


**МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ, ПРОМЫШЛЕННОСТИ И СВЯЗИ
СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«Ставропольский колледж связи имени Героя Советского Союза
В.А. Петрова»**

Цикловая комиссия «Радиотехнических дисциплин»

Утверждаю
Заместитель директора по учебной
работе 
_____ Г.А. Белоусова
« 14 » 06 2019 г.


**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ
РАБОТЫ**

учебной дисциплины

**МДК 01.01 Основы наладки и испытаний устройств релейной защиты,
автоматики, средств измерения и систем сигнализации**

13.02.06 «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем»

Согласовано
Методист СКС
В.В. Петренко
« 14 » 06 2019 г.

Разработчик: Киркоров О.Р.
Обсуждено на заседании цикловой
комиссии «Радиотехнических
дисциплин»
« 14 » 06 2019 г.
Протокол № 11
Председатель цикловой комиссии
 Г.А. Черкашин

Ставрополь, 2019

1 Цели и задачи курсовой работы

Курсовая работа является одним из основных видов учебных занятий и формой контроля учебной работы студентов при освоении модуля **ПМ.01 Наладка и испытание устройств релейной защиты, автоматики, средств измерения и систем сигнализации** на основе углубленного изучения устройств и видов релейной защиты элементов систем электроснабжения, приобретения практического опыта по выполнению выбора и расчета устройств релейной защиты.

Целью выполнения курсовой работы является применение полученных знаний и умений при решении комплексных задач, связанных со сферой профессиональной деятельности будущих специалистов.

Основными задачами выполнения курсовой работы является формирование следующих:

умений:

У2 – проводить наладку, балансировку, замену деталей, читать принципиальные, монтажные схемы, выполнять опробования устройств релейной защиты и автоматики;

У3 – проверять и подготавливать к работе установки для проверки устройств релейной защиты, автоматики и измерений;

У4 – составлять схемы испытания, осуществлять их сборку, проводить проверки электрических характеристик реле, осуществлять поверки средств измерения;

У5 – составлять программы испытаний устройств релейной защиты, автоматики, оформлять акт проверки;

знаний:

З1 – конструкцию, принцип действия, технические характеристики элементов релейной защиты, автоматики и средств измерения, методы проверки;

З2 – способы регулирования реле, автоматики, поверки измерительных приборов;

З3 – назначение и принцип действия узлов релейной защиты, автоматики, средств измерений, методы наладки;

З5 – программу и порядок работ при наладке устройств релейной защиты, автоматики, средств измерений и систем сигнализации;

З9 – номинальные параметры элементов и устройств релейной защиты, автоматики и средств измерений;

З10 – правила оформления документации проверок и испытаний.

профессиональных компетенций:

ПК.1.1. Проверять и настраивать элементы релейной защиты, автоматики, средств измерений и систем сигнализации.

ПК.1.2. Проводить наладку узлов релейной защиты, автоматики, средств измерений и систем сигнализации.

ПК.1.3. Проводить испытания элементов и устройств релейной защиты, автоматики и средств измерений.

ПК.1.4. Оформлять документацию по результатам проверок и испытаний.

Результатом выполнения курсовой работы является подготовка и сдача текста работы на бумажном носителе, защита курсовой работы, а также оценка преподавателя, принявшего курсовую работу.

Выполнение курсовой работы связано с изучением общепрофессиональных дисциплин «Электротехника и электроника» и «Метрология, стандартизация и сертификация», а также междисциплинарного курса МДК 01.01 Основы наладки и испытаний устройств релейной защиты, автоматики, средств измерений и систем сигнализации для профессионального модуля ПМ.01 специальности 13.02.06 Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем.

2 Содержание курсовой работы

Тема курсовой работы: «Расчет релейной защиты элементов систем электроснабжения».

В ходе курсовой работы необходимо рассмотреть следующие вопросы.

1. Расчет параметров схемы замещения
 - 1.1 Расчет удельных и полных сопротивлений линий
 - 1.2 Расчет сопротивлений трансформаторов
 - 1.3 Расчет параметров энергосистемы
2. Расчет токов короткого замыкания
3. Выбор и обоснование типа защит
 - 3.1 Защита цеховых трансформаторов
 - 3.2 Защита магистральной линии
 - 3.2.1 Селективная токовая отсечка
 - 3.2.2 Максимальная токовая защита
 - 3.2.3 Выбор времени срабатывания максимальной токовой защиты
 - 3.3 Токовая защита нулевой последовательности трансформатора 10,5/0,4 кВ
 - 3.4 Расчёт установок защиты понижающих трансформаторов 35/10 кВ
 - 3.4.1 Дифференциальная защита от межфазных КЗ
 - 3.4.2 Максимальная токовая защита от внешних КЗ
 - 3.4.3 Газовая защита трансформатора
 - 3.4.4 Максимальная токовая защита трансформаторов от перегрузки
 - 3.4.5 Проверка ТТ по условию 10% погрешности
 - 3.5 Расчёт двухступенчатой токовой направленной защиты линий W1, W2, W3
 - 3.5.1 Расчёт защиты линии W1
 - 3.5.2 Расчёт защиты линии W2
 - 3.5.3 Расчёт защиты линии W3
 - 3.5.4 Согласование времени срабатывания защит

3 Требования к оформлению курсовой работы

Курсовая работа должна быть представлена пояснительной запиской в объеме 20-30 листов.

Пояснительная записка должна включать:

- титульный лист;
- задание на курсовую работу;
- введение (с обоснованием основных задач);
- содержание;
- основную часть,
- заключение, в котором производится анализ полученных результатов;
- список литературы.

