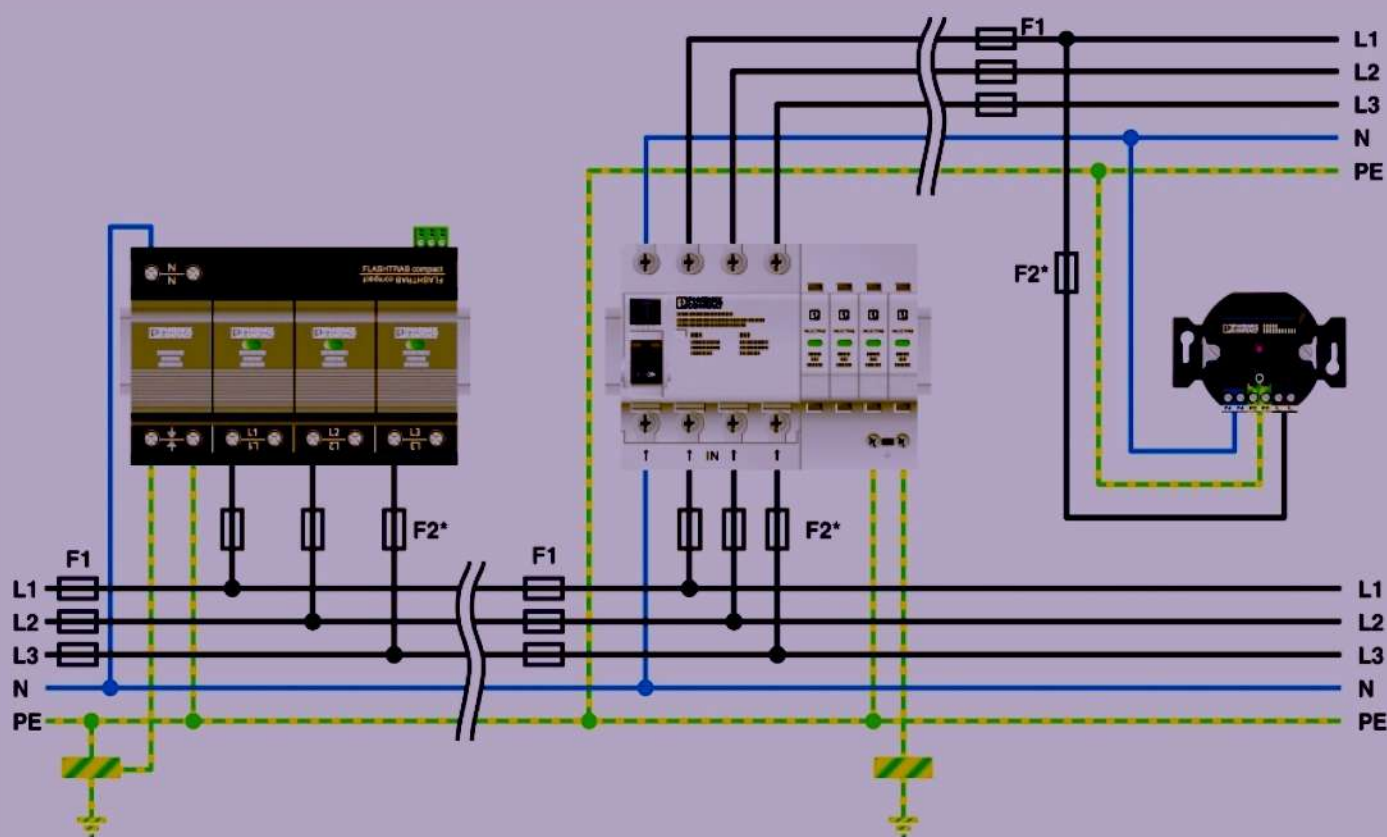


Л.М. Четошникова

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ



Л.М. Четошникова

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Методические указания

Челябинск
Издательский центр ЮУрГУ
2013

УДК 621.316.925(075.8)
Ч535

*Одобрено
учебно-методической комиссией
электротехнического факультета филиала ЮУрГУ в г. Миассе*

Рецензент Г.С. Валеев

Релейная защита в системах электроснабжения: методические указания к выполнению курсовой работы / сост. Л.М. Четош-
Ч535 никова – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – 70 с.

Методические указания предназначены для студентов направления 140400 «Электроэнергетика и электротехника» всех форм обучения при изучении курса «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем». Содержат подробную методику расчета защит элементов систем электроснабжения, выбор устройств релейной защиты. В приложении к методическим указаниям приведены варианты заданий с исходными данными для расчетов и справочный материал.

УДК 621.316.925(075.8)

© Издательский центр ЮУрГУ, 2013

ВВЕДЕНИЕ

1. Схема распределительной сети электрической энергии промышленного предприятия и виды его нагрузки приведены на рис. 1. С шин системных подстанций А и Б электрическая энергия по линиям высокого напряжения (Л1...Л4) поступает на секционированные шины В главной понижающей подстанции предприятия (ГПП), с них через трансформаторы Т1 и Т2 часть электрической энергии подается через выключатели Q13 и Q14 другим потребителям. Далее трансформируемая энергия на напряжении 10 кВ подается через кабельные линии (Л5, Л6) на распределительные (цеховые) пункты (РП1, РП2), с которых осуществляется питание конкретных потребителей:

- высоковольтных двигателей – Д;
- низковольтных двигателей – М;
- конденсаторных батарей – БСК;
- дуговых сталеплавильных печей – ДСП через их трансформаторы Т5;
- преобразовательных полупроводниковых агрегатов – ППА с трансформаторами Т6.

Исходные данные по вариантам для выполнения курсовой работы приведены в приложении (таблицы П1–П5).

2. Выполнение задания начинается с выбора типов защит всех элементов приведенной схемы (рис. 1) в соответствии с ПУЭ. Выбранные защиты указываются на схеме.

3. Расчет токов короткого замыкания. Токи короткого замыкания для характерных точек схемы (шины подстанций, РП и т.д.) являются исходными данными для выбора тока срабатывания защит и определения коэффициентов чувствительности защит. Расчет токов КЗ может производиться как в относительных, так и в именованных единицах.

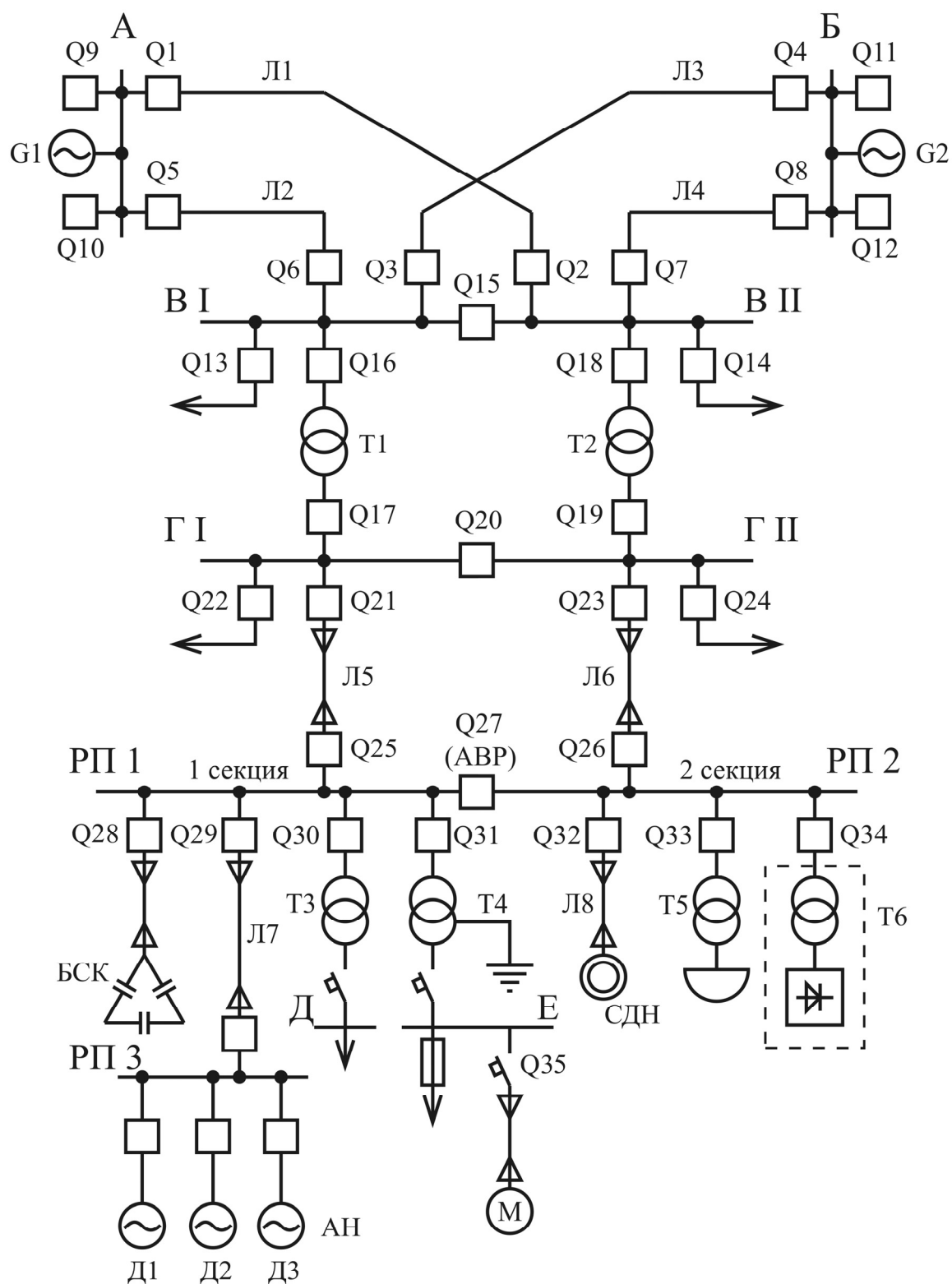


Рис. 1. Схема для расчета релейной защиты СЭС промышленного предприятия

1. РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Величина токов короткого замыкания влияет на значение тока срабатывания ряда защит, кроме того, они необходимы для вычисления коэффициентов чувствительности выбранных защит.

Необходимо определить значение токов КЗ на шинах А, Б, В, Г, РП, в максимальном и минимальном режимах сети. Для максимального режима достаточно иметь токи трехфазного КЗ, для минимального – токи двухфазного КЗ.

Величина токов КЗ определяется для следующих режимов:

- в максимальном режиме все линии и трансформаторы включены на параллельную работу, секционные выключатели отключены;
- в минимальном режиме отключены линии Л2 и Л4, секционные выключатели отключены;
- в минимальном режиме отключены линии Л2 (Л4), секционный выключатель включен.

При расчете токов КЗ мощности короткого замыкания систем 1 и 2 считаются бесконечными, т. е. не учитывается изменение тока КЗ во времени. При расчетах принимается среднее значение напряжения сети: $U_{cp1} = 37$ кВ, 115 кВ, 230 кВ и $U_{cp2} = 10,5$ кВ.

Для определения величин токов КЗ следует сначала определить сопротивление элементов схемы. Расчет производится в относительных единицах при $S_B = 1000$ МВА.

1.1. Расчет сопротивлений элементов схемы

Удельное индуктивное сопротивление воздушных линий Л1, Л2, Л3 и Л4 принимается $x_{ол1} = x_{ол2} = x_{ол3} = x_{ол4} = 0,4$ Ом/км, активным сопротивлением пренебрегают.

Сопротивление воздушных линий Л1 и Л2:

$$x_1 = x_2 = \frac{x_0 \cdot l_1 \cdot S_\sigma}{U_{cp.1}^2},$$

здесь l_1 – длина линии Л1, Л2, км;

S_B – базисная мощность, МВА;

U_{CP1} – среднее напряжение линий Л1 и Л2, кВ.

Сопротивление воздушных линий Л3 и Л4:

$$x_3 = x_4 = \frac{x_0 \cdot l_3 \cdot S_{\bar{o}}}{U_{cp.1}^2}.$$

Удельное индуктивное сопротивление x_0 и удельное активное сопротивление r_0 кабельных линий выбирается по марке кабеля.

Индуктивное сопротивление кабельных линий:

$$x_l = \frac{x_0 \cdot l \cdot S_{\bar{o}}}{U_{cp.2}^2}.$$

Активное сопротивление кабельных линий:

$$r_l = \frac{r_0 \cdot l \cdot S_{\bar{o}}}{U_{cp.2}^2}.$$

Сопротивление трансформатора:

$$x_{T1} = x_{T2} = \frac{U_k \% \cdot S_{\bar{o}}}{100 \cdot S_{T1}},$$

здесь $U_k\%$ – напряжение КЗ трансформатора, %;

S_{T1} – номинальная мощность трансформатора T1, T2, МВА.

Расчет сопротивлений систем в минимальном и максимальном режимах:

$$x_{C1.max} = \frac{S_{\bar{o}}}{S_{C1.MAX}};$$

$$x_{C1.min} = \frac{S_{\bar{o}}}{S_{C1.MIN}};$$

$$x_{C2.max} = \frac{S_{\bar{o}}}{S_{C2.MAX}};$$

$$x_{C2.min} = \frac{S_{\bar{o}}}{S_{C2.MIN}}.$$

1.2. Расчет величин токов КЗ

Величина токов КЗ определяется для следующих режимов:

- в максимальном режиме все линии и трансформаторы включены на параллельную работу, секционные выключатели отключены;
- в минимальном режиме отключены по одной линии с двух сторон, секционные выключатели отключены;
- в минимальном режиме одна линия отключена, секционный выключатель включен.

Все расчеты сводятся в таблицы.

Таблица 1

Максимальный режим, секционные выключатели отключены

Точка КЗ на шинах подстанции	Искомые величины	Питание со стороны	
		Система G1	Система G2
А	$X_{ЭKB}, \text{о.е.}$	$x_{C1MAX} = \frac{S_B}{S_{K3}}$	$x_{C2MAX} + \frac{x_{Л3}}{2} + \frac{x_{Л2}}{2}$
	$S_{K3}, \text{МВА}$	S_{C1MAX}	$\frac{S_B}{x_{ЭKB}}$
	$I_{K3}, \text{кА}$	$\frac{S_{K3}}{\sqrt{3} \cdot U_{CP1}}$	$\frac{S_{K3}}{\sqrt{3} \cdot U_{CP1}}$
Б	$X_{ЭKB}, \text{о.е.}$	$x_{C1MAX} + \frac{x_{Л4}}{2} + \frac{x_{Л1}}{2}$	$x_{C2MAX} = \frac{S_B}{S_{K3}}$
	$S_{K3}, \text{МВА}$	$\frac{S_B}{x_{ЭKB}}$	S_{C2MAX}
	$I_{K3}, \text{кА}$	$\frac{S_{K3}}{\sqrt{3} \cdot U_{CP1}}$	$\frac{S_{K3}}{\sqrt{3} \cdot U_{CP1}}$
В1с В2с	$X_{ЭKB}, \text{о.е.}$	$x_{C1MAX} + x_{Л2}$	$x_{C2MAX} + x_{Л4}$

Продолжение таблицы 1

	S_{K3}, MBA	$\frac{S_B}{x_{\text{ЭKB1}}}$	$\frac{S_B}{x_{\text{ЭKB2}}}$
	$I_{K3}, \text{кА}$	$\frac{S_{K3}}{\sqrt{3} \cdot U_{CP1}}$	$\frac{S_{K3}}{\sqrt{3} \cdot U_{CP1}}$
Питание одновременно от систем G1 и G2			
B1c B2c	$X_{\text{ЭKB}}, \text{о.е.}$	$\frac{S_B}{S_{K3}}$	
	S_{K3}, MBA	$S_{K31}^B + S_{K32}^B$	
	$I_{K3}, \text{кА}$	$\frac{S_{K3}}{\sqrt{3} \cdot U_{CP1}}$	
Г1с Г2с	$X_{\text{ЭKB}}, \text{о.е.}$	$x_{\text{ЭKB}}^B + x_{T1}$	
	S_{K3}, MBA	$\frac{S_B}{x_{\text{ЭKB}}}$	
	$I_{K3}, \text{кА}$	$I_{K3}^{BH} = \frac{S_{K3}}{\sqrt{3} \cdot U_{CP1}}$ $I_{K3}^{HH} = \frac{S_{K3}}{\sqrt{3} \cdot U_{CP2}}$	
ПП1	$Z_{\text{ЭKB}}, \text{о.е.}$	$\sqrt{\left(x_{\text{ЭKB}}^{\Gamma1c} + \frac{x_{Л5}}{n_{Л5}}\right)^2 + \left(\frac{r_{Л5}}{n_{Л5}}\right)^2}$	
	S_{K3}, MBA	$\frac{S_B}{x_{\text{ЭKB}}}$	
	$I_{K3}, \text{кА}$	$\frac{S_{K3}}{\sqrt{3} \cdot U_{CP2}}$	
ПП2	$Z_{\text{ЭKB}}, \text{о.е.}$	$\sqrt{\left(x_{\text{ЭKB}}^{\Gamma2c} + \frac{x_{Л6}}{n_{Л6}}\right)^2 + \left(\frac{r_{Л6}}{n_{Л6}}\right)^2}$	
	S_{K3}, MBA	$\frac{S_B}{x_{\text{ЭKB}}}$	

