

Федеральное агентство по образованию Российской Федерации

ГОУ ВПО «Российский химико-технологический университет  
им.Д.И.Менделеева»

Новомосковский институт (филиал)

## ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ СИЛОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Методические указания по практическим занятиям,  
контрольным и курсовой работам

Новомосковск, 2011 г.

**УДК 621.311**

**ББК 31.29-5**

**П 171**

**Рецензенты:**

**кандидат технических наук, доцент Ошурков М.Г.**

**(кафедра ЭПП НИ РХТУ им.Д.И.Менделеева)**

**кандидат технических наук, доцент Ребенков Е.С.**

**(кафедра электротехники НИ РХТУ им.Д.И.Менделеева)**

**Составители: Лагуткин О.Е., Ползиков М.Н.**

**П 171 Примеры расчетов релейной защиты силового электрооборудования. Методические указания по практическим занятиям, контрольным и курсовой работам/ ГОУ ВПО «РХТУ им.Д.И.Менделеева», Новомосковский институт (филиал); Сост.: О.Е.Лагуткин, М.Н.Ползиков. Новомосковск, 2011.-32 с.**

**В настоящих методических указаниях по дисциплине «Релейная защита, автоматика и телемеханика» приведены практические методы расчетов релейной защиты силового электрооборудования.**

УДК-621.311  
**ББК-31.29-5**

©Новомосковский институт (филиал)

ГОУ ВПО Российского химико-технологического

университета им.Д.И.Менделеева, 2011

## **Введение**

Методические указания предназначены для проведения практических занятий для студентов всех форм обучения, а также выполнения контрольных и курсовой работ.

Указания содержат необходимый теоретический материал, достаточный для изучения практических вопросов по расчетам релейной защиты. Приведенные примеры решения задач наиболее полно охватывают материал, изучаемый в теоретической части курса.

Также издание может быть полезно специалистам, работающим в энергетической отрасли, магистрантам, аспирантам.

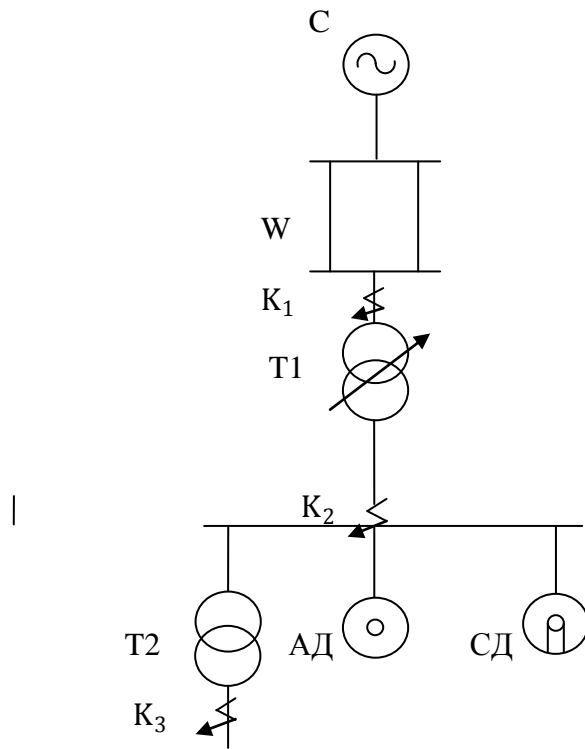


Рис. 1 Исходная схема.

## Исходные данные

Таблица. 1

Элементы схемы	Параметры схемы											
	$S_{кз}$ МВА	$X_0$ Ом/км	L км	N шт.	$U_{вн}$ кВ	$U_{нн}$ кВ	$U_{к\%}$ %	P, МВА МВт	$\eta$ %	$\cos \varphi$	$K_{п}$	$X_d''$
С	800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W	-	0,36	55	2	-	-	-	-	-	-	-	-
Т1	-	-	-	-	110	6	9,8	10	-	-	-	-
Т2	-	-	-	-	6	0,4	6	1	-	-	-	-
АД	-	-	-	-	-	-	-	2,2	97	0,88	5,2	-
СД	-	-	-	-	-	-	-	1,8		0,9		0,14

# 1. Расчет токов КЗ в точках К<sub>1</sub>, К<sub>2</sub>, К<sub>3</sub>.

## 1.1. Расчет токов КЗ в точке К<sub>1</sub>.

Расчет производим в минимальном и максимальном режимах работы энергосистемы

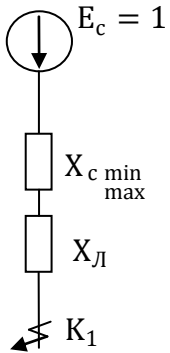


Рис.2. Схема замещения.

$$S_{\text{кз max}} = S_{\text{кз}} = 800 \text{ МВА}$$

$$S_{\text{кз min}} = 0,8S_{\text{кз max}} = 0,8 * 800 = 640 \text{ МВА}$$

$$X_c = \frac{S_6}{S_{\text{кз}}}$$

принимаем  $S_6 = S_{\text{кз max}}$

$$X_{c \text{ max}} = \frac{S_{\text{кз max}}}{S_{\text{кз min}}} = \frac{800}{640} = 1,25 \text{ о.е.}$$

$$X_{c \text{ min}} = \frac{S_{\text{кз max}}}{S_{\text{кз max}}} = \frac{800}{800} = 1 \text{ о.е.}$$

$$X_l = \frac{X_0 l}{n} * \frac{S_6}{U_{61}^2} = \frac{0,36 * 55 * 800}{2 * 115^2} = 0,6 \text{ о.е.}$$

$$X_{\Sigma \text{ max}} = X_{c \text{ max}} + X_l = 1,25 + 0,6 = 1,85 \text{ о.е.}$$

$$X_{\Sigma \text{ min}} = X_{c \text{ min}} + X_l = 1 + 0,6 = 1,6 \text{ о.е.}$$

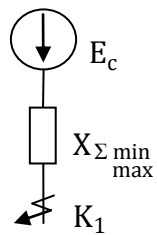


Рис. 3. Схема замещения.

$$I_{61} = \frac{S_6}{\sqrt{3}U_{61}} = \frac{800}{\sqrt{3} * 115} = 4,02 \text{ кА}$$

$$I_{\text{К1 max}}^{(3)} = \frac{E_c}{X_{\Sigma \text{ min}}} * I_{61} = \frac{1}{1,6} * 4,02 = 2,53 \text{ кА}$$

$$I_{\text{К1 min}}^{(3)} = \frac{E_c}{X_{\Sigma \text{ max}}} * I_{61} = \frac{1}{1,85} * 4,02 = 2,17 \text{ кА}$$

$$I_{\text{К1 max}}^{(2)} = I_{\text{К1 max}}^{(3)} * \frac{\sqrt{3}}{2} = 2,53 * \frac{\sqrt{3}}{2} = 2,19 \text{ кА}$$

$$I_{\text{К1 min}}^{(2)} = I_{\text{К1 min}}^{(3)} * \frac{\sqrt{3}}{2} = 2,17 * \frac{\sqrt{3}}{2} = 1,88 \text{ кА}$$

Расчет токов КЗ в точке К<sub>1</sub>

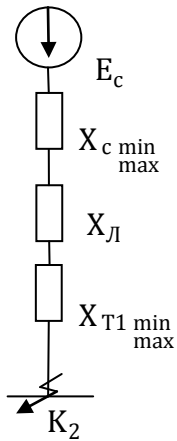
Таблица. 2

	$I_{\text{К1}}^{(3)}$	$I_{\text{К1}}^{(2)}$
min	2,17	1,88
max	2,53	2,19

## 1.2. Расчет токов КЗ в точке К<sub>2</sub>.

### 1.2.1. Расчет подпитки со стороны системы.

Регулирование под нагрузкой для трансформатора 110 кВ принимаем  $\pm 16\%$ , если трансформатор 35 кВ то  $\pm 9\%$ .



