

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
“САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИТМО”

ФАКУЛЬТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РОБОТОТЕХНИКИ

Расчетно-графическая работа №4:

Задание №3

по дисциплине Электротехника

Вариант №12

Выполнил: Студент группы
R3237 Осинина Т. С
Преподаватель: Горшков К.С.

Расчетно-графическая работа №4

Дано:

$$Em1 := 14 \quad Em3 := 29 \quad Em5 := 16$$

$$L1 := 40 \cdot 10^{-3} = 0,04$$

$$R2 := 6$$

$$R3 := 8$$

$$C2 := 384,6 \cdot 10^{-6} = 0,0004$$

$$R4 := 5$$

$$L4 := 25 \cdot 10^{-3}$$

$$C5 := 714,3 \cdot 10^{-6}$$

$$\omega := 200$$

$$f := \frac{\omega}{2 \cdot \pi} = 31,831$$

$$T := \frac{1}{f} = 0,0314$$

$$e1(t) := Em1 \cdot \sin(\omega \cdot t + \psi_{e1})$$

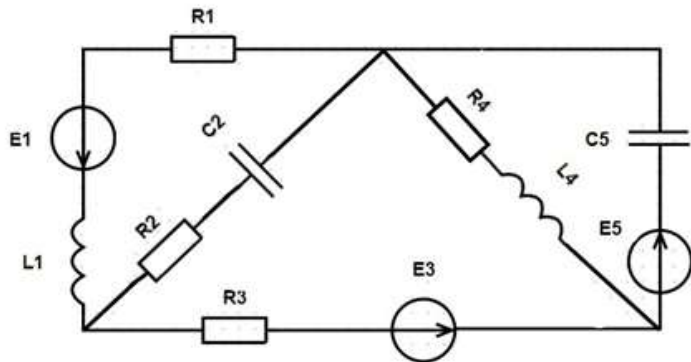
$$e3(t) := Em3 \cdot \sin(\omega \cdot t + \psi_{e3})$$

$$e5(t) := Em5 \cdot \sin(\omega \cdot t + \psi_{e5})$$

$$\psi_{e1} := 0$$

$$\psi_{e3} := -36 \cdot \frac{\pi}{180}$$

$$\psi_{e5} := 68 \cdot \frac{\pi}{180}$$



Задание:

Определить комплексы амплитудных значений токов в ветвях, объединенных в любой узел, и напряжений на пассивных элементах, входящих в произвольно выбранный замкнутый контур цепи.

Построить в масштабе векторные диаграммы токов для узла электрической цепи и напряжений в контуре; узел и контур были выбраны при расчете токов и напряжений.

Любые комплексы амплитудных значений тока и напряжения записать в виде мгновенных значений. Представить ток и напряжение графически в подходящем масштабе.

Определить действующие значения тока и напряжения, представленные функциями времени.

Рассчитать активную мощность P , потребляемую любым резистивным элементом, и реактивную мощность Q , запасаемую индуктивным или емкостным элементом.

Ход работы:

Преобразования в комплексные изображения:

$$j := \sqrt{-1} = i$$

$$E1 := Em1 \cdot \exp(j \cdot \psi_{e1}) = 14$$

$$E3 := Em3 \cdot \exp(j \cdot \psi_{e3}) = 23,4615 - 17,0458 \cdot i$$

$$E5 := Em5 \cdot \exp(j \cdot \psi_{e5}) = 5,9937 + 14,8349 \cdot i$$

$$\operatorname{Re}(E1) = 14 \quad \operatorname{Im}(E1) = 0$$

$$Em3 = \sqrt{(\operatorname{Re}(E1))^2 + (\operatorname{Im}(E1))^2} \quad \sqrt{(\operatorname{Re}(E1))^2 + (\operatorname{Im}(E1))^2} = 14$$

$$\psi_{E1} = -\pi + \operatorname{arctg} \left(\frac{\operatorname{Im}(E1)}{\operatorname{Re}(E1)} \right)$$

