

Введение

Выполнение расчетно-графической работы является самостоятельной творческой работой студента, отвечающего за принятые им в работе решения, правильность выполнения расчетов и литературное изложение пояснительной записки.

Исходные данные для выполнения расчетно-графической работы приводятся в задании (таблица 1).

Пояснительная записка включает 6-8 страниц рукописного текста на листах формата А4 (297×210). Текст записки иллюстрируется графиками, рисунками, схемами и свободными расчетными таблицами.

В пояснительную записку включается:

1. Титульный лист.
2. Оглавление.
3. Разделы пояснительной записки.
4. Список используемой литературы.

Разделы расчетно-графической работы должны содержать:

- выбор вида и схемы релейной защиты (РЗ);
- выбор трансформаторов тока;
- определение параметров релейной защиты (уставки, коэффициент чувствительности).

В записке должны быть представлены необходимые схемы, графики, таблицы выбранных элементов релейной защиты.

Рисунки и схемы должны быть выполнены в соответствии с действующими правилами проектирования и с соблюдением ЕСКД и ГОСТ.

Полностью оформленная и подписанная пояснительная записка представляется к защите. При защите расчетно-графической работы учитывается:

- качество и полнота расчетов;
- качество ответов на вопросы руководителя.

Расчетно-графическая работа оценивается в соответствии с рейтингом рабочей программы по дисциплине «Релейная защита и автоматизация систем электроснабжения»

Список аббревиатур

РЗ	– релейная защита
УРЗ	– устройство релейной защиты
ТО	– токовая отсечка
МТЗ	– максимальная токовая защита
НТЗ	– направленная токовая защита
ДТЗ	– дифференциальная токовая защита
РТ	– реле тока
РТМ	– реле тока максимальное
ГЗ	– газовая защита
ЭмО	– электромагнит отключения
РТВ	– реле тока с выдержкой времени
В	– выключатель
КЗ	– короткое замыкание
ЭД	– электродвигатель
УКИ	– устройство контроля изоляции
ТТ	– трансформатор тока
ТН	– трансформатор напряжения
ВН	– высокое напряжение
НН	– низкое напряжение
ИН	– изолированная нейтраль

Расчетно-графическая работа на тему:

«Расчет и выбор элементов релейной защиты цехового трансформатора»

Цель работы: Рассчитать релейную защиту, выбрать вид и схему защиты, выбрать токовые трансформаторы и токовые реле, а так же определить параметры защиты (уставки, чувствительность защиты).

Время - шесть часов.

Пояснение к работе:

1. Основные понятия

Ток срабатывания реле ($I_{ср}$) — наименьший ток, при котором реле срабатывает.

Напряжение срабатывания реле ($V_{ср}$) — наименьшее напряжение, при котором реле срабатывает.

Ток возврата реле ($I_{вр}$) — наибольший ток, при котором реле возвращается в исходное состояние.

Напряжение возврата реле ($V_{вр}$) — наибольшее напряжение, при котором реле возвращается в исходное положение.

Коэффициент возврата (K_v) — это отношение тока или напряжения возврата к току или напряжению срабатывания, соответственно:

$$K_v = \frac{I_{в.р}}{I_{ср}} = \frac{V_{в.р}}{V_{ср}}.$$

Ток срабатывания защиты ($I_{ср.з}$) — наименьший первичный ток, при котором срабатывает защита.

Токовая отсечка (ТО) — МТЗ с ограниченной зоной действия и токовым реле мгновенного действия (без реле времени).

Ток срабатывания ТО ($I_{с.з}$) — наименьший ток мгновенного срабатывания защиты в первичной цепи.