В тексте основной части должны быть представлены разделы, указанные в пункте 2.

Курсовая работа в печатном виде выполняется только на одной стороне листа формата А4 (210×297 мм). Поля страницы: левое – 3 см, правое – 1 см, нижнее – 2 см, верхнее – 2 см. Текст печатается через 1,5 интервала, красная строка – 1,25 см. Шрифт: Times New Roman, размер шрифта – 14 пт. Размер шрифта внутри таблиц – 12-14 пт.

Страницы работы следует нумеровать арабскими цифрами, соблюдая сквозную нумерацию по всему документу. Номер проставляется внизу справа листа шрифтом 12 пт.

Титульный лист включается в общую нумерацию, но номер страницы на нем не проставляется. Иллюстрации, таблицы, графики, расположенные на отдельных листах, включаются в общую нумерацию страниц.

Оформление пояснительной записки должна соответствовать оформлению примера расчета курсовой работы, приведенного в пункте 5.

Вариант	$S_{КЗ}^{(3)}$, МВА	Трансфор- матор	S_T , МВА	Линия	l, км	Нагрузка	S_H , МВА	$K_{сз}$	t, с
1	2	3	4	5	6	4	5	6	7
1	530	T1	16	W1	11	H1	4,6	2,8	0,8
		T2	16	W2	9	H2	4,9	2,6	0,9
		T3	0,63	W3	5	H3	4,0	2,0	1,1
		T4	0,63	W4	6	H4	4,7	2,5	1,0
		T5	0,4	W5	7				
				W6	5				
2	540	T1	16	W1	12	H1	4,7	2,9	0,8
		T2	16	W2	10	H2	5,0	2,7	0,9
		T3	0,4	W3	6	H3	4,1	2,1	1,1
		T4	0,63	W4	7	H4	4,8	2,6	1,0
		T5	0,63	W5	8				
				W6	7				
3	550	T1	16	W1	13	H1	4,8	3,0	0,9
		T2	16	W2	11	H2	5,1	2,8	1,0
		T3	0,4	W3	7	H3	4,2	2,2	1,2
		T4	0,4	W4	8	H4	4,9	2,7	1,1
		T5	0,63	W5	9				
				W6	8				
4	560	T1	16	W1	14	H1	4,9	3,1	1,0
		T2	16	W2	12	H2	5,2	2,9	1,1
		T3	0,4	W3	8	H3	4,3	2,3	1,3
		T4	0,63	W4	9	H4	5,0	2,8	1,2
		T5	0,4	W5	10				
				W6	11				
5	570	T1	16	W1	15	H1	5,0	3,2	1,1
		T2	16	W2	13	H2	5,3	3,0	1,2
		T3	0,63	W3	9	H3	4,4	2,4	1,4
		T4	0,4	W4	10	H4	5,1	2,9	1,3
		T5	0,4	W5	11				
				W6	12				
6	580	T1	10	W1	11	H1	4,6	2,4	1,0
		T2	10	W2	9	H2	3,9	2,6	0,7
		T3	0,63	W3	7	H3	4,8	2,5	0,9
		T4	0,63	W4	6	H4	4,3	1,9	0,8
		T5	0,4	W5	4				
				W6	5				
7	590	T1	10	W1	12	H1	4,4	2,5	1,1
		T2	10	W2	8	H2	4,1	2,7	0,8
		T3	0,63	W3	9	H3	4,7	2,6	1,0
		T4	0,4	W4	5	H4	4,2	2,0	0,9
		T5	0,63	W5	6				
				W6	7				
8	600	T1	10	W1	13	H1	4,3	2,6	1,2
		T2	10	W2	10	H2	4,4	2,8	0,9
		T3	0,4	W3	11	H3	4,8	2,9	1,1
		T4	0,63	W4	7	H4	4,1	3,0	1,0

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	4	5	6	7
		T5	0,4	W5	6				
				W6	7				
17	590	T1	10	W1	13	H1	4,3	2,4	1,1
		T2	10	W2	10	H2	4,2	2,8	0,8
		T3	0,63	W3	11	H3	4,5	2,5	1,0
		T4	0,4	W4	7	H4	4,1	2,1	0,9
		T5	0,63	W5	8				
				W6	9				
18	600	T1	10	W1	14	H1	4,7	2,6	1,2
		T2	10	W2	12	H2	4,2	2,7	0,9
		T3	0,4	W3	13	H3	4,1	2,9	1,1
		T4	0,63	W4	9	H4	4,5	3,0	1,0
		T5	0,63	W5	10				
				W6	11				
19	610	T1	10	W1	10	H1	4,5	2,8	0,9
		T2	10	W2	9	H2	4,9	3,1	1,0
		T3	0,4	W3	6	H3	4,4	2,6	0,8
		T4	0,4	W4	7	H4	4,0	3,0	1,1
		T5	0,63	W5	5				
				W6	4				
20	620	T1	10	W1	11	H1	4,2	2,7	0,7
		T2	10	W2	10	H2	4,6	2,6	0,8
		T3	0,40	W3	7	H3	4,0	2,3	1
		T4	0,63	W4	8	H4	4,3	2,2	0,9
		T5	0,4	W5	6				
				W6	5				
21	530	T1	16	W1	11	H1	4,6	2,4	1,0
		T2	16	W2	9	H2	3,9	2,6	0,7
		T3	0,63	W3	5	H3	4,8	2,5	0,9
		T4	0,63	W4	6	H4	4,3	1,9	0,8
		T5	0,4	W5	7				
				W6	5				
22	540	T1	16	W1	12	H1	4,4	2,5	1,1
		T2	16	W2	10	H2	4,1	2,7	0,8
		T3	0,4	W3	6	H3	4,7	2,6	1,0
		T4	0,63	W4	7	H4	4,2	2,0	0,9
		T5	0,63	W5	8				
				W6	7				
23	550	T1	16	W1	13	H1	4,3	2,6	1,2
		T2	16	W2	11	H2	4,4	2,8	0,9
		T3	0,4	W3	7	H3	4,8	2,9	1,1
		T4	0,4	W4	8	H4	4,1	3,0	1,0
		T5	0,63	W5	9				
				W6	8				
24	560	T1	16	W1	14	H1	4,4	2,7	0,9
		T2	16	W2	12	H2	4,5	2,9	1,0
		T3	0,4	W3	8	H3	4,9	3,0	0,8
		T4	0,63	W4	9	H4	4,2	3,1	1,1

