



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Белорусский национальный  
технический университет**

---

---

**Кафедра «Электрические станции»**

**РАСЧЕТ УСТАВОК  
МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ  
ЗАЩИТ**

**Учебно-методическое пособие**

**Минск  
БНТУ  
2017**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет

---

Кафедра «Электрические станции»

# РАСЧЕТ УСТАВОК МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ЗАЩИТ

Учебно-методическое пособие  
для студентов специальности  
1-43 01 09 «Релейная защита и автоматика»

Под общей редакцией Ф. А. Романюка

*Рекомендовано учебно-методическим объединением по образованию  
в области энергетики и энергетического оборудования*

Минск  
БНТУ  
2017

УДК 621.316.925:004.31-181.48(075.8)

ББК 32.965.6я7

P24

Авторы:

*Ф. А. Романюк, Е. В. Булойчик,  
Н. Н. Бобко, А. Г. Сапожникова*

Рецензенты:

*В. М. Збродыга, В. Л. Радюк*

**Расчет** уставок микропроцессорных защит: учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-43 01 09 «Релейная защита и автоматика» / Ф. А. Романюк [и др.]; под общ. ред. Ф. А. Романюка. – Минск : БНТУ, 2017. – 44 с.  
ISBN 978-985-550-630-1.

Рассмотрены методы проектирования устройств релейной защиты и автоматики шин и линий 110–220 кВ, выполненных на современной микропроцессорной элементной базе.

УДК 621.316.925:004.31-181.48(075.8)

ББК 32.965.6я7

ISBN 978-985-550-630-1

© Белорусский национальный  
технический университет, 2017

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....	4
1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАЩИТ ШИН.....	5
1.1. Требования норм технологического проектирования к релейной защите шин (ошиновки).....	5
1.2. Устройства типа RED 521 и REB 670.....	5
1.2.1. Устройство типа RED 521 .....	7
1.2.2. Устройство типа REB 670.....	10
1.3. Устройство типа MICOM P74x .....	14
1.4. Устройство типа 7UT61-63x.....	21
1.5. Устройство типа B90 (B30) .....	28
2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАЩИТ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 110–220 кВ .....	31
2.1. Требования норм технологического проектирования к релейной защите линий 110–220 кВ .....	31
2.2. Выбор параметров дистанционных защит линий 110 кВ и выше .....	32
2.3. Выбор параметров токовой защиты нулевой последовательности воздушных линий одиночных 110–220 кВ .....	38
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	43

## ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

АЦП – аналого-цифровой преобразователь  
ВЧ – высокая частота  
ДЗ – дистанционная защита  
ДЗЛ – дифференциальная защита линии  
ДЗШ – дифференциальная защита шин  
ДФЗ – дифференциально-фазная защита  
ИО – измерительный орган  
КЗ – короткое замыкание  
ЛЭП – линия электропередачи  
МП – микропроцессор  
МТЗ – максимальная токовая защита  
НН – низшее напряжение  
НП – нулевая последовательность  
ОАПВ – однофазное автоматическое повторное включение  
ПС – подстанция  
ПО – пусковой орган  
РЗ – релейная защита  
РПН – регулирование под нагрузкой  
РС – реле сопротивления  
СН – среднее напряжение  
СШ – сборные шины  
ТЗНП – токовая защита нулевой последовательности  
ТН – трансформатор напряжения  
ТТ – трансформатор тока  
УРОВ – устройство резервирования отказа выключателей  
ТО – токовая отсечка  
ШСВ – шиносоединительный выключатель  
ЧО – чувствительный орган

## 1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАЩИТ ШИН

### 1.1. Требования норм технологического проектирования к релейной защите шин (ошиновки)

Защита шин 330–750 кВ [7] должна выполняться с использованием двух независимых комплектов ДЗШ. Защита шин комплектных РУ 110–220 кВ с элегазовой изоляцией и систем шин 110–220 кВ с количеством присоединений шесть и более выполняется двумя комплектами ДЗШ, при меньшем количестве присоединений – одним комплектом. Защита шин 35 кВ выполняется одним комплектом ДЗШ, а при отсутствии питания со стороны 35 кВ может использоваться логическая защита шин. МП терминалы ДЗШ должны иметь встроенную функцию УРОВ.

В соответствии с [6] ДЗШ должна выполняться без выдержки времени и охватывать все присоединения к шинам. Защита должна быть отстроена от переходных и установившихся токов небаланса.

*Дифференциальная защита шин* является защитой с абсолютной селективностью и предназначена для отключения всех видов замыканий внутри защищаемой зоны. Появление значительных погрешностей измерения ТТ может вызвать ее излишнее действие при внешних КЗ. Аперiodическая составляющая в токе КЗ способствует глубокому насыщению магнитопроводов ТТ и, следовательно, влияет на точность их работы.

В данном разделе рассматриваются защиты шин на базе устройств RED 521 и REB 670, MICOM P74x, 7UT61-63x, B90 и B30 производства фирм ABB, Areva, Siemens и General Electric соответственно [2–5].

### 1.2. Устройство типа RED 521 и REB 670

Устройство защиты RED 521 может применяться для защиты шин 6–750 кВ, имеющих до 6 присоединений в каждой зоне защиты при трехфазном исполнении и до 18 присоединений – при однофазном.

Устройство защиты REB 670 может применяться для защиты распределительных устройств различного вида: с одной системой сборных шин, с двумя системами сборных шин (в том числе секционированных и секционированных с применением обходного устройства), в схемах кольцевого типа и др.

В зависимости от требований устройство REB 670 поставляется в следующих исполнениях:

трехфазное, с возможностью подключения до 8 трехфазных входов от трансформаторов тока;

однофазное, с возможностью подключения до 24 однофазных входов от трансформаторов тока.

ТТ всех присоединений, к которым подключаются защиты RED 521 и REB 670, должны быть соединенными в звезду с нулевым проводом.

Для обеспечения надежной работы рекомендуется проверить обеспечение цифрового выравнивания токов плеч защиты.

Проверка обеспечения цифрового выравнивания выполняется для каждого токового входа устройства.

Для этого рассчитывают вторичный ток присоединения в максимальном рабочем режиме:

$$I_{\text{раб. max, вт. } n} = \frac{I_{\text{раб. max, } n}}{n_{\text{ТТ, } n}},$$

где  $I_{\text{раб. max, } n}$  – первичный рабочий максимальный ток присоединения, подключенного к рассматриваемому аналоговому входу  $n$ ;

$n_{\text{ТТ, } n}$  – коэффициент трансформации ТТ, подключенного к аналоговому входу  $n$ ;

$n$  – номер рассматриваемого аналогового входа устройства.

В устройствах RED 521 и REB 670 предусмотрен десятикратный диапазон выравнивания в сторону уменьшения и четырехкратный в сторону увеличения, т. е. должно обеспечиваться условие

$$0,1 < \frac{I_{\text{раб. max, вт. } n}}{I_{\text{ном. т. } n}} < 4,$$

где  $I_{\text{ном. т. } n}$  – номинальный ток рассматриваемого аналогового входа устройства.

В качестве положительного направления токов в устройствах RED 521 и REB 670 принято направление в защищаемую зону (в сторону шин).

### 1.2.1. Устройство типа RED 521

В устройстве RED 521 реализована дифференциальная токовая защита с торможением. Расчеты величин для дифференциальной защиты выполняются отдельно для каждой фазы в первичных величинах.

Тормозная характеристика срабатывания дифференциальной защиты RED 521 представлена на рис. 1.1.

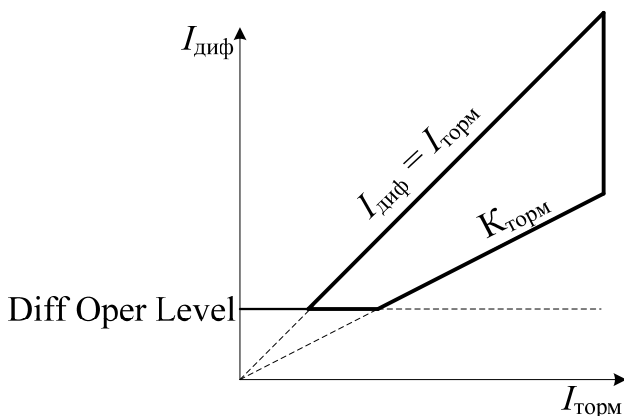


Рис. 1.1. Тормозная характеристика устройства RED 521

Тормозная характеристика состоит из двух участков: горизонтального, на котором срабатывание определяется параметром срабатывания по начальному дифференциальному току  $I_{сз} - \text{Diff Oper Level}$ , и наклонного, имеющего фиксированный наклон с коэффициентом торможения  $K_{\text{торм}} = 0,53$ .

Коэффициент торможения наклонного участка определяется по выражению

$$K_{\text{торм}} = \frac{\Delta I_{\text{диф}}}{\Delta I_{\text{торм}}} \cdot 100 \%,$$

где  $\Delta I_{\text{диф}}$  – приращение дифференциального тока на границе срабатывания;

$\Delta I_{\text{торм}}$  – приращение тормозного тока на границе срабатывания.



Начальный дифференциальный ток срабатывания Diff Oper Level (DOL) рассчитывается и задается в первичных величинах. Критерием его выбора является обеспечение несрабатывания в случае подключения присоединения, во вторичных токовых цепях которого имеется разрыв.

Таким образом, параметр срабатывания должен быть отстроен от максимального дифференциального тока, который может возникнуть при обрыве цепей тока, по выражению

$$I_{сз} = K_{отс} I_{раб. \max},$$

где  $K_{отс}$  – коэффициент отстройки;

$I_{раб. \max}$  – наибольший из максимальных рабочих токов присоединений.

Значение  $K_{отс}$  зависит от наиболее вероятного числа присоединений, которые реально находятся в работе:

$K_{отс} = 1,15$  для системы шин, для которой возможна длительная работа с двумя присоединениями примерно равной мощности;

$K_{отс} = 0,9$  для системы шин, для которой число присоединений с примерно равными наибольшими мощностями равно трем;

$K_{отс} = 0,75$  для системы шин, для которой число мощных присоединений больше трех и имеются другие, менее мощные присоединения.

