

Расчет токов короткого замыкания в схеме электроснабжения промышленного предприятия

Исходные данные:

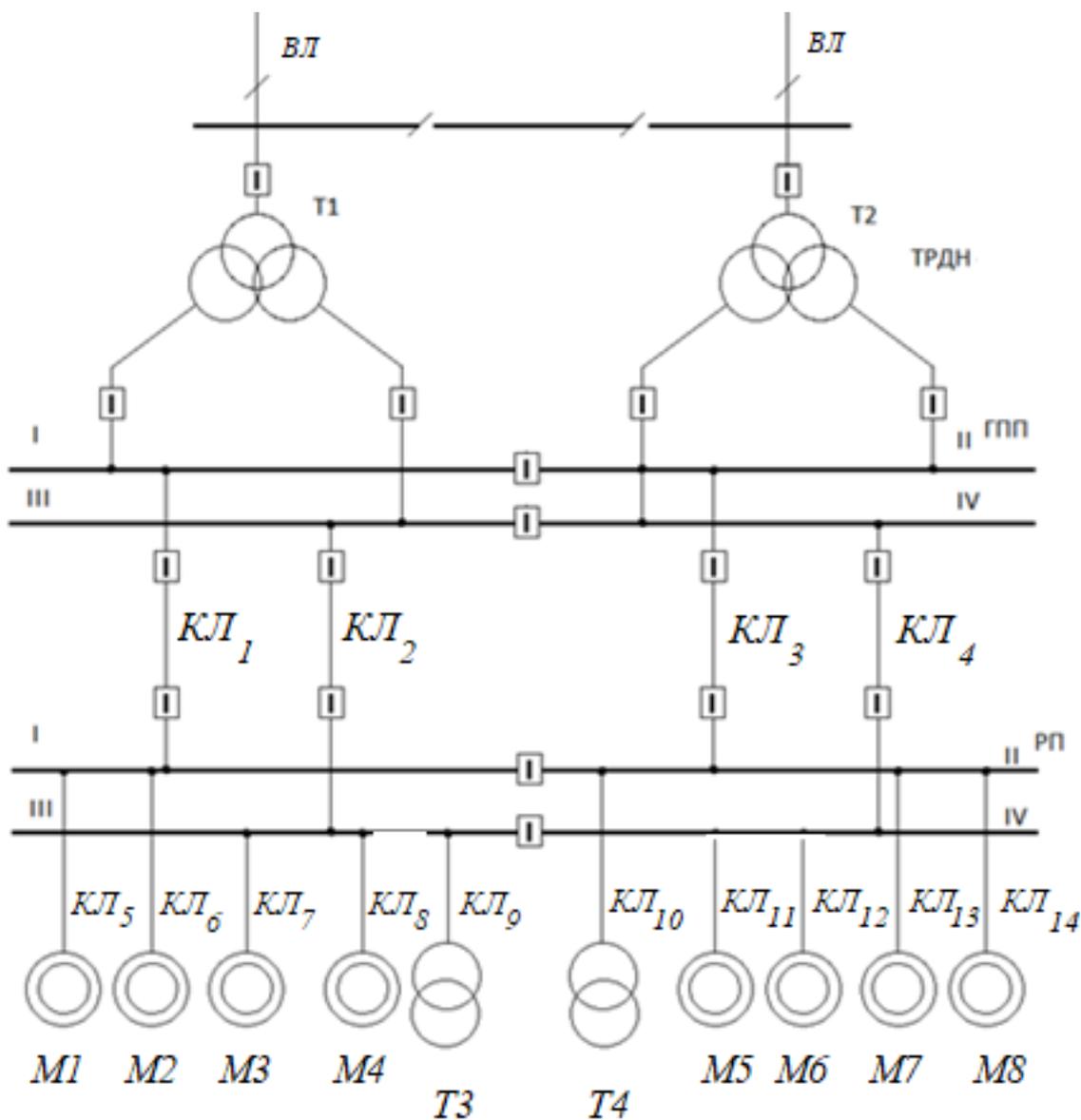


Рис. 1. Исходная схема нормального режима

Таблица 1

Мощность короткого замыкания системы в минимальном и максимальном режимах и номинальные данные трансформаторов

Вариант	$S_{K3max},$ МВ·А	$S_{K3min},$ МВ·А	$T_{1,2}$		$T_{3,4}$	
			$S_T,$ МВ·А	$U_{НВ}/U_{НН},$ кВ	$S_T,$ кВ·А	$U_{НВ}/U_{НН},$ кВ
13	2750	1650	25	110/10	630	10/0,4

Таблица 2

Данные линии электропередачи и кабельных линий

Вариант	ВЛ		КЛ 1-4		КЛ 5-8, 11-14		КЛ 9,10	
	$l,$ км	$x_0,$ Ом/км	$l,$ км	$x_0,$ Ом/км	$l,$ км	$x_0,$ Ом/км	$l,$ км	$x_0,$ Ом/км
13	14	0,44	0,45	0,087	0,03	0,164	0,04	0,153

* Линия, питающая РП, выполнена двумя параллельно проложенными кабелями

Таблица 3

Данные по электродвигателям М1-М8

Вариант	М1, М3, М5, М7				М2, М4, М6, М8			
	Тип двигателя	$P_H,$ кВт	$\cos\varphi_H$ о.е.	$n,$ шт.	Тип двигателя	$P_H,$ кВт	$\cos\varphi_H$ о.е.	$n,$ шт.
13	СД	1250	0,9	2	АД	1000	0,85	3

Реактивное сопротивление по продольной оси полюсов всех СД принять равным

$$x_d'' = 18 - 20 \%;$$

коэффициент пуска для всех АД принять равным

$$k_i = 4 \div 7$$

Расчет токов КЗ производят для утяжеленного режима ГПП, т.е. при выключенном одном из трансформаторов (послеаварийный режим), для того, чтобы учесть максимально возможную подпитку токов КЗ от электродвигателей.