$$\operatorname{arctg} \left(\frac{\operatorname{Im}(E1)}{\operatorname{Re}(E1)} \right) = 0$$

$$-\pi + \operatorname{arctg} \left(\frac{\operatorname{Im}(E1)}{\operatorname{Re}(E1)} \right) = -3,1416$$

$$|E1| = 14 \quad \arg(E1) = 0$$

Комплексные сопротивления катушки:

$$XL1 := \omega \cdot L1 = 8$$

$$XL4 := \omega \cdot L4 = 5$$

$$ZL1 := j \cdot XL1 = 8 \cdot i$$

$$ZL4 := j \cdot XL4 = 5 \cdot i$$

Комплексные сопротивления емкости:

$$Xc2 := \frac{1}{\omega \cdot C2} = 13,0005$$

$$Xc5 := \frac{1}{\omega \cdot C5} = 6,9999$$

$$Zc2 := -j \cdot Xc2 = -13,0005 \cdot i$$

$$Zc5 := -j \cdot Xc5 = -6,9999 \cdot i$$

Эквивалентные упрощения:

$$Z2 := R2 + Zc2 = 6 - 13,0005 \cdot i$$

$$Z4 := R4 + ZL4 = 5 + 5 \cdot i$$

$$Z5 := Zc5 = -6,9999 \cdot i$$

$$Z1 := ZL1 = 8 \cdot i$$

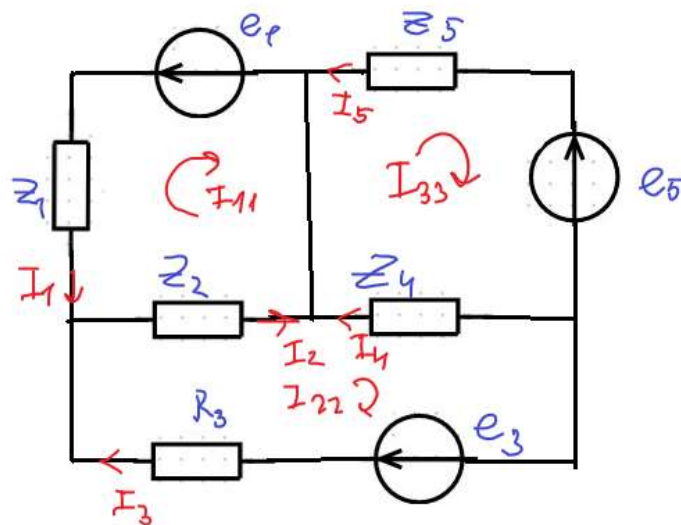


Схема после упрощения

Расчет токов:

$$A := \begin{bmatrix} Z1 + Z2 & -Z2 & 0 \\ -Z2 & R3 + Z2 + Z4 & -Z4 \\ 0 & -Z4 & Z5 + Z4 \end{bmatrix}$$

$$B := \begin{bmatrix} -E1 \\ E3 \\ -E5 \end{bmatrix}$$

$$A11 := \begin{bmatrix} -E1 & -Z2 & 0 \\ E3 & R3 + Z2 + Z4 & -Z4 \\ -E5 & -Z4 & Z5 + Z4 \end{bmatrix}$$

$$A22 := \begin{bmatrix} Z1 + Z2 & -E1 & 0 \\ -Z2 & E3 & -Z4 \\ 0 & -E5 & Z5 + Z4 \end{bmatrix}$$

$$A33 := \begin{bmatrix} Z1 + Z2 & -Z2 & -E1 \\ -Z2 & R3 + Z2 + Z4 & E3 \\ 0 & -Z4 & -E5 \end{bmatrix}$$

$$\Delta := |A| = 810,9925 - 649,0183 \cdot i$$

$$\Delta11 := |A11| = -3413,3705 - 1282,3362 \cdot i$$

$$\Delta_{22} := |\Delta_{22}| = -473,0459 - 976,9148 \cdot i$$

$$\Delta_{33} := |\Delta_{33}| = -1002,3924 - 3479,0898 \cdot i$$

$$I_{11} := \frac{\Delta_{11}}{\Delta} = -1,7943 - 3,0172 \cdot i$$

$$I_{33} := \frac{\Delta_{33}}{\Delta} = 1,3393 - 3,2181 \cdot i$$

$$I_{22} := \frac{\Delta_{22}}{\Delta} = 0,2321 - 1,0189 \cdot i$$

Далее вычислим токи в ветвях по контурным токам.

