

Содержание

1	Расчет токов короткого замыкания	3
1.1	Расчет параметров схемы замещения	4
2	Статическая устойчивость двигательной нагрузки	22
2.1	Расчет статической устойчивости АД	29
3	Динамическая устойчивость СД	31

diplom-electro.ru

1 Расчет токов короткого замыкания

Вар 15341

Исходная схема сети представлена на рисунке

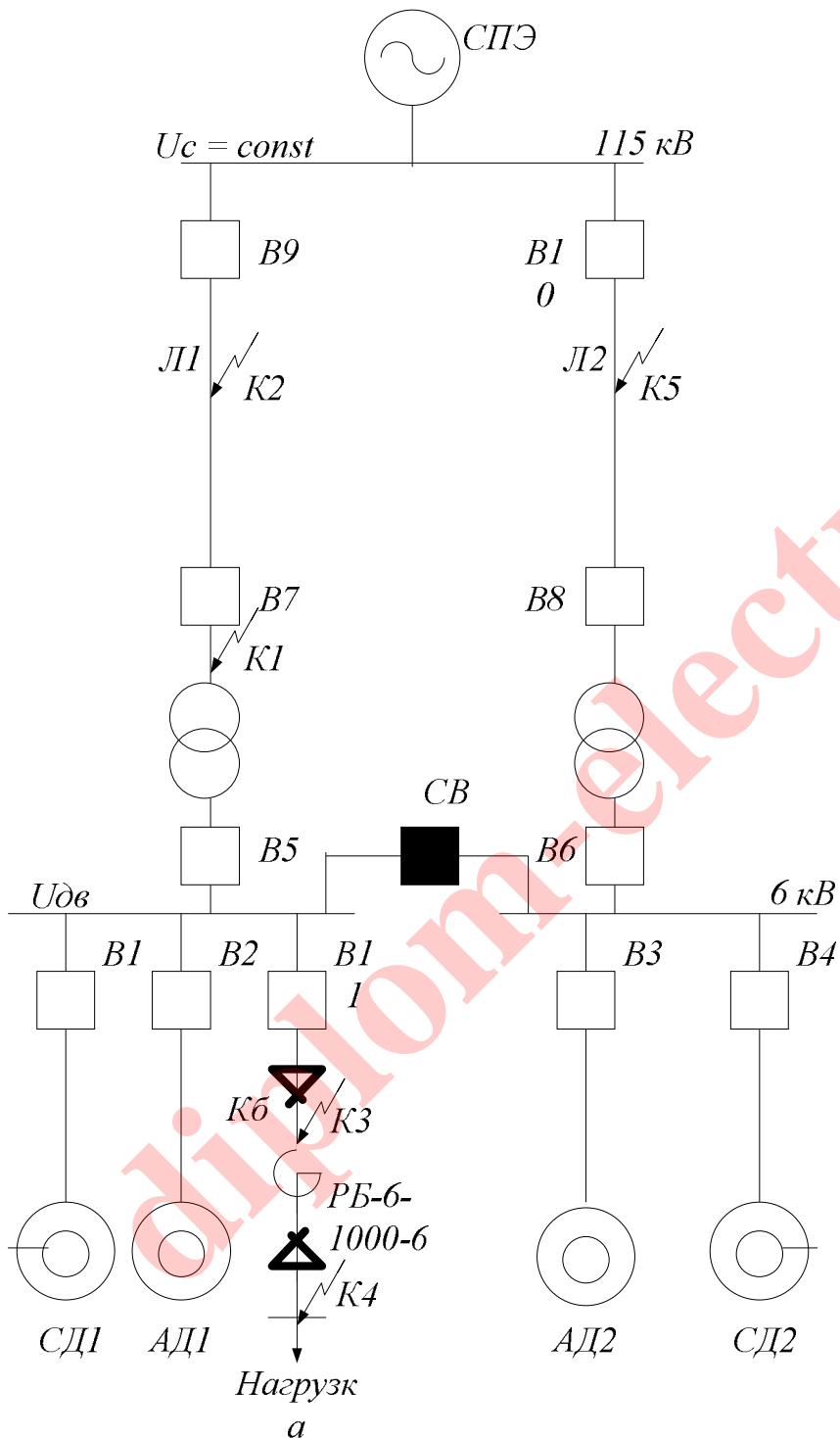


Рисунок 1.1-Исходная схема сети

Точка короткого замыкания – K_4

1.1 Расчет параметров схемы замещения

Так как точка КЗ электрически удалена от всех источников то схема замещения преобразуется в конечную однолучевую схему с параметрами эквивалентного источника.

Схемы замещения в таких случаях составляют для начального момента времени КЗ и потому все источники входят в них своими сверхпереходными параметрами [1]

Так как активные сопротивления элементов пренебрежимо малы, то элементы на схеме представляются своими индуктивными сопротивлениями [1, с.21].

Сопротивления элементов схемы определяем в относительных единицах используя формулы [1]

Принимаем базисные величины

Среднее номинальное напряжение для точки КЗ $U_{\text{ср.ном}} = 6,3$ кВ

Базисная мощность $S_{\text{б}} = 100$ МВ · А

Тогда базисный ток

$$I_{\text{б}} = \frac{S_{\text{б}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ср.ном}}} \quad (1.1)$$

$$I_{\text{б}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 9,164 \text{ кА}$$

Определяем параметры энергосистемы 1 $E_{\text{с}} = 1$

$$X_{*c} = \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{кз}}} \quad (1.2)$$

$$X_{*c} = \frac{100}{1100} = 0,091 \text{ о. е.}$$

где мощность КЗ системы принимаем $S_{\text{кз}} = 1100$ МВ · А

Активное сопротивление системы пренебрежимо мало, поэтому ем $R_{\text{с}} = 0$ о. е.

Сопротивление трансформатора Т1

$$X_{*T1} = \frac{u_{K\%} \cdot S_{\sigma}}{100 \cdot S_{\text{НОМТ1}}} \quad (1.3)$$

$$X_{*T1} = \frac{10,5 \cdot 100}{100 \cdot 2,5} = 4,2 \text{ о. е.}$$

$$R_{*T1} = \frac{X_{*T1}}{x/r} \quad (1.4)$$

$$R_{*T1} = \frac{4,2}{10} = 0,42 \text{ о. е.}$$

где для трансформатора принимаем [1, табл. 6.2] $x/r = 10$

где $u_{K\%} = 10,5 \%$

$$S_{\text{НОМТ1}} = \frac{2500}{1000} \quad (1.5)$$

$$S_{\text{НОМТ1}} = \frac{2500}{1000} = 2,5 \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

$$N_{T1} = 1 \text{ шт.}$$

Сопротивление трансформатора Т2 $X_{*T2} = X_{*T1} = 4,2 \text{ о. е.}$

Определяем параметры линий

Определим сопротивление воздушной линии 110 кВ $U_{\text{НОМ}} = 110 \text{ кВ}$

Средненоминальное напряжение $U_{\text{ср.ном}} = 115 \text{ кВ}$; $\ell_1 = 10 \text{ км}$

Каталожные данные провода :

$$r_0 = 0,428 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}; \quad x_0 = 0,444 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}; \quad b_0 = 2,55 \cdot 10^{-6} * \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$$

Сопротивление одной линии

$$X_{*Л1} = \ell_1 \cdot x_0 \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{\text{ср.ном}}^2} \quad (1.6)$$

$$X_{*Л1} = 10 \cdot 0,444 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,034 \text{ о. е.}$$

$$R_{л} = \ell_1 \cdot r_0 \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср.ном}}^2} \quad (1.7)$$

$$R_{л} = 10 \cdot 0,428 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,032 \text{ о. е.}$$

Определяем мощность нагрузки асинхронного двигателя

$$P_{\text{АД}} = k_{\text{загр}} \cdot P_{\text{ном.АД}} \quad (1.8)$$

$$P_{\text{АД}} = 0,8 \cdot 3,2 = 2,56 \text{ МВт}$$

$$k_{\text{загр}} = 0,8$$

$$P_{\text{ном.АД}} = \frac{3200}{1000} \quad (1.9)$$

$$P_{\text{ном.АД}} = \frac{3200}{1000} = 3,2 \text{ МВт}$$

$$\cos\varphi = 0,9$$

$$Q_{\text{АД}} = P_{\text{АД}} \cdot \text{tg}(\arccos(\cos\varphi)) \quad (1.10)$$

$$Q_{\text{АД}} = 2,56 \cdot \text{tg}(\arccos(0,9)) = 1,24 \text{ Мвар}$$

$$S_{\text{АД}} = \frac{P_{\text{АД}}}{\cos\varphi} \quad (1.11)$$

$$S_{\text{АД}} = \frac{2,56}{0,9} = 2,84 \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

