

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Теоретические сведения
 - 1.1 Назначение, классификация, основные элементы.
 - 1.2 Взаимодействие между основными элементами автоматических выключателей.
 - 1.3 Отключение цепи с током автоматическими выключателями.
 - 1.4 Параметры и характеристики автоматических выключателей.
2. Лабораторная установка.
3. Методические указания.
4. Вопросы для самоконтроля.
5. Глоссарий.
6. Интернет-ресурсы.

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1 Назначение, классификация, основные элементы

Автоматические выключатели (автоматы) предназначены для автоматического отключения электрических цепей при КЗ или ненормальных режимах (перегрузках, исчезновении или снижении напряжения), а также для нечастого включения и отключения токов нагрузки. В автоматах не применяется какой-либо специальной среды для гашения дуги. Дуга гасится в воздухе.

По числу полюсов автоматы бывают одно-, двух-, трех- и четырехполюсными, изготавливаются на токи до 6000 А при напряжении переменного тока до 660 В и постоянного до 1000 В. Отключающая способность достигает 200–300 кА. В аварийных ситуациях автоматы обеспечивают одновременное отключение всех трех фаз. По времени срабатывания (t_{cp}) различают:

- нормальные автоматические выключатели с $t_{cp} = 0,02–0,1$ с;
- селективные с регулируемой выдержкой времени до 1 с;
- быстродействующие с $t_{cp} \leq 0,005$ с.

Селективные автоматические выключатели позволяют осуществить селективную защиту сетей установкой аппаратов с разными выдержками времени: наименьшей у потребителя и ступенчато возрастающей к источнику питания.

При КЗ и перегрузках выключатель отключается встроенным в него устройством релейной защиты, входной воздействующей величиной которого является ток. Это устройство называется максимальным расцепителем. Расцепитель контролирует заданный параметр защищаемой цепи и воздействует на расцепляющее устройство, отключающее автомат.

Наиболее распространенными расцепителями являются:

- электромагнитные – для защиты от токов КЗ;
- тепловые – для защиты от перегрузок;
- комбинированные, совмещающие в себе электромагнитные и тепловые расцепители;
- полупроводниковые, позволяющие ступенчато менять ряд характеристик.

Полупроводниковые расцепители имеют более стабильные параметры и удобны в настройке.

Если автомат не имеет максимальных расцепителей, то он используется только для коммутации цепей без тока.

Выключатели могут оснащаться дополнительными устройствами:

- нулевым или минимальным расцепителем, отключающим выключатель автоматически без выдержки времени при снижении напряжения соответственно до $(0,1-0,35) \cdot U_{ном}$ и до $(0,35-0,7) \cdot U_{ном}$ (напряжение срабатывания не регулируется, отсутствует возможность вводить замедление в действие защиты, что может быть причиной массовых отключений выключателей при КЗ в системе электроснабжения);

- независимым расцепителем (электромагнитом отключения) для дистанционного управления выключателем, время отключения не более 0,04 с;

- электродвигательным или электромеханическим приводом для дистанционного управления выключателем;

- свободными вспомогательными контактами, а выключатели серии ВА – также сигнальными контактами автоматического отключения;

- выдвижным устройством с вставными контактами главных и вспомогательных цепей – для выключателей выдвижного исполнения.

Наименьший ток, вызывающий отключение автомата, называется током трогания или током срабатывания, а настройка расцепителя автоматического выключателя на заданный ток срабатывания – уставкой тока срабатывания.

Максимальный расцепитель выполняется по-разному. Его защитная (времятоковая) характеристика формируется из отдельных ступеней трехступенчатой защиты. Первая ступень – токовая отсечка без выдержки времени, вторая ступень – токовая отсечка с выдержкой времени, третья ступень – максимальная токовая защита или тепловая защита. Токовые отсечки и максимальная токовая защита выполняются или на базе электромагнитных реле (расцепитель электромагнитный) или на основе использования полупроводниковых элементов (расцепитель полупроводниковый). Для выполнения тепловой защиты используется термобиметаллический элемент (тепловой расцепитель), защита имеет зависимость от тока выдержку времени. На основе полупроводникового расцепителя выполняется максимальная токовая защита с зависимой и независимой от тока выдержкой времени. Полупроводниковый расцепитель в условиях эксплуатации допускает регулировку:

- номинального тока расцепителя;
- тока срабатывания отсечки;
- времени срабатывания максимальной токовой защиты;
- времени срабатывания второй ступени защиты.

Тепловой расцепитель и электромагнитный расцепитель первой ступени защиты в условиях эксплуатации не регулируются. Они

настраиваются на определенную уставку по току срабатывания предприятием-изготовителем.

В зависимости от серии выключателя полупроводниковые расцепители имеют погрешности в токе срабатывания первой ступени $I_{с.з.}^I \pm (20 \div 35)\%$, в токе срабатывания третьей ступени $I_{с.з.}^{III} \pm (15 \div 35)\%$, во времени срабатывания второй ступени $\pm 0,02$ с. Погрешность в токе срабатывания электромагнитного расцепителя $I_{с.з.}^I$ не превышает $(20 \div 35)\%$.

Максимальный расцепитель включается на полные фазные токи. У некоторых выключателей имеется и специальная токовая защита от однофазных КЗ, воздействующей величиной которой является ток нулевой последовательности.

Выпускаются автоматические выключатели, содержащие следующие ступени:

- все три;
- первую и третью;
- вторую и третью;
- только первую;
- только третью.

Автоматические выключатели, содержащие токовую отсечку с выдержкой времени (вторая ступень), называются селективными.

Различают нетокоограничивающие и токоограничивающие выключатели. Последние ограничивают ток КЗ при отключении выключателя благодаря быстрому введению в цепь дополнительного сопротивления электричкой дуги, возникающей между размыкающимися контактами или образующейся в специальных элементах. При применении нетокоограничивающих выключателей ток КЗ в цепи достигает максимально ожидаемого значения.

Выключатель рассчитан на коммутацию предельно отключаемых и включаемых токов в цикле операций О–П–ВО–П–ВО при номинальном напряжении. Здесь О – отключение, П – пауза (≤ 180 с), ВО – включение, отключение.

Основные элементы автомата: контакты с дугогасительной системой, привод, механизм свободного расцепления, расцепители, вспомогательные контакты.

Автомат может иметь один или несколько расцепителей.

1.2 Взаимодействие между основными элементами автоматических выключателей

Принципиальная схема автоматического выключателя приведена на рис. 1.

