

Релейная защита и автоматизация ЭЭС

*Методические указания по выполнению курсовой работы
для студентов бакалавриата направления подготовки 13.03.02*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2019**

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Санкт-Петербургский горный университет

Кафедра электроэнергетики и электромеханики

РЗ и А ЭЭС

*Методические указания по выполнению курсовой работы
для студентов бакалавриата
направления подготовки 13.03.02*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2019

УДК 621.316 (073)

Автоматика энергосистем: Методические указания по выполнению курсовой работы / Санкт-Петербургский горный университет. СПб, 2019. 50 с.

В методических указаниях по выполнению курсовой работы приведены варианты задания и исходные данные, необходимые для выполнения курсовой работы, а также приведены краткие теоретические сведения по разделам, рассматриваемым в работе.

Методические указания по выполнению курсовой работы предназначены для студентов бакалавриата направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» по профилю «Электроснабжение».

Табл. 7. Ил. 8. Библиогр.: 12 назв.

Научный редактор эксперт ГЦЭ., к.т.н. *М.И.Божков*

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания по выполнению курсовой работы по дисциплине «РЗ и А ЭЭС» предназначены для оказания помощи студентам в процессе выполнения курсовой работы.

Методические указания содержат общие указания, варианты задания и методические материалы для выполнения курсовой работы по проектированию и расчету системы автоматики и релейной защиты системы электроснабжения промышленного предприятия или организации.

Необходимыми для выполнения курсовой работы являются разделы: расчет токов короткого замыкания; токовых защит; дифференциальных защит трансформаторов; расчет дистанционных защит; дифференциальной защиты шин, расчет защит от однофазных замыканий; защит от токов нулевой последовательности; определение параметров работы устройств системной и местной автоматики, выбор необходимого оборудования и составление задания на наладку.

Задачи, рассмотренные в настоящих указаниях, базируются на материалах, излагаемых в учебных дисциплинах «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем», «Электроэнергетические системы и сети», «Электроснабжение» изучаемых в период обучения в бакалавриате направление «Электроэнергетика и электротехника, профиль «Электроснабжение».

ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

В процессе изучения курса «Автоматика энергосистем» студенты должны выполнить курсовую работу. В состав курсовой работы входят расчетно-пояснительная записка и графическая часть в виде рисунков, схем электрических соединений и схем замещения. В начале пояснительной записки должны быть приведены задание и исходные данные, которые принимаются **по двум последним цифрам шифра студента**.

При выполнении расчетов сначала приводятся расчетные формулы, затем в них подставляются числовые значения величин и дается конечный результат вычисления. Все расчеты производятся в системе относительных единиц. Если размерности величин отличаются от принятых, то это указывается. Пояснительный текст, который необходим при расчетах, должен быть кратким. Пояснительная записка должна заканчиваться выводами и рекомендациями по существу полученных результатов, которые сводятся в итоговую таблицу.

Выполненная работа сдается на проверку и после допуска к защите защищается на кафедре автором, который должен объяснить ход решения и принципы расчета.

ЗАДАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Цель курсового проекта – произвести расчет релейной защиты электрической подстанции 35/6.3 кВ. В данной работе рассматривается релейная защита и автоматика следующих элементов: защита двухобмоточных трансформаторов 6.3/0.4 кВ, защита отходящих линий, защита асинхронного двигателя 6/0.4 кВ, защита конденсаторной установки. Также рассматриваются защиты секционного и вводных выключателей и дифференциальная защита с торможением двухобмоточных трансформаторов 35/6.3 кВ. Защита реализуется с помощью цифровых устройств релейной защиты. В данном проекте были рассмотрены следующие виды защит: все

ступени максимально токовой защиты с пуском по напряжению и без, защита с помощью плавких предохранителей, защита минимального напряжения и защита от повышения напряжения, дифференциальная защита с торможением. Также в работе рассматриваются способы согласования смежных защит для обеспечения селективности релейной защиты.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТОВ

Принципиальная схема представлена на рис.1

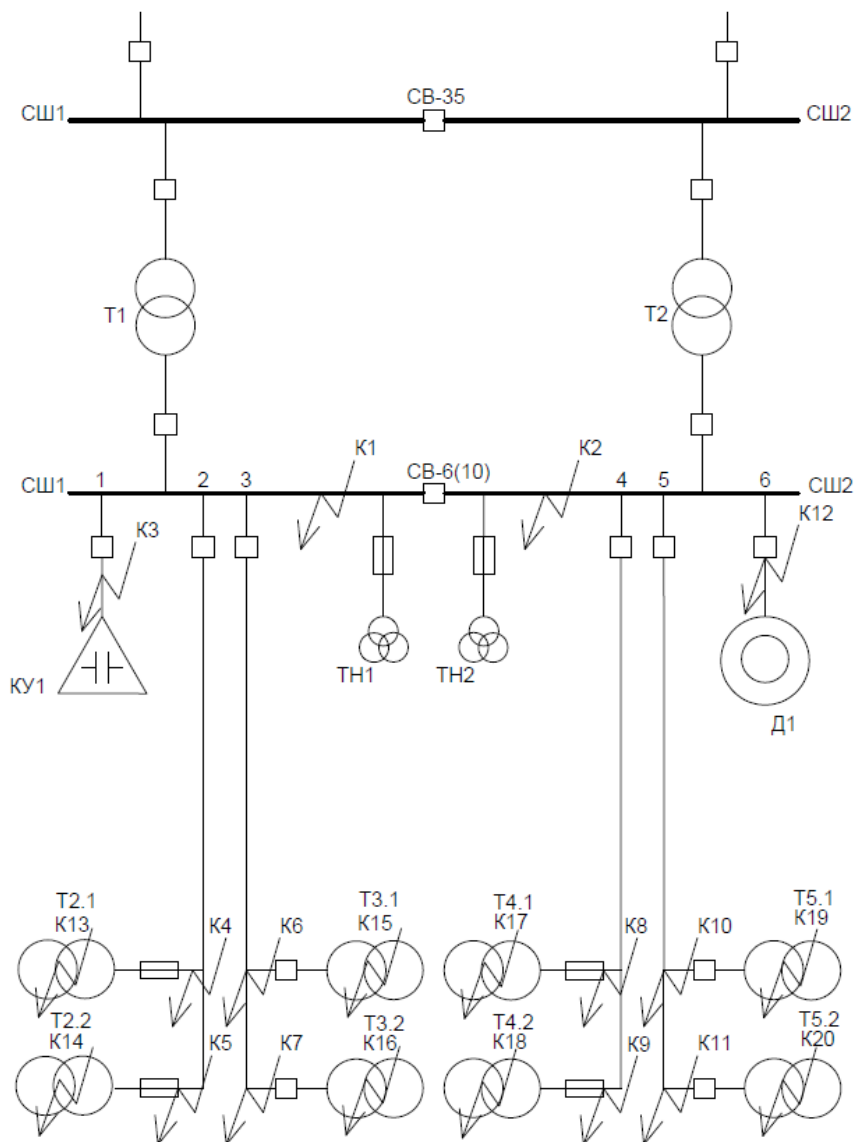


Рис.1. Схема электрических соединений

Варианты

Таблица 1.1

Обозначение	Ед. изм.	1	2	3	4
$I_{к.мах}^{(3)}$	А	3500	3480	2480	3500
$I_{к.мин}^{(3)}$	А	3380	2000	2250	3250
U_{HH}	кВ	6	10	6	10
T1	кВА	6300	6300	4000	10000
T2	кВА	6300	4000	4000	10000
T2.1	кВА	400	630	250	400
T2.2	кВА	630	400	400	630
T3.1	кВА	1000	1600	1600	1600
T3.2	кВА	1600	1600	1000	2500
T4.1	кВА	400	160	630	250
T4.2	кВА	250	400	160	630
T5.1	кВА	1600	1000	630	2500
T5.2	кВА	1600	630	1600	1600
КУ1	квар	450	450	450	900
Д1	кВТ	630	315	315	800
КЛ1 3×25	км	0,03	0,05	0,03	0,05
ВЛ2 АС-70	км	2+1	1+2	1+2	1+1
ВЛ3 АС-120	км	2+2	2+1	2+1	2+1
КЛ4 3×50	км	0,6+0,3	0,5+0,1	0,4+0,2	0,3+0,1
КЛ5 3×150	км	0,8+0,2	0,7+0,1	0,9+0,1	0,9+0,2
КЛ6 3×95	км	0,1	0,15	0,2	0,2

Таблица 1.1

Обозначение	Ед. изм.	5	6	7	8
$I_{к.мах}^{(3)}$	А	3480	3380	3000	2840
$I_{к.мин}^{(3)}$	А	3250	3000	2840	2685
U_{HH}	кВ	6	10	6	10
T1	кВА	6300	10000	4000	2500
T2	кВА	10000	6300	2500	4000
T2.1	кВА	630	400	160	250
T2.2	кВА	400	630	400	160
T3.1	кВА	1000	2500	1000	630
T3.2	кВА	1600	1600	1600	630
T4.1	кВА	630	250	100	250
T4.2	кВА	630	400	160	100

T5.1	кВА	2500	1600	630	1600
T5.2	кВА	2500	1600	1000	1000
КУ1	квар	450	900	450	225
Д1	кВТ	800	630	315	315
КЛ1 3×25	км	0,03	0,05	0,03	0,05
ВЛ2 АС-70	км	2+1	2+1	2+2	2+1
ВЛ3 АС-120	км	2+2	1+2	2+1	2+1
КЛ4 3×50	км	0,2+0,3	0,3+0,1	0,4+0,2	0,2+0,3
КЛ5 3×150	км	0,7+0,1	0,4+0,7	0,7+0,1	0,3+0,6
КЛ6 3×95	км	0,35	0,1	0,15	0,2

Таблица 1.1

Обозначение	Ед. изм.	9	10	11	12
$I^{(3)}_{к.мах}$	А	3750	3480	3480	3500
$I^{(3)}_{к.мин}$	А	3500	3000	3250	3250
U_{HH}	кВ	6	10	6	10
T1	кВА	10000	16000	10000	16000
T2	кВА	10000	10000	16000	16000
T2.1	кВА	400	630	250	400
T2.2	кВА	1000	400	400	630
T3.1	кВА	1000	1600	1600	1600
T3.2	кВА	1600	1600	1000	2500
T4.1	кВА	630	160	630	250
T4.2	кВА	1000	400	160	630
T5.1	кВА	2500	1000	630	2500
T5.2	кВА	1600	630	1600	1600
КУ1	квар	900	450	450	900
Д1	кВТ	800	315	315	800
КЛ1 3×25	км	0,02	0,05	0,03	0,05
ВЛ2 АС-70	км	2+1	2+2	1+2	1+1
ВЛ3 АС-120	км	1+3	2+1	3+1	3+1
КЛ4 3×50	км	0,6+0,3	0,5+0,1	0,4+0,2	0,3+0,1
КЛ5 3×150	км	0,8+0,2	0,7+0,1	0,9+0,1	0,9+0,2
КЛ6 3×95	км	0,3	0,35	0,2	0,5

Таблица 1.1

Обозначение	Ед. изм.	13	14	15	16
$I^{(3)}_{к.мах}$	А	3480	3380	3000	2840
$I^{(3)}_{к.мин}$	А	3250	3000	2840	2685
U_{HH}	кВ	6	10	6	10

T1	кВА	6300	6300	4000	10000
T2	кВА	6300	4000	4000	10000
T2.1	кВА	630	400	160	250
T2.2	кВА	400	630	400	160
T3.1	кВА	1000	2500	1000	630
T3.2	кВА	1600	1600	1600	630
T4.1	кВА	630	250	100	250
T4.2	кВА	630	400	160	100
T5.1	кВА	2500	1600	630	1600
T5.2	кВА	2500	1600	1000	2500
КУ1	квар	450	900	450	225
Д1	кВт	800	630	315	315
КЛ1 3×25	км	0,03	0,05	0,03	0,05
ВЛ2 АС-70	км	2+1	2+1	2+2	2+1
ВЛ3 АС-120	км	2+2	1+2	3+1	2+1
КЛ4 3×50	км	0,2+0,3	0,3+0,1	0,4+0,2	0,2+0,3
КЛ5 3×150	км	0,7+0,1	0,4+0,7	0,7+0,1	0,8+0,6
КЛ6 3×95	км	0,15	0,15	0,25	0,2