Продолжение таблицы 1

5 Пример выполнения курсовой работы

Задание на курсовую работу на тему: «Расчет релейной защиты элементов систем электроснабжения».

Выполнить расчет релейной защиты схемы участка сети (рисунок 1) по варианту исходных данных (таблица 1).

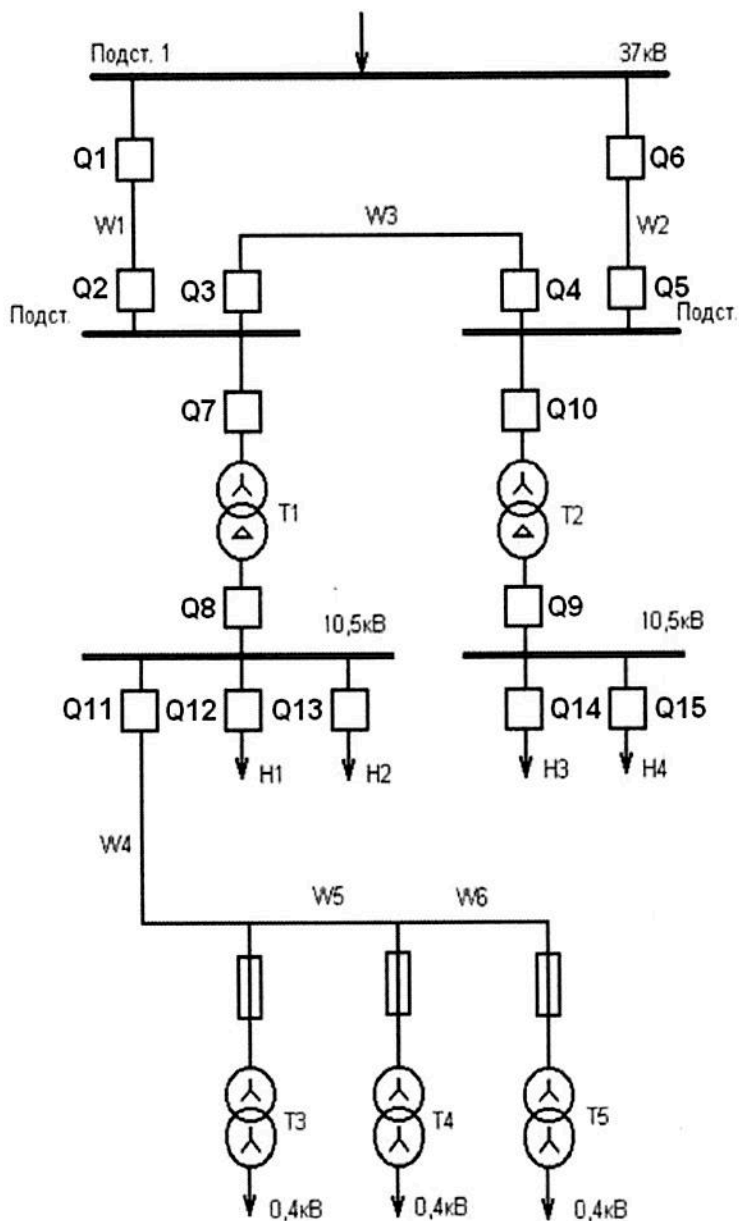


Рисунок 1 – Расчётная схема

Таблица 1 – Исходные данные расчётной схемы

Вариант	$S_{кз}^{(3)}$, МВА	Трансформатор	S_T , МВА	Линия	l , км	Нагрузка	S_H , МВА	$K_{сз}$	t , с
1	2	3	4	5	6	4	5	6	7
	520	T1	16	W1	10	H1	4,5	2,7	0,7
		T2	16	W2	8	H2	4,8	2,5	0,8
		T3	0,63	W3	4	H3	3,9	1,9	1
		T4	0,4	W4	4	H4	4,5	2,4	0,9
		T5	0,63	W5	5				
				W6	4				

Таблица 3 – Исходные и расчетные параметры трансформаторов

Обозначение параметра	Значение параметра				
	T1	T2	T3	T4	T5
Тип трансформатора	ТД-16000	ТД-16000	ТМ-630	ТМ- 400	ТМ - 630
U _{ном} , кВ	37/10,5	37/10,5	10,5/0,4	10,5/0,4	10,5/0,4
I _{омн} , А	250	250	34,64	22	34,64
ΔР _к , кВт	90	90	76	5,5	76
U _{к%} , %	8	8	5,5	4,5	5,5
R _т , Ом	0,0386	0,0386	2,11	3,79	2,11
X _т , Ом	0,55	0,55	9,625	12,4	9,625
Z _т , Ом	0,5486	0,5486	9,854	12,96	9,854

5.1.3 Расчет параметров энергосистемы

Параметры энергосистемы также приведены к стороне 10,5 кВ:

$$X_c = \frac{U_{cp}^2}{\sqrt{3} \cdot S_K^{(3)}} = \frac{10,5^2}{\sqrt{3} \cdot 520} = 0,1224 \text{ Ом};$$

$$E_{cp} = \frac{U_{cp}}{\sqrt{3}} = \frac{10,5}{\sqrt{3}} = 6,6 \text{ кВ}.$$

5.2 Расчет токов короткого замыкания

Расчет токов КЗ производим без учета подпитки со стороны нагрузки (рисунок 2).

