

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ

Предохранители. Общие сведения о предохранителях. Конструкция, классификация, характеристики, выбор плавких предохранителей. Самовосстанавливающиеся приборные предохранители. Термопредохранители и электронные предохранители. Автоматические воздушные выключатели. Общие сведения, принцип действия, основные конструкции, расцепители автоматических выключателей. Параметры, характеристики и выбор автоматических выключателей.

Классификация (условная)

- 1. Коммутационные аппараты распределительных устройств**, служащие для включения и отключения электрических цепей.
- 2. Ограничивающие аппараты**, предназначенные для ограничения токов короткого замыкания (реакторы) и перенапряжений (разрядники).
- 3. Пускорегулирующие аппараты**, предназначенные для пуска, регулирования частоты вращения, напряжения и тока электрических машин или каких-либо других потребителей электрической энергии.
- 4. Аппараты для контроля заданных электрических или неэлектрических параметров.** К этой группе относятся реле и датчики.
- 5. Аппараты для измерений.**
- 6. Электрические регуляторы.** Предназначены для регулирования заданного параметра по определенному закону.

Защитные оболочки электрических аппаратов.

Для предотвращения соприкосновения обслуживающего персонала с токоведущими или подвижными частями и исключения попадания в аппараты инородных тел устанавливаются специальные защитные оболочки.

IP00. Открытое исполнение. Защита персонала от соприкосновения с токоведущими или подвижными частями отсутствует. Инородные тела могут попадать внутрь аппарата.

IP44. Оболочка защищает аппарат от попадания внутрь него мелких предметов диаметром более 1 мм и от воздействия брызг жидкости, падающих под любым углом.

IP67. Оболочка полностью препятствует попаданию пыли и обеспечивает полную герметичность аппарата.

СВЕРХТОКИ И ЗАЩИТА ПРОВОДНИКОВ ОТ СВЕРХТОКОВ

Под *сверхтоком* понимается ток, значение которого превосходит наибольшее рабочее значение тока электроустановки [1].

Сверхтоками являются токи перегрузки и токи КЗ.

Ток перегрузки – сверхток в электрической цепи электроустановки при отсутствии повреждений, по величине превышающий номинальный ток электроустановки.

Ток повреждения – ток, который появляется в результате повреждения или перекрытия изоляции. Повреждение изоляции приводит к утечке тока, а перекрытие изоляции – к короткому замыканию.

Замыкание – всякое случайное или преднамеренное, не предусмотренное нормальным режимом работы электрическое соединение различных точек электроустановок между собой или с землей.

Короткое замыкание – замыкание, при котором токи в ветвях электроустановки, примыкающих к месту его возникновения, резко возрастают, превышая наибольший допустимый ток продолжительного режима.

Ток КЗ – сверхток, обусловленный повреждением с пренебрежимо малым полным сопротивлением между точками, находящимися под разными потенциалами в нормальных рабочих условиях. Ток КЗ в десятки-сотни раз больше рабочего тока цепи. Токи КЗ опасны своими электродинамическими и термическими воздействиями.

Предохранители. Общие сведения о предохранителях.

Предохранители – это электрические аппараты, предназначенные для защиты электрических цепей от сверхтоков. Они являются простейшими аппаратами токовой защиты с обратно-зависимой времятоковой характеристикой.

Защитное действие плавкого предохранителя заключается в том, что его плавкая вставка перегорает при сверхтоке раньше, чем этот ток вызывает повреждение в электрической цепи.

Предохранители появились одновременно с первыми электрическими сетями. Патент на первый плавкий предохранитель с наполнителем был выдан в 1890 году. Простота устройства, малые размеры, небольшая стоимость, высокое быстродействие при КЗ, высокая отключающая способность – все это обеспечило их широкое применение. Они выпускаются на токи от единиц миллиампер до тысяч ампер. Используются в цепях низкого (до 1000 В) и высокого напряжения.

Широкое применение предохранителей привело к разнообразию их конструкций. Однако, несмотря на это, все они имеют **плавкий элемент**, закрепленный в корпусе **плавкой вставки**.

Номинальным током плавкой вставки называется ток, который плавкая вставка может длительно проводить в установленных условиях без повреждения.

Предохранители выпускаются определенными сериями. В каждой серии можно выделить несколько габаритов, одинаковых для группы плавких вставок.

Номинальным током предохранителя называют ток, соответствующий наибольшей плавкой вставке, которую можно установить в данном корпусе, не перегревая соединение выше допустимой температуры. Например, если номинальный ток предохранителя 100 А, то его плавкие вставки могут иметь номинальные токи 25, 32, 40, 50, 63, 80 и 100 А.

Требования к предохранителям

- 1) защитная (или времятоковая) характеристика предохранителя должна проходить ниже защитной (времятоковой) характеристики защищаемого электрооборудования и по возможности ближе к ней;
- 2) время срабатывания предохранителя при КЗ должно быть минимальное;
- 3) предохранители при больших токах КЗ должны работать с ограничением тока, не пропуска амплитудного значения тока;
- 4) если в цепи КЗ окажутся несколько предохранителей, то должна обеспечиваться их селективность (избирательность) срабатывания;
- 5) предохранители должны обеспечивать высокую отключающую способность, не разрушаясь
- 6) характеристики предохранителя должны быть стабильными во времени. Технологический разброс их параметров не должен нарушать надежность защиты;
- 7) конструкция предохранителя должна быть удобной для монтажа и быстрой замены плавкой вставки. Желательно иметь устройства, сигнализирующие о срабатывании плавкого предохранителя.

Первое требование к предохранителям в графическом виде изображено на рисунке

В области токов «А» защита не действует, а в области «Б» – действует. Характеристика предохранителя начинается при пограничном токе $I_{погр}$. Чем ближе $I_{погр}$ к номинальному току, тем меньше область «А» и лучше защищает предохранитель.

Следует отметить, что предохранитель в принципе не может обеспечить идеальную характеристику из-за того, что постоянная времени нагревания его во много раз меньше, чем постоянная времени нагревания электрооборудования (электродвигателей, трансформаторов, кабелей и т. п.).

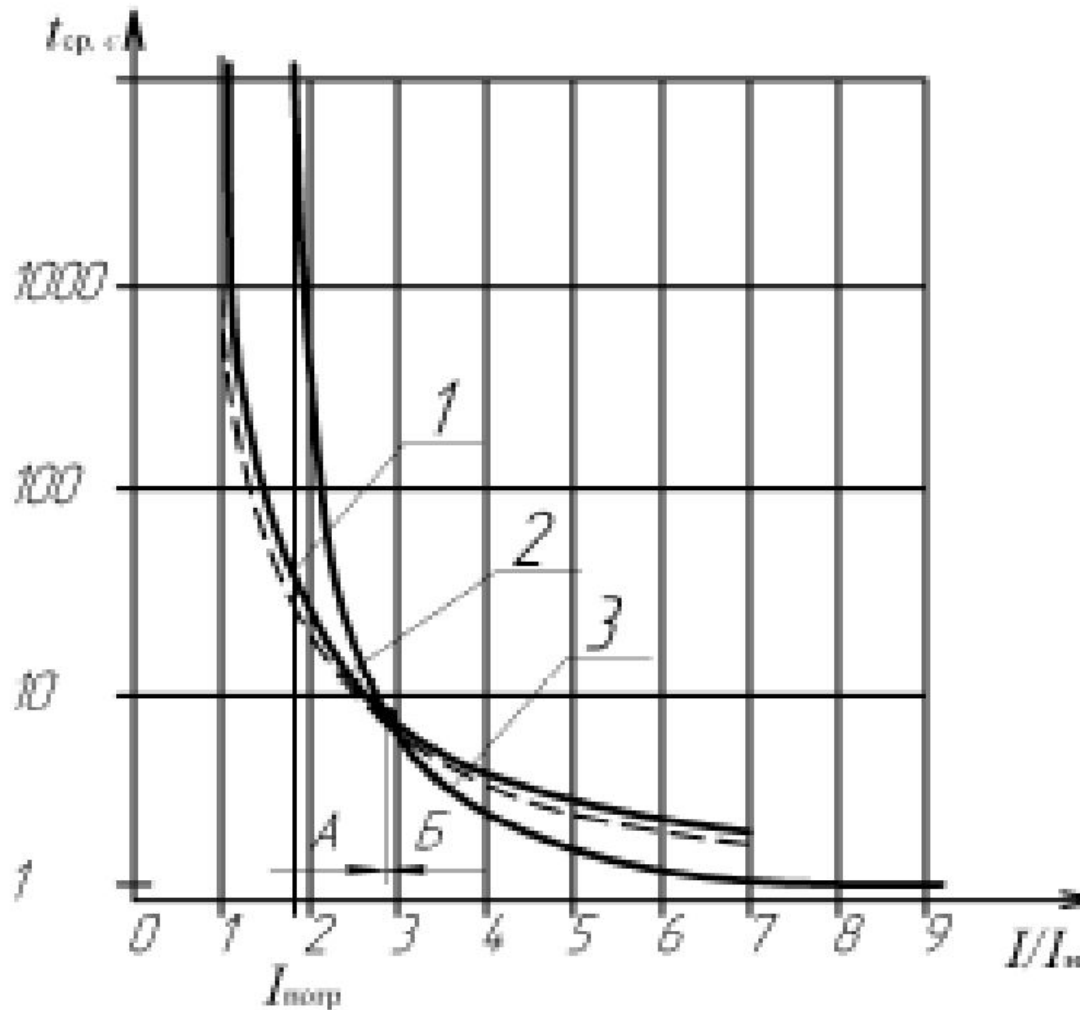


Рисунок 2.1 – Времятоковые характеристики
 1 – электрооборудования; 2 – идеального предохранителя;
 3 – реального предохранителя

ПОГРАНИЧНЫЙ ТОК

В режиме токовых перегрузок плавкого элемента можно выделить ток, при котором плавкий элемент или его часть нагревается до температуры плавления. Этот ток называется **пограничным $I_{\text{погр}}$** . Он является важной характеристикой предохранителя.

Из уравнения следует, что пограничный ток определяется в основном отношением температуры плавления материала плавкого элемента к номинальной температуре плавкого элемента.

Номинальная температура плавкого элемента соответствует номинальному току $I_{\text{ном}}$.

Отношение пограничного тока к номинальному току плавкой вставки характеризует **зону нечувствительности предохранителя к перегрузкам**.

Пограничный ток определяется по результатам испытаний плавкой вставки как среднеарифметическое из двух токов: **максимального**, не приводящего к плавлению в течение 1 ч, и **минимального**, приводящего к плавлению в течение 1 ч.

