



Министерство топлива и энергетики Российской Федерации  
ПЕТЕРБУРГСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
повышения квалификации руководящих работников  
и специалистов ( ПЭИпк )

Кафедра релейной защиты  
и автоматики энергосистем

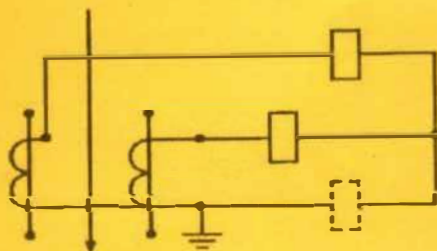
М.А. ШАБАД

ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА  
в схемах релейной защиты

часть вторая

РАСЧЕТЫ ДЛЯ СХЕМ ЗАЩИТЫ  
НА ПЕРЕМЕННОМ ОПЕРАТИВНОМ ТОКЕ

Конспект лекций



Санкт-Петербург

1995

МИХАИЛ АБРАМОВИЧ ШАБАД, кандидат технических наук, доцент

Трансформаторы тока в схемах релейной защиты.  
Часть вторая. Расчеты для схем защиты на переменном оперативном токе.

### Конспект лекций

Одобен и рекомендован к опубликованию Ученым Советом  
Института. Протокол № 1 от 18 октября 1995 г.

В первой части приведены общие сведения о трансформаторах тока (ТТ), используемых в схемах релейной защиты, рассмотрены объем и методы их экспериментальной проверки при наладке и обслуживании устройств релейной защиты, а также методы и примеры расчетной проверки пригодности ТТ по их погрешностям.

Во второй части рассматриваются особенности расчетной проверки ТТ, используемых для релейной защиты на переменном оперативном токе с реле прямого действия и в схемах с дешунтированием электромагнитов управления.

Научный редактор А.М.Александров.

Издание Петербургского энергетического института повышения  
квалификации руководящих работников и специалистов  
Минтопэнерго РФ  
1995

## §4. Релейная защита на переменном оперативном токе и роль трансформаторов тока в обеспечении надежности ее работы.

Релейная защита в распределительных электрических сетях напряжением 6 и 10 кВ и до 110 кВ включительно весьма часто выполняется на переменном оперативном токе. Это объясняется тем, что на относительно небольших подстанциях и распределительных пунктах этих сетей обычно из экономических соображений не устанавливаются аккумуляторные батареи или выпрямительные агрегаты (в отличие от электростанций и крупных подстанций промышленных предприятий).

Особенность использования трансформаторов тока (ТТ) в схемах релейной защиты на переменном оперативном токе заключается в том, что в этих схемах ТТ являются не только источником информации для измерительных органов защиты (токовой, дистанционной, дифференциальной, направленной), но также источником оперативного тока.

**Оперативный ток.** Оперативным называют переменный (или постоянный) ток, обеспечивающий работу:

- логических элементов защиты (реле времени, промежуточных и сигнальных реле);
- электромагнитов (катушек) управления коммутационных аппаратов (отключающих катушек ОК выключателей, включающих катушек ВК короткозамыкателей и выключателей и т.п.);
- выпрямительных устройств предназначенных для питания защит и аппаратов, работающих на выпрямленном (постоянном) оперативном токе; от ТТ питаются выпрямительные устройства, получившие название "блоки питания токовые" (БПТ);

- зарядных устройств (УЗ, БПЗ), т.е. выпрямительных устройств, предназначенных для заряда специальных конденсаторных батарей (БК), которые в нужный момент отдадут заранее накопленную в конденсаторах энергию электромагнитам управления (например, отключающей катушке автоматического отделителя, установленного на стороне 110 кВ силового трансформатора, что позволяет отключить от сети поврежденный трансформатор, причем в тот момент, когда на подстанции может отсутствовать напряжение и ток, и предварительно заряженная батарея конденсаторов БК является единственным источником оперативного тока, разумеется, если нет аккумуляторной батареи.

**Источники оперативного тока.** Источниками оперативного тока могут служить:

- аккумуляторные батареи с собственными зарядными устройствами; это самый надежный и независимый источник оперативного тока, но слишком дорогостоящий для небольших подстанций распределительных сетей;
- выпрямительные устройства - блоки питания, получающие на входе переменный ток (БПТ) или переменное напряжение (БПН) соответственно от трансформаторов тока ТТ или трансформаторов напряжения ТН или от трансформаторов собственных нужд ТСН, и выдающие на общие шинки

выпрямленный (постоянный) оперативный ток 110 В или 220 В; этот вид оперативного тока используется для питания сложных ступенчатых защит и другой аппаратуры, рассчитанной на постоянный оперативный ток;

- предварительно заряженные батареи конденсаторов ВК со специальными зарядными устройствами БПЗ, получающими на входе переменный ток от ТТ или переменное напряжение от ТН или ТСН;

- трансформаторы напряжения или ТСН, которые могут обеспечить оперативным током только те устройства защиты, которые не предназначены для работы при коротких замыканиях (КЗ), когда возможны глубокие снижения напряжения, или при полном погашении подстанции, например, защиты от перегрузки, от снижения уровня масла в трансформаторе и т.п.

- трансформаторы тока, питающие те устройства защиты, которые предназначены для срабатывания при КЗ (максимальные токовые, дифференциальные, токовые направленные), а также электромагниты управления тех коммутационных аппаратов, на которые воздействуют эти защиты; очень часто эти же ТТ используются и для питания измерительных органов соответствующей защиты.

Для обеспечения надежной работы релейной защиты в сетях 35 кВ и выше используются, как правило, комбинации из нескольких источников оперативного тока. В распределительных сетях 6 и 10 кВ в городах и в сельской местности источником оперативного тока обычно являются только ТТ защищаемого присоединения. Такие схемы и являются в точном смысле схемами релейной защиты на переменном оперативном токе. Они могут быть разделены на два вида:

- схемы с дешунтированием ЭУ и
- схемы с реле прямого действия (РТМ и РТВ), которые сами же выполняют функции ЭУ выключателя.

Основной особенностью работы ТТ в этих схемах при КЗ является возможность значительного увеличения полной погрешности ТТ по сравнению с принятой нормой  $\varepsilon = 10\%$  (см. часть первую этой работы).

Задачей рассматриваемых далее расчетов является определение значений погрешностей ТТ  $\varepsilon$  и  $f$ , превышающих 10%, и проверка надежности функционирования в этих условиях релейной защиты и ЭУ коммутационных аппаратов защищаемого элемента электроустановки.

### Контрольные вопросы

1. Оперативный ток и его источники.
2. Схемы релейной защиты, в которых трансформаторы тока играют роль источников оперативного тока.
3. Задачи расчетной проверки трансформаторов тока, используемых в схемах релейной защиты на переменном оперативном токе.

## §5. Расчеты для схем релейной защиты с дешунтированием ЭУ коммутационных аппаратов (ОК и ВК).

Схемы релейной защиты с дешунтированием ЭУ могут быть двух видов в зависимости от типов реле, дешунтирующих ЭУ:

- схемы максимальных токовых защит с дисковыми индукционными реле типов РТ-85 и РТ-95, которые имеют специальные усиленные контакты для дешунтирования ЭУ;

- схемы ступенчатых максимальных токовых защит с независимой времятоковой характеристикой, дифференциальных защит, направленных токовых защит, которые имеют в своем составе специальные выходные промежуточные реле типов РП-341 и РП-361 с усиленными контактами для дешунтирования ЭУ.

Для обеспечения надежной работы этих схем при КЗ необходимо, чтобы ТТ работали с погрешностью  $\varepsilon \leq 10\%$  (и  $f < 10\%$ ) до момента дешунтирования ЭУ, а после дешунтирования ЭУ необходимо чтобы возросшая погрешность ТТ не привела бы к такому уменьшению вторичного тока, при котором может произойти возврат дешунтирующих реле, т.е. отказ защиты. Для этого Правила [Л.1] требуют производить дополнительно расчетную проверку чувствительности защиты в режиме после дешунтирования ЭУ с учетом максимально возможного значения погрешности ТТ ( $f_{\max}$ ), а также производить проверку чувствительности дешунтированных ЭУ. Таким образом проверка допустимости использования схем релейной защиты с дешунтированием ЭУ непосредственно связана с расчетной проверкой ТТ. Рассмотрим эти расчеты применительно к типовым схемам защиты с дисковыми реле РТ-85 (РТ-95) и схемами со специальными выходными реле РП-341 (РП-361).

**Схема максимальной токовой защиты с дисковыми реле РТ-85.** Типовая двухфазная двухрелейная схема защиты с двумя дешунтируемыми ОК приведена на рис.13,а. Эта схема используется главным образом для линий 6 и 10 кВ, но в ряде случаев применяется также для защиты силовых трансформаторов с высшим напряжением 10(6) кВ, секционных выключателей 10(6) кВ, вводов низшего напряжения у трансформаторов 110/10 кВ, 35/10 кВ и т.п., а иногда и тупиковых линий напряжением до 35 кВ. Применение в этой схеме реле типа РТ-85 обеспечивает, как известно, возможность выполнения двухступенчатой токовой защиты, первой ступенью которой является быстродействующая токовая отсечка (электромагнитный элемент этого реле), а второй – максимальная токовая защита с обратозависимой времятоковой характеристикой (индукционный элемент) [Л.4,8].

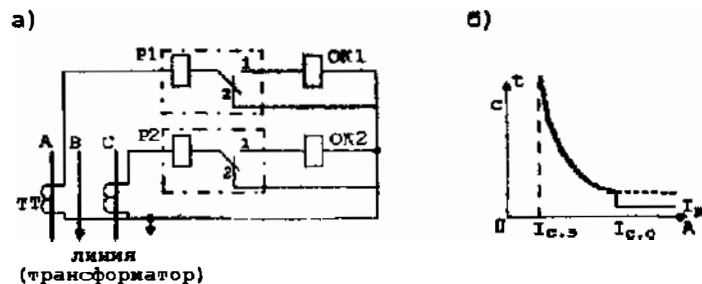


Рис. 13. Схема максимальной токовой защиты с дисковыми реле РТ-85 (а) и времятоковая характеристика этих реле (б).

В нормальном режиме работы защищаемой линии или трансформатора контакты 1 и 2 реле Р1 и Р2 находятся в положении, показанном на рис. 13, а. Контакты 2 шунтируют соответствующие ОК. При КЗ и срабатывании одного или двух реле контакт 1 замыкается, а контакт 2 размыкается (без опасного даже кратковременного размыкания цепи ТТ). При этом ЗУ - катушки отключения ОК1 и ОК2 или одна из них оказываются дешунтированными и подключенными к соответствующему ТТ. Из-за этого резко возрастает сопротивление вторичной нагрузки  $Z_{н.факт}$  и соответственно  $Z_{н.факт.расч}$  (особенно, если произошло двухфазное КЗ фаз АВ или ВС, см. Приложение к первой части конспекта лекций). Следовательно, как видно из схемы замещения ТТ (рис. 3), уменьшается ток в реле  $I_2$ , а ток намагничивания, полная и токовая погрешности ТТ - возрастают.

Для предотвращения возврата реле Р1, Р2 необходимо расчетом определить коэффициент чувствительности защиты в режиме после дешунтирования ОК1 (ОК2) по выражению

$$k_{чз} = \frac{I_{1k \min} \cdot (1 - \frac{f_{\max}}{100})}{k_B \cdot I_{с.з}}, \quad (17)$$

где  $I_{1k \min}$  - минимальное значение тока при двухфазном КЗ в конце защищаемого участка, А;  $f_{\max}$  - наибольшее значение токовой погрешности ТТ в процентах;  $I_{с.з}$  - первичное значение тока срабатывания защиты или отсечки, А;  $k_B$  - коэффициент возврата реле (отношение тока возврата к току срабатывания реле).

Надо обратить внимание, что у электромагнитного элемента реле РТ-85, производящего при срабатывании переключение контактов и дешунтирование ЗУ, очень низкий коэффициент возврата:  $k_B = 0,3 \div 0,4$ . Эта особенность конструкции реле в данном случае играет положительную роль, "удерживая" реле в сработавшем состоянии, несмотря на увеличение погрешности вплоть до 60 + 70%. Даже при такой погрешности ТТ значение коэффициента чувствительности защиты  $k_{чз}$  практически не снижается, что свидетель-

ствует о невозможности возврата реле РТ-85 после его срабатывания и дешунтирования ЗУ.

Однако в отличие от электромагнитических реле у их полупроводниковых аналогов значения коэффициента возврата близки к 1. Таким образом, в случаях использования принципа дешунтирования ЗУ в полупроводниковых защитах необходимо предусмотреть специальные мероприятия, предотвращающие возврат дешунтирующих органов после их срабатывания и дешунтирования ЗУ, если по условию (17) коэффициент чувствительности  $k_{чз}$  оказывается меньше, чем требуется по Правилам [Л.1].

Чувствительность ОК в схеме на рис. 13, а и подобных схемах проверяется отдельно по выражению, аналогичному выражению (17), но без учета коэффициента возврата:

$$k_{чок} = \frac{I_{1k \min} \cdot (1 - \frac{f_{\max}}{100})}{n_T \cdot I_{с.ок}}, \quad (18)$$

где  $I_{с.ок}$  - ток срабатывания стандартной отключающей катушки, равный, как правило, 5А (РТМ) или 3,5А (Зотт);  $n_T$  - коэффициент трансформации трансформаторов тока. Коэффициент схемы для схемы на рис. 13, а равен 1 и в выражении (18) не указывается; для других схем, где  $k_{сх} \neq 1$ , этот коэффициент должен учитываться.

Минимальное значение коэффициента чувствительности для ОК, обеспечивающее их надежное срабатывание, должно быть приблизительно на 20% больше чем для соответствующих защит [Л.1]:

$$k_{чок} \approx 1,2 \cdot k_{чз}. \quad (19)$$

Например, для максимальной токовой защиты при срабатывании в основной зоне требуется  $k_{ч} \approx 1,5$ , а для ОК  $k_{ч} \approx 1,8$ . В зоне дальнего резервирования требуется для защиты  $k_{ч} \approx 1,2$ , а для ОК  $k_{ч} \approx 1,44$  [Л.1].

При такой раздельной проверке чувствительности защиты и ОК не требуется согласование их токов срабатывания, и поэтому ток срабатывания защиты (реле) может выбираться большим или меньшим, чем ток срабатывания дешунтируемой ОК. До выпуска действующего сейчас издания Правил [Л.1] рекомендовалось выбирать ток срабатывания защиты (реле) обязательно большим, чем ток срабатывания ОК, причем с обязательным учетом погрешности ТТ [Л.3]. Поскольку по теперешним Правилам это не требуется, придется при согласовании чувствительности защит смежных элементов у предыдущей (нижестоящей) защиты принимать в расчет больший из токов срабатывания - защиты или ОК.

