

Курсовая работа

Расчет переходных процессов в четырех проводной трехфазной цепи

Зарисовать заданную схему трёхфазной цепи (рис. 1) с параметрами, приведенными в таблице 1. Параметры цепи из таблицы 1 записать в таблицу 2.

Определить переходные токи (i_A, i_B, i_C), переходные фазные напряжения нагрузки (u_a, u_b, u_c), переходное напряжение на конденсаторе u_C и катушке индуктивности u_L при обрыве нейтрального провода в несимметричной трехфазной цепи.

Построить график свободной составляющей переходного тока через индуктивность $i_{L,св}$ и свободной составляющей переходного фазного напряжения в ветви с конденсатором $u_{C,св}$.

N Вар.	Схема	$E_{\text{н}}$ В	ψ_A , гр.	R , Ом	L , мГн	C , мкФ
25	6	85	25	7	77	380

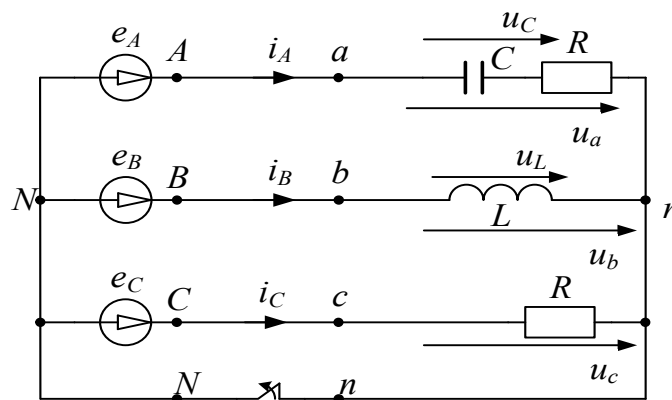


Рис. 1. Заданная схема трехфазной цепи

Решение.

1. Изображаем схему цепи при $t > 0$.

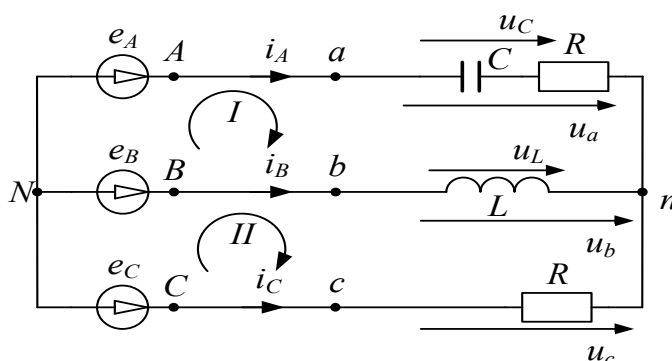


Рис. 2. Схема цепи в период переходных процессов

Расчет переходных параметров можно провести путем решения трех уравнений по законам Кирхгофа

Составим систему дифференциальных уравнений для цепи после коммутации по законам Кирхгофа. Учтем при этом, что напряжения и токи на индуктивном и емкостном элементах цепи связаны соотношениями:

$$u_L = L \frac{d}{dt} i_L = L i'_L; i_C = C \frac{d}{dt} u_C = C u'_C; .$$

$$\begin{cases} i_A + i_B + i_C = 0 \\ -L i'_B + U_C + i_A R = e_A - e_B \\ L i'_B - i_C R = e_B - e_C \end{cases}$$

Решение уравнений найдем как сумму установившихся и свободных составляющих переходных параметров:

$$i_A = i_{A,y} + i_{A,c\phi} \quad i_B = i_{B,y} + i_{B,c\phi} \quad i_C = i_{C,y} + i_{C,c\phi}$$

$$u_a = u_{a,y} + u_{a,c\phi} \quad u_b = u_{b,y} + u_{b,c\phi} \quad u_C = u_{C,y} + u_{C,c\phi} \quad u_L = u_{L,y} + u_{L,c\phi}$$

2. Определим параметры цепи в установившемся режиме при $t = \infty$ (ключ разомкнут)
По методу узловых потенциалов

действующие фазные ЭДС в комплексной форме:

$$\dot{E}_{mA} = E_m e^{j \psi_A^\circ} = 85 e^{(25j)^\circ} = 77.0362 + 35.9226j \text{ В,}$$

$$\dot{E}_{mB} = \dot{E}_{mA} e^{-j 120^\circ} = 85 e^{(25j)^\circ} e^{(-j) 120^\circ} = 85 e^{-95j^\circ} = -7.4082 - 84.6765j \text{ В,}$$

$$\dot{E}_{mC} = \dot{E}_{mA} e^{j 120^\circ} = 85 e^{(25j)^\circ} e^{j \times 120^\circ} = 85 e^{145j^\circ} = -69.6279 + 48.754j \text{ В.}$$

рассчитаем реактивные сопротивление элементов цепи $f = 50(\text{Гц})$

$$\omega = 2 \pi f = 2 \pi 50 = 314.1593 \text{ рад/с}$$

$$x_L = \omega L = 314.1593 \times 0.077 = 24.1903(\text{Ом})$$

$$x_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{314.1593 \times 0.0004} = 8.3766(\text{Ом})$$

