

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Интеллектуальные электрические сети»

## Методические указания и контрольные задания

по дисциплине «Проектирование  
релейной защиты и автоматики»  
для студентов очной и заочной форм обучения  
«Электроэнергетика и электротехника»

Ростов-на-Дону  
ДГТУ  
2018

УДК [621.316.9: 681.325]

Рецензент: д.т.н., профессор Цыгулев Н.И.

Составитель: Шелест В.А..

Методические указания и задания по контрольным работам по дисциплине “Проектирование релейной защиты и автоматики” / Дон. гос. техн. ун-т – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2018. – 11 с.

В настоящих методических указаниях даны рекомендации по написанию рефератов, составлению ответов на вопросы, выполнению расчетов и оформлению контрольной работы.

Методические указания и задания предназначены для подготовки бакалавров и магистров по направлению «Электроэнергетика и электротехника» очной и заочной форм обучения.

УДК [621.316.9: 681.325]

Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Донского государственного технического университета

Ответственный за выпуск зав. кафедрой «Безопасность технологических процессов и про-изводств» д-р техн. наук, профессор С.Л. Пушенко.

---

В печать \_\_ . \_\_ . 20\_\_ г.  
Формат 60×31/16. Объем \_\_ усл.п.л  
Тираж \_\_ экз. Заказ №. \_\_.

---

Издательский центр ДГТУ  
Адрес университета и полиграфического предприятия:  
344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

© Донской государственный  
технический университет, 2018  
© Шелест В.А.

## **Общие требования к выполнению контрольных работ.**

1. Выполнению контрольной работы предшествует изучение теоретической части курса по дисциплине.
2. Контрольная работа состоит из 3 частей: написание рефератов, ответы на вопросы и расчет уставок синхронизатора для включения генератора на параллельную работу с энергосистемой.
3. Возможны дистанционные консультации по выполнению контрольной работы.
4. Рекомендуется контрольную работу печатать (формат А4).
5. Использовать титульный лист установленного образца.
6. Текст и формулы набираются в редакторе Word.
7. Рисунки и графики выполняются в графическом редакторе.
8. Контрольная работа регистрируется в деканате.
9. При защите необходимо показать знание материала, изложенного в контрольной работе.
10. Без защищенной контрольной работы студент к экзамену не допускается.

## Часть 1

Студенту необходимо написать реферат по двум вопросам. Номера тем реферата выбираются из таблицы 1 по последним двум цифрам номера зачетки.

Таблица 1

Номера тем рефератов										
Предпоследняя цифра номера зачетки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Тема реферата 1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Последняя цифра номера зачетки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Тема реферата 2	11	12	13	14	15	16	17	18	19,	20

### Вопросы реферата по первой части контрольной работы

1. Продольная дифференциальная защита генератора.
2. Защита от однофазных замыканий на землю в генераторе.
3. МТЗ генератора с пуском по напряжению
4. МТЗ генератора с коррекцией по напряжению.
5. Защита от асинхронного режима.
6. Защита от несимметричных перегрузок.
7. Дистанционная защита генератора.
8. Продольная дифференциальная защита трансформатора.
9. Максимально-токовая защита.
10. Дистанционная защита трансформатора.
11. Максимальная токовая защита стороны ВН трансформатора (МТЗ ВН)
12. Максимальная токовая защита стороны НН трансформатора (МТЗ НН).
13. Максимальная токовая защита линии.
14. Защита от однофазных замыканий на землю линии.
15. Резервирование при отказе выключателя (УРОВ).
16. Дуговая защита присоединения.
17. Защита сборных шин тупиковой подстанции.
18. Дифференциальная защита шин с торможением.
19. Логическая защита шин (ЛЗШ).
20. Защита секционного выключателя.

## Часть 2.

Студенту необходимо выполнить расчет дифференциальной защиты воздушной линии с ответвлением. Необходимые исходные данные выбираются из таблицы 4 по последним двум цифрам номера зачетки

### 2.1 Пример расчета дифференциальной защиты ВЛ с ответвлением

#### 2.1.1 Исходные данные.

Защита [1] устанавливается на двух концах ВЛ 110 кВ с ответвлением [2]. На ответвлении генерирующих источников нет. Схема линии указана на рисунке 1.

