

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

КУРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра энергетики и технологии металлов

Методические указания

к выполнению курсового проекта
по дисциплине «Релейная защита систем электроснабжения»
для студентов специальности 140211 – «Электроснабжение»

Курган 2010

Кафедра: «Энергетика и технология металлов»

Дисциплины: «Релейная защита систем электроснабжения»

Составили: доцент Д.Н. Шестаков

Утверждены на заседании кафедры «28» июня 2010 г.

Рекомендованы методическим советом университета «2» ноября 2012 г.

**Задание на Курсовую работу по курсу
"Релейная защита систем электроснабжения"
для заочников.**

В курсовой работе необходимо выполнить расчет защит трансформатора.

В объем курсовой работы входят:

- 1) Обоснованный выбор типа и схемы устройств релейной защиты;
- 2) Выбор коэффициентов трансформации измерительных трансформаторов тока и напряжения, необходимых для релейной защиты;
- 3) Расчет уставок защит: тока срабатывания первичного $I_{сз}$, вторичного $I_{ср}$, напряжения срабатывания $U_{сз}$, $U_{ср}$, времени срабатывания $t_{ср}$ разных ступеней и других, возможных уставок;
- 4) Выбор типов реле, применяемых в качестве пуско-измерительных органов защиты, если их характеристики (например, коэффициент возврата) влияют на расчет защиты;
- 5) Проверка чувствительности выбранных защит. Расчетные коэффициенты чувствительности должны удовлетворять нормативным требованиям ПУЭ;
- 6) Изображение полной схемы защиты трансформатора в развернутом виде. Составление спецификации на примененную аппаратуру.

В курсовой работе необходимо:

- 1) Рассчитать основную (ДЗТ) и резервные (ТО, МТЗ, перегруз) защиты трансформатора указанного в таблице 1.
- 2) На листе формата А1 начертить полную схему защиты трансформатора. Схему защиты начертить в развернутом виде (схема размещения устройств релейной защиты по трансформаторам тока, токовые цепи, цепи напряжения, цепи оперативного тока, цепи сигнализации и выходные цепи защит). Составить спецификацию на примененную аппаратуру.

Таблица 1 - Рассчитать защиты указанные в таблице **(последняя цифра)**.

№ вар.	Рассчитать защиту трансформатора	Длина ВЛ-110 кВ, км		Система 1 задана мощностью к.з., МВА макс. / мин	Система 2 задана током к.з., кА макс. / мин
		Л1	Л2		
1	T1	20	70	1600 / 1200	4,5 / 3,3
2	T2	50	40	2300 / 1100	3,3 / 2,5
3	T1	30	50	1300 / 1000	5,0 / 3,8
4	T2	35	45	3300 / 1400	2,8 / 2,3
5	T1	70	50	1100 / 800	4,8 / 4,0
6	T2	40	80	3600 / 2400	3,0 / 2,5
7	T1	50	20	1400 / 1200	4,8 / 2,4
8	T2	20	15	1500 / 1100	4,6 / 3,4
9	T1	50	50	1100 / 600	5,5 / 4,7
0	T2	60	40	2000 / 1500	2,6 / 2,0

Длины ВЛ-110 кВ и мощности энергосистем прилегающей сети указаны в таблице 1.

Удельное сопротивление ЛЭП прямой последовательности $X_{1\text{уд}} = 0,4 \text{ Ом/км}$.

Схема и мощность трансформаторов подстанции приведены в таблице 2 и выбираются в соответствии с начальной буквой фамилии студента и предпоследней цифрой зачетки.

Все трансформаторы подстанций оснащены РПН $\pm 9 \times 1,77\%$ на стороне 110 кВ.

Все необходимые данные для расчета взять из справочников (например: Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков. "Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования." – М. Энергоатомиздат, 1989. или аналогичных).

Таблица 2- Начальная буква фамилии

№ вар.	Начальная буква фамилии												
	А – В		Г – И		К – Л		М – П		Р – Т		У – Я		
(пред- послед- няя цифра)	Рис.1.		Рис.1.		Рис.2.		Рис.2.		Рис.3.		Рис.3.		
	Тип трансформаторов на подстанции												
	ТДН		ТДН (ТМН)		ТДТН		ТДТН		ТРДН		ТРДН		
	Номинальное напряжение трансформаторов, кВ												
	115 / 38,5		115 / 6,6		115 / 38,5 / 6,6		115 / 34,5 / 11		115 / 10,5 / 10,5		115 / 6,3 / 10,5		
	Мощность трансформаторов на подстанции, МВА												
	T-1	T-2	T-1	T-2	T-1	T-2	T-1	T-2	T-1	T-2	T-1	T-2	
	1	10	16	16	10	6,3	10	16	16	80	63	80	80
	2	16	25	10	6,3	10	16	25	25	63	40	63	63
	3	25	40	6,3	2,5	16	25	40	40	40	25	40	40
4	40	63	16	16	25	40	63	63	80	80	25	25	
5	63	80	10	10	40	63	80	63	63	63	25	40	
6	40	25	6,3	6,3	63	80	63	40	40	40	40	63	
7	16	10	6,3	10	63	63	40	25	25	25	63	80	
8	25	16	10	16	40	40	25	16	63	80	80	63	
9	63	40	2,5	6,3	25	25	16	10	40	63	63	40	
0	80	63	10	10	16	16	10	6,3	25	40	40	25	

Максимальные нагрузки присоединений отходящих от ПС, а также максимальные выдержки времени защит присоединений приведены в таблице 3 (предпоследняя цифра).

Таблица 3- Максимальные нагрузки присоединений отходящих от ПС

№ вар.	Максимальная нагрузка и время защит отходящих присоединений							
	Выкл. 10		Выкл. 11		Выкл. 12		Выкл. 13	
	n, %	t, с	n, %	t, с	n, %	t, с	n, %	t, с
1	20	2,0	30	1,5	50	1,5	55	3,0
2	40	2,5	60	2,0	30	2,0	15	2,5
3	60	2,5	55	1,5	25	3,0	25	1,5
4	50	2,0	45	2,5	40	2,5	30	2,0
5	30	1,5	25	2,5	45	1,0	45	3,0
6	25	1,5	40	2,0	35	3,0	35	1,0
7	45	2,0	50	3,0	30	1,5	20	1,5
8	55	3,0	15	2,5	20	2,5	60	2,5
9	35	1,5	20	3,0	40	2,0	40	1,0
0	15	3,0	35	2,0	60	3,0	50	2,5

Примечание: $n = 100 \cdot S_{\text{нагр. макс.}} / (S_{\text{ном. T1}} + S_{\text{ном. T2}})$

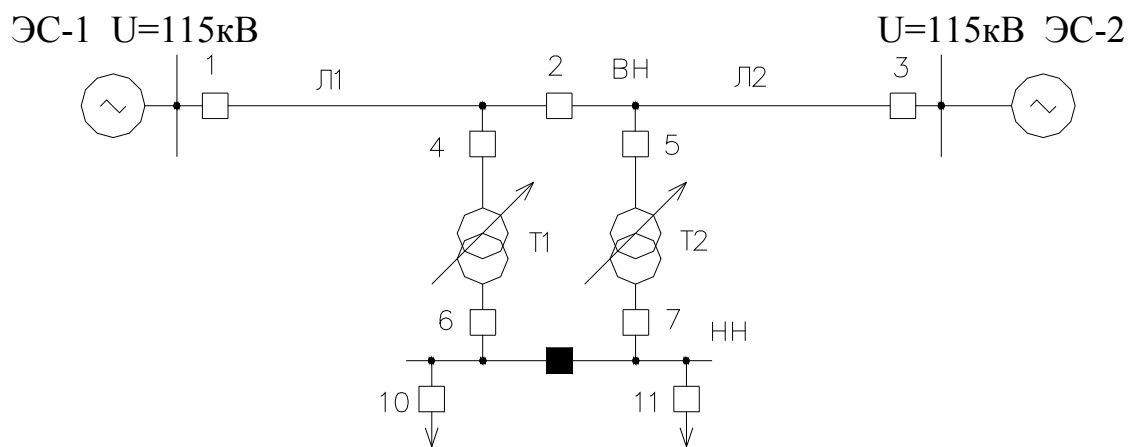


Рисунок 1.

