

# **Релейная защита ТИПОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СЭС**

# Содержание курсового проекта

1. Пояснительная записка (20...40 стр.).
2. Графическая часть (1 лист формата А1).

# Оформление пояснительной записки

Оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.11 и ГОСТ 2.105.

Основные положения:

- Шрифт – Times New Roman, кегль – 14, междустрочный интервал – 1,5.
- Поля: левое – 25 мм, правое – 10 мм, верхнее – 20 мм, нижнее – 20 мм.
- Абзацный отступ – 1,25 см.
- Выравнивание текста по ширине.
- Автоматическая расстановка переносов.
- Каждую главу (раздел) начинают с новой страницы.
- Заголовки располагаются посередине страницы без точки в конце.  
Перенос слова в заголовке не допускается.

# Оформление пояснительной записки

Пример оформления формул:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз. min}}}{I_{\text{сз}}}, \quad (1)$$

где  $I_{\text{кз. min}}$  – минимальный ток КЗ;  $I_{\text{сз}}$  – ток срабатывания защиты.

# Оформление пояснительной записки

Пример оформления таблицы:

Таблица 1 – Включение реле направления мощности

Реле	$KW1$	$KW2$	$KW3$
Ток, $I_p$	$I_A$	$I_B$	$I_C$
Напряжение, $U_p$	$U_{BC}$	$U_{CA}$	$U_{AB}$

# Оформление пояснительной записки

Пример оформления графического материала:

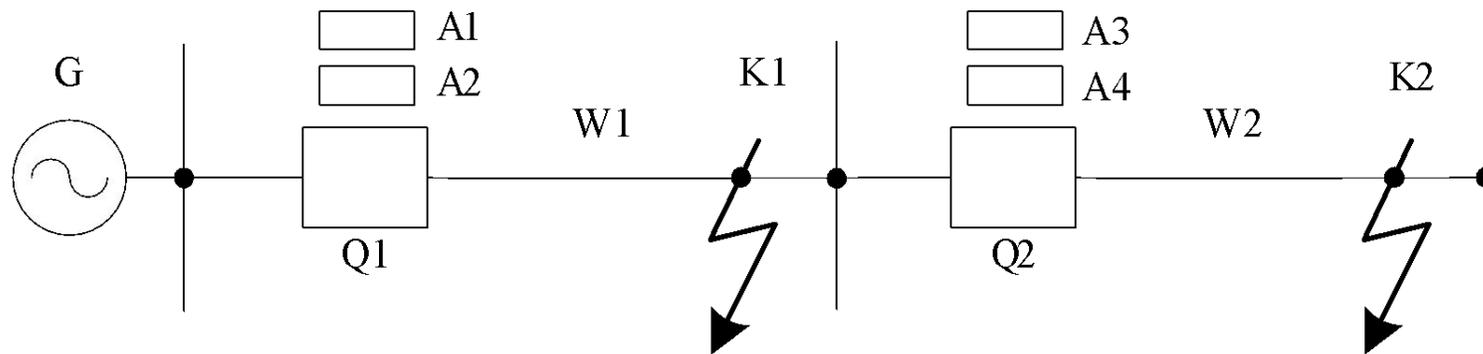


Рисунок 1 – Расчетная схема электрической сети

# Оформление пояснительной записки

Пример оформления списка литературы:

1. Андреев, В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: Учебник для вузов / В.А. Андреев. – 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2006. – 639 с.
2. ...

# Оформление пояснительной записки

а)

ИЭ.140400.КП.ПЗ.01											
Лист	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	Название раздела	Лист	Лист	Листов			
Разраб.											
Пров.											
Т. контр.						ЭПбт-131					
Н. контр.											
Утв.											

б)

ИЭ.140400.КП.ПЗ.01										
Лист	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата						Лист

Рамки по форме 2, 2а ГОСТ 2.104.