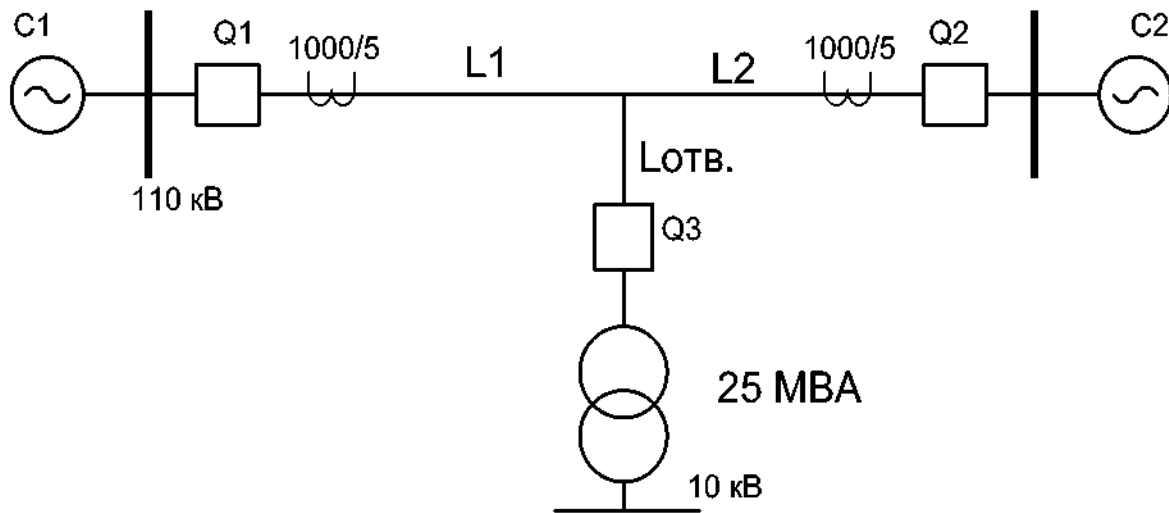


Рис.1. Схема ВЛ 110 кВ с ответвлением

Параметры элементов (первичные значения):

#### Система C1:

$R1 = 1,051 \text{ Ом}$                        $X1 = 3,49 \text{ Ом}$   
 $R0 = 0,9 \text{ Ом}$                          $X0 = 5,134 \text{ Ом}$

#### Система C2:

$R1 = 1,246 \text{ Ом}$                        $X1 = 3,574 \text{ Ом}$   
 $R0 = 0,684 \text{ Ом}$                        $X0 = 4,556 \text{ Ом}$

#### Линии:

$L1 = 14,7 \text{ км}$                          $L2 = 12,5 \text{ км}$   
 $R_{\text{уд}} = 0,21 \text{ Ом/км}$                  $X_{\text{уд}} = 0,414 \text{ Ом/км}$   
 $R0_{\text{уд}} = 0,378 \text{ Ом/км}$              $X0_{\text{уд}} = 1,163 \text{ Ом/км}$

Максимальный нагрузочный ток линии 580 А.

Максимальный нагрузочный ток ответвления 132 А.

Трансформатор на ответвлении ТДН-25000/110/10;  $U_{\text{ном ВН}} = 115 \text{ кВ}$ ;  $I_{\text{ном}} = 126 \text{ А}$ ;  $u_k = 10,5$ .

Может быть дальнейший расчет не приводить здесь - просто принять значения, как исходные.

Сопротивление трансформатора:  $X_T = 10,5 \cdot 115 \cdot 115 / (100 \cdot 25000) = 53 \text{ Ом}$ .

Токи трехфазных КЗ в узловых точках линии показаны на рисунке 2. Токи однофазных КЗ показаны на рисунке 3.

