры окружающей среды;
- 3.Кратковременный.** Температура (превышение) аппарата не успевает достичь установившегося значения при протекании тока, а за время бестоковой паузы температура падает до значения окружающей среды;
- 4.Аварийный** (короткое замыкание). Температура (превышение) аппарата значительно превосходит установившееся значение продолжительного режима в краткосрочном периоде (1÷4 с.). Интенсивный нагрев может вызвать разрушение аппарата, если не ликвидировать аварию.





# Общие сведения об электрических аппаратах. Режимы работы





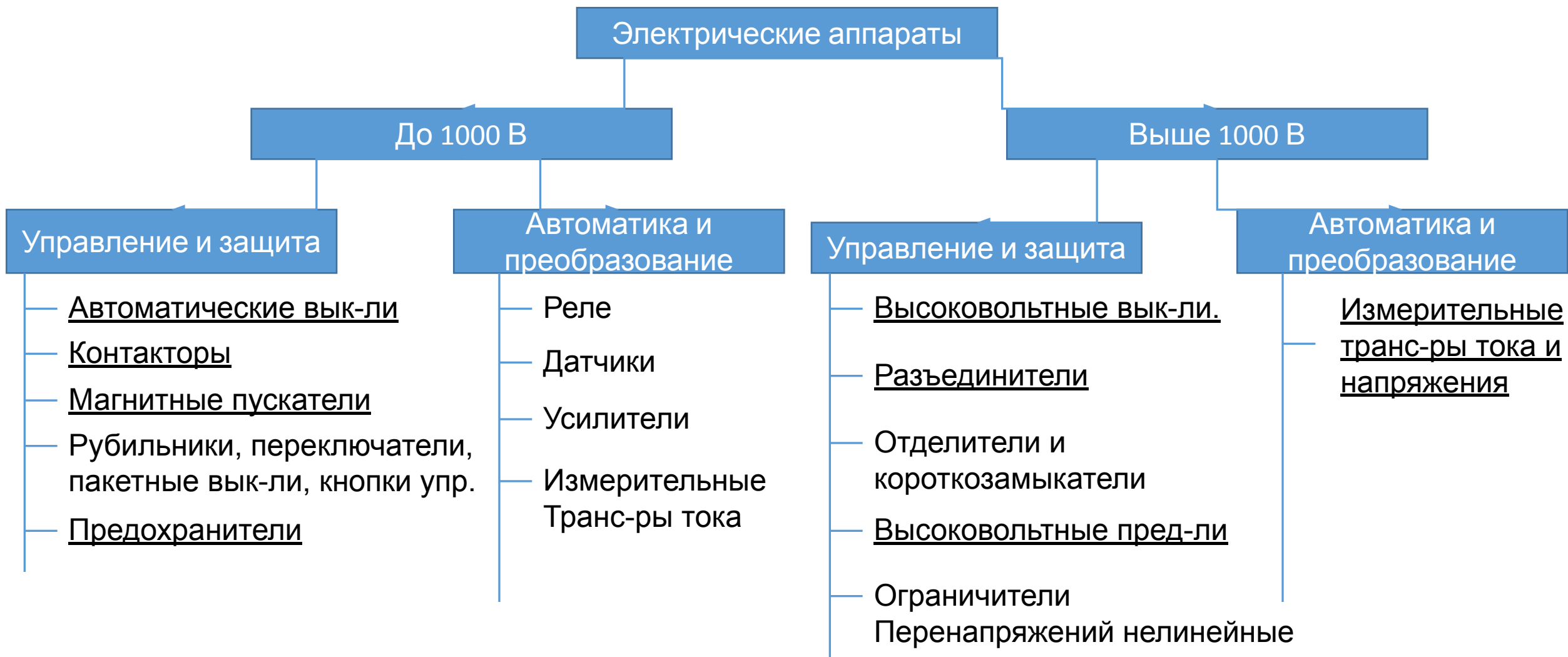
# Общие сведения об электрических аппаратах. Режимы работы

**По величине параметров режима (токи, напряжения):**

- 1. Нормальный установившийся.** Параметры режима достигают нормированных (как правило близких к номинальным) значений и отклоняются от них незначительно;
- 2. Нормальный переходный.** Связан с эксплуатационными изменениями схемы электроснабжения предприятия или схемы питающей сети. Значения параметров режима увеличиваются или уменьшаются с различной скоростью, но не превосходят нормированных значений. За таким переходным режимом как правило следует нормальный установившийся;
- 3. Аварийный переходный.** Параметры изменяются резко вследствие аварийного изменения в электрической схеме. Такой режим не должен существовать долго;
- 4. Послеаварийный установившийся.** Возникает после аварийного отключения части элементов схемы;
- 5. Перегрузка.** Частный случай нормального установившегося (например во время ремонтных компаний) или послеаварийного режима, когда параметры режима выходят за нормированные значения, однако аппарат может сохранять при этом свои свойства длительное время. Если режим перегрузки длится слишком долго, то цепь должна быть отключена автоматически или вручную.

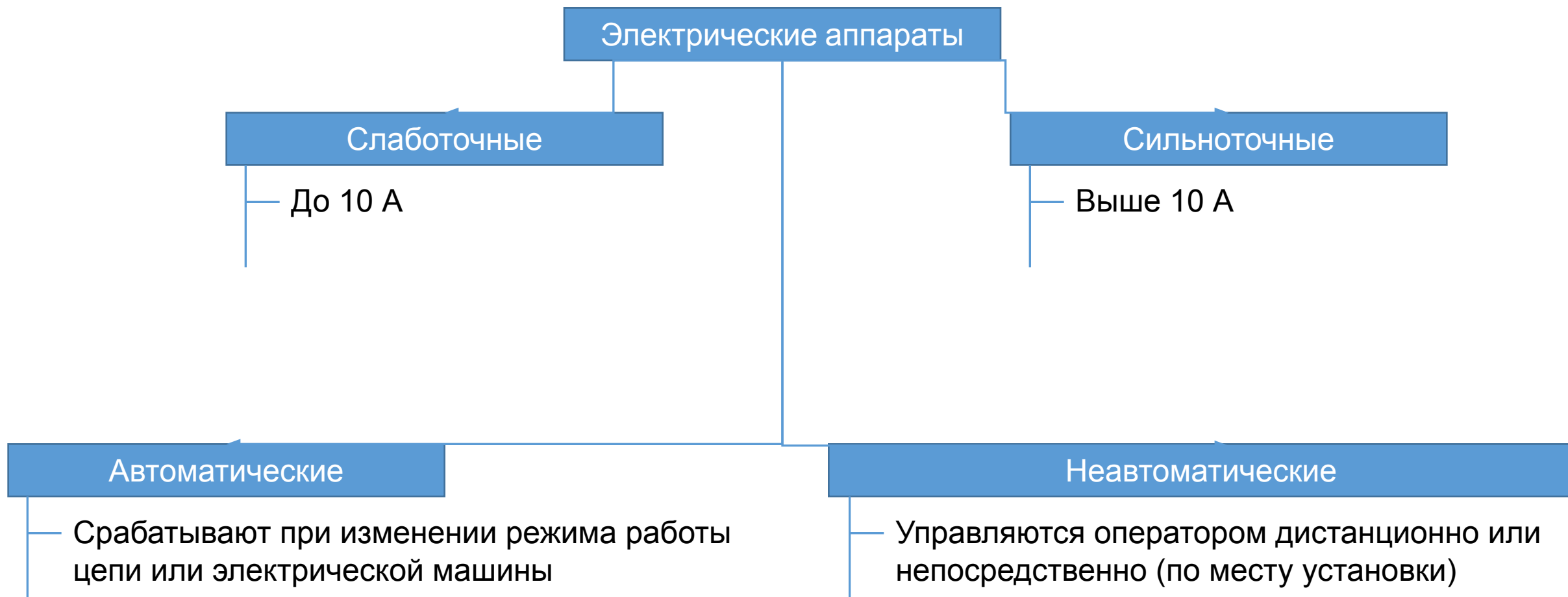


# Классификация электрических аппаратов по назначению





# Классификация электрических аппаратов по величине коммутируемого тока и способу управления



**Автоматические аппараты** чаще всего имеют возможность дистанционного и/или местного управления!



# Основные требования к электрическим аппаратам

- 1) **Температура** аппарата не должна превосходить некоторого определенного значения, устанавливаемого для данного аппарата и его деталей при протекании тока через его контакты.
- 2) **В каждой электрической цепи** может быть ненормальный (перегрузка) или аварийный (короткое замыкание) режим работы. Ток, протекающий по аппарату в этих режимах, существенно (в 50 и более раз) превышает номинальный, или рабочий, ток. Аппарат подвергается в течение определенного времени чрезмерно большим термическим и электродинамическим воздействиям тока, однако он должен выдерживать эти воздействия без каких-либо деформаций, препятствующих дальнейшей его работе.
- 3) **Каждый электрический аппарат** работает в цепи с определенным напряжением, где возможны также и перенапряжения. Однако электрическая изоляция аппарата должна обеспечивать надежную работу аппарата при заданных значениях перенапряжений.
- 4) **Контакты аппаратов** должны быть способны включать и отключать все токи рабочих режимов, а многие аппараты – также и токи аварийных режимов, которые могут возникнуть в управляемых и защищаемых цепях.
- 5) **К каждому электрическому аппарату** предъявляются требования по надежности и точности работы, а также по быстродействию.
- 6) **Любой электрический аппарат** должен, по возможности, иметь наименьшие габариты, массу и стоимость, быть простым по устройству, удобным в обслуживании и технологичным в производстве.



# Основные требования к защитным электрическим аппаратам

- 1) **Аппараты защиты** должны по своей отключающей способности соответствовать максимальному значению тока *короткого замыкания* (КЗ) в начале защищаемого участка электрической сети.
- 2) **Защита от токов КЗ** должна осуществляться с наименьшим временем отключения и с обеспечением требований *относительной селективности*. **Селективность** – свойство, характеризующее способность аппарата отключать именно поврежденный элемент. При абсолютной селективности отключается только элемент защищаемый непосредственно (в ближней зоне). При относительной селективности аппараты могут отключать поврежденные элементы соседних участков с выдержкой времени.
- 3) **Аппараты защиты должны** надежно отключать участки сети при следующих видах КЗ на них (как в конце, так и в любой точке): одно-, двух- и трехфазные в сетях с глухозаземленной нейтралью, двух- и трехфазные в сетях с изолированной нейтралью.
- 4) **Номинальные токи** плавких вставок предохранителей и токи срабатывания автоматических выключателей должны быть минимально возможными и выбираться по расчетным токам нагрузки таким образом, чтобы эти аппараты не отключали питание электроприемников при кратковременных перегрузках, например при запуске электродвигателей или включении преобразовательных агрегатов.
- 5) В сетях, защищаемых от длительных токовых перегрузок (электрические сети внутри помещений, выполненные проводниками с горючей оболочкой или изоляцией, осветительные сети, бытовые сети и т.д.) аппараты защиты по отношению к длительно допустимым токовым нагрузкам проводников должны иметь кратность, не превышающую значений, указанных в ПУЭ.



# Места установки защитных аппаратов (согласно ПУЭ)

- 1) **Аппараты защиты** необходимо располагать в местах, доступных для обслуживания, но без возможности их механических повреждений. При работе с ними должна быть исключена опасность для обслуживающего персонала и окружающих предметов
- 2) **Аппараты защиты** следует устанавливать во всех точках сети, где сечение проводников уменьшается по направлению к местам потребления электроэнергии.
- 3) **Предохранители и автоматические выключатели** необходимо устанавливать на всех нормально незаземленных фазных проводах. Установка аппаратов защиты в нулевых проводах, в том числе двухпроводных группах, не требуется, а на головных участках запрещается. Исключения могут составлять сети во взрывоопасных помещениях класса В-I.
- 4) **Установка аппаратов** в нулевых защитных проводниках запрещается.
- 5) Если это признано целесообразным по условиям эксплуатации, допускается не устанавливать аппараты защиты: (см. учебное пособие А.И. Агеев, А.А. Шульпин «Коммутационная и защитная аппаратура электрических сетей напряжением до 1000 вольт» на стр. 30)



# Степень защиты оболочек (код IP) по ГОСТ 14254-96 (МЭК 529-89)

Степень защиты обозначается цифро-буквенным кодом, который позволяет понять уровень защищенности (обеспечиваемый оболочкой) от прикосновения к опасным частям, от проникновения посторонних твердых тел и от проникновения воды. Может рассматриваться пустая оболочка. Если степень защиты зависит от монтажного положения, то в технической документации указываются все варианты. Если степень защиты одной из характеристик (или нескольких характеристик) не установлена (не нужна или не известна), она заменяется на букву X (либо XX, если опущены две цифры). Дополнительные и (или) вспомогательные буквы опускаются без замены.

