

**Рекомендации по выбору уставок устройства защиты и автоматики
фидера 6-35кВ типа РИТМ**

Оглавление

1 Методика выбора уставок токовой ступенчатой защиты	2
2 Методика выбора уставок токовой ступенчатой защиты нулевой последовательности.....	19
3 Методика выбора уставок защиты от несимметричных режимов работы и обрыва фаз	30
4 Методика выбора уставок блокировки логической защиты шин при междуфазных и однофазных коротких замыканиях	31
5 Методика выбора уставок защиты от дуговых замыканий	33
6 Методика расчета уставок контроля снижения/повышения междуфазного напряжения	36
7 Методика выбора уставок устройства резервирования отказа выключателя	37
8 Методика выбора уставок пуска осциллографа.....	38
9 Методика выбора уставок функции контроля исправности токовых цепей.....	40
10 Методика выбора уставок контроля цепей напряжения	42
11 Методика выбора уставок функции контроля электромагнитов включения и отключения выключателя	44
12 Методика выбора уставок функции учета остаточной отключающей способности выключателя	46
13 Методика расчета уставок для функции контроля времени включения и отключения выключателя	51
14 Методика выбора уставок автоматического повторного включения	52
15 Методика выбора уставок автоматики управления выключателем.....	54
16 Методика выбора уставок автоматической частотной разгрузки	56
17 Методика выбора уставок функции определения места повреждения	59

1 Методика выбора уставок токовой ступенчатой защиты

Токовая ступенчатая защита является основным видом защит для сетей с односторонним питанием. Основной функцией токовых защит является отключение элемента ЭС по критерию увеличения протекающего через него тока. В общем случае их действие зависит как от значения тока КЗ, так и от длительности его протекания.

В составе терминала РИТМ имеется 6 независимых ступеней токовой защиты. Для каждой ступени предусматривается возможность вывода её из работы путем задания соответствующей уставки. 6-я ступень вводится в работу при оперативном и/или автоматическом ускорении.

Для каждой ступени защиты имеется возможность выбора направленности – прямое / обратное либо работа без учета направленности. Предусматривается возможность блокирования отдельных ступеней по факту наличия 2-й гармоники в токе присоединения (бросок тока намагничивания), а также возможность осуществления пуска ступеней по напряжению.

Функция токовой ступенчатой защиты имеет следующие, задаваемые пользователем параметры:

Наименование параметра	Возможные значения	Ед. измерен.	Примечания
МТЗ	введена/выведена		
1 ступень МТЗ			
МТЗ 1 ступень (МТЗ-1)	введена/выведена		
Ток срабатывания МТЗ-1	$(0,01 - 40)I_{ном}$	А	Задается в первичных величинах
Временная характеристика МТЗ-1	зависимая/независимая		
Время срабатывания МТЗ-1	$(0 - 300)$ с, шаг 1 мс	с	
Выбор временной характеристики МТЗ-1	изменить		
Направленность МТЗ-1	ненаправленная/ прямонаправленная/ обратнонаправленная		
Пуск МТЗ-1 по напряжению	введен/выведен		
Блокировка МТЗ-1 от БТН	введена/выведена		
Ток срабатывания бл. от БТН	0,01-100	%	

2 ступень МТЗ (уставки 3-5 ступеней аналогичны)			
МТЗ 2 ступень (МТЗ-2)	введена/выведена		
Ток срабатывания МТЗ-2	$(0,01 - 40)I_{ном}$	А	Задается в первичных величинах
Временная характеристика МТЗ-2	зависимая/независимая		
Время срабатывания МТЗ-2	$(0 - 300)$ с, шаг 1 мс	с	
Выбор временной характеристики МТЗ-2	изменить		
Направленность МТЗ-2	ненаправленная/ прямонаправленная/ обратнонаправленная		
Пуск МТЗ-2 по напряжению	введен/выведен		
РНМ МТЗ			
Угол максимальной чувствительности	$-90,0 - +90,0$	°	
Угол линии нулевой чувствительности	0 - 80	°	
Блокировка направленных ступеней при неисправности цепей напряжения	блокировка/ вывод направленности		
Пуск МТЗ по напряжению			
Напряжение пуска	0.01-100.00	%	
Блокировка пуска по U при неисправности цепей напряжения	введена/выведена		
Ускоряемая ступень МТЗ			
МТЗ ускоряемая ступень (МТЗ-уск)	введена/выведена		
Ток срабатывания МТЗ-уск	$(0,01 - 40)I_{ном}$	А	Задается в первичных величинах
Время срабатывания МТЗ-уск	$(0 - 300)$ с, шаг 1 мс	с	
Блокировка МТЗ-уск от БТН	введена/выведена		
Ток срабатывания бл. от БТН	0,01-100	%	

1.1 Определение предельных значений времени отключения

С целью предотвращения повреждения оборудования в аварийных режимах время действия защиты фидера не должно превышать предельно допустимых значений. Наибольшая продолжительность КЗ определяется по двум условиям:

а) Обеспечение термической стойкости питающего трансформатора. Согласно ГОСТ Р 55188-2012, наибольшую продолжительность КЗ на зажимах трансформатора на сторонах с номинальным напряжением 35 кВ и ниже следует принимать равной 4 с при наибольшем установившемся токе КЗ. Допустимую продолжительность внешнего КЗ при протекании тока КЗ менее наибольшего установившегося тока следует рассчитывать по формуле:

$$t_k = t_k^{\text{макс}} \cdot \frac{(I_k^{(3)})^2}{I_{\text{расч}}^2};$$

где $t_k^{\text{макс}}$, с – наибольшая продолжительность КЗ, принимается равной 4 с;

$I_k^{(3)}$, А – наибольший ток трехфазного КЗ на выводах трансформатора;

$I_{\text{расч}}$, А – расчетный установившийся ток КЗ менее наибольшего.

Наибольшее допустимое значение продолжительности t_k не следует принимать более 15 с независимо от значения тока.

б) Обеспечение термической стойкости ячеек КРУ. Допустимая продолжительность КЗ определяется по параметрам термической стойкости ячеек КРУ по формуле:

$$t_k = t_{\text{терм}} \cdot \frac{I_{\text{терм}}^2}{I_{\text{расч}}^2};$$

где $t_{\text{терм}}$, с – время протекания тока термической стойкости ячейки КРУ;

$I_{\text{терм}}$, А – ток термической стойкости ячейки КРУ;

$I_{\text{расч}}$, А – расчетный установившийся ток КЗ.

Из приведенных условий выбирается наиболее строгое. Дополнительно учитывается время, необходимое на обеспечение резервирования защиты вводного выключателя (далее резервирование и УРОВ). Таким образом, максимальное время срабатывания защиты вводного выключателя определяется по формулам:

$$\begin{cases} t_{\text{макс}}^{\text{ВВ}} \leq t_k - \Delta t_{\text{ВН}} - t_{\text{откл}}^{\text{ВЫКЛ.ВН}}; \\ t_{\text{макс}}^{\text{ВВ}} \leq t_k - t_{\text{УРОВ}} - t_{\text{откл}}^{\text{ВЫКЛ.ВН}}; \end{cases}$$

где t_k , с – рассчитанное допустимое время КЗ;

$\Delta t_{\text{ВН}}$, с – степень селективности резервной защиты питающего трансформатора;

$t_{\text{УРОВ}}$, с – время срабатывания УРОВ выключателя ввода;

$t_{\text{откл}}^{\text{выкл.ВН}}$, с – время отключения выключателя стороны ВН питающего трансформатора.

Максимальное время срабатывания защиты секционного выключателя:

$$t_{\text{макс}}^{\text{св}} \leq t_{\text{макс}}^{\text{вв}} - \Delta t;$$

Максимальное время срабатывания защиты фидера:

$$\begin{cases} t_{\text{макс}}^{\text{фид}} \leq t_{\text{макс}}^{\text{вв}} - \Delta t; \\ t_{\text{макс}}^{\text{фид}} \leq t_{\text{макс}}^{\text{св}} - \Delta t; \end{cases}$$

При использовании зависимых характеристик срабатывания защиты, рекомендуется использовать карты селективности для обеспечения термической стойкости оборудования.

1.2 Методика выбора уставок токовой ступенчатой защиты линии (ВЛ, КЛ) 6-35 кВ

Для защиты линий, отходящих от шин 6-35 кВ, как правило, применяется до 4 ступеней токовой защиты:

- токовая отсечка без выдержки времени;
- токовая отсечка с выдержкой времени
- максимальная токовая защита (МТЗ);
- ступень, автоматически ускоряемая при включении выключателя (АУ).

Для реализации данных защит применяются 1-3 ступени защиты терминала РИТМ соответственно, а также ускоряемая ступень. Все ступени защиты линии принимаются ненаправленными. По умолчанию, пуск ступеней по напряжению не применяется. Недействованные ступени защиты должны быть выведены уставками.

1.2.1 Выбор уставок токовой отсечки без выдержки времени

Токовая отсечка (ТО) без выдержки времени применяется для защиты от близких КЗ с высокими токами повреждения. Для реализации данной ступени следует применять 1 ступень МТЗ терминала РИТМ.

Ток срабатывания ступени защиты выбирается по следующим условиям:

а) отстройка от максимального тока внешнего трехфазного КЗ:

$$I_{\text{с.з.}} \geq K_{\text{н}} \cdot I_{\text{внеш}}^{(3)},$$

где $I_{\text{внеш}}^{(3)}$, А – максимальный ток трехфазного КЗ, протекающий через защиту при внешнем КЗ;

$K_{\text{н}}$ – коэффициент надежности, принимается равным 1,3.

б) отстройка от бросков токов намагничивания (БТН) трансформаторов, питаемых по линии:

$$I_{с.з.} \cdot K_n \Psi I_{ном.тр.},$$

где $I_{ном.тр.}$, А – номинальные токи силовых трансформаторов, питаемых по линии;

K_n – коэффициент надежности, принимается равным 4.

Чувствительность ступени проверяется при КЗ в месте установки защиты (непосредственно за трансформаторами тока фидера). Коэффициент чувствительности определяется по формуле:

$$K_{\text{ч}} = \frac{\sqrt{3} I_{\text{макс}}^{(3)}}{2 I_{с.з.}},$$

где $I_{\text{макс}}^{(3)}$, А – максимальный ток трехфазного КЗ, протекающий через защиту при КЗ в месте установки защиты;

$I_{с.з.}$, А – ток срабатывания защиты.

Значение коэффициента чувствительности должно быть не менее 1,2. При недостаточной чувствительности установка ступени является нецелесообразной.

Условие «б» может приводить к значительному увеличению уставки тока срабатывания, а, следовательно, к снижению чувствительности защиты. В случае недостаточной чувствительности ступени рекомендуется использовать функцию блокировки ступени по наличию тока 2-й гармоники. При этом условие «б» не учитывается в расчетах. Ток срабатывания блокировки допустимо принять 15%.

1.2.2 Выбор уставок токовой отсечки с выдержкой времени

Токовая отсечка с выдержкой времени применяется для защиты от КЗ на всей длине линии. Для реализации данной ступени следует применять 2 ступень МТЗ терминала РИТМ.

При наличии на защитах, установленных на удаленных концах линии, грубых ступеней с независимыми выдержками времени ток срабатывания ступени для ВЛ или КЛ выбирается по двум условиям:

а) согласование с грубыми (первыми) ступенями защит смежных элементов сети:

$$I_{с.з.} \cdot K_c \Psi_{с.з.}^{\text{смеж}};$$

где $I_{с.з.}^{\text{смеж}}$, А – ток срабатывания грубой ступени защиты смежного элемента, с которой производится согласование;

K_c – коэффициент согласования, принимается равным 1,1.

б) отстройка от тока, протекающего через защиту при КЗ на стороне НН смежных трансформаторов:

$$I_{с.з.} \cdot K_n \Psi_{\text{внеш}}^{(3)};$$

где $I_{\text{внеш}}^{(3)}$, A – максимальный ток, протекающий через защиту при КЗ на шинах НН трансформаторов, питаемых по линии;

K_n – коэффициент надежности, принимается равным 1,2.

Чувствительность ступени проверяется при КЗ на удаленном конце линии. Коэффициент чувствительности определяется по формуле:

$$K_{\text{ч}} = \frac{\sqrt{3} I_{\text{мин}}^{(3)}}{2 I_{\text{с.з.}}}$$

где $I_{\text{мин}}^{(3)}$, A – минимальный ток трехфазного КЗ, протекающий через защиту при КЗ на удаленном конце линии;

$I_{\text{с.з.}}$, A – ток срабатывания защиты.

Значение коэффициента чувствительности должно быть не менее 1,2.

Для токовой отсечки рекомендуется применять независимую выдержку времени. Уставка по времени срабатывания ступени выбирается по условию согласования с защитами смежных элементов сети:

$$t_{\text{с.з.}} \geq t_{\text{с.з.}}^{\text{смеж}} + \Delta t,$$

где $t_{\text{с.з.}}^{\text{смеж}}$, c – выдержка времени срабатывания ступени, с которой производится согласование;

Δt , c – степень селективности.

При согласовании ступени с токовыми отсечками без выдержки времени ($t_{\text{с.з.}}^{\text{смеж}} = 0$) уставка по времени принимается $t_{\text{с.з.}} = \Delta t$.

В зависимости от типа защиты, с которой производится согласование, следует использовать следующие значения ступени селективности:

- для микропроцессорных защит: $\Delta t = 0,3$ с;
- для электромеханических защит: $\Delta t = 0,5$ с.

При необходимости согласования ступени с защитами на плавких предохранителях, установленными на удаленных концах линии, ток срабатывания ступени выбирается по условию обеспечения чувствительности защиты:

$$I_{\text{с.з.}} \geq \frac{\sqrt{3} I_{\text{мин}}^{(3)}}{2 K_{\text{ч}}}$$

где $I_{\text{мин}}^{(3)}$, A – минимальный ток трехфазного КЗ, протекающий через защиту при КЗ на удаленном конце линии;

$K_{\text{ч}}$ – требуемый коэффициент чувствительности, принимается равным 1,2.

Процесс выбора времени срабатывания при этом имеет следующий алгоритм:

1) Выбор тока срабатывания защиты $I_{с.з.}$;

2) Определение максимального времени срабатывания предохранителя $t_{с.з.}^{смеж}$ при токе $I_{с.з.}$ с учетом погрешности характеристики срабатывания предохранителя. При необходимости согласования с несколькими защитами выбирается максимальное время для всех защит;

3) Время срабатывания расчетной защиты определяется по формуле:

$$t_{с.з.} \cdot i \cdot t_{с.з.}^{смеж} + \Delta t,$$

где $\Delta t, с$ – степень селективности, принимается равной 0,5.

1.2.3 Выбор уставок максимальной токовой защиты (МТЗ)

Максимальная токовая защита является чувствительной ступенью защиты и предназначена как для отключения КЗ на защищаемой линии, так и для обеспечения дальнего резервирования. Для реализации данной ступени следует применять 3-5 ступени МТЗ терминала РИТМ.

Ток срабатывания ступени защиты линии выбирается по следующим условиям:

а) отстройка от максимального рабочего тока присоединения:

$$I_{с.з.} \cdot i \cdot \frac{K_n}{K_B} \Psi_{раб.макс.},$$

где $I_{раб.макс.}, А$ – максимальный рабочий ток присоединения;

K_n – коэффициент надежности, принимается равным 1,2;

K_B – коэффициент возврата, принимается равным 0,95.

б) обеспечение возврата токового реле в режиме самозапуска нагрузки:

$$I_{с.з.} \cdot i \cdot \frac{K_n \cdot K_{сз}}{K_B} \Psi_{раб.макс.},$$

где $I_{раб.макс.}, А$ – максимальный рабочий ток присоединения;

$K_{сз}$ – коэффициент самозапуска, равный отношению тока при самозапуске электродвигателей к предаварийному рабочему току. Для общепромышленной нагрузки может приниматься равным 1,5;

K_n – коэффициент надежности, принимается равным 1,2;

K_B – коэффициент возврата, принимается равным 0,95.

в) согласование с чувствительными (старшими) ступенями защит смежных элементов сети:

$$I_{с.з.} \cdot i \cdot K_c \Psi_{с.з.}^{смеж},$$

где $I_{с.з.}^{смеж.}, А$ – ток срабатывания ступени защиты, либо предохранителя смежного элемента, с которыми производится согласование;

K_c – коэффициент согласования, принимается равным 1,1.

При согласовании рассматриваются защиты удаленных концов линии. Из полученных по условиям значений выбирается максимальное и принимается в качестве тока срабатывания ступени.

Чувствительность ступени проверяется в следующих режимах:

а) КЗ на удаленном конце линии (основная зона):

$$K_{\text{ч}} = \frac{\sqrt{3} I_{\text{мин}}^{(3)}}{2 I_{\text{с.з.}}}$$

где $I_{\text{мин}}^{(3)}$, А – минимальный ток трехфазного КЗ, протекающий через защиту при КЗ на удаленном конце линии;

$I_{\text{с.з.}}$, А – ток срабатывания защиты.