$$I_1 := -I_{11} = 1,7943 + 3,0172 \cdot i$$

$$I_3 := I_{22} = 0,2321 - 1,0189 \cdot i$$

$$I_2 := (-I_{11} + I_{22}) = 2,0264 + 1,9983 \cdot i \quad I_4 := -I_{22} + I_{33} = 1,1073 - 2,1992 \cdot i$$

$$I_5 := -I_{33} = -1,3393 + 3,2181 \cdot i$$

$$|I_1| = 3,5104$$

$$|I_3| = 1,045$$

$$|I_5| = 3,4857$$

$$|I_2| = 2,846$$

$$|I_4| = 2,4622$$

Переходим от комплексных изображений к оригиналам

$$I_{1m} := |I_1| = 3,5104$$

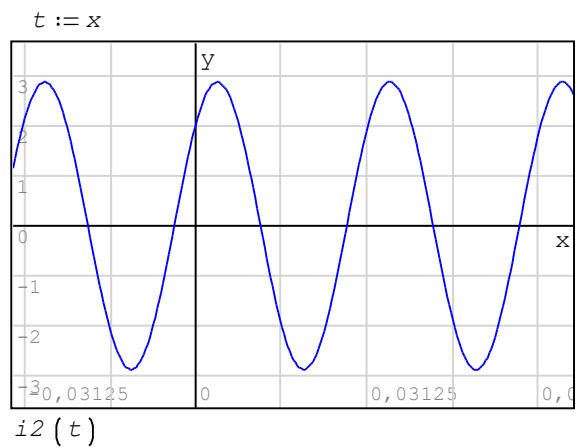
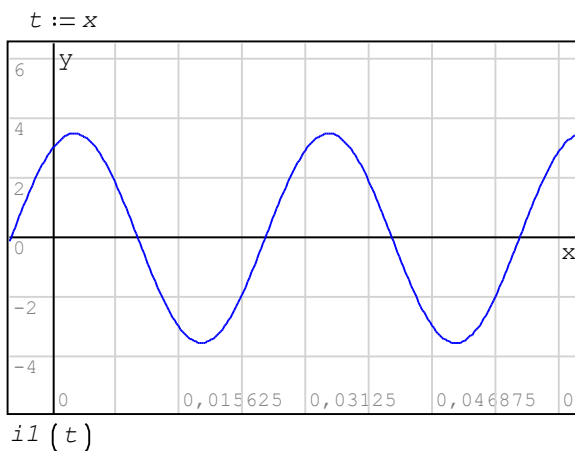
$$I_{2m} := |I_2| = 2,846$$