## Состав кода IP (пример)

IP23СН

International protection (Международная защита)				Степень защиты от проникновения внешних твердых предметов (0 – 6). В старом стандарте дополнительно – защита от доступа к опасным частям
Первая характеристическая цифра				Степень защиты от вредного воздействия в результате проникновения воды (0 – 8)
Вторая характеристическая цифра				Степень защиты от доступа к опасным частям (А, В, С, D)
Дополнительная буква				Дополнительная информация (Н, М, S, W)
Вспомогательная буква (ставится после второй цифры или дополнительной буквы)				





# Элементы кода IP и их обозначения

## Защита от доступа к опасным частям, обозначаемая первой характеристической цифрой

Цифра	Степень защиты	
	Краткое описание	Определение
0	Нет защиты	–
1	Защищено от доступа к опасным частям тыльной стороной руки	Щуп доступности — сфера диаметром 50 мм — должен оставаться на достаточном расстоянии от опасных частей
2	Защищено от доступа к опасным частям пальцем	Испытательный шарнирный палец диаметром 12 мм и длиной 80 мм должен оставаться на достаточном расстоянии от опасных частей
3	Защищено от доступа к опасным частям инструментом	Щуп доступности диаметром 2.5 мм не должен проникать внутрь оболочки
4	Защищено от доступа к опасным частям проволокой	Щуп доступности диаметром 1,0 мм не должен проникать внутрь оболочки
5	Защищено от доступа к опасным частям проволокой	Щуп доступности диаметром 1.0 мм не должен проникать внутрь оболочки
6	Защищено от доступа к опасным частям проволокой	Щуп доступности диаметром 1,0 мм не должен проникать внутрь оболочки



# Элементы кода IP и их обозначения

## Защита от внешних твердых предметов

Цифра	Степень защиты	
	Краткое описание	Определение
0	Нет защиты	–
1	Защищено от внешних твердых предметов диаметром больше или равным 50 мм	Щуп-предмет — сфера диаметром 50 мм — не должен проникать полностью
2	Защищено от внешних твердых предметов диаметром больше или равным 12.5 мм	Щуп-предмет — сфера диаметром 12.5 мм — не должен проникать полностью
3	Защищено от внешних твердых предметов диаметром больше или равным 2.5 мм	Щуп-предмет диаметром 2,5 мм не должен проникать ни полностью, ни частично
4	Защищено от внешних твердых предметов диаметром больше или равным 1,0 мм	Щуп-предмет диаметром 1,0 мм не должен проникать ни полностью, ни частично
5	Пылезащищено	Проникновение пыли исключено не полностью, однако пыль не должна проникать в количестве, достаточном для нарушения нормальной работы оборудования или снижения его безопасности
6	Пыленепроницаемо	Пыль не проникает в оболочку



# Элементы кода IP и их обозначения

**Защита от проникновения воды, обозначаемые второй характеристической цифрой  
(цифры 1 – 6 относятся к защите от струй воды, цифры 7 и 8 – от погружения)**

Цифра	Степень защиты	
	Краткое описание	Определение
0	Нет защиты	–
1	Защищено от вертикально падающих капель воды	Вертикально падающие капли воды не должны оказывать вредного воздействия
2	Защищено от вертикально падающих капель воды, когда оболочка отклонена на угол до 15°	Вертикально падающие капли не должны оказывать вредного воздействия, когда оболочка отклонена от вертикали в любую сторону на угол до 15° включительно
3	Защищено от воды, падающей в виде дождя	Вода, падающая в виде брызг в любом направлении, составляющем угол до 60° включительно с вертикалью, не должна оказывать вредного воздействия
4	Защищено от сплошного обрызгивания	Вода, падающая в виде брызг на оболочку с любого направления, не должна оказывать вредного воздействия
5	Защищено от водяных струй	Вода, направляемая на оболочку в виде струй с любого направления, не должна оказывать вредного воздействия
6	Защищено от сильных водяных струй	Вода, направляемая на оболочку в виде сильных струй с любого направления, не должна оказывать вредного воздействия



# Элементы кода IP и их обозначения

Цифра	Степень защиты	
	Краткое описание	Определение
7	Защищено от воздействия при временном (непродолжительном) погружении в воду	Должно быть исключено проникновение воды внутрь оболочки в количестве, вызывающем вредное воздействие, при ее погружении на короткое время при стандартизованных условиях по давлению и длительности
8	Защищено от вертикально падающих капель воды	Должно быть исключено проникновение воды в оболочку в количествах, вызывающих вредное воздействие, при длительном погружении в воду при условиях, согласованных между изготовителем и потребителем, однако более жестких, чем условия для цифры 7

## Защита от проникновения воды может иметь двойное кодирование

Оболочка успешно выдерживает испытания на воздействие		Обозначение и маркировка	Степень использования
струи воды	временного (непродолжительного) или длительною погружения в воду		
5	7	IPX5/IPX7	Двойная
–	7	IPX7	Ограниченная



# Элементы кода IP и их обозначения

## Защита от доступа к опасным частям

Буква	Степень защиты	
	Краткое описание	Определение
A	Защищено от доступа тыльной стороной руки	Щуп доступности — сфера диаметром 50 мм — должен оставаться на достаточном расстоянии от опасных частей
B	Защищено от доступа пальцем руки	Шарнирный испытательный палец диаметром 12 мм и длиной 80 мм должен оставаться на достаточном расстоянии от опасных частей
C	Защищено от доступа инструментом	Щуп доступности диаметром 2,5 мм и длиной 100 мм должен оставаться на достаточном расстоянии от опасных частей
D	Защищено от доступа проволокой	Щуп доступности диаметром 1,0 мм и длиной 100 мм должен оставаться на достаточном расстоянии от опасных частей



# Элементы кода IP и их обозначения

## Дополнительная информация

Буква	Значение
H	Высоковольтные аппараты
M	Испытуемое на соответствие степени защиты от вредных воздействий, связанных с проникновением воды: оборудование с движущимися частями (например, ротором вращающейся машины), находящимися в состоянии движения
S	Испытуемое на соответствие степени защиты от вредных воздействий, связанных с проникновением воды: оборудование с движущимися частями (например, ротором вращающейся машины), находящимися в состоянии неподвижности
W	В новом МЭК не используется



# Климатическое исполнение и категории размещений, согласно ГОСТ 15150-69

## Климатическое исполнение

Климатические исполнения изделий	Обозначения		
	буквенные		цифровые
	русские	латинские	
<b>Изделия, предназначенные для эксплуатации на суше, реках, озерах</b>			
Умеренный климат	У	(N)	0
Умеренный и холодный климат / холодный климат	УХЛ / ХЛ	(NF / F)	1
Влажный тропический климат	ТВ	(TH)	2
Сухой тропический климат	ТС	(TA)	3
Районы как с сухим, так и с влажным тропическим климатом	Т	(T)	4
Районы как с умеренным, так и с тропическим климатом	УТ	(NT)	0
Для всех районов на суше, кроме районов с антарктическим холодным климатом	О	(U)	5



# Климатическое исполнение и категории размещений, согласно ГОСТ 15150-69

## Климатическое исполнение

Климатические исполнения изделий	Обозначения		
	буквенные		цифровые
	русские	латинские	
<b>Изделия, предназначенные для эксплуатации в макроклиматических районах с морским климатом</b>			
Умеренно-холодный морской климат	М	(M)	6
Тропический морской климат (в том числе для судов каботажного плавания или иных, предназначенных для плавания только в этом районе)	ТМ	(MT)	7
Районы как с умеренно-холодным, так и с тропически морским климатом (в том числе для судов неограниченного района плавания)	ОМ	(MU)	8
<b>Для эксплуатации во всех макроклиматических районах на суше и на море, кроме климатического района с антарктическим холодным климатом (всеклиматическое исполнение)</b>	В	(W)	9

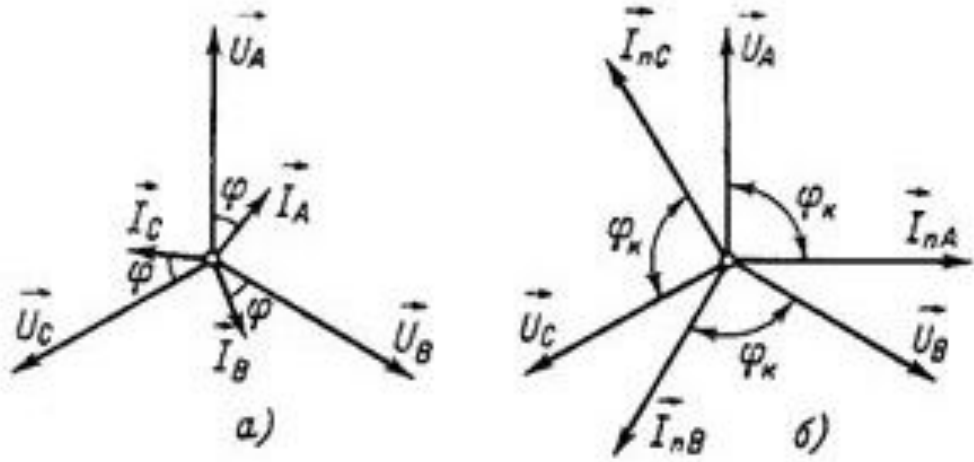
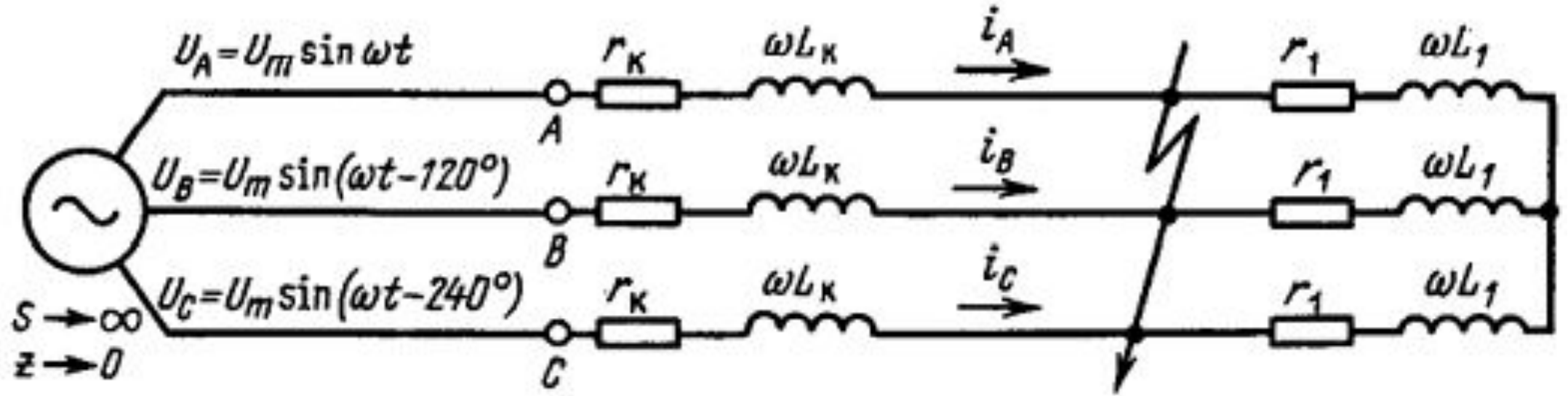




ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»  
Электроэнергетический факультет  
Кафедра «Электрические станции, подстанции и диагностика электрооборудования»

**Лекция №2. Параметры аварийного режима,  
необходимые для выбора электрических аппаратов  
и проводников. Электродинамическая стойкость.  
Термическая стойкость.**

# Короткие замыкания в электрических установках. Расчетные параметры для выбора электрических аппаратов



Векторные диаграммы токов и напряжений:

а – в нормальном режиме;

б – при трехфазном коротком замыкании



## Короткие замыкания в электрических установках. Расчетные параметры для выбора электрических аппаратов

$$u = ir_k + L_k \frac{di}{dt}, \quad \xrightarrow{\text{Решение}} \quad i_{k,t} = \frac{U_m}{Z_k} \sin(\omega t + \alpha - \varphi_k) + i_{a,0} e^{-\frac{t}{T_a}},$$

где  $U_m$  – амплитудное значение фазного напряжения источника;  $Z_k$  – полное сопротивление присоединенного к источнику участка цепи (цепи КЗ);  $\alpha$  – фазовый угол напряжения источника в момент  $t = 0$ ;  $\varphi_k$  – угол сдвига тока в цепи КЗ относительно напряжения источника той же фазы;  $T_a$  – постоянная времени цепи КЗ:

$$T_a = \frac{L_k}{r_k} = \frac{X_k}{\omega r_k}$$



## Короткие замыкания в электрических установках. Расчетные параметры для выбора электрических аппаратов

Периодическая составляющая тока КЗ:

$$i_{п,t} = \frac{U_m}{Z_k} \sin(\omega t + \alpha - \varphi_k) = I_{п,m} \sin(\omega t + \alpha - \varphi_k),$$

где  $I_{п,m}$  – амплитудное значение периодической составляющей тока.

Свободная составляющая тока КЗ:

$$i_{a,t} = i_{a,0} e^{-\frac{t}{\tau_a}}$$

$i_{a,0}$  – начальное значение апериодической составляющей тока КЗ в каждой фазе

$$i_{a,0} = i_{к,0} - i_{п,0}, \text{ где}$$

$i_{к,0} = i_{(0)}$  – начальное значение апериодической составляющей тока КЗ в каждой фазе (равно току до КЗ по второму Закону коммутации)



При  $t = 0$

$$i_{п,0} = I_{п,m} \cdot \sin(\alpha - \varphi_k)$$

Практический интерес представляет величина  $I_{п,0}$  — действующее значение периодической составляющей тока короткого замыкания в начальный момент времени (совместно с апериодической составляющей определяет нагрев элементов цепи при КЗ).

Также интерес представляют условия возникновения максимально возможного значения полного тока КЗ и его апериодической составляющей.

