

Розрахунково-графічне завдання 1

В заданому електричному колі (рис. 1) діє джерело змінного струму з напругою $E=18$ В, частотою $f=50$ Гц та початковим фазовим зсувом $\varphi = 25^\circ$.

$$e(t) = \sqrt{2} \cdot E \sin(\omega t + \varphi)$$

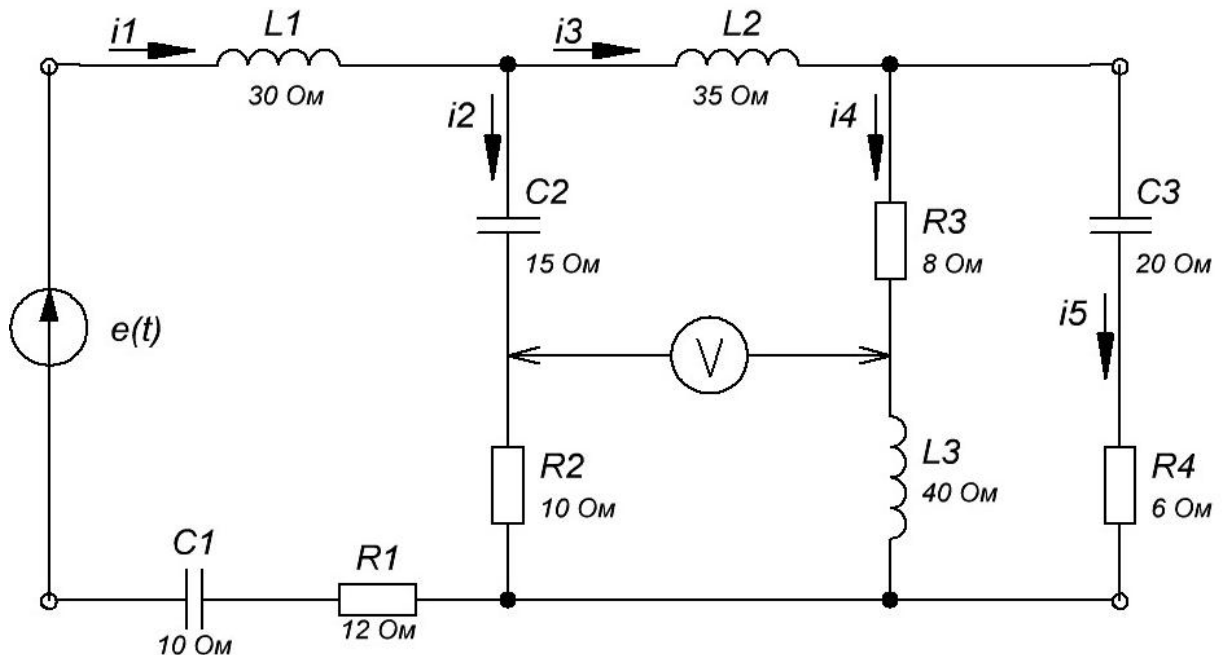


Рисунок 1 – Задана схема (опри елементів приведені для заданої частоти)

- 1.1 Розрахувати всі струми комплексним методом, визначити покази вольтметра.
- 1.2 Скласти баланс активних P та реактивних Q потужностей кола.
- 1.3 Побудувати векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг.
- 1.4 Прийняти $R2 = 0$ і вважаючи реактивний опір цієї вітки невідомим визначити його за умовою резонансу струмів. Визначити для резонансного стану струми схеми та покази вольтметра.
- 1.5 Видалити із схеми активні опори і записати частотну характеристику схеми, побудувати її, визначивши нулі і полюси.

Рішення

1.1 Перейдемо від миттєвого значення заданої напруги до комплексу її діючого значення та запишемо його в показниковій та полярній формах:

$$e(t) = \sqrt{2} \cdot 18 \sin(2\pi \cdot 50 + 25^\circ) \leftrightarrow E = 18e^{j25^\circ} \text{ В} = 18 \angle 25^\circ \text{ В.}$$

Комплексні опори ділянок схеми в алгебраїчній та полярній формах запису:

$$Z1 = R1 + j(X_{L1} - X_{C1}) = 12 + j(30 - 10) \text{ Ом} = 23.32 \angle 59^\circ \text{ Ом.}$$

$$Z2 = R2 - jX_{C2} = 10 - j15 \text{ Ом} = 18 \angle -56.3^\circ \text{ Ом.}$$

$$Z3 = jX_{L2} = j35 \text{ Ом} = 35 \angle 90^\circ \text{ Ом.}$$

$$Z4 = R3 + jX_{L3} = 8 + j40 \text{ Ом} = 40.7 \angle 78.7^\circ \text{ Ом.}$$

$$Z5 = R4 - jX_{C3} = 6 - j20 \text{ Ом} = 20.88 \angle -73.3^\circ \text{ Ом.}$$

Згорнемо схему до одного еквівалентного опору:

$$Z_{45} = \frac{Z_4 \cdot Z_5}{Z_4 + Z_5},$$

$$Z_{45} = \frac{(40,7 \angle 78,7^\circ) \cdot (20,88 \angle -73,3^\circ)}{(8 + j40) + (6 - j20)} = 22,6 - j26,58 \text{ Ом} = \\ = 34,89 \angle -49,62^\circ \text{ Ом}.$$

$$Z_{345} = Z_3 + Z_{45},$$

$$Z_{345} = j35 + (22,6 - j26,58) = 22,6 + j8,42 \text{ Ом} = 24,12 \angle 20,4^\circ \text{ Ом}.$$

$$Z_{2345} = \frac{Z_2 \cdot Z_{345}}{Z_2 + Z_{345}},$$

$$Z_{2345} = \frac{(18 \angle -56,3^\circ) \cdot (24,12 \angle 20,4^\circ)}{(10 - j15) + (22,6 + j8,42)} = 11,9 - j5,42 \text{ Ом} = \\ = 13,08 \angle -24,5^\circ \text{ Ом}.$$

$$Z_e = Z_1 + Z_{2345},$$

$$Z_e = (12 + j20) + (11,9 - j5,42) = 23,9 + j14,58 \text{ Ом} = 28 \angle 31,4^\circ \text{ Ом}.$$