Значение коэффициента чувствительности для основной зоны должно быть не менее 1,5.

б) КЗ на удаленных концах смежных линий, входящих в зону резервирования (резервная зона):

$$K_{\text{ч}} = \frac{\sqrt{3} I_{\text{мин}}^{(3)}}{2 I_{\text{с.з.}}}$$

где $I_{\text{мин}}^{(3)}$, А – минимальный ток трехфазного КЗ, протекающий через защиту при КЗ на удаленных концах смежных линий;

$I_{\text{с.з.}}$, А – ток срабатывания защиты.

в) КЗ на шинах НН трансформаторов, входящих в зону резервирования (резервная зона):

$$K_{\text{ч}} = \frac{\sqrt{3} I_{\text{мин}}^{(3)}}{2 I_{\text{с.з.}}} \text{ для трансформаторов со схемами соединения обмоток } Y/Y \text{ и } \Delta/\Delta,$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{мин}}^{(3)}}{I_{\text{с.з.}}} \text{ для трансформаторов со схемами соединения обмоток } Y/\Delta \text{ и использовании}$$

трансформатора тока фазы В (схема полной звезды или неполной звезды с реле в обратном проводе),

$$K_{\text{ч}} = \frac{1}{2} \frac{I_{\text{мин}}^{(3)}}{I_{\text{с.з.}}} \text{ для трансформаторов со схемами соединения обмоток } Y/\Delta \text{ и отсутствии}$$

трансформатора тока фазы В (схема неполной звезды без реле в обратном проводе),

где $I_{\text{мин}}^{(3)}$, А – минимальный ток трехфазного КЗ, протекающий через защиту при КЗ на шинах НН трансформатора;

$I_{\text{с.з.}}$, А – ток срабатывания защиты.

Значение коэффициента чувствительности для резервных зон должно быть не менее 1,2.

При недостаточной чувствительности следует применять следующие действия:

а) при недостаточной чувствительности к КЗ на шинах НН трансформаторов со схемами соединения обмоток Y/Δ схемы неполной звезды без реле в обратном проводе заменить на схему полной звезды либо схему неполной звезды с реле в обратном проводе;

б) ступень следует выполнять с пуском по напряжению. Пуск по напряжению позволяет отстроиться от режима самозапуска нагрузки. Таким образом, условие «б» при расчете тока срабатывания не учитывается. В большинстве случаев это позволяет снизить ток срабатывания ступени и повысить ее чувствительность.

Для ступени МТЗ возможно применение как независимой, так и зависимой временной характеристики срабатывания.

При установке на смежных элементах сети защит с независимыми временными характеристиками, для защиты линии, как правило, применяется независимая характеристика. Уставка по времени срабатывания ступени выбирается по условию согласования с защитами смежных элементов сети:

$$t_{c.з.} \geq t_{c.з.}^{смеж} + \Delta t,$$

где $t_{c.з.}^{смеж}$, с – выдержка времени срабатывания ступени, с которой производится согласование;

Δt , с – ступень селективности.

В зависимости от типа защиты, с которой производится согласование, следует использовать следующие значения ступени селективности:

- для микропроцессорных защит: $\Delta t = 0,3$ с;
- для электромеханических защит: $\Delta t = 0,5$ с.

Выдержка времени ступени должна удовлетворять требованиям к максимальному времени срабатывания защиты.

При установке на удаленных концах линии защит с зависимыми временными характеристиками (микропроцессорные защиты с зависимыми характеристиками, защиты на реле типа РТВ и РТ-80, плавкие предохранители), для защиты может применяться как зависимая, так и независимая временная характеристика. Выбор характеристики срабатывания и согласование защит производится путем построения карт селективности, включающих характеристики срабатывания рассматриваемой защиты, а также смежных защит, с которыми производится согласование. Характеристика срабатывания защиты линии должна быть отстроена от характеристик защит удаленных концов. Согласование производится во всем диапазоне токов.

На рис. 1 представлен пример согласования характеристики срабатывания защиты с характеристикой смежной защиты. Представленная характеристика срабатывания смежной защиты имеет 2 ступени:

- Токвая отсечка без выдержки времени (0,02 с);
- МТЗ с зависимой времятоковой характеристикой.

Характеристика срабатывания согласуемой защиты имеет 3 ступени:

- Токвая отсечка без выдержки времени;
- Токвая отсечка с выдержкой времени;
- МТЗ с независимой времятоковой характеристикой.

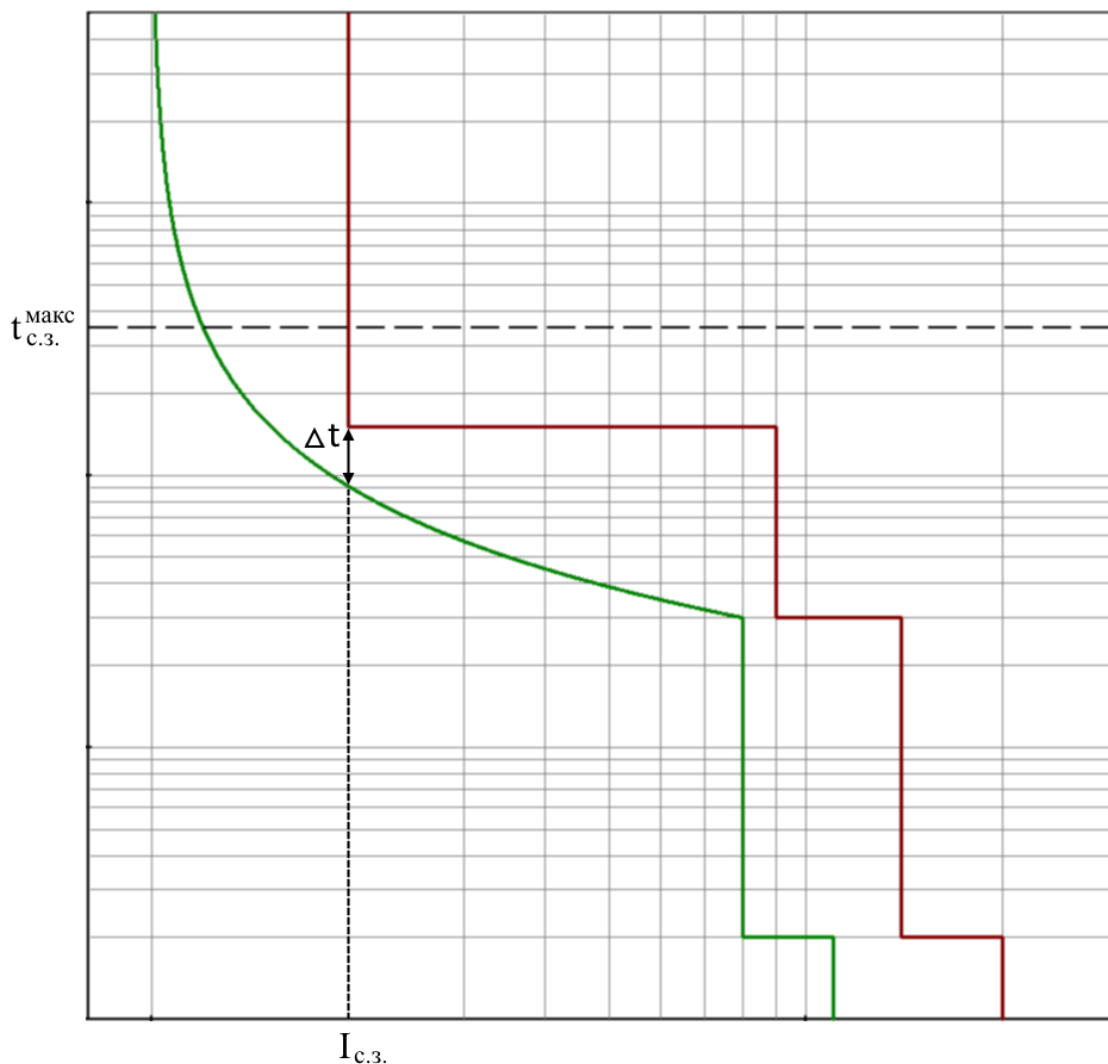


Рис. 1 Пример построения карты селективности защит для независимой характеристики
— защита смежного элемента, — защита согласуемого элемента

Процесс выбора времени срабатывания имеет следующий алгоритм:

- 1) Выбор тока срабатывания защиты $I_{с.з.}$;

2) Определение времени срабатывания $t_{с.з.}^{смеж}$ смежной защиты при токе $I_{с.з.}$. При необходимости согласования с несколькими защитами выбирается максимальное время для всех защит;

3) Время срабатывания расчетной защиты определяется по формуле:

$$t_{с.з.} \cdot i \cdot t_{с.з.}^{смеж} + Dt,$$

где $\Delta t, с$ – ступень селективности.

В зависимости от типа защиты, с которой производится согласование, следует использовать следующие значения ступеней селективности:

- для микропроцессорных защит: $\Delta t = 0,3 с$;
- для предохранителей и защит на основе РТ-80: $\Delta t = 0,5 с$;
- для реле РТВ: $\Delta t = 0,7 с$.

При превышении полученной уставкой максимального времени срабатывания защиты необходимо загрузить ступень, увеличив ток срабатывания ступени $I_{с.з.}$ и повторив пункты 1-3. Следует учесть, что увеличение тока срабатывания приведет к снижению чувствительности защиты. При невозможности обеспечения приемлемой чувствительности и допустимого времени срабатывания следует использовать зависимую временную характеристику.

Зависимая временная характеристика позволяет обеспечить более высокую чувствительность защиты, а также меньшее время срабатывания, по сравнению с независимой. При выборе зависимой временной характеристики срабатывания ступени необходимо задать от 2 до 20 точек характеристики. Точки представляют собой пару ток срабатывания – время срабатывания.

На рис. 2 представлен пример согласования характеристики срабатывания защиты с характеристикой смежной защиты (аналогична рис.1).

Характеристика срабатывания согласуемой защиты имеет 3 ступени:

- Токовая отсечка без выдержки времени;
- Токовая отсечка с выдержкой времени;
- МТЗ с зависимой времятоковой характеристикой.

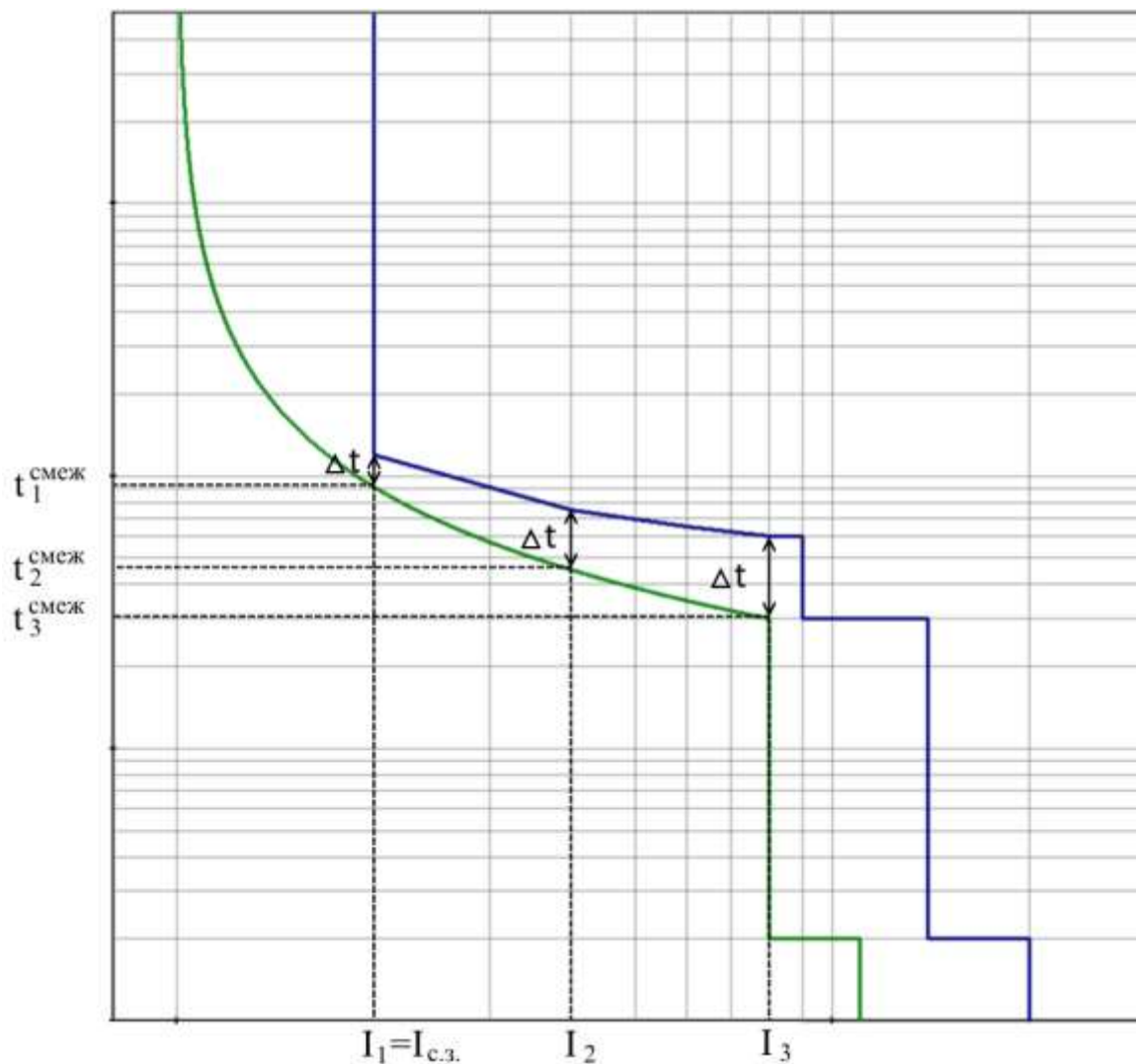


Рис. 2 Пример построения карты селективности защит для зависимой характеристики
 — защита смежного элемента, — защита согласуемого элемента

Процесс выбора точек характеристики имеет следующий алгоритм:

- 1) Выбор расчетного тока срабатывания точки характеристики I_i . В качестве первого значения следует использовать ток срабатывания ступени, или меньшее значение тока;
- 4) Определение времени срабатывания $t_i^{\text{смеж}}$ смежной защиты при токе I_i . При необходимости согласования с несколькими защитами выбирается максимальное время для всех защит;
- 5) Время срабатывания расчетной характеристики определяется по формуле:

$$t_i \dot{I} t_i^{\text{смеж}} + \Delta t,$$

где $\Delta t, \text{с}$ – степень селективности.

- 6) Полученная пара $I_i - t_i$ заносится в таблицу уставок характеристики защиты;
- 7) Повтор шагов 1-4 для следующих точек.

В зависимости от типа защиты, с которой производится согласование, следует использовать следующие значения степени селективности:

- для микропроцессорных защит: $\Delta t = 0,3$ с;
- для предохранителей и защит на основе РТ-80: $\Delta t = 0,5$ с;
- для реле РТВ: $\Delta t = 0,7$ с.

1.2.4 Выбор уставок ступени, автоматически ускоряемой при включении

Автоматически ускоряемая ступень (АУ) применяется для быстрого отключения выключателя при неуспешном опробовании линии, а также при неуспешном АПВ. Для реализации данной ступени применяется ускоряемая ступень МТЗ терминала РИТМ, вводимая по факту включения выключателя.

Ток срабатывания ступени защиты выбирается по условию обеспечения чувствительности при опробовании линии:

$$I_{с.з.} \leq \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{I_{\text{мин}}^{(3)}}{K_{\text{ч}}},$$

где $I_{\text{мин}}^{(3)}$, А – минимальный ток трехфазного КЗ, протекающий через защиту при КЗ на удаленном конце линии;

$K_{\text{ч}}$ – требуемый коэффициент чувствительности, принимается равным 2,0.

При использовании функции блокировки ускоряемой ступени по наличию тока 2-й гармоники выдержка времени ступени принимается равной 0,0 с. Ток срабатывания блокировки допустимо принять 15%.

При выводе функции блокировки ускоряемой ступени по наличию тока 2-й гармоники выдержка времени ступени принимается равной 0,5 с. Выдержка времени вводится для обеспечения отстройки защиты от бросков тока намагничивания (БТН) трансформаторов, питаемых по линии.

1.3 Методика выбора уставок токовой ступенчатой защиты трансформатора 6-35 кВ

Для защиты трансформаторов, с номинальным напряжением обмотки ВН 6-35 кВ, как правило, применяется до 3 ступеней токовой защиты:

- токовая отсечка без выдержки времени;
- максимальная токовая защита (МТЗ);
- ступень, автоматически ускоряемая при включении выключателя (АУ).