Определяем мощность нагрузки синхронного двигателя

$$P_{\text{СД}} = k_{\text{загр}} \cdot P_{\text{ном.СД}} \quad (1.12)$$

$$P_{\text{СД}} = 0,6 \cdot 5 = 3 \text{ МВт}$$

$$k_{\text{загр}} = 0,6$$

$$P_{\text{ном.СД}} = \frac{5000}{1000} \quad (1.13)$$

$$P_{\text{ном.СД}} = \frac{5000}{1000} = 5 \text{ МВт}$$

$$\cos\varphi = 0,9$$

$$Q_{CD} = P_{CD} \cdot \operatorname{tg}(\arccos(\cos\varphi)) \quad (1.14)$$

$$Q_{CD} = 3 \cdot \operatorname{tg}(\arccos(0,9)) = 1,45 \text{ Мвар}$$

$$S_{CD} = \frac{P_{CD}}{\cos\varphi} \quad (1.15)$$

$$S_{CD} = \frac{3}{0,9} = 3,33 \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

Тогда общая мощность нагрузки подключенная к одной секции

$$S_H = S_{AD} + S_{CD} \quad (1.16)$$

$$S_H = 2,84 + 3,33 = 6,17 \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

Сопротивление асинхронного двигателя

$$X_{ад*} = X_d \cdot \frac{S_6}{\frac{P_{ном.АД}}{\cos\varphi}} \quad (1.17)$$

$$X_{ад*} = 0,2 \cdot \frac{100}{\frac{3,2}{0,9}} = 5,625 \text{ о. е.}$$

$$X_d = 0,2 \text{ о. е.}; P_{ном.АД} = 3,2 \text{ МВт}; \cos\varphi = 0,9$$

$$R_{ад*} = \frac{X_{ад*}}{x/r} \quad (1.18)$$

$$R_{ад*} = \frac{5,625}{14} = 0,402 \text{ о. е.}$$

$$x/r = 14$$

ЭДС асинхронных двигателей принимаем [1, табл. 6.1] $E_{AD} = 0,9$

Сопротивление синхронного двигателя

$$X_{сд*} = X'_d \cdot \frac{S_6}{\frac{P_{ном.СД}}{\cos\varphi}} \quad (1.19)$$

$$X_{сд*} = 0,249 \cdot \frac{100}{\frac{5}{0,9}} = 4,482 \text{ о. е.}$$

$$X'_d = 0,249 \text{ о. е.}; P_{\text{ном.СД}} = 5 \text{ МВт}; \cos\varphi = 0,9$$

$$R_{\text{СД}^*} = r_{\text{ДВ}} \cdot \frac{S_6 \cdot \cos\varphi}{P_{\text{ном.СД}}} \quad (1.20)$$

$$R_{\text{СД}^*} = 0,012 \cdot \frac{100 \cdot 0,9}{5} = 0,216 \text{ о. е.}$$

$$r_{\text{ДВ}} = 0,012 \text{ о. е.}$$

ЭДС синхронных двигателей принимаем [1, табл. 6.1] $E_{\text{СД}} = 1,1 \text{ о. е.}$

Реактивное сопротивление реактора РБ-6-1000-6

$$X_{\text{р}^*} = X_{\text{р}} \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср}}^2} \quad (1.21)$$

$$X_{\text{р}^*} = 0,14 \cdot \frac{100}{6,3^2} = 0,353 \text{ о. е.}$$

средненоминальное напряжение ступени установки реактора $U_{\text{ср}} = 6,3 \text{ кВ}$

номинальное напряжение реактора $U_{\text{н}} = 6 \text{ кВ}$

сопротивление реактора принимаем по справочнику $X_{\text{р}} = 0,14 \text{ Ом}$

Активное сопротивление реактора

$$R_{\text{р}^*} = \frac{X_{\text{р}^*}}{x/r} \quad (1.22)$$

$$R_{\text{р}^*} = \frac{0,353}{50} = 7 \cdot 10^{-3} \text{ о. е.}$$

$$x/r = 50$$

Расчет трехфазного КЗ

Нагрузкой от двигателей АД2 и СД2 можно пренебречь, так как они значительно электрически удалены от места КЗ и кроме того подключены параллельно системе большой мощности.

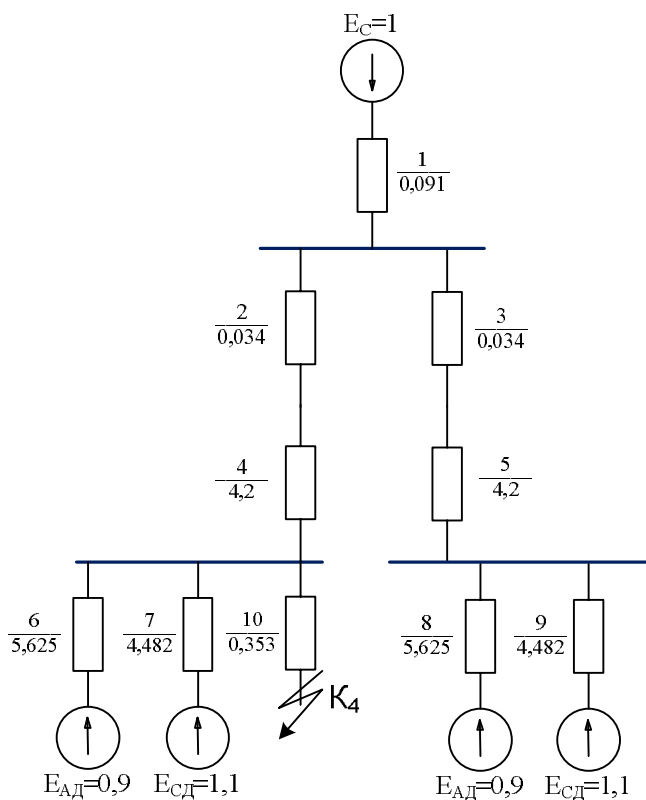


Рисунок 1.2-Схема замещения прямой последовательности

Нагрузки, подключенные ко 2-ой секции значительно удаленной от места КЗ, можно исключить из схемы.

Эквивалентизируем последовательные элементы

$$X_{11} = X_1 + X_2 + X_4 \quad (1.23)$$

$$X_{11} = 0,091 + 0,034 + 4,2 = 4,325$$

Результаты преобразования схемы представлены на схеме:

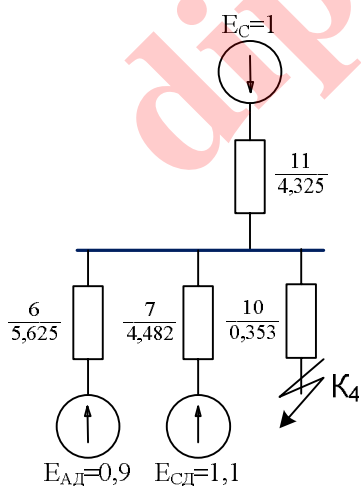


Рисунок 1.3-Результаты преобразования схемы прямой последовательности

Преобразуем схему по методу коэффициентов распределения

$$X_{\text{ЭКВ}} = \frac{1}{\frac{1}{X_{11}} + \frac{1}{X_6} + \frac{1}{X_7}} \quad (1.24)$$

$$X_{\text{ЭКВ}} = \frac{1}{\frac{1}{4,325} + \frac{1}{5,625} + \frac{1}{4,482}} = 1,582$$

$$X_{\text{рез}} = X_{\text{ЭКВ}} + X_{10} \quad (1.25)$$

$$X_{\text{рез}} = 1,582 + 0,353 = 1,935$$

$$C_1 = \frac{X_{\text{ЭКВ}}}{X_{11}} \quad (1.26)$$

$$C_1 = \frac{1,582}{4,325} = 0,366$$

$$C_2 = \frac{X_{\text{ЭКВ}}}{X_6} \quad (1.27)$$

$$C_2 = \frac{1,582}{5,625} = 0,281$$

$$C_3 = \frac{X_{\text{ЭКВ}}}{X_7} \quad (1.28)$$

$$C_3 = \frac{1,582}{4,482} = 0,353$$

$$X_{12} = \frac{X_{\text{рез}}}{C_1} \quad (1.29)$$

$$X_{12} = \frac{1,935}{0,366} = 5,287$$

$$X_{13} = \frac{X_{\text{рез}}}{C_2} \quad (1.30)$$

$$X_{13} = \frac{1,935}{0,281} = 6,886$$

$$X_{14} = \frac{X_{\text{рез}}}{C_3} \quad (1.31)$$

$$X_{14} = \frac{1,935}{0,353} = 5,482$$

Результаты преобразования схемы представлены на схеме:

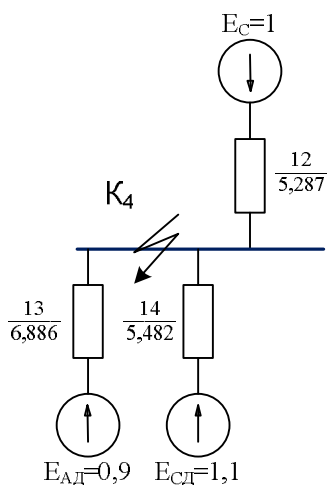


Рисунок 1.4-Результаты преобразования схемы прямой последовательности

Определяем периодические слагающие тока прямой последовательности трехфазного короткого замыкания

$$I_{пс} = \frac{E_c}{X_{12}} \cdot I_6 \quad (1.32)$$

$$I_{пс} = \frac{1}{5,287} \cdot 9,164 = 1,733 \text{ кА}$$

$$I_{пAД} = \frac{E_{AД}}{X_{13}} \cdot I_6 \quad (1.33)$$

$$I_{пAД} = \frac{0,9}{6,886} \cdot 9,164 = 1,198 \text{ кА}$$

$$I_{пCД} = \frac{E_{CД}}{X_{14}} \cdot I_6 \quad (1.34)$$

$$I_{пCД} = \frac{1,1}{5,482} \cdot 9,164 = 1,839 \text{ кА}$$

Аналогично определяем активные сопротивления ветвей схемы замещения

Эквивалентуем последовательные элементы

$$R_{11} = R_1 + R_2 + R_4 \quad (1.35)$$

$$R_{11} = 0 + 0,032 + 0,42 = 0,452$$

Преобразуем схему по методу коэффициентов распределения

$$R_{\text{ЭКВ}} = \frac{1}{\frac{1}{R_{11}} + \frac{1}{R_6} + \frac{1}{R_7}} \quad (1.36)$$

$$R_{\text{ЭКВ}} = \frac{1}{\frac{1}{0,452} + \frac{1}{0,402} + \frac{1}{0,216}} = 0,107$$

$$R_{\text{рез}} = R_{\text{ЭКВ}} + R_{10} \quad (1.37)$$

$$R_{\text{рез}} = 0,107 + 7 \cdot 10^{-3} = 0,114$$

$$C_1 = \frac{R_{\text{ЭКВ}}}{R_{11}} \quad (1.38)$$

$$C_1 = \frac{0,107}{0,452} = 0,237$$

$$C_2 = \frac{R_{\text{ЭКВ}}}{R_6} \quad (1.39)$$

$$C_2 = \frac{0,107}{0,402} = 0,266$$

$$C_3 = \frac{R_{\text{ЭКВ}}}{R_7} \quad (1.40)$$

$$C_3 = \frac{0,107}{0,216} = 0,495$$

$$R_{12} = \frac{R_{\text{рез}}}{C_1} \quad (1.41)$$

$$R_{12} = \frac{0,114}{0,237} = 0,481$$

$$R_{13} = \frac{R_{\text{рез}}}{C_2} \quad (1.42)$$

$$R_{13} = \frac{0,114}{0,266} = 0,429$$

$$R_{14} = \frac{R_{рез}}{C_3} \quad (1.43)$$

$$R_{14} = \frac{0,114}{0,495} = 0,23$$

Определяем периодические слагающие тока прямой последовательности трехфазного короткого замыкания

Определяем постоянную времени для каждой из ветвей

$$T_{a1} = \frac{X_{12}}{\omega \cdot R_{12}} \quad (1.44)$$

$$T_{a1} = \frac{5,287}{314,159 \cdot 0,481} = 0,035 \text{ с}$$

$$T_{a2} = \frac{X_{13}}{\omega \cdot R_{13}} \quad (1.45)$$

$$T_{a2} = \frac{6,886}{314,159 \cdot 0,429} = 0,051 \text{ с}$$

$$T_{a3} = \frac{X_{14}}{\omega \cdot R_{14}} \quad (1.46)$$

$$T_{a3} = \frac{5,482}{314,159 \cdot 0,23} = 0,076 \text{ с}$$

где угловая частота

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \quad (1.47)$$

$$\omega = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314,159$$

где частота сети $f = 50$ Гц

Определяем ударный коэффициент для каждой из ветвей

$$k_{y1} = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_{a1}}} \quad (1.48)$$

$$k_{y1} = 1 + 2,718^{-\frac{0,01}{0,035}} = 1,751 \text{ о. е.}$$

$$k_{y2} = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_{a2}}} \quad (1.49)$$

$$k_{y2} = 1 + 2,718^{-\frac{0.01}{0.051}} = 1,822 \text{ о. е.}$$

$$k_{y3} = 1 + e^{-\frac{0.01}{T_{a3}}} \quad (1.50)$$

$$k_{y3} = 1 + 2,718^{-\frac{0.01}{0.076}} = 1,877 \text{ о. е.}$$

Определяем апериодическую слагающую тока прямой последовательности для каждой из ветвей

$$I_{aC} = \sqrt{2} \cdot I_{nC} \cdot (k_{y1} - 1) \quad (1.51)$$

$$I_{aC} = \sqrt{2} \cdot 1,733 \cdot (1,751 - 1) = 1,841 \text{ кА}$$

$$I_{aAD} = \sqrt{2} \cdot I_{nAD} \cdot (k_{y2} - 1) \quad (1.52)$$

$$I_{aAD} = \sqrt{2} \cdot 1,198 \cdot (1,822 - 1) = 1,393 \text{ кА}$$

$$I_{aCD} = \sqrt{2} \cdot I_{nCД} \cdot (k_{y3} - 1) \quad (1.53)$$

$$I_{aCD} = \sqrt{2} \cdot 1,839 \cdot (1,877 - 1) = 2,281 \text{ кА}$$

Ударный ток от каждой из ветвей

$$i_{yC} = \sqrt{2} \cdot k_{y1} \cdot I_{nC} \quad (1.54)$$

$$i_{yC} = \sqrt{2} \cdot 1,751 \cdot 1,733 = 4,291 \text{ кА}$$

$$i_{yAD} = \sqrt{2} \cdot k_{y2} \cdot I_{nAD} \quad (1.55)$$

$$i_{yAD} = \sqrt{2} \cdot 1,822 \cdot 1,198 = 3,087 \text{ кА}$$

$$i_{yCD} = \sqrt{2} \cdot k_{y3} \cdot I_{nCД} \quad (1.56)$$

$$i_{yCD} = \sqrt{2} \cdot 1,877 \cdot 1,839 = 4,882 \text{ кА}$$

Полный ударный ток

$$i_y = i_{yC} + i_{yAD} + i_{yCD} \quad (1.57)$$

$$i_y = 4,291 + 3,087 + 4,882 = 12,26 \text{ кА}$$

Наибольшее действующее значение полного тока КЗ определяется как средне-квадратичное значение за один период определяем по выражению

$$I_y = \sqrt{(I_{пс} + I_{пАД} + I_{псД})^2 + (I_{ас} + I_{аАД} + I_{асД})^2} \quad (1.58)$$

$$I_y = \sqrt{(1,733 + 1,198 + 1,839)^2 + (1,841 + 1,393 + 2,281)^2} = 7,292 \text{ кА}$$

Как видим, нагрузка на шинах 10 кВ оказывает незначительное влияние на ток КЗ

Расчет двухфазного КЗ

Схема замещения при включенном СВ показана на рисунке

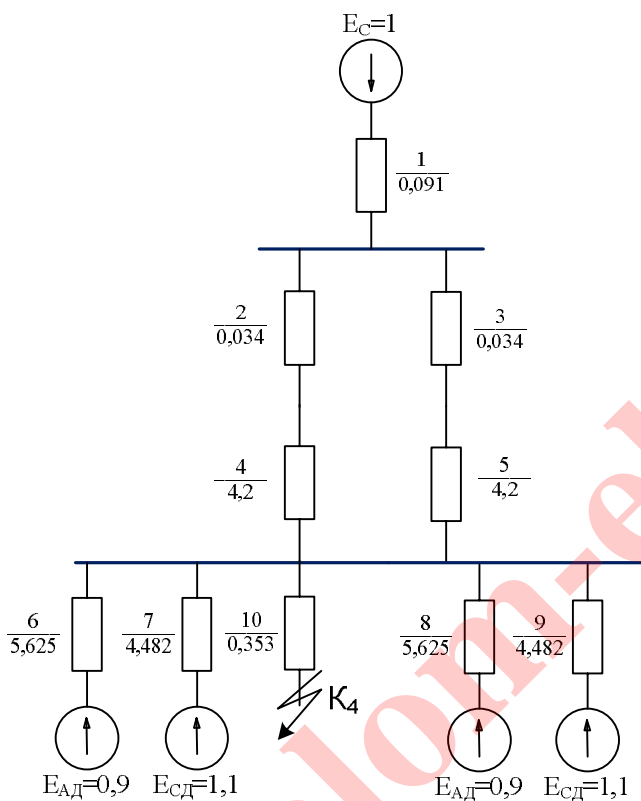


Рисунок 1.5-Результаты преобразования схемы

Эквивалентуем параллельно подключенные электродвигатели

$$X_{11} = \frac{X_6}{2} \quad (1.59)$$

$$X_{11} = \frac{5,625}{2} = 2,813$$

$$X_{12} = \frac{X_7}{2} \quad (1.60)$$

$$X_{12} = \frac{4,482}{2} = 2,241$$

Эквивалентуем параллельные элементы (линия+трансформатор) и сопротивление системы

$$X_{13} = \frac{X_2 + X_4}{2} + X_1 \quad (1.61)$$

$$X_{13} = \frac{0,034 + 4,2}{2} + 0,091 = 2,208$$

Результаты преобразования схемы представлены на схеме:

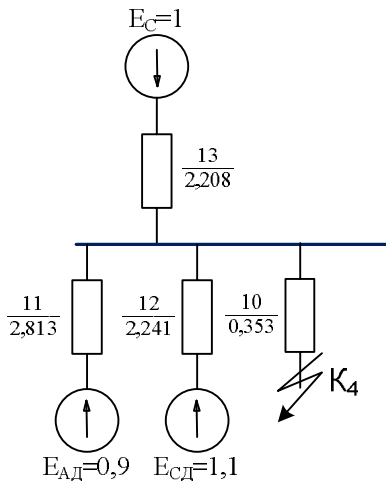


Рисунок 1.6-Результаты преобразования схемы

Преобразуем схему по методу коэффициентов распределения

$$X_{\text{ЭКВ}} = \frac{1}{\frac{1}{X_{13}} + \frac{1}{X_{11}} + \frac{1}{X_{12}}} \quad (1.62)$$

$$X_{\text{ЭКВ}} = \frac{1}{\frac{1}{2,208} + \frac{1}{2,813} + \frac{1}{2,241}} = 0,797$$

$$X_{\text{рез}} = X_{\text{ЭКВ}} + X_{10} \quad (1.63)$$

$$X_{\text{рез}} = 0,797 + 0,353 = 1,15$$

$$C_1 = \frac{X_{\text{ЭКВ}}}{X_{13}} \quad (1.64)$$

$$C_1 = \frac{0,797}{2,208} = 0,361$$

$$C_2 = \frac{X_{\text{ЭКВ}}}{X_{11}} \quad (1.65)$$

$$C_2 = \frac{0,797}{2,813} = 0,283$$

$$C_3 = \frac{X_{\text{ЭКВ}}}{X_{12}} \quad (1.66)$$

$$C_3 = \frac{0,797}{2,241} = 0,356$$

$$X_{14} = \frac{X_{\text{рез}}}{C_1} \quad (1.67)$$

$$X_{14} = \frac{1,15}{0,361} = 3,186$$

$$X_{15} = \frac{X_{\text{рез}}}{C_2} \quad (1.68)$$

$$X_{15} = \frac{1,15}{0,283} = 4,064$$

$$X_{16} = \frac{X_{\text{рез}}}{C_3} \quad (1.69)$$

$$X_{16} = \frac{1,15}{0,356} = 3,23$$

Результаты преобразования схемы представлены на схеме:

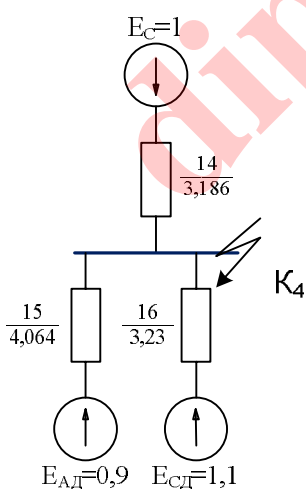


Рисунок 1.7-Результаты преобразования схемы

Для определения тока двухфазного короткого замыкания необходимо удалить точку КЗ на дополнительную реактивность $X_{\text{доп}}^2 = X_{14} = 3,186$

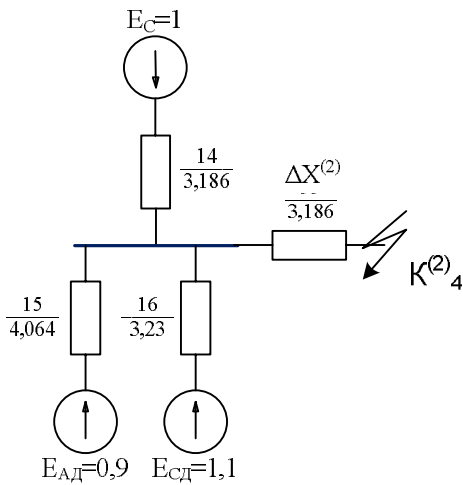


Рисунок 1.8-Схема для расчета двухфазного КЗ

Учитывая, что двигательная нагрузка не подключенная непосредственно в точке КЗ не входит в схему замещения обратной последовательности
 дим $X_{\Sigma 2} = X_{\Sigma 1} = 3,186$; $X_{\Sigma 1} = X_{\text{доп}}^2 = 3,186$

$$E_{\Sigma} = \frac{E_C \cdot \frac{1}{X_{14}} + E_{AD} \cdot \frac{1}{X_{15}} + E_{CD} \cdot \frac{1}{X_{16}}}{\frac{1}{X_{14}} + \frac{1}{X_{15}} + \frac{1}{X_{16}}} \quad (1.70)$$

$$E_{\Sigma} = \frac{1 \cdot \frac{1}{3,186} + 0,9 \cdot \frac{1}{4,064} + 1,1 \cdot \frac{1}{3,23}}{\frac{1}{3,186} + \frac{1}{4,064} + \frac{1}{3,23}} = 1,007$$

$$X_{\Sigma} = \frac{1}{\frac{1}{X_{14}} + \frac{1}{X_{15}} + \frac{1}{X_{16}}} \quad (1.71)$$

$$X_{\Sigma} = \frac{1}{\frac{1}{3,186} + \frac{1}{4,064} + \frac{1}{3,23}} = 1,15$$

$$X_{\Sigma} = X_{\Sigma} + X_{\text{доп}}^2 \quad (1.72)$$

$$X_{\Sigma} = 1,15 + 3,186 = 4,336$$

Определяем периодические слагающие тока прямой последовательности трехфазного короткого замыкания

$$I_{\Pi(1)}^2 = \frac{E_{\Sigma}}{X_{\Sigma}} \cdot I_{\phi} \quad (1.73)$$

$$I_{\Pi(1)}^2 = \frac{1,007}{4,336} \cdot 9,164 = 2,128 \text{ кА}$$

Коэффициент пропорциональности для двухфазного короткого замыкания: $m^2 = 1,732$

Определяем суммарный ток периодической слагающей неполнофазного короткого замыкания в точке К

$$I_{\Pi}^2 = m^2 \cdot I_{\Pi(1)}^2 \quad (1.74)$$

$$I_{\Pi}^2 = 1,732 \cdot 2,128 = 3,686 \text{ кА}$$

Построение векторной диаграммы

Определяем составляющие фазных токов и напряжений в относительных единицах: $X_{\Sigma 2} = 1,15 \text{ О}; U_{\phi} = U_{\text{ср.ном}} = 6,3 \text{ кВ}$

$$I_{*KA1} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{I_{\Pi}^2}{I_{\phi}^2} \quad (1.75)$$

$$I_{*KA1} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{3,686}{9,164} = 0,232$$

$$I_{*KB} = -j \cdot \sqrt{3} \cdot I_{*KA1} \quad (1.76)$$

$$I_{*KB} = -j\sqrt{3} \cdot 0,232 = -j0,402$$

$$I_{*KC} = j \cdot \sqrt{3} \cdot I_{*KA1} = j0,402; U_{*KA1} = j \cdot X_{\Sigma 2} \cdot I_{*KA1} = j0,267; U_{*KA2} = U_{*KA1} = j0,267$$