Найдем эквивалентные сопротивления лучей звезды (Рис. 3)

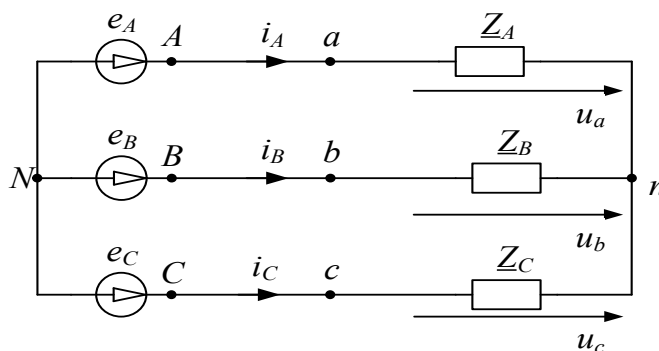


Рис. 3

$$Z_A = R - j x_C = 7 - 8.3766j = 10.9164 e^{-50.1157j^\circ} \text{ Ом;}$$

$$Z_B = j x_L = 24.1903j = 24.1903 e^{90j^\circ} \text{ Ом;}$$

$$Z_C = R = 7 \text{ Ом.}$$

Найдем эквивалентные проводимости лучей звезды (Рис. 3)

$$\underline{Y}_A = \frac{1}{\underline{Z}_A} = \frac{1}{10.91636 e^{-(50.11572j)^\circ}} = 0.09161 e^{50.11572j^\circ} = 0.05874 + 0.07029j \text{ См}$$

;

$$\underline{Y}_B = \frac{1}{\underline{Z}_B} = \frac{1}{24.19026 e^{(90j)^\circ}} = 0.04134 e^{-90j^\circ} = -0.04134j \text{ См};$$

$$\underline{Y}_C = \frac{1}{\underline{Z}_C} = \frac{1}{7} = \frac{1}{7} = 0.14286 \text{ См.}$$

Определим напряжение смещения нейтрали \dot{U}_{mnN}

$$\begin{aligned} \dot{U}_{mnN} &= \frac{\dot{E}_{mA} \underline{Y}_A + \dot{E}_{mB} \underline{Y}_B + \dot{E}_{mC} \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C} = \\ &= \frac{85 e^{(25j)^\circ} 0.09161 e^{(50.11572j)^\circ} + 85 e^{-(95j)^\circ} 0.04134 e^{-(90j)^\circ} + 85 e^{(145j)^\circ} 0.14286}{0.05874 + 0.07029j + -0.04134j + 0.14286} = \\ &= \frac{7.78647 e^{(75.11572j)^\circ} + 3.51381 e^{(175j)^\circ} + 12.14286 e^{(145j)^\circ}}{0.2016 + 0.02895j} = \\ &= \frac{2.00009 + 7.52521j + -3.50044 + 0.30625j + -9.94685 + 6.96486j}{0.2016 + 0.02895j} = \frac{-11.44719 + 14.79632j}{0.2016 + 0.02895j} = \\ &= \frac{18.707 e^{(127.727j)^\circ}}{0.204 e^{(8.173j)^\circ}} = 91.853 e^{119.554j^\circ} = -45.307 + 79.902j \text{ В.} \end{aligned}$$

Установившиеся комплексные амплитуды фазных напряжений нагрузки;

$$\begin{aligned} \dot{U}_{ma.y} &= \dot{E}_{mA} - \dot{U}_{mnN} = 77.036 + 35.923j - (-45.307 + 79.902j) = 122.343 - 43.98j = 130.007 e^{-19.772j^\circ} \text{ В}; \\ \dot{U}_{mb.y} &= \dot{E}_{mB} - \dot{U}_{mnN} = -7.408 - 84.677j - (-45.307 + 79.902j) = 37.898 - 164.579j = 168.886 e^{-77.032j^\circ} \text{ В}; \\ \dot{U}_{mc.y} &= \dot{E}_{mC} - \dot{U}_{mnN} = -69.628 + 48.754j - (-45.307 + 79.902j) = -24.321 - 31.148j = 39.519 e^{-127.984j^\circ} \text{ В} \end{aligned}$$

Установившиеся мгновенные фазные напряжения нагрузки;

$$\begin{aligned} u_{a.y}(t) &= 130.0075 \sin(314.1593t + -19.7724^\circ) \text{ В}, \\ u_{b.y}(t) &= 168.8858 \sin(314.1593t + -77.0323^\circ) \text{ В}, \\ u_{c.y}(t) &= 168.8858 \sin(314.1593t + -77.0323^\circ) \text{ В}, \end{aligned}$$

Установившиеся комплексные амплитуды токов:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{mA.y} &= \frac{\dot{U}_{ma.y}}{\underline{Z}_A} = \frac{130.0075 e^{-(19.7724j)^\circ}}{10.9164 e^{-(50.1157j)^\circ}} = 11.9094 e^{30.3433j^\circ} = 10.278 + 6.0164j \text{ А}; \\ \dot{I}_{mB.y} &= \frac{\dot{U}_{mb.y}}{\underline{Z}_B} = \frac{168.8858 e^{-(77.0323j)^\circ}}{24.1903 e^{(90j)^\circ}} = 6.9816 e^{-167.0323j^\circ} = -6.8035 - 1.5667j \text{ А}; \\ \dot{I}_{mC.y} &= \frac{\dot{U}_{mc.y}}{\underline{Z}_C} = \frac{39.5187 e^{-(127.9838j)^\circ}}{7} = 5.6455 e^{-127.9838j^\circ} = -3.4745 - 4.4497j \text{ А.} \end{aligned}$$