$$\psi_{i1} := \arg(I_1) = 1,0343$$

$$\psi_{i2} := \arg(I_2) = 0,7784$$

$$i_1(t) := I_{1m} \cdot \sin(\omega \cdot t + \psi_{i1})$$

$$i_2(t) := I_{2m} \cdot \sin(\omega \cdot t + \psi_{i2})$$

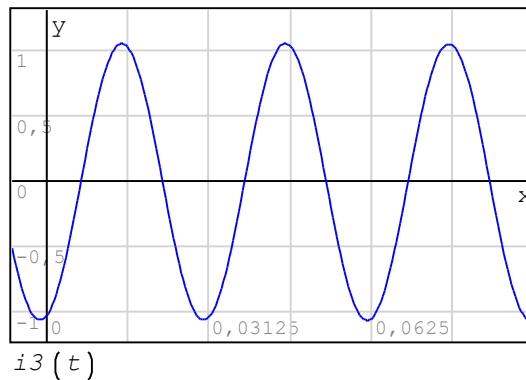


$$I_{3m} := |I_3| = 1,045$$

$$\psi_{i3} := \arg(I_3) = -1,3468$$

$$i_3(t) := I_{3m} \cdot \sin(\omega \cdot t + \psi_{i3})$$

$$t := x$$

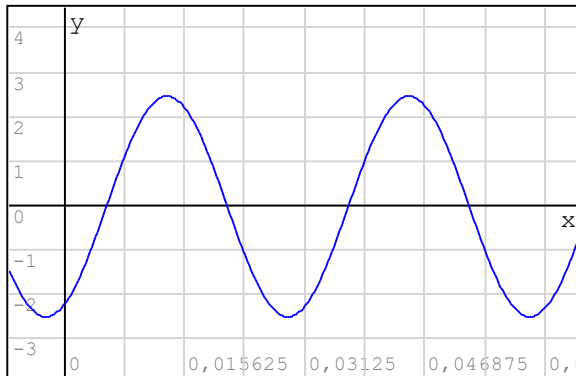


$$I4m := |I4| = 2,4622$$

$$\psi i4 := \arg(I4) = -1,1044$$

$$i4(t) := I4m \cdot \sin(\omega \cdot t + \psi i4)$$

$$t := x$$



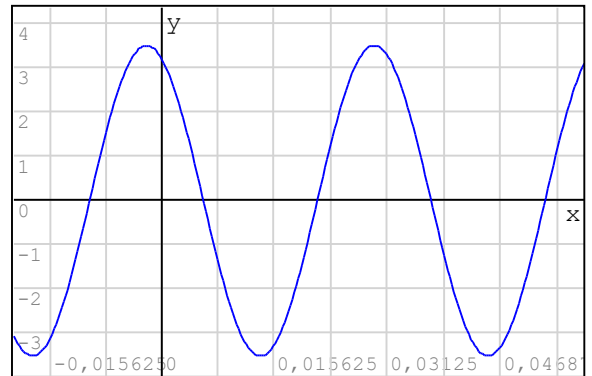
$$i4(t)$$

$$I5m := |I5| = 3,4857$$

$$\psi i5 := \arg(I5) = 1,9652$$

$$i5(t) := I5m \cdot \sin(\omega \cdot t + \psi i5)$$

$$t := x$$



$$i5(t)$$

Расчет баланса мощностей

$$I1d := \frac{|I1|}{\sqrt{2}} = 2,4822$$

$$I3d := \frac{|I3|}{\sqrt{2}} = 0,7389$$

$$I5d := \frac{|I5|}{\sqrt{2}} = 2,4647$$

$$I2d := \frac{|I2|}{\sqrt{2}} = 2,0124$$

$$I4d := \frac{|I4|}{\sqrt{2}} = 1,7411$$

$$E1d := \frac{|E1|}{\sqrt{2}} = 9,8995$$

$$E3d := \frac{|E3|}{\sqrt{2}} = 20,5061$$

$$E5d := \frac{|E5|}{\sqrt{2}} = 11,3137$$

Расчет начальных фаз токов.

$$\psi i1 := \arg(I1) = 1,0343$$

$$\psi i4 := \arg(I4) = -1,1044$$

$$\psi i2 := \arg(I2) = 0,7784$$

$$\psi i5 := \arg(I5) = 1,9652$$

$$\psi i3 := \arg(I3) = -1,3468$$

Мощности источников

$$Sp = |Sp| \cdot \exp(j \cdot \varphi)$$

$$\varphi = \psi e - \psi i$$

$$E1d \cdot \exp(j \cdot \psi e) \cdot I1d \cdot \exp(j \cdot (-\psi i)) = E1d \cdot I1d \cdot \exp(j \cdot (\psi e - \psi i))$$