Окончание таблицы 1

	$I_{K3}, \text{кА}$	$\frac{S_{K3}}{\sqrt{3} \cdot U_{CP2}}$
РПЗ	$Z_{ЭKB}, \text{о.е.}$	$Z_{ЭKB}^{ПП1} + \sqrt{\left(\frac{x_{Л7}}{n_{Л7}}\right)^2 + \left(\frac{r_{Л7}}{n_{Л7}}\right)^2}$
	$S_{K3}, \text{МВА}$	$\frac{S_B}{x_{ЭKB}}$
	$I_{K3}, \text{кА}$	$\frac{S_{K3}}{\sqrt{3} \cdot U_{CP2}}$
Е	$Z_{ЭKB}, \text{о.е.}$	$\sqrt{\left(x_{ЭKB}^{Г1с} + \frac{x_{Л5}}{n_{Л5} - 1} + X_{T4}\right)^2 + \left(\frac{r_{Л5}}{n_{Л5} - 1}\right)^2}$
	$S_{K3}, \text{МВА}$	$\frac{S_B}{Z_{ЭKB}}$
	$I_{K3}, \text{кА}$	$\frac{S_{K3}}{2 \cdot U_{CP2}}$ $\frac{S_{K3}}{2 \cdot U_{CP3}}$

Таблица 2

Минимальный режим, секционные выключатели отключены,
линии Л2 и Л4 отключены

Точка КЗ на шинах подстанции	Искомые величины	Питание со стороны	
		Система G1	Система G2
А	$X_{ЭKB}, \text{о.е.}$	$x_{C1MIN} = \frac{S_B}{S_{K3}}$	
	$S_{K3}, \text{МВА}$	S_{C1MIN}	
	$I_{K3}, \text{кА}$	$\frac{S_{K3}}{2 \cdot U_{CP1}}$	

Продолжение таблицы 2

Б	$X_{ЭKB}, \text{о.е.}$		$x_{C2MIN} = \frac{S_B}{S_{K3}}$
	S_{K3}, MBA		S_{C2MIN}
	$I_{K3}, \text{кА}$		$\frac{S_{K3}}{2 \cdot U_{CP1}}$
B1c B2c	$X_{ЭKB}, \text{о.е.}$	<u>B2c</u> $x_{C1MIN} + x_{Л1}$	<u>B1c</u> $x_{C2MIN} + x_{Л3}$
	S_{K3}, MBA	$\frac{S_B}{x_{ЭKB}}$	$\frac{S_B}{x_{ЭKB}}$
	$I_{K3}, \text{кА}$	$\frac{S_{K3}}{2 \cdot U_{CP1}}$	$\frac{S_{K3}}{2 \cdot U_{CP1}}$
Г1c Г2c	$X_{ЭKB}, \text{о.е.}$	<u>Г2c</u> $x_{ЭKB}^{B2c} + x_{T2}$	<u>Г1c</u> $x_{ЭKB}^{B1c} + x_{T2}$
	S_{K3}, MBA	$\frac{S_B}{x_{ЭKB}}$	$\frac{S_B}{x_{ЭKB}}$
	$I_{K3}, \text{кА}$	$I_{K3}^{BH} = \frac{S_{K3}}{2 \cdot U_{CP1}}$ $I_{K3}^{HH} = \frac{S_{K3}}{2 \cdot U_{CP2}}$	$I_{K3}^{BH} = \frac{S_{K3}}{2 \cdot U_{CP1}}$ $I_{K3}^{HH} = \frac{S_{K3}}{2 \cdot U_{CP2}}$
РП1 РП2	$Z_{ЭKB}, \text{о.е.}$	<u>РП2</u> $\sqrt{(x_{ЭKB}^{\Gamma2c} + \frac{x_{Л6}}{n_{Л6} - 1})^2 + (\frac{r_{Л6}}{n_{Л6} - 1})^2}$	<u>РП1</u> $\sqrt{(x_{ЭKB}^{\Gamma1c} + \frac{x_{Л5}}{n_{Л5} - 1})^2 + (\frac{r_{Л5}}{n_{Л5} - 1})^2}$
	S_{K3}, MBA	$\frac{S_B}{x_{ЭKB}}$	$\frac{S_B}{x_{ЭKB}}$
	$I_{K3}, \text{кА}$	$\frac{S_{K3}}{2 \cdot U_{CP2}}$	$\frac{S_{K3}}{2 \cdot U_{CP2}}$
РП3	$Z_{ЭKB}, \text{о.е.}$		$Z_{ЭKB}^{РП1} + \sqrt{(\frac{x_{Л7}}{n_{Л7} - 1})^2 + (\frac{r_{Л7}}{n_{Л7} - 1})^2}$

Окончание таблицы 2

	S_{K3} , МВА		$\frac{S_B}{Z_{ЭKB}}$
	I_{K3} , кА		$\frac{S_{K3}}{2 \cdot U_{CP2}}$
Е	$Z_{ЭKB}$, о.е.		$\sqrt{(x_{ЭKB}^{Г1с} + \frac{x_{Л5}}{n_{Л5}-1} + X_{Г3})^2 + (\frac{r_{Л5}}{n_{Л5}-1})^2}$
	S_{K3} , МВА		$\frac{S_B}{Z_{ЭKB}}$
	I_{K3} , кА		$\frac{S_{K3}}{2 \cdot U_{CP2}}$ $\frac{S_{K3}}{2 \cdot U_{CP3}}$

Таблица 3

Минимальный режим (одна линия отключена,
секционный выключатель Q15 включен)

А Q15 ВКЛ, Л4 ОТКЛ	$X_{ЭKB}$	$\frac{S_B}{S_{K3}}$	$x_{C2MIN} + x_{Л3} + \frac{x_{Л1,2}}{2}$
	S_{K3} , МВА	$S_{K3} = S_{K31MIN}$	$\frac{S_B}{x_{ЭKB}}$
	I_{K3} , кА	$\frac{S_{K3}}{2 \cdot U_{CP1}}$	$\frac{S_{K3}}{2 \cdot U_{CP1}}$
Б Q15 ВКЛ, Л2 ОТКЛ	$X_{ЭKB}$	$x_{C1MIN} + x_{Л1} + \frac{x_{Л3,4}}{2}$	$x_{ЭKB}' = \frac{S_B}{S_{K3}}$
	S_{K3} , МВА	$\frac{S_B}{x_{ЭKB}}$	$S_{K3} = S_{K32MIN}$
	I_{K3} , кА	$\frac{S_{K3}}{2 \cdot U_{CP1}}$	$\frac{S_{K3}}{2 \cdot U_{CP1}}$
В Л4 ОТКЛ	$X_{ЭKB}$	$x_{C1MIN} + \frac{x_{Л1,2}}{2}$	$x_{C2MIN} + x_{Л3}$
	S_{K3} , МВА	$\frac{S_B}{x_{ЭKB}}$	$\frac{S_B}{x_{ЭKB}}$

	$I_{K3}, \text{кА}$	$\frac{S_{K3}}{2 \cdot U_{CP1}}$	$\frac{S_{K3}}{2 \cdot U_{CP1}}$
В Л2 откл	$X_{ЭKB}$	$x_{C1MIN} + x_{Л1}$	$x_{C2MIN} + \frac{x_{Л3,4}}{2}$
	$S_{K3}, \text{МВА}$	$\frac{S_B}{x_{ЭKB}}$	$\frac{S_B}{x_{ЭKB}}$
	$I_{K3}, \text{кА}$	$\frac{S_{K3}}{2 \cdot U_{CP1}}$	$\frac{S_{K3}}{2 \cdot U_{CP1}}$

2. РАСЧЕТ ЗАЩИТЫ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

В общем случае электродвигатели промышленных предприятий защищают при следующих повреждениях и ненормальных режимах:

- при междуфазных КЗ в обмотке статора и на ее выводах;
- при однофазных замыканиях обмотки статора на землю;
- при перегрузке;
- при понижении или исчезновении напряжения;
- при асинхронном режиме.

Согласно ПУЭ для электродвигателей мощностью более 5 МВт в качестве защиты от междуфазных коротких замыканий применяется продольная дифференциальная защита без выдержки времени в двухфазном исполнении. Для двигателей мощностью менее 2 МВт применяется токовая отсечка с реле, включенном на разность токов двух фаз. Для двигателей 2 МВт и выше – токовая двухрелейная отсечка без выдержки времени.

2.1. Защита от междуфазных замыканий

Синхронный двигатель подключен к шинам РП2. Номинальный ток двигателя определяется по каталожным данным или по формуле

$$I_{ном.дв} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cos \varphi},$$

где $I_{ном.дв}$ – номинальный ток двигателя, А; $P_{ном}$ – номинальная мощность двигателя, кВт; $U_{ном}$ – номинальное напряжение, кВ; $\cos \varphi$ – коэффициент мощности.

Выбирается трансформатор тока. Номинальный ток на первичной стороне $I_{ном.1}$, номинальный ток на вторичной стороне $I_{ном.2} = 5$ А. Коэффициент трансформации

$$n_T = \frac{I_{1.ном}}{I_{2.ном}}.$$

Схема включения – неполная звезда, поэтому $K_{сх} = 1$.

Если расчет ведется для двигателя мощностью 2 МВт, то принимается токовая двухрелейная отсечка без выдержки времени.

Ток срабатывания токовой отсечки отстраивается:

1) от пускового тока

$$I_{с.з} = K_n \cdot I_{пуск} = K_n \cdot K_{пуск} \cdot I_{ном.дв},$$

где $K_n = 1,4$ – коэффициент надежности; $K_{пуск}$ – кратность пускового тока.

2) от тока небаланса

$$I_{с.з} = K_{отс} \cdot I'_{нб},$$

где $K_{отс} = 1,2$ – коэффициент отстройки; $I'_{нб}$ – ток небаланса, А.

Ток небаланса определяется по формуле

$$I'_{нб} = K_a \cdot K_{одн} \cdot \varepsilon \cdot I^{(3)РП2}_{кз.макс},$$

где K_a – коэффициент, учитывающий воздействие апериодической составляющей на ток небаланса. $K_a = 2$, т.к. применяется обычное токовое реле;

$K_{одн}$ – коэффициент однотипности, учитывающий сходство и различие трансформаторов тока; $K_{одн} = 0,5$; ε – допускаемая погрешность ТТ, $\varepsilon = 0,1$.

Принимается больший ток срабатывания защиты.

Определяется коэффициент чувствительности защиты при двухфазном КЗ на шинах РП2

$$K_{\chi} = \frac{I^{(2)РП2}_{кз.мин}}{I_{с.з}} > 2.$$

Определяется ток срабатывания реле

$$I_{с.р} = \frac{K_{сх} \cdot I_{с.з}}{n_T}.$$

Выбирается реле с нужным диапазоном токов уставки и сумма уставок ΣQ

$$\Sigma Q = \frac{I_{с.р}}{I_{мин}} - 1.$$

Выбираются уставки кратные 0,2

Ток уставки реле $I_{уст}$

$$I_{уст} = I_{мин} \cdot (\Sigma Q + 1).$$

Уточняется ток срабатывания защиты

$$I_{сз} = I_{уст} \cdot n_T.$$

Для защиты от междуфазных коротких замыканий двигателей мощностью 5 МВт и более используется продольная дифференциальная защита.

Выбор первичного тока и коэффициента трансформации трансформаторов тока производится по номинальному току двигателя.

Защита выполняется по 2-х или трехфазной схеме на реле РНТ-565. Ток срабатывания защиты рекомендуется принимать:

$$I_{сз} = 2I_{ном}$$

Если дифференциальная защита выполнена на реле типа ДЗТ-11, то ток срабатывания защиты выбирается по условию

$$I_{сз} = \frac{F_{ср} \cdot K_I}{\omega_p},$$

где $F_{ср} = 100$ Авитков – магнитодвижущая сила срабатывания реле ДЗТ – 11 при отсутствии торможения; ω_p – число витков рабочей обмотки реле.

В практических расчетах ω_p можно определить по формуле

$$\omega_p \leq \omega_m \cdot n,$$

здесь $\omega_m = 24$ – число витков тормозной обмотки.

Значения n для различных схем соединения трансформаторов тока и постоянной времени электродвигателя приведены в таблице 4

Определяется ток срабатывания реле

$$I_{с.р} = \frac{K_{сх} \cdot I_{с.з}}{n_T}$$

Таблица 4

Значения n и ω_p для различных схем соединения трансформаторов тока и коэффициент чувствительности защиты при двухфазном КЗ на шинах РП2

Т _а , с	Звезда-звезда		Неполная звезда-неполная звезда		Неполная звезда-треугольник		Звезда-треугольник	
	n	ω_p	n	ω_p	n	ω_p	n	ω_p
0,1	1,25	30	0,86	20	0,92	22	1,02	24
0,05	1,25	40	1,33	32	1,05	25	1,57	37
0,03	2,99	69	2,47	59	1,88	45	2,36	56

$$K_{\text{ч}} = \frac{I^{(2) \text{ ПП2}}_{\text{кз. мин}}}{I_{\text{с.з}}} > 2$$

2.2. Защита от однофазных замыканий на землю

Защита электродвигателей мощностью до 2 МВт от однофазных замыканий должна предусматриваться при величине емкостного тока 10 А и более. На двигателях более 2 МВт такая защита должна устанавливаться при токе 5 А и более. Ток замыкания на землю складывается из емкостного тока двигателя и емкостного тока кабельной линии.

Емкостный ток фазы электродвигателя определяется по формуле

$$I_{\text{с.дв}} = \frac{U_{\text{ном.д}} \cdot C_{\text{дв}} \cdot \omega}{\sqrt{3}},$$

где $\omega = 2\pi f$ – частота сети; $U_{\text{ном.д}}$ – номинальное напряжение двигателя, В; $C_{\text{дв}}$ – емкость двигателя.

Емкость фазы двигателя (Ф/фаза) для неявнополюсных синхронных и асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором определяется по каталожным данным из справочника [4] или по формуле

$$C_{\text{д}} = \frac{0,0187 \cdot S_{\text{д.ном}} \cdot 10^{-6}}{1,2 \sqrt{U_{\text{ном}} (1 + 0,08 U_{\text{ном}})}},$$

где $S_{\text{д.ном}}$ – номинальная мощность электродвигателя, МВА; $U_{\text{ном}}$ – номинальное линейное напряжение, кВ.

Для остальных электродвигателей

$$C_{\text{д}} = \frac{k_{\Gamma} \cdot S_{\text{д.ном}}^{3/4}}{3(U_{\text{д.ном}} + 3600) \cdot n_{\text{д}}^{1/3}},$$

где k_{Γ} – коэффициент, учитывающий класс изоляции ($k_{\Gamma} = 40$ для изоляции класса Б при $t = 25^{\circ}\text{C}$); $S_{\text{д.ном}}$ – номинальная мощность двигателя, кВА; $n_{\text{д}}$ – скорость вращения двигателя, об/мин.

Емкостный ток кабельной линии, соединяющий двигатель с шинами РП1

$$I_{\text{скл}} = I_{\text{с0кл}} \cdot l_{\text{л8}},$$

где $I_{\text{с0кл}}$ – удельный емкостный ток кабеля; $l_{\text{л8}}$ – длина кабельной линии Л8.

$$I_{\text{с0кл}} = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3}} C_{\text{р}} \cdot \omega \cdot 10^{-3},$$

здесь $C_{\text{р}}$ – удельная емкость кабеля [4,6]. Удельный емкостный ток однофазного замыкания на землю для кабеля определяется [4]:

$$I_{скл} = I_{с0кл} \cdot I_{л8}.$$

Суммарный ток замыкания на землю

$$I_c = I_{с.дв} + I_{с.кл}.$$

Защита отстраивается от емкостного тока присоединения при замыкании на землю на других присоединениях

$$I_{с.з} = K_з \cdot K_б \cdot I_c,$$

где $K_з = 1,2$ – коэффициент запаса; $K_б$ – коэффициент, учитывающий бросок емкостного тока.

$K_б = 4-5$ – для защиты без выдержки времени; $K_б = 1,5-2$ – для защиты с временем действия 1–2с.

2.3. Защита от перегруза

Для защиты двигателя от перегруза принимается максимальная токовая защита с выдержкой времени с использованием токового реле.

Номинальный ток двигателя

$$I_{ном.дв} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cos \varphi}.$$

Выбирается трансформатор тока. Номинальный ток на первичной стороне $I_{1ном}$, номинальный ток на вторичной стороне $I_{2ном} = 5$ А. Коэффициент трансформации

$$n_T = \frac{I_{1ном}}{I_{2ном}}. \text{ Убрать точки}$$

Выбирается схема включения и $K_{сх}$.

Определяется ток срабатывания защиты

$$I_{сз} = \frac{K_{отс}}{K_б} \cdot I_{ном.дв}$$

здесь $K_{отс} = 1,1$ – коэффициент отстройки; $K_б = 0,9$ – коэффициент возврата реле.

