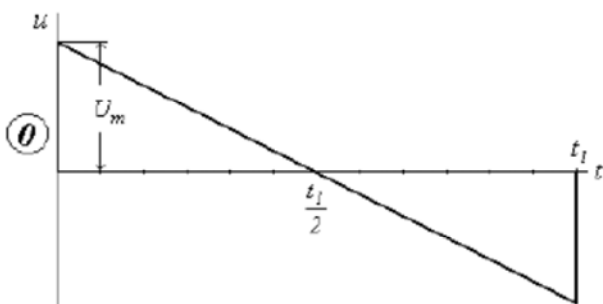


ЗАВДАННЯ:

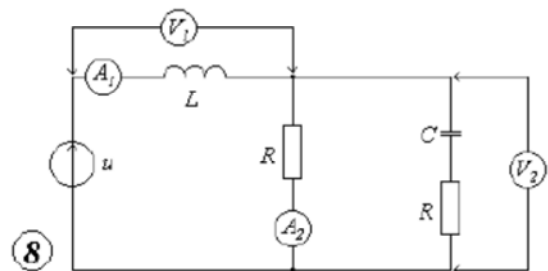
В електричному колі діє джерело періодичної несинусоїдної напруги, форма якої зображена на рис.4, $t_1 := 5 \cdot 10^{-3} \text{ s}$. Нелінійні ділянки є відтинками синусоїди.

ПОТРІБНО:

1. Розкласти задану напругу в тригонометричний ряд (обмежитися постійною і трьома гармонічними складовими).
 2. Побудувати в одній системі координат часові графіки складових і сумарну криву напруги, останню порівняти з заданою.
 3. Розрахувати миттєві значення струмів усіх віток заданої схеми.
 4. Побудувати амплітудні і фазові спектральні діаграми для струму і напруги джерела.
 5. Обчислити для змінної складової прикладеної напруги коефіцієнти форми, спотворення, амплітуди, гармонік.
 6. Визначити покази увімкнених у схему приладів (амперметри – електромагнітної системи, вольтметри – магнітоелектричної).
 7. Скласти баланс активних потужностей і обчислити потужності S , Q , T джерела і коефіцієнт потужності.
 8. Показати, при якій ємності C можливий резонанс усього кола для однієї з вищих гармонік.
 9. Вважаючи задану схему однією з фаз симетричного трифазного кола при з'єднанні генератора і навантаження зіркою з нульовим проводом, визначити діюче значення лінійної напруги і струму в нульовому проводі.
- При розрахунку вважати, що постійна складова напруги кожної фази і опір нульового проводу дорівнюють нулю.



Задана напруга



Задана схема кола

Задані параметри:

$$U_m := 40 \text{ V}$$

$$R := 4 \text{ } \Omega$$

$$C := 150 \text{ } \mu\text{F}$$

$$L := 3 \text{ mH}$$

$$\omega := \frac{2 \cdot \pi}{t_1} = (1.257 \cdot 10^3) \frac{1}{\text{s}}$$

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

$$t := 0, 0.00001 \text{ s} \dots t_1$$

Розклад заданої ЕРС в ряд Фур'є

$$U(t) := U_m \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot t}{t_1}\right)$$

$$U_0 := \frac{1}{t_1} \cdot \int_0^{t_1} U(t) dt = 0 \text{ V}$$

$$A_1 := \frac{2}{t_1} \cdot \int_0^{t_1} U(t) \cdot \sin(w \cdot t) dt = 25.465 \text{ V}$$

$$B_1 := \frac{2}{t_1} \cdot \int_0^{t_1} U(t) \cdot \cos(w \cdot t) dt = 0 \text{ V}$$

$$A_2 := \frac{2}{t_1} \cdot \int_0^{t_1} U(t) \cdot \sin(2 \cdot w \cdot t) dt = 12.732 \text{ V}$$

$$B_2 := \frac{2}{t_1} \cdot \int_0^{t_1} U(t) \cdot \cos(2 \cdot w \cdot t) dt = 0 \text{ V}$$

$$A_3 := \frac{2}{t_1} \cdot \int_0^{t_1} U(t) \cdot \sin(3 \cdot w \cdot t) dt = 8.488 \text{ V}$$