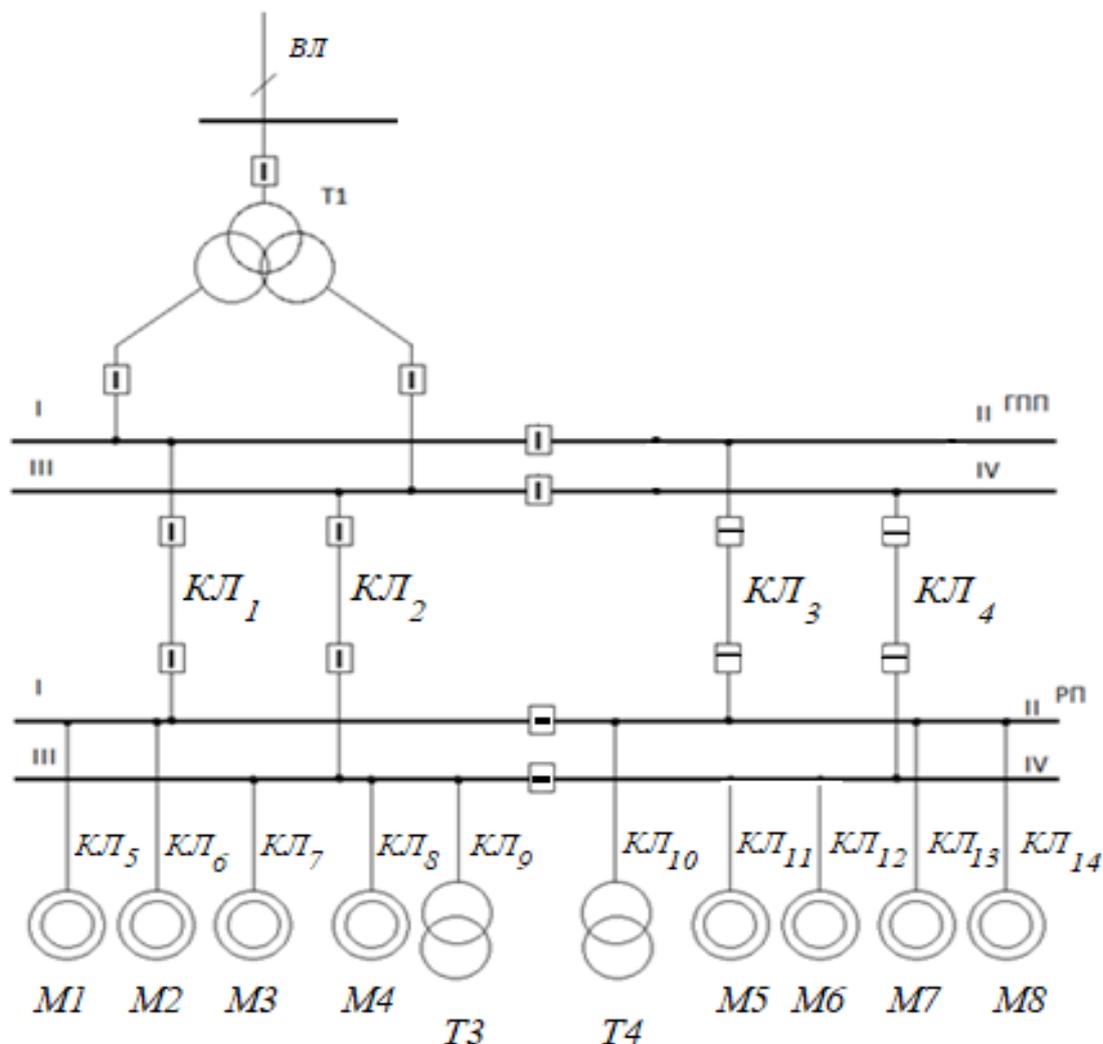


Рис. 2. Послеаварийный режим при отключении одного из трансформаторов ГПП и включении секционных выключателей на РП

При выборе расчетных точек КЗ необходимо учесть следующее обстоятельство: одновременно на двух секциях НН каждого из трансформаторов ГПП короткого замыкания произойти не может, поэтому расчетная схема значительно упрощается (см. рис. 3)

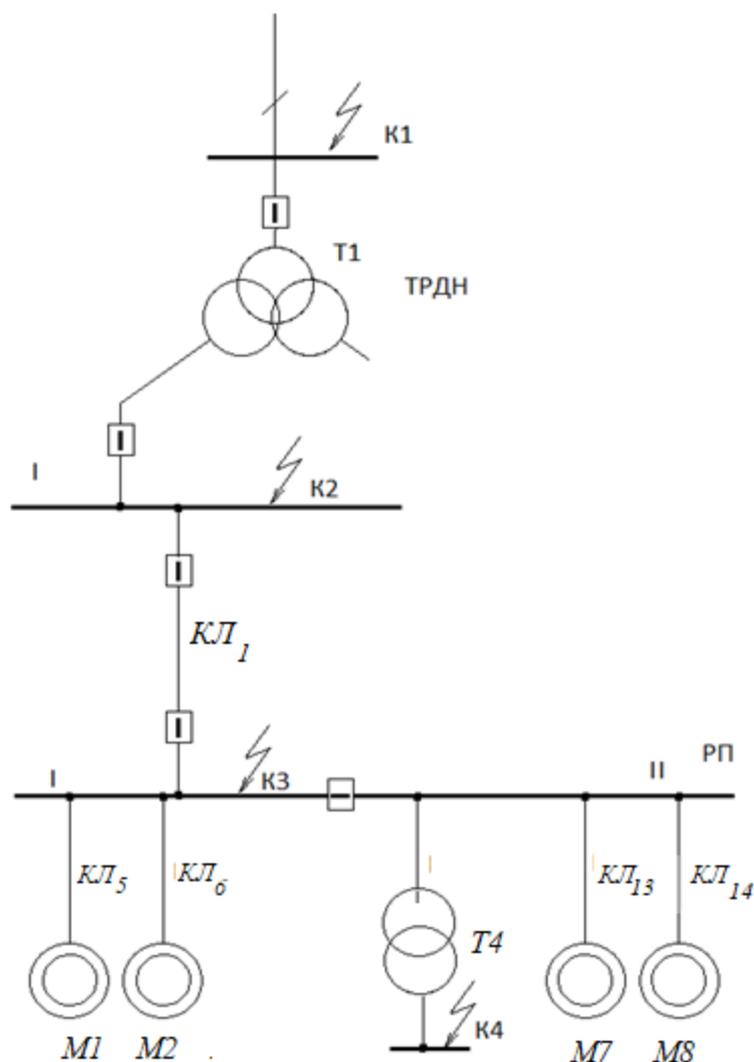


Рис. 3. Послеаварийный режим при отключении трансформатора ГПП и включении секционных выключателей на РП

В данной работе расчет токов $K3$ производится для четырех точек: $K1$ – на шинах 110 кВ трансформатора ГПП; $K2$ – на шинах 10 кВ одной из секций ГПП; $K3$ – на шинах секции РП; $K4$ – на шинах 0,4 кВ ТП (для отстройки РЗиА на стороне 10 кВ);