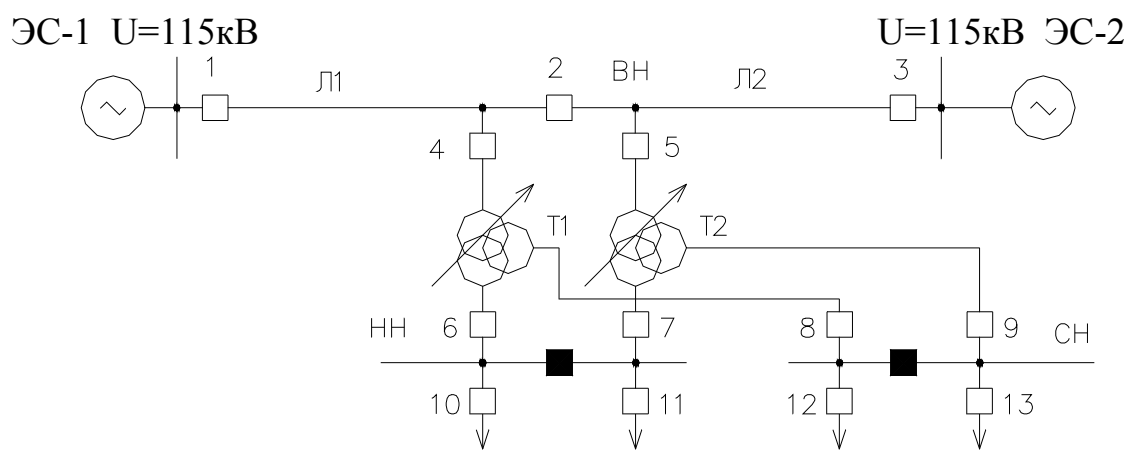


Рисунок 2.

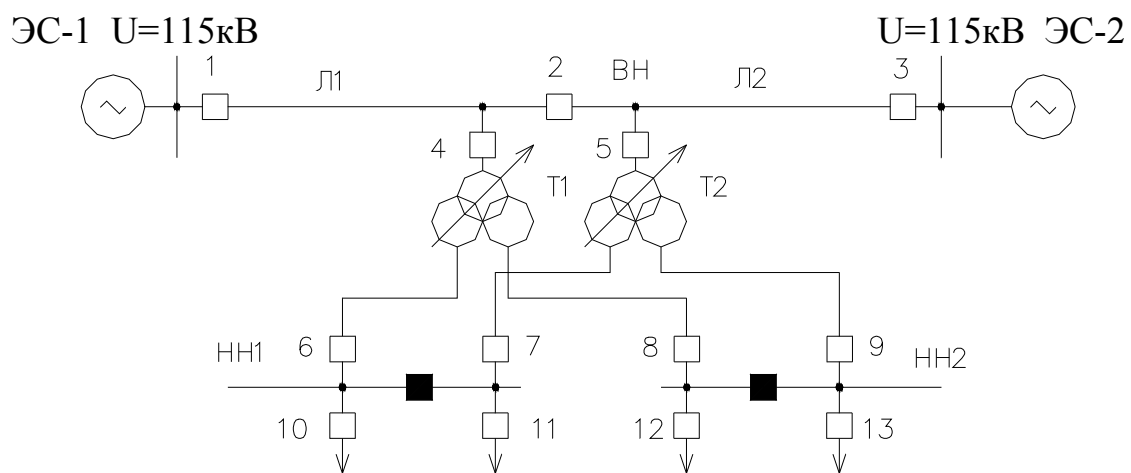


Рисунок 3.

ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Курганский государственный университет

Кафедра энергетики и технологии металлов

КУРСОВАЯ РАБОТА

«Расчет защит трансформатора подстанции и ЛЭП 110 кВ»

Дисциплина: Релейная защита систем электроснабжения

Студент группы: ТС-4665 Иванов И.И..

Специальность: « Электроснабжение»

Преподаватель: Шестаков Дмитрий Николаевич

Дата защиты _____

Оценка _____

Курган 2010

Содержание

1 Введение.....	3
2 Задание.....	4
3 Расчет сопротивлений элементов схемы.....	6
4 Расчет защиты трансформатора Т1.....	8
4.1 Расчет основной защиты силового трансформатора.....	8
4.1.1 Расчет дифференциальной защиты трансформатора.....	14
4.1.2 Выбор газовой защиты.....	18
4.2 Расчет резервной защиты силового трансформатора.....	19
4.2.1 Расчет токовой отсечки трансформатора.....	19
4.2.2 Расчет максимальной токовой защиты трансформатора.....	20
4.2.3 Расчет защиты от перегрузки трансформатора.....	22
5 Расчет защиты от замыканий на землю линии Л2.....	23
6 Заключение.....	36
7 Список используемой литературы.....	37

1 Введение

В процессе эксплуатации энергетических систем на электрооборудовании электростанций, в электрических сетях и на электроустановках потребителей электроэнергии могут возникать повреждения и ненормальные режимы, нарушающие работу. Большинство повреждений сопровождается резким увеличением токов и понижением напряжения в элементах энергосистемы.

Для обеспечения надежного электроснабжения потребителей, предотвращения разрушения оборудования электроустановок и сохранения устойчивости работы генераторов и энергосистем необходимо возможно быстрее отключать поврежденный участок, а также своевременно ликвидировать появляющиеся ненормальные режимы, опасные для потребителей и оборудования.

В связи с этим возникает необходимость в создании и применении автоматических устройств, защищающих систему и её элементы от опасных последствий повреждений и ненормальных режимов.

Релейная защита является основным видом электрической автоматики, без которой невозможна нормальная надежная работа современных энергетических систем. Она осуществляет непрерывный контроль за состоянием всех элементов энергетической системы и реагирует на возникновение повреждений и ненормальных режимов.

При повреждении защита выявляет и отключает поврежденный участок, воздействуя на специальные выключатели, предназначенные для отключения токов повреждения, а при ненормальных режимах производит операции, необходимые для восстановления нормального режима, или подает сигнал, если необходимые операции могут быть выполнены дежурным персоналом.

В данной курсовой работе необходимо ознакомиться с устройством, принципом действия основных видов защит, освоить методы расчета уставок защит, на примере расчета защит линии и трансформатора.

2 Задание

- 1) Рассчитать основную и резервную защиты трансформатора Т1 (6,8,11).
- 2) Рассчитать защиту линии Л2(5) от замыканий на землю:
- 3) На листе формата А1 начертить схему защиты указанной в таблице 1. Схему защиты начертить в развернутом виде (схема размещения устройств релейной защиты по трансформаторам тока, токовые цепи, цепи напряжения, цепи оперативного тока, цепи сигнализации и выходные цепи защит). Составить спецификацию на примененную аппаратуру.

Исходные данные

Таблица 1 - Исходные данные

Длина ВЛ- 110 кВ, км		Система 1 Мощность КЗ, МВА Max/Min	Система 2 ток КЗ, кА Max/Min	Тип трансформат оров на подстанции	Мощность трансформатор ов на подстанции, МВА	
					Т1	Т2
Л1	Л2					
50	20	1400/1200	4,8/3,5	ТДТН- 115/38,5/6,6	40	63

Таблица 2 - Исходные данные (продолжение)

Длина ЛЗ	Максимальна я нагрузка Л1, Л2, P+jQ	Максимальная нагрузка и время защит отходящих присоединений							
		Выкл.14		Выкл.15		Выкл.16		Выкл.17	
км	МВт, Мвар	n, %	t, с	n, %	t, с	n, %	t, с	n, %	t, с
65	80+j60	35	1,5	35	2,5	30	1,0	25	3,0

$$\text{Примечание: } n\% = \frac{100 \cdot S_{\text{нагр. макс}}}{S_{\text{ном. Т1}} + S_{\text{ном. Т2}}}$$

При расчете принять следующие параметры:

Удельное сопротивление ЛЭП – прямой последовательности

$$X_{1\text{уд}} = 0,4 \text{ Ом/км.}$$

Удельное сопротивление ЛЭП – нулевой последовательности

$$X_{0\text{уд}} = 0,8 \text{ Ом/км.}$$

Сопротивление нулевой последовательности энергосистем $X_{0эс} = 1,5 \cdot X_{1эс}$

Все трансформаторы на подстанции оснащены РПН $\pm 9 \times 1,77\%$ на стороне 110 кВ.

Согласно заданию на курсовую работу, надо рассчитать защиту трансформатора Т1, его данные занесены в таблицу 3.

Таблица 3 – Паспортные данные трансформатора марки ТДТН-40000/110

Тип тр-ра	$S_{ном},$ МВ·А	Напряжение обмотки, кВ			Потери, кВт		$U_k, \%$			$I_x, \%$
		ВН	СН	НН	P_x	P_k	ВН- СН	ВН- НН	СН- НН	
ТДТН- 40000/110	40	115	38,5	6,6	39	200	10,5	17,5	6,5	0,6

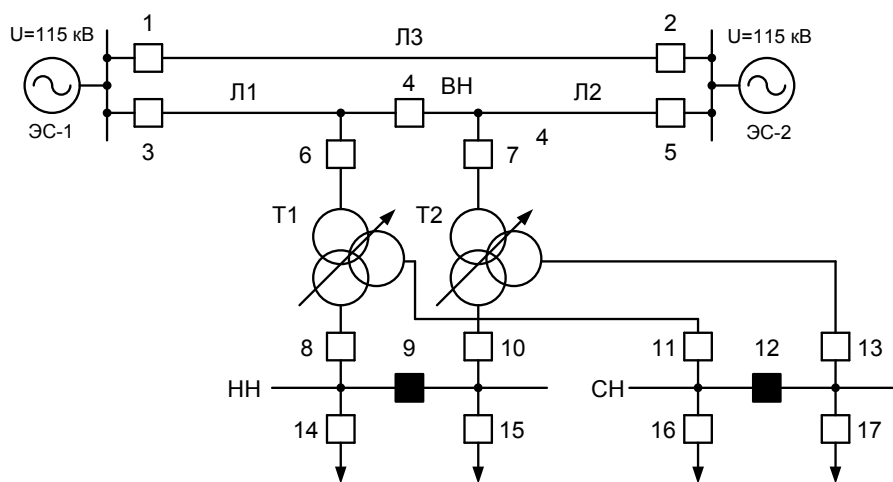


Рисунок 1 – Схема защищаемой сети

3 Расчет сопротивлений элементов схемы

Все сопротивление приводится к основной ступени напряжения, за которую принято $U_{\text{осн}}=U_{\text{ср.ном}}=115$ кВ.