2. Выбор вида и схемы РЗ

Сеть ВН цехового трансформатора на напряжение 6...35 кВ имеет изолированную нейтраль. В схемах защиты с силовыми выключателями на ВН (рис. 1.) можно применить следующие виды РЗ:

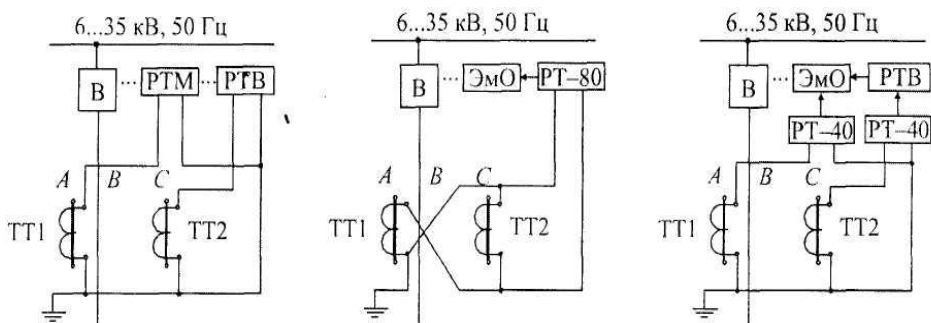


Рис. 1. Схемы защиты от междуфазных токов КЗ и перегрузок на ВН

- ТО (без выдержки времени) на реле типа РТ-40 косвенного действия при наличии электромагнита отключения (ЭМО), типа РТМ прямого действия при наличии пружинного привода;

- МТЗ на реле типа РТ-40 в сочетании с реле времени типа ЭВ-100 или ЭВ-200 для выключателей с ЭМО, типа РТВ для выключателя с пружинным приводом;

- сочетание ТО и МТЗ на реле типа ИТ-80, РТ-80, РТ-90 для выключателей с ЭМО, типа РТМ и РТВ для выключателей с пружинным приводом.

Токовая отсечка (ТО) обеспечит защиту в зоне КЗ, а максимальная токовая защита (МТЗ) — в зоне перегрузки. Наиболее распространенные схемы, сочетающие ТО и МТЗ, могут быть однорелейные и двухрелейные, на постоянном и переменном оперативном токе.

3. Выбор токовых трансформаторов

- Определяется номинальный ток нагрузки на ВН ($I_{н.т}$):

$$I_{н.т} = \frac{S_T}{\sqrt{3}V_H}$$

- Выбираются по $I_{1н}$ и $I_{2н}$ трансформаторы тока для установки (таблица 1) и определяется номинальный коэффициент трансформации:

$$K_T = \frac{I_{1н}}{I_{2н}}$$

Таблица 1. Трансформаторы тока

Тип	$I_{1н}$, А	Обозначение
1	2	3
ТЛМ – 6	300-40; 600-1500	Т – трансформатор тока
ТЛМ – 10	50-400; 600-1500	Л – с литой изоляцией
ТПЛ – 10	10-400	М – модернизированный или малогабаритный
ТПЛК – 10	10-1500	П – проходной или для установки на плоских шинах
ТЛ – 10	50-3000	К – катушечный
ТВЛМ – 10	20-1500	В – втулочный
ТПШЛ – 10	2000-5000	Ш – шинный
ТПОЛ – 20	400-1500	О – одновинтовой или опорный
ТПОЛ – 35	400-1500	

Примечание. Для всех трансформаторов $I_{2н}=5$ А.

- Выбирается тип реле тока для защиты (таблица 2) и определяется уставка срабатывания по току:

$$I_{\text{ср(мтз)}} = \frac{K_{\text{зап}} K_{\text{н}} K_{\text{сх}}}{K_{\text{в}} K_{\text{г}}} I_{\text{нб}},$$

где $I_{\text{ср(мтз)}}$ — ток срабатывания реле, расчетный ток, А;
 $I_{\text{нб}}$ — наибольший ток нагрузки защищаемого участка, А;
 $K_{\text{зап}}$ — коэффициент самозапуска ЭД;
 $K_{\text{н}}$ — коэффициент надежности отстройки, учитывающий погрешности реле и ТТ (таблица 3);
 $K_{\text{в}}$ — коэффициент возврата реле;

Таблица 2. Реле тока

Тип	$I_{\text{ср}}, \text{А}$	Тип	$I_{\text{ср}}, \text{А}$
РТМ – I	5; 7,5; 10; 15	РТ – 40/20	5...10
РТМ – II	10; 15; 20; 25	РТ – 40/50	12,5...25
РТМ – III	30; 40; 50; 60	РТ – 40/100	25...50
РТМ – IV	75; 100; 125; 150	РТ – 40/200	50...100
РТМ – 10 – 30	10; 20; 30	РТВ – I, РТВ – IV	5; 6; 7,5; 10
РТМ – 5 – 15	5; 10; 15	РТВ – II, РТВ – V	10; 12,5; 15; 17,5

