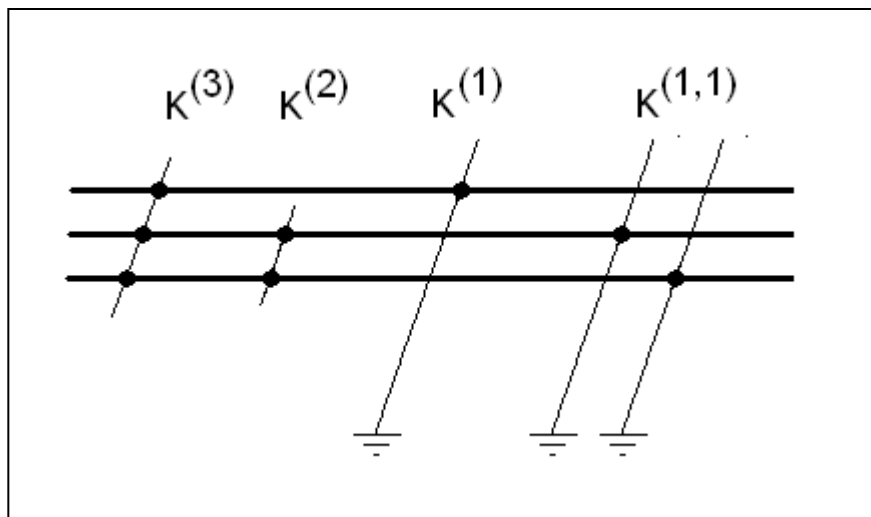


*Электрическая часть ГЭУ
кафедра «Электрические станции», МЭИ*

Расчет токов короткого замыкания

Короткие замыкания в электроустановках



Виды коротких замыканий

Таблица 1-1

Относительная вероятность и сокращенные обозначения основных видов короткого замыкания

Виды короткого замыкания	Принципиальная схема	Буквенное обозначение на схемах места и вида короткого замыкания	Относительная вероятность короткого замыкания, %
Трёхфазное		$K^{(3)}$	5
Двухфазное		$K^{(2)}$	10
Однофазное		$K^{(1)}$	65
Двухфазное на землю		$K^{(1,1)}$	20

Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах Учебник для электротехнических и энергетических ВУЗов и факультетов. М.: "Энергия", 1970.

Действие тока КЗ на электрооборудование:

Термическое

Электродинамическое

Электромагнитное

Ток короткого замыкания от СГ*

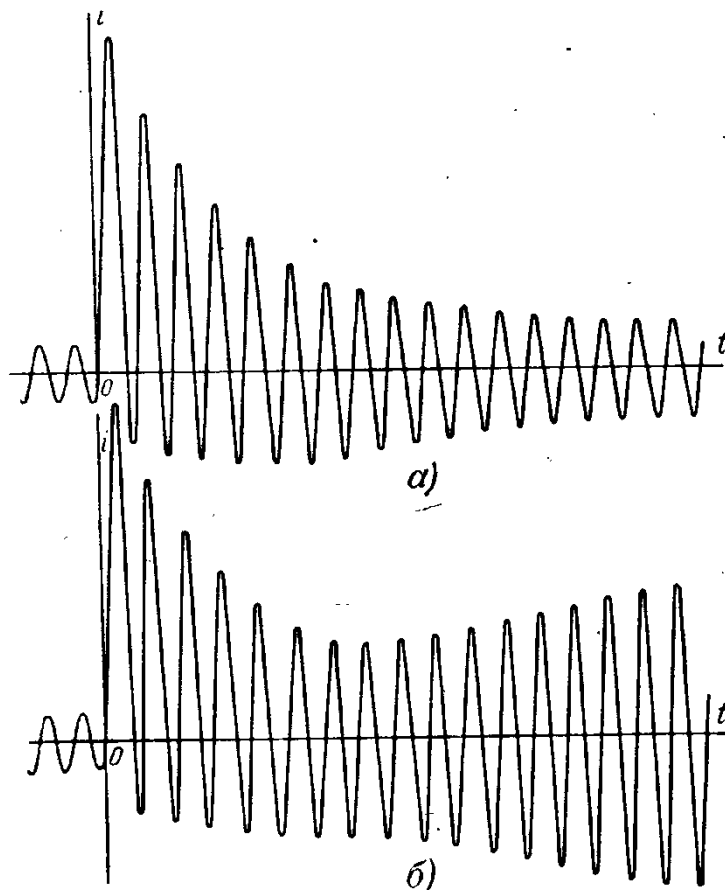


Рис. 1-2. Осциллограммы токов при внезапном коротком замыкании.

