

Практическое занятие 6.1 Расчет несимметричных коротких замыканий

Исследования и расчеты при несимметричных к. з. проводят с помощью метода симметричных составляющих. Расчет состоит в том, что заданный несимметричный режим работы системы представлен как результат наложения трех симметричных режимов, один из которых содержит только составляющие прямой последовательности (эдс, токи, сопротивления), другой – только составляющие обратной последовательности и третий – только составляющие нулевой последовательности.

При расчетах токов несимметричных к. з. применяют правило эквивалентности прямой последовательности, согласно которому ток прямой последовательности любого несимметричного к. з. может быть определен как ток при трехфазном к. з. в точке, удаленной от действительной точки к. з. на дополнительное сопротивление, величина которого в зависимости от вида к. з. определяется результирующими сопротивлениями схем обратной и нулевой последовательности, т. е.:

$$I_{k1}^{(n)} = \frac{E_{1\Sigma}}{Z_{1\Sigma} + \Delta Z^{(n)}},$$

где $E_{1\Sigma}$, $Z_{1\Sigma}$ – результирующие эдс и сопротивление схемы прямой последовательности относительно точки к. з.; $\Delta Z^{(n)}$ – дополнительное сопротивление, вводимое в схему замещения прямой последовательности.

Полный ток в месте короткого замыкания находят так:

$$I_K^{(n)} = m^{(n)} \cdot I_{k1}^{(n)},$$

где $m^{(n)}$ – коэффициент, зависящий от вида к. з.

Из правила эквивалентности следует, что при любом виде к. з. ток $I_{k1}^{(n)}$ определяется из подобных по структуре схем замещения, рис. 1.

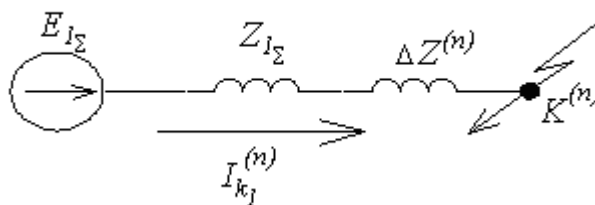


Рис. 1

Установлено, что симметричные составляющие токов и напряжений в месте к. з., а также полные токи и напряжения в здоровых и поврежденных фазах для любого момента времени пропорциональны току прямой последовательности. Основные расчетные соотношения приведены в таблице 1.

Таким образом, для определения токов при несимметричном к. з. необходимо:

составить схемы замещения для токов прямой, обратной и нулевой последовательностей. Определить сопротивления элементов и результирующие сопротивления прямой ($x_{1\Sigma}$), обратной ($x_{2\Sigma}$) и нулевой ($x_{0\Sigma}$) последовательностей;

составить комплексные схемы замещения, в которых $x_{1\Sigma}$, $x_{2\Sigma}$, $x_{3\Sigma}$ соединены между собой определенным образом в зависимости от вида к. з.;

определить ток прямой последовательности в комплексной схеме замещения. Последний является током трехфазного к. з. при эквивалентном трехфазном к. з.;

найти полный ток несимметричного к. з. по выражению (39).

Результирующие сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательностей находят по соответствующим схемам

Схема прямой последовательности (ПП) – обычная схема, которую составляют для расчета симметричного трехфазного к. з. В зависимости от момента времени переходного процесса генераторы, синхронные компенсаторы и нагрузки в схему замещения вводят соответствующими реактивностями и эдс. По схеме определяют $E_{1\Sigma}$ и $x_{1\Sigma}$ генерирующих ветвей, а также коэффициенты распределения для них.

Схема обратной последовательности (ОП) отличается от схемы ПП отсутствием в ней эдс и значением реактивных сопротивлений генераторов и нагрузок. За начало схемы прямой (обратной) последовательности ($H1$, $H2$) принимают точку, в которую объединены свободные концы генерирующих ветвей (точка нулевого потенциала). Концом схемы считают точку, где возникло к. з. (K_1 , K_2).