Для реализации данных защит применяются 1-2 ступени защиты терминала РИТМ соответственно, а также ускоряемая ступень. Все ступени защиты трансформаторов принимаются ненаправленными. По умолчанию, пуск ступеней по напряжению не применяется. Недействующие ступени защиты должны быть выведены уставками.

1.3.1 Выбор уставок токовой отсечки без выдержки времени

Токовая отсечка (ТО) без выдержки времени применяется для защиты от КЗ в трансформаторе с высокими токами повреждения. Для реализации данной ступени следует применять 1 ступень МТЗ терминала РИТМ.

Ток срабатывания ступени защиты выбирается по следующим условиям:

а) отстройка от максимального тока внешнего трехфазного КЗ:

$$I_{с.з.} \geq K_n \cdot I_{внеш}^{(3)},$$

где $I_{внеш}^{(3)}$, А – максимальный ток трехфазного КЗ, протекающий через защиту при внешнем КЗ;

K_n – коэффициент надежности, принимается равным 1,3.

б) отстройка от броска тока намагничивания (БТН) трансформатора:

$$I_{с.з.} \geq K_n \cdot \Psi_{н.трансф.},$$

где $I_{н.трансф.}$, А – номинальный ток силового трансформатора;

K_n – коэффициент надежности, принимается равным 4.

Чувствительность ступени проверяется при КЗ в месте установки защиты (непосредственно за трансформаторами тока фидера). Коэффициент чувствительности определяется по формуле:

$$K_{ч} = \frac{\sqrt{3} I_{\max}^{(3)}}{2 I_{с.з.}},$$

где $I_{\max}^{(3)}$, А – максимальный ток трехфазного КЗ, протекающий через защиту при КЗ в месте установки защиты;

$I_{с.з.}$ – ток срабатывания защиты.

Значение коэффициента чувствительности должно быть не менее 1,2.

Условие «б» может приводить к значительному увеличению уставки тока срабатывания, и, следовательно, к снижению чувствительности защиты. В случае недостаточной чувствительности ступени рекомендуется использовать функцию блокировки ступени по наличию тока 2-й гармоники. Ток срабатывания блокировки допустимо принять 15%. При этом условие «б» не учитывается в расчетах.

При недостаточной чувствительности установка ступени является нецелесообразной.

1.3.2 Выбор уставок максимальной токовой защиты (МТЗ)

Максимальная токовая защита является чувствительной ступенью защиты трансформатора и предназначена как для отключения КЗ в трансформаторе, так и для

обеспечения дальнего резервирования. Для реализации данной ступени следует применять 2-5 ступени МТЗ терминала РИТМ.

Ток срабатывания ступени защиты трансформатора выбирается по следующим условиям:

а) отстройка от максимального рабочего тока трансформатора:

$$I_{с.з.} \geq \frac{K_n}{K_B} I_{раб.макс.},$$

где $I_{раб.макс.}$, А – максимальный рабочий ток трансформатора с учетом возможной перегрузки;

K_n – коэффициент надежности, принимается равным 1,2,

K_B – коэффициент возврата, принимается равным 0,95.

б) обеспечение возврата токового реле в режиме самозапуска нагрузки:

$$I_{с.з.} \geq \frac{K_n K_{сз}}{K_B} I_{раб.макс.},$$

где $I_{раб.макс.}$, А – максимальный рабочий ток трансформатора с учетом возможной перегрузки;

$K_{сз}$ – коэффициент самозапуска, равный отношению тока при самозапуске электродвигателей к предаварийному рабочему току. Для общепромышленной нагрузки может приниматься равным 1,5;

K_n – коэффициент надежности, принимается равным 1,2;

K_B – коэффициент возврата, принимается равным 0,95.

в) согласование с чувствительными (старшими) ступенями защит смежных элементов сети:

$$I_{с.з.} \geq K_c I_{с.з.}^{смеж.},$$

где $I_{с.з.}^{смеж.}$, А – ток срабатывания ступени защиты, автомата, либо предохранителя смежного элемента, с которыми производится согласование;

K_c – коэффициент согласования, принимается равным 1,1.

При согласовании рассматриваются защиты, установленные на стороне НН защищаемого трансформатора. Из полученных по условиям значений выбирается максимальное и принимается в качестве тока срабатывания ступени.

Чувствительность ступени проверяется при КЗ на стороне НН защищаемого трансформатора (основная зона):

$$K_{ч} = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{I_{мин}^{(3)}}{I_{с.з.}}$$

для трансформаторов со схемами соединения обмоток Y/Y и Δ/Δ,

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{мин}}^{(3)}}{I_{\text{с.з.}}} \text{ для трансформаторов со схемами соединения обмоток } Y/\Delta \text{ и использовании}$$

трансформатора тока фазы В (схема полной звезды или неполной звезды с реле в обратном проводе),

$$K_{\text{ч}} = \frac{1}{2} \frac{I_{\text{мин}}^{(3)}}{I_{\text{с.з.}}} \text{ для трансформаторов со схемами соединения обмоток } Y/\Delta \text{ и отсутствии}$$

трансформатора тока фазы В (схема неполной звезды без реле в обратном проводе),

где $I_{\text{мин}}^{(3)}$, А – минимальный ток трехфазного КЗ, протекающий через защиту при КЗ на шинах НН трансформатора;

$I_{\text{с.з.}}$ – ток срабатывания защиты.

Значение коэффициента чувствительности для основной зоны должно быть не менее 1,5.

При недостаточной чувствительности следует применять следующие действия:

а) схемы неполной звезды без реле в обратном проводе заменить на схему полной звезды либо схему неполной звезды с реле в обратном проводе,

б) ступень следует выполнять с пуском по напряжению. Пуск по напряжению позволяет отстроиться от режима самозапуска нагрузки. Таким образом, условие «б» при расчете тока срабатывания не учитывается. В большинстве случаев это позволяет снизить ток срабатывания ступени и повысить ее чувствительность.

Для ступени МТЗ возможно применение как независимой, так и зависимой временной характеристики срабатывания.

При установке на стороне НН трансформатора защит с независимыми временными характеристиками, для защиты линии, как правило, применяется независимая характеристика. Уставка по времени срабатывания ступени выбирается по условию согласования с защитами смежных элементов сети:

$$t_{\text{с.з.}} \leq t_{\text{с.з.}}^{\text{смеж}} + \Delta t,$$

где $t_{\text{с.з.}}^{\text{смеж}}$, с – выдержка времени срабатывания ступени, с которой производится согласование;

Δt – ступень селективности.

В зависимости от типа защиты, с которой производится согласование, следует использовать следующие значения ступени селективности:

- для микропроцессорных защит: $\Delta t = 0,3$ с;
- для электромеханических защит: $\Delta t = 0,5$ с.

Выдержка времени ступени должна удовлетворять требованиям к максимальному времени срабатывания защиты.

При установке на стороне НН трансформатора защит с зависимыми временными характеристиками (микропроцессорные защиты с зависимыми характеристиками, защиты на реле типа РТВ и РТ-80, плавкие предохранители, автоматические выключатели), для защиты может применяться как зависимая, так и независимая временная характеристика. Выбор характеристики срабатывания и согласование защит производится путем построения карт селективности аналогично приведенной выше методике для защиты линий.

1.3.3 Выбор уставок ступени, автоматически ускоряемой при включении

Автоматически ускоряемая ступень (АУ) применяется для быстрого отключения выключателя при неуспешном опробовании, а также при неуспешном АПВ. Для реализации данной ступени применяется ускоряемая ступень МТЗ терминала РИТМ, вводимая по факту включения выключателя.

Ток срабатывания ступени защиты выбирается по условию обеспечения чувствительности при опробовании:

$$I_{с.з.} \leq \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{I_{мин}^{(3)}}{K_{ч}} \text{ для трансформаторов со схемами соединения обмоток } Y/Y \text{ и } \Delta/\Delta,$$

$$I_{с.з.} \leq \frac{I_{мин}^{(3)}}{2 \cdot K_{ч}} \text{ для трансформаторов со схемами соединения обмоток } Y/\Delta \text{ и использовании}$$

трансформатора тока фазы В (схема полной звезды либо схема неполной звезды с реле в обратном проводе)

$$I_{с.з.} \leq \frac{I_{мин}^{(3)}}{2 \cdot K_{ч}} \text{ для трансформаторов со схемами соединения обмоток } Y/\Delta \text{ и отсутствии}$$

трансформатора тока фазы В (схема неполной звезды без реле в обратном проводе)

где $I_{мин}^{(3)}$, А – минимальный ток трехфазного КЗ, протекающий через защиту при КЗ на стороне НН трансформатора;

$K_{ч}$ – требуемый коэффициент чувствительности, принимается равным 2,0.

При использовании функции блокировки ускоряемой ступени по наличию тока 2-й гармоники выдержка времени ступени принимается равной 0,0 с. Ток срабатывания блокировки допустимо принять 15%.

При выводе функции блокировки ускоряемой ступени по наличию тока 2-й гармоники выдержка времени ступени принимается равной 0,5 с. Выдержка времени вводится для обеспечения отстройки защиты от бросков тока намагничивания (БТН) трансформатора.

1.3.4 Выбор уставок пуска по напряжению

Пуск по напряжению применяется для пуска отдельных ступеней токовой защиты с целью повышения чувствительности к КЗ. Уставка срабатывания определяется по условию обеспечения возврата реле после отключения внешнего КЗ:

$$U_{с.з.} \geq \frac{I}{K_n} \frac{U_{мин}}{U_{ном}} (\%),$$

где $U_{мин}$, В – минимальное остаточное междуфазное напряжение в месте установки ТН в режиме самозапуска двигателей нагрузки;

$U_{ном}$, В – номинальное междуфазное напряжение;

K_n – коэффициент надежности, принимается равным 1,1;

K_v – коэффициент возврата, принимается равным 1,05.

В большинстве случаев уставка срабатывания пуска по напряжению может быть принята без расчетов:

$$U_{с.з.} = (50 - 65)\%.$$

2 Методика выбора уставок токовой ступенчатой защиты нулевой последовательности

Токовая защита нулевой последовательности предназначена для защиты от КЗ на землю в сетях с большими токами замыкания, а также для сигнализации возникновения замыканий на землю в сетях с малыми токами замыкания. Защита реагирует на величину тока и мощности нулевой последовательности.

В составе терминала РИТМ предусмотрено два варианта исполнения защиты: с использованием измеренной величины тока нулевой последовательности, и с использованием величины, рассчитанной по величинам фазных токов. В зависимости от используемой схемы подключения к измерительным трансформаторам представленные функции могут быть недоступны.

Каждый из вариантов исполнения защит предусматривает наличие 6 независимых ступеней токовой защиты нулевой последовательности. Ступени 1-5 предусматривают возможность вывода из работы путем задания соответствующей уставки. 6-я ступень предусматривает ввод при оперативном и/или автоматическом ускорении. Предусматривается возможность блокирования отдельных ступеней по факту наличия 2-й гармоники в токе присоединения (бросок тока намагничивания).

Функция ТЗНП с использованием расчетной величины предусматривает возможность блокировки отдельных ступеней при симметричных повреждениях.

Функция ТЗНП с использованием измеренной величины предусматривает возможность выбора направленности действия каждой ступени.

Функция токовой ступенчатой защиты нулевой последовательности для расчетного тока имеет следующие, задаваемые пользователем параметры:

Наименование параметра	Возможные значения	Ед. измерен.	Примечания
ТЗНП 3Io расчетный (ТЗНПрасч)	введена/выведена		
1 ступень ТЗНПрасч			
ТЗНПрасч 1 ступень (ТЗНПрасч-1)	введена/выведена		
Ток срабатывания ТЗНПрасч-1	(0,01 - 40) Ином	А	Задается в первичных величинах
Временная характеристика ТЗНПрасч-1	зависимая/независимая		
Время срабатывания ТЗНПрасч-1	(0 – 300) с, шаг 1 мс	с	
Выбор временной хар-ки ТЗНПрасч-1	изменить		
Блокировка ТЗНПрасч-1 по фазному току	введена/выведена		
Блокировка ТЗНПрасч-1 от БТН	введена/выведена		
Ток срабатывания бл. от БТН, %	0,01-100	%	
2 ступень ТЗНПрасч (уставки 3-5 ступеней аналогичны)			
ТЗНПрасч 2 ступень (ТЗНПрасч-2)	введена/выведена		
Ток срабатывания ТЗНПрасч-2	(0,01 - 40) Ином	А	Задается в первичных величинах
Временная характеристика ТЗНПрасч-2	зависимая/независимая		
Время срабатывания ТЗНПрасч-2	(0 – 300) с, шаг 1 мс	с	
Выбор временной хар-ки ТЗНПрасч-2	изменить		
Блокировка ТЗНПрасч-2 по фазному току	введена/выведена		
Блокировка по фазному току			
Ток блокировки ТЗНПрасч	(0,01 - 40) Ином	А	Задается в первичных

Наименование параметра	Возможные значения	Ед. измерен.	Примечания
по фазному току			величинах
Ускоряемая ступень ТЗНПрасч			
ТЗНПрасч ускоряемая ступень (ТЗНПрасч-уск)	введена/выведена		
Ток срабатывания ТЗНПрасч-уск	(0,01 - 40) Ином	А	Задается в первичных величинах
Время срабатывания ТЗНПрасч-уск	(0 – 300) с, шаг 1 мс	с	
Блокировка ТЗНПрасч-уск от БТН	введена/выведена		
Ток срабатывания бл. от БТН	0,01-100	%	

Функция токовой ступенчатой защиты нулевой последовательности для измеренного тока имеет следующие, задаваемые пользователем параметры:

Наименование параметра	Возможные значения	Ед. измерен.	Примечания
ТЗНП 3Io измеренный (ТЗНПиз)	введена/выведена		
1 ступень ТЗНПиз			
ТЗНПиз 1 ступень (ТЗНПиз-1)	введена/выведена		
Режим работы ТЗНПиз-1	на отключение/на сигнал		
Ток срабатывания ТЗНПиз-1	(0,01 - 40) Ином	А	Задается в первичных величинах
Временная характеристика ТЗНПиз-1	зависимая/независимая		
Время срабатывания ТЗНПиз-1	(0 – 300) с, шаг 1 мс	с	
Выбор временной хар-ки ТЗНПиз-1	изменить		
Направленность ТЗНПиз-1	ненаправленная/ прямо направленная/ обратно направленная		
Блокировка ТЗНПиз-1 от БТН	введена/выведена		
Ток срабатывания бл. от БТН, %	0,01-100	%	

Наименование параметра	Возможные значения	Ед. измерен.	Примечания
2 ступень ТЗНПиз (уставки 3-5 ступеней аналогичны)			
ТЗНПиз 2 ступень (ТЗНПиз-2)	введена/выведена		
Режим работы ТЗНПиз-2	на отключение/на сигнал		
Ток срабатывания ТЗНПиз-2	(0,01 - 40) Ином	А	Задается в первичных величинах
Временная характеристика ТЗНПиз-2	зависимая/независимая		
Время срабатывания ТЗНПиз-2	(0 – 300) с, шаг 1 мс	с	
Выбор временной хар-ки ТЗНПиз-2	изменить		
Направленность ТЗНПиз-1	ненаправленная/ прямо направленная/ обратно направленная		
РНМ ТЗНПиз			
Угол максимальной чувствительности	-90,0 - +90,0	°	
Угол линии нулевой чувствительности	0 - 80	°	
Блокировка направленных ступеней при неисправности цепей напряжения	блокировка/вывод направленности		
Ускоряемая ступень ТЗНПиз			
ТЗНПиз ускоряемая ступень (ТЗНПиз-уск)	введена/выведена		
Ток срабатывания ТЗНПиз-уск	(0,01 - 40) Ином	А	Задается в первичных величинах
Время срабатывания ТЗНПиз-уск	(0 – 300) с, шаг 1 мс	с	
Блокировка ТЗНПиз-уск от БТН	введена/выведена		
Ток срабатывания бл. от БТН	0,01-100	%	

2.1 Методика выбора уставок токовой защиты нулевой последовательности в сетях с изолированной и заземленной через высокоомный резистор нейтралью

Как правило, в сетях с высокоомным заземлением нейтрали, а также в сетях с изолированной нейтралью, защиты от замыканий на землю действуют на сигнал. Защита от замыканий на землю с действием на отключение может применяться, но необходимости в немедленном отключении однофазного замыкания в таких сетях нет.

Для реализации данных защит применяются 2-5 ступени функции ТЗНП с использованием измеренной величины тока нулевой последовательности терминала РИТМ. Применение расчетного значения невозможно из-за высокого значения токов небаланса. Недействующие ступени защиты должны быть выведены уставками. Защита действует без выдержки времени.