Максимальное значение тока  $i_{а,0}$  — напряжение в момент возникновения КЗ проходит через нулевое значение ( $\alpha = 0$ ) и тока в цепи до КЗ нет ( $i_{(0)} = 0$ ). Тогда:

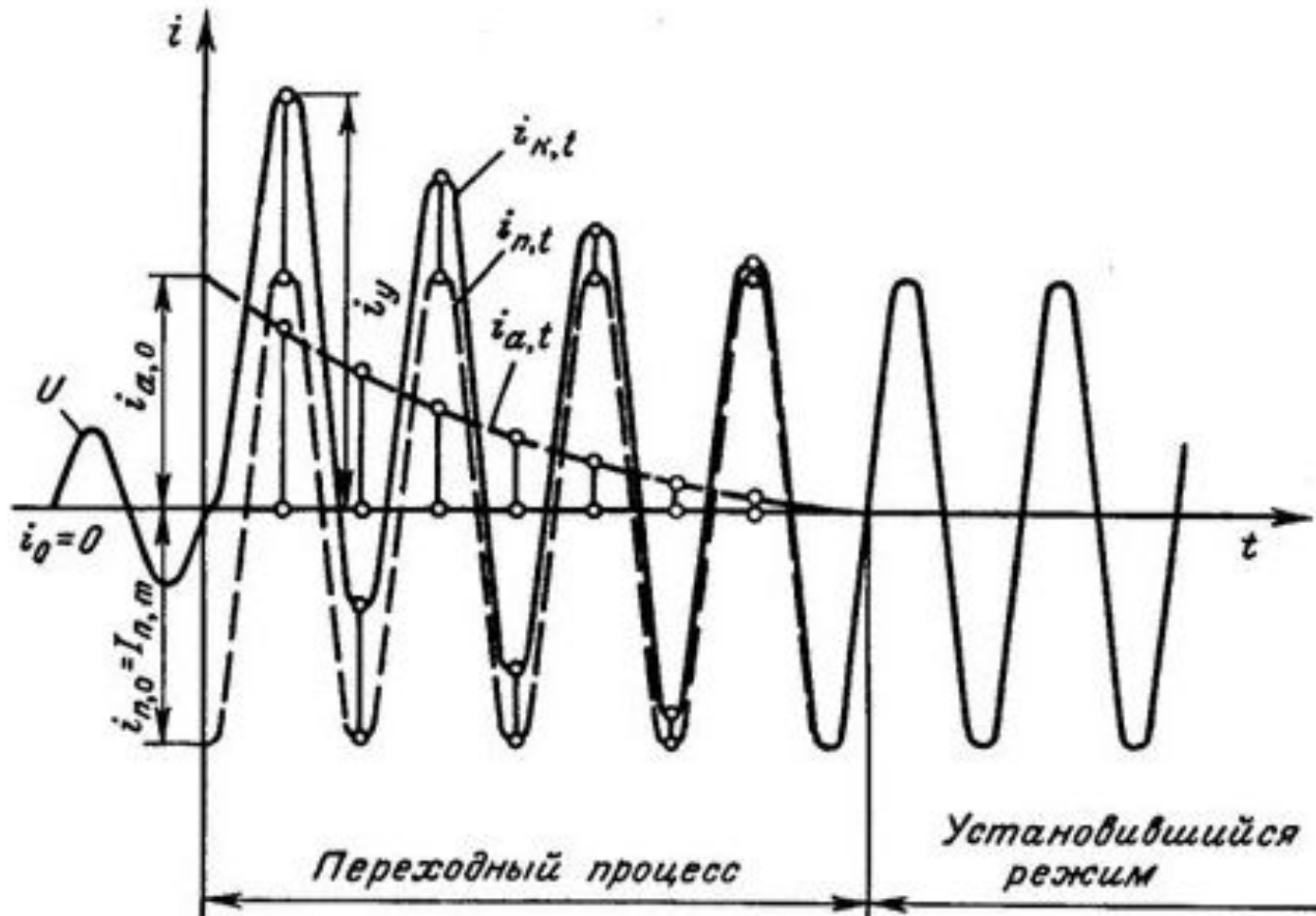
1)  $i_{а,0} = \sqrt{2} \cdot I_{п,0}$  — наибольшее значение апериодической составляющей (по времени оно соответствует началу КЗ).



## Короткие замыкания в электрических установках. Расчетные параметры для выбора электрических аппаратов

$$2) i_{к, max} = i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{п,0} \cdot (1 + \sin(\varphi_{к})) \cdot e^{-t_{уд}/T_a} = \sqrt{2} \cdot I_{п,0} \cdot K_{уд}$$

— ударный ток КЗ (возникает через 0,01 с от начала КЗ).





# Короткие замыкания в электрических установках. Расчетные параметры для выбора электрических аппаратов

**Электродинамическая стойкость**

**Термическая стойкость**



ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»  
Электроэнергетический факультет  
Кафедра «Электрические станции, подстанции и диагностика электрооборудования»

# **Лекция №3. Электрические аппараты до 1000 В. Автоматические выключатели. Контакторы и пускатели. Предохранители. Реле. Датчики.**

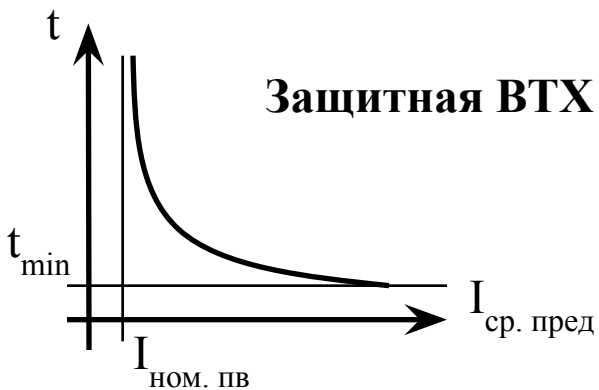


Условно-графическое обозначение



## Параметры предохранителя

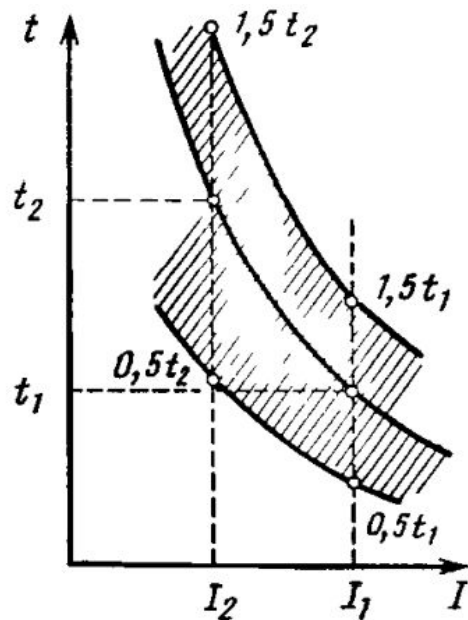
- 1) **Номинальное напряжение патрона предохранителя,  $U_{\text{ном.патрона}}$ .** Это напряжение, при котором предохранитель работает продолжительное время, сохраняя функциональность в течение всего срока службы. Действительное напряжение сети не должно превышать номинального напряжения предохранителя более, чем на 10%.
- 2) **Номинальный ток патрона,  $I_{\text{ном.патр}}$ .** Это наибольший из номинальных токов плавких вставок, предназначенных для данного предохранителя (максимальный длительный ток патрона).
- 3) **Номинальный ток плавкой вставки,  $I_{\text{ном.пв}}$ .** Это наибольший из токов продолжительной работы плавкой вставки (максимальный длительный ток плавкой вставки).
- 4) **Предельный ток отключения предохранителя,  $I_{\text{пред.откл.}}$ .** Это наибольшее действующее значение периодической составляющей тока, отключаемого предохранителем без разрушения и опасного выброса пламени или продуктов горения электрической дуги.
- 5) **Защитная время-токовая характеристика (ВТХ) предохранителя (плавкой вставки).** Это зависимость полного времени отключения (суммы времени плавления вставки и времени горения дуги) от отключаемого тока в электрической цепи



**Токоограничивающий эффект** – отключение, в момент времени, когда ток КЗ не достиг амплитуды.

Разброс характеристик срабатывания предохранителей при совпадении всех неблагоприятных факторов, влияющих на время отключения может доходить до  $\pm 50\%$  от заводских. Такой разброс необходимо учитывать при выборе защит для особо ответственных по надежности электроснабжения потребителей.

В остальных случаях обычно применяется разброс  $\pm 25\%$ . Для учета разброса заводские характеристики перестраиваются в расчетные.





## Условия выбора предохранителей и плавких вставок:

### 1. Выбор патрона.

1) Номинальное напряжение патрона должно быть больше или равно номинальному напряжению сети, в которой он установлен

$$U_{\text{ном.патр}} \geq U_{\text{ном.сети}}$$

2) Номинальный ток патрона должен быть больше или равен наибольшему из длительно допустимых токов рабочих режимов (протекают в номинальном, послеаварийном или ремонтном режимах).

$$I_{\text{ном.патр}} \geq I_{\text{наиб.раб}}$$

3) Предельный ток отключения предохранителя должен быть больше или равен максимальному току КЗ из всех аварийных режимов (в сетях до 1000 В с глухозаземленной нейтралью – это ток трехфазного металлического КЗ).

$$I_{\text{пред.откл}} \geq I_{\text{кз.мах}}$$

### 2. Выбор плавкой вставки.

1) Плавкая вставка не должна срабатывать при токах рабочих режимов

$$I_{\text{ном.пв}} \geq I_{\text{наиб.раб}}$$

2) Плавкая вставка должна быть отстроена от пиковых токов электроприемников, во избежание нарушения пусковых режимов работы

$$I_{\text{ном.пв}} \geq K_{\text{отс.пв}} \cdot I_{\text{пик}}$$



Можно принять следующие значения коэффициентов отстройки

= 0,4 – для электродвигателей с легкими условиями пуска длительностью до 10 с;

= 0,4 – 0,7 – для электродвигателей с тяжелыми условиями пуска длительностью более 10 с;

= 0,12 – 0,15 – для осветительных установок с лампами накаливания мощностью более 500 Вт, ЛЛ, ДРЛ и приемников ЭЭ с активными нагревательными элементами;

= 0,4 – 0,5 – для преобразовательных установок, сварочных машин и аппаратов.

### Условия проверки расцепителей:

#### 1. По условию чувствительности к токам коротких замыканий.

Согласно ПУЭ проверка проводится

а) по надежности срабатывания расцепителя на минимальный ТКЗ самого удаленного участка электрической сети (в сети с глухозаземленной нейтралью  $I_{\text{кз.мин}} = I_{\text{кз}}^{(1)}$ , в сети с изолированной нейтралью  $I_{\text{кз.мин}} = I_{\text{кз}}^{(2)}$ ). Условие чувствительности: плавкая вставка должна надежно отключать любой вид КЗ в любой точке электрической сети:

$$\begin{aligned} I_{\text{кз.мин}} / I_{\text{ном.пв}} &\geq 3 \text{ – для нормальной среды;} \\ I_{\text{кз.мин}} / I_{\text{ном.пв}} &\geq 4 \text{ – для нормальной среды.} \end{aligned}$$



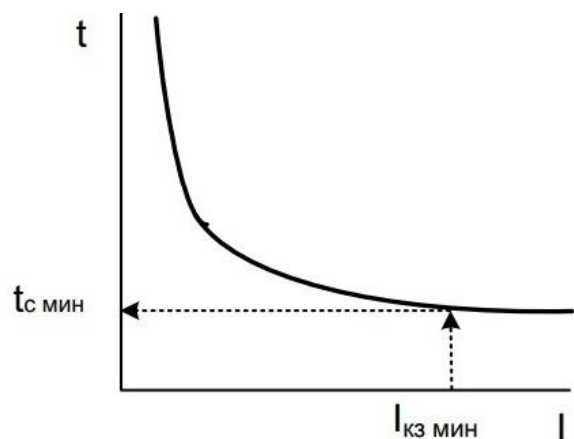
## Предохранители. Условия выбора и проверки

б) по времени срабатывания плавкой вставки  $t_c$  на минимальный ток КЗ самого удаленного участка в зависимости от напряжения сети (быстродействие срабатывания)

$$t_c \leq t_{\text{доп}},$$

где  $t_{\text{доп}}$  – допустимое время отключения питания.

Быстродействие плавкой вставки – это способность автоматически отключать электрическую цепь при минимальном токе КЗ с наименьшим временем срабатывания.



Оценка быстродействия срабатывания плавкой вставки по защитной ВТХ

- в трехфазной сети системы TN наибольшее допустимое время защитного автоматического отключения

$U_{\text{ном}}, \text{В}$	127	220	380	>380
$t_{\text{доп}}, \text{с}$	0,8	0,4	0,2	0,1



## Предохранители. Условия выбора и проверки

- в трехфазной сети с изолированной нейтралью (система IT) наибольшее допустимое время защитного автоматического отключения

$U_{\text{ном}}, \text{В}$	220	380	660	>660
$t_{\text{доп}}, \text{с}$	0,8	0,4	0,2	0,1

Допускаются большие значения времени, но не более 5 с. в цепях,

-питающих распределительные, групповые, этажные и другие щиты и щитки;

-питающих только стационарные приёмники электроэнергии от распределительных щитов или щитков при выполнении одного из следующих условий:

1. Полное сопротивление защитного проводника между главной заземляющей шиной и распределительным щитом или щитком не превышает значения, Ом,

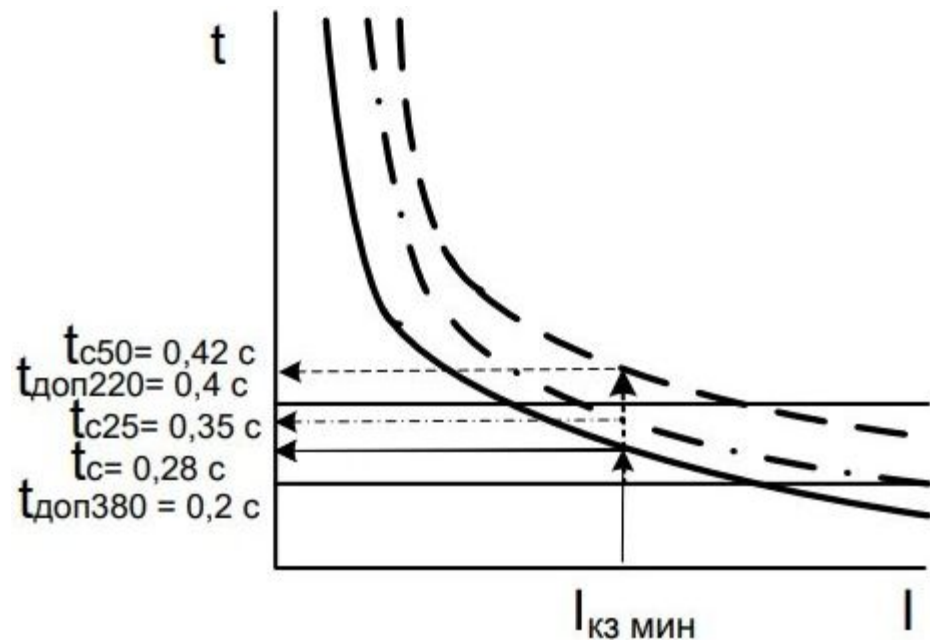
$$50 \cdot Z_{\text{п}} / U_{\text{н.ф.}}$$

где  $Z_{\text{п}}$  – полное сопротивление цепи «фаза-нуль», Ом;

$U_{\text{н.ф.}}$  – номинальное фазное напряжение цепи, В;

50 – падение напряжения на участке защитного проводника между главной заземляющей шиной и распределительным щитом или щитком, В;

2. К шине РЕ распределительного щита или щитка присоединена дополнительная система уравнивания потенциалов, охватывающая те же сторонние проводящие части, что и основная система уравнивания потенциалов.