а — при отсутствии автоматического регулирования возбуждения; *б* — при наличии такого регулирования.

Чо Г.Ч., НИУ "МЭИ", 2020

Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах Учебник для электротехнических и энергетических ВУЗов и факультетов. М.: "Энергия", 1970.

Ток короткого замыкания от СГ

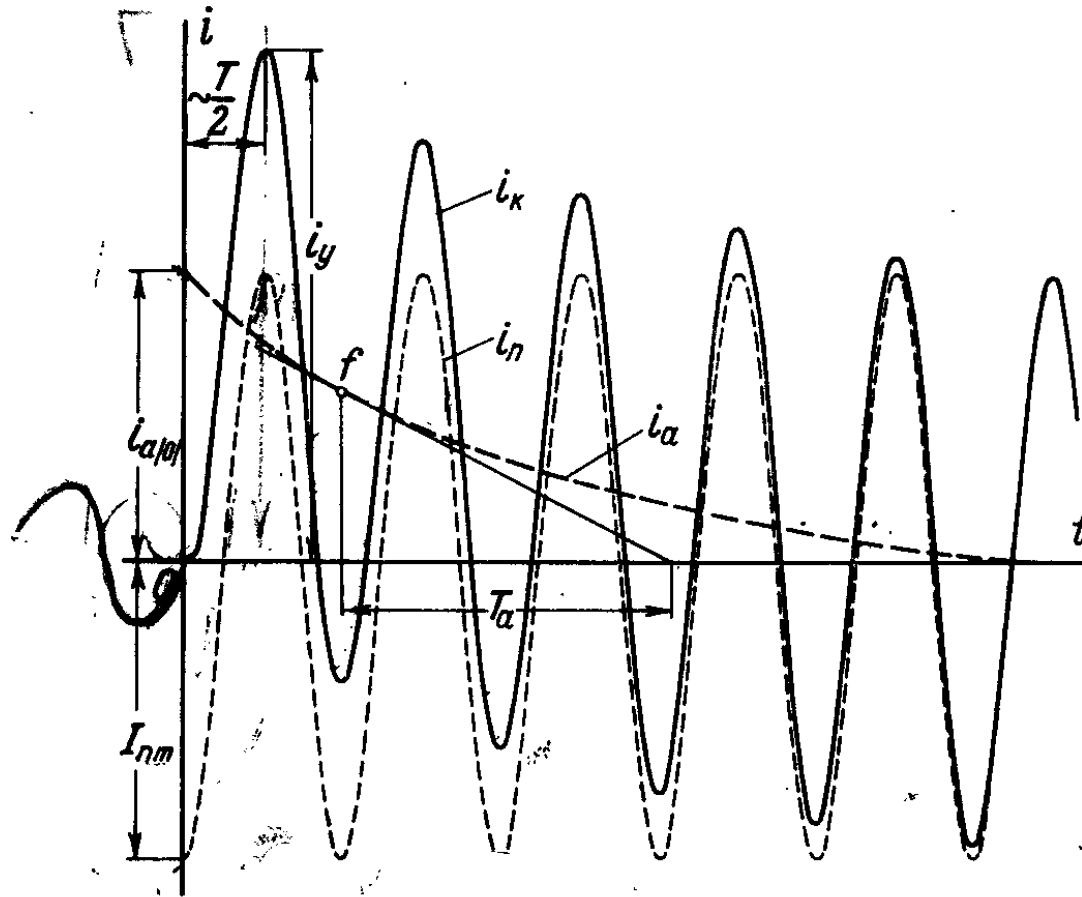


Рис. 3-4. Осциллограмма тока короткого замыкания при наибольшей апериодической слагающей.

Чо Г.Ч., НИУ "МЭИ", 2020

Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах Учебник для электротехнических и энергетических ВУЗов и факультетов. М.: "Энергия", 1970.

