

Индивидуальное задание

УПРОЩЕННЫЙ РАСЧЕТ УСТАВОК ЦИФРОВОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРА (ДЗТ)

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

1. Выберите номинальный первичный ток трансформаторов тока (таблица 1) каждой из сторон силового трансформатора (таблица 2). Предельная кратность тока K_{10} не должна превышать 10.

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

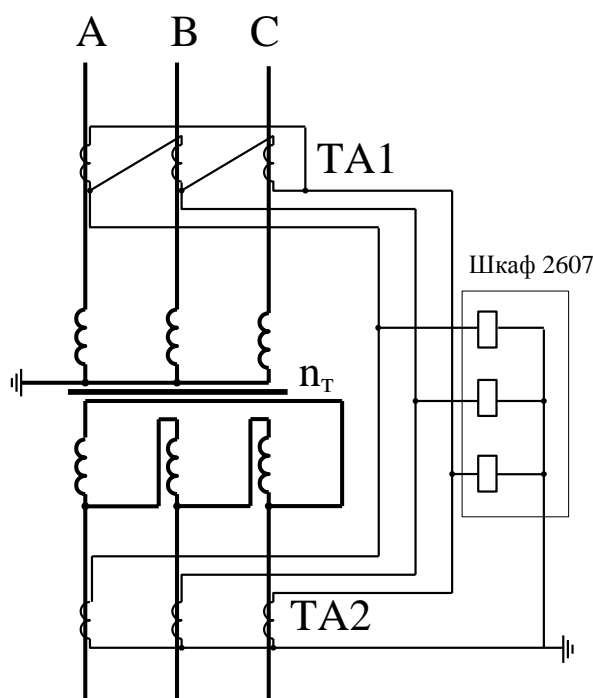


Рис. 1. Трехфазная схема замещения двухобмоточного трансформатора

n_T – коэффициент трансформации $n_T = U_{ВН} / U_{НН}$

3. Постройте в масштабе векторную диаграмму токов и для заданного вида повреждения. При построении принять, что сопротивление трансформатора равно нулю. Указания по выполнению представлены в [1, стр24]

4. Для всех заданных режимов (таблица 3), при помощи векторной диаграммы, определите угол φ между токами I_1, I_2 .

5. Рассчитайте тормозной I_{T*} и дифференциальный $I_{\Delta*}$ токи для заданных режимов.

6. 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.

7. Постройте в масштабе (о.е.) характеристику срабатывания, отметьте на плоскости точки с координатами $(I_{\Delta*}; I_{T*})$, соответствующие заданным в п.6 режимам. Определите, какому режиму соответствует каждая точка: нормальному режиму, внешнему замыканию или внутреннему замыканию.

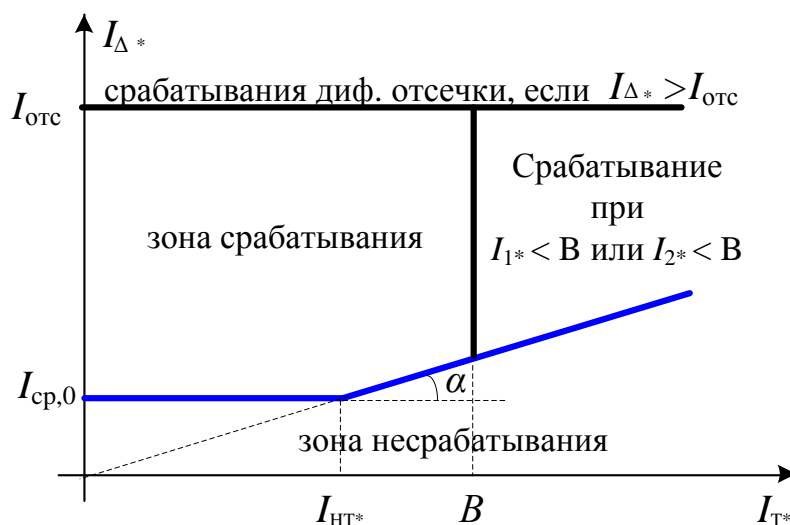


Рис. 2. Характеристика срабатывания цифровой дифференциальной защиты
 I_{T*} – тормозной ток, $I_{\Delta*}$ – дифференциальный ток,