Для элементов системы с неподвижными магнитосвязанными цепями индуктивные сопротивления прямой и обратной последовательности равны между собой. Таким образом, для трансформаторов, воздушных и кабельных линий, реакторов $x_1 = x_2$. Для вращающихся машин $x_1 \neq x_2$. В практических расчетах принимают:

для синхронных машин без демпферных обмоток $x_2 = 1,45 \cdot x'_d$;

для турбогенераторов и синхронных машин с демпферными обмотками

$$x_2 = 1,22 \cdot x'_d;$$

для асинхронных двигателей $x_2 = x''_{\partial e*} = \frac{1}{K_n} = \frac{1}{I_{пуск*}}$;

для комплексной (обобщенной) нагрузки $x_{2*} = 0,35$.

Таблица 1

Вид к.з.	$K^{(3)}$	$K^{(1,1)}$	$K^{(2)}$	$K^{(1)}$
Граничные условия	$U_{KA} = 0$ $U_{KB} = 0$ $U_{KC} = 0$	$I_{KA} = 0$ $U_{KB} = 0$ $U_{KC} = 0$	$I_{KA} = 0$ $I_{KB} = -I_{KC}$ $U_{KB} = U_{KC}$	$U_{KA} = 0$ $I_{KB} = 0$ $I_{KC} = 0$
Соотношение между симметричными составляющими	$I_{KA} = I_{KA1}$ $I_{K2} = 0$ $I_{Ko} = 0$	$U_{KA1} = U_{KA2}$ $U_{KA1} = U_{Ko}$ $I_{KA1} + I_{KA2} + I_{Ko} = 0$	$I_{KA1} = 0$ $U_{KA1} = U_{KA2}$ $I_{KA1} = -I_{KA2}$	$I_{KA1} = I_{KA2}$ $I_{KA1} = I_{Ko}$ $U_{KA1} + U_{KA2} + U_{Ko} = 0$
Дополнительное сопротивление $x^{(n)}$	0	$\frac{x_2 \Sigma \cdot x_o \Sigma}{x_2 \Sigma + x_o \Sigma}$	x_2	$x_2 + x_o$
Ток прямой последовательности $I_{KA1}^{(n)}$	$\frac{E_{\Sigma A1}}{x_{\Sigma 1}}$	$\frac{E_{\Sigma A1}}{x_{\Sigma 1} + x_{\Sigma 2} \parallel x_{\Sigma o}}$	$\frac{E_{\Sigma A1}}{x_{\Sigma 1} + x_{\Sigma 2}}$	$\frac{E_{\Sigma A1}}{x_{\Sigma 1} + x_{\Sigma 2} + x_{\Sigma o}}$
Ток обратной последовательности $I_{KA2}^{(n)}$	----	$I_{KA1} \times \frac{x_o \Sigma}{x_2 \Sigma + x_o \Sigma}$	$-I_{KA1}$	I_{KA1}
Ток нулевой последовательности $I_{Ko}^{(n)}$	----	$I_{KA1} \times \frac{x_2 \Sigma}{x_2 \Sigma + x_o \Sigma}$	0	I_{KA1}
$m^{(n)}$	1	$\sqrt{3} \sqrt{1 - \frac{x_2 \Sigma \cdot x_o \Sigma}{(x_2 \Sigma + x_o \Sigma)^2}}$ (1,5 ÷ √3)	√3	3
Ток к.з. $I_K^{(n)}$	$I_K^{(3)} = I_{KA1}^{(3)}$	$I_K^{(1,1)} = m^{(1,1)} \times I_{KA1}^{(1,1)}$	$I_K^{(2)} = m^{(2)} \times I_{KA1}^{(2)}$	$I_K^{(1)} = m^{(1)} \times I_{KA1}^{(1)}$
Напряжение прямой последовательности $U_{KA1}^{(n)}$	0	$I_{KA1} (x_2 \parallel x_o)$	$I_{KA1} \times x_2$	$I_{KA1} (x_2 + x_o)$
Напряжение обратной последовательности $U_{KA2}^{(n)}$	0	$I_{KA2} \times x_2$	$I_{KA2} \times x_2$	$I_{KA2} \times x_2$
Напряжение нулевой последовательности $U_{Ko}^{(n)}$	0	$I_{Ko} \times x_o$	$I_{Ko} \times x_o$	$I_{Ko} \times x_o$

Схема нулевой последовательности (НП). Токи НП по существу являются составляющими однофазного тока, разделенного между тремя фазами и возвращающегося через землю и параллельные ей цепи (тросы линий, оболочки кабелей). Поэтому путь токов НП существенно отличается от путей, по которым протекают токи ПП и ОП.

