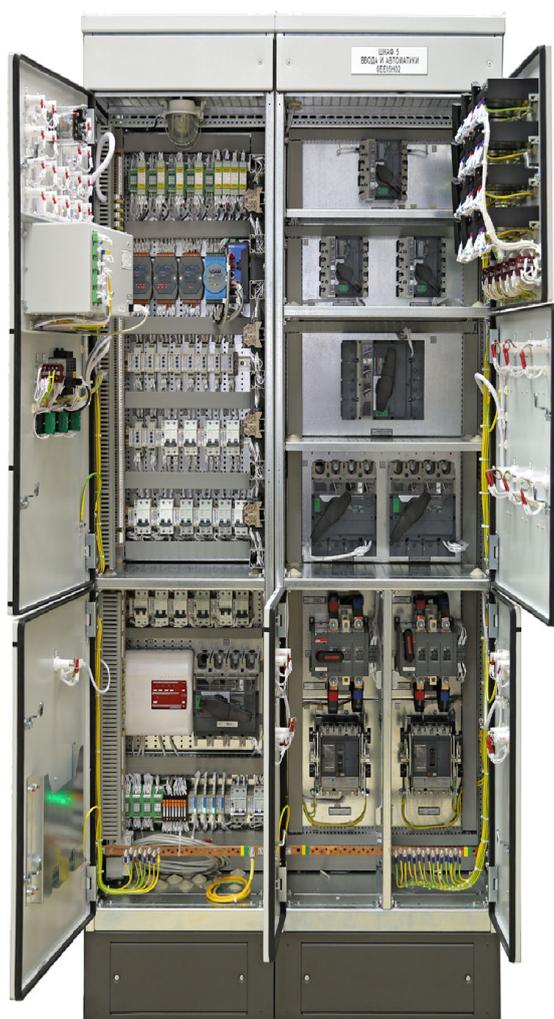


РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА ТРАНСФОРМАТОРА



[Введение](#)

[Защита трансформатора](#)

[Газовая защита](#)

[Защита от замыкания на землю](#)

[Расчёт токов коротких замыканий для цепей релейной защиты.](#)

[Дифференциальная токовая защита трансформаторов](#)

[Защита от перегрузок на шинах 10 кВ.](#)

[Защита от однофазных КЗ на стороне ВН](#)

Введение.

Системы электроснабжения – это сложный производственный комплекс, все элементы которого участвуют в одном производственном процессе, основными особенностями которого являются быстротечность явлений и неизбежность повреждений аварийного характера – коротких замыканий в электрических установках.

Для предотвращения развития аварий необходимо правильно спроектировать и организовать работу релейной защиты.

В ряде случаев повреждение должно быть ликвидировано в доли секунд. Определение поврежденного элемента и воздействие на отключение соответствующих выключателей – вот задача релейной защиты. Короткое замыкание сопровождается изменением тока, напряжения, частоты - все эти параметры могут быть использованы для сигналов на отключение релейной защите.



Защита трансформатора

Для трансформаторов $U_n=110$ кВ с глухозаземленной нейтралью должны быть предусмотрены устройства релейной защиты от следующих видов повреждений и ненормальных режимов работы:

1. Многофазные замыкания в обмотках и на выводах.
 2. Однофазные замыкания на землю в обмотке и на выводах-выводах, присоединенных к сети с глухозаземленной нейтралью.
 3. Витковых замыканий в обмотках.
 4. Токов в обмотках обусловленных внешним коротким замыканием.
 5. Понижением уровня масла.
- I. Газовая защита от повреждений внутри кожуха, сопровождающихся выделением газа и от понижения уровня масла для трансформаторов мощностью 6,3 МВА и более. Газовая защита должна действовать на сигнал при слабом газообразовании и на отключение при сильном газообразовании и дальнейшим понижением уровня масла.
 - II. Для защиты от повреждений на выводах, а также от внутренних повреждений должна быть предусмотрена:
 - а) Продольная дифференциальная токовая защита без выдержки на трансформаторах мощностью 6,3 МВА и более. Указанная защита должна действовать на отключение всех выключателей трансформатора.
 - б) Продольная дифференциальная защита с выдержкой.
 - III. На трансформаторах мощностью 6,3 МВА и более в качестве защиты от токов обмотках обусловленных внешними много фазными к.з. должны быть предусмотрены следующие защиты с действием на отключение. На понижающих трансформатора-максимальная токовая защита с координированным пуском нарядом или без него.