**Определение максимального значения токовой погрешности ТТ  $f_{\max}$ .** Токовая погрешность ТТ, превышающая 10%, определяется расчетом по зависимости  $A = \psi(f)$ , приведенной на рис. 12, 5 (см. первую часть конспекта лекций), при таком значении тока КЗ, при котором обеспечивается надежное срабатывание токовой отсечки, а если она не используется, то максимальной токовой защиты, и соответственно обеспечивается срабатывание ОК. Коэффициент  $A$  определяется по выражению (15), а значения максимальной кратности по следующим выражениям:

для защиты  $k_{\max} = k_{\psi} \cdot I_{\text{с.з}} / I_{\text{ном.т}}$ , (20)

для ОК  $k_{\max, \text{ОК}} = k_{\psi} \cdot n_{\text{т}} \cdot I_{\text{с.ОК}} / I_{\text{ном.т}}$ , (21)

где  $I_{\text{с.з}}$  - ток срабатывания отсечки, а если она не используется, то максимальной токовой защиты, А;  $I_{\text{с.ОК}}$  - ток срабатывания ОК, А;  $I_{\text{ном.т}}$  - первичный номинальный ток ТТ, А;  $k_{\psi}$  - коэффициент чувствительности, равный примерно 1,5 для максимальной токовой защиты, 1,2 - для токовой отсечки линии, 1,8 - для ОК. Если защищается трансформатор, то для токовой отсечки  $k_{\psi} \approx 2$ , а для ОК - около 2,4 [Л.1].

Значение допустимой предельной кратности  $k_{10\text{доп}}$ , соответствующей полной погрешности ТТ  $\varepsilon = 10\%$  при заданном сопротивлении  $z_{\text{н.факт.расч}}$ , может быть определено либо расчетом по выражению (8), либо графически по соответствующей кривой предельной кратности (рис. 12,а).

**Пример** расчета  $I_{\text{мах}}$  для схемы защиты, приведенной на рис. 13,а. Наибольшее значение сопротивления вторичной нагрузки ТТ имеет место при двухфазном КЗ фаз АВ или ВС в режиме после дешунтирования ОК:

$$z_{\text{н.факт.расч}} = 2 \cdot r_{\text{пр}} + z_{\text{р}} + z_{\text{ОК}} + z_{\text{пер}} = 0,1 + 0,1 + 2,2 + 0,1 = 2,5 \text{ Ом},$$

где  $r_{\text{пр}}$  - сопротивление фазного провода от ТТ до реле и принятое равным ему сопротивление обратного провода схемы;  $z_{\text{р}}$  - сопротивление реле РТ-85 при токе срабатывания;  $z_{\text{ОК}}$  - сопротивление ОК при токе срабатывания;  $z_{\text{пер}}$  - сопротивление контактов, принятое равным 0,1 Ом.

Сопротивлению нагрузки 2,5 Ом соответствует значение  $k_{10\text{доп}} = 4$  (рис. 12,а). Кратность  $k_{\max}$  при токе срабатывания отсечки равно, например, 700 А определяется по выражению (20):  $k_{\max} = 1,2 \cdot 700 / 50 = 16,8$ , где 50 А - первичный номинальный ток ТТ в этом примере. По выражению (15) коэффициент  $A = 16,8/4 = 4,2$ , а токовая погрешность  $f_{\text{мах}} = 65\%$  (рис. 12,б).

Для токовой отсечки характерны большие кратности тока срабатывания по отношению к току срабатывания максимальной токовой защиты (индукционного элемента РТ-80) и еще большие кратности по отношению к первичному номинальному току ТТ. Но и при таком большом значении погрешности ТТ возврат реле РТ-85 после дешунтирования ОК не произойдет, поскольку значение коэффициента чувствительности остается примерно таким же, как и до дешунтирования ОК.

Если токовая отсечка на линии не используется, то может оказаться, что и после дешунтирования ОК погрешность ТТ не превышает 10%. Например, ток срабатывания максимальной токовой защиты с независимой характеристикой (с реле РТ-95)  $I_{\text{с.з}} = 3 I_{\text{ном.т}}$ . По выражению (7)  $k_{10} = 1,1 \cdot I_{\text{с.з}} / I_{\text{ном.т}} = 3,3$ . По рис. 12,а определяем, что допустимо  $z_{\text{н}} = 3 \text{ Ом} > z_{\text{н.расч}} = 2,5 \text{ Ом}$  и, следовательно, значение  $f$  в данном примере на более 10%.

Для токовых защит с обратозависимой характеристикой погрешность ТТ определяется при токе согласования

или токе перехода характеристики в независимую часть (для реле РТ-80 соответствует  $5+8 I_{\text{с.з}}$ ). Для рассматриваемого примера значение  $f$  находится в пределах  $60+70\%$ , т.е. также как в расчете для токовой отсечки.

Токи срабатывания стандартных ОК составляют 5 или 3,5 А, т.е. равны или меньше  $I_{\text{ном.т}}$  (5 А). При этом значения предельной кратности  $k_{10}$  не превышают 1,5 и, как правило,  $f < 10\%$ .

**Проверка точности работы индукционного элемента реле серии РТ-80.** Для точной работы реле РТ-80 необходимо обеспечить, чтобы  $f \leq 50\%$  при максимальном значении тока КЗ через защиту. Значение  $f$  определяется по рассмотренной в первой части конспекта методике при максимальном токе срабатывания отсечки, если она используется. При этом ток срабатывания отсечки увеличивается на  $15+20\%$  для создания расчетного запаса. Сопротивление  $z_{\text{н.расч}}$  определяется в режиме до дешунтирования ОК, т.е. без учета сопротивления ОК.

Например,  $k_{\max} = I_{\text{лк max}} / I_{\text{ном.т}} = 27$ . Значению  $z_{\text{н.факт.расч}} = 0,3 \text{ Ом}$  соответствует  $k_{10\text{доп}} = 18$  (определяется по соответствующей кривой предельных кратностей или другим способом, рис. 11). Коэффициент  $A = 27/18 = 1,5$ . По зависимости  $A = \psi(f)$  на рис. 12,б определяется  $f = 30\%$ , что менее  $f_{\text{доп}} = 50\%$ . Следовательно, точная работа индукционного элемента реле РТ-80 будет обеспечена во всем диапазоне токов КЗ, меньших чем ток срабатывания электромагнитного элемента (отсечки).

**Проверка надежности работы дешунтирующих контактов реле РТ-85.** По данным завода-изготовителя [Л.8] контакты реле РТ-85 способны производить дешунтирование ОК при токах, не превышающих 150 А при сопротивлении дешунтируемой цепи не более 4,5 Ом. В некоторых случаях при увеличении значений токов КЗ в процессе эксплуатации приходится решать вопрос о возможности дальнейшего использования схемы защиты с дешунтированием ОК на всех или на части элементов 6(10) кВ, если  $I_{\text{ж}} = I_{\text{к}} / n_{\text{т}} > 150 \text{ А}$ . Однако при этом рекомендуется уточнить значение  $I_{\text{ж}}$  с учетом действительной токовой погрешности трансформаторов тока  $f$ , которая может быть определена по рассмотренно выше методике. Уточненное значение вторичного тока КЗ, дешунтируемого контактами реле РТ-85, определяется по выражению:

$$I'_{\text{ж}} = \frac{I_{\text{лк max}} \cdot (1 - \frac{f}{k \cdot 100}) \cdot k_{\text{сх}}}{n_{\text{т}}}, \quad (22)$$

где  $I_{\text{лк max}}$  - максимальное первичное значение тока КЗ в месте установки защиты;  $k_{\text{сх}}$  - коэффициент схемы, принятый для схемы неполной звезды (рис. 13,а) равным 1;  $n_{\text{т}}$  - коэффициент трансформации ТТ;  $k \approx 1,2$  - коэффициент запаса, учитывающий возможность использования лучших сортов электротехнической стали для изготовления магнитопроводов ТТ;  $f$  - токовая погрешность ТТ в процентах, определяемая по рассмотренной выше методике; при этом

$z_{н.расч}$  определяется без учета демунтируемых ЗО, поскольку регламентируется ток до демунтирования ОК [Л.3,8].

Например, при  $I_{дк} = 1600$  А и  $n_T = 50/5$  формально подсчитанное значение  $I_{дк} = 160$  А. Но при  $z_{н.расч} = 0,3$  Ом,  $k_{10доп}=18$ ,  $k_{макс} = 1600/50=32$ , коэффициент  $A=32/18=1,8$ , значение  $f=38\%$ . По выражению (22)  $I'_{дк} = 110$  А < 150 А. И таким образом схема с демунтированием ОК может быть оставлена в работе.

**Трехрелейная схема защиты с реле РТ-85 при двух ОК.** Трехрелейная схема защиты применяется в тех случаях, когда максимальная токовая защита имеет достаточную чувствительность при трехфазном КЗ за трансформатором 6(10)/0,4 кВ со схемой соединения обмоток треугольник-звезда-11. Добавление третьего реле обеспечивает такую же чувствительность и при всех видах двухфазных КЗ за этим трансформатором, в то время как двухрелейная схема (рис. 13,а) при двухфазном КЗ может иметь в два раза меньшую чувствительность. Трехрелейная схема может применяться для собственной защиты таких трансформаторов, а также для защиты линий 6(10) кВ, питающих подобные трансформаторы. Трехрелейная схема может также применяться для защиты небольших трансформаторов 35 кВ со схемой соединения обмоток звезда-треугольник-11 (не имеющих дифференциальной защиты) и линий, питающих трансформаторы с такой схемой соединения обмоток.

Для выполнения трехрелейной схемы при двух ОК в приводе выключателя требуется произвести перемонтаж в дополнительно устанавливаемом реле (РЗ) типа РТ-85 для раздельного вывода на внешние зажимы реле его катушки, замыкающего (1) и размыкающего (2) контактов. Замыкающий контакт 1 включается параллельно с аналогичным замыкающим контактом 1 реле Р1, а размыкающий контакт 2 включается последовательно с аналогичным контактом 2 реле Р1. Таким образом, оба реле - Р1 и РЗ, при срабатывании вместе или по отдельности, производят демунтирование одной и той же отключающей катушки ОК1 (рис. 13,а). Катушка третьего реле РЗ включается в обратный провод схемы неполной звезды трансформаторов тока, где в нормальном режиме проходит ток фазы В (с обратным знаком).

Коэффициент чувствительности для защиты, выполненной по такой схеме, в режиме после демунтирования ОК определяется по выражению (17), в котором минимальное значение тока  $I_{дк.мин}$  принимается равным току при трехфазном КЗ за трансформатором со схемой соединения обмоток треугольник-звезда или звезда-треугольник-11. Коэффициент чувствительности для ОК определяется по выражению (18), в котором значение тока  $I_{дк.мин}$  принимается равным половине тока трехфазного КЗ за этим же трансформатором. Таким образом, эта схема эффективна, если ток срабатывания ОК по крайней мере в 2 раза меньше тока срабатывания реле защиты, что вполне реально.

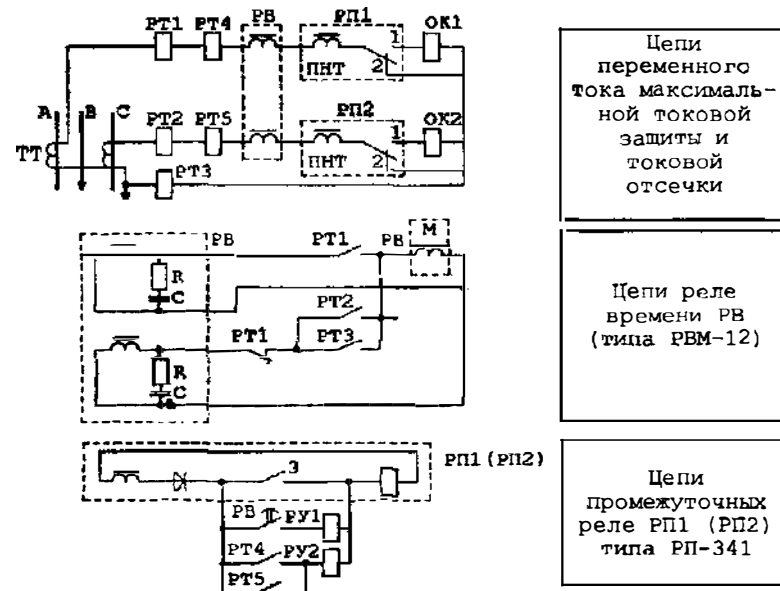
Определение токовой погрешности трансформаторов тока после демунтирования ОК производится таким же образом, как и для схемы на рис. 13,а, но с учетом того, что

максимальное расчетное значение  $z_{н.расч} = 3z_T + 3z_P + z_{ОК} + z_{пер}$  при двухфазном КЗ за трансформаторами с указанными схемами соединения обмоток (см. Л.5 и Приложение к первой части этого конспекта лекций).

Принимая во внимание небольшие значения  $z_P$  и  $z_T$  в комплектных распределительных устройствах (КРУ) 6 и 10 кВ по сравнению с  $z_{ОК}$ , очевидно, что суммарные значения  $z_{н}$  для схемы защиты с двумя или тремя реле различаются незначительно. Если для рассмотренного выше примера  $z_{н}$  для схемы на рис. 13,а было равно 2,5 Ом, то для схемы с тремя реле при тех же условиях - 2,75 Ом. Для случая трех реле и трех ОК  $z_{н.расч}$  резко возрастает за счет утроенного значения  $z_{ОК}$  (для того же примера 7,35 Ом).

Проверка точности и надежности работы реле РТ-85 для трехрелейных схем производится также, как рассмотрено выше.

**Защита трансформаторов и линий, выполняемая по схеме с демунтированием отключающих (или включающих) катушек с помощью специальных демунтирующих реле типа РП-341 (РП-361).**



**Рис.14.** Принципиальная схема двухступенчатой максимальной токовой защиты на переменном оперативном токе с демунтированием электромагнитов отключения ОК1, ОК2 с помощью реле типа РП-341 (РП1, РП2); РТ1-РТ3 - максимальные реле тока мгновенного действия максимальной токовой защиты; РТ4-РТ5 - то же токовой отсечки; РВ - реле времени типа РВМ-12 РВМ-13); РУ - реле указательные (сигнальные).