**а** — первая страница главы (раздела);

**б** — остальные страницы главы (раздела).

# Содержание пояснительной записки

Введение

1. Задание на курсовой проект

2. Выбор элементов СЭС

2.1. Выбор электродвигателя

2.2. Выбор ЛЭП

2.3. Выбор силового трансформатора

3. Расчет токов КЗ

3.1. Выбор базисных условий

3.2. Схема замещения, расчет параметров элементов СЭС и токов КЗ

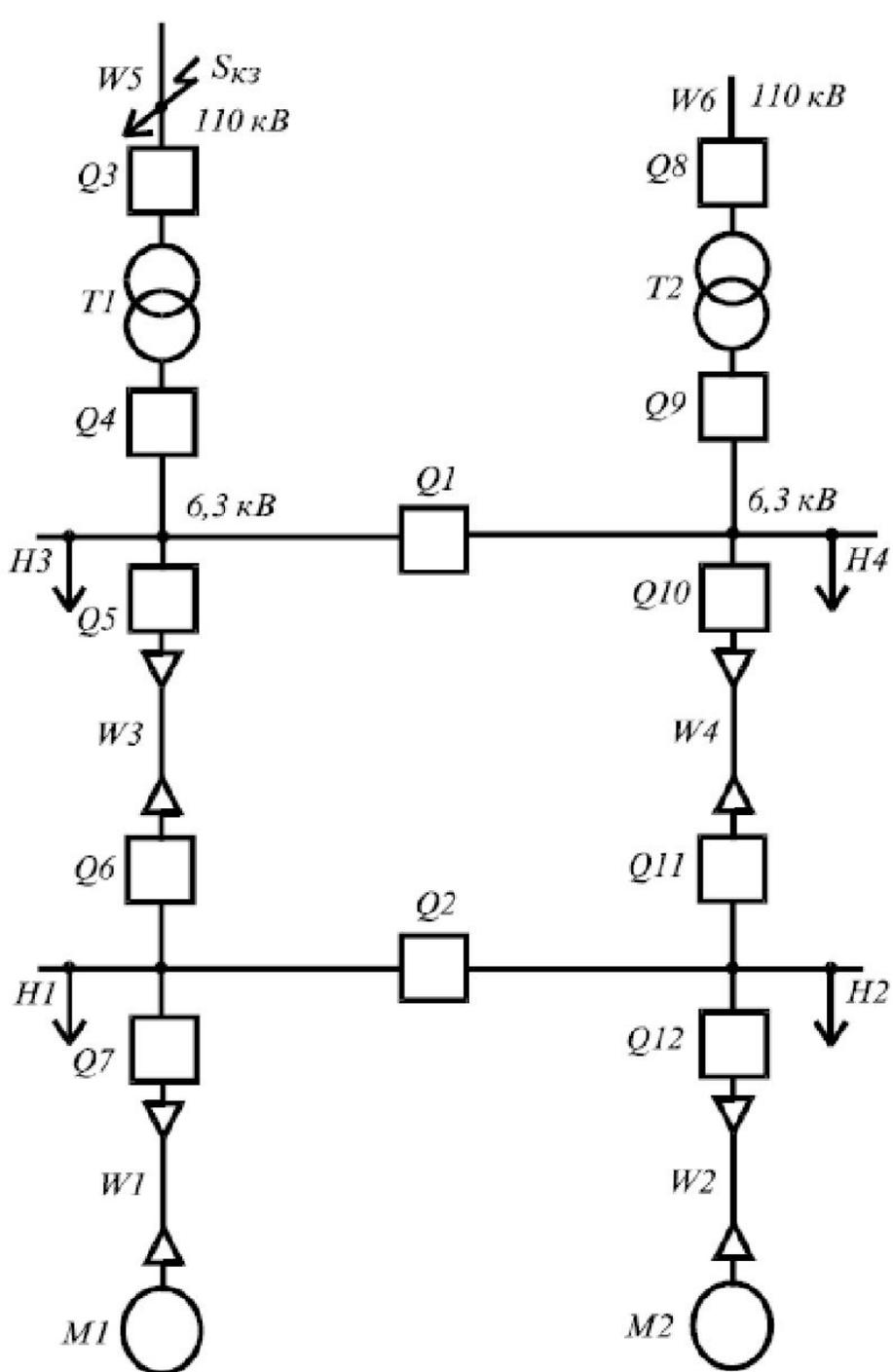
4. Защита электродвигателя

5. Защита силового трансформатора

6. Защита линии электропередачи

7. Проверка трансформатора тока на точность работы

# Расчетная схема СЭС



Примечания:

1. Номинальное напряжение на стороне низшего напряжения составляет: для нечетных номеров вариантов – 6 кВ; для четных номеров вариантов – 10 кВ.

2. Мощность КЗ системы в минимальном режиме составляет 35 % от указанной в таблице исходных данных.

Варианты	Мощность КЗ системы	Номинальная мощность электродвигателя	Данные по потребителям								Автоматика	
			нагрузка Н1 (Н2)			нагрузка Н3 (Н4)			длина линии			
			мощность	уставки защиты		мощность	уставки защиты					
$S_{КЗ}$ , МВА	$P_a$ , МВт	$S_H$ , МВА	$t_{CЗ}$ , с	$I_{CЗ}$ , кА	$S_H$ , МВА	$t_{CЗ}$ , с	$I_{CЗ}$ , кА	$L_1$ , км	$L_{\Sigma}$ , км	АВР	АПВ	
1	5000	2,0	4,0	0,8	0,21	2,5	1,2	0,32	3,0	14,0	Q1	–
2	4700	1,2	2,0	1,0	0,30	4,0	1,0	0,35	1,0	6,0	–	Н1
3	4000	1,6	3,2	0,8	0,42	8,0	1,6	0,40	2,5	10,0	Q2	–
4	3800	2,0	4,0	0,5	0,50	11,0	1,0	0,56	5,0	17,0	–	Н3
5	3500	1,25	1,5	0,7	0,30	3,0	0,9	0,35	2,0	12,0	Q1	–
6	3250	1,4	3,2	0,8	0,35	5,0	1,0	0,50	4,0	18,0	–	Н1
7	3000	1,6	1,5	0,5	0,25	7,0	1,2	0,60	3,0	11,0	Q2	–
8	2800	2,0	3,5	0,6	0,45	12,0	1,4	0,70	2,0	10,0	–	Н3
9	2500	2,2	2,5	0,7	0,14	2,8	1,3	0,41	5,0	20,0	Q1	–
10	2200	1,0	1,3	0,9	0,21	4,2	2,0	0,58	2,5	12,0	–	Н1
11	2000	1,25	1,5	0,8	0,20	7,7	1,4	0,65	3,0	15,0	Q2	–
12	1800	1,6	5,0	0,5	0,60	15,0	1,6	0,9	1,6	8,0	–	Н3
13	1000	2,0	4,0	0,6	0,55	17,0	1,0	1,0	2,0	15,0	Q1	–
14	1500	1,25	3,5	0,7	0,50	13,0	1,2	0,9	3,5	16,0	–	Н1
15	1700	2,0	2,5	0,9	0,40	7,0	1,6	1,0	1,8	10,0	Q2	–
16	2000	1,6	2,1	0,5	0,41	4,5	2,0	0,9	1,6	12,0	–	Н2

Варианты	Мощность КЗ системы	Номинальная мощность электродвигателя	Данные по потребителям								Автоматика	
			нагрузка Н1 (Н2)			нагрузка Н3 (Н4)			длина линии			
			мощность	уставки защиты		мощность	уставки защиты					
				$S_{Н}$ , МВА	$t_{сз}$ , с		$I_{сз}$ , кА	$S_{Н}$ , МВА	$t_{сз}$ , с	$I_{сз}$ , кА	$L_1$ , км	$L_{\Sigma}$ , км
17	2000	2,5	1,7	0,6	0,35	2,0	1,5	0,5	2,0	15,0	Q1	–
18	2500	2,0	1,0	0,7	0,25	3,2	1,8	0,6	1,3	7,0	–	Н3
19	2700	1,0	2,0	0,8	0,30	4,8	2,0	0,8	2,5	9,0	Q2	–
20	3000	1,25	3,0	1,0	0,40	3,8	1,5	0,8	3,0	20,0	–	Н1
21	3200	1,6	3,5	0,9	0,43	6,2	2,0	1,0	4,0	21,0	Q1	–
22	3500	1,25	3,0	0,8	0,43	7,5	1,0	1,0	5,0	17,0	–	Н2
23	3700	2,2	6,0	0,7	0,75	10,0	1,2	0,9	1,5	9,0	Q2	–
24	1000	2,0	4,5	0,6	0,60	11,0	1,4	0,85	2,0	11,0	–	Н3
25	1200	1,8	0,8	0,5	0,20	4,1	1,6	0,7	2,5	15,0	Q1	–
26	1500	1,0	1,2	0,6	0,20	3,5	1,8	0,8	3,0	14,0	–	Н1
27	1800	1,25	1,5	0,7	0,25	6,0	2,0	1,2	2,7	13,0	Q2	–
28	1500	1,6	2,5	0,8	0,40	4,2	1,9	0,8	2,2	10,0	–	Н2
29	2000	1,2	1,0	0,9	0,20	9,0	1,7	1,1	1,8	10,0	Q1	–
30	2200	2,2	1,5	1,0	0,29	3,0	1,5	0,6	1,5	10,0	–	Н3
31	2500	2,1	1,8	0,9	0,30	7,5	1,3	1,0	3,0	12	Q2	–
32	2700	1,6	3,0	0,8	0,40	15,5	1,1	1,1	4,0	20	-	Н1
33	2800	2,0	5,0	0,7	0,70	12,0	1,5	0,9	3,5	17	Q1	-