Определяем эквивалентное сопротивление от энергосистемы до точки КЗ и рассчитываем ток по формуле:

$$I_{K3} = \frac{E_{cp}}{Z_{экi}}.$$

Результаты расчетов сведены в таблицу 4.

Таблица 4 – Расчетное значение тока трехфазного КЗ

Точка КЗ	Параметр схемы					
	R, Ом	X, Ом	Z, Ом	I _к , кА	I _к , кА	I _{к min} , кА
K1	–	0,1224	0,1224	49,5	42,87	49,5
K2	0,057	0,296	0,301	20,13	17,44	11,87
K3	0,051	0,284	0,288	21	18,2	21
K4	0,096	0,846	0,851	7,12	6,2	5,33
K5	2,496	2,4	3,46	1,75	1,52	2,22
K6	5,45	4,18	6,87	0,882	0,764	1,29
K7	8,56	5,63	10,24	0,592	0,513	0,96
K8	4,6	12	12,875	0,47	0,41	0,53
K9	9,24	6,57	18,98	0,319	0,276	0,33
K10	10,66	15,26	18,617	0,326	0,282	0,41
K11	0,09	0,834	0,839	7,22	6,25	7,22

Таблица 5 – Расчет параметров плавких предохранителей

Обозначение на схеме	S_T , кВА	$I_{ном\ T}$, А	Тип предохранителя	$I_{ном.пл.вст.}$, А	Время плавл., с
T3	630	34,64	ПКТ-103-10-80	80	0,25
T4	400	22	ПКТ-103-10-50	50	0,2
T5	630	34,64	ПКТ-103-10-80	80	0,25

Время-токовую характеристику предохранителя с наибольшим номинальным током переносим из на карту селективности. Известно, что отклонения ожидаемого тока плавления плавкого элемента при заданном времени плавления от типовых значений достигают $\pm 20\%$. Поэтому типовая характеристика 1 должна быть смещена вправо на 20% .

5.3.2 Защита магистральной линии

Устанавливаем двухступенчатую токовую защиту, выполненную по двухрелейной схеме на основе реле прямого действия типа РТ-40. Токовая отсечка в данном случае может быть эффективной, так как достаточно велико различие между токами КЗ в месте подключения ближайшего трансформатора Т3 ($I_K^{(3)}=1750$ А) и в месте установки защиты магистральной линии ($I_K^{(3)}=1120$ А). Для определения типа трансформаторов тока двухступенчатой защиты рассчитаем максимальный рабочий ток, который равен сумме номинальных токов трансформаторов Т3, Т4, Т5:

$$I_{раб.макс} W6 = \sum I_{ном\ T} = 34,64 + 22 + 34,64 = 91,28 \text{ А.}$$

$$\text{Выбираем ТПЛ-10К класса Р, } K_1 = \frac{600}{5}.$$

5.3.2.1 Селективная токовая отсечка

Определяется ток срабатывания селективной отсечки по условию отстройки от тока КЗ в конце участка W4, где подключен первый цеховой трансформатор:

$$I_{co} \geq 1,25 \cdot I_{K5} = 1,25 \cdot 1751 = 2188,75 \text{ А.}$$

Проверяем надежность отстройки от бросков тока намагничивания:

$$I_{co} > (4-5) \cdot \sum I_{ном\ T} = (4-5) \cdot 91,28 = (365,12-456,4) < 2188,75 \text{ А.}$$

Принимаем схему ТТ, соединенных в неполную звезду, в фазные провода которой включены реле РТ-40.

Ток срабатывания реле:

$$I_{ср} = \frac{k_{сх} \cdot I_{co}}{K_1} = \frac{1 \cdot 2188,75}{120} = 18,24 \text{ А.}$$

Принимаем реле РТ-40/20 с уставкой 20 А. Уточняем $I_{co} = 120 \cdot 20 = 2400$ А.

Токовая отсечка устанавливается на тех линиях, согласно требованиям ПУЭ, где она защищает более 20% её длины, поэтому, в данном случае коэффициент чувствительности не проверяется.

5.3.2.2 Максимальная токовая защита

МТЗ отстраивается от суммы номинальных токов всех трансформаторов, подключенных к защищаемой линии. Коэффициент самозапуска в этом случае принимается минимальным значением 1,2-1,3. Отсюда

$$I_{сз} = \frac{k_n \cdot k_{сзл}}{K_b} \cdot I_{раб.макс} = \frac{1,3 \cdot 1,25}{0,65} \cdot 91,28 = 228,2 \text{ А.}$$

Согласно методике, зависимость характеристика времени срабатывания от тока реле РТВ должна быть согласована с время-токовой характеристикой предохранителя трансформатора. Ток срабатывания РТ-40 отстраивается от 1,2 тока плавления

5.3.3 Токовая защита нулевой последовательности трансформатора 10,5/0,4 кВ

Токовая защита нулевой последовательности устанавливается в случае недостаточной чувствительности МТЗ линии W4 при однофазных КЗ на стороне 0,4 кВ. Обычно эта защита действует на отключение выключателя на стороне ВН трансформатора. При наличии предохранителя допускается её действие на автоматический выключатель со стороны НН трансформатора.