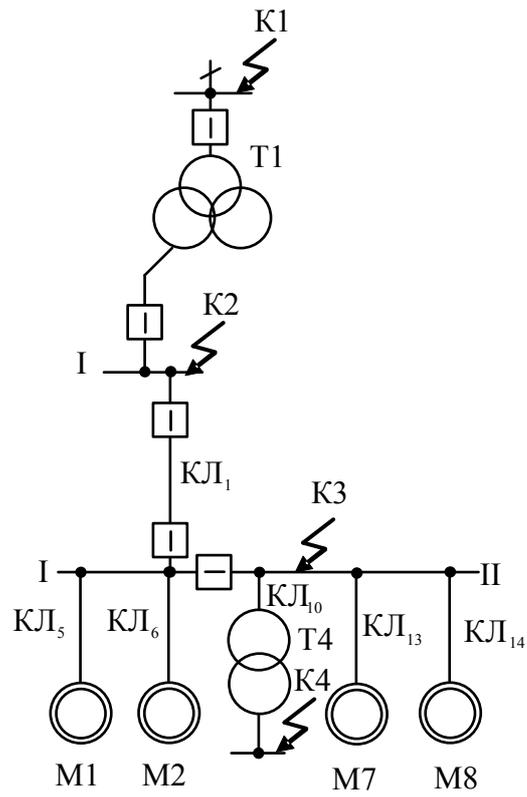


Рис. 4. Расчетная схема замещения электрической сети

Базисная мощность – $S_B=1000 \text{ МВ}\cdot\text{А}$.

Базисные напряжения:

– первой ступени ($U_{\text{НОМ}}=110 \text{ кВ}$):

$$U_{B1} = 1,05 \cdot U_H = 1,05 \cdot 110 = 115 \text{ кВ};$$

– второй ступени ($U_{\text{НОМ}}=10 \text{ кВ}$):

$$U_{B1} = 1,05 \cdot U_H = 1,05 \cdot 10 = 10,5 \text{ кВ}.$$

Базисный ток:

$$\text{– на стороне 115 кВ: } I_{B1} = \frac{S_{B1}}{\sqrt{3} \cdot U_{BH}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5,02 \text{ кА};$$

$$\text{– на стороне 10,5 кВ: } I_{B2} = \frac{S_{B1}}{\sqrt{3} \cdot U_{HH}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 54,987 \text{ кА}.$$

Определим величины сопротивлений схемы замещения

Для системы:

$$X_{C\text{max}} = \frac{S_B}{S_{K3\text{max}}} = \frac{1000}{2750} = 0,364;$$

$$X_{C\text{min}} = \frac{S_B}{S_{K3\text{min}}} = \frac{1000}{1650} = 0,606.$$

Для трансформатора с расщепленной обмоткой:

$$X_{ТВН} = \frac{u_{K3} \cdot S_B}{100 \cdot S_T} \cdot \left(1 - \frac{K_P}{4}\right) = \frac{10,5 \cdot 1000}{100 \cdot 25} \cdot \left(1 - \frac{3,5}{4}\right) = 0,525;$$

$$X_{ТНН1} = X_{ТНН2} = \frac{u_{K3} \cdot S_B}{100 \cdot S_T} \cdot \frac{K_P}{2} = \frac{10,5 \cdot 1000}{100 \cdot 25} \cdot \frac{3,5}{2} = 7,35.$$

где $K_P = 3,5$ – коэффициент расщепления трансформатора с расщепленными обмотками.

Для ВЛ:

$$X_{ВЛ} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_B}{U_{B1}^2} = 0,44 \cdot 14 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,466,$$

где $x_0 = 0,44 \text{ Ом/км}$ – удельное индуктивное сопротивление ВЛ;

$l = 14 \text{ км}$ – длина ВЛ.

Расчет ТКЗ в точке K_1

Для расчета ТКЗ в точке K_1 приводим схему замещения к более простому виду (рис. 6), когда ЭДС источника питания отделяется от места КЗ одним эквивалентным сопротивлением.

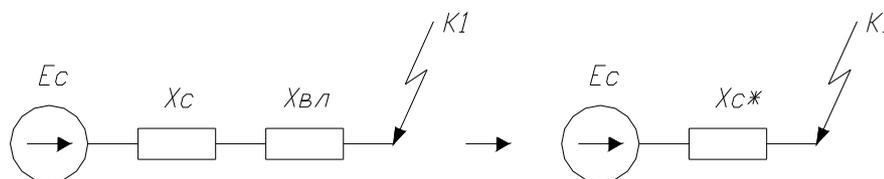


Рис. 6. Преобразование схемы замещения для расчета ТКЗ в точке K_1

Определим результирующее сопротивление до точки K_1 :

$$X_{C_{\max\Sigma}} = X_{C_{\max}} + X_{ВЛ} = 0,364 + 0,466 = 0,83;$$

$$X_{C_{\min\Sigma}} = X_{C_{\min}} + X_{ВЛ} = 0,606 + 0,466 = 1,072.$$

Начальное значение периодической составляющей ТКЗ определим по формуле:

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{E_C \cdot I_{Б1}}{X_{C\Sigma}}; \quad (10)$$

$$I_{K1\max}^{(3)} = \frac{1 \cdot 5,02}{0,83} = 6,048 \text{ кА};$$

$$I_{K1\min}^{(3)} = \frac{1 \cdot 5,02}{1,072} = 4,683 \text{ кА}.$$

Ударный ток КЗ в точке K_1 найдем, исходя из условия, что наибольшее значение тока наступает через полпериода (0,01 с) с момента возникновения КЗ, а постоянная времени $T_a=0,2$ с. При этом:

$$K_v = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,2}} = 1,95$$

Вычислим ударный ток по формуле:

$$i_{y(K1)} = \sqrt{2} \cdot K_v \cdot I_{K1}^{(3)},$$

$$i_{y(K1)\max} = \sqrt{2} \cdot 1,95 \cdot 6,048 = 16,676 \text{ кА};$$

$$i_{Y(K1)\min} = \sqrt{2} \cdot 1,95 \cdot 4,683 = 12,912 \text{ кА}.$$

Определим двухфазный ток КЗ:

$$I_{K1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{K1}^{(3)};$$

$$I_{K1\max}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 6,048 = 5,238 \text{ кА};$$

$$I_{K1\min}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 4,683 = 4,055 \text{ кА}.$$

Мощность КЗ:

$$S_K = \sqrt{3} \cdot U_\phi \cdot I_{K1}^{(3)}$$

$$S_{K(K1)\max} = \sqrt{3} \cdot 115 \cdot 6,048 = 1204,6 \text{ МВ} \cdot \text{А};$$

$$S_{K(K1)\min} = \sqrt{3} \cdot 115 \cdot 4,683 = 932,76 \text{ МВ} \cdot \text{А}.$$

Расчет токов короткого замыкания в точке К₂

При расчете токов КЗ в точке К₂ необходимо учитывать подпитку от высоковольтных электродвигателей, металлических связанных с местом КЗ, так как после момента возникновения КЗ роторы двигателей не затормаживаются мгновенно, а продолжают по инерции вращаться и подпитывают место КЗ благодаря запасенному магнитному полю машины.