Чувствительность защиты проверяется по выражению

$$K_{ч} = \frac{I_{кз. \min}}{I_{сз}},$$

где  $I_{кз. \min}$  – минимальное значение тока короткого замыкания в защищаемой зоне. В качестве расчетного может быть рассмотрен режим опробования.

Рассчитанное значение коэффициента чувствительности должно быть  $K_{ч} \geq 2$  ( $K_{ч} \geq 1,5$  – в режиме опробования шин). При этом обеспечивается надежное функционирование защиты при минимальных токах поврежденных в защищаемой зоне.

Устройство RED 521 содержит функцию контроля исправности вторичных цепей ТТ. Параметр срабатывания по дифференциальному току функции контроля исправности вторичных цепей ТТ

$I_{\text{сз. контр}}$  в устройстве обозначается Open CT Level (OCTL) и задается в первичных величинах.

Алгоритм быстрого обнаружения разрыва реагирует на размыкание вторичной цепи какого-либо ТТ в нормальном нагрузочном режиме. При выполнении определенных условий блокируется отключение от дифференциальной защиты в рассматриваемой фазе и выдается сигнал о разрыве цепей ТТ.

Алгоритм медленного обнаружения функционирует с выдержкой времени 20 с. Функционирование алгоритма медленного обнаружения разрыва является актуальным при подключении присоединения с разрывом во вторичной цепи.

Значение параметра срабатывания Open CT Level выбирается по двум условиям:

$$I_{\text{сз. контр}} \geq (0,1-0,2) I_{\text{сз}};$$

$$I_{\text{сз. контр}} \geq 0,05 I_{\text{ном. ТТ перв}},$$

где  $I_{\text{ном. ТТ перв}}$  – наибольший из первичных номинальных токов ТТ присоединений.

Из двух значений параметра срабатывания  $I_{\text{сз. контр}}$  выбирается наибольшее.

Чувствительность к разрыву токовых цепей алгоритма медленного обнаружения определяется по двум условиям:

$$I_{\text{диф}} \geq I_{\text{сз. контр}},$$

$$0,9 I_{\text{вх}} \geq I_{\text{вых}},$$

где  $I_{\text{диф}}$  – дифференциальный ток при обрыве токовых цепей наиболее слабого присоединения (рабочий ток наиболее слабого присоединения);

$I_{\text{вх}}$  – входной ток при обрыве наиболее слабого присоединения (сумма токов, направленных к шинам, например питающих присоединений);

$I_{\text{вых}}$  – выходной ток при обрыве наиболее слабого присоединения (сумма токов, направленных от шин, например линий нагрузки без учета присоединения, где предполагается обрыв токовых цепей).

### 1.2.2. Устройство типа REB 670

В устройстве REB 670 реализована дифференциальная токовая защита с торможением, включающая ПО и два ИО. Расчеты величин для дифференциальной защиты выполняются отдельно для каждой фазы в первичных величинах [2].

Отдельный ПО рекомендуется использовать, если существует вероятность несоответствия схемы защиты и схемы первичных соединений (и излишняя работа ИО) из-за неисправностей вторичных цепей управления.

Каждый избирательный орган включает:  
дифференциальную защиту с торможением;  
чувствительный дифференциальный орган;  
орган контроля исправности токовых цепей;  
орган контроля дифференциального и входного токов.

В защите предусмотрены два избирательных органа с одинаковым набором параметров, поэтому расчет и выбор параметров срабатывания необходимо производить для обоих избирательных органов.

Тормозная характеристика избирательного органа дифференциальной защиты REB 670 представлена на рис. 1.2.

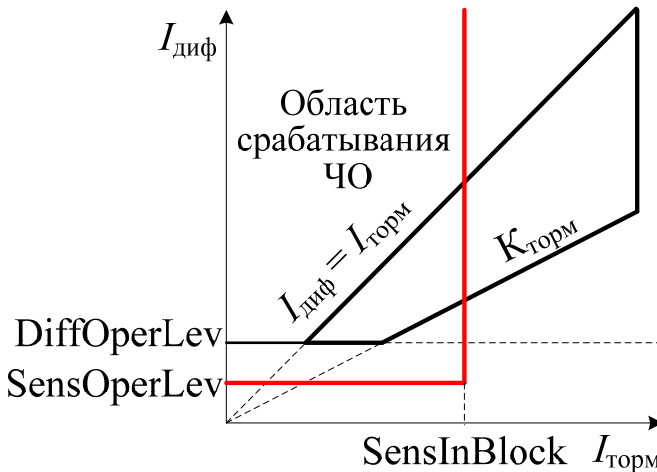


Рис. 1.2. Тормозная характеристика избирательного органа функции дифференциальной защиты устройства REB 670

Тормозная характеристика дифференциальной защиты с торможением аналогична характеристике RED 521.

Параметр срабатывания по дифференциальному току чувствительного органа  $I_{сз. чО}$  в устройстве обозначается SensOperLev. Тормозная характеристика срабатывания чувствительного органа состоит из двух участков:

на участке до входного тока SensInBlock чувствительный орган срабатывает при превышении дифференциальным током параметра срабатывания  $I_{сз. чО}$ ;

при входном токе, большем параметра срабатывания SensInBlock, происходит блокирование чувствительного органа.

Параметр срабатывания DiffOperLev должен быть отстроен от максимальных токов небаланса, которые могут возникнуть при обрыве цепей тока, по выражению

$$I_{сз. нач} = K_{отс} I_{раб. max},$$

где  $K_{отс}$  – коэффициент отстройки;

$I_{раб. max}$  – наибольший из максимальных рабочих токов присоединений, подключенных к рассматриваемой зоне защиты.

Значение  $K_{отс}$  выбирается как для защиты RED 521.

Чувствительность проверяется по выражению

$$K_{ч} = \frac{I_{кз. min}}{I_{сз. нач}} \geq 2,$$

где  $I_{кз. min}$  – минимальное значение тока короткого замыкания в защищаемой зоне.

Если для минимального тока КЗ в режиме опробования выполняется условие  $K_{ч} \geq 1,5$ , то чувствительный орган защиты может не использоваться.

Чувствительный орган дифференциальной защиты предусмотрен для надежного отключения внутренних повреждений при опробовании шин в случае, если не обеспечивается достаточная чувствительность избирательных органов.

Параметр срабатывания по дифференциальному току чувствительного органа SensOperLev задается в первичных величинах

и рассчитывается по условию обеспечения чувствительности в режиме опробования по выражению

$$I_{\text{сз. чо}} = \frac{I_{\text{кз. min опроб}}}{K_{\text{ч}}},$$

где  $I_{\text{кз. min опроб}}$  – минимальное значение тока повреждения в защищаемой зоне при питании повреждения от наиболее слабого из возможных присоединений для режима опробования;

$K_{\text{ч}} = 1,5$  – коэффициент чувствительности.

Чувствительный орган дифференциальной защиты шин должен вводиться в работу на определенное время, связанное с процедурой опробования. Вместе с тем при определенном тормозном токе целесообразно блокировать чувствительный орган.

Параметр срабатывания блокировки чувствительного органа по уровню входного тока  $I_{\text{сз. чо блок}}$  в устройстве обозначается SensInBlock, задается в первичных величинах и рассчитывается по выражению

$$I_{\text{сз. чо блок}} = 1,9K_{\text{отс}} I_{\text{сз. нач}},$$

где  $K_{\text{отс}} = 1,3$  – коэффициент отстройки.

Выдержка времени на срабатывание чувствительного органа в устройстве обозначается tSensDiff и задается в секундах. Величина tSensDiff может быть выбрана в зависимости от конкретных требований.

Параметр срабатывания алгоритма обнаружения неисправности цепей ТТ по дифференциальному току в устройстве обозначается OSTOpelLev, задается в первичных величинах и выбирается таким образом, чтобы обеспечить обнаружение разрыва токовых цепей между ТТ и устройством REB 670 присоединения с наименьшим рабочим током по двум условиям:

$$I_{\text{сз. контр}} \geq (0,1 \dots 0,2) I_{\text{сз. нач}},$$

$$I_{\text{сз. контр}} \geq 0,05 I_{\text{ном. ТТ перв}},$$

где  $I_{\text{ном. ТТ перв}}$  – максимальный из первичных номинальных токов ТТ присоединений.

Параметр срабатывания  $I_{сз. контр}$  принимается равным наибольшему из двух полученных значений.

Выдержка времени на подачу сигнала о срабатывании медленнодействующей блокировки дифференциальной защиты при обнаружении неисправности в цепях ТТ в устройстве обозначается  $tSlowOCT$  и задается в секундах. Величина  $tSlowOCT$  может быть принята равной 10 с, если отсутствуют какие-либо требования.

Для каждой зоны защиты предусмотрен контроль повышенного дифференциального тока и повышенного входного тока через зону защиты.

Выдержку времени на срабатывание органа контроля повышенного уровня дифференциального тока рекомендуется принять равной 30 с, если отсутствуют иные требования.

Орган контроля повышенного уровня входного тока может быть использован для выявления режима внешнего КЗ. Параметр срабатывания  $I_{сз. контр, ур}$  ( $PinAlarmLev$ ) может быть выбран исходя из условия

$$I_{сз. контр, ур} \geq 0,9 I_{кз. min\ внеш}$$

где  $I_{кз. min\ внеш}$  – минимальный ток внешнего КЗ рядом с зоной защиты.

Тормозная характеристика срабатывания пускового органа дифференциальной защиты REB 670, состоящая из двух участков, представлена на рис. 1.3.