Ток срабатывания защиты выбирается по следующим условиям:

а) отстройка от наибольшего допустимого тока небаланса (приведен к стороне 0,4 кВ) в нулевом проводе трансформатора в нормальном режиме, например, для ТЗ:

$$I_{сз} = k_n \cdot I_{нб} = 0,5 \cdot I_{ном ТЗ} = 0,5 \cdot \frac{34,64}{\frac{0,4}{10,5}} = 454,6 \text{ А};$$

б) согласование чувствительности при однофазных КЗ на землю на стороне 0,4 кВ с использованием характеристик защитных устройств (предохранители, максимальные расцепители автоматов) электродвигателей и линий 0,4 кВ, не имеющих специальных защит нулевой последовательности;

в) обеспечение достаточной чувствительности при однофазных КЗ на землю на стороне 0,4 кВ в зоне основного действия ($k_{ч.осн} \geq 2,0$), а также обеспечение резервирования защитных устройств присоединений шин 0,4 кВ, например для ТЗ:

Расчетный ток в реле при условии металлического КЗ без учета сопротивления питающей энергосистемы до места включения трансформатора ТЗ:

$$I_{КЗ}^{(1)} = \frac{3 \cdot U_{\phi}}{2 \cdot Z_{ТЗ} + Z_{0 ТЗ}} = \frac{U_{\phi}}{0,333 \cdot Z_{ТЗ}^{(1)}},$$

где $0,333 \cdot Z_{ТЗ}^{(1)}$ – справочная величина, приведенная к стороне 0,4 кВ в данном случае равна 0,042 Ом

Таким образом, ток однофазного КЗ, приведенный к стороне 0,4 кВ, равен:

$$I_{КЗ}^{(1)} = \frac{220}{0,042} = 52,38.$$

Определяем коэффициент чувствительности при однофазном КЗ за трансформатором ТЗ.

$$k_{ч.осн}^{(1)} = \frac{I_{КЗ}^{(1)}}{I_{сз}} = \frac{5238,1}{454,6} = 11,5 > 2.$$

Защита выполняется с действием на независимый расцепитель автоматического выключателя со стороны трансформаторов ТЗ, Т4, Т5.

Расчеты защиты нулевой последовательности для трансформаторов 10,5/0,4 кВ сведены в таблицу 6.

Таблица 6 – Расчет защиты нулевой последовательности трансформаторов 10,5/0,4 кВ

Обозначение расчетного параметра	Т4	Т5	Т6
Номинальный ток на НН, А	909	578	909
Ток срабатывания защиты, А	454,6	288,7	454,6
Коэффициент трансформации ТТ	600/5	600/5	600/5
Ток срабатывания реле расчетный, А	3,78	2,4	3,78
Тип реле	РТ – 40	РТ – 40	РТ – 40
Уставка реле, А	4	3	4
Ток срабатывания защиты уточненный, А	480	360	480
Сопротивление трансформатора при однофазном КЗ, Ом	0,042	0,065	0,042
Ток однофазного КЗ за трансформатором, А	5238,1	3384,6	5238,1
Коэффициент чувствительности	11,5	11,7	11,5

Таблица 8 – Определение числа витков дифференциальной и уравнильной обмоток

Наименование параметра и расчетное выражение	Численные значения
Ток срабатывания реле основной стороны (ВН), А $I_{\text{ср.осн}} = \frac{I_{\text{сз}} \cdot k_{\text{сх}}^{(3)}}{K_{\text{IВН}}}$	$\frac{375 \cdot \sqrt{3}}{120} = 5,4$
Число витков уравнильной обмотки основной стороны, расчетное, вит. $\omega_{\text{осн.расч}} = \frac{F_{\text{ср}}}{I_{\text{ср.осн}}}$	$\frac{100}{5,4} = 18,4$
Число витков с основной стороны, округленное (в меньшую сторону), вит	18
Число витков уравнильной обмотки неосновной стороны, расчетное, вит. $\omega_{\text{неосн.расч}} = \frac{\omega_{\text{осн}} \cdot I_{\text{ср.осн}}}{I_{\text{неосн}}}$	$\frac{18 \cdot 3,6}{7,3} = 8,9$
Число витков реле неосновной стороны, округленное (в ближайшую сторону), вит.	9
Третья составляющая небаланса, приведенная к стороне 10,5 кВ, А $I_{\text{нб}} = \left \frac{\omega_{\text{неосн}} - \omega_{\text{неосн.расч}}}{\omega_{\text{неосн}}} \right \cdot I_{\text{К2}}^{(3)}$	$I_{\text{нб}} = \left \frac{9 - 8,9}{9} \right \cdot 71,20 = 79$
Ток небаланса с учетом третьей составляющей, приведенный к стороне НН, А	1424 + 79 = 1503

Определяется число витков тормозной обмотки реле ДЗТ-11, необходимое для обеспечения не действия защиты при внешнем трехфазном КЗ (точка К4);

$$\omega_{\text{т}} = \frac{K_{\text{н}} \cdot I_{\text{нб}} \cdot \omega_{\text{неосн}}}{I_{\text{К4}}^{(3)} \cdot \text{tg}\alpha} = \frac{1,5 \cdot 1503 \cdot 9}{7120 \cdot 0,8} = 3,56 \text{ вит},$$

где $\text{tg}\alpha=0,8$ – тангенс угла наклона касательной на графике тормозной характеристики реле типа ДЗТ-11. Принимаем ближайшее большее число витков тормозной обмотки $\omega_{\text{т}}=4$.