Составление схемы НП начинают от точки к. з., считая, что в этой точке фазы замкнуты между собой и к ней относительно земли приложено напряжение НП $U_{к0}$. Далее выявляют возможные пути протекания токов НП и в схему замещения включаются элементы, через которые протекают токи. Началом схемы (H_0) является точка нулевого потенциала (земля), концом – точка к. з. (K_0).

Схемы ПП, ОП и НП представлены на рис. 2

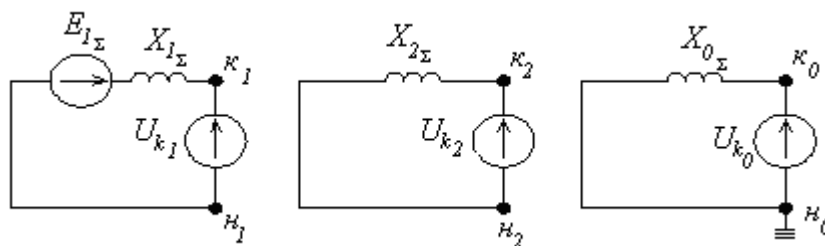


Рис. 2

Система токов НП существенно отличается от схем ПП и ОП и поэтому сопротивления элементов для токов НП совершенно иные.

Синхронные машины: сопротивление НП зависит от конструкции и типа обмоток и колеблется в пределах $x_{0*} = (0,15 \dots 0,6) \cdot x'_d$.

Асинхронные двигатели: достаточно достоверное значение x_0 может быть получено лишь опытным путем, или по данным завода-изготовителя.

Комплексная нагрузка: определяется конкретной схемой соединения элементов нагрузки и питающей сети.

Реакторы: представляют собой однофазный аппарат, поэтому $x_0 = x_1$.

Воздушные ЛЭП: токи НП линий электропередачи возвращаются через землю и по грозозащитным заземляющим тросам, если последние имеются. Для практических расчетов принимают:

одноцепная линия без тросов $x_0 = 3,5 x_1$;

двухцепная линия без тросов $x_0 = 5,5 x_1$;

одноцепная линия со стальным тросом $x_0 = 3 x_1$;

одноцепная линия с медным тросом $x_0 = 2 x_1$;

двухцепная линия со стальным тросом $x_0 = 4,7 x_1$;

двухцепная линия с медным тросом $x_0 = 3 x_1$.

Кабельные линии: приближенно $x_0 \approx (3,5 \dots 4,6) x_1$, или точное значение из замеров в реальных условиях.

Трансформаторы: индуктивное сопротивление НП трансформатора определяется его конструкцией и соединением обмоток. Со стороны обмотки трансформатора, соединенной треугольником (Δ) или в звезду без заземлен

ной нейтрали (Δ), сопротивление НП трансформатора $x_0 = \infty$, так как в этом случае исключается возможность циркуляции токов НП в данном трансформаторе. Следовательно, конечная величина сопротивления НП трансформатора может быть только со стороны его обмотки, соединенной в звезду с заземленной нейтралью (Δ).

Для трансформаторов со схемой Δ / Δ

$$x_{0*} = x_{1*} = \frac{u_k \%}{100},$$

причем токи НП не выходят за треугольник.

Для трансформаторов со схемой Δ / Δ

$$x_{0*} = x_{I*} + x_{\mu*}; x_{I*} = \frac{u_k \%}{200}; x_{\mu*} = 0,3 \dots 1,0.$$

Для трансформаторов со схемой Δ / Δ

$$x_{0*} = x_{I*} + \frac{(x_{II*} + x_{вн*}) \cdot x_{\mu*}}{x_{II*} + x_{вн*} + x_{\mu*}}; x_{II*} = \frac{u_k \%}{200},$$

где $x_{вн}$ – сопротивление НП элементов, подключенных к вторичной обмотке трансформатора.

Если на вторичной обмотке нет заземленных элементов, то ($x_{вн} = \infty$), то $x_{0*} = x_{I*} + x_{\mu*}$.

Если нейтраль трансформатора заземлена через сопротивление R_N , то оно учитывается в схеме замещения утроенным значением.