Ток срабатывания защиты выбирается по условию отстройки от собственного емкостного тока защищаемого присоединения:

$$3I_{0с.з.} \geq \frac{K_n}{K_B} \cdot K_{бр} \cdot I_{C.фид.},$$

где $I_{C.фид.}$, А – собственный емкостной ток присоединения;

K_n – коэффициент надежности, принимается равным 1,2;

K_B – коэффициент возврата, принимается равным 0,95;

$K_{бр}$ – коэффициент броска емкостного тока, принимается равным 1,0 - 1,5.

Значение емкостного тока присоединения определяется по паспортным данным с учетом всех кабельных и воздушных линий, питаемых от защищаемого присоединения:

$$I_{C.кл.} = \sum l \cdot I_{C.уд.},$$

где l , км – длина линии;

$I_{C.уд.}$, А – удельный емкостной ток линии.

Для ориентировочных расчетов при отсутствии сведений завода-изготовителя можно пользоваться следующей приближенной формулой:

$$I_{C.кл.} \approx \frac{U_{ном.} \cdot l_{\Sigma}}{10},$$

где l_{Σ} , км – суммарная длина кабельных линии;

$U_{ном.}$, кВ – номинальное линейное напряжение.

Для защиты трансформаторов и коротких кабельных линий расчетное значение тока срабатывания может оказаться меньше минимального тока срабатывания терминала. В этом случае ток срабатывания защиты принимают равным значению минимального тока срабатывания терминала.

Чувствительность ступени проверяется при замыкании на землю на защищаемом присоединении. Коэффициент чувствительности определяется по формуле:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{033\Sigma}^{(1)}}{3I_{0\text{с.з.}}},$$

где $I_{033\Sigma}^{(1)}$, А – суммарное значения тока замыкания на землю в сети;

$3I_{0\text{с.з.}}$, А – ток срабатывания защиты.

Значение коэффициента чувствительности должно быть не менее 1,5.

В сетях с изолированной нейтралью при малых токах замыкания на землю чувствительность может оказаться недостаточной. Для повышения чувствительности защиту следует выполнять направленной. Ток срабатывания при этом определяется по условию обеспечения чувствительности:

$$3I_{0\text{с.з.}} \leq \frac{I_{033\Sigma}^{(1)}}{K_{\text{ч}}},$$

где $I_{033\Sigma}^{(1)}$, А – суммарное значения тока замыкания на землю в сети;

$K_{\text{ч}}$ – требуемый коэффициент чувствительности, принимается равным 1,5.

При этом минимальное значение уставки определяется диапазоном изменения уставок терминала РИТМ.

2.2 Методика выбора уставок токовой защиты нулевой последовательности в сетях с заземленной через низкоомный резистор нейтралью

В сетях с низкоомным заземлением нейтрали защиты от замыканий на землю должны действовать на отключение поврежденного фидера с минимально возможной выдержкой времени. Для защиты присоединений, как правило, применяется до 2 ступеней токовой защиты нулевой последовательности:

- чувствительная ступень защиты;
- ступень, автоматически ускоряемая при включении выключателя (АУ).

Для реализации данных защит применяются 2-5 ступени защиты терминала РИТМ, а также ускоряемая ступень. Недействующие ступени защиты должны быть выведены уставками.

2.2.1 Определение предельных значений времени отключения

С целью предотвращения повреждения заземляющего резистора в аварийных режимах характеристика срабатывания защиты должна быть согласована с тепловой характеристикой резистора заземления. При этом следует учитывать время, необходимое на обеспечение

резервирования защиты вводного выключателя. Таким образом, максимальное время срабатывания защиты вводного выключателя определяется по формулам:

$$t_{\text{макс}}^{\text{ВВ}} \leq t_{\text{к}} - t_{\text{УРОВ}} - t_{\text{откл}}^{\text{выкл.ВН}} \quad \text{при установке заземляющего резистора в нейтрали питающего трансформатора,}$$

$$t_{\text{макс}}^{\text{ВВ}} \leq t_{\text{к}} - \Delta t - t_{\text{откл}}^{\text{выкл.ТЗН}} \quad \text{при установке заземляющего резистора в нейтрали заземляющего трансформатора,}$$

где $t_{\text{к}}$, с – время срабатывания защиты резистора при расчетном токе нулевой последовательности;

Δt , с – степень селективности защиты заземляющего резистора;

$t_{\text{УРОВ}}$, с – время срабатывания УРОВ выключателя ввода;

$t_{\text{откл}}^{\text{выкл.ВН}}$, с – время отключения выключателя стороны ВН питающего трансформатора;

$t_{\text{откл}}^{\text{выкл.ТЗН}}$, с – время отключения выключателя присоединения трансформатора заземления нейтрали.

Максимальное время срабатывания защиты секционного выключателя:

$$t_{\text{макс}}^{\text{СВ}} \leq t_{\text{макс}}^{\text{ВВ}} - \Delta t;$$

Максимальное время срабатывания защиты фидера:

$$\begin{cases} t_{\text{макс}}^{\text{фид}} \leq t_{\text{макс}}^{\text{ВВ}} - \Delta t \\ t_{\text{макс}}^{\text{фид}} \leq t_{\text{макс}}^{\text{СВ}} - \Delta t \end{cases};$$

При использовании зависимых характеристик срабатывания защиты, рекомендуется использовать карты селективности для обеспечения термической стойкости оборудования.

2.2.2 Выбор уставок чувствительной ступени ТЗНП

При наличии на защищаемом присоединении трансформаторов тока нулевой последовательности для реализации данных защит применяются 2-5 ступени функции ТЗНП с использованием измеренной величины тока нулевой последовательности терминала РИТМ. Ток срабатывания ступени выбирается по условию отстройки от собственного емкостного тока защищаемого присоединения:

$$3I_{\text{Ос.з.}} \geq \frac{K_{\text{н}}}{K_{\text{в}}} \cdot K_{\text{бр}} \cdot I_{\text{С.фид}},$$

где $I_{\text{С.фид}}$, А – собственный емкостной ток присоединения;

$K_{\text{н}}$ – коэффициент надежности, принимается равным 1,2;

$K_{\text{в}}$ – коэффициент возврата, принимается равным 0,95;

$K_{\text{бр}}$ – коэффициент броска емкостного тока, принимается равным 1,0 - 1,5.

Значение емкостного тока кабельной линии определяется по паспортным данным с учетом всех кабелей, питаемых от защищаемого присоединения:

$$I_{C.кл} = \sum l \cdot I_{C.уд},$$

где l , км – длина кабельной линии;

$I_{C.уд}$, А – удельный емкостной ток кабельной линии.

Для ориентировочных расчетов при отсутствии сведений завода-изготовителя можно пользоваться следующей приближенной формулой:

$$I_{C.кл} \approx \frac{U_{ном} \cdot l_{\Sigma}}{10},$$

где l , км – суммарная длина кабельных линии;

$U_{ном}$, кВ – номинальное линейное напряжение в кВ.

Чувствительность ступени проверяется при замыкании на землю на защищаемом присоединении. Коэффициент чувствительности определяется по формуле:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{033\Sigma}^{(1)}}{3I_{0с.з.}}$$

где $I_{033\Sigma}^{(1)}$, А – суммарное значения тока замыкания на землю в сети;

$3I_{0с.з.}$, А – ток срабатывания защиты.

Значение коэффициента чувствительности должно быть не менее 1,5.

На тупиковых присоединениях уставка по времени срабатывания ступени принимается равной $t_{с.з.} = 0$. При питании по линии распределительных пунктов, имеющих собственные защиты от замыканий на землю, уставка по времени срабатывания ступени выбирается по условию согласования с защитами смежных элементов сети:

$$t_{с.з.} \leq t_{с.з.}^{смеж} + \Delta t,$$

где $t_{с.з.}^{смеж}$, с – выдержка времени срабатывания ступени, с которой производится согласование;

Δt , с – степень селективности.

В зависимости от типа защиты, с которой производится согласование, следует использовать следующие значения ступени селективности:

- для микропроцессорных защит: $\Delta t = 0,3$ с;
- для электромеханических защит: $\Delta t = 0,5$ с.

При отсутствии на защищаемом присоединении трансформаторов тока нулевой последовательности для реализации защит применяются 2-5 ступени функции ТЗНП с

использованием расчетной величины тока нулевой последовательности терминала РИТМ. Ток срабатывания ступени выбирается по условию отстройки от величины тока небаланса:

$$3I_{0c.з.} \geq K_n \cdot K_{одн} \cdot \varepsilon \cdot I_{раб.макс},$$

где $I_{раб.макс}$, А – максимальный рабочий ток присоединения;

K_n – коэффициент надежности, принимается равным 1,2;

$K_{одн}$ – коэффициент однотипности, принимается равным 0,5 – 1,0;

ε – предельная погрешность ТТ.

Чувствительность ступени проверяется при замыкании на землю на защищаемом присоединении. Коэффициент чувствительности определяется по формуле:

$$K_{ч} = \frac{I_{033\Sigma}^{(1)}}{3I_{0c.з.}},$$

где $I_{033\Sigma}^{(1)}$, А – суммарное значения тока замыкания на землю в сети;

$3I_{0c.з.}$, А – ток срабатывания защиты.

Значение коэффициента чувствительности должно быть не менее 1,5.

Так как ступень защит не отстроена от токов небаланса при междуфазных КЗ, выдержка времени ступени должна быть отстроена от времени срабатывания защиты линии от междуфазных КЗ. Уставка по времени срабатывания ступени выбирается по условию:

$$t_{c.з.} \geq t_{c.з.}^{MTЗ} + \Delta t,$$

где $t_{c.з.}^{MTЗ}$, с – выдержка времени срабатывания МТЗ защищаемого присоединения;

Δt , с – ступень селективности.

При применении в качестве защиты присоединения терминала РИТМ, ступень селективности принимается $\Delta t = 0,3$ с.

Для защиты трансформатора допустимо производить отстройку от тока небаланса при КЗ на стороне НН трансформатора. Это позволит выполнить защиту без выдержки времени, однако приведет к снижению чувствительности ступени. Ток срабатывания ступени при этом выбирается по условию:

$$3I_{0c.з.} \geq K_n \cdot K_{одн} \cdot \varepsilon \cdot I_{внеш}^{(3)},$$

где $I_{внеш}^{(3)}$, А – величина тока, протекающего через защиту при трехфазном КЗ на стороне НН трансформатора;

K_n – коэффициент надежности, принимается равным 1,2;

$K_{одн}$ – коэффициент однотипности, принимается равным 0,5 – 1,0;

ε – предельная погрешность ТТ.

2.2.4 Выбор уставок ступени, автоматически ускоряемой при включении

Автоматически ускоряемая ступень (АУ) применяется для быстрого отключения выключателя при неуспешном опробовании присоединения, а также при неуспешном АПВ. Для реализации данной ступени применяется ускоряемая ступень ТЗНП терминала РИТМ, вводимая по факту включения выключателя.

Ток срабатывания ступени защиты ввода выбирается по условию обеспечения чувствительности при опробовании:

$$3I_{0с.з.} \leq \frac{I_{033\Sigma}^{(1)}}{K_{\text{ч}}},$$

где $I_{033\Sigma}^{(1)}$, А – суммарное значения тока замыкания на землю в сети;

$K_{\text{ч}}$ – требуемый коэффициент чувствительности, принимается равным 2,0.

При использовании функции блокировки ускоряемой ступени по наличию тока 2-й гармоники выдержка времени ступени принимается равной 0,0 с. Ток срабатывания блокировки допустимо принять 15%.

При выводе функции блокировки ускоряемой ступени по наличию тока 2-й гармоники выдержка времени ступени принимается равной 0,5 с. Выдержка времени вводится для обеспечения отстройки защиты от бросков тока намагничивания (БТН) трансформаторов, питаемых от присоединения.

2.3. Выбор уставок защиты трансформатора заземления нейтрали

При установке резистора заземления нейтрали в нейтрали трансформатора заземления нейтрали (ТЗН), подключенного к секции шин, защита присоединения ТЗН выполняет функцию защиты самого резистора, а также резервирования защит сети. В сетях с низкоомным заземлением нейтрали для защиты ТЗН, как правило, применяется до 2 ступеней токовой защиты нулевой последовательности:

- чувствительная ступень защиты;
- ступень, автоматически ускоряемая при включении выключателя (АУ).

Чувствительная ступень защиты может иметь до 3 выдержек времени. Для реализации каждой выдержки времени применяются отдельные ступени защиты с одинаковыми токами срабатывания. Все ступени защиты необходимо согласовать с тепловой характеристикой резистора заземления.

Для реализации защиты применяются 2-5 ступени функции ТЗНП с использованием измеренной величины тока нулевой последовательности терминала РИТМ. Ток срабатывания ступени выбирается по следующим условиям:

а) отстройка от суммарного емкостного тока двух секций шин:

$$3I_{0с.з.} \geq \frac{K_H}{K_B} \cdot K_{бр} \cdot I_{C.Σ},$$

где $I_{C.Σ}$, А – суммарный емкостной ток сети;

K_H – коэффициент надежности, принимается равным 1,2;

K_B – коэффициент возврата, принимается равным 0,95;

$K_{бр}$ – коэффициент броска емкостного тока, принимается равным 1,0 - 1,5.

б) согласование с защитами смежных элементов сети:

$$3I_{0с.з.} \geq K_c \cdot \Phi I_{0с.з.}^{смеж},$$

где $\Phi I_{0с.з.}^{смеж}$, А – ток срабатывания ступени защиты смежного элемента, с которой производится согласование;

K_c – коэффициент согласования, принимается равным 1,1.

При согласовании рассматриваются защиты фидеров обеих секций шин, а также защита секционного выключателя. Из полученных значений выбирается максимальное и принимается в качестве тока срабатывания ступени.

Чувствительность ступени проверяется при замыкании на землю на секции шин. Коэффициент чувствительности определяется по формуле:

$$K_{ч} = \frac{I_R^{(1)}}{3I_{0с.з.}},$$

где $I_R^{(1)}$, А – активная составляющая тока замыкания на землю;

$3I_{0с.з.}$, А – ток срабатывания защиты.

Значение коэффициента чувствительности должно быть не менее 1,5.

Ступень имеет 3 выдержки времени с различным действием:

1) действие на отключение секционного выключателя. Уставка по времени срабатывания ступени выбирается по условию согласования с защитами присоединений обеих секций шин

$$t_{с.з.}^1 \geq t_{с.з.}^{смеж} + Dt,$$

где $t_{с.з.}^{смеж}$, с – выдержка времени срабатывания защит фидеров обеих секций шин;

Dt , с – степень селективности.

2) действие на отключение вводного выключателя. Уставка по времени срабатывания ступени выбирается по условию согласования с защитами присоединений обеих секций шин

$$t_{с.з.}^2 \text{ и } t_{с.з.}^1 + Dt.$$

3) действие на отключение присоединения ТЗН. Уставка по времени срабатывания ступени выбирается по условию согласования с защитами присоединений обеих секций шин

$$t_{с.з.}^3 \text{ и } t_{с.з.}^2 + Dt.$$

Выдержка времени ступени должна удовлетворять требованиям к максимальному времени срабатывания защиты.

3 Методика выбора уставок защиты от несимметричных режимов работы и обрыва фаз

Защита от несимметричных режимов работы и обрыва фаз (ЗОФ) в устройстве защиты фидера 6-35 кВ типа РИТМ Л предназначена для действия на сигнал или отключение выключателя фидера при выявлении несимметричных режимов работы и обрыве фаз в первичной цепи или в токовых цепях устройства РИТМ Л.

ЗОФ срабатывает при выполнении указанного ниже условия и действует с независимой выдержкой времени на выходные реле и сигнализацию.

$$(I_{ф.маx} - I_{ф.миn}) \geq I_{ср.ЗОФ},$$

где $I_{ф.маx}$, $I_{ф.миn}$, А – значения соответственно максимального и минимального из трех фазных токов;

$I_{ср.ЗОФ}$, А – ток срабатывания ЗОФ.

ЗОФ может использоваться в распределительных сетях с резистивно-заземленной или изолированной нейтралью. В схеме с тремя трансформаторами тока защита контролирует три фазных тока и реагирует на несимметрию и обрыв любой из фаз. В схеме с двумя трансформаторами тока защита контролирует токи в двух фазах, и реагирует на несимметрию или обрыв только в этих двух фазах. Недостающий ток рассчитывается по значениям двух измеренных токов. Например, при измерении токов в фазах А и С ток в фазе В рассчитывается как:

$$\underline{I}_{ф.В} = -\underline{I}_{ф.А} - \underline{I}_{ф.С},$$

где $\underline{I}_{ф.А}$, $\underline{I}_{ф.В}$, $\underline{I}_{ф.С}$ – векторы токов в фазах А, В и С.

Поскольку при измерении малых токов погрешности трансформаторов тока возрастают, для предотвращения неправильной работы функции ЗОФ предусмотрена ее мгновенная блокировка при снижении всех токов в фазах ниже задаваемой уставки тока блокировки.

