КУРСОВАЯ РАБОТА

Расчет установившихся и переходных процессов в линейных цепях переменного тока

Заданные параметры цепи (таблица 1.1):

$R1 := 50$ $R2 := 60$ $R3 := 40$ $L1 := 0.15$ $L2 := 0$ $L3 := 0$ $C1 := 10^{100}$ $C2 := 100\cdot10^{-6}$ $C3 := 10^{100}$

$E1m := 160$ $\psi1 := 0$ $E2m := 40$ $\psi2 := -30$ $E3m := 0$ $\psi3 := 0$ $f := 45$

Расчет установившихся режимов

1.Определение токов и напряжений установившегося докоммутационного режима (ключ К1 разомкнут)

-определение комплексных сопротивлений и проводимостей ветвей

круговая частота, рад/сек $\omega := 2\cdot\pi\cdot f$ $\omega = 282.743$

реактивные сопротивления ветвей, Ом

$$\begin{pmatrix} XL1 \\ XL2 \\ XL3 \end{pmatrix} := \omega\cdot\begin{pmatrix} L1 \\ L2 \\ L3 \end{pmatrix} \qquad \begin{pmatrix} XL1 \\ XL2 \\ XL3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 42.412 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \qquad \begin{pmatrix} XC1 \\ XC2 \\ XC3 \end{pmatrix} := \left(\frac{1}{\omega}\right)\cdot\begin{pmatrix} \frac{1}{C1} \\ \frac{1}{C2} \\ \frac{1}{C3} \end{pmatrix} \qquad \begin{pmatrix} XC1 \\ XC2 \\ XC3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 35.368 \\ 0 \end{pmatrix}$$

комплексные сопротивления ветвей

$$\begin{pmatrix} Z1 \\ Z2 \\ Z3 \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} R1 \\ R2 \\ R3 \end{pmatrix} + j\cdot\begin{bmatrix} (XL1 - XC1) \\ (XL2 - XC2) \\ (XL3 - XC3) \end{bmatrix} \qquad \begin{pmatrix} Z1 \\ Z2 \\ Z3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 50 + 42.412i \\ 60 - 35.368i \\ 40 \end{pmatrix}$$

комплексные проводимости ветвей

$Y1 := Z1^{-1}$ $Y2 := Z2^{-1}$ $Y3 := Z3^{-1}$

$Y1 = 0.012 - 9.866i \times 10^{-3}$ $Y2 = 0.012 + 7.291i \times 10^{-3}$ $Y3 = 0.025$

действующие значения источников э.д.с. в комплексном виде

$$E1 := \frac{E1m\cdot e^{j\cdot\psi1\cdot\frac{\pi}{180}}}{\sqrt{2}} \qquad E2 := \frac{E2m\cdot e^{j\cdot\psi2\cdot\frac{\pi}{180}}}{\sqrt{2}} \qquad E3 := \frac{E3m\cdot e^{j\cdot\psi3\cdot\frac{\pi}{180}}}{\sqrt{2}}$$

$E1 = 113.137$ $E2 = 24.495 - 14.142i$ $E3 = 0$

Заданная цепь имеет только два узла и три параллельно соединенных ветви. Наиболее рациональны методом расчета является ***метод двух узлов.***

напряжение между двумя узлами цепи $Uаб := \dfrac{E1\cdot Y1 + E2\cdot Y2 + E3\cdot Y3}{Y1 + Y2 + Y3}$ $Uаб = 36.236 - 20.801i$

токи в ветвях цепи в комплексном виде:

$I1 := Y1\cdot(E1 - Uаб)$ $I1 = 1.1 - 0.517i$

$I2 := Y2\cdot(E2 - Uаб)$ $I2 = -0.194 - 3.248i \times 10^{-3}$

$I3 := Y3\cdot(E3 - Uаб)$ $I3 = -0.906 + 0.52i$

Проверяем баланс токов в узле по первому закону Кирхгофа: $I1 + I2 + I3 = 0$

Расчет токов выполнен правильно, т.к. сумма токов равна нулю

комплексы напряжений на элементах схемы

$UR1 := R1 \cdot I1 \qquad UL1 := j \cdot XL1 \cdot I1 \qquad UC1 := -j \cdot XC1 \cdot I1$

