

Занятие 16

1.4. Моделирование схемы электроснабжения для расчёта токов короткого замыкания в сети до 1000 В

Цель работы: овладение методикой математического моделирования и расчета токов КЗ в сетях до 1000 В.

1.4.1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

В большинстве практических случаях можно считать, что КЗ в сетях до 1000 В питается от системы с неограниченной мощностью, т.е. периодическая составляющая тока КЗ неизменна в течение всего времени существования режима КЗ:

$$I_{пт}^{(3)} = I_{кз}^{(3)}$$

При расчетах токов КЗ в установках напряжением до 1000 В необходимо учитывать активные и индуктивные сопротивления до точки КЗ всех элементов короткозамкнутой сети: силового трансформатора, проводов, кабелей и шин, токовых катушек расцепителей автоматических выключателей, первичных обмоток трансформаторов тока, переходных контактов аппаратов (определяются по справочным материалам, приведенным в п.1.1 настоящего практикума).

Сопротивление электрической дуги, возникающей в месте КЗ, рассчитывается (обычно при определении чувствительности релейных защит) по соотношению:

$$r_{д} = \frac{1000 l_{д}}{I_{д}},$$

где $I_{д}$ – ток, проходящий через дугу (принимается ток, определенный без учета сопротивления дуги при КЗ в том же месте); $l_{д}$ – длина дуги (м), равна расстоянию между токоведущими частями.

При расчете однофазных токов КЗ значения удельных индуктивных сопротивлений петли «фаза-нуль» принимается равным:

$x_0 = 0,15$ мОм/м – для КЛ до 1 кВ и проводов в трубах;

$x_0 = 0,6$ мОм/м – для ВЛ до 1 кВ;

$x_0 = 0,4$ мОм/м – для изолированных открыто проложенных проводов;

$x_0 = 0,2$ мОм/м – для шинопроводов.

Расчет параметров цепи и токов КЗ выполняется в именованных единицах, напряжение принимается на 5% выше номинального напряжения сети (т.е. $U_{ср. ном}$)

1.4.2. ПРИМЕР РАСЧЕТА

Для схемы электроснабжения цеховой сети (рис. 1.11) определить токи КЗ и составить «сводную ведомость токов КЗ». Питание распределительного шкафа ШР выполнено кабелем АНРГ с открытой прокладкой по стене; для

питания отдельных электроприемников цеха используются провода АВВГ с прокладкой в трубах. Для подключения измерительных приборов в схеме электроснабжения установлены трансформаторы тока ТА1 и ТА2 с классом точности 1,0.

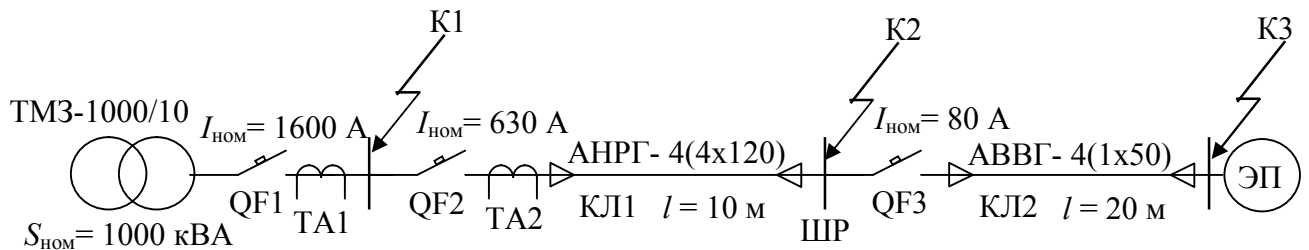


Рис.1.11. Расчетная схема распределительной сети

Расчет ведем в абсолютных единицах. Сопротивления элементов схемы электроснабжения приводим к номинальному напряжению вторичной обмотки 0,4 кВ.

