

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНСТИТУТ
РАДИОТЕХНИКИ, ЭЛЕКТРОНИКИ И АВТОМАТИКИ
(ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

КАФЕДРА ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Типовой расчет №1

Задание 1.2. Линейные электрические цепи
синусоидального тока.

Вариант №98.

Выполнено
студентом группы ВВ-2-06
Котоминым Иваном

Преподаватель:
Лысенко В.Г.

Москва - 2007

Данные задачи:

$$L_2 = 8 \text{ мГн}$$

$$L_3 = 14,5 \text{ мГн}$$

$$C_3 = 4,45 \text{ мкФ}$$

$$R_1 = 60 \text{ Ом}$$

$$f = 1200 \text{ Гц}$$

$$e_2' = 755 \cdot \sin(\omega t + 53^\circ) \text{ В}$$

$$e_2'' = 50 \cdot \cos(\omega t + 323^\circ) = 50 \cdot \sin(\omega t + 53^\circ) \text{ В}$$

$$e_3' = 705 \cdot \sin(\omega t + 307^\circ) \text{ В}$$

Переведем исходные данные в удобный для расчета вид:

$$\omega = 2\pi f = 7,54 \cdot 10^3 \text{ Гц}$$

$$\dot{E}_{2m}' = 755 \cdot e^{j53^\circ} = 454,37 + j \cdot 602,97 \text{ В}$$

$$\dot{E}_{2m}'' = 50 \cdot e^{j53^\circ} = 30,091 + j \cdot 39,932 \text{ В}$$

$$\dot{E}_{3m}' = 705 \cdot e^{j307^\circ} = 424,28 - j \cdot 563,038 \text{ В}$$

Найдем комплексы действующих значений:

$$\dot{E} = \frac{\dot{E}_m}{\sqrt{2}}$$

$$\dot{E}_2' = 321,288 + j \cdot 426,364 \text{ В}$$

$$\dot{E}_2'' = 21,277 + j \cdot 28,236 \text{ В}$$

$$\dot{E}_3' = 200,011 - j \cdot 298,128 \text{ В}$$

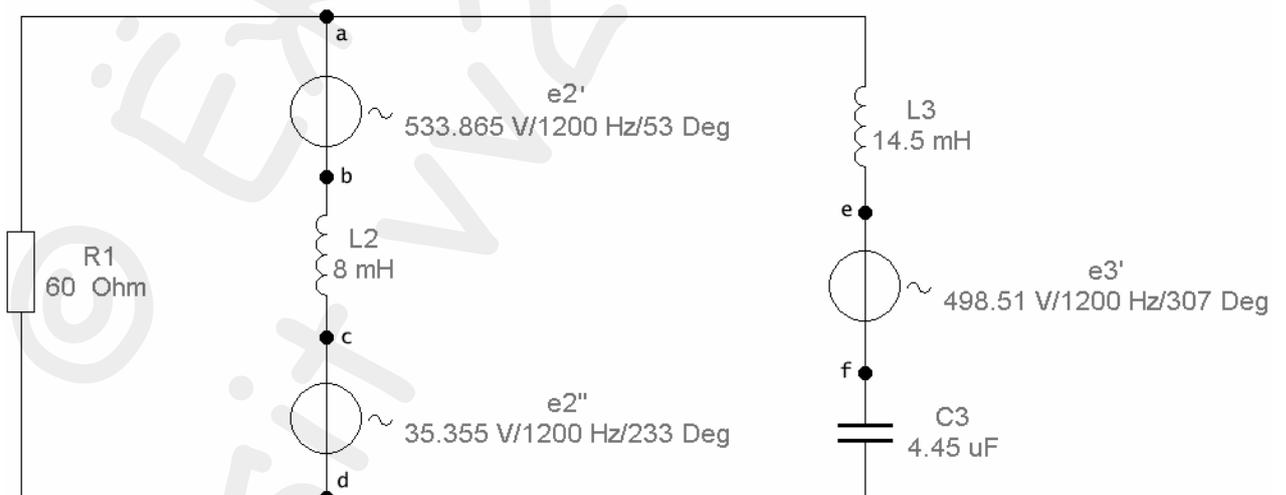


Рис. 1. Исходная схема.

1. На основании законов Кирхгофа составить в общем виде систему уравнений для расчета токов во всех ветвях цепи, записав ее в дифференциальной и символической формах.