Энергосистема № 1:

$$X_{1ЭС1\text{МАКС}} = \frac{U_{\text{ср.ном}}^2}{S_{\text{кз.ЭС1.МАКС}}} = \frac{115^2}{1400} = 9,45 \text{ Ом};$$

$$X_{1ЭС1\text{МИН}} = \frac{U^2}{S_{\text{кз.ЭС1.МИН}}} = \frac{115^2}{1200} = 11,02 \text{ Ом};$$

$$X_{0ЭС1\text{МАКС}} = 1,5 \cdot x_{1ЭС1\text{МАКС}} = 1,5 \cdot 9,45 = 14,18 \text{ Ом};$$

$$X_{0ЭС1\text{МИН}} = 1,5 \cdot x_{1ЭС1\text{МИН}} = 1,5 \cdot 11,02 = 16,53 \text{ Ом}.$$

Энергосистема № 2:

$$X_{1ЭС2\text{МАКС}} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{кз.ЭС2.МАКС}}} = \frac{115}{\sqrt{3} \cdot 4,8} = 13,83 \text{ Ом};$$

$$X_{1ЭС2\text{МИН}} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{кз.ЭС2.МИН}}} = \frac{115}{\sqrt{3} \cdot 3,5} = 18,97 \text{ Ом};$$

$$X_{0ЭС2\text{МАКС}} = 1,5 \cdot x_{1ЭС2\text{МАКС}} = 1,5 \cdot 13,83 = 20,75 \text{ Ом};$$

$$X_{0ЭС2\text{МИН}} = 1,5 \cdot x_{1ЭС2\text{МИН}} = 1,5 \cdot 18,97 = 28,46 \text{ Ом}.$$

Линия Л1:

$$X_{1Л1} = X_{1\text{уд}} \cdot L = 0,4 \cdot 50 = 20 \text{ Ом};$$

$$X_{0Л1} = X_{0\text{уд}} \cdot L = 0,8 \cdot 50 = 40 \text{ Ом}.$$

Линия Л2:

$$X_{1Л2} = X_{1\text{уд}} \cdot L = 0,4 \cdot 20 = 8 \text{ Ом};$$

$$X_{0Л2} = X_{0\text{уд}} \cdot L = 0,8 \cdot 20 = 16 \text{ Ом}.$$

Линия Л3:

$$X_{1ЛЗ} = X_{1уд} \cdot L = 0,4 \cdot 65 = 26 \text{ Ом};$$

$$X_{0ЛЗ} = X_{0уд} \cdot L = 0,8 \cdot 65 = 52 \text{ Ом}.$$

Трансформатор Т1:

$$u_{KB} \% = 0,5 \cdot (u_{KB-C} + u_{KB-H} - u_{KC-H}) = 0,5 \cdot (10,5 + 17,5 - 6,5) = 10,75\%;$$

$$u_{KC} \% = 0,5 \cdot (u_{KB-C} + u_{KC-H} - u_{KB-H}) = 0,5 \cdot (10,5 + 6,5 - 17,5) = -0,25\%;$$

$$u_{KH} \% = 0,5 \cdot (-u_{KB-C} + u_{KB-H} + u_{KC-H}) = 0,5 \cdot (-10,5 + 17,5 + 6,5) = 6,75\%;$$

$$X_B = \frac{u_{KB} \%}{100} \cdot \frac{U_{OCH}^2}{S_{НОМ}} = \frac{10,75}{100} \cdot \frac{115^2}{40} = 35,54 \text{ Ом}; \quad X_{1B}=X_{0B}=X_B=35,54 \text{ Ом};$$

$$X_C = \frac{u_{KC} \%}{100} \cdot \frac{U_{OCH}^2}{S_{НОМ}} = \frac{-0,25}{100} \cdot \frac{115^2}{40} = -0,83 \text{ Ом}; \quad X_{1C}=X_{0C}=X_C=-0,83 \text{ Ом};$$

$$X_H = \frac{u_{KH} \%}{100} \cdot \frac{U_{OCH}^2}{S_{НОМ}} = \frac{6,75}{100} \cdot \frac{115^2}{40} = 22,32 \text{ Ом}. \quad X_{1H}=X_{0H}=X_H=22,32 \text{ Ом};$$

4 Расчет защиты трансформатора Т1

4.1 Расчет основной защиты силового трансформатора

Основными видами к.з. в силовых трансформаторах являются замыкания между фазами внутри бака и на выводах, витковые замыкания обмоток, замыкания на землю обмоток или их выводов. В качестве основной защиты трансформаторов от всех видов к.з. внутри бака и на его выводах применяется продольная дифференциальная защита.

Прежде, чем рассчитать дифференциальную защиту трансформатора найдем все необходимые токи короткого замыкания для ее расчета, а именно нам нужно рассчитать токи КЗ:

- ток внешнего трехфазного КЗ в максимальном режиме на стороне СН (К1);
- ток внешнего трехфазного КЗ в максимальном режиме на стороне НН (К2);
- ток двухфазного КЗ в минимальном режиме на стороне ВН (К3);
- ток двухфазного КЗ в минимальном режиме на стороне СН (К1);
- ток двухфазного КЗ в минимальном режиме на стороне НН (К2);
- ток однофазного КЗ на землю в минимальном режиме на стороне ВН (К3).

Точки, в которых необходимо рассчитать выше перечисленные токи к.з. отображены на рисунке 2.

Рассчитаем эти токи. Примем также, что в трансформаторе обмотки соединены по схеме $Y_0/\Delta/\Delta$.

Для расчета всех токов предварительно составим схему замещения для защищаемой сети (рисунок 2).

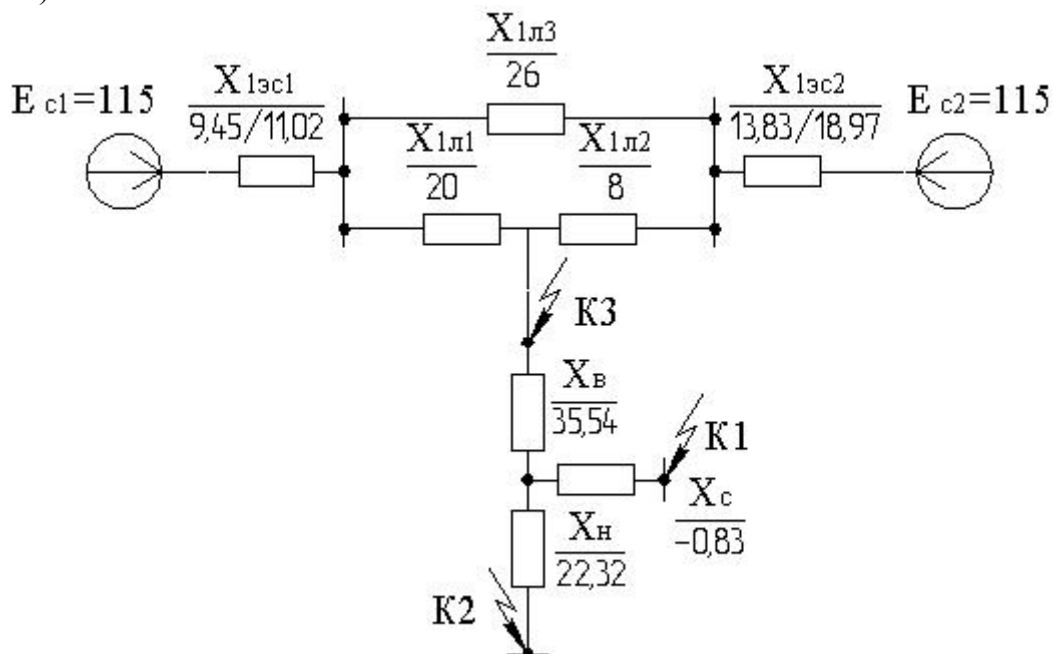


Рисунок 2 – Схема замещения защищаемой сети

Упрощаем схему, преобразуя треугольник сопротивлений $X_{1\epsilon c1\max}$, $X_{1л3}$, $X_{1\epsilon c2\max}$ в эквивалентную звезду X_1 , X_2 , X_3 .

