



ИНЖЕНЕРНЫЙ ЦЕНТР ИРКУТСКЭНЕРГО

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ «ИНЖЕНЕРНЫЙ ЦЕНТР «ИРКУТСКЭНЕРГО» (ООО «ИЦ «ИРКУТСКЭНЕРГО»)

Свидетельство №0034.7-2014-3808142516-П-46 от 27.11.2014г.
Заказчик: Филиал ОАО «ИЭСК» Западные электрические сети

**РЕКОНСТРУКЦИЯ КОМПЛЕКТОВ РЕЗЕРВНЫХ ЗАЩИТ
ВЛ 220 кВ ТУЛУН – ПОКОСНОЕ (ВЛ-232) В ЗДАНИИ
ГЛАВНОГО ЩИТА УПРАВЛЕНИЯ
ПС 220/110/10 (ПП 500) кВ ТУЛУН, ИН.№8000110103**

ПС 500 кВ Тулун

Расчет времени до насыщения трансформаторов тока ВЛ-232

002/094-ОТР.РР1

Главный инженер

О.И. Гаврилюк


Начальник СРЗА

А.А. Зверев

2020

СОДЕРЖАНИЕ

Обозначение	Наименование	Страница
002/094-ОТР.РР1.С	Содержание	2
002/094-ОТР.РР1	<p>Введение</p> <p>1. Данные о максимальной величине КЗ протекающего через ТТ</p> <p>2. Данные о величине постоянной времени затухания Та</p> <p>3. Данные о фактической нагрузке вторичных цепей ТТ ВЛ-232</p> <p>4. Расчет времени до насыщения ТТ ВЛ-232 при 3-ф и 1-ф КЗ для существующих ТТ</p> <p>5. Определение времени до насыщения графическим методом ТТ ВЛ 232 при 3-ф и 1-ф КЗ для существующих ТТ</p> <p>6. Расчет времени до насыщения ТТ ВЛ-232 при 3-ф и 1-ф КЗ при наилучших возможных условиях</p> <p>7. Выводы и технические рекомендации</p> <p>8. Расчет времени до насыщения ТТ ВЛ-232 при 3-ф и 1-ф КЗ для ТТ класса точности 10 РР</p> <p>9. Точный расчёт времени до насыщения графоаналитическим методом</p> <p>Список литературы</p>	<p>3</p> <p>3</p> <p>4</p> <p>5</p> <p>5</p> <p>7</p> <p>8</p> <p>9</p> <p>10</p> <p>11</p> <p>12</p>
Приложение 1	Письмо «О времени до насыщения ТТ»устройств серии БЭМП и БЭМП РУ АО «ЧЭАЗ»	13
Приложение 2	КП на поставку трансформаторов тока класса точности 10 РР	18

Взам. № инв.		Подп. И дата														
Инв. № подл.												002/094-ОТР.РР1С				
		Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Содержание						Стадия	Лист	Листов
		Разраб.	Новообрицкий				09.20							-	1	-
		Н.контр.		Еремин				09.20	 000 «ИЦ «Иркутскэнерго»							
		Нач. СРЗА		Зверев				09.20								

Введение

Данный расчет проведен для определения соответствия параметров, представленных в тех. требованиях к трансформаторам тока (далее — ТТ), предъявляемым нормам. Необходимо проверить существующие ТТ ВЛ-232. Если данные ТТ не удовлетворяют требованиям, тогда необходимо разработать, представить и проверить ТТ с параметрами им удовлетворяющими.

Для определения правильной работы релейной защиты ВЛ-232 (КСЗ) со стороны ПС ТУЛУН ОРУ 220 кВ, был проведен расчет времени до насыщения трансформаторов тока в соответствии с письмом АО «СО ЕЭС» от 11.07.2019 №В2-І-1-19-7865 «О проведении расчетов времени до насыщения трансформатора тока» (далее — письмо АО «СО ЕЭС») и ГОСТ Р 58669—2019 «Релейная защита. Трансформаторы тока измерительные индуктивные с замкнутым магнитопроводом для защиты. Методические указания по определению времени до насыщения при коротких замыканиях». Данный стандарт устанавливает методы расчета времени до насыщения измерительных индуктивных трансформаторов тока для защиты с замкнутым магнитопроводом при коротких замыканиях (классов точности Р, РХ и ТРХ).

Для расчета необходимы:

- 1.1 Данные о максимальной величине тока КЗ протекающего через ТТ.
- 1.2 Данные о величине постоянной времени затухания апериодической составляющей тока КЗ (далее — величина T_a).
- 1.3 Данные о фактической нагрузке вторичных цепей ТТ.
- 1.4 Паспортные данные ТТ.

1. Данные о максимальной величине тока КЗ протекающего через ТТ

Расчет выполнен по условию режима, при максимальных величинах токов трехфазного (3-ф) и однофазного (1-ф) КЗ непосредственно на секции шин 220 кВ.

Таблица. 1.1 — Величины токов КЗ по ветвям при КЗ на шинах ПС ТУЛУН ОРУ 220 кВ (С учетом АТ-3 на ПС Тулун 500 кВ)

Точка КЗ	Место замера	Трехфазное КЗ Максимальный ток прямой последовательности I_1 , А	Однофазное КЗ Максимальный утроенный ток нулевой последовательности $3I_0$, А
К	ВЛ-232	1229	502
	ВЛ-231	1848	944
	АТ-1	1387	1982
	АТ-2	1377	1974
	Суммарный ток	5841	5402

Рассматриваются ТТ в ЛЭП 232. Максимальный протекающий через данные ТТ ток определяется как суммарный ток с вычетом тока от рассматриваемого присоединения.

$$I_{КЗ}^{(3)} = I_{КЗ \Sigma}^{(3)} - I_{КЗ \text{ ЛЭП566}}^{(3)} = 5832 - 1229 = 4603 \text{ А};$$

$$I_{КЗ}^{(1)} = I_{КЗ \Sigma}^{(1)} - I_{КЗ \text{ ЛЭП566}}^{(1)} = 5402 - 502 = 4900 \text{ А}.$$

2. Данные о величине постоянной времени затухания T_a

Модель сети, используемая для расчета электромагнитного переходного процесса при КЗ и определения величины T_a , сформирована индивидуально для объекта «ПС ТУЛУН ОРУ 220 кВ». Учтены сопротивления отходящих воздушных линий электропередачи, эквивалентные сопротивления энергосистемы, приведённые к напряжению шин объекта, расчет проведён для максимального режима энергосистемы. Произведено эквивалентирование энергосистемы относительно данного объекта по ветвям (Рисунок. 2.1).

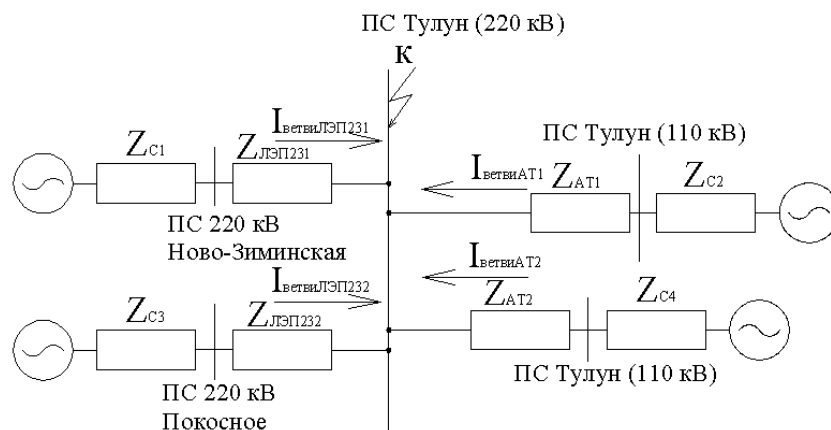


Рисунок. 2.1— Эквивалент энергосистемы относительно «ПС ТУЛУН ОРУ 220 кВ»

Постоянную времени определяем через активные и реактивные составляющие токов ветвей ВЛ-231, АТ-1 и АТ-2 (Ветвь ВЛ-232 не учитывается, так как максимальный ток, протекающий через ТТ принимается как суммарный ток с вычетом тока от рассматриваемого присоединения).