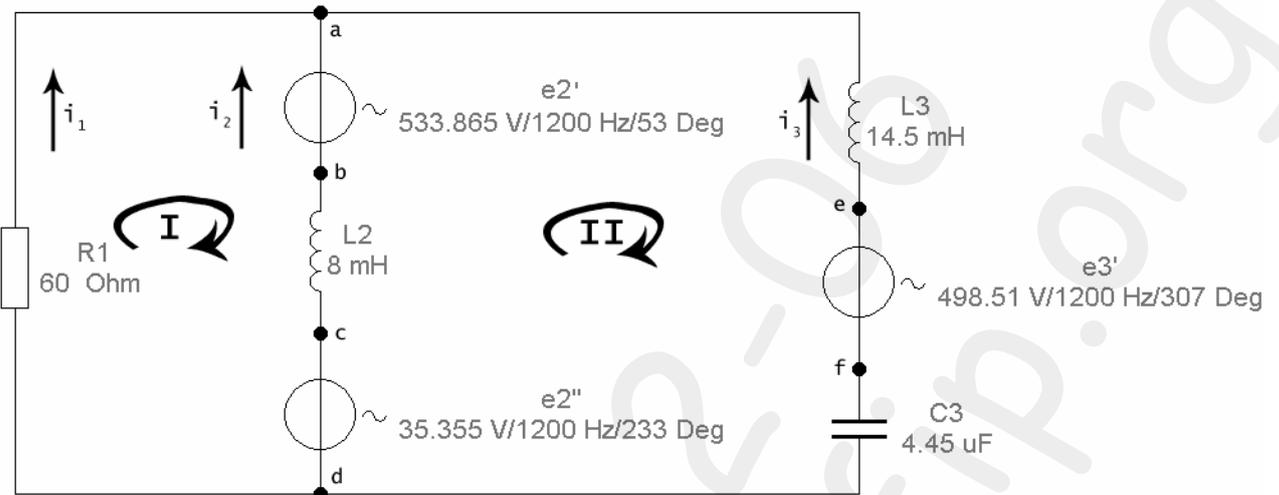


Рис. 2. Исходная схема с выбранными направлениями токов и направлениями обхода контуров.

а) Запись уравнений в дифференциальной форме.

$$i_1(t) + i_2(t) + i_3(t) = 0$$

$$-L_3 \frac{di_3}{dt} + L_2 \frac{di_2}{dt} - \frac{1}{C_3} \int i_3 dt = e_2' - e_2'' - e_3'$$

$$R_1 i_1(t) - L_2 \frac{di_2}{dt} = e_2'' - e_2'$$

б) Запись уравнений в символической форме.

$$\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 = 0$$

$$-L_3 \cdot j \cdot \omega \cdot \dot{I}_3 + L_2 \cdot j \cdot \omega \cdot \dot{I}_2 - \frac{\dot{I}_3}{j \cdot \omega \cdot C_3} = \dot{E}_2' - \dot{E}_2'' - \dot{E}_3'$$

$$R_1 \cdot \dot{I}_1 - L_2 \cdot j \cdot \omega \cdot \dot{I}_2 = \dot{E}_2'' - \dot{E}_2'$$

Из решения этой системы в Mathcad получим:

$$\dot{I}_1 = -4,161 + j \cdot 1,468 = 4,412 \cdot e^{j \cdot 160,567^\circ} \text{ A}$$

$$\dot{I}_2 = 8,060 - j \cdot 0,835 = 8,103 \cdot e^{j \cdot (-5,912)^\circ} \text{ A}$$

$$\dot{I}_3 = -3,899 - j \cdot 0,633 = 3,95 \cdot e^{j \cdot 189,221^\circ} \text{ A}$$

2. Определить комплексы действующих значений токов во всех ветвях, воспользовавшись методом узловых потенциалов.

Заземлим точку d.

Найдем проводимости ветвей:

$$Z_1 = R_1, Y_1 = \frac{1}{Z_1}$$

$$Z_2 = L_2 \cdot j \cdot \omega, Y_2 = \frac{1}{Z_2}$$

$$Z_3 = L_3 \cdot j \cdot \omega + \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C_3}, Y_3 = \frac{1}{Z_3}$$

Потенциал точки a:

$$\varphi_a = \frac{Y_2 \cdot (\dot{E}_2' - \dot{E}_2'') + Y_3 \cdot \dot{E}_3'}{Y_1 + Y_2 + Y_3}$$

$$\varphi_a = 249,67 - j \cdot 88,057 = 264,744 \cdot e^{j(-19,427)^\circ} \text{ В}$$