Короткие замыкания в электроустановках

КЗ в простейшей трехфазной системе

Характерные величины для определения тока КЗ

$$I_{n0} = \frac{U}{Z_K}$$

$$i_{yД} = \sqrt{2} * I_{n0} * k_{yД}$$

$$i_{a.\tau} = \sqrt{2} * I_{n0} * e^{\frac{-\tau}{Ta}}$$

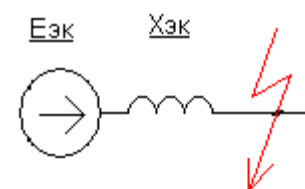
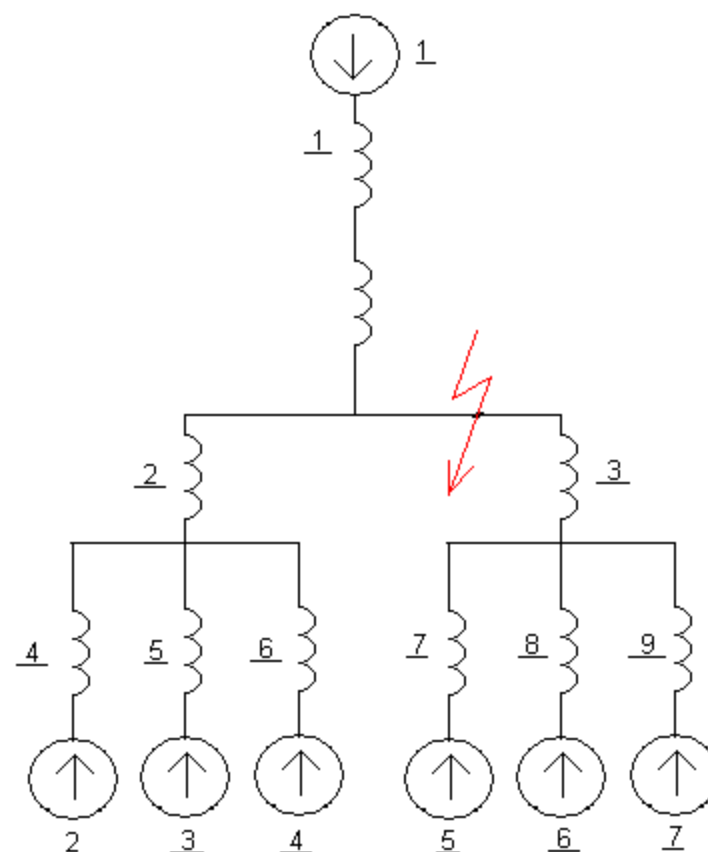
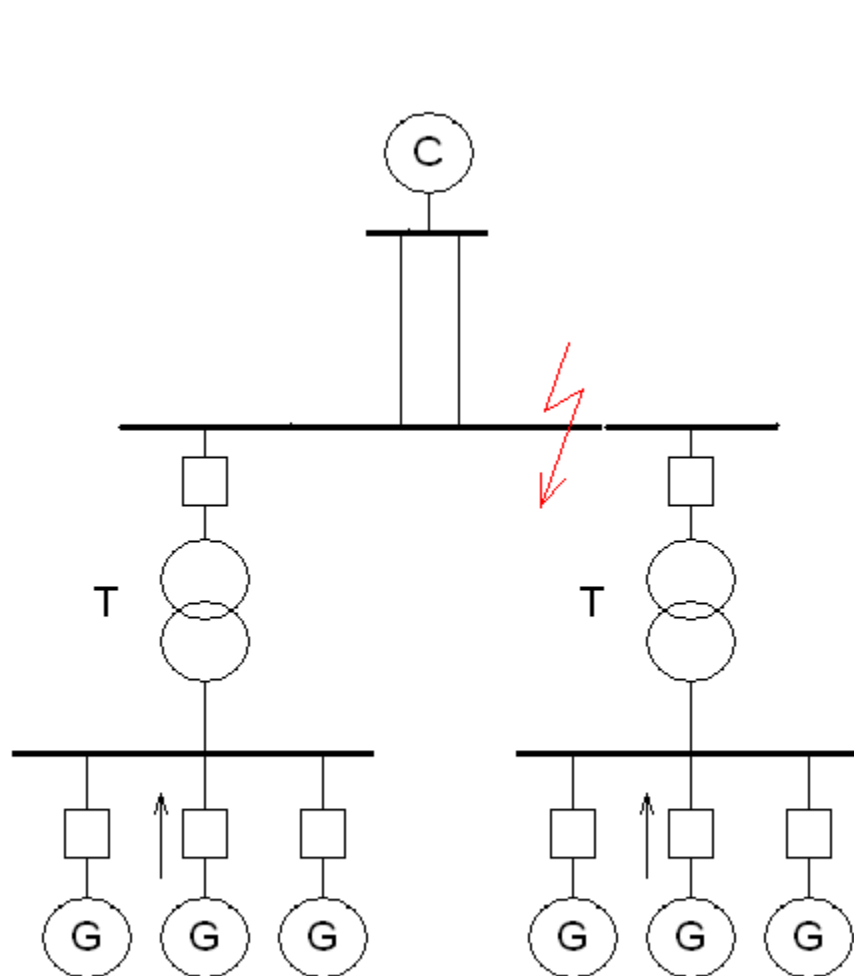
$$k_{yД} = (1 + e^{-\frac{0,01}{Ta}})$$