Не касаясь выбора параметров срабатывания защит, рассмотрим лишь условия проверки чувствительности дифференциальной и максимальной токовой защит трансформаторов, а также ОК выключателей и ВК короткозамыкателей в режиме после дешунтирования ОК с учетом погрешности ТТ.

Проверка чувствительности измерительных органов (реле дифференциальной и максимальной токовой защит), токового реле времени (РВМ, РСВ) и дешунтирующих реле типа РП-341 (РП-361), показанных на рис. 14, должна производиться по выражению (17), которое переписывается для вторичных токов, т.е. токов, проходящих в реле во время КЗ в защищаемой зоне:

$$k_{\Sigma} = \frac{I_{2k \min} \cdot (1 - \frac{f_{\max}}{100})}{k_{\Sigma} \cdot I_{\Sigma p} \cdot k_{\Sigma}} \quad (23)$$

где  $I_{\Sigma p}$  - ток срабатывания реле, причем принимается большее значение из токов срабатывания реле максимальной и дифференциальной защит и дешунтирующего реле типа РП-341, А;  $k_{\Sigma}$  - коэффициент возврата реле; ориентировочно принимается для РТ-40 не более 0,8, а для реле РП-341 - не более 0,4 и уточняется после наладки защиты;  $I_{2k \min}$  - ток в реле при металлическом КЗ в конце защищаемой зоны в минимальном режиме питающей энергосистемы; значение этого тока зависит от схемы соединения обмоток и наличия РПН защищаемого трансформатора, от схемы соединения трансформаторов тока защиты и вида КЗ, А [Л.5];  $f$  - токовая погрешность ТТ в режиме после дешунтирования ОК, проценты.

Чувствительность ОК определяется по выражению, аналогичному (18):

$$k_{\Sigma ОК} = \frac{I_{2k \min} \cdot (1 - \frac{f_{\max}}{100})}{I_{\Sigma ОК} \cdot k_{\Sigma}} \quad (24)$$

где все обозначения такие же как в выражениях (17), (23), о значении коэффициента  $k_{\Sigma}$  - см. далее.

Для типовой схемы защиты трансформаторов на переменном оперативном токе, в которой реле типа РП-341 самоудерживаются после срабатывания, расчетную проверку чувствительности измерительных органов защиты и реле времени (токового) типов РВМ-12(13), РСВ-13 достаточно произвести для режима до дешунтирования ОК, поскольку после дешунтирования их возврат уже не может вызвать возврат реле РП-341 и отказ функционирования защиты (рис.14). Проверка чувствительности по выражению (23) должна производиться только для реле типа РП-341. При этой проверке надо помнить, что для трехобмоточных трансформаторов со стандартной схемой соединения обмоток, как правило, защита выполняется тремя измерительными органами (например, три реле ДЗТ-11), а реле РП-341 могут быть установлены лишь два по числу дешунтируемых ОК. В этом случае в выражении (23) значение коэффициента  $k_{\Sigma} = 2$ , т.к.  $I_{2k \min}$  для проверки чувствительности РП-341 будет в

действительности в два раза меньше, чем для проверки чувствительности измерительных органов защиты. Однако относительно низкий коэффициент возврата реле РП-341 и небольшое значение его тока срабатывания (5 А или 2,5 А) способствуют получению достаточного коэффициента чувствительности защиты по выражению (23), несмотря на учет коэффициента  $k_{\Sigma}$  и на возможные значения  $f > 10\%$ .

Чувствительность ОК при тех же условиях оказывается значительно ниже, поскольку в выражении (24) отсутствует коэффициент возврата, а коэффициент чувствительности для ОК требуется на 20% выше, чем для защиты. Если для дифференциальной защиты  $k_{\Sigma} \approx 2$ , то для ОК  $k_{\Sigma} \approx 2,4$ . Такое значение  $k_{\Sigma}$  практически не может быть обеспечено для защиты трансформаторов небольшой мощности, например, трансформаторов 110 кВ мощностью 2,5 и 6,3 МВ·А при встро-енных ТТ типа ТВТ-110 с  $n_T \leq 150/5$  даже при условии, что их погрешность не превышает 10%. Практически же как раз у этих типов ТТ погрешности могут превышать 10%. Кроме того, при двух ОК (или двух ВК) в выражении (24) коэффициент  $k_{\Sigma} = 2$ .

Надо также отметить, что для этих ТТ не может быть использована методика определения значения  $f > 10\%$  по зависимости  $A = \psi(f)$ . Для них рекомендуется определять полную погрешность  $\epsilon$ , равную току намагничивания  $I_{\text{нам}}$ , по фактическим вольтамперным характеристикам ТТ или по типовой кривой намагничивания стали и параметрам трансформаторов тока (см. первую часть конспекта лекций; рис. 11).

Для трансформаторов 110 кВ большей мощности и трансформаторов 35 кВ схемы с дешунтированием ОК (ВК) имеют широкое распространение.

### Контрольные вопросы

1. Цель расчетной проверки чувствительности максимальной токовой защиты с реле РТ-85 после срабатывания реле и дешунтирования ОК.
2. Методика проверки надежности работы (чувствительности) максимальной токовой защиты с дешунтированием ОК с учетом токовой погрешности ТТ.
3. Методы определения максимального значения токовой погрешности ТТ, значительно превышающего 10%.
4. Особенности расчетной проверки надежности работы дешунтирующих контактов при максимальных значениях тока КЗ.
5. Области использования схем релейной защиты на переменном оперативном токе с дешунтированием ОК (ВК).



## §6. Расчетная проверка трансформаторов тока в схемах защиты на реле прямого действия.

Схемы токовых защит на реле прямого действия являются наиболее простыми и дешевыми, т.к. эти реле выполняют также функции электромагнитов (катушек) отключения выключателей. При срабатывании они выбивают "защелку" привода выключателя, который отключается за счет энергии, например, предварительно сжатых пружин или предварительного поднятого груза. Однако для своего срабатывания реле прямого действия требуют значительную мощность от ТТ (десятки вольтампер). Соответственно велико и значение сопротивления вторичной нагрузки ТТ  $Z_{н.факт}$  (более одного ома). Погрешности ТТ при этом могут оказаться значительно больше 10%. Задачей расчетной проверки ТТ в этих схемах защиты является определение повышенных значений токовой погрешности ТТ и проверка чувствительности реле защиты при КЗ с учетом наибольшей возможной погрешности ТТ.

**Схема защиты линий 6 и 10 кВ с реле прямого действия.** Двухступенчатая токовая защита выполняется на реле РТМ (токовая отсечка) и РТВ (максимальная токовая защита с обратозависимой времятоковой характеристикой). В качестве типовой принимается двухфазная двухрелейная схема (рис. 15,а). Для защиты трансформаторов со схемой соединения обмоток треугольник-звезда устанавливается третье реле РТВ (на рис. 15 реле 5), повышающее чувствительность защиты при двухфазных КЗ.

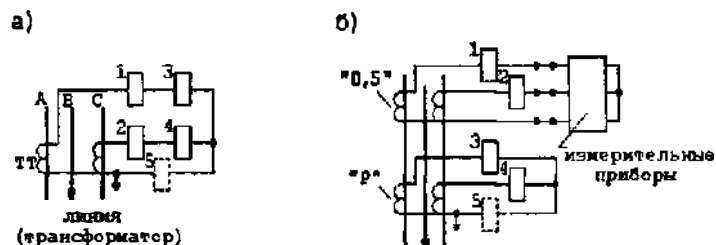


Рис. 15 Схема двухфазной двухрелейной (или трехрелейной) двухступенчатой максимальной токовой защиты с реле прямого действия (1,2 - РТМ, 3,4,5 - РТВ).

Чувствительность токовых защит с реле прямого действия следует проверять с учетом действительной токовой погрешности ТТ по выражению:

$$K_{\alpha} = \frac{I_{1k \min} \cdot \left(1 - \frac{f_{\max}}{100}\right)}{I_{c.a.}} \quad (25)$$

где все обозначения такие же, как в выражении (17).

Проверка ТТ на 10%-ную погрешность для схемы защиты на рис. 15,а производится при токе срабатывания отсечки и, как правило, значение предельной кратности  $K_{10}$  оказывается весьма большим, а допустимое значение  $Z_{н}$  - маленьким (см. рис. 12,а). А фактическое значение расчетного сопротивления нагрузки  $Z_{н.расч}$  в этой схеме велико за счет сопротивления реле РТВ (при токе срабатывания 5 А - около 3+4 Ом, при 10 А - около 1 Ом). В результате расчета часто оказывается, что  $f > 10\%$ . В этих случаях следует рассчитать действительную токовую погрешность трансформаторов тока по кривой  $A = \psi(f)$  на рис. 12,б, а затем определить значение  $K_{\alpha}$  для токовой отсечки по выражению (25). Если оказывается, что значение коэффициента чувствительности существенно ниже 1,2 для защиты линии или 2 для защиты трансформатора (или блока линия-трансформатор), следует рассмотреть несколько вариантов мероприятий для повышения чувствительности токовой отсечки и максимальной токовой защиты. Например, заменить ТТ на более мощные или с более высоким первичным номинальным током, перейти на схему с реле типа РТ-85 и т.д. В том числе следует рассмотреть наиболее дешевый и простой вариант раздельного включения реле РТМ и РТВ на обмотки классов Р и 0,5 установленных ТТ (рис. 15,б). Такая схема при определенных условиях допускается Правилами [л.1]. При этом часто оказывается, что и для токовой отсечки и для максимальной токовой защиты обеспечиваются погрешности ТТ менее 10% за счет разных расчетных условий проверки ТТ на 10%-ную погрешность. Наряду с этим реле РТМ не снижает точность работы измерительных приборов, включенных на обмотку класса 0,5. Покажем это на одном из характерных примеров.

**Пример.** Для защиты линии 10 кВ, питающей трансформатор мощностью 1000 кВ·А со схемой соединения обмоток треугольник - звезда - 11, выбраны токи срабатывания: максимальная токовая защиты  $I_{c.з} = 200$  А (примерно 350% номинального тока трансформатора) и токовой отсечки  $I_{c.о} = 1000$  А (по условию несрабатывания отсечки при КЗ за трансформатором, ток КЗ 650 А). Реле типа РТВ-1 и РТМ-111 привода типа ПП-67, ТТ типа ТПЛ-10,  $n_T = 100/5$  (рис. 16)



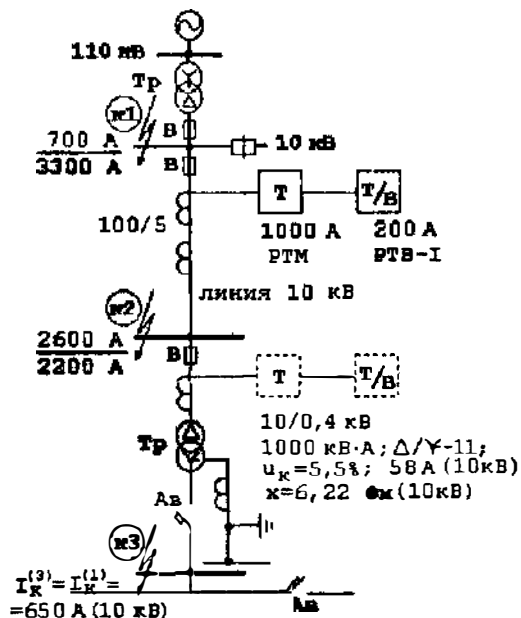


Рис. 16. Расчетная схема для примера проверки чувствительности токовых защит с реле прямого действия РТМ и РТВ.

Производится проверка на 10%-ную погрешность ТТ класса Р (схема на рис. 15,а) при токе срабатывания отсечки в следующем порядке. Определяется предельная кратность  $k_{10} = 1,1 \cdot I_{с.о} / I_{ном.Т} = 1,1 \cdot 1000 / 100 = 11$ . По кривой предельных кратностей (рис. 12,а) определяется допустимое значение сопротивления нагрузки  $z_{н.доп} = 0,8 \text{ Ом}$ , при котором  $\varepsilon = 10\%$ , а токовая погрешность  $f < 10\%$ .

Рассчитывается фактическое сопротивление нагрузки ТТ в схеме на рис. 15,а:  $z_{н.расч} = 2z_{ТТ} + z_{РТМ} + 2z_{РТВ} + z_{пер}$ .

Примем  $z_{ТТ} = 0,05 \text{ Ом}$ ,  $z_{пер} = 0,05 \div 0,1 \text{ Ом}$ .

Сопротивление реле РТМ при уставке тока срабатывания  $I_{с.р} = 1000/20 = 50 \text{ А}$  равно

$$z_{РТМ} = 0,8 \cdot S / I_{с.р}^2 = 0,8 \cdot 345 / 50^2 = 0,11 \text{ Ом},$$

где  $S$  - потребляемая мощность при втянутом якоре реле и токе срабатывания, В·А; коэффициент 0,8 учитывает, что расцепление механизма привода выключателя при срабатывании реле РТМ происходит несколько раньше, чем якорь реле полностью втянется и дойдет до упора и сопротивление реле станет равным значению, указанному заводом-изготовителем для втянутого положения якоря [Л.3].

Сопротивление реле РТВ при токе срабатывания  $I_{с.р} = 200/20 = 10 \text{ А}$  равно  $z_{РТВ} = 113/10^2 = 1,13 \text{ Ом}$ , где  $S$  - по-

требляемая мощность реле при токе срабатывания 10 А и втянутом якоре (по данным завода - изготовителя). Сопротивление реле РТВ рассчитывается для втянутого положения якоря, если ток срабатывания последовательно включенного реле РТМ превышает ток срабатывания РТВ примерно в 2 раза для реле РТВ-I, II, III и в 3-4 раза для реле РТВ-IV, V, VI. В этих случаях якоря (сердечники) обоих реле при срабатывании реле втягиваются одновременно и быстро: с временем около 0,02 с [Л.9]. Но с учетом снижения сопротивления реле при больших токах можно принять в расчете  $z_{РТВ} = 0,8 \cdot 1,13 = 0,9 \text{ Ом}$ . Это объясняется тем, что сопротивление реле РТВ с током срабатывания 10 А при больших токах снижается: при токе 20 А - до 0,95 Ом, при 25 А - до 0,9 Ом, при 30 А - до 0,8 Ом (по экспериментальным данным).

Суммарное значение  $z_{н.расч} = 0,1 + 0,11 + 2 \cdot 0,9 + 0,05 = 2,06 \text{ Ом}$ , что больше чем  $z_{н.доп} = 0,8 \text{ Ом}$  и, следовательно, погрешность ТТ больше 10%.