Определяем коэффициент чувствительности защиты при КЗ за трансформатором на выводах, когда ток повреждения проходит только через ТТ стороны 35 кВ, и торможение в реле, следовательно, отсутствует. Значение трехфазного тока при КЗ за трансформатором (точка К4), приведенное к стороне ВН, равно:

$$I_{\text{К4ВН}}^{(3)} = \frac{I_{\text{К4НН}}^{(3)}}{K_{\text{т}}} = \frac{7120}{\frac{37}{10,5}} = 2021 \text{ А}.$$

Для схемы соединения обмоток ТТ в треугольник расчетный ток в реле при двухфазном КЗ за трансформатором равен:

$$I_{\text{р min}}^{(2)} = \frac{I_{\text{К}}^{(2)}}{K_{\text{IВН}}} = \frac{1,5 \cdot I_{\text{К}}^{(3)}}{K_{\text{IВН}}} = \frac{1,5 \cdot 2021}{120} = 25,3 \text{ А}.$$

Защита подключается к ТТ типа ТПОЛ-10, $K_{\text{I}} = 600/5$. Коэффициент чувствительности:

$$k_{\text{ч}}^{(2)} = \frac{I_{\text{р min}}^{(2)}}{I_{\text{ср}}} = \frac{25,3}{5,4} = 4,7 > 2,0.$$

Расчет уставок дифференциальных защит трансформаторов Т1, Т2 приведён в табличной форме (таблицы 9, 10).

$$k_{\text{ч.осн}}^{(2)} = \frac{0,865 \cdot I_{\text{К4}}^{(3)}}{I_{\text{с.з Т1}}} = \frac{0,865 \cdot 7120 \cdot 10,5}{739 \cdot 37} = 2,36 > 1,5.$$

Выдержка времени защиты должна быть минимальной и согласованной с МТЗ отходящих присоединений:

$$t_{\text{с.з}} = \max(t_{\text{с.з W1}}; t_{\text{с.з W2}}; t_{\text{с.з W4}}) + \Delta t = t_{\text{с.з W4}} + \Delta t = 1 + 0,5 = 1,5 \text{ с},$$

Выбираем реле времени ЭВ-122, $t_{\text{уст}} = (0,25-3,5) \text{ с}$, $U_{\text{ном}} = 220 \text{ В}$.

Для трансформатора Т2 рабочий ток обусловлен током нагрузки НЗ, Н4.

Ток срабатывания защиты равен:

$$I_{\text{с.з Т2}} = \frac{K_{\text{н}}}{K_{\text{в}}} \cdot (k_{\text{сзн 3}} \cdot I_{\text{раб НЗ}} + k_{\text{сзн 4}} \cdot I_{\text{раб Н4}}) = \frac{1,2}{0,8} \cdot \left(\frac{1,9 \cdot 3900}{\sqrt{3} \cdot 37} + \frac{2,4 \cdot 4500}{\sqrt{3} \cdot 37} \right) = 426,2 \text{ А}.$$

Выбираем ТТ типа ТВТ-35/10, $K_1 = 800/5$. Ток срабатывания реле РТ-40 для схемы ТТ, соединенных в треугольник:

$$I_{\text{ср}} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{с.з Т2}}}{K_1} = \frac{\sqrt{3} \cdot 426,2}{160} = 4,6 \text{ А}; I_{\text{уст}} = 5 \text{ А}.$$

Выбираем РТ-40/10.

Уточняем ток срабатывания защиты: $I_{\text{сз Т2}} = 461,9 \text{ А}$.

Проверяем коэффициент чувствительности при двухфазном КЗ за трансформатором:

$$k_{\text{ч.осн}}^{(2)} = \frac{0,865 \cdot I_{\text{К11}}^{(3)}}{I_{\text{с.з Т2}}} = \frac{0,865 \cdot 7220 \cdot 10,5}{461,9 \cdot 37} = 3,8 > 1,5.$$

Выдержка времени защиты должна быть минимальной и согласованной с МТЗ отходящих присоединений:

$$t_{\text{с.з}} = \max(t_{\text{с.з НЗ}}; t_{\text{с.з Н4}}) + \Delta t = 1 + 0,5 = 1,5 \text{ с},$$

Выбираем реле времени ЭВ-122, $t_{\text{уст}} = (0,25-3,5) \text{ с}$, $U_{\text{ном}} = 220 \text{ В}$.

5.3.4.3 Газовая защита трансформатора

Основным элементом газовой защиты трансформатора является газовое реле, которое устанавливается в маслопроводе между расширителем и баком трансформатора. Для защиты трансформатора от внутренних повреждений используются реле типа РГ43-66 с чашеобразными элементами. Реле срабатывает тогда, когда скорость движения масла и газов достигает значения 0.6-1.2 м/с. При этом время срабатывания 0,05-0,5 с. Газовая защита должна действовать на сигнал при слабом газообразовании и понижении уровня масла и на отключение при интенсивном газообразовании и дальнейшем понижении уровня масла.

5.3.4.4 Максимальная токовая защита трансформатора от перегрузки

Первичный ток срабатывания определяется по условию отстройки от номинального тока трансформатора на стороне, где установлена рассматриваемая защита, по выражению:

$$I_{\text{с.з}} = \frac{K_{\text{н}}}{K_{\text{в}}} \cdot I_{\text{ном.Т}},$$

где $K_{\text{н}}$ – коэффициент надежности, который принимается равным 1,05.