Комплексні струми (діючі значення) у вітках схеми визначаємо за законом Ома. Результати розрахунків запишемо в полярній формі.

$$I_1 = \frac{E}{Z_e} = \frac{18 \angle 25^\circ}{28 \angle 31,4^\circ} = 0,64 \angle -6,4^\circ \text{ А}.$$

$$I_2 = I_1 \frac{Z_{345}}{Z_2 + Z_{345}},$$

$$I_2 = (0,64 \angle -6,4^\circ) \frac{24,12 \angle 20,4^\circ}{(10 - j15) + (22,6 + j8,42)} = 0,47 \angle 25,45^\circ \text{ А}.$$

$$I_3 = I_1 \frac{Z_2}{Z_2 + Z_{345}},$$

$$I_3 = (0,64 \angle -6,4^\circ) \frac{18 \angle -56,3^\circ}{(10 - j15) + (22,6 + j8,42)} = 0,35 \angle -51,3^\circ \text{ А}.$$

$$I_4 = I_3 \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5},$$

$$I_4 = (0,35 \angle -51,3^\circ) \frac{20,88 \angle -73,3^\circ}{(8 + j40) + (6 - j20)} = 0,3 \angle -179,6^\circ \text{ А}.$$

$$I_5 = I_3 \frac{Z_4}{Z_4 + Z_5},$$

$$I_5 = (0,35 \angle -51,3^\circ) \frac{40,7 \angle 78,7^\circ}{(8 + j40) + (6 - j20)} = 0,58 \angle -27,6^\circ \text{ А}.$$

Запишемо миттєві значення струмів у вітках схеми враховуючи, що

$$\omega = 2\pi f,$$

$$I_m = \sqrt{2} \cdot I,$$

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \varphi).$$

$$i_1(t) = \sqrt{2} \cdot 0,64 \sin(2\pi 50t - 6,4^\circ) = 0,91 \sin(314,16t - 6,4^\circ) \text{ А}.$$

$$i_2(t) = \sqrt{2} \cdot 0,47 \sin(2\pi 50t + 25,45^\circ) = 0,66 \sin(314,16t + 25,45^\circ) \text{ А}.$$

$$i_3(t) = \sqrt{2} \cdot 0,35 \sin(2\pi 50t - 51,3^\circ) = 0,49 \sin(314,16t - 51,3^\circ) \text{ A.}$$

$$i_4(t) = \sqrt{2} \cdot 0,3 \sin(2\pi 50t - 179,6^\circ) = 0,42 \sin(314,16t - 179,6^\circ) \text{ A.}$$

$$i_5(t) = \sqrt{2} \cdot 0,58 \sin(2\pi 50t - 27,6^\circ) = 0,82 \sin(314,16t - 27,6^\circ) \text{ A.}$$

Покази вольтметра – це модуль комплексу діючої напруги, яка являє собою алгебраїчну суму падінь напруги на елементах схеми між точками підключення приладу з урахуванням прийнятих напрямків струмів (якщо напрямок струму співпадає з напрямком обходу елементів – знак додатній, якщо протилежний – знак від’ємний).

$$U_V = -I_2(-jX_{C2}) + I_3 \cdot jX_{L2} + I_4 R_3,$$

$$U_V = -(0,47 \angle 25,45^\circ) \cdot (-j15) + (0,35 \angle -51,3^\circ) \cdot j35 + (0,3 \angle -179,6^\circ) \cdot 8,$$

$$U_V = 4,13 + j13,93 \text{ В} = 14,5 \angle 73,5^\circ \text{ В.}$$

З метою перевірки визначимо покази вольтметра, змінивши напрямок обходу елементів на протилежний.

$$U_V = I_2 R_2 - I_4 \cdot jX_{L3},$$

$$U_V = (0,47 \angle 25,45^\circ) \cdot 10 - (0,3 \angle -179,6^\circ) \cdot j40,$$

$$U_V = 4,13 + j13,93 \text{ В} = 14,5 \angle 73,5^\circ \text{ В.}$$

Результати розрахунків однакові, що підтверджує їх правильність. Таким чином покази вольтметра становлять 14,5 В.

1.2 Для розрахунку балансу потужностей визначимо комплексну потужність джерела енергії (генератора), яка являє собою добуток комплексу діючого значення напруги генератора на спряжений комплекс діючого значення струму споживання схеми.

$$S_\Gamma = E \cdot I_1^* = (18 \angle 25^\circ) \cdot (0,64 \angle 6,4^\circ) = 9,88 + j6,04 = 11,57 \angle 31,4^\circ \text{ ВА}$$

Таким чином, активна потужність генератора становить $P_\Gamma = 9,88 \text{ Вт}$.

Реактивна потужність генератора $Q_\Gamma = 6,04 \text{ ВАр}$.