Данные о токах в ветвях, полученные из АРМ СРЗА, представлены в Таблице 2.1 и Таблице 2.2.

Таблица 2.1 —Величины токов, эквивалентных сопротивлений и T_a по ветвям при 3-ф КЗ

Ветви	Ветвь ВЛ-231	Ветвь АТ-1	Ветвь АТ-2
Токи в ветвях (максимальный ток при 3-ф КЗ), А	1848	1387	1377
Активная составляющая тока в ветви (при 3-ф КЗ) А	269	62	64
Реактивная составляющая тока в ветви (при 3-ф КЗ) А	1828	1386	1375
Постоянная времени ветви <u>T_a, c</u>	0,022	0,071	0,068
Эквивалентная постоянная времени <u>$T_{a,рз}, c$</u>	0,050		

Таблица 2.2 —Величины токов, эквивалентных сопротивлений и T_a по ветвям при 1-ф КЗ

Ветви	Ветвь ВЛ-231	Ветвь АТ-1	Ветвь АТ-2
Токи в ветвях (максимальный ток при 1-ф КЗ), А	944	1982	1974
Активная составляющая тока в ветви (при 1-ф КЗ) А	319	67	67
Реактивная составляющая тока в ветви (при 1-ф КЗ) А	889	1981	1973
Постоянная времени ветви <u>T_a, c</u>	0,009	0,094	0,094
Эквивалентная постоянная времени <u>$T_{a,рз}, c$</u>	0,078		

Эквивалентная постоянная времени ($T_{a,pe}$) определена в соответствии с формулой стандарта ГОСТ Р 58669—2019 (1) с применением принципа наложения.

3. Данные о фактической нагрузке вторичных цепей ТТ ВЛ-232

Расчет вторичной нагрузки проведен с учетом представленного вида КЗ (1-ф) и (3-ф) в соответствии с Приложением А настоящего стандарта ГОСТ Р 586669-2019.

Схема соединения группы ТТ «полная звезда».

Таблица 3.1.1 — Параметры сопротивления устройств

№	Устройства	Потребляемая мощность, ВА	Сопротивления при 5 А; R _r , Ом
1	(КСЗ) БЭПМ-РУ ДВ	0,2	0,008

Для расчетов принимается обмотка ТТ, подключенная к микропроцессорному терминалу, т.к. выполнить требования для устройств электромеханики не представляется возможным (См. 7 Выводы и технические рекомендации)

Таблица 3.1.2 — Сопротивление контрольного кабеля`

Удельное сопротивление меди ρ , Ом*мм ² /м	Сечение, S, мм ²	Длина, l, м	Формула	$\Gamma_{пр}$, Ом
0,0175	8	285	$\frac{\rho \cdot l}{S}$	0,62

Таблица 3.1.3 — Суммарное сопротивление нагрузки

Вид КЗ	Наименование	Обозначение	Сопротивления
	Суммарное сопротивление устройств РЗ	$Z_{рф}$, Ом	0,008
	Суммарное сопротивление устройств в цепи общего провода	$Z_{ро}$, Ом	0
Нагрузка на ТТ при 3-ф КЗ	$\Gamma_{пр} + Z_{рф}$	$Z_{н.факт}$, Ом	0,63
Нагрузка на ТТ при 1-ф КЗ	$2\Gamma_{пр} + Z_{рф} + Z_{ро}$	$Z_{н.факт}$, Ом	1,25

4. Расчет времени до насыщения ТТ ВЛ-232 при 3-ф и 1-ф КЗ для существующих ТТ

Информация о параметрах трансформатора тока представлена в Таблице 4.1 По каждому пункту прилагаются ссылки в нормативном документе ГОСТ Р 58669—2019 на конкретные формулы для расчета. Расчет времени до насыщения в последних двух пунктах Таблицы 4.2 выполнен с условием, что уровень остаточного намагничивания будет составлять 86% (ГОСТ Р 58669—2019, 5.1.3).

При расчете не учитывается индуктивность вторичной обмотки L_2 и индуктивная составляющая нагрузки L_n , что обеспечивает некоторый запас.

Если величины $A^{(3)}(1 - K_r)$ и $A^{(1)}(1 - K_r)$ менее 1 или расчетное время не удовлетворяем требуемому, тогда для уточнения необходимо провести точный расчет графическим методом в соответствии с ГОСТ Р 58669—2019.

Расчет для ТТ, при наилучших возможных условиях выполнен при следующих параметрах:

- 1) Коэффициент трансформации ТТ принять $K_{тт}=2000/5$;
- 2) При этом $S_{н.ном}=100$ ВА.;
- 3) S, сечение каб, $=2 \times 10$ мм².

При расчете для ТТ класса точности Р, удовлетворяющим требованию по $t_{нас}$, действительная нагрузка принимается равной номинальной.

Таблица 4.1 — Исходные данные ТТ (Встроенный)

		<u>(1)</u> Для существующих ТТ при действующих условиях							<u>(2)</u> Для существующих ТТ при наилучших возможных условиях						<u>(3)</u> Для ТТ класса точности Р, удовлетворяющим требованию по $t_{нас}$								
Параметры сети		Параметры ТТ					Параметры		Параметры ТТ					Параметры нагрузки		Параметры ТТ					Параметры нагрузки		
$I^{(1)}$ кЗ, А	$T^{(1)}$ р.эkv	$I_{1.ном}, A$	$I_{2.ном}, A$	$R_2, Ом$	$S_{н.ном}, ВА$	$cos\varphi_{ном}$	$R^{(1)}_{н.факт}, Ом$	$X^{(1)}_{н.факт}, Ом$	$I_{1.ном}, A$	$I_{2.ном}, A$	$R_2, Ом$	$S_{н.ном}, ВА$	$cos\varphi_{ном}$	$R^{(1)}_{н.факт}, Ом$	$X^{(1)}_{н.факт}, Ом$	$I_{1.ном}, A$	$I_{2.ном}, A$	$R_2, Ом$	$S_{н.ном}, ВА$	$cos\varphi_{ном}$	$R^{(1)}_{н.факт}, Ом$	$X^{(1)}_{н.факт}, Ом$	
4900	0,078	600	5	0,237	35	0,8	1,25	0	2000	5	0,237	100	0,8	0,51	0	600	5	0,237	35	0,8	1,4	0	
$I^{(3)}$ кЗ, А	$T^{(3)}$ р.эkv	$K_{ном}$		$X_2, Ом$	$Z_{н.ном}, Ом$	$cos\varphi_{ном}$	$R^{(3)}_{н.факт}, Ом$	$X^{(3)}_{н.факт}, Ом$	$K_{ном}$		$X_2, Ом$	$Z_{н.ном}, Ом$	$cos\varphi_{ном}$	$R^{(3)}_{н.факт}, Ом$	$X^{(3)}_{н.факт}, Ом$	$K_{ном}$		$X_2, Ом$	$Z_{н.ном}, Ом$	$cos\varphi_{ном}$	$R^{(3)}_{н.факт}, Ом$	$X^{(3)}_{н.факт}, Ом$	
4603	0,05	15		0	1,4	0,8	0,63	0	15		0	4	0,8	0,26	0	400		0	1,4	0,8	1,4	0	