Таблица 1.1

Обозначение	Ед. изм.	17	18	19	20
$I_{к.маx}^{(3)}$	А	3750	3480	3480	3500
$I_{к.мин}^{(3)}$	А	3500	3000	3250	3250
U_{HH}	кВ	6	10	6	10
T1	кВА	6300	10000	4000	2500
T2	кВА	10000	6300	2500	4000
T2.1	кВА	400	630	250	400
T2.2	кВА	1000	400	400	630
T3.1	кВА	1000	1600	1600	1600
T3.2	кВА	1600	1600	1000	2500
T4.1	кВА	630	160	630	250
T4.2	кВА	1000	400	160	630
T5.1	кВА	2500	1000	630	2500
T5.2	кВА	1600	630	1600	1600
КУ1	квар	900	450	450	900
Д1	кВт	800	315	315	800
КЛ1 3×25	км	0,02	0,05	0,03	0,05
ВЛ2 АС-70	км	2+1	2+2	1+2	1+1
ВЛ3 АС-120	км	1+3	2+1	3+1	3+1

КЛ4 3×50	км	0,6+0,3	0,5+0,1	0,4+0,2	0,3+0,1
КЛ5 3×150	км	0,8+0,2	0,7+0,1	0,9+0,1	0,9+0,2
КЛ6 3×95	км	0,3	0,15	0,2	0,5

Таблица 1.1

Обозначение	Ед. изм.	21	22	23	24
$I^{(3)}_{к.мах}$	А	3480	3380	3000	2840
$I^{(3)}_{к.мин}$	А	3250	3000	2840	2685
U_{HH}	кВ	6	10	6	10
T1	кВА	10000	16000	10000	16000
T2	кВА	10000	10000	16000	16000
T2.1	кВА	630	400	160	250
T2.2	кВА	400	630	400	160
T3.1	кВА	1000	2500	1000	630
T3.2	кВА	1600	1600	1600	630
T4.1	кВА	630	250	100	250
T4.2	кВА	630	400	160	100
T5.1	кВА	2500	1600	630	1600
T5.2	кВА	2500	1600	1000	1000
КУ1	квар	450	900	450	225
Д1	кВТ	800	630	315	315
КЛ1 3×25	км	0,03	0,05	0,03	0,05
ВЛ2 АС-70	км	2+1	2+1	2+2	2+1
ВЛ3 АС-120	км	2+2	1+2	3+1	2+1
КЛ4 3×50	км	0,2+0,3	0,3+0,1	0,4+0,2	0,2+0,3
КЛ5 3×150	км	0,7+0,1	0,5+0,7	0,7+0,1	0,8+0,6
КЛ6 3×95	км	0,15	0,4	0,15	0,2

Таблица 1.2 – параметры трансформаторов

Мощность Тр, кВА	U_k , %
16000	8,5
10000	7,5
6300	7,5
4000	6,5
2500	5,5
1600	6
1000	5,5
630	5,5

400	4,5
250	4,5
160	4,5

Таблица 1.3 – параметры асинхронного двигателя

P [кВт]	cos φ	η, %	K _п (I _п /I _{ном})
800	0.89	96	7
630	0.89	96	6.5
315	0.9	94	7

Содержание проекта

1. Расчет токов короткого замыкания.
2. Расчет релейной защиты.
3. Защита силовых трансформаторов 6.3/0.4 кВ.
4. Защита отходящих линий.
5. Защита от замыканий на землю отходящих линий №1-3.
6. Защита от замыканий на землю отходящих линий №4-6.
7. Защита асинхронного двигателя 6 кВ.
8. Защита конденсаторной установки.
9. Защита секционного выключателя.
10. Защита вводного выключателя 1.
11. Защита вводного выключателя 2.
12. Защита силового трансформатора №1 35/6.3 кВ.
13. Защита силового трансформатора №2 35/6.3 кВ.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КР

Расчет токов короткого замыкания

Расчет производится в относительных единицах. Если за базисные значения принять $S_{б1}=S_{кз\max}$, то $S_{кз}$ (max;min) в относительных базисных единицах составят:

$$S_{кз\max} = \sqrt{3} \cdot I_{кз\max}^{(3)} \cdot U_{35}; \quad (1.1)$$

$$S_{кз\min} = \sqrt{3} \cdot I_{кз\min}^{(3)} \cdot U_{35}. \quad (1.2)$$

Базисный ток сети:

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma 1}}{\sqrt{3} \cdot U_{\sigma}}. \quad (1.3)$$

Сопротивления схемы в относительных базисных единицах составят:

– для системы (max; min):

$$X_{c \max} = \frac{S_{\sigma 1}}{S_{K3 \min}}; \quad (1.3)$$

$$X_{c \min} = \frac{S_{\sigma 1}}{S_{K3 \max}}. \quad (1.4)$$

– для трансформаторов с РПН(max; min):

$$X_{T(\mathcal{N}2) \max} = \frac{U_{K \max} \%}{100} \frac{S_{\sigma 1}}{S_{Tном}}, \quad (1.5)$$

где $U_{K \max} = U_K \cdot (1 + n\Delta U)^2$, n – кол-во ступень в трансформаторе; ΔU – ширина ступени.

$$X_{T(\mathcal{N}2) \min} = \frac{U_{K \min} \%}{100} \frac{S_{\sigma 1}}{S_{Tном}}, \quad (1.6)$$

где $U_{K \min} = U_K \cdot (1 - n\Delta U)^2$, n – кол-во ступень в трансформаторе; ΔU – ширина ступени.

$$R_{T(\mathcal{N}2)} = \frac{\Delta P_K \cdot (1 - n\Delta U)^2 \cdot S_{\sigma 1}}{S_{Tном}^2}, \quad (1.7)$$

где ΔP_k – потери короткого замыкания (кВт) и берутся из технических данных трансформатора.

