

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 №1.

Выполнил студент
гр. ВВ-2-06
Красняков А.М.
Преподаватель:
Лысенко В.Г.

Москва 2007

Данные задачи:

$$L_2 = 6.38 \text{ мГн}$$

$$C_1 = 10.6 \text{ мкФ}$$

$$R_3 = 10 \text{ Ом}$$

$$f = 500 \text{ Гц}$$

$$e_1' = 80 \sin(\omega t - 340^\circ) \text{ В}$$

$$e_1'' = 19 \cos(\omega t + 290^\circ) \text{ В}$$

$$e_2' = 179 \cos(\omega t + 270^\circ) \text{ В}$$

Найдём данные, необходимые для дальнейшего решения:

$$\omega = 2\pi \cdot f = 3142 \text{ рад/с}$$

$$X_{L2} = \omega \cdot L_2 = 20 \text{ Ом}$$

$$X_{C1} = 1 / (\omega \cdot L_2) = 30 \text{ Ом}$$

$$\dot{E}_{1m}' = 80 e^{-j340^\circ} = 75.175 + j 27.362 \text{ В}$$

$$\dot{E}_{1m}'' = 19 e^{j20^\circ} = 17.854 + j 6.498 \text{ В}$$

$$\dot{E}_{2m}' = 179 e^{j0^\circ} = 179 \text{ В}$$

Найдём комплексы действующих значений:

$$\dot{E}_i = \dot{E}_{im} / \sqrt{2}$$

$$\dot{E}_1' = 53.157 + j 19.348 \text{ В}$$

$$\dot{E}_1'' = 12.625 + j 4.595 \text{ В}$$

$$\dot{E}_2' = 126.572 \text{ В}$$

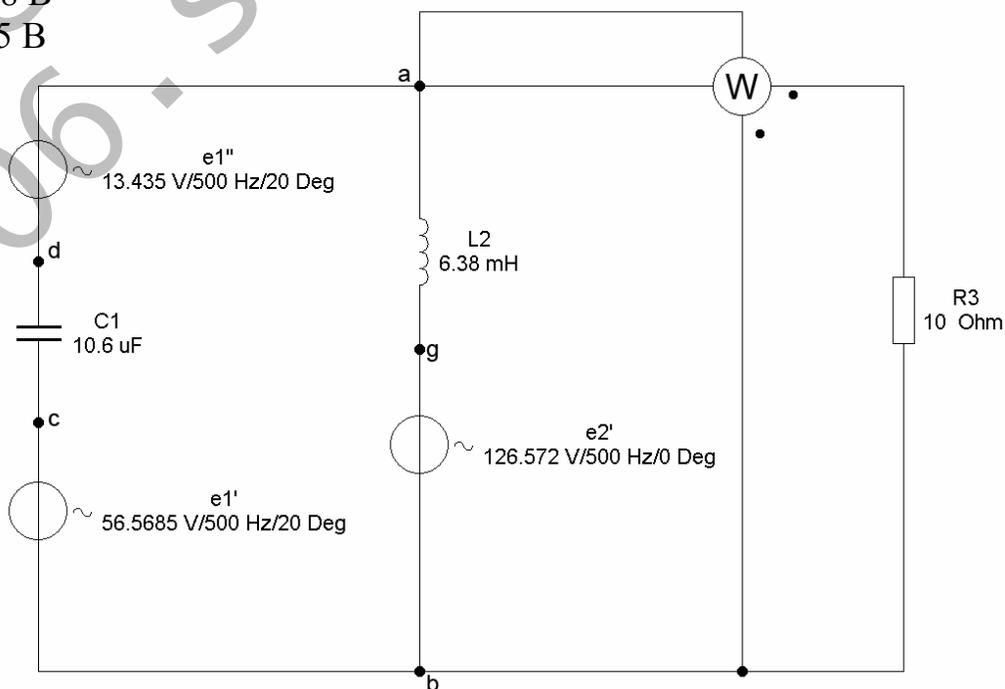


Рис 1. Исходная схема

1. На основании законов Кирхгофа построить уравнения

а) в дифференциальной форме

б) в символической форме

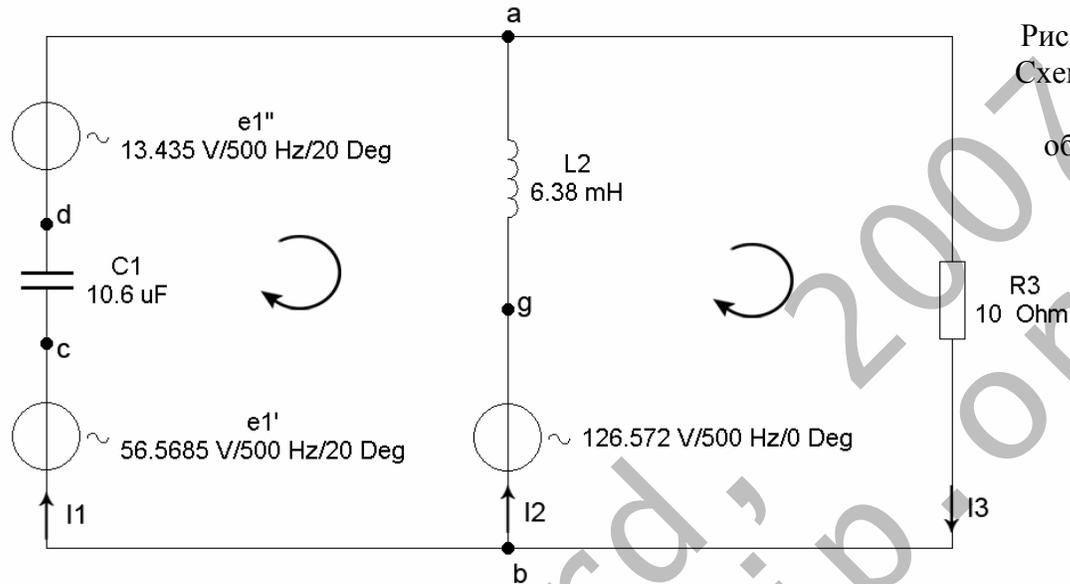


Рис 2.
Схема с указанием
направления
обхода контуров
и направления
токов.

а)

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

$$(1/C_1) * \int i_1 dt - L_2 d/dt(i_2) = e_1'(t) + e_1''(t) - e_2'(t)$$

$$L_2 d/dt(i_2) + R_3 * i_3(t) = e_2'(t)$$

б)

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

$$\dot{I}_1 * 1/(j\omega C_1) - j\omega L_2 * \dot{I}_2 = \dot{E}_1' + \dot{E}_1'' - \dot{E}_2'$$

$$j\omega L_2 * \dot{I}_2 + R_3 * \dot{I}_3 = \dot{E}_2'$$

Решив систему уравнений «б» (с помощью MathCad) получаем:

$$\dot{I}_1 = -2.177 + 2.227j = 3.144 e^{j134,3^\circ} \text{ A}$$

$$\dot{I}_2 = 2.067 - 6.369j = 6.696 e^{-j72^\circ} \text{ A}$$

$$\dot{I}_3 = -0.110 - 4.143j = 4.144 e^{-j91,5^\circ} \text{ A}$$

2. Определить комплексы действующих значений токов одним из базовых методов.

Воспользуемся методом узловых потенциалов. См. рис. 2. Заземлим узел **b**.

Вычислим проводимости ветвей:

$$Y_1 = 1/z_1 = j * X_{C1} = j 0.033 \text{ См}$$

$$Y_2 = 1/z_2 = 1 / (j * X_{L2}) = -j 0.05 \text{ См}$$

$$Y_3 = 1/z_3 = 1 / R_3 = j 0.1 \text{ См}$$

Потенциал точки **a**:

$$\varphi_a = [Y_1 * (\dot{E}_1' + \dot{E}_1'') + Y_2 * \dot{E}_2'] / (Y_1 + Y_2 + Y_3)$$

$$\varphi_a = [j 0.033 * (53.157 + j 19.348 + 12.625 + j 4.595) - 126.572 * j 0.05] / (j 0.033 - 0.05j + 0.1) = -1.1 - j 41.426 = 41.441 e^{-j 91.5^\circ} \text{ В}$$

Рассчитаем комплексы действующих значений токов:

$$\dot{I}_1 = (-\varphi_a + \dot{E}_1' + \dot{E}_1'') * Y_1$$

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

$$\dot{I}_3 = \varphi_a * Y_3$$

$$\dot{I}_1 = -2.177 + 2.227j = 3.144 e^{j 134.3^\circ} \text{ А}$$

$$\dot{I}_2 = 2.067 - 6.369j = 6.696 e^{-j 72^\circ} \text{ А}$$

$$\dot{I}_3 = -0.110 - 4.143j = 4.144 e^{-j 91.5^\circ} \text{ А}$$

Смоделируем схему в Electronics Workbench:

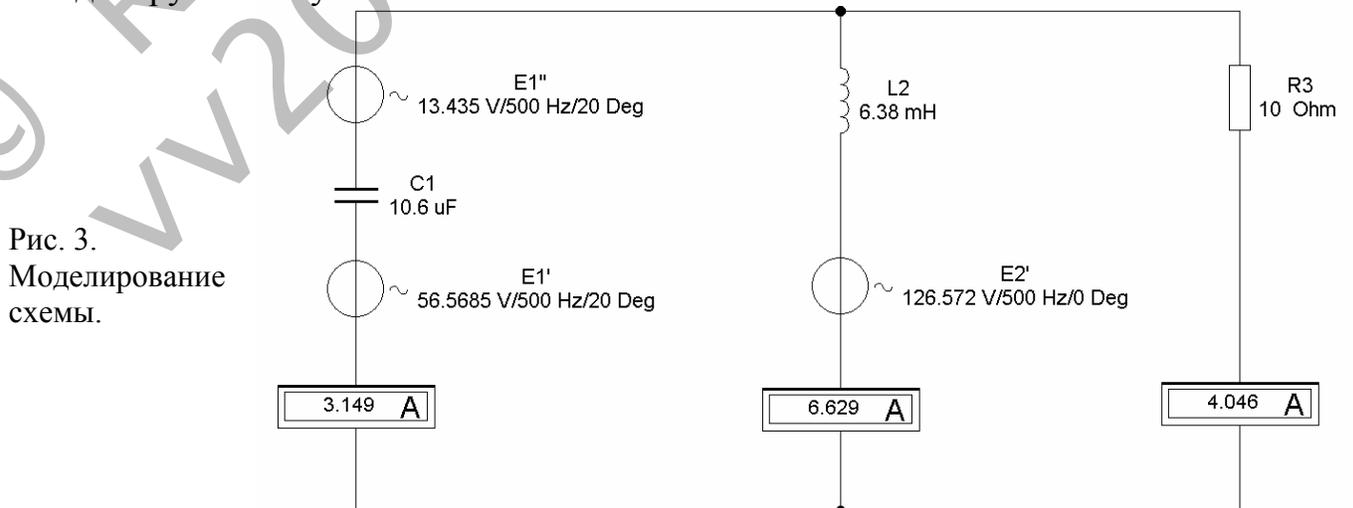


Рис. 3.
Моделирование
схемы.

Сравним значения токов, полученные разными методами:

	$\dot{I}_1, \text{ A}$	$\dot{I}_2, \text{ A}$	$\dot{I}_3, \text{ A}$
Кирхгоф	$3.144 e^{j134,3^\circ}$	$6.696 e^{-j72^\circ}$	$4.144 e^{-j91,5^\circ}$
МУП	$3.144 e^{j134,3^\circ}$	$6.696 e^{-j72^\circ}$	$4.144 e^{-j91,5^\circ}$
EWB	$3.149 e^{j\varphi}$	$6.629 e^{j\varphi}$	$4.046 e^{j\varphi}$

3. Определить показание ваттметра.

См. рис. 1.

$$P = \operatorname{Re}\{\hat{S}\} = \operatorname{Re}\{P + jQ\}$$

$$P = \operatorname{Re}\{U_{ba} * (-\tilde{I}_3)\}, \text{ где } \tilde{I}_3 - \text{ток, комплексно сопряжённый с } I_3$$

$$P = \operatorname{Re}\{(1.1 + j 41.426) * (0.11 - j 4.143)\} = \operatorname{Re}\{171.794\} = 171.794 \text{ Вт}$$

4. Построить топографическую диаграмму, совмещённую с векторной диаграммой.

Потенциал φ_a примем равным нулю. Выберем контур a-g-b-c-d-a.

$$\varphi_a = 0$$

$$\varphi_g = \varphi_a + j\omega L_2 * \dot{I}_2 = 127.676 + j 41.43$$

$$\varphi_b = \varphi_g - \dot{E}_2 = 1.104 + j 41.43$$

$$\varphi_c = \varphi_b + \dot{E}_1 = 54.261 + j 60.778$$

$$\varphi_d = \varphi_c - \dot{I}_1 * 1/(j\omega C_1) = -12.614 - j 4.596$$

$$\varphi_a = \varphi_d + \dot{E}_1 = 0$$

Для потенциалов примем масштаб 1:1, для токов – 10:1.

