

## Практическое занятие 4.1. Расчет тока трехфазного к. з. для любого момента времени переходного процесса

Для определения тока в месте замыкания широко применяется метод расчетных кривых. Метод основан на применении специальных кривых  $\gamma_t = f(t, I_{no}^* (ном))$ .

Порядок расчета:

1. Составляют эквивалентную схему для определения начального тока к. з.  $I_{no}$  и определяют значения сверхпереходных эдс  $E''$  генераторов и нагрузок и сопротивления элементов схемы, например в относительных базисных единицах.

2. Преобразуют схему замещения к радиальному виду, выделив отдельные генерирующие ветви (рис. 1).

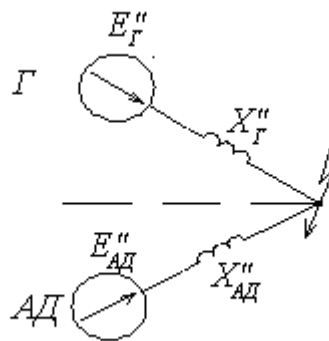


Рис. 8

3. Аналитически определяют начальные значения токов генерирующих ветвей

$$I_{no}^*(\bar{\sigma}) = \frac{E''_{*}(\bar{\sigma})}{X''_{*}(\bar{\sigma})},$$

и относительное значение тока

$$I_{no}^*(ном) = \frac{I_{no}^*(\bar{\sigma}) \cdot I_{\bar{\sigma}}}{\dot{I}_{ном}},$$

где  $I_{\bar{\sigma}}$  – базисный ток на той ступени напряжения, где находится точка к. з.;

$\dot{I}_{ном}$  – номинальный ток генерирующей ветви, приведенный к напряжению ступени, где находится точка к. з.;

$$\dot{I}_{ном} = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_{ср.к} \cdot \eta \cdot \cos \varphi} \text{ – для асинхронных двигателей.}$$

$$\dot{I}_{ном} = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_{ср.к}} \text{ – для синхронных генераторов, двигателей и компенсаторов}$$

ров

$U_{ср.к.}$  – среднее номинальное напряжение ступени где находится точка к. з.

4. По расчетным кривым  $\gamma_t = f(t, I_{no} * (ном))$  для заданных  $t$  и  $I_{no} * (ном)$  находят отношение токов:  $\gamma_t = I_{nt} / I_{no}$ .

5. Определяют действующее значение периодической составляющей тока к. з. в момент времени  $t$  в именованных единицах:

$$I_{nt} = \gamma_t \cdot I_{no} * (ном) \cdot \dot{I}_{ном}$$

**Пример.** Для заданной расчетной схемы (рис. 2) определить ток трехфазного к. з. в следующие моменты времени переходного процесса:  $t = 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$  с. Генераторы имеют тиристорную систему самовозбуждения.

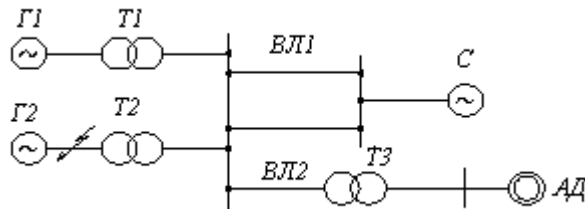


Рис. 2

Исходные данные:

Г1, Г2:  $S_n = 36 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ ;  $U_n = 10,5 \text{ кВ}$ ;  $x''_{d*} = 0,15$ ;  $\cos \varphi_{(o)} = 0,9$ ;  $I_{(o)} = 1,0$

Т1, Т2:  $S_n = 40 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ ;  $10,5/121 \text{ кВ}$ ;  $u_k = 10,5 \%$ ;

ВЛ1:  $\ell = 50 \text{ км}$ ;  $x_{y\partial} = 0,4 \text{ Ом/км}$ ;

ВЛ2:  $\ell = 25 \text{ км}$ ;  $x_{y\partial} = 0,4 \text{ Ом/км}$ ;

Т3:  $S_n = 10 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ ;  $110/6,3 \text{ кВ}$ ;  $u_k = 10,5 \%$ ;

С:  $x_c = 10 \text{ Ом}$ ;

АД:  $P_n = 4,5 \text{ МВт}$ ;  $U_n = 6 \text{ кВ}$ ;  $\cos \varphi = 0,86$ ;  $\eta = 0,9$ ;  $K_n = 5$ ;  $I_{(o)} = 0,9$ .