Ток срабатывания реле

$$I_{ср} = \frac{K_{сх}}{n_T} \cdot I_{сз}.$$

Выбирается реле, определяется сумма уставок и ток уставки.

Время срабатывания защиты отстраивается от времени пуска

$$t_{сз} = K_{отс} \cdot t_{пуск}$$

здесь $t_{пуск}$ – время самозапуска двигателя.

2.4. Защита минимального напряжения

Защита выполняется двухступенчатой. Первая ступень предназначена для облегчения самозапуска ответственных двигателей, вторая – для отключения части электродвигателей ответственных механизмов, самозапуск которых недопустим по условиям технологического процесса или по условиям безопасности. Напряжение срабатывания первой ступени защиты двигателя при понижении напряжения выбирается таким, чтобы обеспечивался самозапуск других более ответственных двигателей, т.е. 60–70% от $U_{ном.}$. Напряжение срабатывания второй ступени – 50% от $U_{ном.}$.

Для питания реле минимального напряжения используются трансформаторы напряжения, которые устанавливаются в распределительных пунктах для контроля и учета электроэнергии. Выбирается трансформатор напряжения.

Коэффициент трансформации

$$n_n = \frac{U_{1ном}}{U_{2ном}}, \text{ убрать точки}$$

где $U_{2ном.} = 100 \text{ В}$ – номинальное вторичное напряжение трансформатора.

Определяется напряжение срабатывания первой ступени

$$U_{сз}^I = \frac{U_{\min \text{ раб}}}{K_{отс} \cdot K_B},$$

здесь $U_{\min \text{ раб}} = 0,7 U_{ном.}$ – минимальное напряжение на шинах, которое не вредит технологическому процессу; K_B – коэффициент возврата статического реле; $K_{отс}$ – коэффициент отстройки.

Определяется напряжение срабатывания реле первой ступени

$$U_{ср}^I = \frac{U_{сз}^I}{n_n}.$$

Принимается к установке реле РСН, определяется сумма уставок

$$\sum Q = \frac{U_{с.р}^I}{U_{\min}}.$$

Напряжение уставки реле первой ступени

$$U_{уст}^I = (1 + \sum Q) \cdot U_{\min}.$$

Время срабатывания первой ступени защиты минимального напряжения принимается равным $t_{сз}^I = 0,5 \text{ с.}$

Аналогично рассчитывается вторая ступень. Реле второй ступени включается во вторичную цепь того же трансформатора напряжения, что и реле первой ступени.

Напряжение срабатывания второй ступени защиты

$$U_{C3}^{II} = \frac{0,5 \cdot U_{ном}}{K_{омс} \cdot K_B}.$$

Напряжение срабатывания реле второй ступени

$$U_{CP}^{II} = \frac{U_{C3}^{II}}{K_u}.$$

Принимается к установке реле РСН, определяется сумма уставок и напряжение уставки реле второй ступени

$$\sum Q = \frac{U_{c.p}^{II}}{U_{min}} - 1;$$

$$U_{уст}^{II} = (1 + \sum Q) \cdot U_{min}.$$

Время срабатывания второй ступени защиты минимального напряжения принимается равным $t_{C3}^{II} = 10$ с с помощью реле времени РВ-01.

2.5. Защита от асинхронного режима

Защита синхронных электродвигателей от асинхронного режима осуществляется с помощью реле, реагирующего на увеличение тока в обмотке статора и выполняется часто при помощи токового реле с зависимой характеристикой, которое одновременно используется для защиты от перегруза. Для СД с отношением короткого замыкания меньшим 1 применяется также совмещенная защита с независимой от тока выдержкой времени и током срабатывания

$$I_{C3} = (1,3 \dots 1,4) I_{ном.дв}.$$

Выдержка времени защиты выбирается из условия отстройки от времени пуска и принимается равной 8–10 с.

3. ЗАЩИТА ЦЕХОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ТЗ, Т4

В общем случае цеховые трансформаторы защищают при следующих повреждениях и ненормальных режимах:

- а) при замыканиях между витками одной фазы;
- б) при междуфазных КЗ в обмотках и на их выводах;
- в) при замыканиях на землю;

- г) при внешних КЗ;
- д) при перегрузке;
- е) при понижении уровня масла.

Выбирается тип защит и определяются токи срабатывания защит и реле цехового трансформатора типа ТМ.

3.1. Защита от междуфазных коротких замыканий

Рассчитывается защита цехового трансформатора ТЗ при междуфазных КЗ в обмотках и на выводах высокого напряжения, при внешних КЗ, при однофазных КЗ и при перегрузке. Для защиты трансформатора при междуфазных КЗ в обмотках и на выводах ВН принимается токовая отсечка без выдержки времени с использованием реле типа РСТ. Схема соединения трансформаторов тока – неполная звезда.

Ток срабатывания защиты выбирается по максимальному току, проходящему через трансформаторы тока защиты при трехфазном КЗ на стороне низкого напряжения $I_{K.max}$

$$I_{K.max} = I_K^{(3)} = \frac{I_{1Tном.}}{U_k \%} \cdot 100,$$

$$I_{CЗ} = k_n \cdot I_{KМАКС}.$$

Максимальные рабочие токи:

$$I_{1раб. max} = 1,4 \cdot I_{1Tном.}$$

$$I_{2раб. max} = 1,4 \cdot I_{2Tном.}$$

По $I_{1раб. max}$ выбирается трансформатор тока на стороне ВН с номинальным током на первичной стороне: $I_{1.ном}$, на вторичной стороне: $I_{2.ном} = 5 \text{ А}$.

Коэффициент чувствительности при $I_{K.MIN}^{(2)}$ на выводах высокого напряжения:

$$K_{ЧВН} = \frac{I_{K.min}^{(2)ПП1}}{I_{CЗ}} > 2.$$

3.2. Защита от внешних коротких замыканий

Для защиты трансформатора при внешних КЗ и резервирования токовой отсечки и газовой защиты принимается максимальная токовая защита с выдержкой времени.

Схема соединения трансформаторов тока – неполная звезда. Максимальная токовая защита отстраивается от тока самозапуска полностью заторможенных ответственных двигателей, присоединенных к шинам НН. Токи срабатывания защиты и реле находятся по формулам

$$I_{C3} = \frac{k_n \cdot I_{сам}}{k_\epsilon} = \frac{k_n \cdot k_{c3} \cdot I_{1Tном}}{k_\epsilon},$$

$$I_{CP} = \frac{k_{cx} \cdot I_{C3}}{n_T},$$

где k_{c3} – коэффициент самозапуска, принимаемый равным 3–3,5, когда нет данных о присоединенных двигателях; в этом случае можно считать, что ток в трансформаторе возрастает в 3–3,5 раза по сравнению с номинальным током.

Принимается реле и определяется ток уставки

Коэффициент чувствительности защиты определяется по току двухфазного короткого замыкания за трансформатором

$$k_\chi = \frac{I_\kappa^{(2)E}}{I_{C3} N_T} > 2.$$

Выдержку времени максимальной токовой защиты трансформатора выбирают из условия избирательности на ступень Δt выше наибольшей выдержки времени защит присоединений, питающихся от трансформатора, т.е.

$$t_m = t_{np} + \Delta t.$$

Обычно ступень селективности Δt принимается равной 0,4–0,7 с (складывается из погрешностей реле времени и времени отключения предохранителя или автоматического выключателя).

Если максимальная токовая защита не удовлетворяет требованию чувствительности, то ее выполняют с пуском от реле минимального напряжения или применяют токовую защиту обратной или нулевой последовательности.

3.3. Защита от перегруза

Для защиты цехового трансформатора при перегрузе принимается максимальная токовая защита, устанавливаемая со стороны ВН трансформатора. Защита выполняется с помощью одного токового реле, включенного на фазный ток, и действует на сигнал с выдержкой времени. МТЗ отстраивается от максимального рабочего тока трансформатора с учетом 40% – ной перегрузки

$$I_{1\text{раб. max}} = 1,4 \cdot I_{1\text{ном.}}$$

Ток срабатывания защиты

$$I_{C3} = \frac{K_{отс}}{K_B} \cdot I_{1\text{раб max}}$$

здесь $K_{отс} = 1,2$ – коэффициент отстройки; $K_B = 0,9$ – коэффициент возврата реле РСТ.

Выдержка времени максимальной токовой защиты выбирается больше выдержки времени защиты трансформатора от КЗ (около 10 с.).

3.4. Защита при однофазных коротких замыканиях

Для защиты цехового трансформатора при однофазных КЗ в обмотке и на выводах НН, а также в сети НН принимается токовая защита нулевой последовательности с выдержкой времени. При однофазном КЗ на напряжении 0,4 кВ токи замыкания, проходящие по этой стороне, достаточно велики. Однако ток КЗ не полностью трансформируется на сторону высшего напряжения, поэтому рассмотренная максимальная токовая защита недостаточно чувствительна к этим КЗ. Защиту выполняют с помощью одного токового реле, включенного на трансформатор тока, установленный в цепи заземления нейтрали цехового трансформатора. В реле протекает полный ток однофазного КЗ.

Токи срабатывания защиты и реле определяется по формулам:

$$I_{C3} = k_{н1} \cdot I_{C31} = k_{н1} \cdot I_{отс} \cdot k_{н2},$$

где I_{C31} – ток срабатывания защиты нулевой последовательности на стороне 0,4 кВ, который согласуется, в свою очередь, с током отсечки автомата (для защиты присоединений устанавливается автомат с током отсечки $I_{отс} > I_{2\text{раб. макс}}$); $k_{н1}$ – коэффициент надежности согласования, принимаемый равным 1,1; $k_{н2}$ – коэффициент надежности согласования, принимаемый равным 1,2; I_{C3} – ток срабатывания защиты, с которой производится согласование.

Коэффициент чувствительности защиты нулевой последовательности определяется при однофазном КЗ на выводах НН трансформатора по формуле:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_K^{(1)}}{I_{C3}} = \frac{I_K^{(3)}}{I_{C3}},$$

где $I_K^{(1)}$ – минимальный ток однофазного КЗ на шинах НН; для цеховых трансформаторов с соединением обмоток «треугольник – звезда с нулем» $I_K^{(1)} = I_K^{(3)}$;

$$I_{\kappa}^{(3)} = \frac{I_{2Tном1.}}{U_k \%} \cdot 100\%$$

Выдержку времени защиты нулевой последовательности, установленной в нейтрали цехового трансформатора, отстраивают от времени срабатывания автоматических выключателей двигателей и принимают равной 0,5 с.

3.5. Газовая защита

Газовая защита является основной защитой трансформатора от межвитковых замыканий и других внутренних повреждений, сопровождаемых разложением масла и выделением газа. В качестве реагирующего органа выбирается реле типа РГТ-80 с уставкой скоростного элемента (нижнего) 0,6 м/с. Верхняя пара контактов действует на сигнал при слабом газовыделении и понижении уровня масла. Нижняя пара контактов действует на отключение при бурном газообразовании и дальнейшем понижении уровня масла.

4. РАСЧЕТ ЗАЩИТЫ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

В общем случае кабельные линии промышленных предприятий защищают при следующих повреждениях и ненормальных режимах:

- при междуфазных КЗ;
- при замыканиях на землю (трехфазных, двухфазных, двойных, однофазных);
- при разрывах фазы;
- при перегрузке.

4.1. Защита кабельной линии Л7

Для защиты кабельной линии при междуфазных КЗ принимается максимальная токовая защита с независимой характеристикой выдержки времени. Схема соединения трансформаторов тока – неполная звезда.

При определении тока срабатывания МТЗ кабельной линии исходят из реальных условий ее эксплуатации и возможных послеаварийных режимов ее работы. Если они неизвестны, то перед расчетом необходимо ими задаться.

Защиты двух и более соединенных элементов, например, трансформатор – линии – двигатели, согласовывают по чувствительности и времени. Ток срабатывания МТЗ рассматриваемой линии, который отстраивается от тока самозапуска $I_{сам}$ асинхронных двигателей, определяется по следующей формуле:

$$I_{C3} = \frac{K_H}{K_B} \cdot I_{сам} = \frac{K_n \cdot 3 \cdot I_{ад.ном} \cdot K_{сз} \cdot K_{U0}}{K_6},$$

где K_{U0} – напряжение на зажимах асинхронных двигателей в относительных единицах, определяемое при расчете самозапуска этих двигателей. Допустимое значение K_{U0} находится в пределах $(0,55-0,7)U_{ном}$.

Ток самозапуска определяется как ток трехфазного короткого замыкания за эквивалентным сопротивлением Z_3 на шинах РПЗ, т.е. $I_K^{(3)РПЗ}$.

Трансформатор тока выбирается по условию $I_{л.ном} > \Sigma I_{ад}$

Ток срабатывания реле

$$I_{CP} = \frac{k_{CX} \cdot I_{C3}}{n_T}.$$

Выдержка времени МТЗ принимается на ступень селективности больше времени срабатывания токовой отсечки асинхронных двигателей, т.е.

$$t_{мтз.л7} = t_{омс} + \Delta t.$$

В связи с тем, что для защиты асинхронных двигателей от междуфазных КЗ применяют токовую отсечку с использованием токовых реле РСТ и промежуточного реле РП-26, замедляющего время действия токовой отсечки и позволяющего благодаря этому отстроиться от апериодической составляющей пускового тока, принимается $t_{омс} = 0,1$ с.

Коэффициент чувствительности определяется при двухфазном КЗ на шинах РПЗ, к которым подключены асинхронные двигатели

$$K_{\eta} = \frac{0,867 \cdot I_K^{(3)РПЗ}}{I_{C3}} > 1,5.$$

Если в результате расчета коэффициент чувствительности окажется меньше 1,5, то следует либо уменьшить количество двигателей, самозапускающихся одновременно, если это допустимо по технологии производства, либо дополнить МТЗ пуском от реле минимального напряжения.

Защита от однофазных замыканий на землю

Устанавливается трансформатор тока нулевой последовательности. Схема включения – полная звезда, $K_{CX} = 1$.

4.2. Защита кабельной линии Л5, Л6

Согласно ПУЭ, на линиях 10 кВ должны быть предусмотрены устройства релейной защиты от многофазных замыканий и от однофазных замыканий на землю. От многофазных замыканий устанавливается двухступенчатая токовая защита, первая ступень которой выполнена в виде токовой отсечки без выдержки времени, а вторая – в виде максимальной токовой защиты с независимой характеристикой выдержки времени. Предполагается, что кабели подключены к одному выключателю Q21 и Q23.

4.2.1. Токовая отсечка без выдержки времени

Тип трансформатора тока и его номинальное значение выбирается по допустимому току кабеля с учетом поправочного коэффициента на количество работающих кабелей, лежащих рядом в земле (табл. П8, П.9). Кабели допускают перегрузку в течение часа на 30% по отношению к $I_{дл.доп}$. Таким образом, максимальный рабочий ток

$$I_{\text{max.раб}} = k_{\text{пер}} \cdot k_{\text{попр}} \cdot I_{\text{дл.доп}},$$

где $k_{\text{пер}}$ – коэффициент перегрузки; $k_{\text{попр}}$ – поправочный коэффициент на число кабельных линий.

Выбирается трансформатор тока. Коэффициент трансформации:

$$n_T = \frac{I_{1\text{ном}}}{I_{2\text{ном}}}. \text{ Убрать точки}$$

Схема включения трансформаторов тока – неполная звезда, следовательно, коэффициент схемы $K_{\text{сх}} = 1$.

Определяется ток срабатывания защиты и ток срабатывания реле $I_{\text{ср.р}}$

$$I_{\text{сз}} = K_{\text{отс}} \cdot I_{\text{кзmax}}^{(3)РП(РП2)},$$

где $K_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, $K_{\text{отс}} = 1,2$;

4.2.2. МТЗ с выдержкой времени

Тип трансформатора тока и коэффициент трансформации выбирается аналогично п. 4.3.1, т.е. по допустимому току кабеля.

Ток срабатывания защиты отстраивается от максимального рабочего тока с учетом самозапуска двигателей

$$I_{C3} = \frac{K_{отс} \cdot K_{сзан}}{K_B} \cdot I_{\max. \text{раб}},$$

где $K_{отс}$ – коэффициент отстройки, $K_{отс} = 1,2$;

$K_{сзан}$ – коэффициент самозапуска;

K_B – коэффициент возврата реле, $K_B = 0,9$.