Активна потужність споживачів розрахована як арифметична сума добутків квадратів діючих значень струмів на активні опори віток:

$$P_{\text{СП}} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_4^2 R_3 + I_5^2 R_4,$$

$$P_{\text{СП}} = 0,64^2 \cdot 12 + 0,47^2 \cdot 10 + 0,3^2 \cdot 8 + 0,58^2 \cdot 6 = 9,88 \text{ Вт.}$$

Реактивна потужність споживачів розрахована як алгебраїчна сума добутків квадратів діючих значень струмів на реактивні опори віток (для ємнісних опорів потужність від’ємна):

$$Q_{\text{СП}} = I_1^2 \cdot (X_{L1} - X_{C1}) - I_2^2 \cdot X_{C2} + I_3^2 \cdot X_{L2} + I_4^2 \cdot X_{L3} - I_5^2 \cdot X_{C3},$$

$$Q_{\text{СП}} = 0,64^2 \cdot (30 - 10) - 0,47^2 \cdot 15 + 0,35^2 \cdot 35 + 0,3^2 \cdot 40 - 0,58^2 \cdot 20,$$

$$Q_{\text{СП}} = 6,03 \text{ ВАр.}$$

Баланс потужностей виконується, що підтверджує правильність розрахунків.

1.3 Для побудови топографічної діаграми напруг позначимо в схемі точки, комплексні потенціали яких необхідно розрахувати (рис. 2). За нульовий приймемо потенціал $\varphi_0 = 0 \text{ В}$.

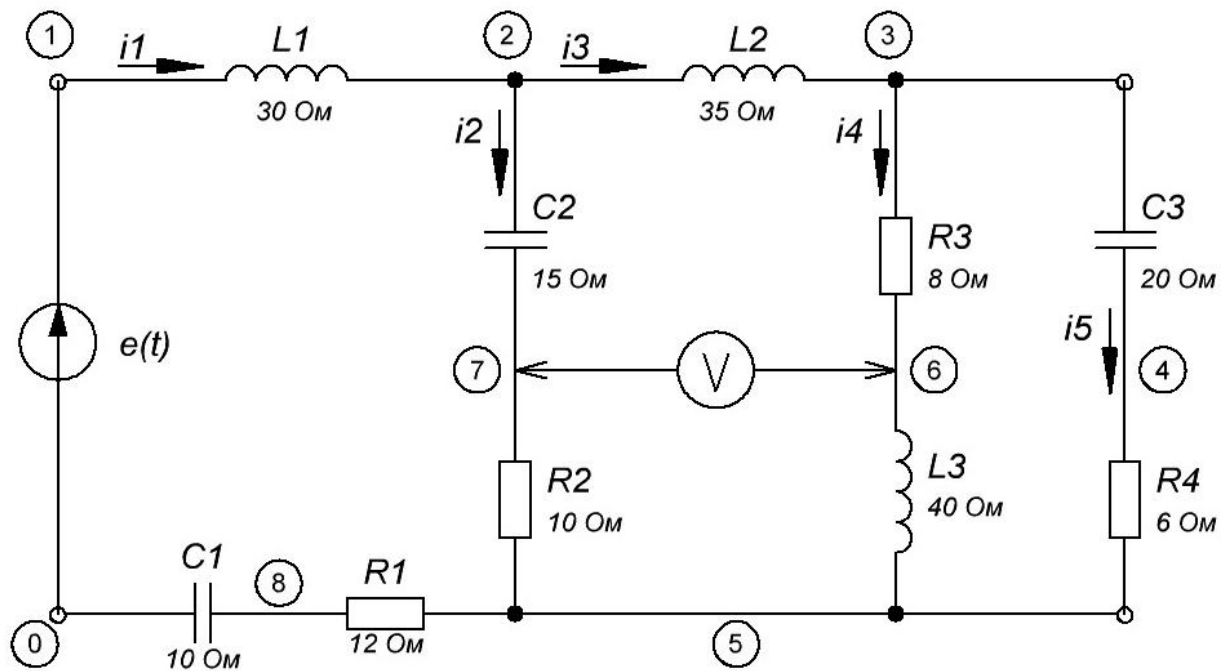


Рисунок 2 – Позначення точок розрахунку комплексних потенціалів

$$\varphi_8 = \varphi_0 + I1 \cdot (-jX_{C1}) = 0 + (0,64 \angle -6,4^\circ) \cdot (-j10) = -0,72 - j6,39 = 6,43 \angle -96,4^\circ \text{ В.}$$

$$\varphi_5 = \varphi_8 + I1R1 = (-0,72 - j6,39) + (0,64 \angle -6,4^\circ) \cdot 12 = 6,95 - j7,25 = 10,04 \angle -46,2^\circ \text{ В.}$$

$$\varphi_6 = \varphi_5 + I4 \cdot jX_{L3} = (6,95 - j7,25) + (0,3 \angle -179,6^\circ) \cdot j40 = 7,03 - j19,17 = 20,42 \angle -69,9^\circ \text{ В.}$$

$$\varphi_7 = \varphi_5 + I2R2 = (6,95 - j7,25) + (0,47 \angle 25,45^\circ) \cdot 10 = 11,16 - j5,24 = 12,33 \angle -25,2^\circ \text{ В.}$$

$$\varphi_4 = \varphi_5 + I5R4 = (6,95 - j7,25) + (0,58 \angle -27,6^\circ) \cdot 6 = 10,05 - j8,87 = 13,4 \angle -41,43^\circ \text{ В.}$$

$$\varphi_3 = \varphi_6 + I4R3 = (7,03 - j19,17) + (0,3 \angle -179,6^\circ) \cdot 8 = 4,65 - j19,18 = 19,74 \angle -76,4^\circ \text{ В.}$$

$$\varphi_2 = \varphi_3 + I3 \cdot jX_{L2} = (4,65 - j19,18) + (0,35 \angle -51,3^\circ) \cdot j35 = 14,17 - j11,56 = 18,28 \angle -39,21^\circ \text{ В.}$$

$$\varphi_1 = \varphi_2 + I1 \cdot jX_{L1} = (14,17 - j11,56) + (0,64 \angle -6,4^\circ) \cdot j30 = 16,31 + j7,61 = 18 \angle 25^\circ \text{ В.}$$

Очевидно, що потенціал φ_1 збігається зі значенням напруги джерела змінного струму E , що підтверджує правильність розрахунків.