$$Se1 := E1d \cdot \exp(j \cdot \psi e1) \cdot I1d \cdot \exp(j \cdot (-\psi i1)) = 12,5603 - 21,1201 \cdot i$$

$$Se2 := E3d \cdot \exp(j \cdot \psi e3) \cdot I3d \cdot \exp(j \cdot (-\psi i3)) = 11,4061 + 9,974 \cdot i$$

$$Se3 := E5d \cdot \exp(j \cdot \psi e5) \cdot I5d \cdot \exp(j \cdot (-\psi i5)) = 19,8562 - 19,5786 \cdot i$$

$$Se := (Se1 + Se2 + Se3) = 43,8226 - 30,7246 \cdot i$$

Мощности на резисторах

$$P := I2d^2 \cdot R2 + I4d^2 \cdot R4 + I3d^2 \cdot R3 = 43,8226$$

$$\operatorname{Re}(Se) = 43,8226$$

Мощность на реактивных элементах

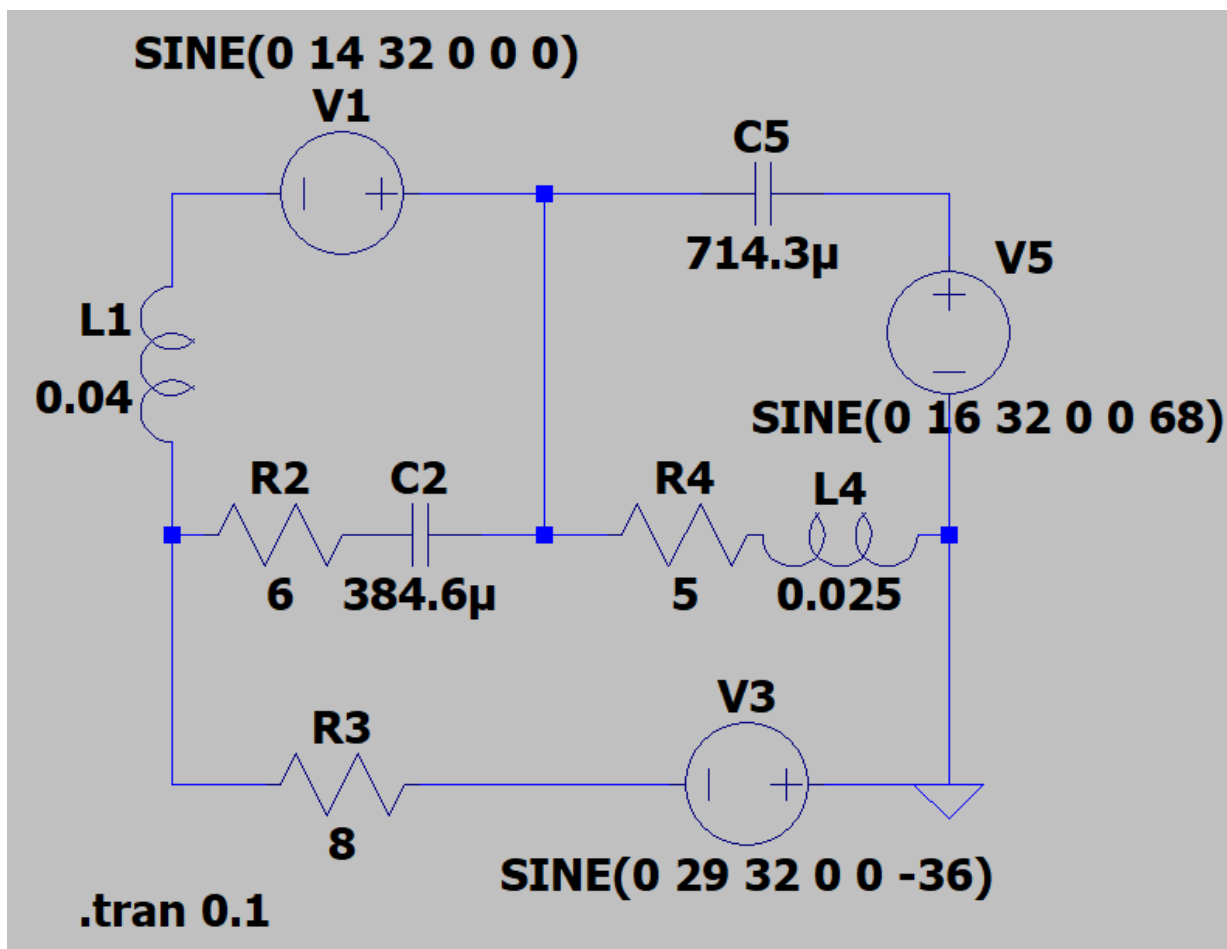
$$QL := I1d^2 \cdot XL1 + I4d^2 \cdot XL4 = 64,4476$$