При выборе тока срабатывания МТЗ необходимо учитывать возможные токи перегрузки при отключении параллельно работающих трансформаторов и ток самозапуска электродвигателей питающих от трансформаторов.

IV. Защита от токов, обусловленных внешними монофазными к.з. следует устанавливать.

1. На 2-х обмоточных трансформаторах со стороны основного питания .
2. При применении накладных трансформаторов тока на стороне высшего напряжения со стороны низкого напряжения на двух обмоточных трансформаторах.

V. Защита от однофазных замыканий на землю.

VI. На трансформаторах мощностью 0,4 и более, возиожной перегрузки следует предусматривать МТЗ от токов, обусловленных перегрузки с действием на сигнал.

Газовая защита.

Все трансформаторы от 1000кВА и более имеют газовую защиту, которая реагирует на все виды внутренних повреждений трансформатора и при утечке масла из бака. При внутреннем повреждении является «пожар стали» магнитопровода, который возникает при нарушении изоляции между местами магнитопровода, что ведет к увеличению потерь на перемагничивание и вихревые потоки. Потери вызывают местный нагрев стали, ведущий к дальнейшему погружению изоляций от сюда возникает необходимость в использовании специальной защиты, от внутренних повреждений газовой, фиксирующей появление в баке поврежденного трансформатора газа. Образование газа является следствием разложения масла и других изоляционных матерьялов под действием электрической дуги или не допускаемого нагрква. Интенсивность газообразования зависит от характера и размеров повруждения. Это дает возможность выполнить газовую защиту, способную различать степень повреждения в зависимости от этого действовать на сигнал или отключение.

Основным элементом газовой защиты является газовые РГУЗ-66, к 36 устанавливающие в маслопроводе между баком и расширителем.

Достоинство газовой защиты:

Высокая чувствительность и реагирование практически на все виды повреждения внутри бака: сравнительно небольшое время срабатывания, простота выполнения.

Наряду с этим защита имеет ряд существенных недостатков, основным является реагирование её на повреждение, расположенных вне бака, в зоне между трансформатором и выключателем.

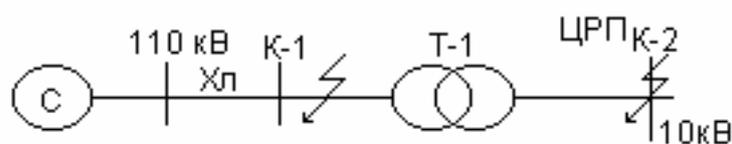
Защита от замыкания на землю.

Одофазные замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью или заземленной через дугогасящие ректоры не сопровождается возникновением больших токов к.з. Междофазные напряжения при этом не изменяются, работа системы электроснабжения не нарушается.

Тем не менее этот режим работы не считается нормальным, так как напряжение неповрежденных фаз относительно земли возрастают и возникает опасность перехода однофазно замыкания на землю многофазное короткое замыкание. Однако нет необходимости в быстром отключении поврежденного участка, так как допускается длительная работа с заземленной фазой. Время определяется ПТЭ. В большинстве случаев не должна превышать двух часов. Поэтому устройство релейной защиты от замыкания на землю обычно действуют на сигнал, привлекая внимание дежурного персонала.

Расчёт токов коротких замыканий для цепей релейной защиты.

При расчётах релейной защиты промышленных электроустановок, связанных выбором уставок срабатывания и проверкой чувствительности, в качестве исходных данных используются результаты расчёты начального действующего значения тока к.з. При выборе расчётных режимов и точек повреждений, необходимо учитывать, что для выбора уставок срабатывания токовых отсечек с дифференциальных токовых защит, необходимо знать уставки защиты. А для проверки чувствительности защит рассчитывается наименьшее значение тока в реле защиты при к.з. в конце её основной зоны действия. Параметры элементов схемы замещения представляются в относительных единицах.