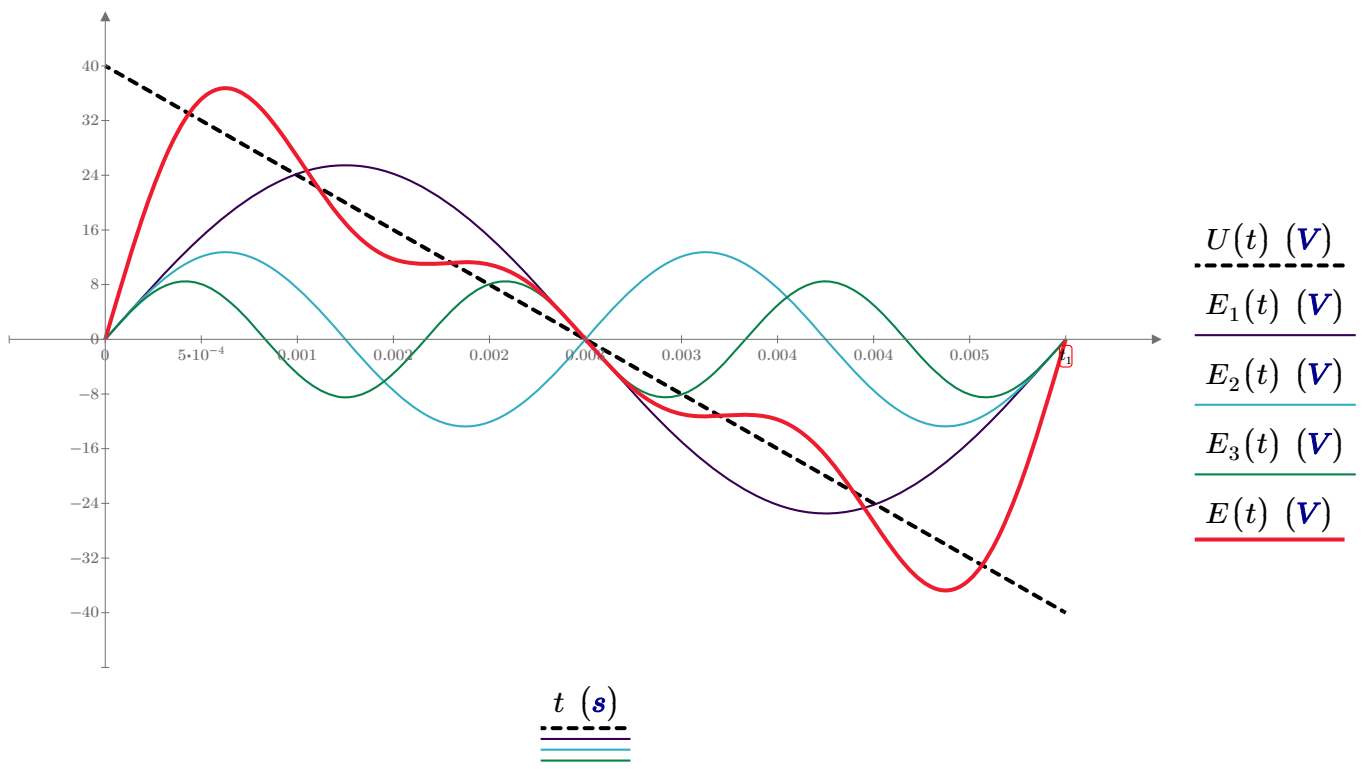
$$B_3 := \frac{2}{t_1} \cdot \int_0^{t_1} U(t) \cdot \cos(3 \cdot w \cdot t) dt = 0 \text{ V}$$

$$E_1(t) := A_1 \cdot \sin(w \cdot t) + B_1 \cdot \cos(w \cdot t)$$

$$E_2(t) := A_2 \cdot \sin(2 \cdot w \cdot t) + B_2 \cdot \cos(2 \cdot w \cdot t)$$