Следовательно, чем меньше отношение $I_{\text{погр}}/I_{\text{ном}}$, тем выше температура плавкого элемента.

Для снижения допустимой температуры плавкого элемента и, соответственно, пограничного тока, в медных плавких вставках используют **металлургический эффект**.

Он заключается в следующем: на небольшой участок медной фольги или проволоки наносится легкоплавкий оловянный шарик.

$$\frac{I_{\text{погр}}}{I_{\text{ном}}} = \sqrt{\left(\frac{\tau_{\text{плав}}}{\tau_{\text{ном}}}\right) \left(\frac{1 + \alpha \tau_{\text{ном}}}{1 + \alpha \tau_{\text{плав}}}\right)},$$

где $\tau_{\text{плав}}$ – температура плавления металла плавкого элемента.

Таблица 2.1– Свойства основных материалов плавких вставок

Материал вставки	Удельное сопротивление ρ_0 , мкОм·м	Температура, °С		Рекомендуемое отношение $I_{\text{погр}}/I_{\text{ном}}$ по [18]
		$\theta_{\text{доп}}$	$\theta_{\text{пл}}$	
Медь	0,0153	250	1083	1,6–2,0
Серебро	0,0147	480	961	1,1–1,6
Цинк	0,06	200	419	1,25–1,45
Свинец	0,21	150	327	1,25–1,45

металлургический эффект

Для снижения допустимой температуры плавкого элемента и, соответственно, пограничного тока, в медных плавких вставках используют *металлургический эффект*. Он заключается в следующем: на небольшой участок медной фольги или проволоки наносится легкоплавкий оловянный шарик. При токах перегрузки температура плавкого элемента повышается выше номинальной. Если она достигает 232 °С, олово плавится и начинается интенсивное растворение меди в расплавленном олове.

В результате происходит уменьшение толщины более высоко проводящего медного слоя, отчего сопротивление плавкого элемента увеличивается. Выделяется дополнительное тепло, которое способствует дальнейшему увеличению скорости растворения меди. В результате происходит расплавление слоя олова именно в месте наплавки олова при температуре 280 °С.

Предохранители с такими плавкими элементами имеют инерционную характеристику и реагируют на перегрузку (2–3)I_{ном}.

В режиме перегрузок токами КЗ металлургический эффект не оказывает заметного влияния на процесс срабатывания предохранителя. Однако предохранители с такими плавкими вставками имеют нестабильные характеристики. Если хотя бы 1 раз ток через плавкий элемент превысит значение пограничного тока, а потом снизится, то произойдет небольшое растворение меди. Характеристика предохранителя изменится. После этого процесс старения плавкой вставки значительно ускоряется.

Области режимов работы предохранителей

Предохранитель может работать в 4 областях токов, указанных на рисунке

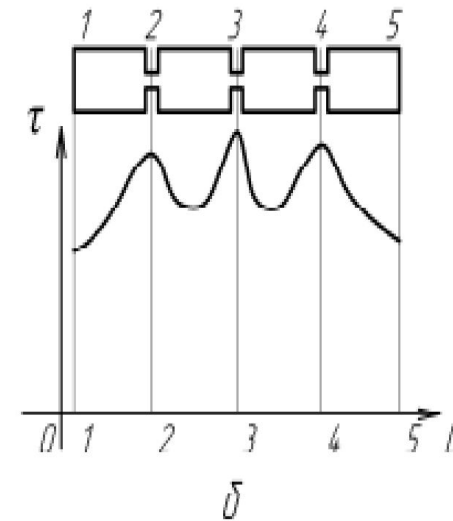
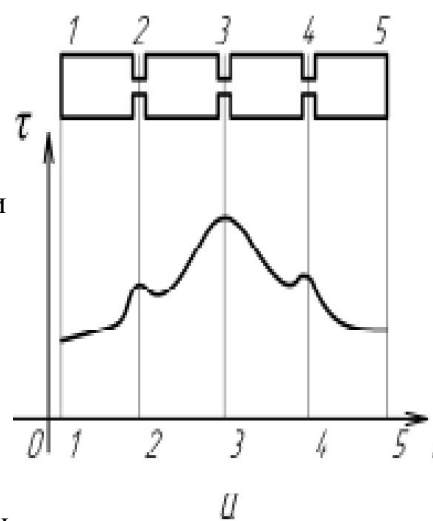
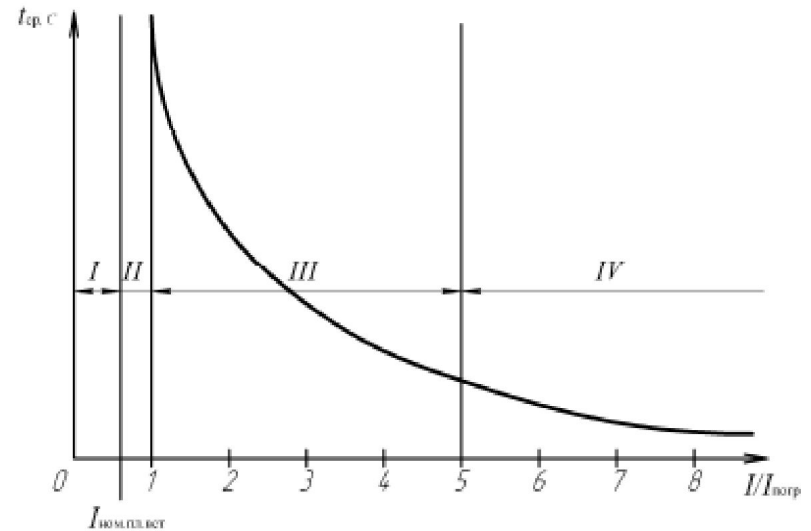
В области I (до номинального тока) предохранитель нагревается не выше номинальной температуры

При допороговой перегрузке (область II) узкий перешеек плавкого элемента не расплавляется, но нагревается до значительных температур (приближается к температуре плавления). После прекращения перегрузки состояние предохранителя возвращается в исходное. Следовательно, в этой области предохранитель не срабатывает, но его корпус нагревается до высоких температур. Происходит тепловое старение плавкой вставки.

При послепограничной перегрузке (область III) наибольшее время тратится на разогрев плавкого элемента по всей длине. Наибольшей температуры достигает узкий перешеек плавкого элемента. До момента расплавления узкого перешейка температура всех частей предохранителя значительно повышается. На месте расплавленного узкого перешейка возникает электрическая дуга, происходит ее горение и гашение. Время горения дуги при токах перегрузки больше, чем при токах КЗ. Это объясняется высокой температурой наполнителя и отводом тепла через него и корпус окружающую среду.

В режиме токов КЗ (область IV) процесс нагревания плавкого элемента до температуры плавления короткий, а время горения дуги меньше, причем дуга возникает сразу на нескольких узких перешейках.

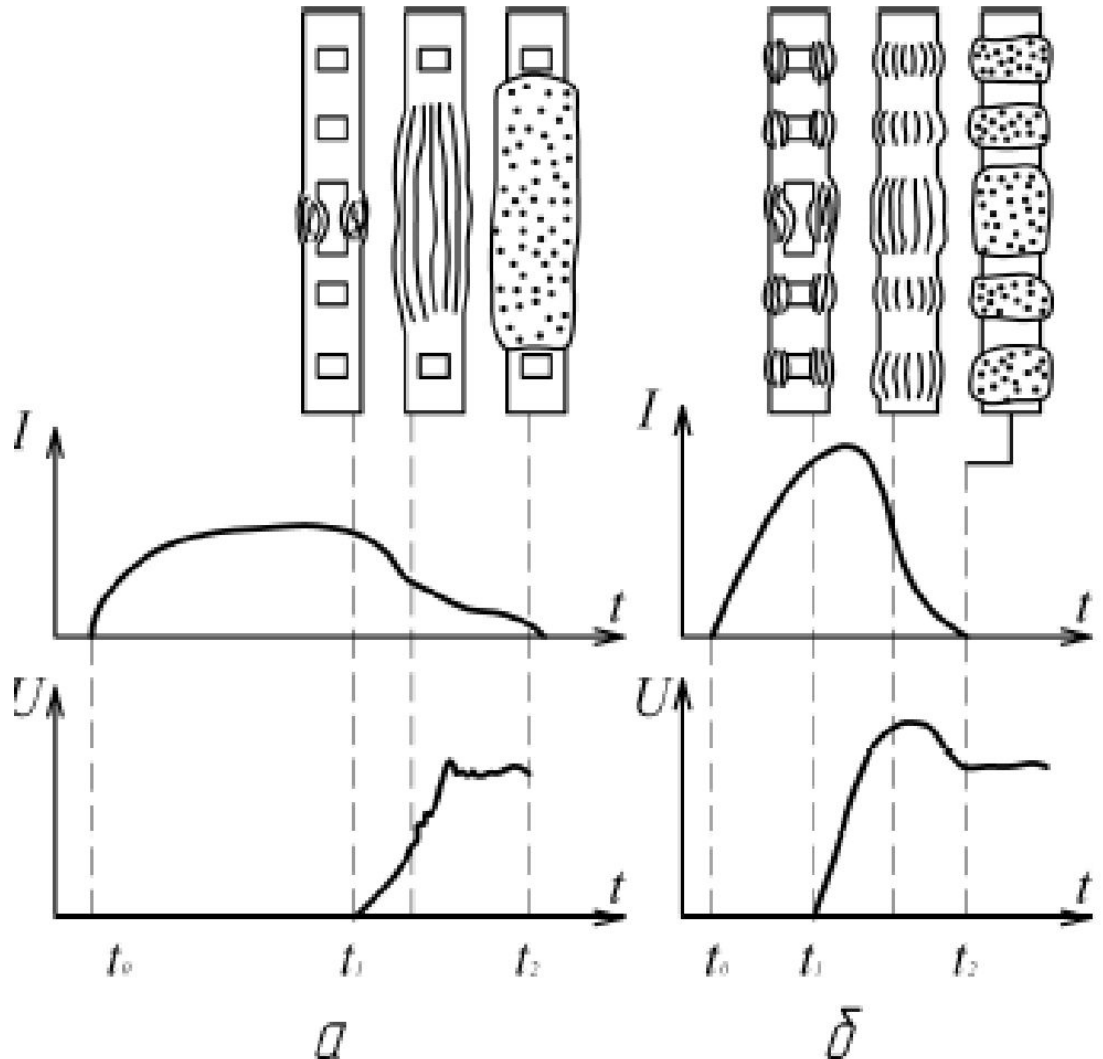
Качественно различный характер нагревания плавкого элемента изображен на рисунке. В режиме перегрузки до высокой температуры нагревается и перегорает один узкий перешеек, а при токах КЗ – три.



