

Индивидуальное задание №5

УПРОЩЕННЫЙ РАСЧЕТ УСТАВОК ЦИФРОВОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРА (ДЗТ)

на примере микропроцессорного
шкафа ШЭ 2607 производства ООО НПП «ЭКРА»

1. Рассчитайте и покажите на схеме (рис. 1) стрелками мгновенные направления первичных и вторичных токов в обмотках и в плечах дифференциальной защиты для какого-либо момента времени при заданном повреждении. Замыкание происходит в зоне действия защиты на стороне обмотки ВН или на стороне НН (таблица 1).

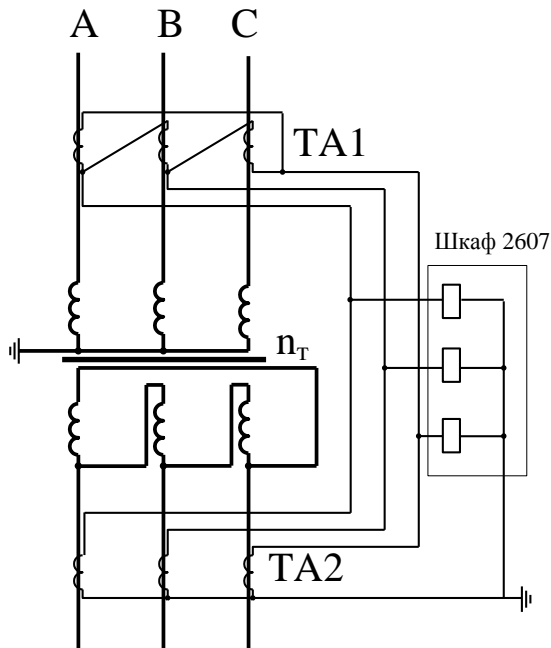


Рис. 1. Трехфазная схема замещения
Двухобмоточного трансформатора
 n_T – коэффициент трансформации $n_T = U_{ВН} / U_{НН}$

альной защиты для какого-либо момента времени при заданном повреждении. Замыкание происходит в зоне действия защиты на стороне обмотки ВН или на стороне НН (таблица 1).

Трансформатор имеет питание со стороны той обмотки, где нет КЗ. Предполагается, что вторичные токи с обеих сторон идеально сбалансированы.

2. Рассчитайте тормозной $I_{Т*}$ и дифференциальный $I_{\Delta*}$ токи в заданных режимах

(таблица 2).

3. Рассчитайте параметры характеристики срабатывания цифровой дифференциальной защиты (рис. 2) трансформатора в о.е.:

- $I_{ср,0}$ – начальный ток срабатывания,
- B – точка излома характеристики срабатывания,
- $I_{отс}$ – ток дифференциальной отсечки,
- $I_{НТ*}$ – ток начала торможения,
- $K = \text{tg}(\alpha)$ – коэффициент торможения.

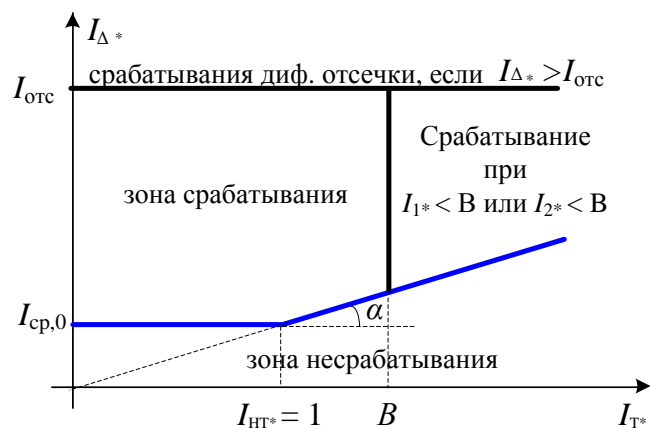


Рис. 2. Характеристика срабатывания цифровой дифференциальной защиты
 I_{T^*} – тормозной ток, I_{Δ^*} – дифференциальный ток,

4. Постройте в масштабе (о.е.) характеристику срабатывания, отметьте на плоскости точки с координатами $(I_{\Delta^*}; I_{T^*})$, соответствующие заданным в п.2 режимам. Определите, какому режиму соответствует каждая точка: нормальному режиму, внешнему замыканию или внутреннему замыканию.