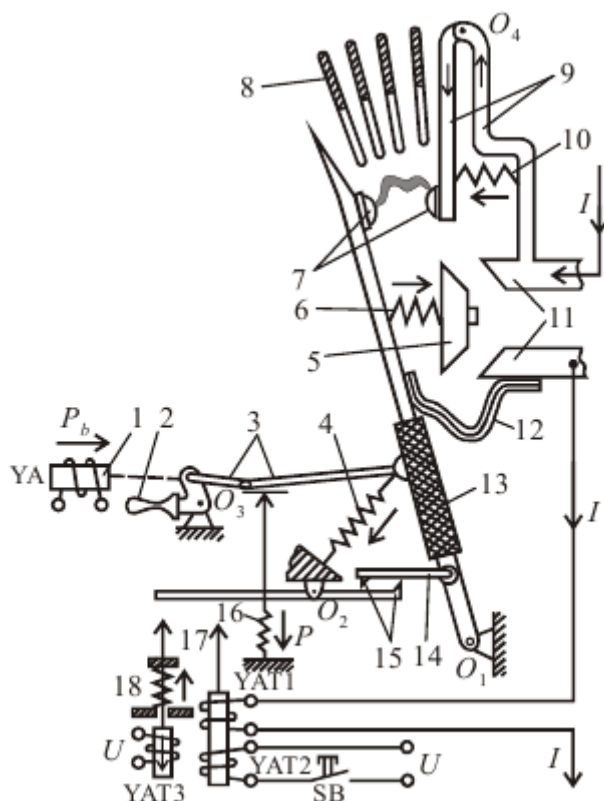


Рис. 1. Принципиальная схема автоматического выключателя:
 1 – электромагнитный привод; 2 – ручной привод; 3 – рычаги; 4 – отключающая пружина; 5, 11 – главные контакты; 6, 10 – контактные пружины; 7 – дугогасительные контакты; 8 – дугогасительная камера; 9 – электродинамические компенсаторы; 12 – гибкая связь; 13 – несущая деталь; 14 – за щелка; 15 – зубцы; 16 – пружина; 17 – максимальный расцепитель; 18 – минимальный расцепитель.

Контактная система выключателей на большие токи – двухступенчатая, состоит из главных 5, 11 и дугогасительных контактов 7.

Главные контакты должны иметь малое переходное сопротивление, так как по ним проходит основной ток. Обычно это массивные медные контакты с серебряными накладками на неподвижных контактах и металлокерамическими накладками на подвижных контактах. Дугогасительные контакты 7 замыкают и размыкают цепь, они должны быть устойчивы к возникающей дуге, поверхность этих контактов металлокерамическая.

При номинальных токах до 630 А контактная система одноступенчатая, то есть контакты выполняют роль главных и дугогасительных.

На рис. 1 выключатель показан в отключенном положении. Для его включения вращают рукоятку 2 или подают напряжение на электромагнитный привод 1 (УА). Возникающее усилие перемещает рычаги 3 вправо, при этом поворачивается несущая деталь 13, замыкаются сначала дугогасительные контакты 7 и создается цепь тока через эти контакты и гибкую связь 12, а затем главные контакты 5, 11. После завершения операции выключатель удерживается во включенном положении защелкой 14 с зубцами 15 и пружиной 16.

Отключают выключатель рукояткой 2, приводом 1 или автоматически при срабатывании расцепителей.

Максимальный расцепитель 17 срабатывает при протекании по его обмотке УАТ1 тока КЗ. Создается усилие, преодолевающее натяжение Р пружины 16, рычаги 3 переходят вверх за мертвую точку, в результате чего автоматический выключатель отключается под действием отключающей пружины 4. Этот же расцепитель выполняет функции независимого расцепителя. Если на нижнюю обмотку УАТ2 подать напряжение кнопкой SB, он срабатывает и осуществляет дистанционное отключение.

При снижении или исчезновении напряжения срабатывает минимальный расцепитель 18 и также отключается автоматический выключатель.

При отключении сначала размыкаются главные контакты и весь ток переходит на дугогасительные контакты. На главных контактах дуга не образуется.

Дугогасительные контакты 7 размыкаются, когда главные находятся на достаточном расстоянии. Между дугогасительными контактами образуется дуга, которая выдувается вверх в дугогасительную камеру 8, где и гасится.

Дугогасительные камеры выполняются со стальными пластинами (эффект деления длинной дуги на короткие) и лабиринтно-щелевыми (эффект гашения дуги в узкой щели). Втягивание дуги в камеру осуществляется магнитным дутьем. Материал камеры должен обладать высокой дугостойкостью.

При протекании тока КЗ через включенный автоматический выключатель между контактами возникают значительные электродинамические силы, превышающие силы контактных пружин б и 10, которые могут оторвать один контакт от другого, а образовавшаяся дуга может сварить их. Чтобы избежать самопроизвольного отключения,

применяют электродинамические компенсаторы в виде шинок 9, изогнутых петель. Токи в шинках 9 имеют разное направление, что создает электродинамическую силу, увеличивающую нажатие в контактах.

Рычаги 3 выполняют роль механизма свободного расцепления, который обеспечивает отключение автоматического выключателя в любой момент времени, в том числе при необходимости и в процессе включения. Если выключатель включается на существующее КЗ, то максимальный расцепитель 17 срабатывает и переводит рычаги 3 вверх за мертвую точку, нарушая связь привода 1 (или 2) с подвижной системой автоматического выключателя, который отключается пружиной 4, несмотря на то что приводом будет передаваться усилие на включение. В реальных автоматических выключателях механизм свободного расцепления имеет более сложное устройство.

Защитная характеристика автоматического выключателя приведена на рис. 2.

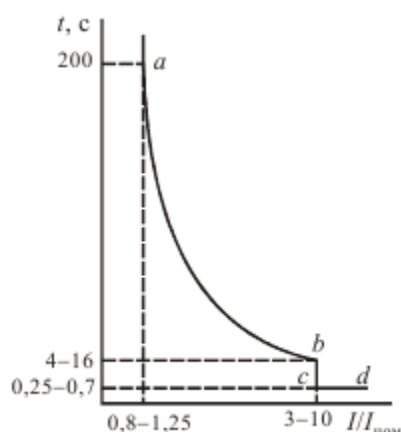


Рис. 2. Пример защитной характеристики автоматического выключателя

Максимальные расцепители имеют обратную зависимость от тока выдержку времени при перегрузках (участок ab) и независимую выдержку времени при токах КЗ (cd). Уставка по току регулируется в зоне перегрузки и в зоне короткого замыкания (отсечка). Время срабатывания регулируется при номинальном токе $I_{\text{ном}}$, при $(3-10) I_{\text{ном}}$ и при токе КЗ. В автоматических выключателях с электромагнитными расцепителями выдержка времени в независимой от тока части характеристики достигается за счет часового анкерного механизма, в зависимой — от силы притяжения якоря электромагнита к сердечнику.

Автоматические выключатели с биметаллическими расцепителями обеспечивают обратную зависимость при перегрузках. Для

защиты от КЗ в таких выключателях используются электромагнитные расцепители мгновенного действия.

В выключателях применяются и полупроводниковые расцепители. Они обеспечивают более высокую точность срабатывания по току и времени. Структурная схема такого расцепителя показана на рис. 3. Блок 1 измеряет ток защищаемой сети. В сети переменного тока в качестве блоков 1 применяют трансформаторы тока, а в сети постоянного тока – магнитные усилители. Блок 2 анализирует сигнал от блока 1. Если этот сигнал соответствует току перегрузки, то из блока 2 поступает сигнал в блок 3, который запускает полупроводниковое реле 4, создающее зависимость от тока выдержку времени (участок *ab* характеристики по рис. 2).