На рисунке приведен пример по определению времени срабатывания плавкой вставки  $t_c$  при токе КЗ  $I_{\text{кз мин}}$  для системы TN и его сравнение с допустимым временем срабатывания  $t_{\text{доп220}}$  при номинальном напряжении сети 220 В и с допустимым временем срабатывания  $t_{\text{доп380}}$  при номинальном напряжении сети 380 В. Как видно из рисунка чувствительность к токам КЗ обеспечивается для сети с номинальным напряжением 220 В ( $t_c = 0,28 \leq t_{\text{доп220}} = 0,4$  с) и не обеспечивается для сети с номинальным напряжением 380 В ( $t_c = 0,28 > t_{\text{доп380}} = 0,2$  с).

В особо ответственных сетях время срабатывания плавкой вставки увеличивают на  $\pm 50\%$  ( $t_{c50}$ ). В остальных случаях применяется разброс времени срабатывания  $\pm 25\%$  ( $t_{c25}$ ).



### 2. По условию защищаемости.

Плавкая вставка должна защищать не только приемник электроэнергии, но и участок сети до этого приемника (линию)

$$I_{\text{ном.пв}} \leq K_{\text{защ}} \cdot I_{\text{доп}},$$

где  $K_{\text{защ}} = 0,8$  – для проводников с резиновой и аналогичной изоляцией, проложенных во взрывоопасных зонах;

$K_{\text{защ}} = 1$  – для проводников с резиновой и аналогичной изоляцией, проложенных в зонах с нормальной средой;

$K_{\text{защ}} = 1$  – для кабелей с бумажной изоляцией;

$K_{\text{защ}} = 0,8$  – для осветительных сетей;

$K_{\text{защ}} = 3$  – для магистральных шинопроводов;

$K_{\text{защ}} = 3$  – для электрических сетей с защитой только от КЗ, когда защита от отдельных токовых перегрузок устанавливается на самом ПЭЭ (например, магнитный пускатель и тепловое реле);

$I_{\text{доп}}$  – допустимый ток проводника с учетом поправочных коэффициентов на реальные условия эксплуатации, отличающиеся от нормальных.

Согласно ПУЭ сети, требующие защиты от перегрузки:

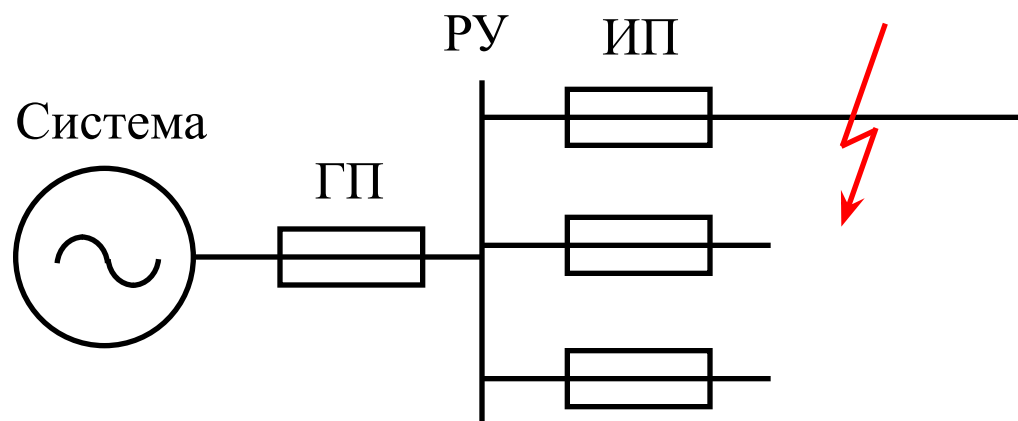
1) все сети, выполненные проложенными открыто незащищенными изолированными проводами с горючей оболочкой, внутри любых помещений;



- 2) все осветительные сети независимо от конструкции и способа прокладки проводов или кабелей в жилых и общественных зданиях, в торговых помещениях, в служебно-бытовых помещениях промышленных предприятий, в пожароопасных производственных помещениях, все сети для питания бытовых и переносных электроприборов;
- 3) все силовые сети в промышленных предприятиях, в жилых и общественных помещениях, если по условиям технологического процесса может возникнуть длительная перегрузка проводов и кабелей;
- 4) все сети всех видов во взрывоопасных помещениях и взрывоопасных наружных (вне зданий) установках независимо от режима работы и назначения сети.

### 3. По условию селективности.

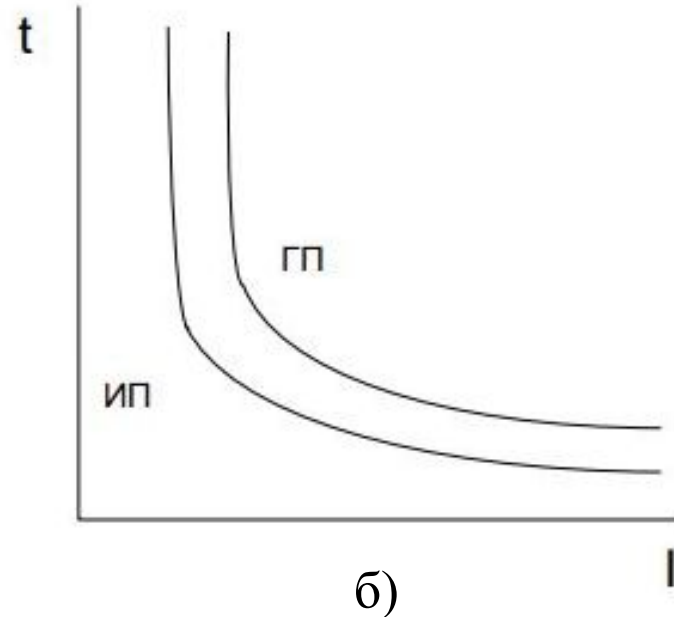
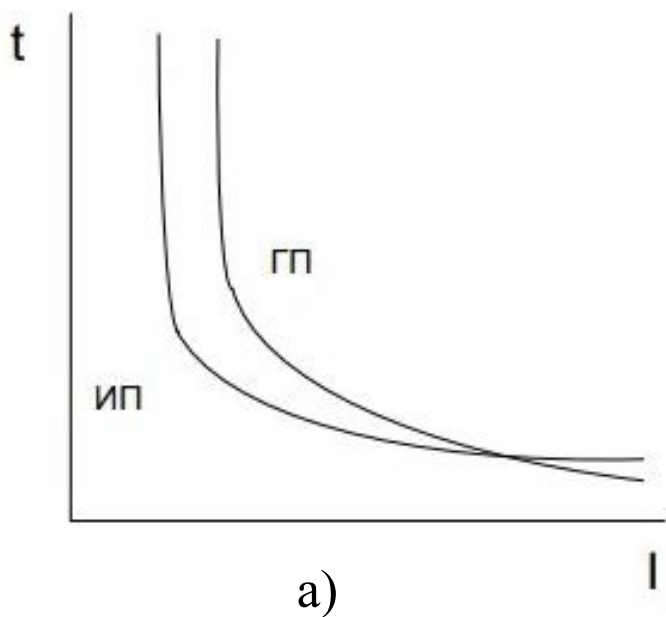
Условие абсолютной селективности (избирательности): плавкая вставка должна защищать только свой участок электрической сети.



ИП – индивидуальные предохранители (срабатывают первые, обеспечивая абсолютную селективность);  
ГП – групповой предохранитель (резервирует работу ИП обеспечивая принцип относительной селективности);  
РУ – распределительное устройство.

**Частичная селективность** – при последовательном соединении двух предохранителей индивидуальный аппарат со стороны потребителя электроэнергии осуществляет защиту до определенного уровня сверхтока без срабатывания группового защитного аппарата. То есть на определенном участке характеристики аппаратов пересекаются (рис. а).

**Полная селективность** – при последовательном соединении двух предохранителей индивидуальный аппарат со стороны потребителя электроэнергии осуществляет защиту без срабатывания группового защитного аппарата. То есть, для получения полной селективности защитная характеристика группового аппарата должна проходить выше характеристики срабатывания индивидуального аппарата (рис. б).



Строго говоря при расчетах селективности необходимо сравнивать время плавления вставки, установленной ближе к источнику питания, с полным временем отключения вставки, установленной дальше от источника питания



## Предохранители. Условия выбора и проверки

Иногда завод-изготовитель предоставляет отдельно две характеристики: полное время отключения, равное сумме времен плавления вставки и горения дуги (ВТХ отключения), или же отдельно время плавления вставки (преддуговая характеристика) и отдельно время горения дуги. Строго говоря при расчетах селективности необходимо сравнивать время плавления вставки, установленной ближе к источнику питания, с полным временем отключения вставки, установленной дальше от источника питания.



На практике обычно используют защитные характеристики в виде полного времени отключения. В случае отсутствия расчетных времятоковых характеристик плавких вставок (с учетом разброса) селективность может быть оценена упрощенно.



## Предохранители. Условия выбора и проверки

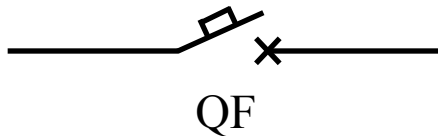
1. При установке одноступенчатых предохранителей в электрической сети считается, что селективность защиты будет обеспечена, если ток плавкой вставки группового предохранителя будет больше тока самой мощной плавкой вставки из индивидуальных предохранителей не менее чем на 2 ступени по шкале номинальных токов плавких вставок.
2. При установке разноступенчатых предохранителей в электрической сети селективность оценивается по карте селективности, причем во всей зоне совместного действия защит должно выполняться условие

$$t_{\text{с.посл}} \geq t_{\text{с.пред}} + \Delta t,$$

где  $t_{\text{с.посл}}$  – время отключения последующей защиты (расположенной ближе к источнику питания), с;  
 $t_{\text{с.пред}}$  – время отключения предыдущей защиты (расположенной ближе к приемнику электроэнергии), с;  
 $\Delta t = 0,5 - 0,6$  с – ступень селективности.



Условно-графическое обозначение



## Параметры автоматического выключателя

- 1) **Номинальное напряжение автоматов,  $U_{\text{ном.а.}}$ .** Это напряжение, при котором автомат работает, сохраняя коммутационную способность и износостойкость в течение всего срока службы.
- 2) **Номинальный ток автомата,  $I_{\text{ном.а.}}$ .** Это максимальный ток, на который рассчитаны токоведущие части и контакты автомата для работы в длительном режиме.
- 3) **Предельный ток отключения автомата,  $I_{\text{пред.откл.}}$ .** Это наибольший ток КЗ, который контакты автомата могут успешно отключить без повреждений токоведущих частей. После этого гарантируется дальнейшая работа выключателя без капитального ремонта или замены.

### *Расцепители*

- 4) **Номинальный ток расцепителя,  $I_{\text{ном.р.}}$ .** Это максимальный ток, на который рассчитан расцепитель для работы в длительном режиме, не срабатывая.
- 5) **Ток срабатывания (ток уставки) расцепителя,  $I_{\text{ср.}}$ .** Это наименьший ток, при котором расцепитель срабатывает.

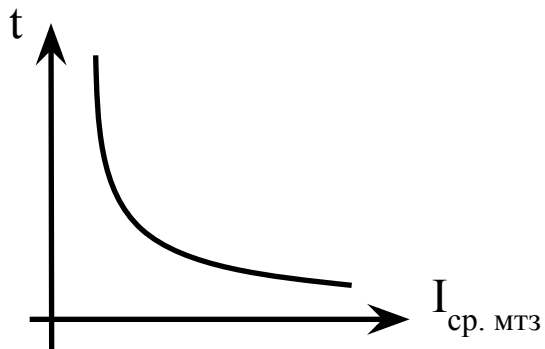


**6) Предельная коммутационная способность (ПКС)** – это максимальный ток КЗ, который выключатель способен включить и отключить несколько раз, оставаясь в исправном состоянии. Выключатель рассчитан на коммутацию предельно отключаемых и включаемых токов в цикле операций О-П-ВО-П-ВО при  $U_{н.сети}$ . О – простая операция, отключение; П – пауза (<180 с), ВО – цикл включение, отключение.