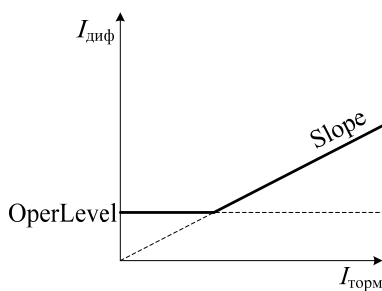


Рис. 1.3. Тормозная характеристика пускового органа функции дифференциальной защиты устройства REB 670

Начальный дифференциальный ток срабатывания пускового органа  $I_{сз,ПО}$  ( $OperLevel$ ) тормозной характеристики рассчитывается и задается в первичных величинах. Уставку ПО рекомендуется рассчитывать по выражению

$$I_{сз. ПО} \geq K_{отс} I_{раб. max},$$

где  $K_{отс} = 1,2$  – коэффициент отстройки;

$I_{раб. max}$  – максимальный из рабочих токов присоединений.

Коэффициент торможения Slope определяет наклон тормозной характеристики срабатывания и задается в относительных единицах. Значение данного параметра рекомендуется принимать  $Slope = 0,45$ .

### 1.3. Устройство типа MICOM P74x

В соответствии с руководством по эксплуатации устройство релейной защиты сборных шин типа MICOM P74x предназначено для защиты шин напряжением 110–750 кВ в широком диапазоне конфигураций секций сборных шин.

Устройство MICOM P74x включает в себя дифференциальную токовую защиту СШ с торможением и сравнением токов в каждой из фаз [3].

На рис. 1.4 показана характеристика дифференциального фазового элемента защиты MICOM P74x. Характеристика срабатывания имеет одну точку изгиба и отдельно выставляется для защищаемых зон, для «общей зоны» и для органа контроля токовых цепей. Назначение этой характеристики: гарантировать стабильность защиты при внешних повреждениях, когда в схеме имеются ТТ с различными характеристиками.

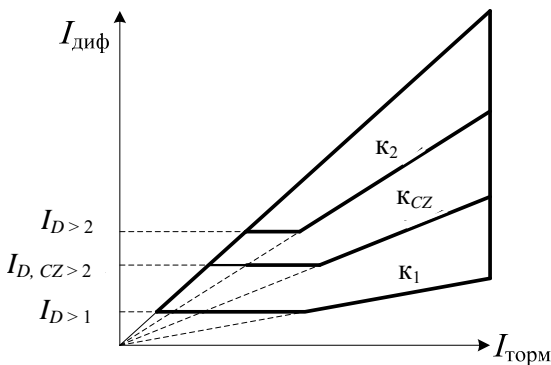


Рис. 1.4. Тормозная характеристика дифференциального фазового элемента защиты MICOM P74x

Дифференциальный орган защиты имеет независимые параметры срабатывания для защиты от фазных повреждений и чувствительной защиты от КЗ на землю, использующиеся для всех зон.

Минимальный ток срабатывания  $I_{D > 2}$  рассчитывается в первичных величинах и отстраивается от максимального тока нагрузочно-го режима при неисправности в цепях тока:

$$I_{D > 2} \geq K_{отс} I_{\max \text{ раб}},$$

где  $K_{отс} = 1,2-1,5$  – коэффициент отстройки;

$I_{\max \text{ раб}}$  – максимальный ток рабочего режима наиболее мощного присоединения.

Минимальный ток срабатывания «общей» зоны  $I_{D, CZ > 2}$  рассчитывается аналогично минимальному току срабатывания защиты:

$$I_{D, CZ > 2} = I_{D > 2}.$$

При опробовании секции шин от одного (самого слабого) источника в некоторых случаях защита может быть нечувствительна к внутренним КЗ. В таких случаях ток срабатывания  $I_{D, CZ > 2}$  занижается до величины

$$I_{D, CZ > 2} = \frac{I_{\text{кз. min внутр}}}{2},$$

где  $I_{\text{кз. min внутр}}$  – наименьший минимальный ток внутреннего КЗ (действующее значение двухфазного КЗ) для присоединения.

В режиме КЗ защита работает по превышению токов срабатывания  $I_{D, CZ > 2}$  и  $I_{D > 2}$ .

В режиме опробования – только по превышению тока срабатывания  $I_{D, CZ > 2}$ .

Коэффициент торможения  $k_2$  выбирается из условия обеспечения правильной работы защиты при переходном режиме внешнего КЗ с обеспечением чувствительности  $K_q = 2$ .

Коэффициент торможения в устройстве MICOM P74x задается в процентах в диапазоне 20–90 %. Рекомендуется выставить  $k_2$  не более 50 %.



Коэффициент торможения «общей» зоны  $k_{CZ}$  рассчитывается из условия правильной работы защиты с учетом токов нагрузки нормального режима, протекающих по соседним секциям шин, по выражению

$$k_{CZ} = \frac{I_{кз \min}}{2((n-1)I_{\text{торм max}} + I_{кз \min})},$$

где  $I_{кз \min}$  – минимальный ток внутреннего КЗ для шин при отключенных ШСВ;

$n$  – количество секций шин, защищаемых одним комплектом МІСОМ Р74х (например, для схемы 3/2 выключателя на присоединение, в случае если обе секции защищаются одним комплектом МІСОМ Р74х, принимается равным 5);

$I_{\text{торм. max}}$  – максимальная суммарная нагрузка всех присоединений для самой нагруженной секции шин.

При установке комплекта МІСОМ Р74х только для защиты одной секции шин принимается  $k_{CZ} = k_2$ .

Коэффициент торможения «общей» зоны в устройстве МІСОМ Р74х задается в диапазоне 0–90 %.

Проверка чувствительности без учета торможения защиты должна производиться по выражению

$$K_{ч} = \frac{I_{кз \min \text{ внутр}}}{I_{D>2}} \geq 2,$$

где  $I_{кз \min \text{ внутр}}$  – наименьший минимальный ток внутреннего КЗ (двухфазного) для шин при отключенных ШСВ;

$I_{D>2}$  – принятое значение минимального тока срабатывания ДЗШ.

Проверка чувствительности защиты при токах, больших тока начала торможения, должна производиться по выражению

$$K_{ч} = \frac{1}{K_{\text{торм}}} \geq 2,$$

где  $K_{\text{торм}}$  – принятое значение уставки коэффициента торможения  $k_2$ .

При нормальной работе дифференциальный ток в схеме должен быть нулевым либо пренебрежимо малым. Любая аномалия обнаруживается посредством превышения заданного порогового значения  $I_{D>1}$ .

Для контроля токовой цепи используется орган максимального тока без торможения. Если размыкается вторичная цепь ТТ, то возникает дифференциальный ток. Амплитуда этого тока пропорциональна току нагрузки, протекающему по данному присоединению.

Минимальный ток срабатывания  $I_{D>1}$  рассчитывается в первичных величинах по условию отстройки от тока небаланса при максимальном нагрузочном режиме:

$$I_{D>1} \geq k_{\text{нб}} I_{\text{ном ТТ max}},$$

где  $k_{\text{нб}} = 0,05$  – коэффициент небаланса;

$I_{\text{ном. ТТ max}}$  – максимальный номинальный первичный ток ТТ, который используется для дифференциальной защиты шин.

Коэффициент торможения контроля токовых цепей  $k_1$  выбирается из условия обеспечения нормального режима работы:

$$k_{1,N} = \frac{K_{\text{отс}} I_{\text{нб. расч. N}}}{I_{\text{торм. max N}}},$$

где  $K_{\text{отс}} = 1,2-1,5$  – коэффициент отстройки;

$I_{\text{торм. max N}}$  – максимальная суммарная нагрузка всех присоединенной секции шин номер  $N$ ;

$I_{\text{нб. расч. N}}$  – первичный ток небаланса, вызванный максимальным рабочим током секции шин номер  $N$ .

Ток небаланса вычисляется по выражению

$$I_{\text{нб. расч. N}} = (\varepsilon + \Delta f_{\text{выр}}) I_{\text{max раб. N}},$$

где  $\varepsilon$  – относительная погрешность ТТ: для ТТ с классом точности 5P  $\varepsilon = 0,03$ , для ТТ с классом точности 10P  $\varepsilon = 0,05$ ;

$\Delta f_{\text{выр}}$  – относительная погрешность цифрового выравнивания токов плеч, определяемая погрешностями входных ТТ и аналого-цифровыми преобразователями устройства защиты, для данного устройства может быть принята  $\Delta f_{\text{выр}} = 0,05$ ;

$I_{\text{max раб. N}}$  – максимальный рабочий ток из всех присоединений секции шин номер  $N$ .

Коэффициент торможения рассчитывается для каждой секции шин в режиме раздельной работы (с отключенными секционными выключателями), и выбирается больший из них.

Коэффициент торможения контроля токовых цепей  $k_1$  вводится в процентах в диапазоне 0–50 %. Рекомендуется выставить  $k_1 \geq 10$  %.

Задержка на срабатывание органа контроля токовых цепей отстраивается от максимального времени сквозного короткого замыкания, протекающего через шины подстанции:

$$t_{ID > 1} = t_{\max \text{ кз}} + \Delta t,$$

где  $t_{\max \text{ кз}}$  – максимальное время сквозного короткого замыкания, протекающего через шины подстанции;

$\Delta t$  – ступень селективности, принимается от 0,25 до 0,60 с; по рекомендациям [1] при использовании в сети только цифровых устройств можно принимать  $\Delta t = 0,15$ – $0,20$  с.

Устройство МІСОМ Р74х включает в себя чувствительную дифференциальную защиту от КЗ на землю в качестве дополнительной защиты для случаев, когда токи КЗ на землю значительно меньше токов многофазных КЗ и соизмеримы с нагрузочными токами. При этом для гарантированной стабильности при внешних повреждениях выполняется контроль тока торможения. При использовании МІСОМ Р74х для защиты шин в сети с глухозаземленной нейтралью или при заземлении нейтрали через низкоомное сопротивление этот орган обычно выведен.

В периферийном модуле МІСОМ Р74х можно выполнить защиту «мертвой» зоны. Эта защита представляет собой простейшую максимальную токовую защиту с выдержкой времени, которая вводится в работу при обнаружении КЗ в «мертвой» зоне (по топологии схемы в устройстве).

Защиту «мертвой» зоны можно вводить только при наличии контроля положения выключателя, для этого необходимо завести в устройство его замыкающие и (или) размыкающие блокировочные контакты.