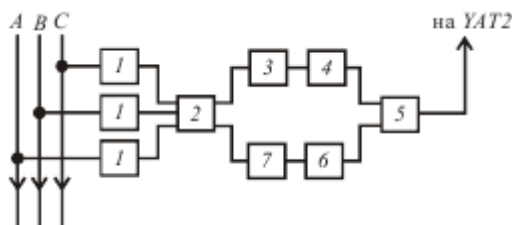


Рис. 3. Структурная схема полупроводникового расцепителя

При токе КЗ сигнал с блока 2 достаточен для запуска блока 7, который является токовой отсечкой. Блок 6 создает выдержку времени в независимой части характеристики (участок *cd* на рис. 2). Блок 5 усиливает сигналы от блоков 4 и 6 и подает импульс на отключающую катушку автоматического выключателя УАТ2 (см. рис. 1).

Наиболее современными являются автоматические выключатели серии ВА, предназначенные для замены устаревших модификаций АЗ1, АЗ7, АЕ, АВМ и «Электрон». Они имеют уменьшенные габариты, со временные конструктивные узлы и элементы. Работают в сетях постоянного и переменного тока.

1.3 Отключение цепи с током автоматическими выключателями

В выключателях классического исполнения срабатывание элементов при КЗ в цепи происходит в такой последовательности (рис. 1.4):

- в момент t_1 , когда ток КЗ достигает значения тока срабатывания i_p электромагнитного максимального расцепителя, начинает двигаться его якорь;
- в момент t_2 происходит сбивание защелки;

- в момент t_3 начинается расхождение контактов выключателя и между ними зажигается электрическая дуга;
- в момент t_4 при прохождении тока через нуль дуга гаснет.

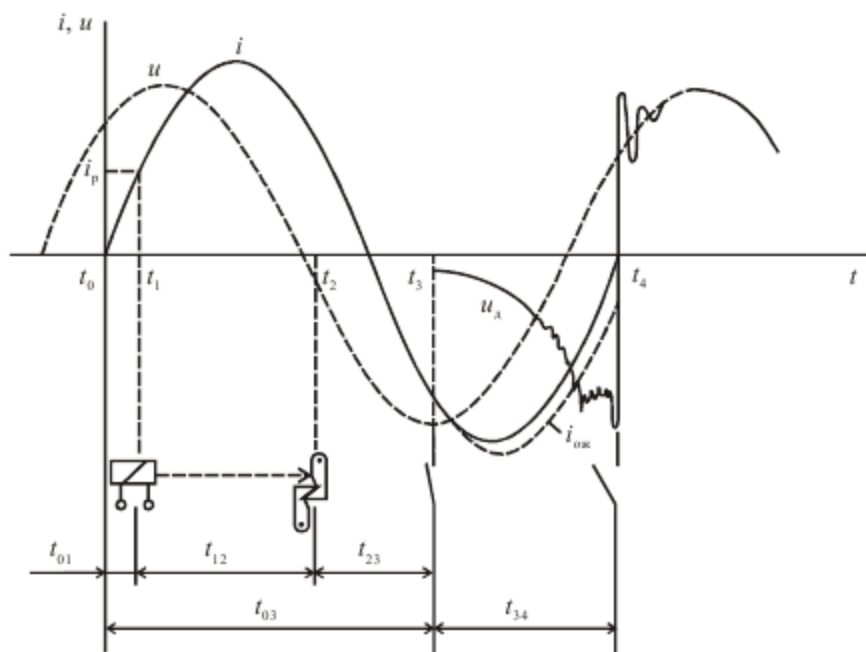


Рис. 4. Процесс изменения тока и напряжений во время отключения однофазной цепи при КЗ

Время действия выключателя при отключении t_{03} , или время от момента возникновения КЗ t_0 до момента t_3 , когда начинают расходиться контакты, складывается из времени t_{01} (до момента t_1 достижения током КЗ значения i_p), выдержки времени максимального расцепителя t_{12} и собственного времени механизма отключения t_{23} .

В классическом исполнении невозможно получить время действия при отключении меньше 3–5 мс в выключателях с номинальным током до 100 А и 5–10 мс в выключателях с большим номинальным током. Если, кроме того, учесть время горения дуги t_{34} , то наименьшее время длительности аварии не может быть меньше 10–20 мс. Вследствие такого значительного запаздывания размыкания контактов и зажигания между ними дуги относительно момента возникновения КЗ ограничивающее действие сопротивления дуги начинает проявляться в лучшем случае только при 80–90% амплитуды тока КЗ. Можно считать, что дуга не играет большой роли, тем более, что рост сопротивления ее в начальной фазе гашения в классических выключателях является относительно медленным. Чтобы можно было говорить об эффективном ограничивающем действии, дуга должна быть включена в цепь через

время, значительно меньшее 5 мс, лучше всего через время менее 1 мс.

Так как возможности уменьшения собственного времени комплекса, состоящего из максимальных расцепителей, защелки, механической передачи выключателя и контактов, ограничены, то следует применять другие способы размыкания контактов, исключая упомянутые элементы. К этому способу относятся электродинамический отброс контактов и непосредственное воздействие на контакты отключающих электромагнитов.

Токоограничивающие выключатели, работающие на принципе электродинамического отброса контактов, большей частью снабжены обычными электромагнитными расцепителями мгновенного действия классической конструкции, которые не следует смешивать с электромагнитами, размыкающими контакты. Эти расцепители вызывают отключение выключателя при аварийных токах, меньших минимального тока, при котором наступает отброс контактов (тока отброса). Они освобождают защелку выключателя также и при больших токах, что предотвращает повторное сближение контактов после уменьшения протекающего через выключатель тока до значения ниже тока отброса и их возможное замыкание, так как процесс расхождения контактов в ходе отключения выключателя начинается раньше.

Для эффективного ограничения тока КЗ недостаточно, чтобы контакты расходились как можно скорее после возникновения аварии. Следует стремиться также к наиболее быстрому возрастанию напряжения на дуге и удержанию его на высоком уровне.

На рис. 5 изображен процесс отключения тока ограничивающим выключателем. В момент t_1 , когда ток достигает значения i_a , контакты начинают расходиться. Между контактами зажигается дуга, которая под воздействием сил электромагнитного поля быстро перемещается на рога, а затем в дугогасительную камеру выключателя, в связи с чем быстро нарастает напряжение на дуге. Сопротивление дуги вызывает уменьшение тока цепи i по сравнению с ожидаемым током $i_{ож}$ в цепи без дуги. Если начать отсчет времени с момента возникновения дуги в цепи (момент t_1), то для однофазной цепи можно записать:

$$L \frac{di}{dt} + R \cdot i + u_d = U_m \sin(\omega \cdot t + \psi + \psi_a),$$

Напряжение на дуге равно разности мгновенного значения напряжения источника и суммы напряжений на индуктивном и активном сопротивлениях цепи:

$$u_d = U_m \sin(\omega \cdot t + \psi + \psi_a) - \left(L \frac{di}{dt} + R \cdot i \right).$$