Определяем сопротивления для расчета трехфазного КЗ

1. Сопротивления трансформатора (табл. 1.2):

$$R_{тр} = 2,0 \text{ мОм} \quad X_{тр} = 8,5 \text{ мОм}$$

2. Сопротивления автоматического выключателя QF1 (табл.1.10):

$$R_{QF1} = 0,08 \text{ мОм} \quad X_{QF1} = 0,08 \text{ мОм} \quad R_{kQF1} = 0,1 \text{ мОм}$$

3. Сопротивления автоматического выключателя QF2 (табл.1.10):

$$R_{QF2} = 0,12 \text{ мОм} \quad X_{QF2} = 0,13 \text{ мОм} \quad R_{kQF2} = 0,25 \text{ мОм}$$

4. Сопротивления первичной обмотки трансформатора тока ТА2 (табл.1.9):

$$R_{ТА2} = 0,07 \text{ мОм} \quad X_{ТА2} = 0,05 \text{ мОм}$$

Примечание: сопротивления трансформатора тока ТА1 можно не учитывать ввиду их малости.

5. Сопротивления кабельной линии КЛ1 (удельные сопротивления из табл.1.5):

$R_{КЛ1} = r_0 \cdot l / n = 0,261 \cdot 10 / 4 = 0,653 \text{ мОм}$ (с учетом 4 параллельно проложенных кабелей)

$$X_{КЛ1} = x_0 \cdot l = 0,08 \cdot 10 = 0,8 \text{ мОм}$$

6. Сопротивления автоматического выключателя QF3 (табл.1.10):

$$R_{QF3} = 2,4 \text{ мОм} \quad X_{QF3} = 2,0 \text{ мОм} \quad R_{kQF3} = 1,0 \text{ мОм}$$

7. Сопротивления кабельной линии КЛ2 (удельные сопротивления из табл.1.5):

$$R_{КЛ2} = r_0 \cdot l = 0,625 \cdot 20 = 12,5 \text{ мОм} \quad X_{КЛ2} = x_0 \cdot l = 0,085 \cdot 20 = 1,7 \text{ мОм}$$

8. Переходные сопротивления ступеней распределения (табл. 1.4):

$$R_{ру \text{ нн}} = 15 \text{ мОм} \quad R_{ШПР} = 25 \text{ мОм}$$

9. Активные переходные сопротивления неподвижных контактных соединений (табл.1.8):

$$R_{кКЛ1} = 0,024 \text{ мОм} \quad R_{кКЛ2} = 0,043 \text{ мОм}$$

Схема замещения цеховой сети для расчета токов трехфазного и двухфазного КЗ представлена на рис.1.12.

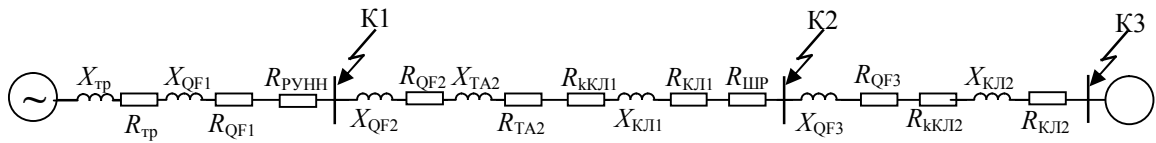


Рис.1.12. Схема замещения цеховой сети

Упростим схему замещения, определив эквивалентные сопротивления на участках схемы между точками КЗ

$$R_1 = R_{тр} + R_{QF1} + R_{ПУНН} = 2 + 0,08 + 15 = 17,08 \text{ мОм}$$

$$X_1 = X_{тр} + X_{QF1} = 8,5 + 0,08 = 8,08 \text{ мОм}$$

$$R_2 = R_{QF2} + R_{ТА2} + R_{ККЛ1} + R_{КЛ1} + R_{ШП} = 0,12 + 0,07 + 0,024 + 0,653 + 25 = 25,87 \text{ мОм}$$

$$X_2 = X_{QF2} + X_{ТА2} + X_{КЛ1} = 0,13 + 0,05 + 0,8 = 8,18 \text{ мОм}$$

$$R_3 = R_{QF3} + R_{ККЛ2} + R_{КЛ2} = 2,4 + 0,043 + 12,5 = 14,943 \text{ мОм}$$

$$X_3 = X_{QF3} + X_{КЛ2} = 2,0 + 1,7 = 3,7 \text{ мОм}$$

Упрощенная схема замещения представлена на рис. 1.13.