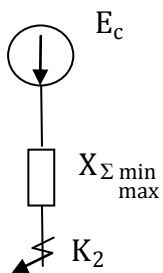
Из методички №748 на стр. 54 в таблицах П7 и П8 выбираем:

$$U_{k\%min} = 8,70\% ; U_{k\%max} = 12,36\%$$

$$X_{T1min} = \frac{U_{k\%min}}{100} * \frac{(U_{BH}(1-\Delta U * \rho_{PH}))^2}{S_{НОМ}} * \frac{S_6}{U_{61}^2} = \frac{8,70}{100} * \frac{(110(1-0,16))^2}{10} * \frac{800}{115^2} = 4,46 \text{ о.е.}$$

$$X_{T1max} = \frac{U_{k\%max}}{100} * \frac{(U_{BH}(1+\Delta U * \rho_{PH}))^2}{S_{НОМ}} * \frac{S_6}{U_{61}^2} = \frac{12,36}{100} * \frac{(110(1+0,16))^2}{10} * \frac{800}{115^2} = 2,17 \text{ о.е.}$$

Рис. 4 Схема замещения



$$X_{\Sigma min} = X_{Cmin} + X_L + X_{T1min} = 1 + 0,6 + 4,46 = 6,06 \text{ о.е.}$$

$$X_{\Sigma max} = X_{Cmax} + X_L + X_{T1max} = 1,25 + 0,6 + 12,17 = 14,02 \text{ о.е.}$$

$$U_{62} = 6,3 \text{ кВ}$$

$$I_{62} = \frac{S_6}{\sqrt{3}U_{62}} = \frac{800}{\sqrt{3} * 6,3} = 73,32 \text{ кА}$$

$$I_{K2min}^{(3)} = \frac{E_c}{X_{\Sigma max}} * I_{62} = \frac{1}{14,02} * 73,32 = 5,2 \text{ кА}$$

$$I_{K2max}^{(3)} = \frac{E_c}{X_{\Sigma min}} * I_{62} = \frac{1}{6,06} * 73,32 = 12,1 \text{ кА}$$

$$I_{K2min}^{(2)} = I_{K2min}^{(3)} * \frac{\sqrt{3}}{2} = 5,2 * \frac{\sqrt{3}}{2} = 4,5 \text{ кА}$$

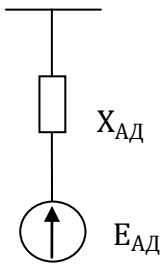
$$I_{K2max}^{(2)} = I_{K2max}^{(3)} * \frac{\sqrt{3}}{2} = 12,1 * \frac{\sqrt{3}}{2} = 10,5 \text{ кА}$$

Расчет токов КЗ в точке К<sub>2</sub>, подпитка со стороны системы

Таблица. 3

	$I_{K2}^{(3)}$	$I_{K2}^{(2)}$
min	5,2	4,5
max	12,1	10,5

### 1.2.2. Расчет подпитки от АД.



$$S_{АД} = \frac{P_{АД}}{\eta * \cos \varphi} = \frac{2,2}{0,97 * 0,88} = 2,58 \text{ о.е.}$$

$$X_{АД} = \frac{1}{K_{П}} * \frac{S_{б}}{S_{АД}} = \frac{1}{5,2} * \frac{800}{2,58} = 59,63 \text{ о.е.}$$

$$E_{АД} = \sqrt{1 + \left(\frac{1}{K_{П}}\right)^2 - \frac{2 \cos \varphi}{K_{П}}} = \sqrt{1 + \left(\frac{1}{5,2}\right)^2 - \frac{2 * 0,88}{5,2}} = 0,83 \text{ о.е.}$$

Рис. 6. Схема замещения.

$$I_{АД}^{(3)} = \frac{E_{АД}}{X_{АД}} * I_{б2} = \frac{0,83}{59,63} * 73,32 = 1,02 \text{ кА}$$

### 1.2.3. Расчет подпитки от СД.

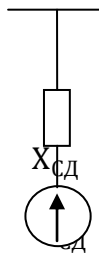


Рис. 7. Схема замещения.

$$E_{СД} = \sqrt{(1 - X_d'' \sin \varphi)^2 + (X_d'' \cos \varphi)^2} = \sqrt{(1 - 0,14 * 0,44)^2 + (0,14 * 0,9)^2} = 0,95 \text{ о.е.}$$

$$X_{СД} = X_d'' * \frac{S_{б}}{S_{НОМ}} = 0,14 * \frac{800}{2} = 56 \text{ о.е.}$$

$$S_{НОМ} = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{1,8}{0,9} = 2 \text{ МВА}$$

$$I_{СД}^{(3)} = \frac{E_{СД}}{X_{СД}} * I_{б2} = \frac{0,95}{56} * 73,32 = 1,24 \text{ кА}$$

### 1.2.4. Определение суммарного тока КЗ в точке К<sub>2</sub>.

$$I_{\Sigma K2 \min}^{(3)} = I_{K2 \min}^{(3)} + I_{АД}^{(3)} + I_{СД}^{(3)} = 5,2 + 1,02 + 1,24 = 7,46 \text{ кА}$$

$$I_{\Sigma K2 \max}^{(3)} = I_{K2 \max}^{(3)} + I_{АД}^{(3)} + I_{СД}^{(3)} = 12,1 + 1,02 + 1,24 = 14,36 \text{ кА}$$

$$I_{\Sigma K2 \min}^{(2)} = I_{\Sigma K2 \min}^{(3)} * \frac{\sqrt{3}}{2} = 6,46 \text{ кА}$$

$$I_{\Sigma K2 \max}^{(2)} = I_{\Sigma K2 \max}^{(3)} * \frac{\sqrt{3}}{2} = 12,44 \text{ кА}$$



Суммарный ток КЗ в точке К2.

Таблица. 4

	$I_{К2}^{(3)}$	$I_{К2}^{(2)}$
min	7,46	6,46
max	14,36	12,44

### 1.3. Расчет токов короткого замыкания в точке К3.

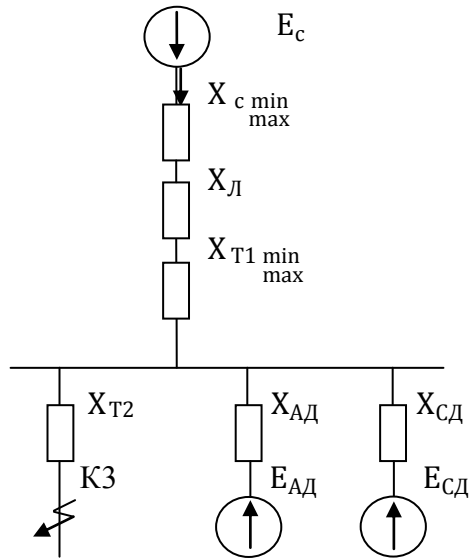


Рис. 8. Схема замещения.

$$X_{T2} = \frac{U_k \%}{100} \cdot \frac{U_{НОМ}^2}{S_{НОМ}} \cdot \frac{S_b}{U_{б2}^2} = \frac{6}{100} \cdot \frac{6^2}{1} \cdot \frac{800}{6,3^2} = 43,54 \text{ о.е.}$$

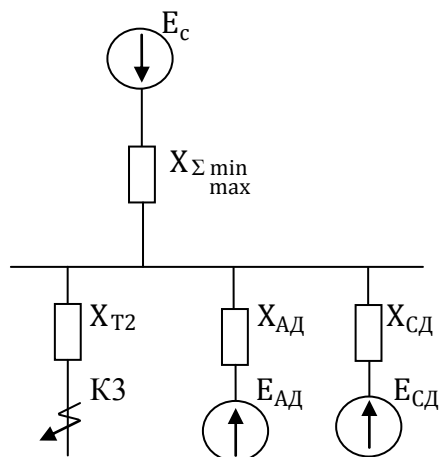


Рис. 9 Схема замещения.

Эквивалентирuem ЭДС и сопротивления двигателей.

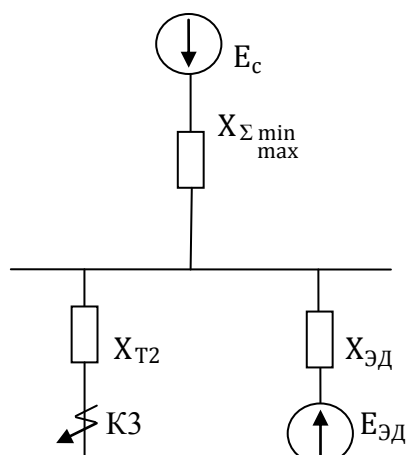


Рис. 10. Схема замещения.

$$X_{\text{ЭД}} = \frac{x_1 \cdot x_2}{x_1 + x_2} = \frac{59,63 \cdot 56}{59,63 + 56} = 28,88 \text{ о.е.}$$

$$E_{\text{ЭД}} = \frac{E_1 \cdot x_2 + E_2 \cdot x_1}{x_1 + x_2} = \frac{0,83 \cdot 56 + 0,95 \cdot 59,63}{59,63 + 56} = 0,892 \text{ о.е.}$$

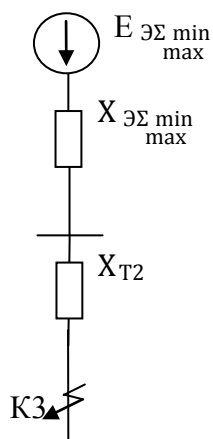


Рис. 11. Схема замещения.

$$X_{\Sigma \min} = \frac{6,06 \cdot 28,88}{6,06 + 28,8} = 5,01 \text{ о.е.} \quad X_{\Sigma \max} = \frac{14,02 \cdot 28,88}{14,02 + 28,8} = 9,44 \text{ о.е.}$$

$$E_{\Sigma \min} = \frac{1 \cdot 28,88 + 0,892 \cdot 6,06}{6,06 + 28,88} = 0,98 \text{ о.е.} \quad E_{\Sigma \max} = \frac{1 \cdot 28,88 + 0,892 \cdot 14,02}{14,02 + 28,88} = 0,96 \text{ о.е.}$$