Максимальное значение тока в цепи с дугой достигается в момент t_2 , когда

$$u_d = U_m \sin(\omega \cdot t + \psi + \psi_a) - R \cdot i,$$

так как при этом

$$L \frac{di}{dt} = 0.$$

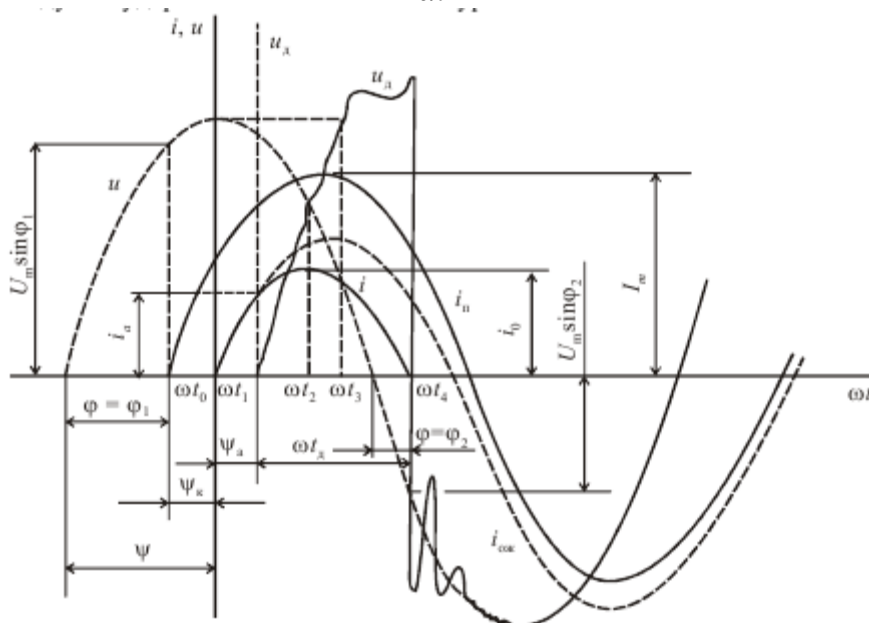


Рис. 5. Процесс изменения тока и напряжений во время отключения однофазной цепи токоограничивающим выключателем:

t_0 – момент возникновения короткого замыкания; t_1 – момент достижения током цепи значения i_a (ток отброса контактов); t_2 – момент достижения током, ограниченным выключателем, значения пика (ограниченного тока i_0); t_3 – момент достижения напряжения на дуге амплитуды напряжения источника; t_4 – момент перехода тока цепи через нуль; $i_{ож}$ – мгновенное значение ожидаемого тока; i_n – мгновенное значение периодической составляющей тока.

Падением напряжения $R \cdot i$ в цепи без дуги можно пренебречь, особенно при большом сопротивлении дуги, поэтому можно считать, что ток достигает максимального значения i_0 (ограниченный ток выключателя) тогда, когда напряжение на дуге сравняется с мгновенным значением напряжения источника. Начиная с этого момента, ток все время уменьшается и в момент t_4 при напряжении на дуге

$$u_d = U_m \sin(\omega \cdot t + \psi + \psi_a) - L \frac{di}{dt},$$

достигает нулевого значения значительно раньше естественного

перехода ожидаемого тока через нуль. Сдвиг момента перехода тока через нуль по отношению к естественному переходу приводит к уменьшению сдвига фаз с $\varphi = \varphi_1$ для замкнутой цепи до $\varphi = \varphi_2$ для цепи с дугой. Это приводит к уменьшению пика восстанавливающего напряжения, вследствие чего смягчаются условия по напряжению во время гашения дуги.

1.4 Параметры и характеристики автоматических выключателей

Автоматические выключатели как коммутационные аппараты выбираются:

- по условиям нормального режима – так, чтобы номинальное напряжение выключателя $U_{\text{ном. выкл}}$ соответствовало номинальному напряжению сети $U_{\text{с. ном}}$, а его номинальный ток $I_{\text{ном. выкл}}$ был не меньше максимального рабочего тока I_{max} защищаемого элемента;

- по условиям стойкости при КЗ – так, чтобы значение предельной коммутационной способности, электродинамической и термической стойкости выключателей были не менее соответствующих значений параметров КЗ в месте их установки.

Номинальным током и напряжением выключателя называют значение тока и напряжения, которые способны выдерживать главные токоведущие части выключателя в длительном режиме.

Током отключения называется наибольший ток, который выключатель способен отключить. Максимальный расцепитель характеризуется номинальным током $I_{\text{расц. ном}}$ и током срабатывания $I_{\text{ср}}$ каждой ступени.

Номинальным током расцепителя называется наибольший ток, длительное прохождение которого не вызывает срабатывание расцепителя.

Предельной коммутационной способностью выключателя (ПКС) называют максимальное значение тока КЗ, которое выключатель способен включить и отключить несколько раз, оставаясь в исправном состоянии.

Одноразовой предельной коммутационной способностью (ОПКС) называют наибольшее значение тока, которое выключатель может отключить один раз. После этого дальнейшая работа выключателя не гарантируется, может потребоваться его капитальный ремонт или замена.

Другое наименование этого параметра – номинальный кратковременно выдерживаемый ток.

Значение ПКС и ОПКС относятся к процессу отключения. Однако

во включенном состоянии выключатель должен пропускать протекающий по нему ток КЗ, оставаясь в исправном состоянии, независимо от того, должен ли он или другой аппарат отключить этот ток. Это свойство выключателя характеризуется понятием электродинамической и термической стойкости.

Электродинамическая стойкость характеризуется амплитудой ударного тока КЗ, который способен пропускать выключатель без остаточных деформаций деталей или недопустимого отброса контактов, приводящего к их привариванию или выгоранию.

Термическая стойкость характеризуется допустимым значением Джоулева интеграла

$$w_0 = \int_0^t i_2(t) dt,$$

отражающего количество тепла, которое может быть выделено в выключателе за время действия тока КЗ.