Определяется чувствительность отсечки с учетом действительной максимальной погрешности ТТ по выражению (25). Погрешность трансформаторов тока  $f$  определяется по рассмотренной выше методике при максимальном токе КЗ.  $I_{к.мах} = k_{ТТ} \cdot I_{с.о}$ . При  $k_{ТТ} = 2$  для токовой отсечки трансформаторов  $I_{к.мах} = 2 \cdot 1000 = 2000 \text{ А}$ , максимальная кратность тока КЗ  $k_{мах} = 2000/100 = 20$ . Допустимое значение предельной кратности  $k_{10доп} = 5$  при  $z_{н.расч} = 2,06 \text{ Ом}$  (рис. 12,а). Коэффициент  $A = 20/5 = 4$ , а  $f = 63\%$  (рис. 12,б). При токе двухфазного КЗ на выводах защищаемого трансформатора, равном 2200 А, коэффициент чувствительности для токовой отсечки определяется по выражению (25):

$$k_{ТТ} = 2200 \cdot (1 - 0,63) / 1000 = 0,8,$$

т.е. отсечка не сможет сработать из-за большой погрешности ТТ! Это недопустимо по многим причинам, и в первую очередь по [Л.1].

Для повышения чувствительности токовой отсечки необходимо обеспечить работу трансформаторов тока с меньшей погрешностью, лучше всего с  $f \leq 10\%$ . Как один из вариантов, может быть рассмотрена возможность использования схемы защиты по рис. 15,б, где выполнено раздельное включение реле токовой отсечки типа РТМ и измерительных приборов на обмотку класса 0,5, а реле РТВ - на обмотку класса Р одних и тех же трансформаторов тока. Рассмотрим возможность выполнения требований Правил [Л.1] для условий этого примера.

Проверяется на 10%-ную погрешность обмотка класса 0,5. Расчет производится с помощью кривых предельной кратности (рис. 11 и 12) при токе КЗ, равном току срабатывания отсечки:  $k_{10} = 1,1 \cdot 1000/100 = 11$ . Такой кратности соответствует допустимое сопротивление нагрузки ТТ  $z_{н} = 0,35 \text{ Ом}$ . Фактическое расчетное сопротивление

нагрузки подсчитывается:  $z_{н.факт} = 2 \cdot r_{пр} + z_{РТМ} + z_{и.п} + z_{пер} = 0,1 + 0,11 + 0,07 + 0,05 = 0,33 \text{ Ом}$ , где  $z_{и.п}$  – сумма сопротивлений измерительных приборов: амперметра (0,03 Ом) и двух счетчиков (по 0,02 Ом). Таким образом фактическая нагрузка не превышает допустимую и погрешность ТТ не более 10%, что обеспечит точную работу отсечки при КЗ. Проверку на 10%-ную погрешность можно выполнить и по фактическим ВАХ ТТ (см. первую часть конспекта).

Для оценки точности работы измерительных приборов рассчитывается сопротивление нагрузки этой же обмотки ТТ (класса 0,5) в нормальном симметричном нагрузочном режиме работы защищаемой линии. С учетом того, что в этом режиме якорь реле РТМ находится в нижнем положении, сопротивление реле равно 0,057 Ом. Суммарное сопротивление нагрузки определяется по выражению:  $z_{н.расч} = 2r_{пр} + z_{РТМ} + z_{и.п} + r_{пер} = 0,1 + 0,057 + 0,07 + 0,05 = 0,28 \text{ Ом}$ , что меньше допустимого паспортного значения  $z_{н} = 0,4 \text{ Ом}$  [Л.3]. Следовательно, включение реле РТМ и измерительных приборов совместно на обмотку класса 0,5 может быть допущено, причем счетчики могут использоваться для расчетного учета электрической энергии. В тех случаях, когда счетчики используются только для технического учета могут допускаться сопротивления нагрузки большие, чем указанное в паспорте сопротивление  $z_{н}$  [Л.1].

Для обмотки класса Р проверка на 10%-ную погрешность производится при токе КЗ, соответствующем току перехода времятоковой характеристики реле РТВ-I в независимую часть:  $k_{10} = 1,1 \cdot 1,6 \cdot 200/100 = 3,5$ . Допустимое значение сопротивления нагрузки определяется по соответствующей кривой предельной кратности и составляет 3 Ом. Наибольшее фактическое расчетное сопротивление нагрузки ТТ соответствует случаю двухфазного КЗ за трансформатором со схемой соединения обмоток треугольник-звезда-11. Для трехрелейной схемы максимальной токовой защиты с реле РТВ-I (рис. 15,б):

$z_{н.расч} = 3r_{пр} + 3z_{РТВ} + r_{пер} = 0,15 + 3 \cdot 0,9 + 0,1 = 2,95 \text{ Ом}$ , что примерно равно допустимому значению сопротивления нагрузки (3 Ом), при котором полная погрешность трансформаторов тока  $\delta = 10\%$ , а токовая погрешность при этом меньше 10%.

Аналогичную проверку ТТ на 10%-ную погрешность можно произвести и другими способами (рис. 11 в первой части конспекта лекций).

#### Контрольные вопросы.

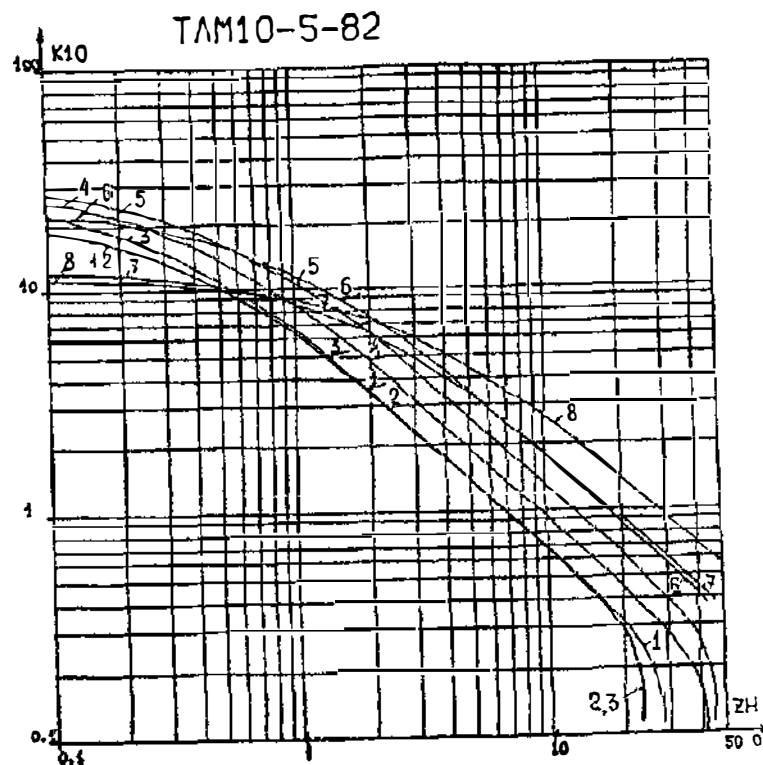
1. Требования к ТТ, используемым в схемах релейной защиты с реле прямого действия.
2. При каких условиях совместное включение реле РТМ и РТВ на одну и ту же обмотку ТТ может вызвать отказ срабатывания РТМ.
3. Расчетная проверка ТТ для обеспечения надежной работы релейной защиты с реле прямого действия.

#### Литература.

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). – 6-е изд. – М. Энергоатомиздат, 1985.
2. Инструкция по проверке трансформаторов тока, используемых в схемах релейной защиты. – 2-е изд. – М. Энергия, 1977.
3. Королев Е.П., Либерзон Э.М. Расчеты допустимых нагрузок в токовых цепях релейной защиты. – М. Энергия, 1980.
4. Федосеев А.М., Федосеев М.А. Релейная защита. – М. Энергоатомиздат, 1992.
5. Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. – 3-е изд. – М. Энергоатомиздат, 1985.
6. Гельфанд Я.С. Релейная защита распределительных сетей. – 2-е изд. – М. Энергоатомиздат, 1987.
7. Шабад М.А. Выбор характеристик и уставок цифровых токовых защит серии SPACOM. – изд. ПЭИПК, 1995.
8. Реле защиты. В.С.Алексеев, Г.П.Варганов, В.И.Панфилов, Р.З.Розенблюм. – М. Энергия, 1976.
9. Голубев М.Л. Реле прямого действия. – М. Энергия, 1966.
10. Шабад М.А. Проверка чувствительности защит на переменном оперативном токе с учетом погрешности трансформаторов тока. – Энергетик, 1984, №1 и №2.
11. Справочник по наладке электроснабжения электростанций и подстанций, под ред. Мусаэляна Э.С. – М. Энергоатомиздат, 1984.

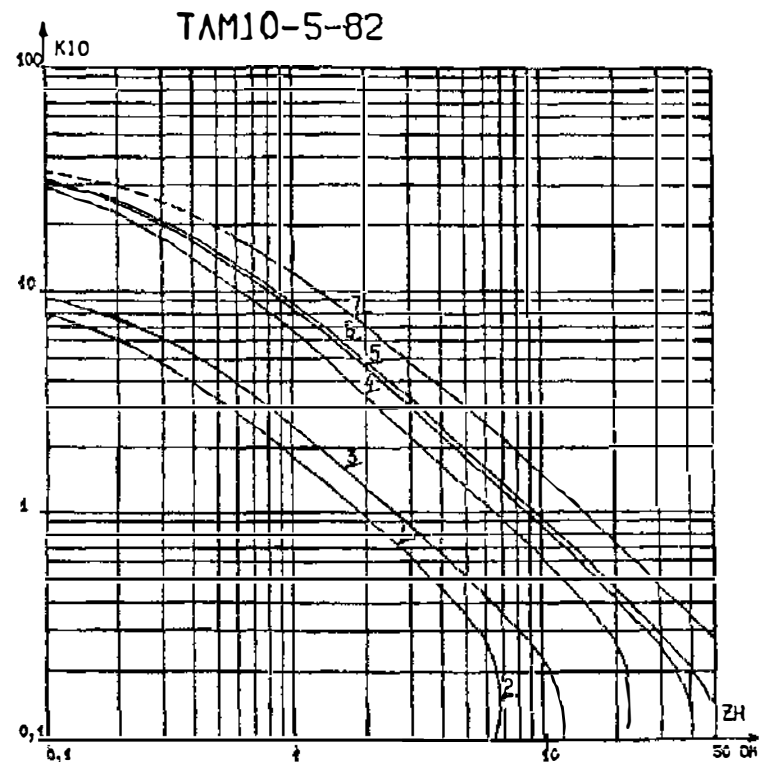
## Приложение

Приведены кривые предельных кратностей для нескольких типов трансформаторов тока с целью их использования при выборе допустимых нагрузок в токовых цепях релейной защиты. Кривые предоставлены институтом "Энергосетьпроект" (г. Нижний Новгород). Методика выбора допустимых нагрузок ( $Z_n$ ) приведена в [Л.3] и в первой части конспекта лекций (С3).



ОБОТКА ЗАЩИТНАЯ P1  
КЛАСС ОБОТКИ - 10

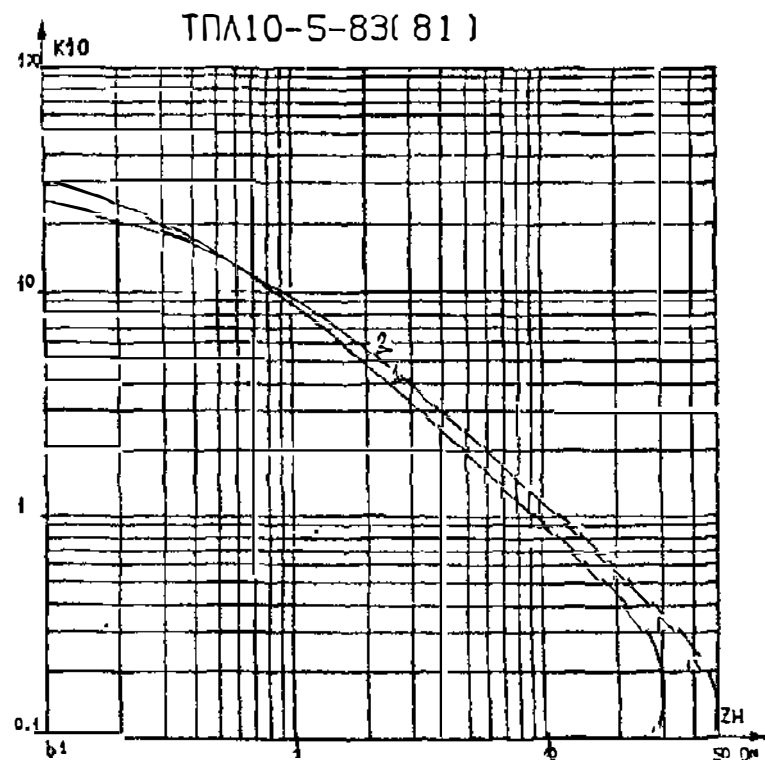
ВРА-У ИЗМ.	50	100	150	200	300	400	600	800	1000	1500
ИЗМ.	50	100	150	200	300	400	600	800	1000	1500
И КРОВА	1	2	2	2	3	4	5	6	7	8



ОБОТКА ИЗМЕРЕНИЯ  
КЛАСС ОБОТКИ - 0.5

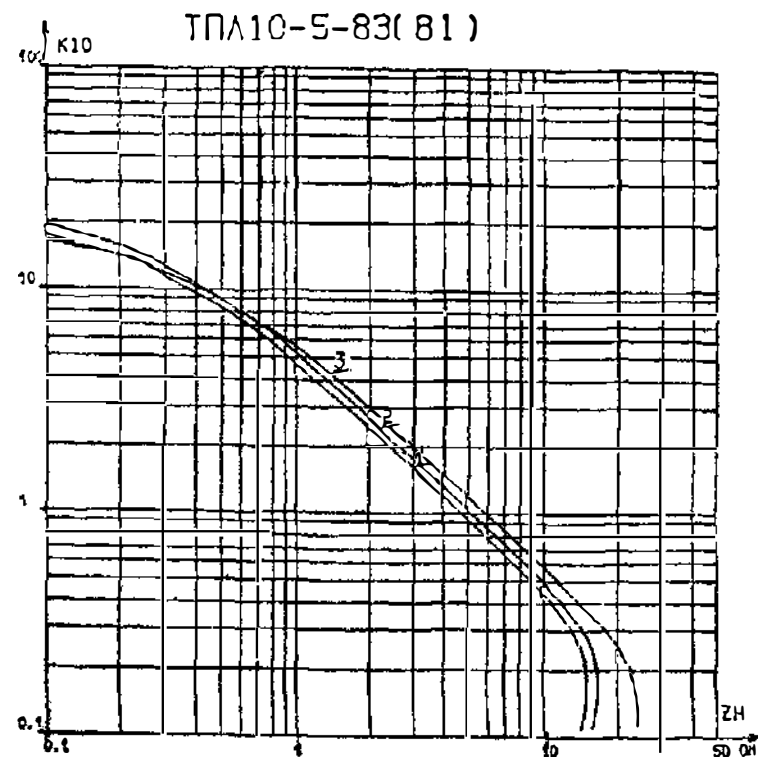
ВРА-У ИЗМ.	50	100	150	200	300	400	600	800	1000	1500
ИЗМ.	50	100	150	200	300	400	600	800	1000	1500
И КРОВА	1	2	2	2	2	3	4	5	6	7