Найдем токи в ветвях:

$$\dot{I}_1 = -\varphi_a \cdot Y_1$$

$$\dot{I}_2 = (-\varphi_a + \dot{E}_2' - \dot{E}_2'') \cdot Y_2$$

$$\dot{I}_3 = (-\varphi_a + \dot{E}_3') \cdot Y_3$$

$$\dot{I}_1 = -4,161 + j \cdot 1,468 = 4,412 \cdot e^{j160,567^\circ} \text{ А}$$

$$\dot{I}_2 = 8,060 - j \cdot 0,835 = 8,103 \cdot e^{j(-5,912)^\circ} \text{ А}$$

$$\dot{I}_3 = -3,899 - j \cdot 0,633 = 3,95 \cdot e^{j189,221^\circ} \text{ А}$$

Проверим вычисления, смоделировав схему в Electronics workbench:

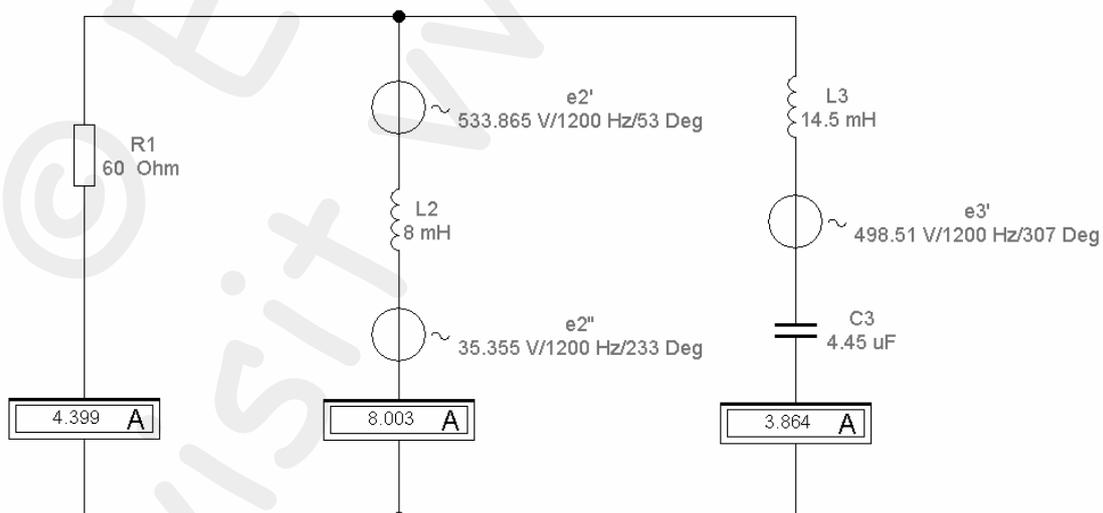


Рис. 3. Моделирование схемы в EWB

Сводная таблица значений токов, вычисленных разными методами

	\dot{I}_1, A	\dot{I}_2, A	\dot{I}_3, A
Кирхгоф	$4,412 \cdot e^{j \cdot 160,567^\circ}$	$8,103 \cdot e^{j \cdot (-5,912)^\circ}$	$3,95 \cdot e^{j \cdot 189,221^\circ}$
МУП	$4,412 \cdot e^{j \cdot 160,567^\circ}$	$8,103 \cdot e^{j \cdot (-5,912)^\circ}$	$3,95 \cdot e^{j \cdot 189,221^\circ}$
EWB (погрешность)	$4,399 \cdot e^{j \cdot \varphi}$ (0,03%)	$8,003 \cdot e^{j \cdot \varphi}$ (1,24%)	$3,864 \cdot e^{j \cdot \varphi}$ (2,20%)

3. По результатам п.2 определить показания ваттметра.