При этом, так как ЭДС первой системы и ЭДС второй системы одинаковые, то при преобразовании из треугольника сопротивлений $X_{1\epsilon c1\max}$, $X_{1л3}$, $X_{1\epsilon c2\max}$ в эквивалентную звезду X_1 , X_2 , X_3 в новой преобразованной схеме будет введена одна эквивалентная ЭДС, значение которой будет равно значению любой из энергосистем, то есть $E_{\text{ЭКВ}} = E_{c1} = E_{c2} = 115$ кВ. Причем эта эквивалентная ЭДС будет включена в ветвь сопротивления звезды X_1 .

Рассчитываем максимальные токи внешнего к.з. для сторон СН и НН:

$$X_1 = \frac{X_{1ЭС1МАКС} \cdot X_{1ЭС2МАКС}}{X_{1ЭС1МАКС} + X_{1ЛЗ} + X_{1ЭС2МАКС}} = \frac{9,45 \cdot 13,83}{9,45 + 26 + 13,83} = 2,65 \text{ Ом};$$

$$X_2 = \frac{X_{1ЭС1МАКС} \cdot X_{1ЛЗ}}{X_{1ЭС1МАКС} + X_{1ЛЗ} + X_{1ЭС2МАКС}} = \frac{9,45 \cdot 26}{9,45 + 26 + 13,83} = 4,99 \text{ Ом};$$

$$X_3 = \frac{X_{1ЛЗ} \cdot X_{1ЭС2МАКС}}{X_{1ЭС1МАКС} + X_{1ЛЗ} + X_{1ЭС2МАКС}} = \frac{26 \cdot 13,83}{9,45 + 26 + 13,83} = 7,3 \text{ Ом}.$$

После первого упрощения схемы замещения получим новую схему замещения, представленную на рисунке 3.

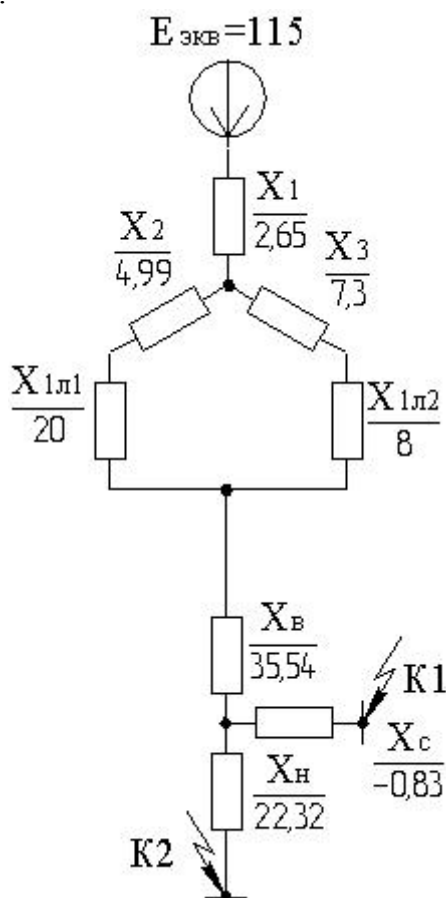


Рисунок 3 – Первый шаг упрощения схемы замещения защищаемой сети (максимальный режим)

Далее объединив последовательные и параллельные ветви:

$$X_4 = X_1 + \frac{(X_2 + X_{1Л1}) \cdot (X_3 + X_{1Л2})}{X_2 + X_{1Л1} + X_3 + X_{1Л2}} = 2,65 + \frac{(4,99 + 20) \cdot (7,3 + 8)}{4,99 + 20 + 7,3 + 8} = 12,14 \text{ Ом};$$

В итоге после второго упрощения схемы замещения получим окончательную схему (рисунок 4).

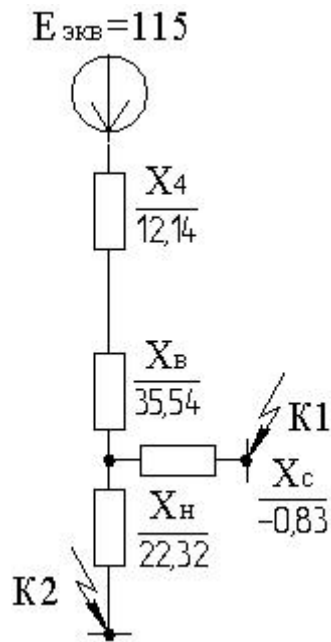


Рисунок 4 - Расчетная схема замещения сети в максимальном режиме
(преобразованная)

Расчет тока трехфазного К.З. в максимальном режиме на стороне СН (точка К1 Рисунок 4).

При к.з. на стороне СН результирующее сопротивление будет равно:

$$X_{1\Sigma\text{СН}}^{\text{МАКС}} = X_4 + X_B + X_C = 12,14 + 35,54 - 0,83 = 46,85 \text{ Ом};$$

Следовательно, ток внешнего к.з. на стороне СН будет равен:

$$I_{\text{К.З.СН}}^{(3)\text{МАКС}} = \frac{E_{\text{ЭКВ}}}{\sqrt{3} \cdot X_{1\Sigma\text{СН}}^{\text{МАКС}}} = \frac{115 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 46,85} = 1417 \text{ А.}$$

(значение тока приведено к стороне ВН)

Расчет тока трехфазного К.З. в максимальном режиме на стороне НН (точка К2 Рисунок 4).

При к.з. на стороне НН результирующее сопротивление будет равно:

$$X_{1\Sigma\text{НН}}^{\text{МАКС}} = X_4 + X_B + X_H = 12,14 + 35,54 + 22,32 = 70 \text{ Ом};$$

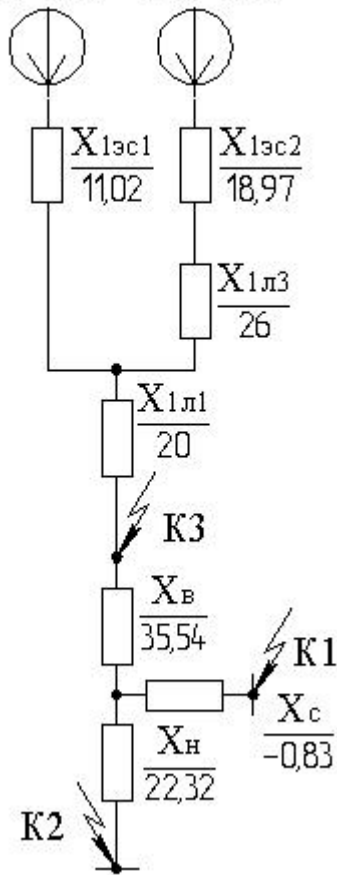
Следовательно, ток внешнего к.з. на стороне СН будет равен:

$$I_{\text{К.З.НН}}^{(3)\text{МАКС}} = \frac{E_{\text{ЭКВ}}}{\sqrt{3} \cdot X_{1\Sigma\text{НН}}^{\text{МАКС}}} = \frac{115 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 70} = 949 \text{ А. (значение тока приведено к стороне ВН)}$$

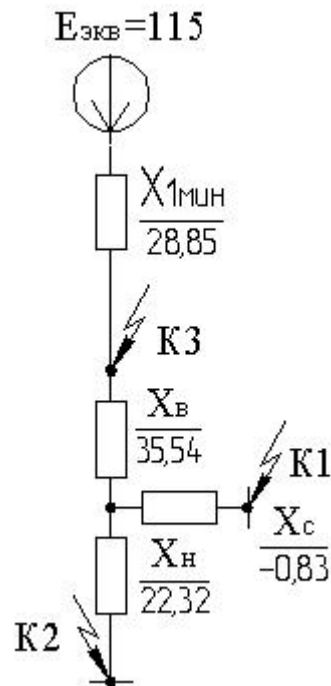
Рассчитаем токи двухфазного КЗ в минимальном режиме для сторон ВН (К3), СН (К1), НН (К2), а также ток однофазного КЗ на землю в минимальном режиме на стороне ВН (К3) (см. рисунок2).

Для этого составим схему замещения защищаемой сети в минимальном режиме (при отключении второй линии с меньшей длиной), которая приведена на рисунке 5а. Укажем на ней точки, в которых необходимо найти эти токи, то есть токи двухфазного КЗ в минимальном режиме для сторон ВН (К3), СН (К1), НН (К2), а также ток однофазного КЗ на землю в минимальном режиме на стороне ВН (К3). Эта же схема будет являться схемой замещения прямой последовательности для тока однофазного КЗ на землю в минимальном режиме на стороне ВН (К3).

$$E_{c1}=115 \quad E_{c2}=115$$



а



б

Рисунок 5 – Схема замещения защищаемой сети в минимальном режиме:
а – до преобразования; б – после преобразования

Упрощаем схему (рисунок 5а), объединив последовательные и параллельные ветви:

$$X_{1\text{МИН}} = X_{1Л1} + \frac{X_{1ЭС1}(X_{1Л3} + X_{1ЭС2})}{X_{1ЭС1} + X_{1Л3} + X_{1ЭС2}} = 20 + \frac{11,02 \cdot (18,97 + 26)}{11,02 + 18,97 + 26} = 28,85 \text{ Ом};$$

Так как ветви с ЭДС первой системы и второй системы параллельны, то получим, что $E_{\text{ЭКВ}}=E_{c1}=E_{c2}=115 \text{ кВ}$.