$$Ta = \frac{x'_K}{w_C * r_K}$$

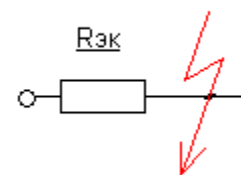
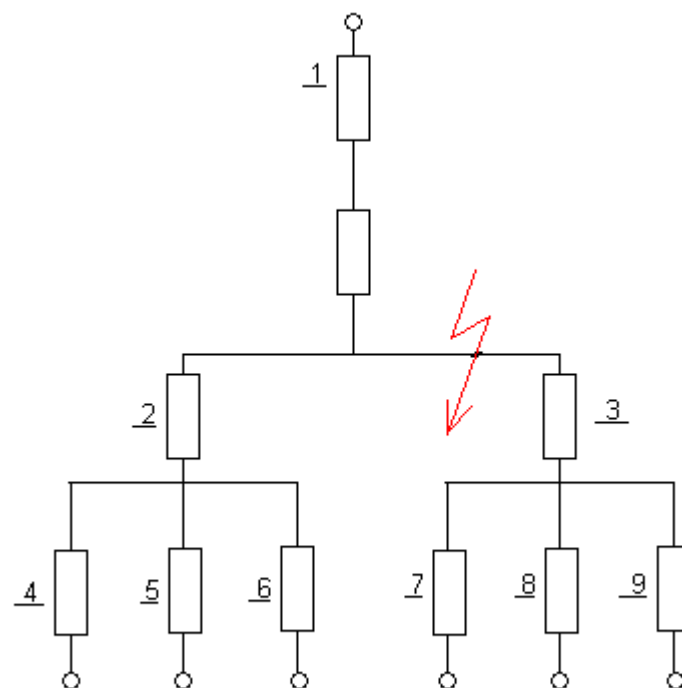
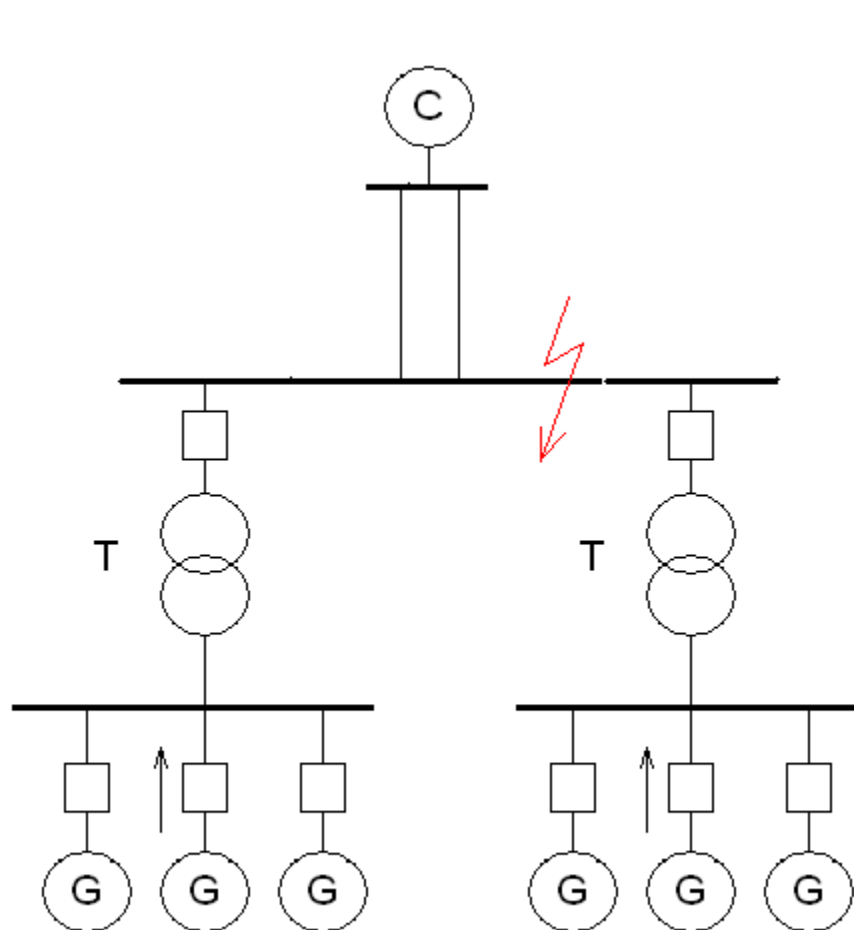
$$w_C = 2\pi * f$$