Установившиеся мгновенные токи:

$$\begin{aligned} i_{A.y}(t) &= 11.9094 \sin(314.1593t + 30.3433^\circ) \text{ А}, \\ i_{B.y}(t) &= 6.9816 \sin(314.1593t + -167.0323^\circ) \text{ А}, \\ i_{C.y}(t) &= 5.6455 \sin(314.1593t + -127.9838^\circ) \text{ А}, \end{aligned}$$

Установившиеся значения комплексных амплитуд напряжения на катушке индуктивности и конденсаторе:

$$\dot{U}_{mL.y} = \dot{I}_{mB.y} j x_L = 6.9816 e^{-(167.0323j)^\circ} e^{(90j)^\circ} 24.1903 = 168.8858 e^{-77.0323j^\circ} = 37.8983 - 164.5786j \text{ В};$$

$$\dot{U}_{mC.y} = \dot{I}_{mA.y} (-j x_C) = 11.9094 e^{(30.3433j)^\circ} e^{-(90j)^\circ} 8.3766 = 99.7601 e^{-59.6567j^\circ} = 50.3968 - 86.0943j \text{ В};$$

Установившиеся мгновенные значения напряжения на катушке индуктивности и

$$u_{L.y}(t) = 168.8858 \sin(314.1593t + -77.0323^\circ) \text{ В},$$

$$u_{C.y}(t) = 99.7601 \sin(314.1593t + -59.6567^\circ) \text{ В},$$

Установившиеся значение тока в катушке индуктивности и напряжения на конденсаторе в момент $t=0$:

$$i_{A.y}(0) = 11.9094 \sin(30.3433^\circ) = 6.0164 \text{ А};$$

$$u_{C.y}(0) = 99.7601 \sin(-59.6567^\circ) = -86.0943 \text{ В};$$

Для определения начальных значений $u_{C(0)}$ и $i_{L(0)}$ рассчитаем эти параметры до коммутации из расчета четырех проводной трехфазной цепи (рис. 1 — ключ замкнут).

3. Расчет схемы цепи до коммутации $t < 0$ комплексным методом ($U_{nN} = 0$).

комплексные амплитуды токов в катушке индуктивности и конденсаторе:

$$\dot{I}_{mA(-0)} = \frac{\dot{E}_{mA}}{Z_A} = \frac{85 e^{(25j)^\circ}}{10.9164 e^{-(50.1157j)^\circ}} = 7.7865 e^{75.1157j^\circ} = 2.0001 + 7.5252j \text{ А};$$

$$\dot{I}_{mB(-0)} = \frac{\dot{E}_{mB}}{Z_B} = \frac{85 e^{-(95j)^\circ}}{24.1903 e^{(90j)^\circ}} = 3.5138 e^{-185j^\circ} = -3.5004 + 0.3062j \text{ А};$$

Комплексное амплитудное значение напряжение на конденсаторе до коммутации $t < 0$

$$\dot{U}_{mC(-0)} = \dot{I}_{mA(-0)} (-j x_C) = 7.7865 e^{(75.1157j)^\circ} e^{-(90j)^\circ} 8.3766 = 65.224 e^{-14.8843j^\circ} = 63.0355 - 16.7539j \text{ В};$$

мгновенное значение тока в катушке индуктивности и напряжения на конденсаторе до коммутации $t < 0$:

$$i_{B(-0)}(t) = 3.5138 \sin(314.1593t + 175^\circ) \text{ А},$$

$$u_{C(-0)}(t) = 65.224 \sin(314.1593t + -14.8843^\circ) \text{ В},$$

значение тока в катушке индуктивности и напряжения на конденсаторе в момент $t=0$:

$$i_{B(0)} = 3.5138 \sin(175^\circ) = 0.3062 \text{ А};$$

$$u_{C(0)} = 65.224 \sin(-14.8843^\circ) = -16.7539 \text{ В};$$

Значение свободных составляющих тока в катушке индуктивности и напряжения на конденсаторе в момент $t=0$:

Значение свободных составляющих тока в катушке индуктивности и напряжения на конденсаторе в момент $t=0$:

$$i_{B.cb}(0) = i_{B(0)} - i_{B.y}(0) = 0.3062 - 6.9816 \sin(-167.0323^\circ) = 1.8729 \text{ А};$$

$$u_{C.cb}(0) = u_{C(0)} - u_{C.y}(0) = -16.7539 - -86.0943 = 69.3404 \text{ В}$$