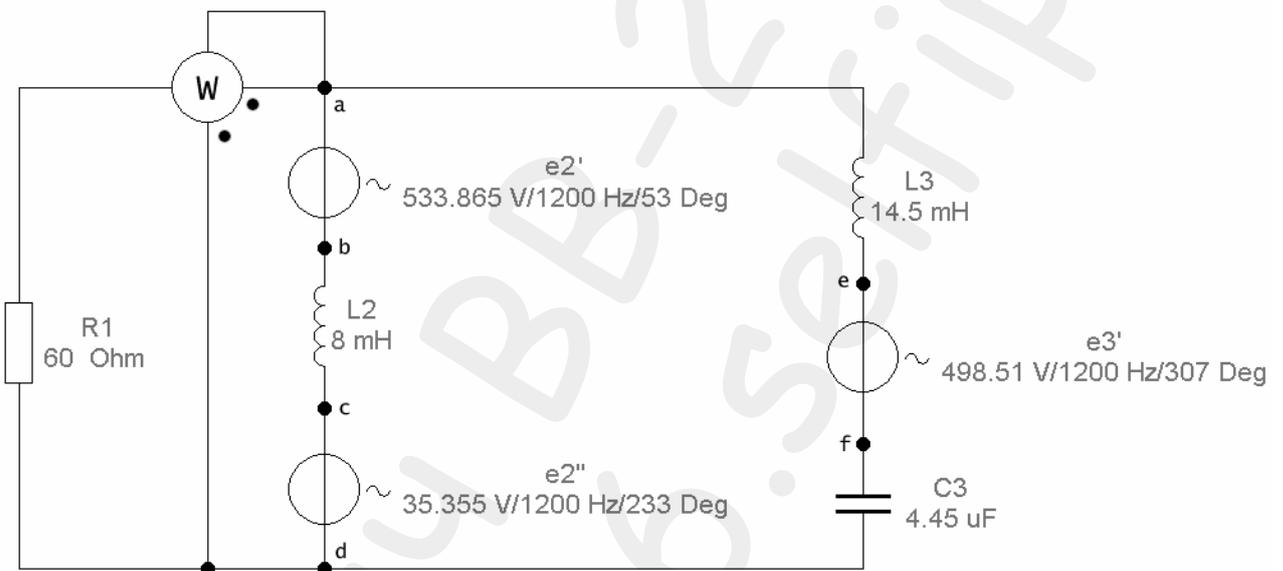


Рис. 4. Включение в цепь ваттметра.

$$P = \operatorname{Re}\{\tilde{S}\} = \operatorname{Re}\{P + j \cdot Q\} = \operatorname{Re}\{\dot{U}_{da} \cdot (-I_1^*)\}, \quad I_1^* - \text{ток, комплексно сопряженный с } I_1$$

$$P = \operatorname{Re}\{(4,161 + j \cdot 1,468) \cdot (-249,67 + j \cdot 88,057)\} = -1,168 \cdot 10^3 \text{ Вт}$$

4. Построить топографическую диаграмму, совмещенную с векторной диаграммой токов. Потенциал точки a принять равным 0.

Потенциал точки a примем равным 0. Рассмотрим контур $a-b-c-d-f-e$.

$$\varphi_a = 0$$

$$\varphi_b = \varphi_a - \dot{E}_2' = -321 - j \cdot 426 \text{ В}$$

$$\varphi_c = \varphi_b + L_2 \cdot j \cdot \omega \cdot \dot{I}_2 = -271 + j \cdot 60 \text{ В}$$

$$\varphi_d = \varphi_c + \dot{E}_2'' = -250 + j \cdot 88 \text{ В}$$

$$\varphi_f = \varphi_d - \frac{\dot{I}_3}{j \cdot \omega \cdot C_3} = -230 - j \cdot 28 \text{ В}$$

$$\varphi_e = \varphi_f + \dot{E}_3' = 69 - j \cdot 426 \text{ В}$$

$$\varphi_{a2} = \varphi_e - L_3 \cdot j \cdot \omega \cdot \dot{I}_3 = 0 \text{ В}$$

Построим токи в масштабе по вертикали 100:1, по горизонтали - 40:1, потенциалы - 1:1.

Токи изобразим пунктиром, потенциалы - сплошными линиями.