Пример. При поочередном к. з. в точке «К» (рис. 3) определить токи двухфазного, однофазного и двухфазного к. з. на землю для момента времени $t = 0$.

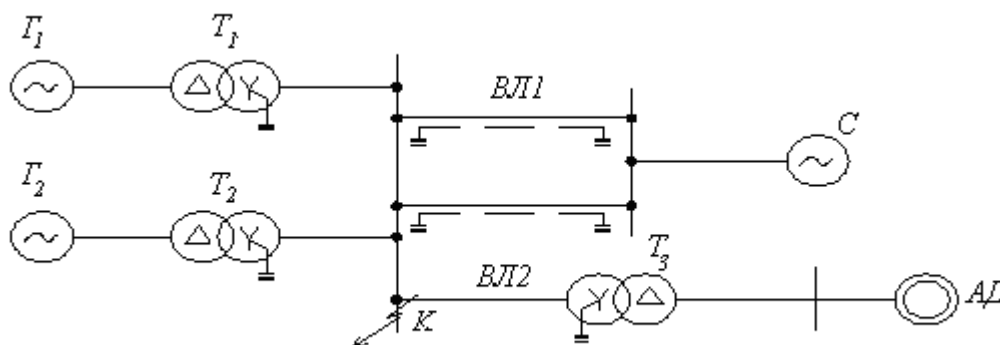


Рис. 3

Исходные данные:

G1, G2: $S_n = 35 \text{ МВ} \cdot \text{А}; U_n = 10,5 \text{ кВ}; x''_{d*} = 0,23;$

T1, T2: $S_n = 40 \text{ МВ} \cdot \text{А}; 10,5/121 \text{ кВ}; u_k = 10,5 \%;$

T3: $S_n = 6,3 \text{ МВ} \cdot \text{А}; 110/6,3 \text{ кВ}; u_k = 10,5 \%;$

ВЛ1: $\ell = 70 \text{ км}; x_{\gamma 0} = 0,4 \text{ Ом/км},$ двухцепная со стальным тросом;

ВЛ2: $\ell = 25 \text{ км}; x_{\gamma 0} = 0,4 \text{ Ом/км},$ одноцепная без троса;

АД: $P_H = 3,2 \text{ МВт}; U_H = 6 \text{ кВ}; \eta = 0,94; \cos \varphi = 0,9; K_n = 4,2;$
 С: $x_{c(1)} = x_{c(2)} = 20 \text{ Ом}; x_{c(o)} = 60 \text{ Ом}.$

Расчет проводим в относительных базисных единицах при приближенном приведении.

Намечаем ступени напряжения и устанавливаем базисные единицы:

$$S_{\bar{o}} = 100 \text{ МВ} \cdot \text{А};$$

$$U_{\bar{o}I} = 10,5 \text{ кВ}; U_{\bar{o}II} = 115 \text{ кВ}; U_{\bar{o}III} = 6,3 \text{ кВ};$$

$$I_{\bar{o}II} = \frac{S_{\bar{o}}}{\sqrt{3}U_{\bar{o}II}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,5 \text{ кА}.$$

Схема замещения ПП, рис. 4:

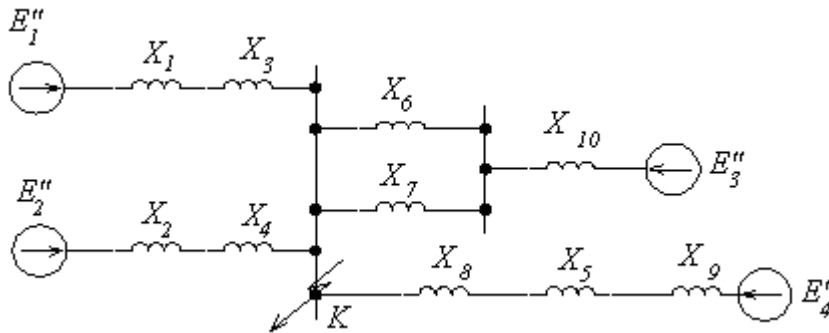


Рис. 4

Сопротивление элементов схемы ПП:

$$\Gamma 1; \Gamma 2: \quad x_{1*(\bar{o})} = x_{2*(\bar{o})} = x_d'' \frac{S_{\bar{o}}}{S_H} = 0,23 \frac{100}{35} = 0,66.$$