Продолжение таблицы 2

РТМ – 20 – 60	20; 40; 60	РТВ – III, РТВ – VI	20; 25; 30; 35
РТМ – 40 – 120	40; 80; 120	РТВ – 5 – 10	5; 6; 7; 8; 10
РТ – 40/0,2	0,05...0,1	РТВ – II – 20	11;12;14;16; 18;20
РТ – 40/0,6	0,15...0,3	РТВ – 20 – 35	20; 22; 24; 27; 30
РТ – 40/2	0,5...1	РТВ – 80, РТВ – 90	2 – 5, 4 – 10
РТ – 40/6	1,5...3	ИТ – 81/1	4 – 10
РТ – 40/10	2,5...5	ИТ – 81/2	2 – 5

Примечание. Уставку для РТ – 40 при параллельном соединении катушек удвоить.

Таблица 3. Значения коэффициентов $K_{\text{в}}$ и $K_{\text{н}}$

Коэффициент		РТМ	РТ – 40	РТВ	ИТ – 80	РТ – 80
$K_{\text{в}}$		0,8...0,85	0,8...0,85	0,8...0,85	0,85	0,85
$K_{\text{н}}$	ТО	1,8...2	1,6...1,8	1,4...1,5	1,4...1,5	1,4...1,5
	П	1,1...1,25				

$K_{\text{сх}}$ — коэффициент схемы включения реле — это отношение тока реле ($I_{\text{р}}$) к току фазы ($I_{\text{ф}}$):

$$K_{\text{сх}} = \frac{I_{\text{р}}}{I_{\text{ф}}}.$$

В зависимости от вида защищаемого участка принимаются следующие значения наибольшего тока ($I_{\text{нб}}$):

$I_{\text{нб}}=I_{\text{н}}$ — линия без электродвигателя;

$I_{\text{нб}}=I_{\text{п}}$ — линия с электродвигателем;

$I_{\text{нб}}=I_{\text{к.макс}}$ — для расчета токовой отсечки;

где $I_{\text{н}}$, $I_{\text{п}}$ и $I_{\text{к.макс}}$ — ток номинальный в линии, пусковой ток ЭД и ток короткого замыкания (максимальный) в линии.

В зависимости от схемы соединения вторичных обмоток трансформаторов тока и вида короткого замыкания принимаются следующие значения коэффициентов схемы ($K_{\text{сх}}$):

$K_{\text{сх}}=1$ — при соединении обмоток по схеме «неполная звезда»,

$K_{\text{сх}}=1,73$ — во всех случаях при 3-фазном КЗ,

$K_{\text{сх}}=1$ — при КЗ двух фаз и одном токовом трансформаторе,

$K_{\text{сх}}=2$ — при КЗ двух фаз и включении на разность токов обмоток двух ТТ.

Другие коэффициенты на основании опыта эксплуатации принимаются:

$K_{\text{зап}}=1$ — при отсутствии в линии ЭД,

$K_{\text{зап}}=2,5...3,0$ — при наличии ЭД в линии,

$K_{\text{н}}=1,1...2,0$ — уточняется по таблице 3,

$K_{\text{в}}=0,8...0,85$.

По расчетному значению тока срабатывания ($I_{\text{ср.р}}$) выбирается его каталожное значение ($I_{\text{ср.к}}$) согласно условию:

$$I_{\text{ср.к}} \geq I_{\text{ср.р}}.$$

Если применяется блокировка минимального напряжения, то:

$$V_{\text{ср}} = \frac{V_{\text{р.мин}}}{K_{\text{н}} K_{\text{в}} K_{\text{в}}},$$

где $V_{\text{р.мин}}$ — минимальное рабочее напряжение нормального режима, В, принимают $V_{\text{р.мин}}=0,7V_{\text{н}}$.