Коэффициент самозапуска $K_{сзан}$ равен

$$K_{сзан} = \frac{I_{сзан}}{I_{доп}},$$

где ток самозапуска определяется как ток трехфазного короткого замыкания за эквивалентным сопротивлением Z_{Σ} на шинах РП1 (РП2), т.е. $I_K^{(3) \text{РП1}}$.

$$I_{сзан} = \frac{U_{НОМ2}}{\sqrt{3} Z_{\Sigma}^{\text{РП1}}}.$$

Если за $I_{\max. \text{раб}}$ принять длительно допустимый ток кабеля, то

$$I_{C3} = \frac{K_{отс}}{K_B} I_K^{(3) \text{РП1}}.$$

Коэффициент чувствительности при КЗ в основной зоне

$$K_{ч. \text{ОСН}} = \frac{I_{\text{кз. min}}^{(2) \text{РП1}}}{I_{C3}} > 1,5$$

и в резервной зоне

$$K_{ч. \text{НЕОСН}} = \frac{I_{\text{кз. min}}^{(2) \text{Д}}}{I_{C3} N_T} > 1,2.$$

Ток срабатывания реле

$$I_{CP} = \frac{k_{CX} \cdot I_{C3}}{n_T}.$$

Определяется время срабатывания защиты

$$t_{C321} = t_{C3Q27} + \Delta t = (t_{C3T3} + \Delta t) + \Delta t = [(t_{C331} + \Delta t) + \Delta t] + \Delta t.$$

Выбирается реле напряжения РСН. Реле подключается ко вторичной обмотке трансформатора напряжения.

$$K_U = \frac{U_{1ном}}{U_{2ном}}$$

Напряжение срабатывания защиты $U_{сз}$

$$U_{сз} = \frac{0,7 \cdot U_2}{K_{отс} \cdot K_B},$$

где $K_{отс}$ – коэффициент отстройки, $K_{отс} = 1,1$; K_B – коэффициент возврата реле напряжения, $K_B = 1,1$.

Коэффициент чувствительности реле по напряжению K_q :

$$K_q = \frac{U_{с.з.}}{U_{\min.ост}} > 1,5,$$

где $U_{\min.ост}$ – минимальное остаточное напряжение, кВ. Оно определяется по формуле

$$U_{\min.ост} = \sqrt{3} \cdot I_{k \max}^{(3)РП} \cdot \sqrt{\left(x_{05,6} \cdot \frac{l_{Л5}}{n}\right)^2 + \left(r_{05,6} \cdot \frac{l_{Л5}}{n}\right)^2};$$

Напряжение срабатывания реле $U_{ср}$

$$U_{ср} = \frac{U_{сз}}{n_n}.$$

Выбирается реле РСН и напряжение уставки

$$U_{уст} = U_{\min} \cdot (\sum Q + 1).$$

4.2.3. Защита от однофазных замыканий на землю

Определяется тип трансформатора тока нулевой последовательности. Схема включения трансформатора тока – полная звезда, следовательно, $K_{сх} = 1$.

Для кабеля заданной марки ток нулевой последовательности равен

$$I_{0л} = I_{C0} \cdot L_5 \cdot n_{Л5},$$

где I_{C0} – удельный емкостный ток однофазного замыкания на землю, А/км. [4].

Ток срабатывания защиты:

$$I_{C3} = K_{отс} \cdot 3 \cdot I_{0Л}.$$

Ток срабатывания реле не определяется, т.к. коэффициент трансформации трансформатора тока нулевой последовательности можно сделать любым.

Если неизвестен ток утечки для всей сети предприятия, определяемый экспериментально, то проверку чувствительности произвести невозможно.

5. РАСЧЕТ ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРА Т1, Т2

Согласно ПУЭ для трансформаторов общего назначения должны быть предусмотрены устройства релейной защиты от следующих видов повреждений и ненормальных режимов работы:

- многофазных замыканий в обмотках и на выводах,
- межвитковых замыканий на землю,
- токов в обмотках, обусловленных перегрузкой,
- понижения уровня масла.

Соответственно устанавливаются следующие виды защит:

- продольная дифференциальная защита от различных видов короткого замыкания,
- МТЗ без выдержки времени как резервная от внешних многофазных коротких замыканий,
- защита от перегруза,
- газовая защита.

5.1. Продольная дифференциальная защита

Согласно ПУЭ на двухтрансформаторных подстанциях при мощности трансформатора 4 МВА и более устанавливается дифференциальная защита без выдержки времени.

Защита выполняется с помощью дифференциального реле.

1. Определяются первичные номинальные токи силового трансформатора, максимальные рабочие токи, выбираются трансформаторы тока и находятся соответствующие вторичные токи в плечах защиты. Трансформаторы тока, соединенные в треугольник (ВН) выбираются по первичному току $\sqrt{3} \cdot I_{ном}$ для того, чтобы вторичные токи не превышали величину 5 А. Расчетные значения сводятся в таблицу 5.

Таблица 5

Расчет токов для выбора ТТ

Наименование величины	Обозначение и метод определения	Числовые значения для сторон	
		ВН	НН
Первичные номинальные токи трансформатора, А	$I_{ном} = \frac{S_{T1}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}$		
Максимальный рабочий ток, А	$I_{МАХ.РАБ.} = 1,4 \cdot I_{ном}$		
Схема соединения трансформаторов тока		Треугольник	Звезда
Условие выбора ТТ для высокой стороны	$\sqrt{3} \cdot I_{ном}$		
Тип трансформатора тока			
Коэффициенты трансформации трансформаторов тока	n_T		
Вторичные токи в плечах защиты	$I_{2ном} = \frac{K_{CX}}{n_T} \cdot I_{ном}$		

За основную принимается сторона, у которой по расчетам наибольшее значение вторичного тока.

2. Определяется ток срабатывания защиты $I_{сз}$.

Ток срабатывания защиты предварительно определяется:

– по условию отстройки от тока небаланса, вызванного погрешностями трансформаторов тока $I'_{НБ}$ и регулированием напряжения под нагрузкой (РПН) $I''_{НБ}$. При этом все токи приводятся к ступени напряжения основной стороны;

$$I'_{НБ} = K_{ОДН} \cdot K_A \cdot \varepsilon \cdot I_{КЗ.МАХ}^{(3)Г1},$$

где $K_{ОДН} = 1$ – коэффициент одностипности трансформаторов тока;

$K_A = 1$ – коэффициент апериодической составляющей для дифференциального реле;

$\varepsilon = 0,1$ допустимая погрешность трансформаторов тока.

$$I''_{НБ} = (0,1 \cdot K_{ОДН} + \Delta N_{РЕГ}) \cdot I_{КЗ.МАХ}^{(3)Г1},$$

где $\Delta N_{РЕГ}$ – пределы регулирования напряжения ступени стороны ВН.

Предварительное значение тока срабатывания

– по условию отстройки от токов небаланса:

$$I_{C3} = K_{OTC} \cdot (I_{HB}^I + I_{HB}^{II}),$$

где $K_{OTC} = 1,2$ – коэффициент отстройки.

– по условию отстройки от броска тока намагничивания

$$I_{C3} = K_{OTC} \cdot I_{НОМ}^{BH},$$

$K_{OTC} = 3 - 5$ – коэффициент отстройки от броска тока намагничивания при включении силового трансформатора.

При использовании реле РНТ 565 $K_{отс} = 1,3$.

Из двух токов срабатывания выбирается наибольший.

Производится предварительная проверка чувствительности защиты с целью выяснения в первом приближении возможности использования реле РНТ-565.

Для двухобмоточных трансформаторов и для ориентировочных расчетов защиты трехобмоточных трансформаторов и автотрансформаторов коэффициент чувствительности может быть определен по выражению

$$K_{\eta} = \frac{I_{\kappa, \min}^{(m)} \cdot K_{cxN}^{(m)}}{I_{C3} \cdot K_{cxN}^{(3)}},$$

где $I_{\kappa, \min}^{(m)}$ – минимальное значение тока короткого замыкания вида m ($m = 3$ – трехфазное КЗ; $m = 2$ – двухфазное КЗ; $m = 1$ – однофазное замыкание) в защищаемой зоне;

$K_{cxN}^{(3)}$ – коэффициент схемы, определяемый видом повреждения m , схемой соединения трансформаторов тока защиты на рассматриваемой стороне N и схемой соединения обмоток защищаемого трансформатора.

Таблица 6

Значения коэффициента схемы

№ п/п	Вид короткого замыкания	Место короткого замыкания	$\frac{K_{cxN}^{(m)}}{K_{cxN}^{(3)}}$
1	Трехфазное	На стороне треугольника или звезды	1
2	Двухфазное	На стороне звезды	$\frac{2}{\sqrt{3}} \left(\frac{1}{\sqrt{3}} \right)$
		На стороне треугольника	1
3	Однофазное	На стороне звезды	$\frac{1}{\sqrt{3}}$

Таблица составлена исходя из следующего:

- на стороне звезды силового трансформатора трансформаторы тока соединены в треугольник, а на стороне треугольника – в звезду;
- значения даны для трехлинейной схемы защиты, для двухрелейной схемы значения приведены в скобках.

Предварительное значение коэффициента чувствительности защиты определяем по току двухфазного короткого замыкания на секции Г1, приведенному к высшему напряжению

$$K_{\eta} = \frac{I_{\kappa.\min}^{(2)Г1} \cdot K_{\text{сх}N}^{(2)}}{I_{\text{сз}} \cdot K_{\text{сх}N}^{(3)}}.$$

Определяется число витков насыщающегося трансформатора реле для основной стороны

$$\omega_{\text{осн.расч}} = \frac{F_{\text{ср}}}{I_{\text{ср.осн}}},$$

где $F_{\text{ср}} = 100$ Авитков – магнитодвижущая сила срабатывания реле типа РНТ-565.

Полученное число витков насыщающегося трансформатора уточняется с учетом составляющей $I_{\text{нб}}''$. Расчеты сводятся в таблицу.

Таблица 7

Расчет числа витков реле РНТ-565

№ пп	Наименование величины	Обозначение и метод определения	Числовые значения
1	Расчетный ток срабатывания на основной стороне, А	$I_{\text{ср.р.осн}} = \frac{K_{\text{сх}}^{\text{ВН}}}{n_{\text{ТВВ}}} \cdot I_{\text{сз}}$	
2	Расчетное число витков обмотки насыщающегося трансформатора тока (НТТ) реле для основной стороны, витки	$\omega_{\text{осн.расч}} = \frac{F_{\text{ср}}}{I_{\text{ср.осн}}}$	
3	Принятое число витков обмотки НТТ реле для основной стороны, витки	$\omega_{\text{осн}}$	
4	Ток срабатывания реле на основной стороне, А	$I_{\text{ср.осн}} = \frac{F_{\text{ср}}}{\omega_{\text{осн}}}$	

5	Расчетное число витков обмотки насыщающегося трансформатора тока (НТТ) реле для неосновной стороны, витки	$\omega_{неосн.расч} = \omega_{осн} \frac{I_{2осн}}{I_{2неосн}}$	
6	Принятое число витков обмотки НТТ реле для неосновной стороны, витки	$\omega_{неосн}$	
7	Составляющая тока небаланса $I_{нб}'''$, А	$I_{нб}''' = \frac{\omega_{неосн.расч} - \omega_{неосн}}{\omega_{неосн.расч}} \cdot I_{КЗ.МАХ}^{(3)Г1}$	
8	Уточненное значение тока срабатывания защиты $I_{сз}$, А	$I_{сз} = K_{отс} \cdot (I_{нб}' + I_{нб}'' + I_{нб}''')$	
9	Уточненный ток срабатывания реле на основной стороне, А	$I'_{ср.р.осн} = \frac{K_{сх}^{BH}}{n_{ТВВ}} \cdot I_{сз}$	
10	Окончательно принятое число витков НТТ реле для установки на основной стороне (110 кВ) и неосновной стороне (10 кВ), витки	$\omega_{осн}$ $\omega_{неосн}$	

Оценивается чувствительность защиты при двухфазном КЗ на шинах В в минимальном режиме работы системы

Коэффициент чувствительности

$$K_{\eta} = \frac{I_{КЗ\min}^{B1}}{I_{сз}} > 2.$$

Если рассчитанная защита имеет достаточную чувствительность, то она может быть рекомендована к установке.

Принимается к установке реле РСТ и находится ток уставки реле

$$I_{уст} = (1 + \Sigma \theta) \cdot I_{\min}.$$

5.2. Защита от внешних коротких замыканий

Для защиты от внешних коротких замыканий применяется МТЗ с независимой выдержкой времени. Она является резервной защитой от внешних коротких замыканий. Защита выполняется с помощью статического реле типа РСТ. Определяется максимальный рабочий ток в точке установки защиты равный 1,4 номинального тока трансформатора:

$$I_{\text{МАХРАБ}} = \frac{S_{T1} \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot U_{1\text{ном}}},$$

здесь $U_{1\text{ном}}$ – первичное напряжение трансформатора Т1.

Выбирается трансформатор тока на стороне ВН

$$n_{T1} = \frac{I_{1H}}{I_{2H}}.$$

Схема включения трансформатора тока – треугольник, $K^{BH}_{CX} = \sqrt{3}$.

Ток срабатывания защиты определяется из условия отстройки от максимального рабочего тока в точке установки защиты:

$$I_{C3} = \frac{K_{\text{отс}}}{K_B} \cdot I_{\text{мах.раб}},$$

здесь $K_{\text{отс}} = 1,2$ – коэффициент отстройки; $K_B = 0,9$ – коэффициент возврата.

Определяется коэффициент чувствительности основной зоны $K_{\text{ч.ОСН}}$ и резервной зоны $K_{\text{ч.РЕЗ}}$

$$K_{\text{ч.ОСН}} = \frac{I_{\Gamma 1}^{\text{КЗ.МИН}}}{I_{C3}} > 1,5;$$
$$K_{\text{ч.РЕЗ}} = \frac{I_{\text{КЗ.МИН}}^{\text{РП1}} \cdot U_{2\text{ср}}}{I_{C3} \cdot U_{1\text{ср}}} > 1,2.$$

5.3. Защита от перегруза

Для защиты от перегруза используется токовая защита в однофазном исполнении. Трансформаторы тока выбираются те же, что и выше.

$$I_{\text{МАХРАБ}} = \frac{S_{T1} \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot U_{1\text{ном}}}.$$

Схема включения трансформаторов тока – треугольник, $K^{BH}_{CX} = \sqrt{3}$.

Ток срабатывания защиты определяется из условия отстройки от максимального рабочего тока в точке установки защиты:

$$I_{CЗ} = \frac{K_{отс}}{K_B} \cdot I_{\max. \text{раб}},$$

здесь $K_{отс} = 1,05$ – коэффициент отстройки;

$K_B = 0,9$ – коэффициент возврата;

Ток срабатывания реле:

$$I_{CP.P} = \frac{K_{CX}}{n_{T1}} \cdot I_{CЗ}.$$

5.4. Газовая защита

Газовая защита – это защита от внутренних повреждений трансформатора, сопровождающихся выделением газа, понижением уровня масла в газовом реле, или интенсивным движением потока масла из бака трансформатора в расширитель. Для правильной работы ГЗ корпус трансформатора устанавливается с наклоном 1,5–2% в сторону расширителя. Газовое реле устанавливается в рассечку трубопровода от корпуса трансформатора к расширителю. Газовая защита абсолютно селективна и не реагирует на повреждения.

На трансформаторе также необходимо установить реле РГЧЗ-66 для газовой защиты.

Газовая защита является основной защитой трансформатора от межвитковых замыканий и других внутренних повреждений, сопровождаемых разложением масла и выделением газа. В качестве реагирующего органа выбирается реле типа РГТ – 80 с уставкой скоростного элемента (нижнего) 0,6 м/с. Верхняя пара контактов действует на сигнал при слабом газовыделении и понижении уровня масла. Нижняя пара контактов действует на отключение при бурном газообразовании и дальнейшем понижении уровня масла.

6. РАСЧЕТ ЗАЩИТЫ УСТАНОВЛЕННОЙ НА СЕКЦИОННОМ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕ

Согласно ПУЭ на секционном выключателе должна быть предусмотрена двухступенчатая токовая защита от многофазных КЗ. Первая ступень – токовая отсечка, вторая ступень – МТЗ с выдержкой времени. В схеме предусмотрены три секционных выключателя $Q15$, $Q20$, $Q27$. В зависимо-

сти от места установки выключателя определяется максимальный рабочий ток.

6.1. Токовая отсечка

Защита выполняется с помощью реле мгновенного действия, с коэффициентом возврата $K_B = 0,9$.

Для выбора трансформатора тока требуется определить максимальный рабочий ток

1. Для выключателя Q27

$$I_{\max. \text{раб}} = I_{\max}^{(3)\text{РП}} = \frac{S_{\Sigma}^{\text{РП}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}.$$

2. Для выключателя Q20

$$I_{\max. \text{раб}} = \frac{1,4 S_{\text{Т.ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{2\text{ном}}}.$$

3. Для выключателя Q15

$$I_{\max. \text{раб}} = \frac{S_{\max}^{B1,2}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}},$$

где S_{\max} выбирается по условию $\max\{S_{A-B}; S_{B-B}\}$.

Ток срабатывания защиты

$$I_{C3} = K_{отс} \cdot I_{\max. \text{раб}},$$

здесь $K_{отс} = 1,2$ – коэффициент отстройки;

Ток срабатывания реле:

$$I_{CP.P} = \frac{K_{CX}}{n_T} \cdot I_{C3},$$

здесь n_T – коэффициент трансформации трансформатора тока, где первичный ток $I_{\text{ном}}$ выбирается по максимальному рабочему току.

Принимается к установке реле с током срабатывания.