В результате преобразования получим схему замещения (рисунок 5б).

Расчет тока 2-х фазного К.З. в минимальном режиме на стороне ВН (К3).

При к.з. на стороне ВН результирующее сопротивление будет равно:

$$X_{1\Sigma\text{ВН}}^{\text{МИН}} = X_{1\text{МИН}} = 28,85 \text{ Ом};$$

$$\text{Ток к.з. на стороне ВН будет равен: } I_{\text{К.З.ВН}}^{(3)\text{МИН}} = \frac{E_{\text{ЭКВ}}}{\sqrt{3} \cdot X_{1\Sigma\text{ВН}}^{\text{МИН}}} = \frac{115 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 28,85} = 2301 \text{ А.}$$

Следовательно, ток двухфазного КЗ в минимальном режиме на стороне ВН (К3):

$$I_{\text{К.З.ВН}}^{(2)\text{МИН}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\text{К.З.ВН}}^{(3)\text{МИН}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 2301 = 1993 \text{ А.}$$

Расчет тока 2-х фазного К.З. в минимальном режиме на стороне СН (К1).

При к.з. на стороне ВН результирующее сопротивление будет равно:

$$X_{1\Sigma\text{ВН}}^{\text{МИН}} = X_{1\text{МИН}} + X_{\text{В}} + X_{\text{С}} = 28,85 + 35,54 - 0,83 = 63,56 \text{ Ом};$$

Ток к.з. на стороне СН будет равен

$$I_{\text{К.З.СН}}^{(3)\text{МИН}} = \frac{E_{\text{ЭКВ}}}{\sqrt{3} \cdot X_{1\Sigma\text{СН}}^{\text{МИН}}} = \frac{115 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 63,56} = 1045 \text{ А. (значение тока приведено к стороне ВН)}$$

Следовательно, ток двухфазного КЗ в минимальном режиме на стороне СН (К1):

$$I_{\text{К.З.СН}}^{(2)\text{МИН}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\text{К.З.СН}}^{(3)\text{МИН}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1045 = 905 \text{ А.}$$

Расчет тока 2-х фазного КЗ. в минимальном режиме на стороне НН (К2).

При к.з. на стороне НН результирующее сопротивление будет равно:

$$X_{1\Sigma\text{НН}}^{\text{МИН}} = X_{1\text{МИН}} + X_{\text{В}} + X_{\text{Н}} = 28,85 + 35,54 + 22,32 = 86,71 \text{ Ом};$$

Ток к.з. на стороне НН будет равен

$$I_{\text{К.З.НН}}^{(3)\text{МИН}} = \frac{E_{\text{ЭКВ}}}{\sqrt{3} \cdot X_{1\Sigma\text{НН}}^{\text{МИН}}} = \frac{115 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 86,71} = 766 \text{ А. (значение тока приведено к стороне ВН)}$$

Следовательно, ток двухфазного КЗ в минимальном режиме на стороне НН (К2):

$$I_{\text{К.З.НН}}^{(2)\text{МИН}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\text{К.З.НН}}^{(3)\text{МИН}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 766 = 663 \text{ А.}$$

Расчет тока 1-х фазного КЗ. в минимальном режиме на стороне ВН (точка КЗ на рисунке 2).

Ток рассчитывается по формуле:

$$I_{\text{К.З.ВН}}^{(1)\text{МИН}} = \frac{3 \cdot E_{\text{ЭКВ}}}{\sqrt{3} \cdot (2 \cdot X_{1\Sigma\text{ВН}}^{\text{МИН}} + X_{0\Sigma\text{ВН}}^{\text{МИН}})};$$

Суммарное сопротивление прямой последовательности для точки КЗ (рисунок 5б):

$X_{1\Sigma\text{ВН}}^{\text{МИН}} = X_{1\text{МИН}} = 28,85 \text{ Ом};$ Для нахождения суммарного сопротивления нулевой последовательности необходима схема замещения нулевой последовательности защищаемой сети в минимальном режиме. Она представлена на рисунке 6а с учетом ранее рассчитанных сопротивлений нулевой последовательности (см п. 3 Расчет сопротивлений элементов схемы).

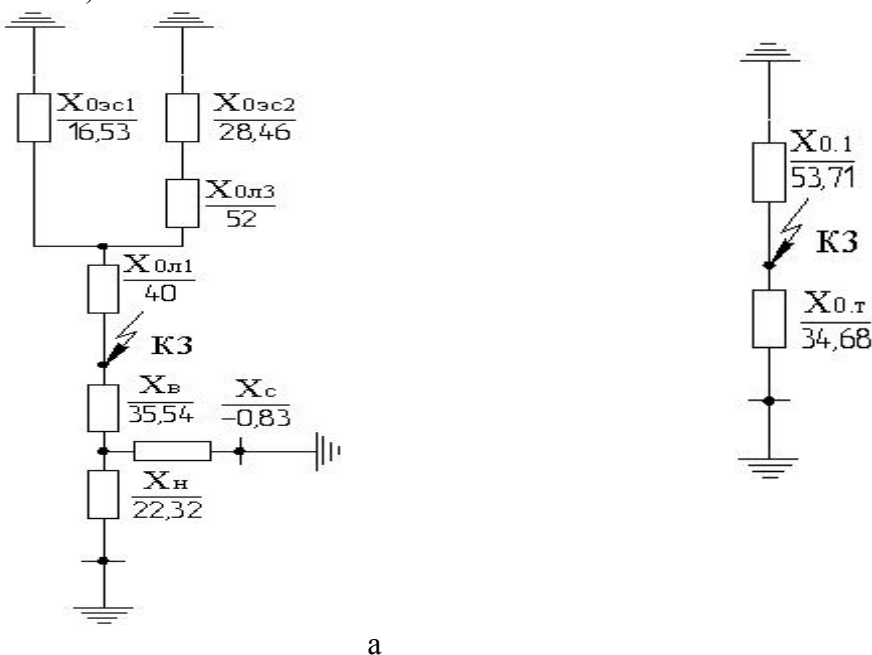


Рисунок 6 – Схема замещения нулевой последовательности для защищаемой сети, находящейся в минимальном режиме

а – до преобразования; б – после преобразования

Упрощаем схему (рисунок 6а), объединив последовательные и параллельные ветви:

$$X_{0.1} = X_{0Л1} + \frac{X_{0ЭС1}(X_{0Л3} + X_{0ЭС2})}{X_{0ЭС1} + X_{0Л3} + X_{0ЭС2}} = 40 + \frac{16,53 \cdot (28,46 + 52)}{16,53 + 28,46 + 52} = 53,71 \text{ Ом};$$

$$X_{0.T} = X_B + \frac{X_C \cdot X_H}{X_C + X_H} = 35,54 + \frac{-0,83 \cdot 22,32}{-0,83 + 22,32} = 34,68 \text{ Ом}$$

В результате преобразования получим схему замещения (рисунок 6б).

Суммарное сопротивление нулевой последовательности для точки КЗ (рисунок 6б):

$$X_{0\Sigma ВН}^{\text{МИН}} = \frac{X_{0.1} \cdot X_{0.T}}{X_{0.1} + X_{0.T}} = \frac{53,71 \cdot 34,68}{53,71 + 34,68} = 21,07 \text{ Ом};$$

Тогда значение тока 1-х фазного К.З. в минимальном режиме на стороне ВН:

$$I_{К.З.ВН}^{(1)\text{МИН}} = \frac{3 \cdot E_{\text{ЭКВ}}}{\sqrt{3} \cdot (2 \cdot X_{1\Sigma ВН}^{\text{МИН}} + X_{0\Sigma ВН}^{\text{МИН}})} = \frac{3 \cdot 115 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot (2 \cdot 28,85 + 21,07)} = 2529 \text{ А}.$$

Далее для наглядности занесем значения полученных токов в таблицу 4.

Таблица 4 - значения токов для защиты трансформатора

$I_{К.З.СН}^{(3)\text{МАКС}}$	$I_{К.З.НН}^{(3)\text{МАКС}}$	$I_{К.З.ВН}^{(2)\text{МИН}}$	$I_{К.З.СН}^{(2)\text{МИН}}$	$I_{К.З.НН}^{(2)\text{МИН}}$	$I_{К.З.ВН}^{(1)\text{МИН}}$
А	А	А	А	А	А
1417	949	1993	905	663	2529

4.1.1 Расчет дифференциальной защиты трансформатора

Итак начнем непосредственный расчет дифференциальной защиты трансформатора Т1.