ЗНАЧЕНИЯ "К", ПРЕВЫШАЮЩИЕ КРАТНОСТЬ ТРЕХСЕКУНДНОГО  
ТОКА ТЕРМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ, ПОКАЗАНЫ ПУНКТИРОМ



ОБОТКА ЗАЩИТНАЯ P1  
КЛАСС ОБОТКИ - 10

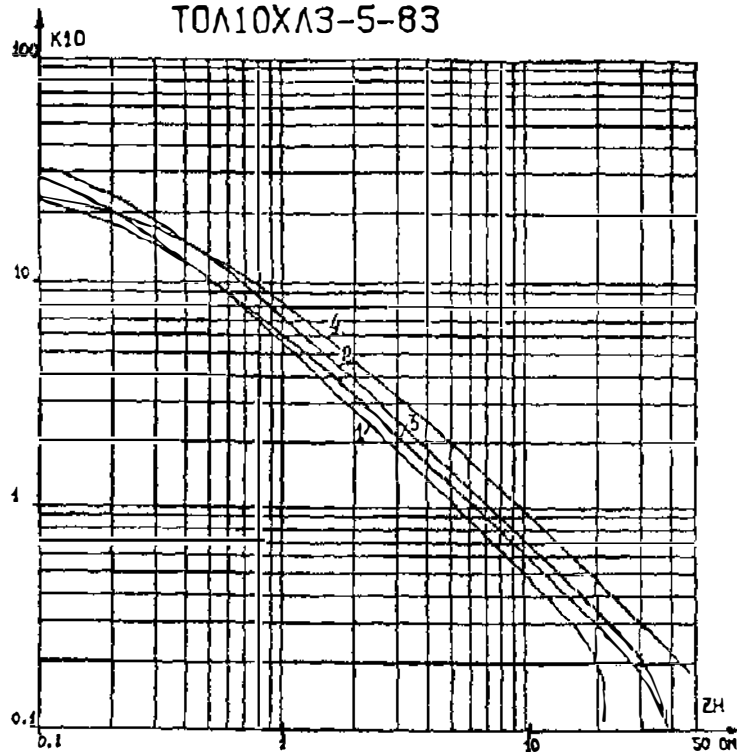
ВР-Т МОД.	30	50	75	100	150	200	300	400
ИИНОМ	30	50	75	100	150	200	300	400
И СЛУЖ	1	1	1	1	1	1	1	2



ОБОТКА ИЗМЕРЕНИЯ  
КЛАСС ОБОТКИ - 0.5

ВР-Т МОД.	30	50	75	100	150	200	300	400
ИИНОМ	30	50	75	100	150	200	300	400
И СЛУЖ	1	1	1	1	1	2	2	3

ТОЛ10ХЛЗ-5-83

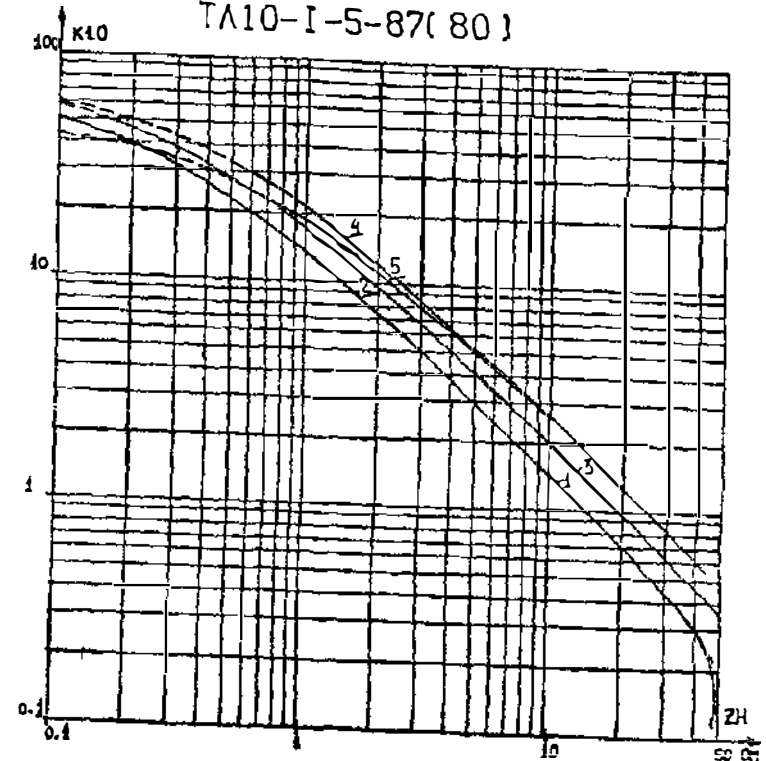


ОБОТКА ИЗМЕРЕНИЯ  
КЛАСС ОБОТКИ - 0.5

ВР-Т ИСТОЛ	50	100	150	200	300	400	600	800	1000	1500
И1НОН	50	100	150	200	300	400	600	800	1000	1500
И КРАСН	1	1	1	1	1	2	1	2	3	4

ЗНАЧЕНИЯ "К", ПРЕВЫШАЮЩИЕ КРАТНОСТЬ ТРЕХСЕКУНДОВОГО  
ТОКА ТЕРМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ, ПОКАЗАНЫ ПУНКТИРОМ

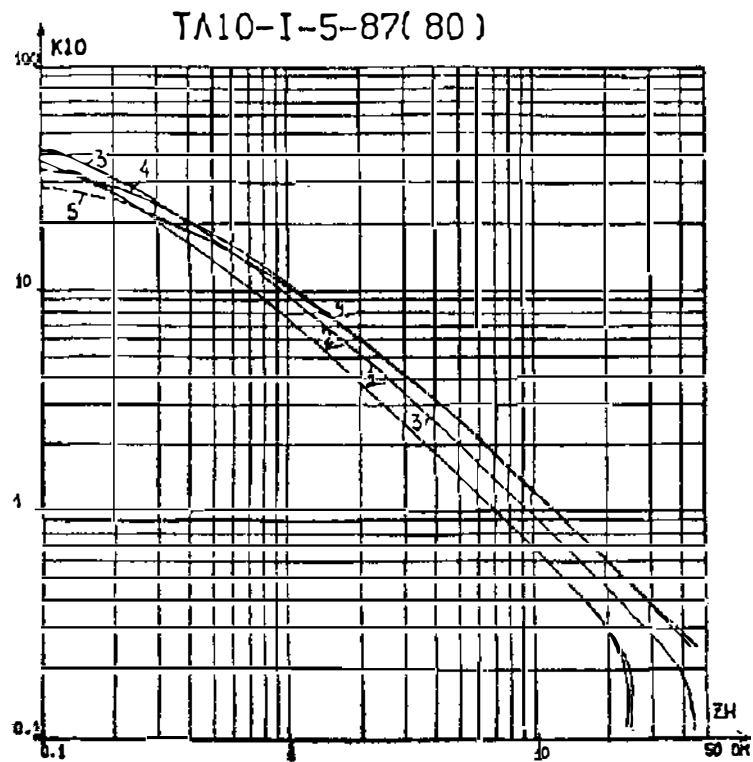
ТА10-І-5-87(80)



ОБОТКА ЗАЩИТНАЯ Р1  
КЛАСС ОБОТКИ - 10

ВР-Т ИСТОЛ	50	100	150	200	300	400	600	800	1000	1500
И1НОН	50	100	150	200	300	400	600	800	1000	1500
И КРАСН	1	1	1	1	2	3	2	3	4	5

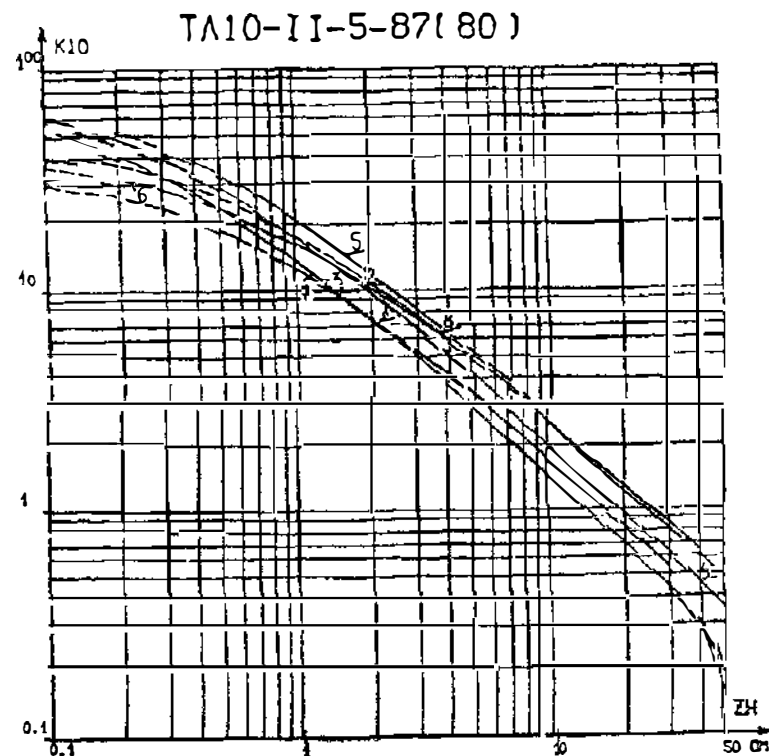
ЗНАЧЕНИЯ "К", ПРЕВЫШАЮЩИЕ КРАТНОСТЬ ТРЕХСЕКУНДОВОГО  
ТОКА ТЕРМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ, ПОКАЗАНЫ ПУНКТИРОМ



ОБМОТКА ИЗМЕРЕНИЯ  
КЛАСС ОБМОТКИ - 0.5

ВР-Т мг/с	50	100	150	200	300	400	600	800	1000	1500
Точн	50	100	150	200	300	400	600	800	1000	1500
и точн	1	1	1	1	2	3	2	3	4	5

ЗНАЧЕНИЯ "К", ПРЕВЫШАЮЩИЕ КРАТНОСТЬ ТРЕХСЕКУНДНОГО  
ТОКА ТЕРМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ, ПОКАЗАНЫ ПУНКТИРОМ

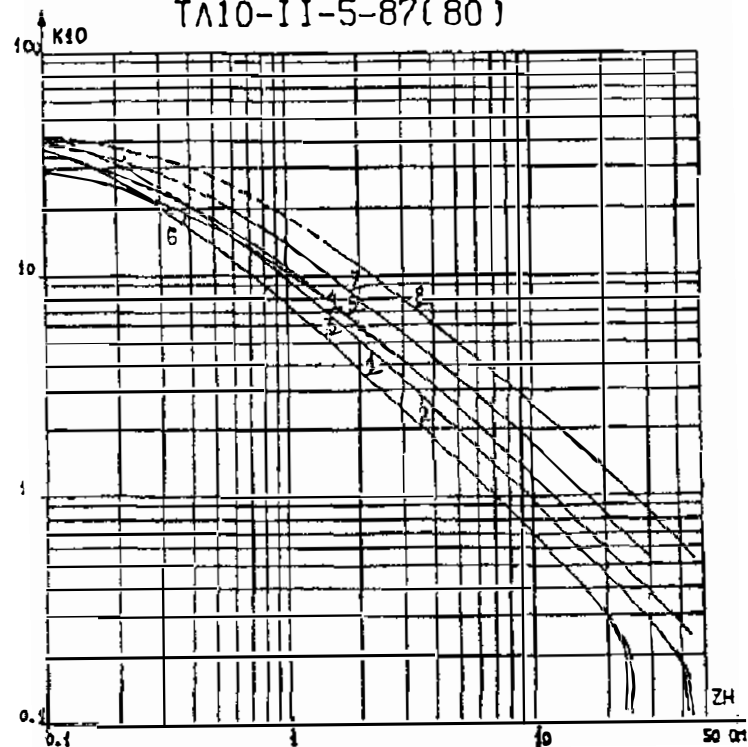


ОБМОТКА ЗАЩИТНАЯ Р1  
КЛАСС ОБМОТКИ - 10

ВР-Т мг/с	300	400	600	800	1000	1500	2000	3000
Точн	300	400	600	800	1000	1500	2000	3000
и точн	1	2	3	4	5	6	7	8

ЗНАЧЕНИЯ "К", ПРЕВЫШАЮЩИЕ КРАТНОСТЬ ТРЕХСЕКУНДНОГО  
ТОКА ТЕРМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ, ПОКАЗАНЫ ПУНКТИРОМ

ТА10-11-5-87(80)

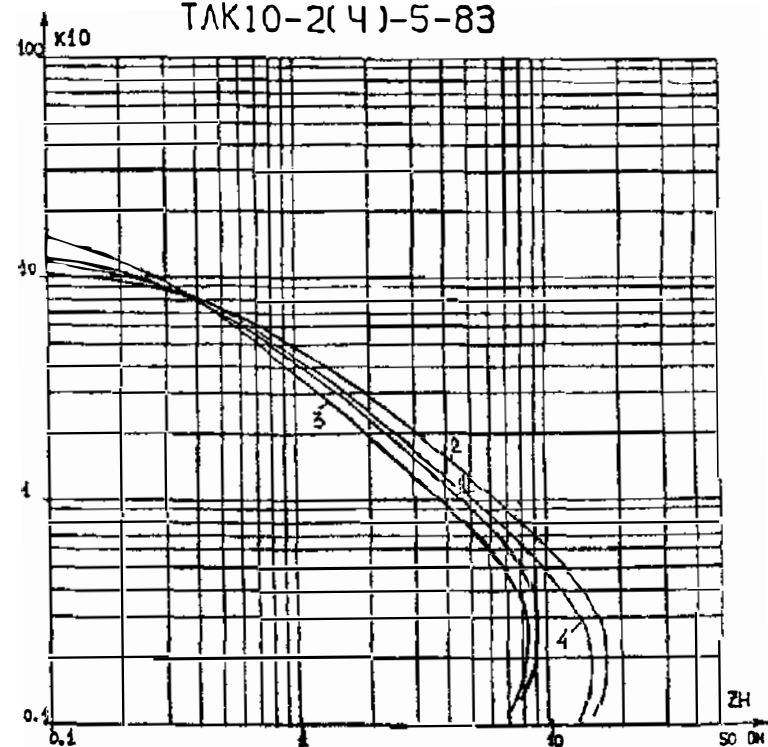


ОБОМКА ИЗМЕРЕНИЯ  
КЛАСС ОБОМКИ - 0.5

ВР-Т МОДА	300	400	600	800	1000	1500	2000	3000
1110M	300	400	600	800	1000	1500	2000	3000
И КРАСН	1	2	3	4	5	6	7	8

ЗНАЧЕНИЯ "К", ПРЕВЫШАЮЩИЕ КРАТНОСТЬ ТРЕХСЕКУНДНОГО  
ТОКА ТЕРМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ, ПОКАЗАНЫ ПУНКТИРОМ