$$U_{*KA} = 2 \cdot j \cdot X_{\Sigma 2} \cdot I_{*KA1} \quad (1.77)$$

$$U_{*KA} = 2 \cdot j1,15 \cdot 0,232 = j0,534$$

$$U_{*KB} = -j \cdot X_{\Sigma 2} \cdot I_{*KA1} \quad (1.78)$$

$$U_{*KB} = -j1,15 \cdot 0,232 = -j0,267$$

$$U_{*KC} = U_{*KB} = -j0,267$$

Определяем составляющие фазных токов и напряжений в именованных единицах

$$I_{*KA1} = I_{*KA1} \cdot I_6 \quad (1.79)$$

$$I_{*KA1} = 0,232 \cdot 9,164 = 2,126 \text{ кА}$$

$$I_{*KB} = I_{*KB} \cdot I_6 \quad (1.80)$$

$$I_{*KB} = (-j0,402) \cdot 9,164 = -j3,684 \text{ кА}$$

$$I_{*KC} = I_{*KC} \cdot I_6 \quad (1.81)$$

$$I_{*KC} = (j0,402) \cdot 9,164 = j3,684 \text{ кА}$$

$$U_{*KA1} = U_{*KA1} \cdot \frac{U_6}{\sqrt{3}} \quad (1.82)$$

$$U_{*KA1} = (j0,267) \cdot \frac{6,3}{\sqrt{3}} = j0,971 \text{ кВ}$$

$$U_{*KA2} = U_{*KA2} \cdot \frac{U_6}{\sqrt{3}} \quad (1.83)$$

$$U_{*KA2} = (j0,267) \cdot \frac{6,3}{\sqrt{3}} = j0,971 \text{ кВ}$$

$$U_{*KA} = U_{*KA} \cdot \frac{U_6}{\sqrt{3}} \quad (1.84)$$

$$U_{*KA} = (j0,534) \cdot \frac{6,3}{\sqrt{3}} = j1,942 \text{ кВ}$$

$$U_{*KB} = U_{*KB} \cdot \frac{U_6}{\sqrt{3}} \quad (1.85)$$

$$U_{*KB} = (-j0,267) \cdot \frac{6,3}{\sqrt{3}} = -j0,971 \text{ кВ}$$

$$U_{*KC} = U_{*KC} \cdot \frac{U_6}{\sqrt{3}} \quad (1.86)$$

$$U_{*KC} = (-j0,267) \cdot \frac{6,3}{\sqrt{3}} = -j0,971 \text{ кВ}$$

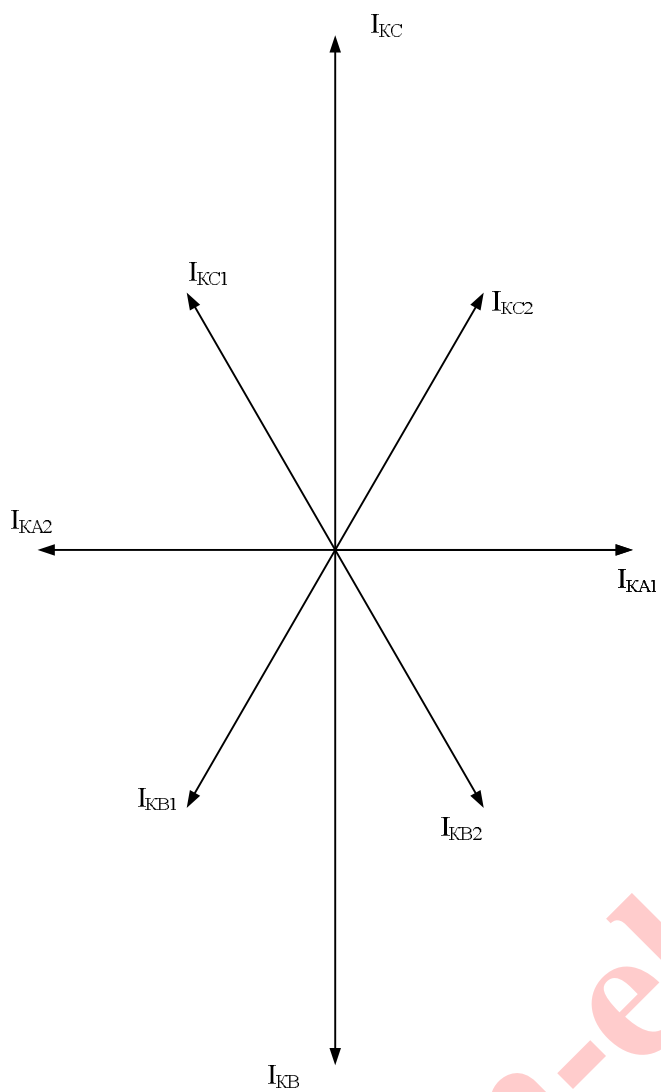


Рисунок 1.9- Векторная диаграмма токов

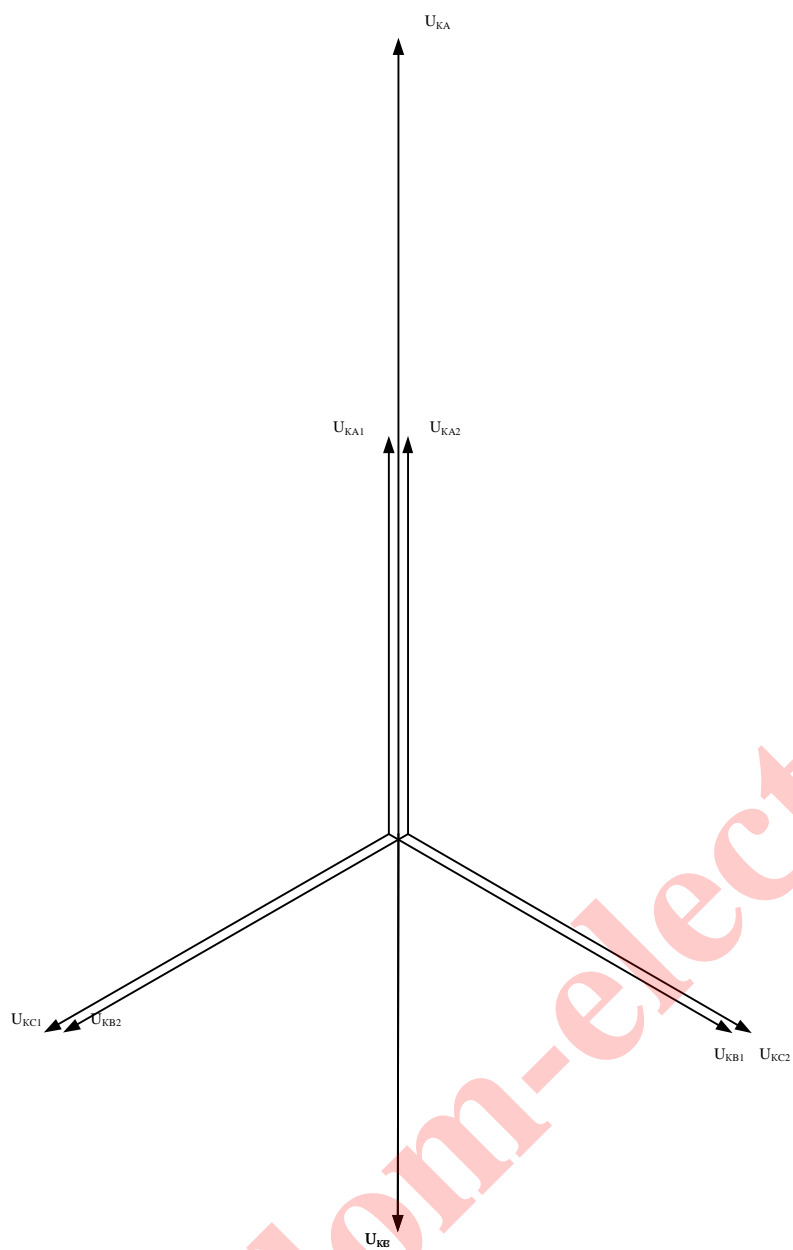


Рисунок 1.10-Векторная диаграмма напряжений

2 Статическая устойчивость двигательной нагрузки

Рассчитать и построить угловые характеристики мощности СД при питании от СПЭ неограниченной мощности.