Подпитку ударных токов КЗ принято учитывать от синхронных и асинхронных электродвигателей, а подпитку токов КЗ через время $t = 0,2$ с – только от синхронных

$$I_{K2}^{(3)} = I_{K2.C}^{(3)} + \sum I_{K2.под}$$

где $\sum I_{K2.под}$ – ток подпитки от всех двигателей; $I_{K2.C}^{(3)}$ – ток КЗ от системы.

Так как информация о существовании двигателей на стороне 0,4 кВ отсутствует, то, предполагаем, что их там нет (даже, если бы в схеме были эл.двигатели 0,4 кВ при расчете токов КЗ в точке К₂ их подпитку бы не учитывали, так как на пути тока подпитки была бы ступень трансформации 6/0,4 кВ). Поэтому из схемы замещения для улучшения визуализации рассматриваемых процессов, ветвь с трансформатором 6/0,4 кВ уберем

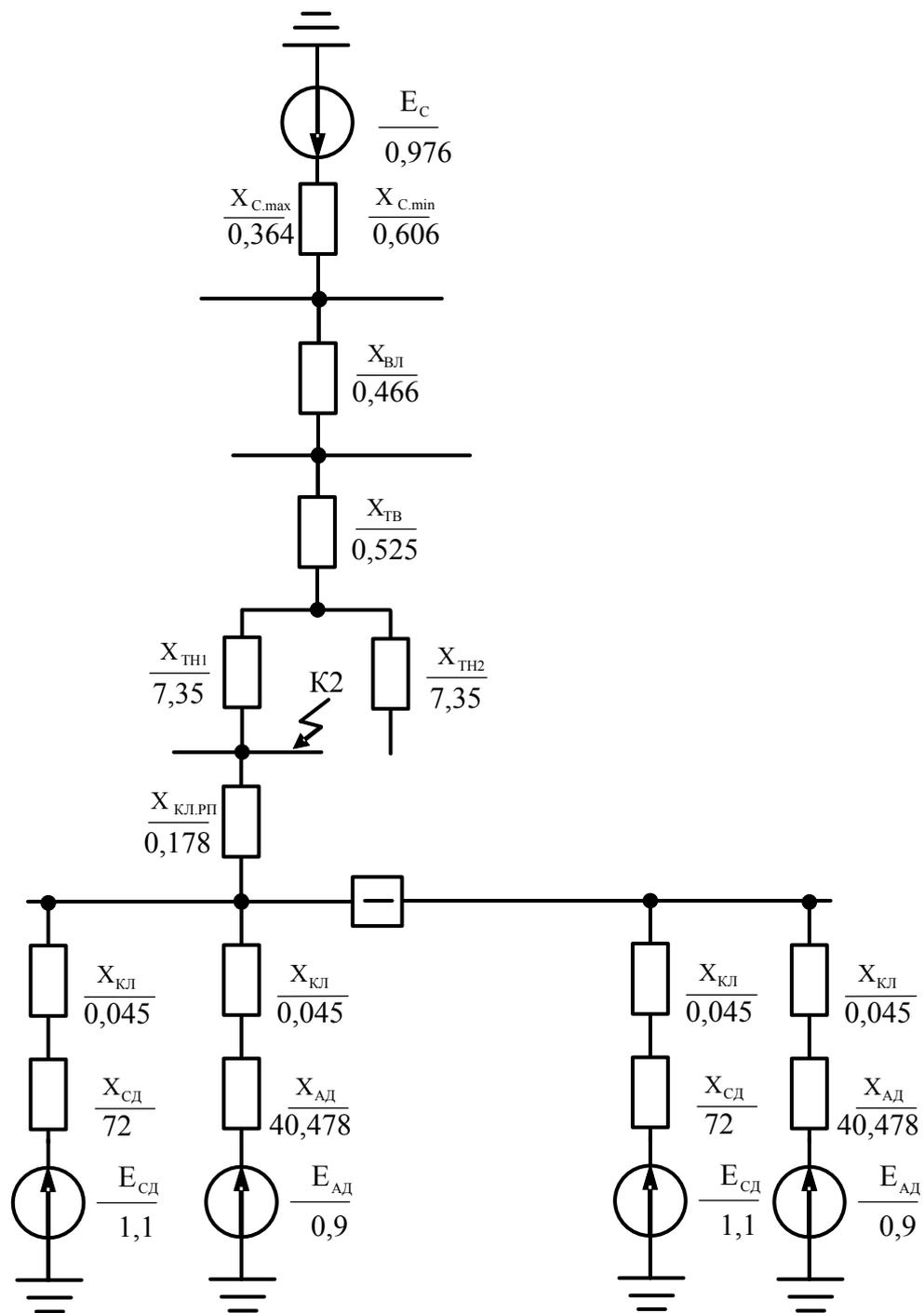


Рис. 7. Схема замещения для расчета точки КЗ К2

Ток КЗ со стороны системы определяется по закону Ома

$$I_{K2.C}^{(3)} = \frac{E_C}{X_{C\Sigma}} \cdot I_{B2},$$

где $X_{C\Sigma}$ – расчетное сопротивление до точки КЗ со стороны системы:

$$X_{C\Sigma} = X_C + X_{ВЛ} + X_{ТВ} + X_{ТН};$$

$$X_{C\Sigma_{\max}} = 0,364 + 0,466 + 0,525 + 7,35 = 8,705;$$

$$X_{C\Sigma_{\min}} = 0,606 + 0,466 + 0,525 + 7,35 = 8,947.$$

Ток короткого замыкания от системы (периодическая составляющая тока трехфазного КЗ):

$$I_{K2.C\max}^{(3)} = \frac{1}{8,705} \cdot 54,987 = 6,317 \text{ кА};$$

$$I_{K2.C\min}^{(3)} = \frac{1}{8,947} \cdot 54,987 = 6,146 \text{ кА}.$$

Из схемы видно, что ветви, содержащие электродвигатели, включены параллельно друг другу, так как питаются все от объединенных шин 6 кВ РП. Параллельными их можно считать потому, что одной общей точкой схем замещения всех двигателей является точка нулевого потенциала всех нейтралей звезд трехфазных обмоток статора, а вторыми общими точками – фазные шины.