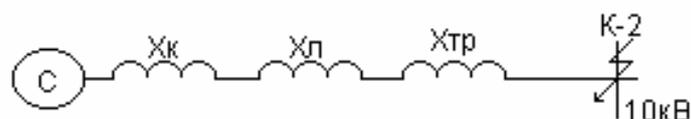
$S_{тр} = 25\text{MVA}$
 $S_{к.з.} = 3000\text{MVA}$

$X_c = 0,03$
 $L_a = 560\text{м.}$

$U_c = 110\text{кВ}$
 $U_{кТ-1} = 10,5\%$

$S_6 = 100\text{MVA}$

Схема замещения:



Выбираем базисные условия.

$$1. U_{61}=115 \text{ кВ} \quad I_{61} = S_6/(\sqrt{3} \cdot U_{61}) = 0.502 \text{ кА}$$

$$2. U_{62}=10,5 \text{ кВ} \quad I_{62} = S_6/(\sqrt{3} \cdot U_{62}) = 5,5 \text{ кА}$$

Определяем сопротивления:

$$X_c = S_6/S_{к.з.} = 100/3000 = 0,033$$

$$X_l = X_0 \cdot L \cdot (S_6/U_{cp}^2) = 0,4 \cdot 0,56 \cdot (100/(115 \cdot 115))$$

$$X_{тр} = (U_{к\%}/100) \cdot (S_6/S_{тр}) = (10,5/100) \cdot (100/25) = 0,42$$

Находим суммарное сопротивление для точки:

$$К-1: X_1 = X_c + X_l = 0,033 + 0,002 = 0,035$$

$$К-2: X_2 = X_c + X_l + X_{тр} = 0,033 + 0,002 + 0,42 = 0,455$$

Расчёт токов при трёхфазном коротком замыкании:

$$К-1: I_{к-1}^{(3)} = (E_c/X_1) \cdot I_{61} = (1/0,035) \cdot 0,502 = 14,34 \text{ кА}$$

$$К-2: I_{к-2}^{(3)} = (E_c/X_2) \cdot I_{62} = (1/0,455) \cdot 5,5 = 12,09 \text{ кА}$$

Расчет токов двухфазного короткого замыкания:

$$К-1: I_{к-1}^{(2)} = (\sqrt{3}/2) \cdot I_{к-1}^{(3)} = (\sqrt{3}/2) \cdot 14,34 = 12,42 \text{ кА}$$

$$К-2: I_{к-2}^{(2)} = (\sqrt{3}/2) \cdot I_{к-2}^{(3)} = (\sqrt{3}/2) \cdot 12,09 = 10,46 \text{ кА}$$

Дифференциальная токовая защита трансформаторов

Дифференциальный принцип позволяет выполнить быстродействующую защиту трансформатора реагирующую на повреждение в обмотках, на выводах и в соединении с выключателем. При этом она может недостаточную чувствительность только при витковых замыканиях и «пожаре стали».

Выбираются уставки дифференциальной защиты с торможением (ДЗТ-11) 2-х обмоточного трансформатора мощностью $S_{тр} = 25 \text{ МВА}$

Решение:

1. определяются средние значения первичных и вторичных номинальных токов для всех сторон защищаемого трансформатора.
- 2.

НАМЕНОВАНИЕ ВЕЛИЧИНЫ	Численное значение для стороны	
	115 кВ	10,5 кВ
Ервичный номинальный ток трансформатора, А	$I_H = S_H/(\sqrt{3} \cdot U_{н.ср.}) = 125,7 \text{ А}$	1313.72 А
Коэф. трансф. тр-ра тока n_s	$200/5 = 40$	$1500 / 5 = 300$
Схема соединения тр-ра тока	треугольник	звезда

Схема соединения обмоток защищаемого трансформатора	звезда	треугольник
Вторичный ток в плечах защиты, $I = (I_n \cdot K_{сх}) / n_T$	5,44	4,38

2. Выбирается место установки тормозной обмотки реле ДЗТ-11, плечо стороны НН.