При дальнейших расчетах знак $*(\bar{o})$ опускаем.

$$T1; T2: \quad x_3 = x_4 = \frac{u_K \% S_{\bar{o}}}{100 S_H} = \frac{10,5}{100} \frac{100}{40} = 0,26;$$

$$T3: \quad x_5 = \frac{u_K \% S_{\bar{o}}}{100 S_H} = \frac{10,5}{100} \frac{100}{6,3} = 1,67;$$

$$ВЛ1: \quad x_6 = x_7 = x_{y\delta} \cdot \ell \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{U_{\bar{o}II}^2} = 0,4 \cdot 70 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,21;$$

$$ВЛ2: \quad x_8 = x_{y\delta} \cdot \ell \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{U_{\bar{o}II}^2} = 0,4 \cdot 25 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,075;$$

$$АД: \quad x_9 = \frac{1}{K_n} \frac{S_{\bar{o}} \cdot \cos \varphi \cdot \eta}{P_H} = \frac{1}{4,2} \frac{100 \cdot 0,9 \cdot 0,94}{3,2} = 6,3;$$

$$С: \quad x_{10} = x_{c(1)} \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{U_{\bar{o}II}^2} = 20 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,15.$$

Эдс генерирующих ветвей:

$$\Gamma 1, \Gamma 2: \quad E_1'' = E_2'' = U_{(o)*} + I_{(o)*} \cdot x_d'' \cdot \sin \varphi_{(o)} = 1 + 1 \cdot 0,23 \cdot 0,6 = 1,14;$$

$$С: \quad E_3'' = 1,0;$$

$$\text{АД: } E_4'' = U_{(o)}^* - I_{(o)}^* \cdot x_{\text{АД}}'' \cdot \sin \varphi_{(o)} = 1 - 1 \cdot \frac{1}{4,2} \cdot 0,435 = 0,9.$$

Преобразуем схему к радиальному виду, выделив три генерирующих ветви (рис. 5): систему, генераторы станции, АД.

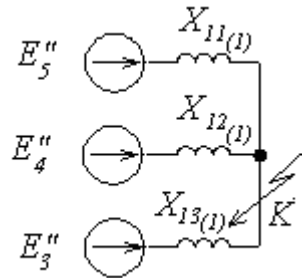


Рис. 5

$$E_5'' = \frac{E_1'' \cdot (x_1 + x_3) + E_2'' \cdot (x_2 + x_4)}{x_1 + x_2 + x_3 + x_4} = \frac{1,14(0,66 + 0,26) + 1,14(0,66 + 0,26)}{0,66 + 0,26 + 0,66 + 0,26} = 1,14;$$

$$x_{11} = \frac{(x_1 + x_3)(x_2 + x_4)}{x_1 + x_3 + x_2 + x_4} = \frac{(0,66 + 0,26)(0,66 + 0,26)}{0,66 \cdot 2 + 0,26 \cdot 2} = 0,46;$$

$$x_{12} = x_8 + x_5 + x_9 = 0,075 + 1,67 + 6,3 = 8,05;$$

$$x_{13} = \frac{x_6 \cdot x_7}{x_6 + x_7} + x_{10} = \frac{0,21 \cdot 0,21}{0,21 + 0,21} + 0,15 = 0,255.$$

Коэффициенты распределения генерирующих ветвей:

$$\text{Г1, Г2: } C_I = \frac{x_{\text{экв}}}{x_{11}} = \frac{0,161}{0,46} = 0,35;$$

$$\text{АД: } C_{II} = \frac{x_{\text{экв}}}{x_{12}} = \frac{0,161}{8,05} = 0,018;$$

$$\text{С: } C_{III} = \frac{x_{\text{экв}}}{x_{13}} = \frac{0,161}{0,255} = 0,631;$$

$$\begin{aligned} x_{\text{экв}} &= x_{11} // x_{12} // x_{13} = \frac{x_{11} \cdot x_{12} \cdot x_{13}}{x_{11} \cdot x_{12} + x_{11} \cdot x_{13} + x_{12} \cdot x_{13}} = \\ &= \frac{0,46 \cdot 8,05 \cdot 0,255}{0,46 \cdot 8,05 + 0,46 \cdot 0,255 + 8,05 \cdot 0,255} = 0,161. \end{aligned}$$