Чо Г.Ч., НИУ МОИ, 2020

Короткие замыкания в электроустановках



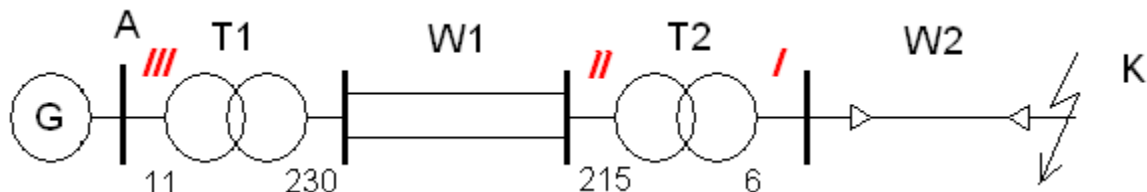
Короткие замыкания в электроустановках



Короткие замыкания в электроустановках.

Метод приближенного приведения в относительных единицах

Базисные условия:



$$\begin{cases} S_{\delta} \\ U_{\delta} \\ I_{\delta} \\ Z_{\delta} \end{cases}$$

$$\begin{cases} U_{\delta I} \\ S_{\delta I} = S_{\delta II} = S_{\delta III} \end{cases}$$

$$\begin{cases} U_{\delta II} = U_{\delta I} / n_{T2} \\ U_{\delta III} = U_{\delta II} / n_{T1} = U_{\delta I} / (n_{T2} * n_{T1}) \end{cases}$$

Ряд средних номинальных напряжений (линейных):

6,3; 10,5; 13,8; 15,75; 18;
20; 24; 37; 115; 230; 340;
515; 770 кВ

$$n_{T1} = \frac{U_{\text{ср.ном.ВН.T1}}}{U_{\text{ср.ном.НН.T1}}} = \frac{230}{10,5}$$

$$n_{T2} = \frac{U_{\text{ср.ном.НН.T2}}}{U_{\text{ср.ном.ВН.T2}}} = \frac{6,3}{230}$$

Короткие замыкания в электроустановках. Способы приведения. Система относительных единиц

Сопротивления, выраженные в о.е. при номинальных условиях:

Синхронные генераторы,

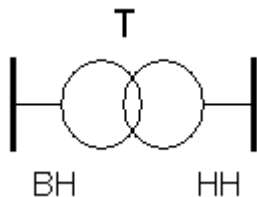
Синхронные двигатели:

$$X''_{d(\bar{o})_*} = X''_{d(ном)_*} * \frac{S_{\bar{o}}}{S_{ном.Г}}$$

Короткие замыкания в электроустановках. Способы приведения. Система относительных единиц

Сопротивления, выраженные в о.е. при номинальных условиях:

Трансформаторы:



$$X_{T(ном)*} = \frac{U_k, \%}{100}$$

$$X_{T(б)*} = X_{T(ном)*} * \frac{S_{б}}{S_{ном.Т}}$$

$U_{ном.Т}$ - ном.напряжение обм. со стороны КЗ

Асинхронные двигатели:

$$X_{АД(ном)*} = \frac{1}{I_{П*}}$$

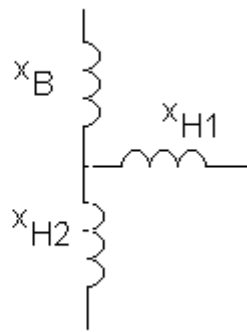
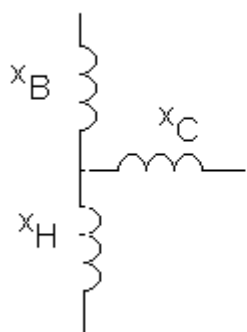
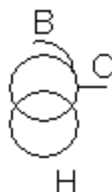
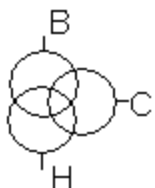
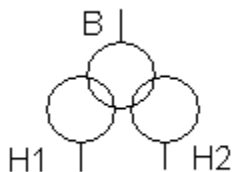
$$X_{АД(б)*} = X_{АД(ном)*} * \frac{S_{б}}{S_{ном.АД}}$$

Короткие замыкания в электроустановках.

Способы приведения. Система относительных единиц

Сопротивления, выраженные в о.е. при номинальных условиях:

Трансформаторы:



$$x_{H1(ном)}^* = x_{H2(ном)}^* = \frac{1}{2} * \frac{U_{kH1-H2}, \%}{100}$$

$$x_{B(ном)}^* = 0,125 * \frac{U_{kB-H}, \%}{100} \quad K_p = \frac{U_{k.H1-H2}}{U_{k.B-H}} \approx 3,5$$

$$x_{B(ном)}^* = \frac{1}{2} * \frac{(U_{kB-H} + U_{kB-C} - U_{kC-H}), \%}{100}$$

$$x_{C(ном)}^* = \frac{1}{2} * \frac{(U_{kB-C} + U_{kC-H} - U_{kB-H}), \%}{100}$$

$$x_{H(ном)}^* = \frac{1}{2} * \frac{(U_{kB-H} + U_{kC-H} - U_{kB-C}), \%}{100}$$

Чо Г.Ч., НИУ "МЭИ", 2020

Короткие замыкания в электроустановках.