4. Для определения зависимых начальных условий, т.е. значений $i_{B.cв(0)}$, $i_{C.cв(0)}$ и $u_{L.cв(0)}$, а также значений производных, запишем исходную систему однородных дифференциальных уравнений при $t = 0$ (рис. 3), в которой значения $u_{C.cв(0)}$ и $i_{A.cв(0)}$ известны:

$$\begin{cases} i_{A.cв(0)} + i_{B.cв(0)} + i_{C.cв(0)} = 0 \\ -L i'_{B.cв(0)} + u_{C.cв(0)} + i_{A.cв(0)} R = 0 \\ L i'_{B.cв(0)} - i_{C.cв(0)} R = 0 \end{cases}$$

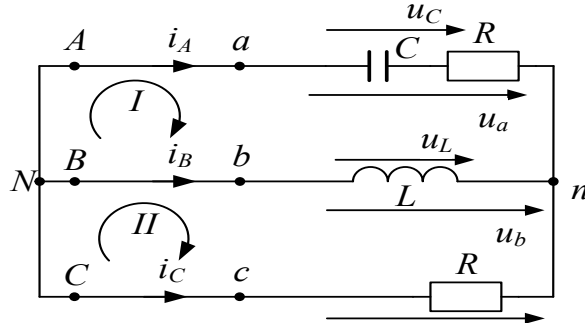


Рис. 3. Схема для расчета свободных составляющих переходных параметров

Найдем неизвестные величины

$$i_{A.cв(0)} = -\frac{u_{C.cв(0)} + R i_{B.cв(0)}}{2R} = -\frac{69.3404 + 7 \times 1.8729}{2 \times 7} = -5.8893 \text{ A}$$

$$i_{C.cв(0)} = -i_{A.cв(0)} - i_{B.cв(0)} = -(-5.8893) - 1.8729 = 4.0164 \text{ A}$$

$$u_{L.cв(0)} = i_{C.cв(0)} R = 4.0164 \times 7 = 28.115 \text{ B}$$

Найдем производные свободных составляющих тока в катушке индуктивности и напряжения на конденсаторе в момент $t=0$:

$$i'_{B.cв(0)} = \frac{u_{L.cв(0)}}{L} = \frac{28.115}{0.077} = 365.129 \frac{\text{A}}{\text{c}}$$

$$u'_{C.cв(0)} = \frac{i_{A.cв(0)}}{C} = \frac{-5.8893}{0.0004} = -15498.2842 \frac{\text{B}}{\text{c}}$$

Для нахождения производных токов в момент времени $t = 0$ продифференцируем исходную систему уравнений.

$$\begin{aligned} i'_{A.cв(0)} + i'_{B.cв(0)} + i'_{C.cв(0)} &= 0 \\ -u'_{L.cв(0)} + u'_{C.cв(0)} + i'_{A.cв(0)} R &= 0 \\ u'_{L.cв(0)} - i'_{C.cв(0)} R &= 0 \end{aligned}$$

Из решения системы трех уравнений с тремя неизвестными найдем искомые значения производных.

$$i'_{C.cв(0)} = \frac{u'_{C.cв(0)} - R i'_{B.cв(0)}}{2R} = \frac{-15498.2842 - 7 \times 365.1293}{2 \times 7} = -1289.5849 \frac{\text{A}}{\text{c}}$$

$$i'_{A.cв(0)} = -i'_{B.cв(0)} - i'_{C.cв(0)} = -365.1293 - (-1289.5849) = 924.4557 \frac{\text{A}}{\text{c}}$$

$$u'_{L.cв(0)} = R i'_{C.cв(0)} = 7 \times -1289.5849 = -9027.0945 \frac{\text{B}}{\text{c}}$$

5. составим характеристическое уравнение цепи (рис. 3), записав в зависимости от p входное сопротивление относительно ветви с конденсатором и приравняв его к нулю.

$$Z(p) = \frac{R_p L}{R + p L} + \frac{1}{p C} + R = \frac{2CLRp^2 + (CR^2 + L)p + R}{CLp^2 + CRp} = 0$$

Найдем корни характеристического уравнения приравняв числитель к нулю:

$$2CLRp^2 + (CR^2 + L)p + R = 0.0004p^2 + 0.0956p + 7 = 0$$

Корни характеристического уравнения:

$$p_1 = \frac{-0.0956 + \sqrt{0.0956^2 - 4 \times 0.0004 \times 7}}{2 \times 0.0004} = (-116.7122 + 58.8764j) c^{-1}$$

$$p_2 = \frac{-0.0956 - \sqrt{0.0956^2 - 4 \times 0.0004 \times 7}}{2 \times 0.0004} = (-116.7122 - 58.8764j) c^{-1}$$

Корни, комплексно-сопряженные с отрицательной вещественной частью, переходной процесс имеет колебательный затухающий характер. Мнимая часть комплексно-сопряженных корней представляет собой частоту свободных колебаний $\omega_{св} = \text{Im}(p_1) = \text{Im}(-116.7122 + 58.8764j) = 58.8764 \text{ рад/с}$, период свободных

колебаний при этом составит $T_{св} = \frac{2\pi}{\omega_{св}} = \frac{2\pi}{58.8764} = 0.1067 \text{ с}$:

Вещественная часть называется коэффициентом затухания

$\alpha = \text{Re}(p_1) = \text{Re}(-116.7122 + 58.8764j) = -116.7122 c^{-1}$ и определяет скорость изменения амплитуды свободных колебаний. За время с момента начала переходного процесса свободная составляющая переходного тока убывает в $e = 2.7183$ раз.

