

ЗАДАЧА

по ЭО № 6

Расчета релейной защиты промышленного предприятия

Расчет токов КЗ

Для выбора токов срабатывания и проверки чувствительности релейной защиты необходимо рассчитать токи КЗ. Обычно при расчете рассматривают трехфазное КЗ. Так как трехфазное КЗ является симметричным, достаточно произвести расчет для одной фазы. Для расчета токов КЗ составляют расчетную схему, на которой указывают все элементы системы электроснабжения (генераторы, линии, трансформаторы, реакторы). На основе расчетной схемы составляют схему замещения, на которой все элементы системы электроснабжения заменяют соответствующими сопротивлениями, выражаемыми в Ом, что упрощает расчет тока КЗ.

В качестве примера определим ток КЗ в точках $K1$, $K2$, $K3$ и $K4$ системы электроснабжения (рис. 1), если известны параметры элементов системы. Расчет выполняем в именованных единицах для среднего номинального напряжения $U_{с.ном} = 6,3$ кВ.

Определяем сопротивления воздушной линии $W1$

$$R'_{W1} = R_{01}l_1 = 0,46 \cdot 10 = 4,6 \text{ Ом};$$

$$X'_{W1} = x_{01}l_1 = 0,4 \cdot 10 = 4,0 \text{ Ом}.$$

Приводим сопротивления к $U_{с.ном}$:

$$R_{W1} = \frac{R'_{W1}}{K_U^2} = \frac{4,6}{(115/6,3)^2} = 0,014 \text{ Ом};$$

$$X_{W1} = \frac{X'_{W1}}{K_U^2} = \frac{4,0}{(115/6,3)^2} = 0,012 \text{ Ом}.$$

Определяем сопротивление трансформатора $T1$:

$$X_{T1} = Z_{T1} = \frac{u_{кT1} \% U_{с.ном}^2}{100 S_{T1ном}} = \frac{10,5 \cdot 6,3^2}{100 \cdot 16} = 0,26 \text{ Ом}.$$