– для линии:

$$X_{Л(\mathcal{N}2)} = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\sigma 1}}{U_{\sigma}^2}; \quad (1.8)$$

$$R_{Л(№)} = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\bar{6}1}}{U_{\bar{6}}^2}. \quad (1.9)$$

–для двигателя:

$$X_{Д} = \frac{I_{НОМ}}{I_{ПУСК}} \frac{S_{\bar{6}}}{S_{НОМ}} = \frac{I_{НОМ} S_{\bar{6}1} \cdot \eta \cdot \cos \varphi}{I_{ПУСК} \cdot 100 P_{НОМ}}. \quad (1.10)$$

–для трансформатора без РПН:

$$X_{Т(№)} = \frac{U_k \cdot S_{\bar{6}1}}{100 \cdot S_{ТНОМ}}. \quad (1.11)$$

ЭДС электродвигателя принимаем равным 0.9.

Режим максимума токов короткого замыкания

Рассчитывается ток трехфазного короткого замыкания, постоянная времени и ударный ток в каждой точке с характеристиками схемы до точки КЗ:

–ток трехфазного короткого замыкания:

$$I^{(3)}_{КЗ№} = \frac{E_c \cdot I_{\bar{6}}}{Z_{\text{экв}}}, \quad (2.1)$$

где $Z_{\text{экв}} = \sqrt{X_{\Sigma}^2 + R_{\Sigma}^2}$.

–постоянная времени:

$$T_{№} = \frac{X_{\text{экв}}}{314 \cdot R_{\text{экв}}}. \quad (2.2)$$

–ударный ток:

$$I^{(3)}_{КЗ№} \cdot \sqrt{2} \cdot \left[1 + e^{\left(\frac{-0.01}{T_{№}}\right)} \right]. \quad (2.3)$$

Пример расчетов для точек короткого замыкания № 1 и двигателем:

–для точки 1:

$$I^{(3)}_{K31} = \frac{E_c \cdot I_{\bar{\sigma}}}{\sqrt{(X_{c \min} + X_{T1 \min})^2 + R_{T1 \min}^2}}; \quad (2.4)$$

$$T_{a1} = \frac{X_{c \min} + X_{T1 \min}}{314 \cdot R_{T1 \min}}; \quad (2.5)$$

–ударный ток для точки 1:

$$I^{(3)}_{K31} \cdot \sqrt{2} \cdot \left[1 + e^{\left(\frac{-0.01}{T_{a1}}\right)} \right]. \quad (2.6)$$

–для точки КЗ с двигателем:

$$I^{(3)}_{K3cD} = \frac{E_c \cdot I_{\bar{\sigma}}}{\sqrt{(X_{c \min} + X_{T2 \min} + X_6)^2 + (R_{T2} + R_6)^2}} + \frac{E_D \cdot I_{\bar{\sigma}}}{X_D}; \quad (2.7)$$

$$T_{aK3cD} = \frac{(X_{c \min} + X_{T2 \min} + X_6) \cdot X_D}{314 \cdot (R_6 + R_{T2})}. \quad (2.8)$$

–ударный ток для точки КЗ с двигателем:

$$I^{(3)}_{K3cD} \cdot \sqrt{2} \cdot \left[1 + e^{\left(\frac{-0.01}{T_{aK3cD}}\right)} \right]. \quad (2.9)$$

Режим минимума токов короткого замыкания

Режим минимума токов рассчитывается идентично режиму максимума, только вместо сопротивлений с индексом «min» подставляются сопротивления с индексом «max». Проводить расчет постоянной времени и ударного тока для режима минимума не надо.

Результаты расчётов целесообразно проводить по форме, указанной в табл.2.

Таблица 2

Точка КЗ	$I^{(3)}_{кз\max}$, кА	$I_{уд}$, кА	$I^{(3)}_{кз\min}$, кА
1			
2			
...			

Расчет релейной защиты

Для дальнейших расчетов следует принимать параметры цифрового реле и трансформатора тока, представленные в таблице 3 и 4.

Таблица 3 – параметры цифрового реле Serat

Степень селек. реле	Δt	0,3с
Коэф. самозапуска	$k_{сзп}$	2-5
Коэф. возврата	$k_{в}$	0,95
Коэф. надежности	$k_{н}$	1,1
Коэф. броска	$k_{бр}$	1

Таблица 4 – параметры вторичной обмотки ТТ

Сопротивление каб.	$Z_{пр}$	0,14 Ом
Сопротивление реле	$Z_{р}$	0,01 Ом
Переходное сопротивление	$R_{пер}$	0,05
Схема соед. втор.обмоток		полная звезда

Защита силовых трансформаторов 6.3/0.4 кВ

Для трансформаторов, защитой которых является плавкий предохранитель, рассчитывается максимальный рабочий ток:

$$I_{раб\ макс} = 0,9 \frac{S_{Тном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \quad (3.1)$$

После чего подбирается плавкий предохранитель по току с условием $I_{нкт} > 2 \cdot I_{раб\ макс}$.