Ток срабатывания данной защиты  $I_{>DZ}$  рассчитывается в первичных величинах и отстраивается от минимального тока КЗ, протекающего через ТТ присоединения, с обеспечением чувствительности  $K_{\tau} = 2$ :

$$I_{>DZ} = \frac{I_{\text{кз min}}}{2},$$

где  $I_{\text{кз min}}$  – минимальный ток КЗ, протекающий через конкретное присоединение.

Для фазного органа ток срабатывания  $I_{>DZ}$  должен задаваться, по возможности, больше максимального тока нагрузки.

Выдержка времени срабатывания рассчитывается по выражению

$$t_{\text{вв}} = t_{\text{зат. откл. в}} + t_{\text{откл. в}} + \max(t_{\text{рпо/рпв}}; t_{\text{возвр}}),$$

где  $t_{\text{зат. откл. в}}$  – время затухания апериодической составляющей тока КЗ при отключении выключателя;

$t_{\text{откл. в}}$  – время отключения выключателя;

$t_{\text{рпо/рпв}}$  – время получения сигнала отключенного положения выключателя (с учетом типа используемого сигнала РПВ (реле положения «включено») или РПО (реле положения «отключено»));

$t_{\text{возвр}}$  – время возврата токовых органов защиты.

В случае отсутствия таких данных время принимается равным 0,1 с.

Для органа тока нулевой последовательности (если используется) выдержка времени должна быть не менее 0,1 с, если в защиту заведено положение выключателя (в противном случае – любое значение).

Дифференциальная защита шин МІСОМ Р74х может работать совместно с внешним устройством резервирования отказа выключателя.

Кроме этого, в устройство периферийного блока МІСОМ Р74х интегрирована и доступна для использования функция УРОВ. УРОВ содержит две выдержки времени и может иметь пуск от внутренних или от внешних защит.

Критериями, по которым определяется отключенное положение выключателя, являются токовый (исчезновение протекающего тока) и логический (проверка состояния блокировочных контактов выключателя).

В качестве критерия отключения выключателя рекомендуется использовать только токовый контроль. Дополнительный контроль с использованием блокировочных контактов выключателя может быть использован в сложных схемах.

Ток срабатывания токового органа выбирается с учетом отстройки от емкостного тока линии. Для воздушных линий 110 кВ

и коротких линий 220 кВ емкостный ток имеет небольшое значение и в расчетах не учитывается, в этом случае значение тока берется по возможности наименьшим (0,05–0,1 А при номинальном токе устройства 1 А и 0,25–0,5 А при номинальном токе устройства 5 А):

$$I_{<} = K_{отс} I_{Сл},$$

где  $K_{отс} = 1,1–1,5$  коэффициент отстройки;

$I_{Сл}$  – емкостный ток линии.

Проверка чувствительности проводится по выражению

$$K_{ч} = \frac{I_{кз \min}}{I_{<}},$$

где  $I_{кз \min}$  – значение минимального тока КЗ в конце отходящей от данной подстанции линии или за трансформатором.

Для корректной работы УРОВ необходимо отстроиться по времени от времени работы защиты и времени отключения выключателя.

Действие УРОВ «на себя» (внутренние защиты  $t_1$ , внешние защиты  $t_3$ )

$$t_1 = t_3 = t_{вр} + t_{откл.в} + t_{в} + t_{зап},$$

где  $t_{вр} = 0,005–0,015$  с – время срабатывания выходного реле устройства защиты, зависящее от типа реле;

$t_{откл. в}$  – максимальное время отключения выключателя;

$t_{в} = 0,01$  с – время возврата токового контроля или органа контроля положения выключателя;

$t_{зап} = 0,005–0,02$  с – время запаса.

Действие УРОВ на отключение смежных присоединений (внутренние защиты  $t_2$ , внешние защиты  $t_4$ ):

$$t_2 = t_4 = t_1 + t_{вр} + t_{откл. в} + t_{в} + t_{зап}.$$

Если используются промежуточные реле, то время срабатывания УРОВ нужно увеличить на величину времени отключения реле от 0,01 до 0,015 с.

#### 1.4. Устройство типа 7UT61-63х

Функция ДЗШ на базе устройств защиты 7UT6 рассматривается применительно к шинам 110–750 кВ, имеющим жестко фиксированное присоединение ячеек (с одним шинным разъединителем) [4].

При трехфазном способе измерения токов ТТ присоединений шин одно устройство защиты версии, 7UT613 или 7UT633, позволяет выполнить ДЗШ небольших сборных шин с количеством присоединений не более трех, устройство версии 7UT635 – с количеством присоединений не более пяти.

В случаях большего количества присоединений устройства серии 7UT6 могут применяться для реализации дифференциальной защиты шин в пофазном исполнении. В соответствии с количеством доступных измерительных входов тока максимальное количество присоединений на защищаемой секции составляет:

- для устройства 7UT612 – до 7 ячеек;
- устройства 7UT613/633 – до 9 ячеек;
- устройства 7UT635 – до 12 ячеек.

В качестве ячеек ДЗШ рассматриваются все присоединения данной системы шин, имеющие комплект измерительных ТТ для подключения в токовые цепи ДЗШ, в том числе секционный (шиносединительный) и обходной выключатели.

Поскольку на присоединениях шин могут использоваться ТТ с различными первичными номинальными токами, то в качестве номинального тока шин принимается номинальный рабочий ток, который будет являться базовым для всех остальных токов. Уставки функций защиты будут определяться в относительных величинах относительно этого базового тока. Обычно в этом качестве используется максимальный номинальный первичный ток ТТ.

В соответствии с руководством по эксплуатации, для устройств 7UT6 максимально возможная величина отношения номинального тока защищаемого объекта к номинальному току ТТ должна находиться в пределах 0,125–8 о. е. (ограничение по чувствительности измерения величин тока в устройстве защиты).

Указанная величина называется коэффициентом согласования по величине в заданной точке измерения  $F_{\text{Adap}}$ :

$$F_{\text{Адап}} = \frac{I_{\text{НОМ. 30}}}{I_{\text{НОМ. ТТ}}},$$

где  $I_{\text{НОМ. 30}}$  – номинальный ток защищаемого объекта;

$I_{\text{НОМ. ТТ}}$  – номинальный первичный ток ТТ (в каждой ячейке, присоединенной к защищаемым шинам).

Таким образом, для основной функции ДЗШ устройства 7UT613/63х должно выполняться условие

$$1/8 \leq F_{\text{Адап}} \leq 8.$$

Для дифференциальной защиты шин указанное условие, как правило, выполняется. Однако согласно рекомендациям изготовителя при реальном проектировании допустимо расширение указанного диапазона до значений  $(0,1-8) \pm 10\%$  о. е.

Выбор уставки минимального тока срабатывания защиты производится по условию отстройки от тока в реле при обрыве вторичных токовых цепей защиты в нагрузочном режиме:

$$I_{\text{сз min}} = K_{\text{отс}} I_{\text{max дл. доп}},$$

где  $K_{\text{отс}} = 1,2$  – коэффициент отстройки;

$I_{\text{max дл. доп}}$  – максимальный длительно допустимый ток нагрузки присоединений шин.

Уставка минимального тока срабатывания защиты в устройстве I-DIFF> определяется относительно номинального тока объекта защиты:

$$\text{I-DIFF} \geq \frac{I_{\text{сз min}}}{I_{\text{НОМ. 30}}}.$$

В целях повышения чувствительности защиты шин в качестве  $I_{\text{max дл. доп}}$  рекомендуется принять максимальный длительно допустимый ток самого нагруженного присоединения шин. При затруднении в определении действительных токов нагрузки следует принять максимальный номинальный первичный ток ТТ присоединений шин.

Отстройка по току от максимального тока небаланса в переходном режиме внешнего короткого замыкания принципиально не требуется, так как для данной защиты используется функция торможения током повреждения для отстройки от возможных срабатываний при внешних КЗ.

Для выбора коэффициента торможения  $K_{\text{торм}}$  (Slope1), рис. 1.5, в качестве расчетного принимается режим, при котором коэффициент является максимальным (все токи в формуле являются первичными):

$$K_{\text{торм}} = \frac{K_{\text{отс}} I_{\text{нб. расч}} - I_{\text{сз min}}}{\Sigma I_{\text{торм. расч}} - I_{\text{торм. нач}}},$$

где  $K_{\text{отс}} = 1,5$  – коэффициент отстройки;

$I_{\text{нб. расч}}$  – максимальный расчетный первичный ток небаланса;

$I_{\text{сз min}}$  – уставка минимального тока срабатывания защиты;

$\Sigma I_{\text{торм. расч}}$  – ток торможения;

$I_{\text{торм. нач}}$  – величина тока начала торможения.

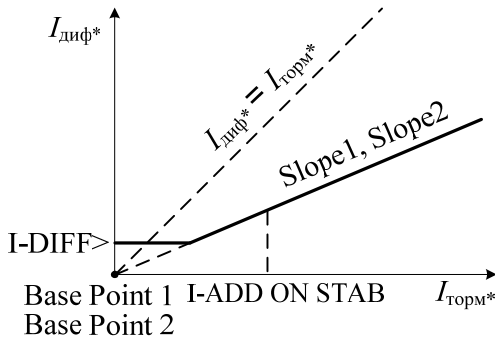


Рис. 1.5. Характеристика срабатывания/торможения для функции ДЗШ

Ток небаланса и торможения определяется следующим образом:

$$I_{\text{нб. расч}} = \left( K_{\text{пер}} K_{\text{одн}} \varepsilon + \Delta f_{\text{выр}} \right) I_{\text{max вн}};$$

$$\Sigma I_{\text{торм. расч}} = \left( 2 - \varepsilon - \Delta f_{\text{выр}} \right) I_{\text{max вн}};$$



где  $k_{\text{пер}} = 1,5-2$  – коэффициент увеличения тока в переходном режиме внешнего КЗ (учитывающий аperiodическую составляющую);

$k_{\text{одн}} = 1$  – коэффициент однотипности ТТ;

$\varepsilon \leq 0,1$  – относительное значение полной погрешности ТТ;

$\Delta f_{\text{выр}} = 0,05$  – относительное значение токовой погрешности промежуточных ТТ и АЦП терминала;

$I_{\text{max вн}}$  – максимальный сквозной ток шин (при внешних КЗ).