Функция ЗОФ имеет следующие параметры, задаваемые пользователем:

Наименование параметра	Возможные значения	Единицы измерения	Примечания
ЗОФ	введена/выведена		
Ток срабатывания ЗОФ	$(0,1 - 1,0)I_{ном}$	А	Задается в первичных величинах
Время срабатывания ЗОФ	$(0 - 300)$ с, шаг 1 мс	с	
Ток блокировки ЗОФ	$(0,1 - 1,0)I_{ном}$	А	Задается в первичных величинах

Параметр «ЗОФ» обеспечивает ввод функции в работу и вывод функции из работы. При выводе функции из работы не происходит действие функции на выходные реле и сигнализацию.

Согласно нормативной документации, разница в токах наиболее и наименее загруженной фазы не должна превышать 15%. Таким образом, ток срабатывания ЗОФ рекомендуется принять равным $0,15I_{ном.раб}$, где $I_{ном.раб}$ – номинальный рабочий ток, протекающий через фидер.

Время срабатывания ЗОФ $t_{с.ЗОФ}$ определяется по условию отстройки от максимального времени срабатывания защит фидера:

$$t_{с.ЗОФ} = t_{с.з.мах} + \Delta t,$$

где $t_{с.з.мах}$, с – максимальное время срабатывания защит фидера;

Δt , с – степень селективности, принимаемая равной 0,5 с.

Ток блокировки ЗОФ рекомендуется принять равным $0,1I_{ном.раб}$.

4 Методика выбора уставок блокировки логической защиты шин при междуфазных и однофазных коротких замыканиях

Логическая защита шин (ЛЗШ) предназначена для ликвидации коротких замыканий на шинах энергетических объектов. В основном применяется в качестве защиты от коротких замыканий на секциях среднего и низкого напряжения, оборудованных ячейками КРУ. Большое время отключения повреждений в ячейках КРУ приводит к серьезным повреждениям оборудования, поэтому должно быть максимально снижено, при этом применение полной дифференциальной защиты секции затруднено большим количеством присоединений и высокой стоимостью данного решения.

По принципу действия ЛЗШ представляет собой максимальную токовую защиту выключателя ввода, которая блокируется при пуске защит присоединений «своей» и смежной секций. Блокировка от защит присоединений смежной секции выводится по факту отключенного положения секционного выключателя, которое определяется по замыкающему блок-контакту выключателя.

Функция блокировки ЛЗШ в составе устройства РИТМ Л предназначена для выдачи с дискретных выходов устройства сигналов блокировки ЛЗШ от междуфазных КЗ и ЛЗШ от однофазных КЗ при пуске защит фидера. Функция ЛЗШ от междуфазных КЗ сравнивает наибольший из измеренных токов в фазах с заданной уставкой, и в случае превышения измеренным током значения уставки действует выходными реле устройства РИТМ Л на блокировку ЛЗШ от междуфазных КЗ. Функция ЛЗШ от однофазных КЗ сравнивает измеренное или рассчитанное утроенное значение тока нулевой последовательности с заданной уставкой, и в случае превышения измеренным током значения уставки действует выходными реле устройства РИТМ Л на блокировку ЛЗШ от однофазных КЗ.

В схемах ЛЗШ контакты защит присоединений, передающие сигнал блокировки в схему ЛЗШ, могут собираться параллельно или последовательно. В первом случае используются замыкающие контакты, во втором – размыкающие контакты. Для правильного функционирования функции блокировки ЛЗШ тип используемых контактов задается в качестве уставки.

ЛЗШ обеспечивает контроль цепей блокировки и выдает сигнал неисправности при наличии сигнала блокировки более 10 секунд, что свидетельствует об обрыве цепи (при последовательном соединении) или залипании контактов реле (при последовательном или параллельном соединении).

Функция блокировки ЛЗШ от междуфазных КЗ имеет следующие параметры, задаваемые пользователем:

Наименование параметра	Возможные значения	Единицы измерения	Примечания
Блокировка ЛЗШ от междуфазных КЗ	введена/выведена		
Ток срабатывания блокировки ЛЗШ от междуфазных КЗ	(0,01 - 40) $I_{ном}$	А	Задается в первичных величинах
Тип используемого контакта выходного реле блокировки ЛЗШ от междуфазных КЗ	замыкающий/ размыкающих		

Функция блокировки ЛЗШ от однофазных КЗ имеет следующие параметры, задаваемые пользователем:

Наименование параметра	Возможные значения	Единицы измерения	Примечания
Блокировка ЛЗШ от однофазных КЗ	введена/выведена		
Ток срабатывания блокировки ЛЗШ от однофазных КЗ	$(0,01 - 40) I_{ном}$	А	Задается в первичных величинах
Тип используемого контакта выходного реле блокировки ЛЗШ от однофазных КЗ	замыкающий/ размыкающих		

Параметры «Блокировка ЛЗШ от междуфазных КЗ» и «Блокировка ЛЗШ от однофазных КЗ» обеспечивают ввод в работу и вывод из работы соответствующих блокировок ЛЗШ. При выводе функции из работы не происходит действие функции на выходные реле и сигнализацию.

Параметр «Тип используемого контакта выходного реле» определяет, каким образом в схеме ЛЗШ выполнена цепь блокировки ЛЗШ от защит присоединений:

- параллельно соединенные замыкающие контакты;
- последовательно соединенные размыкающие контакты.

Ток срабатывания блокировки ЛЗШ от междуфазных КЗ выбирается равным минимальной из уставок тока защит фидера от междуфазных КЗ, действующих на отключение выключателя.

Ток срабатывания блокировки ЛЗШ от однофазных КЗ выбирается равным минимальной из уставок тока защит фидера от замыканий на землю, действующих на отключение выключателя.

Сигналы блокировки ЛЗШ передаются в схему ЛЗШ без выдержки времени.

5 Методика выбора уставок защиты от дуговых замыканий

Защита от дуговых замыканий (ЗДЗ) предназначена для ликвидации коротких замыканий в ячейках КРУ, сопровождаемых появлением электрической дуги. В качестве датчиков появления дуги могут применяться клапаны, открывающиеся под действием избыточного давления, создаваемого дугой, или оптические датчики, реагирующие на свечение дуги. В составе устройства РИТМ Л предусмотрено две функции ЗДЗ – клапанная и оптическая. Оптическая ЗДЗ применяется при наличии в составе терминала оптических датчиков дуги. Применение оптической ЗДЗ необходимо для сетей с заземленной через низкоомное

сопротивление нейтрально, поскольку, как правило, токов однофазного КЗ недостаточно для уверенного срабатывания клапанов дуговой защиты, в то время как оптические датчики срабатывают при токах дуги от 100 ампер. В состав устройства РИТМ Л могут входить три пары оптических датчиков, располагаемых попарно в трех отсеках ячейки КРУ – шинном отсеке, отсеке выключателя и в кабельном отсеке.

При появлении сигнала о наличии дуги ЗДЗ воздействует на отключение оборудования. Действие ЗДЗ различается в зависимости от места возникновения дуги:

- При возникновении дуги в кабельном отсеке ЗДЗ действует на отключение выключателя фидера с запретом АПВ. Отключение выключателя рекомендуется выполнять с контролем наличия тока КЗ, который может быть реализован как:

- внешний контроль наличия тока КЗ (предпочтительный вариант). В этом случае контроль тока осуществляется в схеме ЗДЗ секции, из которой при протекании тока КЗ подается сигнал на соответствующий дискретный вход устройства защиты фидера типа РИТМ.
- внутренний контроль наличия тока КЗ, реализованный в ЗДЗ устройства РИТМ Л.

Также в ЗДЗ РИТМ Л предусмотрена возможность действия на отключение выключателя двигателя без контроля наличия тока КЗ.

Если выключатель фидера не отключится по любым причинам, ЗДЗ в РИТМ Л с выдержкой времени действует через схему ЗДЗ секции на отключение ввода и секционного выключателя с запретом АПВ выключателя ввода и АВР. Выдержка времени принимается равной времени срабатывания УРОВ выключателя фидера, указанное значение не выбирается при задании уставок ЗДЗ и берется автоматически из уставок функции УРОВ.

- При возникновении дуги в шинном отсеке или отсеке выключателя, ЗДЗ в РИТМ Л без выдержки времени действует через схему ЗДЗ секции на отключение ввода и секционного выключателя с запретом АПВ выключателя ввода и АВР. Контроль тока осуществляется в схеме ЗДЗ секции, в ЗДЗ РИТМ Л контроль наличия тока КЗ в этом случае не выполняется.

В случае наличия сигналов с датчиков дуги более десяти секунд диагностируется неисправность датчиков и выдается сигнал неисправности.

Уставки клапанной и оптической ЗДЗ полностью аналогичны, поэтому далее рассматриваемый выбор уставок клапанной ЗДЗ полностью применим для оптической ЗДЗ.

Функция клапанной ЗДЗ имеет следующие, задаваемые пользователем параметры:

Наименование параметра	Возможные значения	Единицы измерения	Примечания
ЗДЗ клапанная	введена/выведена		
Ток срабатывания	(0,01 - 40) $I_{ном}$	А	Задается в первичных

фазного токового контроля			величинах
Ток срабатывания токового контроля по току нулевой последовательности	$(0,01 - 40) I_{ном}$	А	Задается в первичных величинах
Коэффициент возврата токового контроля	$(0,9 - 1)$		

Параметр «ЗДЗ клапанная» обеспечивает ввод функции в работу и вывод функции из работы. При выводе функции из работы не происходит действие функции на выходные реле и сигнализацию.

При использовании внутреннего контроля наличия тока КЗ значения уставок выбираются следующим образом:

- 1) Ток срабатывания фазного токового контроля выбирается по условию отстройки от максимального тока нагрузки:

$$I_{ТКФ} = \frac{K_{отс}}{K_{в}} I_{раб.макс},$$

где $K_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 1,15;

$K_{в}$ – коэффициент возврата, задается в уставках;

$I_{раб.макс}$, А – максимальный ток нагрузки.

Выполняется проверка чувствительности:

$$K_{ч} = \frac{\sqrt{3} I_{мин}^{(3)}}{I_{ТКФ}},$$

где $I_{ТКФ}$, А – ток срабатывания фазного токового контроля;

$I_{мин}^{(3)}$, А – минимальный ток трехфазного КЗ на шинах.

Коэффициент чувствительности должен быть не менее 1,5.

- 2) Ток срабатывания токового контроля по току нулевой последовательности выбирается по условию отстройки от максимального тока небаланса, соответствующего максимальному току нагрузки:

$$I_{ТКО} \geq K_{отс} \cdot K_{нб} \cdot I_{раб.макс},$$

где $K_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 1,25;

$K_{нб}$ – коэффициент небаланса, принимается равным 0,05;

$I_{раб.макс}$, А – максимальный ток нагрузки.

Выполняется проверка чувствительности:

$$K_{\text{ч}} = \frac{3I_{0\text{мин}}}{I_{\text{ТКО}}},$$

где $I_{\text{ТКО}}$, А – ток срабатывания токового контроля по току нулевой последовательности;
 $3I_{0\text{мин}}$, А – минимальный утроенный ток нулевой последовательности КЗ на землю на шинах.

Коэффициент чувствительности должен быть не менее 1,5.

Коэффициент возврата рекомендуется принимать равным 0,95.

При использовании ЗДЗ в сети с изолированной или заземленной через высокоомное сопротивление нейтралью рекомендуется выставить максимально возможный ток срабатывания токового контроля по току нулевой последовательности для вывода его из работы.

6 Методика расчета уставок контроля снижения/повышения междуфазного напряжения

Функция предназначена для контроля снижения/повышения значения междуфазного напряжения, которое может привести к неправильной работе питающегося от защищаемого фидера оборудования.

Функция контролирует значения трех междуфазных напряжений. При снижении/повышении хотя бы одного из контролируемых напряжений ниже/выше заданной уставки, функция действует с независимой выдержкой времени на сигнал. При возникновении неисправности цепей напряжения действие функции блокируется.

Функция контроля снижения/повышения междуфазного напряжения имеет следующие параметры, задаваемые пользователем:

Наименование параметра	Возможные значения	Единицы измерения	Примечания
Контроль мин. и макс. напряжения	введен/выведен		
Напряжение срабатывания $U_{\text{макс}}$	(0,01 – 1,20) $U_{\text{ном}}$	В	Задается в первичных величинах
Время срабатывания $U_{\text{макс}}$	(0 – 300) с, шаг 1 мс	с	
Напряжение срабатывания $U_{\text{мин}}$	(0,01 – 1,20) $U_{\text{ном}}$	В	Задается во вторичных величинах
Время срабатывания $U_{\text{мин}}$	(0 – 300) с, шаг 1 мс	с	

Напряжение срабатывания функции выбирается по условию предельно допустимого отклонения напряжения от среднего значения напряжения, придерживаемого на шинах подстанции ($U_{\text{ш.сред}}$):

$$U_{\text{ср.макс}} = 1,1 \cdot U_{\text{ш.сред.}}$$

$$U_{\text{ср.мин}} = 0,9 \cdot U_{\text{ш.сред.}}$$

Время срабатывания функции контроля снижения ($t_{\text{мин}}$) и повышения ($t_{\text{макс}}$) междуфазного напряжения выбирается по условию отстройки от наибольшего времени действия защит и автоматических средств отграничения снижения/повышения напряжения. Рекомендуется принять уставки $t_{\text{мин}} = 10 \text{ с}$, $t_{\text{макс}} = 10 \text{ с}$.

7 Методика выбора уставок устройства резервирования отказа выключателя

Функция устройства резервирования отказа выключателя (УРОВ) в устройстве РИТМ Л предназначена для действия с выдержкой времени на отключение вышестоящих выключателей при отказе своего выключателя.

Пуск УРОВ осуществляется от всех защит, реализованных в РИТМ Л и действующих на отключение выключателя фидера, а также от внешних защит, действующих на отключение выключателя через дискретный вход «Внешнее откл.». Пуск УРОВ от внешних защит при необходимости может быть выведен пользователем.

Для выявления неуспешного отключения выключателя ввода используется контроль протекания через него тока после команды отключения. Наличие хотя бы в одной из фаз выключателя тока выше заданной уставки свидетельствует о неуспешном отключении выключателя. При снижении тока во всех фазах выключателя ниже заданной уставки срабатывание УРОВ блокируется. Таким образом, пуск УРОВ осуществляется после каждого аварийного отключения, а срабатывание УРОВ происходит, если до окончания выдержки времени не происходит возврат УРОВ по факту снижения тока.

Функция УРОВ имеет следующие параметры, задаваемые пользователем

Наименование параметра	Возможные значения	Единицы измерения	Примечания
УРОВ	введено/выведено		
Ток срабатывания УРОВ	Для $I_{\text{НОМ}} = 5 \text{ А}$: (0,01 – 1,0) $I_{\text{НОМ}}$, шаг 1 мА Для $I_{\text{НОМ}} = 1 \text{ А}$: (0,05 – 5,0) $I_{\text{НОМ}}$, шаг 1 мА	А	Задается в первичных величинах
Время срабатывания УРОВ	(0 – 10) с, шаг 1 мс	с	
Внешний пуск УРОВ	введен/выведен		

Для обеспечения надежного срабатывания уставку тока срабатывания УРОВ рекомендуется выбирать из диапазона $(0,1 \div 0,2)I_{\text{НОМ}}$.

Время срабатывания УРОВ выбирается по условию отстройки от времени отключения исправного выключателя фидера:

$$t_{с.УРОВ} = t_{откл.в} + t_{воз.рз} + t_{воз\ TO\ УРОВ} + t_{зап},$$

где $t_{откл.в}$, с – полное время отключения выключателя (с учетом гашения дуги);

$t_{воз.рз}$, с – время, необходимое для возврата защиты, пускающей УРОВ;

$t_{воз\ TO\ УРОВ}$, с – время возврата токового органа УРОВ;

$t_{зап}$, с – время запаса.

При расчетах значение суммы ($t_{воз.рз} + t_{воз\ TO\ УРОВ} + t_{зап}$) может быть принято равным 0,15 – 0,2 секунды, т.о. время срабатывания УРОВ может быть определено как:

$$t_{с.УРОВ} = t_{откл.в} + 0,2\ с.$$

8 Методика выбора уставок пуска осциллографа

Осциллограф позволяет записывать во внутреннюю память устройства осциллограммы всех измеряемых токов и напряжений, физически заводимых или рассчитываемых устройством, токов электромагнитов включения и отключения выключателя, состояние дискретных входов и выходов, а также срабатывание и возврат используемых в устройстве токовых реле, реле напряжения, реле времени.

Пуск осциллографа осуществляется при:

- превышение любым фазным током уставки срабатывания;
- превышение расчетного/измеренного тока нулевой последовательности уставки срабатывания;
- срабатывание/возврат токовых реле;
- срабатывание/возврат реле напряжения;
- срабатывание/возврат дискретного входа;
- срабатывание/возврат выходного реле;
- срабатывание/возврат реле времени;
- ручной пуск осциллографа (позволяет осуществить пуск осциллографа независимо от состояния пусковых органов осциллографа).