Комплексні діючі напруги знайдемо як різницю комплексних потенціалів відповідних точок, між якими знаходиться даний елемент.

$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 = I1 \cdot jX_{L1} = (0,64 \angle -6,4^\circ) \cdot j30 = 2,15 + j19,17 = 19,29 \angle 83,6^\circ \text{ В.}$$

$$U_{23} = \varphi_2 - \varphi_3 = I3 \cdot jX_{L2} = (0,35 \angle -51,3^\circ) \cdot j35 = 9,52 + j7,62 = 12,2 \angle 38,7^\circ \text{ В.}$$

$$U_{34} = \varphi_3 - \varphi_4 = I5 \cdot (-jX_{C3}) = (0,58 \angle -27,6^\circ) \cdot (-j20) = -5,4 - j10,32 = 11,65 \angle -117,6^\circ \text{ В.}$$

$$U_{45} = \varphi_4 - \varphi_5 = I5R4 = (0,58 \angle -27,6^\circ) \cdot 6 = 3,1 - j1,62 = 3,49 \angle -27,6^\circ \text{ В.}$$

$$U_{36} = \varphi_3 - \varphi_6 = I4R3 = (0,3 \angle -179,6^\circ) \cdot 8 = -2,38 - j0,02 = 2,8 \angle -179,6^\circ \text{ В.}$$

$$U_{56} = \varphi_5 - \varphi_6 = I4 \cdot jX_{L3} = (0,3 \angle -179,6^\circ) \cdot j40 = 0,08 - j11,92 = 11,92 \angle -89,6^\circ \text{ В.}$$

$$U_{27} = \varphi_2 - \varphi_7 = I2 \cdot (-jX_{C2}) = (0,47 \angle 25,45^\circ) \cdot (-j15) = 3 - j6,32 = 6,99 \angle -64,6^\circ \text{ В.}$$

$$U_{57} = \varphi_5 - \varphi_7 = I2R2 = (0,47 \angle 25,45^\circ) \cdot 10 = 4,21 + j2 = 4,66 \angle 25,5^\circ \text{ В.}$$

$$U_{58} = \varphi_5 - \varphi_8 = I1R1 = (0,64 \angle -6,4^\circ) \cdot 12 = 7,67 - j0,86 = 7,72 \angle -6,4^\circ \text{ В.}$$

$$U_{80} = \varphi_8 - \varphi_0 = I1 \cdot (-jX_{C1}) = (0,64 \angle -6,4^\circ) \cdot (-j10) = -0,72 - j6,39 = 6,43 \angle -96,4^\circ \text{ В.}$$

За розрахунковими даними побудуємо сумісні діаграму струмів і топографічну діаграму напруг на елементах заданої схеми (див. рис. 3). Діаграма побудована починаючи з точки 0, потенціал якої прийнятий за нульовий. Масштаб діаграми струмів 1 см = 0,1 А. Масштаб діаграми напруг 1 см = 2 В.