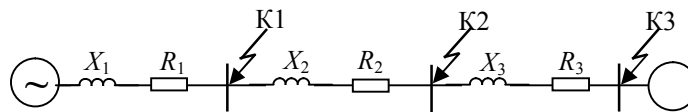


Рис.1.13. Упрощенная схема замещения цеховой сети

Расчет трехфазных и двухфазных токов КЗ

Ток трехфазного КЗ определяется по формуле:

$$I_{КЗ}^{(3)} = \frac{U_{ср.ном}}{\sqrt{3} Z_{рез}}, \text{ кА}$$

где $Z_{рез}$ – полное сопротивление до точки КЗ, Ом.

Точка К1:

$$Z_{рез} = \sqrt{R_1^2 + X_1^2} = \sqrt{17,08^2 + 8,08^2} = 18,88 \text{ мОм}$$

Периодическая составляющая тока трехфазного КЗ

$$I_{КЗ}^{(3)} = \frac{400 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 18,08} = 12,77 \text{ кА}$$

По рис.1.1 определим $k_{уд}$. Для этого требуется определить $X_1/R_1=0,47$, откуда $k_{уд} = 1,0$

Ударный ток КЗ

$$i_{уд} = \sqrt{2} k_{уд} I_{КЗ} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 12,77 = 18,1 \text{ кА}$$

Ток двухфазного КЗ

$$I_{\text{КЗ}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{\text{КЗ}}^{(3)} = 0,87 I_{\text{КЗ}}^{(3)} = 0,87 \cdot 12,77 = 11,1 \text{ кА}$$

Точка К2:

$$Z_{\text{рез}} = \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2} = \sqrt{(17,08 + 25,87)^2 + (8,08 + 8,18)^2} = 45,9 \text{ мОм}$$

Периодическая составляющая тока трехфазного КЗ

$$I_{\text{КЗ}}^{(3)} = \frac{400 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 45,9} = 5,0 \text{ кА}$$

По рис.1.1 определим $k_{\text{уд}}$. Для этого требуется определить $X/R \leq 0,5$, откуда $k_{\text{уд}} = 1,0$

Ударный ток КЗ

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} k_{\text{уд}} I_{\text{КЗ}} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 5,0 = 7,1 \text{ кА}$$

Ток двухфазного КЗ

$$I_{\text{КЗ}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{\text{КЗ}}^{(3)} = 0,87 I_{\text{КЗ}}^{(3)} = 0,87 \cdot 5,0 = 4,35 \text{ кА}$$

Точка К3:

$$Z_{\text{рез}} = \sqrt{(R_1 + R_2 + R_3)^2 + (X_1 + X_2 + X_3)^2} = \sqrt{(17,08 + 25,87 + 14,94)^2 + (8,08 + 8,18 + 3,7)^2} = 61,2 \text{ мОм}$$

Периодическая составляющая тока трехфазного КЗ

$$I_{\text{КЗ}}^{(3)} = \frac{400 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 61,2} = 3,77 \text{ кА}$$

По рис.1.1 определим $k_{\text{уд}}$. Для этого требуется определить $X/R \leq 0,5$, откуда $k_{\text{уд}} = 1,0$

Ударный ток КЗ

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} k_{\text{уд}} I_{\text{КЗ}} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 3,77 = 5,33 \text{ кА}$$

Ток двухфазного КЗ

$$I_{\text{КЗ}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{\text{КЗ}}^{(3)} = 0,87 I_{\text{КЗ}}^{(3)} = 0,87 \cdot 3,77 = 3,28 \text{ кА}$$

Расчет однофазных КЗ

Определим сопротивления и составим схему замещения для расчета токов однофазного КЗ

Сопротивления трансформатора по табл. 1.2 $Z_{\text{тр}}^{(1)} = 81 \text{ мОм}$

К схеме замещения, изображенной на рис.1.12 нужно добавить сопротивления нулевых проводников.