На практике длительность переходного процесса $\Delta t = \frac{5}{|\alpha|} = \frac{5}{|-116.7122|} = 0.0428 \text{ с}$.

В соответствии с найденными значениями корней характеристического уравнения цепи свободные составляющие будем искать в виде:

$$i_{A.св}(t) = I_{m.A} e^{\alpha t} \sin(\omega_{св} t + \psi_{iA}), i_{B.св}(t) = I_{m.B} e^{\alpha t} \sin(\omega_{св} t + \psi_{iB}),$$

$$i_{C.св}(t) = I_{m.C} e^{\alpha t} \sin(\omega_{св} t + \psi_{iC}), u_{C.св}(t) = U_{m.C} e^{\alpha t} \sin(\omega_{св} t + \psi_C),$$

$$u_{L.св}(t) = U_{m.L} e^{\alpha t} \sin(\omega_{св} t + \psi_L), u_{a.св}(t) = U_{m.a} e^{\alpha t} \sin(\omega_{св} t + \psi_a),$$

$$u_{b.св}(t) = U_{m.b} e^{\alpha t} \sin(\omega_{св} t + \psi_b), u_{c.св}(t) = U_{m.c} e^{\alpha t} \sin(\omega_{св} t + \psi_c)$$

продифференцировав последнее выражение по времени, получим:

$$i'_{A.св}(t) = \frac{d}{dt} i_{A.св}(t) = -116.7122 I_{m.A} \sin(58.8764 t + \psi_{iA}) e^{-116.7122 t} + 58.8764 I_{m.A} \cos(58.8764 t + \psi_{iA}) e^{-116.7122 t},$$

$$i'_{B.св}(t) = \frac{d}{dt} i_{B.св}(t) = -116.7122 I_{m.B} \sin(58.8764 t + \psi_{iB}) e^{-116.7122 t} + 58.8764 I_{m.B} \cos(58.8764 t + \psi_{iB}) e^{-116.7122 t},$$

$$i'_{C.св}(t) = \frac{d}{dt} i_{C.св}(t) = -116.7122 I_{m.C} \sin(58.8764 t + \psi_{iC}) e^{-116.7122 t} + 58.8764 I_{m.C} \cos(58.8764 t + \psi_{iC}) e^{-116.7122 t},$$

$$u'_{C.св}(t) = \frac{d}{dt} u_{C.св}(t) = -116.7122 U_{m.C} \sin(58.8764 t + \psi_C) e^{-116.7122 t} + 58.8764 U_{m.C} \cos(58.8764 t + \psi_C) e^{-116.7122 t},$$

$$u'_{L.c\delta}(t) = \frac{d}{dt} u_{L.c\delta}(t) = -116.7122 U_{m.L} \sin(58.8764t + \psi_L) e^{-116.7122t} + 58.8764 U_{m.L} \cos(58.8764t + \psi_L) e^{-116.7122t};$$

$$u'_{a.c\delta}(t) = \frac{d}{dt} u_{a.c\delta}(t) = -116.7122 U_{m.a} \sin(58.8764t + \psi_a) e^{-116.7122t} + 58.8764 U_{m.a} \cos(58.8764t + \psi_a) e^{-116.7122t}.$$

$$u'_{b.c\delta}(t) = \frac{d}{dt} u_{b.c\delta}(t) = -116.7122 U_{m.b} \sin(58.8764t + \psi_b) e^{-116.7122t} + 58.8764 U_{m.b} \cos(58.8764t + \psi_b) e^{-116.7122t}.$$

$$u'_{c.c\delta}(t) = \frac{d}{dt} u_{c.c\delta}(t) = -116.7122 U_{m.c} \sin(58.8764t + \psi_c) e^{-116.7122t} + 58.8764 U_{m.c} \cos(58.8764t + \psi_c) e^{-116.7122t}.$$

Собрав попарно уравнения для соответствующих свободных составляющих токов, напряжений и их производных и подставив в эти уравнения $t = 0$, найдем уравнение относительно постоянных интегрирования:

$$\begin{cases} i_{A.c\delta}(0) = I_{m.A} \sin(\psi_{iA}) \rightarrow -5.8893 = I_{m.A} \sin(\psi_{iA}) \\ i'_{A.c\delta}(0) = (\alpha \sin(\psi_{iA}) + \omega_{c\delta} \cos(\psi_{iA})) I_{m.A} \rightarrow 924.4557 = I_{m.A} (-116.7122 \sin(\psi_{iA}) + 58.8764 \cos(\psi_{iA})) \end{cases}$$

Откуда:

$$\psi_{iA} = \arctg\left(\frac{i_{A.c\delta}(0) \omega_{c\delta}}{i'_{A.c\delta}(0) - \alpha i_{A.c\delta}(0)}\right) = \arctg\left(\frac{-5.8893 \times 58.8764}{924.4557 - -116.7122 \times -5.8893}\right) = -55.6364^\circ;$$

$$I_{m.A} = \frac{i_{A.c\delta}(0)}{\sin(\psi_{iA})} = \frac{-5.8893}{\sin(-0.971)} = 7.1345 \text{ A};$$

$$\begin{cases} i_{B.c\delta}(0) = I_{m.B} \sin(\psi_{iB}) \rightarrow 1.8729 = I_{m.B} \sin(\psi_{iB}) \\ i'_{B.c\delta}(0) = (\alpha \sin(\psi_{iB}) + \omega_{c\delta} \cos(\psi_{iB})) I_{m.B} \rightarrow 365.1293 = I_{m.B} (-116.7122 \sin(\psi_{iB}) + 58.8764 \cos(\psi_{iB})) \end{cases}$$