$$E_3(t) := A_3 \cdot \sin(3 \cdot w \cdot t) + B_3 \cdot \cos(3 \cdot w \cdot t)$$

$$E(t) := U_0 + A_1 \cdot \sin(w \cdot t) + B_1 \cdot \cos(w \cdot t) + A_2 \cdot \sin(2 \cdot w \cdot t) + B_2 \cdot \cos(2 \cdot w \cdot t) + A_3 \cdot \sin(3 \cdot w \cdot t) + B_3 \cdot \cos(3 \cdot w \cdot t)$$



$$XL_1 := w \cdot L = 3.77 \, \Omega$$

$$XC_1 := \frac{1}{w \cdot C} = 5.305 \, \Omega$$

$$XL_2 := 2 \cdot w \cdot L = 7.54 \, \Omega$$

$$XC_2 := \frac{1}{2 \cdot w \cdot C} = 2.653 \, \Omega$$

$$XL_3 := 3 \cdot w \cdot L = 11.31 \, \Omega$$

$$XC_3 := \frac{1}{3 \cdot w \cdot C} = 1.768 \, \Omega$$

$$Z1_1 := j \cdot XL_1 = 3.77j \, \Omega$$

$$Z2_1 := R = 4 \, \Omega$$

$$Z3_1 := R - j \cdot XC_1 = (4 - 5.305j) \, \Omega$$

$$Z1_2 := j \cdot XL_2 = 7.54j \, \Omega$$

$$Z2_2 := R = 4 \, \Omega$$

$$Z3_2 := R - j \cdot XC_2 = (4 - 2.653j) \, \Omega$$

$$Z1_3 := j \cdot XL_3 = 11.31j \, \Omega$$

$$Z2_3 := R = 4 \, \Omega$$

$$Z3_3 := R - j \cdot XC_3 = (4 - 1.768j) \, \Omega$$

Струми гармонік у вітках

$$\phi_1 := 0^\circ$$

$$Um_1 := \sqrt{A_1^2 + B_1^2} \cdot e^{j \cdot \phi_1} = 25.465 \, V$$

$$\phi_2 := 0^\circ$$

$$Um_2 := \sqrt{A_2^2 + B_2^2} \cdot e^{j \cdot \phi_2} = 12.732 \, V$$

$$\phi_3 := 0^\circ$$

$$Um_3 := \sqrt{A_3^2 + B_3^2} \cdot e^{j \cdot \phi_3} = 8.488 \, V$$

Струми гармонік в першій вітці кола:

$$I1_1 := \frac{Um_1}{Z1_1 + \frac{Z2_1 \cdot Z3_1}{Z2_1 + Z3_1}} = (4.453 - 4.858j) \, A$$

$$I1_2 := \frac{Um_2}{Z1_2 + \frac{Z2_2 \cdot Z3_2}{Z2_2 + Z3_2}} = (0.528 - 1.667j) \, A$$

$$I1_3 := \frac{Um_3}{Z1_3 + \frac{Z2_3 \cdot Z3_3}{Z2_3 + Z3_3}} = (0.145 - 0.752j) \, A$$

Струми гармонік в другій вітці кола:

$$I2_1 := I1_1 \cdot \frac{Z3_1}{Z2_1 + Z3_1} = (1.787 - 4.196j) \, A$$

$$I2_2 := I1_2 \cdot \frac{Z3_2}{Z2_2 + Z3_2} = (0.041 - 0.995j) \, A$$

$$I2_3 := I1_3 \cdot \frac{Z3_3}{Z2_3 + Z3_3} = (-0.004 - 0.409j) \, A$$

Струми гармонік в третій вітці кола:

$$I_{3_1} := I_{1_1} \cdot \frac{Z_{2_1}}{Z_{2_1} + Z_{3_1}} = (2.665 - 0.662j) \text{ A}$$

$$I_{3_2} := I_{1_2} \cdot \frac{Z_{2_2}}{Z_{2_2} + Z_{3_2}} = (0.487 - 0.672j) \text{ A}$$

$$I_{3_3} := I_{1_3} \cdot \frac{Z_{2_3}}{Z_{2_3} + Z_{3_3}} = (0.148 - 0.343j) \text{ A}$$