Сопротивления нулевой жилы кабельных линий КЛ1 и КЛ2 (удельные сопротивления из табл.1.5):

$R_{0-КЛ1} = r_0 \cdot l / n = 0,261 \cdot 10 / 4 = 0,653$ мОм (с учетом 4 параллельно проложенных кабелей)

$$R_{0-КЛ2} = r_0 \cdot l = 0,625 \cdot 20 = 12,5 \text{ мОм}$$

Кроме этого изменятся индуктивные сопротивления кабельных линий

$$X_{КЛ1} = x_0 \cdot l = 0,4 \cdot 10 = 4 \text{ мОм}$$

$$X_{КЛ2} = x_0 \cdot l = 0,15 \cdot 20 = 3 \text{ мОм}$$

Значения удельных индуктивных сопротивлений определены по рекомендациям, приведенным в п.1.4.1.

Схема замещения цеховой сети для расчета токов однофазного КЗ представлена на рис.1.14.

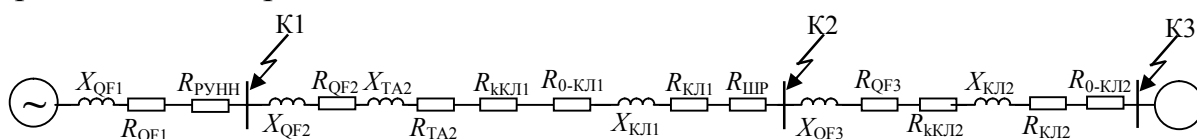


Рис.1.14. Схема замещения цеховой сети для расчета однофазных КЗ

Упростим схему замещения, определив эквивалентные сопротивления на участках схемы между точками КЗ

$$R_1 = R_{QF1} + R_{РУНН} = 0,08 + 15 = 15,08 \text{ мОм}$$

$$X_1 = X_{QF1} = 0,08 = 8,08 \text{ мОм}$$

$$R_2 = R_{QF2} + R_{ТА2} + R_{ККЛ1} + R_{КЛ1} + R_{ШП} + R_{0-КЛ1} = 0,12 + 0,07 + 0,024 + 0,653 + 25 + 0,653 = 26,52 \text{ мОм}$$

$$X_2 = X_{QF2} + X_{ТА2} + X_{КЛ1} = 0,13 + 0,05 + 0,8 = 8,18 \text{ мОм}$$

$$R_3 = R_{QF3} + R_{ККЛ2} + R_{КЛ2} + R_{0-КЛ2} = 2,4 + 0,043 + 12,5 + 12,5 = 27,44 \text{ мОм}$$

$$X_3 = X_{QF3} + X_{КЛ2} = 2,0 + 1,7 = 3,7 \text{ мОм}$$

Упрощенная схема замещения цеховой сети для расчета токов однофазных КЗ не изменится (рис. 1.13), однако значения сопротивлений будут другими.

Ток однофазного КЗ определяется по формуле

$$I_{КЗ}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_{тр}^{(1)}}{3} + Z_{\phi-0}}$$

где U_{ϕ} – фазное напряжение в точке КЗ, кВ;

$Z_{\phi-0}$ – полное сопротивление петли «фаза нуль» до точки КЗ, Ом;

$Z_{тр}^{(1)}$ – полное сопротивление трансформатора при однофазном КЗ, Ом.