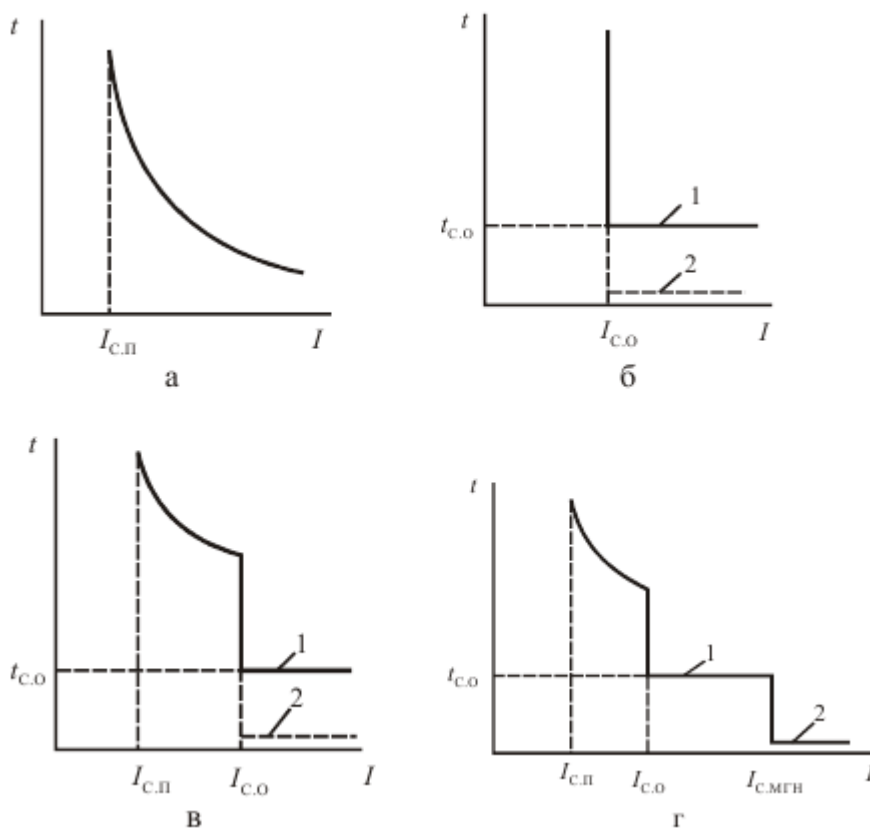


Рис. 6. Защитные характеристики автоматических выключателей:
*а – зависимая; б – независимая; в – ограничено зависимая; г –
 трехступенчатая; 1 – с выдержкой времени при КЗ; 2 – без выдержки
 времени при КЗ*

Собственное время отключения выключателя – время

срабатывания расцепителей и механизма свободного расцепления выключателя до начала расхождения силовых контактов (используется при выборе выключателей по предельной коммутационной способности).

Полное время отключения выключателя – время срабатывания расцепителей, механизма свободного расцепления выключателя, расхождения силовых контактов и окончания гашения дуги в дугогасительных камерах (используется при проверке селективности защиты).

Автоматические выключатели могут иметь защитные характеристики, приведенные на рис. 6:

- зависимую от тока характеристику времени срабатывания – такие выключатели имеют только тепловой расцепитель, применяются редко вследствие недостаточной ПКС и быстродействия;

- независимую от тока характеристику времени срабатывания – такие выключатели имеют только токовую отсечку, выполненную с помощью электромагнитного или полупроводникового расцепителя, действующего без выдержки или с выдержкой времени;

- ограниченно зависимую от токов двухступенчатую характеристику времени срабатывания – в зоне токов перегрузки выключатель отключается с зависимой от тока выдержкой времени, в зоне токов КЗ выключатель отключается токовой отсечкой с независимой от тока заранее установленной выдержкой времени (для селективных выключателей) или без выдержки времени (для неселективных выключателей); выключатель имеет либо тепловой и электромагнитный (комбинированный) расцепитель, либо двухступенчатый электромагнитный, либо полупроводниковый расцепитель;

- трехступенчатую защитную характеристику – в зоне токов перегрузки выключатель отключается с зависимой от тока выдержкой времени, в зоне токов КЗ - с независимой, заранее установленной выдержкой времени (зона селективной отсечки), а при близких КЗ – без выдержки времени (зона мгновенного срабатывания); зона мгновенного срабатывания предназначена для уменьшения длительности воздействия токов при близких КЗ; такие выключатели имеют полупроводниковый расцепитель и применяются для защиты вводов в КТП и отходящих линий.

По характеристикам срабатывания электромагнитных расцепителей выключатели бывают трех типов (рис. 7):

тип В – ток срабатывания электромагнитного расцепителя равен $I_B = (3-6) \cdot I_{ном}$; предназначен для потребителей, у которых ток нагрузки

невысокий и ток КЗ может попасть в зону работы теплового, а не электромагнитного расцепителя;

тип С – ток срабатывания электромагнитного расцепителя $I_C = (5-10) \cdot I_{ном}$; предназначен для бытового и промышленного применения: для двигателей с временем пуска до 1 с, нагрузок с малыми индуктивными токами;

тип D – ток срабатывания электромагнитного расцепителя $I_D = (>10) \cdot I_{ном}$; применяется для мощных двигателей с затяжным временем пуска.

Тепловые расцепители, используемые в автоматических выключателях, чувствительны к нагреву от посторонних источников. Случается, что расцепитель промежуточного полюса при номинальном режиме отключается только из-за нагрева от соседних полюсов. Это приводит к ограничению области его работы и к коррекции номинального тока по графику или таблице.

Нагрузочная характеристика автоматических выключателей зависит и от температуры окружающей среды: при ее снижении коэффициент нагрузки увеличивается, при повышении – уменьшается. Это ограничивает возможность их использования в условиях жесткого температурного режима эксплуатации.

Последнее поколение автоматических выключателей снабжено электронными расцепителями, осуществляющими комплексную защиту электроприемника и объединяющими в одном устройстве функции всех вышеперечисленных расцепителей. Они выполнены на базе микропроцессорной техники, гарантируют высокую точность срабатывания, надежность и устойчивость к температурным режимам. Электропитание, необходимое для правильной работы, обеспечивается трансформаторами тока расцепителя.

Защитные расцепители состоят из трех или четырех трансформаторов тока, электронного блока и механизма расцепления, который непосредственно воздействует на механизм отключения выключателя. Для управления магнитным пускателем дополнительно требуется вспомогательный блок управления, позволяющий управлять пускателем (контактором) в случае аварии (за исключением КЗ).

С помощью DIP-переключателей, размещенных на передней панели устройства, или с помощью специального электронного блока настройки программируется определенный набор параметров и функций расцепителя. Кривая срабатывания выключателя, максимально приближенная к рабочей характеристике потребителя (например, асинхронного двигателя (рис. 8), определяет следующие параметры:

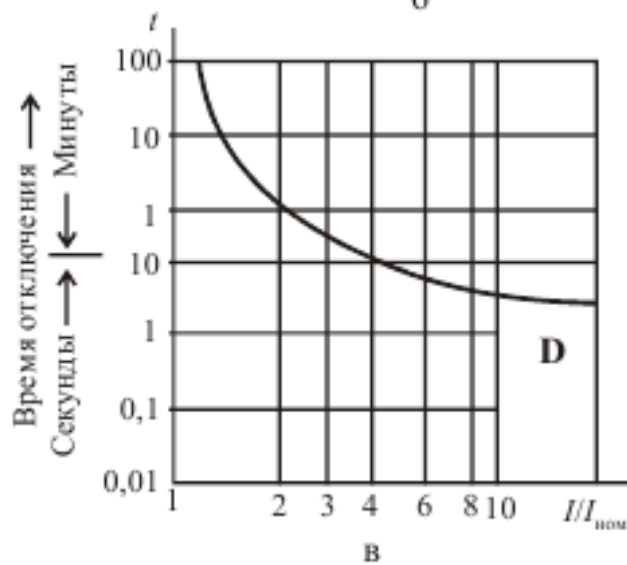
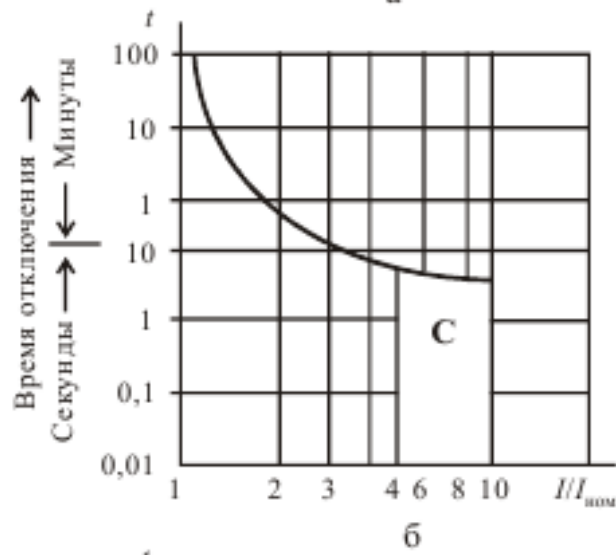
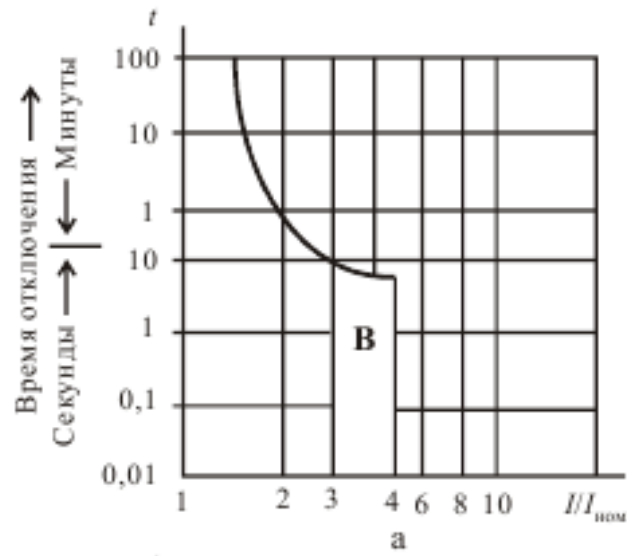


Рис. 7. Защитные характеристики автоматических выключателей:
a – тип *B*; *б* – тип *C*; *в* – тип *D*

- функция L – защита от перегрузки с обратной зависимой выдержкой по времени и характеристикой срабатывания согласно обратной зависимой кривой ($I^2 \cdot t = \text{const}$);
- функция R – защита от заклинивания ротора с определенным временем задержки срабатывания;
- функция I – защита от короткого замыкания с мгновенным срабатыванием;
- функция U – защита от перекоса или обрыва фазы с определенным временем задержки срабатывания.

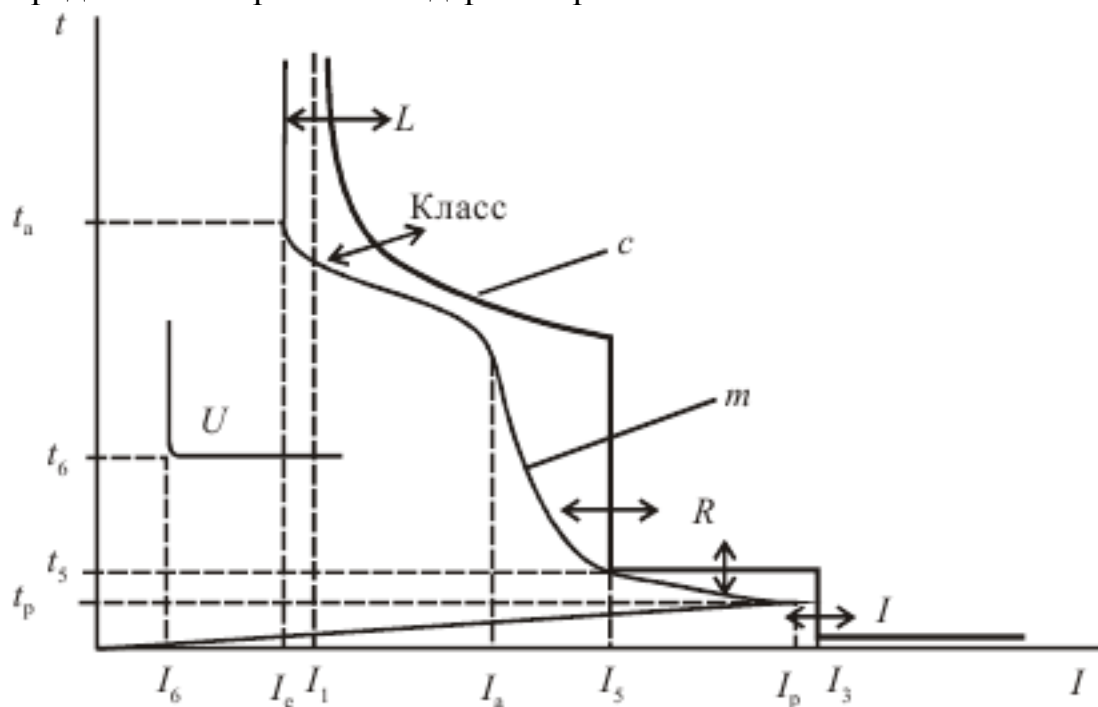


Рис. 8. Типовая рабочая характеристика асинхронного двигателя, совмещенная с кривой срабатывания электронного расцепителя: I_1 – порог срабатывания по току для функции L ; I_3 – порог срабатывания по току для функции I ; I_5 – порог срабатывания по току для функции R ; t_5 – порог срабатывания по времени для функции R ; I_6 – порог срабатывания по току для функции U ; t_6 – порог срабатывания по времени для функции U ; I_e – номинальный рабочий ток электродвигателя; I_a – пусковой ток электродвигателя; I_p – пиковое значение пускового тока; t_a – время пуска электродвигателя; t_p – время нарастания пускового тока до I_p ; t – типовая кривая пуска электродвигателя; c – пример кривой срабатывания автоматического выключателя с электронным расцепителем; Класс – это класс пуска электродвигателя, определяющий время срабатывания для защиты от перегрузки

Автоматические выключатели с электронными расцепителями обеспечивают достаточную защиту электродвигателя от перегрузки при работе в нормальном режиме с малым количеством включений, недолгими запусками и умеренными пусковыми токами. Режим тепловой памяти, позволяющий вычислять температуру двигателя при отключении, возможен только при наличии дополнительного источника питания.

Эти выключатели неэффективны при работе в старт-стопном режиме (более 60 вкл/час) и при тяжелом запуске. Если тепловые постоянные времени электродвигателя и электронного расцепителя не совпадают, то при настройке на номинальный ток двигателя автоматический выключатель может сработать слишком рано или не распознать режим перегрузки. Ограничение рабочих циклов автомата (включение–отключение) влечет использование в таких схемах контактора, имеющего большее количество циклов коммутации и лучшую коммутирующую способность. Но для подключения к нему расцепителя потребуется вспомогательный блок управления. Дополнительные (вспомогательные) устройства необходимы также для настройки и тестирования блока, что приводит к удорожанию устройства и усложнению режима его эксплуатации.

2. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная работа проводится на стенде № 1. Схема электрических соединений установки для снятия амперсекундной характеристики теплового расцепителя автомата представлена на лицевой панели стенда (рис. 1):

Испытуемый автоматический выключатель QF1 и шунтирующий автоматический выключатель QF2, автотрансформатор TV, секундомер КТ типа ПВ-53Щ, подающий питание на стенд автомат QF, измерительные приборы: вольтметр PV и амперметр PA, светодиодный индикатор с номером стенда № 1, показывающий, что стенд включен.

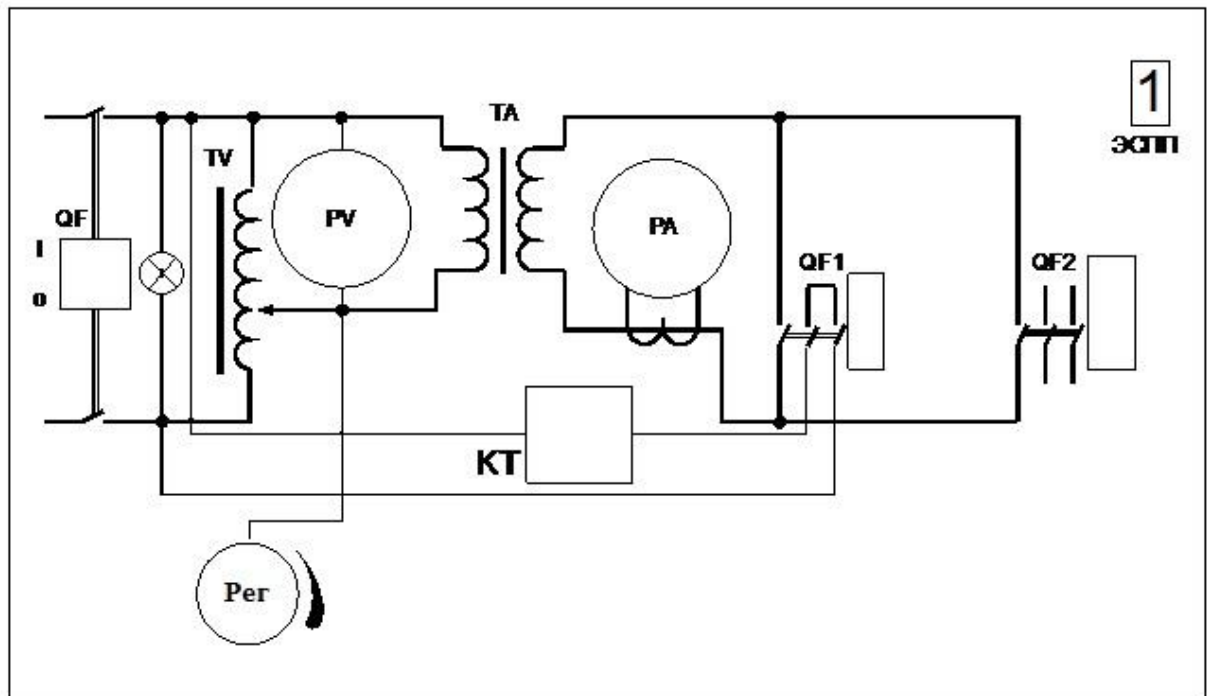


Рис. 1. Лицевая панель стенда

Исходное положение элементов схемы:

- 1) рукоятка–маховик (Per) автотрансформатора TV выводится в крайнее левое положение;
- 2) автомат для подачи питания на стенд (напряжение 220 В) QF отключен;
- 3) стрелка секундомера КТ устанавливается на 0 рычагом сброса показаний секундомера;
- 4) испытуемый автомат QF1 – отключен, а шунтирующий автомат QF2 – включен.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

1. Включить автомат QF - автомат подачи питания на автотрансформатор TV .

2. Плавным поворотом рукоятки-маховика автотрансформатора TV по часовой стрелке установить ток во вторичной цепи нагрузочного трансформатора TA равный 80 А (контроль за величиной тока ведется по амперметру PA).

3. Отключить шунтирующий автомат $QF2$ и включить испытуемый автомат $QF1$, который одновременно запустит секундомер KT . Проследить за показанием секундомера до момента срабатывания теплового расцепителя (отключения автомата $QF1$). Записать показание секундомера в таблицу 1.

4. По истечении 5 минут вернуть стрелку секундомера KT в исходное состояние (рычагом возврата стрелки секундомера в исходное состояние).

5. Включить шунтирующий автомат $QF2$. Плавным поворотом рукоятки-маховичка по часовой стрелке установить ток во вторичной цепи нагрузочного трансформатора TA равный 100 А (контроль за величиной тока ведется по амперметру PA).

6. Повторить пп. 3 и 4 до тока 150 А с интервалом (10-15)А.

7. Все показания амперметра PA и время срабатывания теплового расцепителя автомата (показания секундомера) внести в таблице.

8. После окончания проведения опытов отключить стенд автоматом QF предварительно рукоятку-маховик автотрансформатора TV установить в крайнее левое положение.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**



Кафедра ЭПП

Отчёт по лабораторной работе №1
«ИСПЫТАНИЕ ВОЗДУШНЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ
ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ»

Выполнил:

Проверил:

Томск 2013

Цель работы:

1. Ознакомиться с конструкциями воздушных автоматических выключателей (автоматов).
2. Определение времени отключения автомата (времени срабатывания расцепителя автомата) в зависимости от величины тока, протекающего через автомат.

Краткие теоретические сведения

Автоматический выключатель предназначен для...

Действие теплового расцепителя заключается в ...

Действие электромагнитного заключается в ...

Наиболее распространенные серии автоматических выключателей ...

Автоматический выключатель состоит из ...

Лабораторная работа проводится на стенде № 1. Схема электрических соединений установки для снятия амперсекундной характеристики теплового расцепителя автомата представлена на лицевой панели стенда (рис. 1):

Испытуемый автоматический выключатель QF1 и шунтирующий автоматический выключатель QF2, автотрансформатор TV, секундомер КТ типа ПВ-53Щ, подающий питание на стенд автомат QF, измерительные приборы: вольтметр PV и амперметр PA, светодиодный индикатор с номером стенда № 1, показывающий, что стенд включен.

1. Ознакомиться с конструкциями имеющихся в лаборатории автоматов.
2. Изучить принцип действия электромагнитного, теплового расцепителей автомата.
3. Изучить схему испытания теплового расцепителя автомата.
4. Снять зависимость $\tau_{\text{ср}} = f(I_{\text{расц.}})$.

Все показания амперметра PA и время срабатывания теплового расцепителя автомата (показания секундомера) внесены в таблицу 1.