Для трансформатора Т1:

$$I_{\text{с.з}} = \frac{1,05}{0,8} \cdot 250 = 328,12 \text{ А}.$$

Защита подключена к тем же ТТ, что и защита от внешних КЗ.

Ток срабатывания реле РТ-40 равен:

5.3.5 Расчет двухступенчатой токовой направленной защиты линий W1, W2, W3

5.3.5.1 Расчет защиты линии W1

Расчёт уставок срабатывания защиты выключателя Q2.

Ток срабатывания максимальной токовой защиты:

$$I_{сз} \geq \frac{K_n}{K_b} \cdot K_{сз} \cdot I_{раб\ max} = \frac{1,25}{0,8} \cdot 2,7 \cdot 500 = 2100 \text{ А } (I_{раб\ max} = 500 \text{ А}).$$

Защита подключается к ТТ типа ТФН-35М, $K_I = 1500/5$, класса Д. Схема соединения ТТ-неполная звезда.

Для Q2:

$$I_{ср} = \frac{2100}{300} = 7 \text{ А}, I_{уст} = 7 \text{ А}.$$

Выбираем реле РТ-40/10. Проверим коэффициент чувствительности

$$k_{\chi} = \frac{0,865 \cdot I_K^{(3)}}{I_{сз2}} = \frac{0,865 \cdot 21200}{2100} = 8,74 > 1,5.$$

Отсечка защиты W1:

$$I_{со} = K_n \cdot I_K^{(3)} = 1,25 \cdot 21200 = 26500 \text{ А}.$$

Ток срабатывания реле:

$$I_{ср} = \frac{I_{со}}{K_I} = \frac{26500}{300} = 88,3 \text{ А}.$$

Округляем до $I_{уст} = 90 \text{ А}$.

Уточняем $I_{с.о.} = 27000 \text{ А}$.

Выбираем реле РТ-40/100.

Коэффициент отсечки

$$K_{отс} = \frac{I_{уст}}{I_{ср.МТЗ}} = \frac{90}{7} = 12,8.$$

Выбираем тип реле направления мощности РБМ-171/1 и определяем длину мёртвой зоны:

$$l_{МЗ} = \frac{K_U \cdot K_I \cdot S_{ср\ min}}{\sqrt{3} \cdot Z_{уд} \cdot (I_K^{(3)})^2 \cdot \cos(\varphi_p + \alpha)}, \text{ км}.$$

Реле мощности подключаем к тем же ТТ и ТН типа НОМ-35-66У1, $K_U = 35000/100/$

$$I_p = \frac{I_K^{(3)}}{K_I} = \frac{20130}{300} = 67,1 \text{ А};$$

$$S_{ср\ min} = 4 \text{ ВА}, \alpha = (90 - \varphi_n) = 45^\circ;$$

$$\varphi_p = \varphi_r - 90^\circ = \arctg \frac{X_{уд}}{R_{уд}} - 90^\circ = 73^\circ - 90^\circ = -17^\circ;$$

$$l_{МЗ} = \frac{350 \cdot 300 \cdot 4}{\sqrt{3} \cdot 0,409 \cdot 21200^2 \cdot 0,8829} = 0,0015 \text{ км};$$

$$l_{МЗ(\%)} = l_{МЗ} \cdot \frac{100\%}{l_{W1}} = 0,0015 \cdot \frac{100}{10} = 0,015 \%.$$

Расчёт уставок срабатывания защиты выключателя Q1.

Защита подключается к ТТ типа ТФН-35М, $K_I = 1500/5$ класса Д. Схема соединения ТТ-неполная звезда

$$I_{сз1} = 1,25 \cdot (2100 + 500) = 3250 \text{ А};$$

$$I_{ср1} = \frac{250}{300} = 10,8 \text{ А}, I_{уст} = 11 \text{ А}.$$

$$I_{\text{ср}} = \frac{k_{\text{сх}} \cdot I_{\text{с.з.}}}{K_1}.$$

Реле этой ступени подключается к тем же ТТ, что и отсечка

$$I_{\text{ср}} = \frac{1 \cdot 2100}{300} = 7 \text{ А}, I_{\text{уст}} = 7 \text{ А}.$$

Уточняем $I_{\text{с.з.}} = 2100 \text{ А}$.

Выбираем реле РТ-40/10 и РТ-40/100.

Проверка чувствительности МТЗ:

$$k_{\text{ч осн}}^{(2)} = \frac{0,866 \cdot 21000}{2100} = 8,6 > 1,5;$$

$$k_{\text{ч рез}}^{(2)} = \frac{0,866 \cdot 7220}{2100} = 2,97 > 1,5.$$

Время срабатывания защиты для выключателя Q6

$$t_{\text{с.з.}} = t_{\text{с.з. Q4}} + \Delta t = 2,5 + 0,5 = 3 \text{ с}.$$

Выбираем реле времени ЭВ-122, $t_{\text{уст}} = (0,25-3) \text{ с}$.