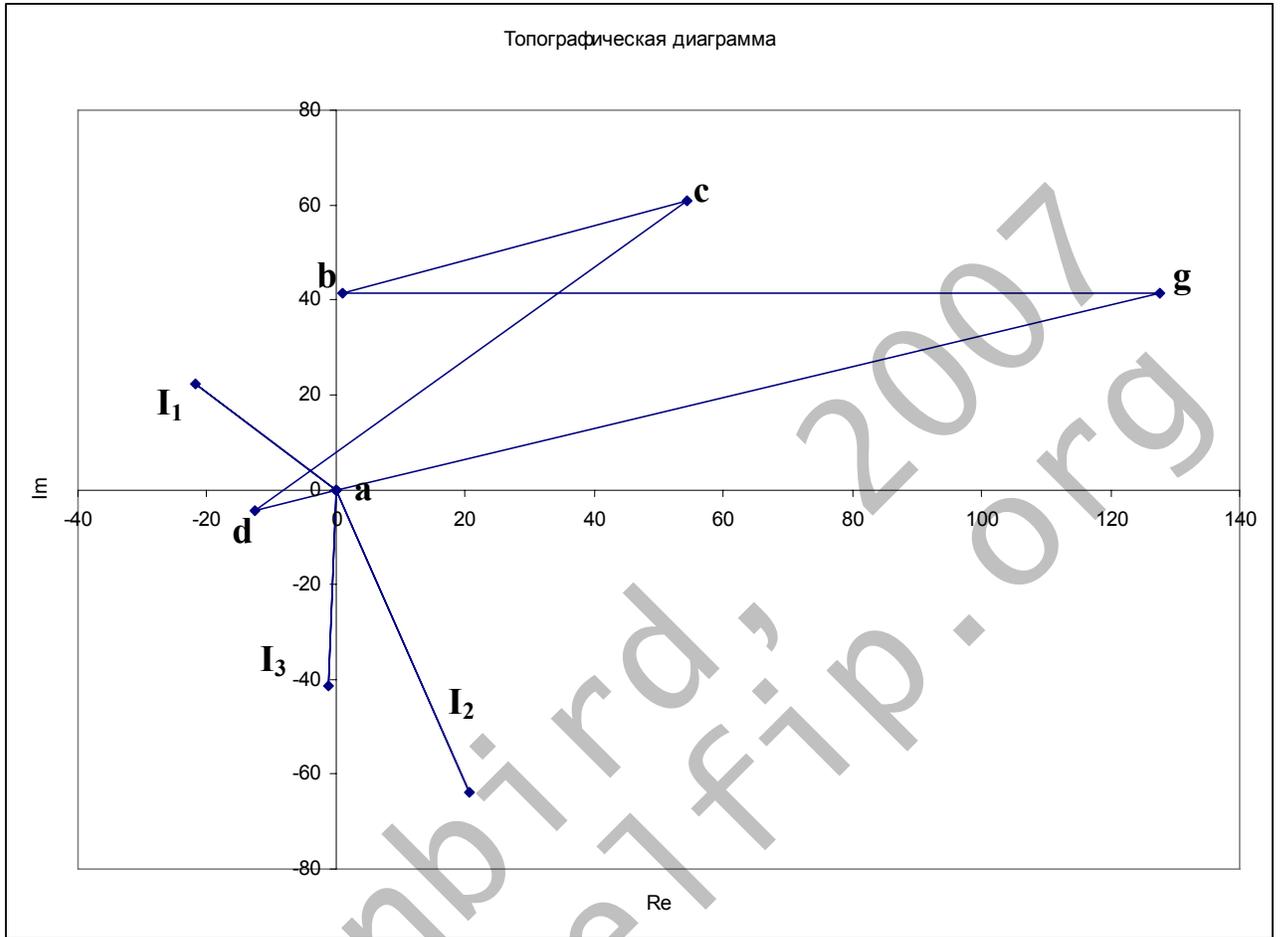


Рис. 4. Топографическая диаграмма.

5. Построить круговую диаграмму для тока в цепи с варьирующимся сопротивлением.

Для построения круговой диаграммы необходимо знать ток короткого замыкания $\dot{I}_{кз}$ и разность фаз нагрузки и входного сопротивления $\psi = \varphi_n - \varphi_{вх}$.

Найдём их с помощью МЭГ.