Таблица 4.2 —Расчет величины времени до насыщения ТТ при различных уровнях остаточного намагничивания при 1-ф и 3-ф КЗ

<i>I</i>	Наименование	обозначение	Формула	Значения для (1)	Значения для (2)	Значения для (3)
2	Номинальное полное сопротивление вторичной нагрузки ТТ (10)	$Z_{2\Sigma\text{ ном}, Ом}$	$\sqrt{(R_2 + Z_{н,ном} \cdot \cos\varphi_{ном})^2 + (X_2 + Z_{н,ном} \sin\varphi_{ном})^2}$	1,60	4,19	1,60
3	Полное сопротивление ветви вторичного тока для 1-ф КЗ (11)	$Z^{(1)}_{2\Sigma}, Ом$	$\sqrt{(R_2 + R^{(1)}_{н.факт})^2 + (X_2 + X^{(1)}_{н.факт})^2}$	1,49	0,74	1,64
4	Полное сопротивление ветви вторичного тока для 3-ф КЗ (11)	$Z^{(3)}_{2\Sigma}, Ом$	$\sqrt{(R_2 + R^{(3)}_{н.факт})^2 + (X_2 + X^{(3)}_{н.факт})^2}$	0,87	0,49	1,64
5	Косинус угла сопротивления ветви вторичной нагрузки ТТ для 1-ф КЗ (12)	$cos\alpha^{(1)}$	$\frac{R_2 + R^{(1)}_{н.факт}}{Z^{(1)}_{2\Sigma}}$	1	1	1
6	Косинус угла сопротивления ветви вторичной нагрузки ТТ для 3-ф КЗ (12)	$cos\alpha^{(3)}$	$\frac{R_2 + R^{(3)}_{н.факт}}{Z^{(3)}_{2\Sigma}}$	1	1	1
7	Параметр режима А для 1-ф КЗ (9)	$A^{(1)}$	$\frac{I_{ном} \cdot K_{ном} \cdot Z_{2\Sigma\text{ ном}}}{I^{(1)}_{КЗ} \cdot Z^{(1)}_{2\Sigma}}$	1,96	34,51	47,75
8	Параметр режима А для 3-ф КЗ (9)	$A^{(3)}$	$\frac{I_{ном} \cdot K_{ном} \cdot Z_{2\Sigma\text{ ном}}}{I^{(3)}_{КЗ} \cdot Z^{(3)}_{2\Sigma}}$	3,59	55,26	50,83
9	Коэффициент остаточной намагниченности сердечника ТТ (ст 5)	Kr		0,86	0,86	0,86
10	Угловая частота сети	ω, c^{-1}	$2\pi \cdot f_c$	314,16	314,16	314,16
11	Условия выполнения решения для 1-ф КЗ (А должно быть меньше $\omega T_p + 1$, но больше 1) (ст 5) (4; 5) Невыполнение 1-го условия говорит о том, что насыщения ТТ не наступает Невыполнение 2-го условия говорит о том, что получение $t_{нас}$ аналитическим методом не представляется возможным	$\omega T^{(1)}_{р.эkv} + 1$	$\omega T^{(1)}_{р.эkv} + 1 > A^{(1)}$ $A^{(1)} > 1$	$A^{(1)}$	$A^{(1)}$	$A^{(1)}$
		25,50		1,96	34,51	47,75
12	Условия выполнения решения для 3-ф КЗ (ст 5) (4; 5)	$\omega T^{(3)}_{р.эkv} + 1$	$\omega T^{(3)}_{р.эkv} + 1 > A^{(3)}$ $A^{(3)} > 1$	$A^{(3)}$	$A^{(3)}$	$A^{(3)}$
		16,71		3,59	55,26	50,83
13	Время до насыщения ТТ без учета остаточной намагниченности для 1-ф КЗ (3)	$t^{(1)}_{нас}, мс$	$T^{(1)}_{р.эkv} \cdot \ln \frac{\omega T^{(1)}_{р.эkv}}{\omega T^{(1)}_{р.эkv} - A^{(1)} + 1}$	3,13	Без нас	Без нас
14	Время до насыщения ТТ без учета остаточной намагниченности для 3-ф КЗ (3)	$t^{(3)}_{нас}, мс$	$T^{(3)}_{р.эkv} \cdot \ln \frac{\omega T^{(3)}_{р.эkv}}{\omega T^{(3)}_{р.эkv} - A^{(3)} + 1}$	9,0	Без нас	Без нас
15	Условия выполнения решения с учетом остаточной намагниченности для 1-ф КЗ (ст 5) (7; 8)	$\omega T^{(1)}_{р.эkv} + 1$	$\omega T^{(1)}_{р.эkv} + 1 > A^{(1)} (1 - K_r)$ $A^{(1)} (1 - K_r) > 1$	$A^{(1)} (1 - K_r)$	$A^{(1)} (1 - K_r)$	$A^{(1)} (1 - K_r)$
		25,50		0,28	4,83	6,69
16	Условия выполнения решения с учетом остаточной намагниченности для 3-ф КЗ (ст 5) (7; 8)	$\omega T^{(3)}_{р.эkv} + 1$	$\omega T^{(3)}_{р.эkv} + 1 > A^{(3)} (1 - K_r)$ $A^{(3)} (1 - K_r) > 1$	$A^{(3)} (1 - K_r)$	$A^{(3)} (1 - K_r)$	$A^{(3)} (1 - K_r)$
		16,71		0,50	7,74	7,12
17	Время до насыщения ТТ с учетом остаточной магнитной индукции для 1-ф КЗ (6)	$t^{(1)}_{нас}, мс$	$T^{(1)}_{р.эkv} \cdot \ln \frac{\omega T^{(1)}_{р.эkv}}{\omega T^{(1)}_{р.эkv} - A^{(1)} \cdot (1 - K_r) + 1}$	-	13,3	20,6
18	Время до насыщения ТТ с учетом остаточной магнитной индукции для 3-ф КЗ (6)	$t^{(3)}_{нас}, мс$	$T^{(3)}_{р.эkv} \cdot \ln \frac{\omega T^{(3)}_{р.эkv}}{\omega T^{(3)}_{р.эkv} - A^{(3)} \cdot (1 - K_r) + 1}$	-	28,0	24,7

Выводы:

- (1) Для существующих ТТ при действующих условиях: По условию 17 и 18 не удовлетворяет требованиям (Приложение 1);
(2) Для существующих ТТ при наилучших возможных условиях: По условию 17 не удовлетворяет требованиям (Приложение 1);
(3) Для ТТ класса точности Р, удовлетворяющим требованию по $t_{нас}$: Представленные параметры невозможны в реализации в ввиду технико-габаритных ограничений.

Для уточнения произведем расчет графическим методом.

5. Определение времени до насыщения графическим методом ТТ ВЛ 232 при 3-ф и 1-ф КЗ для существующих ТТ

По данному методу определяется время до насыщения $t_{\text{нас}}$ для выбранного ТТ с учетом остаточной намагниченности:

1. Необходимо воспользоваться универсальными характеристиками для определения минимального значения времени до насыщения ТТ (ГОСТ Р 58669—2019, Приложение Б), соответствующими расчетным $T_{p.экв}$ и $\cos\alpha$.
2. Временем до насыщения ТТ является то время, при котором происходит пересечение функции нужной характеристики $K_{п.р}(t)$ и $A(1-K_r)$ для представленного вида КЗ.
3. В соответствии с пунктом Г.3.7 Приложения Г настоящего стандарта ГОСТ Р 58669—2019 универсальные характеристики ТТ классов Р и ТРХ для определения коэффициента переходного режима $K_{п.р}(t)$ ТТ при активно-индуктивном и активном характерах сопротивления вторичной цепи определяют в соответствии с приложением Б с учетом уравнения (Г.15). Характеристики построены для начальных фаз периодической составляющей тока КЗ ϑ , при которых время до насыщения ТТ получается наименьшим.