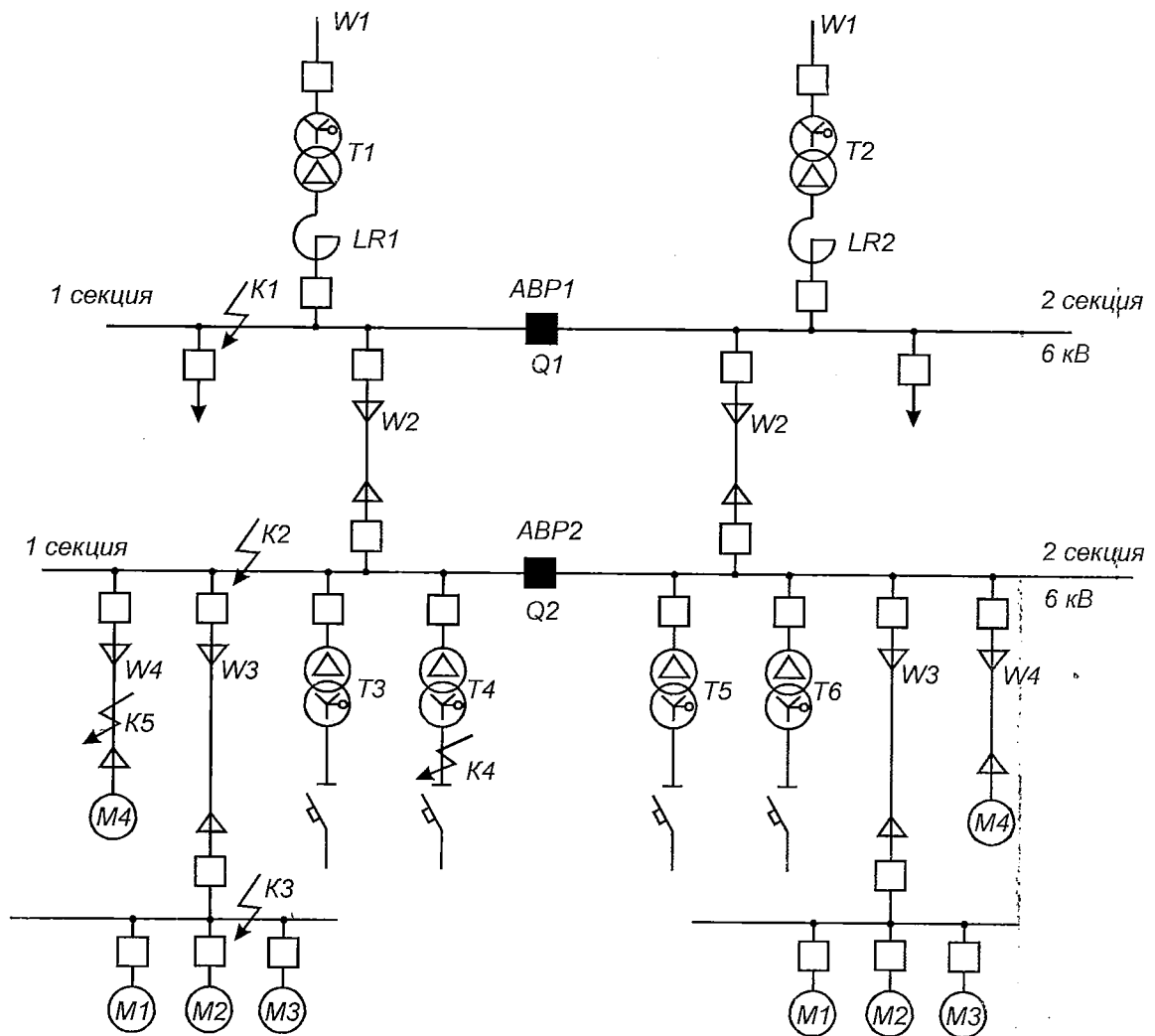


Рис. 1 Пример схема электроснабжения промышленного предприятия

Параметры схемы: линия $W1$ – А-70; $l_1 = 70$ км; трансформатор $T1$ – ТДН; 16000 кВ·А, 110/6 кВ; линия $W2$ – 5×3×150, $l_2 = 1$ км; линия $W3$ – 3×150, $l_3 = 0,3$ км; линия $W4$ – 3×150, $l_4 = 0,5$ км; трансформаторы $T3$ – $T6$ – ТМ, 630 кВ·А, 6/0,4 кВ.

Определим сопротивление реактора $LR1$:

$$X_{LR1} = \frac{x\%U_{с.ном}}{100\sqrt{3}I_{р.ном}} = \frac{8 \cdot 6,3}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot 2,0} = 0,146 \text{ Ом.}$$

Определяем сопротивление кабельной линии $W2$:

$$X_{W2} = \frac{x_{02}l_2}{n_2} = \frac{0,074 \cdot 1}{5} = 0,015 \text{ Ом;}$$

$$R_{W2} = \frac{R_{02}l_2}{n_2} = \frac{0,206 \cdot 1}{5} = 0,041 \text{ Ом.}$$

Определим сопротивление кабельной линии W_3 :

$$X_{W_3} = x_{03}l_3 = 0,074 \cdot 0,3 = 0,022 \text{ Ом};$$

$$R_{W_3} = R_{03}l_3 = 0,206 \cdot 0,3 = 0,062 \text{ Ом}.$$

Определим сопротивление кабельной линии W_4 :

$$X_{W_4} = \frac{x_{04}l_4}{n_4} = \frac{0,074 \cdot 0,5}{3} = 0,019 \text{ Ом};$$

$$R_{W_4} = \frac{R_{04}l_4}{n_4} = \frac{0,206 \cdot 0,5}{3} = 0,052 \text{ Ом}.$$