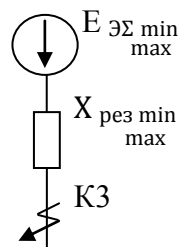


Рис. 12. Схема замещения.

$$X_{\text{рез min}} = 43,54 + 5,01 = 48,55 \text{ о.е.} \quad X_{\text{рез max}} = 43,54 + 9,44 = 52,98 \text{ о.е.}$$

$$U_{63} = 0,4 \text{ кВ}$$

$$I_{63} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{63}} = \frac{800}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1154,7 \text{ кА}$$

$$I_{\text{кз max}}^{(3)} = \frac{E_{\Sigma \text{ min}}}{x_{\text{рез min}}} = \frac{0,98}{4,55} = 0,02 \text{ о.е.}$$

$$I_{\text{кз min}}^{(3)} = \frac{E_{\Sigma \text{ max}}}{x_{\text{рез max}}} = \frac{0,96}{52,98} = 0,018 \text{ о.е.}$$

$$I_{\text{кз max}}^{(3)} = 1154,7 \cdot 0,02 = 23,094 \text{ кА}$$

$$I_{\text{кз min}}^{(3)} = 1154,7 \cdot 0,018 = 20,78 \text{ кА}$$

Расчет токов короткого замыкания в точке КЗ

Таблица. 5

	min	max
$I^{(3)}$	20,78	23,094
$I^{(2)}$	18	20

Если в результате расчетов получаются большие значения токов, превышающие отключающую способность выключателя (примерно 42 кА), в этом случае перед трансформатором  $T_2$  необходимо добавить реактор.

## 2. Релейная защита асинхронного двигателя.

### 2.1. Защита от междуфазных КЗ.

Устанавливаем токовую отсечку на реле КА1.

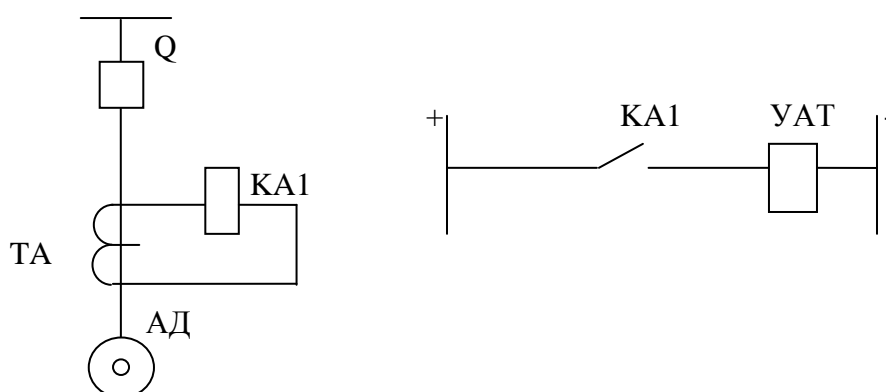


Рис. 13. Схема токовой отсечки.

Ток срабатывания отсечки определяем по формуле

$$I_{\text{co}} \geq k_{\text{отс}} \cdot I_{\text{max}}, \text{ где } k_{\text{отс}} = 1,4$$

$I_{\max}''$  - для асинхронного двигателя равен пусковому току

$$I_{\max}'' = k_{II} \cdot I_{\text{НОМ}}$$

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}}$$

$$S_{\text{НОМ}} = \frac{P}{\eta \cdot \cos \varphi}$$

Расчет производить только в амперах

$$S_{\text{НОМ}} = \frac{2,2}{0,97 \cdot 0,88} = 2,6 \text{ МВА}$$

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{2,58}{\sqrt{3} \cdot 6} = 248 \text{ А}$$

$$I_{\max}'' = 5,2 \cdot 248 = 1292 \text{ А}$$

$$I_{\text{с0}} \geq 1,4 \cdot 1292 = 1809 \text{ А}$$

Ток срабатывания реле определяем по формуле

$$I_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{с0}} \cdot K_{\text{сх}}}{n_{\text{ТА}}}$$

Выбор трансформатора тока производится из набора номинальных значений: 50/5; 100/5; 200/5; 300/5... Мы выбираем 300/5, т.к.  $I_{\text{НОМ}} = 248 \text{ А}$ .  $K_{\text{сх}} = 1$  при соединении трансформаторов тока в звезду и  $K_{\text{сх}} = \sqrt{3}$  при соединении трансформаторов тока в треугольник.  $n_{\text{ТА}}$  – коэффициент трансформации трансформатора тока.

$$I_{\text{ср}} = \frac{1809 \cdot 1}{60} = 30,15 \text{ А}$$

По методичке №748 на стр. 51 в таблице П2 находим тип реле с соединением катушек или последовательно, или параллельно. Главное условие – ток срабатывания реле должен входить в предел уставок.

Выбираем реле РТ 40/100 с пределом уставок 25-50 А и последовательным соединением катушек.

Проверяем чувствительность защиты

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{min}}^{(2)}}{I_{\text{с0}}} > 2, \text{ где}$$

$I_{\text{min}}^{(2)}$  - минимальный двухфазный ток КЗ в точке  $K_2$  суммарный, принятый из табл.4.

$$k_{\text{ч}} = \frac{6,46 \cdot 10^3}{1809} = 3,57 \quad - \text{защита по чувствительности проходит.}$$

## 2.2. Релейная защита от замыканий на землю в обмотках статора.

Этот тип релейной защиты устанавливается, если ток срабатывания защиты превышает 5А.

$$I_{сз} \geq K_{отс} \cdot K_{б} \cdot I_c$$

$K_{б} = 2,5$  – коэффициент, учитывающий бросок емкостных токов,

$$K_{отс} = 1,2 \div 1,3$$

$I_c$  - собственный емкостный ток двигателя

$$I_c = \omega \cdot C \cdot U_{\phi} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot U_{\phi}$$

$$C = \frac{0,0187 \cdot S_H \cdot 10^{-6}}{1,2 \cdot \sqrt{U_H} \cdot (1 + 0,08 \cdot U_H)}$$

$$C = \frac{0,0187 \cdot 2,58 \cdot 10^{-6}}{1,2 \cdot \sqrt{6} \cdot (1 + 0,08 \cdot 6)} = 1,3 \cdot 10^{-8} \text{ Ф}$$

$$U_{\phi} = \frac{U_{л}}{\sqrt{3}} = \frac{6}{\sqrt{3}} = 3,5 \cdot 10^3 \text{ кВ}$$

$$I_c = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 1,3 \cdot 10^{-8} \cdot 3,5 \cdot 10^3 = 0,015 \text{ А}$$

$$I_{сз} = 1,2 \cdot 2,5 \cdot 0,015 = 0,045 \text{ А}$$

Т.к. ток меньше 5А, то данный тип защиты не устанавливаем.

## 2.3. Защита от перегрузки.

Устанавливаем максимальную токовую защиту с выдержкой времени на реле КА2 и КТ1.

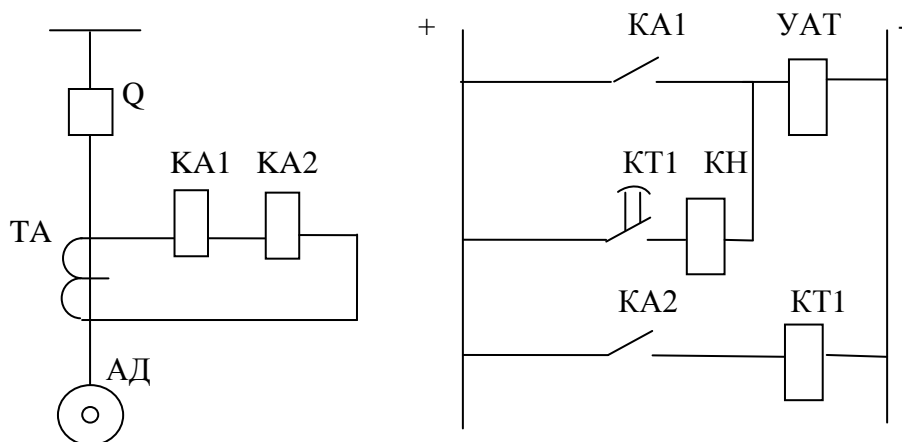


Рис. 14. Схема токовой отсечки и максимальной токовой защиты.

Ток срабатывания защиты определяем по формуле

$$I_{сз} = \frac{K_{отс}}{K_B} \cdot I_{ном}, \text{ где}$$

$K_{отс} = 1,1$  – коэффициент отстройки,

$K_B = 0,8 \div 0,85$  – коэффициент возврата.

$$I_{сз} = \frac{1,1}{0,8} \cdot 248 = 341 \text{ А}$$

$$I_{ср} = \frac{I_{сз} \cdot K_{сх}}{n_{ТА}}$$

$$I_{ср} = \frac{341 \cdot 1}{\frac{300}{5}} = 5,68 \text{ А}$$

Выбираем реле РТ 40/10 с пределом уставок 5-10 А и параллельным соединением катушек.