Но, перед тем, как определить эквивалентное сопротивление всех ветвей с двигателями, необходимо привести схемы замещения ветвей к упрощенному виду, как показано на рисунке ниже (рис. 8)

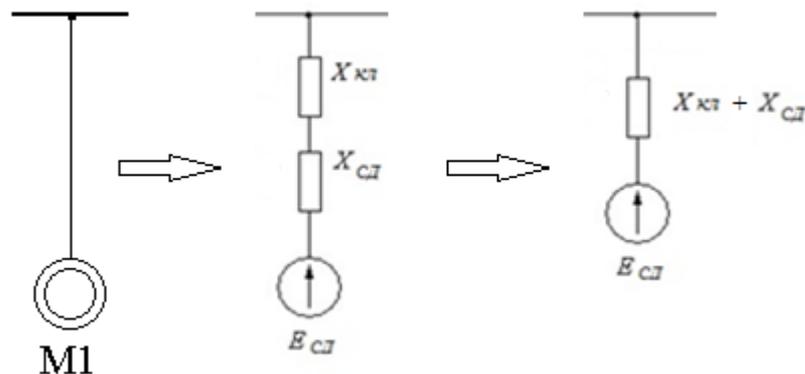


Рис.8. Преобразование ветви с ЭД к упрощенному виду

Сопротивления двигателей X_{CD} и кабельных линий X_{KL} в относительных единицах определяются по следующим формулам:

$$X_{KL} = x_{0i} \cdot l_{KL} \cdot \frac{S_B}{U_{B2}^2}$$

$$X_{CD} = \frac{x_d''}{100} \cdot \frac{S_B}{S_{НОМ}} = \frac{x_d''}{100} \cdot \frac{S_B \cdot \cos \phi}{n \cdot P_{НОМ}}$$

где x_{0i} – индуктивное сопротивление i -ой линии;

$l_{кЛi}$ – длина i -ой кабельной линии; $x_d'' = 20\%$ – сверхпереходное индуктивное сопротивление по продольной оси СД;

$P_{ном}$ – номинальная мощность синхронного двигателя;

n – число параллельных двигателей;

$\cos \phi$ – коэффициент мощности синхронного двигателя;

$S_{НОМ} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3}U_{ном} \cos \phi \eta}$ – номинальная мощность синхронного двигателя, МВА.

Сопротивление асинхронного двигателя

$$X_{АД} = \frac{1}{k_i} \cdot \frac{S_B \cdot \cos \phi}{n \cdot P_{ном}}$$

где $k_i = 4 \div 7$ – коэффициент пуска.

Пример расчета генерирующей ветви для синхронного двигателя М1:

$$X_{СД.М1} = \frac{x_d''}{100} \cdot \frac{S_B \cdot \cos \phi}{n \cdot P_{ном}} = \frac{20}{100} \cdot \frac{10^6 \cdot 0,9}{2 \cdot 1250} = 72$$

$$X_{кЛ5} = x_0 \cdot l_{кЛ3} \cdot \frac{S_B}{U_{Б2}^2} = 0,164 \cdot 0,030 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 0,045$$

$$X_{рез1} = X_{СД.М1} + X_{кЛ5} = 72 + 0,045 = 72,045$$

Пример расчета генерирующей ветви для асинхронного двигателя М2:

$$X_{АД.М2} = \frac{1}{7} \cdot \frac{1000 \cdot 0,85}{3 \cdot 1} = 40,478$$

$$X_{кЛ6} = x_0 \cdot l_{кЛ3} \cdot \frac{S_B}{U_{Б2}^2} = 0,164 \cdot 0,030 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 0,045$$

$$X_{рез3} = X_{АДМ2} + X_{кЛ6} = 40,478 + 0,045 = 40,523$$

Аналогично рассчитаем сопротивления остальных эквивалентных ветвей, содержащих электродвигатели, результаты сведем в табл. 4.

Таблица 4.

Расчет эквивалентных сопротивлений ветвей схемы, содержащих двигатели двух секций РП

Элемент сети	$P_{\text{ов}}, \text{кВт}$	$\cos \phi$	$l_i, \text{км}$	$x_0, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$X_{\text{ов}}$	$X_{\text{КЛ}i}$	$X_{\text{Рез}i}$
СД1	2x1250	0,9	0,030	0,164	72	0,045	72,045
АД2	3x1000	0,85	0,030	0,164	40,478	0,045	40,523
СД7	2x1250	0,9	0,030	0,164	72	0,045	72,045
АД8	3x1000	0,9	0,030	0,164	40,478	0,045	40,523

Так как все электродвигатели РП соединены параллельно друг другу, эквивалентное сопротивление всех четырех ветвей определяется как

$$X_{\text{ЭквЭД}} = \frac{1}{\frac{1}{X_{\text{РЕ31}}} + \frac{1}{X_{\text{РЕ32}}} + \frac{1}{X_{\text{РЕ33}}} + \frac{1}{X_{\text{РЕ34}}}} = \frac{1}{\frac{1}{72,045} + \frac{1}{40,523} + \frac{1}{72,045} + \frac{1}{40,523}} = 12,967,$$

где $X_{\text{Рез}i}$ – результирующее сопротивление одной из ветвей.

Сопротивление кабельной линии, питающей РП

$$X_{\text{КЛРП}} = \frac{x_0 \cdot l_{\text{РП}}}{n} \cdot \frac{S_{\text{б}}}{U_{\text{ср}}^2}$$

$$X_{\text{КЛРП}} = \frac{0,087 \cdot 0,45}{2} \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 0,178,$$

где $x_0 = 0,087$ – индуктивное удельное сопротивление линии, питающей РП, $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$;

$l_{\text{РП}} = 0,45$ – длина линии до ГПП, км;