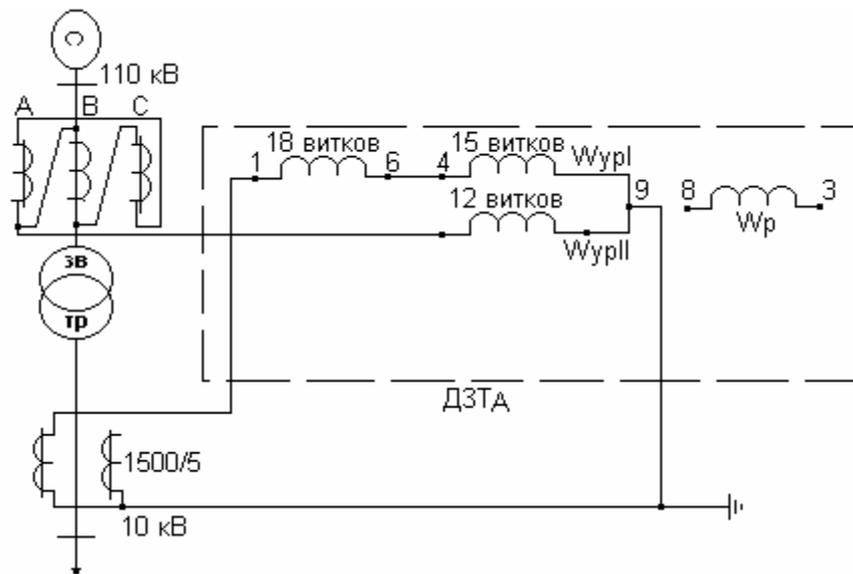


Схема включения обмоток реле типа ДЗТ-11 в дифференциальной защите двухобмоточного трансформатора.

3. Определяется первичный ток небаланса без учёта составляющей $I''_{нб}$; $I''_{нб} = I'_{нб} + I''_{нб} = 1434 + 2294,4 \text{ А}$

Где - $I'_{нб}$ – обусловленная точностью трансформаторов тока

$$I'_{нб} = K_{апер} \cdot \varphi \cdot K_{одн} \cdot E \cdot I_{кз вн}^{(3)} = 1 \cdot 1 \cdot 0,1 \cdot 14340 = 1434 \text{ А}$$

E – относительное значение тока намагничивания $K_{апер} = 1$, обусловленная регулированием напряжением защищаемого трансформатора. $I''_{нб} = 0,16 \cdot 14340 = 2294,4 \text{ А}$

$K_{одн} = 1$, коэффициент однотипности; $K_{апер}$ – коэффициент учитывающий переходной режим. ($K_{апер} = 1$).

3. Ток срабатывания защиты выбирается только по условию:

$$I_{с.з.} = K_n \cdot I_{ном.тр.} = 1,5 \cdot I_{ном.тр.} = 1,5 \cdot 125,7 = 188,55 \text{ А,}$$

где $K_n = 1,5$ для реле серий ДЗТ

4. Определяется число витков обмотки ДЗТ для выравнивания М.Д.С.

Наименование величины	Обозначение величины и	Численное значение
-----------------------	------------------------	--------------------