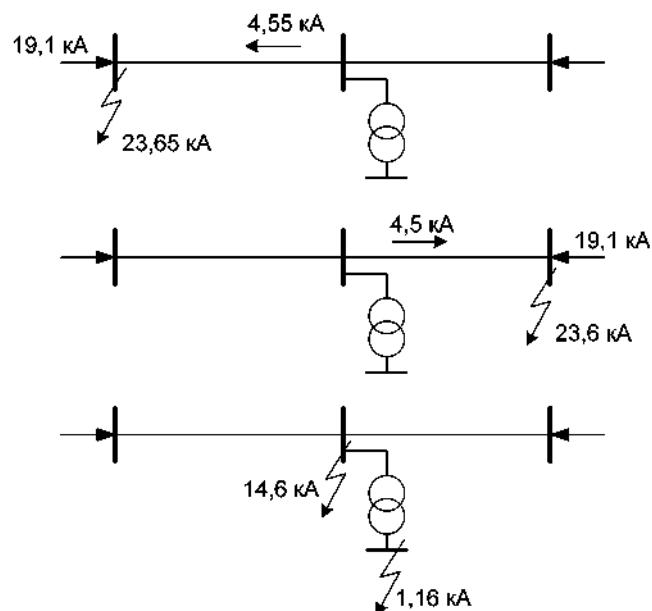


Рис.2. Токи трехфазных КЗ

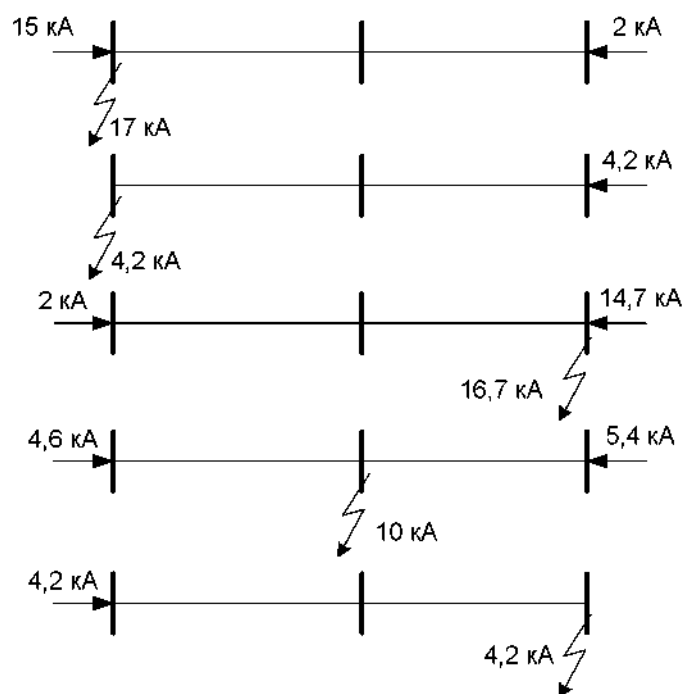


Рис.3. Токи однофазных КЗ ( $3I_0$ )

На основе расчетов по рисункам 5 и 6 получили:

— ток КЗ на шинах НН:  $I_{КЗ\text{ ОТВ}} = 1160\text{ А}$ ;

— максимальный ток сквозного КЗ:  $I_{КЗ\text{ ВН. МАКС}} = 4550\text{ А}$ ;

Напряжения  $u_k$  трансформатора при трехфазном включении согласно [3]:

$$12,7 + u_k = 23,2.$$

Сопротивление трансформатора при трехфазном включении:

$$X^{(3)}_T = 23,2 \cdot 115 \cdot 115 / (100 \cdot 25000) = 117\text{ Ом}.$$

Бросок тока намагничивания трансформатора при трехфазном включении со стороны системы С1 находим по выражению (П-70) [3]:

$$I_{\text{БРОСКА}} = 0,84 \cdot 67000 / (9,6 + 117) = 410\text{ А}.$$

Напряжение  $u_k$  трансформатора при однофазном включении согласно [3]:

$$(12,7 + u_k) / 1,35 = 23,2 / 1,35 = 17,3.$$

Сопротивление трансформатора при однофазном включении:

$$X^{(1)}_T = 17,3 \cdot 115 \cdot 115 / (100 \cdot 25000) = 87\text{ Ом}.$$

Бросок тока намагничивания трансформатора при однофазном включении со стороны системы С1 находим по выражению (П-70) [3] в предположении, что нейтраль трансформатора заземлена:

$$I_{\text{БРОСКА}} = 0,84 \cdot 67000 / (9,6 + 87) = 590\text{ А}.$$

#### 2.1.2 Расчет коэффициента цифрового выравнивания

С учетом максимального нагрузочного тока, равного 580 А, принимаем базисный ток равным 600 А.

Коэффициент выравнивания токов определяем по (3)[4]:

$$K_{\text{ВЫР. ТТ}} = I_B / I_{\text{НОМ}} = 600 / 1000 = 0,6.$$

#### 2.1.3 Выбор параметров чувствительной ступени (ДЗЛ-2)

Ступень действует без выдержки времени:

$$T_{\text{осн.}} = T_{\text{доп.}} = 0.$$

Выбор минимального тока срабатывания ступени приведен в таблице 2.