Предварительно примем, что на трансформатор устанавливается дифференциальная защита с реле типа РНТ-565. Примем также, что в трансформаторе обмотки соединены по схеме $Y_0\Delta/\Delta$. Расчет защиты приведен в таблице 5.

Таблица 5 – расчет дифференциальной защиты трансформатора Т1

Величина	Расчет величины		
	ВН	СН	НН
$U_{\text{ном.ср}}, \text{ кВ}$	115	38,5	6,6
Первичный ток в номинальном режиме $I_{\text{ном}} = \frac{S_{\text{ном.т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.ср}}}, \text{ А}$	$\frac{40000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 201$	$\frac{40000}{\sqrt{3} \cdot 38,5} = 599,8$ $= 600$	$\frac{40000}{\sqrt{3} \cdot 6,6} = 3499$
Схема соединения обмоток трансформатора	Y	Δ	Δ
Схема соединения трансформаторов тока	Δ	Y	Y
Коэффициент схемы, $K_{\text{сх}}$	$\sqrt{3}$	1	1
Расчетный коэффициент трансформации трансформаторов тока $K_{\text{тт}} = \frac{K_{\text{сх}} \cdot I_{\text{ном}}}{5}$	$\frac{\sqrt{3} \cdot 201}{5} = \frac{348}{5}$	$\frac{1 \cdot 600}{5} = \frac{600}{5}$	$\frac{1 \cdot 3499}{5}$
Выбираем коэффициент трансформации $K_{\text{тт}}$	$\frac{400}{5}$	$\frac{600}{5}$	$\frac{4000}{5}$
Вторичные токи ТТ в номинальном	$\frac{\sqrt{3} \cdot 201 \cdot 5}{400} = 4,35$	$\frac{1 \cdot 600 \cdot 5}{600} = 5$	$\frac{1 \cdot 3499 \cdot 5}{4000} = 4,37$

режиме, $I_2 = \frac{K_{cx} \cdot I_{ном}}{K_{тт}}$, А			
---	--	--	--

Далее рассчитываем ток срабатывания защиты.

При этом необходимо обеспечить недействие защиты в двух режимах работы защищаемого трансформатора:

а) при включении трансформатора только со стороны источника питания, когда в момент включения в питающей обмотке трансформатора появляются значительные броски тока намагничивания.

Этот ток замыкается через обмотку реле. Поэтому для исключения действия защиты необходимо принять:

$$I_{C.3} = k_{отс} \cdot I_{1.НОМ}, \text{ где } k_{отс}=1,3$$

$$I_{C.3} = 1,3 \cdot 201 = 261 \text{ А};$$

б) при трехфазных КЗ вне зоны действия защиты, когда через трансформатор проходит максимальный сквозной ток внешнего короткого замыкания.

При этом в защите проходит максимальный ток небаланса:

$$I_{НБ.РАСЧ.МАКС} = I'_{НБ} + I''_{НБ} = (K_{од} \cdot K_{АП} \cdot \varepsilon + \Delta U_{РЕГ}) \cdot I_{К.З.ВНЕШ}^{(3)МАКС},$$

где $K_{АП}=1$ для РНТ-565;

$K_{од}=1$ (в защите используют разнотипные трансформаторы тока); $\varepsilon=10\%$ - погрешность трансформатора тока; $\Delta U_{РЕГ}=16\%$ - диапазон изменения напряжения трансформатора в одну сторону от номинального при регулировании.

$$I_{НБ.РАСЧ.МАКС} = \left(1 \cdot 1 \cdot \frac{10}{100} + \frac{16}{100} \right) \cdot 1417 = 368 \text{ А};$$

тогда ток срабатывания защиты, отстроенный от тока небаланса:

$$I_{C.3} = k_{отс} \cdot I_{НБ.РАСЧ.МАКС}, \quad I_{C.3} = 1,3 \cdot 368 = 478 \text{ А};$$

Выбираем наибольший, т.е. 478 А.

Проведем предварительную проверку коэффициентов чувствительности.

$$\text{Сторона ВН: } K_{ч.ВН}^{(2)} = \frac{I_{КЗ.ВН}^{(2)МИН}}{I_{C3}} = \frac{1993}{478} = 4,17 > 2;$$

$$K_{ч.ВН}^{(1)} = \frac{I_{КЗ.ВН}^{(1)МИН}}{I_{C3}} = \frac{2529}{478} = 5,29 > 2;$$

$$\text{Сторона СН: } K_{ч.СН}^{(2)} = \frac{I_{КЗ.СН}^{(2)МИН}}{I_{C3}} = \frac{905}{478} = 1,89 < 2;$$

$$\text{Сторона НН: } K_{ч.НН}^{(2)} = \frac{I_{КЗ.НН}^{(2)МИН}}{I_{C3}} = \frac{663}{478} = 1,39 < 2;$$

Т.к. $K_{ч} < 2$, то защита недостаточно чувствительна, следовательно, нужно применять дифференциальную защиту с торможением, например ДЗТ-11.

Тормозную обмотку устанавливаем на стороне, где ток внешнего к.з. в максимальном режиме больше (т. е. на стороне СН).

Пересчитаем ток срабатывания защиты:

а) $I_{C.3} = k_{отс} \cdot I_{1.НОМ}$, где $k_{отс}=1,5$

$$I_{C.3} = 1,5 \cdot 201 = 302 \text{ А};$$

Ток небаланса: $I_{НБ.РАСЧ.МАКС} = I'_{НБ} + I''_{НБ} = (K_{од} \cdot K_{АП} \cdot \varepsilon + \Delta U_{РЕГ}) \cdot I_{К.3.НН}^{(3)МАКС}$

$$I_{НБ.РАСЧ.МАКС} = \left(1 \cdot 1 \cdot \frac{10}{100} + \frac{16}{100} \right) \cdot 949 = 247 \text{ А};$$

тогда ток срабатывания защиты, отстроенный от тока небаланса:

$$I_{C.3} = k_{отс} \cdot I_{НБ.РАСЧ.МАКС}, \quad I_{C.3} = 1,5 \cdot 247 = 371 \text{ А};$$

Выбираем наибольший, т.е. 371 А.

Коэффициенты чувствительности:

$$\text{Сторона ВН: } K_{ч.ВН}^{(2)} = \frac{I_{К3.ВН}^{(2)МИН}}{I_{C3}} = \frac{1993}{371} = 5,37 > 2;$$

$$K_{ч.ВН}^{(1)} = \frac{I_{К3.ВН}^{(1)МИН}}{I_{C3}} = \frac{2529}{371} = 6,82 > 2;$$

$$\text{Сторона СН: } K_{ч.СН}^{(2)} = \frac{I_{К3.СН}^{(2)МИН}}{I_{C3}} = \frac{905}{371} = 2,44 > 2;$$

$$\text{Сторона НН: } K_{ч.НН}^{(2)} = \frac{I_{К3.НН}^{(2)МИН}}{I_{C3}} = \frac{663}{371} = 1,79 < 2;$$

Т.к. $K_{ч} < 2$, то защита недостаточно чувствительна, следовательно, необходимо, либо установить дополнительную тормозную обмотку со стороны НН, либо тормозную обмотку включить на сумму токов среднего и низшего напряжения.

Выберем то, что включим тормозную обмотку на сумму токов среднего и низшего напряжения.

Тогда в данном случае выбираем ток срабатывания защиты равным 302А ($I_{C.3} = 302 \text{ А}$).

Коэффициенты чувствительности:

$$\text{Сторона ВН: } K_{ч.ВН}^{(2)} = \frac{I_{К3.ВН}^{(2)МИН}}{I_{C3}} = \frac{1993}{302} = 6,6 > 2;$$

$$K_{ч.ВН}^{(1)} = \frac{I_{К3.ВН}^{(1)МИН}}{I_{C3}} = \frac{2529}{302} = 8,37 > 2;$$

$$\text{Сторона СН: } K_{ч.СН}^{(2)} = \frac{I_{К3.СН}^{(2)МИН}}{I_{C3}} = \frac{905}{302} = 3 > 2;$$

$$\text{Сторона НН: } K_{ч.НН}^{(2)} = \frac{I_{К3.НН}^{(2)МИН}}{I_{C3}} = \frac{663}{302} = 2,2 > 2;$$

Т.к. $K_{ч} > 2$, следовательно, защита достаточно чувствительна.