Откуда:

$$\psi_{iB} = \arctg\left(\frac{i_{B.c\delta}(0) \omega_{c\delta}}{i'_{B.c\delta}(0) - \alpha i_{B.c\delta}(0)}\right) = \arctg\left(\frac{1.8729 \times 58.8764}{365.1293 - -116.7122 \times 1.8729}\right) = 10.6977^\circ;$$

$$I_{m.B} = \frac{i_{B.c\delta}(0)}{\sin(\psi_{iB})} = \frac{1.8729}{\sin(0.1867)} = 10.0897 \text{ A};$$

$$\begin{cases} i_{C.c\delta}(0) = I_{m.C} \sin(\psi_{iC}) \rightarrow 4.0164 = I_{m.C} \sin(\psi_{iC}) \\ i'_{C.c\delta}(0) = (\alpha \sin(\psi_{iC}) + \omega_{c\delta} \cos(\psi_{iC})) I_{m.C} \rightarrow -1289.5849 = I_{m.C} (-116.7122 \sin(\psi_{iC}) + 58.8764 \cos(\psi_{iC})) \end{cases}$$

Откуда:

$$\psi_{iC} = \arctg\left(\frac{i_{C.c\delta}(0) \omega_{c\delta}}{i'_{C.c\delta}(0) - \alpha i_{C.c\delta}(0)}\right) = \arctg\left(\frac{4.0164 \times 58.8764}{-1289.5849 - -116.7122 \times 4.0164}\right) = -16.0713^\circ;$$

$$I_{m.C} = \frac{i_{C.c\delta}(0)}{\sin(\psi_{iC})} = \frac{4.0164}{\sin(-0.2805)} = -14.5084 \text{ A};$$

$$\begin{cases} u_{C.c\delta}(0) = U_{m.C} \sin(\psi_C) \rightarrow 69.3404 = U_{m.C} \sin(\psi_C) \\ u'_{C.c\delta}(0) = (\alpha \sin(\psi_C) + \omega_{c\delta} \cos(\psi_C)) U_{m.C} \rightarrow -15498.2842 = U_{m.C} (-116.7122 \sin(\psi_C) + 58.8764 \cos(\psi_C)) \end{cases}$$

Откуда:

$$\psi_C = \arctg\left(\frac{u_{C.c\delta}(0) \omega_{c\delta}}{u'_{C.c\delta}(0) - \alpha u_{C.c\delta}(0)}\right) = \arctg\left(\frac{69.3404 \times 58.8764}{-15498.2842 - -116.7122 \times 69.3404}\right) = -28.8674^\circ;$$

$$U_{m.C} = \frac{u_{C.c\delta}(0)}{\sin(\psi_C)} = \frac{69.3404}{\sin(-0.5038)} = -143.6261 \text{ B};$$

$$\begin{cases} u_{L.c\delta}(0) = U_{m.L} \sin(\psi_L) \rightarrow 28.115 = U_{m.L} \sin(\psi_L) \\ u'_{L.c\delta}(0) = (\alpha \sin(\psi_L) + \omega_{c\delta} \cos(\psi_L)) U_{m.L} \rightarrow -9027.0945 = U_{m.L} (-116.7122 \sin(\psi_L) + 58.8764 \cos(\psi_L)) \end{cases}$$

Откуда:

$$\psi_L = \arctg\left(\frac{u_{L.c\delta}(0) \omega_{c\delta}}{u'_{L.c\delta}(0) - \alpha u_{L.c\delta}(0)}\right) = \arctg\left(\frac{28.115 \times 58.8764}{-9027.0945 - (-116.7122 \times 28.115)}\right) = -16.0713^\circ;$$

$$U_{m.L} = \frac{u_{L.c\delta}(0)}{\sin(\psi_L)} = \frac{28.115}{\sin(-0.2805)} = -101.559 \text{ В};$$

свободные составляющие переходных фазных токов

$$\begin{aligned} i_{A.c\delta}(t) &= I_{m.A} e^{\alpha t} \sin(\omega_{c\delta} t + \psi_{iA}) = 7.1345 e^{-116.7122t} \sin(58.8764t + -55.6364^\circ), \\ i_{B.c\delta}(t) &= I_{m.B} e^{\alpha t} \sin(\omega_{c\delta} t + \psi_{iB}) = 10.0897 \sin(58.8764t + 10.6977^\circ) e^{-116.7122t}, \\ i_{C.c\delta}(t) &= I_{m.C} e^{\alpha t} \sin(\omega_{c\delta} t + \psi_{iC}) = -14.5084 \sin(58.8764t + -16.0713^\circ) e^{-116.7122t}, \end{aligned}$$