Согласно рекомендациям изготовителя характеристика торможения проходит через начало координат, тогда расчет  $K_{\text{торм}}$  значительно упрощается:

$$K_{\text{торм}} = \frac{K_{\text{отс}} I_{\text{нб. расч}}}{\sum I_{\text{торм. расч}}}.$$

Для определения всех параметров характеристики срабатывания необходимо найти ток начала торможения:

$$I_{\text{торм. нач}} = \frac{I_{\text{сз min}}}{K_{\text{торм}}}.$$

В качестве уставки следует принимать стандартную большую величину  $K_{\text{торм}}$ .

В случаях невозможности выполнения проверки ТТ на соответствие максимально допустимой погрешности измерения (не выше 10 %) или определения действительной величины погрешности из-за отсутствия достоверных данных, необходимых для расчетов, в соответствии с рекомендацией изготовителя следует задавать величину  $K_{\text{торм}} \geq 0,5$  о. е.

Дополнительная ветвь торможения предназначена для предотвращения действия защиты при больших токах внешнего повреждения, которые могут вызвать насыщение и увеличение погрешности измерения ТТ (более 10 %), для функции ДЗШ может использоваться с параметрами, идентичными параметрам первой характеристики (Slope1), или при невозможности – минимальная уставка наклона характеристики торможения Slope2 –  $K_{\text{торм2}} = 0,25-0,95$  о. е.

Для функции дифференциальной защиты шин ток срабатывания дифференциальной отсечки I-DIFF>>, как правило, не определяется.

Для ДЗШ РУ с большими сквозными токами при внешних повреждениях целесообразно также использовать дополнительное динамическое торможение. Начальная величина вводится отдельной уставкой. Данная величина определяется относительно номинального тока защищаемого объекта и должна находиться в диапазоне токов КЗ, при которых ожидается насыщение и значительное увеличение погрешности ТТ.

Уставка по току ввода дополнительного торможения I-ADD ON STAB определяется по выражению

$$I_{\text{сз. доп}} \geq \frac{2I_{\text{нагр. max шин}}}{0,85 I_{\text{ном. зо}}},$$

где  $I_{\text{нагр max шин}}$  – ток максимального нагрузочного режима шин (должны рассматриваться максимальные нагрузочные режимы шин, включая ремонтные).

Рекомендуемая минимальная уставка 4,0 о. е.

Угол наклона остается тот же, что и для ветви Slope1.

Уставка длительности дополнительного торможения T ADD ON-STAB

$$t_{\text{доп. торм}} \geq t_{\text{сз. прис}} + t_{\text{откл. прис}},$$

где  $t_{\text{сз. прис}}$  – максимальная выдержка времени защиты присоединений шин на отключение внешнего КЗ с током, превышающим уставку  $I_{\text{сз. доп}}$  в периодах синусоидального тока частотой 50 Гц;

$t_{\text{откл. прис}}$  – максимальное время отключения выключателя в периодах синусоидального тока частотой 50 Гц.

Дополнительное торможение действует отдельно для каждой фазы, но при необходимости можно ввести одновременную блокировку во всех трех фазах при срабатывании функции дополнительного торможения в любой из них – перекрестная блокировка.

Контроль дифференциального тока осуществляется в каждой фазе. Если в течение продолжительного времени измеряемый дифференциальный ток по величине превышает заданную уставку, фиксируется повреждение во вторичных токовых цепях защиты. При этом дифференциальная защита с выдержкой времени блокируется в соответствующей фазе и формируется сообщение об этом состоянии.

Величина тока срабатывания контроля дифференциального тока I-DIFF > MON должна быть ниже уставки срабатывания дифференциальной защиты I-DIFF >, в противном случае невозможно будет определить разницу между эксплуатационными неисправностями ТТ и токами повреждения, обусловленными короткими замыканиями в защищаемом объекте.

Как правило, принимается уставка по току срабатывания ниже минимального номинального тока присоединений шин или минимальная по техническим параметрам реле:

$$I_{\text{сз. контр}} \leq I_{\text{min нагр}},$$

где  $I_{\text{min нагр}}$  – минимальный рабочий ток нагрузки присоединений шин.

Во всех случаях уставка по току срабатывания функции контроля должна превышать максимальную возможную величину тока небаланса, т. е.

$$I_{\text{сз. контр}} > 0,05K_{\text{отс}} I_{\text{max нагр}},$$

где  $K_{\text{отс}} = 1,2$  – коэффициент отстройки;

$I_{\text{max нагр}}$  – максимальный ток нагрузки присоединений шин.

Величина тока срабатывания приводится к номинальному току защищаемого объекта

$$\text{I-DIFF} > \text{MON} = \frac{I_{\text{сз контр}}}{I_{\text{ном. ЗО}}}.$$

Выдержка времени контроля дифференциального тока T I-DIFF > MON обеспечивает недействие блокировки в условиях возникновения повреждения. Обычно выдержка времени составляет несколько секунд, определяется из опыта эксплуатации объекта и может задаваться в пределах  $t_{\text{сз. контр}} = 1-10$  с.

Существует также дополнительная возможность контроля исправности токовых цепей в ДЗШ. Это так называемый контроль тока фидера, который осуществляет мониторинг токов в каждой фазе каждой стороны измерения защищаемого объекта, при этом коман-

да на отключение осуществляется только в том случае, если хотя бы один из контролируемых токов присоединений превысил установленную пороговую величину.

Уставка по току контроля  $I > \text{CURR.GUARD}$  должна быть меньше величины тока какого-либо из питающих присоединений шин при токе КЗ, соответствующем минимальной чувствительности ДЗШ, т. е.

$$I_{\text{сз. контр, ф}} \leq \frac{I_{\text{сз min}}}{n K_{\text{ч}}},$$

где  $n$  – количество основных питающих присоединений ошиновки;

$K_{\text{ч}} = 1,1$  – коэффициент чувствительности.

Величина тока срабатывания приводится к номинальному току присоединения шин.

Применение функции контроля тока присоединения не является обязательным и выполняется по требованиям эксплуатации.

Величина уставки тока срабатывания чувствительного органа ДЗШ в минимальных режимах принимается из условия чувствительности  $K_{\text{ч(мин)}} = 1,5$ :

$$I_{\text{сз,чО}} = \frac{I_{\text{кз min}}}{K_{\text{ч}}},$$

где  $I_{\text{кз min}}$  – минимальное расчетное значение периодической составляющей суммарного тока КЗ в защищаемой зоне (при опробовании шин).

По условиям эксплуатации может потребоваться опробование рабочим напряжением трансформатора (автотрансформатора), подключенного к защищаемым шинам, с использованием устройств защиты этой секции шин. В случае необходимости в устройстве 7УТ6х возможна реализация указанной функции, при этом доступна функция торможения по второй, третьей или пятой гармоническим составляющим тока.

Коэффициент чувствительности  $K_{\text{ч}}$  ДЗШ определяется для основной функции I-DIFF > при металлическом КЗ на защищаемых шинах в расчетном режиме, обуславливающим минимальный ток КЗ, по следующим выражениям.

При  $I_{\text{кз min}} \leq I_{\text{торм. нач}}$

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз min}}}{I_{\text{сз min}}} \geq 2,$$

где  $I_{\text{кз min}}$  – минимальное расчетное значение периодической составляющей суммарного тока КЗ в защищаемой зоне;

$I_{\text{сз min}}$  – минимальный ток срабатывания защиты (при отсутствии торможения).

При  $I_{\text{кз min}} > I_{\text{торм. нач}}$  для участка наклона характеристики срабатывания при условии ее прохождения через начало координат

$$K_{\text{ч}} = \frac{1}{K_{\text{торм}}} \geq 2.$$

При опробовании шин может быть принята минимально возможная величина  $K_{\text{ч}} \geq 1,5$ .

### 1.5. Устройство типа В90 (В30)

В устройствах В90 (В30) предусмотрена функция дифференциальной токовой защиты с процентным торможением [5].

Устройство В30 дает возможность защиты и измерения для шин с количеством присоединений не более шести, а устройство В90 – до 24 присоединений.

Выравнивание коэффициентов трансформации ТА в устройствах В90 (В30) выполняется цифровым способом и исключает необходимость использования выравнивающих промежуточных трансформаторов тока.

Характеристика срабатывания дифференциальной защиты шин представлена на рис. 1.6.

Характеристика срабатывания состоит из четырех участков.

Для расчета относительных значений токов используется базисный ток  $I_{\text{баз}}$ , который принимается равным максимальному первичному току ТТ из всех трансформаторов тока присоединений рассматриваемой зоны защиты.

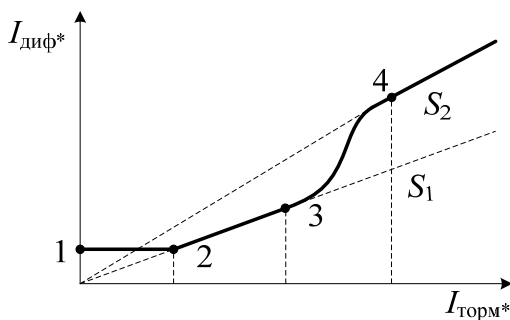


Рис. 1.6. Характеристика срабатывания функции дифференциальной защиты с торможением устройства В90 (В30)

Параметр Bus Zone N Diff Pickup определяет минимальный дифференциальный ток  $I_{сз \min}$ , требуемый для срабатывания функции дифференциальной защиты шин с процентным торможением (точка 1).

Уставку рекомендуется выбирать из условия обеспечения несрабатывания защиты при обрыве цепей тока по выражению

$$I_{сз \min} \geq K_{отс} I_{раб. \max^*}$$

где  $K_{отс} = 1,2$  – коэффициент отстройки;

$I_{раб. \max^*} = I_{раб \max} / I_{баз}$  – относительный рабочий максимальный ток нагрузки наиболее мощного элемента;

$I_{раб \max}$  – первичное значение рабочего максимального тока нагрузки наиболее мощного присоединения.

