

9.2 Расчет токов короткого замыкания в сетях до 1000В

Расчет токов КЗ до 1000 В выполняется в именованных единицах. Сопротивления всех элементов СЭ переводятся в именованные единицы – мОм и приводятся к ступени 1 кВ. Расчетные формулы для определения токов прежние.

Рассмотрим решение на примере расчетной схемы.

Цеховая трансформаторная подстанция двумя кабелями получает питание с шин 10 кВ распределительной подстанции РП-1. Точка К-1 показывает КЗ на напряжении 10 кВ. Точка К-2 на шинах распределительного устройства низкого напряжения 0,4 кВ.

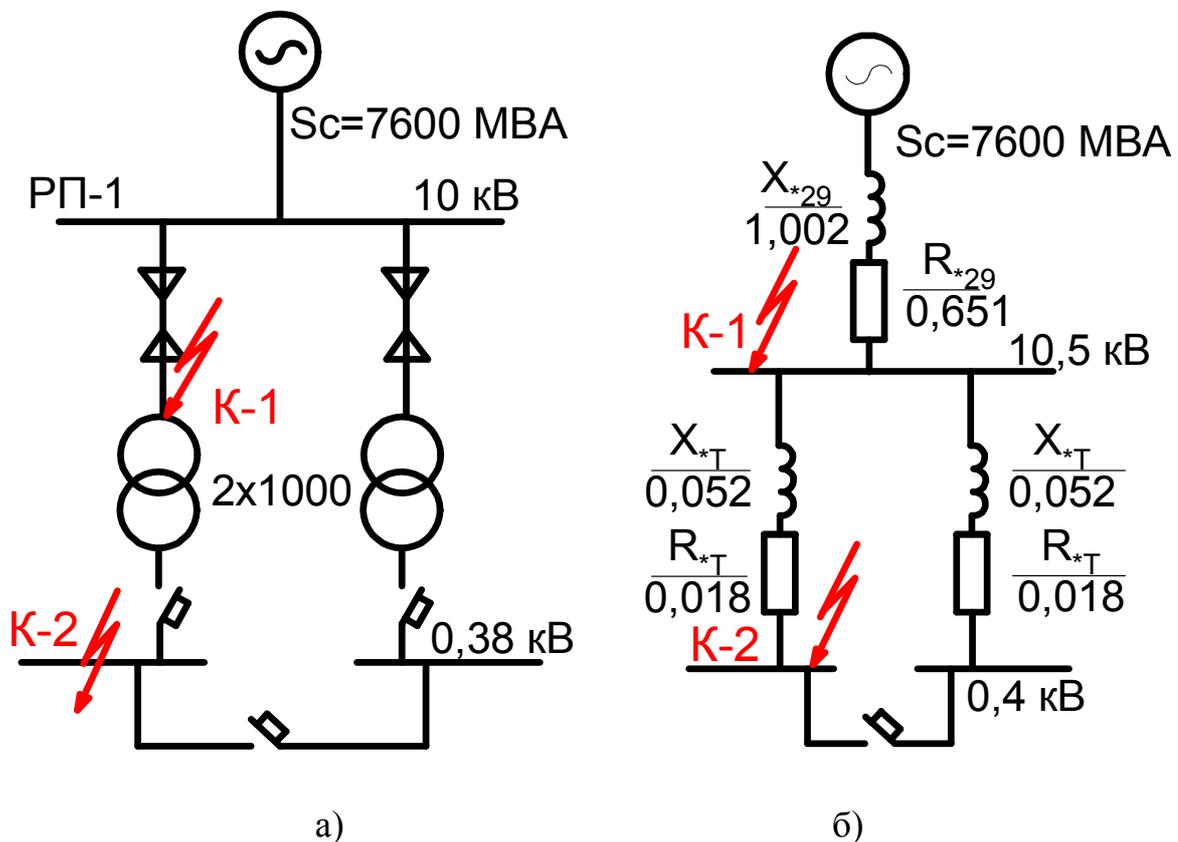


Рисунок 9.1 - Схемы к расчету КЗ на 0,4 кВ в относительных единицах
а) расчетная, б) замещения

Известные сопротивления предыдущей ступени X_{29} , R_{30} переводятся в именованные единицы и приводятся к ступени КЗ – 0,4 кВ.

Индуктивное сопротивление из относительных единиц переводится в именованное

$$X_{PE3} = X_{*29} \cdot \frac{U_{CT.K}^2}{S_B} = 1,002 \frac{400^2}{100000} = 1,6 \text{ мОм}$$

где $U_{CT.K}=400\text{В}$ – напряжение ступени КЗ,

$S_B=100 \text{ МВА}=100 \ 000 \text{ кВА}$, базисная мощность.