Для трансформаторов, защитой которых являются силовые выключатели, рассчитываются следующие параметры:

–максимальная токовая защита:

$$I_{сз} = \frac{K_n \cdot K_{сзн} \cdot I_{раб\ макс}}{K_{\sigma}}; \quad (3.2)$$

$$t = t_{св} + \Delta t; \quad (3.3)$$

где $t_{св}$ – время срабатывания выключателя (принимается 0,1 сек)

$$K_{чз\ мтз} = \frac{I_{K3\ min}^{(3)} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}}{I_{сз}}, \quad (3.4)$$

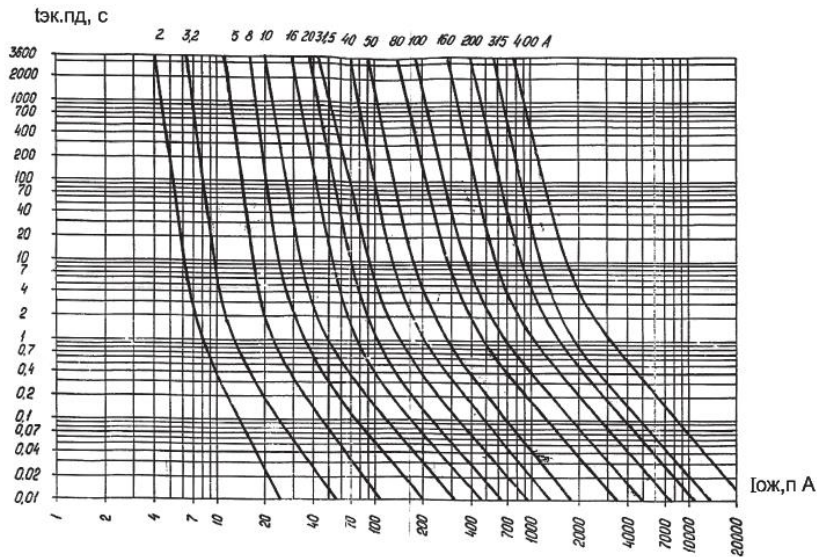
где $I_{K3\ min}^{(3)}$ – ток трехфазного короткого замыкания в точке КЗ у трансформатора, рассчитанный в предыдущем пункте.

–токовая отсечка:

$$I_{то} = K_n \cdot I_{K3\ max(A)}, \quad (3.5)$$

где $I_{K3\ max(A)}$ – ток короткого замыкания за трансформатором.

Принять время срабатывания токовой отсечки по времятоковой характеристике плавкого предохранителя рис.2 (при больших токах принять равной 0,04 сек).



tэк.п.д – эквивалентное преддуговое время, с;
Iож,п – времятоковая характеристика плавления, А

Рис.2. Времятоковая хар-ка предохранителей.

$$K_{чз\ to} = \frac{I_{кз\ min}^{(3)} \frac{\sqrt{3}}{2}}{I_{to}}, \quad (3.6)$$

где $I_{кз\ min}^{(3)}$ – ток трехфазного короткого замыкания в точке КЗ линии, ведущей к трансформатору, рассчитанный в предыдущем пункте.

Если $K_{чз\ to} \leq 1,2$, то токовую отсечку не устанавливают.

–защита от перегрузки:

$$I_{пер} = 1,2 \cdot I_{раб\ макс}. \quad (3.7)$$

Проверку трансформатора тока рекомендуется оформить по форме, указанной в табл.5.

Таблица 5

Условия выбора	Модель ТТ	
	Справочный параметр	Расчетный параметр
$U_{ном} \geq U_{ном\ уст}$		
$I_{ном} \geq I_{max}$		
$i_{дин} \geq i_y$		
$I_{терм}^2 t_{терм} \geq B_{терм}$		
$K_{10пред} \geq K_{10расч}$		

Рассчитывается термическая стойкость ТТ:

$$\beta_{терм} = I_{КЗ\ max}^2 \cdot [t + (t_{св} + \Delta t)] ; \quad (3.8)$$

где $I_{КЗ\ max}$ – ток короткого замыкания линии, на которой ставится ТТ.

$$z_{тт} = z_{np} + z_n + R_{пер} ; \quad (3.9)$$

$$K_{10пред} = \frac{1}{z_{тт}} ; \quad (3.10)$$

$$K_{10расч} = \frac{1,1 \cdot I_{сз}}{I_{ном}} . \quad (3.11)$$

Защита отходящих линий

Для линий рассчитываются следующие параметры:

– максимальная токовая защита:

$$I_{раб\ макс} = I_{раб\ макс\ 1\ часть} + I_{раб\ макс\ 2\ часть} ; \quad (4.1)$$

$$I_{сз} = \frac{K_n \cdot K_{сзн} \cdot I_{раб\ макс}}{K_{\theta}} ; \quad (4.2)$$

$$t = t_{уст} + t_{св} + \Delta t , \quad (4.3)$$

где $t_{уст}$ – время срабатывания предыдущей защиты на линии.

$$K_{ч\text{ мтз осн}} = \frac{I_{КЗ\text{ мин}} \frac{\sqrt{3}}{2}}{I_{сз}}, \quad (4.4)$$

где $I_{КЗ\text{ мин}}$ – минимальный ток короткого замыкания с **наибольшим** значением предыдущего уровня.

$$K_{ч\text{ мтз рез}} = \frac{I_{КЗ\text{ мин}} \frac{\sqrt{3}}{2}}{I_{сз}}, \quad (4.5)$$

где $I_{КЗ\text{ мин}}$ – минимальный ток короткого замыкания с **наименьшим** значением предыдущего уровня.

–токовая отсечка:

$$I_{то} = k_n \cdot I_{КЗ\text{ max}(A)}, \quad (4.6)$$

где $I_{КЗ\text{ max}(A)}$ – ток короткого замыкания на линии.

Рекомендуется принять время токовой отсечки равной 0,04 сек.

$$K_{ч\text{ то}} = \frac{I_{КЗ\text{ max}(B)} \frac{\sqrt{3}}{2}}{I_{то}}, \quad (4.7)$$

где $I_{КЗ\text{ max}(B)}$ – максимальный ток короткого замыкания на шинах после силового трансформатора 35/10(6).

Если $K_{ч\text{ то}} \leq 1,2$, то токовую отсечку не устанавливают.

Необходимо провести проверку трансформатора тока по примеру таблицы 5 и формул 3.8-3.11, а также построить карту селективности защит $t=f(I)$.

Если защита следующего уровня с независимой характеристикой, то согласование защит следует проводить по $I_{сз}$ независимой характеристики.

Если защита следующего уровня с зависимой характеристикой (плавкие предохранители или МУРЗ), то согласование защит следует проводить по $I_{КЗ}$ в конце основной защиты.