Состояния плавкого элемента в различные моменты срабатывания предохранителя

Из рисунка видно, что при
послепограничных перегрузках
преддуговое время значительно и
развивается одна дуга.

При токах КЗ одновременно
расплавляются все перемычки и
возникает несколько дуг.
Появление каждой новой дуги
сопровождается изменением тока
и напряжения. Внутри
предохранителя, где происходит
горение дуги, в результате
повышения давления и спекания
песчинок кварцевого песка
образуются песчаные камеры.



Характеристики плавких предохранителей

Держатели плавких предохранителей должны быть выражены следующими характеристиками:

- номинальным напряжением;
- номинальным током;
- родом тока и номинальной частотой при ее наличии;
- номинальными потерями мощности;
- типоразмером;
- числом полюсов, если их больше одного;
- пиковым выдерживаемым током.

Плавкие предохранители в комплекте должны быть выражены степенью защиты согласно ГОСТ 14254.

Стандартные значения номинальных переменных напряжений (в вольтах):

первый ряд: 230; 400; 500; 690;

второй ряд: 120; 208; 240; 270; 415; 480; 600;

для постоянного тока: 110; 125; 220; 250; 440; 460; 500; 600; 750.

Номинальное напряжение плавкой вставки может отличаться от номинального напряжения держателя плавкого предохранителя, для которого предназначена данная вставка.

Номинальное напряжение плавкого предохранителя – наименьшее из всех номинальных напряжений его частей (держателя, плавкой вставки).

Стандартный ряд токов плавкой вставки (в амперах): 2; 4; 6; 8; 10; 12; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250.

Плавкие вставки должны быть выражены следующими характеристиками:

- ✓ номинальным напряжением;
- ✓ Номинальным током;
- ✓ родом тока и номинальной частотой при ее наличии;
- ✓ номинальными потерями мощности;
- ✓ времятоковыми характеристиками;
- ✓ диапазоном отключения;
- ✓ номинальной отключающей способностью;
- ✓ характеристиками пропускаемого тока;
- ✓ Характеристиками интеграла Джоуля $\int i^2 dt$; типоразмером.

Времятоковая характеристика

Времятоковая характеристика $t = f(I)$ предохранителя показывает зависимость времени срабатывания от тока. Для любых предохранителей время срабатывания находится в обратной зависимости от тока. Характеристики плавких предохранителей принято изображать в виде графиков в логарифмическом масштабе в связи с широким диапазоном изменения их параметров.

Время срабатывания предохранителя состоит из суммы преддугowego времени и времени дуги.

Преддугowym временем $t_{\text{пред}}$ считается интервал от момента начала протекания сверхтока до момента возникновения дуги. В этот период происходит нагревание плавкой вставки до температуры плавления и переход ее из твердого состояния в жидкое.

Поэтому этот интервал разбивают еще на два участка: время до плавления $t_{\text{пл}}$ и время перехода из твердого состояния в жидкое $t_{\text{пер}}$.

Временем дуги $t_{\text{д}}$ считается интервал времени между моментом появления дуги и моментом ее окончательного погасания.

Времятоковая характеристика по оси времени может содержать значительный (минуты) или короткий (секунды) интервал времени.

Если по ней можно отсчитать значительное время, то это означает, что предохранитель общего назначения способен отключить не только токи КЗ, но и значительные токи перегрузки.

Если на оси времени можно отсчитать короткий интервал в секундах, то предохранитель используется для отключения токов КЗ и вероятнее

всего он быстродействующий.

На времятоковых характеристиках по оси времени откладывают преддуговой время или полное время срабатывания, а по оси токов – ожидаемый при КЗ ток.

Ожидаемым называется ток, который бы проходил по цепи, если бы включенный в нее плавкий предохранитель был заменен проводником, полным сопротивлением которого можно пренебречь.

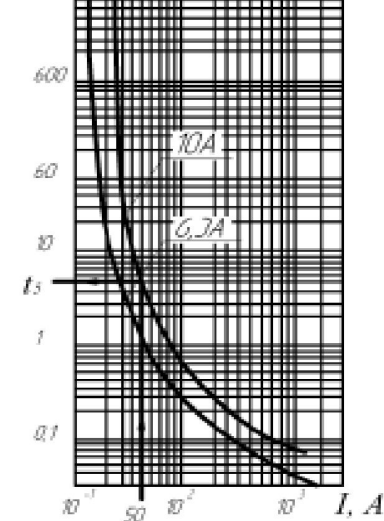


Рисунок 2.5 – Времятоковые характеристики инерционного предохранителя ППТ10 на номинальные токи плавких вставок 6,3 и 10 А

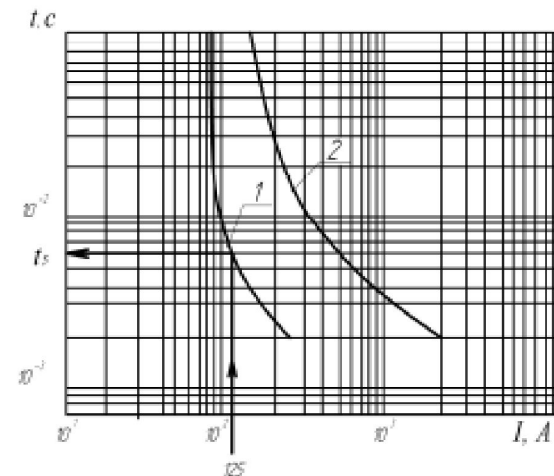


Рисунок 2.6 – Времятоковые характеристики быстродействующего предохранителя ПП50 на номинальный ток плавкой вставки 25 А:
1 – преддуговой время; 2 – полное время срабатывания

Время срабатывания предохранителя

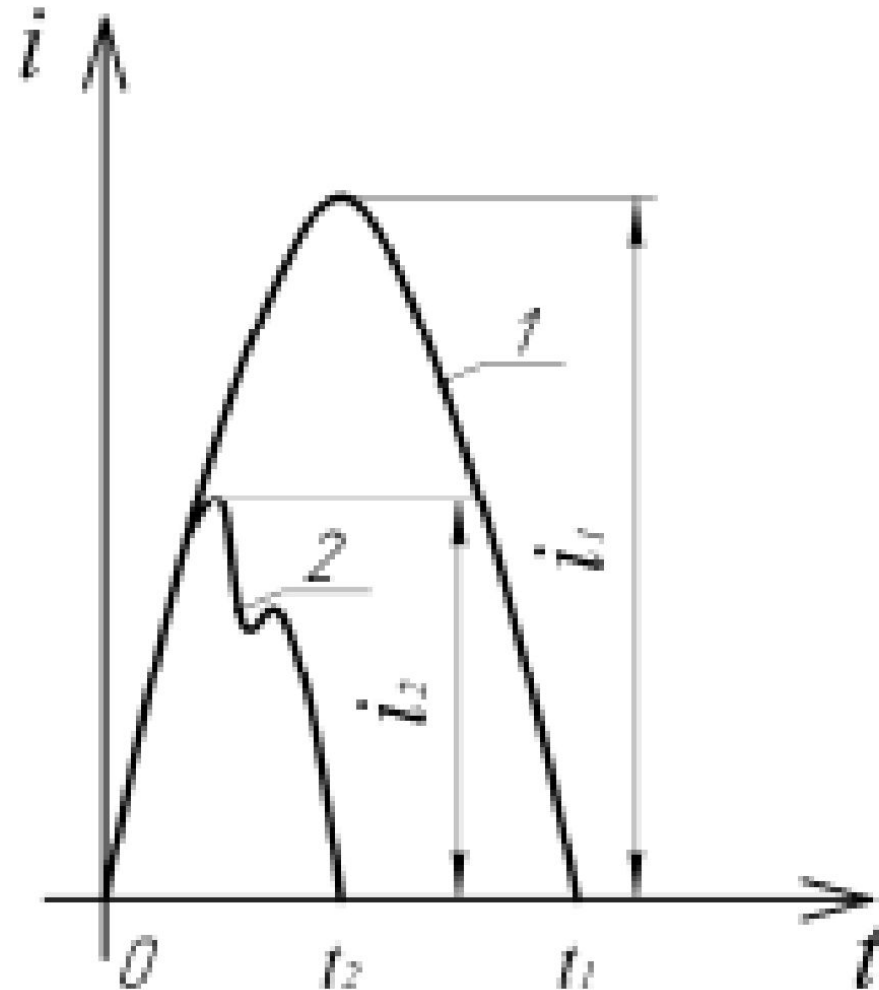
Время срабатывания предохранителя обычно определяется из графических зависимостей $t_{ср} = f(I)$. Но его можно найти из аналитических выражений. Например, для предохранителя ПН2 в интервале времени от 0,005 до 10 с время срабатывания плавкой вставки находят из выражения

$$t = \frac{2500}{\left(\frac{I}{I_{НОМ}}\right)^{4,8}}$$

Характеристики токоограничения (или пропускаемого тока) предохранителя показывает зависимость пропускаемого тока КЗ от ожидаемого тока КЗ.

Под **пропускаемым током КЗ** понимается максимальное мгновенное значение, достигаемое током в процессе отключения, когда плавкая вставка своим срабатыванием предотвращает достижение током максимально возможного в других условиях значения.

Если пропускаемый предохранителем ток равен ожидаемому току КЗ, то предохранитель не обеспечивает **токоограничения** (кривая 1).



Выбор плавкой вставки предохранителя

Допустимый нагрев предохранителя обеспечивается при номинальном токе плавкой вставки. Следовательно, при продолжительном режиме работы и не изменяющемся по величине токе нагрузки (рисунок а) номинальный ток плавкой вставки должен быть равен (или больше) рабочему току цепи $I_{раб}$:

$$I_{н.пл.вст} \geq I_{раб}$$

В остальных случаях требуется учитывать токовую нагрузочную диаграмму защищаемой цепи.

При продолжительном режиме работы и изменяющемся по величине токе нагрузки без пусковых токов вычисляется расчетный $I_{расч}$ (эквивалентный) ток (рисунок 2.17, б).

Номинальный ток плавкой вставки в этом случае должен быть

$$I_{н.пл.вст} \geq I_{расч} K_{зап}, (2)$$

где $K_{зап}$ – коэффициент запаса, учитывающий увеличение рабочего тока относительно расчетного тока; $K_{зап} = 1,1-1,2$.

