

Эквивалентное сопротивление схемы замещения равно:

$$\begin{aligned}\dot{X}_{\text{эк}} &= \dot{X}_1 + \dot{X}_2 + \dot{X}_3 // \dot{X}_4 + \dot{X}_5 + \dot{X}_6 = \\ &= 0,1078 + 0,0644 + (0,1/2) + 0,0665 + 0,25 = 0,5387 \text{ Ом.}\end{aligned}$$

Периодическая составляющая тока в начальный момент короткого замыкания определяется

$$I_{\text{п}0} = \frac{\dot{E}''}{\dot{X}_{\text{эк}}} = \frac{7,684}{0,5387} = 14,26 \text{ кА.}$$

Решение 2 проведем в именованных единицах с учетом коэффициентов трансформации трансформаторов, определенных по средним номинальным напряжениям.

Средние номинальные напряжения, соответствующие напряжениям расчетной схемы, составляют: $U_{\text{срI}} = 15,75 \text{ кВ}$; $U_{\text{срII}} = 230 \text{ кВ}$; $U_{\text{срIII}} = 10,5 \text{ кВ}$.

Значения параметров схемы замещения, приведенной на рис. 2.7, в:

$$\dot{E}'' = E''_{*(\text{НОМ})} \frac{U_{\text{срI}}}{\sqrt{3}} n_1 n_2 = 1,1 \frac{15,75}{\sqrt{3}} \frac{230}{15,75} \frac{10,5}{230} = 6,668 \text{ кВ};$$

$$\dot{X}_1 = X''_{*d(\text{НОМ})} \frac{U_{\text{срI}}^2}{P_{\text{НОМ}} / \cos \varphi_{\text{НОМ}}} n_1^2 n_2^2 =$$

$$= 0,1906 \frac{15,75^2}{220/0,85} \left(\frac{230}{15,75} \right)^2 \left(\frac{10,5}{230} \right)^2 = 0,0812 \text{ Ом};$$

$$\dot{X}_2 = \frac{u_{\text{к}}}{100} \frac{U_{\text{срII}}^2}{S_{\text{НОМ}}} n_2^2 = \frac{11}{220} \frac{230^2}{250} \left(\frac{10,5}{230} \right)^2 = 0,0485 \text{ Ом};$$

$$\dot{X}_3 = \dot{X}_4 = X_{1\text{пог}} I n_2^2 = 0,4 \cdot 100 \left(\frac{10,5}{230} \right)^2 = 0,0834 \text{ Ом};$$

$$\dot{X}_5 = \frac{u_{\text{к}}}{100} \frac{U_{\text{срIII}}^2}{S_{\text{НОМ}}} = \frac{11}{100} \frac{10,5^2}{200} = 0,0606 \text{ Ом};$$

$$\dot{X}_6 = X_{LR} = 0,25 \text{ Ом.}$$

Эквивалентное сопротивление схемы замещения равно

$$\begin{aligned} \dot{X}_{\text{эк}} &= \dot{X}_1 + \dot{X}_2 + \dot{X}_3 // \dot{X}_4 + \dot{X}_5 + \dot{X}_6 = \\ &= 0,0812 + 0,0485 + (0,0834/2) + 0,0606 + 0,25 = 0,482 \text{ Ом.} \end{aligned}$$

Периодическая составляющая тока в начальный момент короткого замыкания составляет

$$I_{\text{п0}} = \frac{\dot{E}''}{\dot{X}_{\text{эк}}} = \frac{6,668}{0,482} = 13,83 \text{ кА.}$$

Решение 3 проведем в относительных единицах с учетом фактических коэффициентов трансформации трансформаторов при базисных условиях: $S_6 = 100 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ и $U_{6\text{III}} = 10 \text{ кВ}$.