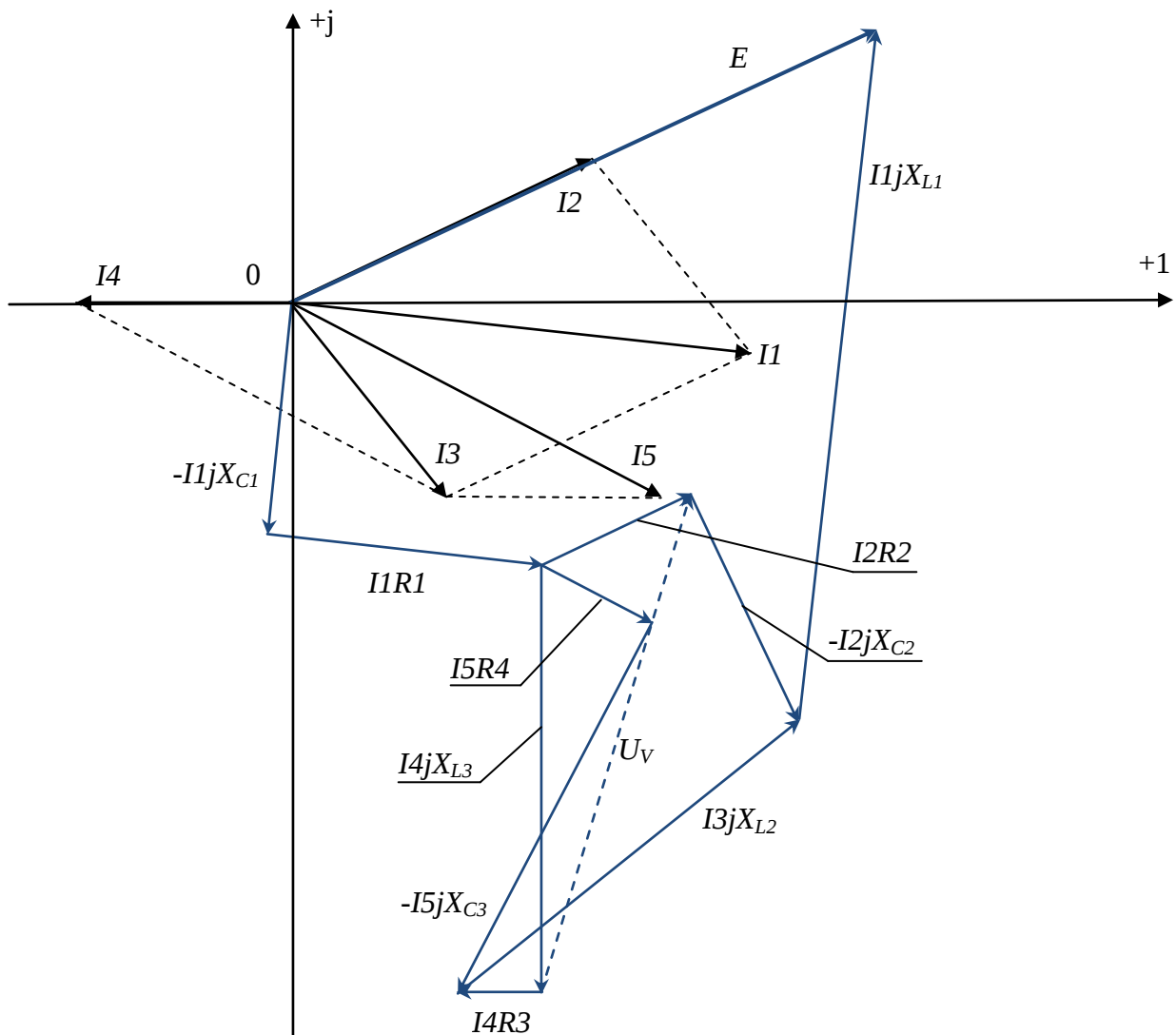


Рисунок 3 – Сумісна діаграма струмів і топографічна діаграма напруг

1.4 Схема для визначення опору X_{C2} , який забезпечить резонанс струмів приведена на рисунку 4.

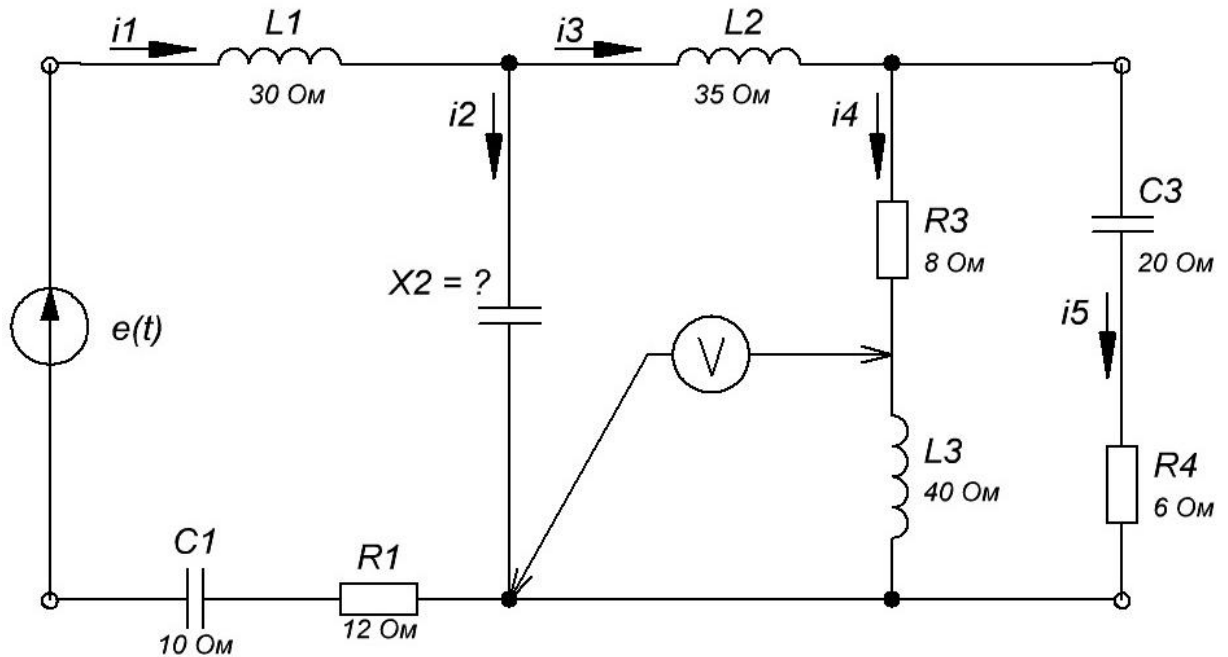


Рисунок 4 – Схема для розрахунку резонансу струмів

Для розрахунку резонансного режиму, коло праворуч від вітки з невідомим опором X замінимо еквівалентним опором Z_{345} , величина якого розрахована раніше (див. рис. 5).