Миттєві значення струмів і напруг

$$\psi_1 := \arg(I_{1_1}) = -47.494^\circ \quad \psi_2 := \arg(I_{1_2}) = -72.431^\circ \quad \psi_3 := \arg(I_{1_3}) = -79.118^\circ$$

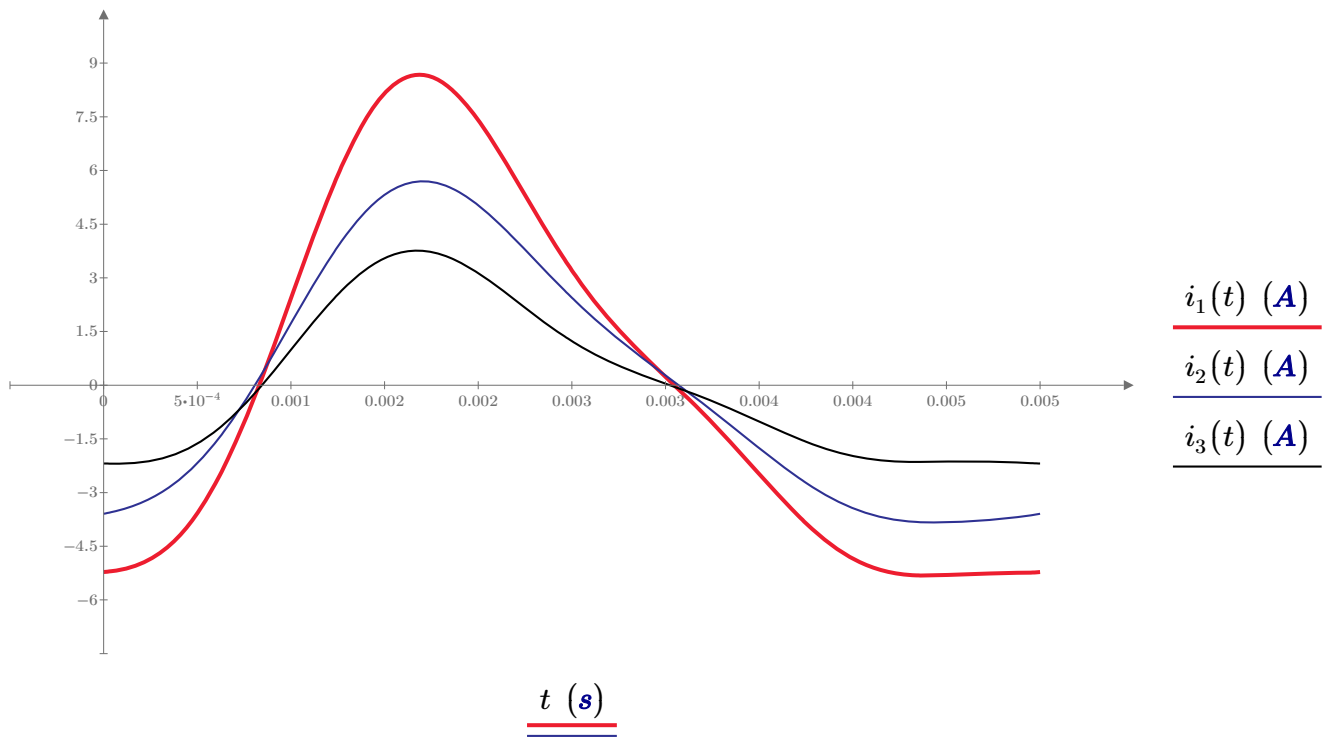
$$i_1(t) := |I_{1_1}| \cdot \sin(w \cdot t + \psi_1) + |I_{1_2}| \cdot \sin(2 \cdot (w \cdot t + \psi_2)) + |I_{1_3}| \cdot \sin(3 \cdot (w \cdot t + \psi_3))$$

$$i_2(t) := |I_{2_1}| \cdot \sin(w \cdot t + \psi_1) + |I_{2_2}| \cdot \sin(2 \cdot (w \cdot t + \psi_2)) + |I_{2_3}| \cdot \sin(3 \cdot (w \cdot t + \psi_3))$$