$UR2 := R2 \cdot I2 \qquad UL2 := j \cdot XL2 \cdot I2 \qquad UC2 := -j \cdot XC2 \cdot I2$

$UR3 := R3 \cdot I3 \qquad UL3 := j \cdot XL3 \cdot I3 \qquad UC3 := -j \cdot XC3 \cdot I3$

Проверяем равновесие напряжений в контурах по 2-му закону Кирхгофа

$$(E1 - UR1 - UL1 - UC1) - E2 + R2 \cdot I2 + UL2 + UC2 = -7.105i \times 10^{-15}$$

$$(E2 - UR2 - UL2 - UC2) + (-E3 + R3 \cdot I3 + UL3 + UC3) = 0$$

по данным расчета строим векторные диаграммы токов и напряжений в контурах (рис.1) в докоммутационном режиме

амплитудные значения токов (А):

$I1m := \sqrt{2} \cdot |I1| \qquad I1m = 1.718 \qquad I2m := \sqrt{2} \cdot |I2| \qquad I2m = 0.274 \qquad I3m := \sqrt{2} \cdot |I3| \qquad I3m = 1.477$

фазы токов (рад)

$\psi i1 := \arg(I1) \qquad \psi i1 = -0.439 \qquad \psi i2 := \arg(I2) \qquad \psi i2 = -3.125 \qquad \psi i3 := \arg(I3) \qquad \psi i3 = 2.62$

уравнения мгновенных значений токов в ветвях

$i1(t) := I1m \cdot \sin(\omega \cdot t + \psi i1) \qquad i2(t) := I2m \cdot \sin(\omega \cdot t + \psi i2) \qquad i3(t) := I3m \cdot \sin(\omega \cdot t + \psi i3)$

мгновенные значения токов ветвей в докоммутационном режиме (А)

$i1(0) = -0.731 \qquad i2(0) = -4.593 \times 10^{-3} \qquad i3(0) = 0.735$

мгновенные значения напряжений емкостных элементов в докоммутационном режиме (В)

$UC2m := \sqrt{2} \cdot |UC2| \qquad uc2(t) := UC2m \cdot (\sin(\omega \cdot t + \arg(UC2))) \qquad uc2(0) = 9.692$

2.Определение принужденных значений токов и напряжений (ключ К1 замкнут)

$R1 := 0$

реактивные сопротивления ветвей, Ом

$$\begin{pmatrix} XL1 \\ XL2 \\ XL3 \end{pmatrix} := \omega \cdot \begin{pmatrix} L1 \\ L2 \\ L3 \end{pmatrix} \qquad \begin{pmatrix} XL1 \\ XL2 \\ XL3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 42.412 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \qquad \begin{pmatrix} XC1 \\ XC2 \\ XC3 \end{pmatrix} := \left(\frac{1}{\omega}\right) \cdot \begin{pmatrix} \frac{1}{C1} \\ \frac{1}{C2} \\ \frac{1}{C3} \end{pmatrix} \qquad \begin{pmatrix} XC1 \\ XC2 \\ XC3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 35.368 \\ 0 \end{pmatrix}$$

комплексные сопротивления ветвей

$$\begin{pmatrix} Z1 \\ Z2 \\ Z3 \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} R1 \\ R2 \\ R3 \end{pmatrix} + j \cdot \begin{bmatrix} (XL1 - XC1) \\ (XL2 - XC2) \\ (XL3 - XC3) \end{bmatrix} \qquad \begin{pmatrix} Z1 \\ Z2 \\ Z3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 42.412i \\ 60 - 35.368i \\ 40 \end{pmatrix}$$

комплексные проводимости ветвей

$Y1 := Z1^{-1} \qquad Y2 := Z2^{-1} \qquad Y3 := Z3^{-1}$

$Y1 = -0.024i \qquad Y2 = 0.012 + 7.291i \times 10^{-3} \qquad Y3 = 0.025$

напряжение между двумя узлами цепи $\quad Uабпр := \dfrac{E1 \cdot Y1 + E2 \cdot Y2 + E3 \cdot Y3}{Y1 + Y2 + Y3} \quad Uабпр = 35.243 - 55.927i$

токи в ветвях цепи в комплексном виде:

$I1пр := Y1\cdot(E1 - Uабпр)$ $\quad I1пр = 1.319 - 1.837i$ $\quad |I1пр| = 2.261$