Таблица 1

Вар.	S_T МВА	$U_{ВН}$, кВ	$U_{НН}$, кВ	Место КЗ	Вид КЗ	$I_{КЗ}^{(3)}$, А
1.	125	242	15,75	ВН	$K_{AB}^{(2)}$	1192
2.	160	230	10,5	НН	$K_{AB}^{(2)}$	2010
3.	200	347	20	ВН	$K_{BC}^{(2)}$	1998
4.	400	347	18	НН	$K_{CA}^{(2)}$	4662
5.	630	525	18	ВН	$K_{CA}^{(2)}$	5540
6.	250	525	15,75	НН	$K_{AB}^{(2)}$	1100
7.	160	242	13,8	ВН	$K_{AB}^{(2)}$	1900
8.	250	347	18	НН	$K_{AB}^{(2)}$	2500
9.	400	525	20	ВН	$K_{BC}^{(2)}$	3000
10.	630	525	18	НН	$K_{CA}^{(2)}$	5500
11.	160	230	11	ВН	$K_{CA}^{(2)}$	1608
12.	1000	347	24	НН	$K_{AB}^{(2)}$	8300
13.	250	330	11	ВН	$K_{AB}^{(2)}$	2620
14.	125	347	13,8	НН	$K_{AB}^{(2)}$	1450
15.	400	242	20	ВН	$K_{BC}^{(2)}$	7630

$I_{КЗ}^{(3)}$ – ток внешнего КЗ на стороне ВН или НН.

вариант	Режим 1		Режим 2		Режим 3	
	$\underline{I}_1, \text{A}$	$\underline{I}_2, \text{A}$	$\underline{I}_1, \text{A}$	$\underline{I}_2, \text{A}$	$\underline{I}_1, \text{A}$	$\underline{I}_2, \text{A}$
1.	$894e^{j-10}$	$14560e^{j-15}$	$715e^{j5}$	$7278e^{j15}$	$1550e^{j60}$	$19410e^{j200}$
2.	$925e^{j2}$	$18470e^{j145}$	$603e^{j20}$	$43990e^{j-7}$	$523e^{j10}$	$13200e^{j190}$
3.	$1998e^{j-10}$	$11550e^{j10}$	$400e^{j-10}$	$7506e^{j155}$	$266e^{j12}$	$5197e^{j183}$
4.	$1332e^{j-3}$	$23090e^{j170}$	$1998e^{j5}$	$23090e^{j15}$	$799e^{j-12}$	$17960e^{j158}$
5.	$832e^{j-45}$	$22230e^{j145}$	$1040e^{j5}$	$32330e^{j170}$	$1109e^{j20}$	$80830e^{j30}$
6.	$413e^{j-20}$	$36660e^{j3}$	$522e^{j-30}$	$16500e^{j138}$	$55e^{j6}$	$2749e^{j168}$
7.	$649e^{j-30}$	$12050e^{j145}$	$535e^{j-5}$	$33470e^{j12}$	$611e^{j25}$	$12050e^{j200}$
8.	$874e^{j-10}$	$15240e^{j150}$	$166e^{j5}$	$2406e^{j135}$	$541e^{j60}$	$32080e^{j70}$
9.	$704e^{j9}$	$19630e^{j155}$	$748e^{j-6}$	$34640e^{j10}$	$660e^{j-150}$	$18480e^{j20}$
10.	$901e^{j-10}$	$40410e^{j5}$	$1247e^{j-50}$	$40410e^{j120}$	$554e^{j150}$	$18190e^{j-10}$
11.	$1206e^{j10}$	$13440e^{j35}$	$764e^{j15}$	$16800e^{j192}$	$844e^{j60}$	$20160e^{j200}$
12.	$3827e^{j-30}$	$50520e^{j45}$	$1331e^{j5}$	$14430e^{j170}$	$3328e^{j-5}$	$33680e^{j2}$
13.	$787e^{j-3}$	$24930e^{j165}$	$874e^{j-6}$	$19680e^{j12}$	$524e^{j60}$	$18370e^{j200}$
14.	$416e^{j40}$	$9937e^{j55}$	$395e^{j-15}$	$10460e^{j150}$	$135e^{j12}$	$3660e^{j158}$
15.	$1240e^{j-3}$	$17320e^{j175}$	$1908e^{j5}$	$23090e^{j195}$	$2862e^{j6}$	$17320e^{j20}$

Методические указания к выполнению

Дифференциальной токовой защитой должны оборудоваться трансформаторы мощностью 4 МВА и более. Защита реагирует на междуфазные КЗ.