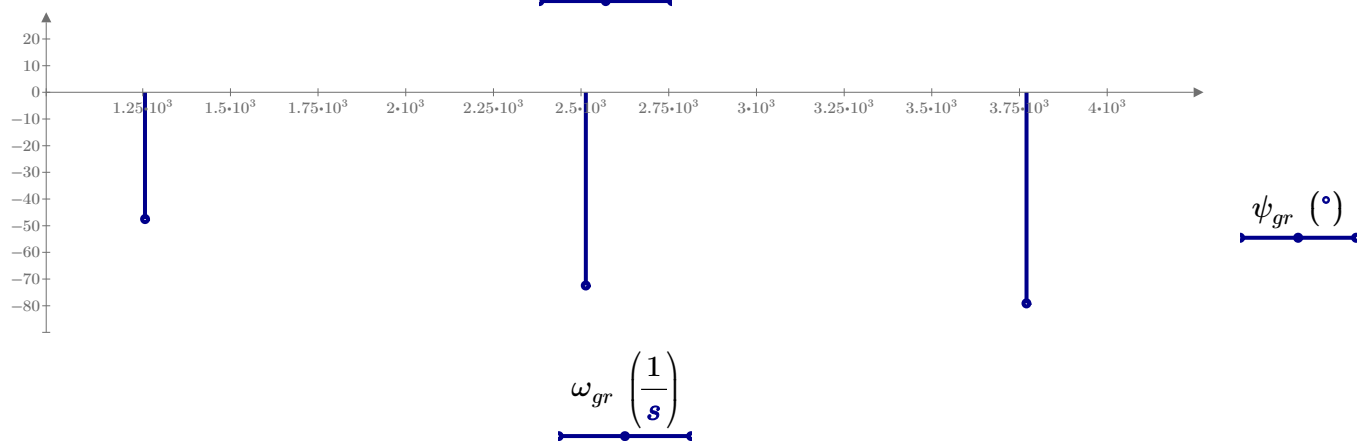
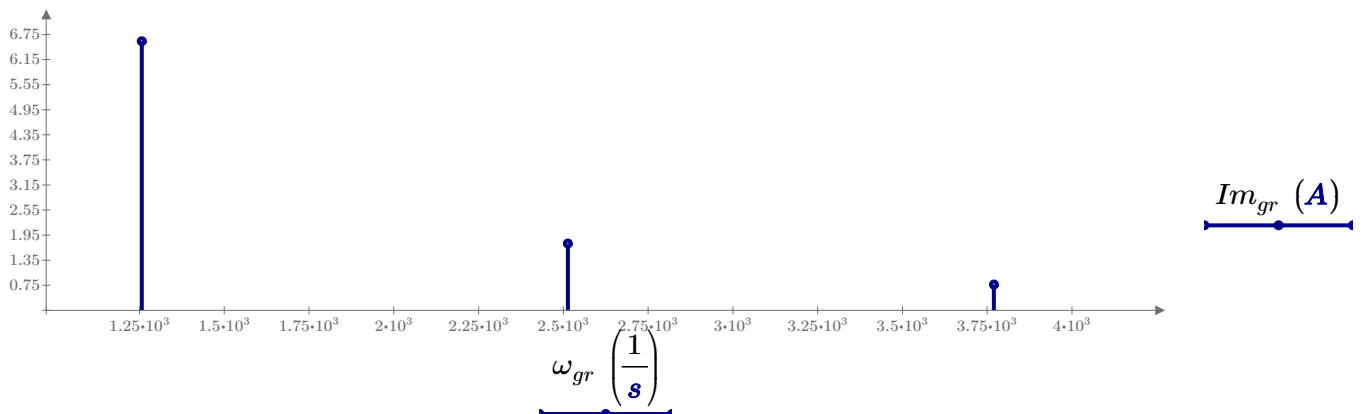
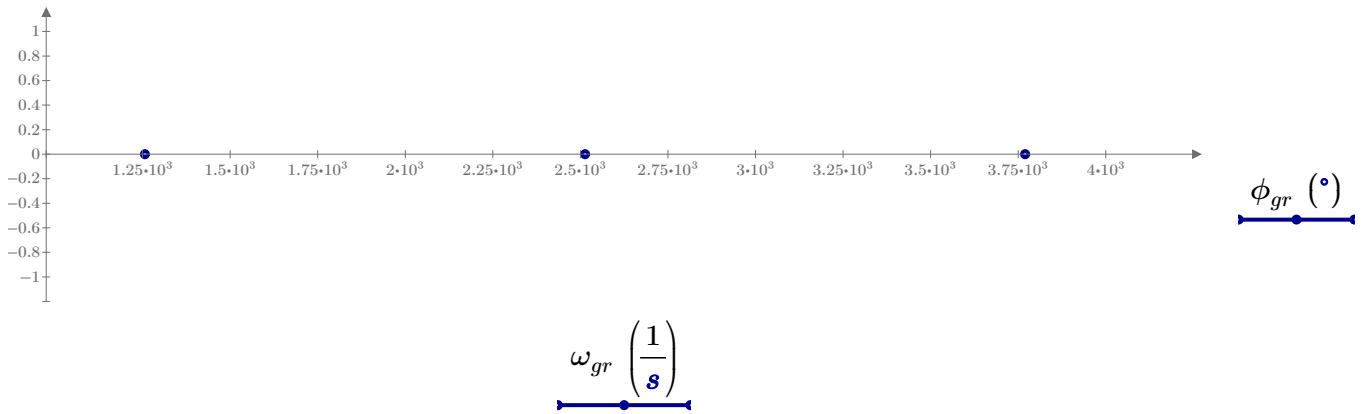
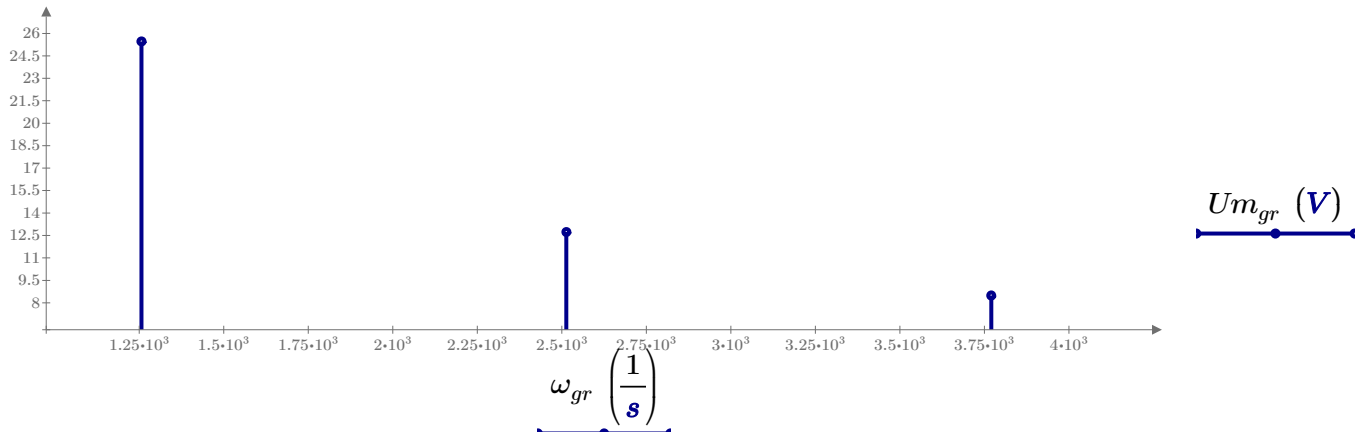
$$i_3(t) := |I_{3_1}| \cdot \sin(w \cdot t + \psi_1) + |I_{3_2}| \cdot \sin(2 \cdot (w \cdot t + \psi_2)) + |I_{3_3}| \cdot \sin(3 \cdot (w \cdot t + \psi_3))$$