#### 2.4. Защита от понижения напряжения.

Защиту от понижения напряжения выполняем на реле KV и КТ2.

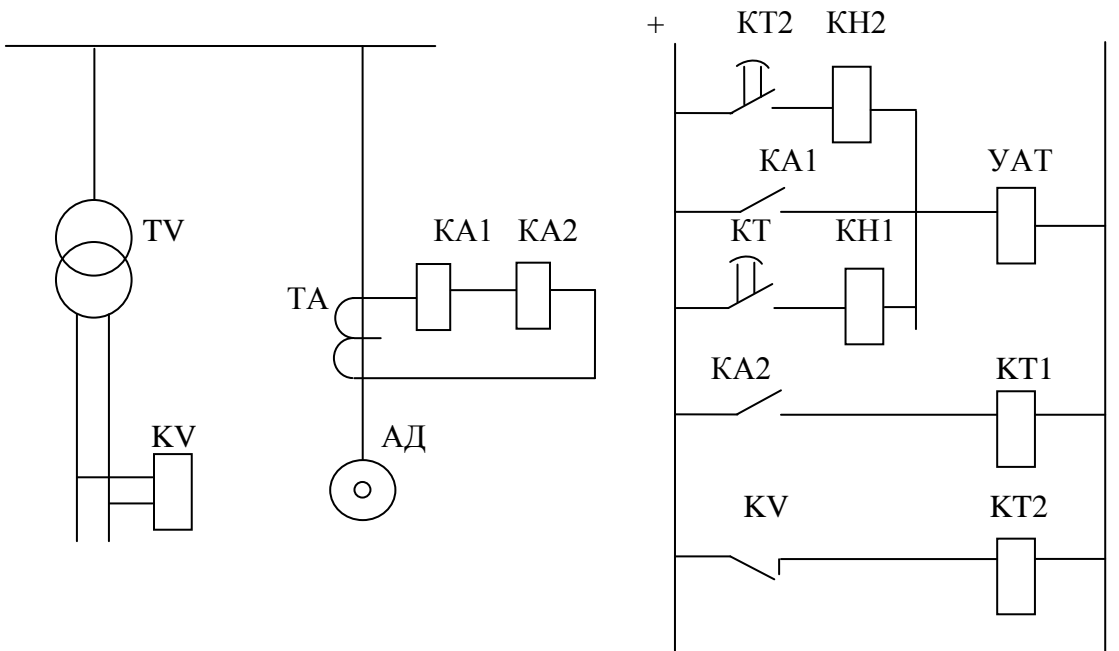


Рис. 15. Схема токовой отсечки, максимальной токовой защиты и защиты от понижения напряжения.

Напряжение срабатывания защиты рассчитываем по формуле

$$U_{сз} = 0,7 \cdot U_{ном}$$

$$U_{сз} = 0,7 \cdot 6 = 4,2 \text{ кВ}$$

Напряжение срабатывания реле рассчитываем по формуле

$$U_{cp} = \frac{U_{c3}}{n_{TV}} = \frac{4200}{\frac{6000}{100}} = 70 \text{ В, где}$$

$n_{TV}$  - коэффициент трансформации трансформатора напряжения.

По методичке №748 на стр. 53 в таблице П6 находим тип реле минимального напряжения РН-54/160 с пределом уставок 40-160 В.

### 3. Релейная защита синхронного двигателя.

#### 3.1. Защита от коротких замыканий.

Используем ту же схему, что и для асинхронного двигателя.

$$I_{max}'' = \frac{E_{cd}}{X_d} \cdot I_{ном}$$

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{1,8}{0,9} = 2 \text{ МВА}$$

$$I_{ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{2000}{\sqrt{3} \cdot 6} = 190 \text{ А}$$

$$I_{max}'' = \frac{0,95}{0,14} \cdot 190 = 1290 \text{ А}$$

$$I_{c3} = 1,4 \cdot 1290 = 1806 \text{ А}$$

$$I_{cp} = \frac{1806 \cdot 1}{\frac{200}{5}} = 45,15 \text{ А}$$

Выбираем реле РТ-40/50 с пределом уставок 25-50 А и параллельным соединением катушек.

$$k_{ч} = \frac{I_{max}''^{(2)}}{I_{co}} > 2$$

$$k_{ч} = \frac{6,46 \cdot 10^3}{1806} = 3,58 - \text{защита по чувствительности проходит}$$

#### 3.2 Защита от замыканий на землю в обмотках статора.

$$C = \frac{0,0187 \cdot 2 \cdot 10^{-6}}{1,2 \cdot \sqrt{6} \cdot (1 + 0,08 \cdot 6)} = 1,05 \cdot 10^{-8} \text{ Ф}$$

$$U_{\phi} = \frac{U_{л}}{\sqrt{3}} = \frac{6}{\sqrt{3}} = 3,5 \cdot 10^3 \text{ кВ}$$

$$I_c = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 1,05 \cdot 10^{-8} \cdot 3,5 \cdot 10^3 = 0,012 \text{ А}$$

$$I_{c3} = 1,2 \cdot 2,5 \cdot 0,012 = 0,036 \text{ А}$$

Т.к. ток меньше 5А, то данный тип защиты не устанавливаем.

### 3.3. Защита от перегрузки.

$$I_{сз} = \frac{1,1}{0,8} \cdot 190 = 261,25 \text{ А}$$

$$I_{ср} = \frac{I_{сз} \cdot K_{сх}}{n_{та}}$$

$$I_{ср} = \frac{261,25 \cdot 1}{40} = 6,53 \text{ А}$$

Выбираем реле РТ 40/10 с пределом уставок 5-10 А и параллельным соединением катушек.

### 3.4. Защита от понижения напряжения.

Аналогично асинхронному двигателю.

## 4. Релейная защита трансформатора ГПП.

### 4.1 Максимальная токовая защита от КЗ.

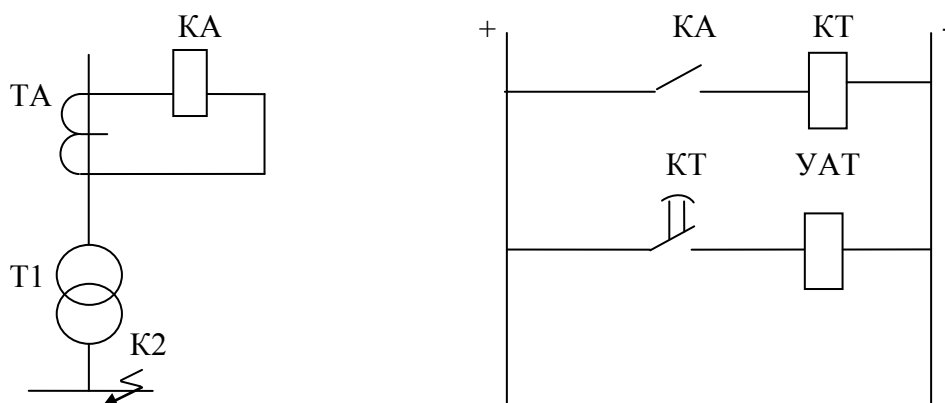


Рис. 16. Схема максимальной токовой защиты.

Ток срабатывания защиты определяем по формуле

$$I_{сз} \geq \frac{K_{отс} \cdot K_{сзп}}{K_B} \cdot I_{ном}$$

$K_{отс} = 1,2$  – коэффициент отстройки,  $K_{сзп} = 2,5$  – коэффициент самозапуска,  $K_B = 0,8$  – коэффициент возврата.

$$I_{ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 52 \text{ А}$$

$$I_{сз} \geq \frac{1,2 \cdot 2,5}{0,8} \cdot 52 = 197 \text{ А}$$



$$I_{cp} = \frac{I_{c3} \cdot K_{cx}}{n_{Ta}} = \frac{197 \cdot 1}{20} = 9,85 \text{ A}$$

Выбираем реле РТ 40/20 с пределом уставок 5-10А и последовательным соединением катушек.

Проверяем защиту на чувствительность к двухфазным коротким замыканиям на стороне низкого напряжения

$$k_{ч} = \frac{I_{min}^{(2)'}}{I_{c3}}, \text{ где}$$

$I_{min}^{(2)'}$  - двухфазное короткое замыкание на стороне низкого напряжения, приведенное к стороне высокого напряжения.

$I_{min}^{(2)}$  - Принимается по таблице 3.

$n_{T1}$  – коэффициент трансформации защищаемого трансформатора ГПП.

$$I_{min}^{(2)'} = \frac{I_{min}^{(2)}}{n_{T1}} = \frac{4500}{18,33} = 245 \text{ A}$$

$$k_{ч} = \frac{245}{197} = 1,24$$

Если  $k_{ч} > 1,5$ , то оставляем МТЗ, если  $k_{ч} < 1,5$ , т.е. защита по чувствительности не проходит, устанавливаем МТЗ с пуском по напряжению.