Таблица 1 Номинальный первичный ток трансформатора $I_{1ном}$, А

1	5	10	15	20	30	40	50	75	80
100	150	200	300	400	500	600	750	800	1000
1200	1500	2000	3000	4000	5000	6000	8000	10000	12000
14000	16000	18000	20000	25000	28000	30000	32000	35000	40000

Таблица 2 Исходные данные

Вар.	S_T , МВА	$U_{ВН}$, кВ	$U_{НН}$, кВ	$I_{КЗ}^{(3)}$, А	Место КЗ	Вид КЗ
1	125	165	10.5	52371	НН	$K^{(2)}_{BC}$
2	250	242	15.75	6895	ВН	$K^{(2)}_{CA}$
3	400	165	20	19202	ВН	$K^{(2)}_{AB}$
4	630	525	15.75	7648	ВН	$K^{(2)}_{BC}$
5	630	525	15.75	7706	ВН	$K^{(2)}_{AB}$
6	200	347	15.75	4107	ВН	$K^{(2)}_{CA}$
7	250	347	13.8	5894	ВН	$K^{(2)}_{BC}$
8	250	165	10.5	10182	ВН	$K^{(2)}_{BC}$
9	80	115	38.5	10011	НН	$K^{(2)}_{AB}$
10	250	165	10.5	105557	НН	$K^{(2)}_{BC}$
11	250	525	15.75	3385	ВН	$K^{(2)}_{CA}$
12	400	165	20	75446	НН	$K^{(2)}_{AB}$
13	400	525	15.75	5141	ВН	$K^{(2)}_{AB}$
14	250	121	15.75	62922	НН	$K^{(2)}_{CA}$
15	80	121	10.5	4945	ВН	$K^{(2)}_{AB}$
16	400	121	20	28630	ВН	$K^{(2)}_{BC}$
17	630	525	15.75	153960	НН	$K^{(2)}_{BC}$
18	40	115	38.5	6027	НН	$K^{(2)}_{CA}$
19	80	115	38.5	5926	ВН	$K^{(2)}_{CA}$
20	250	347	13.8	79937	НН	$K^{(2)}_{CA}$
21	200	121	15.75	50455	НН	$K^{(2)}_{AB}$
22	63	115	38.5	4261	ВН	$K^{(2)}_{AB}$
23	80	242	10.5	32870	НН	$K^{(2)}_{AB}$
24	125	347	10.5	3661	ВН	$K^{(2)}_{BC}$
25	125	242	10.5	40261	НН	$K^{(2)}_{BC}$
26	200	242	15.75	44400	НН	$K^{(2)}_{BC}$
27	63	115	38.5	8021	НН	$K^{(2)}_{CA}$
28	125	121	10.5	48672	НН	$K^{(2)}_{CA}$
29	400	347	20	7773	ВН	$K^{(2)}_{AB}$
30	200	242	15.75	52920	НН	$K^{(2)}_{CA}$