Намечаем ступени напряжения и устанавливаем на них базисные единицы:

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

$$U_{\delta I} = 10,5 \text{ кВ}; \quad I_{\delta I} = 5,5 \text{ кА};$$

$$U_{\delta II} = 115 \text{ кВ}; \quad U_{\delta III} = 6,3 \text{ кВ}.$$

Составим схему замещения для определения тока  $I_{no}$  (рис. 3):

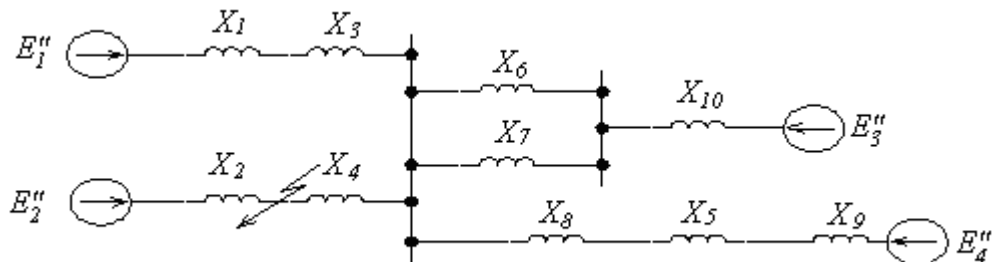


Рис. 3

Определяем сопротивления элементов схемы в относительных базисных единицах. Приведение приближенное. Знак  $*$ ( $\bar{o}$ ) в расчетах опускаем.

$$\Gamma 1; \Gamma 2: \quad x_1 = x_2 = x_d'' \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{S_H} = 0,15 \frac{100}{36} = 0,42;$$

$$\Gamma 1; \Gamma 2: \quad x_3 = x_4 = \frac{u_K \% S_{\bar{o}}}{100 S_H} = \frac{10,5}{100} \frac{100}{40} = 0,26;$$

$$\Gamma 3: \quad x_5 = \frac{u_K \% S_{\bar{o}}}{100 S_H} = \frac{10,5}{100} \frac{100}{10} = 1,06;$$

$$\text{ВЛ1:} \quad x_6 = x_7 = x_{y\partial} \cdot \ell \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{U_{\bar{o}II}^2} = 0,4 \cdot 50 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,15;$$

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

$$\text{АД:} \quad x_9 = \frac{1}{K_n} \frac{S_{\bar{o}} \cdot \cos \varphi \cdot \eta}{P_H} = \frac{1}{5} \frac{100 \cdot 0,9 \cdot 0,86}{4,5} = 3,44;$$

$$\text{С:} \quad x_{10} = x_c \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{U_{\bar{o}II}^2} = 10 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,075.$$

Сверхпереходные эдс:

$$\Gamma 1, \Gamma 2: \quad E_1'' = E_2'' = U_{(o)*} + I_{(o)*} \cdot x_d'' \cdot \sin \varphi_{(o)} = 1 + 1 \cdot 0,15 \cdot 0,44 = 1,07;$$

$$\text{С:} \quad E_3'' = 1,0;$$

$$\text{АД:} \quad E_4'' = U_{(o)*} - I_{(o)*} \cdot \frac{1}{K_n} \cdot \sin \varphi_{(o)} = 1 - 0,9 \cdot \frac{1}{5} \cdot 0,51 = 0,91.$$

Преобразуем схему, выделив в качестве генерирующих ветвей (рис. 12):

I – система С (источник неограниченной мощности, ток определяется аналитически);

II – асинхронный двигатель АД (используются специальные кривые для АД [2]);

III – генератор Г1 – имеет разную удаленность от точки к. з.