При этом принять, что нагрузка (АД) в схеме замещения представлена постоянным по величине комплексным сопротивлением $Z_H = \text{const}$

$$\underline{Z}_H = r_H + j \cdot x_H = 0,402 + j5,625 ; r_H = R_{ад*} = 0,402 ;$$

$$x_H = X_{ад*} = 5,625 ; U_c = 1 ; S_6 = 100 \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

Синхронное сопротивление СД: $X_d = 1,96$ о. е.

$$P_{0*} = \frac{P_{\text{ном.СД}} \cdot k_{\text{загр}}}{S_6} \quad (2.1)$$

$$P_{0*} = \frac{5 \cdot 0,6}{100} = 0,03 \text{ о. е.}$$

Переходное сопротивление СД: $X'_d = 0,249$

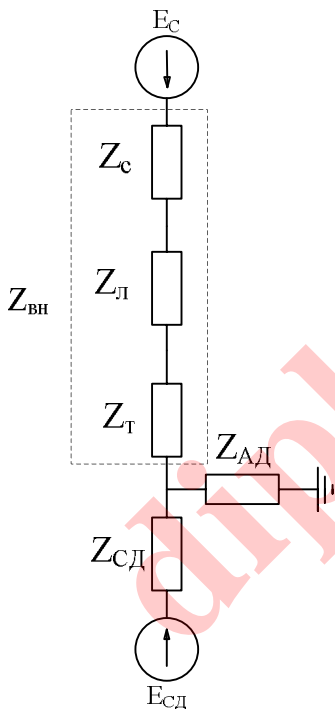


Рисунок 2.1-Схема замещения для расчета статической устойчивости

Из предыдущих пунктов берем сопротивления элементов схемы
 ния $X_{*c} = 0,091$ о. е.; $X_{*л1} = 0,034$ о. е.; $R_{л} = 0,032$ о. е.; $X_{*т1} = 4,2$ о. е.; $R_{*т1} = 0,42$ о. е.

Определяем сопротивление схемы от шин питающей системы до шин СД (внешнее сопротивление)

$$\underline{Z}_{\text{BH}} = (\mathbf{R}_{\text{Л}} + \mathbf{R}_{*\text{T1}}) + \mathbf{j} \cdot (\mathbf{X}_{*\text{С}} + \mathbf{X}_{*\text{Л1}} + \mathbf{X}_{*\text{T1}}) \quad (2.2)$$

$$\underline{Z}_{\text{BH}} = (0,032 + 0,42) + \mathbf{j}(0,091 + 0,034 + 4,2) = 0,452 + \mathbf{j}4,325 \text{ о. е.}$$

$$\mathbf{R}_{\text{BH}} = \text{re}(\underline{Z}_{\text{BH}}) = 0,452 \text{ о. е.}; \quad \mathbf{X}_{\text{BH}} = \text{im}(\underline{Z}_{\text{BH}}) = 4,325 \text{ о. е.}$$

Определяем собственное и взаимное сопротивление узла примыкания ЭДС СД в схеме замещения

$$\underline{Z}_{11} = \mathbf{j} \cdot \mathbf{X}_{\text{d}} + \frac{\underline{Z}_{\text{BH}} \cdot \underline{Z}_{\text{H}}}{\underline{Z}_{\text{BH}} + \underline{Z}_{\text{H}}} \quad (2.3)$$

$$\underline{Z}_{11} = \mathbf{j}35,28 + \frac{(0,452 + \mathbf{j}4,325) \cdot (0,402 + \mathbf{j}5,625)}{(0,452 + \mathbf{j}4,325) + (0,402 + \mathbf{j}5,625)} = 0,22 + \mathbf{j}37,726 = \\ = 37,727 \text{ о. е.}$$

$$\underline{Z}_{12} = \mathbf{j} \cdot \mathbf{X}_{\text{d}} + \underline{Z}_{\text{BH}} + \mathbf{j} \cdot \mathbf{X}_{\text{d}} \cdot \frac{\underline{Z}_{\text{BH}}}{\underline{Z}_{\text{H}}} \quad (2.4)$$

$$\underline{Z}_{12} = \mathbf{j}35,28 + (0,452 + \mathbf{j}4,325) + \mathbf{j}1,96 \cdot \frac{0,452 + \mathbf{j}4,325}{0,402 + \mathbf{j}5,625} = 0,502 + \mathbf{j}41,116 = \\ = 41,119 \text{ о. е.}$$

Модули и дополнительные углы собственных и взаимных сопротивлений узла примыкания ЭДС СД в схеме замещения

$$\alpha_{11} = 90^\circ - \text{atan}\left(\frac{\mathbf{X}_{11}}{\mathbf{R}_{11}}\right) \quad (2.5)$$

$$\alpha_{11} = 90 - \text{atan}\left(\frac{37,726}{0,22}\right) = 0,334^\circ$$

$$\alpha_{12} = 90^\circ - \text{atan}\left(\frac{\mathbf{X}_{12}}{\mathbf{R}_{12}}\right) \quad (2.6)$$

$$\alpha_{12} = 90 - \text{atan}\left(\frac{41,116}{0,502}\right) = 0,7^\circ$$

Определяем падение напряжения в элементах сети

Передаваемую мощность в ОЭС примем равной мощности нагрузки

$$\underline{S}_0 = (P_{AD} + P_{CD}) + j \cdot (Q_{AD} + Q_{CD}) \quad (2.7)$$

$$\underline{S}_0 = (2,56 + 3) + j(1,24 + 1,45) = 5,56 + j2,69 \text{ МВ} \cdot \text{А} = 6,177 \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

$$S_0 = \frac{S_0}{S_6} \quad (2.8)$$

$$S_0 = \frac{5,56 + j2,69}{100} = 0,0556 + j0,0269 \text{ о. е.}$$

Тогда падение напряжения пренебрегая поперечной составляющей

$$\Delta U = \frac{P_0 \cdot R_{BH} + Q_0 \cdot X_{BH}}{U_c} \quad (2.9)$$

$$\Delta U = \frac{0,056 \cdot 0,452 + 0,027 \cdot 4,325}{1} = 0,142 \text{ о. е.}$$

$$\delta U = \frac{P_0 \cdot X_{BH} - Q_0 \cdot R_{BH}}{U_c} \quad (2.10)$$

$$\delta U = \frac{0,056 \cdot 4,325 - 0,027 \cdot 0,452}{1} = 0,23 \text{ о. е.}$$

Тогда напряжение в точке подключения СД равняется

$$\underline{U}_{CD} = U_c - (\Delta U + j \cdot \delta U) \quad (2.11)$$

$$\underline{U}_{CD} = 1 - (0,142 + j0,23) = 0,858 - j0,23 \text{ о. е.} = 0,888 \text{ о. е.}$$

Электродвижущая сила СД находится из выражения

$$\underline{E}_q = \underline{U}_{CD} - I_{CD} \cdot j \cdot X_d \quad (2.12)$$

$$\underline{E}_q = (0,858 - j0,23) - 0,01732 \cdot j35,28 = 0,858 - j0,841$$

$$E_q = 1,201 * e^{44,42^\circ}$$

где ток синхронного двигателя

$$I_{CD} = \frac{P_{0*}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} \quad (2.14)$$

$$I_{CD} = \frac{0,03}{\sqrt{3} \cdot 1} = 0,01732 \text{ о. е.}$$

$$U_{НОМ} = 1 \text{ о. е.}; X'_d = 4,482 \text{ О}$$

$$\underline{E}'_q = \underline{U}_{сд} - I_{сд} \cdot j \cdot X'_d \quad (2.15)$$

$$\underline{E}'_q = (0,858 - j0,23) - 0,01732 \cdot j4,482 = 0,858 - j0,308 \text{ о. е.}$$

$$E'_q = 0,912 * e^{19,75^\circ}$$

$$E''_q = E'_q \cdot \cos(\delta_0 - \delta'_0) \quad (2.16)$$

$$E''_q = 0,912 \cdot \cos(0,7753 - 0,3447) = 0,829 \text{ о. е.}$$

(значения углов подставлены в радианах)

Статические характеристики активной P и реактивной Q мощности неявнополюсного синхронного двигателя без АРВ, работающего параллельно с питающей системой $U_c = \text{const}$, определяются по выражениям

$$P = -\frac{E_q^2}{Z_{11}} \cdot \sin(\alpha_{11}) + \frac{E_q \cdot U_c}{Z_{12}} \cdot \sin(\delta - \alpha_{12}) \quad (2.17)$$

$$Q = -\frac{E_q^2}{Z_{11}} \cdot \cos(\alpha_{11}) + \frac{E_q \cdot U_c}{Z_{12}} \cdot \cos(\delta - \alpha_{12}) \quad (2.18)$$