Определяем сопротивление трансформатора T_3 :

$$Z_{T_3} = \frac{u_{кТ\%} U_{с.ном}^2}{100 S_{T_3ном}} = \frac{5,5 \cdot 6,3^2}{100 \cdot 0,63} = 3,47 \text{ Ом};$$

$$R_{T_3} = \frac{\Delta P_{кТ3} U_{с.н.н}^2}{S_{T_3ном}^2 \cdot 10^3} = \frac{12 \cdot 6,3^2}{0,63^2 \cdot 10^3} = 1,2 \text{ Ом};$$

$$X_{T_3} = \sqrt{Z_{T_3}^2 - R_{T_3}^2} = \sqrt{3,47^2 - 1,2^2} = 3,26 \text{ Ом}.$$

Ток КЗ в расчетных точках определяем по формуле

$$I_{ki} = \frac{U_{с.ном}}{\sqrt{3} Z_{ki}},$$

где $R_{01}, R_{02}, R_{03}, R_{04}$ – удельные активные сопротивления соответственно линии W_1, W_2, W_3 и W_4 ; $x_{01}, x_{02}, x_{03}, x_{04}$ – удельные индуктивные сопротивления соответственно линии W_1, W_2, W_3 и W_4 ; l_1, l_2, l_3, l_4 – длина соответственно линии W_1, W_2, W_3 и W_4 ; n_2, n_4 – число кабелей соответственно в линии W_2 и W_4 ; $u_{кТ1\%}, u_{кТ3\%}$ – напряжения КЗ соответственно трансформаторов $T_1, T_3, \%$; $S_{T1ном}, S_{T3ном}$ – полные номинальные мощности соответственно трансформаторов T_1 и T_3 ; $\Delta P_{кТ3}$ – потери КЗ в трансформаторе T_3 ; K_U – коэффициент трансформации трансформатора напряжения; $I_{р.ном}$ – номинальный ток реактора; $Z_{\Sigma i}$ – суммарное сопротивление цепи от источника питания до расчетной точки КЗ. При $X_{\Sigma i}/3 > R_{\Sigma}$ ток КЗ I_{ki} определяем по $x_{\Sigma i}$.

Результаты расчета сопротивлений и токов КЗ сводим в табл. 2. Схема замещения представлена на рис. 2.

Результаты расчета сопротивлений и токов КЗ

Таблица 2

Расчет точка КЗ (<i>i</i>)	<i>K1</i>	<i>K2</i>	<i>K3</i>	<i>K4</i>	<i>K5</i>
$x_{\Sigma i}, \text{ Ом}$	0,418	0,423	0,445	3,683	0,442
$R_{\Sigma i}, \text{ Ом}$	0,014	0,055	0,107	0,531	0,117
$I_{\Sigma i}, \text{ кА}$	8,7	8,61	8,18	1,00	8,24