свободные составляющие напряжение на конденсаторе u_C и катушке индуктивности u_L

$$\begin{aligned} u_{C.c\delta}(t) &= U_{m.C} e^{\alpha t} \sin(\omega_{c\delta} t + \psi_C) = -143.6261 e^{-116.7122t} \sin(58.8764t + -28.8674^\circ), \\ u_{L.c\delta}(t) &= U_{m.L} e^{\alpha t} \sin(\omega_{c\delta} t + \psi_L) = -101.559 \sin(58.8764t + -16.0713^\circ) e^{-116.7122t}, \end{aligned}$$

свободные составляющие фазных напряжений нагрузки

$$\begin{aligned} u_{a.c\delta}(t) &= u_{L.c\delta}(t) = -101.559 \sin(58.8764t + -16.0713^\circ) e^{-116.7122t}, \\ u_{b.c\delta}(t) &= u_{L.c\delta}(t) = -101.559 \sin(58.8764t + -16.0713^\circ) e^{-116.7122t}, \\ u_{c.c\delta}(t) &= u_{L.c\delta}(t) = -101.559 \sin(58.8764t + -16.0713^\circ) e^{-116.7122t} \end{aligned}$$

Результаты расчета

Искомые токи и напряжения равны сумме установившихся и свободных составляющих: переходные токи (i_A, i_B, i_C)

$$\begin{aligned} i_A(t) &= i_{A.y}(t) + i_{A.c\delta}(t) = 11.9094 \sin(314.1593t + 30.3433^\circ) + 7.1345 e^{-116.7122t} \sin(58.8764t + -55.6364^\circ) \text{ А}, \\ i_B(t) &= i_{B.y}(t) + i_{B.c\delta}(t) = 6.9816 \sin(314.1593t + -167.0323^\circ) + 10.0897 \sin(58.8764t + 10.6977^\circ) e^{-116.7122t} \text{ А}, \\ i_C(t) &= i_{C.y}(t) + i_{C.c\delta}(t) = 5.6455 \sin(314.1593t + -127.9838^\circ) + -14.5084 \sin(58.8764t + -16.0713^\circ) e^{-116.7122t} \text{ А}, \end{aligned}$$

переходное напряжение на конденсаторе u_C и катушке индуктивности u_L

$$\begin{aligned} u_C(t) &= u_{C.y}(t) + u_{C.c\delta}(t) = 99.7601 \sin(314.1593t + -59.6567^\circ) + -143.6261 e^{-116.7122t} \sin(58.8764t + -28.8674^\circ) \text{ В}, \\ u_L(t) &= u_{L.y}(t) + u_{L.c\delta}(t) = 168.8858 \sin(314.1593t + -77.0323^\circ) + -101.559 \sin(58.8764t + -16.0713^\circ) e^{-116.7122t} \text{ В}, \end{aligned}$$

переходные фазные напряжения нагрузки (u_a, u_b, u_c)

$$\begin{aligned} u_a(t) &= u_{a.y}(t) + u_{a.c\delta}(t) = 130.0075 \sin(314.1593t + -19.7724^\circ) + -101.559 \sin(58.8764t + -16.0713^\circ) e^{-116.7122t} \text{ В}, \\ u_b(t) &= u_{b.y}(t) + u_{b.c\delta}(t) = 168.8858 \sin(314.1593t + -77.0323^\circ) + -101.559 \sin(58.8764t + -16.0713^\circ) e^{-116.7122t} \text{ В}, \\ u_c(t) &= u_{c.y}(t) + u_{c.c\delta}(t) = 39.5187 \sin(314.1593t + -127.9838^\circ) + -101.559 \sin(58.8764t + -16.0713^\circ) e^{-116.7122t} \text{ В}, \end{aligned}$$

график свободной составляющей переходного тока через индуктивность

$i_{L.c\delta}(t) = i_{B.c\delta}(t)$ и свободной составляющей переходного фазного напряжения в ветви с конденсатором $u_{C.c\delta}$ построенные в соответствии с полученными выражениями,

приведены на рис. 4 и рис. 5 соответственно :