Точка 2 по оси  $I_{торм^*}$  в защите определяется как отношение Bus Zone N Diff Rick up к Bus Zone N Diff Low Slope (о.е.).

Параметр Bus Zone N Diff Low Vpnt определяет первую нижнюю точку перегиба тормозной характеристики (точка 3) и начало торможения при низких уровнях токов КЗ. Его рекомендуется выбирать равным тормозному току в режиме, в котором наиболее нагруженный ТТ еще работает без насыщения. В случае отсутствия соответствующих данных о трансформаторах тока уставку рекомендуется задавать равной 2,0.

Уставка  $S_1$  – Bus Zone N Diff Low Slope – определяет наклон на втором участке характеристики срабатывания и выбирается по условию отстройки от тока небаланса при внешнем КЗ, соответ-

ствующего уставке Bus Zone N Diff Low Vpnt. Этой уставкой определяется чувствительность реле к внутренним повреждениям, сопровождающихся протеканием малых токов:

$$S_1 \geq K_{отс} K_{нб. расч*} 100 \%,$$

где  $K_{отс} = 1,1-1,2$  – коэффициент отстройки;

$K_{нб. расч*} = K_{пер} \varepsilon* + \Delta f_{выр*}$  – относительный расчетный коэффициент небаланса;

$K_{пер} = 2,0$  – коэффициент, учитывающий переходной режим (наличие аperiodической составляющей при малых сквозных токах или КЗ);

$\varepsilon*$  – относительная погрешность, обусловленная трансформаторами тока. Для ТТ классов 10Р и 5Р рекомендуется принимать равной 0,1 и 0,05 соответственно;

$\Delta f_{выр*} = 0,02$  – относительная погрешность, обусловленная выравниванием токов сторон в устройстве защиты.

Параметр Bus Zone N Diff High Vpnt определяет начало области торможения со вторым наклоном  $S_2$ , обеспечивающим устойчивость функционирования при тяжелых сквозных КЗ, при которых насыщение ТТ приводит к возникновению большого дифференциального тока (точка 4). Этот параметр рекомендуется задавать равным 4,0–5,0.

Параметр  $S_2$  – Bus Zone N Diff High Slope – обеспечивает устойчивое функционирование при тяжелых сквозных КЗ, при которых насыщение ТТ приводит к возникновению большого дифференциального тока и определяет наклон четвертого участка тормозной характеристики. Его необходимо выбирать по условию отстройки от тока небаланса при максимальном токе внешнего КЗ с учетом фактической погрешности ТТ при таком токе и фактической вторичной нагрузке по выражению

$$S_2 \geq K_{отс} K_{нб. расч*} 100 \%,$$

где  $K_{нб. расч*} = K_{пер} \varepsilon* + \Delta f_{выр*}$  – относительный расчетный коэффициент небаланса;

$K_{пер} = 2-4$  – максимальное значение, используемое при сильном насыщении ТТ при больших кратностях тока КЗ.

Ток срабатывания дифференциальной отсечки определяется уставкой Bus Zone N Diff High Set. Использование дифференциальной отсечки для защиты шин нецелесообразно, поэтому ее рекомендуется выводить из работы. Она может оказаться полезной только в тех случаях, если в зону рассматриваемой защиты входят элементы со значительным внутренним сопротивлением (трансформаторы, реакторы и т. д.). Для вывода дифференциальной отсечки из работы уставку Bus Zone N Diff High Set необходимо установить равной максимально возможному значению, т. е. 99,99.

## **2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАЩИТ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 110–220 кВ**

### **2.1. Требования норм технологического проектирования к релейной защите линий 110–220 кВ**

На системообразующих линиях 110 кВ и выше [7] должны быть установлены две независимые защиты от всех видов повреждений: быстродействующая защита с абсолютной селективностью (основная защита) и комплект ступенчатых защит (резервная защита). Основные и резервные защиты подключаются к разным обмоткам ТТ, ТН и к разным защитным аппаратам оперативного тока. В соответствии с [7] в качестве основной быстродействующей защиты необходимо применять один из следующих вариантов:

- а) продольную ДЗЛ;
- б) ДФЗ;
- в) защиту с высокочастотной блокировкой;
- г) комплект ступенчатых защит с передачей блокирующего или разрешающего сигнала.

На других линиях необходимость установки защит с абсолютной селективностью определяется требованиями устойчивости работы электросистемы, селективности, надежности работы ответственных производств.

В релейных защитах высоковольтных линий должен осуществляться принцип ближнего и дальнего резервирования.

На кабельных и кабельно-воздушных ЛЭП напряжением выше 110 кВ и на воздушных ЛЭП в местах массовой застройки должны



устанавливаться две основные быстродействующие защиты. В качестве второй может быть использован комплект ступенчатых защит с передачей разрешающих или блокирующих сигналов по отдельной ВЧ аппаратуре. Комплект ступенчатых защит должен содержать ДЗ от всех видов КЗ и направленную ТЗНП. Отдельные ступени ДЗ должны блокироваться при качаниях.

На линиях с односторонним питанием используются два комплекта ступенчатых защит, каждый из которых включает токовую (если удовлетворяются условия селективности) или ДЗ от междуфазных КЗ и ТЗНП (направленную или ненаправленную) от КЗ на землю.

При проектировании предполагается, что кратности токов КЗ в конце защищаемой зоны и в месте установки защиты не превышают значений, соответствующих 10%-й погрешности ТТ.

В методических рекомендациях фирм-производителей МП защит приводятся методики расчета уставок защит и других входных параметров, которые должны быть установлены в терминале защиты при его наладке [10, 11, 12, 13, 14]. Ввиду ограниченности объема в настоящем пособии рассматривается методика расчета уставок ДЗ от междуфазных КЗ и ТЗНП от замыканий на землю в соответствии с Руководящими указаниями по релейной защите [8, 9], которые действуют в настоящее время в Республике Беларусь.

## **2.2. Выбор параметров дистанционных защит линий 110 кВ и выше**

В объем расчетов входит определение сопротивлений срабатывания, времени срабатывания и коэффициентов чувствительностей ступеней.

Терминалы микропроцессорных устройств разных фирм-производителей (Siemens, Alstom, АВВ) содержат до пяти зон ДЗ. Работающие в энергосистеме Республики Беларусь устройства ДЗ, а также проектируемые в настоящее время ДЗ на МП элементной базе традиционно, в соответствии с [8], выполняются в виде трех ступеней. Другие ступени микропроцессорной защиты могут выполнять специальные функции. При этом первая ступень выполняет защиту основной зоны, вторая – функцию ближнего, а третья – функцию дальнего резервирования.

Рассмотрим методику выбора уставок трех ступеней комплекта 1 ДЗ от междуфазных КЗ для одиночной линии с двусторонним питанием (рис. 2.1). Все ступени каждого комплекта в такой схеме выполняются направленными.

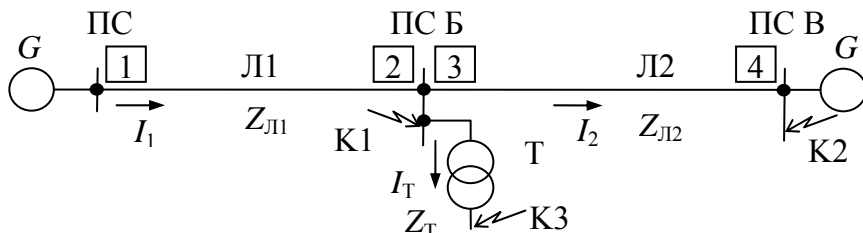


Рис. 2.1. Расчетная схема одиночной линии для выбора уставок ступенчатых защит

Условием выбора первичного сопротивления срабатывания  $Z_{сз1}^I$  **первой** ступени комплекта 1 ДЗ одиночной линии является отстройка от тока КЗ в конце основной зоны (на шинах ПС Б, узел К1):

$$Z_{сз1}^I \leq \frac{1}{K_{отс}} Z_{Л1} = 0,87 Z_{Л1},$$

где  $Z_{Л1}$  – сопротивление линии Л1;

$K_{отс}$  – коэффициент отстройки:

$$K_{отс} = 1 + \beta + \delta = 1,15;$$

$\beta = 0,05$  – погрешность ТТ, ТН и РС в сторону увеличения защищаемой зоны;

$\delta = 0,1$  – погрешность расчета сопротивления линии и запас.

Если линия Л1 имеет ответвление с трансформатором (рис 2.2), то при выборе сопротивления срабатывания первой ступени необходимо учесть второе условие: сопротивление срабатывания должно быть отстроено от КЗ на шинах СН или НН трансформатора отпайки:

$$Z_{сз1}^I \leq \frac{1}{K_{отс}} \left( Z'_{Л1} + \frac{Z_{отв} + Z_{Т_{отв}}}{K_{ток\ Т_{отв}}} \right), \quad (2.1)$$

где  $Z'_{Л1}$  – сопротивление участка линии Л1 от шин ПС 1 до ответвления;

$Z_{отв}$  – сопротивление ответвления;

$Z_{Т_{отв}}$  – сопротивление трансформатора на ответвлении;

$K_{ток\ Т_{отв}}$  – коэффициент токораспределения для трансформатора ответвления, который учитывает неравенство токов в месте установки ДЗ и в месте КЗ:

$$K_{ток\ Т_{отв}} = I'_1 / I_{отв}$$

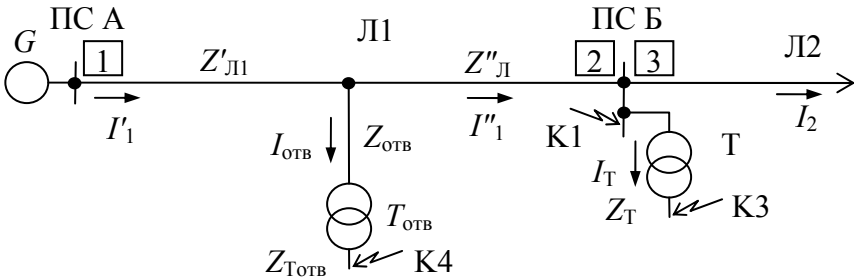


Рис. 2.2. Расчетная схема одиночной линии с ответвлением

Если на линии Л1 имеется несколько ответвлений с трансформаторами, то требуется расчет сопротивлений срабатывания по выражению (2.1) для всех ответвлений, при этом кроме сопротивлений элементов ответвления учитываются различные значения сопротивлений участков линии Л1, включенных между ответвлениями, и различные значения коэффициентов токораспределения для этих участков.