Варианты	Мощность КЗ системы	Номинальная мощность электродвигателя	Данные по потребителям								Автоматика			
			нагрузка Н1 (Н2)				нагрузка Н3 (Н4)						длина линии	
			мощность	уставки защиты		мощность	уставки защиты							
$S_{кз}$ , МВА	$P_a$ , МВт	$S_H$ , МВА	$t_{сз}$ , с	$I_{сз}$ , кА	$S_H$ , МВА	$t_{сз}$ , с	$I_{сз}$ , кА	$L_1$ , км	$L_{\Sigma}$ , км	АВР	АПВ			
34	2900	1,2	3,0	0,6	0,50	6,0	2,0	1,0	4,5	17	–	Н2		
35	3000	1,5	1,5	0,5	0,30	7,1	1,0	1,2	2,5	8	Q2	–		
36	3400	2,2	2,0	0,5	0,30	5,0	1,0	0,9	1,5	9	–	Н3		
37	3600	1,6	0,8	0,8	0,15	5,1	1,5	0,7	1,2	11	Q1	–		
38	3900	1,5	7,0	0,6	0,80	14,0	2,0	1,0	2,8	12	–	Н1		
39	4000	2,0	3,2	0,45	0,75	8,3	1,3	0,75	3,2	26	Q2	–		
40	4200	1,7	2,7	0,75	0,60	16,0	0,9	1,1	2,5	15	–	Н1		
41	4400	2,0	1,7	0,6	0,50	10,0	1,6	0,85	3,0	10	Q1	–		
42	4500	1,3	3,5	0,7	0,60	15,0	1,0	1,0	2,0	20	–	Н3		
43	4700	1,25	3,0	0,5	0,40	7,0	1,5	0,9	4,0	10	Q2	–		
44	4900	2,3	2,0	1,0	0,30	4,0	1,0	0,35	1,0	6,0	–	Н1		
45	5000	2,1	1,0	0,8	0,21	2,5	1,2	0,32	3,0	14	Q1	–		
46	5200	2,2	3,5	0,6	0,45	12,0	1,4	0,70	2,0	10	–	Н3		
47	5400	1,6	0,5	0,7	0,14	2,8	1,3	0,41	5,0	20	Q1	–		
48	5600	1,25	3,5	0,7	0,50	13,0	1,2	0,9	3,5	16	–	Н1		
49	5700	2,5	2,5	0,9	0,40	7,0	1,6	1,0	1,8	10	Q2	–		
50	5800	2,0	1,0	0,7	0,25	3,2	1,8	0,6	1,3	7	–	Н3		
51	6000	3,2	1,7	0,6	0,35	2,0	1,5	0,5	2,0	15	Q1	–		

# Выбор элементов СЭС

Тип двигателя	$U_{\text{НОМ}}$ , кВ	$P_{\text{НОМ}}$ , кВт	КПД, %	$\cos\varphi$ , о.е.	$M_{\text{П}}/M_{\text{НОМ}}$ , о.е.	$I_{\text{П}}/I_{\text{НОМ}}$ , о.е.
4АРМ-1000/6000	6	1000	96,10	0,89	1,00	5,30
4АРМ-1250/6000	6	1250	96,40	0,89	0,95	5,50
4АРМ-1600/6000	6	1600	96,60	0,89	0,90	5,20
4АРМ-2000/6000	6	2000	96,70	0,88	0,77	4,70
4АРМ-2500/6000	6	2500	97,00	0,89	0,85	5,00
4А3М-3150/6000	6	3150	97,20	0,90	0,90	5,30
4А3М-4000/6000	6	4000	97,30	0,89	0,90	5,70
4АРМ-1000/10000	10	1000	96,00	0,88	1,25	7,00
4АРМ-1250/10000	10	1250	96,40	0,88	1,30	7,00
4АРМ-1600/10000	10	1600	96,30	0,88	0,80	4,60
4А3М-2000/10000	10	2000	96,60	0,89	0,90	5,20
4А3М-2500/10000	10	2500	97,10	0,89	1,20	7,00
4А3М-3150/10000	10	3150	96,90	0,88	0,85	5,40
4А3М-4000/10000	10	4000	96,80	0,89	0,85	5,40

# Выбор элементов СЭС

Полная мощность электродвигателя:

$$S_{\text{НОМ.ДВ}} = P_{\text{НОМ.ДВ}} / \cos \varphi$$

Номинальный ток электродвигателя:

$$I_{\text{НОМ.ДВ}} = S_{\text{НОМ.ДВ}} / (\sqrt{3} U_{\text{НОМ}} \eta)$$

Пусковой ток:

$$I_{\text{П.ДВ}} = I_{\text{НОМ.ДВ}} K_{I\text{П}}$$

Пусковое сопротивление:

$$x_{\text{П.ДВ}} = \frac{U_{\text{НОМ.ДВ}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{П.ДВ}}}$$

# Выбор элементов СЭС

## 2. Выбор сечения ЛЭП

Протяженность ЛЭП:

$$L_1 = L_2$$

$$L_3 = L_4 = L_{\Sigma} / 2 - L_1$$

## Выбор сечения ЛЭП по длительно допустимому току

Максимальный рабочий ток линий W1, W2 в послеаварийном режиме:

$$I_{\text{па.мах } W1} = I_{\text{па.мах } W2} = I_{\text{ном.дв}}$$

Максимальный рабочий ток линий W3, W4 в послеаварийном режиме:

$$I_{\text{па.мах } W3} = I_{\text{па.мах } W4} = \frac{2 \cdot S_{\text{ном.дв}} + S_{H1} + S_{H2}}{\sqrt{3} U_{\text{ном}}}$$

# Выбор элементов СЭС

## Выбор сечения ЛЭП по экономической плотности тока

$$F = \frac{I_{\text{раб. max}}}{J_{\text{эк}}}$$

где  $F$  — экономически целесообразное сечение;  
 $J_{\text{э}}$  — экономическая плотность тока;  $I_{\text{раб. max}}$  — рабочий  
максимальный ток в нормальном режиме.

$$I_{\text{раб. max } W1} = I_{\text{раб. max } W2} = I_{\text{ном. дв}}$$

$$I_{\text{раб. max } W3} = I_{\text{раб. max } W4} = \frac{S_{\text{ном. дв}} + S_{\text{Н1(Н2)}}}{\sqrt{3}U_{\text{ном}}}$$

# Выбор элементов СЭС

Проводники	Экономическая плотность тока, А/мм <sup>2</sup> , при числе часов использования максимума нагрузки в год		
	более 1000 до 3000	более 3000 до 5000	более 5000
Кабели с медными жилами	3,5	3,1	2,7
Кабели с алюминиевыми жилами	1,9	1,7	1,6

Экономически целесообразное сечение округляется до ближайшего стандартного.