Активное сопротивление, переведенное в именованные единицы

$$R_{PE3} = R_{*29} \cdot \frac{U_{CT.K}^2}{S_B} = 0,651 \frac{400^2}{100000} = 1,041 \text{ мОм}$$

Сопротивления трансформатора 10/0,4кВ в начале определяются в относительных единицах

$$R_{*T} = \frac{P_K}{S_{HT}} = \frac{18}{1000} = 0,018$$

$$X_{*T} = \sqrt{u_K^2 - R_{*T}^2} = \sqrt{0,055^2 - 0,018^2} = 0,052$$

где P_K – мощность короткого замыкания трансформатора, кВт,

u_K – напряжение короткого замыкания, в %,

S_{HT} – номинальная мощность трансформатора, кВА.

Полученные сопротивления трансформатора 1000 кВА переводятся именованные единицы

$$X_T = \frac{X_{*T} \cdot U_{CT.K}^2}{S_{НОМ}} = \frac{0,052 \cdot 400^2}{1000} = 8,32 \text{ мОм}$$

$$R_T = \frac{R_{*T} \cdot U_{CT.K}^2}{S_{HT}} = \frac{0,018 \cdot 400^2}{1000} = 2,88 \text{ мОм}$$

Результирующие сопротивления до точки КЗ на шинах 0,4 кВ

$$R = R_{29} + R_T + R_K = 1,041 + 2,88 + 15 = 18,921 \text{ мОм},$$

где $R_K=15 \text{ мОм}$ - суммарное сопротивление контактных соединений,

$$X = X_{29} + X_T = 1,6 + 8,32 = 9,92 \text{ мОм}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{9,92^2 + 18,921^2} = 21,364 \text{ мОм}$$

Периодическая составляющая тока КЗ на шинах 0,4 кВ

$$I'' = I_{\text{ПО}} = \frac{U_{\text{СТ.К}}}{\sqrt{3} \cdot Z} = \frac{400}{1,73 \cdot 21,364} = 10,823 \text{ кА}.$$

Ударный ток рассчитывается по (9.1) $i_Y = k_Y \sqrt{2} I_{\text{ПО}}$

$$i_Y = 1,25 \sqrt{2} \cdot 10,823 = 19,04 \text{ кА}$$

где K_Y – ударный коэффициент для цепи с последовательно включенными элементами рассчитывается по (9.12)

$$K_{\text{уд}} = 1,02 + 0,98 e^{-\frac{3}{x_{\text{эк}}/R_{\text{эк}}}} \quad (9.12)$$

$$K_{\text{уд}} = 1,02 + 0,98 e^{-\frac{3}{18,921/9,2}} = 1,25$$

Действующее значение ударного тока КЗ

$$I_Y = I_{\text{ПО}} \sqrt{1 + 2(k_Y - 1)^2} \quad (9.13)$$

$$I_Y = 10,823 \sqrt{1 + 2(1,25 - 1)^2} = 11,48 \text{ кА}$$

Если непосредственно к шинам присоединены мощные электродвигатели в расчете тока КЗ учитывается подпитка от этих двигателей.

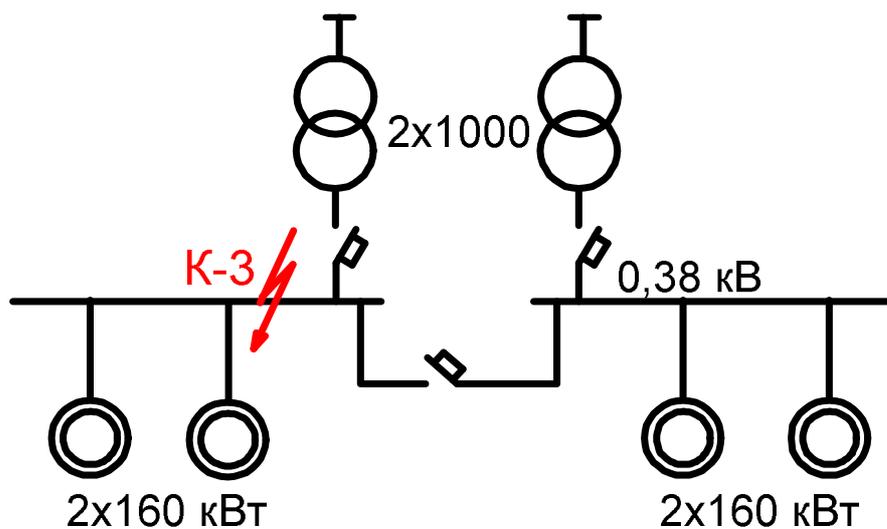


Рисунок 9.2 – Учет подпитки двигателей 0,4 кВ

При этом токи учитываются только при определении ударного тока.