Базисный ток основной ступени напряжения и базисные напряжения остальных ступеней напряжения соответственно равны:

$$I_{6\text{III}} = \frac{S_6}{\sqrt{3} U_{6\text{III}}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10} = 5,7735 \text{ кА;}$$

$$U_{6\text{II}} = U_{6\text{III}} \frac{1}{n_2} = 10 \frac{220}{11} = 200 \text{ кВ;}$$

$$U_{6\text{I}} = U_{6\text{III}} \frac{1}{n_1 n_2} = 10 \frac{15,75}{242} \frac{220}{11} = 13,016 \text{ кВ.}$$

Значения параметров схемы замещения, приведенной на рис. 2.7, з, следующие:

$$E_{*(6)}'' = E_{*(\text{НОМ})}'' \frac{U_{\text{НОМ I}}}{U_{6\text{I}}} = 1,1 \frac{15,75}{13,016} = 1,331 ;$$

$$\begin{aligned} X_{*1} &= X_{*d(\text{НОМ})}'' \frac{S_6}{P_{\text{НОМ}} / \cos \varphi_{\text{НОМ}}} \frac{U_{\text{НОМ I}}^2}{U_{6\text{I}}^2} = \\ &= 0,1906 \frac{100}{220/0,85} \frac{15,75^2}{13,016^2} = 0,1078 ; \end{aligned}$$

$$X_{*2(6)} = \frac{u_{\text{к}}}{100} \frac{S_6}{S_{\text{НОМ}}} \frac{U_{\text{НОМ I}}^2}{U_{6\text{I}}^2} = \frac{11}{100} \frac{100}{250} \frac{15,75^2}{13,016^2} = 0,0644 ;$$

$$X_{*3(6)} = X_{*4(6)} = X_{I_{\text{пог}}} l \frac{S_6}{U_{6II}^2} = 0,4 \cdot 100 \frac{100}{200^2} = 0,1 ;$$

$$X_{*5(6)} = \frac{u_k}{100} \frac{S_6}{S_{\text{ном}}} \frac{U_{\text{номIII}}^2}{U_{6III}^2} = \frac{11}{100} \frac{100}{200} \frac{11^2}{10^2} = 0,0665 ;$$

$$X_{*6(6)} = X_{LR} \frac{S_6}{U_{6III}^2} = 0,25 \frac{100}{10^2} = 0,25 .$$

Эквивалентное сопротивление схемы замещения равно

$$\begin{aligned} X_{*\text{эк}(6)} &= X_{*1(6)} + X_{*2(6)} + X_{*3(6)} // X_{*4(6)} + X_{*5(6)} + X_{*6(6)} = \\ &= 0,1078 + 0,0644 + (0,1/2) + 0,0665 + 0,25 = 0,5387. \end{aligned}$$

Периодическая составляющая тока в начальный момент короткого замыкания в относительных единицах

$$I_{*п0(6)} = \frac{E_{*}''(6)}{X_{*\text{эк}(6)}} = \frac{1,331}{0,5387} = 2,471 ,$$

или в именованных единицах

$$I_{п0} = I_{*п0(6)} I_{6III} = 2,471 \cdot 5,7735 = 14,26 \text{ кА}.$$

Решение 4 проведем в относительных единицах с учетом коэффициентов трансформации трансформаторов, определенных по средним номинальным напряжениям, при базисных условиях: $S_6 = 100 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ и $U_{6III} = 10,5 \text{ кВ}$ (за базисное напряжение принято среднее номинальное напряжение).

Базисный ток основной ступени напряжения равен:

$$I_{6III} = \frac{S_6}{\sqrt{3} U_{6III}} = \frac{100}{\sqrt{3} 10,5} = 5,5 \text{ кА}.$$

Базисные напряжения остальных ступеней принимаем равными средним номинальным напряжениям, т.е. $U_{6II} = 230 \text{ кВ}$ и $U_{6I} = 15,75 \text{ кВ}$. В этом случае отношение $U_{\text{ном}}/U_6$ для каждой ступени напряжения равно единице, что упрощает формулы приведения.