Каждая осциллограмма включает в себя доаварийный, аварийный и послеаварийный режимы. Максимальная длительность записи осциллограммы составляет 9 секунд с учетом доаварийного и послеаварийного режимов длительностью 100 мс каждый. В памяти устройства может храниться до 30 осциллограмм, а общее время памяти для осциллографа составляет не

менее 270 секунд. Каждая «новая» осциллограмма (сверх 30-ой осциллограммы) записывается на место наиболее «старой».

Если при некотором событии происходит пуск осциллографа в произвольной последовательности от аналоговых и дискретных сигналов, то пуск осциллографа происходит от первого сигнала. Если во время записи осциллограммы возникает второе условие пуска, и оно сохраняется после исчезновения первого условия пуска (в т.ч. по ограничению длительности), запись первой осциллограммы останавливается и сразу же начинается вторая.

Функция пуска осциллографа имеет следующие, задаваемые пользователем параметры:

Наименование параметра	Возможные значения	Единицы измерения	Примечания
Пуск по фазному току	введен/выведен		
Пуск по фазному току	введен/выведен		
Пуск по измеренному току нулевой последовательности	введен/выведен		
Ток срабатывания пуска по фазному току	(0,01 - 40) $I_{ном}$	А	Задается в первичных величинах
Ток срабатывания пуска по рассчитанному току нулевой последовательности	(0,01 - 40) $I_{ном}$	А	Задается в первичных величинах
Ток срабатывания пуска по измеренному току нулевой последовательности	(0,01 - 40) $I_{ном}$	А	Задается в первичных величинах
Коэффициент возврата пуска по фазному току	0,9 – 1,0		
Коэффициент возврата пуска по рассчитанному току нулевой последовательности	0,9 – 1,0		
Коэффициент возврата пуска по измеренному току нулевой последовательности	0,9 – 1,0		

Уставка пуска осциллографа по фазному току отстраивается от нагрузочного режима:

$$I_{ф.пуск.осц} = \frac{K_{отс} \cdot I_{раб.мах}}{K_{в}}$$

где $K_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимаемый равным 1,1;

$K_{в}$ – коэффициент возврата, задается пользователем. Рекомендуется принимать равным 0,95.

$I_{раб.мах}$, А – максимальный рабочий ток защищаемого фидера.

Уставка пуска осциллографа по измеренному/рассчитанному току нулевой выбирается на 10% меньше наиболее чувствительной ступени ТЗНП защищаемого фидера:

$$3I_{0.пуск.осц} = 0,9 \cdot 3I_{ТЗНП чувств}$$

где $3I_{\text{ТЗНП чувств}}$, A – уставка срабатывания чувствительной ступени ТЗНП защищаемого фидера.

Коэффициент возврата пуска по измеренному/рассчитанному току нулевой последовательности рекомендуется принимать равным 0,95.

9 Методика выбора уставок функции контроля исправности токовых цепей

Функция предназначена для контроля токовых цепей устройства РИТМ Л.

Функция позволяет обнаруживать:

- двухфазные замыкания во вторичных цепях измерительных трансформаторов тока;
- однофазные и двухфазные замыкания на землю во вторичных цепях измерительных трансформаторов тока;
- обрывы в одной, двух или трех фазах первичных цепей присоединения или вторичных цепей измерительных трансформаторов тока.

При необходимости функция может быть выведена персоналом.

Функция контроля исправности токовых цепей имеет следующие параметры, задаваемые пользователем:

Наименование параметра	Возможные значения	Единицы измерения	Примечания
Контроль исправности токовых цепей	введен/выведен		Ввод/вывод функции
Ток срабатывания датчика в заземляющем проводнике	Для $I_{\text{НОМ}} = 5A$: (0,002 – 1,0) $I_{\text{НОМ}}$, шаг 1 мА Для $I_{\text{НОМ}} = 1A$: (0,01 – 5,0) $I_{\text{НОМ}}$, шаг 1 мА	А	Задается в первичных величинах
Выдержка времени сигнализации о неисправности токовых цепей	(0 – 300) с, шаг 1 мс	с	
Контроль обрыва трех фаз	введен/выведен		Ввод/вывод опции контроля обрыва трех фаз
Выдержка времени сигнализации об обрыве трех фаз	(0 – 100000) с, шаг 1 мс	с	

Двухфазное замыкание во вторичных цепях измерительных трансформаторов тока выявляется при одновременном выполнении трех условий:

1. Равенство действующих значений токов замкнувшихся фаз.

Условие считается выполненным, если модуль разности действующих значений токов замкнувшихся фаз меньше, чем значение меньшего из токов замкнувшихся фаз, взятый с коэффициентом 0,3. Например, в случае замыкания фаз A и B при $I_A < I_B$ условие выполняется при $|I_A - I_B| \leq 0,3 \cdot I_A$

2. Действующие значения токов замкнувшихся фаз меньше, чем значение тока неповрежденной фазы, взятое с коэффициентом 0,6. Например, при замыкании фаз *A* и *B* условие выполняется, если $I_A \leq 0,6 \cdot I_C$ и $I_B \leq 0,6 \cdot I_C$.

3. Суммы значений фазных углов φ токов замкнувшихся фаз должны находиться в заданных диапазонах:

$$\varphi_A + \varphi_B = -120 \pm 5 \text{ эл. град.};$$

$$\varphi_B + \varphi_C = 0 \pm 5 \text{ эл. град.};$$

$$\varphi_C + \varphi_A = 120 \pm 5 \text{ эл. град.};$$

Фазные углы токов отсчитываются от первой фазы тока. Рассчитанное значение суммы фазных углов приводится к диапазону $(-180 \div +180)$ эл. град. путем вычитания из суммы 360 эл. град. в случае, если она превышает 180 эл. град.

На рис. 3 приведены векторные диаграммы токов для различных комбинаций замкнувшихся фаз.

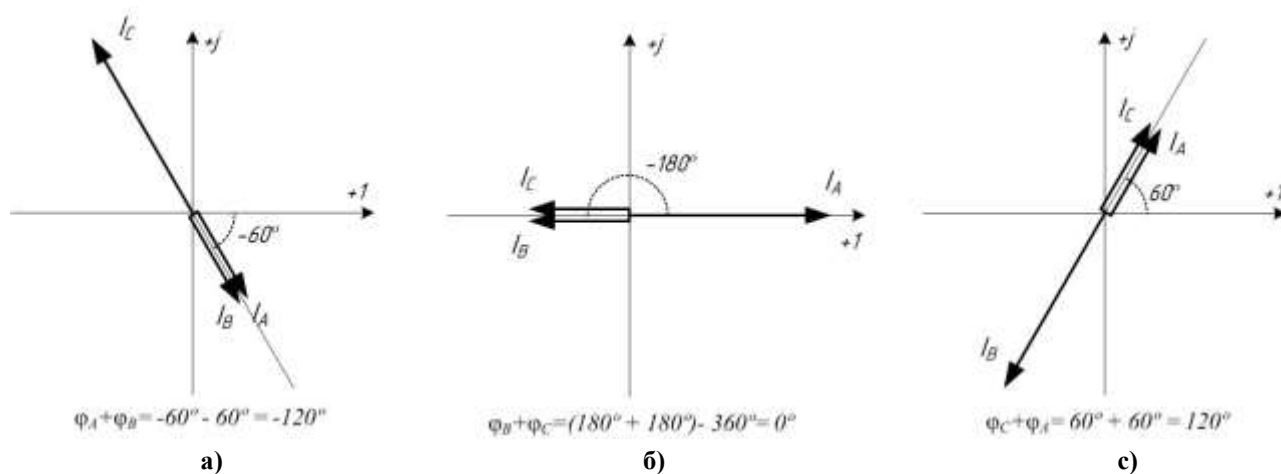


Рис.3 Векторные диаграммы токов при двухфазном замыкании во вторичных цепях измерительных трансформаторов тока: а) - в фазах *A* и *B*; б) - в фазах *B* и *C*; с) - в фазах *C* и *A*.

Для выявления однофазных и двухфазных замыканий на землю во вторичных цепях измерительных трансформаторов тока, а также обрывов одной или двух фаз используется контроль значения тока в заземляющем проводнике трансформатора тока. Значение тока измеряется устройством РИТМ с помощью трансформатора тока в заземляющем проводнике и сравнивается с задаваемой пользователем уставкой. Пример схемы подключения датчика тока показан на рис. 4. В начале эксплуатации рекомендуется принять значение уставки равным 0,5 А, в ходе дальнейшей эксплуатации значение уставки может быть скорректировано.

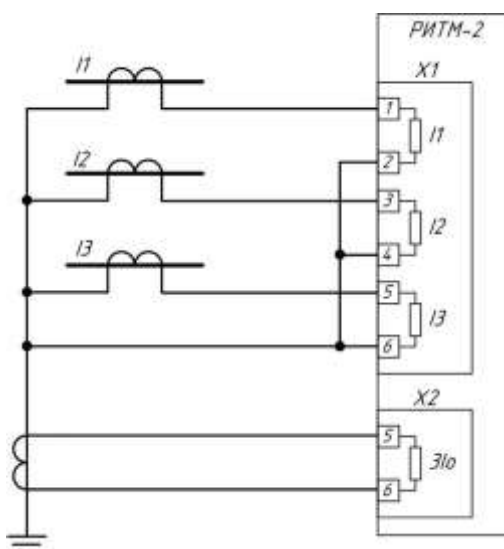


Рис. 4 Схема подключения датчика тока в цепи заземляющего проводника трансформатора тока

Примечание: При использовании функции контроля исправности токовых цепей из работы должна быть выведена функция ТЗНП, реагирующая на измеренное значение тока $3I_0$, поскольку трансформатор тока для измерения тока в заземляющем проводнике подключается к тем же аналоговым входам X2:5, X2:6 устройства РИТМ, что и ТТНП для измерения $3I_0$.

При выявлении одной из указанных выше неисправностей функция контроля исправности токовых цепей действует с выдержкой времени t_1 на сигнал. Рекомендуется принять значение выдержки времени t_1 равным 0,5 с.

Обрыв в трех фазах первичных цепей присоединения или вторичных цепей измерительных трансформаторов тока выявляется при одновременном выполнении двух условий:

1. Значения тока во всех трех фазах ниже 10% от номинального вторичного тока трансформатора тока присоединения.
2. На дискретный вход терминала не поступает сигнал от реле положения «отключено» выключателя присоединения.

При выявлении обрыва в трех фазах функция контроля исправности токовых цепей действует с выдержкой времени t_2 на сигнал. Рекомендуется принять значение выдержки времени t_2 равным 24 часа. В случае, когда ток нагрузки присоединения не превышает 10% от номинального значения вторичного тока трансформатора тока, опция выявления обрыва в трех фазах должна быть выведена пользователем. При этом остальные возможности функции контроля исправности токовых цепей останутся в работе.

10 Методика выбора уставок контроля цепей напряжения

Контроль цепей напряжения (КЦН) предназначен для обнаружения обрывов и замыканий в цепях напряжения, а также для блокирования функций устройства, связанных с цепями напряжения.

Для реализации алгоритма КЦН используется пусковой орган напряжения обратной последовательности, выявляющий несимметричные повреждения во вторичных цепях ТН. Для фиксации отключения всех трех фаз во вторичных цепях ТН автоматическим выключателем ТН алгоритм КЦН дополнен органом контроля положения автоматического выключателя ТН. Для этой цели на соответствующий вход устройства заводится замыкающий контакт автомата ТН. Применение замыкающего контакта автомата ТН необходимо для выявления неисправностей во вторичных цепях напряжения при разобранной схеме ТН.

Сигнал неисправности ТН формируется:

- без выдержки времени – при отключении автомата ТН;
- с выдержкой времени – при превышении напряжением обратной последовательности заданной уставки.

При обнаружении неисправности в цепях напряжения формируется соответствующий предупредительный сигнал, а также блокируются следующие алгоритмы устройства:

- РНМ МТЗ;
- пуск МТЗ по напряжению;
- РНМ ТЗНП;
- контроль снижения/повышения междуфазного напряжения.

Функция КЦН имеет следующие, задаваемые пользователем параметры:

Наименование параметра	Возможные значения	Единицы измерения	Примечания
КЦН	введен/выведен		
Напряжение срабатывания пускового органа КЦН	0,0 – 20,0 (дискретность 1В)	В	Задается в первичных величинах
Коэффициент возврата пускового органа КЦН	0,9 – 1		
Время срабатывания КЦН	0,000-300,000 (дискретность 1мс)	с	

Напряжение срабатывания пускового органа КЦН выбирается из условия отстройки от напряжения небаланса:

$$U_{\text{КЦН}} = 0,06 \cdot U_{\text{ном}},$$

где $U_{\text{ном}}$, В – номинальное напряжение присоединения.

Коэффициент возврата пускового органа КЦН рекомендуется принимать равным 0,95.

Для предотвращения излишнего действия при повреждениях в первичной цепи время срабатывания КЦН выбирается из условия отстройки от максимального времени действия защит вышестоящего элемента:

$$t_{\text{КЦН}} = t_{\text{с.з.мах}} + t_{\text{зап}},$$

где $t_{\text{с.з.мах}}$, с – максимальное время работы защиты вышестоящего элемента;

$t_{\text{зап}}$, с – время запаса, принимаемое равным 0,5 с.

11 Методика выбора уставок функции контроля электромагнитов включения и отключения выключателя

Функция предназначена для контроля исправности электромагнитов включения (ЭВ) и отключения (ЭО) выключателя или промежуточных реле, через которые устройство РИТМ Л действует на включение и отключение выключателя.

Работа функции основана на трех принципах контроля исправности электромагнита:

- контроль длительности переходного процесса при подаче напряжения на электромагнит;
- контроль сопротивления цепи электромагнита;
- контроль тока электромагнита при подаче напряжения.

Функция контроля электромагнитов включения и отключения выключателя имеет следующие параметры, задаваемые пользователем:

Наименование параметра	Возможные значения	Единицы измерения	Примечания
Контроль тока ЭО, ЭВ	введен/выведен		
Экспериментальный замер параметров	измерить/произведен		Экспериментальный замер параметров - это операция включения и отключения выключателя, при которой замеряются параметры, необходимые для работы функции контроля ЭО и ЭВ.
Контроль тока ЭО	введен/выведен		
Ток ЭО, А	0,1-100 А, шаг 1 мА		Уставка органа контроля тока ЭО при подаче напряжения
Контроль тока ЭВ	введен/выведен		
Ток ЭВ, А	0,1-100 А, шаг 1 мА		Уставка органа контроля тока ЭВ при подаче напряжения

11.1 Функция контроля длительности переходного процесса при подаче напряжения

Принцип работы функции основан на выявлении увеличения длительности переходного процесса при подаче напряжения на электромагнит или обмотку выходного промежуточного реле при выдаче устройством РИТМ Л команды на отключение/включение выключателя. Увеличение тока может быть вызвано явлением взаимоиנדукции при витковом замыкании в ЭО (ЭВ) или обмотке промежуточного реле.

Для работы функции при наладке устройства РИТМ Л выполняется экспериментальный замер длительности переходного процесса в выходных цепях. При последующих коммутациях длительности переходных процессов автоматически измеряются устройством РИТМ Л и сравниваются с эталонными значениями, измеренными при наладке. В случае, если измеренное время коммутационного переходного процесса превышает эталонное более чем на 5%, функция действует без выдержки времени на сигнал о неисправности электромагнита/промежуточного реле.

11.2 Функция контроля сопротивления цепи электромагнита/ выходного промежуточного реле

Принцип работы функции основан на выявлении изменения расчетных значений сопротивлений в цепях ЭО (ЭВ) или промежуточных реле, через которые устройство РИТМ Л действует на отключение/включение выключателя:

- снижение сопротивления указывает на замыкание в выходных цепях;
- увеличение сопротивления указывает на возможное ухудшение контакта в выходных цепях.

Для работы функции при наладке устройства РИТМ Л выполняется экспериментальный замер токов и напряжений выходных цепях с последующим автоматическим расчетом эталонных значений сопротивлений в цепях ЭО (ЭВ) или выходного промежуточных реле. При последующих коммутациях значения сопротивлений автоматически рассчитываются устройством РИТМ Л и сравниваются с эталонными значениями, рассчитанными при наладке:

- если рассчитанное сопротивление цепи составляет менее 80% от эталонного значения, функция действует без выдержки времени на сигнал о неисправности электромагнита/ выходного промежуточного реле;
- если рассчитанное сопротивление цепи составляет более 120% от эталонного значения, функция действует без выдержки времени на сигнал об увеличении сопротивления цепи электромагнита/ выходного промежуточного реле.