Способы приведения. Система относительных единиц

Сопротивления, выраженные в о.е. при номинальных условиях:

Система:

$$X_{C(\bar{o})}^* = X_{C(ном)}^* * \frac{S_{\bar{o}}}{S_{ном.C}}$$

$$U_{ном.C} = U_{ср.ном}$$

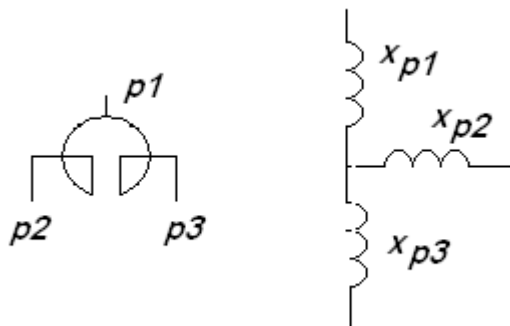
Реактор:

$$X_{P(\bar{o})}^* = \frac{x_p}{Z_{\bar{o}}} = x_p * \frac{S_{\bar{o}}}{U_{\bar{o}}^2}$$

Сдвоенный реактор:

$$X_{p1(\bar{o})}^* = -k_{св} * x_p * \frac{S_{\bar{o}}}{U_{\bar{o}}^2}$$

$$X_{p2(\bar{o})}^* = X_{p3(\bar{o})}^* = (1 + k_{св}) * x_p * \frac{S_{\bar{o}}}{U_{\bar{o}}^2}$$



$$k_{св} = 0.5$$

Чо Г.Ч., НИУ "МЭИ", 2020

Короткие замыкания в электроустановках. Способы приведения. Система относительных единиц

Сопротивления, выраженные в о.е. при номинальных условиях:

Комплексная нагрузка: $x_{HG(ном)*} = 0,35$

$$x_{HG(\bar{o})*} = x_{HG(ном)*} * \frac{S_{\bar{o}}}{S_{ном.HG}} * \frac{U_{ср.ном.HG}^2}{U_{\bar{o}}^2}$$

Кабельная и воздушная линия: $x_{БЛ(\bar{o})*} = \frac{x_{y\partial} * l_{БЛ}}{Z_{\bar{o}}} = x_{y\partial} * l_{БЛ} * \frac{S_{\bar{o}}}{U_{\bar{o}}^2}$

Короткие замыкания в электроустановках. Способы приведения. Система относительных единиц

ЭДС:

Система:

$$E_{C(\delta)}^* = \frac{E_C}{U_{\delta}} = \frac{U_{ср.ном.С}}{U_{\delta}}$$

Синхронный генератор:

$$E_{\Gamma(\delta)}''^* = (U_{(0)}^* + I_{(0)}^* x_{d(ном)}''^* \sin \varphi_{(0)})$$

Асинхронный двигатель:

$$E_{АД(\delta)}''^* = (U_{(0)}^* - I_{(0)}^* x_{АД(ном)}''^* \sin \varphi_{(0)})$$

Короткие замыкания в электроустановках. Способы приведения. Система относительных единиц

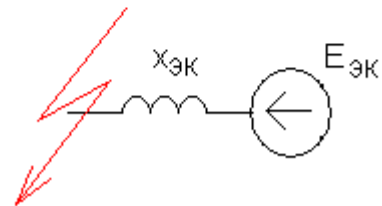
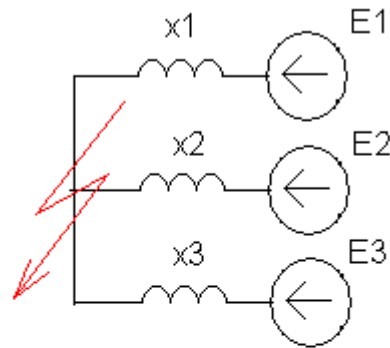
ЭДС:

Комплексная нагрузка:

$$E_{HG(\delta)}^* = 0,85 * \frac{U_{cp.ном.HG}}{U_{\delta}}$$

Короткие замыкания в электроустановках. Способы приведения. Система относительных единиц