$$i_y = K_{ПВС} \sqrt{2} I_{H\Sigma} \quad (9.14)$$

где $I_{H\Sigma}$ - суммарный номинальный ток двигателей, присоединенных к месту КЗ,

$K_{ПВС}$ - кратность пускового тока двигателей.

10 ПРОВЕРКА ПРОВОДНИКОВ И АППАРАТОВ НА ДЕЙСТВИЕ ТОКА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

10.1 Электродинамическая стойкость шин

По электродинамическому действию проверяются шины и электрические аппараты.

Шины, выбранные по расчетной нагрузке проверяются на электродинамическое действие. Под действием ударного тока возникают электродинамические (ЭД) усилия, создают изгибающий момент и механическое напряжение в металле. Электродинамическое действие это сила взаимодействия между проводниками, наибольшего значения достигает при трехфазном КЗ.

Электродинамическая устойчивость означает устойчивость при электродинамическом воздействии.

Проверка на электродинамическое действие тока КЗ жестких шин.

Шина рассматривается как равномерно нагруженная многопролетная балка. Наибольшее усилие действует на среднюю шину при расположении шин в одной плоскости (10.1), Н

Наибольшее значение электродинамической силы имеет место при ударном токе КЗ. Максимальную силу в ньютонах (эквивалентную равномерно распределенной по длине пролета нагрузки), действующую в трехфазной системе проводников на расчетную фазу при трехфазном КЗ, следует определять по формуле

$$F_{\max}^{(3)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-7}}{a} \cdot l \cdot (i_{\text{уд}}^{(3)})^2 K_{\Phi} K_{\text{РАС}}, \quad (10.1)$$

где l - расстояние между опорными изоляторами, см;

a - расстояние между осями шин смежных фаз, см;

$i^{(3)}$ - ударный ток трехфазного КЗ, А;

$K_{\text{РАС}}$ - коэффициент, зависящий от взаимного расположения проводников;

K_{Φ} - коэффициент формы, зависит от формы шины.

Значения коэффициента $K_{\text{РАС}}$ для некоторых типов шинных конструкций в таблице 10.1.

Для проводников прямоугольного сечения коэффициент формы следует определять по кривым, приведенным на рисунке 10.1.

Таблица 10.1- Значения коэффициента $K_{РАС}$

Расположение шин	Расчетная фаза	Значения коэффициента $K_{РАС}$ для нагрузок			
		результирующей	изгибающей	растягивающей	сжимающей
В одной плоскости	В	1,0	1,0	0	0
По вершинам равностороннего треугольника	А	1,0	0,94	0,25	0,75
	В	1,0	0,50	1,0	0
	С	1,0	0,94	0,25	0,75
По вершинам прямоугольного равнобедренного треугольника	А	0,87	0,87	0,29	0,87
	В	0,95	0,43	0,83	0,07
	С	0,95	0,93	0,14	0,43
По вершинам равностороннего треугольника	А, В, С	1,0	0,50	1,0	0

Для круглых проводников сплошного сечения, проводников кольцевого сечения, а также для проводников (шин) корытного сечения с высотой сечения 0,1 м и более следует принимать $K_{\phi} = 1,0$.