IV – генератор Г2 – имеет разную удаленность от точки к. з.

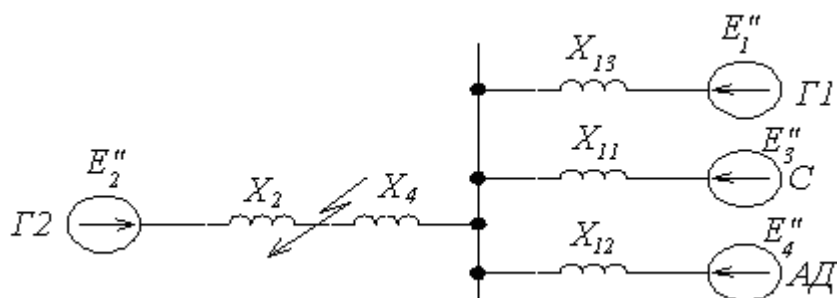


Рис. 4

$$x_{11} = \frac{x_6}{2} = x_{10} = \frac{0,15}{2} + 0,075 = 0,15;$$

$$x_{12} = x_5 + x_8 + x_9 = 1,05 + 0,075 + 3,44 = 4,656;$$

$$x_{13} = x_1 + x_3 = 0,42 + 0,26 = 0,68.$$

Преобразуем схему, приведя ее к радиальному виду (рис. 5):

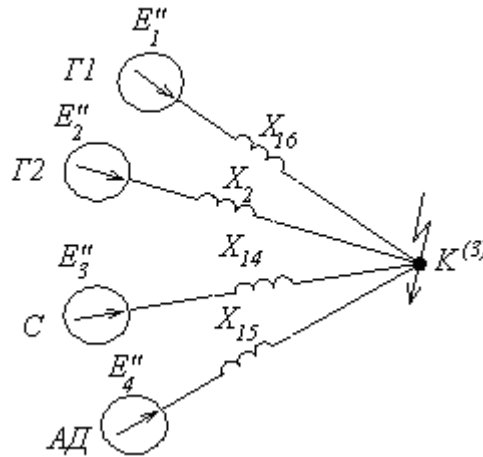


Рис. 5

$$x_{14} = \frac{x_{\Sigma}}{C_I} = \frac{0,38}{0,8} = 0,475; x_{15} = \frac{x_{\Sigma}}{C_{II}} = \frac{0,38}{0,026} = 14,6; x_{16} = \frac{x_{\Sigma}}{C_{III}} = \frac{0,38}{0,174} = 2,18;$$

$$x_{\text{экв}} = x_{11} // x_{12} // x_{13} = \frac{x_{11} \cdot x_{12} \cdot x_{13}}{x_{11} \cdot x_{12} + x_{11} \cdot x_{13} + x_{12} \cdot x_{13}} =$$

$$= \frac{0,15 \cdot 4,656 \cdot 0,68}{0,15 \cdot 4,656 + 0,15 \cdot 0,68 + 0,68 \cdot 4,656} = 0,12;$$

$$C_I = \frac{x_{\text{экв}}}{x_{11}} = \frac{0,12}{0,15} = 0,8; C_{II} = \frac{x_{\text{экв}}}{x_{12}} = \frac{0,12}{4,656} = 0,026; C_{III} = \frac{x_{\text{экв}}}{x_{13}} = \frac{0,12}{0,68} = 0,174;$$

$$x_{\Sigma} = x_{\text{экв}} + x_4 = 0,12 + 0,26 = 0,38.$$

Определяем начальные значения токов генерирующих ветвей.