Преобразования схемы замещения:



$$y_i = \frac{1}{x_i}$$

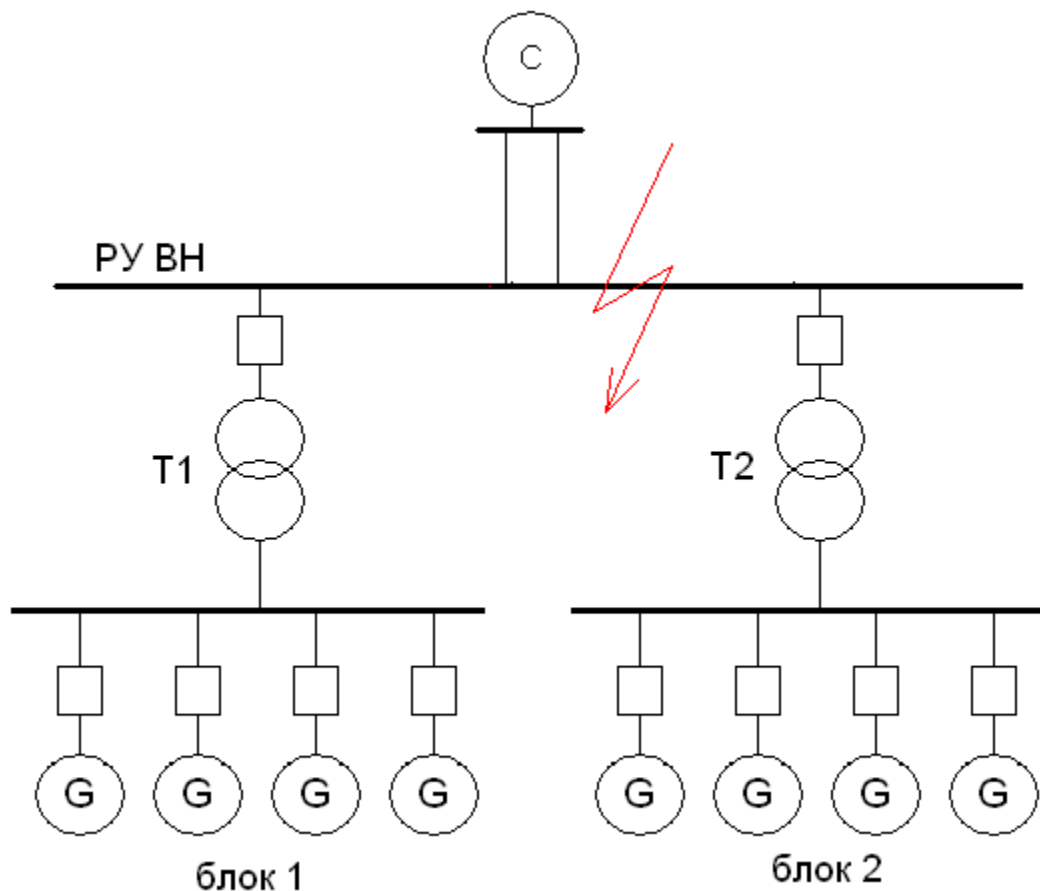
$$y_{\text{эк}} = y_1 + y_2 + y_3$$

$$E_{\text{эк}} = \frac{E_1 * y_1 + E_2 * y_2 + E_3 * y_3}{y_1 + y_2 + y_3}$$

Короткие замыкания в электроустановках.

Способы приведения. Система относительных единиц

Преобразования схемы замещения:



Система:

$$S_C = 2000 \text{ MVA}$$

$$x_{C(\text{ном})} = 1,0 \text{ о.е.}$$

$$T_{a.C}^{(3)} = 0,045 \text{ с}$$

Трансформатор: $S_{\text{ном.Т}} = 32 \text{ MVA}$

$$U_k = 11\%$$

$$215/11 \text{ кВ}$$

$$\Delta P_K = 230 \text{ кВт}$$

Генератор:

$$P_{\text{ном.Г}} = 20 \text{ МВт}$$

$$\cos \varphi_{\text{ном}} = 0,84$$

$$x''_{d(\text{ном})} = 0,16 \text{ о.е.}$$

$$x_{2(\text{ном})} = 0,19 \text{ о.е.}$$

$$T_{a.G}^{(3)} = 0,247 \text{ с}$$

Линия:

$$l = 100 \text{ км}$$

$$x_{y0} = 0,35 \text{ Ом/км}$$

$$r_{y0} = 0,08 \text{ Ом/км}$$

Короткие замыкания в электроустановках.