#### 4.2 Максимальная токовая защита с пуском по напряжению.

Ток срабатывания защиты выбираем по формуле

$$I_{c3} \geq \frac{K_{отс}}{K_B} \cdot I_{ном}$$

Напряжение срабатывания защиты выбираем по формуле

$$U_{c3} = 0,5 \cdot U_{ном}$$

$$I_{c3} \geq \frac{1,2}{0,8} \cdot 52 = 78 \text{ A}$$

$$U_{c3} = 0,5 \cdot 6 = 3 \text{ кВ}$$

$$I_{cp} = \frac{I_{c3} \cdot K_{cx}}{n_{TA}} = \frac{73 \cdot 1}{20} = 3,9 \text{ A}$$

Выбираем реле РТ 40/10 с последовательным соединением катушек и пределом уставок 2,5-5 А.

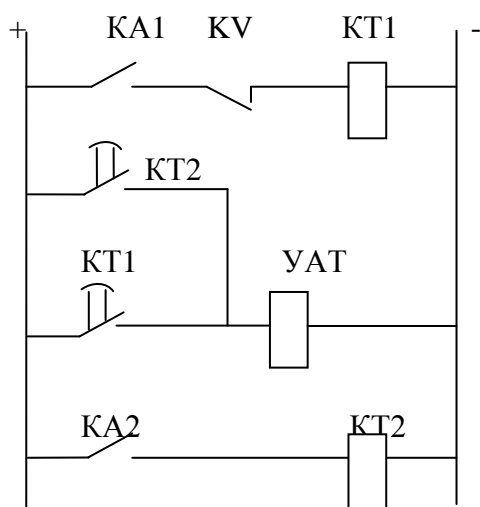
$$U_{cp} = \frac{U_{c3}}{n_{TV}} = \frac{3000}{\frac{6000}{100}} = 50 \text{ В}, \text{ где}$$

$n_{TV}$  – коэффициент трансформации трансформатора напряжения.

Выбираем реле РН 54/160 с пределом уставок 40-160.

### 4.3. Защита от перегрузки.

Устанавливаем максимальную токовую защиту на реле КА2 и реле времени КТ2



Ток срабатывания защиты

$$I_{сз} \geq \frac{K_{отс}}{K_B} \cdot I_{ном}$$

$$I_{сз} \geq \frac{1,05}{0,8} \cdot 52 = 68,25 \text{ A}$$

Ток срабатывания реле

$$I_{ср} = \frac{I_{сз} \cdot K_{сх}}{\eta_{та}} = \frac{68,25 \cdot 1}{20} = 3,41 \text{ A}$$

Рис. 17. Схема МТЗ с пуском по напряжению и МТЗ от перегрузки.

Выбираем реле РТ 40/10 С последовательным соединением катушек и пределом уставок 2,5-5 А

### 4.4. Токовая отсечка.

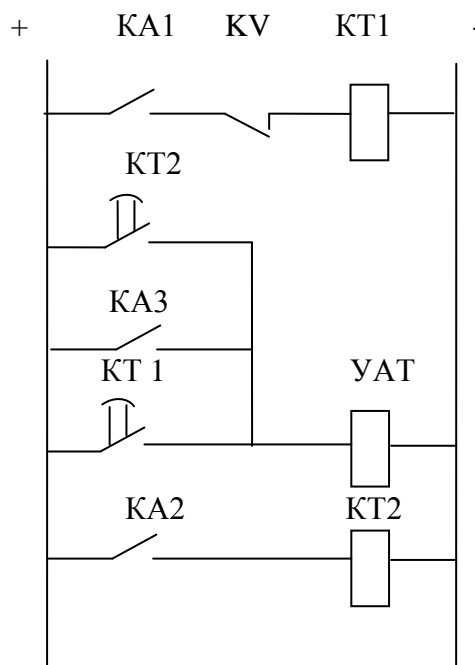
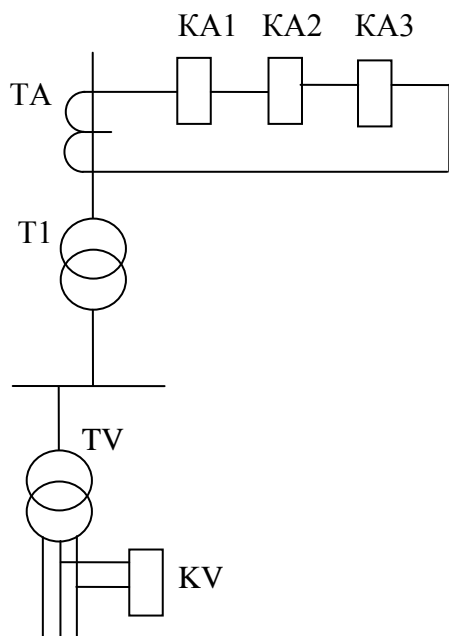


Рис. 18. Схема МТЗ с пуском по напряжению, МТЗ от перегрузки и токовой отсечки.

Ток срабатывания отсечки определяем по формуле

$$I_{co} \geq K_{отс} \cdot I_{max}^{(3)'} = 1,4 \cdot 780 = 1092 \text{ A}$$

$k_{отс} = 1,4$  - коэффициент отстройки,  $I_{max}^{(3)'}$  - максимальный ток трёхфазного КЗ на стороне низкого напряжения, приведенный к стороне высокого напряжения.

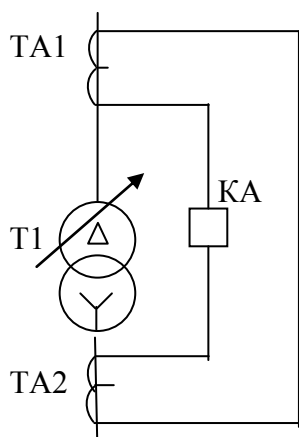
$$I_{max}^{(3)'} = \frac{I_{max}^{(2)}}{n_{T1}} = \frac{14360}{18,33} = 780 \text{ А}$$

$n_{T1}$  - коэффициент трансформации защищаемого трансформатора ГПП.

$$I_{cp} = \frac{I_{сз} \cdot k_{сх}}{n_{ТА}} = \frac{1092 \cdot 1}{20} = 54,6 \text{ А}$$

Выбираем реле РТ 40/200 с последовательным соединением катушек и пределом уставок 50-100 А.

#### 4.5. Дифференциальная защита трансформатора ГПП.



Рассчитываем ток небаланса

$$I_{нб} = I'_{нб} + I''_{нб} + I'''_{нб}$$

$$I'_{нб} = k_{одн} \cdot k_{апериод} \cdot \varepsilon \cdot I_{max}^{(3)'}$$

$k_{одн} = 1$  - коэффициент однотипности;  $k_{апериод}$  - коэффициент апериодической составляющей;  $\varepsilon = 0,1$  - относительная

Рис.19. Схема ДЗТ.

погрешность трансформатора тока;  $I_{max}^{(3)'}$  - приведенный ток максимального короткого замыкания со стороны низкого напряжения к стороне высокого напряжения защищаемого трансформатора.

$$I_{max}^{(3)'} = \frac{I_{max}^{(3)}}{n_T} = \frac{12100}{18,33} = 660 \text{ А}$$

$$I'_{нб} = 1 \cdot 1 \cdot 0,1 \cdot 660 = 66 \text{ А}$$

$$I''_{нб} = \Delta U_{рпн*} \cdot I_{max}^{(3)'} = 0,16 \cdot 660 = 105,6 \text{ А}$$

$\Delta U_{рпн*}$  для трансформаторов с ВН 110 кВ равно 0,16 (для трансформаторов с ВН 35 кВ 0,09).

$I'''_{нб}$  предварительно равно нулю, т.к. не выбрано реле дифференциальной защиты.

$$I_{нб} = 66 + 105,6 + 0 = 171,6 \text{ А}$$

$$I_{сз} \geq k_{отс} \cdot I_{нб} = 1,3 \cdot 171,6 = 223,08 \text{ А, где}$$

$$k_{отс} = 1,3.$$

Вторичные токи в плечах защиты

Таблица 6

	ВН	НН
$I_{\text{ном}}$	52	962
Коэффициент трансформации ТТ	100/5	1000/5
Схема соединения ТТ	$\Delta$	Y
Вторичный ток $I_2$ , А	4,5	4,81

$$I_2 = \frac{I_1 \cdot k_{\text{сх}}}{\eta_{\text{та}}} = \frac{52 \cdot \sqrt{3}}{20} = 4,5 \text{ А}$$

$$I_{2\text{НН}} = \frac{962 \cdot 1}{200} = 4,81 \text{ А}$$

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{min}}^{(2)'}}{I_{\text{сз}}} = \frac{245}{223,08} = 1,098$$

$$I_{\text{min}}^{(2)'} = \frac{I_{\text{min НН}}^{(2)}}{n_{\text{T}}} = \frac{4500}{\frac{110}{6}} = 0,245 = 245 \text{ А}$$

Если  $k_{\text{ч}} > 2$ , рассчитываем дифференциальную защиту на РНТ-565, если  $k_{\text{ч}} < 2$ , то на ДЗТ-11.