Защита от замыканий на землю отходящих линий

Для защиты от замыканий на землю отходящих линий считаются емкостные токи замыкания на землю:

–для кабельных линий:

$$I_c = \frac{U \cdot l}{10} \quad (5.1)$$

–для воздушных линий:

$$I_c = \frac{U \cdot l}{350}. \quad (5.2)$$

Если в линии присутствует двигатель, то:

$$I_c = \frac{U \cdot l}{10} + 0,017 \cdot \frac{P_{ном}}{\cos(\varphi) \cdot \eta}; \quad (5.3)$$

$$I_{c\Sigma} = I_{c1} + I_{c2} + I_{c3}. \quad (5.4)$$

Защита от замыканий на землю для каждой линии:

$$I_{сз} = \kappa_{бр} \cdot \kappa_n \cdot I_c; \quad (5.5)$$

$$K_{ч} = \frac{I_{c\Sigma} \frac{\sqrt{3}}{2}}{I_{сз}}. \quad (5.6)$$

Расчеты проводятся для каждой линии и секции.

Защита асинхронного двигателя 6 кВ

Для защиты двигателя рассчитываются следующие параметры:

–токовая отсечка:

$$I_{над} = \frac{P}{\cos \varphi \cdot \eta \cdot U_{ном} \cdot \sqrt{3}}; \quad (6.1)$$

$$I_n = k_n \cdot I_{над}; \quad (6.2)$$

$$I_{то} = 2,5 \cdot I_n. \quad (6.3)$$

Рекомендуется принять время токовой отсечки равной 0,04 сек.

$$K_{что} = \frac{I_{кз\ мин} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}}{I_{то}}; \quad (6.4)$$

–защита от перегрузки:

$$I_{сз} = \frac{k_n}{k_\epsilon} \cdot I_n. \quad (6.5)$$

Максимальное время перегрузки рекомендуется брать не менее 10 секунд.

–защита минимального напряжения (2 ступени):

$$U_{сзад1} = 0,6 \cdot U_{ном}; \quad (6.6)$$

$$U_{сзад2} = 0,4 \cdot U_{ном}; \quad (6.7)$$

Необходимо выбрать ТТ и провести его проверку по примеру таблицы 5 и формул 3.8-3.11.

Защита конденсаторной установки

Для защиты конденсаторной установки рассчитываются следующие параметры:

$$I_{н\ ку} = \frac{Q}{U_{ном} \cdot \sqrt{3}}. \quad (7.1)$$

–максимальная токовая защита:

$$I_{сз} = k_{отс} \cdot I_{н\ ку}, \quad (7.2)$$

где $k_{отс} = 1,2-1,25$.

Время срабатывания защиты рекомендуется принять равным 0,1 сек.

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз мин}} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}}{I_{\text{сз}}} . \quad (7.3)$$

–защита от перегрузок:

$$I_{\text{сз п}} = \frac{k_{\text{н}}}{k_{\text{в}}} \cdot I_{\text{н ку}} . \quad (7.4)$$

–защита от повышения напряжения:

$$U_{\text{сз}} = 1,1 \cdot U_{\text{ном}} . \quad (7.5)$$

Необходимо выбрать ТТ и провести его проверку по примеру таблицы 5 и формул 3.8-3.11.

Защита секционного выключателя

–максимальная токовая защита с пуском по напряжению:

$$\left. \begin{aligned} I_{\text{раб макс СВ}} &= I_{\text{раб макс 4}} + I_{\text{раб макс 5}} + I_{\text{над}} \\ I_{\text{раб макс СВ}} &= I_{\text{раб макс 2}} + I_{\text{раб макс 3}} \end{aligned} \right\} \text{выбираем max; (8.1)}$$

$$I_{\text{сз СВ}} = \frac{k_{\text{отс}} \cdot k_{\text{сзн}} \cdot I_{\text{раб макс СВ}}}{k_{\text{в}}} ; \quad (8.2)$$

$$t_{\text{СВ}} = t_{\text{уст}} + t_{\text{св}} + \Delta t , \quad (8.3)$$

где $t_{\text{уст}}$ – время срабатывания предыдущей защиты.

$$K_{\text{ч мгз осн}} = \frac{I_{\text{кз мин}} \frac{\sqrt{3}}{2}}{I_{\text{сз СВ}}} \quad (8.4)$$

где $I_{\text{кз мин}}$ – минимальный ток короткого замыкания с **наибольшим** значением смежного уровня.

$$K_{\text{ч мгз рез}} = \frac{I_{\text{кз мин}} \frac{\sqrt{3}}{2}}{I_{\text{сз СВ}}} \quad (8.5)$$

где $I_{\text{КЗ мин}}$ – минимальный ток короткого замыкания с **наименьшим** значением смежного уровня.

Необходимо выбрать ТТ и провести его проверку по примеру таблицы 5 и формул 3.8-3.11, и построить карту селективности защиты секционного выключателя и линий $t=f(I)$.

Защита вводного выключателя

–максимальная токовая защита с пуском по напряжению:

$$I_{\text{раб макс ВВ1}} = I_{\text{раб макс2}} + I_{\text{раб макс3}} + I_{\text{раб макс4}} + I_{\text{раб макс5}} + I_{\text{нАД}} \quad (9.1)$$

$$I_{\text{сз ВВ}} = \frac{k_{\text{отс}} \cdot k_{\text{сзн}} \cdot I_{\text{раб макс СВ}}}{k_{\text{в}}}; \quad (9.2)$$

$$t_{\text{ВВ}} = t_{\text{уст}} + t_{\text{св}} + \Delta t; \quad (9.3)$$

$$K_{\text{ч МЗ осн}} = \frac{I_{\text{КЗ мин}} \frac{\sqrt{3}}{2}}{I_{\text{сз ВВ}}}, \quad (9.4)$$

где $I_{\text{КЗ мин}}$ – минимальный ток короткого замыкания с **наибольшим** значением смежного уровня.

$$K_{\text{ч МЗ рез}} = \frac{I_{\text{КЗ мин}} \frac{\sqrt{3}}{2}}{I_{\text{сз ВВ}}}, \quad (9.5)$$

где $I_{\text{КЗ мин}}$ – минимальный ток короткого замыкания с **наименьшим** значением смежного уровня.