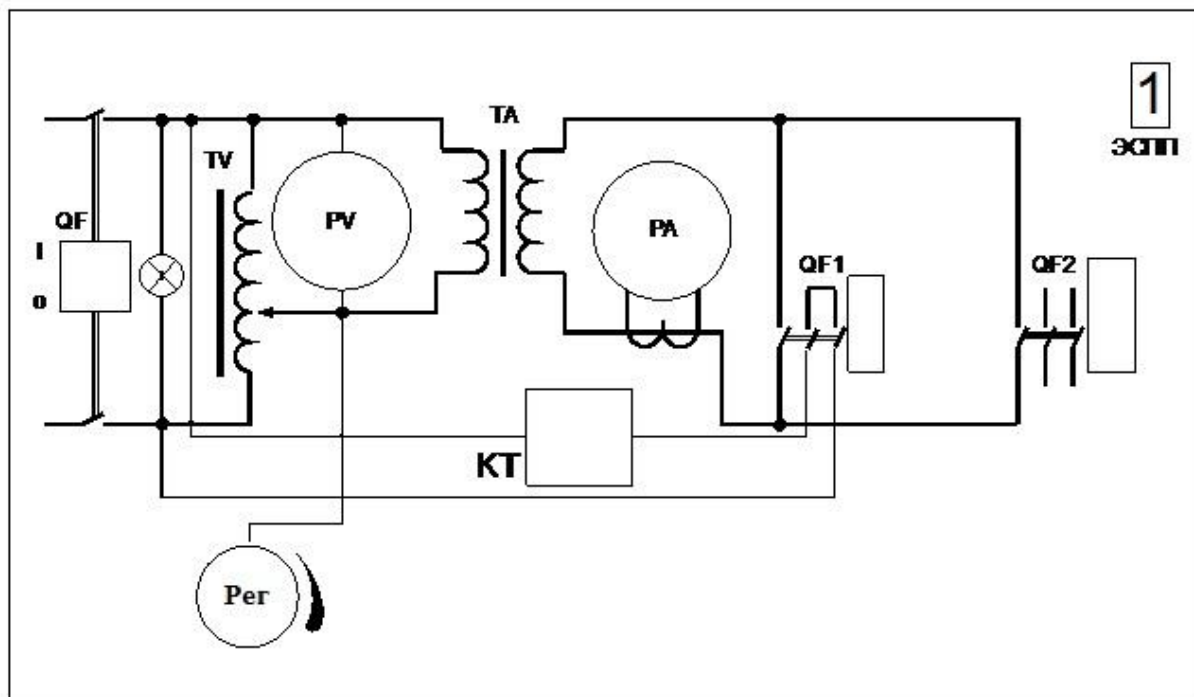


Рис. 1. Лицевая панель стенда

Задание

Таблица 1

Ном. п/п	Номинальное напряжение, $U_{ном}$, В	Ток, протекающий по автомату $QF1$, $I_{расц}$, А	Время срабатывания автомата, $\tau_{ср}$, с
1	150		
2	130		
3	110		
4	100		
5	90		
6	80		
7	70		

На рисунке 2 представлен график зависимости $\tau_{ср} = f(I_{расц})$, построенный по данным таблицы 1.

Рис. 2. График зависимости $\tau_{ср} = f(I_{расц})$

Вывод:

5. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ:

1. Для чего предназначен автоматический выключатель?
2. Из каких основных конструктивных элементов состоит автоматический выключатель?
3. Как работает тепловой расцепитель автоматического выключателя?
4. Как работает электромагнитный расцепитель автоматического выключателя?
5. От каких ненормальных режимов работы защищает тепловой расцепитель?
6. От каких ненормальных режимов работы защищает электромагнитный расцепитель?
7. Какие электрические сети защищаются от перегрузки?
8. Какая существует классификация автоматических выключателей?
9. В чем различие селективных и неселективных автоматических выключателей?
10. Что такое селективность защиты?
11. Каким образом обеспечивается селективная настройка автоматических выключателей в сети?
12. В чем преимущества и недостатки автоматических выключателей в отличие от предохранителей?
13. Для чего необходим шунтирующий автоматический выключатель в лабораторной установке?
14. В чем особенность условий выбора автоматических выключателей при защите индивидуального электроприемника и группы электроприемников?
15. Какими дополнительными расцепителями снабжаются автоматические выключатели?

6. ГЛОССАРИЙ

1. **Автоматический выключатель** – коммутационный аппарат, предназначенный для автоматического отключения электрических цепей при КЗ или ненормальных режимах, а также для нечастого включения и отключения токов нагрузки.

2. **Релейная защита** – комплекс автоматических устройств, предназначенных для быстрого (при повреждениях) выявления и отделения от [электроэнергетической системы](#) повреждённых элементов этой электроэнергетической системы в аварийных ситуациях с целью обеспечения нормальной работы всей системы.

3. **Электроприемник** – аппарат, агрегат, механизм, предназначенный для преобразования электрической энергии в другой вид энергии.

4. **Потребитель электрической энергии** – электроприемник или группа электроприемников, объединенных технологическим процессом и размещающихся на определенной территории.

5. **Расцепитель** – элемент автоматического выключателя, воздействующий на расцепляющее устройство при достижении определенных значений контролируемого параметра.

6. **Дугогасящие контакты** – дополнительная контактная система, направляющая электрическую дугу при ее возникновении в специальные дугогасительные камеры.

7. **Короткое замыкание** – электрическое соединение двух точек [электрической цепи](#) с различными значениями [потенциала](#), не предусмотренное конструкцией устройства и нарушающее его нормальную работу.

8. **Ток перегрузки** - сверхток в электрически не поврежденной цепи, при длительном воздействии которого возможно повреждение электрической сети.

9. **Селективность** – свойство релейной защиты, характеризующее способность выявлять поврежденный элемент электроэнергетической системы и отключать этот элемент только ближайшими к нему выключателями.

10. **Электрическая дуга** – физическое явление, один из видов электрического разряда в газе, возникающее в результате пробоя изоляции между элементами электроустановок с различным потенциалом.

11. **Предельная наибольшая отключающая способность** – Отключающая способность, для которой предписанные условия, соответствующие указанному циклу испытаний, не предусматривают

способности выключателя проводить в течение условного времени ток, равный 0,85 тока нерасцепления.

12. **Срабатывание** – Переход одного или более подвижных контактов из разомкнутого в замкнутое положение и наоборот.

13. **Контрольная температура** – Температура окружающего воздуха, при которой устанавливают время-токовые характеристики.

14. **Перенапряжение** – Любое напряжение, пиковое значение которого превышает пиковое значение максимального установившегося напряжения в нормальных рабочих условиях.

15. **Изолирующий промежуток** – Воздушный зазор между разомкнутыми контактами, отвечающий требованиям по безопасности, предъявляемым к разъединению.

7. ССЫЛКИ:

1. <http://portal.tpu.ru/departments/kafedra/espp/literatura> - Учебно-методические пособия кафедры электроснабжения промышленных предприятий ТПУ.
2. http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%B2%D1%8B%D0%BA%D0%BB%D1%8E%D1%87%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C – Открытая энциклопедия «Википедия».
3. <http://www.iek.ru/products/catalog/> - Каталог продукции фирмы-производителя автоматических выключателей IEK.
4. <http://protect.gost.ru/v.aspx?control=8&baseC=-1&page=0&month=-1&year=-1&search=&RegNum=1&DocOnPageCount=15&id=169277> - ГОСТ Р 50345-2010. Аппаратура малогабаритная электрическая. автоматические выключатели для защиты от сверхтоков бытового и аналогичного назначения. часть 1. автоматические выключатели для переменного тока.
5. <http://www.gostedu.ru/51177.html> - ГОСТ Р 50030.2-2010 (МЭК 60947-2:2006) Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 2. Автоматические выключатели.