ТАК10-2(4)-5-83

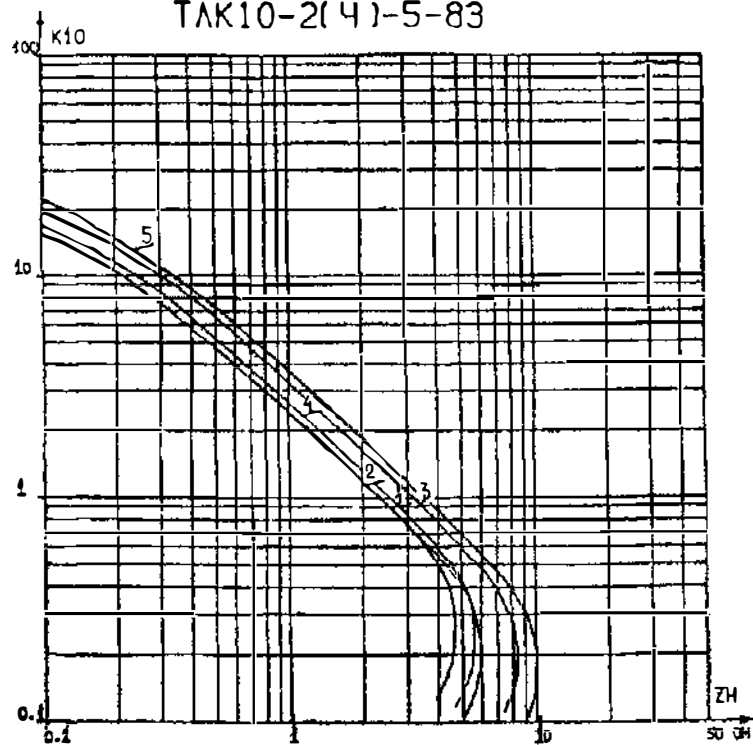


ОБОМКА ЗАЩИТНАЯ Р1  
КЛАСС ОБОМКИ - 10

ВР-Т МОДА	50	75	100	150	200	300	400
1110M	50	75	100	150	200	300	400
И КРАСН	1	1	1	1	2	3	4



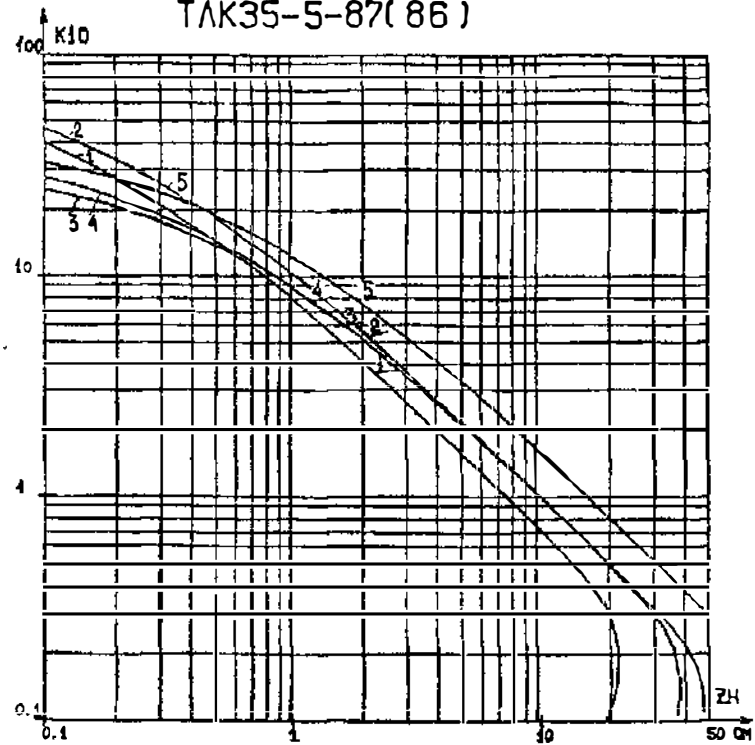
ТАК10-2(4)-5-83



ОБОМКА ИЗМЕРЕНИЯ  
КЛАСС ОБОМКИ - 0.5

ВР-Т КЛАСС	50	75	100	150	200	300	400
ГЛАВН	50	75	100	150	200	300	400
И КЛАСС	1	2	2	2	3	4	5

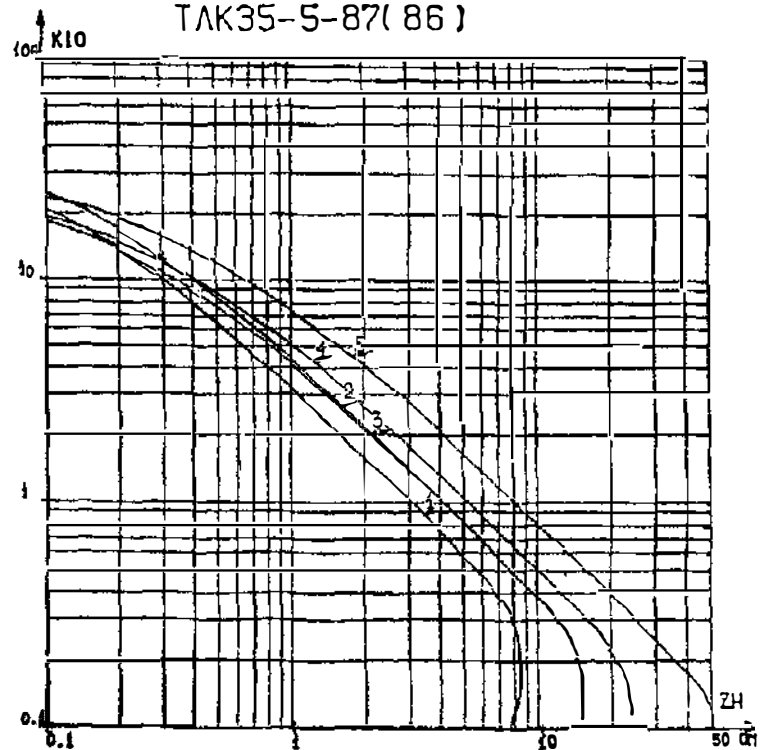
ТАК35-5-87(86)



ОБОМКА ЗАЩИТНАЯ Р1  
КЛАСС ОБОМКИ - 10

ВР-Т КЛАСС	200	300	400	600	800	1000	1500
ГЛАВН	200	300	400	600	800	1000	1500
И КЛАСС	1	1	2	1	3	4	5

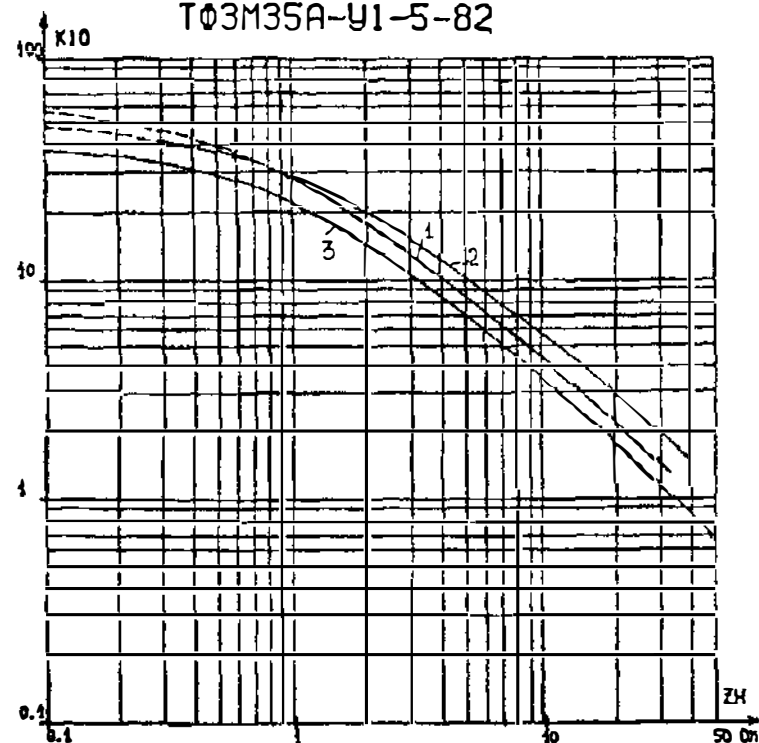
ТАК35-5-87( 86 )



ОБОТКА ИЗМЕРЕНИЯ  
КЛАСС ОБОТКИ - 0.5

ВР-Т ИСТОЛ.	200	300	400	600	800	1000	1500
ИЗМОН	200	300	400	600	800	1000	1500
И КЛАСС	1	1	2	1	3	4	5

Т03М35А-У1-5-82

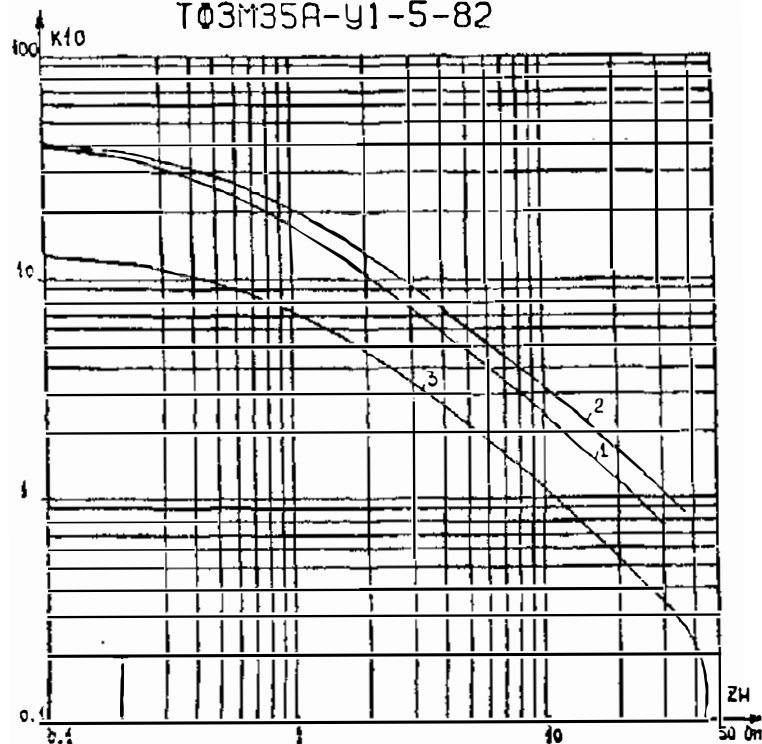


ОБОТКА ЗАЩИТНАЯ Р1  
КЛАСС ОБОТКИ - 10

ВР-Т ИСТОЛ.	15	20	30	40	50	75	100	150	200	300	400	600	800	1000
ИЗМОН	15	20	30	40	50	75	100	150	200	300	400	600	800	1000
И КЛАСС	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3

ЗНАЧЕНИЯ "К", ПРЕВЫШАЮЩИЕ КРАТНОСТЬ ТРЕХСЕКУНДНОГО  
ТОКА ТЕРМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ, ПОКАЗАНЫ ПУНКТИРОМ

Т03М35А-У1-5-82

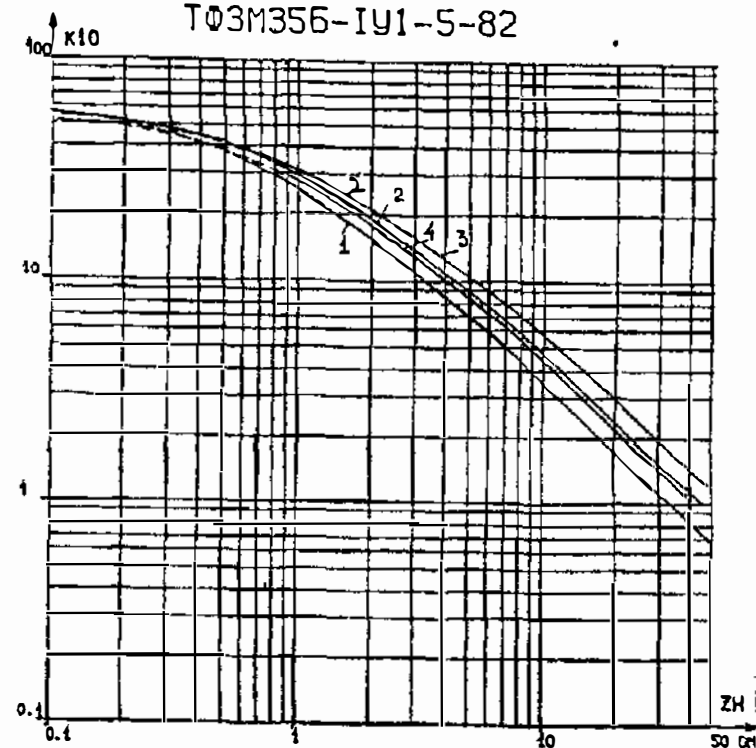


ОБОТКА ИЗМЕРЕНИЯ  
КЛАСС ОБОТКИ - 0.5

ВР-У	15	20	30	40	50	75	100	150	200	300	400	600	800	1000
ИИНОН	15	20	30	40	50	75	100	150	200	300	400	600	800	1000
К	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3

ЗНАЧЕНИЯ "К", ПРЕВЫШАЮЩИЕ КРАТНОСТЬ ТРЕХСЕКУНДНОГО  
ТОКА ТЕРМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ, ПОКАЗАНЫ ПУНКТИРОМ