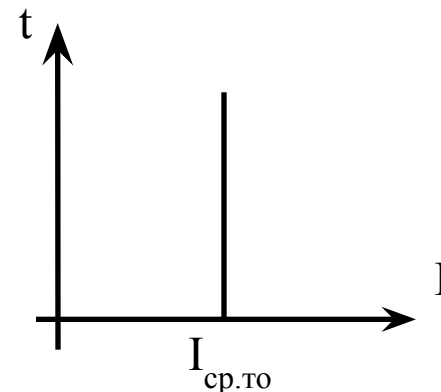
**7) Однофазная предельная коммутационная способность (ОПКС)** – это наибольший ток, который выключатель может отключить один раз. После этого дальнейшая работа выключателя не гарантируется.

Расцепители могут иметь ток срабатывания с обратозависимой выдержкой времени ( $I_{ср.МТЗ}$ ) или без выдержки времени ( $I_{ср.ТО}$ ).

МТЗ – максимальная токовая защита от перегрузок.

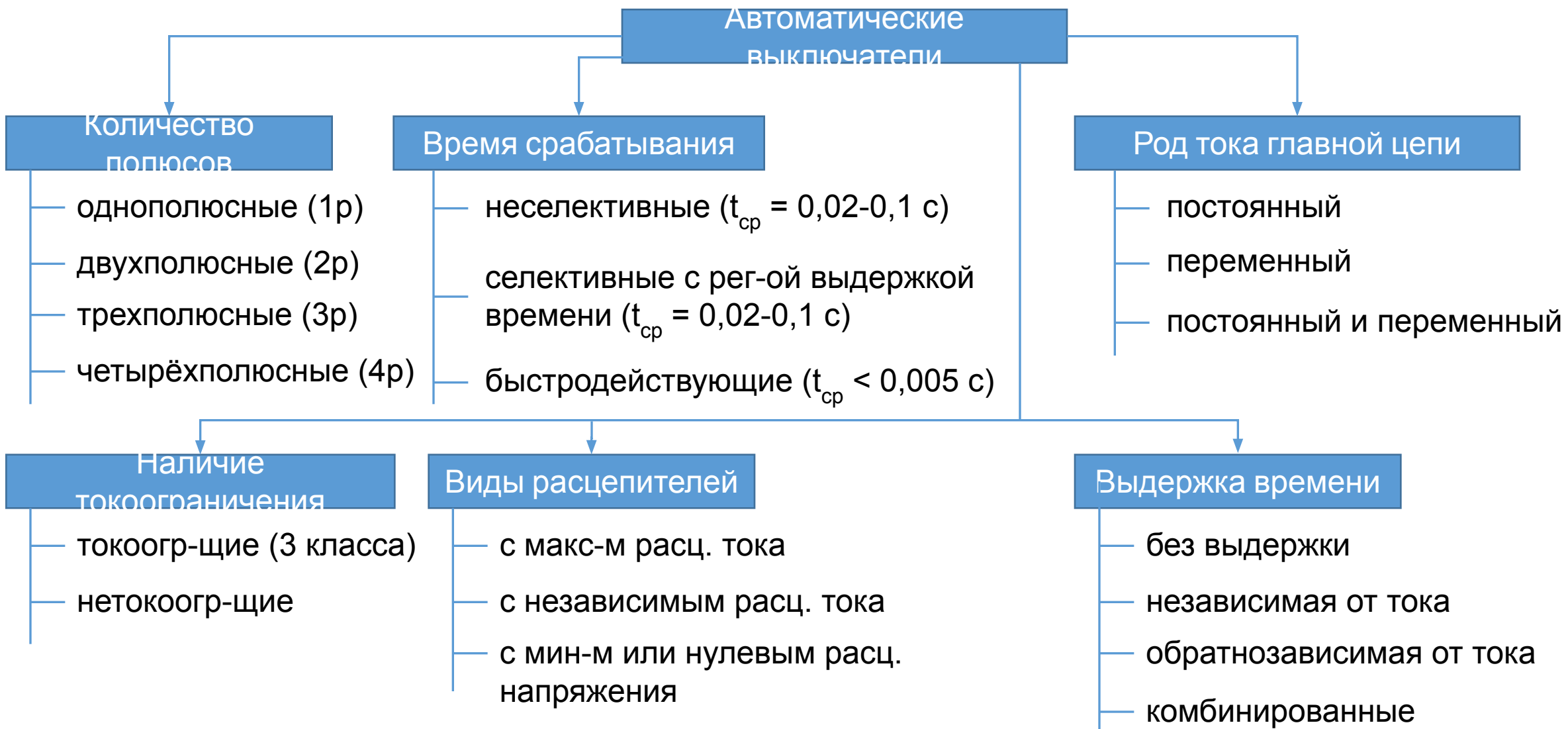


ТО – токовая отсечка.





# Автоматические выключатели. Классификация





# Автоматические выключатели. Классификация

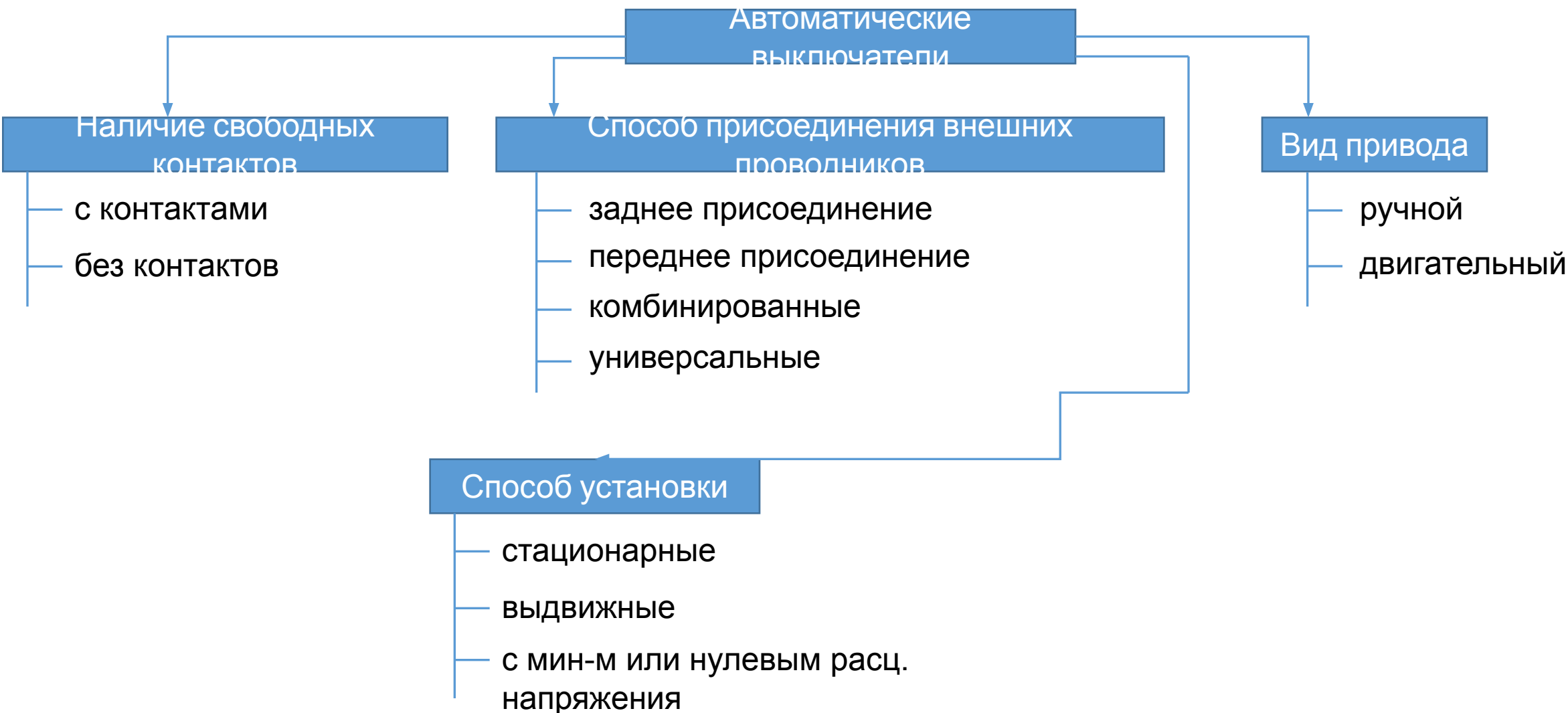






Рис. Малые установочные аппараты:

- а – однополюсный серии А 63, б – однополюсный серии АЕ 1031,
- с – трехполюсный серии АЕ 2056, д – трехполюсные серии АП50 и АП 50Б,
- е – трехполюсные серии АК 63

**Напряжение до 500 В AC и до 240 В DC. Имели тепловые и электромагнитные расцепители. Сняты с производства, но продолжают широко использоваться!**

# Примеры малых установочных, модульных выключателей



однополюсный



двухполюсный

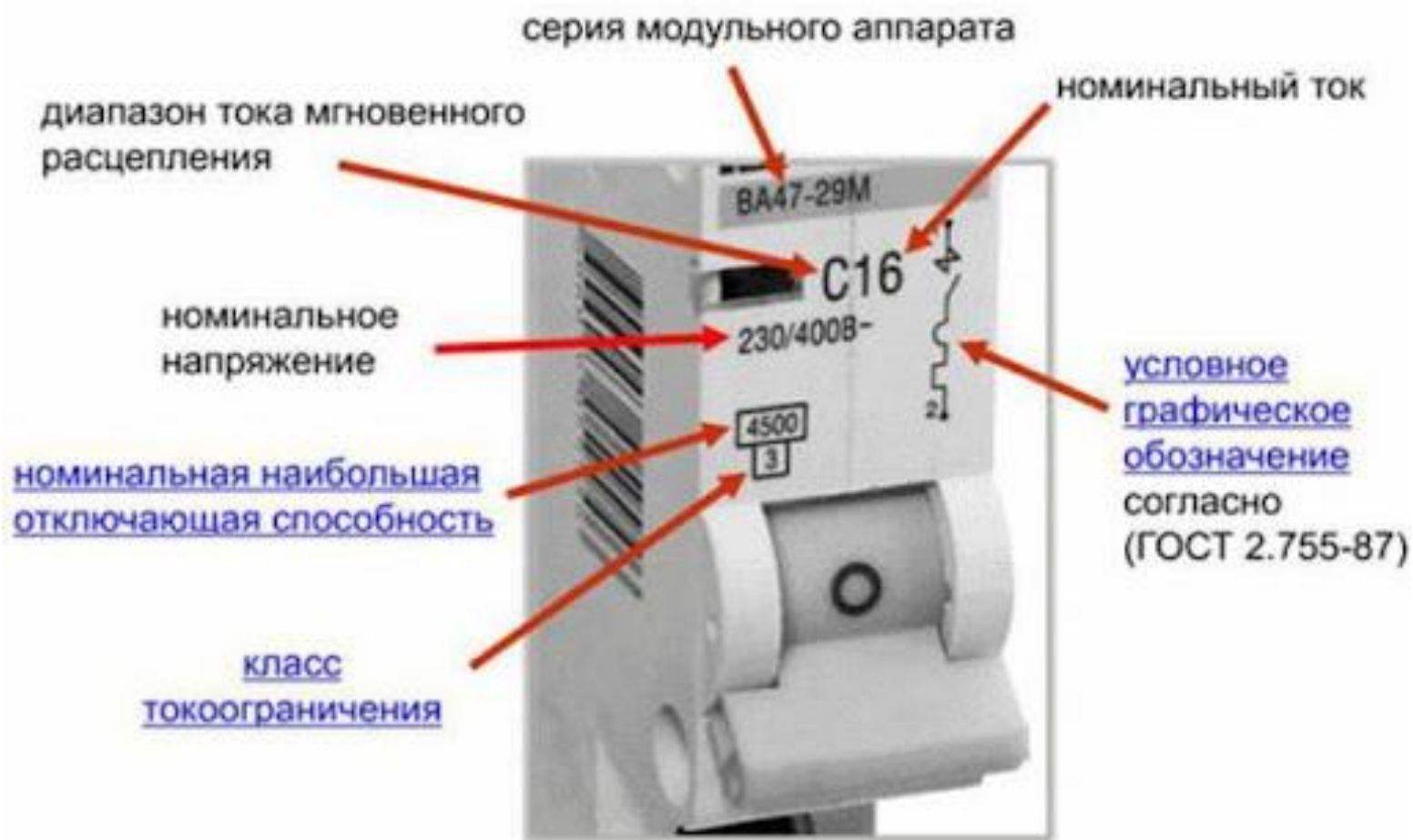


трехполюсный



четыреполюсный

## Маркировка малых установочных выключателей



Классы токоограничения:

1 класс – время гашения дуги составляет более 10 мс (не маркируется на корпусе);

2 класс –  $6 \div 10$  мс;

3 класс –  $2 \div 6$  мс.



## Условия выбора предохранителей и плавких вставок:

### 1. Выбор патрона.

1) Номинальное напряжение патрона должно быть больше или равно номинальному напряжению сети, в которой он установлен

$$U_{\text{ном.патр}} \geq U_{\text{ном.сети}}$$

2) Номинальный ток патрона должен быть больше или равен наибольшему из длительно допустимых токов рабочих режимов (протекают в номинальном, послеаварийном или ремонтном режимах).

$$I_{\text{ном.патр}} \geq I_{\text{наиб.раб}}$$

3) Предельный ток отключения предохранителя должен быть больше или равен максимальному току КЗ из всех аварийных режимов (в сетях до 1000 В с глухозаземленной нейтралью – это ток трехфазного металлического КЗ).

$$I_{\text{пред.откл}} \geq I_{\text{кз.мах}}$$

### 2. Выбор плавкой вставки.

1) Плавкая вставка не должна срабатывать при токах рабочих режимов

$$I_{\text{ном.пв}} \geq I_{\text{наиб.раб}}$$

2) Плавкая вставка должна быть отстроена от пиковых токов электроприемников, во избежание нарушения пусковых режимов работы

$$I_{\text{ном.пв}} \geq K_{\text{отс.пв}} \cdot I_{\text{пик}}$$



## Автоматические выключатели. Условия выбора и проверки автоматических выключателей и расцепителей

где  $K_{отс.МТЗ}$  - коэффициент отстройки расцепителя с обратнозависимой выдержкой времени.