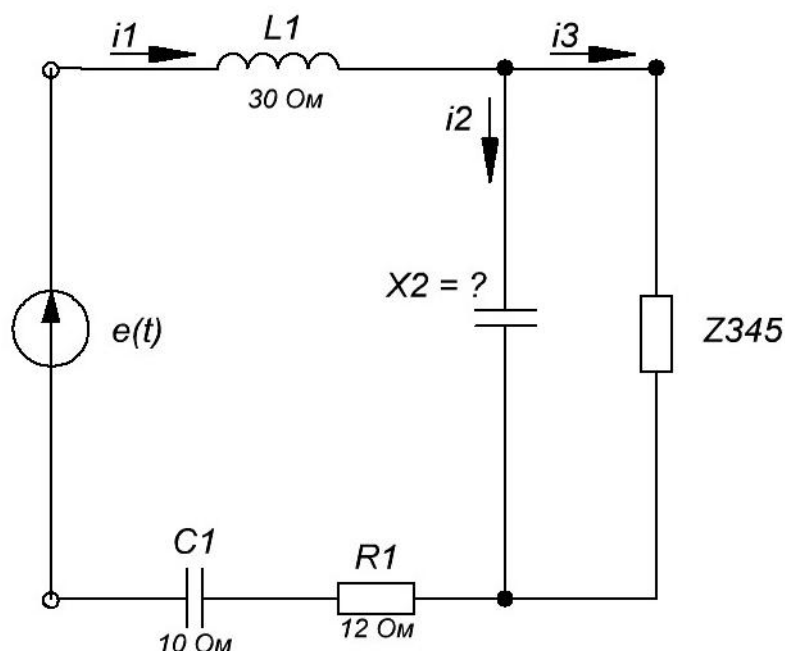


Рисунок 5 – Еквівалентна схема

$$Z_{345} = 22,6 + j8,42 \text{ Ом.}$$

Реактивна складова опору Z_{345} має додатній знак, а отже опір має індуктивний характер. Для забезпечення резонансу струмів характер опору X_2

повинен бути протилежним – ємкісним. Крім того, для реактивних провідностей віток повинно виконуватись співвідношення $B_2 + B_{345} = 0$.

$$\frac{X_{345}}{R_{345}^2 + X_{345}^2} = \frac{1}{X_2}.$$

Отже

$$X_2 = \frac{R_{345}^2 + X_{345}^2}{X_{345}} = \frac{22,6^2 + 8,42^2}{8,42} = 69,08 \text{ Ом.}$$

$$Z_2 = -j69,08 = 69,08 \angle -90^\circ \text{ Ом.}$$

При резонансі струмів опір паралельного з'єднання X_2 і Z_{345} буде чисто активним:

$$Z_{2345} = \frac{Z_2 \cdot Z_{345}}{Z_2 + Z_{345}} = \frac{(69,08 \angle -90^\circ) \cdot (24,12 \angle 20,4^\circ)}{-j69,08 + (22,6 + j8,42)} = 25,74 \text{ Ом.}$$

Еквівалентний вхідний опір схеми при резонансі струмів:

$$Z_E = Z_1 + Z_{2345} = (12 + j20) + 25,74 = 37,74 + j20 = 27,92 \angle 27,9^\circ \text{ Ом.}$$

Комплексні струми (діючі значення) у вітках схеми при резонансі:

$$I_1 = \frac{E}{Z_E} = \frac{18 \angle 25^\circ}{27,92 \angle 27,9^\circ} = 0,42 \angle -2,9^\circ \text{ А.}$$

$$I_2 = I_1 \frac{Z_{345}}{Z_2 + Z_{345}},$$

$$I_2 = (0,42 \angle -2,9^\circ) \frac{(24,12 \angle 20,4^\circ)}{-j69,08 + (22,6 + j8,42)} = 0,16 \angle 87,1^\circ \text{ А.}$$

$$I_3 = I_1 \frac{Z_2}{Z_2 + Z_{345}},$$

$$I_3 = (0,42 \angle -2,9^\circ) \frac{69,08 \angle -90^\circ}{-j69,08 + (22,6 + j8,42)} = 0,45 \angle -23,4^\circ \text{ А.}$$

$$I_4 = I_3 \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5},$$

$$I_4 = (0,45 \angle -23,4^\circ) \frac{20,88 \angle -73,3^\circ}{(8 + j40) + (6 - j20)} = 0,39 \angle -151,7^\circ \text{ А.}$$

$$I_5 = I_3 \frac{Z_4}{Z_4 + Z_5},$$

$$I_5 = (0,45 \angle -23,4^\circ) \frac{40,7 \angle 78,7^\circ}{(8 + j40) + (6 - j20)} = 0,75 \angle 0,3^\circ \text{ А.}$$

Для даної схеми (див. рис. 4) покази вольтметра – це напруга на індуктивності L_3 , розрахована по формулі:

$$U_V = I_4 \cdot jX_{L_3} = (0,39 \angle -151,7^\circ) \cdot j40 = 15,4 \angle -61,7^\circ \text{ В.}$$

Отже покази вольтметра становлять 15,4 В.

1.5 Згідно з умовами розрахунку, схема для визначення частотної характеристики приведена на рисунку 6.

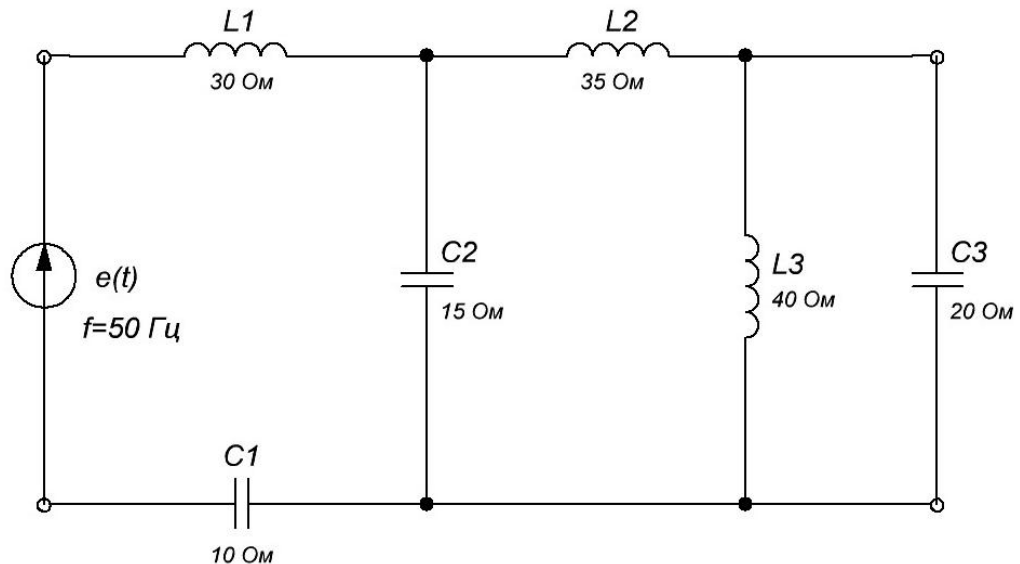


Рисунок 6 – Схема для визначення частотної характеристики

Згідно з умовами реактивні опори елементів схеми задані для частоти 50 Гц. Розрахуємо величини індуктивностей та ємностей схеми:

$$L1 = \frac{X_{L1}}{\omega} = \frac{30}{2\pi 50} = 0,095 \text{ Гн.}$$

$$L2 = \frac{X_{L2}}{\omega} = \frac{35}{2\pi 50} = 0,111 \text{ Гн.}$$

$$L3 = \frac{X_{L3}}{\omega} = \frac{40}{2\pi 50} = 0,127 \text{ Гн.}$$

$$C1 = \frac{1}{\omega X_{C1}} = \frac{1}{2\pi 50 \cdot 10} = 3,183 \cdot 10^{-4} \text{ Ф.}$$

$$C2 = \frac{1}{\omega X_{C2}} = \frac{1}{2\pi 50 \cdot 15} = 2,122 \cdot 10^{-4} \text{ Ф.}$$

$$C3 = \frac{1}{\omega X_{C3}} = \frac{1}{2\pi 50 \cdot 20} = 1,592 \cdot 10^{-4} \text{ Ф.}$$

В результаті аналізу схеми визначаємо, що на постійному струмі ($\omega=0$) ємність C1 унеможливорює струм через схему, а отже частотна характеристика починається з полюса. На нескінченно великій частоті ($\omega=\infty$) індуктивність L1 унеможливорює струм через схему, що означає, що частотна характеристика закінчується полюсом. Нулі і полюси частотної характеристики чергуються.

Визначимо вхідний опір схеми шляхом складання опору послідовних та паралельних елементів схеми.

Ємність C3 і індуктивність L3 з'єднані паралельно:

$$\frac{\omega L3 \left(-\frac{1}{\omega C3} \right)}{\omega L3 + \left(-\frac{1}{\omega C3} \right)} = \frac{\omega L3}{1 - \omega^2 L3 C3}.$$

Індуктивність L2 включена послідовно з колом L3C3:

$$\omega L2 + \frac{\omega L3}{1 - \omega^2 L3 C3} = - \frac{(L2 + L3)\omega - L2 L3 C3 \omega^3}{L3 C3 \omega^3 - 1}.$$

Ємність C2 включена паралельно з колом L2L3C3:

$$\begin{aligned} & \left(- \frac{(L2 + L3)\omega - L2 L3 C3 \omega^3}{L3 C3 \omega^3 - 1} \right) \cdot \left(- \frac{1}{\omega C2} \right) = \\ & \frac{\left(- \frac{(L2 + L3)\omega - L2 L3 C3 \omega^3}{L3 C3 \omega^3 - 1} \right) + \left(- \frac{1}{\omega C2} \right)}{(L2 + L3)\omega - L2 L3 C3 \omega^3} = \\ & = \frac{L2 L3 C2 C3 \omega^4 - (L2 C2 + L3 C2 + L3 C3)\omega^2 + 1}{L2 L3 C2 C3 \omega^4 - (L2 C2 + L3 C2 + L3 C3)\omega^2 + 1}. \end{aligned}$$

Опір послідовно включених L1 і C1 запишемо у вигляді:

$$\omega L1 + \left(- \frac{1}{\omega C1} \right) = \frac{\omega^2 L1 C1 - 1}{\omega C1}.$$

Коло L1C1 включене послідовно з рештою елементів схеми. Отже вхідний опір запишемо у вигляді функції

$$\begin{aligned} X(\omega) &= \frac{H(\omega)}{F(\omega)} = \frac{\omega^2 L1 C1 - 1}{\omega C1} + \frac{(L2 + L3)\omega - L2 L3 C3 \omega^3}{L2 L3 C2 C3 \omega^4 - (L2 C2 + L3 C2 + L3 C3)\omega^2 + 1} = \\ &= \frac{L1 L2 L3 C2 C3 \omega^6 - (L1 L2 C2 + L1 L3 C2 + L1 L3 C3 + L2 L3 C3)\omega^4 + (L1 + L2 + L3)\omega^2}{\omega(L2 L3 C2 C3 \omega^4 + (L2 C2 + L3 C2 + L3 C3)\omega^2 + 1)} \end{aligned}$$

Підставимо числові данні параметрів елементів і виконаємо необхідні розрахунки:

$$X(\omega) = \frac{H(\omega)}{F(\omega)} = \frac{4,575 \cdot 10^{-11} \omega^6 - 9,03 \cdot 10^{-6} \omega^4 + 0,334 \omega^2}{\omega(4,791 \cdot 10^{-10} \omega^4 + 7,092 \cdot 10^{-5} \omega^2 + 1)}.$$

Чисельник функції H(ω) визначає нулі частотної характеристики X(ω). Для зниження степені рівняння прийнемо $t = \omega^2$ і прирівняємо рівняння до нуля:

$$4,575 \cdot 10^{-11} t^3 - 9,03 \cdot 10^{-6} t^2 + 0,334 t = 0.$$

Розв'язок кубічного рівняння дає корені:

$$t_1 = 6,391 \cdot 10^3, \quad t_2 = 6,967 \cdot 10^4, \quad t_3 = 1,542 \cdot 10^5.$$