Точка К1:

$$Z_{\phi-0} = \sqrt{R_1^2 + X_1^2} = \sqrt{15,08^2 + 8,08^2} = 17,1 \text{ мОм}$$

$$I_{\text{кз}}^{(1)} = \frac{230 \cdot 10^3}{\frac{81}{3} + 17,1} = 5,2 \text{ кА}$$

Точка К2:

$$Z_{\phi-0} = \sqrt{(R_1+R_2)^2 + (X_1+X_2)^2} = \sqrt{(15,08 + 26,52)^2 + (8,08 + 8,18)^2} = 44,67 \text{ мОм}$$

$$I_{\text{кз}}^{(1)} = \frac{230 \cdot 10^3}{27 + 44,67} = 3,2 \text{ кА}$$

Точка К3:

$$Z_{\phi-0} = \sqrt{(R_1+R_2+R_3)^2 + (X_1+X_2+X_3)^2} = \sqrt{(15,08 + 26,52 + 27,44)^2 + (8,08 + 8,18 + 3,7)^2} = 71,9 \text{ мОм}$$

$$I_{\text{кз}}^{(1)} = \frac{230 \cdot 10^3}{27 + 71,9} = 2,3 \text{ кА}$$

Сводная ведомость токов КЗ

Расчетные точки		К1	К2	К3
Токи КЗ, кА	$I_{\text{кз}}^{(1)}$	5,2	3,2	2,3
	$I_{\text{кз}}^{(2)}$	11,1	4,35	3,28
	$I_{\text{кз}}^{(3)}$	12,8	5,0	3,8
	$i_{\text{уд}}$	18,1	7,1	5,3

1.4.3. ЗАДАНИЕ

Для схемы цеховой сети до 1000 В (рис. 1.15) определить токи КЗ и составить «сводную ведомость токов КЗ». Питание распределительного шкафа ШР от распределительного устройства РУ цеховой подстанции выполнено шинопроводом ШНП. Для питания отдельных электроприемников используются четыре одножильных провода марки АПРТО одинакового сечения с прокладкой в трубах.



Рис.1.15. Схема электроснабжения цеховой сети

Варианты заданий приведены в таблице 1.14. Вариант задания определяется преподавателем.

Таблица 1.14

Варианты заданий

№ вар	T1	QF1		ШНП				QF2	КЛ1		№ вар	T1	QF1		ШНП				QF2	КЛ1	
	$S_{\text{ном}},$ кВА	$I_{\text{ном}},$ А	$I_{\text{ном}},$ А	$l,$ м	$I_{\text{ном}},$ А	$S,$ мм ²	$l,$ м	$I_{\text{ном}},$ А	$S,$ мм ²	$l,$ м		$S_{\text{ном}},$ кВА	$I_{\text{ном}},$ А	$I_{\text{ном}},$ А	$l,$ м	$I_{\text{ном}},$ А	$S,$ мм ²	$l,$ м	$I_{\text{ном}},$ А	$S,$ мм ²	$l,$ м
1	1600	2500	2500	30	250	120	10	11	1600	2500	2500	10	80	25	20						
2	1000	1600	1600	25	200	95	15	12	1000	1600	1600	20	100	35	10						
3	630	1000	1250	20	160	70	5	13	630	1000	1250	30	125	50	20						
4	400	630	630	15	125	50	10	14	400	630	630	20	160	70	25						
5	250	400	400	10	100	35	15	15	250	400	400	10	200	95	25						
6	1600	2500	3200	10	80	25	20	16	1600	2500	3200	20	250	120	10						
7	1000	1600	2500	15	250	120	10	17	1000	1600	2500	30	250	120	5						
8	630	1000	1600	20	200	95	5	18	630	1000	1600	15	160	95	15						
9	400	630	1000	25	160	95	20	19	400	630	1000	20	125	70	10						
10	250	400	630	30	125	70	10	20	250	400	630	25	100	50	20						

1.4.4. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Цель и порядок выполнения работы
2. Расчетную схему и схему замещения с указанием контрольных точек расчета токов КЗ
3. Результаты расчетов сопротивлений схем замещения
4. Результаты расчетов токов КЗ
5. Сводную ведомость расчета токов КЗ
6. Выводы

1.4.5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие особенности моделирования схемы электроснабжения для расчета токов однофазного КЗ
2. Какое влияние оказывает схема соединения обмоток цехового трансформатора на токи однофазного КЗ
3. Какие различия в моделировании схем электроснабжения для расчета токов КЗ в сетях до и выше 1000 В
4. Какие меры можно принять для ограничения токов КЗ в цеховых сетях