Т03М35Б-У1-5-82



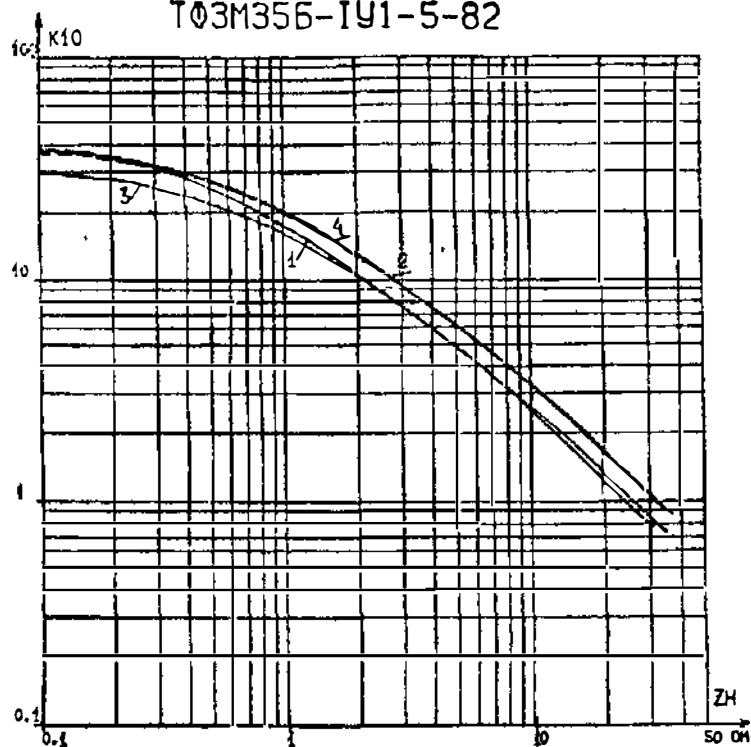
ОБОТКА ЗАЩИТНАЯ Р2  
КЛАСС ОБОТКИ - 10

ВР-У	15	20	30	40	50	75	100	150
ИИНОН	15	20	30	40	50	75	100	150
К	1	1	1	1	1	1	1	1

ВР-У	200	300	400	600	800	1000	1500	2000
ИИНОН	200	300	400	600	800	1000	1500	2000
К	1	1	1	1	2	3	4	5

ЗНАЧЕНИЯ "К", ПРЕВЫШАЮЩИЕ КРАТНОСТЬ ТРЕХСЕКУНДНОГО  
ТОКА ТЕРМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ, ПОКАЗАНЫ ПУНКТИРОМ

T03M356-IY1-5-82



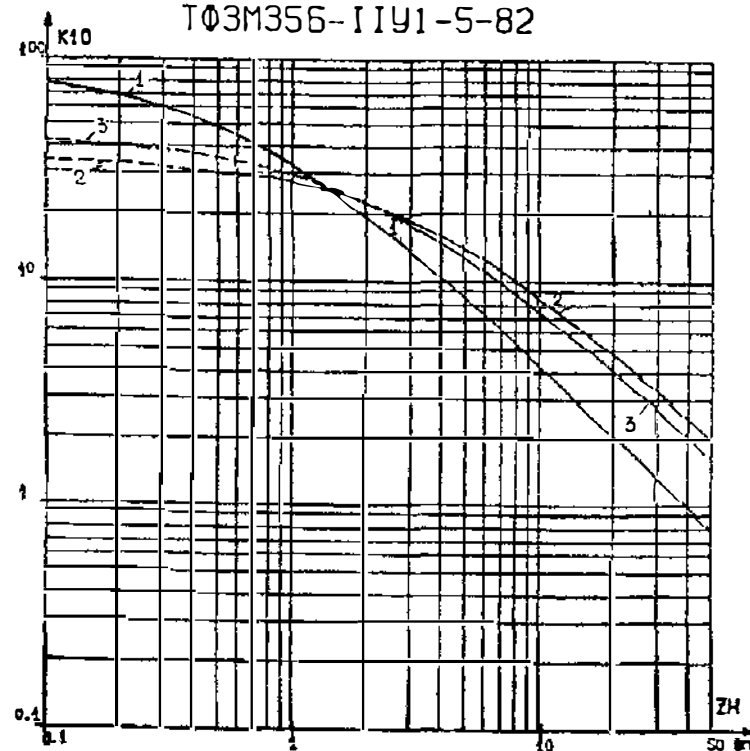
ОБОТКА ИЗМЕРЕНИЯ  
КЛАСС ОБОТКИ - 0.5

ВР-Т ИСПОЛ.	15	20	30	40	50	75	100	150
ИИИИ	15	20	30	40	50	75	100	150
К КРАС	1	1	1	1	1	1	1	1

ВР-Т ИСПОЛ.	200	300	400	500	600	1000	1500	2000
ИИИИ	200	300	400	500	600	1000	1500	2000
К КРАС	1	1	1	1	2	3	2	3

ЗНАЧЕНИЯ "К", ПРЕВЫШАЮЩИЕ КРАТНОСТЬ ТРЕХСЕКУНДНОГО  
ТОКА ТЕРМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ, ПОКАЗАНЫ ПУНКТИРОМ

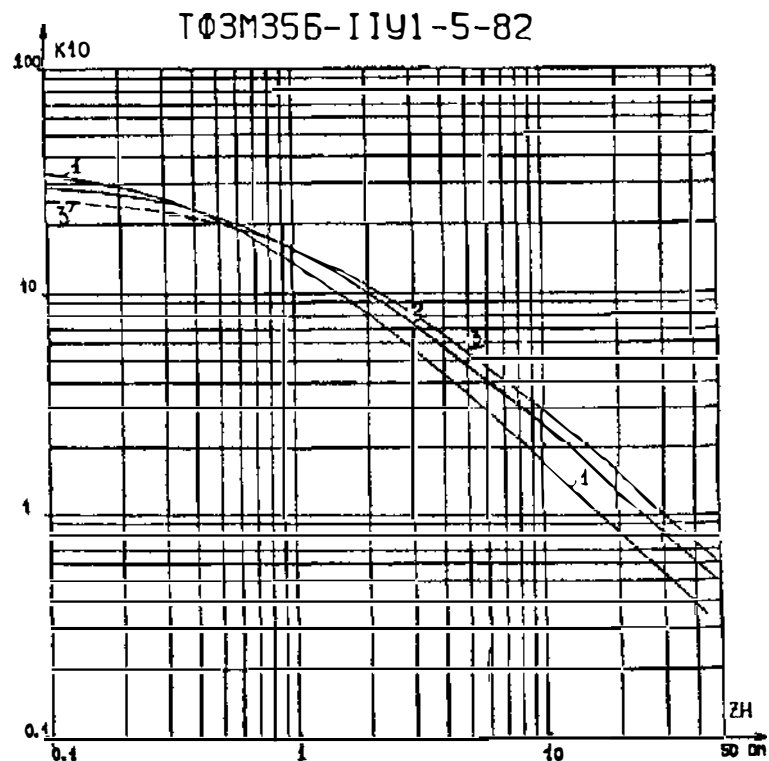
T03M356-IY1-5-82



ОБОТКА ЗАЩИТНАЯ P1, P2  
КЛАСС ОБОТКИ - 10

ВР-Т ИСПОЛ.	500	1000	2000	3000
ИИИИ	500	1000	2000	3000
К КРАС	1	1	2	3

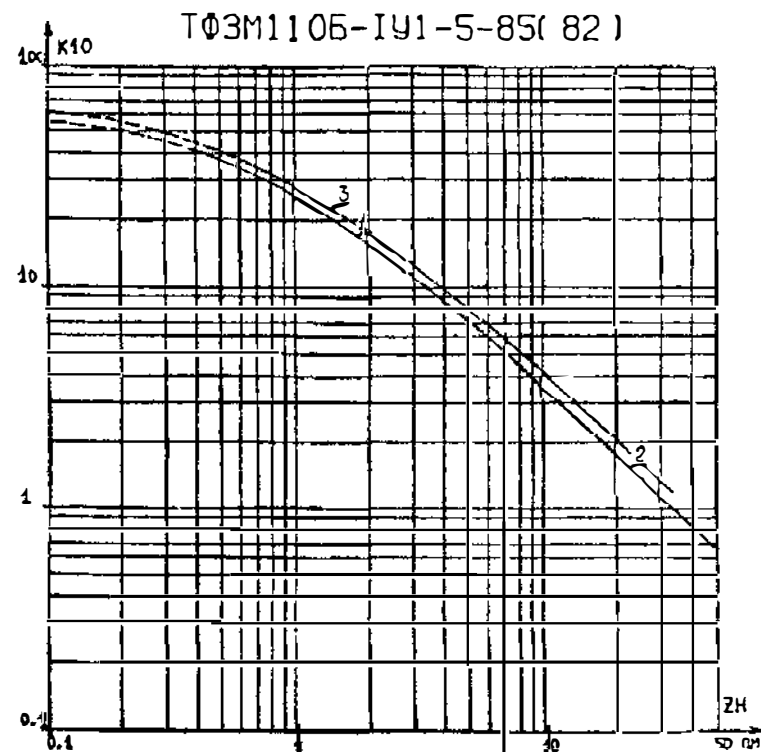
ЗНАЧЕНИЯ "К", ПРЕВЫШАЮЩИЕ КРАТНОСТЬ ТРЕХСЕКУНДНОГО  
ТОКА ТЕРМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ, ПОКАЗАНЫ ПУНКТИРОМ



ОБОТКА ИЗМЕРЕНИЯ  
КЛАСС ОБОТКИ - 0.5

ВР-Т	500	1000	2000	3000
ИЗМ	500	1000	2000	3000
И	1	1	2	3

ЗНАЧЕНИЯ "К", ПРЕВЫШАЮЩИЕ КРАТНОСТЬ ТРЕХСЕКУНДНОГО  
ТОКА ТЕРМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ, ПОКАЗАНЫ ПУНКТИРОМ

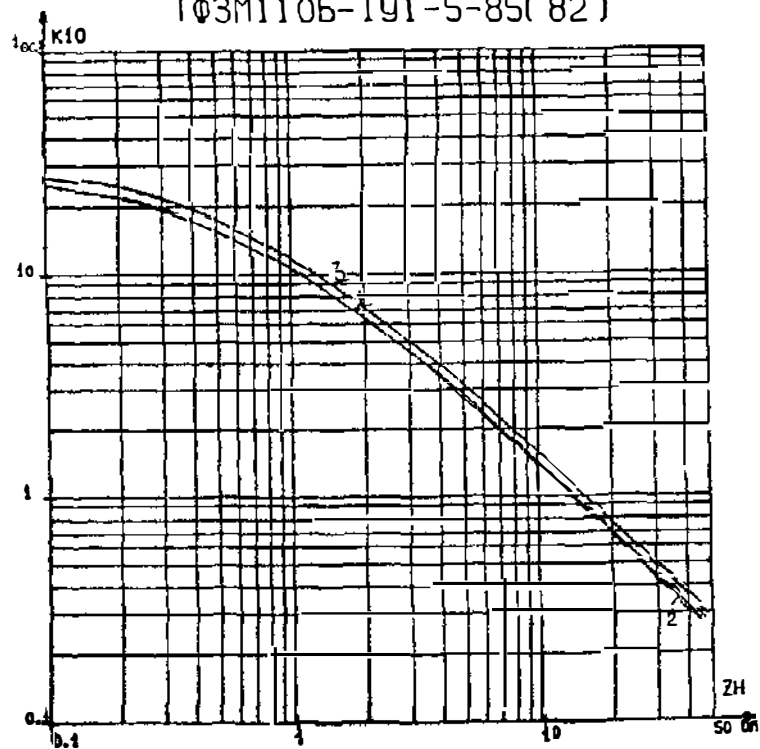


ОБОТКА ЗАЩИТНАЯ Р1  
КЛАСС ОБОТКИ - 10

ВР-Т	100	100	150	150	200	200	300	300	400	400	600	600	800	800
ИЗМ	50	100	75	150	100	200	150	300	200	400	300	600	400	800
И	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3

ЗНАЧЕНИЯ "К", ПРЕВЫШАЮЩИЕ КРАТНОСТЬ ТРЕХСЕКУНДНОГО  
ТОКА ТЕРМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ, ПОКАЗАНЫ ПУНКТИРОМ

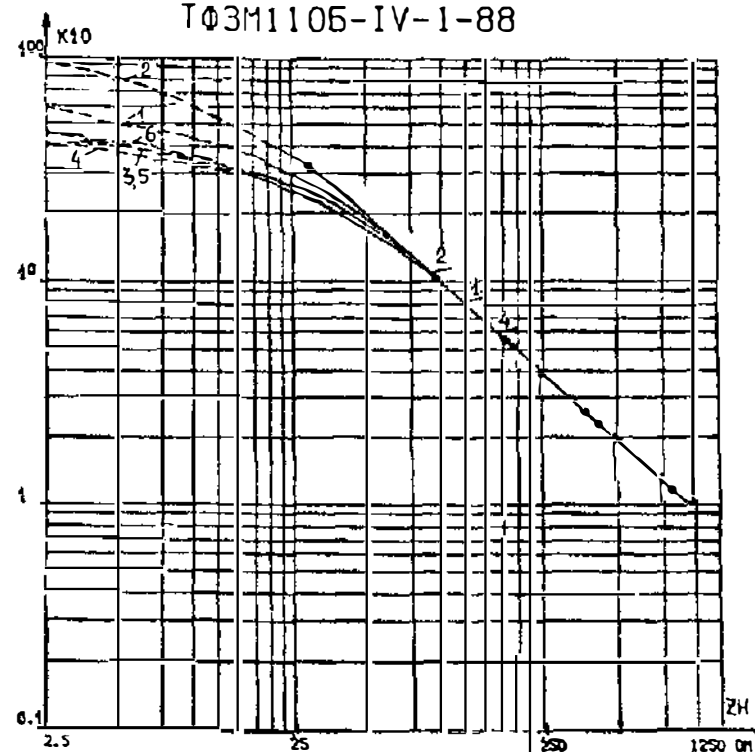
Т03М1105-IV-1-5-85(82)



ОБОТКА ИЗМЕРЕНИЯ  
КЛАСС ОБОТКИ - 0.5

ВР-Т ИСТОЧ.	100	100	150	150	200	200	300	300	400	400	600	600	800	800
ТИПОМ	50	100	75	150	100	200	150	300	200	400	300	600	400	800
И КРОВО	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3