#### 4.5.1. Расчет дифференциальной защиты на реле РНТ-565.

№	Наименование	Расчет
---	--------------	--------

1	Ток срабатывания реле $I_{cp} = \frac{I_{c3} * K_{cx}}{n_{TA}}$	$I_{cp} = \frac{223,08 * \sqrt{3}}{100/5} = 19,3$
2	Рассчитываем число витков реле ДЗ на неосновной стороне (неосновная сторона - сторона ВН, основная – сторона НН) $\omega_{неосн\ расч} = \frac{F}{I_{cp}}, \text{ где}$ F – стандартное значение = 100 А*витков	$\omega_{неосн\ расч} = \frac{100}{19,3} = 5,2 \text{ витка}$
3	Стандартное число витков на неосновной стороне принимаем ближайшее целое наименьшее число	$\omega_{неосн\ ст} = 5 \text{ ВИТКОВ}$
4	Уточняем ток срабатывания реле на неосновной стороне $I_{cp} = \frac{F}{\omega_{неосн\ ст}}$	$I_{cp} = \frac{100}{5} = 20 \text{ А}$
5	Пересчитываем ток срабатывания защиты $I_{c3} = \frac{I_{cp} * n_{TA}}{K_{cx}}$	$I_{c3} = \frac{20 * 100/5}{\sqrt{3}} = 231 \text{ А}$
6	Считаем ток срабатывания защиты на основной стороне $I_{c3\ осн} = I_{c3\ неосн} * n_T$	$I_{c3\ осн} = 231 * 110/6 = 4235 \text{ А}$
7	$\omega_{осн\ расч} = \frac{\omega_{неосн\ ст} * I_{2\ неосн}}{I_{2\ осн}}$	$\omega_{осн\ расч} = \frac{5 * 4,5}{4,81} = 4,7 \text{ ВИТКОВ}$
8	За $\omega_{осн\ ст}$ принимаем ближайшее целое	$\omega_{осн\ ст} = 5 \text{ ВИТКОВ}$
9	$I_{нб}''' = \frac{ \omega_{осн\ расч} - \omega_{осн\ ст} }{\omega_{осн\ расч}} * I_{max}^{(3)}$	$I_{нб}''' = \frac{ 4,7 - 5 }{4,7} * 660 = 42,1 \text{ А}$
10	$I_{нб} = I_{нб}' + I_{нб}'' + I_{нб}'''$	$I_{нб} = 66 + 105,6 + 42,1 = 213,7 \text{ А}$
11	$I_{c3} = K_{отс} * I_{нб}$	$I_{c3} = 1,3 * 213,7 = 277,8 \text{ А}$

Сравниваем полученное значение пункта 11 со значением пункта 5

$$277,8 > 231$$

Если значение в пункте 11 меньше чем в пункте 5, то расчет останавливаем, если больше, то производим 2-ю итерацию.

12	$I_{cp} = \frac{I_{c3} * K_{cx}}{\eta_{TA}}$	$I_{cp} = \frac{277,8 * \sqrt{3}}{100/5} = 24,06 \text{ А}$
13	$\omega_{неосн\ расч} = \frac{F}{I_{cp}}$	$\omega_{неосн\ расч} = \frac{100}{24,06} = 4,2 \text{ витка}$
14	$\omega_{неосн\ ст}$	$\omega_{неосн\ ст} = 4 \text{ витка}$
15	$I_{cp} = \frac{F}{\omega_{неосн\ ст}}$	$I_{cp} = \frac{100}{4} = 25 \text{ А}$
16	$I_{c3} = \frac{I_{cp} * \eta_{TA}}{K_{cx}}$	$I_{c3} = \frac{25 * 100/5}{\sqrt{3}} = 288,7$
17	$I_{c3\ осн} = I_{c3\ неосн} * \eta_T$	$I_{c3\ осн} = 288,7 * 110/6 = 5292,8 \text{ А}$
18	$\omega_{осн\ расч} = \frac{\omega_{неосн\ ст} * I_{2\ неосн}}{I_{2\ осн}}$	$\omega_{осн\ расч} = \frac{4 * 4,5}{4,81} = 3,7$
19	$\omega_{осн\ ст}$	$\omega_{осн\ ст} = 4 \text{ витка}$
20	$I_{нб}''' = \frac{ \omega_{осн\ расч} - \omega_{осн\ ст} }{\omega_{осн\ расч}} * I_{max}^{(3)}$	$I_{нб}''' = \frac{ 3,7 - 4 }{3,7} * 660 = 53,5 \text{ А}$
21	$I_{нб} = I_{нб}' + I_{нб}'' + I_{нб}'''$	$I_{нб} = 66 + 105,6 + 53,5 = 225,1 \text{ А}$
22	$I_{c3} = K_{отс} * I_{нб}$	$I_{c3} = 1,3 * 225,1 = 282,7 \text{ А}$

$$282,7 < 288,7$$

следовательно расчет остановлен

#### 4.5.2. Расчет дифференциальной защиты на реле ДЗТ – 11.

№	Наименование	Расчет
---	--------------	--------

1	Ток срабатывания реле на стороне ВН $I_{cp} = \frac{1,5 * I_{ном\ ВН} * K_{сх}}{n_{ТА}}$	$I_{cp} = \frac{1,5 * 52,5 * \sqrt{3}}{100/5} = 6,82 \text{ А}$
2	Число витков на неосновной стороне $\omega_{неосн\ расч} = \frac{F}{I_{cp}}$	$\omega_{неосн\ расч} = \frac{100}{6,82} = 14,66 \text{ ВИТКОВ}$
3	$\omega_{неосн\ ст}$	$\omega_{неосн\ ст} = 14 \text{ ВИТКОВ}$
4	Число витков на основной стороне $\omega_{осн\ расч} = \frac{\omega_{неосн\ расч} * I_{ном\ ВН}}{I_{ном\ НН}}$	$\omega_{осн\ расч} = \frac{14,66 * 52,5}{963} = 0,86$
5	$\omega_{осн\ ст}$	$\omega_{осн\ ст} = 1 \text{ ВИТОК}$
6	$\omega_T = \left( \varepsilon + \Delta U + \frac{ \omega_{осн\ ст} - \omega_{осн\ расч} }{\omega_{осн\ расч}} \right) * \frac{1,5 * \omega_{осн\ ст}}{\tan \alpha}$	$\omega_T = \left( 0,1 + 0,16 + \frac{ 1 - 0,8 }{0,8} \right) * \frac{1,5 * 1}{0,75} = 1,02 \text{ ВИТКА}$
7	Принимаем стандартное значение тормозной обмотки ближайшее большее целое число	$\omega_{T\ ст} = 2 \text{ ВИТКА}$
8	Считаем ток через реле при минимальном 2-х фазном КЗ на стороне НН $I_{p\ min} = \frac{I_{min}^{(2)'}_{к2\ сист}}{n_{ТА}}$ $I^{(2)'} = I^{(2)}/n_T$	$I_{p\ min} = \frac{4500/(110/6)}{20} = 12,8 \text{ А}$
9	$K_{ч} = \frac{I_{p\ min} * \omega_{неосн\ ст}}{100}$	$K_{ч} = \frac{12,28 * 14}{100} = 1,72$

ДЗТ – 11 по чувствительности не проходит, т.к. не соблюдается  $K_{ч} > 2$

## 5. Релейная защита трансформатора цеховой трансформаторной подстанции.

Основной тип защиты – газовая, но ее рассчитывать не надо.

### 5.1. Защита от КЗ.

Рассчитываем МТЗ на стороне высокого напряжения на реле КА1.