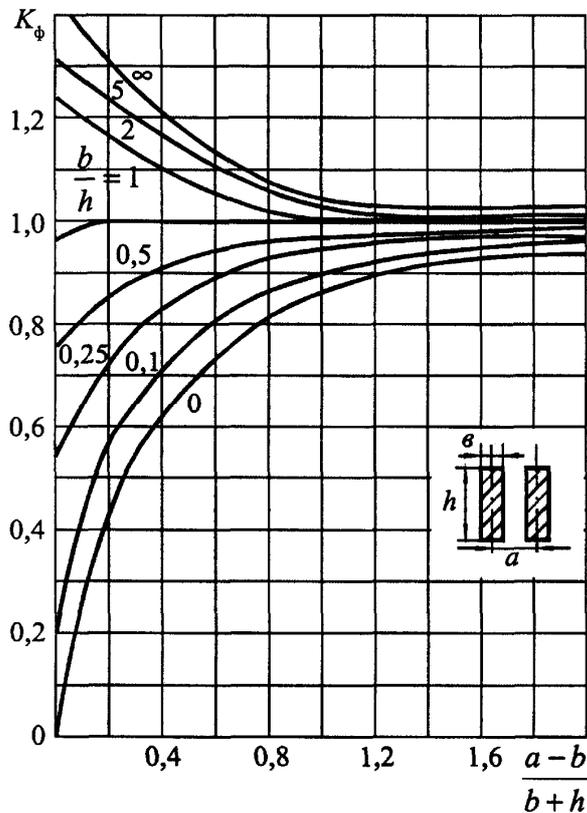


Рисунок 10.1 - Диаграмма для определения коэффициента формы шин прямоугольного сечения

Размеры для расчета шин показаны на рисунках 10.2 и 10.3.