Продолжение таблицы 5

После выбора I_{C3} определяем вторичные токи срабатывания реле $I_{c.p.} = \frac{K_{cx} \cdot I_{c.з.}}{K_{тт}}, A$	$\frac{\sqrt{3} \cdot 302 \cdot 5}{400} = 6,54$	$\frac{1 \cdot 302 \cdot \frac{115}{38,5} \cdot 5}{600} = 7,52$	$\frac{1 \cdot 302 \cdot \frac{115}{6,6} \cdot 5}{4000}$
Выбираем основную сторону – та, у которой $I_{c.p.}$ больше	неосновная	основная	неосновная
Расчетное число витков основной стороны $W_{OCH.PACЧ.} = \frac{100}{I_{C.P.}}$	-	$\frac{100}{7,52} = 13,3$	-
Принятое число витков для основной стороны $W_{осн.}$ - принимается ближайшее меньшее значение	-	13	-
Число витков неосновных сторон $W_{HEOCH.PACЧ.} = W_{OCH.} \cdot \frac{I_{2.OCH.}}{I_{2.HEOCH.}}$	$13 \cdot \frac{5}{4,35} = 14,94$	-	$13 \cdot \frac{5}{4,37} = 14,9$
Принятое число витков для неосновных сторон W_{HEOCH} - принимается ближайшее целое значение	15	-	15
Число витков уравнивающих обмоток $W_{yp} = W_{HEOCH} - W_{OCH}$	2	-	2
Действительные токи срабатывания: реле: $I_{c.p.} = \frac{F_{c.p.}}{W_{осн}}, A$ защиты: $I_{c.з.} = \frac{I_{c.p.} \cdot K_{тт}}{K_{cx}}, A$	-	$\frac{100}{13} = 7,69$	-
	-	$\frac{7,69 \cdot \frac{600}{5} \cdot \frac{38,5}{115}}{1} = 309$	-

Проверим коэффициенты чувствительности.

$$\text{Сторона СН: } K_{ч.СН}^{(2)} = \frac{I_{КЗ.СН}^{(2)МИН}}{I_{C3}} = \frac{905}{309} = 2,93 > 2;$$

$$\text{Сторона НН: } K_{ч.НН}^{(2)} = \frac{I_{КЗ.НН}^{(2)МИН}}{I_{C3}} = \frac{663}{309} = 2,15 > 2;$$

Т.к. $K_{ч} > 2$, следовательно, защита достаточно чувствительна.

Определяем полный ток небаланса для ВН и НН:

$$I_{НБ} = I'_{НБ} + I''_{НБ} + I'''_{НБ}, A$$

Полный ток небаланса для ВН:

$$I_{\text{НБ}}^{\text{ВН}} = I_{\text{НБ}}^{\text{CH}'\text{НБ}} + I_{\text{НБ}}^{\text{CH}''\text{НБ}} + I_{\text{НБ}}^{\text{CH}'''\text{НБ}}, \text{ А, где } I_{\text{НБ}}^{\text{CH}'} + I_{\text{НБ}}^{\text{CH}''} = 368 \text{ А, а}$$

$$I_{\text{НБ}}^{\text{CH}'''} = \frac{|W_{\text{НЕОСН.РАСЧ}}^{\text{ВН}} - W_{\text{НЕОСН}}^{\text{ВН}}|}{W_{\text{НЕОСН.РАСЧ}}^{\text{ВН}}} \cdot I_{\text{КЗ.СН}}^{(3)\text{МАКС}} = \frac{|14,94 - 15|}{14,94} \cdot 1417 = 5,69 \text{ А;}$$

$$I_{\text{НБ}}^{\text{ВН}} = I_{\text{НБ}}^{\text{CH}'\text{НБ}} + I_{\text{НБ}}^{\text{CH}''\text{НБ}} + I_{\text{НБ}}^{\text{CH}'''\text{НБ}} = 5,69 + 368 = 374 \text{ А;}$$

$$W_{\text{ТОРМ.ВН}}^{\text{РАСЧ}} = \frac{K_{\text{отс}} \cdot I_{\text{НБ}}^{\text{ВН}} \cdot W_{\text{р}}}{I_{\text{К.З.СН}}^{(3)\text{МАКС}} \cdot \text{tg}\alpha} = \frac{1,5 \cdot 374 \cdot 15}{1417 \cdot 0,75} = 7,92 \text{ витков;}$$

где $\text{tg}\alpha = 0,75$ для ДЗТ-11.

Принимаем из ряда стандартное число витков тормозной обмотки $W_{\text{торм}}$ (большее), а именно

$$W_{\text{ТОРМ}}^{\text{СН}} = 9 \text{ витков.}$$

Полный ток небаланса для НН:

$$I_{\text{НБ}}^{\text{НН}} = I_{\text{НБ}}^{\text{НН}'\text{НБ}} + I_{\text{НБ}}^{\text{НН}''\text{НБ}} + I_{\text{НБ}}^{\text{НН}'''\text{НБ}}, \text{ А, где } I_{\text{НБ}}^{\text{НН}'} + I_{\text{НБ}}^{\text{НН}''} = 247 \text{ А, а}$$

$$I_{\text{НБ}}^{\text{НН}'''} = \frac{|W_{\text{НЕОСН.РАСЧ}}^{\text{НН}} - W_{\text{НЕОСН}}^{\text{НН}}|}{W_{\text{НЕОСН.РАСЧ}}^{\text{НН}}} \cdot I_{\text{КЗ.НН}}^{(3)\text{МАКС}} = \frac{|14,87 - 15|}{14,87} \cdot 949 = 8,3 \text{ А;}$$

$$I_{\text{НБ}}^{\text{НН}} = I_{\text{НБ}}^{\text{НН}'\text{НБ}} + I_{\text{НБ}}^{\text{НН}''\text{НБ}} + I_{\text{НБ}}^{\text{НН}'''\text{НБ}} = 8,3 + 247 = 255 \text{ А;}$$

$$W_{\text{ТОРМ.НН}}^{\text{РАСЧ}} = \frac{K_{\text{отс}} \cdot I_{\text{НБ}}^{\text{НН}} \cdot W_{\text{р}}}{I_{\text{К.З.НН}}^{(3)\text{МАКС}} \cdot \text{tg}\alpha} = \frac{1,5 \cdot 255 \cdot 15}{949 \cdot 0,75} = 8,06 \text{ витков;}$$

Принимаем из ряда стандартное число витков тормозной обмотки $W_{\text{торм}}$ (большее), а именно

$$W_{\text{ТОРМ}}^{\text{НН}} = 9 \text{ витков.}$$

4.1.2 Выбор газовой защиты трансформатора

Газовая защита основана на использовании явления газообразования в баке поврежденного трансформатора, то есть она реагирует на понижение уровня масла. Интенсивность газообразования зависит от характера и размеров повреждения. Это дает возможность выполнить газовую защиту, способную различать степень повреждения, и в зависимости от этого действовать на сигнал или отключение.

Следует отметить, что она используется в качестве основной защиты трансформатора. Расчет газовой защиты не входит в рамки данной курсовой работы. Но укажем, что устанавливаем на трансформатор газовое реле типа ВФ-80/Q.

4.2 Расчет резервной защиты силового трансформатора

4.2.1 Расчет токовой отсечки трансформатора

Токовая отсечка является самой простой быстродействующей защитой от повреждений в трансформаторе, действующей с $t=0\text{с}$. Однако она не является полноценной, так как реагирует только на большие токи повреждения и охватывает своей зоной лишь часть трансформатора.

Отсечка не действует при витковых замыканиях и замыканиях на землю в обмотке, работающей на сеть с малыми током замыкания на землю, и по существу является защитой от К.З. (междуфазных и однофазных).

Токовая отсечка устанавливается со стороны источника питания, т.е. со стороны ВН.

Ток срабатывания отсечки отстраивается от максимального тока короткого замыкания при повреждении за трансформатором и вычисляется по формуле:

$$I_{\text{ТО}} = k_{\text{ОТС}} \cdot I_{\text{КЗ.ВНЕШ.МАКС}}^{(3)} = 1,3 \cdot 1417 = 1842 \text{ А};$$

Проверяем чувствительность:

$$k_{\text{ч.ВН}}^{(2)\text{ТО}} = \frac{I_{\text{КЗ.МИН}}}{I_{\text{ТО}}} = \frac{I_{\text{КЗ.ВН}}^{(2)\text{МИН}}}{I_{\text{ТО}}} = \frac{1993}{1842} = 1,08 < 1,2,$$

$$k_{\text{ч.ВН}}^{(1)\text{ТО}} = \frac{I_{\text{КЗ.МИН}}}{I_{\text{ТО}}} = \frac{I_{\text{КЗ.ВН}}^{(1)\text{МИН}}}{I_{\text{ТО}}} = \frac{2529}{1842} = 1,37 > 1,2;$$

Хотя коэффициент чувствительности получился меньше, чем 1,2, токовую отсечку оставляем.

Трансформаторы тока резервной защиты на стороне ВН соединены в звезду, следовательно, $k_{\text{сх}}=1$. Так как защита должна реагировать на однофазные к.з., то устанавливаем трансформаторы тока во всех фазах, принимаем $k_{\text{ТТ}}=600/5$.