n – количество параллельно проложенных кабелей, питающих РП

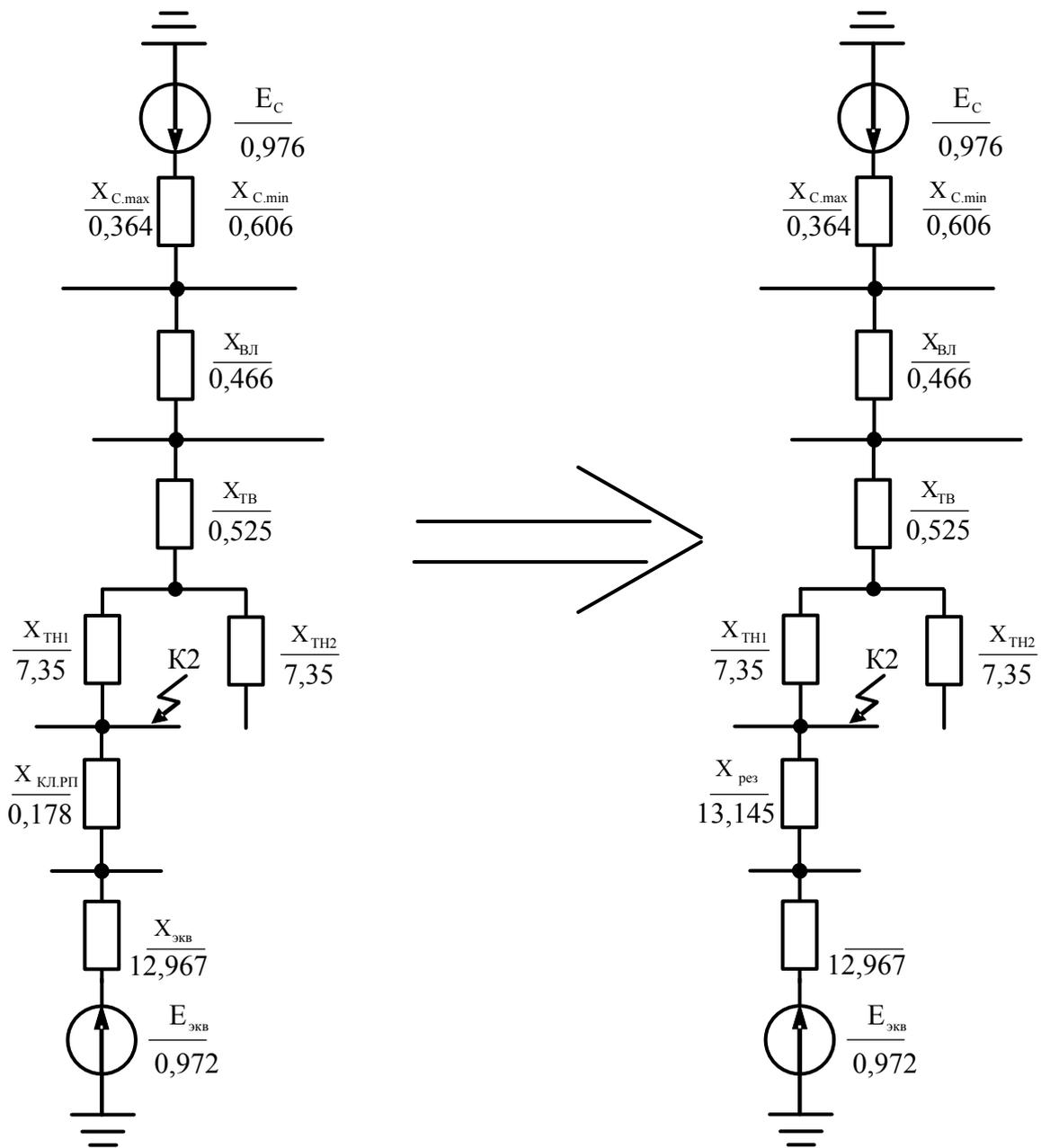


Рис.9. Преобразование схемы замещения относительно точки КЗ К2

Резльтирующее сопротивление кабельной линии, питающей РП и электродвигателей

$$X_{рез} = X_{КЛ РП} + X_{экв} = 0,178 + 12,967 = 13,145$$

Принимаем $E_{СД} = E_{СД экв} = 1,1$, $E_{АД} = E_{АД экв} = 0,9$ – ЭДС эквивалентного синхронного и асинхронного двигателя, равную э.д.с. отдельного СД и АД и эквивалентную ЭДС

$$E_{\text{ЭКВ.ЭД}} = X_{\text{ЭквЭД}} \left(\frac{E_{\text{СД1}}}{X_{\text{Рез.1}}} + \frac{E_{\text{АД2}}}{X_{\text{Рез.2}}} + \frac{E_{\text{СД7}}}{X_{\text{Рез.2}}} + \frac{E_{\text{АД8}}}{X_{\text{Рез.2}}} \right) = 12,967 \left(\frac{1,1}{72,045} + \frac{0,9}{40,523} + \frac{1,1}{72,045} + \frac{0,9}{40,523} \right) = 0,972$$

Определим ток подпитки от всех двигателей РП

$$\sum I_{\text{К2.ПОД}} = \frac{E_{\text{ДВ}} \cdot I_{\text{Б2}}}{X_{\text{Рез}}} = \frac{0,972 \cdot 54,987}{13,145} = 4,066 \text{ кА}.$$

Таким образом, периодическая составляющая тока КЗ в точке К2 с учетом токов подпитки места КЗ от системы и двигателей составит:

$$I_{\text{К2max}}^{(3)} = 6,317 + 4,066 = 10,383 \text{ кА};$$

$$I_{\text{К2min}}^{(3)} = 6,146 + 4,066 = 10,212 \text{ кА};$$

Величина ударного тока:

$$i_{\text{Y(K2)max}} = \sqrt{2} \cdot (1,95 \cdot 6,317 + 1,75 \cdot 4,066) = 27,48 \text{ кА};$$

$$i_{\text{Y(K2)min}} = \sqrt{2} \cdot (1,95 \cdot 6,146 + 1,75 \cdot 4,066) = 27,01 \text{ кА}.$$

где $K_{\text{Y1}} = 1,95$; $K_{\text{Y2}} = 1,75$ - ударные коэффициенты из таблицы 3.2 [12];

Двухфазный ток КЗ:

$$I_{\text{К2max}}^{(2)} = (\sqrt{3}/2) \cdot 10,383 = 8,992 \text{ кА};$$

$$I_{\text{К2min}}^{(2)} = (\sqrt{3}/2) \cdot 10,212 = 8,843 \text{ кА}.$$

Мощность КЗ:

$$S_{\text{K(K2)max}} = \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 10,383 = 188,83 \text{ МВ} \cdot \text{А};$$

$$S_{\text{K(K2)min}} = \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 10,212 = 185,72 \text{ МВ} \cdot \text{А}.$$

При выборе коммутационной аппаратуры необходимо знать токи трехфазного КЗ для моментов времени, при которых происходит расхождение контактов выключателей. Указанное время определяется временем срабатывания защиты и временем работы приводного механизма выключателя.