С учетом сказанного значения параметров схемы замещения, приведенной на рис. 2.7, д, определяются по формулам:

$$E''_{*(6)} = E''_{*(\text{НОМ})} = 1,1;$$

$$X_{1(6)} = X''_{*d(\text{НОМ})} \frac{S_{\delta}}{P_{\text{НОМ}} / \cos \varphi_{\text{НОМ}}} = 0,1906 \frac{100}{220/0,85} = 0,0736;$$

$$X_{2(6)} = \frac{u_{\kappa}}{100} \frac{S_{\delta}}{S_{\text{НОМ}}} = \frac{11}{100} \frac{100}{250} = 0,044;$$

$$X_{3(6)} = X_{4(6)} = X_{1\text{пор}} l \frac{S_{\delta}}{U_{\delta\text{II}}^2} = 0,4 \cdot 100 \frac{100}{230^2} = 0,0756;$$

$$X_{5(6)} = \frac{u_{\kappa}}{100} \frac{S_{\delta}}{S_{\text{НОМ}}} = \frac{11}{100} \frac{100}{200} = 0,055;$$

$$X_{6(6)} = X_{LR} \frac{S_{\delta}}{U_{\delta\text{III}}^2} = 0,25 \frac{100}{10,5^2} = 0,2268.$$

Эквивалентное сопротивление схемы замещения равно

$$\begin{aligned} X_{*\text{ЭК}(6)} &= X_{1(6)} + X_{2(6)} + X_{3(6)} // X_{4(6)} + X_{5(6)} + X_{6(6)} = \\ &= 0,0736 + 0,044 + (0,0756/2) + 0,055 + 0,2268 = 0,4372. \end{aligned}$$

Периодическая составляющая тока в начальный момент короткого замыкания в относительных единицах

$$I_{*п0(6)} = \frac{E''_{*(6)}}{X_{*\text{ЭК}(6)}} = \frac{1,1}{0,4372} = 2,516,$$

или в именованных единицах

$$I_{п0} = I_{*п0(6)} I_{\delta\text{III}} = 2,516 \cdot 5,5 = 13,83 \text{ кА.}$$

Полученные данные показывают, что результаты расчета не зависят от того, в какой системе единиц производится расчет (результаты решений 1 и 3 одинаковы; одинаковы также результаты решений 2 и 4). Однако результаты расчетов с учетом фактических коэффициентов трансформации трансформаторов и при приближенном их учете существенно различаются.

Задача 2. Для исходной расчетной схемы, представленной на рис. 2.8, а, составить исходную эквивалентную схему замещения прямой последовательности при коротком замыкании в точке K и преобразовать ее в эквивалентную схему. Расчеты провести с использованием системы относительных единиц и с учетом фактических коэффициентов трансформации силовых трансформаторов и автотрансформатора.

Исходные данные:

- генераторы $G1$ и $G2$: $P_{\text{ном}} = 63 \text{ МВт}$; $U_{\text{ном}} = 10,5 \text{ кВ}$; $\cos \varphi_{\text{ном}} = 0,8$; $X_{*d(\text{ном})}'' = 0,136$; до короткого замыкания генераторы работали в режиме холостого хода при номинальном напряжении;
- трансформаторы $T1$ и $T2$: $S_{\text{ном}} = 40 \text{ МВ} \cdot \text{А}$; $n_T = 121/10,5 \text{ кВ}$; $u_K = 10,5 \%$;
- автотрансформатор AT : $S_{\text{ном}} = 125 \text{ МВ} \cdot \text{А}$; $n = 230/121/10,5 \text{ кВ}$; $u_{K \text{ В-С}} = 11 \%$; $u_{K \text{ В-Н}} = 32 \%$; $u_{K \text{ С-Н}} = 20 \%$;
- энергетическая система GS : $S_{\text{ном}} = 2000 \text{ МВ} \cdot \text{А}$; $X_{*(\text{ном})} = 1,0$;
- реактор LR : $U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$; $I_{\text{ном}} = 2500 \text{ А}$; $X_{LR} = 0,35 \text{ Ом}$;
- линии электропередачи $W1$ и $W2$: $l = 50 \text{ км}$; $X_{1\text{пог}} = 0,4 \text{ Ом/км}$.