Схема замещения ОП (рис. 6):

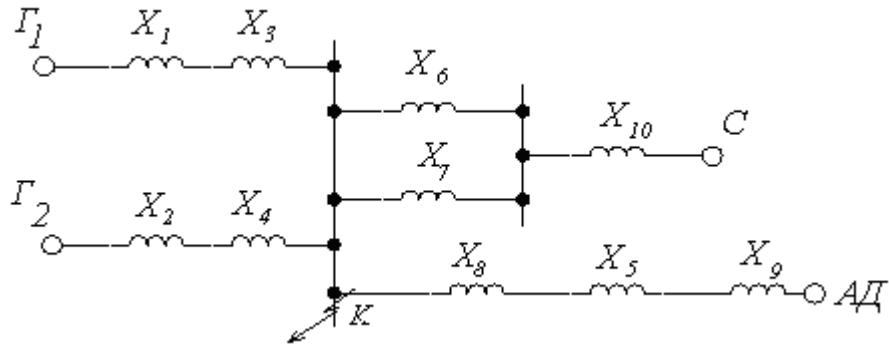


Рис. 6

Сопротивления элементов схемы ОП такие же, как в схеме ПП, кроме генераторов. Для генераторов имеем:

$$x_{1(2)} = x_{2(2)} = 1,45 \cdot x_{1(1)} = 1,45 \cdot 0,66 = 0,96.$$

Преобразуем схему (рис. 7) и определим сопротивления генерирующих ветвей для ОП:

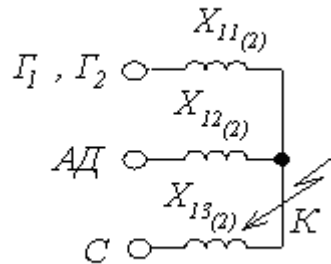


Рис. 7

$$x_{11(2)} = (x_{1(2)} + x_3) // (x_{2(2)} + x_4) = 0,61; x_{12(2)} = x_{12(1)} = 8,05; x_{13(2)} = x_{13(1)} = 0,255.$$

Резльтирующее сопротивление ОП:

$$x_{2\Sigma} = x_{11(2)} // x_{12(2)} // x_{13(2)} = 0,176.$$

Схема замещения НП (рис. 8):

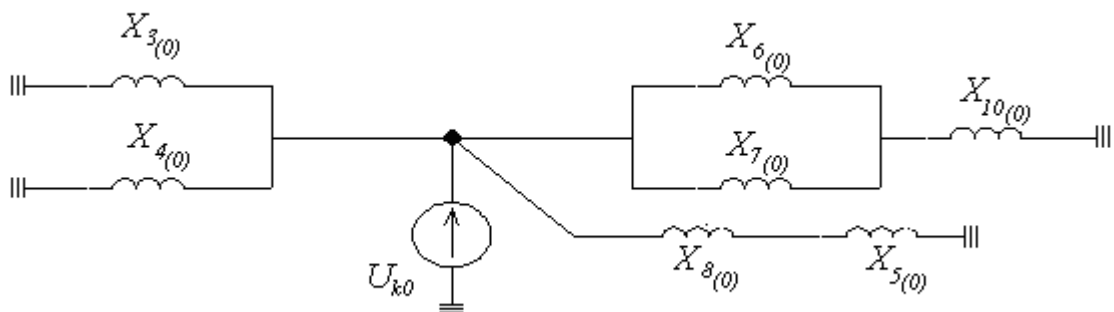


Рис. 8

Сопротивления элементов схемы:

$$T1, T2: \quad x_{3(o)} = x_{4(o)} = x_{3(1)} = 0,26;$$

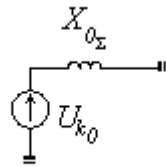
$$T3: \quad x_{5(o)} = x_{5(1)} = 1,67;$$

$$ВЛ1: \quad x_{6(o)} = x_{7(o)} = 4,7 \cdot x_{6(1)} = 4,7 \cdot 0,21 = 1,0;$$

ВЛ2: $x_{8(o)} = 3,5 \cdot x_{8(1)} = 3,5 \cdot 0,075 = 0,263;$

С: $x_{10(o)} = x_{c(o)} \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta II}^2} = 60 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,45.$