Например, если расчетное время от начала КЗ до начала расхождения контактов выключателя в результате срабатывания средств релейной защиты составляет $t_1 = 0,2c$, то, допустив условие, что питание нагрузки предприятия осуществляется от источника неограниченной мощности (т.е. периодическая составляющая тока КЗ от системы остается неизменной в течение всего процесса КЗ), можно предположить, что через указанные 0,2 с в цепи КЗ протекает уже установившийся режим (переходный процесс завершился за меньшее, чем 0,2 с время). Тогда

$$I_{K2C}^{(3)}(0,2) = I_{K2C}^{(3)}(\infty) = I_{K2C}^{(3)} = 6,317 \text{ [11]}.$$

Расчет токов короткого замыкания в точке К₃

Ток короткого замыкания в точке К₃ определяется аналогично, с учетом подпитки от электродвигателей

$$I_{K3}^{(3)} = I_{K3.C}^{(3)} + \sum I_{K3.ПОД}$$

где $\sum I_{K3.ПОД}$ – ток подпитки от всех двигателей; $I_{K3.C}^{(3)}$ – ток от системы, определяемый как

$$I_{K3.C}^{(3)} = \frac{E_C}{X_{C\Sigma}} \cdot I_{B2}$$

где $X_{C\Sigma}$ – расчетное суммарное сопротивление со стороны системы:

$$X_{C\Sigma} = X_C + X_{ВЛ} + X_{ТВ} + X_{ТН} + X_{квРП};$$

$$X_{C\Sigma\max} = 0,364 + 0,466 + 0,525 + 7,35 + 0,178 = 8,883;$$

$$X_{C\Sigma\min} = 0,606 + 0,466 + 0,525 + 7,35 + 0,178 = 9,125.$$

Ток короткого замыкания от системы (периодическая составляющая тока трехфазного КЗ):

$$I_{K3.C\max}^{(3)} = \frac{1}{8,883} \cdot 54,987 = 6,19 \text{ кА};$$

$$I_{K3.C\min}^{(3)} = \frac{1}{9,125} \cdot 54,987 = 6,026 \text{ кА}.$$

Ток подпитки от двигателей:

$$I_{K3.ПОД} = \frac{E_{ДВ} \cdot I_{B2}}{X_{\Sigma}}$$

где $X_{\Sigma} = 12,967$ – результирующее сопротивление всех электродвигателей двух секций РП, определено ранее.

Ток подпитки от всех двигателей составит:

$$\sum I_{K3.ПОД} = \frac{E_{ДВ} \cdot I_{B2}}{X_{Рез}} = \frac{0,972 \cdot 54,987}{12,967} = 4,122 \text{ кА}.$$

Таким образом, начальная периодическая составляющая тока КЗ в точке КЗ с учетом токов подпитки места КЗ от системы и двигателей составит:

$$I_{K3\max}^{(3)} = 6,19 + 4,122 = 10,312 \text{ кА};$$

$$I_{K2\min}^{(3)} = 6,026 + 4,122 = 10,148 \text{ кА}.$$

Величина ударного тока:

$$i_{Y(K3)\max} = \sqrt{2} \cdot (1,95 \cdot 6,19 + 1,75 \cdot 4,122) = 27,27 \text{ кА};$$

$$i_{Y(K3)\min} = \sqrt{2} \cdot (1,95 \cdot 6,026 + 1,75 \cdot 4,122) = 26,82 \text{ кА};$$

Здесь $K_{y1} = 1,95$
 $K_{y2} = 1,75$ - ударные коэффициенты из таблицы 3.2 [12];

Определим двухфазный ток КЗ:

$$I_{K3\max}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 10,312 = 8,93 \text{ кА};$$

$$I_{K3\min}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 10,148 = 8,79 \text{ кА}.$$

Мощность КЗ:

$$S_{K(K3)\max} = \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 10,312 = 187,53 \text{ МВ} \cdot \text{А};$$

$$S_{K(K3)\min} = \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 10,148 = 184,55 \text{ МВ} \cdot \text{А}.$$

Для момента времени $t = 0,2 \text{ с}$ ТКЗ:

$$I_{K3\max}^{(3)}(0,2) = I_{K3C\max}^{(3)} + I_{K3II}^{(3)}(0,2) = 6,19 + 1,202 = 7,392 \text{ кА}$$

$$I_{K3\min}^{(3)}(0,2) = I_{K3C\min}^{(3)} + I_{K3II}^{(3)}(0,2) = 6,026 + 1,202 = 7,228 \text{ кА}$$

Для времени $t = \infty$ ТКЗ (периодическая составляющая тока КЗ от электродвигателей при данном времени равна 0):

$$I_{K3\max}^{(3)}(\infty) = I_{K3C\max}^{(3)} + I_{K3II}^{(3)}(\infty) = 6,19 + 0 = 6,19 \text{ кА}$$

$$I_{K3\min}^{(3)}(\infty) = I_{K3C\min}^{(3)} + I_{K3II}^{(3)}(\infty) = 6,026 + 0 = 6,026 \text{ кА}.$$

Расчет токов короткого замыкания в точке К₄

Расчет токов КЗ на шинах НН цеховой трансформаторной подстанции производим для определения уставок срабатывания средств релейной защиты, устанавливаемых на стороне ВН трансформаторов. Поэтому ток КЗ в этой точке рассчитываем приведенным к ступени высшего напряжения.

Составим схему замещения (рис. 10):

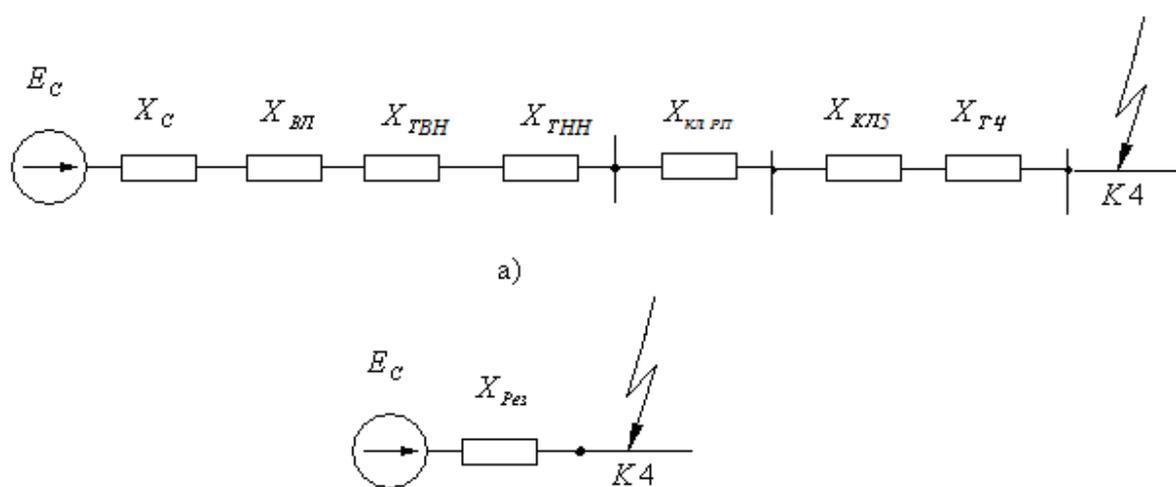


Рис. 10. Схема замещения для точки К₄

В табл. 5. представлена характеристика ЦТП ТСЗ-630/10

Таблица 5

Тип	$S_{ном},$ кВА	$U_{ном},$ кВ		Потери, кВт		$U_{КЗ},\%$	$I_{ХХ},\%$
		ВН	НН	$\Delta P_{КЗ}$	$\Delta P_{КЗ}$		
ТСЗ-630/10	630	6	0,4	2	7,3	5,5	1,5