Таблица 2

Выбор минимального тока срабатывания ступени

Расчетное условие	Расчетное выражение	Первичные значения тока приведенные к $I_B$
(4) – отстройка от небалансов	$I_{Д1} / I_B \geq 0,4$	0,4
(5) – отстройка от КЗ на шинах НН	$I_{Д1} / I_B = K_{\text{ОТС}} \cdot I_{КЗ\text{ ОТВ}} / I_B$	$1,5 \cdot 1160 / 600 = 2,9$
(6) – отстройка от суммарного тока нагрузки ответвлений	$I_{Д1} / I_B = K_{\text{ОТС}} \cdot I_{\text{СУММНАГР.ОТВ}} / I_B$	$1,5 \cdot 132 / 600 = 0,33$
(7) – отстройка от броска тока намагничивания трансформатора	$I_{Д1} / I_B = K_{\text{ОТС}} \cdot I_{\text{БРОСКА}} / I_B$	$1,5 \cdot 590 / 600 = 1,48\text{ А}$

Если не использовать никаких блокировок, то необходимо принять значение уставки  $I_{Д1} / I_B = 2,9$ . Это значение выходит за диапазон возможных значений уставки (до 2,0), поэтому необходимо использовать внешний пуск ДЗЛ-2. Для этого задаем конфигурацию в соответствии с таблицей 1.

$I_{Д1} / I_B$  по условиям (4) и (6) принимаем равным 0,4.

$I_{\text{ДОП}} / I_B$  по условиям (4) – (7) принимаем равным 2,9.

Полученные значения уставок сведены в таблицу 3.

Выбор точки перехода со второго участка характеристики на третий осуществляется по выражению (8)[4]:

$$I_{T2}/I_B = 4 \cdot I_{НОМ} / I_B = 4 \cdot 1000 / 600 = 6,6.$$

Принимаем максимально возможное из диапазона значение:  $I_{T2}/I_B = 4,0$ .

Коэффициент снижения тормозного тока определяется по выражению (10)[4]:

Коэффициент торможения на втором участке определяется по выражению (9)[4]:

$$K_{CH.T.} = 1 - 0,5 \cdot (K_{ПЕР} \cdot \varepsilon + \Delta f_{ВЫР}) = 1 - 0,5 \cdot (3,5 \cdot 0,1 + 0,04) = 0,805.$$

$$K_{T1} = \frac{K_{ОТС} \cdot (K_{ПЕР} \cdot \varepsilon + \Delta f_{ВЫР}) \cdot 100}{K_{CH.T.}} = \frac{1,2 \cdot (3,5 \cdot 0,1 + 0,04) \cdot 100}{0,805} = 58 \%$$

Значение коэффициента торможения  $K_{T2}$  на третьем участке выбирается по выражению (11)[4]:

$$K_{T2} = 1,5 \cdot K_{T1} = 1,5 \cdot 58\% = 87 \%.$$

Значение уставки  $K_{T2}$  ГРУБ. в соответствии с рекомендациями следует принять равным 200 %.

Точка перехода с первого участка на второй определяется по выражению (12)[4]:  $I_{T1}/I_B = I_{Д1}/I_B / (K_{T1}/100) = 0,4 / 0,58 = 0,69$ .

Уставку блокировки по второй гармонике в соответствии с рекомендациями принимаем:  $I_{T2}/I_{Г1} = 0,15$ .

Сводные значения уставок приведены в таблице 3.

#### 2.1.4 Проверка чувствительности второй ступени (ДЗЛ-2)

Выполняется по выражению (13)[4].

Чувствительность основной ступени ДЗЛ-2 с внешним пуском в режиме однофазного замыкания на шинах системы С2 при одностороннем питании:

$$K_q = \frac{I_{КЗМН.}}{(I_{Д1}/I_B) \cdot I_B} = \frac{4200}{(0,4) \cdot 600} = 17,5.$$

Чувствительность дополнительного измерительного органа в том же режиме:

Таблица 3

Рекомендуемые значения уставок	
Наименование уставки	Значение
ДЗЛ-2 осн.	Вкл
Тосн., с	0,00
$I_{Д1}/I_B$	0,4
$I_{T1}/I_B$	0,69
$I_{T2}/I_B$	4,0
$K_{T1}$ , %	58
$K_{T2}$ , %	87
$K_{T2}$ груб., %	200
Блокир. при БНТ	Вкл
Внешний пуск	Вкл
ДЗЛ-2 доп.	Вкл
Тдоп., с	0,00