6.2. МТЗ с выдержкой времени

МТЗ с выдержкой времени выполняется на реле РТВ:

$$I_{\text{max. раб}} = \frac{S_{\text{max.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}.$$

Принимаем к установке трансформатор тока с коэффициентом трансформации

$$n_T = \frac{I_{1H}}{I_{2H}}.$$

Схема включения трансформатора тока и реле – неполная звезда, коэффициент схемы $K_{CX} = 1$

Ток срабатывания защиты

$$I_{C3} = \frac{K_{OTC} \cdot K_3}{K_B} \cdot I_{\text{МАХРАБ}},$$

здесь $K_{отс} = 1,2$ – коэффициент отстройки;

$K_B = 0,9$ – коэффициент возврата;

$K_3 = 1,2$.

Коэффициент чувствительности при I_{K3MIN}^F на выводах высокого напряжения:

$$K_q^{OCH} = \frac{I_{K3MIN}^{F1,2}}{I_{C3}} > 1,5;$$

$$K_q^{HEOCH} = \frac{I_{K3MIN}^{FP1,2}}{I_{C3}} \geq 1,2.$$

Выдержка времени защиты принимается на ступень селективности больше максимальной выдержки времени защит отходящих присоединений, то есть выдержки времени МТЗ выключателя Q24.

$$t_{C3} = t_{Q24} + \Delta t,$$

где $\Delta t = 0,4$ с – ступень селективности статического реле.

Для обеспечения рассчитанного времени срабатывания защиты выбираем реле времени РВ 01, пределы регулирования времени которого от 0,1 до 50 с.

7. ЗАЩИТА СБОРНЫХ ШИН

Наиболее эффективной для шин является дифференциальная защита, позволяющая отключить повреждение без замедления.

Защита должна реагировать:

- в сетях с глухозаземленной нейтралью на все виды междуфазных и однофазных замыканий;
- в сетях с изолированной или компенсированной нейтралью на короткие замыкания между фазами и двойные замыкания на землю.

В зону действия защиты шин обычно входят собственно шины, выключатели, шинные разъединители, трансформаторы напряжения, разрядники.

Расчет уставок дифференциальной токовой защиты.

Ток срабатывания выбирается из двух условий:

1. Защита не должна срабатывать от тока нагрузки наиболее загруженного присоединения в случае обрыва токовых цепей трансформаторов тока

$$I_{CЗ} = k_H I_{нагр. макс.},$$

где $k_H = 1,1 - 1,2$ – коэффициент надежности.

2. Защита должна быть отстроена от тока небаланса, протекающего через защиту в режиме внешнего КЗ

$$I_{CЗ} = k_H k_A \varepsilon \cdot I_{Квн. макс.},$$

где $k_H = 1,5$ – коэффициент надежности; $k_A = 1$ – коэффициент, учитывающий влияние апериодической составляющей тока короткого замыкания в трехфазном режиме; $\varepsilon = 0,1$ – допустимая погрешность трансформаторов тока; $I_{К.вн. макс.}$ – максимальное значение тока внешнего короткого замыкания.

Из двух значений $I_{CЗ}$ выбирается большее.

Коэффициент чувствительности защиты

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{K \min}}{I_{CЗ}} \geq 2,$$

здесь $I_{K \min}$ – минимальное значение тока внутреннего короткого замыкания.

Расчетное число витков $\omega_{\text{расч}}$ реле типа РНТ-565 определяется

$$\omega_{\text{расч}} = F_{\text{ср}} \frac{n_T}{I_{CЗ}},$$

где $F_{\text{ср}} = 100$ Авитков – магнитодвижущая сила срабатывания реле; n_T – коэффициент трансформации трансформатора тока.

Округление расчетного числа витков производится в ближайшую меньшую сторону.

8. РАСЧЕТ ЗАЩИТЫ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ Л1, Л2 (Л3, Л4)

Согласно ПУЭ на параллельных воздушных линиях с двухсторонним питанием напряжения 35, 110, 220 кВ предусматриваются следующие защиты:

- основная защита от междуфазных КЗ – поперечная дифференциальная направленная защита;
- дополнительная к основной от междуфазных КЗ – токовая отсечка без выдержки времени, отдельная для каждой параллельной цепи;
- защита от однофазных замыканий на землю – трехступенчатая направленная токовая защита нулевой последовательности.

8.1. Расчет направленной поперечной дифференциальной защиты

Поперечная дифференциальная направленная защита выполнена на основе статического реле типа РСТ, включенного на разность токов параллельных цепей. Для определения поврежденной цепи последовательно с обмоткой токового реле включается обмотка тока реле направления мощности РМ11, а обмотка напряжения этого реле включается во вторичную обмотку трансформатора напряжения, установленного на секции В1с.

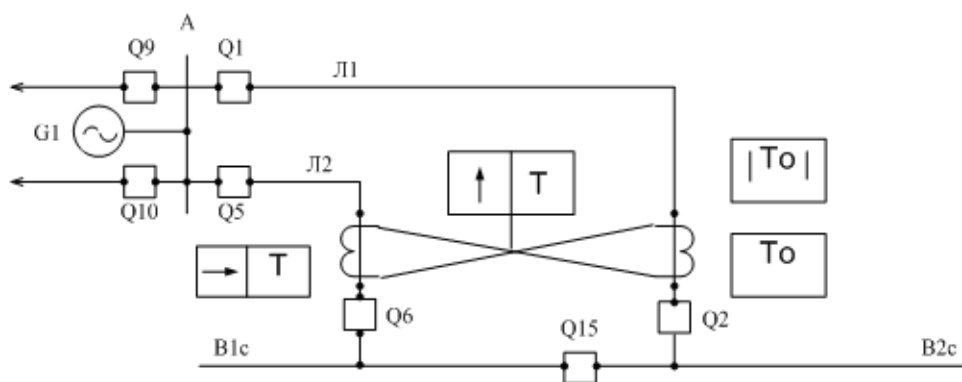


Рис. 2. Поперечная дифференциальная направленная защита

Для выбора трансформатора тока определяется максимальный рабочий ток линии при повреждении на другой линии.

$$I_{\text{МАХРАБ}} = \frac{S_{A-B}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{Л}}},$$

где S_{A-B} – передаваемая мощность по линиям Л1, Л2;
 $U_{\text{Л}}$ – напряжение линий Л1, Л2.

Выбираем трансформатор тока с коэффициентом трансформации

$$n_T = \frac{I_{1\text{ном}}}{I_{2\text{ном}}}.$$

Для каждой цепи линии предусматривается три трансформатора тока, включенные по схеме полной звезды, коэффициент схемы $K_{CX} = 1$.

Выбирается трансформатор напряжения с коэффициентом трансформации

$$n_T = \frac{U_{1\text{ном}}}{U_{2\text{ном}}}.$$

Ток срабатывания защиты определяется двумя условиями:

– отстройкой от тока небаланса

$$I_{CЗ} = K_{отс} \cdot I'_{НБ},$$

где $K_{отс}=1,25$ – коэффициент отстройки.

$$I'_{НБ} = K_A \cdot K_{одн} \cdot \varepsilon \cdot \frac{I_{КЗМАХ}^{(3)A2c}}{2},$$

где $K_A = 2$ – коэффициент апериодической составляющей для токового реле;

$K_{одн} = 0,5$ – коэффициент однотипности для идентичных трансформаторов тока;

$\varepsilon = 0,1$ – класс точности трансформатора.

Ток срабатывания защиты

$$I_{CЗ} = K_{отс} \cdot I'_{НБ};$$

– отстройкой от максимального рабочего тока при отключении одной из линий:

$$I_{CЗ} = \frac{K_{отс}}{K_B} \cdot I_{МАХРАБ},$$

где $K_B=0,9$ – коэффициент возврата для реле РСТ.

Принимается к выполнению большее из двух значений.

Чувствительность защиты определяется по минимальному току двухфазного короткого замыкания в двух случаях:

1) при повреждении в середине одной из параллельных цепей (рис.3)

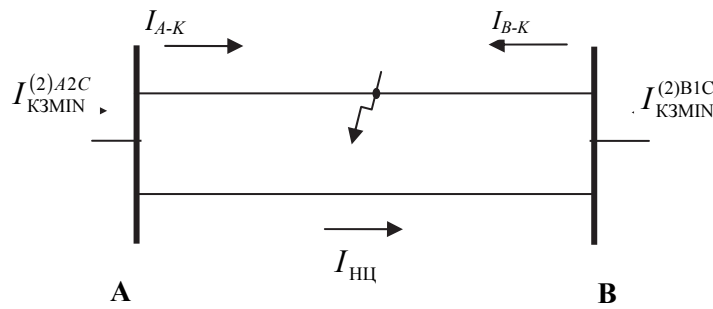


Рис. 3. Распределение тока КЗ в середине одной цепи АВ

$I_{K3MIN}^{(2)B1c}$ – ток при точке двухфазного КЗ на шинах В при питании от системы 1;

$I_{K3MIN}^{(2)A2c}$ – ток при точке двухфазного КЗ на шинах А при питании от системы 2.

Ток в неповрежденной цепи находится как четверть разницы этих токов:

$$I_{HЦ} = \frac{I_{K3MIN}^{(2)B1c} - I_{K3MIN}^{(2)A2c}}{4}.$$

Токи в поврежденной цепи:

от шин В к точке КЗ – I_{B-K} ;

от шин А к точки КЗ – I_{A-K} .

Коэффициент чувствительности с обоих концов одинаковый:

$$K_q = \frac{I_{B-K} + I_{HЦ}}{I_{C3}} > 2.$$

2) при повреждении в конце одной из линий, когда она отключена с одной стороны каскадным действием защиты (рис. 4)

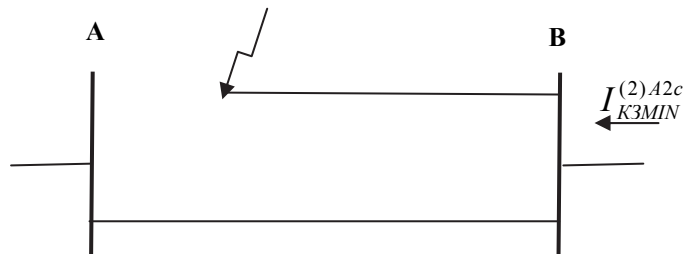


Рис. 4. К расчету чувствительности защиты

При этом питание от системы 1 не учитывается, тогда коэффициент чувствительности

$$K_q = \frac{I_{K3MIN}^{(2)A2c}}{I_{C3}}.$$

Если в обоих случаях защита удовлетворяет требованиям чувствительности, то ее можно использовать в качестве МТЗ при отключении одной из параллельных линий.

Ток срабатывания реле:

$$I_{CP.P} = \frac{K_{CX}}{K_1} \cdot I_{C3}.$$

Длина зоны каскадного действия (вблизи шин В) находится по выражению:

$$L_K = L_{12} \cdot \frac{I_{C3}}{I_{K3MIN}^{(2)B1c}} < 0,25 \cdot L_{12},$$

здесь L_{12} – длина линий Л1 и Л2 в км.

Длина зоны каскадного действия должна лежать в допустимых пределах.

Длина мертвой зоны по органу направления мощности РМ 11 (вблизи шин А) может быть найдена из упрощенного выражения (без учета активного сопротивления линии и без учета подпитки с противоположной стороны), исходя из минимального напряжения срабатывания реле РМ 11 $U_{cp.min}=0,25$ В.

$$L_{M3} = \frac{U_{CP.MIN} \cdot K_U}{\sqrt{3} \cdot x_{уд} \cdot I_{K3MIN}^{(3)A1c}} < 0,1 \cdot L_{12},$$

здесь K_U – коэффициент трансформации трансформатора напряжения;

$$I_{K3MIN}^{(3)A1c} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot I_{K3MIN}^{(2)A1c},$$

где $X_{y0}=0,4$ Ом/км – удельное индуктивное сопротивление линии.

8.2. Токовая отсечка без выдержки времени

Ненаправленная токовая отсечка без выдержки времени предназначена для отключения трехфазных КЗ в пределах мертвой зоны дифференциальной защиты.

Защита выполняется на реле РСТ.

Реле включается во вторичные обмотки ранее выбранных трансформаторов тока.

Ток срабатывания защиты отстраивается от наибольшего тока трехфазного КЗ:

- на шинах А при питании от системы 2 – $I_{КЗМАХ}^{(3)A2c}$;
- на шинах В при питании от системы 1 – $I_{КЗМАХ}^{(3)B1c}$:

$$I_{CЗ} = K_{отс} \cdot I_{КЗМАХ}^{(3)B1c} ,$$

здесь $K_{отс} = 1,15$ – коэффициент отстройки.

Коэффициент чувствительности определяется только при трехфазном КЗ, так как основное назначение защиты – резервировать отказ поперечной дифференциальной направленной защиты при трехфазных КЗ в мертвой зоне.

При КЗ на одной цепи А – В вблизи шин В расчетный ток находится как сумма токов, посылаемых системой 2, и половины тока со стороны системы 1:

$$I_{РАСЧ} = I_{КЗМАХ}^{(3)B2c} + \frac{I_{КЗМАХ}^{(3)B1c}}{2} .$$

Коэффициент чувствительности

$$K_{\eta} = \frac{I_{РАСЧ}}{I_{CЗ}} > 1,2 .$$

Если защита проходит по коэффициенту чувствительности, то она будет отключать повреждения лишь в небольшой зоне вблизи шин В.

8.3. Токовая защита нулевой последовательности

Используется токовая защита нулевой последовательности. Защита выполняется трехступенчатой. Измерительными органами защиты являются реле тока, подключенные к фильтру тока нулевой последовательности.

Первая ступень защиты – токовая отсечка нулевой последовательности без выдержки времени. Ее ток срабатывания выбирается из условий отстройки от максимального значения периодической составляющей утроен-

ного начального тока нулевой последовательности, проходящего в месте установки защиты при $K^{(1)}$ и $K^{(2)}$.

Ток срабатывания защиты

$$I_{CЗ} = K_{отс} \cdot 3 \cdot I_{0КЗ.макс.внеш}$$

где $K_{отс} = 1,3$; $I_{0КЗ.макс.внеш}$ – максимальное значение периодической составляющей начального тока нулевой последовательности при коротком замыкании в конце зоны.

$$I_{0КЗ.макс.внеш} = I_{КЗ\max}^{(3)B1C} \cdot \frac{3}{1 + \frac{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}}{X_{1\Sigma}}} = \frac{3}{5} \cdot I_{КЗ\max}^{(3)B1C},$$

где $X_{1\Sigma}$, $X_{2\Sigma}$, $X_{0\Sigma}$ – сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательности соответственно; принимается $X_{\Sigma I} = X_{2\Sigma}$; $X_{0\Sigma} = 3 X_{1\Sigma}$.

Ток срабатывания реле:

$$I_{CP.P} = \frac{K_{CX}}{K_I} \cdot I_{CЗ}.$$

Вторая ступень защиты отстраивается от тока срабатывания защиты первой ступени линии ЛЗ, которая в данной работе не рассчитывается.

Третья ступень защиты – МТЗ нулевой последовательности. В нормальном режиме и при многофазных повреждениях в реле проходит ток небаланса, поэтому ток срабатывания защиты выбирается без учета рабочих токов по условию $I_{CЗ} \geq I_{НБРАСЧ}$. Защита на всех ступенях выполняется направленной с реле РМ-11. Данная защита не имеет мертвой зоны

Защита выполняется на реле РСТ и реле направления мощности РМ.

Измерительными органами являются выбранные ранее трансформаторы тока, включенные по схеме полной звезды и трансформатор напряжения.

Ток срабатывания защиты

$$I_{CЗ} = \frac{K_{отс}}{K_B} \cdot I_{НБ},$$

здесь $K_{отс}=1,2$ – коэффициент отстройки;

$K_B=0,9$ – коэффициент возврата для реле РСТ.

$$I_{НБ} = K_{ОДН} \cdot \varepsilon \cdot I_{КЗ.макс}^{(3)B1C}$$

где $K_{ОДН}=0,5$ – коэффициент однотипности для идентичных трансформаторов тока;

$\varepsilon = 0,1$ – класс точности трансформаторов тока.

Коэффициент чувствительности в основной зоне определяется по току $I_{K3MIN}^{(2)B2c}$

$$K_q = \frac{I_{K3MIN}^{(2)B2c}}{I_{c3}} > 1,5.$$

Выдержка времени МТЗ определяется для всей сети А-В-Б путем разделения схемы на две части, в каждой из которых будет по одному источнику, и производится независимое определение времени срабатывания МТЗ (рис. 5)

Степень селективности для статического реле принимается $\Delta t = 0,4$ с.