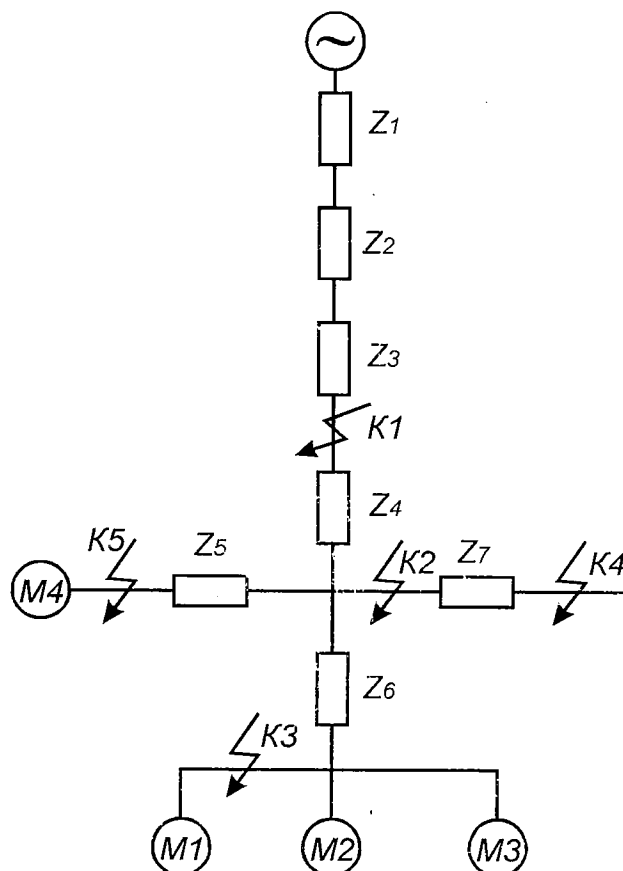


Рис. 2 Схема замещения к расчету токов КЗ: Z_1 – сопротивление линии $W1$; Z_2 – сопротивление трансформатора $T1$; Z_3 – сопротивление реактора $LR1$; Z_4 – сопротивление линии $W2$; Z_5 – сопротивление линии $W4$; Z_6 – сопротивление линии $W3$; Z_7 – сопротивление трансформатора $T4$.

Таблица вариантов задания к задаче №6

№	T1, MB·A	W1	L1, км	W2	L2, км	W3	L3, км	W4	L4, км	T3-T6	
										MB· A	ВН/НН, кВ
1	16	AC-50	90	4*3* 150	1	2*3* 120	0,35	3* 120	0,5	0,4	6/0,4
2	25	A-70	50	3*3* 240	0,5	3*3* 150	0,5	3* 150	0,75	0,4	10/0,4
3	40	A-95	100	4*3* 240	0,75	3*3* 175	1	3* 120	0,5	0,25	6/0,4
4	32	A-70	40	5*3* 150	2	3*3* 120	0,75	3* 70	1	0,16	6/0,4
5	25	AC-95	80	4*3* 240	1,5	3*3* 150	0,8	3* 95	0,9	0,4	6/0,4
6	63	A-120	90	3*3* 240	1,25	2*3* 120	1,2	3* 35	0,4	0,16	10/0,4
7	40	A-150	50	2*3* 240	1,5	3* 120	0,25	3* 50	0,5	0,25	6/0,4
8	40	A-95	115	4*3* 150	1,75	3*3* 175	1,55	3* 95	0,55	0,4	6/0,4
9	40	AC-70	150	4*3* 175	1,2	4*3* 120	1,75	3* 95	1,2	0,16	10/0,4
10	25	AC-50	90	3*3* 240	1,55	4*3* 150	0,65	3* 95	0,65	0,4	6/0,4
11	63	A-120	90	3*3* 240	1,25	2*3* 120	1,2	3* 35	0,4	0,16	10/0,4
12	16	A-70	100	3*3* 150	1	3*3* 120	0,35	3* 95	1,5	0,16	6/0,4
13	63	AC-120	105	4*3* 185	1,5	3*3* 120	1,1	3* 150	0,75	0,4	10/0,4
14	40	A-95	95	4*3* 120	1,5	3*3* 150	1,2	3* 120	0,5	0,4	10/0,4
15	32	AC-95	110	4*3* 120	1,85	3*3* 120	1,75	3* 70	1,2	0,25	6/0,4
16	25	A-95	125	3*3* 240	1,5	4*3* 120	1,25	3* 95	1,1	0,4	6/0,4
17	63	A-120	125	4*3* 240	1	3*3* 120	1	3* 35	0,5	0,63	10/0,4