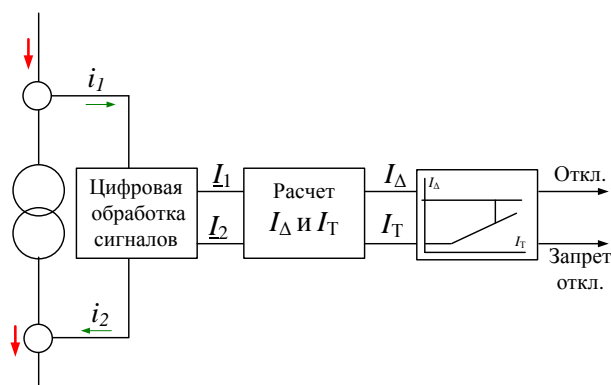


Рис. 3. Упрощенная структурная схема ДЗТ

Принцип действия дифференциальной защиты одинаков при любой технической реализации защиты (электромеханические реле, статические реле, цифровые защиты,...) и основан на сравнении токов одноименных фаз обмоток ВН и НН. Очень упрощенная структурная схема цифровой ДЗТ представлена на рис. 3.

Алгоритм работы можно описать так:

- аналоговые сигналы i_1, i_2 преобразуются в комплексные величины $\underline{I}_1, \underline{I}_2$,

- рассчитываются тормозной I_{T*} и дифференциальный $I_{\Delta*}$ токи,
- анализируется попадание точки с координатами $(I_{\Delta*}; I_{T*})$ в ту или иную область характеристики срабатывания,
- принимается решение о срабатывании или несрабатывании защиты.

1. Пусть произошло КЗ между фазами В и С на стороне обмотки НН, тогда, согласно условиям задачи, источник питания (Система 1) подключен со стороны обмотки ВН.

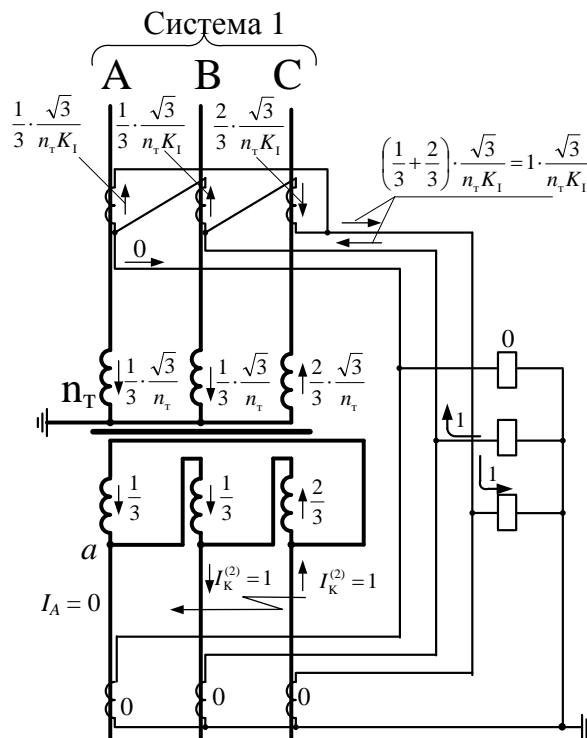


Рис. 4. Направления первичных и вторичных токов в обмотках и в плечах дифференциальной защиты при $K_{BC}^{(2)}$

Анализ распределения токов следует начинать с места КЗ. Примем полный ток КЗ равным 1. Согласно граничным условиям для заданного повреждения $K_{BC}^{(2)}$ ток в фазе А со стороны НН равен нулю $I_A = 0$. Следовательно, узел «а» на схеме «исчезает» и можно считать, что сопротивления обмоток фаз А и В в треугольнике соединены последовательно, а сопротивление обмотки фазы С подключено к ним параллельно. Токи в обмотках на стороне треугольника определяем по правилу разброса.

При определении токов на стороне ВН необходимо учесть коэффициент трансформации n_T и коэффициент $\sqrt{3}$, учитывающий изменение модулей токов в фазах за счет различных способов соединения обмоток – треугольник/звезда.

Как известно, фазные и линейные токи имеют сдвиг по фазе 30 градусов. Изменение фазы токов компенсируется за счет того, что трансформаторы токов на стороне звезды силового трансформатора соединяются в треугольник, а со стороны треугольника – в звезду.

При определении токов во вторичной цепи нужно изменить направление стрелки на обратное и учесть коэффициент трансформации ТА – K_T .