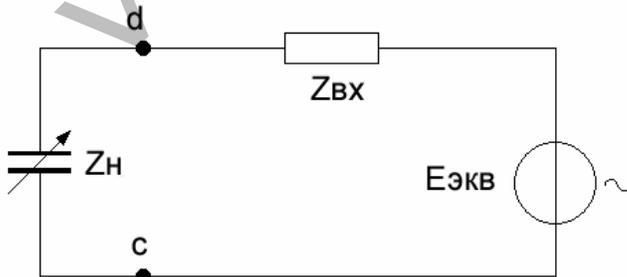


Рис. 5. Схема эквивалентного генератора

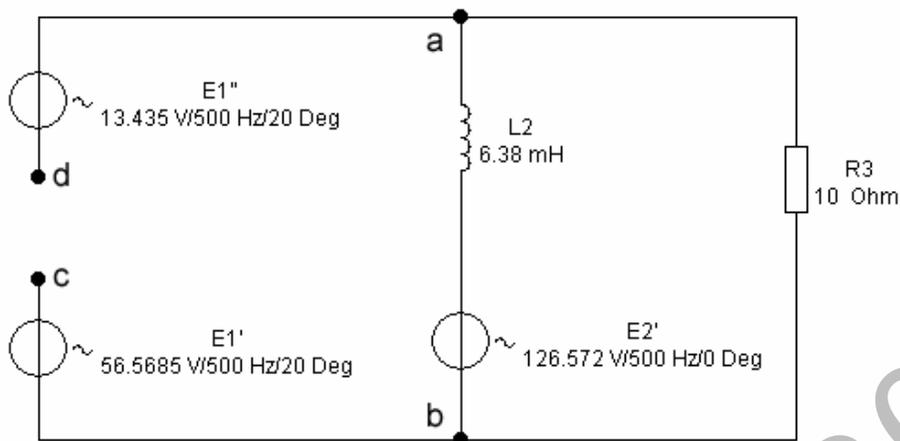


Рис. 6. Схема без сопротивления нагрузки

$$\dot{I}_{кз} = \dot{E}_{\text{ЭКВ}} / Z_{\text{ВХ}}$$

$$Z_{\text{ВХ}} = (R_3 * j\omega L_2) / (R_3 + j\omega L_2) = 8.007 + j 3.995 = 8.948 e^{j 26.5^\circ} \text{ Ом}$$

$$Z_{\text{Н}} = 1 / (j\omega C_1) = -j 30 = 30 e^{-j 90^\circ} \text{ Ом}$$

$$\psi = \varphi_{\text{Н}} - \varphi_{\text{ВХ}} = -26.5^\circ - 90^\circ = -116.5^\circ$$

Для нахождения $E_{\text{ЭКВ}} = U_{\text{dcxx}}$ воспользуемся МУП. Пусть $\varphi_b = 0$.

$$\varphi_a * [1/R_3 + 1/(j\omega L_2)] = \dot{E}_2' * (1/j\omega L_2)$$

$$\varphi_a = 25.227 - j 50.563 = 56.507 e^{-j 63.5^\circ} \text{ В}$$

$$U_{\text{dcxx}} = \varphi_b - \varphi_a + \dot{E}_1' + \dot{E}_1'' = 40.555 + j 74.506 = 84.828 e^{j 61.4^\circ} \text{ В}$$

$$\dot{I}_{кз} = 84.828 e^{j 61.4^\circ} / 8.948 e^{j 26.5^\circ} = 9.479 e^{j 34.9^\circ} \text{ А}$$