Для обеспечения выдержки времени выбирается реле времени РВ 01, пределы регулирования времени которого от 0,1 до 50 с.

$$\begin{aligned} t_{c3}^3 &= t_{c3}^7 = MAX(t_{c3}^{11}, t_{c3}^{12}) + \Delta t; \\ t_{c3}^4 &= t_{c3}^8 = MAX(t_{c3}^{13}, t_{c3}^{14}, t_{c3}^3, t_{c3}^7, t_{c3}^{16}, t_{c3}^{18}) + \Delta t; \\ t_{c3}^2 &= t_{c3}^6 = MAX(t_{c3}^9, t_{c3}^{10}) + \Delta t; \\ t_{c3}^1 &= t_{c3}^5 = MAX(t_{c3}^2, t_{c3}^6, t_{c3}^{13}, t_{c3}^{14}, t_{c3}^{16}, t_{c3}^{18}) + \Delta t. \end{aligned}$$

Время срабатывания защит 16 и 18 отстраивается от времени срабатывания предыдущих защит. При этом минимальное время срабатывания защит присоединений (на шинах РП) берется 0,1 с.

$$\begin{aligned} t_{c316} &= t_{c318} = t_{c321} + \Delta t = t_{c3Q27} + 2\Delta t = (t_{c3T3} + \Delta t) + 2\Delta t = \\ &= [(t_{c331} + \Delta t) + \Delta t] + 2\Delta t. \end{aligned}$$

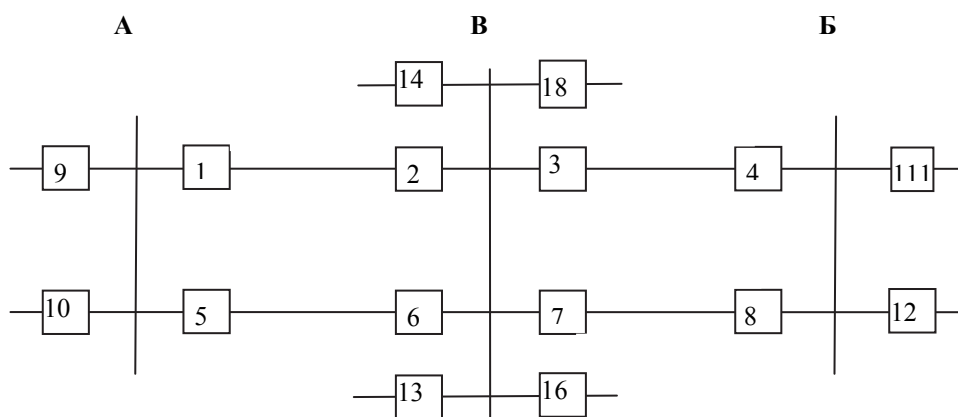


Рис. 5. Выдержки времени максимальной токовой защиты сети А-Б-В

9. РАСЧЕТ ЗАЩИТЫ КОНДЕНСАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

От повреждений и ненормальных режимов конденсаторных установок предусматривается защита, действующая при многофазных коротких замыканиях, перегрузках и повышении напряжения.

Номинальный ток конденсаторной установки:

$$I_{\text{БСК}} = \frac{S_{\text{БСК.ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}.$$

В сетях выше 1000 В для защиты БСК от междуфазных коротких замыканий устанавливается максимальная токовая защита без выдержки времени.

Ток срабатывания защиты:

$$I_{\text{СЗ}} = K_{\text{Н}} \cdot I_{\text{БСК.ном}},$$

где $K_{\text{Н}} = 2 \div 2,5$.

Ток срабатывания реле:

$$I_{\text{СР}} = \frac{I_{\text{СЗ}}}{n_{\text{Т}}},$$

где $n_{\text{Т}}$ – коэффициент трансформации трансформатора тока, у которого первичный ток выбирается по номинальному току БСК.

Выбирается реле тока и уставка.

Коэффициент чувствительности:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{К. min}}^{(2)\text{ПП2}}}{I_{\text{СЗ}}} \geq 1,5.$$

Защита от перегрузок токами высших гармоник

Ток срабатывания защиты:

$$I_{\text{СЗ}} = K_{\text{отс}} \cdot I_{\text{БСК}},$$

где $K_{\text{отс}} = 1,3$.

Ток срабатывания реле

$$I_{\text{СР}} = \frac{I_{\text{СЗ}}}{n_{\text{Т}}}.$$

Время срабатывания защиты: $t_{\text{с.з}} = 9,1 \text{ с.}$

Защита от повышения напряжения

Напряжение срабатывания защиты:

$$U_{C3} = 1,1 \cdot U_{ном}.$$

Напряжение срабатывания реле:

$$U_{CP} = \frac{U_{C3}}{n_H},$$

где $n_H = U_{Iном}/U_{2ном}$ – коэффициент трансформации трансформатора напряжения.

Выбирается реле РН с уставкой срабатывания.

Выдержка времени защиты $t_{c.з} = 3 - 5$ мин.

10. РАСЧЕТ ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ ЭЛЕКТРОПЕЧНЫХ УСТАНОВОК

Для трансформаторов электропечных установок предусматривают следующие виды защит:

- токовую защиту без выдержки времени от многофазных коротких замыканий;
- токовую защиту от перегрузки;
- газовую защиту;
- защиту от однофазных коротких замыканий на землю.

МТЗ без выдержки времени в двухфазном, двух- или трехрелейном исполнении устанавливается со стороны питания с током срабатывания

$$I_{C3} = K_{OTC} I_{T.ном},$$

где коэффициент отстройки $K_{OTC} = 2,0 \dots 3,0$ для руднотермических печей и $K_{OTC} = 3,0 \dots 4,5$ для дуговых сталеплавильных печей.

$$I_{T.ном} = \frac{S_{номДСП}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}.$$

Ток срабатывания реле

$$I_{CP} = \frac{I_{C3}}{n_T},$$

где n_T – коэффициент трансформации трансформатора тока, значение $I_{Iном}$ которого выбирается по номинальному току ДСП.

Чувствительность защиты проверяется по двухфазному короткому замыканию в конце сети питания печи

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{K.\min}^{(2)\text{ПП2}}}{I_{\text{сз}}} \geq 1,2.$$

Токовая защита от перегрузки включается через трансформаторы тока, установленные на стороне низшего напряжения. Учитывая возможность несимметрии токов фаз, защиту от перегрузки выполняют трехфазной.

Ток срабатывания защиты отстраивается от наибольшего длительно допустимого тока ДСП

$$I_{\text{сз}} = (1,4 \dots 1,5) \cdot I_{\text{Т.ном}}.$$

Выдержка времени защиты отстраивается от времени подъема электродов (для дуговых печей) и составляет $t_3 = 10$ с.

Чувствительность защиты не проверяется.

Газовая защита устанавливается согласно общим положениям.

Защита от однофазных коротких замыканий на землю предусматривается, если это требуется по условиям работы сети с глухозаземленной нейтралью.

11. РАСЧЕТ ЗАЩИТЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

Основными защитами трансформатора преобразовательного агрегата являются: максимальная токовая защита без выдержки времени от многофазных КЗ в обмотках и на выводах трансформатора, газовая защита и токовая защита от перегрузки, если нет защиты от перегрузки полупроводникового преобразователя.

Токовая защита без выдержки времени выполняется двухфазной трехлинейной с помощью реле РТ-40 или РСТ. При недостаточной чувствительности рекомендуется использовать реле РНТ-565.

$$I_{\text{сз}} = K_{\text{отс}} I_{\text{ном}},$$

где $K_{\text{отс}} = 3,0 \dots 4,0$ для реле РТ-40 и РСТ и 1,3 для реле РНТ-565 с учетом отстройки от бросков тока намагничивания при включении нагруженного трансформатора и от возможных толчков тока нагрузки.

$$I_{\text{ном}} = \frac{S_{\text{ном.т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}},$$

Номинальная мощность трансформатора определяется по формуле

$$S_{\text{ном.т}} = \frac{1,045 \cdot U_d I_d}{\eta},$$

здесь U_d и I_d соответственно выпрямленное напряжение и ток ППА, $\eta = 0,95$ – коэффициент полезного действия питающего трансформатора.

Коэффициенты чувствительности определяются при двухфазном КЗ на выводах высокого и низкого напряжений

$$K_{\text{чВН}} = \frac{I_{K \min}^{(2)\text{ПП2}}}{I_{\text{сз}}} \geq 2;$$

$$K_{\text{чНН}} = \frac{I_{K \min}^{(2)\text{ПП2}}}{I_{\text{сз}} \cdot n_{\text{т}}} \geq 1,5,$$

где $n_{\text{т}}$ – коэффициент трансформации питающего трансформатора.

МТЗ от перегрузки с выдержкой времени обычно выполняется на реле РТ-80. Ток срабатывания защиты определяется из условия отстройки от номинального тока преобразователя

$$I_{\text{сз}} = \frac{K_{\text{отс}} \cdot K_{\text{п}}}{K_{\text{в}}} \cdot I_{\text{ном}},$$

здесь $K_{\text{отс}} = 1,1$; $K_{\text{в}} = 0,8$ – коэффициент возврата реле, $K_{\text{п}}$ – кратность тока перегрузки по отношению к $I_{\text{ном}}$. При отсутствии данных о перегрузке кратность тока можно принять равным 2,5.

Газовая защита от внутренних повреждений и понижения уровня масла устанавливается на трансформаторах мощностью более 1000 кВА, а для внутрицеховых преобразовательных подстанций и установок – на трансформаторах мощностью 400 кВА и более.

12. ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В

Для электродвигателей напряжением до 1000 В должна предусматриваться защита от многофазных КЗ в сетях с глухозаземленной нейтралью и от однофазных замыканий. В случаях, где возможна перегрузка механизма, устанавливается защита от токов перегрузки и защита минимального напряжения.

Защита от междофазных КЗ возможна установкой плавких предохранителей или расцепителями автоматических выключателей. Вторая более предпочтительна. Расцепители позволяют выполнить все виды защиты – от коротких замыканий, перегрузки, снижения напряжения.

В первом случае необходимо произвести выбор предохранителя, плавких вставок к ним и проверить их по отключающей способности и по

кратности тока короткого замыкания (отношение минимального тока КЗ к номинальному току плавкой вставки). Кратность тока должна быть не менее трех при однофазном КЗ в наиболее удаленной точке защищаемого участка

Номинальный ток двигателя рассчитывается по формуле

$$I_{\text{д.ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cos \varphi \cdot \eta}.$$

По номинальному току двигателя определяется марка и сечение питающего кабеля по условию

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{д.ном}}.$$

Сечение нулевого провода выбирается на две ступени ниже по шкале стандартных сечений кабелей.

Номинальный ток плавкой вставки выбирается по наибольшему из двух токов:

$$I_{\text{вс.ном}} = k_{\text{отс}} I_{\text{д.ном}};$$

$$I_{\text{вс.ном}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{k_{\text{пер}}},$$

где $k_{\text{отс}} = 1,2$ – коэффициент отстройки; $k_{\text{пер}} = 2,5$ – коэффициент перегрузки двигателя.

Определяется ток однофазного короткого замыкания на выводах электродвигателя.

Активное сопротивление прямой последовательности фазных проводов от трансформатора ТЗ(Т4) до двигателя

$$R_{l.\phi n} = r_{y\partial} L_{\text{каб.}}$$

Сопротивление прямой последовательности нулевого провода

$$R_{l.nn} = r_{y\partial} L_{\text{каб.}}$$

Активное сопротивление нулевой последовательности проводов

$$R_{0n} = R_{l.\phi n} + 3 R_{l.nn}.$$

Индуктивное сопротивление прямой последовательности

$$X_{l.n} = x_{y\partial} L_{\text{каб.}}$$

Индуктивное сопротивление нулевой последовательности

$$X_{0.n} = 4X_{1.n}.$$

Активное сопротивление прямой последовательности трансформатора ТЗ(Т4)

$$R_{1T} = \left(\frac{\Delta P_K}{S_{T.ном}} \right) \left(\frac{U_{ср.ном}^2}{S_{T.н.н}} \right).$$

Активное сопротивление нулевой последовательности трансформатора

$$R_{0m} = 7R_{1m}.$$

Индуктивное сопротивление прямой последовательности трансформатора

$$X_{1T} = \sqrt{\left[\left(\frac{U_K \%}{100} \right) \left(\frac{U_{ср.ном}^2}{S_{T.ном}} \right) \right]^2 - R_{1T}^2}.$$

Индуктивное сопротивление нулевой последовательности трансформатора

$$X_{0m} = 7X_{1m}.$$

Результирующее активное сопротивление контура при однофазном КЗ на выводах электродвигателя

$$R_{\Sigma} = 2(R_{1\phi} + R_{1m}) + R_{0n} + R_{0m}.$$

Результирующее индуктивное сопротивление контура

$$X_{\Sigma} = 2(X_{1n} + X_{1m}) + X_{0n} + X_{0m}.$$

Полное сопротивление контура при однофазном КЗ на выводах электродвигателя

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

Ток однофазного КЗ

$$I_{КВД}^1 = \frac{3U_{ср.ном}}{\sqrt{3}Z_{\Sigma}}.$$

Проверяется предохранитель и плавкая вставка по кратности минимального тока короткого замыкания

$$K = \frac{I_{КВД}^1}{I_{вс.ном}} \geq 3.$$

Защитой от КЗ является также токовая отсечка. Она может быть выполнена с помощью токовых реле разных типов: РТ-40, РСТ, РТ-80, РТМ. Ток срабатывания токовой отсечки выбирается по условию

$$I_{\text{сз}} = K_{\text{отс}} I_{\text{пуск}} = K_{\text{отс}} \cdot K_{\text{пуск}} \cdot I_{\text{д.ном}},$$

где $K_{\text{отс}} = 1,4$ для реле РТ-40 и РСТ, $K_{\text{отс}} = 1,8$ для реле РТ-80 для реле РТМ $K_{\text{отс}} = 2,0$ и При использовании автоматических выключателей $K_{\text{отс}} = 2,0$ – для электромагнитного расцепителя и $1,5$ – для полупроводникового расцепителя.

Защита от перегрузки. Если электродвигатель подключается в сеть через автоматический выключатель с тепловым или комбинированным расцепителем, то тепловой расцепитель используют для выполнения защиты от перегрузки. Защита обеспечивается, если номинальный ток расцепителя равен номинальному току электродвигателя

$$I_{\text{РЦном}} = I_{\text{д.ном.}}$$

Выдержка времени тепловых расцепителей в условиях эксплуатации не регулируется и составляет 8–10 с в зависимости от значений $I_{\text{РЦном}}$. Такая выдержка времени позволяет отстроить защиту от нормальных пусков и самозапусков электродвигателя

13. ПРОВЕРКА ТРАНСФОРМАТОРА ТОКА И ВЫБОР КОНТРОЛЬНОГО КАБЕЛЯ

Необходимо выбрать контрольный кабель во вторичных цепях трансформатора тока, установленного около заданного выключателя Q . Выбранный трансформатор тока имеет номинальный ток на первичной стороне: $I_{1\text{ном}}$; на вторичной стороне – $I_{2\text{ном}} = 5 \text{ А}$.

Коэффициент трансформации трансформатора тока:

$$n_T = \frac{I_{1\text{ном}}}{I_{2\text{ном}}}.$$

Во вторичные цепи трансформатора тока включаются реле токовой отсечки и МТЗ. Расчетная кратность тока

Допустимое сопротивление нагрузки определяется по кривым $K_{10} = f(Z_H)$ для данного трансформатора тока или по справочным табли-

цам для данного ТТ. Номинальная нагрузка трансформатора тока в классе точности 10Р составляет $Z_{доп}$.

Расчетное сопротивление нагрузки в схеме неполной звезды с двумя реле определяется выражением

$$Z_{расч} = 2 \cdot r_{пр} + 2 \cdot z_P + r_{конт},$$

где $r_{пр}$ – сопротивление проводов, Ом;

$z_P = 0,2$ Ом – сопротивление реле;

$r_{конт} = 0,05$ Ом – сопротивление контактов.

Найдем $r_{пр}$ при условии $Z_{расч} = Z_{доп}$:

$$r_{пр} = \frac{1}{2} \cdot (z_{доп} - 2 \cdot z_P - r_{конт}).$$

По заданию вторичные цепи выполнены кабелем длиной l , тогда сечение кабеля

$$q = \frac{\rho \cdot l}{r_{пр}},$$

где ρ – удельное сопротивление материала кабеля.