Число и номинальное сечение жил, мм <sup>2</sup>	Допустимые токовые нагрузки, А							
	Кабелей с алюминиевыми жилами				Кабелей с медными жилами			
	При прокладке в воздухе		При прокладке в земле		При прокладке в воздухе		При прокладке в земле	
	треуг.	в плоск.	треуг.	в плоск.	треуг.	в плоск.	треуг.	в плоск.
1x25	128	146	124	130	164	188	160	167
1x35	155	176	150	158	199	226	193	203
1x50	185	211	177	187	242	288	229	241
1x70	233	263	217	229	300	355	280	295
1x95	284	322	260	274	369	428	335	354
1x120	328	372	296	312	423	496	381	402
1x150	370	421	331	349	473	558	426	448
1x185	424	484	375	395	543	631	483	508
1x240	504	575	436	459	643	742	561	591
1x300	580	674	492	497	740	840	635	640
1x400	676	770	561	562	842	934	722	725
1x500	784	868	639	632	953	1047	823	814
1x625	915	1050	722	696	1113	1150	930	897
1x800	1058	1201	830	799	1261	1330	1068	1028
3x25	114		118		147		151	
3x35	138		140		178		181	
3x50	165		165		213		213	
3x70	206		203		265		261	
3x95	249		242		322		312	
3x120	288		276		370		355	
3x150	326		309		420		399	
3x185	375		351		481		451	
3x240	442		408		566		523	
3x300	507		463		648		590	

# Удельное активное сопротивление жилы кабеля

Силовые кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена и оболочкой из полиэтилена на номинальное напряжение 6/10 кВ: АПвЭП-6/10, ПвЭП-6/10.

Номинальное сечение жилы, мм <sup>2</sup>	Сопротивление не менее, Ом / км	
	медной жилы	алюминиевой жилы
50	0,387	0,641
70	0,268	0,443
95	0,193	0,320
120	0,153	0,253
150	0,124	0,206
185	0,0991	0,164
240	0,0754	0,125
300	0,0601	0,100
400	0,0470	0,0778
500	0,0366	0,0605
630	0,0280	0,0464
800	0,0221	0,0367

# Удельное реактивное сопротивление жилы кабеля

Номинальное сечение жилы, мм <sup>2</sup>	Реактивное индуктивное сопротивление одножильных кабелей, Ом/км, на номинальное напряжение, кВ			
	6		10	
	треуг.	в плоск.	треуг.	в плоск.
35	0,127	0,170	0,133	0,175
50	0,121	0,163	0,126	0,168
70	0,114	0,156	0,118	0,160
95	0,106	0,149	0,111	0,153
120	0,102	0,144	0,106	0,148
150	0,098	0,139	0,101	0,143
185	0,094	0,136	0,098	0,140
240	0,091	0,133	0,094	0,136
300	0,087	0,129	0,089	0,131
400	0,085	0,127	0,086	0,128
500	0,083	0,125	0,084	0,125
630	0,081	0,122	0,082	0,124
800	0,079	0,120	0,079	0,120

Номинальное сечение жилы, мм <sup>2</sup>	Реактивное индуктивное сопротивление трехжильных кабелей, Ом/км, на номинальное напряжение, кВ	
	6	10
	35	0,103
50	0,098	0,104
70	0,093	0,098
95	0,087	0,092
120	0,084	0,089
150	0,081	0,085
185	0,079	0,082
240	0,077	0,080
300	0,070	0,077

# Выбор элементов СЭС

## 3. Выбор силового трансформатора

Расчетная мощность на шинах НН подстанции:

$$S_p = 2 \cdot S_{\text{дв.ном}} + S_{\text{Н1}} + S_{\text{Н2}} + S_{\text{Н3}} + S_{\text{Н4}}$$

Расчетная мощность трансформатора:

$$S_{\text{р.тр}} \geq (0,65 \dots 0,7) S_p$$

Расчетная мощность трансформатора округляется до ближайшей большей стандартной мощности.

# Выбор элементов СЭС

Трансформаторы с регулированием напряжения под нагрузкой (РПН) в нейтрали ВН в диапазоне  $\pm 16\%$   $\pm 9$  ступеней

Тип	$S_{\text{ном}}, \text{кВА}$	Номинальное напряжение обмоток, кВ		Схема и группа соединения обмоток	Потери, кВт		$u_k, \%$	$i_0, \%$
		ВН	НН		ХХ	КЗ		
ТДН	10000	115	6,3 10,5	Y <sub>Н</sub> /D-11	10	56	10,5	0,30
ТДН	16000	115	6,6 11,0	Y <sub>Н</sub> /D-11	12	83	10,5	0,30
ТДН	25000	115	6,3 10,5	Y <sub>Н</sub> /D-11	19	120	10,5	0,23
ТДН	32000	115	6,6 11,0	Y <sub>Н</sub> /D-11	25	160	10,5	0,28
ТДН	40000	115	6,6 11,0	Y <sub>Н</sub> /D-11	22	170	10,5	0,28

# Расчет токов КЗ

## 1. Выбор базисных условий

Расчет ведем в именованных единицах с относительным приведением параметров.

Базисное напряжение выбирается из ряда средних значений:

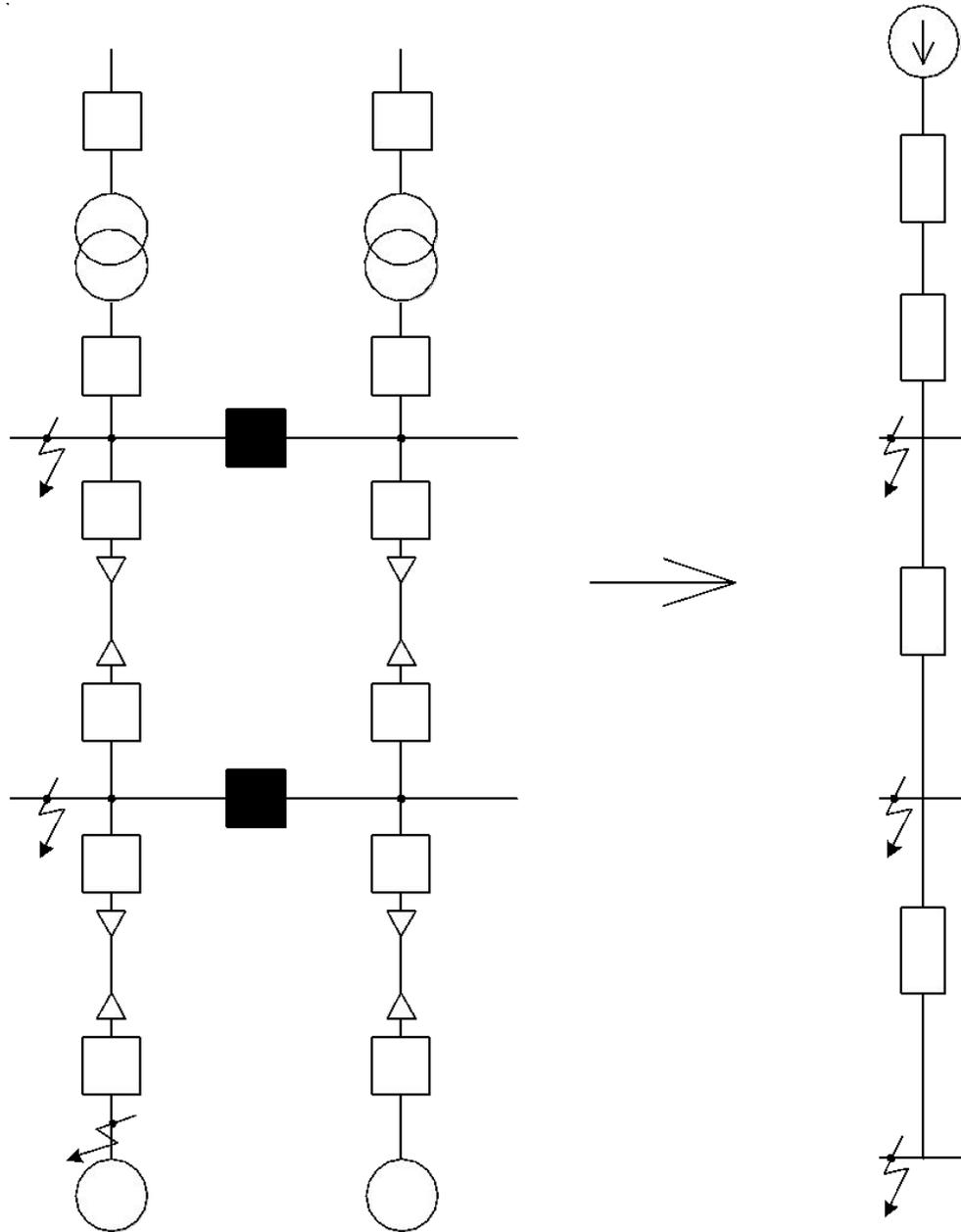
$$U_{\sigma} = 6,3; 10,5; 37; 115 \text{ кВ}$$

В качестве базисной ступени целесообразно принять ступень напряжения, на которой произошло КЗ.

Базисная мощность задается произвольно.

# Расчет токов КЗ

Составление расчетной схемы и схемы замещения



# Расчет токов КЗ

## 2. Расчет параметров схемы замещения

Расчет токов КЗ производится для двух режимов работы СЭС – максимального и минимального. При этом необходимо учитывать РПН силового трансформатора.

### Максимальный режим СЭС

$$U_{\text{ВН min}} = U_{\text{ВН ср}} (1 - \Delta U_{*\text{РПН}}) \quad \Delta U_{*\text{РПН}} = 0,16$$

$$x_{\text{с. min}} = \frac{U_{\text{ВН min}}^2}{S_{\text{КЗ min}}} \quad S_{\text{КЗ min}} = 0,35 \cdot S_{\text{КЗ}}$$

$$x_{\text{тр. min}} = \frac{u_{\text{к min}}}{100} \frac{U_{\text{ВН min}}^2}{S_{\text{ном. тр}}}$$

# Расчет токов КЗ

## Минимальный режим СЭС

$$U_{\text{ВН max}} = U_{\text{ВН ср}} (1 + \Delta U_{*\text{РПН}}) \quad U_{\text{ВН max}} \leq 126 \text{ кВ}$$

$$x_{\text{с. max}} = \frac{U_{\text{ВН max}}^2}{S_{\text{КЗ max}}} \quad S_{\text{КЗ. max}} = S_{\text{КЗ}}$$

$$x_{\text{тр. max}} = \frac{u_{\text{к max}}}{100} \frac{U_{\text{ВН max}}^2}{S_{\text{ном. тр}}}$$

# Расчет токов КЗ

Значения напряжения КЗ на крайних ответвлениях трансформаторов РПН

Номинальная мощность, МВА	Степень регулирования, %	Напряжение КЗ, %
2,5	-12	10,26
	+15	10,85
6,3	-16	10,58
	+16	11,72
10,0	-16	10,49
	+16	11,73
16,0	-16	10,09
	+16	11,05
25,0	-16	10,44
	+16	11,34
40,0	-16	10,35
	+16	11,02

# Расчет токов КЗ

## 2. Приведение параметров к базисным условиям

$$x_{c(\delta)} = x_c \left( \frac{U_\delta}{U_{\text{ср}}} \right)^2 \quad x_{\text{тр}(\delta)} = x_{\text{тр}} \left( \frac{U_\delta}{U_{\text{ср}}} \right)^2$$

$$x_{w(\delta)} = x_{\text{уд}} l_w \left( \frac{U_\delta}{U_{\text{ср}}} \right)^2 \quad r_{w(\delta)} = r_{\text{уд}} l_w \left( \frac{U_\delta}{U_{\text{ср}}} \right)^2$$

где  $U_\delta$  – среднее номинальное напряжение основной ступени;  
 $U_{\text{ср}}$  – среднее номинальное напряжения ступени, на которой находится подлежащий приведению элемент расчетной схемы.

# Расчет токов КЗ

## 3. Расчет тока КЗ

$$I_{\text{к max}}^{(3)} = \frac{U_{\text{ВН ном}}}{\sqrt{3} \cdot x_{\text{рез}}} \cdot \frac{U_{\text{ВН ср}} (1 - \Delta U_{* \text{РПН}})}{U_{\text{НН}}} \quad I_{\text{к min}}^{(3)} = \frac{U_{\text{ВН max}}}{\sqrt{3} \cdot x_{\text{рез}}} \cdot \frac{U_{\text{ВН max}}}{U_{\text{НН}}}$$

$$I_{\text{к}}^{(2)} = 0,865 \cdot I_{\text{к}}^{(3)}$$

Для точки К1:

$$x_{\text{резК1}} = x_{\text{с}} + x_{\text{тр}}$$

Для точки К2:

$$x_{\text{резК2}} = x_{\text{резК1}} + x_{\text{w3(4)}}$$

Для точки К3:

$$x_{\text{резК3}} = x_{\text{резК2}} + x_{\text{w1(2)}}$$

# Расчет токов КЗ

## Оформление результатов расчета

Ток КЗ \ Точка КЗ	К1	К2	К3
$I_{к.маx}^{(3)}, \text{кА}$			
$I_{к.маx}^{(2)}, \text{кА}$			
$I_{к.мин}^{(3)}, \text{кА}$			
$I_{к.мин}^{(2)}, \text{кА}$			

# Релейная защита электродвигателя

Для асинхронных двигателей напряжением выше 1000 В предусматриваются устройства релейной защиты, действующие при:

- Многофазных КЗ на выводах и в обмотке статора.
- Перегрузках.
- Однофазных замыканиях на землю.
- Исчезновении или длительном снижении напряжения.