$$Q := QL - QC = -30,7246$$

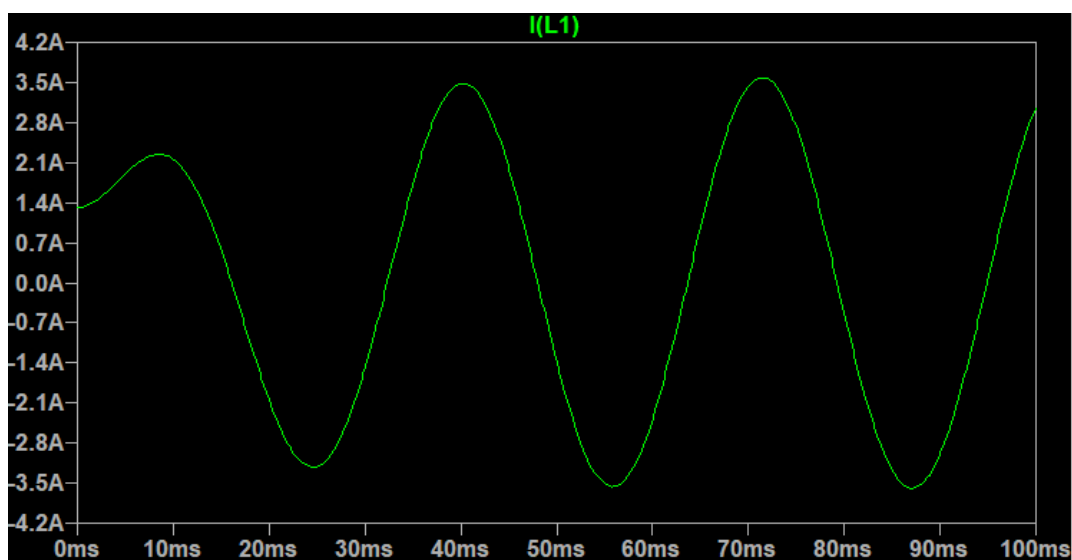
$$QC := I2d^2 \cdot Xc2 + I5d^2 \cdot Xc5 = 95,1722$$