Способы приведения. Система относительных единиц

Сопротивления, выраженные в о.е. при номинальных условиях:

Синхронные генераторы,
Синхронные двигатели:

$$r_{CM(\bar{o})}^* = \frac{x_{2(\bar{o})}^*}{w_C * T_{a,CM}^{(3)}}$$

$$X_{2(\bar{o})}^* = X_{2(ном)}^* * \frac{S_{\bar{o}}}{S_{ном.Г}} * \frac{U_{ном.Г}^2}{U_{\bar{o}}^2}$$

$X_{2(\bar{o})}^*$ - сопротивление СМ обратной последовательности

Короткие замыкания в электроустановках. Способы приведения. Система относительных единиц

Сопротивления, выраженные в о.е. при номинальных условиях:

Трансформаторы:

$$r_{T(ном)}^* = \frac{\Delta P_K * 10^{-3}}{S_{ном.T}}$$

ΔP_K - потери короткого замыкания трансформатора

$$\Delta P_{K.BC}, \Delta P_{K.BH}, \Delta P_{K.CH}$$

$$x_T / r_T = \frac{U_K}{100} * \frac{S_{ном.T}}{\Delta P_K * 10^{-3}} = \frac{U_{K.BC}}{100} * \frac{S_{ном.T}}{\Delta P_{K.BC} * 10^{-3}}$$

$$\frac{x_T}{r_T} = \frac{x_{T(\phi)}^*}{r_{T(\phi)}^*} = \frac{x_{T.BH(\phi)}^*}{r_{T.BH(\phi)}^*} = \frac{x_{T.CH(\phi)}^*}{r_{T.CH(\phi)}^*} = \frac{x_{T.HH(\phi)}^*}{r_{T.HH(\phi)}^*}$$

Короткие замыкания в электроустановках. Способы приведения. Система относительных единиц

Сопротивления, выраженные в о.е. при номинальных условиях:

Асинхронные двигатели:

$$r_{AD} = \frac{M_{\Pi}^*}{I_{\Pi}^2} * \frac{U_{ном.АД}^2 * \cos^2 \phi_{ном}}{P_{ном.АД}}, Ом$$

M_{Π} - пусковой момент двигателя

I_{Π} - пусковой ток двигателя

$$r_{AD(б)}^* = \frac{M_{\Pi}^*}{I_{\Pi}^2} * \frac{U_{ном.АД}^2 * \cos^2 \phi_{ном}}{P_{ном.АД}} * \frac{S_{б}}{U_{б}^2}, о.е.$$

Короткие замыкания в электроустановках. Способы приведения. Система относительных единиц

Сопротивления, выраженные в о.е. при номинальных условиях:

Реактор:

$$r_p = \frac{\Delta P_K}{I_{ном.P}^2}, Ом$$

$I_{ном.P}$ - номинальный ток реактора

$$r_p = \frac{\Delta P_K}{I_{ном.P}^2} * \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2}, о.е.$$

Сдвоенный реактор:

$$r_p = \frac{\Delta P_K}{2 * I_{ном.P}^2}, Ом$$

$$r_{p1(\delta)} = -k_{св} * r_p * \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2}$$

Чо Г.Ч., НИУ "МЭИ", 2020

$$r_{p3(\delta)} = (1 + k_{св}) * r_p * \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2}$$

Короткие замыкания в электроустановках. Способы приведения. Система относительных единиц

Сопротивления, выраженные в о.е. при номинальных условиях:

Система:

$$r_{c(\delta)}^* = \frac{x_{c(\delta)}^*}{w_c * T_{a,C}^{(3)}}$$

$$T_{a,C}^{(3)} \approx 0,045c$$

Обобщенная нагрузка:

$$r_{HГ(\delta)}^* = \frac{x_{HГ(\delta)}^*}{2,5 \div 5}$$

Линия:

$$r_{W(\delta)}^* = r_{y\partial} * l_W * \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2}$$

Короткие замыкания в электроустановках. Способы приведения. Система относительных единиц

По результатам расчета токов короткого замыкания заполняется таблица:

Расчетная точка КЗ	$I_{ПО}, кА$	$i_{уд}, кА$	$T_{a.эк}, с$	$i_{a.т}, А$
К1				
К2				
К3, от ген/ от трансф.	/	/	/	/
К4, от ген/ от трансф.	/	/	/	/

Расчетные точки КЗ:

К1 – шины РУВН; К2 - шины РУСН;(при наличии);

К3 от ген. – КЗ на выводах НН трансформатора блока, подключенного к РУВН, ток от одного генератора поврежденного блока;

К3 от трансф. – КЗ на выводах генератора, ток от трансформатора блока и остальных генераторов укрупненного блока (без одного генератора);

К4 от ген./от трансф. – то же, но для блоков, подключенных к РУСН.