Т03М1105-IV-1-88

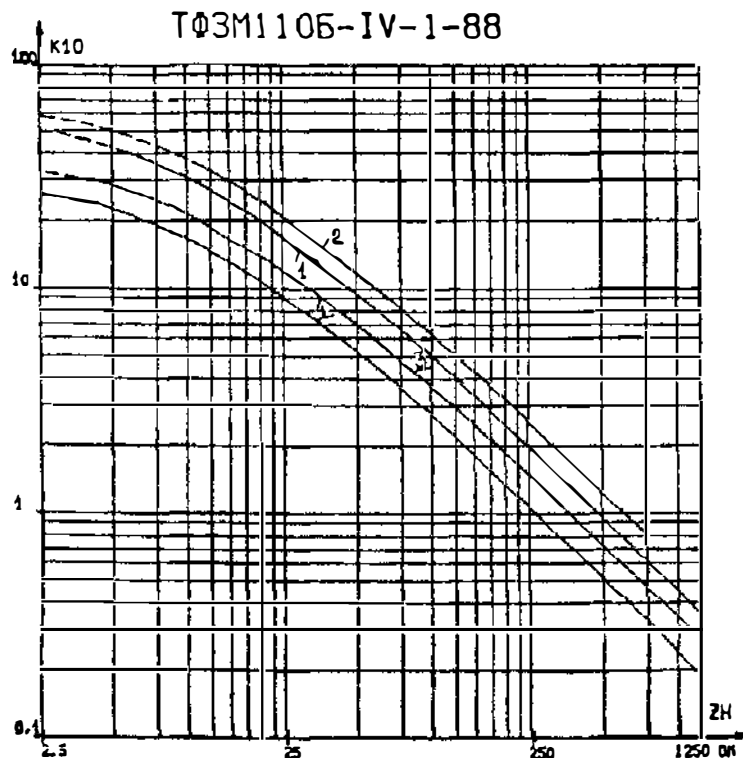


ОБОТКА ЗАЩИТНАЯ Р1  
КЛАСС ОБОТКИ - 10

ВР-Т ИСТОЧ.	100	150	200	300	400	600	750	1000	1500	2000
ТИПОМ	100	150	200	300	400	600	750	1000	1500	2000
И КРОВО	1	1	1	1	1	2	3	4	5	6

ЗНАЧЕНИЯ "К", ПРЕВЫШАЮЩИЕ КРАТНОСТЬ ТРЕХСЕКУНДНОГО  
ТОКА ТЕРМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ, ПОКАЗАНЫ ПУНКТИРОМ

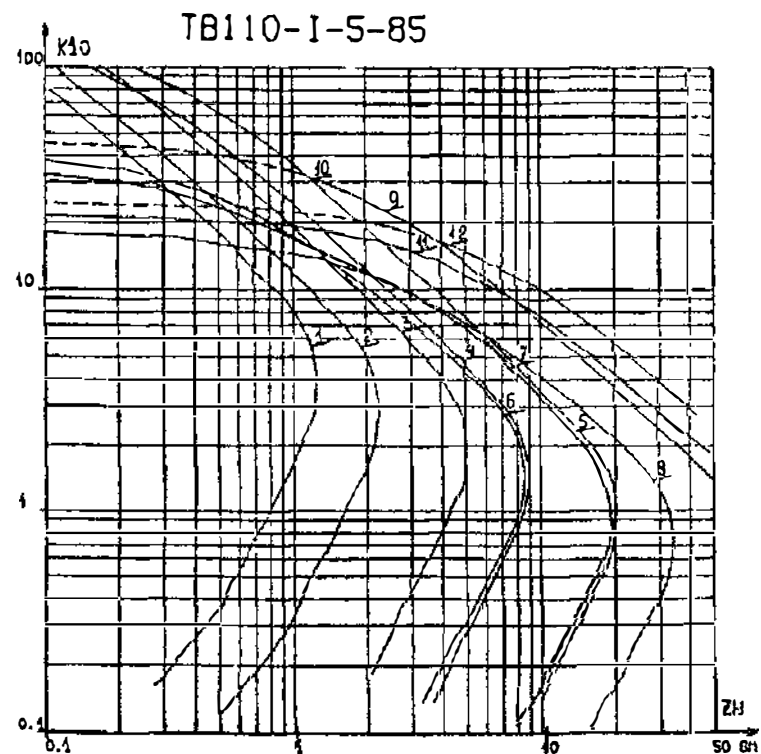
УЧАСТКИ КРИВЫХ, ОГРАНИЧЕННЫЕ ДОПУСТИМЫМ  
НАПРЯЖЕНИЕМ 1000 В, ПОМЕЧЕНЫ МАРКЕРОМ



ОБОТКА ИЗМЕРЕНИЯ  
КЛАСС ОБОТКИ - 0.5

ВР-Т ИСПОЛ.	100	150	200	300	400	600	750	1000	1500	2000
ИЗНОС	100	150	200	300	400	600	750	1000	1500	2000
И СЧЕТ	1	1	1	1	1	1	2	3	4	5

ЗНАЧЕНИЯ "К", ПРЕВЫШАЮЩИЕ КРАТНОСТЬ ТРЕХСЕКУНДНОГО  
ТОКА ТЕРМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ, ПОКАЗАНЫ ПУНКТИРОМ



КЛАСС ОБОТКИ - 10

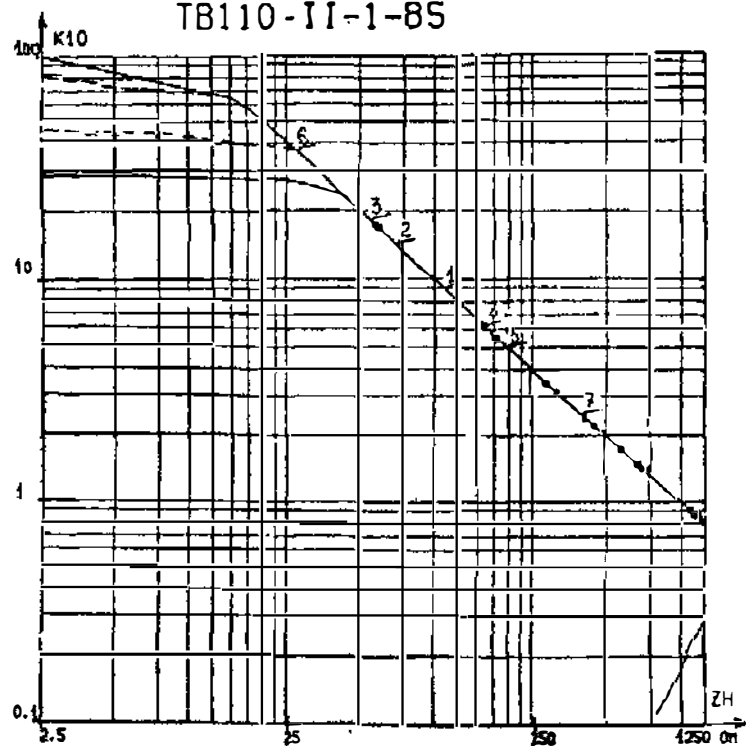
ВР-Т ИСПОЛ.	200	200	230	200	300	300	300	300
ИЗНОС	75	100	150	200	100	150	200	300
И СЧЕТ	1	2	3	4	2	3	4	5

ВР-Т ИСПОЛ.	500	500	600	600	1000	1000	1000	1000
ИЗНОС	200	300	400	600	400	600	750	1000
И СЧЕТ	8	7	5	9	8	10	11	12

ЗНАЧЕНИЯ "К", ПРЕВЫШАЮЩИЕ КРАТНОСТЬ ТРЕХСЕКУНДНОГО  
ТОКА ТЕРМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ, ПОКАЗАНЫ ПУНКТИРОМ



TB110-II-1-85



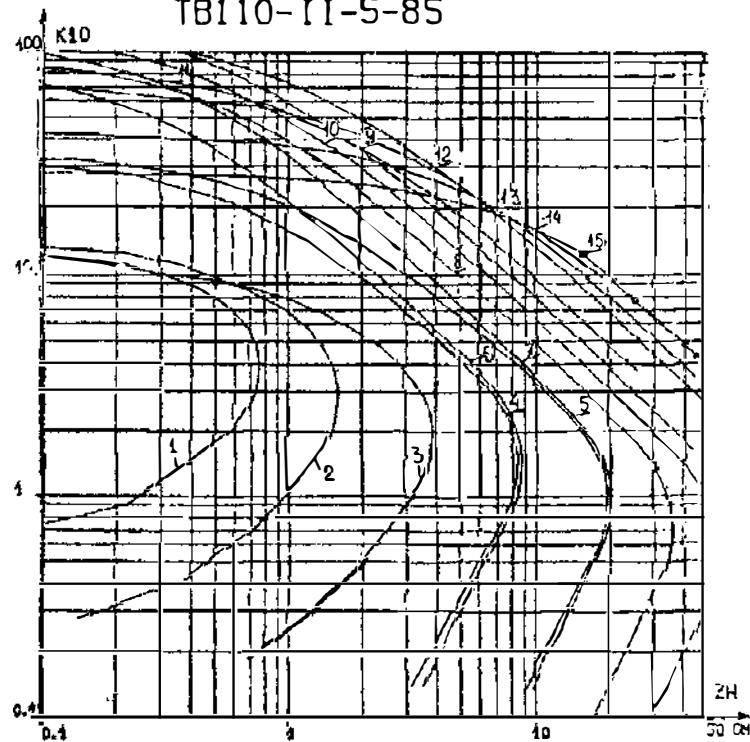
КЛАСС ОБМОТКИ - 10

ВР-Т КОТА	1030	1000	1000	1000	2000	2000	2000	2000
Т1иТ2	500	600	750	1000	1000	1200	1500	2000
и КРАС	1	2	3	4	4	5	6	7

ЗНАЧЕНИЯ "К", ПРЕВЫШАЮЩИЕ КРАТНОСТЬ ТРЕХСЕКУНДНОГО  
ТОКА ТЕРМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ, ПОКАЗАНЫ ПУНКТИРОМ

УЧАСТКИ КРИВЫХ, ОГРАНИЧЕННЫЕ ДОПУСТИМЫМ  
НАПРЯЖЕНИЕМ 1000 В, ПОМЕЧЕНЫ МАРКЕРОМ

TB110-II-5-85



КЛАСС ОБМОТКИ - 10

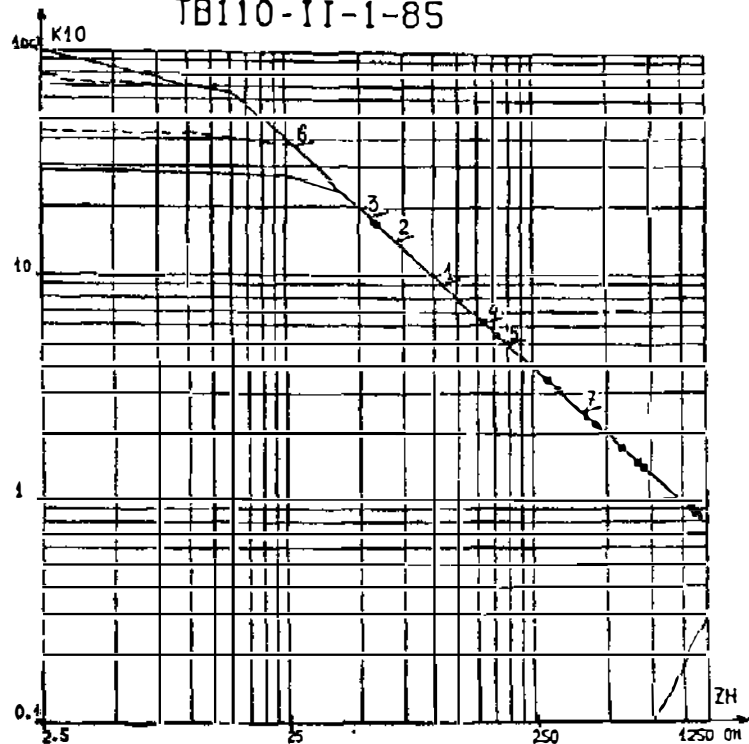
ВР-Т КОТА	200	200	200	200	300	300	300	300	500	600
Т1иТ2	75	100	150	200	100	150	200	300	200	300
и КРАС	1	2	3	4	2	3	4	5	6	7

ВР-Т КОТА	600	600	1000	1000	1000	1000	2000	2000	2000	2300
Т1иТ2	400	500	500	600	750	1000	1000	1200	1500	2000
и КРАС	8	9	10	8	11	12	12	13	14	15

ЗНАЧЕНИЯ "К", ПРЕВЫШАЮЩИЕ КРАТНОСТЬ ТРЕХСЕКУНДНОГО  
ТОКА ТЕРМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ, ПОКАЗАНЫ ПУНКТИРОМ

УЧАСТКИ КРИВЫХ, ОГРАНИЧЕННЫЕ ДОПУСТИМЫМ  
НАПРЯЖЕНИЕМ 1000 В, ПОМЕЧЕНЫ МАРКЕРОМ

## СОДЕРЖАНИЕ



КЛАСС ОБМОТКИ - 10

SP-T TOTAL	1000	1000	1000	1000	2000	2000	2000	2000
TOTAL	500	500	750	1000	1000	1200	1500	2000
N KPIB	1	2	3	4	4	5	6	7

ЗНАЧЕНИЯ "К", ПРЕВЫШАЮЩИЕ КРАТНОСТЬ ТРЕХСЕКУНДНОГО  
ТОКА ТЕРМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ, ПОКАЗАНЫ ПУНКТИРОМ

УЧАСТКИ КРИВЫХ, ОГРАНИЧЕННЫЕ ДОПУСТИМЫМ  
НАПРЯЖЕНИЕМ 1000 В, ПОМЕЧЕНЫ МАРКЕРОМ

i

## Часть вторая

4. Релейная защита на переменном оперативном токе и роль трансформаторов тока в обеспечении ее надежной работы...	3
5. Расчеты для схем релейной защиты с дешунтированием ЗУ коммутационных аппаратов (ОК и ВК).....	5
6. Расчетная проверка трансформаторов тока в схемах защиты на реле прямого действия.....	14
Литература.....	19
Приложение: Кривые предельных кратностей.....	20

М.А.Шабал

Трансформаторы тока в схемах релейной защиты

Конспект лекций

Научный редактор А.М.Александров

Ризограф, объем п.л. 2, тираж 1000 экз.

Заказ № 15 Цена договорная

ПЭИпк, 199034, Санкт-Петербург, ВО, 10-я линия, 3

Перепечатка запрещена