Необходимо выбрать ТТ и провести его проверку по примеру таблицы 5 и формул 3.8-3.11, и построить карту селективности защиты секционного выключателя и вводного выключателя $t=f(I)$.

Защита силового трансформатора 35/6.3 кВ

–максимальная токовая защита:

$$I_{\text{раб макс}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{нТ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном ВН}}}; \quad (10.1)$$

$$I_{сз\ T} = \frac{k_{омс} \cdot k_{сзн} \cdot I_{раб\ max}}{k_{\epsilon}}; \quad (10.2)$$

$$t_T = t_{уст} + t_{св} + \Delta t; \quad (10.3)$$

$$K_{ч\ мз\ осн} = \frac{I_{КЗ\ мин} \frac{\sqrt{3}}{2}}{I_{сз\ T}}; \quad (10.4)$$

где $I_{КЗ\ мин}$ – минимальный ток короткого замыкания с **наибольшим** значением смежного уровня.

–токовая отсечка:

$$I_{то\ T} = K_n \cdot I_{КЗ\ max}. \quad (10.5)$$

Рекомендуется принять время токовой отсечки равной 0,04 сек.

$$K_{ч\ то} = \frac{I_{КЗ\ мин} \frac{\sqrt{3}}{2}}{I_{то\ T}}. \quad (10.6)$$

–защита от перегрузки:

$$I_{пер\ T} = 1.2 \cdot 1.4 \cdot I_{ном\ T}. \quad (10.7)$$

Необходимо выбрать ТТ и провести его проверку по примеру таблицы 5 и формул 3.8-3.11, и построить карту селективности защиты вводного выключателя и силового трансформатора $t=f(I)$.

Чтобы согласовать защиту трансформатора на высшем напряжении с защитой вводного выключателя, необходимо привести $I_{сз\ ВВ}$ к высшему напряжению:

$$I_{сз\ ВВ\ ВН} = \frac{I_{сз\ ВВ\ НН}}{k_m}, \quad (10.8)$$

где k_m – коэффициент трансформации и равен $U_{ВН}/U_{НН}$.

Дифференциальная защита с торможением:

Таблица 6– параметры цифрового реле

Коэф. перех. процесса 1	$K_{пер1}$	1
Коэф. перех. процесса 2	$K_{пер2}$	2
Коэф. отстр. небал.	$K_{отснб}$	1,1
Коэф. небал. КЗ	$k_{нб}$	0,7/1
Погрешн. вырав. токов	$\Delta f_{выр}$	0,02
Коэф. отстр. диффотс.	$K_{отс}$	1,4

Так как дифференциальная защита для трансформатора является основной, необходимо выбрать еще два ТТ для ступени **высшего** и **нижнего** напряжения силового трансформатора.

Условия пригодности ТТ.

Рассчитаем номинальный ток для каждого ТТ:

$$0,1I_{НОМТ} < I_{ТА} < 2,5I_{НОМТ}. \quad (10.9)$$

$$I_{НОМТ} = \frac{S_T}{\sqrt{3}U_{НОМ}}, \quad (10.10)$$

где $U_{НОМ}$ – напряжение ступени трансформатора, для которого рассчитывается ТТ.

Проводится проверка кратности тока:

$$I_{пик\ max\ бр} = 8 \cdot \sqrt{2} \cdot I_{НОМТТ}; \quad (10.11)$$

$$\frac{I_{пик\ max\ бр}}{\sqrt{2} \cdot I_{ТТ\ ном}} < 8, \quad (10.12)$$

где $I_{ТТ\ ном}$ – номинальное значение тока выбранного ТТ.

Расчет тормозящей характеристики в относительных единицах, приведенный к номинальному току первичной обмотки силового трансформатора:

– начальная точка срабатывания дифференциальной защиты:

$$I_{d\min}^* = k_{отс\ нб} \left(\varepsilon \cdot k_{пер1} + \frac{\Delta U_{рег}}{1 - \Delta U_{рег}} + \Delta f_{выр} \right), \quad (10.13)$$

где ε – погрешность трансформатора тока;

$\Delta U_{рег}$ – произведение количества ступеней регулирования на шаг ступени силового трансформатора.

– точка, определяющая угол наклона:

$$I_{d1}^* = k_{отс\ нб} \left(\varepsilon \cdot k_{пер2} + \frac{\Delta U_{рег}}{1 - \Delta U_{рег}} + \Delta f_{выр} \right); \quad (10.14)$$

– угол наклона:

$$\alpha = \arctg(I_{d1}^*); \quad (10.15)$$

Рассчитаем точку изменения крутизны дифференциальной защиты:

$$SLP \leq 2 + \frac{3}{4} \left(\frac{I_{пик\ макс\ бр}}{\sqrt{2} I_{ТТ\ ном}} \right)^4 \cdot I_{d1}^*; \quad (10.16)$$

Крутизна второго наклонного участка тормозной характеристики определяется изготовителем ДЗ (см. техн. паспорт), но как правило не более 70% от первоначального угла наклона.

Амплитудное первичное значение броска тока намагничивания силового трансформатора со стороны первичной обмотки:

$$I_{бр.\ ном}^* = \frac{8 \cdot I_{ном\ т\ ВН}}{I_{ТТ}}. \quad (10.17)$$

Предельный уровень срабатывания дифференциальной защиты:

$$\begin{cases} I_{d\ макс1}^* = k_{отс} k_{нб} I_{КЗ\ макс}^* \\ I_{d\ макс2}^* = k_{отс} k_{нб} \cdot 8 \end{cases}, \quad (10.18)$$

где $k_{нб}$ зависит от вторичных токов ТТ (при 5А=0,7; при 1А=1)

$$I_{K3 \max}^* = \frac{I_{K3 \max}}{I_{\text{ном т ВН}}} \quad (10.19)$$

где $I_{K3 \max}$ —ток короткого замыкания на шинах 35 кВ.