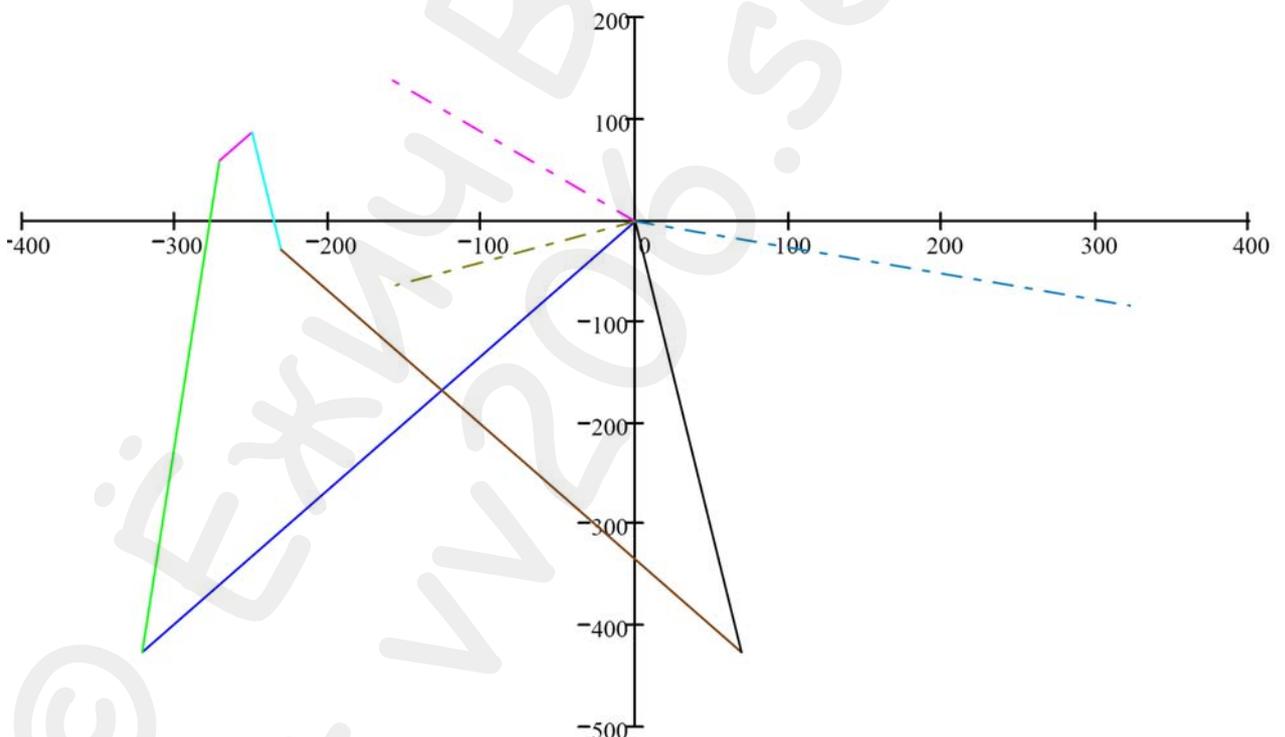


Рис. 5. Топографическая диаграмма, совмещенная с векторной диаграммой токов.

5. Построить круговую диаграмму для тока в L_3 при изменении модуля этого сопротивления в пределах от 0 до ∞ .

Для построения круговой диаграммы необходимо найти ток короткого замыкания и разность фаз нагрузки и входного сопротивления. Их можно найти по МЭГ.

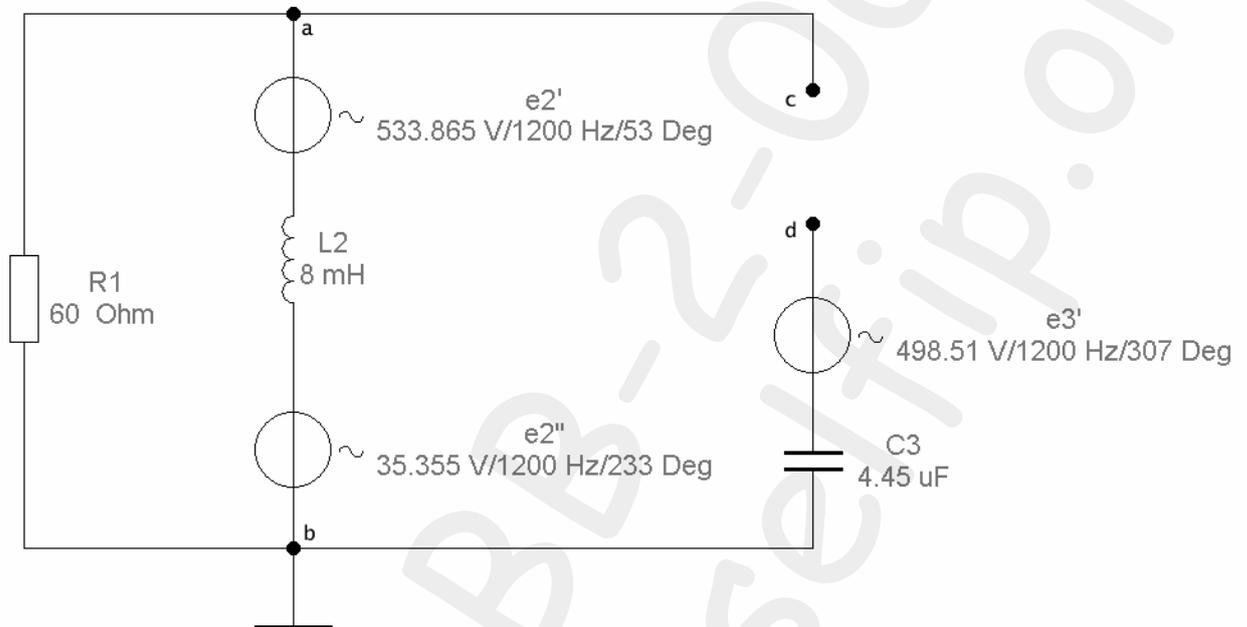


Рис. 6. Цепь без сопротивления нагрузки.