2. Разные производители цифровых ДТЗ применяют различные алгоритмы расчета тормозного и дифференциального токов. Токи рассчитываются в о.е. относительно номинальных токов обмоток. По методике, разработанной в НПП «ЭКРА», указанные токи определяются по выражениям

$$I_{\Delta} = |\dot{I}_1 + \dot{I}_2| \text{ – дифференциальный ток,}$$

$$I_T = \sqrt{|\dot{I}_1| \cdot |\dot{I}_2| \cos(\varphi)}, \text{ – тормозной ток при } -90^\circ < \varphi < 90^\circ \text{ (I, IV квадранты),}$$

$$I_T = 0 \text{ – при } 90^\circ < \varphi < 270^\circ \text{ (II, III квадранты).}$$

Большой по модулю ток направьте по горизонтальной оси, он должен иметь нулевой угол, то есть угол φ следует отсчитывать от большего тока.

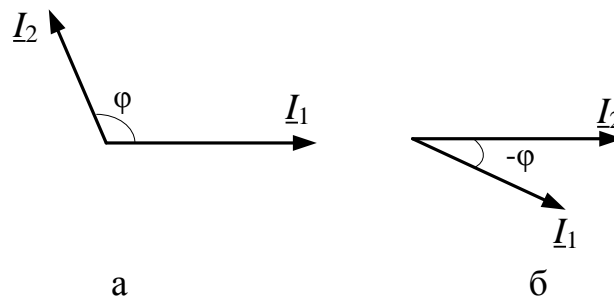


Рис. 5. Примеры расположения векторов токов
а – при внешнем КЗ
б – при внутреннем КЗ

3. Параметры характеристики срабатывания цифровой дифференциальной защиты (рис. 2) трансформатора принимают согласно рекомендациям разработчика. Все величины определяются в относительных единицах от базисного тока T с высшей стороны (номинальный ток трансформатора).

- $I_{ср,0*} = 1, I_{нб*} \approx 0,3$ – начальный ток срабатывания на первом горизонтальном участке характеристики. Определяется по условию отстройки от тока небаланса $I_{нб}$, можно изменять в диапазоне от 0,2 до 1,0. Причины возникновения тока небаланса: погрешности измерительных органов, разнотипные трансформаторы тока на сторонах ВН и НН, наличие РПН и т.д.
- $I_{нт*} = 1$ – уставку тока начала торможения (наклонного участка характеристики) примем равной единице.
- $B = 2$ – ток торможения блокировки, определяет переключение характеристики срабатывания ДТЗ с наклонного участка на вертикальный. Определяется исходя из отстройки от максимально возможного сквозного тока. Если $I_1 \geq B$ и $I_2 \geq B$ — ДТЗ блокируется, так как это означает, что имеет место внешнее замыкание, при котором насыщаются трансформаторы то-

ка, из-за чего дифференциальный ток через несколько миллисекунд после КЗ увеличивается, и точка попадает в зону срабатывания.

Если $I_1 < B$ или $I_2 < B$ — ДТЗ срабатывает.

Уставка B задаётся в диапазоне от 1,5 до 3,0 от $I_{\text{НОМ}}$.

- $I_{\text{отс}} = 7$ – уставка тока дифференциальной отсечки предназначена для исключения замедления работы ДТЗ (около 0,03–0,04 с) при больших токах внутреннего повреждения. Отстраивается от броска тока намагничивания и от тока небаланса при внешнем КЗ.

Уставка задаётся в диапазоне от 6,5 до 12,0 от $I_{\text{НОМ}}$.

- $K = \text{tg}(\alpha)$ – коэффициент торможения, равный отношению приращения дифференциального тока к приращению тормозного тока. Значение уставки рекомендуется рассчитывать по выражению

$$K = K_{\text{отс}} \frac{I_{\Delta^*} - I_{\text{ср},0}}{I_{T^*} - I_{\text{НТ}^*}},$$

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

$I_{\Delta^*} = 0,4 I_{\text{СКВ}^*}$ – расчётный дифференциальный ток, вызванный протеканием по защищаемому Т сквозного тока $I_{\text{СКВ}^*}$

$I_{\text{СКВ}^*} = \frac{I_{\text{КЗ}}^{(3)}}{I_{\text{НОМ}}}$ – максимальное значение тока внешнего металлического КЗ, приве-

дённое к номинальному току внешнего КЗ. Сторона КЗ (ВН или НН) и ток $I_{\text{КЗ}}^{(3)}$ – заданы в таблице 1.

$I_{T^*} = \sqrt{I_{\text{СКВ}^*} (I_{\text{СКВ}^*} - I_{\Delta^*}) \cos(15^\circ)}$ – расчётный тормозной ток.

Уставка K задается в относительных единицах в диапазоне от 0,2 до 0,7 от $I_{\text{баз}}$ с шагом 0,1.