Соответственно при активном характере сопротивления вторичной цепи ($\cos\alpha=1$) закон изменения $K_{п.р}(t)$ будет определяться формулой (Г.18) приложения Г настоящего стандарта ГОСТ Р 58669—2019:

$$K_{п.р}(t) = \omega T_p \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T_p}} \right) - \sin(\omega \cdot t); (Г.18)$$

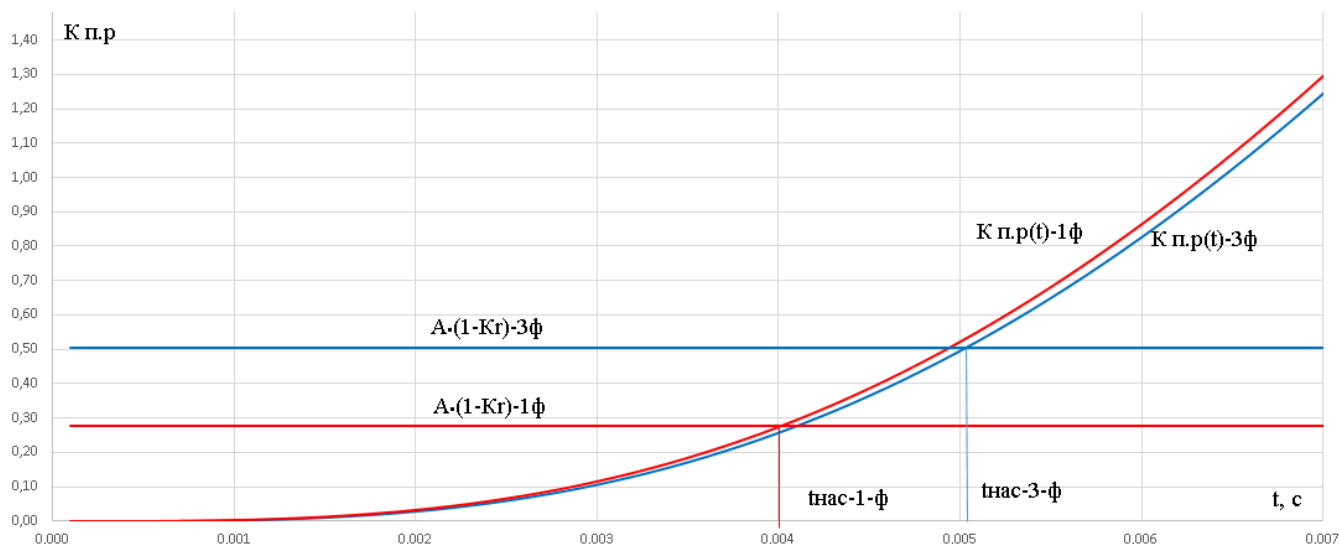


Рисунок. 5.1— Результаты графоаналитического расчета времени до насыщения ТТ ВЛ-232 при 3-ф и 1-ф КЗ

Время до насыщения ТТ для 3-ф КЗ составляет: **5,1 мс**

Время до насыщения ТТ для 1-ф КЗ составляет: **4,0 мс**

При подстановке полученных величин времени до насыщения ТТ (в секундах) в формулу (Г.18) получаем величину $K_{п.р}(t)$ равную соответствующей $A(1-K_r)$.

Вывод: Существующие ТТ не удовлетворяют требованиям. (Приложение 1).

6. Определение времени до насыщения графическим методом ТТ ВЛ 232 при 3-ф и 1-ф КЗ при наилучших возможных условиях

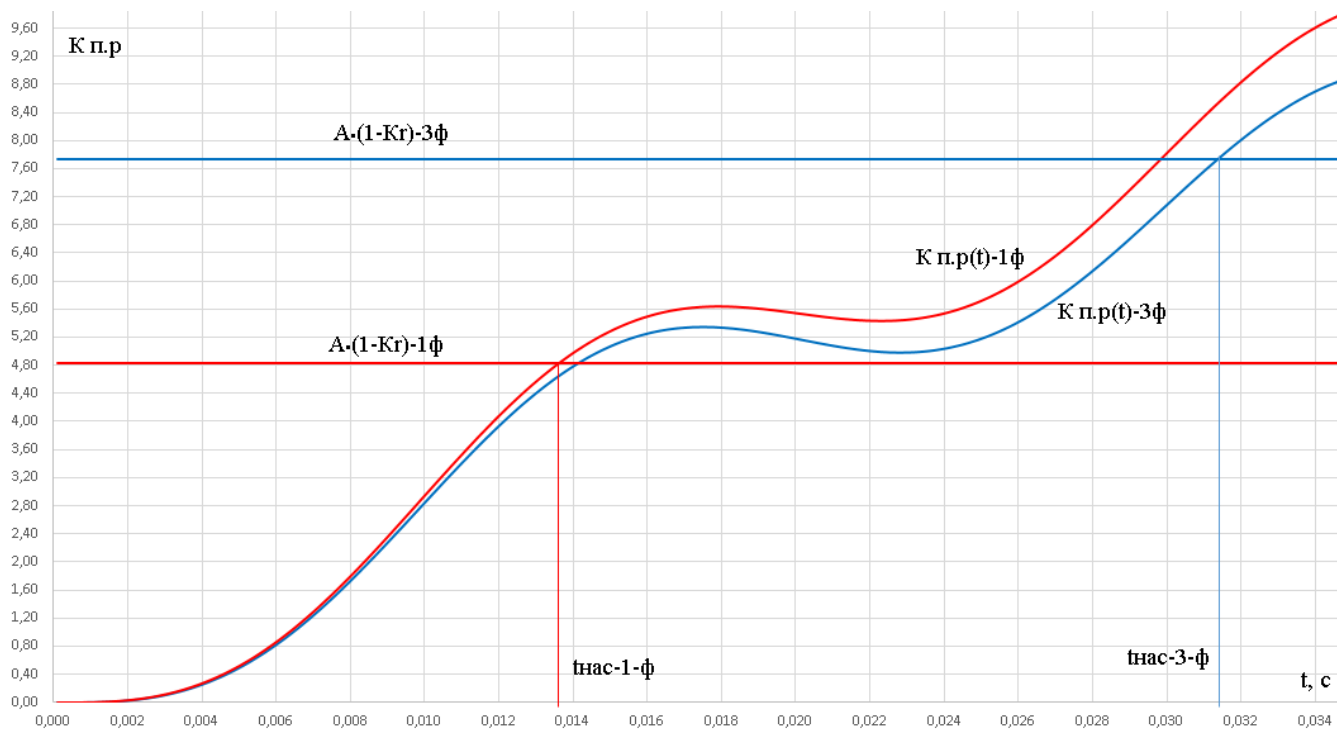


Рисунок. 6.1— Результаты графоаналитического расчета времени до насыщения ТТ ВЛ-232 при 3-ф и 1-ф КЗ

Время до насыщения ТТ для 3-ф КЗ составляет: 31,3 мс

Время до насыщения ТТ для 1-ф КЗ составляет: 13,6 мс

Вывод: Существующие ТТ, при обеспечении наилучших возможных условий, не удовлетворяют требованиям. (Приложение 1).

7 Выводы и технические рекомендации

Для устройств электромеханики:

Так как для электромеханических устройств производителем не регламентируется работа в режиме насыщения ТТ, то нельзя гарантировать правильную работу в данном режиме. Время до насыщения должно либо удовлетворять следующим условиям, либо ТТ вообще не должен входить в режим насыщения.