Примечание: Используемые в п.п. 1 и 2 эталонные замеры сохраняются и используются постоянно. При проведении ремонта или внесении изменений в схемы требуется провести повторный экспериментальный замер параметров для актуализации эталонных значений, соответствующих исправному состоянию ЭО (ЭВ) или выходных промежуточных реле.

11.3 Функция контроля тока электромагнита при подаче напряжения

Принцип работы функции основан на увеличении тока в цепи ЭО (ЭВ) выше заданного значения уставки при подаче напряжения, что может указывать на замыкание в выходной цепи.

При действии выходных контактов устройства РИТМ Л непосредственно на ЭО (ЭВ) выключателя уставки срабатывания органа контроля тока ЭО ($I_{уст.,ЭО}$) и ЭВ ($I_{уст.,ЭВ}$) определяются по условию отстройки от номинального тока потребления электромагнита:

$$I_{уст.,ЭО} = K_{отс} \cdot I_{ЭО, ном.};$$

$$I_{уст.,ЭВ} = K_{отс} \cdot I_{ЭВ, ном.};$$

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

$I_{ЭО, ном.}$, $I_{ЭВ, ном.}$, A – номинальный ток потребления ЭО и ЭВ.

При действии выходных контактов устройства РИТМ Л на ЭО (ЭВ) выключателя через выходные промежуточные реле функцию контроля тока при подаче напряжения рекомендуется вывести из работы соответствующей уставкой, поскольку в большинстве случаев ток в обмотке промежуточного реле имеет значение меньшее, чем минимально возможный ток уставки органа контроля тока при подаче напряжения.

12 Методика выбора уставок функции учета остаточной отключающей способности выключателя

Функция предназначена для расчета остаточной отключающей способности выключателя и действует на сигнал о необходимости проведения технического обслуживания выключателя.

После каждого отключения выключателя функция выдает следующие расчетные значения:

- остаток ресурса каждого из полюсов выключателя, в процентах;
- общее количество отключений каждого из полюсов;
- оставшееся до проведения технического обслуживания выключателя количество отключений.

Работа функции основана на характеристике остаточного коммутационного ресурса выключателя. Характеристика представляет собой зависимость количества отключений выключателя, допустимого без его осмотра и ремонта, от фиксируемого в момент отключения тока. Указанная характеристика задается независимо для каждого полюса выключателя одним из двух способов:

- 1) Ввод характеристики вручную по 10 точкам.
- 2) Выбор типовой характеристики (только для элегазовых и вакуумных выключателей).

При выборе режима ручного ввода характеристики остаточного коммутационного ресурса пользователем должны быть заданы следующие параметры:

Наименование параметра	Возможные значения	Единицы измерения	Примечания
Ресурс выключателя	введен/выведен		Для использования режима ручного ввода характеристики должно быть выбрано «введен»
Выбор характеристики	ручной/типовой		Для использования режима ручного ввода характеристики должно быть выбрано «ручной»
Ток отключения I и предельное значение количества отключений n : $(I_1; n_1);$ $(I_2; n_2);$... $(I_{10}; n_{10})$	I : $(0,01 - 63)I_{ном}$ n : $(1 - 10000)$, шаг 1	кА -	

При использовании режима ручного ввода характеристики остаточного коммутационного ресурса для каждого полюса выключателя необходимо задать десять пар значений: ток I_i , кА и предельное значение количества отключений n_i при таком значении тока:

$$(I_1; n_1), (I_2; n_2), \dots, (I_{10}; n_{10}).$$

Характеристика $n(I)$ формируется по принципу: чем больше фиксируемый ток, тем меньше предельное количество отключений. Ток I_1 соответствует наименьшему значению тока на характеристике, ток I_{10} – наибольшему значению тока, при этом значение тока I_{10} должно быть меньше или равно номинального тока отключения выключателя $I_{0,ном}$.

При выборе режима использования типовой характеристики остаточного коммутационного ресурса пользователем должны быть заданы следующие параметры:

Наименование параметра	Возможные значения	Единицы измерения	Примечания
Ресурс выключателя	введен/		Для использования типовой

Наименование параметра	Возможные значения	Единицы измерения	Примечания
	выведен		характеристики должно быть выбрано «введен»
Выбор характеристики	ручной/ типовой		Для использования типовой характеристики должно быть выбрано «типовой»
Тип выключателя	элегазовый/ вакуумный		Выбор типа выключателя
Номинальный ток выключателя	$(0,01 - 63)I_{ном}$	кА	
Номинальный ток отключения выключателя	$(0,01 - 63)I_{ном}$	кА	

Характеристика остаточного коммутационного ресурса выключателя строится автоматически по трем точкам в соответствии с ГОСТ Р 52565-2006:

$$(I_{ном}; 10000), (0,6 \cdot I_{о.ном}; 1,7 \cdot n_{о.ном}), (I_{о.ном}; n_{о.ном}),$$

где $I_{ном}$, кА - номинальный ток выключателя;

$I_{о.ном}$, кА - номинальный ток отключения выключателя;

$n_{о.ном}$ - предельное количество отключений при номинальном токе отключения выключателя.

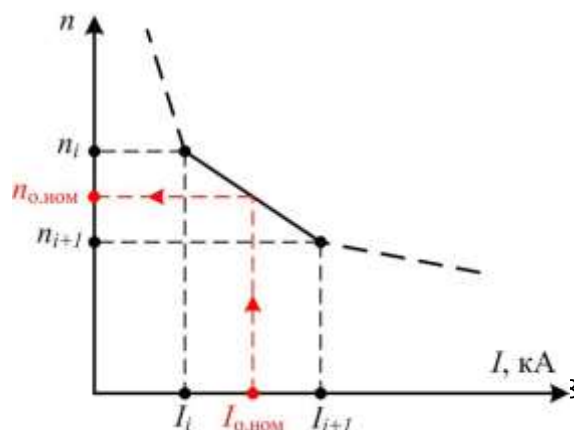
Значение предельного количества отключений при номинальном токе выключателя определяется его механическим ресурсом и принимается равным 10000. Значение $n_{о.ном}$ определяется по таблице допускаемого числа отключений при токах $I_{о.ном}$, приведенной в ГОСТ Р 52565-2006:

Виды выключателей	Допускаемое число отключений при токах $I_{о., ном}$, кА			
	до 31,5 включ.	40	50	63
Газовые	20	15	12	8
Вакуумные	25	20	18	10

Для значений $I_{о.ном}$, отличных от приведенных в таблице, значение $n_{о.ном}$ определяется методом линейной интерполяции по выражению (1):

$$n_{о.ном} = n_{i+1} + \frac{(I_{i+1} - I_{о.ном})}{(I_{i+1} - I_i)} \cdot (n_i - n_{i+1}), \quad (1)$$

где I_i, I_{i+1} – номинальные токи отключения выключателя в соответствии с приведенной выше по таблице 3;



n_i, n_{i+1} – предельные значения предельное количества отключений при номинальных токах отключения выключателя I_i, I_{i+1} .

Расчет осуществляется следующим образом:

1. Расчет остатка ресурса каждого из полюсов выключателя

Для зафиксированного при отключении выключателя значения тока $I_{\text{откл}}$ по характеристике остаточного коммутационного ресурса выключателя $n(I)$ методом линейной интерполяции по выражению, аналогичному (1), определяется предельное количество отключений $n_{\text{откл}}$. Расход коммутационного ресурса за одно отключение рассчитывается как величина, обратная предельному количеству отключений при зафиксированном токе, т.е. $1/n_{\text{откл}}$. Суммарный остаток ресурса каждого из полюсов выключателя определяется по выражению:

$$\left(1 - \sum_{k=1}^n \frac{1}{n_{\text{откл},k}}\right) \cdot 100\%,$$

Если зафиксированный ток $I_{\text{откл}}$ меньше наименьшего заданного в характеристике $n(I)$ тока $I_{\text{мин}}$ (крайняя левая точка на характеристике), предельное количество отключений $n_{\text{откл}}$ рассчитывается по току $I_{\text{мин}}$. При использовании ручного ввода характеристики ток $I_{\text{мин}}$ равен току в первой заданной пользователем точке (I_1), при использовании типовых характеристик $I_{\text{мин}}$ равен номинальному току выключателя $I_{\text{ном}}$.

Если зафиксированный ток $I_{\text{откл}}$ больше наибольшего заданного в характеристике $n(I)$ тока $I_{\text{макс}}$ (крайняя правая точка на характеристике), предельное количество отключений $n_{\text{откл}}$ рассчитывается методом линейной интерполяции по двум последним точкам справа в характеристике $n(I)$. При использовании ручного ввода характеристики интерполяция осуществляется по точкам $(I_9; n_9)$, $(I_{10}; n_{10})$, при использовании типовых характеристик интерполяция осуществляется по точкам $(0,6 \cdot I_{\text{о.ном}}; 1,7 \cdot n_{\text{о.ном}})$, $(I_{\text{о.ном}}; n_{\text{о.ном}})$.

2. Расчет общего количества отключений каждого из полюсов выключателя

Отключение полюса фиксируется при поступлении на дискретный вход устройства РИТМ Л сигнала с реле положения «отключено» (РПО) выключателя. При каждом поступлении сигнала с РПО общее количество отключений увеличивается на 1. Отображаемое значение общего количества отключений может иметь значение от 0 до 30000.

3. Расчет оставшегося до проведения технического обслуживания выключателя количества отключений $n_{\text{ост}}$ при наибольшем заданном в характеристике токе отключения $I_{\text{макс}}$ осуществляется для каждого полюса по выражению:

$$n_{\text{ост}} = n_{\text{пред.}} - n_{\text{пред.}} \cdot \left(1 - \sum_{k=1}^n \frac{1}{n_{\text{откл.},k}} \right),$$

где $n_{\text{пред.}}$ – предельное количество отключений при максимальном заданном в характеристике $n(I)$ значении тока выключателя $I_{\text{макс}}$;

$\left(1 - \sum_{k=1}^n \frac{1}{n_{\text{откл.},k}} \right)$ – суммарный остаток ресурса полюса выключателя.

При использовании ручного ввода характеристики $n_{\text{пред.}}$ равно предельному количеству отключений в десятой заданной пользователем точке (n_{10}), при использовании типовых характеристик $n_{\text{пред.}}$ равно предельному количеству отключений при номинальном токе отключения выключателя ($n_{\text{о.ном}}$).

Рассчитанное значение автоматически $n_{\text{ост}}$ округляется в меньшую сторону.

Функция учета остаточной отключающей способности выключателя действует на сигнал о необходимости проведения технического обслуживания выключателя при выполнении одного из двух условий:

1) После выполнения отключения выключателя суммарный расход ресурса полюса выключателя превысил значение, достаточное для следующего отключения выключателя с наибольшим заданным в характеристике $n(I)$ током $I_{\text{макс}}$ (крайняя правая точка на характеристике), т.е. выполняется условие:

$$\sum_{k=1}^n \frac{1}{n_{\text{откл.},k}} > \left(1 - \frac{1}{n_{\text{пред.}}} \right),$$

где $\sum_{k=1}^n \frac{1}{n_{\text{откл.},k}}$ – суммарный расход ресурса полюса выключателя

$n_{\text{пред.}}$ – предельное количество отключений при максимальном заданном в характеристике $n(I)$ значении тока выключателя $I_{\text{макс}}$.

При использовании ручного ввода характеристики $n_{\text{пред.}}$ равно предельному количеству отключений в десятой заданной пользователем точке (n_{10}), при использовании типовых характеристик $n_{\text{пред.}}$ равно предельному количеству отключений при номинальном токе отключения выключателя ($n_{\text{о.ном}}$).

2) При отключении выключателя в одном или нескольких полюсах был зафиксирован ток выше наибольшего заданного в характеристике $n(I)$ тока $I_{\text{макс}}$ (крайняя правая точка на характеристике).

13 Методика расчета уставок для функции контроля времени включения и отключения выключателя

Функция предназначена для контроля времени включения и отключения выключателя. Принцип работы функции основан на измерении времени коммутации выключателя и сравнении его с заданной уставкой. В случае, когда измеренное значение превышает заданную уставку, устройство РИТМ действует на сигнал. При необходимости функция может быть выведена из работы соответствующей уставкой.

Время включения (отключения) выключателя измеряется как разность между моментом поступления команды на включение (отключение) выключателя до момента исчезновения на дискретном входе устройства РИТМ Л сигнала реле положения «отключено» (реле положения «включено»).

Уставки времени отключения и включения выключателя, с которым сравниваются измеренные значения времени коммутации, могут задаваться одним из следующих способов:

- ввод уставок вручную;
- экспериментальное определение уставок.

При вводе уставок вручную функция контроля времени включения и отключения выключателя имеет следующие параметры, задаваемые пользователем:

Наименование параметра	Возможные значения	Единицы измерения	Примечания
Контроль времени вкл/откл выключателя	введен/выведен		При вводе уставок вручную должно быть выбрано «введен»
Способ ввода уставок времени	вручную/ экспериментально		При вводе уставок вручную должно быть выбрано «вручную»
Время включения	(0-1000) мс, шаг 1 мс	мс	
Время отключения	(0-1000) мс, шаг 1 мс	мс	

Уставки времени включения и отключения выключателя задаются равными паспортным значениям собственного времени включения $t_{c.ВКЛ}$ и отключения $t_{c.ОТКЛ}$ выключателя с коэффициентом запаса $K_{зап}$:

$$t_{уст.ВКЛ} = K_{зап} \cdot t_{c.ВКЛ};$$

$$t_{уст.ОТКЛ} = K_{зап} \cdot t_{c.ОТКЛ}.$$

Коэффициент запаса $K_{зап}$ рекомендуется принять равным (1,2 ÷ 1,4).

При экспериментальном определении уставок функция контроля времени включения и отключения выключателя имеет следующие параметры, задаваемые пользователем:

Наименование параметра	Возможные значения	Единицы измерения	Примечания
Контроль времени вкл/откл выключателя	введен/выведен		При экспериментальном определении уставок должно

			быть выбрано «введен»
Способ ввода уставок времени	вручную/ экспериментально		При экспериментальном определении уставок должно быть выбрано «экспериментально»
Экспериментальный замер параметров выключателя	измерить/произведен		Если экспериментальный замер параметров был выполнен ранее при задании уставок функции контроля электромагнитов включения и отключения выключателя, должно быть выбрано «произведен»

При выборе в поле «Экспериментальный замер параметров выключателя» значения «измерить», устройство РИТМ Л запускает автоматический режим экспериментального определения времени включения и отключения выключателя, в ходе которого выполняются последовательно две коммутации:

- Если при запуске замера выключатель был отключен, то через 10 секунд после запуска замера устройство РИТМ Л выдаст команду на включение выключателя. Через 10 секунд после включения выключателя устройство РИТМ Л выдаст команду на отключение выключателя.
- Если при запуске замера выключатель был включен, то аналогично будет произведено отключение и последующее включение выключателя.

Текущее положение выключателя определяется по сигналам положения выключателей (реле положения «включено» и реле положения «отключено») на дискретных входах устройства РИТМ Л.

В ходе эксперимента устройство РИТМ Л автоматически измеряет фактическое время включения и отключения выключателя, после чего эти значения, взятые с коэффициентом запаса $K_{\text{зап}} = 1,3$, автоматически задаются в качестве уставок функции контроля времени включения и отключения выключателя.

14 Методика выбора уставок автоматического повторного включения

Автоматическое повторное включение (АПВ) выключателя фидера предназначено для автоматического восстановления питания потребителей, подключенных к данному фидеру, при его отключении устройствами релейной защиты и ликвидации неустойчивого КЗ. Согласно действующей нормативной документации, применение АПВ должно быть предусмотрено на воздушных и смешанных (кабельно-воздушных) линиях всех типов напряжением выше 1 кВ. На кабельных линиях 35 кВ и ниже АПВ рекомендуется применять в случаях, когда оно может

быть эффективным в связи со значительной вероятностью повреждений с образованием открытой дуги (например, наличие нескольких промежуточных сборок, питание по одной линии нескольких подстанций).

Пуск АПВ происходит по факту несоответствия последней команды на включение выключателя и отключенного положения выключателя. Для исключения действия АПВ после включения на КЗ и обеспечения однократности АПВ предусматривается время готовности АПВ. Таким образом, действие АПВ возможно только в том случае, если выключатель был во включенном положении определенное время. Предусматривается блокировка АПВ:

- при оперативном отключении выключателя;
- при неготовности выключателя к циклу АПВ.

Контроль готовности выключателя к циклу АПВ осуществляется по внешнему сигналу, сигнализирующему о заведенных пружинах привода, нормальном давлении элегаза и т.д.

Функция АВП имеет следующие, задаваемые пользователем параметры:

Наименование параметра	Возможные значения	Единицы измерения	Примечания
АПВ	введена/выведена		
Время готовности АПВ	(0 – 300) с, шаг 1 мс	с	
Время срабатывания АПВ	(0,3 – 300) с, шаг 1 мс	с	

Параметр «АПВ» обеспечивает ввод функции в работу и вывод функции из работы. При выводе функции из работы не происходит действие функции на выходные реле и сигнализацию.