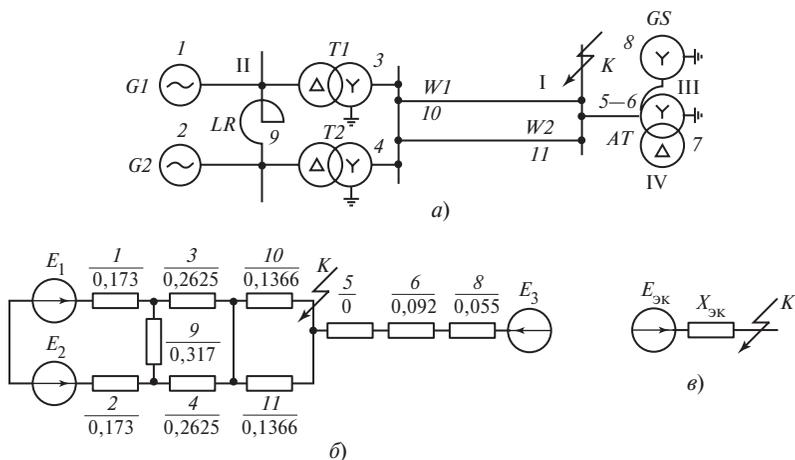


Рис. 2.8. Исходная расчетная схема (а) и схемы замещения прямой последовательности (б, в):

1, 2 — генераторы; 3, 4 — трансформаторы; 5—7 — обмотки автотрансформатора; 8 — электроэнергетическая система; 9 — токоограничивающий реактор; 10, 11 — линии электропередачи; AT — автотрансформатор

Решение. Исходная схема замещения прямой последовательности представлена на рис. 2.8, б.

Обмотка низшего напряжения автотрансформатора не нагружена, поэтому в схему замещения прямой последовательности не вводится.

В качестве базисных единиц выбираем $S_6 = 100 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ и $U_{6I} = 121 \text{ кВ}$. По формуле (2.26) определяем следующие базисные напряжения:

$$U_{6II} = \frac{121}{121/10,5} = 10,5 \text{ кВ};$$

$$U_{6III} = \frac{121}{121/230} = 230 \text{ кВ};$$

$$U_{6IV} = \frac{121}{121/10,5} = 10,5 \text{ кВ}.$$

По формуле (2.10) вычисляем

$$X_{*1(6)} = X_{*2(6)} = 0,136 \frac{100}{63/0,8} \frac{10,5^2}{10,5^2} = 0,173;$$

$$X_{*3(6)} = X_{*4(6)} = \frac{10,5}{100} \frac{100}{40} \frac{10,5^2}{10,5^2} = 0,2625.$$

Для автотрансформатора по (2.39) находим следующие значения:

$$X_{*B(\text{ном})} = 0,005(11 + 32 - 20) = 0,115;$$

$$X_{*C(\text{ном})} = 0,005(11 + 20 - 32) = 0;$$

$$X_{*H(\text{ном})} = 0,005(32 + 20 - 11) = 0,205;$$

$$X_{*5(6)} = 0 \text{ и } X_{*6(6)} = 0,115 \frac{100}{125} \frac{230^2}{230^2} = 0,092.$$

Для энергетической системы обычно принимают $E = U_{\text{ном}} = U_{\text{ср}}$, поэтому индуктивное сопротивление составляет

$$X_{*8(6)} = 1,1 \frac{100}{2000} \frac{230^2}{230^2} = 0,055.$$

По формуле (2.7) имеем:

$$X_{*9(6)} = 0,35 \frac{100}{10,5^2} = 0,317;$$

$$X_{*10(6)} = X_{*11(6)} = 0,4 \cdot 50 \frac{100}{121^2} = 0,1366.$$

ЭДС генераторов:

$$E_{*1(6)} = E_{*2(6)} = \frac{E}{U_{611}} = \frac{10,5}{10,5} = 1,0.$$

ЭДС энергетической системы:

$$E_{*3(6)} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{U_{6111}} = \frac{230}{230} = 1,0.$$