# Релейная защита электродвигателя

## 1. Защита от многофазных КЗ на выводах и в обмотке статора

а) Если  $P_{\text{дв.ном}} < 2000$  кВт, то применяют токовую отсечку без выдержки времени в однорелейном исполнении.

б) Если  $5000 < P_{\text{дв.ном}} \leq 2000$  кВт, то применяют токовую отсечку без выдержки времени в двухрелейном исполнении.

в) Если  $P_{\text{дв.ном}} \geq 5000$  кВт, то применяют продольную дифференциальную защиту.

# Релейная защита электродвигателя

Ряд номинальных первичных токов ТТ:

100; 150; 200; 300; 400; 500; 600; 750; 800; 1000; 1200; 1500

**Токовая отсечка без выдержки времени**

Ток срабатывания реле:

$$I_{\text{ср}} = k_{\text{отс}} k_{\text{сх}} \frac{K_{\text{II}} I_{\text{ном.дв}}}{K_I}$$

Коэффициент чувствительности:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к.мин}(K3)}^{(2)}}{I_{\text{ср}} K_I} \geq 2$$

Коэффициент отстройки: для реле РТ-40 – 1,4...1,5; для реле РТ-80 или РТМ – 2.

# Релейная защита электродвигателя

**а) в однорелейном исполнении с включением реле на разность токов двух фаз**

для трехфазного КЗ:  $k_{сх} = \sqrt{3}$

Если  $K_{ч} < 2$ , то рассматривается вариант б).

**б) в двухрелейном исполнении с включением реле по схеме неполной звезды**

для всех видов КЗ:  $k_{сх} = 1$

Если  $K_{ч} < 2$ , то рассматривается вариант в).

# Релейная защита электродвигателя

## в) Продольная дифференциальная защита с реле РНТ-565

Ток срабатывания реле:

$$I_{\text{ср}} = k_{\text{отс}} I_{\text{нб}^*} I_{\text{п.дв}} / K_I$$

$$k_{\text{отс}} = 1,1;$$

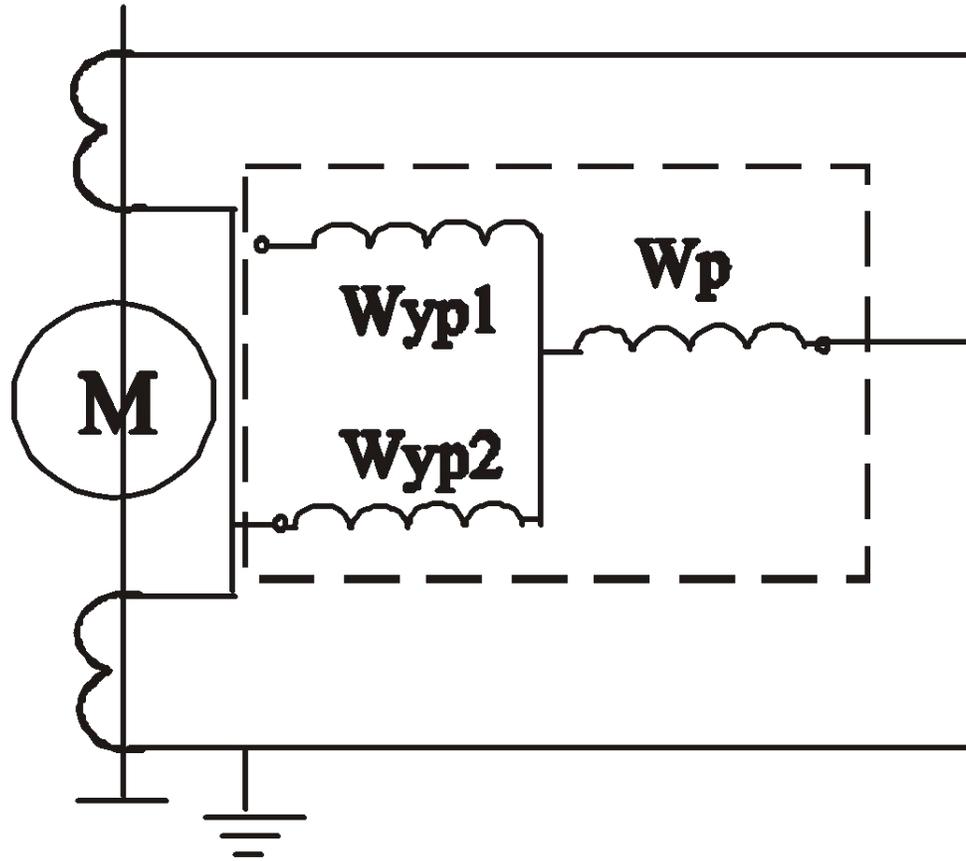
$I_{\text{нб}^*}$  - относительный ток небаланса:

для схем неполная звезда - неполная звезда – 0,37;

для схем звезда - звезда – 0,3;

для схем звезда - треугольник – 0,45.

# Релейная защита электродвигателя



Число витков рабочей обмотки реле:

$$w_{p.pсч} = F_{cp} / I_{cp}$$

где  $F_{cp} = 100$  – МДС срабатывания реле.