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

Таблица 3 Исходные данные

Вар.	Режим 1				Режим 2				Режим 3			
	I_1, A	$\alpha_1,$ град	I_2, A	$\alpha_2,$ град	I_1, A	$\alpha_1,$ град	I_2, A	$\alpha_2,$ град	I_1, A	$\alpha_1,$ град	I_2, A	$\alpha_2,$ град
1	803	-289	1120	167	1545	285	12947	260	3833	108	22393	-131
2	3048	-76	10870	16	793	188	14547	116	4688	-286	14504	-136
3	4581	-267	10861	-154	10139	-278	6162	-192	11256	-103	7579	-232
4	3964	-47	10659	130	2390	-32	2543	338	4832	108	40481	-12
5	4440	86	547	-30	1014	134	3360	-197	4562	-85	28678	-211
6	1963	207	653	-303	519	235	1032	239	389	322	46626	175
7	2430	97	7166	-4	186	-51	28444	273	1126	158	52052	24
8	1525	-346	26807	131	4825	-64	11521	-113	8042	-281	22042	249
9	1576	170	843	-67	1205	-263	7218	-198	3826	235	1472	-223
10	1724	-197	6250	272	7444	-157	3453	-246	7745	130	16508	-70
11	1570	311	556	-173	245	9	20282	329	879	45	66206	-85
12	3538	308	4156	192	6953	127	11596	149	13315	150	20362	278
13	2773	-123	5577	114	844	215	1596	292	1751	-157	38752	-303
14	2116	-60	3045	-280	4440	-311	4281	56	2261	-310	73735	-63
15	1115	77	14699	329	2424	-264	8602	47	3159	-165	24735	-282
16	6987	-51	18759	-303	8734	-87	12360	270	19854	-314	14026	275
17	3906	-112	13246	104	1274	166	10389	-265	3743	159	33542	326
18	539	-322	597	190	208	174	2645	-162	1628	173	1183	-287
19	668	-214	1432	-111	2690	255	6719	-186	898	205	11675	-354
20	2053	126	13031	249	153	-217	25613	59	2898	249	8399	47
21	3489	78	7280	204	1128	84	27147	-204	7928	285	10656	180
22	264	267	1017	141	731	-48	3139	-67	3221	108	1770	220
23	177	300	25335	46	211	-135	3751	203	546	-122	28741	-269
24	919	-213	29713	53	734	200	681	128	417	241	30612	-355
25	1769	122	10411	-350	243	147	1364	-231	779	71	50247	-163
26	2529	240	24687	142	759	306	17410	-3	1255	-65	57397	-289
27	499	-194	3047	292	941	-317	2226	21	1170	-63	7636	30
28	2291	-314	3743	285	4907	-147	2646	-129	3861	230	30870	-230
29	3165	255	24352	162	1674	-100	15584	-129	3784	-29	27063	170
30	2718	-19	6683	-273	1022	-280	8736	160	3587	313	13447	131

Методические указания к выполнению

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

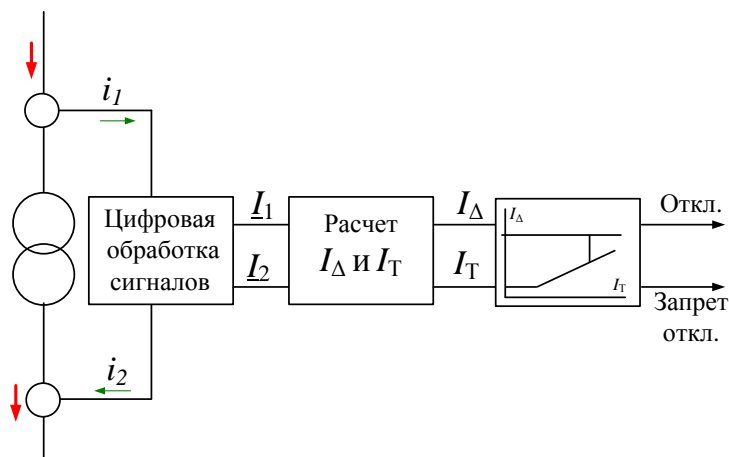


Рис. 3. Упрощенная структурная схема ДЗТ

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_Δ^* 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.

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.

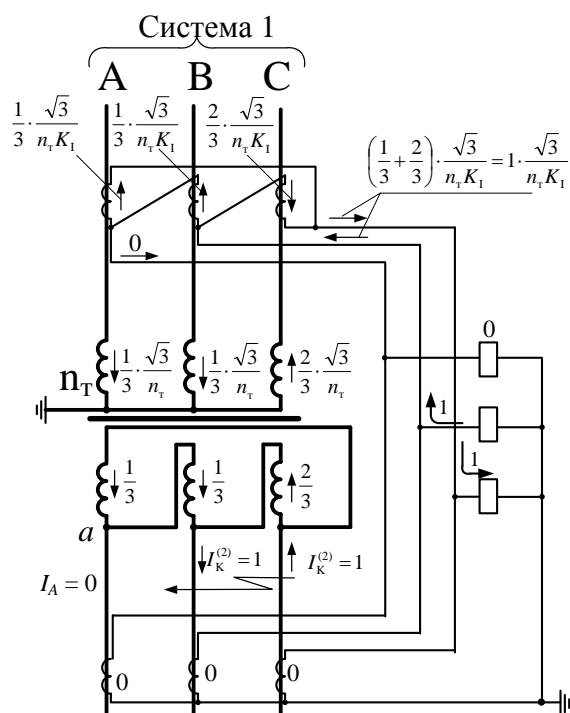


Рис. 4. Направления первичных и вторичных токов в обмотках и в плечах дифференциальной защиты при $K_{BC}^{(2)}$