Поскольку $E_{*1(6)} = E_{*2(6)}$, $X_{*1(6)} = X_{*2(6)}$ и $X_{*3(6)} = X_{*4(6)}$, то при коротком замыкании в точке K потенциалы с обеих сторон реактора одинаковы, поэтому он может быть закорочен или исключен. Это упрощает задачу преобразования схемы:

$$X_{*12(6)} = X_{*1(6)} + X_{*3(6)} + X_{*10(6)} = 0,173 + 0,2625 + 0,1366 = 0,5721;$$

$$X_{*13(6)} = X_{*2(6)} + X_{*4(6)} + X_{*11(6)} = 0,173 + 0,2625 + 0,1366 = 0,5721;$$

$$\begin{aligned} E_{*4(6)} &= E_{*1(6)} // E_{*2(6)} = \frac{E_{*1(6)} X_{*13(6)} + E_{*2(6)} X_{*12(6)}}{X_{*13(6)} + X_{*12(6)}} = \\ &= \frac{1 \cdot 0,5721 + 1 \cdot 0,5721}{0,5721 + 0,5721} = 1,0; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_{*14(6)} &= X_{*12(6)} // X_{*13(6)} = \frac{X_{*12(6)} X_{*13(6)}}{X_{*12(6)} + X_{*13(6)}} = \\ &= \frac{0,5721 \cdot 0,5721}{0,5721 + 0,5721} = 0,286; \end{aligned}$$

$$X_{*15(6)} = X_{*5(6)} + X_{*6(6)} + X_{*8(6)} = 0 + 0,092 + 0,055 = 0,147;$$

$$X_{* \text{эк}(6)} = X_{*14(6)} // X_{*15(6)} = \frac{X_{*14(6)} X_{*15(6)}}{X_{*14(6)} + X_{*15(6)}} = \frac{0,286 \cdot 0,147}{0,286 + 0,147} = 0,097;$$

$$E_{* \text{эк}(6)} = E_{*3(6)} // E_{*4(6)} = \frac{E_{*3(6)} X_{*14(6)} + E_{*4(6)} X_{*15(6)}}{X_{*14(6)} + X_{*15(6)}} =$$

$$= \frac{1 \cdot 0,286 + 1 \cdot 0,147}{0,286 + 0,147} = 1,0.$$

Эквивалентная схема замещения прямой последовательности, полученная в результате преобразований исходной схемы замещения, представлена на рис. 2.8, в.

Контрольные вопросы

1. Чем отличается схема замещения электрической цепи от исходной расчетной схемы?
2. Какие системы единиц измерения используются при составлении схем замещения?
3. Какими преимуществами обладает система относительных единиц перед системой именованных единиц?
4. Сколько базисных единиц измерения электрических величин можно выбрать произвольно?
5. Как связаны между собой сопротивление какого-либо элемента электрической цепи в относительных единицах и падение напряжения в этом элементе при токе, принятом за базисный?
6. Можно ли складывать сопротивления последовательно включенных элементов электрической цепи, выраженных в относительных единицах, при номинальных условиях этих элементов?
7. Какими преимуществами и недостатками обладают схемы замещения, в которых сохраняются трансформаторные связи между различными ступенями напряжения?
8. Как определяются коэффициенты трансформации каскадно включенных трансформаторов при выбранной основной (базисной) ступени напряжения?
9. Какие существуют способы составления схем замещения с исключением трансформаторных связей между различными ступенями напряжения?
10. Зависят ли результаты расчетов переходных процессов от принятого способа составления схемы замещения?
11. Что называется коэффициентом расщепления трансформаторов с расщепленной обмоткой низшего напряжения?