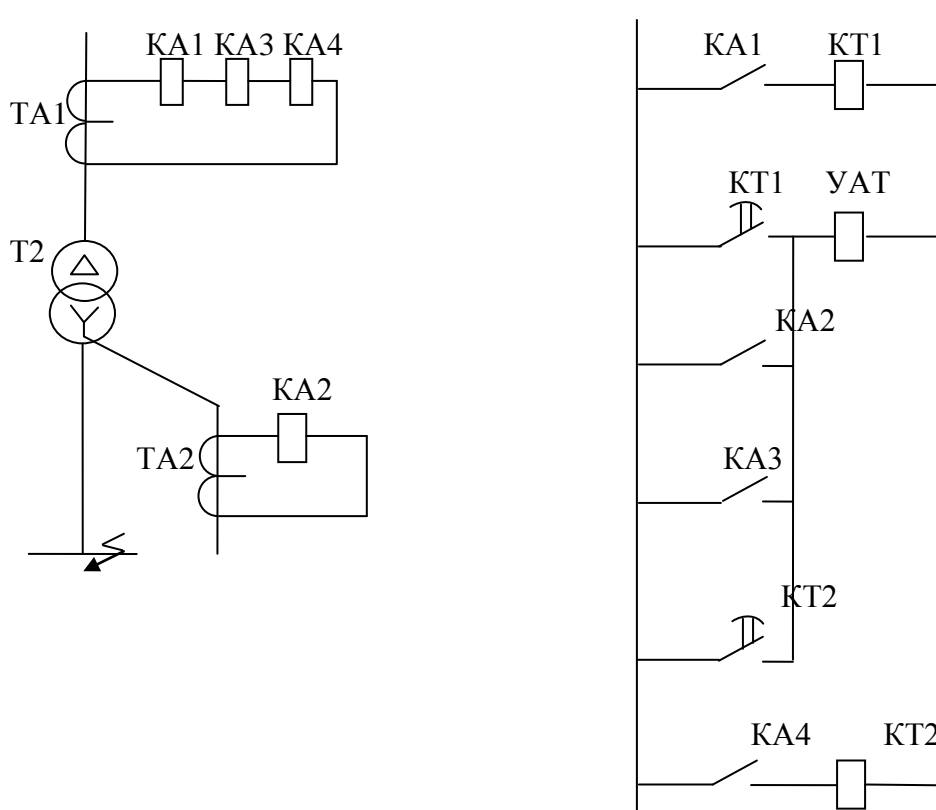


Рис.20. Схема релейной защиты.

Уставки МТЗ рассчитываются двумя способами

1 способ:

$$I_{сз} \geq \frac{K_{отс} \cdot K_{сзп}}{K_B} \cdot I_{НОМ}$$

$$I_{НОМ} = \frac{S_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = \frac{1}{\sqrt{3} \cdot 6} = 96,25 \text{ A}$$

$$I_{сз} = \frac{1,2 \cdot 2,5}{0,8} \cdot 96,25 = 360,94 \text{ A}$$

$$I_{ср} = \frac{I_{сз} \cdot K_{сх}}{\eta_{ТА}} = \frac{360,94 \cdot 1}{100/5} = 18,05 \text{ A}$$

2 способ:

$$I_{сз} \geq K_{отс} (I_{раб \max} + K_{сзп} \cdot I_{раб \max})$$

$$I_{раб \max} = 0,7 \cdot I_{НОМ} = 0,7 \cdot 96,25 = 67,38 \text{ A}$$

$$I_{сз} = 1,2(67,38 + 2,5 \cdot 67,38) = 283 \text{ A}$$

Сравниваем два  $I_{сз}$ , за основу берем максимальное значение,  $I_{сз} = 360,94 \text{ A}$



Выбираем РТ 40/50 с пределом уставок 12,5 – 25 А и с последовательным соединением обмоток.

Проверяем чувствительность выбранной защиты на двухфазное КЗ на стороне низкого напряжения.

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{min КЗ}}^{(2)'}}{I_{\text{сз}}}$$

$$I_{\text{min КЗ}}^{(2)' } = \frac{I_{\text{min КЗ}}^{(2)}}{\eta_{\text{ТА}}} = \frac{18,22}{6/0,4} = 1,21 \text{ кА}$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{1,21 * 10^3}{360,94} = 3,35$$

$K_{\text{ч}} > 1,5$  , следовательно защита по чувствительности проходит.

Проверка на чувствительность к однофазному КЗ на стороне низкого напряжения

$$I^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{1}{3}Z_{\text{T}}} = \frac{230}{0,009} = 25555,56 \text{ А}$$

$Z_{\text{T}}$  выбираем из методички №748 на стр. 31 табл. 4.3

$$U_{\phi} = U_{\text{л}}/\sqrt{3} = 0,4/\sqrt{3} = 230 \text{ В}$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{I^{(1)'}}{I_{\text{сз}}}$$

$$I^{(1)' } = \frac{I^{(1)}}{n_{\text{ТА}}} = \frac{25555,56}{6/0,4} = 1703,7 \text{ А}$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{1703,7}{360,94} = 4,72$$

$4,72 > 1,5$  , следовательно защита по чувствительности проходит

Если защита по чувствительности на однофазное КЗ не прошла, то устанавливаем специальную защиту нулевой последовательности в нулевой провод трансформатора на реле КА2.

$$I_{\text{сз}} = 0,5 * I_{\text{НОМ НН}}$$

$$I_{\text{НОМ НН}} = \frac{S}{\sqrt{3} U_{\text{НОМ}}} = \frac{1}{\sqrt{3} * 0,4} = 1443 \text{ А}$$

$$I_{\text{сз}} = 0,5 * 1443 = 721,5 \text{ А}$$

$$I_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{сз}} * K_{\text{СХ}}}{\eta_{\text{ТА}}} = \frac{721,5 * 1}{1500/5} = 2,4 \text{ А}$$

Выбираем РТ 40/6 с последовательным соединением катушек с пределом уставок 1,5 – 3 А

Если МТЗ не прошла по чувствительности на двухфазное КЗ то устанавливают токовую отсечку на реле КА3.

$$I_{co} \geq K_{отс} * I_{max\ кз}^{(3)}$$

$$I_{max\ кз}^{(3)} = \frac{23,09}{15} = 1,54 \text{ кА}$$

$$I_{co} = 1,4 * 1,54 = 2160 \text{ А}$$

$$I_{cp} = \frac{I_{co} * K_{сх}}{\eta_{ТА}} = \frac{2160 * 1}{100/5} = 108 \text{ А}$$

Выбираем РТ 40/200 с параллельным соединением катушек и с пределом уставок 100-200 А

$$K_q = \frac{I_{min\ К2\Sigma}^{(2)}}{I_{co}} \geq 2$$

$$K_q = \frac{6,46 * 10^3}{2160} = 2,99$$

2.99 > 2 , следовательно защита проходит по чувствительности

## 5.2. Защита от перегрузки.

Устанавливаем МТЗ на реле КА4.

$$I_{сз} \geq \frac{K_{отс}}{K_B} * I_{ном\ ВН} = \frac{1,05}{0,8} * 96,25 = 126,33 \text{ А}$$

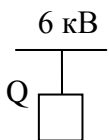
$$I_{cp} = \frac{I_{сз} * K_{сх}}{\eta_{ТА}} = \frac{126,33 * 1}{100/5} = 6,32 \text{ А}$$

Выбираем РТ 40/20 с последовательным соединением катушек и с пределом уставок 5 – 10 А

## 6. Расчетная проверка трансформатора тока.

### 6.1. Проверка на десятипроцентную погрешность.

Принимаем за основу рассчитанную ранее релейную защиту асинхронного двигателя.



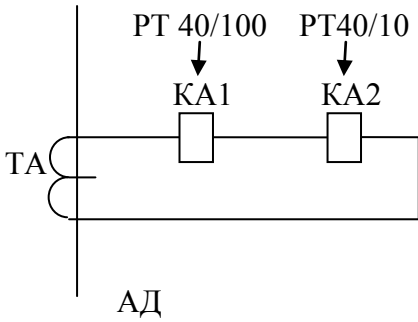


Рис. 21. Релейная защита АД.

Трансформатор тока был соединен в неполную звезду. Формулы для расчета вторичной нагрузки принимают на стр. 39 методички №748 в табл. 6.1. для трехфазных КЗ.

$$Z_{н\text{ расч}} = \sqrt{3} \cdot Z_{пр} + Z_p + Z_{пер}$$

$$Z_{пр} = \frac{\rho \cdot l}{S_{\min}}, \text{ где}$$

$\rho = 0,00175$ ;  $l = 35$  м;  $S = 2,5$  мм<sup>2</sup> (принимаем из методички на стр.40 методички №748)

$$Z_{пр} = \frac{0,00175 \cdot 35}{2,5} = 0,25 \text{ Ом}$$

$$Z_{реле} = \frac{S}{I_2^2}$$

$$Z_{реле\ 1} = \frac{10}{5^2} = 0,4 \text{ Ом}$$

$$Z_{реле\ 2} = \frac{8}{5^2} = 0,32 \text{ Ом}$$

$$Z_{реле\ общ} = 0,72 \text{ Ом}$$

$$Z_{пер} = 0,1 \text{ Ом}$$

$$Z_{н\text{ расч}} = \sqrt{3} \cdot 0,25 + 0,72 + 0,1 = 1,25 \text{ Ом}$$

Коэффициент предельной кратности:

$$K_{10} = \frac{I_{со}}{I_{1\text{ ТА}}} = \frac{1809}{300} = 6,03$$

На странице 48 даны сопротивления  $K_{10}$ , наша кривая – 1. Из графика  $Z_{доп} = 1,5$  Ом

$$Z_{расч} < Z_{доп}$$

Трансформатор тока удовлетворяет требованиям десятипроцентной погрешности.