Рассчитаем входное сопротивление.

$$Z_{\text{вх}} = \frac{R_1 \cdot j \cdot \omega \cdot L_2}{R_1 + j \cdot \omega \cdot L_2} + \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C_3}$$

$$Z_{\text{вх}} = 30,159 + j \cdot 0,195 = 30,159 \cdot e^{j \cdot 0,371^\circ} \text{ Ом}$$

Сопротивление нагрузки:

$$Z_n = j \cdot \omega \cdot L_3$$

$$Z_n = j \cdot 109,327 = 30,159 \cdot e^{j \cdot 90^\circ} \text{ Ом}$$

Разность фаз нагрузки:

$$\psi = \varphi_n - \varphi_{\text{вх}} = 90^\circ - 0,371^\circ = 89,629^\circ$$

Для нахождения $E_{\text{экв}} = U_{xx}$ используем МУП, заземлив точку b.

$$\varphi_a = \frac{\dot{E}_2' - \dot{E}_2''}{j \cdot \omega \cdot L_2 \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{j \cdot \omega \cdot L_2} \right)}$$

$$\varphi_a = 348,272 + j \cdot 48,006 \text{ В}$$

$$U_{xx} = \varphi_a - \dot{E}_3'$$

$$U_{xx} = 48,261 + j \cdot 446,134 = 448,737 \cdot e^{j83,826^\circ} \text{ В}$$

$$-L_3 \cdot j \cdot \omega \cdot \dot{I}_3 + L_2 \cdot j \cdot \omega \cdot \dot{I}_2 - \frac{\dot{I}_3}{j \cdot \omega \cdot C_3} = \dot{E}_2' - \dot{E}_2'' - \dot{E}_3'$$

Найдет ток короткого замыкания $\dot{I}_{кз}$.

$$\dot{I}_{кз} = \frac{U_{xx}}{Z_{ex}}$$

$$\dot{I}_{кз} = 1,696 + j \cdot 14,782 = 14,879 \cdot e^{j83,455^\circ} \text{ А}$$

Круговую диаграмму см. на следующей странице.

6. Пользуясь круговой диаграммой, построить график изменения тока в изменяющемся сопротивлении в зависимости от модуля этого сопротивления.