При включении осветительных установок наблюдаются кратковременные (менее 0,05 с) броски тока, превышающие рабочие токи в 8–14 раз (рисунок 2.17, в). Аналогичные броски тока имеют место при включении контакторов и электромагнитов переменного тока.

При частых включениях таких электрических приборов необходимо завышать ток плавкой вставки и вычислять его по уравнению (2).

При пуске асинхронных электродвигателей наблюдаются значительные пусковые токи различ астоты, превып в 4,5–7,5 раза (рисун

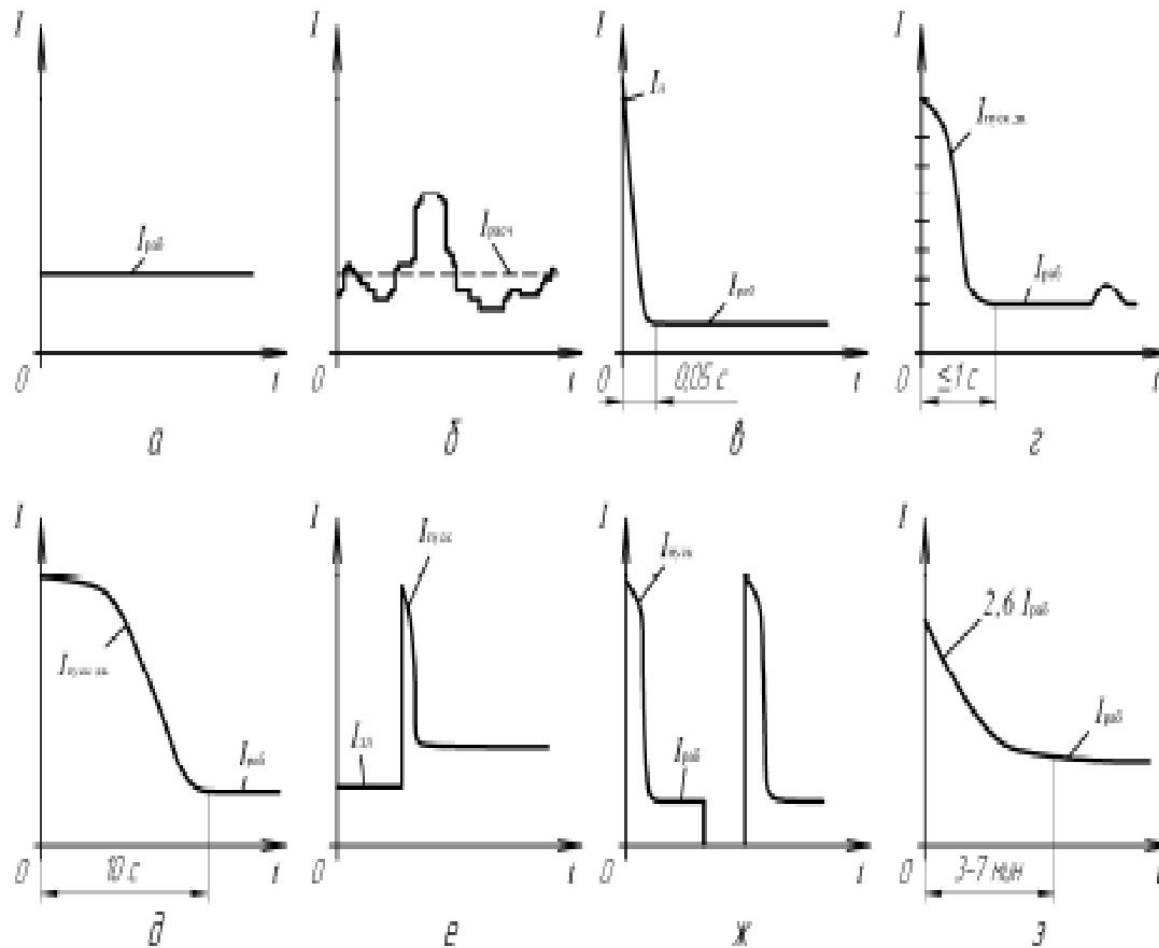
$$I_{н.пл.вст} = \frac{I_{пуск.дв}}{\alpha}$$

где α – коэффициент, зависящий от времени действия пусковых токов и частоты их проявления.

Если продолжительность пуска менее 1 с и пусков в час не более 15, то $\alpha = 2,5$ (рисунок 2.17, г).

Если продолжительность пуска от 1 до 10 с и пусков в час не более 15, то α изменяется от 2,5 до 1,75 (рисунок 2.17, д).

Если электродвигатель работает в повторно-кратковременном режиме с частыми пусками, то α уменьшают до 1,6 (рисунок 2.17, ж).



Чем чаще производится включение и отключение электродвигателей, тем больший должен быть запас надежности предохранителей. В этих режимах медные плавкие элементы плавких вставок подвержены значительным термическим напряжениям и быстро стареют.

Несколько последовательно включенных предохранителей

На рисунке *a* показана схема питания потребителя. При КЗ у потребителя для обеспечения селективности требуется, чтобы первым сработал предохранитель $FU3$. Если же этого не произойдет, то перегорит $FU2$ и отключатся все потребители, подключенные к НКУ, что недопустимо.

Чтобы избежать этого, защитная характеристика более удаленного предохранителя должна лежать выше защитной характеристики ближайшего к месту КЗ предохранителя.

В этом случае фактическое время срабатывания $t_{ср.2}$ предохранителя $FU2$ (на больший ток) должно быть больше наибольшего времени срабатывания $t_{ср.3}$ предохранителя $FU3$ (на меньший ток), т. е.

$$t_{ср.2} \geq t_{ср.3}.$$

Учитывая 50%-ный разброс характеристик, для предохранителя $FU2$ следует взять отрицательный допуск по времени срабатывания, а для предохранителя $FU3$ – положительный допуск. Тогда

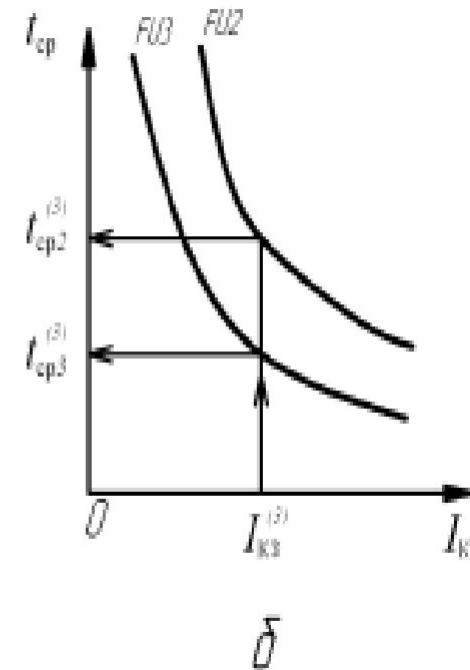
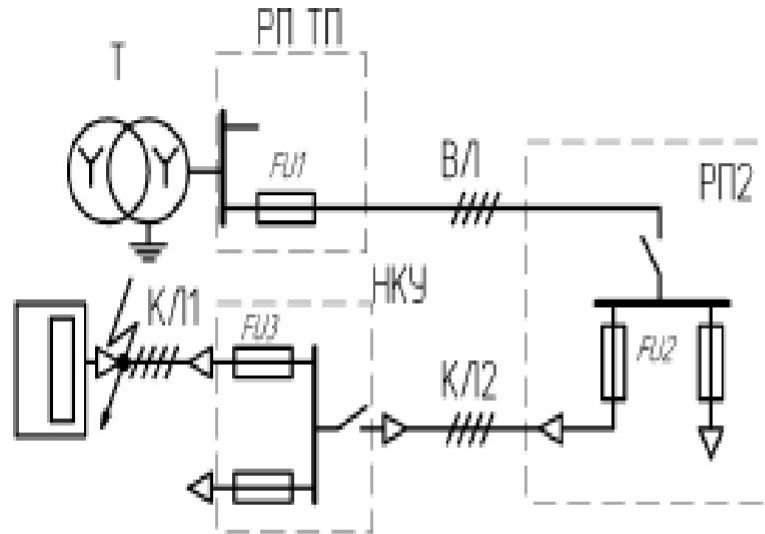
$$0,5t_{ср.2} > 1,5t_{ср.3}.$$

В результате получим необходимое условие селективности в общем виде:

$$t_{ср.б} \geq 3t_{ср.м},$$

где $t_{ср.б}$, $t_{ср.м}$ – время срабатывания большего и меньшего по току предохранителя, с.

Таким образом, для селективной работы предохранителей необходимо, чтобы **время срабатывания предохранителя на больший ток было в три раза больше, чем у предохранителя на меньший ток**

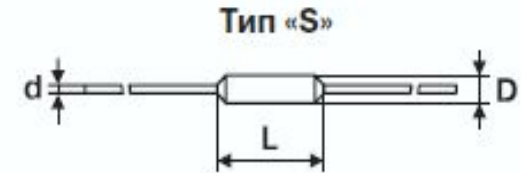
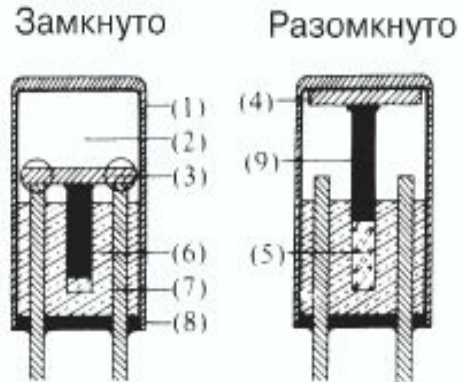


ТЕРМОПРЕДОХРАНИТЕЛИ

Термопредохранители предназначены для защиты дорогостоящих компонентов и оборудования, таких как трансформаторы, электродвигатели, мощные транзисторы выходных каскадов усилителей, от повреждения при перегреве выше допустимой рабочей температуры.

Принцип действия: В нормальном состоянии термопредохранитель имеет нулевое сопротивление. При нагреве термопредохранителя (от защищаемого компонента) до температуры срабатывания разрушается внутренняя термочувствительная перемычка, размыкая цепь, в которую включен термопредохранитель.

Термопредохранители, как и плавкие предохранители, — это компоненты одноразового действия. После срабатывания необходимо устранить причину и заменить термопредохранитель.