$K_{\text{н}}=1,1$;

$K_{\text{в}} \leq 1,2$;

$K_{\text{в}}$ — коэффициент трансформации трансформатора напряжения,

4. Определение коэффициента чувствительности защиты

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.мин}}}{I_{\text{с.з}}} = \frac{I_{\text{к.мин}}}{I_{\text{ср}} K_{\text{т}}}$$

где $I_{\text{к.мин}}$ — минимальный ток КЗ в конце защищаемого участка, А;
 $I_{\text{с.з.}}$ — ток срабатывания защиты, А.

МТЗ надежно сработает, если:

$$K_{\text{ч}} \geq 1,2 \dots 1,5.$$

При наличии блокировки минимального напряжения аналогично:

$$K_{\text{V}} = \frac{V_1}{V_2}; \quad V_2 = 100 \text{ В.}$$

где $V_{\text{к.макс}}$ — максимальное остаточное напряжение в месте установки защиты, кВ, принимают $V_{\text{к.макс}} = 0,6V_{\text{н}}$.

Примечание. При токовой отсечке:

$$I_{\text{с.то}} = \frac{K_{\text{н}} K_{\text{сх}}}{K_{\text{т}}} I_{\text{к.макс}}.$$

Пример

Дано:

Линия цехового трансформатора имеет на высоком напряжении силовой выключатель с пружинным приводом. Тип трансформатора ТСЗ- 250/10/0,4 , $I_{\text{к}2}^{(3)} = 0,3 \text{ кА}$, $I_{\text{к}1}^{(3)} = 1,8 \text{ кА}$. Необходимо обеспечить защиту от междуфазных КЗ.

Требуется:

- составить схему РЗ;
- рассчитать и выбрать элементы РЗ от токов КЗ и перегрузки;
- проверить надежность РЗ.

Решение

1. Составляется схема РЗ (рис. 2) и наносятся исходные данные.

• Так как требуется РЗ от токов КЗ и перегрузки, то принимается токовая отсечка ТО (участок сразу после Q до точки $K1$) и МТЗ (далее до Т) на ВН.

• Так как выключатель силовой (Q) имеет пружинный привод, к установке принимаются реле прямого действия типа РТМ и РТВ.

• Для защиты от междуфазных КЗ принимается схема соединения ТТ и вторичной нагрузки (реле) — на разность токов двух фаз.

• Так как сеть с изолированной нейтралью на ВН, то замыкание одной фазы на землю (или повреждение изоляции) контролирует УКИ с включением сигнализации при нарушении.

- На НН сеть с глухозаземленной нейтралью, 4-проводная, поэтому все виды защит обеспечивает автомат SF .
- Так как трансформатор «сухой», то ГЗ не устанавливается.

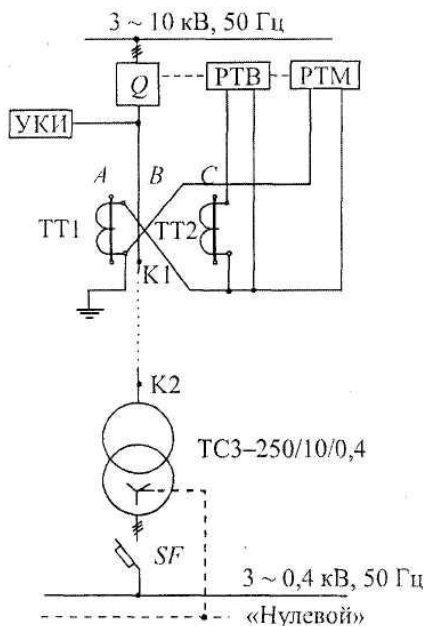


Рис. 2. Схема релейной защиты (РЗ)

2. Выбираются токовые трансформаторы.

- Определяется ток в линии:

$$I_1 = \frac{S_T}{\sqrt{3}V_1} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 10} = 14,5 \text{ А.}$$

• Так как в линии нет ЭД, то отстройка от пусковых токов не требуется.

Принимаются к установке в РЗ трансформаторы тока типа ТЛ-10 с $I_1 = 50 \text{ А}$ и $I_2 = 5 \text{ А}$ в количестве 2 штук по таблице 1.