Можно принять следующие значения коэффициентов отстройки

= 1,1–1,3 – для электродвигателей с легкими условиями пуска длительностью до 10 с;

= 1,5 – для электродвигателей с тяжелыми условиями пуска длительностью более 10 с;

= 1,1 – для осветительных установок с лампами накаливания;

= 1,2–1,4 – для осветительных установок с разрядными лампами;

= 1,1–1,2 – для приемников ЭЭ с активными нагревательными элементами;

= 1,5–2 – для преобразовательных установок, сварочных машин и аппаратов.

-для  $I_{ср.МТЗ}$  отстройка идет от пиковых токов ( $I_{пик}$ ) электродвигателей или других приемников электроэнергии, во избежание нарушения пиковых (пусковых) режимов работы

$$I_{ср.ТО} \geq K_{отс.ТО} \cdot I_{пик} \geq K_{зап.} \cdot K_{разбр.} \cdot I_{пик}$$

где  $K_{отс.ТО} = K_{зап.} \cdot K_{разбр.}$  – коэффициент отстройки расцепителя с токовой отсечкой (защита от КЗ мгновенная или с выдержкой времени).

$K_{зап.} = 1,1$  – коэффициент запаса;

$K_{разбр.}$  – коэффициент разброса (по данным завода изготовителя);



## Автоматические выключатели. Условия выбора и проверки автоматических выключателей и расцепителей

Обобщенные данные по коэффициентам отстройки:

- = 1,5 – для выключателей серии А 3700 и ВА с полупроводниковым расцепителем;
- = 1,6 – для выключателей серии «Электрон» с полупроводниковым расцепителем (РТМ);
- = 1,8 – для выключателей серии АВМ с электромагнитным расцепителем;
- = 2,1 – для выключателей серии А 3100, А 3700, ВА, АЕ 2000, АП50 с электромагнитным расцепителем;
- = 2,2 – для выключателей серии «Электрон» с полупроводниковым расцепителем.

При отсутствии данных завода-изготовителя о коэффициентах разброса:

- = 1,5–1,8 – для электродвигателей с короткозамкнутым ротором;
- = 1,2 – для электродвигателей с фазным ротором;
- = 1,1 – для осветительных установок с лампами накаливания мощностью более 500 Вт, ЛЛ, ДРЛ и приемников электроэнергии с активными нагревательными элементами;
- = 1,1–1,3 – для преобразовательных установок, сварочных машин и аппаратов.

Если неизвестны приемники электроэнергии:

$K_{отс.МТЗ} = 1,1–1,3$  – для расцепителей с обратнозависимой выдержкой времени,

$K_{отс.ТО} = 1,25–1,35$  – для расцепителей с токовой отсечкой.



## Автоматические выключатели. Условия выбора и проверки автоматических выключателей и расцепителей

### Условия проверки расцепителей:

#### 1. По условию чувствительности к токам коротких замыканий.

Согласно ПУЭ проверка проводится

а) по надежности срабатывания расцепителя на минимальный ТКЗ самого удаленного участка электрической сети. Условие чувствительности: расцепитель должен надежно срабатывать на любой вид КЗ в любой точке электрической сети:

-для автоматов только с токовой отсечкой:

$$\begin{aligned} I_{\text{КЗ.мин}} / I_{\text{ср.ТО}} &\geq 1,4 \text{ при } I_{\text{ном.а}} \leq 100 \text{ А;} \\ I_{\text{КЗ.мин}} / I_{\text{ср.ТО}} &\geq 1,25 \text{ при } I_{\text{ном.а}} > 100 \text{ А.} \end{aligned}$$

-для автоматов с регулируемой или нерегулируемой обратозависимой ВТХ (независимо от наличия ТО)

$$\begin{aligned} I_{\text{КЗ.мин}} / I_{\text{ср.МТЗ}} &\geq 3 \text{ для нормальной среды;} \\ I_{\text{КЗ.мин}} / I_{\text{ср.МТЗ}} &\geq 6 \text{ для взрывоопасной среды.} \end{aligned}$$

б) по времени срабатывания расцепителя  $t_c$  на минимальный ток КЗ самого удаленного участка в зависимости от напряжения сети (быстродействие срабатывания)

$$t_c \leq t_{\text{доп}},$$

где  $t_{\text{доп}}$  – допустимое время отключения питания.



## Автоматические выключатели. Условия выбора и проверки автоматических выключателей и расцепителей

- в трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью (система TN) наибольшее допустимое время защитного автоматического отключения

$U_{\text{ном}}, \text{В}$	127	220	380	>380
$t_{\text{доп}}, \text{с}$	0,8	0,4	0,2	0,1

- в трехфазной сети с изолированной нейтралью (система IT) наибольшее допустимое время защитного автоматического отключения

$U_{\text{ном}}, \text{В}$	220	380	660	>660
$t_{\text{доп}}, \text{с}$	0,8	0,4	0,2	0,1

Допускаются большие значения времени, но не более 5 с. в цепях, питающих распределительные, групповые, этажные и другие щиты и щитки; питающих только стационарные приёмники электроэнергии от распределительных щитов или щитков при выполнении одного из следующих условий:

1. Полное сопротивление защитного проводника между главной заземляющей шиной и распределительным щитом или щитком не превышает значения, Ом,

$$50 \cdot Z_{\text{п}} / U_{\text{н.ф.}}$$





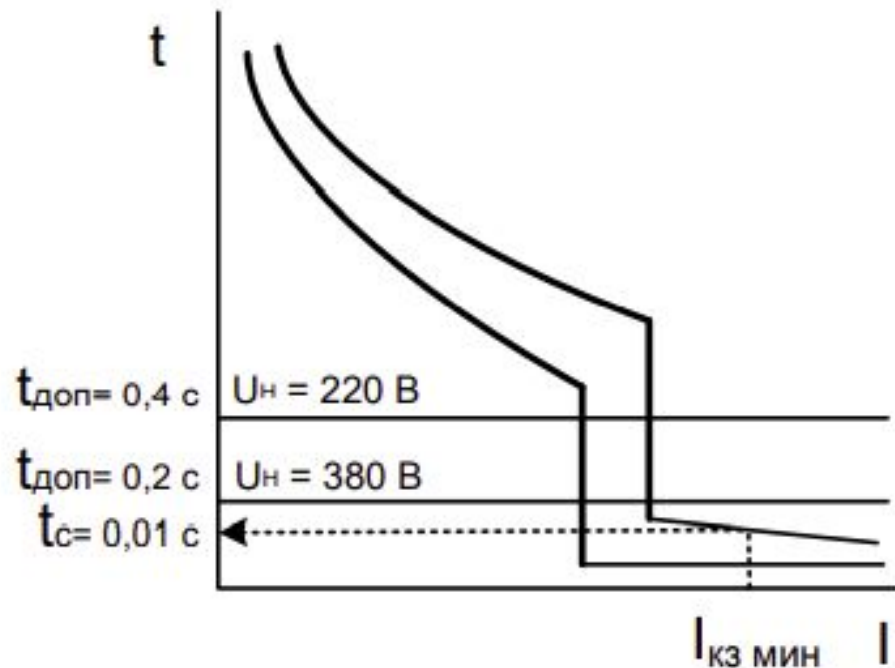
## Автоматические выключатели. Условия выбора и проверки автоматических выключателей и расцепителей

где  $Z_{\Pi}$  – полное сопротивление цепи «фаза-нуль», Ом;

$U_{н.ф.}$  – номинальное фазное напряжение цепи, В;

50 – падение напряжения на участке защитного проводника между главной заземляющей шиной и распределительным щитом или щитком, В;

2. К шине РЕ распределительного щита или щитка присоединена дополнительная система уравнивания потенциалов, охватывающая те же сторонние проводящие части, что и основная система уравнивания потенциалов.



На рисунке приведен пример по определению времени срабатывания расцепителя  $t_c$  при токе КЗ  $I_{кз \text{ мин}}$  для системы TN и его сравнение с допустимым временем срабатывания  $t_{\text{доп}}$  при номинальном напряжении сети 220 В и номинальном напряжении сети 380 В. Как видно из рисунка чувствительность к токам КЗ обеспечивается как для сети с номинальным напряжением 220 В ( $t_c = 0,01 \leq t_{\text{доп}} = 0,4 \text{ с}$ ), так и для сети с номинальным напряжением 380 В ( $t_c = 0,01 \leq t_{\text{доп}} = 0,2 \text{ с}$ ).



# Автоматические выключатели. Условия выбора и проверки автоматических выключателей и расцепителей

## 2. По условию защищаемости.

Автомат должен защищать не только приемник электроэнергии, но и участок электрической сети до этого приемника электроэнергии.

- для сетей с защитой от КЗ и перегрузок:

### для автоматов, имеющих только расцепитель с токовой отсечкой

$I_{с.то} \leq 0,8 \cdot I_{доп}$	для проводников с полиэтиленовой, резиновой или аналогичной по тепловому действию изоляцией, проложенных во взрывоопасной среде;
$I_{с.то} \leq 1 \cdot I_{доп}$	для проводников с полиэтиленовой, резиновой или аналогичной по тепловому действию изоляцией, проложенных в нормальной среде;
$I_{с.то} \leq 1 \cdot I_{доп}$	для кабелей с бумажной изоляцией;

### для автоматов с нерегулируемым расцепителем, имеющим обратозависимую времятоковую характеристику (независимо от наличия или отсутствия расцепителя с токовой отсечкой)

$$I_{с.мтз} \leq 1 \cdot I_{доп}$$



## Автоматические выключатели. Условия выбора и проверки автоматических выключателей и расцепителей

для автоматов с регулируемым расцепителем, имеющим обратозависимую времятоковую характеристику  
(независимо от наличия или отсутствия расцепителя с токовой отсечкой)

$$I_{с.МТЗ} \leq 1 \cdot I_{доп}$$

для проводников с полиэтиленовой, резиновой или аналогичной по тепловому действию изоляцией;

$$I_{с.МТЗ} \leq 1,25 \cdot I_{доп}$$

для кабелей с бумажной изоляцией;

- для сетей с защитой только от КЗ:

для автоматов, имеющих только расцепитель с токовой отсечкой

$$I_{с.то} < 4,5 \cdot I_{доп}$$

для автоматов с нерегулируемым расцепителем, имеющим обратозависимую времятоковую характеристику  
(независимо от наличия или отсутствия расцепителя с токовой отсечкой)

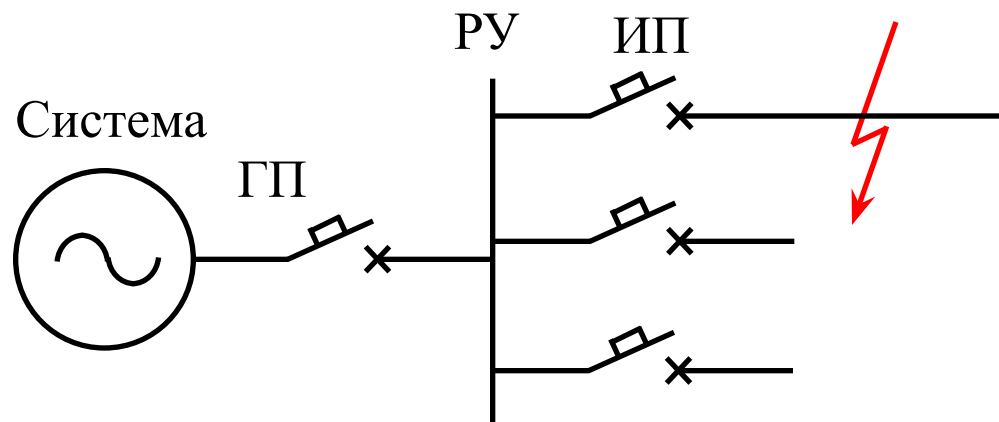
$$I_{с.МТЗ} \leq 1 \cdot I_{доп}$$

для автоматов с регулируемым расцепителем, имеющим обратозависимую времятоковую характеристику  
(независимо от наличия или отсутствия расцепителя с токовой отсечкой)

$$I_{с.МТЗ} \leq 1,25 \cdot I_{доп}$$

## 2. По условию селективности.

Условие абсолютной селективности: автомат должен защищать только свой участок электрической сети.



ИП – индивидуальные автоматы (срабатывают первые, обеспечивая абсолютную селективность);

ГП – групповой автомат (резервирует работу ИП обеспечивая принцип относительной селективности);

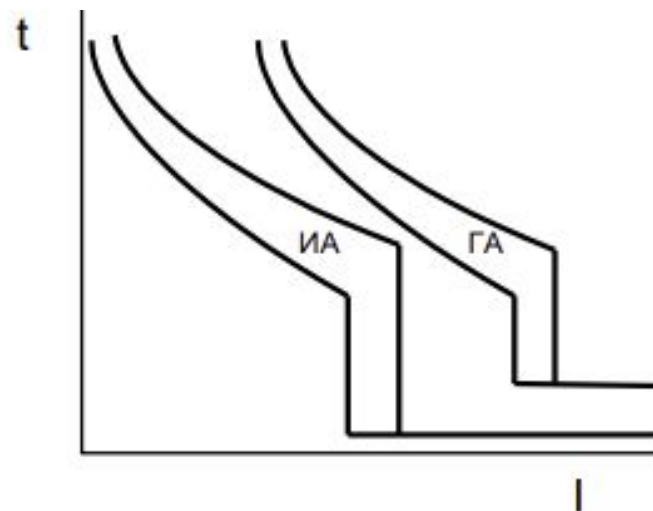
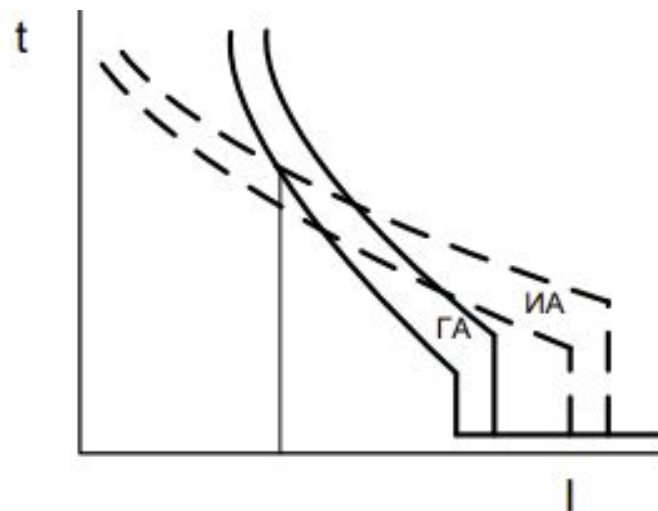
РУ – распределительное устройство.