Для комплекта защиты, установленного на выключателе Q5 выдержку времени можно не предусматривать

Выбираем тип реле направления мощности РБМ-171/1 и определяем длину мёртвой зоны:

$$l_{\text{МЗ}} = \frac{K_U \cdot K_I \cdot S_{\text{ср min}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{уд}} \cdot (I_K^{(3)})^2 \cdot \cos(\varphi_p + \alpha)}, \text{ км}.$$

Реле мощности подключаем к тем же ТТ и ТН типа НОМ-35-669У, $K_U = 35000/100$.

$$I_p = \frac{I_K^{(3)}}{K_I} = \frac{21000}{300} = 70 \text{ А};$$

$$S_{\text{ср min}} = 4 \text{ ВА}, \alpha = (90 - \varphi_n) = 45^\circ;$$

$$\varphi_p = \varphi_p - 90^\circ = \arctg \frac{X_{\text{уд}}}{R_{\text{уд}}} - 90^\circ = 73^\circ - 90^\circ = -17^\circ;$$

$$l_{\text{МЗ}} = \frac{350 \cdot 300 \cdot 4}{\sqrt{3} \cdot 0,409 \cdot 21000^2 \cdot 0,8829} = 0,0015 \text{ км};$$

$$l_{\text{МЗ}(\%)} = l_{\text{МЗ}} \cdot \frac{100\%}{l_{\text{W2}}} = 0,0015 \cdot \frac{100}{8} = 0,02 \text{ \%}.$$

Проверка ТТ на 10% погрешность

$$I_{\text{расч}} = 1,1 \cdot I_{\text{с.р}} = 1,1 \cdot 2100 = 2310 \text{ А};$$

$$k_{10} = \frac{2310}{500} = 4,62;$$

$$Z_{\text{н доп}} = 4,2 \text{ Ом};$$

$$Z_{\text{РТ-40}} = \frac{S}{I_{2 \text{ ср}}} = \frac{0,5}{72} = 0,01 \text{ Ом};$$

$$Z_{\text{пр}} = 0,6 \text{ Ом};$$

$$Z_{\text{пер}} = 0,1 \text{ Ом};$$

$$Z_{\text{расч}} = 2 \cdot Z_{\text{пр}} + Z_{\text{РТ-40}} + Z_{\text{пер}} = 2 \cdot 0,6 + 0,01 + 0,1 = 1,31 \text{ Ом};$$

$$1,31 \text{ Ом} < 4,2 \text{ Ом}.$$

Условие выполняется.

5.3.5.3 Расчёт защиты линии W3

Выбираем ТТ типа ТФН-35 класса 0,5, коэффициент трансформации 1500/5. Схема соединения ТТ-неполная звезда.

$$I_{расч}=1,1 \cdot I_{с.р}=1,1 \cdot 1200=1320 \text{ A};$$

$$k_{10}=\frac{1320}{250}=5,28;$$

$$Z_{н доп}=4,2 \text{ Ом};$$

$$Z_{РТ-40}=\frac{S}{I_{2 ср}}=\frac{0,5}{42}=0,03 \text{ Ом};$$

$$Z_{пр}=0,6 \text{ Ом};$$

$$Z_{пер}=0,1 \text{ Ом};$$

$$Z_{расч}=2 \cdot Z_{пр}+Z_{РТ-40}+Z_{пер}=2 \cdot 0,6+0,03+0,1=1,33 \text{ Ом};$$

$$1,33 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом}.$$

Условие выполняется.

5.3.5.4 Согласование времени срабатывания защит

Защиты в конце линий W1 и W2 (Q2 и Q5 соответственно) отстраивать по времени не надо, так как они должны сработать мгновенно при КЗ на соответствующих линиях, что обеспечивает отсечка вместе с реле направления мощности.

Установки по времени выбираем следующим образом:

$$t_{с.з.Q1} > t_{с.з.Q3} > t_{с.з.Q5};$$

$$t_{с.з.Q6} > t_{с.з.Q4} > t_{с.з.Q2}.$$

Подставляя численные значения, получим:

$$3 > 2,5 > 0,5; t_{Q1}=t_{Q6}=3 \text{ с};$$

$$3 > 2,5 > 0,5; t_{Q3}=t_{Q4}=2,5 \text{ с}.$$

Образец оформления курсовой работы.

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ, ПРОМЫШЛЕННОСТИ И СВЯЗИ
СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение
«Ставропольский колледж связи
имени Героя Советского Союза В.А. Петрова»
Цикловая комиссия (предметная группа) _____

КУРСОВАЯ РАБОТА
по профессиональному модулю
ПМ.01 Наладка и испытание устройств релейной защиты, автоматики, средств измерения
и систем сигнализации

Тема: «Расчет релейной защиты элементов систем электроснабжения»

Выполнил _____
_____ курс, группа _____
Руководитель _____

Ставрополь, 20__ г.

Содержание

Введение

1. Расчет параметров схемы замещения
 - 1.1 Расчет удельных и полных сопротивлений линий
 - 1.2 Расчет сопротивлений трансформаторов
 - 1.3 Расчет параметров энергосистемы
2. Расчет токов короткого замыкания
3. Выбор и обоснование типа защит
 - 3.1 Защита цеховых трансформаторов
 - 3.2 Защита магистральной линии
 - 3.2.1 Селективная токовая отсечка
 - 3.2.2 Максимальная токовая защита
 - 3.2.3 Выбор времени срабатывания максимальной токовой защиты
 - 3.3 Токовая защита нулевой последовательности трансформатора 10,5/0,4 кВ
 - 3.4 Расчет установок защиты понижающих трансформаторов 35/10 кВ
 - 3.4.1 Дифференциальная защита от межлуфазных КЗ
 - 3.4.2 Максимальная токовая защита от внешних КЗ
 - 3.4.3 Газовая защита трансформатора
 - 3.4.4 Максимальная токовая защита трансформаторов от перегрузки
 - 3.4.5 Проверка ТТ по условию 10% погрешности
 - 3.5 Расчет двухступенчатой токовой направленной защиты линий W1, W2, W3
 - 3.5.1 Расчет защиты линии W1
 - 3.5.2 Расчет защиты линии W2
 - 3.5.3 Расчет защиты линии W3
 - 3.5.4 Согласование времени срабатывания защит
- Заключение
- Список литературы