$I2пр := Y2\cdot(E2 - Uабпр)$ $\quad I2пр = -0.438 + 0.438i$ $\quad |I2пр| = 0.619$

$I3пр := Y3\cdot(E3 - Uабпр)$ $\quad I3пр = -0.881 + 1.398i$ $\quad |I3пр| = 1.653$

Проверяем баланс токов в узле по первому закону Кирхгофа: $I1пр + I2пр + I3пр = 0$

Расчет токов выполнен правильно, т.к. сумма токов равна нулю

комплексы напряжений на элементах схемы

$UR1пр := R1\cdot I1пр$ $\quad UL1пр := j\cdot XL1\cdot I1пр$ $\quad UC1пр := -j\cdot XC1\cdot I1пр$

$UR2пр := R2\cdot I2пр$ $\quad UL2пр := j\cdot XL2\cdot I2пр$ $\quad UC2пр := -j\cdot XC2\cdot I2пр$

$UR3пр := R3\cdot I3пр$ $\quad UL3пр := j\cdot XL3\cdot I3пр$ $\quad UC3пр := -j\cdot XC3\cdot I3пр$

Проверяем равновесие напряжений в контурах по 2-му закону Кирхгофа

$$(E1 - UR1пр - UL1пр - UC1пр) + (UR2пр + UL2пр + UC2пр - E2) = 7.105i \times 10^{-15}$$

$$(E2 - UR2пр - UL2пр - UC2пр) + (UR3пр + UL3пр + UC3пр - E3) = -2.132i \times 10^{-14}$$

по данным расчета строим векторные диаграммы принужденных токов и напряжений в контурах (рис.2)

амплитудные значения токов (А):

$I1mпр := \sqrt{2}\cdot|I1пр|$ $\quad I1mпр = 3.198$ $\quad I2mпр := \sqrt{2}\cdot|I2пр|$ $\quad I2mпр = 0.876$ $\quad I3mпр := \sqrt{2}\cdot|I3пр|$ $\quad I3mпр = 2.337$

фазы токов (рад)

$\psi i1пр := \arg(I1пр)$ $\quad \psi i2пр := \arg(I2пр)$ $\quad \psi i3пр := \arg(I3пр)$

уравнения мгновенных значений токов в ветвях

$i1пр(t) := I1mпр\cdot\sin(\omega\cdot t + \psi i1пр)$ $\quad i2пр(t) := I2mпр\cdot\sin(\omega\cdot t + \psi i2пр)$ $\quad i3пр(t) := I3mпр\cdot\sin(\omega\cdot t + \psi i3пр)$

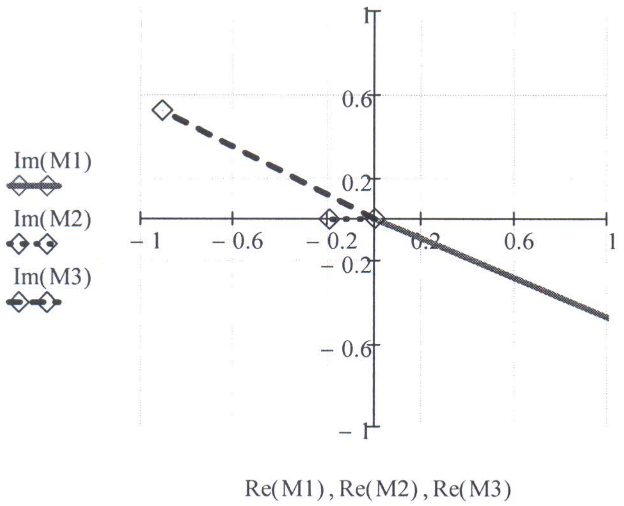
мгновенные значения принужденных токов ветвей после коммутации (А)