Определяем ток срабатывания реле

$$I_{\text{С.Р.}} = \frac{k_{\text{сх}} \cdot I_{\text{ТО}}}{k_{\text{ТТ}}} = \frac{1 \cdot 1842}{\frac{600}{5}} = 15,35 \text{ А}.$$

Выбираем реле РТ-40/20.

Токовая отсечка срабатывает без выдержки времени, следовательно, $t_{\text{ТО}}=0$.

4.2.2 Расчет максимальной токовой защиты трансформатора

МТЗ защищает от всех видов междуфазных коротких замыканий.. Отстраивается от максимального тока нагрузки, в максимальном режиме.

Вычисляем значения этих токов:

$$S_{\text{НАГР.14(НН)}} = \frac{n \cdot (S_{\text{Т1}} + S_{\text{Т2}})}{100} = \frac{35 \cdot (40 + 63)}{100} = 36,05 \text{ МВ} \cdot \text{А},$$

$$S_{\text{НАГР.16(СН)}} = \frac{n \cdot (S_{\text{Т1}} + S_{\text{Т2}})}{100} = \frac{30 \cdot (40 + 63)}{100} = 30,9 \text{ МВ} \cdot \text{А},$$

$$S_{\text{НАГР(ВН)}} = S_{\text{НАГР(НН)}} + S_{\text{НАГР(СН)}} = 36,05 + 30,9 = 66,95 \text{ МВ} \cdot \text{А};$$

$$I_{\text{НАГР.НН}}^{\text{МАКС}} = \frac{S_{\text{НАГР.14}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}^{\text{НН}}} = \frac{36,05 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6,6} = 3154 \text{ А};$$

$$I_{\text{НАГР.СН}}^{\text{МАКС}} = \frac{S_{\text{НАГР.16}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}^{\text{СН}}} = \frac{30,9 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 38,5} = 463 \text{ А};$$

$$I_{\text{НАГР.ВН}}^{\text{МАКС}} = \frac{S_{\text{НАГР.ВН}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}^{\text{ВН}}} = \frac{66,95 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 115} = 336 \text{ А}.$$

МТЗ ставим со стороны ВН и НН.

Выбираем ток срабатывания защиты для низкой стороны

$$I_{C.3.НН} = \frac{k_H \cdot k_3 \cdot I_{НАГР.НН}^{МАКС}}{k_B} = \frac{1,3 \cdot 1,5 \cdot 3154}{0,8} = 7688 \text{ А.}$$

Проверяем коэффициент чувствительности

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{КЗ.НН}^{(2)МИН}}{I_{C.3.НН}} = \frac{663 \cdot \frac{115}{6,6}}{7688} = 1,503 \approx 1,5 \geq 1,5,$$

Следовательно, защита проходит по коэффициенту чувствительности. Определим ток срабатывания реле и выберем по нему реле. Собирается по схеме неполной звезды.

Установим на стороне НН трансформатор тока с коэффициентом трансформации 6000/5.

$$I_{C.P.НН} = \frac{k_{\text{сх}} \cdot I_{C.3.НН}}{K_{\text{тт}}} = \frac{1 \cdot 7688}{6000/5} = 6,41 \text{ А.}$$

Выбираем реле типа РТ-40/10. Определяем время срабатывания защиты $t_{C.3.НН} = t_{МАКС.НН} + \Delta t = 1,5 + 0,5 = 2 \text{ с}$, где $\Delta t = 0,5$ – ступень селективности. Выбираем реле времени типа РВ-133 (выдержка времени 0,5 - 9 с).

Выбираем ток срабатывания защиты для высшей стороны:

$$I_{C.3.ВН} = \frac{k_H \cdot k_3 \cdot I_{НАГР.ВН}^{МАКС}}{k_B} = \frac{1,3 \cdot 1,5 \cdot 336}{0,8} = 819 \text{ А.}$$

Проверяем коэффициент чувствительности на сторонах НН и СН

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{КЗ.СН}^{(2)МИН}}{I_{C.3.ВН}} = \frac{905}{819} = 1,11 < 1,5$$

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{КЗ.НН}^{(2)МИН}}{I_{C.3.ВН}} = \frac{663}{819} = 0,81 < 1,5, \text{ т.к. полученные коэффициенты чувствительности меньше}$$

1,5, то нужно применить МТЗ с пуском по напряжению.

$$I_{C.3.ВН}^U = \frac{k_H \cdot I_{НАГР.ВН}^{МАКС}}{k_B} = \frac{1,3 \cdot 336}{0,8} = 546 \text{ А.}$$

Проверяем коэффициент чувствительности:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{КЗ.СН}^{(2)МИН}}{I_{C.3.ВН}} = \frac{905}{546} = 1,65 > 1,5$$

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{КЗ.НН}^{(2)МИН}}{I_{C.3.ВН}} = \frac{663}{546} = 1,21 < 1,5, \text{ но т.к. } 1,21 \text{ не на много отличается от } 1,5, \text{ то можно}$$

предположить, что условие чувствительности выполняется.

Определяем ток срабатывания реле

$$I_{С.Р.ВН}^U = \frac{k_{СХ} \cdot I_{С.З.ВН}^U}{k_{ТТ.ВН}} = \frac{1 \cdot 546}{\frac{600}{5}} = 4,55 \text{ А} - \text{выбираем реле РТ-40/6.}$$

На высшей стороне используем схему соединения трансформаторов тока – полная звезда $k_{СХ}=1$, $k_{ТТ}=600/5$.

Определяем время срабатывания защиты:

$$t_{МТЗ.СН} = t_{РЗ.МАКС} + \Delta t = 1,0 + 0,5 = 1,5 \text{ с}$$

$$t_{МТЗ.ВН} = t_{РЗ.МАКС} + \Delta t = 2 + 0,5 = 2,5 \text{ с} - \text{выбираем реле времени РВ – 132 (0,5-9с).}$$

Уставка фильтра напряжений обратной последовательности выбирается по отстройке от небаланса фильтра и по опыту принимается: $U_{ОБР.Ф.} = 6В$ - вторичное напряжение (напряжение срабатывания 6...12 В).

Напряжение срабатывания защиты:

$$U_{С.З.} = \frac{U_{РАБ.МИН}}{k_{Н} \cdot k_{В}} = \frac{0,8 \cdot 6,6}{1,1 \cdot 1,25} = 3,84 \text{ кВ} - \text{если напряжение упадет ниже 3,84 кВ, то защита}$$

должна сработать, восприняв это как к.з.

$$U_{С.Р.} = \frac{U_{С.З.}}{k_{ТН}} = \frac{3,84 \cdot 10^3}{6000/100} = 64 \text{ В} - \text{выбираем реле напряжения РН-54/120.}$$

4.2.3 Расчет защиты от перегрузки трансформатора

Защита от перегрузки выполняется действующей на сигнал посредством токового реле, которое устанавливается в одной фазе, так как перегрузка трансформатора возникает одновременно в трех фазах. Чтобы избежать излишних сигналов при К.З. и кратковременных перегрузках, предусматривается реле времени. Защита ставится на стороне ВН.

Токи срабатывания защиты:

$$I_{С.З.ПЕР.} = \frac{K_{Н}}{K_{В}} \cdot I_{Т.НОМ}$$

$$I_{С.З.ПЕР.} = \frac{1,05}{0,8} \cdot 201 = 264 \text{ А};$$

Токи срабатывания реле:

$$I_{С.Р.ПЕР.} = \frac{K_{СХ} \cdot I_{С.З.}}{n_{ТТ}},$$

$$I_{С.Р.ПЕР.} = \frac{1 \cdot 264}{600/5} = 2,2 \text{ А}; \text{выбираем РТ-40/6.}$$

Выдержка времени:

$$t_{ПЕР.} = t_{Р.З.МАКС} + \Delta t,$$

$$t_{ПЕР.} = 2,5 + 0,5 = 3,0 \text{ с};$$

Выбираем реле времени РВ – 133 (выдержка времени 0,5...9с).

Так как перегрузки симметричны, защита включается на ток одной фазы. Данный вид защиты действует на сигнал.

Список использованных источников

- 1) Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций (справочные материалы). – 4-е изд., перераб. И доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608с.
- 2) Рожкова Л.Д., Карнеева Л.К., Чиркова Т.В. Электрооборудование электрических станций и подстанций : учебник для сред, проф. образования. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 448с.
- 3) Расчет релейной защиты и автоматики распределительных сетей: Монография./ М.А. Шабад. – СПб.: ПЭИПК, 2003. – 4е изд., перераб. и доп. – 350 стр., ил.

Шестаков Дмитрий Николаевич

Методические указания
к выполнению лабораторной работы
по дисциплинам «Релейная защита систем электроснабжения»
для студентов специальности 140211 – «Электроснабжение»

Авторское издание

Подписано к печати
Печать трафаретная
Заказ

Формат 60x84 1/16
Усл.печ.л. 1,75
Тираж 5

Бумага тип. № 1
Уч.-изд. л. 1,75
Цена свободная

Редакционно-издательский центр КГУ.
640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25.
Курганский государственный университет.