Для устройства ЭПЗ-1636 принимается условие по сравнению с минимальным временем срабатывания защит. Время срабатывания выходных промежуточных реле РП комплекта КЗ9 и РПЗ комплекта КЗ10 при номинальном напряжении постоянного тока:

- при разомкнутой демпферной обмотке, не более 40 мс [7].

Для дифференциальных защит, выполненных на устройствах электромеханики, используется следующее условие для исключения ложной работы при насыщении ТТ:

Если при внешнем КЗ повреждение будет устранено селективно до момента насыщения ТТ, тогда ДЗШ не отработает ложно. Так как время ликвидации КЗ состоит из времени работы защиты, времени работы выключателя, времени запаса, тогда суммарное время ликвидации должно быть меньше времени до насыщения ТТ.

Таблица 7.1 — Сравнение минимального времени до насыщения ТТ с временем до селективной ликвидации КЗ

Полное время работы выключателя 3AP1 DT 245, мс	Время, необходимое защите для селективной ликвидации КЗ, мс	Время запаса, мс	Минимальное Время ликвидации КЗ, мс
60	20	5	85

Выполнить вышеуказанные условия не представляется возможными в виду технико-габаритных ограничений даже для ТТ, предназначенных для работы в переходных режимах (10PR, TPZ, TPY).

Следовательно, рекомендуется произвести замену существующих электромеханических устройств на устройства микропроцессорной техники аналогичного назначения.

Для МП устройств защит:

Минимальное необходимое время для МП терминала БЭМП РУ-ДВ составляет 20 мс (Приложение 1).

Так как из вышеуказанных расчетов следует что необходимое условие не удовлетворяется даже при наилучших возможных условиях, рекомендуется произвести замену существующих ТТ.

К установке предлагаются ТТ класса точности 10PR с нормируемой величиной остаточной магнитной индукции с максимальными возможными параметрами по условию технико-габаритных ограничений для встроенных ТТ (Приложение 2).

Так как заданием на проектирования не предусмотрена замена ТТ разработка к ним технических требований, рекомендуется выполнить данную работу по отдельному титулу.

При подключении терминала БЭМП-РУ.ДВ к существующему ТТ, на основании невыполнения условия по необходимой величине времени до насыщения, возможна задержка срабатывания первых ступеней защит при близких КЗ в зоне действия защиты.

Возможна ложная работа дистанционной защиты при близких КЗ «за спиной».

8 Расчет времени до насыщения ТТ ВЛ-232 при 3-ф и 1-ф КЗ для ТТ класса точности 10 PR

Расчет времени до насыщения ТТ, предназначенного для работы в переходных режимах, выполнен согласно ПНСТ 283-2018. «Трансформаторы измерительные. Часть 2. Технические условия на трансформаторы тока». По каждому пункту расчета прилагается ссылка на формулу в данном нормативном документе.

Таблица 8.1 — Исходные данные ТТ, предназначенного для работы в переходных режимах

Параметры ТТ						Параметры нагрузки		Параметры сети	
$I_{1,ном}, A$	$I_{2,ном}, A$	$R_2, Ом$	$L_2, Гн$	$S_{н,ном}, ВА$	$\cos\varphi_{ном}$	$R^{(1)}_{н.факт}, Ом$	$L^{(1)}_{н.факт}, Гн$	$I^{(1)}_{кз}, A$	$T^{(1)}_{р.эвб}, с$
600	5	0,24	0	35	0,8	1,25	0	4900	0,078
$K_{ном}$		$K_{п.р.ном}$		$Z_{н,ном}, Ом$	$\cos\varphi_{ном}$	$R^{(3)}_{н.факт}, Ом$	$L^{(3)}_{н.факт}, Гн$	$I^{(3)}_{кз}, A$	$T^{(3)}_{р.эвб}, с$
50		1		1,4	0,8	0,63	0	4603	0,050

Таблица 8.2 — Величины времени до насыщения ТТ при различных уровнях остаточного намагничивания и с учетом цикла АПВ при 1-ф и 3-ф КЗ

1	Наименование	обозначение	Формула	значение
2	Параметр режима А для 1-ф КЗ (Б.21)	$A^{(1)}$	$\frac{I_{ном} \cdot K_{ном} \cdot \sqrt{(R_2 + R_{н,ном})^2 + (Z_{н,ном} \cdot \sin\varphi_{н,ном})^2}}{I_{кз}^{(1)} \cdot \sqrt{(R_2 + R_{н,факт}^{(1)})^2 + \omega^2 \cdot (L_2 + L_{н,факт}^{(1)})^2}}$	6,57
3	Параметр режима А для 3-ф КЗ (Б.21)	$A^{(3)}$	$\frac{I_{ном} \cdot K_{ном} \cdot \sqrt{(R_2 + R_{н,ном})^2 + (Z_{н,ном} \cdot \sin\varphi_{н,ном})^2}}{I_{кз}^{(3)} \cdot \sqrt{(R_2 + R_{н,факт}^{(3)})^2 + \omega^2 \cdot (L_2 + L_{н,факт}^{(3)})^2}}$	11,97
4	Коэффициент остаточной намагниченности сердечника ТТ (Таблица.4; п.11)	K_r		0,1
5	Угловая частота сети	$\omega, с^{-1}$	$2\pi \cdot f_c$	314,16
6	Условия выполнения решения для 1-ф КЗ (Б.25; Б.26)	$\omega T_{р.эвб}^{(1)} + 1$	$\omega T_{р.эвб}^{(1)} + 1 > A^{(1)} \cdot K_{п.р.ном}$	$A^{(1)} \cdot K_{п.р.ном}$
		59,43	$A^{(1)} \cdot K_{п.р.ном} > 1$	6,57
7	Условия выполнения решения для 3-ф КЗ (Б.25; Б.26)	$\omega T_{р.эвб}^{(3)} + 1$	$\omega T_{р.эвб}^{(3)} + 1 > A^{(3)} \cdot K_{п.р.ном}$	$A^{(3)} \cdot K_{п.р.ном}$
		14,82	$A^{(3)} \cdot K_{п.р.ном} > 1$	11,97
8	Время до насыщения ТТ без учета остаточной намагниченности для 1-ф КЗ (Б.24)	$t^{(1)}_{нас}, мс$	$T_{р.эвб}^{(1)} \cdot \ln \frac{\omega T_{р.эвб}^{(1)}}{\omega T_{р.эвб}^{(1)} - A^{(1)} \cdot K_{п.р.ном} + 1}$	20,12
9	Время до насыщения ТТ без учета остаточной намагниченности для 3-ф КЗ (Б.24)	$t^{(3)}_{нас}, мс$	$T_{р.эвб}^{(3)} \cdot \ln \frac{\omega T_{р.эвб}^{(3)}}{\omega T_{р.эвб}^{(3)} - A^{(3)} \cdot K_{п.р.ном} + 1}$	60,0
10	Условия выполнения решения с учетом остаточной намагниченности для 1-ф КЗ (Б.48; Б.49)	$\omega T_{р.эвб}^{(1)} + 1$	$\omega T_{р.эвб}^{(1)} + 1 > A^{(1)} (1 - K_r)$	$A^{(1)} (1 - K_r)$
		25,50	$A^{(1)} (1 - K_r) > 1$	5,91
11	Условия выполнения решения с учетом остаточной намагниченности для 3-ф КЗ (Б.48; Б.49)	$\omega T_{р.эвб}^{(3)} + 1$	$\omega T_{р.эвб}^{(3)} + 1 > A^{(3)} (1 - K_r)$	$A^{(3)} (1 - K_r)$
		16,71	$A^{(3)} (1 - K_r) > 1$	10,78
12	Время до насыщения ТТ с учетом остаточной магнитной индукции для 1-ф КЗ (Б.47)	$t^{(1)}_{нас}, мс$	$T_{р.эвб}^{(1)} \cdot \ln \frac{\omega T_{р.эвб}^{(1)}}{\omega T_{р.эвб}^{(1)} - A^{(1)} \cdot (1 - K_r) + 1}$	17,4
13	Время до насыщения ТТ с учетом остаточной магнитной индукции для 3-ф КЗ (Б.47)	$t^{(3)}_{нас}, мс$	$T_{р.эвб}^{(3)} \cdot \ln \frac{\omega T_{р.эвб}^{(3)}}{\omega T_{р.эвб}^{(3)} - A^{(3)} \cdot (1 - K_r) + 1}$	48,7

Вывод: Условие по пункту 12 не удовлетворяет требованиям.