I-я ветвь – Система:

$$I_{14^{*(\bar{b})}}'' = \frac{E_3''}{x_{14^{*(\bar{b})}}} = \frac{1,0}{0,475} = 2,1.$$

II-я ветвь – АД:

$$I_{15^{*(\bar{b})}}'' = \frac{E_4''}{x_{15^{*(\bar{b})}}} = \frac{0,91}{14,6} = 0,062.$$

III-я ветвь – Г1:

$$I''_{16^{*(\bar{b})}} = \frac{E_1''}{x_{16^{*(\bar{b})}}} = \frac{1,07}{2,18} = 0,49.$$

IV-я ветвь – Г2:

$$I''_{2^{*(\bar{b})}} = \frac{E_2''}{x_{2^{*(\bar{b})}}} = \frac{1,07}{0,42} = 2,55.$$

Ток к. з. от системы неизменен по величине во время переходного процесса и в именованных единицах определяется по выражению

$$I''_{14} = I_{14\infty} = I''_{14^{*(\bar{b})}} \cdot I_{\bar{b}I} = 2,1 \cdot 5,5 = 11,55 \text{ кА.}$$

От остальных генерирующих ветвей ток в заданные моменты времени определяют по расчетным кривым. Для этого находят относительные значения токов  $I_{no^{*(ном)}}$ :

$$I_{no^{*(ном)15}} = \frac{I''_{15^{*(\bar{b})}} \cdot I_{\bar{b}I}}{I_{номАД}} = \frac{0,062 \cdot 5,5}{0,32} = 1,07,$$

где

$$I_{номАД} = \frac{P_n}{\sqrt{3}U_{ср.к} \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{4,5}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 0,9 \cdot 0,86} = 0,32 \text{ кА,}$$

$$I_{no^{*(ном)16}} = \frac{I''_{16^{*(\bar{b})}} \cdot I_{\bar{b}I}}{I_{номГ1}} = \frac{0,49 \cdot 5,5}{1,98} = 1,36,$$

где

$$I_{номГ1} = \frac{S_n}{\sqrt{3}U_{ср.к}} = \frac{36}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 1,98 \text{ кА} = I_{номГ2};$$

$$I_{no^{*(ном)2}} = \frac{I''_{2^{*(\bar{b})}} \cdot I_{\bar{b}I}}{I_{номГ2}} = \frac{2,55 \cdot 5,5}{1,98} = 7,1.$$

Так как для генерирующих ветвей II(АД) и III(Г1) значения относительного тока  $I_{no^{*(ном)}} < 2$ , то периодическая составляющая тока к. з. от указанных ветвей принимается неизменной во времени. Следовательно,

$$I''_{15} = I_{15\infty} = I''_{15^{*(\bar{b})}} \cdot I_{\bar{b}I} = 0,062 \cdot 5,5 = 0,34 \text{ кА;}$$

$$I''_{16} = I_{16\infty} = I''_{16^{*(\bar{b})}} \cdot I_{\bar{b}I} = 0,49 \cdot 5,5 = 2,7 \text{ кА.}$$

Значения периодической составляющей тока к. з. для генерирующей ветви IV(Г2) для заданных моментов времени определены по расчетным кривым и представлены в таблице 1.

Значения полного тока к. з. от всех генерирующих ветвей для заданных моментов времени приведены в таблице 2.

Т а б л и ц а 1

$t, \text{ с}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	$\infty$
$\gamma_t$	1	0,72	0,66	0,62	0,58	0,56	0,25
$I_{nt} = \gamma_t \cdot I_{no^{*(ном)}} \cdot I_{ном}$	14	10,1	9,2	8,7	8,1	7,8	3,53

Т а б л и ц а 2

$t, c$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	$\infty$
$I_k^{(3)}, kA$	28,59	24,69	23,79	23,29	22,69	22,39	18,12

### Задания для самостоятельного решения

Ознакомиться с краткими теоретическими сведениями и примерами из разделов 1-3.

- 1) Для самостоятельного решения использовать расчетную схему (рис. 2) из Примера (п. 2.5). 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