## 6.2. Проверка точности работы реле при максимальном токе короткого замыкания.

$$A = \frac{K_{\max}}{K_{10 \text{ доп}}}; K_{\max} = \frac{I_{1 \text{ кз}}}{I_{\text{ном}}}$$

$$K_{\max} = \frac{14,36}{300} = 47,87$$

$$A = \frac{47,87}{6,03} = 7,94$$

На странице 42 в методичке 748 по рисунку 6.1 находим значение погрешности для коэффициента А.

$$f = 79\%$$

79% > 50%, необходимо увеличить первичный номинальный ток. Берем трансформатор 1000/5, следовательно А=24, f = 49%.

### 6.3. Проверка на максимальное значение напряжения на выводах вторичной обмотки трансформатора тока.

$$U_{2\max} = \sqrt{2} \cdot K_{\max} \cdot I_{2 \text{ ном}} \cdot Z_{\text{расч}}$$

$$U_{2\max} = \sqrt{2} \cdot 14,36 \cdot 5 \cdot 1,25 = 126,93 \text{ В}$$

$U_{2\max}$  оказалось меньше допустимого значения напряжения равного 1000 В.

### 6.4. Проверка на максимальное значение тока во вторичной обмотке трансформатора тока.

$$I_{2\max} = \frac{I_{\max \text{ к2}}^3 \cdot K_{\text{сх}}}{\eta_{\text{та}}} = \frac{14,36^3 \cdot 1}{200} = 71,8 \text{ А}$$

$$I_{2\max} < \text{допустимого тока } 150 \text{ А.}$$

## 7. Построение карты селективности.

Максимальные токовые защиты от перегрузок.

Таблица. 6

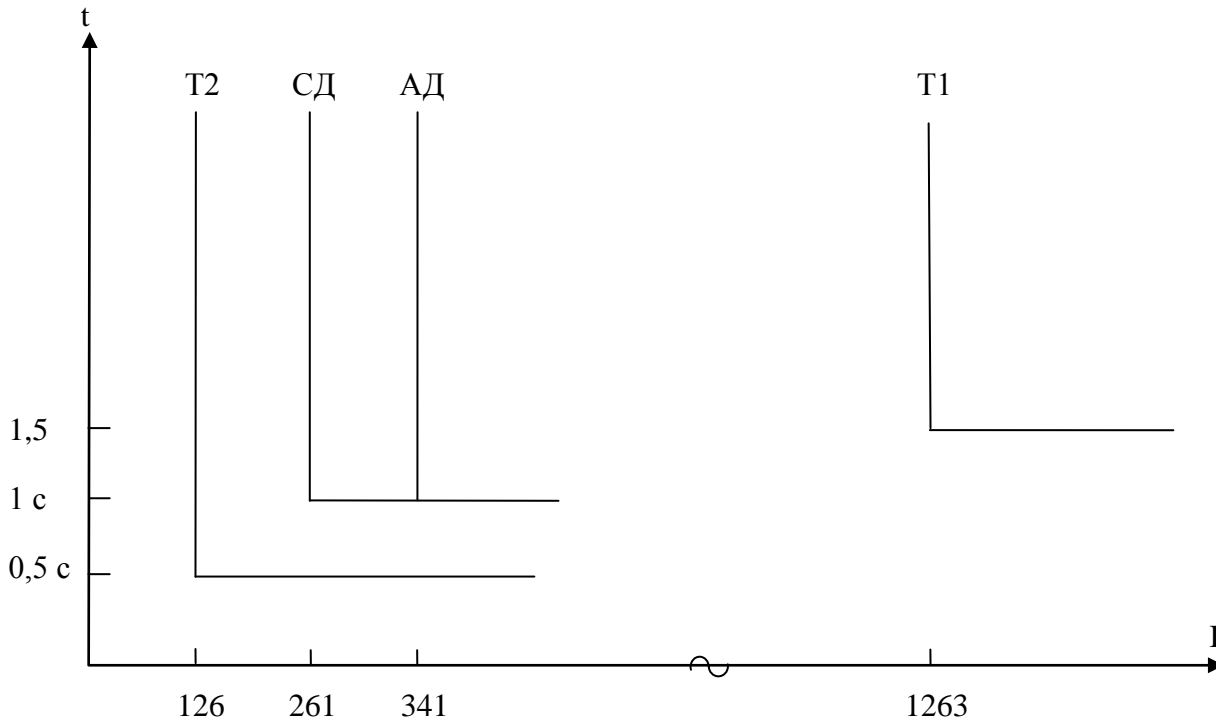
T <sub>2</sub>	АД	СД	T <sub>1</sub>
----------------	----	----	----------------

126,3 А	341 А	261,25 А	68,9 А
---------	-------	----------	--------

6 кВ
110 кВ

Все токи приводим к напряжению 6 кВ.

$$68,9 \cdot n_{T1} = 68,9 \cdot 110 / 6 = 68,9 \cdot 18,33 = 1263 \text{ А}$$



Токовые отсечки от КЗ.

Таблица. 7

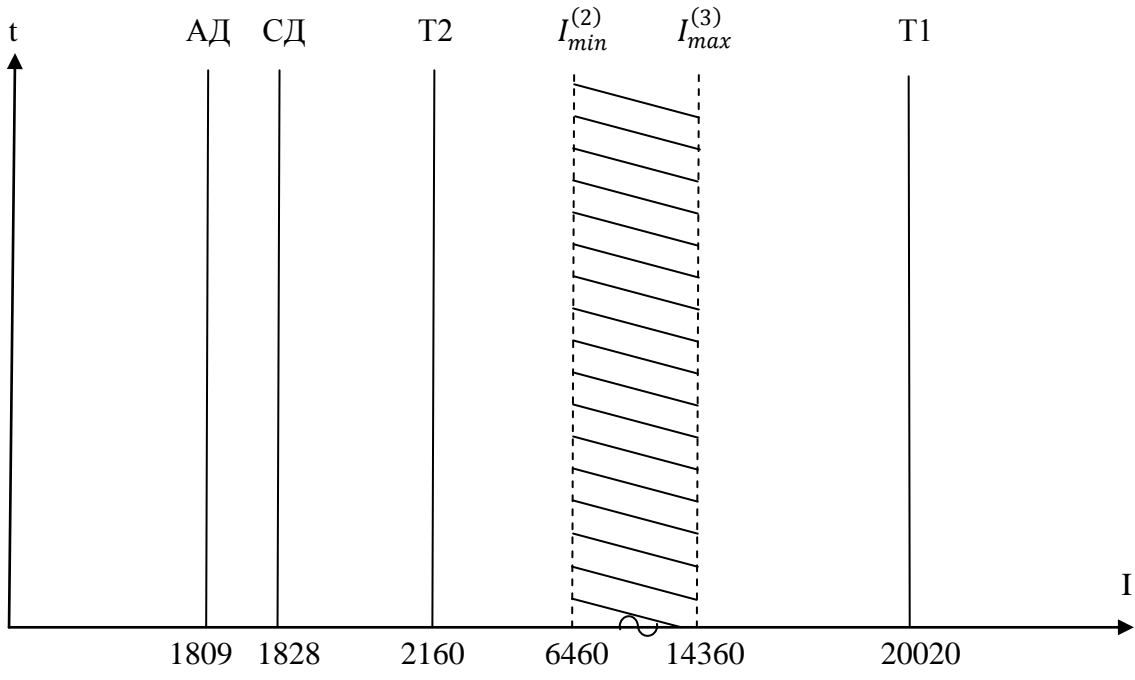
T <sub>2</sub>	АД	СД	T <sub>1</sub>
2160 А	1809 А	1828,8 А	1092 А

6 кВ
110 кВ

$$1092 \cdot n_{T1} = 1092 \cdot 110 / 6 = 1092 \cdot 18,33 = 20020 \text{ А}$$

$$I_{\min \text{ К}2\Sigma}^{(2)} = 6460 \text{ А}$$

$$I_{\max \text{ К}2\Sigma}^{(3)} = 14360 \text{ А}$$



## Содержание

1. Расчет токов КЗ	6
2. Релейная защита асинхронного двигателя.	11
3. Релейная защита синхронного двигателя	15
4. Релейная защита трансформатора ГПП.	16
5. Релейная защита трансформатора цеховой трансформаторной подстанции	23
6. Расчетная проверка трансформатора тока.	26
7. Построение карты селективности	28

Учебное издание

## ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ СИЛОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Методические указания по практическим занятиям,  
контрольным и курсовой работам

Составители:

Лагуткин Олег Евгеньевич

Ползиков Михаил Николаевич

Редактор

Подписано в печать

Формат 60\*84 1/16

Бумага «SvetoCory». Отпечатано на ризографе.

Усл.печ.л. . Уч.изд.л. .

Тираж 50 экз. Заказ №

ГОУ ВПО «Российский химико-технологический университет  
им.Д.И.Менделеева»,

Новомосковский институт (филиал). Издательский центр.

Адрес университета: 125047, Москва, Миусская пл., 9.

Адрес института: 301650, Новомосковск, Тульская обл., ул.Дружбы, 8.