Производим уточняющий расчет графоаналитическим методом.

9 Точный расчёт времени до насыщения графоаналитическим методом

По данному методу определяется время до насыщения $t_{\text{нас}}$ для выбранного ТТ с учетом остаточной намагниченности:

1 По формуле ПНСТ-283-2018 (Б.51) необходимо построить график функции коэффициента переходного режима.

$$K_{n.p}(t) = \omega T_p \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T_p}} \right) - \sin(\omega \cdot t); (Б.51)$$

2 Временем до насыщения ТТ является то время, при котором происходит пересечение функции $K_{n.p}(t)$ и $A(1-K_r)$.

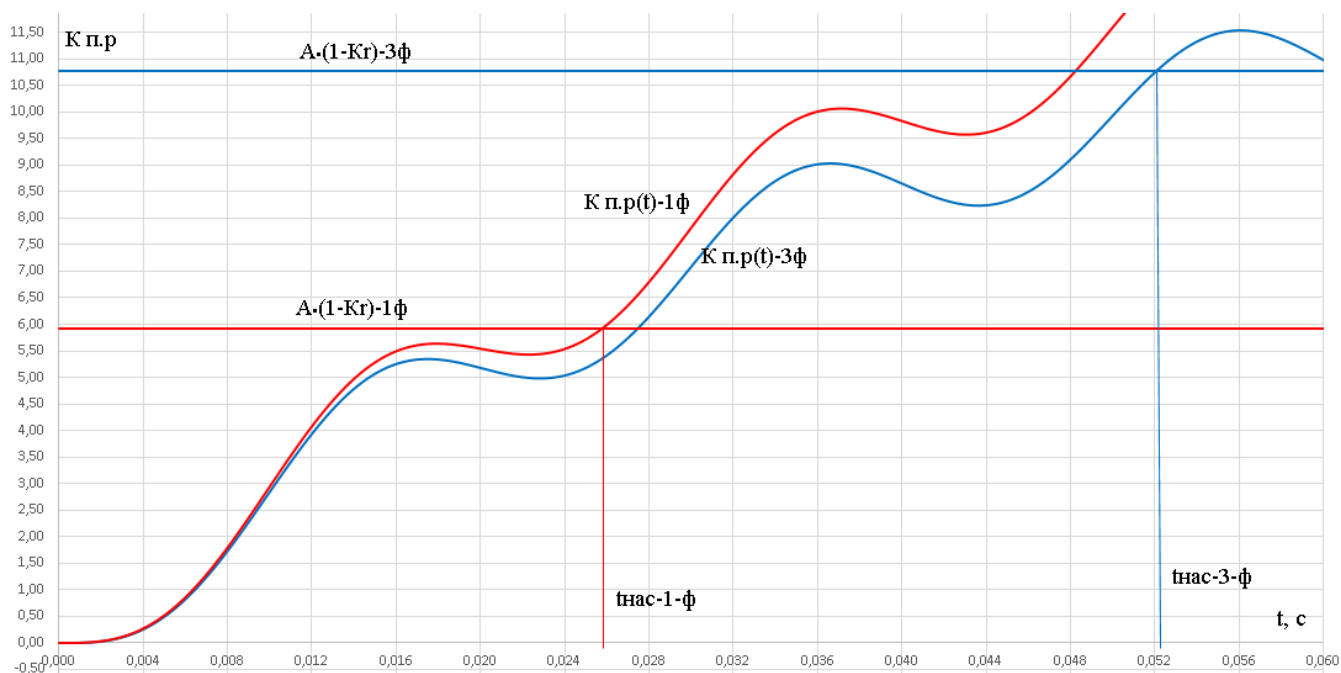


Рисунок. 6.1— Результаты графоаналитического расчета времени до насыщения ТТ ВЛ-232 при 3-ф и 1-ф КЗ, 10PR

Время до насыщения ТТ для 3-ф КЗ составляет: 52,1 мс

Время до насыщения ТТ для 1-ф КЗ составляет: 25,7 мс

Вывод: ТТ класса точности 10PR, по параметрам Приложения 2 удовлетворяют требуемому времени до насыщения.

Список литературы

1. ГОСТ Р 58669—2019 «Релейная защита. Трансформаторы тока измерительные индуктивные с замкнутым магнитопроводом для защиты Методические указания по определению времени до насыщения при коротких замыканиях».
2. ПНСТ 283-2018 «Трансформаторы измерительные. Часть 2. Технические условия на трансформаторы тока»
3. Письмо АО «СО ЕЭС» от 11.07.2019 №В2-І-1-19-7865 «О проведении расчетов времени до насыщения трансформатора тока»
4. ГОСТ Р 52735-2007 «Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ»
5. Шабад М.А. Трансформаторы тока в схемах релейной защиты. Часть первая.
6. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника: Учеб. пособие для вузов. – 4-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 2007. – 440 с., ил
7. Удрис А. П. Релейная защита воздушных линий 110-220 кВ типа ЭПЗ-1636.

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ЧЕБОКСАРСКИЙ
ЭЛЕКТРОАППАРАТНЫЙ
ЗАВОД»
(АО «ЧЭАЗ»)



ЧЭАЗ



«ШУПАШКАРТИ
ЭЛЕКТРОАППАРАТ
ЗАВОЧЁ»
АКЦИОНЕРСЕН
ПЁРЛЕШЁВЁ

Проспект И.Я. Яковлева, дом 5, г. Чебоксары, Чувашская Республика, 428020
Тел.: +7(8352) 39-56-09 (справочная завода), 62-04-61 (приемная), 39-57-43 (канцелярия),
39-56-90, 62-20-99 (ИПК «ИЩит»), 39-52-65, 39-59-29 (ИПК «Реконт»),
39-52-72 (ИПК «МПРЗА»), 39-51-23 (ИПК «ИТ»)
Факс: +7(8352) 62-72-31; e-mail: cheaz@cheaz.ru, <http://www.cheaz.ru>
ОКПО 05797954; ОГРН 1022101129896; ИНН 2128000600; КПП 213001001



№ 307-171 от 05.07.2019

На № ВД-4171 от 27.06.2019

Заместителю Председателя правления –
главному инженеру
ПАО «ФСК ЕЭС»
Воденникову Д.А.
info@fsk-ees.ru

О времени до насыщения ТТ

Уважаемый Дмитрий Александрович!

В ответ на ваше письмо №ВД -4171 от 27.06.2019 сообщаем следующее:

1) устройства серий БЭМП и БЭМП РУ (далее – блоки БЭМП) производства АО «ЧЭАЗ» предъявляют к измерительным трансформаторам тока требования, приведенные в приложении 1;

2) в блоках БЭМП в качестве основного расчетного метода применяется преобразование Фурье, в соответствии с которым для достоверных расчетов синусоидальной функции необходимы данные о значениях в течение одного периода измеряемого сигнала. Таким образом, для полноценной и правильной работы большинства алгоритмов функций РЗА, минимальное необходимое время составляет один период тока промышленной частоты равный 20 мс. Кроме того, в устройствах БЭМП имеются и применяются алгоритмы функций РЗА с меньшим временем срабатывания, однако это касается только некоторого ряда защит (основные защиты), работа которых всегда дублируется защитами с временем срабатывания, указанным выше.