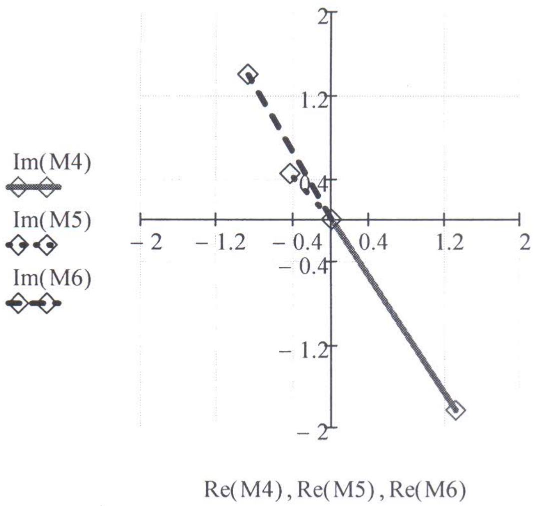
$i1пр(0) = -2.597$ $\quad i2пр(0) = 0.62$ $\quad i3пр(0) = 1.977$

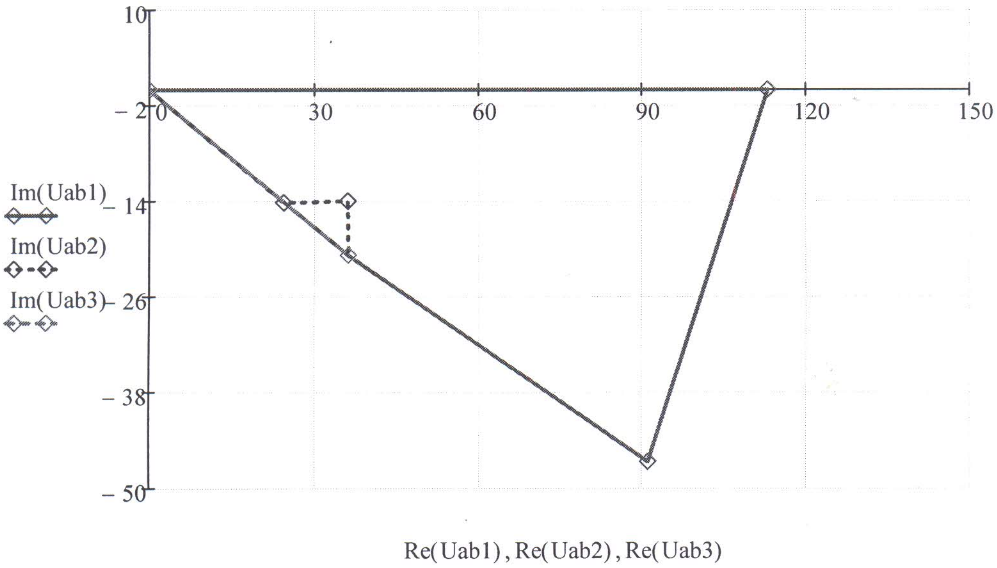
мгновенные значения принужденных напряжений емкостных элементов после коммутации (В)

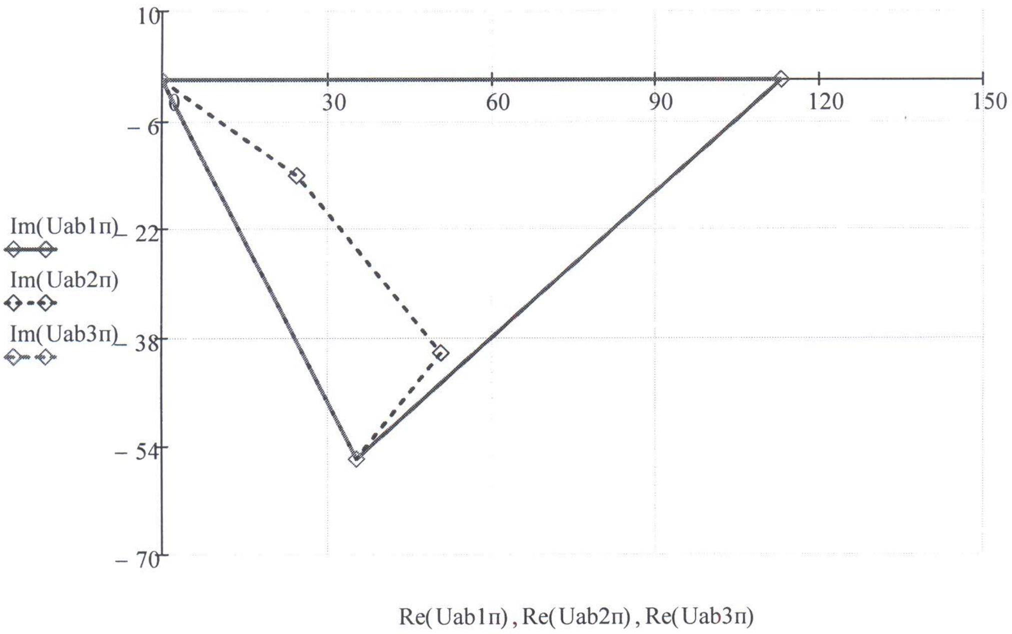
$UC2mпр := \sqrt{2}\cdot|UC2пр|$ $\quad uc2пр(t) := UC2mпр\cdot(\sin(\omega\cdot t + \arg(UC2пр)))$ $\quad uc2пр(0) = 21.887$