Определяется коэффициент трансформации:

$$K_T = \frac{I_1}{I_2} = \frac{50}{5} = 10.$$

3. Выбирается реле типа РТМ

- Определяется ток срабатывания реле:

$$I_{\text{ср.р(то)}} = \frac{K_{\text{н}} K_{\text{сх}}}{K_{\text{т}}} I_{\text{к2.мин}} = \frac{1,8 \cdot 1,73}{10} \cdot 0,3 \cdot 10^3 = 93,4 \text{ А.}$$

По таблице 3- $K_{\text{н(то)}} = 1,8$. $I_{\text{к.макс}}^{(3)}$ будет при 3-фазном токе КЗ, тогда $K_{\text{сх}} = 1,73$.

- По таблице 2 выбирается РТМ-IV, $I_{\text{ср}} = 100 \text{ А}$;
- Определяется $K_{\text{ч(то)}}$ и надежность срабатывания ТО при наименьшем (2-фазном) токе КЗ в начале линии:

$$K_{\text{ч(то)}} = \frac{I_{\text{к1}}^{(2)}}{I_{\text{с.з}}} = \frac{0,87 \cdot 1800}{10 \cdot 100} = 1,57;$$

$$I_{\text{к.мин}} = I_{\text{к}}^{(2)} = 0,87 I_{\text{к}}^{(3)};$$

$$I_{\text{с.з}} = K_{\text{т}} I_{\text{ср}}.$$

Условие надежности $K_{\text{ч}} \geq 1,2$ выполнено, следовательно, ТО срабатывает надежно.

5. Выбирается реле МТЗ типа РТВ.

$$I_{\text{ср.р(мтз)}} \geq \frac{K_{\text{зап}} K_{\text{н}} K_{\text{сх}}}{K_{\text{в}} K_{\text{т}}} I_{\text{нб}} = \frac{1 \cdot 1,25 \cdot \sqrt{3}}{0,8 \cdot 10} \cdot 14,5 = 3,9 \text{ А.}$$

$$I_{\text{ср.р}} \geq \frac{I_{\text{нб}}}{K_{\text{т}}}; \quad K_{\text{зап}} = 1 \text{ (нет ЭД)}; \quad K_{\text{сх}} = 1,25;$$

$$I_{\text{нб}} = 14,5 \text{ А.}$$

- По таблице 2 выбирается РТВ-I, $I_{\text{ср}} = 5 \text{ А}$.
- Определяется $K_{\text{ч(мтз)}}$ и надежность срабатывания МТЗ на остаточном участке при $I_{\text{к2}}^{(2)}$ (в конце линии):

$$K_{\text{ч(мтз)}} = \frac{I_{\text{к.мин}}}{I_{\text{с.з}}} = \frac{0,87 \cdot 300}{5 \cdot 10} = 5,2.$$

Условие надежности выполнено ($K_{\text{ч(мтз)}} \geq 1,2$).

5. Составляется схема зон действия РЗ (рис. 3).

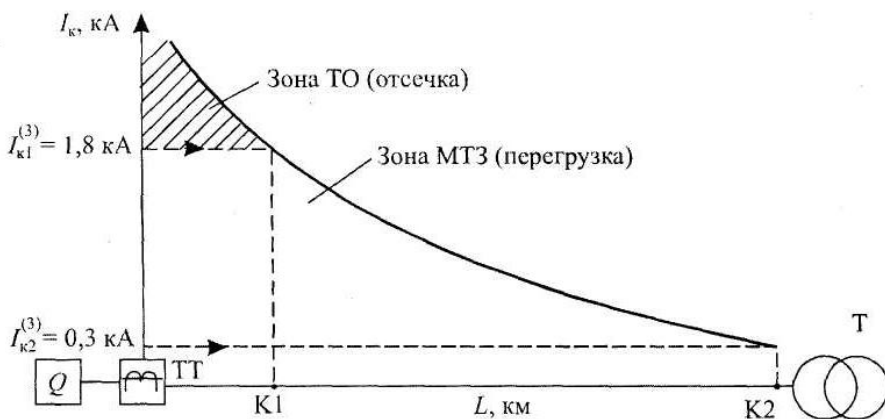


Рис. 3. Зоны действия релейной защиты

Ответ: РЗ состоит из: трансформаторов тока $2 \times \text{ТЛ} - 10$, $I_1 = 50 \text{ A}$, $I_2 = 5 \text{ A}$; реле типа РТМ – IV, $I_{cp} = 100 \text{ A}$; РТВ – I, $I_{cp} = 5 \text{ A}$.