**Частичная селективность** – это селективность, когда при последовательном соединении двух автоматов ИА со стороны потребителя ЭЭ осуществляет защиту до определенного уровня сверхтока без срабатывания ГА (рис. а).

**Полная селективность** – это селективность, когда при последовательном соединении двух автоматов ИА со стороны потребителя ЭЭ осуществляет защиту без срабатывания ГА. Для получения полной селективности защитная характеристика ГА должна проходить выше характеристики срабатывания ИА (рис. б).



## Автоматические выключатели. Условия выбора и проверки автоматических выключателей и расцепителей



В случае отсутствия защитных характеристик расцепителей (или характеристик без учета разброса) селективность защиты электрической сети может быть оценена упрощенно:

1. При установке одностипных автоматов в электрической сети считается, что селективность защиты будет обеспечена, если ток расцепителя группового автомата будет больше тока самого мощного расцепителя из индивидуальных автоматов по шкале номинальных токов расцепителей.

2. При установке разнотипных автоматов, а также предохранителей в электрической сети селективность оценивается по карте селективности, причем во всей зоне совместного действия защит должно выполняться условие

$$t_{\text{с.посл}} \geq t_{\text{с.пред}} + \Delta t,$$

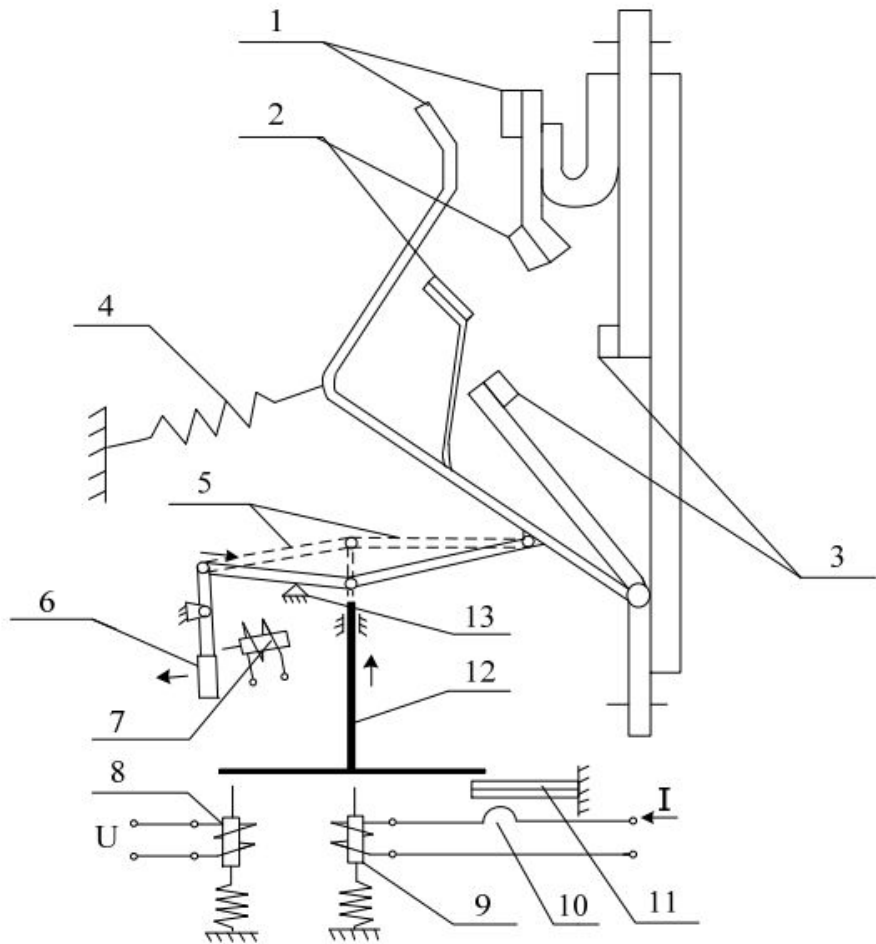
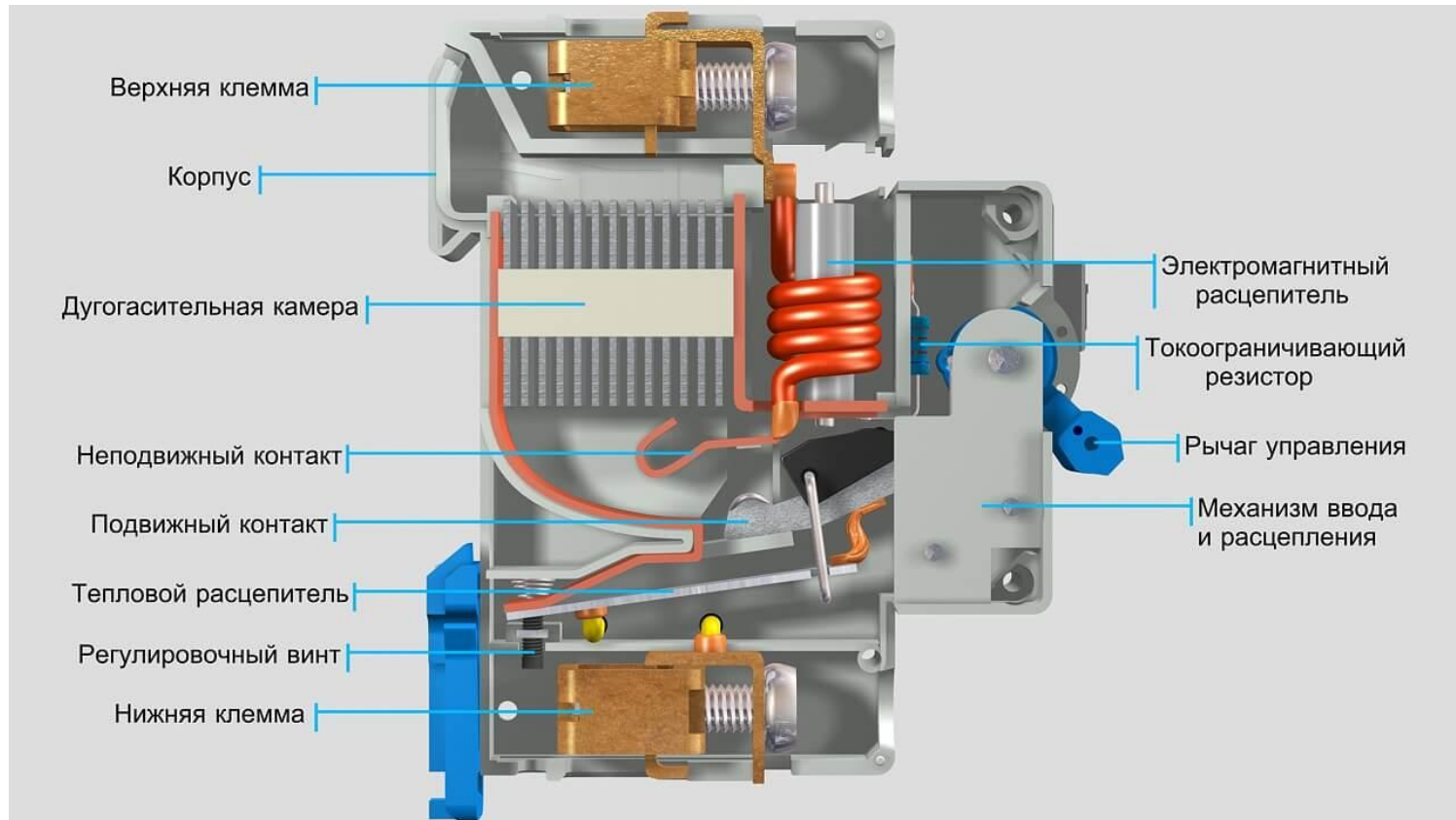
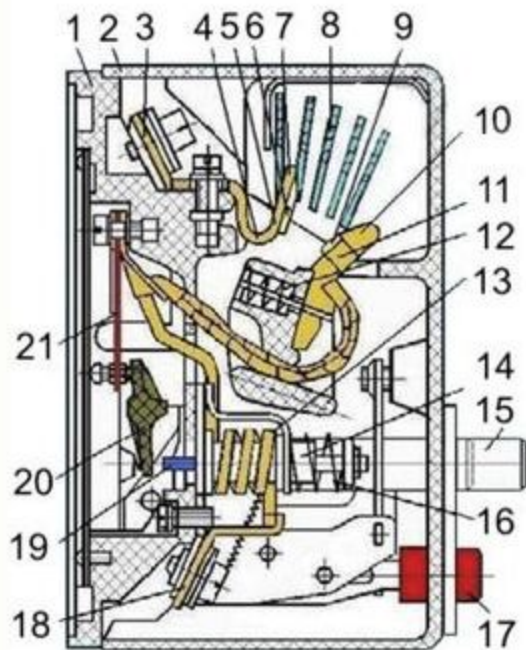


Рис. 5.1. Упрощенная кинематическая схема привода автоматического выключателя: 1 – разрывные контакты; 2 – предварительные контакты; 3 – главные контакты; 4 – отключающая пружина; 5 – ломающиеся рычаги; 6 – рукоятка ручного включения; 7 – электромагнитный привод на включение; 8 – электромагнитный расцепитель по напряжению; 9 – токовый мгновенный расцепитель; 10 – нагревательный элемент; 11 – биметаллическая пластина; 12 – шток; 13 – упор



# Лабораторная работа №1. Коммутационные аппараты до 1000 В



Очень важно знать, что самым популярным выключателем споттирован в корпусе из ударо- и дугостойкой пластмассы, допускающей возможность работы в условиях умеренного, холодного и тропического климата.

Корпус выключателей АП-50 состоит из основания 1 и крышки 2.

Подключение к автомату происходит через зажимы 3 и 18. Органы управления АП-50 две кнопки - включения (светлого цвета) 15 и отключения (красного цвета) 17.

Что располагается внутри АП-50? Размещена контактная система выключателя, которая состоит из подвижного 11 и неподвижного 5 контактов с контактными накладками 6 и 9. Контактное взаимодействие обеспечивается пружиной 12.

Контактные напайки состоят из специальной серебросодержащей металлокерамической композиции, обеспечивающей высокую дугостойкость и износостойкость контактов.

Чтобы при аварийном режиме не было механического удержания контактов в замкнутом состоянии, в АП-50 присутствует механизм свободного расцепления. Он состоит из системы «ломающихся» рычагов и пружин.

За реакцию на короткие замыкания отвечает электромагнитный расцепитель. Он состоит обмотки 13 и якоря 14, на котором закреплен шток 19.

Как срабатывает автомат АП-50? При аварийных токах, превосходящих ток уставки, электромагнитная сила, которая втягивает якорь в отверстие обмотки, превышает усилие сжатия пружины 16, якорь втягивается в отверстие обмотки и шток, воздействуя на рейку 20

механизма свободного расцепления, проворачивает ее. В итоге выключатель срабатывает, размыкая главные и свободные контакты АП-50.

В виду наличия в механизме автомата электродинамической петли 4, опорные точки дуги, которые образуются между контактами, "уходят" по дугогасительным отводам 7 и 10. В конечном итоге дуга, попадая в камеру, состоящую из пачки стальных пластин 8, затухает.

Биметаллический расцепитель 21, с регулятором, рычаг которого размещен на механизме выключателя нужен для защиты от токов перегрузки.

При помощи регулятора можно снизить уставку во всех полюсах до 70% от ее номинала.