Звідки значення частот нулів частотної характеристики (беремо тільки додатні значення):

$$\omega_1 = \sqrt{t_1} = +\sqrt{6,391 \cdot 10^3} = 79,4 \text{ с}^{-1}.$$

$$\omega_3 = \sqrt{t_2} = +\sqrt{6,967 \cdot 10^4} = 263,9 \text{ с}^{-1}.$$

$$\omega_5 = \sqrt{t_3} = +\sqrt{1,542 \cdot 10^5} = 392,7 \text{ с}^{-1}.$$

Знаменник функції F(ω) визначає полюси частотної характеристики X(ω). Очевидно, що перший корінь рівняння $\omega_0 = 0$. Для знаходження інших коренів розв'яжемо рівняння в дужках як біквдратне, виконавши заміну $t = \omega^2$

$$4,791 \cdot 10^{-10} t^2 + 7,092 \cdot 10^{-5} t + 1 = 0.$$

Розв'язок біквдратного рівняння дає корені:

$$t_1 = 1,578 \cdot 10^4, \quad t_2 = 1,323 \cdot 10^5.$$

Звідки значення частот полюсів частотної характеристики (беремо тільки додатні значення):

$$\omega_2 = \sqrt{t_1} = +\sqrt{1,578 \cdot 10^4} = 125,6 \text{ с}^{-1}.$$

$$\omega_4 = \sqrt{t_2} = +\sqrt{1,323 \cdot 10^5} = 363,7 \text{ с}^{-1}.$$

На підставі отриманих даних побудуємо частотну характеристику кола (див. рис 7).

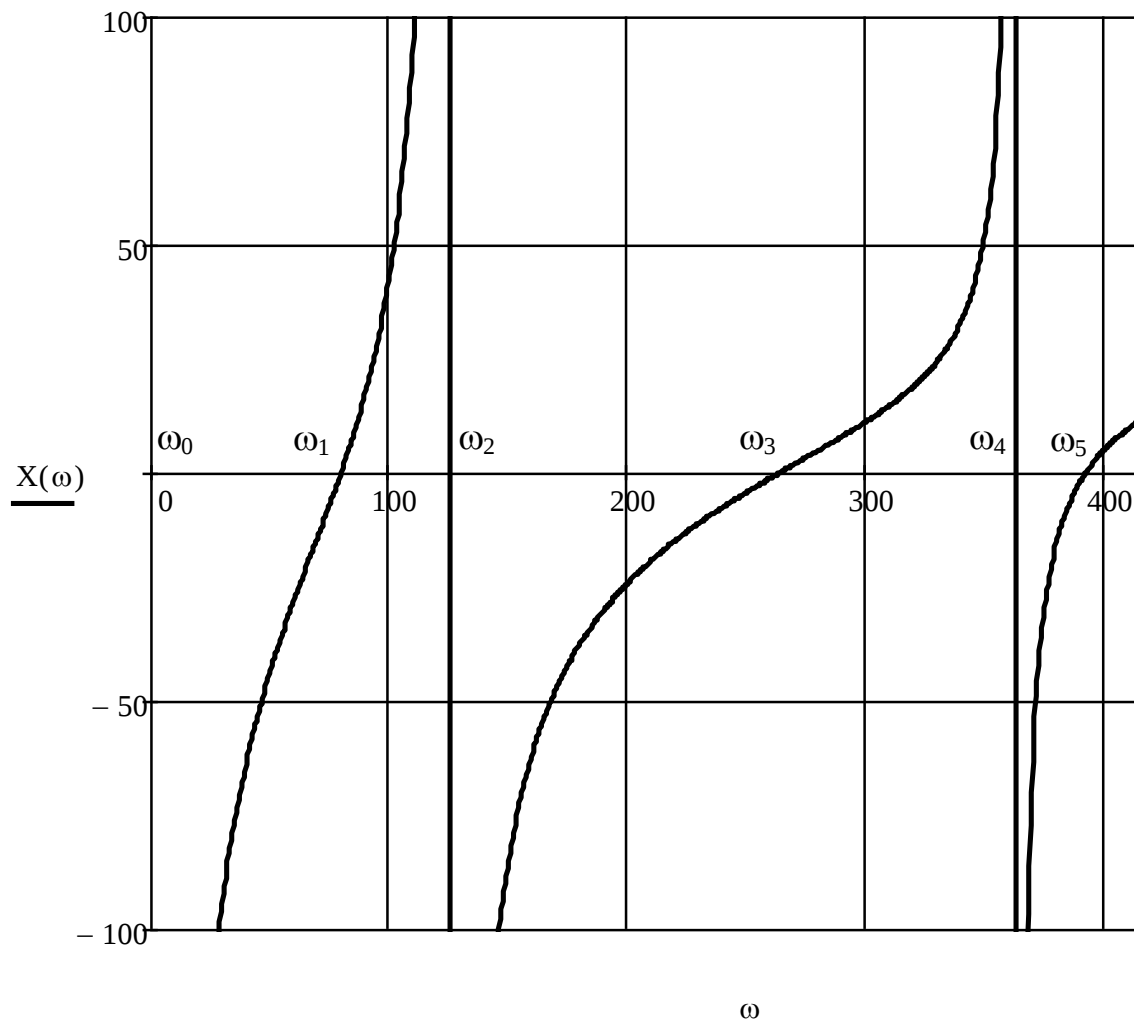


Рисунок 7 – Частотна характеристика