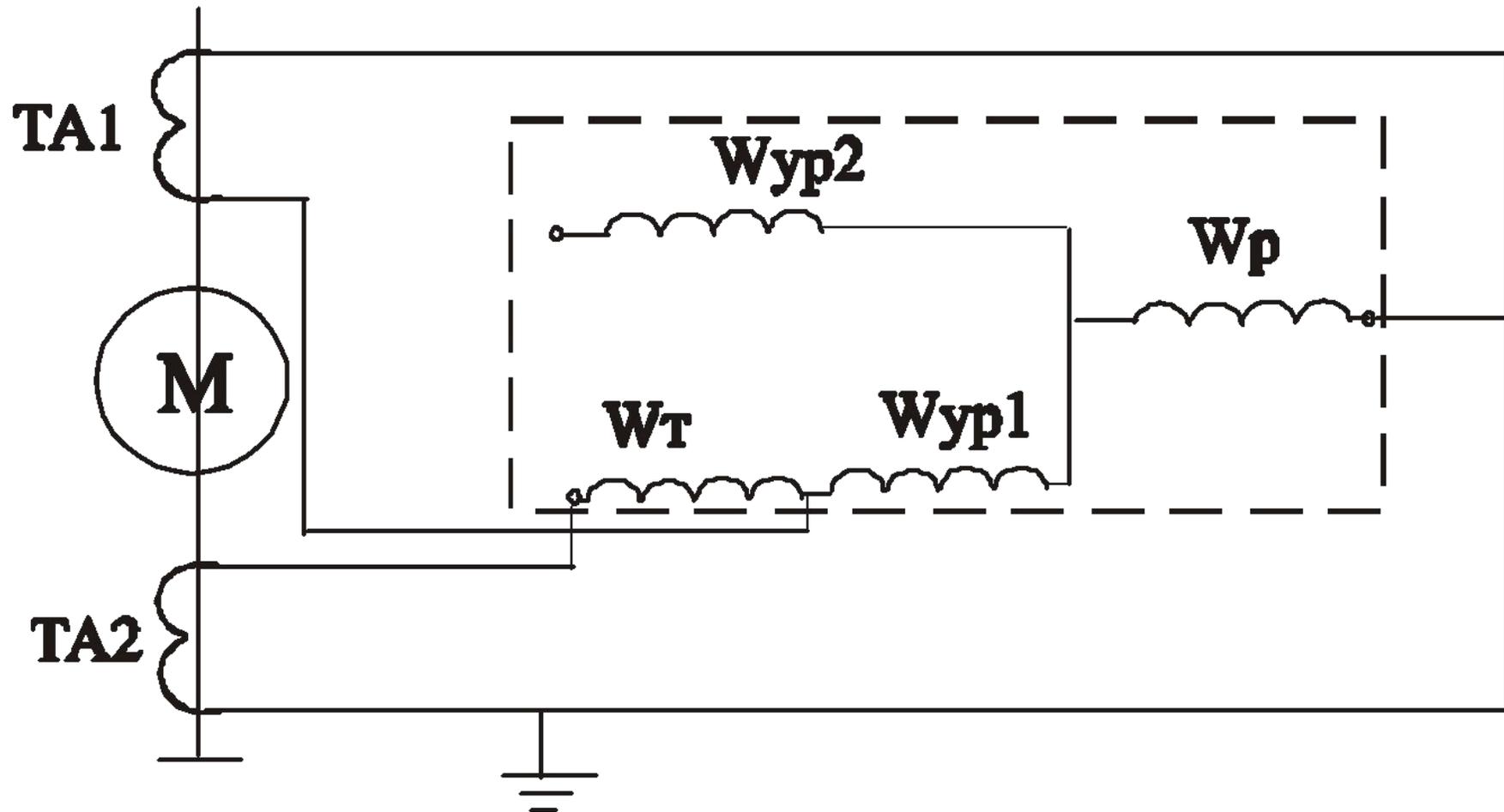
$w_{p.pсч}$  округляется до меньшего целого.

Коэффициент чувствительности:

$$K_{ч} = I_{к.min(K3)}^{(2)} w_p / (100 \cdot K_I) \geq 2$$

# Релейная защита электродвигателя

с реле ДЗТ-11



# Релейная защита электродвигателя

Число витков дифференциальной обмотки ( $T_{\Delta} = 0,04$  с):

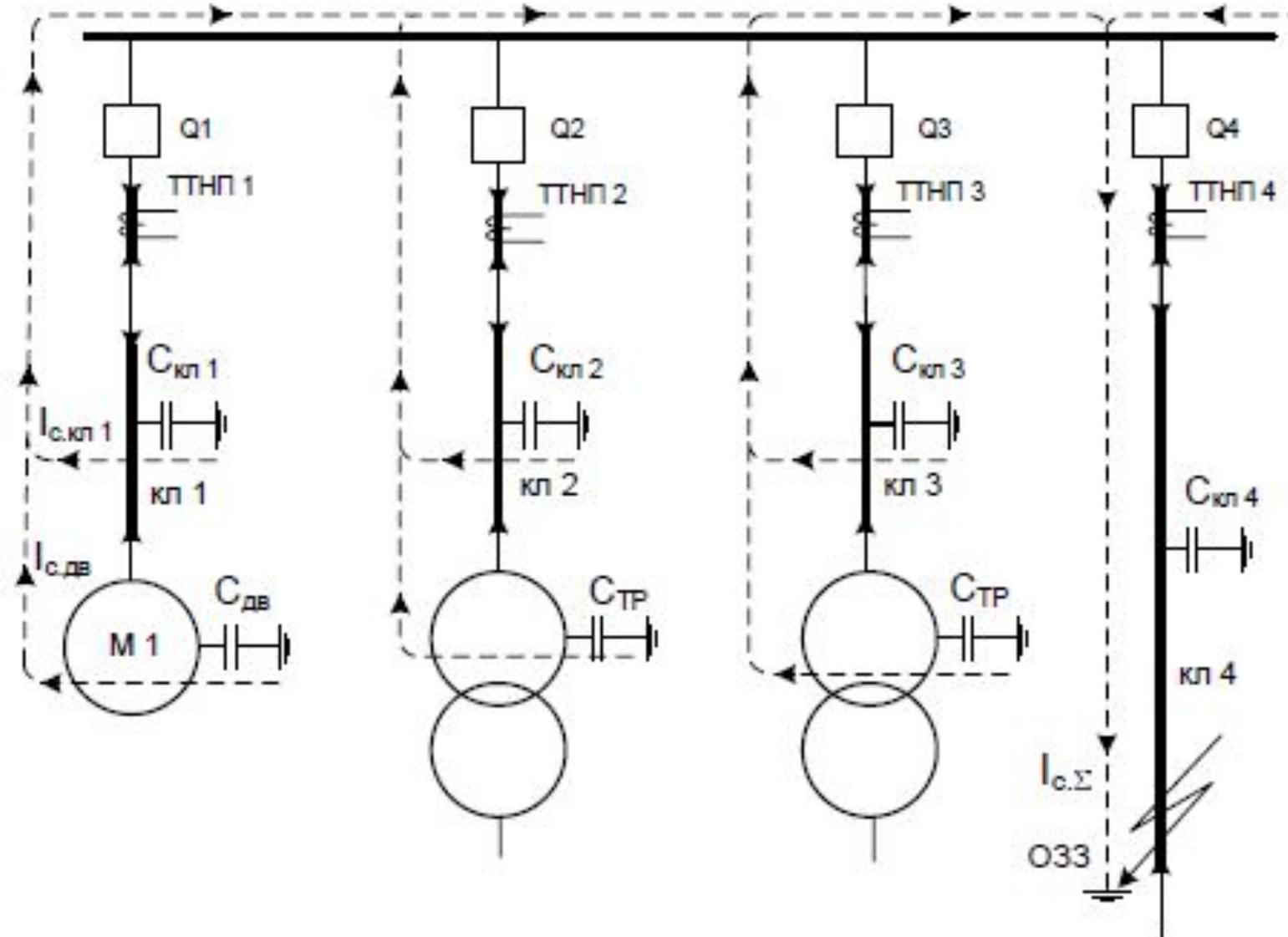
$T_{\Delta}, \text{с}$	Звезда звезда		Неполная звезда — исполная звезда		Неполная звезда — треугольник		Звезда — треугольник	
	$n$	$w_{\Delta}$	$n$	$w_{\Delta}$	$n$	$w_{\Delta}$	$n$	$w_{\Delta}$
0,1	1,25	30	0,86	20	0,92	22	1,02	24
0,05	1,68	40	1,33	32	1,05	25	1,57	37
0,03	2,99	69	2,47	59	1,88	45	2,36	56