18	40	A-120	160	3*3* 185	1,5	2*3* 120	0,5	3* 50	1,5	0,25	6/0,4
19	40	A-95	150	4*3* 240	0,75	3*3* 175	1	3* 120	0,5	0,25	6/0,4
20	32	A-150	140	4*3* 185	2	3*3* 120	2	3* 95	1	0,4	6/0,4
21	25	AC-120	180	3*3* 240	1,5	3*3* 150	1,5	3* 120	0,9	0,16	6/0,4
22	63	A-120	190	3*3* 240	1,25	2*3* 120	2,2	3* 50	0,4	0,25	10/0,4
23	40	A-185	150	4*3* 240	1,5	3* 120	2,25	3* 95	0,5	0,4	6/0,4
24	16	A-95	100	5*3* 240	0,75	3*3* 175	1	3* 120	0,5	0,25	6/0,4
25	25	AC-70	110	3*3* 150	0,8	3*3* 120	0,5	3* 70	1	0,16	10/0,4
26	16	A-95	140	5*3* 240	0,25	3*3* 150	0,9	3* 70	0,9	0,4	10/0,4
27	25	AC-120	110	5*3* 240	0,11	2*3* 120	1	3* 50	0,4	0,25	6/0,4
28	40	AC-150	120	5*3* 240	0,9	3* 120	1,1	3* 70	0,5	0,4	10/0,4
29	25	AC-185	50	2*3* 240	1	2*3* 70	0,6	3* 120	0,8	0,16	6/0,4
30	16	A-70	80	3*3* 240	1,75	3* 5	0,9	3* 50	1,1	0,25	10/0,4

Расчетные характеристики кабелей с бумажной изоляцией

Сечение жилы, мм ²	Активное сопротивление при +20 °С, Ом/км		Индуктивное сопротивление прямой последовательности $X_{1уд}$ и емкостная проводимость $b_{уд}$ кабеля напряжением, кВ							
			6		10		20		35	
	Медь	Алюминий	$X_{1уд}$, Ом/км	$b_{уд} \cdot 10^{-4}$, См/км	$X_{1уд}$, Ом/км	$b_{уд} \cdot 10^{-4}$, См/км	$X_{1уд}$, Ом/км	$b_{уд} \cdot 10^{-4}$, См/км	$X_{1уд}$, Ом/км	$b_{уд} \cdot 10^{-4}$, См/км
10	1,84	3,1	0,11	62,8	—	—	—	—	—	—
16	1,15	1,94	0,102	72,2	0,113	—	—	—	—	—
25	0,74	1,24	0,091	88	0,099	72,2	0,135	53,5	—	—
35	0,52	0,89	0,087	97,2	0,095	85	0,129	60	—	—
50	0,37	0,62	0,083	114	0,09	91	0,119	66	—	—
70	0,26	0,443	0,08	127	0,086	97,5	0,116	75,5	0,137	56,5
95	0,19	0,326	0,078	134	0,083	110	0,110	81,5	0,126	63
120	0,15	0,258	0,076	146	0,081	116	0,107	100	0,120	75,5
150	0,12	0,206	0,074	162	0,079	138	0,104	110	0,116	81,5
185	0,09	0,167	0,073	169	0,077	141	0,101	119	0,113	88
240	0,07	0,129	0,071	185	0,075	144	—	—	—	—
300	0,06	0,103	—	—	—	—	0,095	—	0,097	—
400	0,04	0,077	—	—	—	—	0,092	—	—	—

Расчетные характеристики воздушных линий 35 - 150 кВ со сталеалюминиевыми проводами

Номинальное сечение провода, мм ²	Активное сопротивление при +20 °С на 100 км линии, Ом	Индуктивное сопротивление прямой последовательности $X_{1уд}$ и емкостная проводимость $b_{уд}$ на 100 км линии напряжением, кВ				
		35		110		150
		$X_{1уд}$, Ом	$X_{1уд}$, Ом	$b_{уд} \cdot 10^{-4}$, См	$X_{1уд}$, Ом	$b_{уд} \cdot 10^{-4}$, См
70/11	42,8	43,2	44,4	2,55	46	2,46
95/16	30,6	42,1	43,4	2,61	45	2,52
120/19	24,9	41,4	42,7	2,66	44,1	2,56
150/24	19,8	40,6	42	2,70	43,4	2,61
185/29	16,2	—	41,3	2,75	42,9	2,64
240/32	12	—	40,5	2,81	42	2,70