Преобразуем схему (рис. 9) и определим результирующее (суммарное) сопротивление схемы относительно точки к. з.:



$$\begin{aligned} x_{o\Sigma} &= (x_3 // x_4) // (x_8 + x_5) // \\ & // [(x_6 // x_7) + x_{10}] = \\ & = \left(\frac{0,26 \cdot 0,26}{0,26 + 0,26} \right) // (0,263 + 1,67) // \\ & // \left[\frac{1 \cdot 1}{1 + 1} + 0,45 \right] = 1,08. \end{aligned}$$

Рис. 9

Распределим результирующее сопротивление по генерирующим ветвям.

Г1, Г2: $x_{11(o)} = \frac{x_{o\Sigma}}{C_I} = \frac{1,08}{0,35} = 3,08;$

АД: $x_{12(o)} = \frac{x_{o\Sigma}}{C_{II}} = \frac{1,08}{0,018} = 60;$

С: $x_{13(o)} = \frac{x_{o\Sigma}}{C_{III}} = \frac{1,08}{0,631} = 1,71.$

Расчет двухфазного к. з. в точке «К».

Комплексная схема для определения токов ПП, рис. 10:

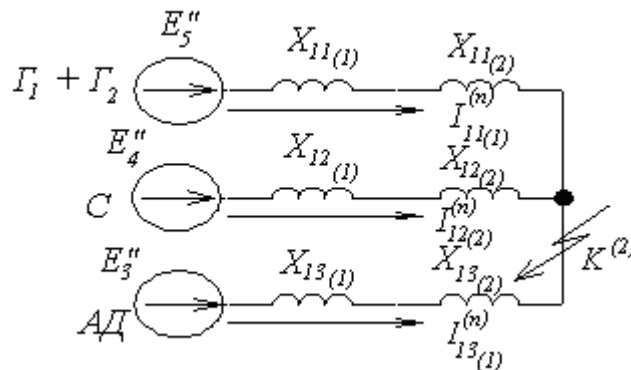


Рис. 10

Токи ПП генерирующих ветвей:

$$I_{11(1)}^{(2)} = \frac{E_5''}{x_{11(1)} + x_{11(2)}} = \frac{1,14}{0,46 + 0,61} = 1,07;$$

$$I_{12(1)}^{(2)} = \frac{E_4''}{x_{12(1)} + x_{12(2)}} = \frac{0,9}{8,05 + 8,05} = 0,05;$$

$$I_{13(1)}^{(2)} = \frac{E_3''}{x_{13(1)} + x_{13(2)}} = \frac{1}{0,255 + 0,255} = 1,96.$$

Полный ток двухфазного к. з.:

$$I_K^{(2)} = m^{(2)} \cdot (I_{11(1)}^{(2)} + I_{12(1)}^{(2)} + I_{13(1)}^{(2)}) \cdot I_{\delta II} = \sqrt{3}(1,07 + 0,05 + 1,96) \cdot 0,5 = 2,66 \text{ кА}.$$

Расчет однофазного к. з. в точке «К».

Комплексная схема для определения токов ПП, рис. 11:

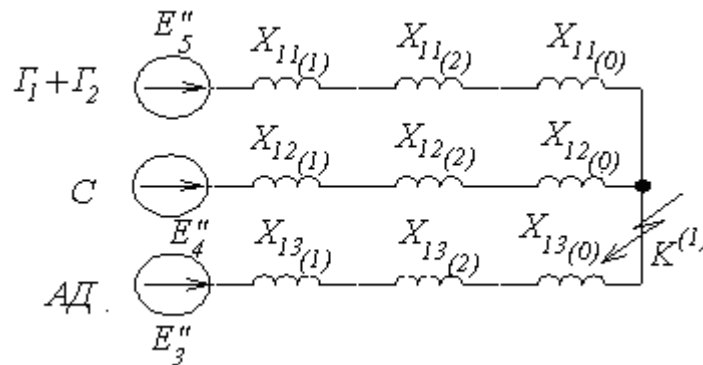


Рис. 11

Токи прямой последовательности генерирующих ветвей:

$$I_{11(1)}^{(1)} = \frac{E_5''}{x_{11(1)} + x_{11(2)} + x_{11(o)}} = \frac{1,14}{0,46 + 0,61 + 3,08} = 0,275;$$

$$I_{12(1)}^{(1)} = \frac{E_4''}{x_{12(1)} + x_{12(2)} + x_{12(o)}} = \frac{0,9}{8,05 + 8,05 + 60} = 0,0118;$$

$$I_{13(1)}^{(1)} = \frac{E_3''}{x_{13(1)} + x_{13(2)} + x_{13(o)}} = \frac{1}{0,255 + 0,255 + 1,71} = 0,45.$$