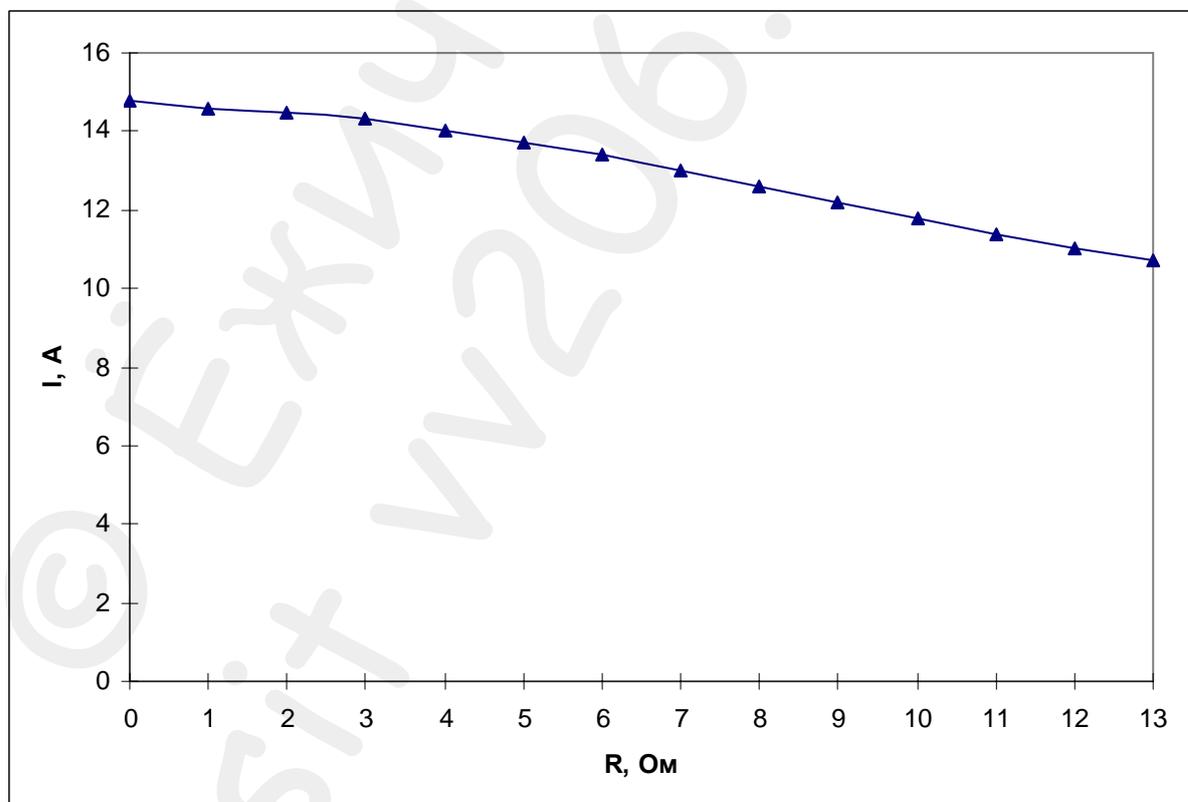


Рис. 7. График изменения тока в сопротивлении

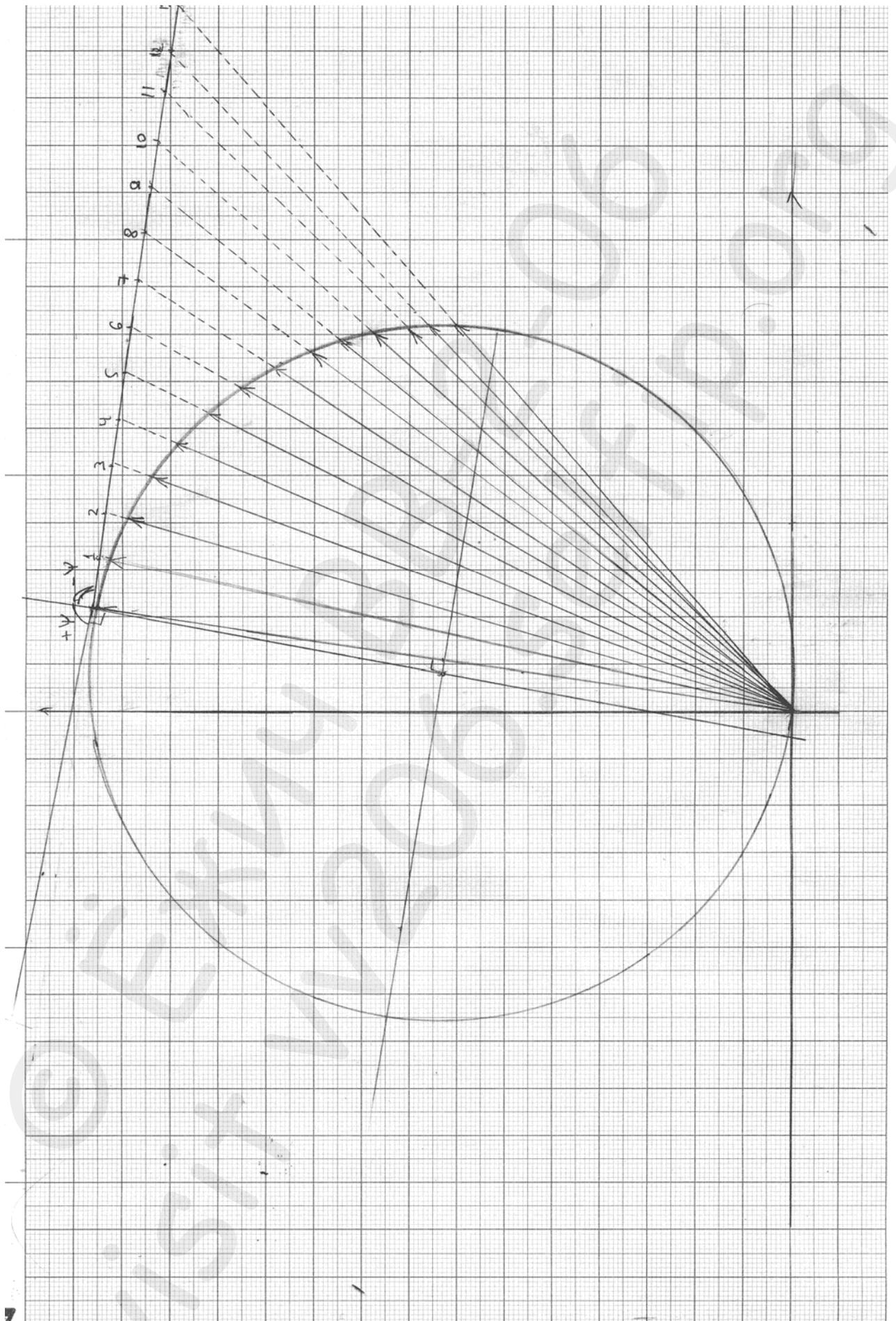
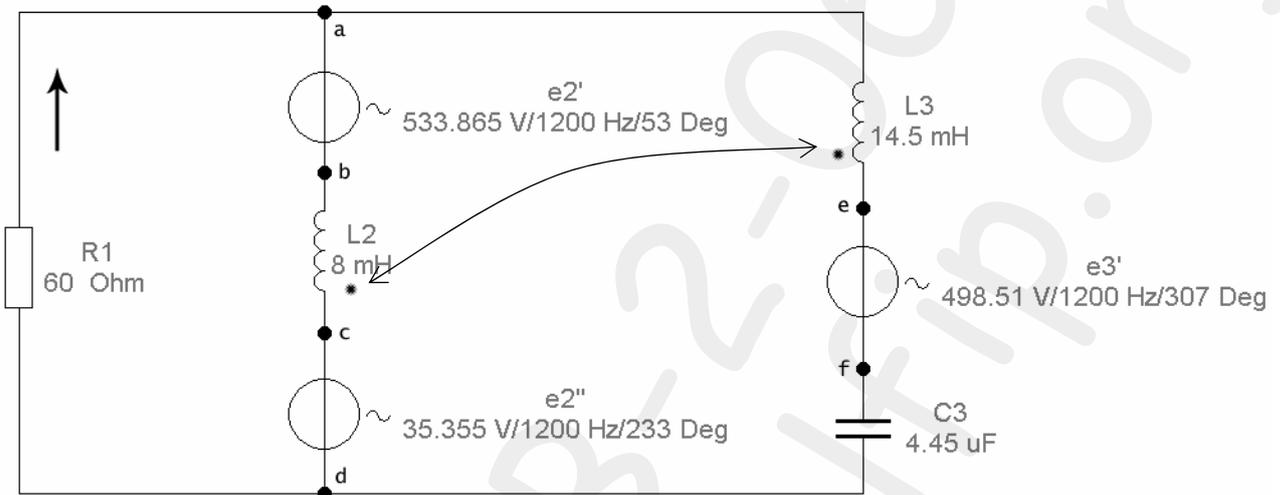


Рис. 8. Круговая диаграмма.

8. Полагая, что между двумя индуктивными катушками есть магнитная связь при взаимной индуктивности, равной M , составить в общем виде систему уравнений по законам Кирхгофа для расчета токов во всех ветвях цепи, записав ее в

а) дифференциальной форме



Примем согласное включение катушек.

$$i_1(t) + i_2(t) + i_3(t) = 0$$

$$-L_3 \frac{di_3}{dt} - M \frac{di_2}{dt} + L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_3}{dt} - \frac{1}{C_3} \int i_3 dt = e_2' - e_2'' - e_3'$$

$$R_1 i_1(t) - L_2 \frac{di_2}{dt} - M \frac{di_3}{dt} = e_2'' - e_2'$$

б) интегральной форме

$$\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 = 0$$

$$-L_3 \cdot j \cdot \omega \cdot \dot{I}_3 - M \cdot j \cdot \omega \cdot \dot{I}_2 + L_2 \cdot j \cdot \omega \cdot \dot{I}_2 + M \cdot j \cdot \omega \cdot \dot{I}_3 - \frac{\dot{I}_3}{j \cdot \omega \cdot C_3} = \dot{E}_2' - \dot{E}_2'' - \dot{E}_3'$$

$$R_1 \cdot \dot{I}_1 - L_2 \cdot j \cdot \omega \cdot \dot{I}_2 - M \cdot j \cdot \omega \cdot \dot{I}_3 = \dot{E}_2'' - \dot{E}_2'$$