Принимается стандартное сечение и выбирается марка контрольного кабеля.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П1

Система и сеть А-Б-В

Вариант	Мощность КЗ систем, МВА				U _л , кВ	Длина, км		Передаваемая мощность, МВА		Мощность, забираемая ГПП, МВА	Кол-во отходящих транзитных линий	Мощность Т1, Т2, МВА	Кол-во и мощность Т3, Т4, МВА
	Система 1		Система 2										
	режимы		режимы										
	макс	мин	макс	мин									
1	900	800	1300	1000	35	40	25	12	19	5,6	2	2х4,0	5х1,0
2	950	850	1350	1100	35	45	30	13	16	6	3	2х4,0	5х1,0
3	1000	900	1400	1200	35	30	20	16	15	8,5	4	2х6,3	3х1,6
4	1400	1200	1000	900	35	27	22	11	18	14	3	2х10	5х2,5
5	1300	1100	1100	1000	35	16	20	22	15	10	2	2х6,3	5х1,6
6	1200	900	900	850	35	15	35	25	10	22	2	2х16	6х2,5
7	1300	1000	900	800	35	17	30	26	9	21	3	2х16	7х2,5
8	1000	800	1300	1000	35	30	25	12	19	6,3	2	2х4	5х0,63
9	1300	1000	1800	1300	110	24	32	70	80	34	4	2х40	6х2,5
10	1200	900	1700	1200	110	25	30	55	70	25	6	2х16	5х1,6
11	1250	1000	1500	1300	110	26	33	65	75	38	6	2х40	7х2,5
12	1600	1200	2000	1500	220	48	72	90	105	84	4	2х63	8х2,5
13	1500	1100	1800	1400	220	50	63	85	100	82	6	2х63	7х2,5
14	1400	1200	1100	900	110	45	65	75	65	22	4	2х16	8х1,0
15	1300	1100	1100	950	110	40	55	80	70	20	2	2х16	5х1,6
16	1500	1150	1700	1300	220	55	65	90	85	75	4	2х63	10х2,5
17	1400	1100	1800	1500	220	60	80	90	75	37	3	2х25	8х1,6
18	1500	1150	1800	1200	220	55	75	95	80	35	2	2х25	12х2,5
19	1500	1200	1900	1600	220	70	85	95	85	34	4	2х25	6х1,6
20	900	700	1200	1000	110	20	30	45	50	13	2	2х10	5х1,0

Таблица П2

Выдержки времени защит и параметры отходящих линий от шин подстанции Г и РП1

Ва- ри- ант	Выдержки времени защит на Q, с								Л15					Л16					Л17, Л18				
	9	10	11	12	13	14	22	24	Длина, км	Кол-во КЛ	Мате- риал	Сечение мм ²	Кз	Длина, км	Кол-во КЛ	Мате- риал	Сечение мм ²	Кз	Длина, м	Кол-во КЛ	Мате- риал	Сечение мм ²	Кз
1	2,0	1,5	2,0	1,5	2,0	2,2	1,2	1,3	1,6	2	A	50	3,3	2,6	1	A	70	2,0	50	1	M	16	3,3
2	2,0	2,5	2,5	2,0	1,5	1,0	1,2	1,3	1,3	2	A	70	3,4	2,5	1	A	50	2,1	45	1	A	25	3,4
3	2,5	2,5	2,5	1,5	1,1	1,0	1,3	1,2	1,8	2	A	95	3,5	2,4	2	A	95	2,2	30	2	M	16	3,5
4	2,5	1,5	2,0	2,5	1,5	1,5	2,5	1,6	1,5	2	A	95	3,55	2,3	2	A	240	2,0	37	4	A	35	3,55
5	2,0	2,5	1,5	2,5	1,5	1,0	1,2	1,0	1,2	2	A	120	3,6	2,2	2	A	25	2,1	40	3	A	50	3,6
6	1,5	2,0	1,5	1,5	1,0	1,5	1,1	1,2	1,1	3	M	185	4,0	2,1	2	A	185	2,2	35	5	M	25	4,0
7	2,0	1,5	2,0	2,0	1,1	1,0	1,3	1,2	1,4	3	M	240	4,1	2,0	2	A	150	2,0	50	2	M	50	4,1
8	1,5	2,5	2,5	2,5	1,5	1,3	1,2	1,3	1,7	2	A	35	3,5	1,9	1	A	120	1,7	52	1	A	35	3,5
9	2,5	2,0	1,5	2,5	1,3	1,5	1,3	1,2	2,0	3	M	185	3,9	1,7	6	M	240	1,65	34	4	M	25	3,9
10	1,5	2,0	2,5	2,5	1,5	1,5	1,0	1,1	1,3	3	M	150	3,8	1,8	2	A	150	2,0	62	2	A	95	3,8
11	2,0	1,5	2,0	1,5	1,0	1,5	1,3	1,3	1,8	3	M	240	4,1	1,3	6	M	240	1,4	55	6	M	25	4,1
12	2,2	1,5	2,5	1,5	1,3	1,5	1,1	1,0	1,7	4	M	240	4,2	2,0	3	M	240	1,5	48	5	A	120	4,2
13	2,0	2,5	2,5	2,0	1,5	1,0	0,8	1,0	1,9	3	M	240	4,1	1,7	5	M	240	2,0	70	4	M	50	4,1
14	2,5	2,5	2,0	1,5	1,0	1,1	1,2	1,0	2,0	3	A	95	3,7	1,4	4	A	185	2,1	49	2	A	50	2,1
15	2,5	2,0	2,5	1,5	1,0	1,1	1,1	1,2	2,1	3	A	120	3,5	1,1	4	A	185	2,0	65	3	M	16	2,0
16	2,0	2,5	1,5	2,5	1,5	1,0	0,6	1,1	2,2	5	M	240	4,2	1,2	6	M	240	1,8	38	2	A	25	1,8
17	1,5	2,0	1,5	1,5	1,2	1,3	1,0	1,3	2,3	3	M	185	4,1	1,5	4	M	185	1,8	53	4	M	35	1,8
18	2,0	1,5	2,0	2,5	1,0	1,0	1,2	1,1	2,4	4	M	240	3,8	1,8	3	A	240	1,7	58	3	A	35	1,7
19	2,5	2,0	1,5	2,2	1,2	1,3	1,0	0,9	2,5	2	A	185	3,7	1,3	4	M	240	1,6	45	2	M	16	1,6
20	1,5	1,6	1,4	2,0	1,3	1,2	1,1	1,6	2,6	2	A	95	3,8	1,6	2	A	185	1,5	60	3	A	50	1,5

Таблица ПЗ

Параметры нагрузки шин РП1 и РП2

Вариант	Двигатели 10 кВ			Двигатели 380 В							БСК		ДСП		ППА		
	Кол-во	Мощность кВт	К _П	Тип	Р _{ном} , кВт	cosφ	η, %	К _{пуск}	L _{каб} , м	S, кВАр	Кол-во	S _{ном} , МВА	Тип	Назначение	U _{дн} , В	I _{дн} , А	
1	2	630	5,6	4A71A2У3	0,75	0,87	77	5,5	10	3000	2	1,8	АТ	Питание якорных цепей эл. двигателя-лей пост. тока	230	400	
2	2	800	5,5	4A80A2 У3	1,5	0,87	77	5,5	15	2000	2	1,0			460	400	
3	3	1000	6,7	4A90L2 У3	3,0	0,88	84,5	6,5	8	2500	3	1,8			230	600	
4	3	1600	6,3	4A132S4 У3	7,5	0,86	87,5	7,5	20	3000	2	5,0			460	600	
5	2	2000	6,9	4A160S6 У3	11,0	0,86	86	6,0	25	2000	1	1,0			230	800	
6	3	2500	6,1	4A180M8 У3	15,0	0,82	87	6,0	23	2500	2	2,8			460	800	
7	2	3150	6,6	4A200M8 У3	18,5	0,84	88,5	5,5	24	4000	2	2,8			230	1000	
8	2	630	5,6	4A200L8 У3	22,0	0,84	88,5	5,5	15	3500	1	2,8			460	500	
9	2	5000	7,7	4A180M4 У3	30,0	0,9	91	6,5	20	6000	2	2,5	ВАКЛЕ	Для гор. эл.трансп.	230	900	
10	2	2500	6,1	4A200M4 У3	37,0	0,9	91	7,0	17	5000	1	5,0			460	500	
11	2	6300	6,2	4A250S6 У3	45,0	0,89	91,5	6,5	15	8000	1	4,5,	ВАК	Питание ванн электролиза	600	1000	
12	3	5000	7,7	4A250M6 У3	55,0	0,89	91,5	6,5	20	7000	2	4,5			600	2000	
13	2	6300	6,2	4A280M8 У3	75,0	0,85	92,5	5,5	18	5000	3	25,0			300	12500	
14	2	1600	6,0	4A315S8 У3	90,0	0,85	93	6,5	25	4000	2	9,0	ТПВ	Питание вакуумно-дуговых и плазм. печей	500	25000	
15	3	2000	6,9	4A355M10 У3	110,0	0,83	93	6,0	30	5000	2	9,0			800	12500	
16	2	1000	6,0	4A355S8 У3	132,0	0,85	93,5	6,5	20	8000	1	15,0			60	1600	
17	2	5000	7,7	4A355S6 У3	160,0	0,9	93,5	6,5	28	7000	3	9,0			100	1600	
18	2	1600	6,3	4A315M4 У3	200,0	0,92	94	6,0	35	4000	2	9,0			150	1250	
19	3	1250	5,2	4A112MA8 У3	2,2	0,71	76,5	5,0	10	3500	1	2,5			200	1250	
20	2	2000	6,9	4A100S2 У3	4,0	0,89	86,5	7,5	12	3000	1	9,0	50	5000			

Примечание: 1. В вариантах 1...13 – синхронные двигатели типа СТД; 14...20 – асинхронные. 2. Защиту по четным вариантам выполнять на переменном оперативном токе, по нечетным – на постоянном.

Таблица П4

Индивидуальные задания на расчет объектов схемы

Вариант	Произвести полный расчет защиты объектов (нумерация выключателей по схеме рис. 1)	Изобразить схему защиты элементов	Выбрать ТТ	Материал и длина (м) провода
1	T1(16); Л1,2(1,5); Л5(21); СВ(15); Т3(30); БСК(28)	Т3; Л1,2	21	М, 30
2	T2(18); Л3,4(4,8); Л6(23); СВ(20); Т5(33); М(35)	Т1; Л3,4	4	А, 50
3	T1(16); Л1,2(6,2); Л5(21); СВ(27); Т6(34); Д(32)	Т1; Л5	34	М, 20
4	T2(18); Л3,4(3,7); Л6(23); СВ(15); Т3(30); М(35)	Т2; Л6	18	А, 60
5	T1(16); Л1,2(1,5); Л5(21); СВ(20); Т5(33); Д(29)	Т1; СВ	16	М, 50
6	T2(18); Л3,4(4,8); Л6(23); СВ(27); Т6(34); М(35)	Т2; Л3,4	23	А, 40
7	T1(16); Л1,2(6,2); Л5(21); СВ(15); Т3(30); БСК(28)	Т1; Л5	6	М, 20
8	T2(18); Л3,4(3,7); Л6(23); СВ(20); Т5(33); БСК(28)	Т2; СВ	3	А, 55
9	T1(16); Л1,2(1,5); Л5(21); СВ(27); Т6(34); Д(29)	Т1; Д	29	М, 10
10	T2(18); Л3,4(4,8); Л6(23); СВ(15); Т3(30); М(35)	Т2; СВ	15	А, 30
11	T1(16); Л1,2(6,2); Л5(21); СВ(20); Т5(33); Д(32)	Т1; Д	16	М, 65
12	T2(18); Л3,4(3,7); Л6(23); СВ(27); Т6(34); М(35)	Т2, М	18	А, 80
13	T1(16); Л1,2(1,5); Л5(21); СВ(15); Т3(30); Д(29)	Т1; Д	21	М, 10
14	T2(18); Л3,4(4,8); Л6(23); СВ(20); Т5(33); М(35)	Т2, СВ	4	А, 70
15	T1(16); Л1,2(1,5); Л5(21); СВ(27); Т6(34); Д(32)	Т1, Л6	1	М, 80
16	T2(18); Л3,4(4,8); Л6(23); СВ(15); Т3(30); М(35)	Т2; СВ	23	А, 100
17	T1(16); Л1,2(6,2); Л5(21); СВ(20); Т5(33); Д(29)	Т1, Д	20	М, 30
18	T2(18); Л3,4(3,7); Л6(23); СВ(27); Т6(34); М(35)	Т2; Л3,4	3	А, 110
19	T1(16); Л1,2(1,5); Л5(21); СВ(15); Т3(30); Д(32)	Т1; СВ	16	М, 100
20	T2(18); Л3,4(3,7); Л6(23); СВ(20); Т5(33); М(35)	Т2; Л3,4	20	А, 60

Таблица П5

Характеристики трансформаторов

№	Т1, Т2				Т3, Т4		
	Мощность S, МВА	Тип	U _к , %	Пределы регулирования, %	Мощность S, МВА	Тип	U _к , %
1	4	ТМН-4000/35	7,5	9	1,0	ТМ-1000/10	7,5
2	6,3	ТМ-6300/35	7,5	9	1,6	ТСЗ-1600/6	5,5
3	10,0	ТДН-10000/35	10	12	1,6	ТМ-1600/6	5,5
4	16,0	ТД-16000/35	10	5	1,0	ТМ-1000/10	7,5
5	40,0	ТРДН-40000/110	10,5	16	2,5	ТМ-2500/10	6,5
6	32,0	ТД-32000/110	10,5	5	2,5	ТМ-2500/6	6,5
7	63,0	ТРДЦН-63000/220	12	12	1,6	ТМ-1600/10	5,5
8	16,0	ТДН-16000/110	10,5	16	0,63	ТМ-630/10	5,5
9	25,0	ТРДН-25000/220	12	12	1,0	ТСЗ-1000/10	5,5
10	10,0	ТДН – 10000/110	10,5	16	0,4	ТСЗ-400/10	5,5

Таблица П6

Активные сопротивления проводов и кабелей, Ом/км (r_0)

Сечение, мм ²	Провода и кабели		Сечение, мм ²	Провода и кабели	
	медные	алюминиевые		медные	алюминиевые
1	18,9	—	35	0,54	0,92
1,5	12,6	—	50	0,39	0,64
2,5	7,55	12,6	70	0,28	0,46
4	4,56	7,90	95	0,20	0,34
6	3,06	5,26	120	0,158	0,27
10	1,84	3,16	150	0,123	0,21
16	1,20	1,98	185	0,103	0,17
25	0,74	1,28	240	0,17	0,132

Таблица П7

Индуктивные сопротивления одной фазы трехфазной линии, Ом/км (x_0)

Сечение, мм ²	Кабельные линии на напряжение, кВ				Изолированные провода			Воздушная линия на напряжение, кВ		
	до 1	3	6	10	в трубе	на роликах	на изоляторах	до 1	6-10	35
1–2,5	–	–	–	–	0,11	0,28	0,32	–	–	–
4–6	0,09	0,1	–	–	0,1	0,24	0,29	–	–	–
10–25	0,07	0,08	0,1	0,11	0,09	0,21	0,25	0,36	0,41	–
35–70	0,06	0,07	0,08	0,09	0,08	0,19	0,23	0,33	0,38	0,42
95–120	0,06	0,06	0,08	0,08	0,08	0,18	0,22	0,30	0,35	0,4
150–240	0,06	0,06	0,08	0,08	0,08	0,18	0,21	–	–	–

Таблица П8

Длительно допустимые токовые нагрузки 3-х и 4-х жильных силовых кабелей
с пропитанной бумажной изоляцией, на напряжение 1, 6 и 10 кВ, А

Номиналь- ное сечение токопровода- щей жилы, мм ²	С медной жилой						с алюминиевой жилой					
	В земле			В воздухе			В земле			В воздухе		
	1 кВ	6 кВ	10 кВ	1 кВ	6 кВ	10 кВ	1 кВ	6 кВ	10 кВ	1 кВ	6 кВ	10 кВ
6	58	—	—	53	—	—	45	—	—	40	—	—
10	78	77	—	73	74	—	60	59	—	55	55	—
16	102	101	92	97	98	89	79	77	74	72	73	67
25	134	132	119	127	130	115	102	100	91	95	95	87
35	163	160	144	157	160	142	126	121	110	118	117	106
50	200	197	176	195	200	175	153	149	134	146	146	132
70	241	236	212	247	244	219	184	180	162	180	178	161
95	287	280	251	301	296	265	219	213	192	218	214	194
120	325	318	284	348	342	305	248	243	218	261	248	234
150	365	358	318	400	392	349	281	275	246	300	285	264
185	404	396	352	451	442	393	314	307	275	342	333	298
240	455	448	396	522	512	455	359	351	314	402	389	347

Таблица П9

Поправочные коэффициенты на количество работающих кабелей,
лежащих рядом в земле

Расстояние между осями ка- белей	Значение коэффициента снижения продолжительно допустимого тока при количестве кабелей					
	1	2	3	4	5	6
100	1,0	0,84	0,72	0,68	0,64	0,61
200	1,0	0,88	0,79	0,74	0,70	0,68
300	1,0	0,90	0,82	0,77	0,74	0,72

Таблица П10

Удельные емкостные токи однофазного замыкания на землю кабелей
6-35 кВ с бумажной изоляцией и вязкой пропиткой, А/км

Сече- ние жи- лы, мм ²	Кабели с по- ясной изо- ляцией		Кабели с отдельно ос- винцован- ными жила- ми		Сечение жилы, мм ²	Кабели с поясной изоляция		Кабели с отдельно освинцован- ными жи- лами	
	6 кВ	10 кВ	20 кВ	35 кВ		6 кВ	10 кВ	20 кВ	35 кВ
10	0,33	—	—	—	120	0,89	1,1	3,4	4,4
16	0,37	0,52	—	—	150	1,1	1,3	3,7	4,8
25	0,46	0,62	2,0	—	185	1,2	1,4	4,0	—
35	0,52	0,69	2,2	—	240	1,3	1,6	—	—
50	0,59	0,77	2,5	—	300	1,5	1,8	—	—
70	0,71	0,9	2,8	3,7	400	1,7	2,0	—	—
95	0,82	1,0	3,1	4,1	500	2,0	2,3	—	—

Таблица П11

Расчетные значения емкости двигателей

Тип электродвига- теля	Номинальная мощность, кВт	Расчетное значение ем- кости обмотки статора на три фазы, мкФ
СТД-5000-2	5000	0,110/0,85
СТД-6300-2	6300	0,110/0,110
СТД-8000-2	8000	0,170/0,110
СТД-10000-2	10000	0,170/0,150
СТД-12500-2	12500	0,220/0,150

Примечание: значения емкости в числителе относятся к напряжению 6 кВ, в знаменателе – к напряжению 10 кВ

Реле максимального тока РСТ-11,13



Реле предназначены для применения в схемах релейной защиты и автоматики энергетических систем в качестве органа, реагирующего на повышение тока, и используются в комплектных устройствах, от которых требуется повышенная устойчивость к механическим воздействиям.