		расчётное выражение	
1	Ток срабатывания реле (неосновной), А	$I_{ср.неосн.} = (I_{с.з.неосн} \cdot K_{неосн}^{(3)}) / n_T$	$(188,55 \cdot \sqrt{3}) / (200/5) = 8,15A$
2	Расчётное число витков обмотки реле для неоснов.	$W_{неосн.реле} = F_{ср.} / I_{с.р.неосн.}$	$100/8,15 = 12,3$
3	Предварительно принято число витков	$W_{неосн.реле}$	12 штук
4	Ток срабатывания реле (неоснов) с учетом витков	$I_{ср.неосн.} = F_{ср.} / W_{неосн.}$	$100/12 = 8,3A$
5	Ток срабатывания защиты со стороны ВН	$I_{сз.неосн.ВН} = (I_{ср.неосн.} \cdot W_{неосн}) / K_{ск}$	$(8,3 \cdot 12) / \sqrt{3}$
6	Ток срабатывания защит со стороны НН	$I_{сз.осн.} = I_{сз.неосн.ВН} \cdot K_{тр}$	$58 \cdot (110/10,5) = 610,5A$
7	Расчётное число витков обмотки реле для основ.	$W_{осн.расч.} = (W_{неосн.} \cdot I_{2неосн}) / I_{2осн.}$	$(12 \cdot 5,44) / 4,38 = 14,9$
8	Предварительно принятое число витков	$W_{осн.}$	15 штук
9	Составляющая, обусловленная неточностью уставки на коммутаторе реле ДЗТ	$I''_{нб} = ((W_{осн.рва.} - W_{осн.}) / W_{основ.расч.}) \cdot I_{к.з.макс}$	96,24А
10	Ток небаланса	$I_{нб} = I'_{нб} + I''_{нб} + I'''_{нб}$	$1434 + 229,44 - 96,24 = 3632$
11	Окончательное принятое число обмоток	$W_{основн.}$ $W_{неосновн.}$	15 12
12	Проверка	$I_{осн.} \cdot W_{осн.} = I_{2неосн.} \cdot W_{неосн.}$	$4,38 \cdot 15 \approx 5,44 \cdot 12$

5. Определяется число витков тормозной обмотки реле ДЗТ-11, необходимое для обеспечения бездействия защиты при внешнем трехфазном коротком замыкании (точка К-2):

$$W_T = (K_n \cdot I_{нб} \cdot W_p) / (I_{к.з.макс НН} \cdot \operatorname{tg} \varphi) = (0,3 \cdot 38051,2 \cdot 15) / (12090 \cdot 0,87) = 16,3 \approx 18 \text{ штук.}$$

Где,

$I_{к.з.макс НН}$ – периодическая слагающая тока при расчётах внешних коротких замыканий где включена тормозная обмотка.

W_p – расчётное число витков рабочей обмотке реле на стороне, где включена тормозная обмотка.

K_n – коэффициент надежности ($K_n = 0,3$)

$\operatorname{tg} \varphi$ - тангенс угла наклона координат к характеристике срабатывания реле соответствующей минимальному торможению. Для ДЗТ-11

$$\operatorname{tg} \varphi = 0,87$$

$I_{нб}$ – Приведенный к стороне НН с помощью наименьшего значения коэффициента трансформации. $I_{нб} = 38051,2 \text{ А}$

6. Определяется $K_{и} = I_{р.мин} / I_{с.р.}$ – коэффициент чувствительности защиты при к.з. за трансформатором в зоне действия защиты, когда проходит ток повреждения только чез трансформатор тока стороны 110 кВ и торможение отсутствует.

Вычисление минимального тока короткого замыкания $I_{к.з.мин}^{(3)}$
 $I_{к.з.мин}^{(3)} = U_{ср.ВН} / (\sqrt{3} \cdot X_{тр_{макс}}) = 110000 / (\sqrt{3} \cdot 50,82) = 1251,2 \text{ А}$
Где, $X_{тр_{макс}} = (U_{п_{макс}}/100) \cdot (U_{ВН}^2 / S_{ном тр}) = 50,82 \text{ Ом}$

Для схем соединения трансформаторов треугольником расчётный ток в реле определяется по выражению: $I_{р_{мин}} = 1,5 \cdot I_{мин ВН}^{(3)} / n_T = (1,5 \cdot 1251,2)/(200/5) = 46,92 \text{ А}$

При прохождении тока короткого замыкания по стороне высокого напряжения $I_{ср} = F_{ср}/W_{урII} = 100/12 = 8,33 \text{ А}$
Тогда $K_{II} = I_{р_{мин}}/I_{ср} = 46,92 / 8,33 = 5,6 \gg 2$

Согласно правилам ПУЭ действительный коэффициент отсрочки должен быть не менее 1,3. Окончательная проверка по коэффициенту чувствительности: $K_{II} > 2$.

7. Трансформаторы тока типа ТФНД-110 при $n_T=200/5$ обеспечивает $E < 0,1$ и позволяют применить схему с дешунтирующим электромагнитным включением (ЭВ).