Время готовности АПВ $t_{\text{гот}}$ выбирается из условия отстройки от времени отключения выключателя при работе защит для исключения многократного включения на КЗ:

$$t_{\text{гот}} \geq t_{\text{с.з.мах}} + t_{\text{зап}},$$

где $t_{\text{с.з.мах}}$, с – максимальное время срабатывания защит присоединения;

$t_{\text{зап}}$, с – время запаса, принимается равным 0,5 секунды.

Кроме того, для выключателей с пружинными приводами необходимо проверять следующее условие:

$$t_{\text{гот}} \geq t_{\text{пруж}} + t_{\text{зап}},$$

где $t_{\text{пруж}}$, с – время завода пружин привода;

$t_{\text{зап}}$, с – время запаса, принимается равным 2 секунды.

Время срабатывания АПВ $t_{\text{с.АПВ}}$ выбирается из условия обеспечения достаточной деионизации воздушного промежутка в месте КЗ и восстановления его электрической прочности:

$$t_{с.АПВ} \geq t_d + t_{зап},$$

где t_d , с – максимальное время деионизации среды в месте КЗ. Для сетей напряжением 6-35 кВ принимается равным 0,2 секунды, для сетей напряжением выше 35 кВ – 0,4 секунды;

$t_{зап}$, с – время запаса, принимается равным 0,5 секунды.

15 Методика выбора уставок автоматики управления выключателем

Автоматика управления выключателем (АУВ) предназначена для организации управления выключателем, контроля его состояния, формирования соответствующей сигнализации. Алгоритм позволяет управлять выключателем с трехфазным приводом с двумя электромагнитами отключения.

АУВ обеспечивает включение выключателя по командам от следующих источников:

- Интерфейс человек-машина (ИЧМ) терминала;
- Вышестоящая система управления технологическим процессом;
- Внешняя команда, передаваемая по дискретному входу;
- Внутренний алгоритм АПВ.

АУВ обеспечивает отключение выключателя по командам от следующих источников:

- ИЧМ терминала;
- Вышестоящая система управления технологическим процессом;
- Внешняя команда, передаваемая по дискретному входу;
- Внутренние функции релейной защиты;
- Внешние устройства релейной защиты, воздействующие на соответствующие дискретные входы.

При управлении выключателем с ИЧМ терминала может вводиться задержка на выполнение команды. Это необходимо, чтобы оперативный персонал мог покинуть опасную зону до начала коммутации выключателя. Минимальная задержка для операции включения, так как она связана с подачей напряжения на обесточенный участок электроустановки, составляет 5 секунд, для операции отключения – 0 секунд.

Команды на включение и отключение выключателя подаются кратковременно. Время выдачи команды – 0,15 секунды, что достаточно для управления исправным выключателем. При отказе выключателя выходные реле терминала с повышенной коммутационной способностью обеспечивают разрыв тока электромагнитов включения и отключения.

В соответствии с ГОСТ Р 52565–2006 в АУВ реализована блокировка включения выключателя для соответствия нормированным коммутационным циклам:

$O - T_{\text{АПВ}} - \text{ВО} - 20 \text{ с} - \text{ВО} - 180 \text{ с};$

$\text{ВО} - 20 \text{ с} - \text{ВО} - 180 \text{ с}.$

При введенной в работу функции АПВ в терминале осуществляется блокировка включения выключателя после 6 циклов успешного АПВ в течении 1 часа. Таким образом, предотвращается преждевременный износ выключателя при наличии неустойчивого повреждения в сети. Блокировка включения снимается оперативным персоналом.

В АУВ реализована блокировка от многократных включений выключателя на КЗ при наличии постоянно поданной команды на включение. Принцип работы блокировки основан на блокировании команды включения по факту наличия одновременно команды включения и отключения выключателя. Возврат блокировки возможен только после снятия команды на включение. Команда на отключение выключателя может определяться по факту протекания тока через электромагнит отключения или наличия соответствующего логического сигнала. Выбор осуществляется уставкой.

При использовании элегазового выключателя по сигналу «Элегаз вытек» блокируется управление выключателем. При наличии сигнала «Снижение давления элегаза» блокируется включение выключателя.

Сигнализация аварийного отключения выключателя осуществляется при несоответствии последней команды на включение выключателя и его отключенного положения.

АУВ контролирует следующие неисправности:

- Обрыв или замыкание цепей электромагнитов включения или отключения. Сигнализация срабатывает при одновременном наличии или отсутствии сигналов РПО и РПВ;
- Длительное наличие команд на включение или отключение выключателя;
- Снижение напряжения питания электромагнита включения ниже 85%. При использовании выключателя с пружинным приводом, имеющего питание завода пружин от переменного тока, для исключения ложной сигнализации необходимо подключить вход, контролирующий напряжение питания, к цепям питания терминала;
- Контроль понижения давления элегаза в элегазовом выключателе;
- Контроль наличия элегаза в элегазовом выключателе.

Сигналы неисправности формируются с выдержкой времени, задаваемой уставкой.

Функция АУВ имеет следующие, задаваемые пользователем параметры:

Наименование параметра	Возможные значения	Единицы измерения	Примечания
Выдержка времени формирования сигнала «Неисправность цепей	(0 – 30) с, шаг 1 с	с.	

управления»			
Выдержка времени на включение от ИЧМ	(5 – 30) с, шаг 1 с	с.	
Выдержка времени на отключение от ИЧМ	(0 – 30) с, шаг 1 с	с.	
Режим работы блокировки от многократных включений	логический/ токовый		
Блокировка АПВ после 6 аварийных отключений в течении часа.	Введена/выведена		

Выдержка времени формирования сигнала «Неисправность цепей управления» выбирается по условию исключения ложной сигнализации при нормальной работе привода выключателя.

Для выключателей с электромагнитными приводами рекомендуется принимать данную выдержку времени равной 10 секундам.

Для выключателей с пружинными приводами необходимо проверять следующее условие:

$$t_{\text{сиг}} \geq t_{\text{пруж}} + t_{\text{зап}},$$

где $t_{\text{пруж}}$ – время завода пружин привода;

$t_{\text{зап}}$ – время запаса, принимается равным 2 секунды.

Выдержку времени на включение от ИЧМ рекомендуется выбирать максимально возможной и равной 30 секундам.

Выдержку времени на отключение от ИЧМ рекомендуется выбирать минимально возможной и равной 0.

В общем случае рекомендуется выбирать токовый режим работы блокировки. Этот режим обязателен в том случае, если есть устройства РЗА, которые воздействуют непосредственно на катушку отключения, минуя терминал. Режим работы блокировки от многократных включений рекомендуется выбирать логический тогда, когда отсутствует возможность контроля тока электромагнита отключения, либо ток его слишком мал для надежного контроля.

Блокировка АПВ после 6 аварийных отключений в течении часа вводится в работу при использовании функции АПВ.

16 Методика выбора уставок автоматической частотной разгрузки

Автоматическая частотная разгрузка (АЧР) в составе устройства РИТМ Л предназначена для отключения защищаемого фидера по факту снижения частоты при дефиците активной мощности в системе.

В устройстве РИТМ Л предусмотрена одна очередь АЧР, действующая на отключение выключателя защищаемого фидера с запретом АПВ выключателя, с возможностью последующего частотного автоматического повторного включения (ЧАПВ).

В АЧР реализованы две ступени (АЧР-I и АЧР-II), АЧР по скорости изменения частоты (df/dt) и ЧАПВ.

АЧР-I представляет собой быстродействующую АЧР, срабатывающую при глубоком снижении частоты. АЧР-II представляет собой медленную АЧР, которая действует при медленном снижении частоты.

По выбору пользователя действие АЧР-I и АЧР-II может блокироваться:

- при наличии внешнего блокирующего сигнала;
- при снижении напряжения ниже заданного значения;
- при увеличении скорости снижения частоты df/dt выше заданного значения;
- при увеличении скорости снижения напряжения dU/dt выше заданного значения.

Блокировки по скорости изменения частоты df/dt и напряжения dU/dt рекомендуется вводить для определения режима отключения питания, сопровождающегося снижением частоты и медленным затуханием напряжения при выбеге электродвигателя.

АЧР по скорости изменения частоты может быть использована в случаях, когда скорость изменения частоты является более информативным критерием, чем абсолютное значение пониженной частоты. По выбору пользователя действие АЧР по скорости изменения частоты может блокироваться:

- при наличии внешнего блокирующего сигнала;
- при снижении напряжения ниже заданного значения;
- при увеличении скорости снижения напряжения dU/dt выше заданного значения.

ЧАПВ предназначено для восстановления питания отключенного действием АЧР фидера при подъеме частоты. В устройстве РИТМ Л ЧАПВ выполняет действие на включение выключателя фидера, ранее отключенного от АЧР, и возврат ступени АЧР из сработанного состояния в состояние готовности к повторному срабатыванию. ЧАПВ должно срабатывать (вводится в работу) только после срабатывания АЧР и выполняется однократным. По выбору пользователя действие ЧАПВ может блокироваться при снижении напряжения ниже заданного значения.

Для АЧР и ЧАПВ реализована автоматическая блокировка работы при выходе значения измеряемого напряжения, по которому осуществляется расчет частоты, из диапазона (0,03 ÷ 260) В, а также блокировка при выявлении неисправности цепей напряжения.

В случае длительного нахождения частоты сети в пределах между значениями частот срабатывания АЧР и ЧАПВ предусмотрена возможность ручного возврата функции в состояние готовности срабатывания. Также предусмотрен автоматический возврат при нахождении АЧР в сработанном состоянии и включении выключателя не от ЧАПВ.

АЧР и ЧАПВ имеют следующие параметры, задаваемые пользователем:

Наименование параметра	Возможные значения	Единицы измерения	Примечания
АЧР-I	введена/выведена		
Частота срабатывания АЧР-I	(5-54) Гц, шаг 0,05 Гц	Гц	
Частота возврата АЧР-I	(6-55) Гц, шаг 0,05 Гц	Гц	
Выдержка времени АЧР-I	(0 – 300) с, шаг 1 мс	с	
Частота срабатывания АЧР-II	(5-54) Гц, шаг 0,05 Гц	Гц	
Частота возврата АЧР-II	(6-55) Гц, шаг 0,05 Гц	Гц	
Выдержка времени АЧР-II	(0 – 300) с, шаг 1 мс	с	
Защита по скорости снижения частоты (df/dt)	введена/выведена		
Уставка срабатывания df/dt	(-1 ÷ -5) Гц/с, шаг 0,1 Гц/с	Гц/с	
Выдержка времени df/dt	(0 – 300) с, шаг 1 мс	с	
Коэффициент возврата по df/dt	1,1-2,0		
Блокировка АЧР по величине фазного напряжения	введена/выведена		
Выдержка времени на возврат блокировки по снижению напряжения	(0 – 300) с, шаг 1 мс	с	
Напряжение срабатывания блокировки по снижению напряжения	(0,0-1,2)U _{ном}	В	Уставка задается в первичных величинах
Коэффициент возврата блокировки по снижению напряжения	1,1-2,0		
Блокировка по скорости снижения напряжения	введена/выведена		
Выдержка времени на возврат блокировки по скорости снижения	(0 – 300) с, шаг 1 мс	с	

Наименование параметра	Возможные значения	Единицы измерения	Примечания
напряжения			
Блокировка по скорости снижения напряжения	10-1000	В/с	
Уставка коэффициента возврата блокировки по скорости снижения напряжения	1,1-2,0		
Блокировка по скорости снижения частоты	введена/выведена		
Выдержка времени на возврат блокировки по скорости снижения частоты	(0 – 300) с, шаг 1 мс	с	
Уставка срабатывания блокировки при большой скорости снижения частоты	(-3 ÷ -15) Гц/с, шаг 0,1 Гц/с	Гц/с	
Коэффициент возврата блокировки по скорости снижения частоты	1,1-2,0		
Выдержка времени на возврат внешнего блокирующего сигнала по скорости снижения частоты	(0 – 300) с, шаг 1 мс	с	
ЧАПВ	введено/выведено		
Частота срабатывания ЧАПВ	(5-55) Гц, шаг 0,05 Гц	Гц	
Частота возврата ЧАПВ	(5-55) Гц, шаг 0,05 Гц	Гц	
Выдержка времени ЧАПВ	(0 – 300) с, шаг 1 мс	с	
Блокировка ЧАПВ при снижении фазного напряжения	введена/выведена		
Напряжение блокировки ЧАПВ	(0,1-1,0) $U_{ном}$	В	Уставка задается в первичных величинах
Автоматический возврат готовности ЧАПВ	введен/выведен		
Время восстановления готовности ЧАПВ	(0 – 300) с, шаг 1 мс	с	
Однократное ЧАПВ	введено/выведено		

Выбор уставок АЧР и ЧАПВ, состава используемых блокировок и их параметров в каждом конкретном случае должен определяться схемой электрической сети, расчетом электрических режимов, технологическими особенностями защищаемого оборудования и не противоречить нормативным требованиям, изложенным в СТО 59012820.29.240.011-2010.

17 Методика выбора уставок функции определения места повреждения

Функция определения мест повреждения (ОМП) предназначена для определения расстояния до места короткого замыкания на защищаемой воздушной, кабельной и смешанной (кабельно-воздушной) линии.

Функция ОМП в терминале РИТМ Л может быть использована в сети с изолированной или заземленной нейтралью. Функция позволяет корректно определять расстояние до места КЗ при следующих условиях:

- КЗ должно быть междуфазным – двухфазным $K^{(2)}_{AB}, K^{(2)}_{BC}, K^{(2)}_{CA}$ или трехфазным $K^{(3)}$;
- КЗ должно быть металлическим – переходное сопротивление в месте КЗ должно равняться нулю. При наличии переходного сопротивления используемые алгоритмы не обеспечивают корректных вычислений.

При фиксации возникновения междуфазного КЗ функция ОМП автоматически определяет его тип, после чего по соотношению, определяемому типом КЗ, рассчитывает и выводит на дисплей устройства расстояние от начала линии до места КЗ. При необходимости функция ОМП может быть выведена из работы соответствующей уставкой

Функция ОМП имеет следующие параметры, задаваемые пользователем:

Наименование параметра	Возможные значения	Единицы измерения	Примечания
ОМП	введено/выведено		
L_1, L_2, \dots, L_{15}	?	км	Длина участка линии (с 1-ого по 15-ый)
$x_{уд1,1}, x_{уд1,2}, \dots, x_{уд1,15}$?	Ом	Удельное индуктивное сопротивление прямой последовательности участка линии (с 1-ого по 15-ый)

Параметр «ОМП» обеспечивает ввод функции в работу и вывод функции из работы. При выводе функции из работы не осуществляется расчет расстояния от начала линии до места КЗ.

Для учета возможной неоднородности линии она может быть предоставлена в алгоритме в виде последовательно соединенных участков линии в количестве 1 до 15, при этом для каждого из участков задаются длина L_1, \dots, L_{15} и удельное индуктивное сопротивление прямой последовательности $x_{уд1,1} \dots x_{уд1,15}$. Значения $x_{уд1,1} \dots x_{уд1,15}$ задаются производителем для каждого типа проводников или могут быть взяты из справочной литературы.

При наличии нескольких участков с различными удельными сопротивлениями функция ОМП автоматически пересчитывает длины участков, приводя к общему удельному сопротивлению $x_{уд1}$. По умолчанию $x_{уд1}$ принимается равным наименьшему из удельных

сопротивлений $x_{уд1,1}, \dots, x_{уд1,15}$. Далее расстояние до места КЗ L' рассчитывается по следующим соотношениям, приведенным в таблице:

- Для трехфазного КЗ:

$$L' = \frac{K_T}{x_{1уд}} \cdot \frac{U}{I} \cdot \sin \varphi \text{ [км]}$$

- Для двухфазного КЗ:

$$L' = \frac{K_T}{2 \cdot x_{1уд}} \cdot \frac{U}{I} \cdot \sin \varphi \text{ [км]}$$

где $K_T = K_{ТН}/K_{ТТ}$ – коэффициент, определяемый как отношение коэффициентов трансформации измерительных трансформатора напряжения и трансформатора тока;

$x_{уд1}$, Ом – общее удельное индуктивное сопротивление прямой последовательности, к которому перед вычислением были приведены все участки линии;

U (В), I (А) – измеренные значения тока и напряжения. Для двухфазного КЗ принимаются ток и напряжение в неповрежденной фазе, для трехфазного КЗ – по умолчанию ток и напряжение фазы А;

φ , эл. град. – угол между используемыми в расчете векторами напряжения U и тока I .

После вычисления расстояния L' алгоритм ОМП пересчитывает полученное значение с учетом реальных длин и удельных сопротивлений участков линии. В результате пересчета на дисплей РИТМ Л выводится сообщение с указанием расстояния от начала линии до места КЗ.