Idоп/Iб	2,9
---------	-----

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз мин.}}}{(I_{\text{дон}}/I_{\text{б}}) \cdot I_{\text{б}}} = \frac{4200}{(2,9) \cdot 600} = 2,4.$$

Как показал расчет, чувствительность основной ступени ДЗЛ-2 выполняется с большим запасом. А дополнительная резервирующая ступень ДЗЛ-2доп также обеспечит чувствительность при КЗ без большого переходного сопротивления.

### 2.1.5 Выбор параметров третьей ступени (ДЗЛ-3)

Предположим, что на трансформаторе ответвления на стороне 110 кВ имеется резервная защита – МТЗ с уставками 180 А и 2 с.

Минимальный ток срабатывания ступени определяется по выражению (14)[4]:

$$I_{\text{д1}}/I_{\text{б}} = K_{\text{отс}}(I_{\text{сз тр.}} + I_{\text{нагр.}})/I_{\text{б}} = 1,1 \cdot 180/600 = 0,33.$$

Коэффициент торможения приравняем таковому у второй ступени:

$$K_{\text{т1}} = 58 \, \%.$$

Точка перехода с первого участка на второй определяется по выражению (12)[4]:

$$I_{\text{т1}}/I_{\text{б}} = I_{\text{д1}}/I_{\text{б}} / (K_{\text{т1}}/100) = 0,33 / 0,58 = 0,57.$$

Проверка чувствительности ступени ДЗЛ-3 при КЗ на шинах НН трансформатора ответвления:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз мин.}}}{(I_{\text{д1}}/I_{\text{б}}) \cdot I_{\text{б}}} = \frac{0,87 \cdot 1160}{0,33 \cdot 600} = 5,1.$$

Чувствительность выполняется с запасом.

Уставка по времени выбирается по выражению (16)[4]:

$$T = t_{\text{сз тр.}} + \Delta t = 2,0 + 0,5 = 2,5 \, \text{с.}$$

Блокировку ступени при БНТ можно отключить, т.к. ступень имеет большую выдержку по времени на срабатывание.

2.1.6 Выбор параметров дифференциальной отсечки (ДЗЛ-1) Ток срабатывания дифференциальной отсечки определяется по выражению (17)[4]:

$$I_{\text{диф}}/I_{\text{б}} = 0,84 \cdot I_{\text{кз вн. макс.}}/I_{\text{б}} = 0,84 \cdot 4550/600 = 6,4.$$

Таблица 4

Исходные данные электрической сети.

Предпоследняя цифра номера зачетки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
C1: R1, Ом	0,85	0,9	0,95	1,0	1,05	1,1	1,15	1,2	1,25	1,3
C1: X1, Ом	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4,0
C1: R0, Ом	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1,0	1,05	1,1
C1: X0, Ом	4,3	4,5	4,7	4,9	5,1	5,3	5,5	5,7	5,9	6,1
C2: R1, Ом	1,05	1,1	1,15	1,2	1,25	1,3	1,35	1,4	1,45	1,5
C2: X1, Ом	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5
C2: R0, Ом	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95
C2: X0, Ом	3,7	3,9	4,1	4,3	4,5	4,7	4,9	5,1	5,3	5,5
Последняя цифра номера зачетки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
L1, км	11	12	13	14	15	16	17	18	19,	20
L2, км	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17

[illegible]

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Микропроцессорное устройство защиты «Сириус-2-ДЗЛ-01». Руководство по эксплуатации.– М.: ЗАО «РАДИУС Автоматика», 2010.
- 2 Руководящие указания по релейной защите. Вып.13Б. Релейная защита понижающих трансформаторов и автотрансформаторов 110-500 кВ. Расчеты.- М.: Энергоатомиздат, 1985.- 96 с.
- 3 Руководящие указания по релейной защите, вып.9. Дифференциально- фазная высоко- частотная защита линий 110-330 кВ,-М.:Энергия,1972.-112 с.
- 4 Рекомендации по применению и выбору уставок устройства дифференциальной защиты линий «Сириус-2-ДЗЛ-01».– М.: ЗАО «РАДИУС Автоматика», 2010.