Из всех сопротивлений срабатывания, полученных по проверенным условиям, в качестве уставки срабатывания первой ступени комплекта 1 ДЗ выбирается наименьшее.

Сопротивление срабатывания  $Z_{сз1}^{II}$  **второй** ступени комплекта 1 ДЗ на одиночной линии (см. рис. 2.1) выбирается как наименьшее из условий:

1. По условию согласования с первой ступенью комплекта 3 ДЗ на предыдущей линии Л2:

$$Z_{\text{сз1}}^{\text{II}} \leq \frac{1}{K_{\text{отс}}} \left( Z_{\text{Л1}} + \frac{1-\alpha}{K_{\text{ток Л2}}} Z_{\text{сз3}}^{\text{I}} \right) = 0,87 Z_{\text{Л1}} + \frac{0,78}{K_{\text{ток Л2}}} Z_{\text{сз3}}^{\text{I}}, \quad (2.2)$$

где  $\alpha$  – погрешность ТТ, ТН и РС в сторону уменьшения зоны:  $\alpha = 0,1$ ;  
 $K_{\text{ток Л2}}$  – коэффициент токораспределения для линии Л2, который учитывает неравенство токов в месте установки ДЗ и в месте КЗ:

$$K_{\text{ток Л2}} = I_1 / I_2.$$

2. По условию отстройки от КЗ на шинах СН или НН (в зависимости от того, где ток КЗ будет больше) трансформатора Т, установленного на ПС Б на противоположном конце линии Л1 (см. рис. 2.1):

$$Z_{\text{сз1}}^{\text{II}} \leq 0,85 \left( Z_{\text{Л1}} + \frac{Z_{\text{T}}}{K_{\text{ток Т}}} \right), \quad (2.3)$$

где  $Z_{\text{T}}$  – сопротивление трансформатора (автотрансформатора) Т (двух параллельно включенных трансформаторов). Рекомендуется напряжение КЗ принимать с учетом такого возможного положения РПН, при котором сопротивление трансформатора будет наименьшим;

$K_{\text{ток Т}} = I_1 / I_{\text{T}}$  – коэффициент токораспределения при КЗ за трансформатором (узел КЗ).

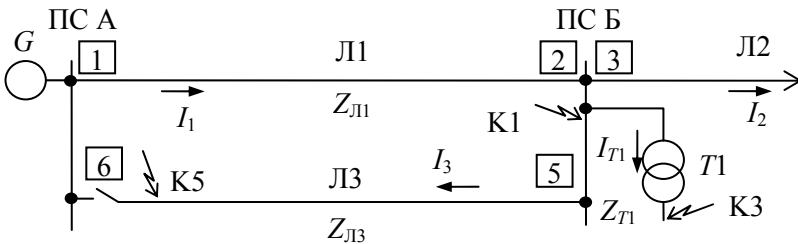


Рис. 2.3. Расчетная схема двух параллельных линий при каскадном отключении одной из цепей

3. Если линия Л1 выполнена в виде двух параллельных цепей, каждая из которых имеет свою защиту и выключатели (рис. 2.3), то сопротивление срабатывания второй ступени необходимо согласовать с сопротивлением срабатывания первой ступени комплекта 5 ДЗ, установленного на противоположном конце параллельной линии, при каскадном отключении короткого замыкания (узел К5) вблизи ПС А на параллельной линии

$$Z_{сз1}^{II} \leq 0,87Z_{Л1} + \frac{0,78}{K_{ток Л3}} Z_{сз5}^I, \quad (2.4)$$

где  $Z_{сз5}^I$  – сопротивление срабатывания первой ступени комплекта 5;  
 $K_{ток Л3} = I_1 / I_3$  – коэффициент токораспределения для параллельной линии Л3 при КЗ на ней вблизи шин ПС А (узел К5).

4. Если на линии имеются ответвления с трансформаторами (см. рис. 2.2), то необходимо также отстроить сопротивление срабатывания второй ступени от тока КЗ за трансформатором на ответвлении:

$$Z_{сз1}^{II} \leq \frac{1}{K_{отс}} \left( Z'_{Л1} + \frac{Z_{отв} + Z_{Г_{отв}}}{K_{ток Г_{отв}}} \right). \quad (2.5)$$

Если на линии Л1 имеется несколько ответвлений с трансформаторами, то требуется расчет сопротивлений срабатывания по выражению (2.5) для всех ответвлений, при этом кроме сопротивлений самого ответвления в формуле учитываются различные значения сопротивлений участков линии Л1, включенных между ответвлениями, и различные значения коэффициентов токораспределения для этих участков [8].

В качестве сопротивления срабатывания второй ступени защиты выбирается наименьшее из значений, полученных по формулам (2.1)–(2.5).

Чувствительность дистанционного органа второй ступени определяется коэффициентом чувствительности  $K_{ч}$  как отношение сопротивления срабатывания второй ступени к сопротивлению Л1:

$$K_{\text{ч}} = \frac{Z_{\text{сз1}}^{\text{II}}}{Z_{\text{Л1}}},$$

где  $Z_{\text{Л1}}$  – первичное сопротивление на входе дистанционного органа при металлическом КЗ в режиме, когда это сопротивление имеет наибольшее значение.

В соответствии с [6] для второй ступени ДЗ чувствительность должна быть не ниже 1,5, если в ДЗ отсутствует третья ступень или когда защита используется в качестве основной, и не менее 1,25, если работа второй ступени резервируется третьей ступенью или когда ДЗ используется как резервная.

Сопротивление срабатывания *третьей* ступени  $Z_{\text{сз1}}^{\text{III}}$  выбирается по условию согласования с сопротивлением срабатывания второй ступени ДЗ предыдущей линии (см. рис. 2.1):

$$Z_{\text{сз1}}^{\text{III}} \leq 0,87Z_{\text{Л1}} + \frac{0,78}{K_{\text{ток Л2}}} Z_{\text{сз3}}^{\text{II}},$$

где  $K_{\text{ток Л2}} = I_1 / I_2$  – коэффициент токораспределения для линии Л2 при КЗ на шинах ПС /Б (узел К2).

ДЗ является защитой с относительной селективностью, поэтому селективная работа ступеней обеспечивается с помощью дополнительного информационного параметра – времени. **Выдержки времени** ступеней должны быть согласованы с работой ступеней ДЗ смежной линии.

Первая ступень ДЗ выполняется без выдержки времени:

$$t^{\text{I}} = 0.$$

Выдержка времени второй ступени отстроена от времени срабатывания первой ступени ДЗ смежной линии на величину ступени селективности  $\Delta t = 0,3$  с и включает выдержку времени УРОВ  $t_{\text{уров}} = 0,3$  с:

$$t^{\text{II}} = \Delta t + t_{\text{уров}} = 0,6 \text{ с.}$$

Выдержка времени третьей ступени должна быть согласована с выдержкой времени вторых или третьих ступеней ДЗ смежных линий (линий, отходящих от шин ПС Б) и ДЗ линий, отходящих от шин СН или НН трансформатора на ПС Б.

### 2.3. Выбор параметров токовой защиты нулевой последовательности воздушных линий одиночных 110–220 кВ

За основу в соответствии с [9] принимается четырехступенчатая ТЗНП. В качестве первой ступени принимается токовая отсечка без выдержки времени. Ток срабатывания  $I_{сз}^I$  **первой** ступени комплекта 1 на рис. 2.4 отстраивается от утроенного тока нулевой последовательности, протекающего в месте установки защиты при КЗ на землю на шинах ПС Б на противоположном конце линии Л1 (узел К1):

$$I_{сз}^I = K_{отс} 3I_{0Л1\max},$$

где  $K_{отс}$  – коэффициент отстройки; для первой ступени ТЗНП принимается  $K_{отс} = 1,3$ ;

$I_{0Л1\max}$  – максимальный ток нулевой последовательности при однофазном или двухфазном КЗ на землю на шинах подстанции Б в конце линии Л1.

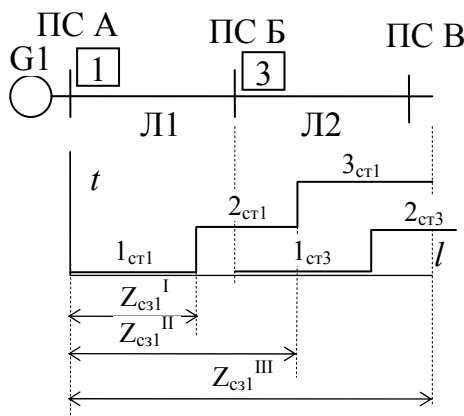


Рис. 2.4. Согласование выдержек времени комплектов 1 и 3 ТЗНП

Ток срабатывания **второй** ступени ТЗНП (токовая отсечка с выдержкой времени) выбирается исходя их двух условий:

а) по условию отстройки от утроенного тока НП, проходящего в месте установки защиты при КЗ на землю за предыдущим автотрансформатором Т на стороне его смежного напряжения, работающей в сети с глухозаземленной нейтралью:

$$I_{сз}^{II} = K_{отс} 3I_{0Тmax}, \quad (2.6)$$

где  $K_{отс}$  – коэффициент отстройки; для второй ступени  $K_{отс} = 1,2$ ;

$I_{0Тmax}$  – максимальный ток нулевой последовательности при КЗ на землю за трансформатором Т на ПС Б.