$$u(t) := |U_{m_1}| \cdot \sin(w \cdot t + \phi_1) + |U_{m_2}| \cdot \sin(2 \cdot (w \cdot t + \phi_2)) + |U_{m_3}| \cdot \sin(3 \cdot (w \cdot t + \phi_3))$$

Графіки миттєвих значень



Амплітудні і фазові спектральні діаграми для струму і напруги джерела



Діючі значення напруг і струмів

$$A1 := \sqrt{|I1_1|^2 + |I1_2|^2 + |I1_3|^2} = 6.861 \text{ A}$$

$$A2 := \sqrt{|I2_1|^2 + |I2_2|^2 + |I2_3|^2} = 4.687 \text{ A}$$

$$V1 := \sqrt{|I1_1 \cdot Z1_1|^2 + |I1_2 \cdot Z1_2|^2 + |I1_3 \cdot Z1_3|^2} = 29.427 \text{ V}$$

$$V2 := \sqrt{|I2_1 \cdot Z2_1|^2 + |I2_2 \cdot Z2_2|^2 + |I2_3 \cdot Z2_3|^2} = 18.746 \text{ V}$$

Розрахунок потужностей

$$U_1 := \left| \frac{Um_1}{\sqrt{2}} \right| = 18.006 \text{ V}$$

$$U_2 := \left| \frac{Um_2}{\sqrt{2}} \right| = 9.003 \text{ V}$$

$$U_3 := \left| \frac{Um_3}{\sqrt{2}} \right| = 6.002 \text{ V}$$

$$U := \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2} = 21.007 \text{ V}$$

$$P := |U_1| \cdot |I1_1| \cdot \cos(\psi_1) + |U_2| \cdot |I1_2| \cdot \cos(\psi_2) + |U_3| \cdot |I1_3| \cdot \cos(\psi_3) = 85.794 \text{ W}$$

$$Q := |U_1| \cdot |I1_1| \cdot \sin(\psi_1) + |U_2| \cdot |I1_2| \cdot \sin(\psi_2) + |U_3| \cdot |I1_3| \cdot \sin(\psi_3) = -106.998 \text{ W}$$

$$S := U \cdot A1 = 144.128 \text{ W}$$

$$T := \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} = 44.313 \text{ W}$$

Коефіцієнт потужності: $K_p := \frac{P}{S} = 0.595$

Коефіцієнти для змінної складової напруги

$$U_{\text{сеп_по_мод}} := \frac{U_1 + U_2 + U_3}{1.11} = 29.74 \text{ V}$$

$$K_f := \frac{U}{U_{\text{сеп_по_мод}}} = 0.706$$

$$K_{sp} := \frac{U_1}{U} = 0.857$$

$$K_a := \frac{|Um_1|}{U} = 1.212$$

$$K_g := \frac{U_2 + U_3}{U_1} = 0.833$$

Ємність, при якій відбудеться резонанс: $C_r := \frac{1}{w^2 \cdot L} = (2.111 \cdot 10^{-4}) \text{ F}$

Вважаючи задану схему однією з фаз симетричного трифазного кола при з'єднанні генератора і навантаження зіркою з нульовим проводом, визначимо діюче значення лінійної напруги і струму в нульовому проводі:

$$U_{0_{\text{діюча}}} := \sqrt{3} \cdot U = 36.386 \text{ V}$$

$$I_{\phi} := \sqrt{|I_{1_1}|^2 + |I_{1_2}|^2 + |I_{1_3}|^2} = 6.861 \text{ A} \quad a := e^{j \cdot 120^\circ}$$

$$I_{0_{\text{діючий}}} := I_{\phi} + I_{\phi} \cdot a + I_{\phi} \cdot a^2 = 0 \text{ A}$$