Структура условного обозначения

РСТ ХХМ-ХХ-Х Х4

РСТ – реле статическое тока; **ХХМ** – порядковый номер разработки (М – модернизированное, относится только к РСТ 11М): **11** – для частоты 50 Hz и оперативного переменного тока; **13** – для частоты 50 Hz и оперативного постоянного тока; **11М** – для частот 50 и 60 Hz и оперативного постоянного и переменного тока; **ХХ** – максимальная установка по току: **04** – 0,2 А; **09** – 0,6 А; **14** – 2 А; **19** – 6 А; **24** – 20 А; **29** – 60 А; **32** – 120 А; **Х** – вид и способ присоединения внешних проводников

Технические данные

Тип реле	Номинальная частота, Hz	Класс точности	Напряжение питания, 220 V	Пределы уставки на ток срабатывания, А	Номинальный ток, А	Мощность, потребляемая реле при токе минимальной уставки, VA
РСТ 11-04	50	7,5	перем	0,05–0,2	0,4	0,1
РСТ 11-09		5		0,15–0,6	6,3	0,1
РСТ 11-14				0,5–2,0	6,3	0,1

Окончание таблицы П12

PCT 11-19				1,5–6, 0	10	0,2			
PCT 11-24				5–20	16	0,2			
PCT 11-29				15–60	16	0,8			
PCT 11-32				30–120	16	2,4			
PCT 13-04		7,5	пост	0,05– 0,2	0,4	0,1			
PCT 13-09		5		0,15– 0,6	6,3	0,1			
PCT 13-14				0,5–2,0	6,3	0,1			
PCT 13-19				1,5–6, 0	10	0,2			
PCT 13-24				5–20	16	0,2			
PCT 13-29				15–60	16	0,8			
PCT 13-32				30–120	16	2,4			
Время срабатывания реле, с, не более: – при токе, равном 1,2 I _{ср} – при токе, равном 3 I _{ср}						0,06 0,035			
Коэффициент возврата реле, не менее						0,9			
Контакты реле						1 замыкаю- щий, 1 размыкаю- щий			

Реле тока дифференциальные РСТ-15;16

	Реле тока дифференциальные типов РСТ-15, РСТ-16 предназначены для использования в схемах дифференциальной защиты одной фазы силовых трансформаторов, автотрансформаторов, высоковольтных электродвигателей, генераторов, синхронных компенсаторов.			
Структура условного обозначения РСТ-XX Х4				
РСТ – реле статического тока; XX – порядковый номер разработки (15 – для частоты 50 Hz; 16 – для частоты 60 Hz); Х4 – климатическое исполнение (УХЛ, О) и категория размещения (4) по ГОСТ 15150-69 и ГОСТ 15543.1-89.				
Тип реле	Номинальный переменный ток, (Iном.), А	Номинальное напряжение питания постоянного тока, V	Время срабатывания при трехкратном токе срабатывания, S	Частота, Hz
РСТ-15	5	220	0,04	50
РСТ-16				60
Уставки по току срабатывания в долях от Iном: – при к=1 – при к=2				0,4; 0,5; 0,65; 0,9; 1,2 0,8; 1,0; 1,3; 1,8; 2,4
Коэффициент надежности реле, не менее: – при пятикратном токе срабатывания – при двухкратном токе срабатывания				1,35 1,2
Мощность потребляемая: – цепями переменного тока, VA – цепями питания, W: – в нормальном режиме – в режиме срабатывания				2 7 9

Реле дифференциальные РНТ-565;566;566/2;567;567/2



Реле РНТ-565, РНТ-566, РНТ-566/2 предназначены для дифференциальной защиты одной фазы силовых трансформаторов, автотрансформаторов и генераторов переменного тока.
Реле РНТ-567, РНТ-567/2 предназначены для защиты шин.

Конструкция

Реле состоит из исполнительного органа РТ-40, промежуточного насыщающего трансформатора тока, смонтированных на общем основании и закрытых прозрачным кожухом.

Структура условного обозначения

РНТ-XXX Х4 РНТ – реле с насыщающим трансформатором; **XXX** – условный номер разработки (565; 566; 566/2; 567; 567/2); **Х4** – климатическое исполнение (УХЛ, О) и категория размещения (4) по ГОСТ 15150-69 и ГОСТ 15543.1-89.

Тип реле	Включенные обмотки	Магнитодвижущая сила срабатывания, А	Диапазон токов срабатывания, А
РНТ-565	рабочая	100	2,87–12,5
	рабочая последовательно с уравнительной		1,45–12,5
РНТ-566	I рабочая		0,34–2
	II рабочая		0,62–4
	III рабочая		2,56–20
РНТ-566/2	I рабочая		0,34–2
	II рабочая		4,35–100
РНТ-567	I рабочая		1,05–20
	II рабочая		
РНТ-567/2	I рабочая		0,7
	II рабочая		

Окончание таблицы П14

Время срабатывания реле при трехкратном токе срабатывания, с	0,04
Коэффициент надежности реле, не менее:	1,35
– при пятикратном токе срабатывания	1,2
– при двухкратном токе срабатывания	
Коммутационная способность контактов при напряжении от 24 до 250 V или токе не более 2 А:	
– в цепи постоянного тока с постоянной времени не более 0,005 с, W	60


Таблица П15

Реле тока дифференциальные РСТ-23

	Реле тока дифференциальные серии РСТ-23 предназначены для использования в схемах дифференциальной защиты одной фазы силовых трансформаторов, автотрансформаторов, высоковольтных электродвигателей, генераторов, синхронных компенсаторов, шин, ошиновок.			
Структура условного обозначения РСТ-23-Х Х4 РСТ – реле статического тока; 23 – порядковый номер разработки; Х – тип реле (1; 2; 3; 4; 5; 6;); Х4 – климатическое исполнение (УХЛ, О) и категория размещения (4) по ГОСТ 15150-69 и ГОСТ 15543.1-89.				
Тип реле	Номинальный переменный ток, (Ином.), А	Номинальное напряжение питания постоянного тока, V	Диапазон токов срабатывания, А	Частота, Hz
РСТ-23-1	5	110	0,84–20	50,60
РСТ-23-2		220		
РСТ-23-3		110	2–48	
РСТ-23-4		220		
РСТ-23-5	1	220	0,4–9,6	
РСТ- 23-6	5	—	0,84–20	
Время срабатывания реле при двухкратном токе срабатывания, с				0.04
Диапазон регулирования коэффициента торможения				от 0,3 до 2,4
Диапазон входных токов, при котором обеспечиваются параметры реле РСТ-23-6 и приставки, А				от 0,8 до 40

Таблица П16

Реле максимального тока РТ-40/0.2;0.6;2;6;10;20;50;100;200

	<p>Реле предназначены для применения в схемах релейной защиты и автоматики энергетических систем в качестве органа, реагирующего на повышение тока.</p>
---	---

Структура условного обозначения РТ Х40/ХХ Х4

РТ – реле тока; **Х** – наличие цифры 1 обозначает реле в унифицированной оболочке; **40** – номер разработки; **ХХ** – ток максимальной установки, А: 0,2; 0,6; 2; 6; 10; 20; 50; 100; 200; **Х4** – климатическое исполнение (УХЛ, О) и категория размещения (4) по ГОСТ 15150-69 и ГОСТ15543.1-89.

Типоисполнение реле	Пределы уставки на ток срабатывания реле, А		Номинальный ток, А		Потребляемая мощность при токе минимальной уставки, VA, не более
	соединение катушек		соединение катушек		
	последоват. 1 диапазон	параллельное 2 диапазон	последоват. 1 диапазон;	параллельное 2 диапазон	
РТ 40/0,2	0,05–0,1	0,1–0,2	0,4	1,0	0,2
РТ 40/0,6	0,15–0,3	0,3–0,6	1,6	2,5	0,2
РТ 40/2	0,5–1,0	1,0–2,0	2,5	6,3	0,2
РТ 40/6	1,5–3,0	3,0–6,0	10	16	0,5
РТ 40/10	2,5–5,0	5,0–10,0	16	16	0,5
РТ 40/20	5,0–10,0	10,0–20,0	16	16	0,5
РТ 40/50	12,5–25,0	25,0–50,0	16	16	0,8
РТ 40/100	25,0–50,0	50,0–100,0	16	16	1,8
РТ 40/200	50,0–100,0	100,0–200,0	16	16	8
РТ 140/0,2	0,05–0,1	0,1–0,2	0,4	1,0	0,2
РТ 140/0,6	0,15–0,3	0,3–0,6	1,6	2,5	0,2
РТ 140/2	0,5–1,0	1,0–2,0	2,5	6,3	0,2
РТ 140/6	1,5–3,0	3,0–6,0	10	16	0,5
РТ 140/10	2,5–5,0	5,0–10,0	16	16	0,5

Окончание таблицы П16

РТ 140/20	5,0–10,0	10,0–20,0	16	16	0,5
РТ 140/50	12,5–25,0	25,0–50,0	16	16	0,8
РТ 140/100	25,0–50,0	50,0–100,0	16	16	1,8
РТ 140/200	50,0–100,0	100,0–200,0	16	16	8
Номинальная частота, Hz					50, 60
Контакты реле					1 замыкающий, 1 размыкающий
Класс точности					5
Коэффициент возврата, не менее:					
– на минимальной уставке шкалы					0,85
– на остальных уставках шкалы.					0,8
Время замыкания замыкающего контакта, с, не более при отношении входного тока к току срабатывания, равном:					
– 1,2					0,1
– 3,0					0,03
Коммутационная способность контактов реле при напряжении от 24 до 250 V или токе не более 2 A:					
– в цепях постоянного тока с постоянной времени не более 0,005 s, W					
– в цепях переменного тока с коэффициентом мощности не менее 0,5, VA					60 300

Таблица П17

Технические данные реле напряжения РН-53 и РН-54

Тип реле	Пределы уставок $U_{уст}$ по шкале реле, В	Потребляемая мощность при минимальной уставке, ВА	Коэффициент возврата K_B
Максимальные реле РН 53/60 РН 53/200 РН 53/400 РН 53/60Д	15...30 50...100 100...200 15...30	Не превышает 1 ВА при напряжении минимальной уставки, не более 5 ВА при напряжении 100 В	Не менее 0,8
Минимальные реле РН 54/48 РН 54/160 РН 54/320	12...24 40...80 80...160	Не превышает 1 ВА при напряжении минимальной уставки	1,25

Примечание к табл. П17:

1. Реле содержит двухполупериодный выпрямитель, к которому подключена обмотка электромагнитного реле. В цепь выпрямителя введены один или два последовательно соединенных резистора. Шкала реле проградуирована при включении одного резистора. Чтобы получить шкалу уставок вдвое большую, необходимо включить оба резистора.

2. Собственное время срабатывания реле РН-53 – 0,15 с при $1,2U_{уст}$ и 0,03 с при $2U_{уст}$, реле РН-54 – 0,15 с при $0,8U_{уст}$.

3. Реле имеет один замыкающий и один размыкающий контакты.

Таблица П18

Технические характеристики реле РН

Тип реле	Исполнение реле по характеру изменения входной воздействующей величины	Номинальное напряжение, В		Напряжение срабатывания, В	
		I диапазон	II диапазон	I диапазон	II диапазон
РН 53/60	максимальное	30	60	15–30	30–60
РН 153/60		30	60	15–30	30–60
РН 53/200		100	200	50–100	100–200
РН 153/200		100	200	50–100	100–200
РН 53/400		200	400	100–200	200–400
РН 153/400		200	400	100–200	200–400
РН 53/60Д		100	200	15–30	30–60
РН 153/60Д		100	200	15–30	30–60
РН 54/48	минимальное	30	60	12–24	24–48
РН 154/48		30	60	12–24	24–48
РН 54/160		100	200	40–80	80–160
РН 154/160		100	200	40–80	80–160
РН 54/32		200	400	80–160	160–320
РН 154/320		200	400	80–160	160–320
РН 51/1,4	максимальное	6	12	0,7	1,4
РН 51/6,4		24	60	3,2	6,4
РН 51/32		48	100	16	32

Время замыкания замыкающего контакта реле максимального напряжения, с, не более: при отношении входного напряжения к напряжению срабатывания, равно:	
– 1,2	0,1
– 2,0	0,03
– 2,0 (РН 53/60Д, РН 153/60Д)	0,05
– 1,2 (РН 51)	0,2
– 2,0 (РН 51)	0,06
Время замыкания размыкающего контакта реле минимального напряжения, с, не более: при отношении входного напряжения к напряжению срабатывания, равно:	
– 0,5	0,1
– 0,6	0,12
– 0,8	0,15

Структура условного обозначения РН Х5Х/ХХХ Х4

РН – реле напряжения;

Х – наличие цифры 1 означает реле в унифицированной оболочке;

5 – номер разработки;

Х – назначение реле:

1 или 3 – реле максимального напряжения;

4 – реле минимального напряжения;

ХХ – напряжение максимальной уставки: 1,4; 6,4; 32; 48;60; 160; 200; 320; 400 В;

Х – наличие буквы Д - отличительный индекс;

Х4 – климатическое исполнение (УХЛ, О) и категория размещения (4) по ГОСТ 15150-69 и ГОСТ 15543.1-89.

НТД – ТУ 16-523.500-83

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андреев, В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: учебник для вузов /В.А. Андреев. – М.: Высш. шк., 2006. – 639 с.
2. Кривенков, В.В. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: учебное пособие для вузов /В.В. Кривенков, В.Н. Новелла. – М.: Энергоиздат, 1981. – 328 с.
3. Андреев, В.А. Релейная защита систем электроснабжения в примерах и задачах: учебное пособие /В.А. Андреев. – М.: Высш. шк., 2008. – 252 с.
4. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006. – 320 с.
5. Справочник по проектированию электроснабжения / под ред. В.И. Круповича, Ю.Г. Барыбина, М.Л. Самовера. – М.: Энергия, 1980. – 456 с.
6. Ополева Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения: учебное пособие. – М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2008. – 480 с.
7. Релейная защита в системах электроснабжения: методические указания к изучению курса и выполнению контрольного задания / составители: Г.А. Комиссаров, Х.К. Харасов. – Челябинск: ЧГТУ, 1996. – 56 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Расчет токов короткого замыкания	5
1.1. Расчет сопротивлений элементов схемы	5
1.2. Расчет величин токов КЗ	7
2. Расчет защиты синхронного двигателя 6(10) кВ	12
2.1. Защита от междуфазных замыканий	12
2.2. Защита от однофазных замыканий на землю	15
2.3. Защита от перегруза	16
2.4. Защита минимального напряжения	17
2.5. Защита от асинхронного режима	18
3. Защита цехового трансформатора ТЗ, Т4	18
3.1. Защита от однофазных коротких замыканий	19
3.2. Защита от внешних коротких замыканий	19
3.3. Защита от перегруза	20
3.4. Защита при однофазных коротких замыканиях	21
3.5. Газовая защита	22
4. Расчет защиты кабельных линий	22
4.1. Защита кабельной линии Л7	22
4.2. Защита кабельной линии Л5, Л6	24
4.2.1. Токовая отсечка без выдержки времени	24
4.2.2. МТЗ с выдержкой времени	24
4.2.3. Защита от однофазных замыканий на землю	26
5. Расчет защиты трансформатора Т1, Т2	27
5.1. Продольная дифференциальная защита	27
5.2. Защита от внешних коротких замыканий	32
5.3. Защита от перегруза	32
5.4. Газовая защита	33
6. Расчет защиты, установленной на секционном выключателе	33
6.1. Токовая отсечка	34
6.2. МТЗ с выдержкой времени	35
7. Защита сборных шин	36
8. Расчет защиты воздушных линий Л1, Л2 (Л3, Л4)	37
8.1. Расчет направленной поперечной дифференциальной защиты	37
8.2. Токовая отсечка без выдержки времени	41
8.3. Токовая защита нулевой последовательности	41
9. Расчет защиты конденсаторной установки	44
10. Расчет защиты трансформаторов электропечных установок	45
11. Расчет защиты полупроводниковых преобразовательных агрегатов	46
12. Защита электродвигателей напряжением до 1000 В	47
13. Проверка трансформатора тока и выбор контрольного кабеля	50
Приложение	52
Библиографический список	69

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Методические указания к выполнению курсовой работы

Техн. редактор *А.В. Миних*

Издательский центр Южно-Уральского государственного университета

Подписано в печать 31.10.2013. Формат 60×84 1/16. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 4,18. Тираж 30 экз. Заказ 468/289.

Отпечатано в типографии Издательского центра ЮУрГУ.
454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.