Внутреннее устройство:

1. Корпус
2. Изолятор
3. Термозлемент
4. Проводящая перемычка
5. Пружина
6. Основание (держатель)
7. Выводы
8. Эпоксидный компаунд
9. Толкатель
10. Специальный поглощающий компаунд

Самовосстанавливающийся предохранитель

Самовосстанавливающийся [предохранитель](#) — [полимерное](#) устройство с положительным температурным коэффициентом сопротивления, применяемое в защите электронной аппаратуры.

Принцип действия основан на резком увеличении [сопротивления](#) Принцип действия основан на резком увеличении сопротивления при превышении порогового [тока](#), протекающего через него. Сопротивление в сработавшем состоянии зависит от следующих факторов: типа используемого устройства, приложенного к нему напряжения U и мощности, рассеиваемой на устройстве P_d . Величина этого сопротивления может быть вычислена по формуле:

$$R_t = U^2 / P_d$$

После отключения питания (отключения нагрузки, уменьшения напряжения и т. д.) по истечении некоторого времени вновь уменьшает своё внутреннее сопротивление — самовосстанавливается. Увеличение сопротивления сопровождается нагревом предохранителя примерно до 80 градусов по Цельсию.

Полимерный самовосстанавливающийся предохранитель представляет собой матрицу из непроводящего ток полимера, смешанного с [техническим углеродом](#). В холодном состоянии полимер кристаллизован, а пространство между кристаллами заполнено частицами углерода, образующими множество проводящих цепочек.

Если через предохранитель начинает протекать слишком большой ток, он начинает нагреваться, и в какой-то момент времени полимер переходит в аморфное состояние, увеличиваясь в размерах. Из-за этого увеличения углеродные цепочки начинают разрываться, что вызывает рост сопротивления, и предохранитель нагревается еще быстрее. В конце концов сопротивление предохранителя увеличивается настолько, что он начинает заметно ограничивать протекающий ток, защищая таким образом внешнюю цепь.

После устранения замыкания, когда протекающий ток снизится до исходного значения, предохранитель остывает и его сопротивление возвращается к начальному значению.

Такие предохранители часто применяются в бытовых [ПЭВМ](#) Такие предохранители часто применяются в бытовых ПЭВМ для защиты от перегрузок или [КЗ](#) Такие предохранители часто применяются в бытовых ПЭВМ для защиты от перегрузок или КЗ в цепях [USB](#) Такие предохранители часто применяются в бытовых ПЭВМ для защиты от перегрузок или КЗ в цепях USB-, [FireWire](#)-портов, и других интерфейсах с подводимым питанием.

Автоматический выключатель —

механический коммутационный аппарат, способный включать, проводить и отключать токи при нормальных условиях цепи, включать и проводить токи в течение определенного промежутка времени и прерывать их при определенных аномальных условиях цепи, например, при коротких замыканиях.

Автоматические воздушные выключатели имеют ручное местное или дистанционное управление. Они отключают электрическую цепь автоматически с помощью *расцепителей* при возникновении сверхтока или других аварийных режимов в цепи. Коммутация цепи происходит между подвижным и неподвижным контактами. Упрощенно можно считать, что автоматические выключатели объединяют функции рубильника (или контактора при дистанционном включении) и реле защиты. Роль реле защиты от аварийного режима выполняют *расцепители*.

Воздушными автоматы называют потому, что их контакты замыкаются и размыкаются в воздухе при атмосферном давлении.

Конструкции, характеристики и защитные функции автоматических выключателей весьма разнообразны. Можно условно разделить

их по назначению и принципам конструирования на три большие группы:

- 1) общего назначения;
- 2) быстродействующие на большие постоянные токи;
- 3) специальные.

К автоматическим выключателям предъявляются следующие требования:

- 1) в течение продолжительного времени токоведущие части выключателя должны пропускать номинальный ток, не перегреваясь. На этот ток рассчитаны его присоединительные зажимы, контакты, электромагнитные расцепители; __
- 2) в течение короткого времени через токоведущую цепь автоматического выключателя может протекать значительный ток КЗ, и элементы этой цепи должны выдержать этот ток, не разрушаясь;
- 3) автоматические выключатели должны иметь малое время отключения. Это позволит обеспечить электродинамическую и термическую стойкость защищаемых электроустановок, уменьшить разрушение и другие последствия, возникающие от больших токов КЗ;
- 4) автоматические выключатели должны иметь минимальные зоны выхлопа нагретых и ионизированных газов в процессе гашения дуги. Это позволит уменьшить габариты распределительного устройства и повысить безопасность обслуживания;
- 5) расцепители автоматических выключателей должны обеспечить необходимые уставки срабатывания и селективность. Удобно иметь регулируемые по току срабатывания и задержке времени расцепители.

Принцип действия автоматического выключателя с электромагнитным расцепителем максимального тока

Для отключения тока КЗ используются автоматические выключатели с электромагнитным расцепителем максимального тока. Этот расцепитель является основным в автоматических выключателях.

Принцип действия автоматического выключателя с электромагнитным расцепителем максимального тока рассмотрим на примере однополюсного аппарата. Он включается с помощью рукоятки 1 (т. е. замыкается подвижный контакт 2 с неподвижным контактом 4, сжимается отключающая пружина 5, и рычаг 6 сцепляется с защелкой 7). Пружина 8 удерживает защелку от размыкания.

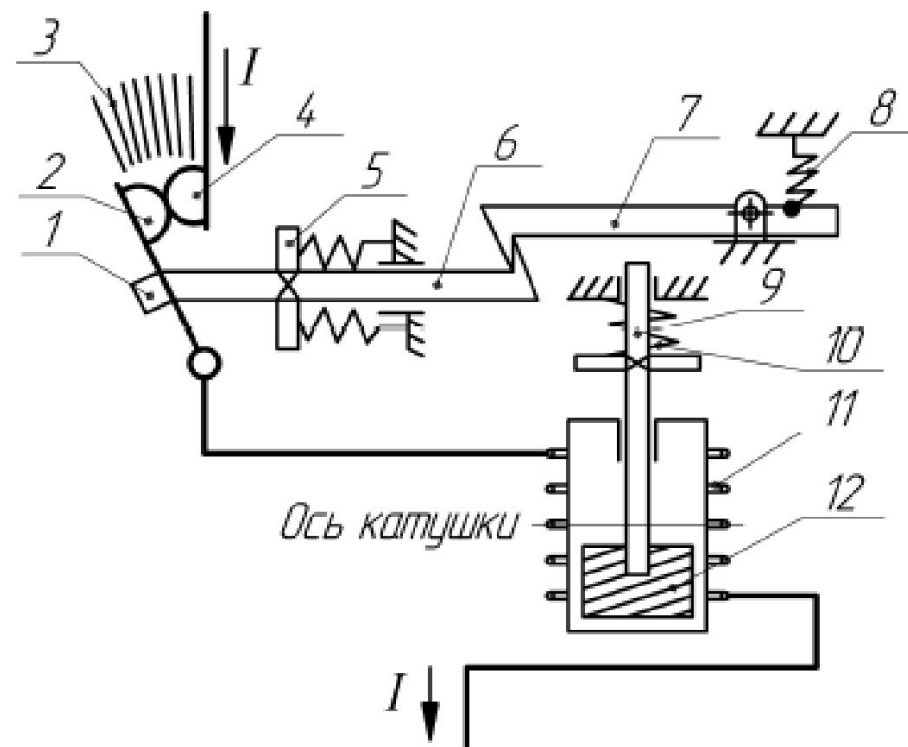
При протекании токов нагрузки меньших, чем ток КЗ, электромагнитный расцепитель не срабатывает, хотя на его якорь 12 действует сила, сжимающая регулировочную пружину 10 и стремящаяся расположить его по оси катушки расцепителя 11.

При токах КЗ якорь электромагнита 12 перемещается к оси катушки, преодолевая противодействие регулировочной пружины 10. Боек 9, приобретая кинетическую энергию, совместно с якорем электромагнита 12 перемещается вверх и ударяет по защелке 7. Защелка поворачивается и расцепляется с рычагом 6.

Под действием отключающей пружины 5 подвижный контакт 2 отходит от неподвижного контакта и цепь нагрузки разрывается. Возникающая при разрыве цепи дуга гаснет в дугогасительной решетке 3.

Ток срабатывания электромагнитного расцепителя можно изменить за счет уменьшения или увеличения числа витков катушки расцепителя при изготовлении его на заводе-изготовителе или путем изменения степени сжатия регулировочной пружины 10. С увеличением степени сжатия пружины ток срабатывания увеличивается, при уменьшении степени сжатия – уменьшается.

Большинство современных автоматов с электромагнитным расцепителем максимального тока не допускают регулировку тока срабатывания в эксплуатации. Для них указывается одно минимальное, гарантированное значение тока срабатывания. При больших значениях автомат также срабатывает. Только при ремонте автомата возникает необходимость регулировки его тока срабатывания.



Тепловой расцепитель

В автоматических выключателях тепловые расцепители предназначены для защиты электрической цепи от токов перегрузок. Они аналогичны по конструкции и принципу действия тепловым реле.

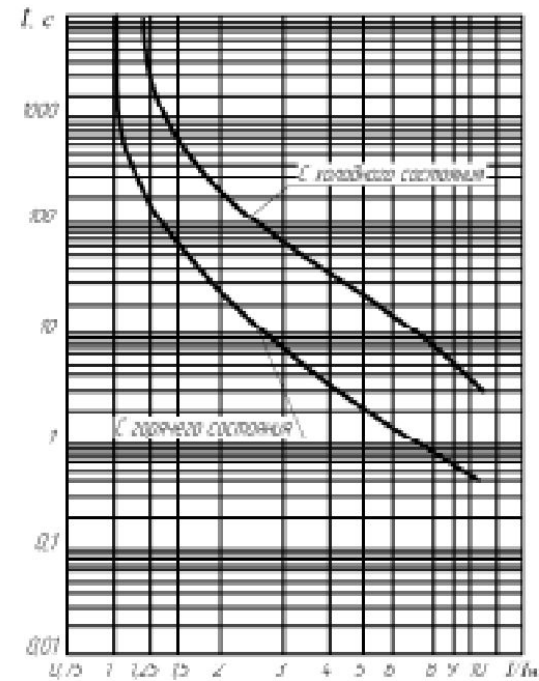
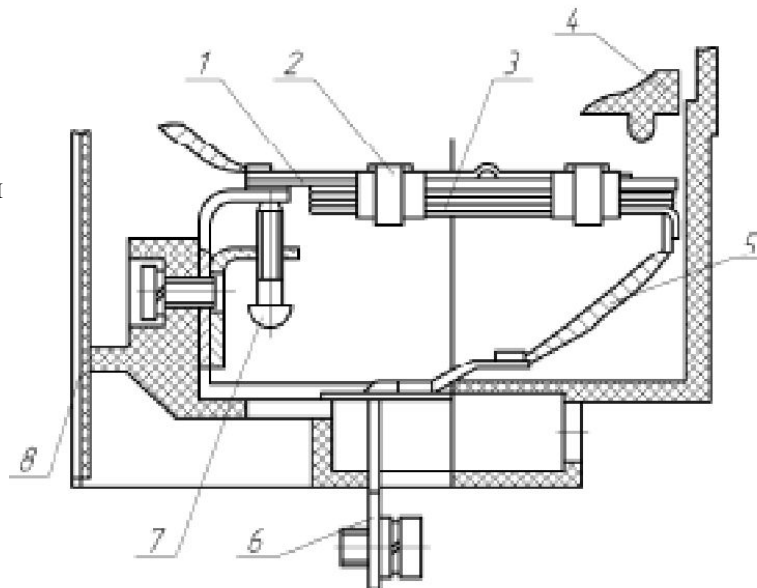
Наиболее часто тепловые расцепители используются совместно с электромагнитными расцепителями максимального тока, реже – отдельно.