Сопротивление цехового трансформатора определяется по формуле

$$X_{ТЦ}^* = \frac{U_K}{100} \cdot \frac{S_B}{S_{ном}} = \frac{5,5}{100} \cdot \frac{1000}{0,63} = 87,3$$

Сопротивление кабельной линии, питающей цеховой трансформатор:

$$X_{\text{кл.лп}} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_B}{U_{B2}^2} = 0,153 \cdot 0,04 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 0,056.$$

Результирующие сопротивления до точек КЗ:

– до точки К₁ (расположенной на шинах 115 кВ трансформатора ГПП)

$$X_{C_{\max\Sigma}} = X_{C_{\max}} + X_{\text{БЛ}} = 0,364 + 0,466 = 0,83;$$

$$X_{C_{\min\Sigma}} = X_{C_{\min}} + X_{\text{БЛ}} = 0,606 + 0,466 = 1,072.$$

– до точки К₂ (расположенной на шинах 6 кВ трансформатора ГПП)

$$X_{C\Sigma} = X_C + X_{\text{БЛ}} + X_{\text{ТВ}} + X_{\text{ТН}};$$

$$X_{C\Sigma_{\max}} = 0,364 + 0,466 + 0,525 + 7,35 = 8,705;$$

$$X_{C\Sigma_{\min}} = 0,606 + 0,466 + 0,525 + 7,35 = 8,947.$$

– до точки К₃ (расположенной на шинах 6 кВ РП)

$$X_{C\Sigma} = X_C + X_{\text{БЛ}} + X_{\text{ТВ}} + X_{\text{ТН}} + X_{\text{кл.РП}};$$

$$X_{C\Sigma_{\max}} = 0,364 + 0,466 + 0,525 + 7,35 + 0,178 = 8,883;$$

$$X_{C\Sigma_{\min}} = 0,606 + 0,466 + 0,525 + 7,35 + 0,178 = 9,125.$$

Тогда результирующее сопротивление до точки К₄ будет равно:

$$X_{\text{Резmax}} = X_{C_{\max}} + X_{\text{БЛ}}^* + X_{\text{ТВ}} + X_{\text{ТН}} + X_{\text{кл.РП}} + X_{\text{кл.лп}} + X_{\text{ТЦ}}^* =$$

$$= 0,364 + 0,466 + 0,525 + 7,35 + 0,178 + 0,056 + 87,3 = 96,239$$

$$X_{\text{Резmin}} = X_{C_{\min}} + X_{\text{БЛ}}^* + X_{\text{ТВ}}^* + X_{\text{ТН}}^* + X_{\text{кл.РП}} + X_{\text{кл.лп}} + X_{\text{ТЦ}}^* =$$

$$= 0,606 + 0,466 + 0,525 + 7,35 + 0,178 + 0,056 + 87,3 = 96,481$$

Периодическая составляющая трехфазного тока КЗ в максимальном и минимальном режимах работы системы в точке К₄:

$$I_{K4\max}^{(3)} = \frac{E_C}{X_{P\text{езmax}}} \cdot I_{B2} = \frac{1}{96,239} \cdot 54,987 = 0,571 \text{ кА}$$

$$I_{K4\min}^{(3)} = \frac{E_C}{X_{P\text{езmin}}} \cdot I_{B2} = \frac{1}{96,481} \cdot 54,987 = 0,57 \text{ кА}$$

Ударный ток в точке K_4 найдем, исходя из условия, что $k_y = 1,4$ по таблице 8 [11]

$$i_{yK4\max} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K4\max}^{(3)} = 1,4 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,571 = 1,13 \text{ кА}$$

$$i_{yK4\min} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K4\min}^{(3)} = 1,4 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,57 = 1,128 \text{ кА}$$

Действующее значение ударного тока в точке K_4 :

$$I_{yK4\max} = I_{K4\max}^{(3)} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_y - 1)^2} = 0,571 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,4 - 1)^2} = 0,656 \text{ кА}$$

$$I_{yK4\min} = I_{K4\min}^{(3)} \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_y - 1)^2} = 0,57 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,4 - 1)^2} = 0,655 \text{ кА}$$

Величина двухфазного тока K_3 в точке K_4 :

$$I_{K4\max}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{K4\max}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 0,571 = 0,494 \text{ кА}$$

$$I_{K4\min}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{K4\min}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 0,57 = 0,494 \text{ кА}$$

Величина тока K_3 в момент времени $t = 0,2c$ остается равной току периодической составляющей в соответствующих режимах системы, с учетом того, что от системы ток остается неизменным, а от синхронных двигателей подпитка не учитывается.

$$I_{K4\max}^{(3)}(0,2) = I_{K4\max}^{(3)}(\infty) = I_{K4\max}^{(3)} = 0,571 \text{ кА}$$

$$I_{K4\min}^{(3)}(0,2) = I_{K4\min}^{(3)}(\infty) = I_{K4\min}^{(3)} = 0,57 \text{ кА}$$

Мощность короткого замыкания в точке K_4 :

$$S_{K4\max} = \sqrt{3} \cdot U_{B2} \cdot I_{K4\max}^{(3)} = \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 0,571 = 10,38 \text{ МВА}$$

$$S_{K4\min} = \sqrt{3} \cdot U_{B2} \cdot I_{K4\min}^{(3)} = \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 0,57 = 10,37 \text{ МВА}$$

Результаты расчетов токов КЗ и мощностей КЗ в различных точках схемы замещения представлены в табл. 6.

Таблица 6

Режим	Точка КЗ	$I^{(3)}, \text{кА}$	$I^{(2)}, \text{кА}$	$i_y, \text{кА}$	$S_K, \text{МВА}$
max	K_1	6,048	5,238	16,676	1204,6
min		4,683	4,055	12,912	932,76
max	K_2	10,383	8,992	27,48	188,83
min		10,212	8,843	27,01	185,72
max	K_3	10,312	8,93	27,27	187,53
min		10,148	8,79	26,82	184,55
max	K_4	0,571	0,494	1,13	10,38
min		0,57	0,494	1,128	10,38