Ток срабатывания защиты:

$$I_{\text{сз}} = F_{\text{ср0}} K_I / w_{\Delta} = 100 \cdot K_I / w_{\Delta}$$

# Релейная защита электродвигателя

## 2. Защита от замыканий на землю



# Релейная защита электродвигателя

## защита с реле РТЗ-51

Собственный емкостный ток электродвигателя:

$$I_{C.дв} = 2\pi f \cdot 3C_{дв} U_{ном.дв} / \sqrt{3}$$

Емкость фазы статора асинхронного двигателя:

$$C_{дв} \approx \frac{0,0187 \cdot S_{ном.дв}}{1,2 \sqrt{U_{ном.дв} (1 + 0,08 \cdot U_{ном.дв})}}$$

# Релейная защита электродвигателя

Собственный емкостный ток линии, входящей в зону защиты:

$$I_{C.W} = I_{C0} l m$$

Сечение жил кабеля мм <sup>2</sup>	Удельное значение емкостного тока $I_C$ , А/км при напряжении сети	
	6 кВ	10 кВ
16	0,40	0,55
25	0,50	0,65
35	0,58	0,72
50	0,68	0,80
70	0,80	0,92
95	0,90	1,04
120	1,00	1,16
150	1,18	1,30
185	1,25	1,47
240	1,45	1,70

# Релейная защита электродвигателя

Собственный емкостный ток присоединения:

$$I_C = I_{C.дв} + I_{C.W}$$

Ток срабатывания защиты:

$$I_{сз.рсч} \geq k_{отс} k_{б} I_C$$

где  $k_{отс} = 1,2$ ;  $k_{б} = 2,5$ .

Условие выбора тока срабатывания защиты:

$$I_{сз.рсч} \leq I_{сз} < 5$$

Если  $I_{сз.рсч} < I_{сз.min.табл}$ , то  $I_{сз} = I_{сз.min.табл}$ .

# Релейная защита электродвигателя

Тип трансформатора тока нулевой последовательности	Число и соединение трансформаторов тока нулевой последовательности							
	1	2	3	4	2	3	4	5
	последовательное				параллельное			
ТЗЛ	$\frac{0,68}{3,96}$	$\frac{1,25}{6,80}$	$\frac{1,95}{9,83}$	$\frac{2,48}{14,6}$	$\frac{0,97}{4,25}$	$\frac{1,19}{4,80}$	$\frac{1,43}{5,95}$	Нет данных
	$\frac{0,60}{3,26}$	$\frac{1,08}{6,35}$	$\frac{1,60}{9,60}$	$\frac{2,16}{13,00}$	$\frac{0,89^*}{4,62^*}$	$\frac{1,08^*}{5,1^*}$	$\frac{1,33^*}{5,66^*}$	
ТЗР	$\frac{0,90}{3,80}$	$\frac{1,26}{6,20}$	Нет данных		$\frac{1,41}{6,10}$	Нет данных		—
	$\frac{0,81}{4,17}$	$\frac{1,34}{7,90}$	$\frac{1,95}{11,70}$	$\frac{2,56}{15,44}$	$\frac{1,00}{5,00}$	$\frac{1,20}{6,10}$	$\frac{1,52}{7,20}$	

Примечания: 1. Значения тока срабатывания, отмеченные значком \*, указаны по данным института «Атомтеплоэлектропроект», остальные — по данным «Уралэнергочермет».

2. В числителе приведены минимальные, а в знаменателе — максимальные токи срабатывания.

# Релейная защита электродвигателя

Суммарный емкостный ток замыкания на землю сети:

$$I_{C\Sigma} = 2 \cdot I_{C.\text{дв}} + 2 \cdot I_{C.W3(4)} + 2 \cdot I_{C.W1(2)}$$

Выбранная уставка защиты должны удовлетворять условиям:

$$5 \geq I_{сз} \geq 3 \cdot I_C \quad I_{C\Sigma} \geq (4 \dots 5) I_C$$

Если условие не выполняется, то ТТНП переносят к линейным выводам электродвигателя, а собственный емкостный ток присоединения пересчитывают:

$$I_C = I_{C.\text{дв}}$$

Проверка чувствительности:

$$I_{C\Sigma} - I_C \geq 1,5 \cdot I_{сз}$$

# Релейная защита электродвигателя

## защита с реле ЗЗП-1

Ток срабатывания защиты:

$$I_{\text{сз.рсч}} \leq \frac{I_{\text{с}\Sigma} - I_{\text{с}}}{K_{\text{ч}}}$$

Выбирается ближайшая меньшая уставка  $I_{\text{сз.мин}}$  из ряда:  
0,07 ; 0,5 ; 2 А.

Коэффициент чувствительности:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{с}\Sigma} - I_{\text{с}}}{1,3 \cdot I_{\text{сз.мин}}} \geq 2$$

# Релейная защита электродвигателя

## 3. Защита от токов перегрузки

Ток срабатывания реле:

$$I_{\text{ср}} = k_{\text{отс}} k_{\text{сх}} \frac{I_{\text{ном.дв}}}{k_{\text{в}} K_I}$$

где  $k_{\text{отс}} = 1,1$  ;  $k_{\text{в}} = 0,8$  для реле типа РТ-82,  $k_{\text{в}} = 0,85$  для реле серии РТ-40.

Выдержка времени срабатывания защиты:

$$t_{\text{сз}} \geq k_{\text{отс}} t_{\text{п}}$$

где  $k_{\text{отс}} = 1,2 \dots 1,3$

# Релейная защита электродвигателя

## 3. Защита минимального напряжения

Уставки первой ступени защиты:

$$U_{сз}^I = 0,7 \cdot U_{НОМ}$$

$$t_{сз}^I = 0,5 \dots 1,5$$

Уставки второй ступени защиты:

$$U_{сз}^{II} = 0,5 \cdot U_{НОМ}$$

$$t_{сз}^{II} = 6 \dots 10$$

# Релейная защита электродвигателя