Защита от перегрузок на шинах 10 кВ.

Ток срабатывания защиты: $I_{с.з.} = (K_{сх} \cdot K_{отс} \cdot I_{ном.тр.})/(K_{в}) = 325,9 \text{ А}$

$$I_{ном.тр.ВН} = S_{н}/(\sqrt{3} \cdot U_{ср}) = 2500/(\sqrt{3} \cdot 1,2 \cdot 125,6) = 125,6 \text{ А}$$

Для РТ-40: $K_{сх} = \sqrt{3}$; $K_{отс} = 1,2$; $K_{в} = 0,8$; $I_{макс} = 150 \text{ А}$

Максимальная токовая защита на стороне ВН от внешних коротких замыканий: $I_{ср} \geq (K_{сх} \cdot K_{отс} \cdot I_{ном})/(K_{в} \cdot K_{ИВН}) = (\sqrt{3} \cdot 1,2 \cdot 125,6) / (0,8 \cdot 60) = 5,4 < 6,6 \text{ А}$

Расчётный коэффициент трансформатора тока:

$$K_{ИрасчВН} = (K_{сх} \cdot I_{нВН})/I_{ном.ТТ} = (\sqrt{3} \cdot 125,6)/5 = 43 \approx 60$$

$$K_{ТрасчНН} = 300$$

Симметричным или комбинированным пуском напряжения от внешних коротких замыканий включенным реле тока.

$$U_{с.з.} = (0,5-0,5) \cdot U_{ном} = 0,5 \cdot 115 = 57,5 \text{ и } I_{ср} = 5,4 < 6,6 \text{ А}$$

Трансформатор от перегрузки: $I_{ср} = (K_{отс}/K_{в}) \cdot (I_{ном.тр.}/K_{IВН}) = (10,5 \cdot 125,6)/(0,8 \cdot 60) = 2,7$

Выдержка времени $t=0,5$ секунд

Степень селективности релейной защиты определяется по формуле: $\Delta t = t_{в} + t_{рв1} + t_{рв2} + t_{зап} = 0,07 + 0,06 + 0,12 + 0,15 = 0,4$ секунды.

$t_{в}$ – время отключения выключателя предыдущей защиты $t_{в}=0,07$ сек

$t_{рв1}$; $t_{рв2}$ – погрешности реле времени защит

$t_{зап}$ – время запаса от 0,1 до 0,15 секунд

$t_{н}$ – выдержка временной защиты с которой ведется согласовывание $t=0,3$

t_1 – выдержка времени, рассматриваемой защиты $t_1 = 0,3 + 0,4 = 0,7$ секунд

Защита от однофазных коротких замыканий на стороне ВН

Защита предусматривает на понижающих трансформаторах 110кВ и соединенным обмотками ВН в звезду с заземленной нейтралью для резервирования, отключения внешних однофазных коротких замыканий.

В качестве рассматриваемой защиты соответствии с ПУЭ может применяться МТЗ.

Ток срабатывания реле: $I_{ср.рв.} = (K_{отс} \cdot K_{э} \cdot K_{н} \cdot I_{ном.ВН}) / (K_{IВН} \cdot K_{в}) = (1,2 \cdot 0,75 \cdot 2 \cdot 125,6) / (60 \cdot 0,8) = 4,7$ А

$K_{н} = I_{к.з. тр. min}^{(1)} / I_{с.з.} = 8730 / 376,8 = 23,2 \geq 1,5$

$I_{с.з.} = ((K_{отс} \cdot K_{н}) / K_{в}) \cdot I_{номВН} = ((1,2 \cdot 2) / 0,8) \cdot 125,6 = 376,8$ А

Окончательно принимаем реле типа РТ-40.

Выдержка времени $t = 0,5$ секунд

$t_1 = t_{11} + \Delta t = 0,5 + 0,8 = 0,9$ секунд

t_{11} – выдержка времени защиты с которой ведется согласование.

Данный пример расчета может служить примером или вспомогательным пособием при проектировании аналогичных систем.