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

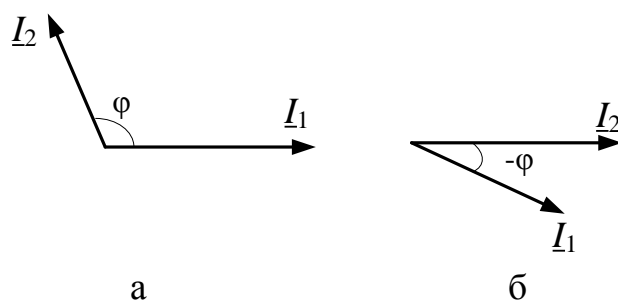


Рис. 5. Примеры расположения векторов токов
а – при внешнем КЗ, б – при внутреннем КЗ

3. 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:

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

$I_T = \sqrt{|\dot{I}_1| \cdot |\dot{I}_2| \cos(180^\circ - \varphi)}$, - тормозной ток при $90^\circ < \varphi < 270^\circ$ (II, III квадранты).

$$I_T = 0 \text{ - при } -90^\circ < \varphi < 90^\circ \text{ (I, IV квадранты) или } \dot{I}_2 = 0.$$

4. Параметры характеристики срабатывания цифровой дифференциальной защиты (рис. 2) трансформатора принимают согласно рекомендациям разработчика. Все величины определяются в относительных единицах от номинального тока трансформатора.

- $I_{\text{ср},0^*} = 1,1I_{\text{нб}^*} \approx 0,3$ - начальный ток срабатывания на первом горизонтальном участке характеристики. Определяется по условию отстройки от тока небаланса $I_{\text{нб}}$, 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.
- $I_{\text{нт}^*} = 1$ - уставка тока начала торможения (наклонного участка характеристики).
- $B = 2$ - 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 тока, 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

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

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 $I_{\text{СКВ}^*}$

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

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

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

Уставка K задается в относительных единицах в диапазоне от 0,2 до 0,7 от $I_{\text{баз}}$ с шагом 0,01.

Содержание отчета

1. Титульный лист
2. Задание
3. Выбор тока ТТ
4. Рисунок с указанием направления первичных и вторичных токов в обмотках и в плечах дифференциальной защиты при заданном повреждении (полный ток КЗ принять равным 1)
5. Расчет величины первичных и вторичных токов в обмотках и в плечах дифференциальной защиты
6. Векторная диаграмма токов построенная в масштабе
7. Расчет угла φ между токами I_1, I_2
8. Расчет тормозного $I_{Т*}$ и дифференциального $I_{\Delta*}$ токов
9. Расчет параметров характеристики срабатывания цифровой дифференциальной защиты
10. Характеристика срабатывания цифровой дифференциальной защиты с отмеченными точками режимов
11. Выводы о срабатывании защиты, рассматриваемых режимах.
12. Список литературы

Список литературы

1. Векторные диаграммы в схемах релейной защиты и автоматики: Практическое пособие / Сост. Ф.Д. Кузнецов; Под ред. Б.А. Алексеева. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2002. – 64 с.; ил.
2. Шацков Ю.Л., Каргин С.В. Векторные диаграммы в релейной защите и автоматике. – М.: НТФ Энергопрогресс, 2008. – 80 с.; ил. [Библиотечка электротехника, приложение к журналу «Энергетик»; Вып. 12(120)].
3. ЭКРА.656453.031 РЭ. Руководство по эксплуатации. Шкаф защиты трансформатора типа ШЭ2607 041 (ШЭ2607 041041).
4. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 13Б. Релейная защита понижающих трансформаторов и автотрансформаторов 110-500 кВ: Расчеты. - М.: Энергоатомиздат, 1985
5. Силовые трансформаторы. Справочная книга / Под ред. С.Д. Лизунова, А.К. Лоханина. М: Энергоиздат, 2004. – 616 с.
6. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). – 7-е изд. – М. ЗАО «Энергосервис», 2002.
7. Шабад М.А. – Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. 3-е изд. – М. Энергоатомиздат, 1985.
8. ГОСТ 7746-2001. Трансформаторы тока. Общие технические условия.