Векторные диаграммы установившихся режимов









Расчет переходного процесса классическим методом

При использовании классического метода токи и напряжения после коммутации представляются в вид суммы принужденной и свободной составляющих

Определение начальных условий

- докоммутационные значения (ключ разомкнут) напряжения на емкости и тока через индуктивность

$uc0 := uc2(0)$ $\quad uc0 = 9.692$ $\quad iL0 := i1(0)$ $\quad iL0 = -0.731$

в схеме ненулевые начальные значения

В соответствии с первым и вторым законами коммутации данные значения являются послекоммутационными (ключ разомкнут) независимыми начальными условиями

- значения свободных составляющих напряжения на емкости и тока через индуктивность после коммутации

$uccв0 := uc2(0) - uc2пр(0)$ $\quad uccв0 = -12.195$ $\quad i1cв0 := iL0 - i1пр(0)$ $\quad i1cв0 = 1.867$

- составляем уравнения по законам Кирхгофа для неизвестных свободных составляющих токов

$$i2св0 + i3св0 := -i1св0$$

$$i2св0 \cdot R2 - i3св0 \cdot R3 := uccв0$$

решение уравнений $\begin{pmatrix} i2св0 \\ i3св0 \end{pmatrix} := MR^{-1} \cdot MU$ $\begin{pmatrix} i2св0 \\ i3св0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.869 \\ -0.998 \end{pmatrix}$

Проверяем баланс токов в узле по первому закону Кирхгофа: $i1св0 + i3св0 + i2св0 = 0$

Расчет начальных значений свободных токов выполнен правильно

-значения производных свободных составляющих напряжения на емкости и тока через индуктивность после коммутации

$$icсв := C \cdot \frac{ducсв}{dt} \qquad uLсв := L \cdot \frac{diсв}{dt}$$

$$(i1св0 \cdot R1 + uLсв0) - i3св0 \cdot R3 := 0 \qquad uLсв0 := i1св0 \cdot R1 - i3св0 \cdot R3 \qquad uLсв0 = 39.919$$

$$i1'св0 := \frac{uLсв0}{L1} \quad i1'св0 = 266.13 \qquad u'cсв0 := \frac{i2св0}{C2} \qquad u'cсв0 = -8.686 \times 10^3$$

Определение характеристического уравнения и его корней

- определим сопротивления ветвей на переменном токе при удаленных источниках и заменим (jw) на p

$$Z1(p) := p \cdot L1 \qquad Z2(p) := R2 \qquad Z3(p) := R3 + \frac{1}{p \cdot C3}$$

входное сопротивление цепи при замене (jw) на p

$$Zвх(p) := Z1(p) + \frac{Z2(p) \cdot Z3(p)}{Z2(p) + Z3(p)} \qquad Zвх(p) := .01 \cdot \frac{\left(147. \cdot p^2 + 53500. \cdot p + 7500000.\right)}{(21. \cdot p + 2500.)}$$

$$Zвх(p) := \begin{pmatrix} -181.97 + 133.81i \\ -181.97 - 133.81i \end{pmatrix}$$

Характеристическое уравнение имеет два комплексно-сопряженных корня с отрицательной действительн частью. Свободные составляющие находятся в виде

$$A \cdot e^{-\delta \cdot t} \cdot \sin(\omega0 \cdot t + \nu) \qquad \delta := 181.97 \qquad \omega0 := 133.81$$

для определения постоянных A, ν свободной составляющей i1св решим систему уравнений