Директор ИПК МПРЗА

П.Г. Варганов

Исполнитель Лукин Алексей Владимирович

Тел. (8352) 39-50-99

Файл

№	Тип устройства	Серия	Версия ПО (для МП РЗА)	Годы выпуска	Tmin	Доп. информация
1	РЗА	БЭМП	до 121 включительно	2005-2019	20 мс	
2	РЗА	БЭМП РУ	до 121 включительно	2010-2019	20 мс	

Прочие требования (при наличии):

1 Требования к трансформаторам тока, применяемым совместно с устройством дифференциальной защиты трансформатора и шин:

ТТ должны удовлетворять требованиям по их применению в цепях релейной защиты (в том числе и по условиям термической стойкости вторичных цепей) и должны быть проверены в соответствии с РД 153-34.0-35.301-2002.

Согласно ГОСТ 7746-2001 для ТТ задается предельная кратность по точности K_{np} . Имеются два основных исполнения 5Р и 10Р: полная погрешность ТТ – ϵ не превышает 5% (K_5); полная погрешность ϵ не превышает 10% (K_{10}). Для дифференциальной токовой защиты трансформатора большое значение имеют погрешности ТТ, возникающие в переходных режимах. Погрешности ТТ определяются его классом точности для релейной защиты. Эти погрешности практически не зависят от того, используются ли ТТ с нормированными значениями K_5 или K_{10} . Поэтому в дальнейшем используется общее обозначение K_{np} .

При использовании параметра K_{np} требования к ТТ в установившемся режиме можно сформулировать так:

$$K'_{np} \geq I_{K3.вн.мах*}, \quad (1.1)$$

$$K'_{np} = \frac{I_{1НОМ.ТТ} \cdot K_{np}}{I_{НОМ.Т}}, \quad (1.2)$$

где $I_{K3.вн.мах*} = \frac{I_{K3.вн.мах}}{I_{НОМ.Т}};$

$I_{НОМ.Т}$ - номинальный ток обмотки защищаемого трансформатора;

$I_{1НОМ.ТТ}$ - номинальный ток первичной обмотки ТТ;

K'_{np} - приведенная предельная кратность.

При использовании ТТ, выпущенных до 2003 г., значения K_{np} можно находить по кривым предельной кратностей.

Для защитных ТТ, выпущенных в 2003 г. и позже, нормируются следующие параметры:

- 1) номинальная предельная кратность $K_{НОМ}$;
- 2) номинальная мощность вторичной нагрузки $S_{2НОМ}$ с коэффициентом мощности $\cos\phi=0,8$;
- 3) сопротивление вторичной обмотки на постоянном токе $R_{обм2}$.

При использовании указанных параметров предельную кратность можно вычислить по формуле:

$$K_{np} = \frac{K_{НОМ} \sqrt{R_{обм2}^2 + 1,6 \cdot R_{обм2} \cdot Z_{НГ.НОМ} + Z_{НГ.НОМ}^2}}{R_{обм2} + R_{НГ.расч}}, \quad (1.3)$$

где $Z_{НГ.НОМ} = \frac{S_{2НОМ}}{I_{2НОМ}^2}$ - номинальное сопротивление нагрузки;

$R_{НГ.расч}$ - расчетное сопротивление нагрузки ТТ.

С целью снижения расчетного сопротивления нагрузки при трехфазном КЗ рекомендуется использовать со сторон ВН и СН схему соединения вторичных обмоток ТТ звезда с нулевым проводом.

При использовании встроенных ТТ целесообразно выбирать максимальный первичный номинальный ток данного типа ТТ. При этом получается наибольшее значение $K'_{пр}$.

Конкретные требования в зависимости от условий применения БЭМП-ДЗТ приведены в таблице.

$S_{НОМ.Т}, \text{ МВА}$		≤ 16	$25 \leq S_{НОМ.Т} \leq 40$	≥ 63
$K'_{пр}$	ВН и СН	≥ 25	≥ 30	≥ 35
	НН	≥ 15	≥ 20	≥ 25

Примечание. Повышенные значения $K'_{пр}$ со стороны ВН и СН способствуют обеспечению быстрого действия дифференциальной защиты в переходных режимах КЗ в защищаемой зоне.

2 Требования к трансформаторам тока, применяемым совместно с устройством дифференциальной защиты линий

Согласно ГОСТ 7746-2001 для ТТ нормируется предельная кратность по точности $k_{пр}$, которая входит в перечень справочных данных, приводимых в информационных материалах предприятия-изготовителя измерительных трансформаторов тока. Имеются два основных исполнения: полная погрешность ТТ – ϵ не превышает 5% (k_5); полная погрешность ϵ не превышает 10% (k_{10}).

Для дифференциальных защит трансформаторов решающее значение имеют погрешности ТТ в переходных режимах. Эти погрешности практически не зависят от того, используются ли ТТ с нормированными значениями k_5 или k_{10} . Поэтому в дальнейшем используется общее обозначение $k_{пр}$.

Проверка ТТ сводится к сравнению предельной кратности по точности ($k_{пр}$) выбранного ТТ (нормированное значение) со значением, полученным расчетным путем по формуле (2.4) или по кривым предельных кратностей для конкретного значения тока на входе устройства микропроцессорной защиты. Рассчитанное значение должно соответствовать условию (2.1), тогда считается, что выбранный ТТ подходит для установки и работе совместно с дифференциальной защитой.

При использовании параметра $k_{пр}$ требования к ТТ в установившемся режиме можно сформулировать так:

$$k_{пр}^* \geq \frac{I_{КЗ.скв.макс}}{I_{баз}} = I_{КЗ.скв.макс}^*, [\text{о.е.}] \quad (2.1)$$

где $I_{КЗ.скв.макс}$ - максимальный сквозной ток, протекающий через ТТ, А;

$I_{баз} = I_{ном}$ - базовый ток, А;

$I_{ном}$ - номинальный ток линии, А;

$k_{пр}^*$ - приведенная предельная кратность, рассчитанная по параметрам ТТ, о.е.

При использовании ТТ, выпущенных до 2003 г., значения $k_{пр}$ можно находить по кривым предельных кратностей.

Для защитных ТТ, выпущенных в 2003 г. и позже, нормируются следующие

параметры:

- 1) номинальная предельная кратность $k_{ном}$, о.е.;
- 2) номинальная мощность вторичной нагрузки $S_{втор.нТТ}$ с коэффициентом мощности $\cos\phi = 0,8$;
- 3) сопротивление вторичной обмотки на постоянном токе $R_{2обм}$, Ом.

При отсутствии кривых предельных кратностей и использовании указанных параметров предельную кратность можно вычислить по приближенной формуле:

$$k_{пр} = \frac{k_{ном} \cdot \sqrt{R_{обм2}^2 + 1,6 \cdot R_{обм2} \cdot Z_{НГ.ном} + Z_{НГ.ном}^2}}{R_{обм2} + R_{НГ.расч}}, [\text{о.е.}] \quad (2.2)$$

$$Z_{НГ.ном} = \frac{S_{втор.нТТ}}{I_{втор.нТТ}^2} - \text{номинальное сопротивление нагрузки, Ом;}$$

$I_{втор.нТТ}$ - номинальный ток вторичной обмотки, А;

$R_{НГ.расч}$ - расчетное сопротивление нагрузки ТТ, Ом.