Номинальный ток тепловых расцепителей не превышает 200 А, при этом тепловые расцепители на большой ток имеют шунт.

Тепловые расцепители обеспечивают зависимую от тока защитную характеристику (рисунок).

Обычно защитная характеристика теплового расцепителя задается в виде двух линий, соответствующих срабатыванию с холодного и горячего состояний.

При отсутствии механизма температурной компенсации (у большинства выключателей) защитная характеристика тепловых расцепителей зависит от температуры окружающей среды.



а

— Тепловой расцепитель автоматического выключателя АЕ25, (а), и его защитная характеристика при температуре 40 °С (б):

1 – биметаллическая пластинка; 2 – бандаж, крепящий нагреватели к биметаллической пластинке; 3 – нагреватели; 4 – отключающая рейка; 5 – гибкий токоподвод; 6 – присоединительная клемма; 7 – регулировочный винт; 8 – корпус

б

Комбинированный расцепитель

Комбинация теплового и электромагнитного расцепителей используется в большинстве автоматических выключателей. В этом

случае расцепитель называется комбинированным.

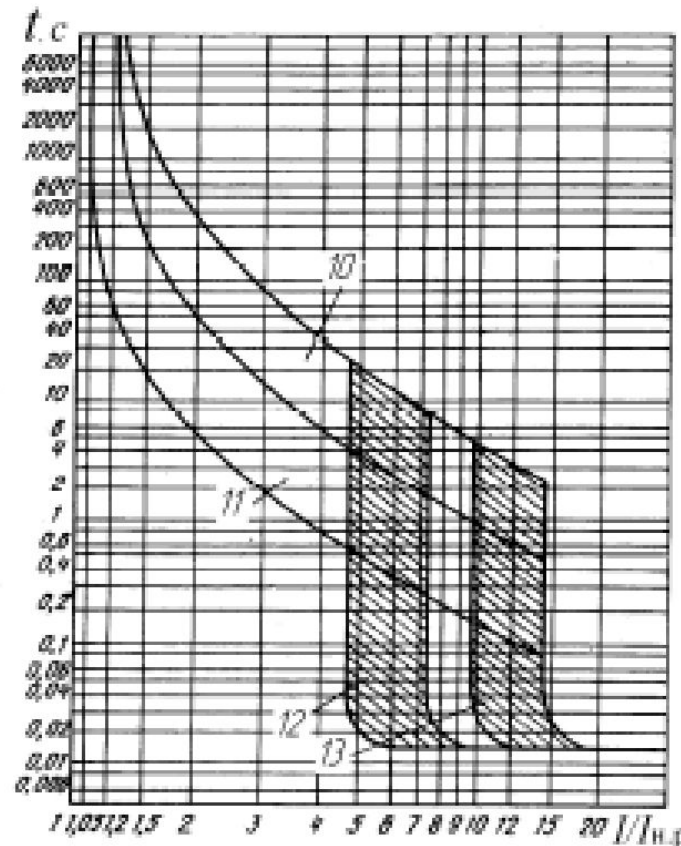
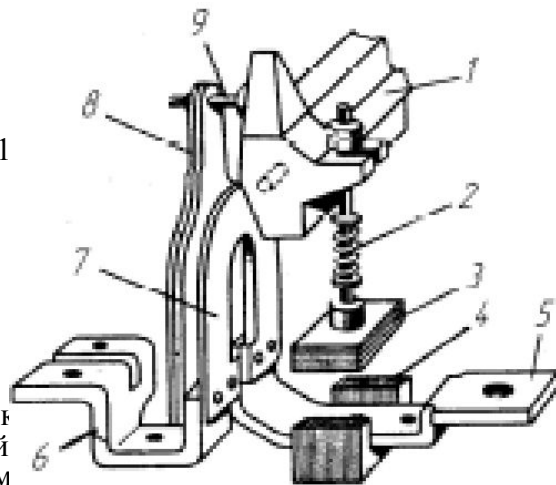
На рисунке приведена конструкция комбинированного расцепителя автоматического выключателя ВА51 на ток 200 А.

Тепловой расцепитель образован биметаллической пластиной 8 подковообразной формы, которая у основания соединена с подковообразным шунтом 7.

Таким образом, по биметаллической пластине проходит часть общего тока медной шины 6. Электромагнитный расцепитель образован сердечником 4, якорем 3 и возвратной пружиной. Обмотка 5 электромагнитного расцепителя состоит из одного витка (шины).

При токах перегрузки срабатывает тепловой расцепитель, а при токах I – электромагнитный. Оба расцепителя воздействуют на отключающую рейку 1.

Далее приведены времятоковые характеристики автоматических выключателей с комбинированным расцепителем, соответствующие международным стандартам.



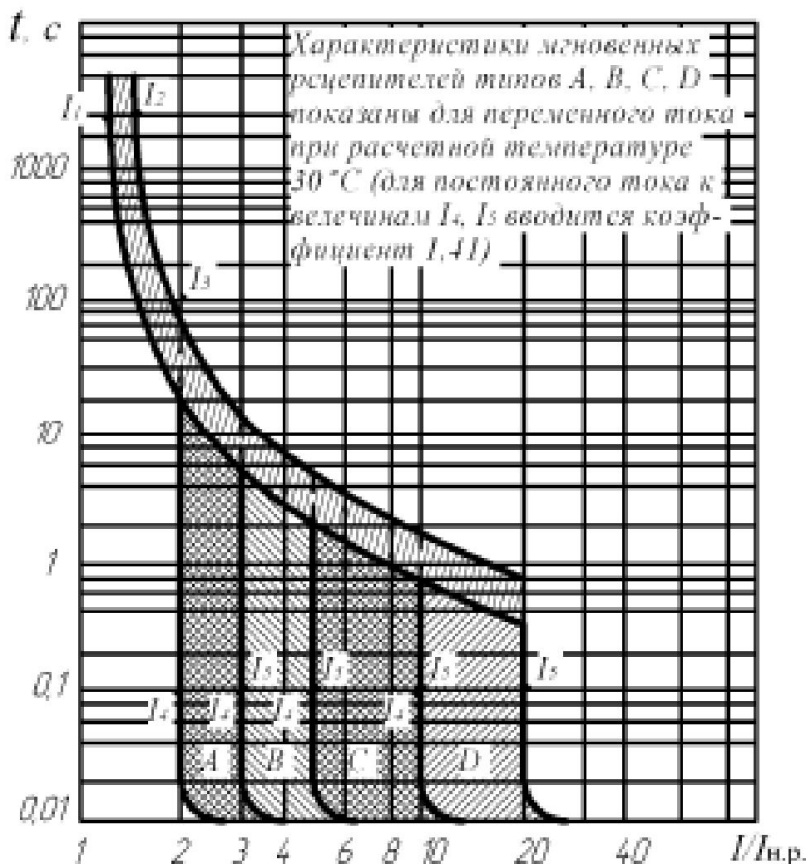
I

δ

1 – отключающая рейка; 2 – возвратная пружина электромагнитного расцепителя; 3 – якорь; 4 – сердечник электромагнитного расцепителя; 5 – обмотка электромагнитного расцепителя; 6 – медная шина; 7 – шунт теплового расцепителя; 8 – биметаллическая пластина подковообразной формы; 9 – регулировочный винт теплового расцепителя; 10 – зона действия теплового расцепителя с холодного состояния; 11 – зона действия теплового расцепителя с горячего состояния; 12 – зона действия электромагнитного расцепителя на переменном токе; 13 – зона действия электромагнитного расцепителя на постоянном токе

На рисунке приведены времятоковые характеристики автоматических выключателей с комбинированным расцепителем, соответствующие международным стандартам.

В таблице приведены режимы срабатывания расцепителей различных типов автоматических выключателей модульного исполнения серии 5S фирмы Siemens на токи до 125 А, соответствующие рисунку.



Тип мгновенных расцепителей	Тепловой расцепитель при токах испытания		Время срабатывания теплового расцепителя для токов вставки, ч		Электромагнитный расцепитель при токах испытания		
	малом I_1	большом I_2	меньше или равном 6,5 А	больше чем 6,5 А и меньше чем 125А	удержания I_4	срабатывания, не более I_5	Время срабатывания, с
А	$1,13I_{н}$	–	>1	>2	$2I_{н}$	–	$\geq 0,1$
	–	$1,45I_{н}$	<1	<2	–	$3I_{н}$	$<0,1$
В	$1,13I_{н}$	–	>1	>2	$3I_{н}$	–	$\geq 0,1$
	–	$1,45I_{н}$	<1	<2	–	$5I_{н}$	$<0,1$
С	$1,13I_{н}$	–	>1	>2	$5I_{н}$	–	$\geq 0,1$
	–	$1,45I_{н}$	<1	<2	–	$10I_{н}$	$<0,1$
D	$1,13I_{н}$	–	>1	>2	$10I_{н}$	–	$\geq 0,1$
	–	$1,45I_{н}$	<1	<2	–	$20I_{н}$	$<0,1$

Примечания:

1. При других температурах окружающей среды токи испытания I_1 и I_2 изменяются примерно на 5 % на каждые 10 °С разности температур. При температурах меньше 30 °С токи возрастают, а при температурах больше 30 °С – уменьшаются.
2. Нормы срабатывания выключателей российских производителей должны соответствовать ГОСТ Р50345-92, ГОСТ Р50030-1-94 (IEC 947-2-89).