Выбираем наибольшее значение из $I_{d \max 1}^*$ и $I_{d \max 2}^*$ и принимаем только целое значение.

Строим график зоны срабатывания дифференциальной защиты.

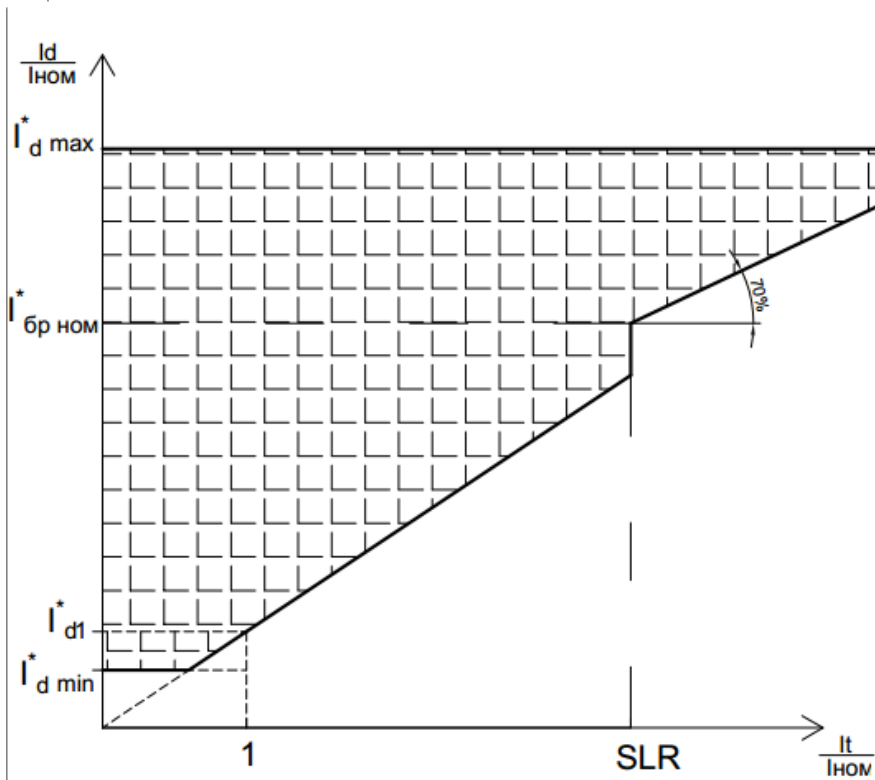


Рис.3. Зона срабатывания дифференциальной защиты

Наладка уставок защит

Во всех ниже идущих таблицах значения уставок токовых отсечек и максимальных токовых защит будет переведено к токам вторичных обмоток трансформаторов тока.

Наладка защиты для трансформаторов 6,3/0,4 кВ

Уставка защит трансформаторов 6,3/0,4 кВ:

Таблица 7

Функция	Уставка	Место установки и расчетные уставки			
		ТА _{Т3.1}	ТА _{Т3.2}	ТА _{Т5.1}	ТА _{Т5.2}
ТО	$I_{то}$				
МТЗ	$I_{мтз}$				
	$I_{пер}$				

Уставка по времени:

Таблица 8

Функция	Уставка	Место установки и расчетные уставки			
		ТА _{Т3.1}	ТА _{Т3.2}	ТА _{Т5.1}	ТА _{Т5.2}
ТО	$t_{то}$				
МТЗ	$t_{мтз}$				
	$t_{пер}$				

Наладка защиты для РУ 6 кВ

Уставки защит присоединений:

Таблица 9

Функция	Уставка	Место уставки						
		ВЛ2	ВЛ3	КЛ4	КЛ5	СВ	ВВ1	ВВ2
ТО	$I_{то}$							
МТЗ	$I_{мтз}$							

Уставки защит присоединений по времени:

Таблица 10

Функция	Уставка	Место уставки						
		ВЛ2	ВЛ3	КЛ4	КЛ5	СВ	ВВ1	ВВ2
ТО	t_{TO}							
МТЗ	t_{MTZ}							

Уставки защит конденсаторной установки:

Таблица 11

Функция	Уставка	КУ
МТЗ	I_{MTZ}	
	$I_{пер}$	
ЗПН	$U_{пер}$	

Уставки защит по времени конденсаторной установки:

Таблица 12

Функция	Уставка	КУ
МТЗ	t_{MTZ}	
	$t_{пер}$	

Уставки защит асинхронного двигателя:

Таблица 13

Функция	Уставка	АД
ТО	I_{TO}	
	$I_{пер}$	
ЗМН	$U_{ЗМН1}$	
	$U_{ЗМН2}$	

Уставки защит по времени асинхронного двигателя:

Таблица 14

Функция	Уставка	АД
ТО	$t_{то}$	
	$t_{пер}$	
ЗМН	$t_{зmn1}$	
	$t_{зmn2}$	

Уставки дифференциальных защит трансформаторов 35/6.3 кВ:

Таблица 15

Функция	Уставка	Место уставки	
		T1	T2
ДТО	$I_{дто}$		
ДЗТ	I_{dmin}		
	S_1		
	S_2		

Значения в графе ДЗТ указаны в относительных единицах, приведенных к номинальному току первичной обмотки силового трансформатора.

Уставки дифференциальных защит T1 и T2 по времени:

Таблица 16

Функция	Уставка	Место уставки	
		T1	T2
ДТО	$t_{дто}$		
ДЗТ	t_{dmin}		

Накладка защит для РУ 35 кВ

Уставка защит выключателей Т1 и Т2:

Таблица 17

Функция	Уставка	Место установки и расчетные уставки	
		ТА _{Т1}	ТА _{Т2}
ТО	I_{TO}		
МТЗ	$I_{MTЗ}$		
	$I_{пер}$		

Уставка защит по времени выключателей Т1 и Т2:

Таблица 18

Функция	Уставка	Место установки и расчетные уставки	
		ТА _{Т1}	ТА _{Т1}
ТО	t_{TO}		
МТЗ	$t_{MTЗ}$		
	$t_{пер}$		