б) по условию согласования с током срабатывания  $I_{сз3}^I$  первой ступени ТЗНП предыдущей линии (линия Л2):

$$I_{сз}^{II} = K_{отс} K_{токЛ2} I_{сз3}^I, \quad (2.7)$$

где  $K_{отс}$  – коэффициент отстройки:  $K_{отс} = 1,1$ ;

$K_{токЛ2}$  – коэффициент токораспределения для линии Л2, равный отношению первичного тока НП  $3I_{01}$  в месте установки защиты к первичному току НП  $3I_{02}$  в линии Л2:

$$K_{токЛ2} = 3I_{01}/3I_{02}.$$

Коэффициент токораспределения  $K_{токЛ2}$  определяется в схеме НП для такого режима работы электросистемы, когда его величина имеет наибольшее значение.

В качестве тока срабатывания второй ступени ТЗНП из двух значений, полученных по выражениям (2.6) и (2.7), выбирается большее.

Ток срабатывания **третьей** ступени ТЗНП (токовая отсечка с выдержкой времени) выбирается исходя из двух условий:

а) по условию согласования с током срабатывания второй ступени ТЗНП предыдущей линии Л2, если рассматриваемая третья ступень удовлетворяет требованиям чувствительности с коэффициентом  $K_{чз} = 1,3$ . В противоположном случае – по условию согласования с током срабатывания третьей ступени ТЗНП предыдущей линии Л2:



$$I_{сз}^{III} = K_{отс} K_{токЛ2} I_{сз3}^{II(III)}, \quad (2.8)$$

где  $K_{отс}$  – коэффициент отстройки:  $K_{отс} = 1,1$ ;

$K_{токЛ2}$  – коэффициент токораспределения для линии Л2;

$I_{сз3}^{II(III)}$  – ток срабатывания второй (третьей) ступени ТЗНП линии Л2;

б) по условию согласования с током срабатывания защиты от замыкания на землю предыдущего автотрансформатора, установленной на напряжении смежной стороны, работающей в сети с глухозаземленной нейтралью. Согласование выполняется с первой ступенью защиты автотрансформатора, если вторая ступень проектируемой ТЗНП отстроена от замыкания на землю на стороне смежного напряжения предыдущего автотрансформатора, а если нет – то со второй ступенью защиты автотрансформатора:

$$I_{сз}^{III} = 1,1 K_{токТ} I_{сзТ}^{II(III)}, \quad (2.9)$$

где  $K_{токТ}$  – коэффициент токораспределения в схеме нулевой последовательности для автотрансформатора Т, равный отношению первичного тока НП в месте установки проектируемой ТЗНП к току НП, проходящему через автотрансформатор при КЗ на землю на стороне смежного напряжения;

$I_{сзТ}^{II(III)}$  – ток срабатывания первой (второй) ступени ТЗНП автотрансформатора на стороне смежного напряжения.

В качестве тока срабатывания третьей ступени ТЗНП из двух значений, полученных по выражениям (2.8) и (2.9), выбирается большее.

Ток срабатывания *четвертой* ступени ТЗНП (максимальная токовая защита) выбирается исходя из двух расчетных условий:

а) по условию отстройки от тока небаланса при внешних трехфазных КЗ за трансформаторами своего и противоположного концов линии Л1:

$$I_{сз}^{IV} = (0,0625...0,125)I_{Тmax},$$

где 0,0625 – коэффициент, принимаемый при кратностях тока КЗ, равных двум-трем номинальным токам трансформаторов;

0,125 – коэффициент, принимаемый при бóльших кратностях тока КЗ;

$I_{Тmax}$  – бóльший из токов трехфазного КЗ за трансформаторами;

б) по условию отстройки от тока небаланса в максимальном нагрузочном режиме, но не менее 60 А. Если при этом ступень не обеспечивает требуемую чувствительность (не обеспечивается дальнейшее резервирование), то ток срабатывания выбирается по условию

$$I_{сз}^{IV} = (0,05...0,1)I_{нагр. max},$$

где  $I_{нагр. max}$  – максимальный ток нагрузки.

**Коэффициент чувствительности** реле тока ТЗНП определяется по выражению

$$K_{ч} = \frac{3I_{0зmin}}{I_{сз}},$$

где  $3I_{0з min}$  – минимальное значение периодической составляющей утроенного начального тока НП, проходящего в месте установки защиты при расчетном виде замыкания в расчетном режиме, в котором этот ток имеет минимальное значение;

$I_{сз}$  – первичный ток срабатывания соответствующей ступени защиты.

Для реле тока ступени ТЗНП, в соответствии с [6], которая не имеет резервирования, коэффициент чувствительности  $K_{ч}$  должен быть не менее 1,5, а при наличии ступени резервирования – не менее 1,3. Последняя ступень ТЗНП может иметь коэффициент чувствительности не менее 1,2 (при замыкании на землю в конце зоны резервирования в режиме каскадного отключения КЗ).

**Время срабатывания** первой ступени микропроцессорных защит принимается  $t^I = 0,05-0,1$  с. Меньшее значение принимается для элегазовых выключателей, большее – для масляных. При этом обеспечивается приоритет действия дистанционных защит, реагирующих на замыкания на землю. Также обеспечивается отстройка от бросков тока намагничивания при включении силовых трансформаторов, если они установлены на ответвлениях от ЛЭП.

Время срабатывания второй ступени принимается  $t^{II} = 0,6$  с, при этом ступень селективности для отстройки от первой ступени ТЗНП предыдущей линии  $\Delta t = 0,3$  с и время работы УРОВ  $t_{\text{уров}} = 0,3$  с.

Время срабатывания третьей ступени согласовывается с временем срабатывания второй или третьей ступени ТЗНП предыдущей линии.

Время срабатывания четвертой ступени согласовывается с временем срабатывания третьих или четвертых ступеней ТЗНП предыдущих линий и дополнительно с выдержками времени защит, действующих за трансформаторами своего и противоположного концов защищаемой линии.

Некоторые ступени ТЗНП могут иметь ускорение. От неполнофазного режима ускоряемые ступени отстраиваются по времени  $t = 0,05-0,2$  с. Если ускоряемые ступени, а также первая и вторая не отстроены по току от неполнофазного режима в цикле ОАПВ, то предусматривается вывод этих ступеней на время цикла ОАПВ.

Ступени ТЗНП выполняются направленными «в линию». Для повышения надежности работы срабатывания ТЗНП целесообразно хотя бы одну из ступеней выполнить ненаправленной [9, 12]. Ненаправленными могут выполняться первая ступень, если она не срабатывает при КЗ на землю на шинах своей подстанции (КЗ «за спиной»), и четвертая ступень, если время ее срабатывания больше времени срабатывания последних ступеней ТЗНП всех других линий, отходящих от шин своей подстанции.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шабад, М. А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей / М. А. Шабад. – 4-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург: ПЭИПК, 2003. – 350 с.; ил.
2. Методические указания по выбору параметров срабатывания устройств РЗА оборудования подстанций производства ООО «АББ Силовые и Автоматизированные Системы» : СТО 56947007-29.120.70.98–2011. – Введ. 13.09.2011. – Москва : ОАО «ФСК ЕЭС», 2011. – 184 с.
3. Методические указания по выбору параметров срабатывания устройств РЗА подстанционного оборудования производства ЗАО «АРЕВА Передача и Распределение»: СТО 56947007-29.120.70.100–2011 – Введ. 13.09.2011. – Изм. 25.08.2015. – Москва : ОАО «ФСК ЕЭС», 2011. – 340 с.
4. Методические указания по выбору параметров срабатывания устройств РЗА серии SIPROTEC (Siemens AG) дифференциальной токовой защиты шин : СТО 56947007-29.120.70.136–2012. – Введ. 13.12.2012. – Москва : ОАО «ФСК ЕЭС», 2012. – 163 с.
5. Методические указания по выбору параметров срабатывания устройств РЗА оборудования подстанций производства компании «GE Multilin» : СТО 56947007-29.120.70.109–2011. – Введ. 09.12.2011. – Москва : ОАО «ФСК ЕЭС», 2011. – 113 с.
6. Правила устройства электроустановок. – 6-е изд., перераб. и доп. – Минск: Дизайн ПРО, 2007.
7. Подстанции электрические напряжением 35 кВ и выше. Нормы технологического проектирования : СТП 33243.01.216–2016. – Дата утверждения 29.01.2016 – Введен в действие 15.02.2016. – Минск: ГПО «Белэнерго», 2016. – 189 с.
8. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 7: Дистанционная защита линий 35–330 кВ. – Москва: Энергия, 1966.
9. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 12: Токовая защита нулевой последовательности от замыканий на землю линий 110–500 кВ. Расчеты. – Москва: Энергия, 1980.
10. Методические указания по расчету и заданию уставок и параметров настройки дистанционной микропроцессорной защиты ВЛ 110–220 кВ «MiCOM P435». – ALSTOM, 2010.

11. Рекомендации по выбору уставок дистанционных защит от всех видов кз и токовых защит терминала REL 670.V1. – Киев: Министерство топлива и энергетики Украины, 2006.

12. Рекомендации по выбору уставок дистанционных защит от всех видов кз и токовых защит устройства 7SA522 V4.1. – Киев: Министерство топлива и энергетики Украины, 2004.

13. Методические указания по выбору уставок микропроцессорных защит высоковольтной линии электропередачи типа 7SA522 и MiCOM P400: СТП 09110.35.121–2007. – Минск: ГПО «Белэнерго», 2007.

14. Методика расчета уставок микропроцессорных защит высоковольтной линии электропередачи серии REL 500: СТП 09 110.35.124–2009. – Минск: ГПО «Белэнерго», 2009.

Учебное издание

**Романюк** Федор Алексеевич  
**Булойчик** Елена Васильевна  
**Бобко** Николай Николаевич  
**Сапожникова** Анна Георгиевна

РАСЧЕТ УСТАВОК  
МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ  
ЗАЩИТ

Учебно-методическое пособие  
для студентов специальности  
1-43 01 09 «Релейная защита и автоматика»

Редактор *Т. Н. Микулик*  
Компьютерная верстка *Е. А. Беспанской*

Подписано в печать 14.11.2017. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 2,56. Уч.-изд. л. 2,00. Тираж 100. Заказ 840.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя  
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.