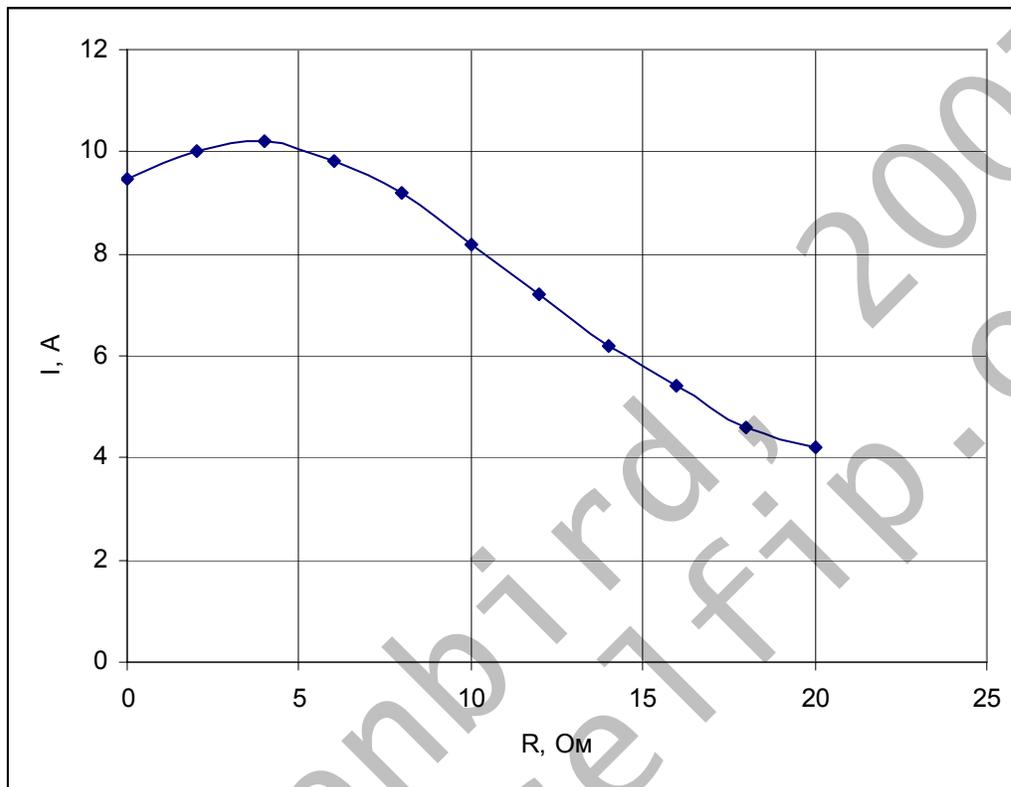
Выберем масштаб:

1 А – 5 мм.

1 Ом – 5 мм.

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

Пользуясь диаграммой из пункта №5, можно построить график:



8. Составить систему уравнений по законам Кирхгофа для схемы с магнитно-связанными катушками.

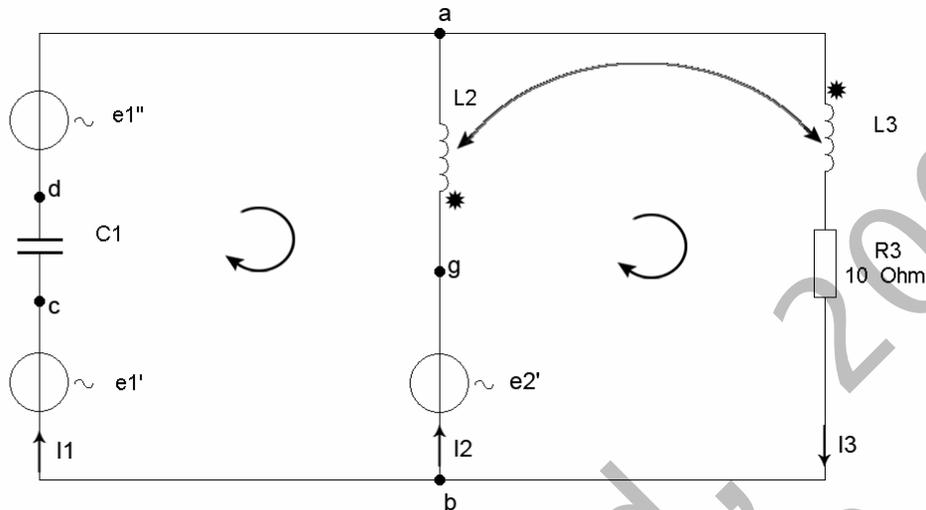


Рис. 7. Схема с магнитно-связанными катушками.

Добавим катушку L3, магнитно связанную с L2. Примем согласное включение катушек (оба тока втекают с отмеченные концы катушек).

Запишем уравнения.

а) В дифференциальной форме:

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

$$(1/C_1) * \int i_1 dt - L_2 d/dt(i_2) - M d/dt(i_3) = e_1'(t) + e_1''(t) - e_2'(t)$$

$$L_2 d/dt(i_2) + M d/dt(i_3) + L_3 d/dt(i_3) + M d/dt(i_2) + R_3 * i_3(t) = e_2'(t)$$

б) В символической форме:

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

$$\dot{I}_1 * 1/(j\omega C_1) - j\omega L_2 * \dot{I}_2 - j\omega M * \dot{I}_3 = \dot{E}_1' + \dot{E}_1'' - \dot{E}_2'$$

$$j\omega L_2 * \dot{I}_2 + j\omega M * \dot{I}_3 + j\omega L_3 * \dot{I}_3 + j\omega M * \dot{I}_2 + R_3 * \dot{I}_3 = \dot{E}_2'$$