Полный ток однофазного к. з.:

$$I_K^{(1)} = m^{(1)} \cdot (I_{11(1)}^{(1)} + I_{12(1)}^{(1)} + I_{13(1)}^{(1)}) \cdot I_{\delta II} = \sqrt{3}(0,275 + 0,0118 + 0,45) \cdot 0,5 = 1,1 \text{ кА}.$$

Расчет двухфазного к. з. на землю в точке «К».

Комплексная схема для определения токов ПП (рис. 12):

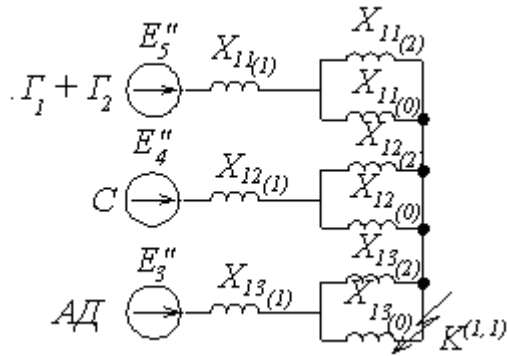


Рис. 12

Токи ПП генерирующих ветвей:

$$I_{11(1)}^{(1,1)} = \frac{E_5''}{x_{11(1)} + x_{11(2)} // x_{11(0)}} = \frac{1,14}{0,46 + \frac{0,61 \cdot 3,08}{0,61 + 3,08}} = 1,17;$$

$$I_{12(1)}^{(1,1)} = \frac{E_4''}{x_{12(1)} + x_{12(2)} // x_{12(0)}} = \frac{0,9}{8,05 + \frac{8,05 \cdot 60}{8,05 + 60}} = 0,06;$$

$$I_{13(1)}^{(1,1)} = \frac{E_3''}{x_{13(1)} + x_{13(2)} // x_{13(0)}} = \frac{1}{0,255 + \frac{0,255 \cdot 1,71}{0,255 + 1,71}} = 2,1.$$

Полный ток двухфазного к. з. на землю:

$$I_K^{(1,1)} = m^{(1,1)} \cdot (I_{11(1)}^{(1,1)} + I_{12(1)}^{(1,1)} + I_{13(1)}^{(1,1)}) \cdot I_{\delta II} = 1,62(1,17 + 0,06 + 2,1) \cdot 0,5 = 2,69 \text{ кА}$$

где

$$m^{(1,1)} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{1 - \frac{x_{2\Sigma} \cdot x_{o\Sigma}}{(x_{2\Sigma} + x_{o\Sigma})^2}} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{1 - \frac{0,176 \cdot 1,08}{(0,176 + 1,08)^2}} = 1,62.$$

Задания для самостоятельного решения

Для самостоятельного решения для практического занятия №2 использовать расчетную схему (рис. 3) из Примера. Исходные данные аналогично данным Примера, кроме:

Вариант	Длина ВЛ1, км	Длина ВЛ2, км	Вариант	Длина ВЛ1, км	Длина ВЛ2, км
1	25	12	26	50	37
2	26	13	27	51	38
3	27	14	28	52	39
4	28	15	29	53	40
5	29	16	30	54	41
6	30	17	31	55	42
7	31	18	32	56	43
8	32	19	33	57	44
9	33	20	34	58	45
10	34	21	35	59	46
11	35	22	36	60	47
12	36	23	37	61	48
13	37	24	38	62	49
14	38	25	39	63	50
15	39	26	40	64	51
16	40	27	41	65	52
17	41	28	42	66	53
18	42	29	43	67	54
19	43	30	44	68	55
20	44	31	45	69	56
21	45	32	46	70	57
22	46	33	47	71	58
23	47	34	48	72	59
24	48	35	49	73	60
25	49	36	50	74	61