Given $\qquad A1 := 0 \qquad \nu1 := 0$

$$A1 \cdot \sin(\nu1) = i1св0$$

$$-\delta \cdot A1 \cdot \sin(\nu1) + \omega0 \cdot A1 \cdot \cos(\nu1) = i1'св0$$

$$Find(A1, \nu1) = \begin{pmatrix} 4.897 \\ 0.391 \end{pmatrix} \qquad A1 := 4.897 \qquad \nu1 := 0.391$$

уравнение свободной составляющей i1св(t) $\quad i1св(t) := A1 \cdot e^{-\delta \cdot t} \cdot \sin(\omega0 \cdot t + \nu1)$

для определения постоянных A2, $\nu2$ свободной составляющей uсcв решим систему уравнений

Given

$A2 \cdot \sin(\nu 2) = uccв0$

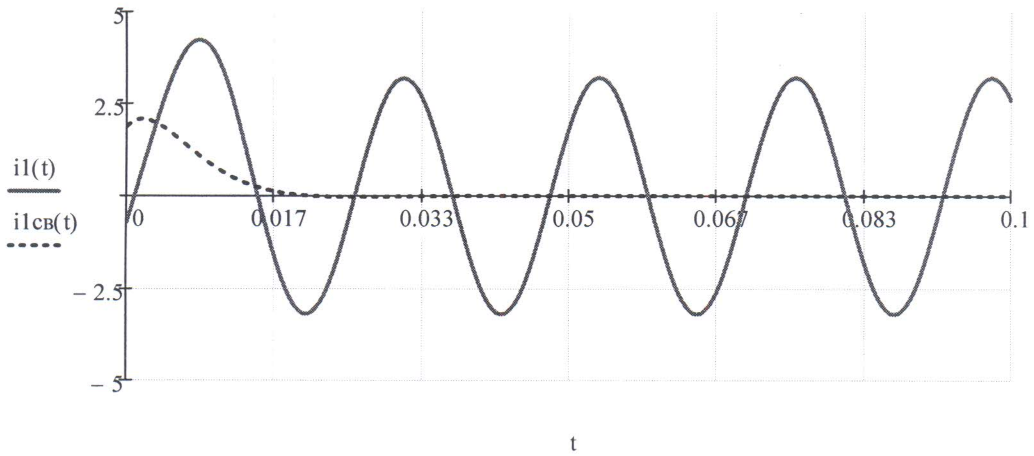
$-\delta \cdot A2 \cdot \sin(\nu 2) + \omega 0 \cdot A2 \cdot \cos(\nu 2) = u'ccв0$

$Find(A2, \nu 2) = \begin{pmatrix} -82.403 \\ 0.149 \end{pmatrix}$ $\qquad A2 := -82.403 \quad \nu 2 := 0.149$

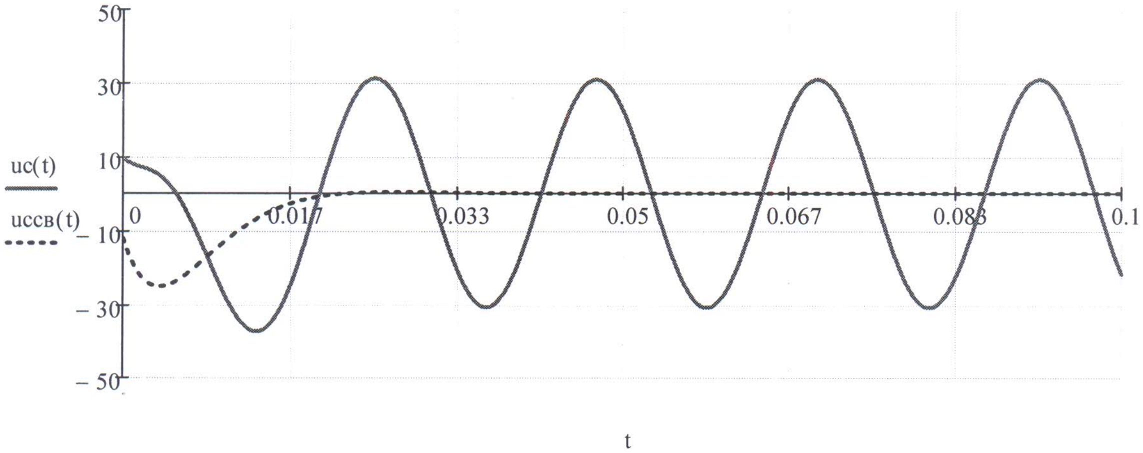
уравнение свободной составляющей uccв $\qquad uccв(t) := A2 \cdot e^{-\delta \cdot t} \cdot \sin(\omega 0 \cdot t + \nu 2) \qquad uccв(0) = -12.233$