$$\operatorname{Im}(Se) = -30,7246$$

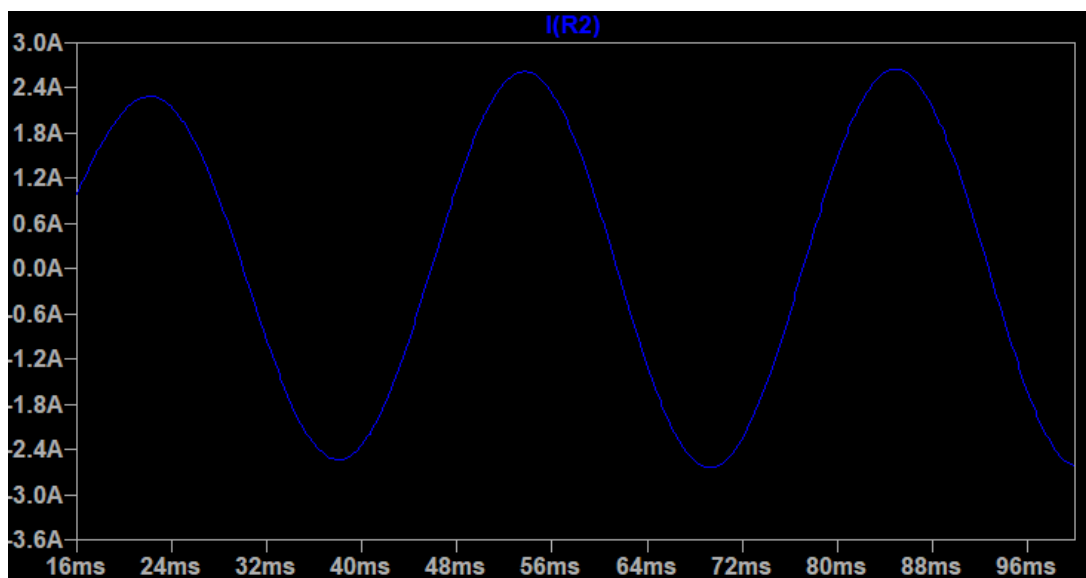
Схема моделирования в LTspice:



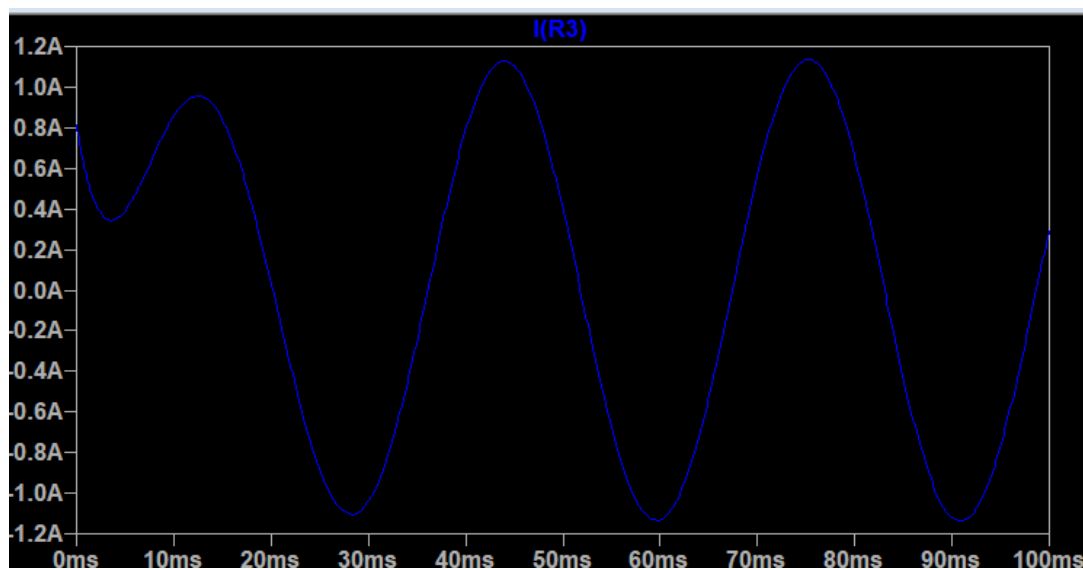
Результаты моделирования в LTspice:



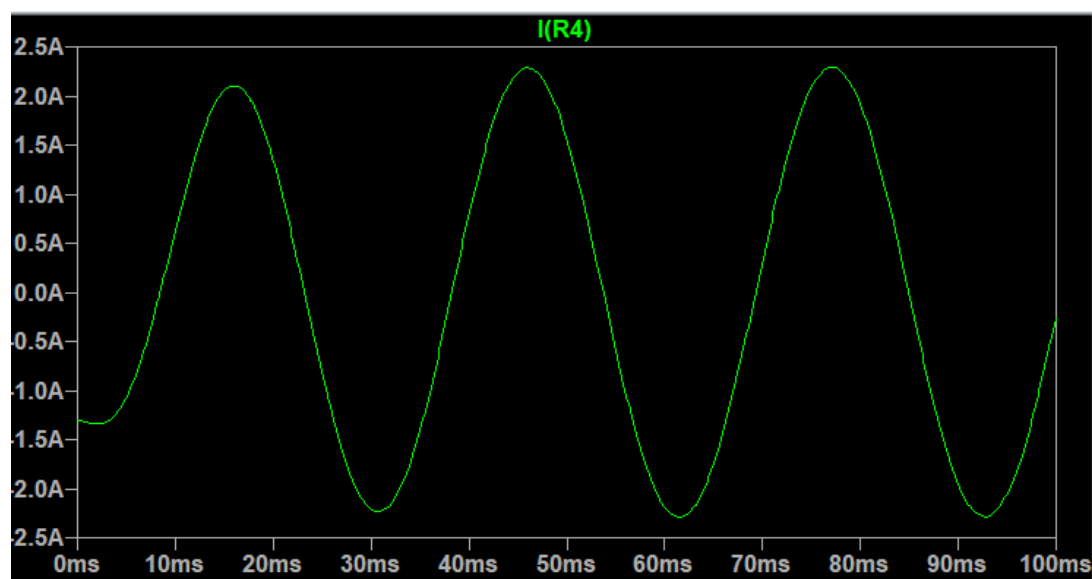
1. График зависимости $i_L(t)$



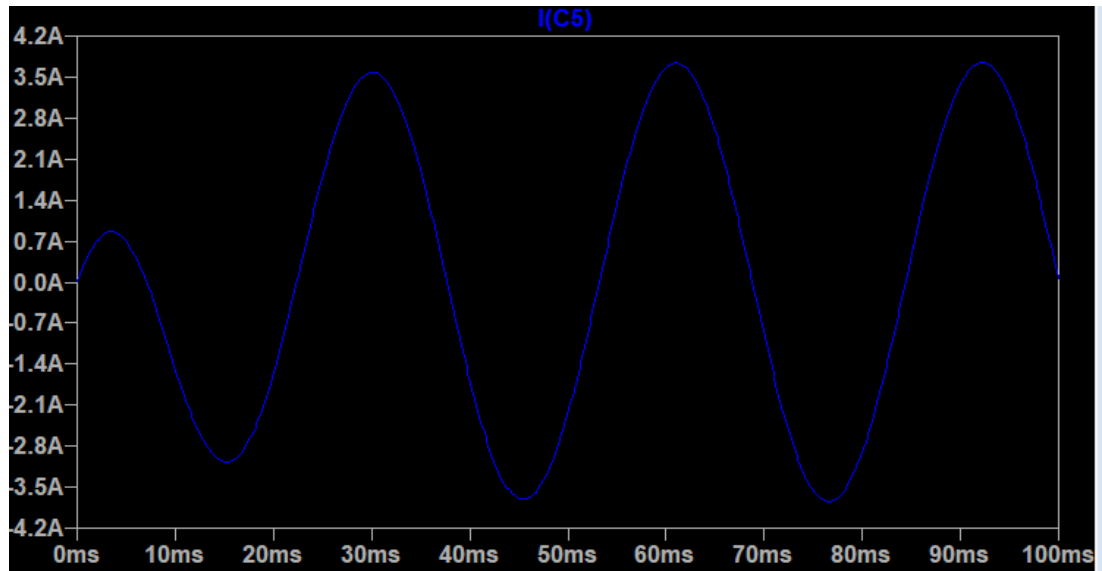
2. График зависимости $i_2(t)$



3. График зависимости $i_3(t)$



4. График зависимости $i_4(t)$



5. График зависимости $i5(t)$

Вывод: в процессе выполнения расчетной работы №4 была исследована цепь переменного тока, были изучены эквивалентное упрощения, комплексное изображения и баланс мощности. Далее проверили наши измерения в LTspice, все значения сошлись, это можно проверить, посмотрев графики.