Формула (2.2) применима для ТТ с первичным номинальным током до 6000 А. Ограничения связаны с тем, что ТТ на первичные номинальные токи 6000 А и более функционируют в переходных режимах при весьма больших напряженностях магнитного поля в магнитопроводе, в этом случае расчет по формуле (2.2) будет содержать большие погрешности. Это относится к ТТ типа ТШВ-15, ТШ-20 и др., применяемым на генераторном напряжении.

Сопротивление нагрузки вторичной обмотки ТТ ($R_{НГ.расч}$) складывается из последовательно включенных сопротивлений: устройства БЭМП ДЗЛ, приборов, жил контрольного кабеля, переходного сопротивления в месте контактных соединений.

Для упрощения расчетов производится арифметическое, а не геометрическое сложение полных и активных сопротивлений. Нагрузка вторичной обмотки ТТ зависит также от схемы их соединения и вида КЗ. Поэтому нагрузка должна определяться для наиболее загруженного ТТ с учетом схемы соединения и для такого вида КЗ, при котором получаются наихудшие результаты.

Расчетные формулы для наиболее распространенных схем соединения вторичных обмоток ТТ и при различных видах КЗ приведены в таблице 1.

Таблица 1

№ п.п.	Схема соединений ТТ	Вид короткого замыкания	Формулы для определения сопротивления нагрузки на зажимах вторичных обмоток
1	Соединение в «звезду»	Трехфазное и двухфазное	$R_{НГ.расч} = R_{пров} + R_{БЭМП} + R_{пер}$
		Однофазное	$R_{НГ.расч} = 2 \cdot R_{пров} + R_{БЭМП} + R_{пер}$
2	Соединение в «неполную звезду»	Трехфазное	$R_{НГ.расч} = \sqrt{3} \cdot R_{пров} + R_{БЭМП} + R_{пер}$
		Двухфазное АВ или ВС	$R_{НГ.расч} = 2 \cdot R_{пров} + R_{БЭМП} + R_{пер}$
		Двухфазное АС	$R_{НГ.расч} = R_{пров} + R_{БЭМП} + R_{пер}$
3	Соединение в «треугольник»	Трехфазное и двухфазное	$R_{НГ.расч} = 3 \cdot (R_{пров} + R_{БЭМП}) + R_{пер}$
		Однофазное	$R_{НГ.расч} = 2 \cdot (R_{пров} + R_{БЭМП}) + R_{пер}$
4	Последовательное соединение двух ТТ одной фазы	-	$R'_{НГ.расч} = 0,5 \cdot R_{НГ.расч}$
5	Параллельное соединение двух ТТ одной фазы	-	$R'_{НГ.расч} = 2 \cdot R_{НГ.расч}$

Примечание. В формулы должно подставляться наибольшее значение (для наиболее загруженной фазы).

В п.п. 4-5 значение $R_{нг.расч}$ подсчитывается как в п.п. 1-3 соответственно.

$R_{пров} = L_{пров} \cdot R_{уд}$ - сопротивление, создаваемое соединительными проводами токовых цепей между ТТ и устройства БЭМП. Здесь принимается максимальное сопротивление, соответствующее определённому виду КЗ в первичной сети (например, для ТТ, установленных в сети с глухозаземленной нейтралью, расчётным является однофазное КЗ), Ом.

$R_{БЭМП}$ - сопротивления нагрузки на обмотку ТТ, создаваемое устройством БЭМП, Ом.

$R_{БЭМП} = 0,008$ Ом - для устройств с номинальным током входных ТТ равных 5 А,

$R_{БЭМП} = 0,2$ Ом - для устройств с номинальным током входных ТТ равных 1 А.

$R_{пер}$ - сопротивление переходных контактов, Ом.

Принимаем равным $R_{пер} = 0$ для микропроцессорных устройств при отсутствии других подключений в цепи ТТ.

Рекомендуется применять ТТ с номинальной кратностью k_{10} не менее 20.



Завод трансформаторов и магнитопроводов

Приложение 2

18

Исх.№ 07102001 Куда: ООО «ИЦ «ИРКУТСКЭНЕРГО»
Дата 07.10.2020 Кому: Главному инженеру
О.И. Гаврилюку
Тема: КП на поставку Копия: Новобрицкому В.А.
трансформаторов тока

20100502 - ИркутскЭнерго ТКП Тип.1		
Позиция:	1	2
Ввод:	-	-
Тип трансформатора:	ТВ-ЗТМ	
Климатическое исполнение:	УХЛ-2	УХЛ-2
Количество объектов (шт.):	1	1
Количество ТТ на объект (шт.):	1	1
Частота (Гц):	50	50
Первичный ток (А):	1200 600	1200 600
Вторичный ток (А):	5	5
Класс точности:	0.2S*	10PR*
Номинальная предельная кратность или коэффициент безопасности прибора:	5*	65 50***
Номин. вторичная нагрузка (ВА):	20 10***	35*
Сопротивление обмотки (Ω) при температуре 20°С**, не более:	0,26 0,13	0,46 0,24
Сечение вводов (мм ²):	2,5	2,5
Длина вводов (м), не менее:	1	1
Внутренний диаметр (мм)***, не менее:	450	450
Внешний диаметр (мм)***, не более:	615	720
Высота (мм)***, не более:	40	100
Масса (кг)***, не более:	11	131
Цена за штуку без НДС (руб.):	134 740	42 990

Параметры для ТТ ВЛ-232

Примечания:

- 1) *Указанные параметры соответствуют всем отпайкам трансформатора
- 2) **Представленные параметры расчетные
- 3) *** Указанные значения отличаются от заданных в опросном листе

Максимальная высота комплекта трансформаторов: 1 х Поз.1 + 2 х Поз.2 = 240 (мм)

Прилагающаяся документация: паспорт (1 экземпляр, русский); руководство по эксплуатации с указаниями по транспортированию и хранению, монтажу и вводу в эксплуатацию; протоколы приемо-сдаточных испытаний; свидетельство о поверке.



20100504 - ИркутскЭнерго ТКП Тип.2		
Позиция:	1	2
Ввод:	-	-
Тип трансформатора:	ТВ-ЗТМ	
Климатическое исполнение:	УХЛ-2	УХЛ-2
Количество объектов (шт.):	1	1
Количество ТТ на объект (шт.):	1	1
Частота (Гц):	50	50
Первичный ток (А):	2000	2000
	1200	1200
	600	600
Вторичный ток (А):	5	5
Класс точности:	0.2S	10PR*
	0.2S	
	0.5S***	
Номинальная предельная кратность или коэффициент безопасности прибора:	5*	25
		25
		15***
Номин. вторичная нагрузка (ВА):	20	100*
	15***	
	10***	
Сопротивление обмотки (Ω) при температуре 20°C**, не более:	0,26	0,72
	0,16	0,44
	0,08	0,23
Сечение вводов (мм ²):	2,5	2,5
Длина вводов (м), не менее:	1	1
Внутренний диаметр (мм)***, не менее:	450	450
Внешний диаметр (мм)***, не более:	535	720
Высота (мм)***, не более:	45	90
Масса (кг)***, не более:	5	118
Цена за штуку без НДС (руб.):	37 330	42 160

Параметры для ТТ ВЛ-231

Примечания:

- 1) *Указанные параметры соответствуют всем отпайкам трансформатора
- 2) **Представленные параметры расчетные
- 3) *** Указанные значения отличаются от заданных в опросном листе

Максимальная высота комплекта трансформаторов: 2 х Поз.2 + 1 х Поз.1 = 225 (мм)

Прилагающаяся документация: паспорт (1 экземпляр, русский); руководство по эксплуатации с указаниями по транспортированию и хранению, монтажу и вводу в эксплуатацию; протоколы приемо-сдаточных испытаний; свидетельство о поверке.

Директор ООО «ЗТМ»

Г.А. Отрашкевич