Таблица 2.1-Расчет статической устойчивости СД без АРВ

$\delta, ^\circ$	0	15	30	60	70	80
$P, \text{ о. е.}$	-0,0001	0,0074	0,0145	0,0253	0,0275	0,0289
$Q, \text{ о. е.}$	0,0674	0,0665	0,0637	0,0531	0,0486	0,0437
$\delta, ^\circ$	90	90,7	120	150	180	
$P, \text{ о. е.}$	0,0294	0,0294	0,0257	0,0151	0,0006	
$Q, \text{ о. е.}$	0,0386	0,0382	0,0239	0,0131	0,0090	

$$P_M = 0,0294$$

Определяем коэффициент запаса

$$K_3 = \frac{P_M - P_{0*}}{P_{0*}} \cdot 100 \% \quad (2.19)$$

$$K_3 = \frac{0,0294 - 0,03}{0,03} \cdot 100 = -2 \%$$

Определяем собственное и взаимное сопротивление узла примыкания ЭДС в переходном режиме

$$\underline{Z}'_{11} = j \cdot X'_d + \frac{\underline{Z}_{BH} \cdot \underline{Z}_H}{\underline{Z}_{BH} + \underline{Z}_H} \quad (2.20)$$

$$\underline{Z}'_{11} = j4,482 + \frac{(0,452 + j4,325) \cdot (0,402 + j5,625)}{(0,452 + j4,325) + (0,402 + j5,625)} = 0,22 + j6,928 = 6,931 \text{ o. e.}$$

$$\underline{Z}'_{12} = j \cdot X'_d + \underline{Z}_{BH} + j \cdot X'_d \cdot \frac{\underline{Z}_{BH}}{\underline{Z}_H} \quad (2.21)$$

$$\underline{Z}'_{12} = j4,482 + (0,452 + j4,325) + j4,482 \cdot \frac{0,452 + j4,325}{0,402 + j5,625} = 0,565 + j12,261 \text{ o. e.} = 12,274 \text{ o. e.}$$

$$\alpha'_{11} = 90^\circ - \text{atan} \left(\frac{X'_{11}}{R'_{11}} \right) \quad (2.22)$$

$$\alpha'_{11} = 90 - \text{atan} \left(\frac{6,928}{0,22} \right) = 1,819^\circ$$

$$\alpha'_{12} = 90^\circ - \text{atan} \left(\frac{X'_{12}}{R'_{12}} \right) \quad (2.23)$$

$$\alpha'_{12} = 90 - \text{atan} \left(\frac{12,261}{0,565} \right) = 2,638^\circ$$

Характеристика мощности с АРВ находится по формуле

$$P' = \frac{E''_q^2}{Z'_{11}} \cdot \sin(\alpha'_{11}) + \frac{E''_q \cdot U_c}{Z'_{12}} \cdot \sin(\delta) - \frac{U_c^2}{2} \cdot \frac{X_d - X'_d}{Z'_{12} \cdot Z'_{12}} \cdot \sin(2 \cdot \delta) \quad (2.24)$$

Таблица 2.2-Расчет статической устойчивости с АРВ ПД

$\delta, ^\circ$	0	30	45	60	90	100
P, o.e.	0,0031	0,0105	0,0204	0,0352	0,0707	0,0801
$\delta, ^\circ$	110	120	130	145	160	180
P, o.e.	0,0862	0,0881	0,0849	0,0706	0,0459	0,0031

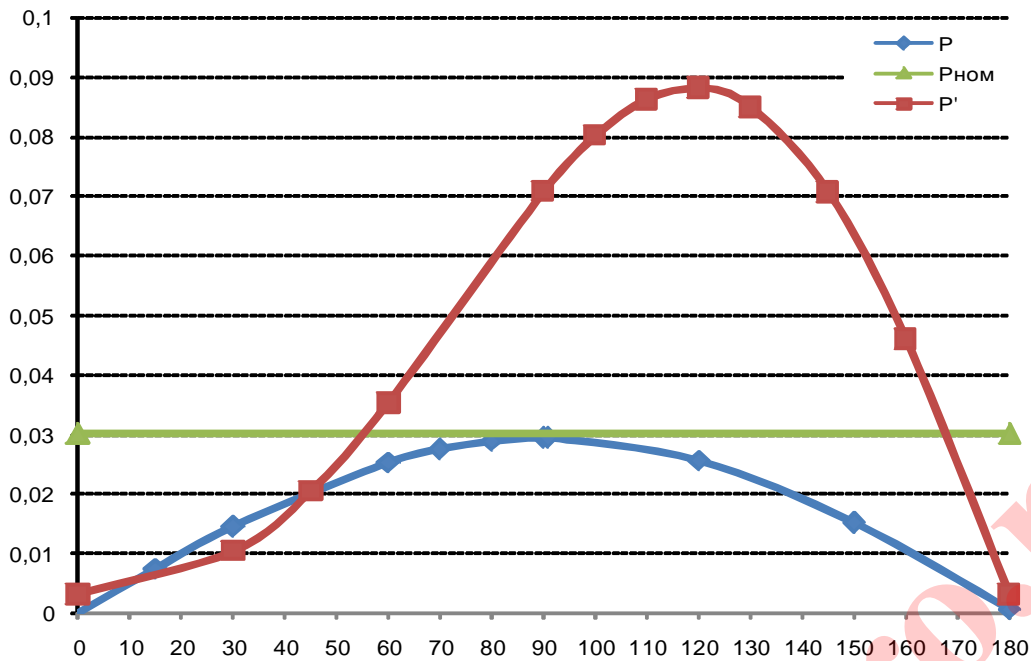


Рисунок 2.2-Характеристики мощности СД

Из характеристики мощности находим предел передаваемой мощности

$$P_M = 0,0881$$

Определяем коэффициент запаса

$$K_3 = \frac{P_M - P_{0*}}{P_{0*}} \cdot 100\% \tag{2.25}$$

$$K_3 = \frac{0,0881 - 0,03}{0,03} \cdot 100 = 193,67 \%$$

Очевидно, что использование АРВ СД значительно повышает коэффициент статической устойчивости синхронного двигателя.

Построим векторную диаграмму СД

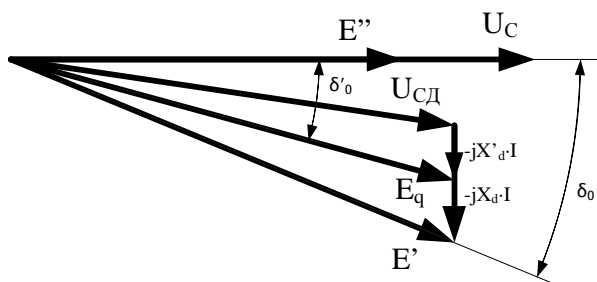


Рисунок 2.3-Векторная диаграмма СД

2.1 Расчет статической устойчивости АД

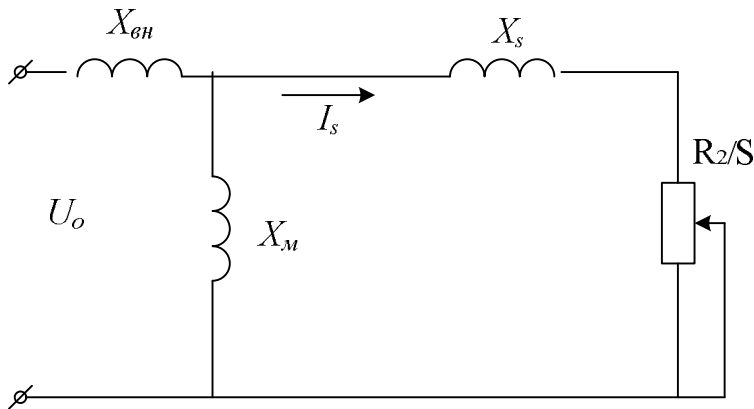


Рисунок 2.4-Схема замещения электрической сети и АД

Значения параметров схемы замещения АД определяются по паспортным данным

$$X_S = \frac{U_{НОМ*}}{I_{П*}} \quad (2.26)$$

$$X_S = \frac{1}{5,5} = 0,182 \text{ о. е.}$$

где номинальное напряжение двигателя $U_{НОМ*} = 1 \text{ о. е.}$

кратность пускового тока $I_{П*} = 5,5 \text{ о. е.}$

$$R_2 = \frac{1}{2 \cdot M_{П*}} - \sqrt{\left(\frac{1}{2 \cdot M_{П*}}\right)^2 - X_S^2} \quad (2.27)$$

$$R_2 = \frac{1}{2 \cdot 0,9} - \sqrt{\left(\frac{1}{2 \cdot 0,9}\right)^2 - 0,182^2} = 0,031 \text{ о. е.}$$

где кратность пускового момента или мощности (по отношению к номинальному значению) $M_{П*} = 0,9 \text{ о. е.}$