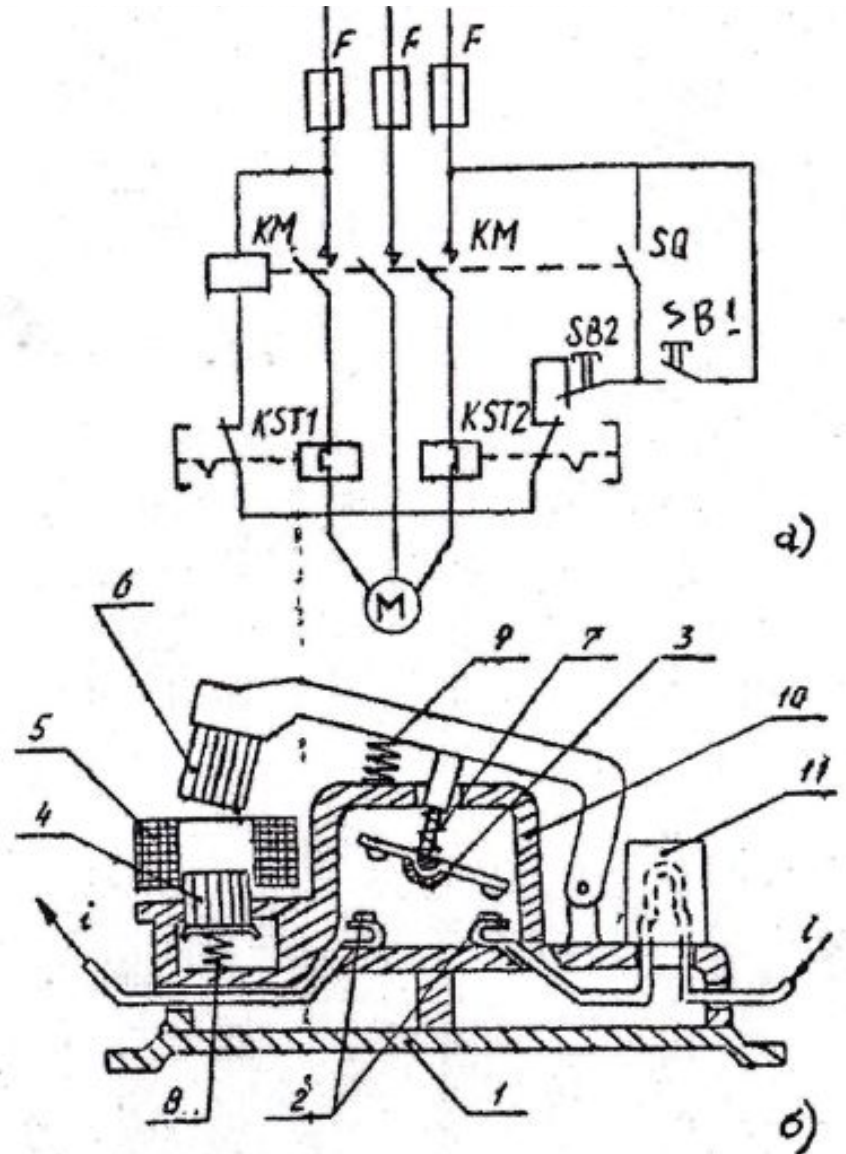


## Автоматические выключатели. Установка





# Магнитный пускатель, конструкция и принцип действия





ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»  
Электроэнергетический факультет  
Кафедра «Электрические станции, подстанции и диагностика электрооборудования»

# **Лекция №2. Понятие контакт. Конструкция контактов. Сопротивление контакта. Нагрев контакта. Режимы работы контактов. Материалы контактов**



ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»  
Электроэнергетический факультет  
Кафедра «Электрические станции, подстанции и диагностика электрооборудования»

# **Лекция №3. Электрическая дуга. Физические процессы в электрической дуге. Вольт-амперная характеристика дуги. Условия и способы гашения дуги. Дугогасительные устройства.**



ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»  
Электроэнергетический факультет  
Кафедра «Электрические станции, подстанции и диагностика электрооборудования»

# **Лекция №4. Электродинамические усилия. Методы расчеты электродинамических сил. Электродинамическая стойкость.**



ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»  
Электроэнергетический факультет  
Кафедра «Электрические станции, подстанции и диагностика электрооборудования»

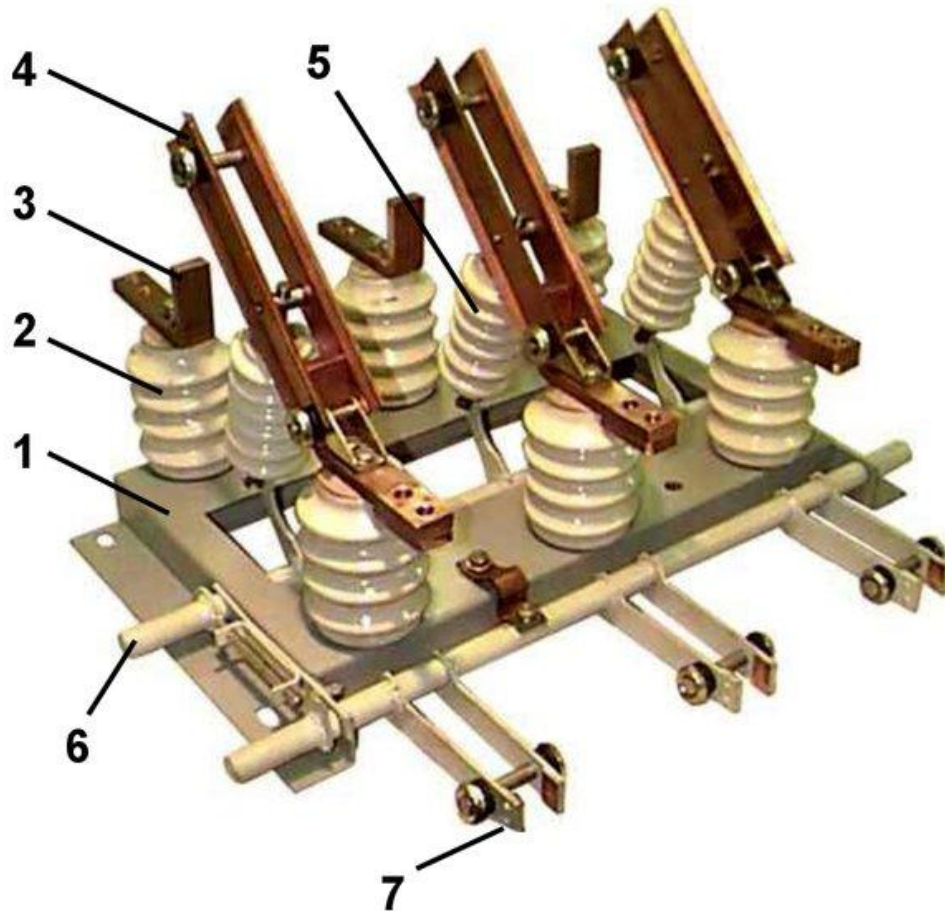
# **Лекция №5. Магнитная цепь. Методы расчета магнитных цепей. Материалы магнитных цепей. Устройство и принцип действия электромагнита.**



ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»  
Электроэнергетический факультет  
Кафедра «Электрические станции, подстанции и диагностика электрооборудования»

**Лекция №6. Электрические аппараты выше 1000 В.  
Выключатели высокого напряжения.  
Разъединители, отделители и короткозамыкатели.  
Выключатели нагрузки. Предохранители.  
Измерительные трансформаторы. Реакторы.**

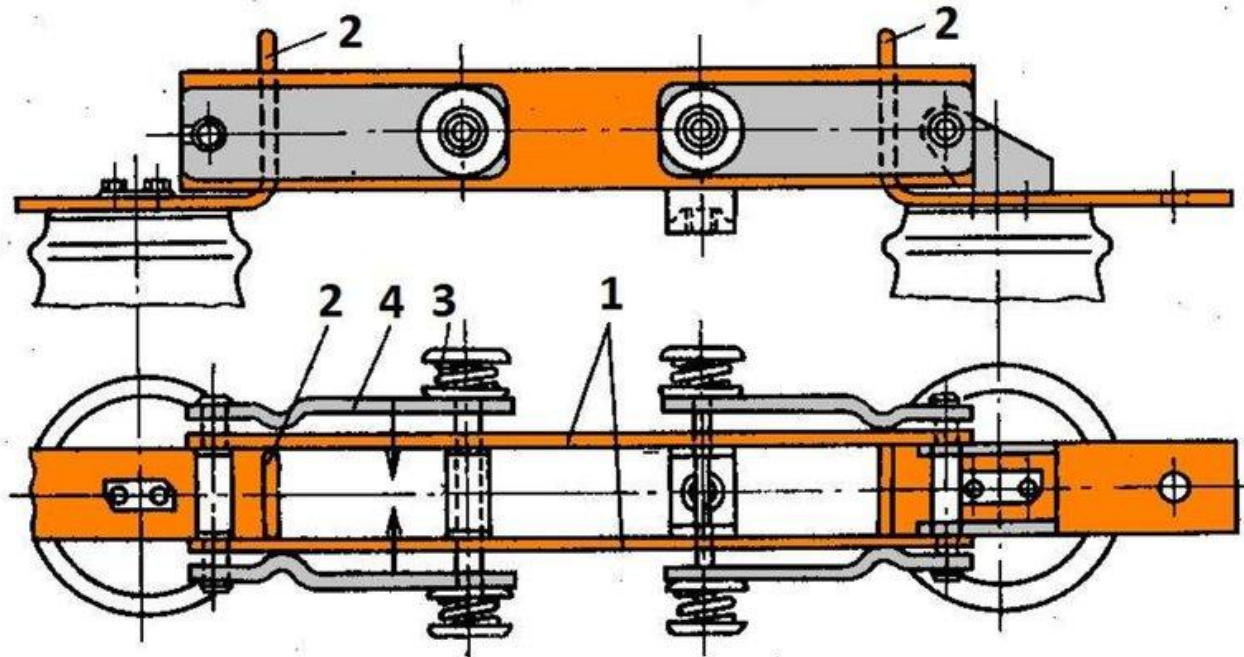
## Разъединители для внутренней установки рубящего типа: РВ, РВРЗ и др. (1)



1. рама
2. опорный изолятор
3. неподвижный контакт
4. нож
5. фарфоровая тяга
6. вал
7. заземляющий нож

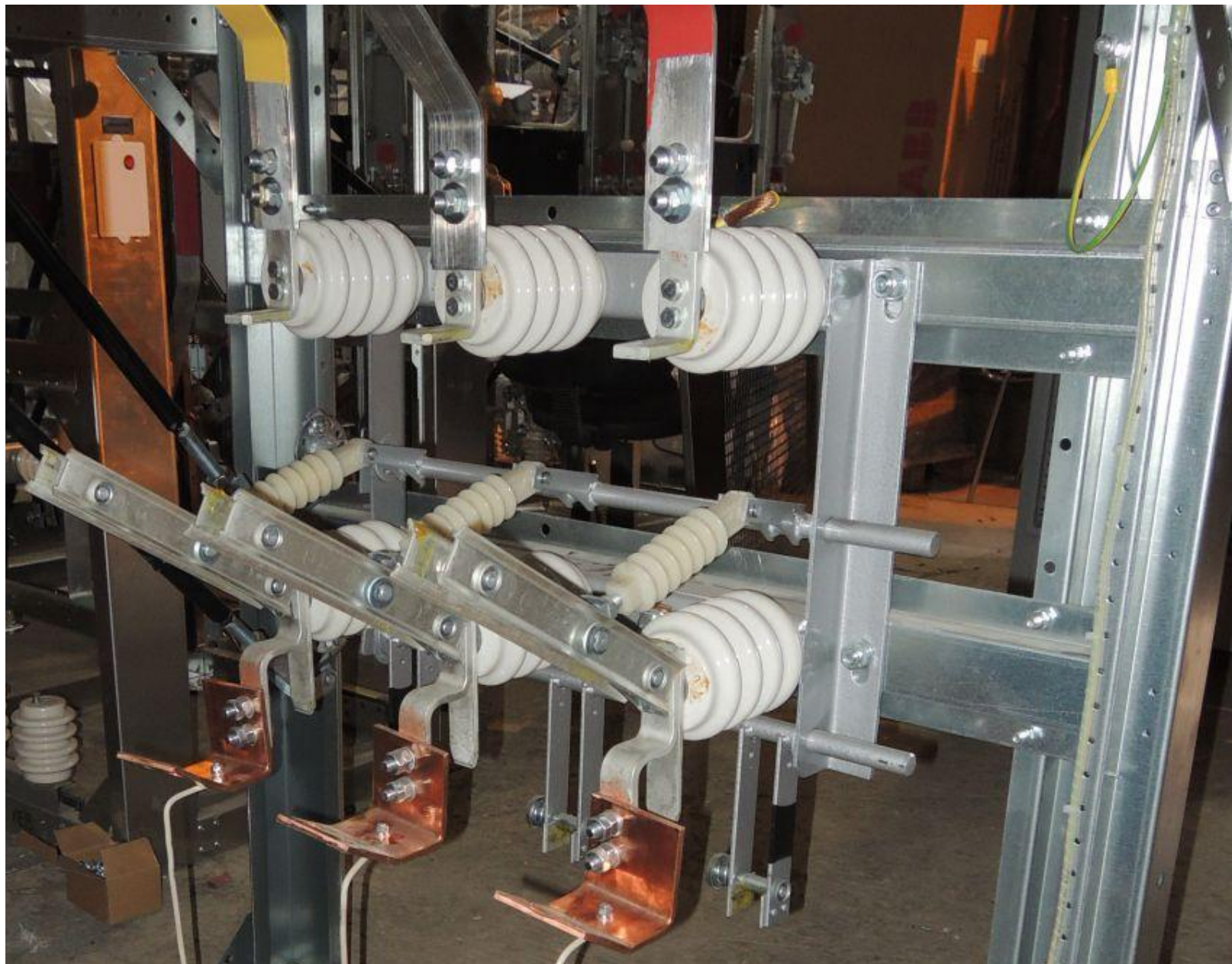


## Разъединители для внутренней установки рубящего типа: РВ, РВРЗ и др. (2)



1. медные полосы
2. контактная стойка
3. пружина
4. стальная пластина

# Конструкции разъединителей





# Конструкции разъединителей





# Конструкции разъединителей

## Разъединители для наружной установки поворотные: РН, РНДЗ, РПД, РГ, РПГ и др.

---

**РНДЗ-1-110**



**РНДЗ-330**





ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»  
Электроэнергетический факультет  
Кафедра «Электрические станции, подстанции и диагностика электрооборудования»

**Лекция №6. Общие сведения об электронных аппаратах. Гибридные электрические аппараты. Электронные аппараты низкого напряжения. Электронные аппараты высокого напряжения. Системы управления электронными аппаратами**



**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**