Построение графиков токов в ветвях и напряжений на реактивных элементах

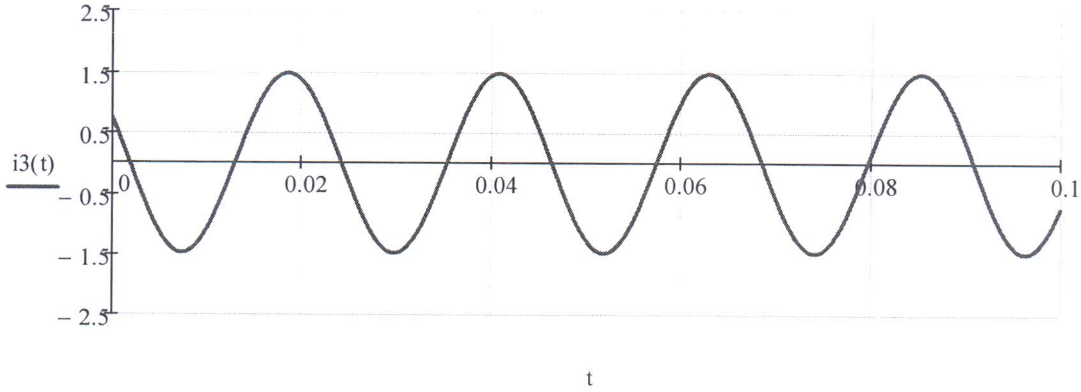
-график тока i1(t) $\qquad i1(t) := i1пр(t) + i1св(t) \qquad i1(0) = -0.731$



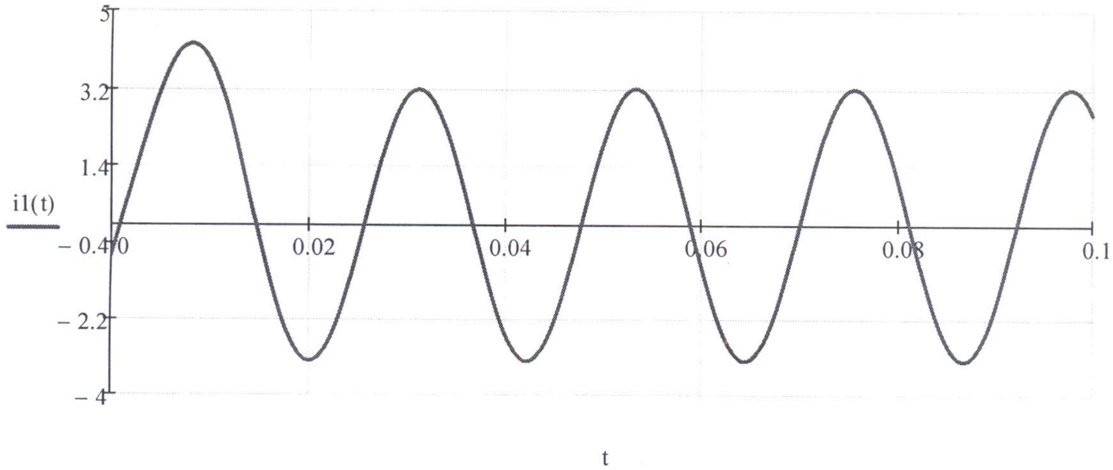
-ãðàôèê íàïðÿæåíèÿ íà åìêîñòè uc(t) $\qquad uc(t) := uc2пр(t) + uccв(t)$



- график тока i2(t) (тока через емкость) $i2(t) := C3 \cdot \left(\frac{d}{dt} uc(t)\right)$



-ãðàôèê òîêà i2(t) $i2(t) := -(i1(t) + i3(t))$



-ãðàôèê íàïðÿæåíèÿ íà èíäóêòèâíîñòè uL(t) $uL(t) := L1 \cdot \left(\frac{d}{dt} i1(t)\right)$