Электронный расцепитель

Применяется для защиты электрических цепей от перегрузки и токов КЗ. Датчиками тока служат трансформаторы тока (для выключателей переменного тока), магнитные усилители (для выключателей постоянного тока) или элементы Холла в интегральном исполнении.

Усилительные схемы и отдельные узлы сначала строились на транзисторах и тиристорах, теперь – на базе операционных усилителей, цифровых элементов и микропроцессоров. Выходной сигнал подается на **независимый расцепитель** автомата для его отключения.

Структурная схема на рисунке *а*.

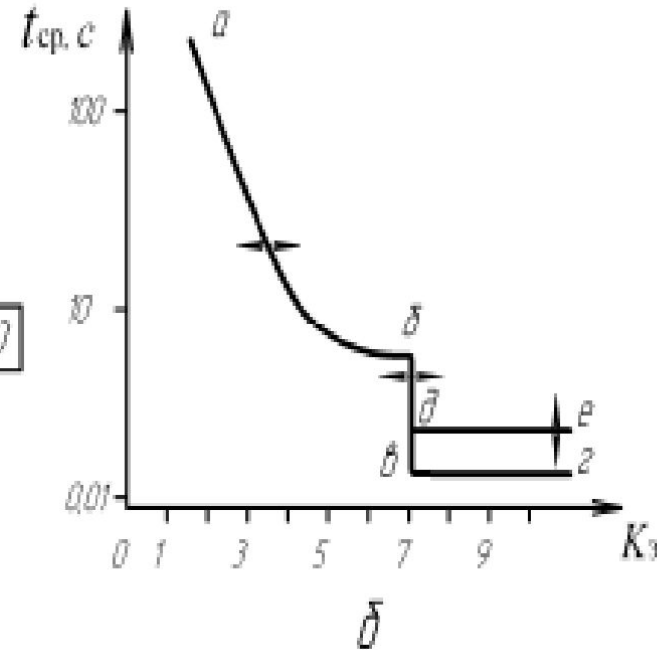
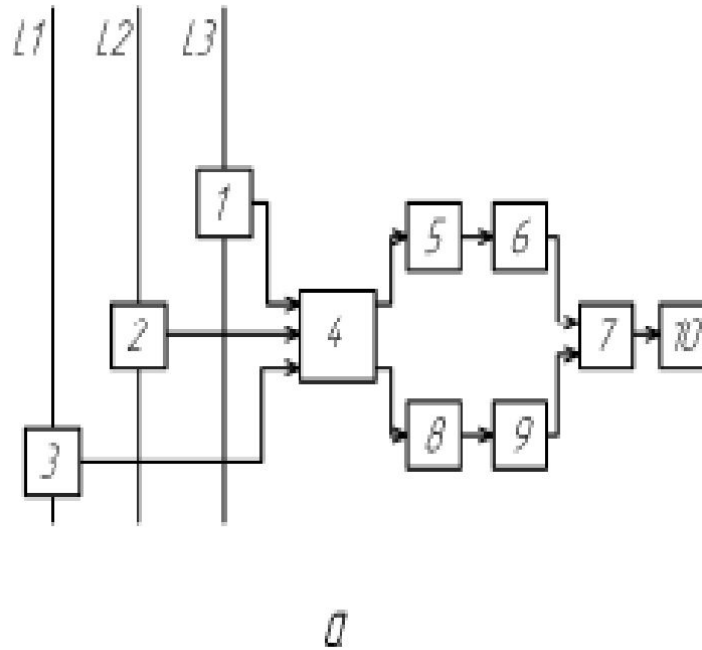
Датчики 1, 2 и 3 измеряют токи по трем фазам защищаемой установки. Блок 4 преобразовывает сигнал.

Если сигнал от блока преобразования 4 соответствует току перегрузки, то включается блок контроля уровня сигнала 5, который запускает блок временной задержки 6. Чем больше величина сигнала на входе блока 5, тем меньше длится задержка времени блока 6. Получается зависимость от тока ветвь защитной характеристики (кривая *а**б*) на рисунке *б*.

При токе КЗ сигнал с блока преобразования 4 достаточен для запуска блока контроля уровня сигнала 8, выполняющего функции отсечки и вырабатывающего сигнал на мгновенное срабатывание (линия *б**в*) (рисунок *б*). Этот сигнал поступает на блок 9, который создает постоянную небольшую задержку (линия *в**г*) на срабатывание для отстройки от «исчезающего» КЗ или, по необходимости, регулируемой задержку (линия *д**е*) для селективной работы автомата с другими последовательно включенными в сеть автоматами.

Усилитель или компаратор 7 включает исполнительный орган 10 (независимый расцепитель), отключающий автомат от сети.

Электронные расцепители имеют возможность регулировать номинальный ток расцепителя от $0,5I_{ном}$ до $1,2I_{ном}$ (перемещение линии *а**б*, рисунок *б*), ток отсечки от $2I_{ном}$ до $(9-11)I_{ном}$



Структурная схема электронного расцепителя (*а*) и его защитная характеристика (*б*): 1, 2, 3 – датчики тока; 4 – блок преобразования; 5, 8 – блоки контроля уровня сигнала; 6, 9 – блоки временной задержки; 7 – усилитель или компаратор; 10 – исполнительный орган

Автоматические выключатели с электронным расцепителем дороже автоматических выключателей с электромагнитным расцепителем. Они применяются при номинальных токах автоматов от 100 А и выше.

Наблюдается тенденция применения их при меньших токах. Механическая часть автоматов при использовании электронного расцепителя упрощается. Но главное их преимущество состоит в широких диапазонах регулирования токов и времени срабатывания, а также более тонкой и точной регулировке токов и времени срабатывания.

Электронные расцепители удобны в эксплуатации, перспективны и могут обеспечивать дополнительные функции: индикацию токов нагрузки, связь по интерфейсу с компьютером верхнего уровня и т. д.

Развитие и совершенствование автоматических выключателей

К первому поколению автоматических выключателей

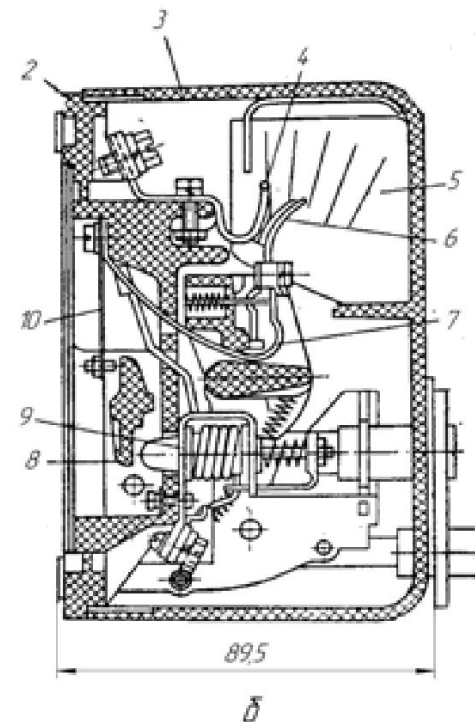
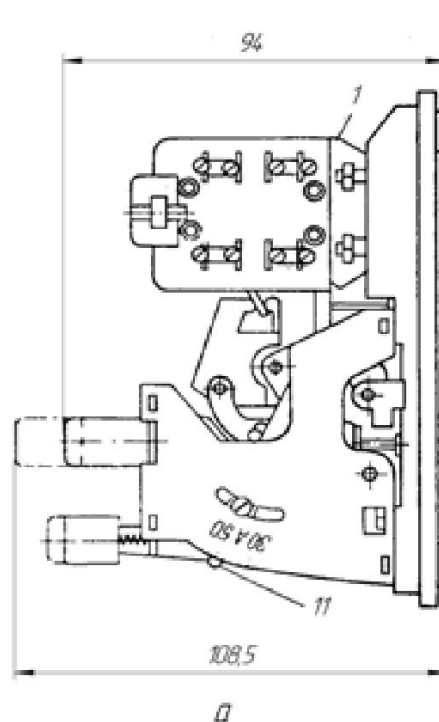
условно можно отнести следующие типы: АБ25; АЕ1000; АП50; АК63 и АК50; А63; А3100.

Автоматические выключатели АП50 применяются в электроустановках до сих пор в виде усовершенствованной модели АП50Б. Отключаются от других автоматов простой конструкцией (рисунок), поэтому они дешевле других автоматов.

Автоматические выключатели данной серии предназначены для сетей постоянного тока до 220 В и переменного тока до 500 В, с небольшой частотой включений (от 6 до 30 в сутки), в том числе пуска и защиты цепей электродвигателя.

Номинальный ток автомата – 63 А, а номинальные токи теплового или электромагнитного расцепителя – от 1,6 до 63 В. Автоматы могут иметь тепловой, электромагнитный или комбинированный расцепители, причем электромагнитные расцепители могут иметь кратность тока срабатывания 3,5/н.расц или 10/н.расц.

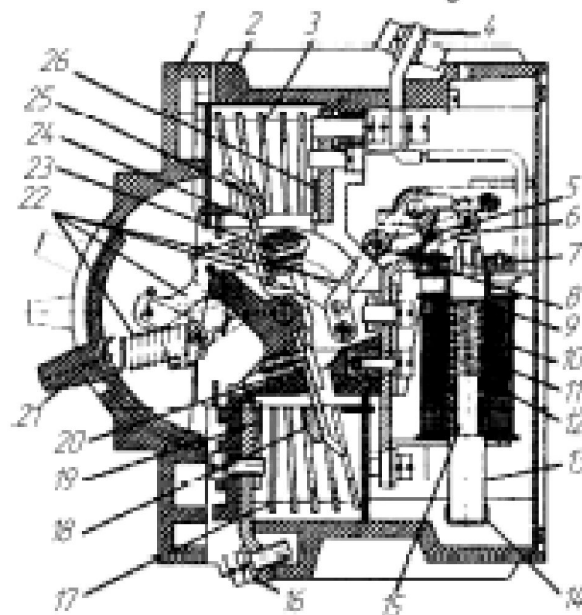
Автоматические выключатели АП50 имеют дополнительные элементы: независимый расцепитель; расцепитель минимального напряжения; максимальный расцепитель в нулевом проводе или для цепей управления; свободные два или один переключающие контакты (или без них).