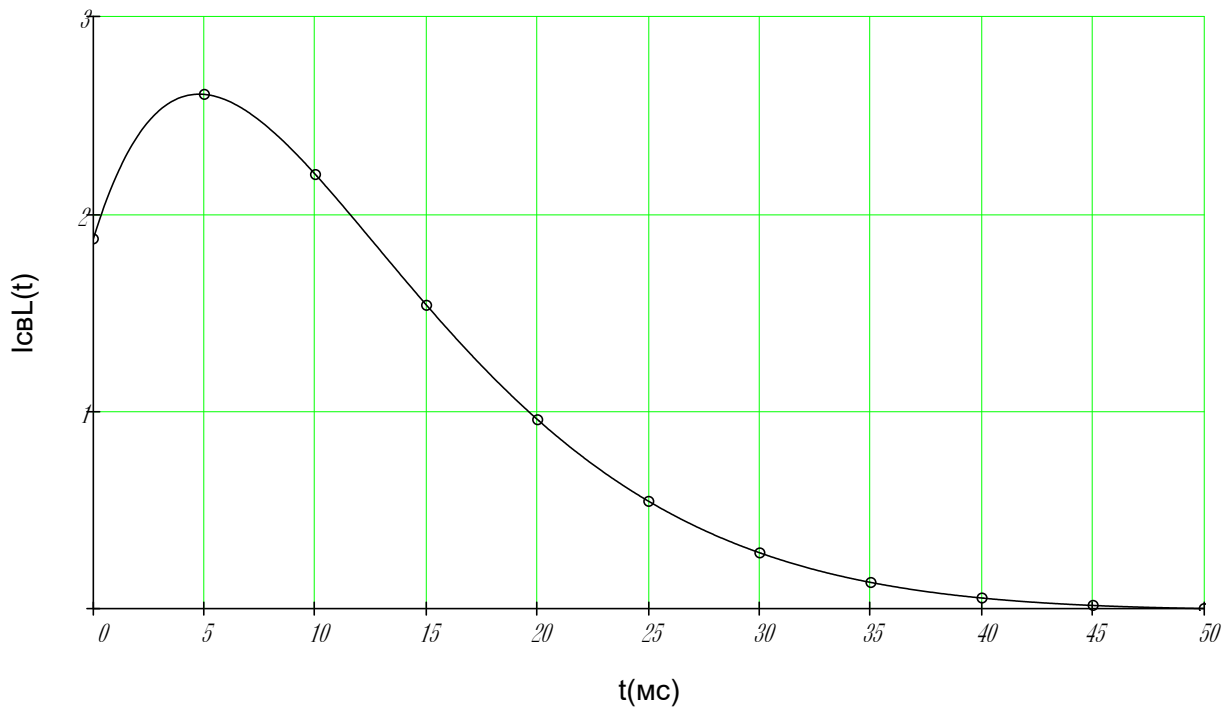


Рис 4 – график свободной составляющей переходного тока через индуктивность $i_{L.cb}(t)$

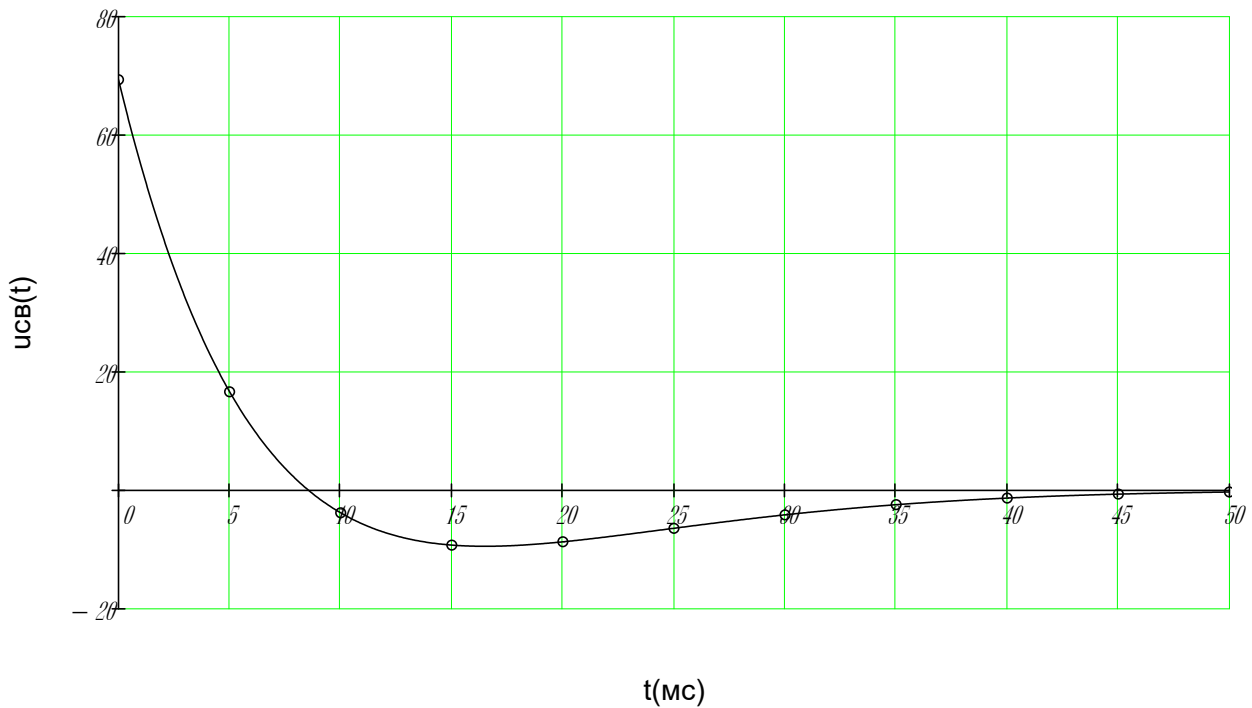


Рис 5 – график свободной составляющей переходного фазного напряжения в ветви с конденсатором $u_{C.cb}$

таблица =

$t, \mu c$	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$i_{L.cb}$	1.873	2.605	2.199	1.537	0.957	0.543	0.282	0.132	0.053	0.016	0
$u_{C.cb}$	69.34	16.661	-3.792	-9.235	-8.681	-6.395	-4.127	-2.416	-1.295	-0.631	-0.271