Параметры критического режима АД рассчитываются по выражениям:

$$s_{кр} = \frac{R_2}{X_S} \quad (2.28)$$

$$s_{кр} = \frac{0,031}{0,182} = 0,17 \text{ о. е.}$$

$$X_{BH} = 4,325 \text{ о. е.}$$

Статические характеристики асинхронного двигателя $P_{AD}(U_{ад}, s)$ рассчитываются по выражению

$$P_{AD(s)} = \frac{U_0^2 \cdot R_2 \cdot s}{R_2^2 + (X_S + X_{BH})^2 \cdot s^2} \quad (2.29)$$

$$P_{AD(s)} = \frac{1^2 \cdot 0,031 \cdot 0,17}{0,031^2 + (0,182 + 4,325)^2 \cdot 0,17^2} = 9 \cdot 10^{-3}$$

$$U_0 = 1 ; s = s_{кр} = 0,17$$

Таблица 2.3-Расчет статических характеристик АД

s	0	0,1	0,125	0,150	0,175	0,2	0,3	0,5	0,7	0,9	1
P(U=1)	0	0,0152	0,0122	0,0102	0,0087	0,0076	0,0051	0,0031	0,0022	0,0017	0,0015
P(U=0,9)	0	0,0123	0,0099	0,0082	0,0071	0,0062	0,0041	0,0025	0,0018	0,0014	0,0012
P(U=0,8)	0	0,0097	0,0078	0,0065	0,0056	0,0049	0,0033	0,0020	0,0014	0,0011	0,0010
P(U=0,7)	0	0,0074	0,0060	0,0050	0,0043	0,0037	0,0025	0,0015	0,0011	0,0008	0,0007
P(U=0,6)	0	0,0055	0,0044	0,0037	0,0031	0,0027	0,0018	0,0011	0,0008	0,0006	0,0005

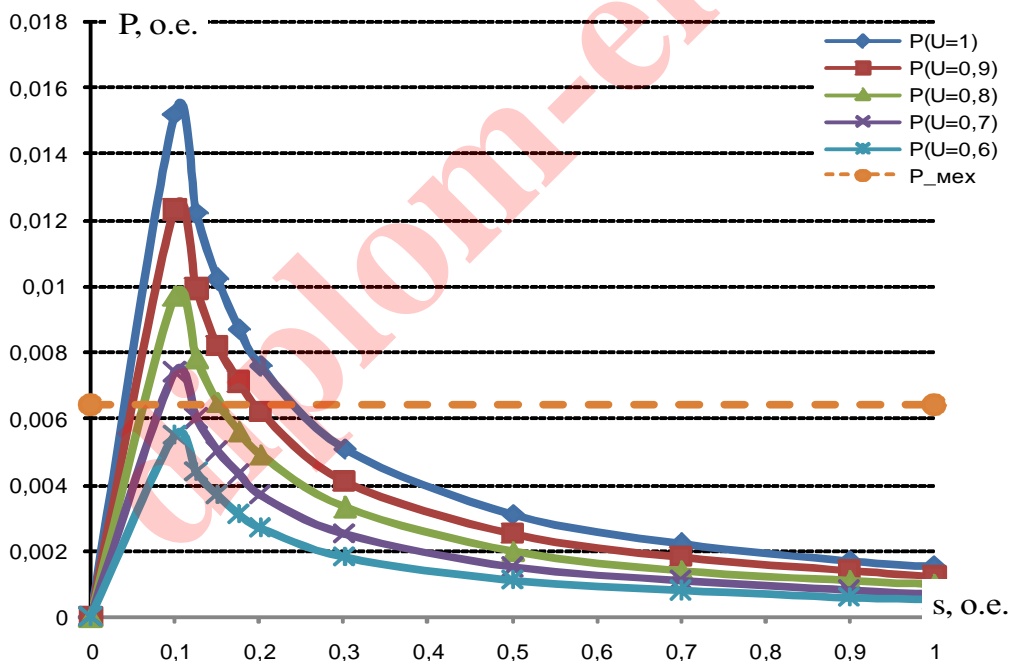


Рисунок 2.5-Статические характеристики АД

3 Динамическая устойчивость СД

При коротких замыканиях на отходящих присоединениях происходит значительная посадка напряжения на секции шин (при трехфазном КЗ в точке КЗ $U_{дв} = 0$). При этом мощность АД равняется нулю, а СД не получает питания от сети, хотя электрическая связь с системой в данном режиме не прерывается (линия Л1 не отключается). Схема замещения для аварийного режима показана на рис

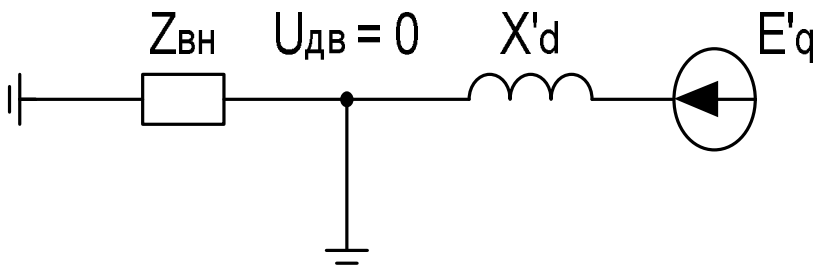


Рисунок 3.1-Схема замещения

С некоторой выдержкой времени $t_{кз}$ срабатывает выключатель В11, отключая поврежденную линию Кб и восстанавливая исходный доаварийный режим. За время $t_{кз}$ СД выбегает, запасая энергию торможения, а при переходе на послеаварийную характеристику ускоряется под действием возросшего синхронного момента.

Для нормального режима угловая характеристика и схема замещения полностью совпадает с угловой характеристикой при расчете статической устойчивости

Графически приравнивая энергии (площадки) торможения и ускорения, можно определить предельное с точки зрения динамической устойчивости время отключения КЗ на линии Кб. $\delta_{кз.пр} = 103,2^\circ$

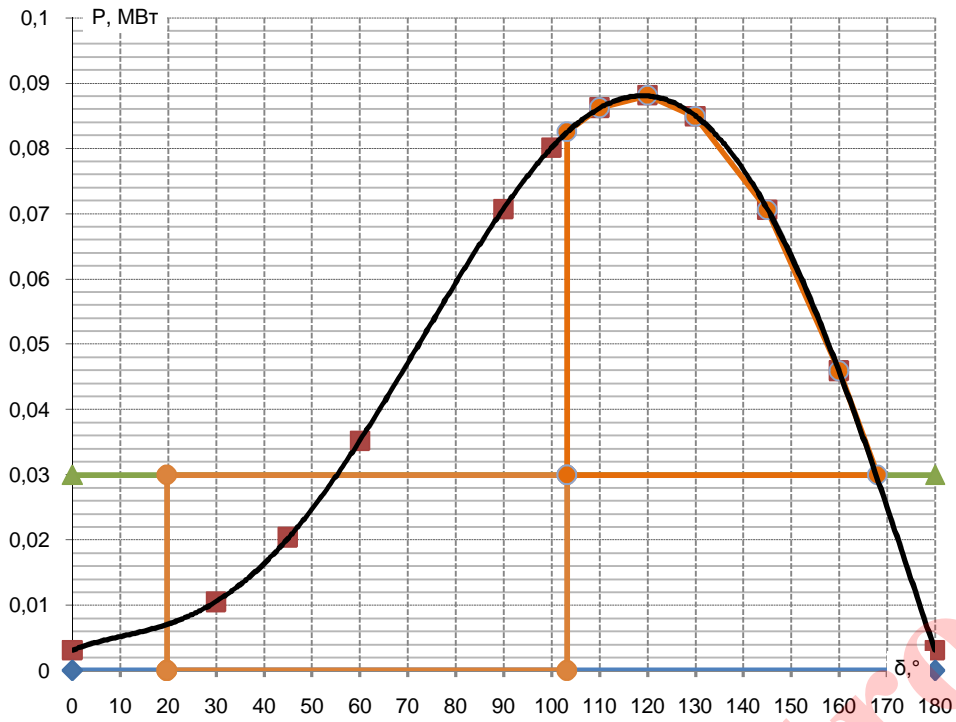


Рисунок 3.2-Динамический переход при КЗ на отходящей линии

diplom-electro.ru

Литература

1. Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. – М.: Энергия, 1970. – 519 с.
2. Справочник по проектированию электроснабжения, линий электропередачи и сетей / Под ред. Я.М. Большама, В.И. Круповича, М.И. Самоверова. – М.: Энергия, 1975. – 696 с.
3. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.
4. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. – М.: Высшая школа, 1985. – 589 с.
5. Жданов П.С. вопросы устойчивости электрических систем / Под ред. Л.А. Жукова. – М.: Энергия, 1979.– 456 с.
6. Лыкин А.В. Электрические системы и сети: Учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 248 с.
7. Куликов Ю.А. Переходные процессы в электрических системах: Учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 283 с.
8. Сыромятников И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей / Под ред. Л.Г. Мамиконянца. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 240 с.
9. Пособие по курсовому и дипломному проектированию для электроэнергетических специальностей / Под ред. В.М.Блок – М.: Высшая школа, 1990. – 273 с.