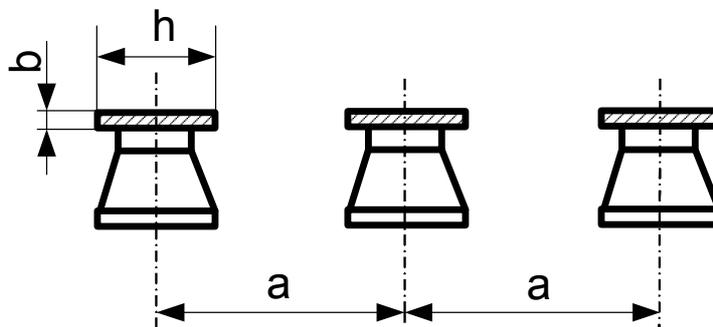


Рисунок 10.2 – Расположение шин плашмя

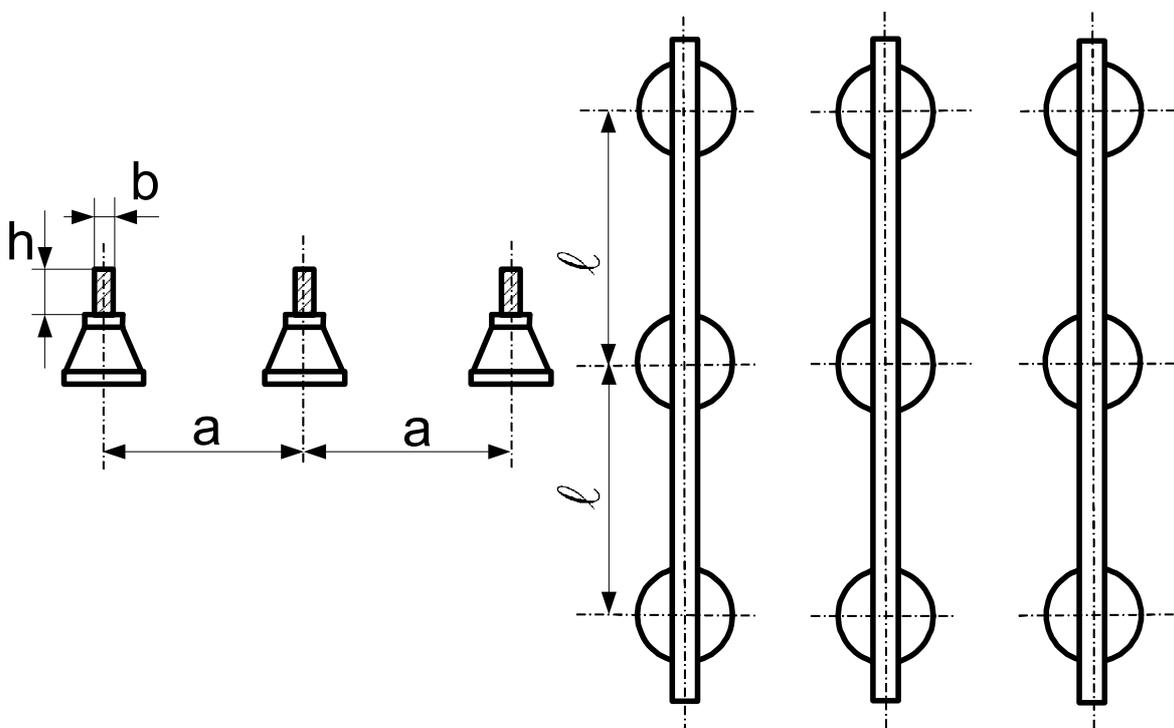


Рисунок 10.3 – Расположение шин на ребро

Изгибающий момент, создаваемый ударным током равен, Н·м

$$M = \frac{F^{(3)}l}{10} \quad (10.2)$$

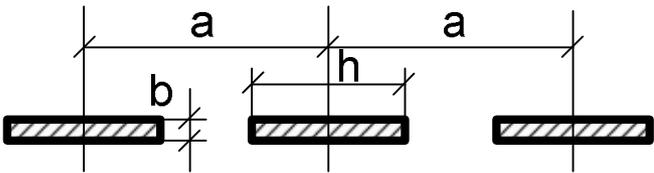
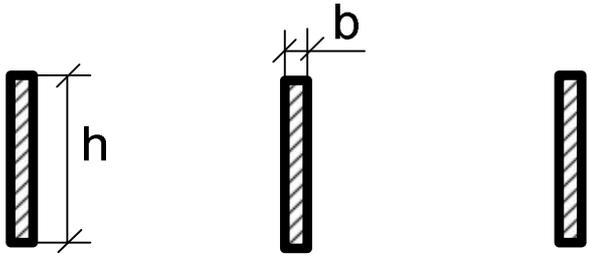
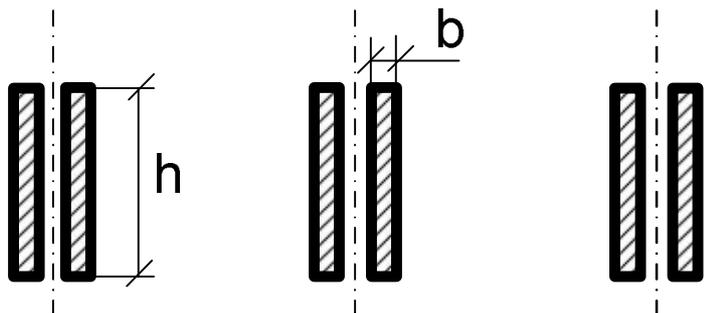
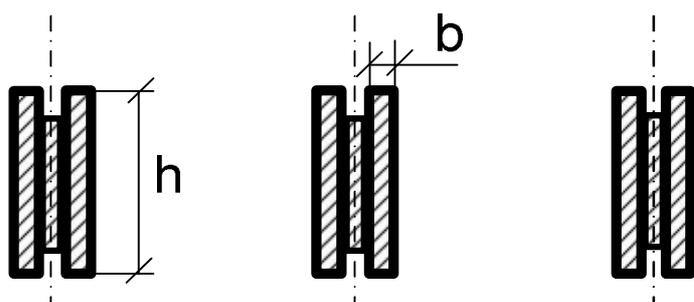
Наибольшее расчетное механическое напряжение в металле при изгибе, МПа

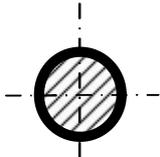
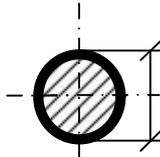
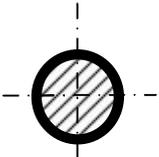
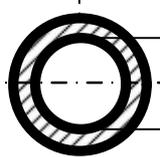
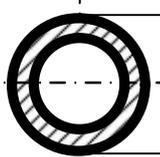
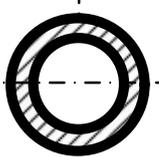
$$\sigma_P = \frac{M}{W} \quad (10.3)$$

где W – момент сопротивления, см^3 .

При расположении шин плашмя момент сопротивления равен

Таблица 10.2 – Моменты сопротивления и инерции

Расположение шин	Момент инерции	Момент сопротивления
	$\frac{bh^3}{12}$	$\frac{bh^2}{6}$
	$\frac{hb^3}{12}$	$\frac{hb^2}{6}$
	$\frac{bh^3}{6}$	$\frac{bh^2}{3}$
	$\frac{hb^3}{6}$	$\frac{hb^2}{3}$
	$0,72b^3h$	$1,44b^2h$

			$\frac{\pi d^4}{64}$	$\frac{\pi d^3}{32}$
			$\frac{\pi(D^4 - d^4)}{64}$	$\frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D}$

$$W = \frac{bh^2}{6}, \quad (10.4)$$

при расположении шин на ребро

$$W = \frac{hb^2}{6} \quad (10.5)$$

Расчетные формулы моментов сопротивления и инерции шин приведены в таблице 10.2

Расчетное напряжение в шине должно быть меньше допустимого для выбранной шины

$$\sigma_{\text{доп}} > 0,7\sigma_p. \quad (10.6)$$