Автоматические выключатели серии АК63 и АК50 отличаются от других выключателей наличием двух пар контактов и дугогасительных камер на один полюс. Благодаря этому они имеют большую отключающую способность и надежность. Автоматы не содержат тепловой расцепитель.

Зависимая от тока характеристика срабатывания формируется электромагнитным расцепителем с гидравлическим замедлением срабатывания (рисунок).

Выпускались выключатели АК63 на ток до 63 А и автоматы АК50 на ток до 50 А. Их усовершенствованная модель АК50Б имеет номинальный ток 50 А и рассчитана на напряжение переменного тока до 380 В и постоянного тока до 320 В.



Развитие и совершенствование автоматических выключателей

Ко второму поколению установочных автоматических выключателей условно относятся следующие типы: АЕ2000; АЕ25; А3700; усовершенствованные автоматические выключатели АП50Б и АК50Б, описанные выше; резьбовые выключатели типа ПАР.

Автоматические выключатели АЕ2000 были разработаны для защиты электрических цепей переменного тока от токов КЗ и перегрузки, в том числе асинхронных электродвигателей. Номинальные токи автоматов – от 16 до 160 А, токи расцепителей – от 0,3 до 160 А в сети 380 В. Автоматы АЕ2000 были призваны заменить автоматы первого поколения на ток до 160 А; отличались высокой износостойкостью (до 100 000 циклов «Вкл. - Откл.»). Они отличаются повышенной отключающей способностью, кроме дугогасительной решетки дополнительно имеют искрогасители. Используются на подстанциях, в электрических сетях, в распределительных пунктах. Для защиты преобразователей используются токоограничивающие автоматы серии А3700Б. Номинальные токи автоматов А3700 от 40 до 630 А в одном габарите, двух- и трехполюсные при постоянном напряжении до 440 В и переменном до 660 В при 50 и 60 Гц и до 380 В при частоте 400 Гц. Недостаток выключателей – большие габариты. Автоматические выключатели А3700 имеют 20 исполнений, в том числе следующие: выдвижное исполнение (на большие токи) для быстрой замены автомата в распределительных устройствах; с буквой «Б» в обозначении – токоограничивающие; с буквой «С» – селективные на токи 160–830 А с электронным расцепителем; с буквой «Ф» – нетокоограничивающие с тепловым и электромагнитным расцепителями на ток тепловых расцепителей от 16 до 250 А; с буквой «Н» – неавтоматическое исполнение (без расцепителей). Автоматические выключатели А3700 могут исполняться с дополнительными узлами: вспомогательными контактами; независимым и нулевым расцепителями напряжения; электромагнитным приводом для дистанционного оперативного включения на расстоянии.

К третьему поколению автоматических выключателей

условно относятся автоматические выключатели серии ВА. Они разработаны на токи от 0,3 до 4000 А для замены всех других серий автоматических выключателей. Серия ВА отличается от других серий меньшими габаритами и массой, большой коммутационной и отключающей способностью, многообразием модификаций и функциональных возможностей.

Распространены автоматические выключатели ВА5 следующих серий: ВА51 – нетокоограничивающие с электромагнитными и тепловыми расцепителями или только с электромагнитными расцепителями на токи расцепителя от 0,3 до 630 А; ВА52 – токоограничивающие, с расцепителями и токами, аналогичными серии ВА51; ВА53 – токоограничивающие неселективные с электронными или электромагнитными расцепителями на номинальный ток от 160 до 1600 А; ВА54 – токоограничивающие высокой коммутационной способности на ток от 160 до 1000 А; ВА55 – селективные с электронным расцепителем на ток от 160 до 1600 А; ВА56 – без максимальных расцепителей на ток от 400 до 1600 А; ВА57 – селективные с электронным расцепителем на ток от 2500 до 4000 А. Во внутренних сетях сельскохозяйственных предприятий находят применение выключатели ВА51 с номинальным током до 250 А. Номинальные токи (определяющие его габарит) зашифрованы в обозначении автоматического выключателя (после разделительного дефиса): ВА51-25 – на ток 25 А; ВА51-29 – на 63 А; ВА51-30 – на 100 А; ВА51-32 – на 125 А; ВА51-33 – на 160 А; ВА51-35 – на 250 А. В обозначении выключателей с номинальным током 100 А и ниже вместо разделительного дефиса может быть буква «Г». Это означает, что выключатель специально изготовлен для защиты электродвигателей. Кратность тока срабатывания электромагнитного расцепителя такого автомата составляет 10/In.расц. Автоматические выключатели без буквы «Г» с номинальным током до 63 А имеют электромагнитные расцепители максимального тока с кратностью 7 или 10/In.расц, а с номинальным током 100 А – с кратностью 3; 7 и 10/In.расц.

Развитие и совершенствование автоматических выключателей

К четвертому поколению автоматических выключателей

условно относятся серии ВА14, ВА16, ВА22, ВА47, ВМ40, ВА61F29,

ВА77.

Их отличительные черты:

- 1) крепление на монтажной рейке (DIN-рейке);
- 2) модульность, т. е. двух-, трех- и четырехполюсные выключатели состоят из соответствующего числа одиночных однополюсных выключателей (модулей). Стандартная ширина модуля 18 мм.

Автоматические выключатели серии ВА14 предназначены для электрических цепей общего и бытового назначения переменного тока до 380 В и постоянного тока до 110 В.

Номинальный ток автоматов 32 А (ВА14-26), ток комбинированных расцепителей: 16; 20; 25; 32 А. Число полюсов: 1; 2; 3. Кратность тока срабатывания расцепителей составляет $(4-6)I_n$ расц или $(8-10)I_n$ расц.

При токе расцепителей 32 А тепловой и электромагнитный расцепители включаются параллельно (обычно в выключателях они включаются последовательно).

Предельно отключаемый ток КЗ – (1,5–6) кА. Вид с частичным разрезом однополюсного выключателя ВА14 показан на рисунке.

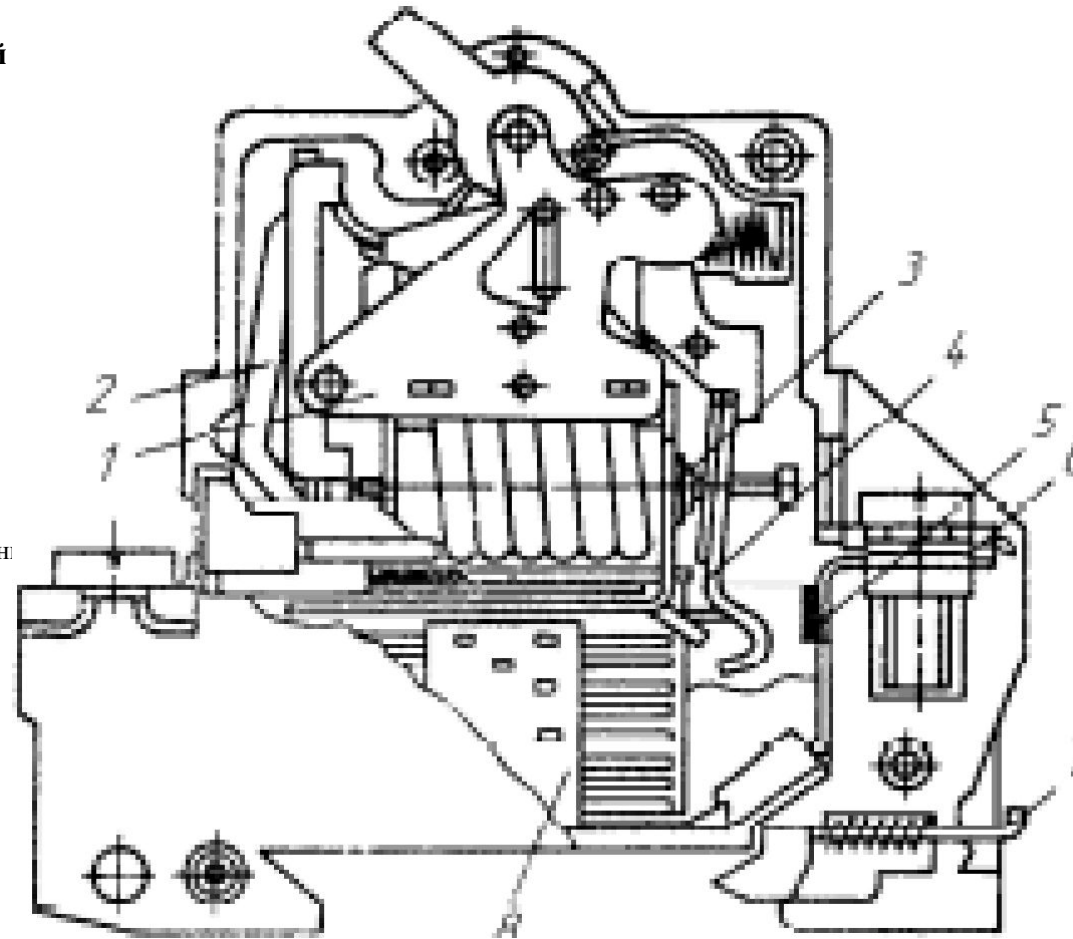
Конструкция имеет следующие недостатки: открытые присоединительные зажимы; отсутствие свободных контактов и дополнительных расцепителей.

Автоматические выключатели серии ВА47 выпускаются на напряжение ~230/400 В одно-, двух-, трех- и четырехполюсные в двух габаритах: ВА47-29 и ВА47-100.

Имеют тепловые расцепители и электромагнитные типов *B*, *C*, *D* (ВА47-29) или только *C* и *D* (ВА47-100).

Номинальные токи расцепителей от 1 до 63 А (ВА47-29) и от 16 до 100 А (ВА47-100). Модули автоматов ВА47-29 имеют стандартную ширину 18 мм, а в автоматах ВА47-100 – 27 мм.

Наибольшая отключающая способность – 4,5 кА для ВА47-29 и 10–20 кА – для выключателей ВА47-100. Автоматические выключатели серии ВА47 имеют корпус из термостойкой ABS-пластмассы, указатель «Вкл. - Откл.», закрытые присоединительные зажимы с насечкой для фиксации внешних проводников, биметаллические пластины теплового расцепителя, дугогасительную камеру со стальными пластинами, посадочное место на DIN-рейку.



Однополюсный автоматический выключатель ВА14:

- 1 – механизм свободного расцепления; 2 – тепловой расцепитель;
- 3 – электромагнитный расцепитель; 4 – подвижный контакт;
- 5 – неподвижный контакт; 6 – выводной зажим;
- 7 – рычаг открепления выключателя; 8 – дугогасительная решетка