Самостоятельная работа студента

Таблица 4. Индивидуальные задания для РГР

Вариант	Электроприемник	Выключатель	РЗ		$I_k^{(3)}$, кА	
			реле	схема	$I_{кн}$	$I_{кк}$
1	2	3	4	5	6	7
1	ТМ-100/35/0,4	П	2	НЗ	0,2	0,04
2	ТМ-2500/20/0,4	Э	1	НЗ	6	1,2
3	ТМ-2500/10/0,4	П	2	Разн.	12,5	2,4
4	ТМ-2500/6/0,4	Э	2	Разн.	12,5	2,4
5	ТМ-160/35/0,4	П	2	НЗ	0,3	0,06
6	ТСЗ-400/10/0,4	Э	1	Разн.	2	0,4
7	ТСЗ-400/6/0,4	П	2	Разн.	4	0,8
8	ТМ-250/35/0,4	Э	2	НЗ	0,4	0,08
9	ТМ-1000/20/0,4	П	2	НЗ	2,5	0,5
10	ТСЗ-250/15/0,4	Э	1	НЗ	0,8	0,16
11	ТСЗ-160/10/0,4	П	2	Разн.	0,8	0,16
12	ТСЗ-250/6/0,4	Э	2	Разн.	2,5	0,5
13	ТМ-1600/35/0,4	П	2	НЗ	3	0,6
14	ТМ-1600/20/0,4	Э	1	Разн.	4	0,8
15	ТСЗ-1600/10/0,4	П	2	Разн.	8	1,6
16	ТСЗ-1600/6/0,4	Э	2	НЗ	16	1,6
17	ТМН-1000/35/0,4	П	2	НЗ	2	0,4
18	ТСЗ-1000/15/0,4	Э	1	НЗ	3	0,6
19	ТСЗ-1000/10/0,4	П	2	Разн.	5	1
20	ТСЗ-1000/6/0,4	Э	2	Разн.	10	1
21	ТМ-630/35/0,4	П	2	НЗ	1	0,2
22	ТСЗ-630/15/0,4	Э	1	Разн.	2,1	0,42
23	ТСЗ-630/10/0,4	П	2	Разн.	3,2	0,64
24	ТСЗ-630/6/0,4	Э	2	НЗ	6,3	1,2
25	ТМ-400/35/0,4	П	2	НЗ	0,7	0,14
26	ТСЗ-400/15/0,4	Э	1	НЗ	1,3	0,26
27	ТСЗ-250/10/0,4	П	2	Разн.	1,8	0,3

Примечание.

П — пружинный привод;

Э — электромагнитный привод;

$I_{кн}$ — ток КЗ в начале действия МТЗ;

$I_{кк}$ — ток КЗ в конце линии ЭСН;

НЗ — схема «неполная звезда»;

Разн. — схема включения на разность токов двух фаз.

В каждом варианте РГР требуется:

- составить схему РЗ и изобразить ее;
- рассчитать и выбрать по каталогу элементы РЗ (ТТ, РТ);
- выбрать параметры РЗ (уставки реле, чувствительность защиты).

Список используемой литературы

Основная литература:

1. Э.И. Басс., В.Г. Дорогунцев, «Релейная защита электроэнергетических систем» 2002г.
2. Е.А. Конюхова «Электроснабжение объектов» Москва 2002г.
3. «Правила устройства электроустановок» - Изд-во: Кнорус, 488 с Москва, 2015 г.

Дополнительная литература:

1. Федосеев А.М. «Релейная защита энергетических систем. Релейная защита сетей». М.: Энергоатомиздат, 1984.