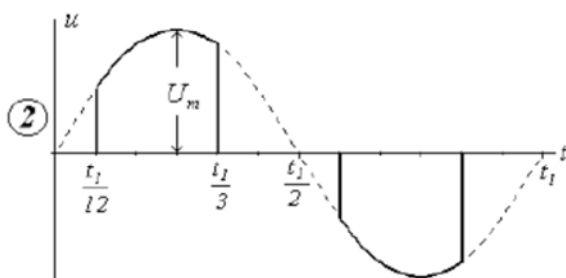


ЗАВДАННЯ:

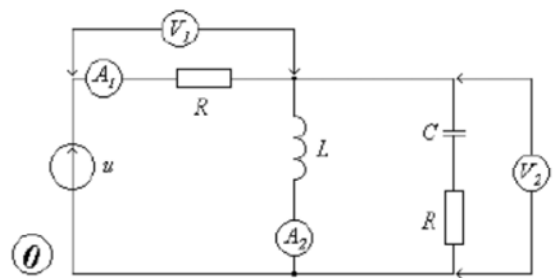
В електричному колі діє джерело періодичної несинусоїдної напруги, форма якої зображена на рис.4, $t_1 := 5 \cdot 10^{-3} \text{ s}$. Нелінійні ділянки є відтинками синусоїди.

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:

$$U_m := 30 \text{ V}$$

$$R := 3 \text{ } \Omega$$

$$C := 100 \text{ } \mu\text{F}$$

$$L := 2 \text{ mH}$$

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

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

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

Розклад заданої ЕРС в ряд Фур'є

$$U(t) := \begin{cases} \text{if } 0 \leq t < \frac{t_1}{12} \\ \quad \parallel 0 \\ \text{else if } \frac{t_1}{12} \leq t \leq \frac{t_1}{3} \\ \quad \parallel U_m \cdot \sin(w \cdot t) \\ \text{else if } \frac{t_1}{3} < t < \frac{7 \cdot t_1}{12} \\ \quad \parallel 0 \\ \text{else if } \frac{7 \cdot t_1}{12} \leq t \leq \frac{5 \cdot t_1}{6} \\ \quad \parallel U_m \cdot \sin(w \cdot t) \\ \text{else if } \frac{5 \cdot t_1}{6} < t \leq t_1 \\ \quad \parallel 0 \end{cases}$$

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

$$A_1 := \frac{2}{t_1} \cdot \int_0^{t_1} U(t) \cdot \sin(w \cdot t) dt = 23.27 \text{ V}$$

$$A_3 := \frac{2}{t_1} \cdot \int_0^{t_1} U(t) \cdot \sin(3 \cdot w \cdot t) dt = -8.27 \text{ V}$$

$$A_5 := \frac{2}{t_1} \cdot \int_0^{t_1} U(t) \cdot \sin(5 \cdot w \cdot t) dt = 0 \text{ V}$$

$$B_1 := \frac{2}{t_1} \cdot \int_0^{t_1} U(t) \cdot \cos(w \cdot t) dt = 4.775 \text{ V}$$

$$B_3 := \frac{2}{t_1} \cdot \int_0^{t_1} U(t) \cdot \cos(3 \cdot w \cdot t) dt = -4.774 \text{ V}$$

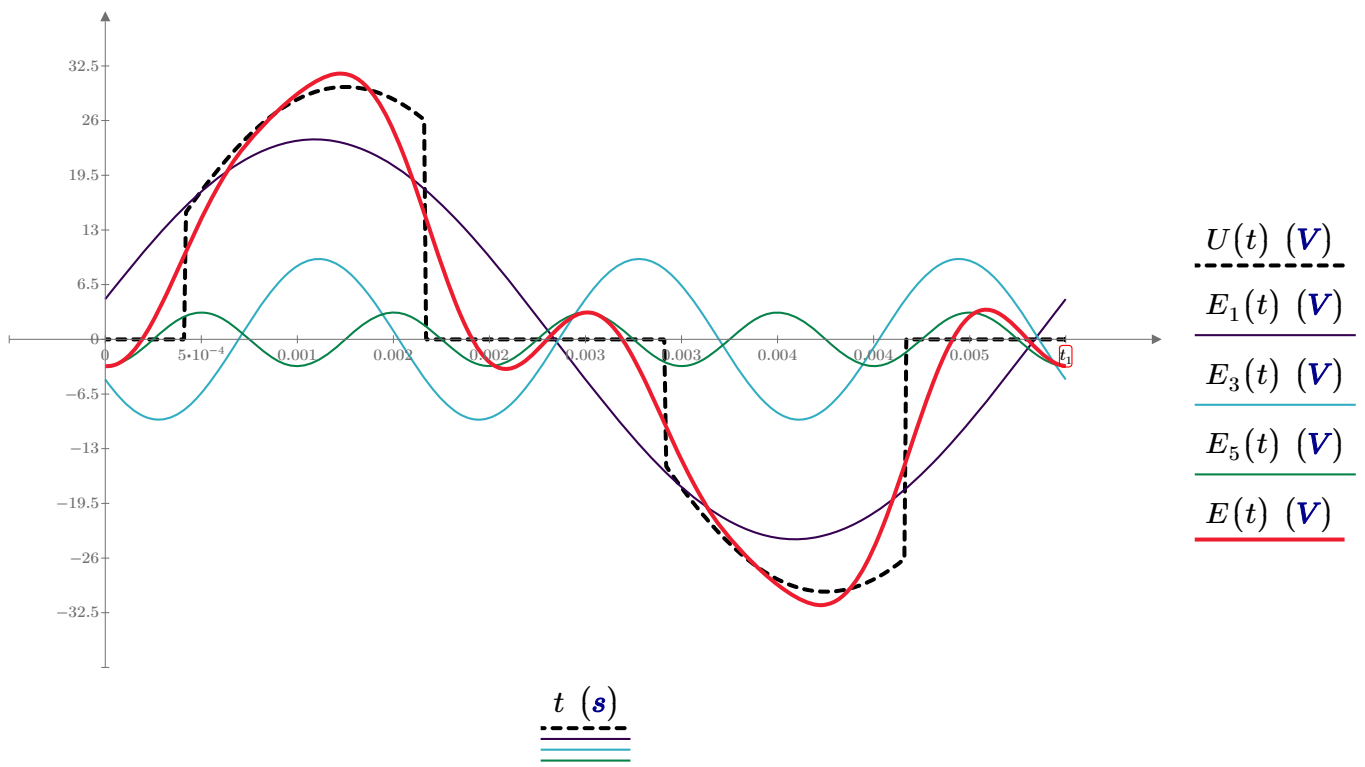
$$B_5 := \frac{2}{t_1} \cdot \int_0^{t_1} U(t) \cdot \cos(5 \cdot w \cdot t) dt = -3.183 \text{ V}$$

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

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

$$E_5(t) := A_5 \cdot \sin(5 \cdot w \cdot t) + B_5 \cdot \cos(5 \cdot w \cdot t)$$

$$E(t) := U_0 + A_1 \cdot \sin(w \cdot t) + B_1 \cdot \cos(w \cdot t) + A_3 \cdot \sin(3 \cdot w \cdot t) + B_3 \cdot \cos(3 \cdot w \cdot t) + A_5 \cdot \sin(5 \cdot w \cdot t) + B_5 \cdot \cos(5 \cdot w \cdot t)$$



$$\begin{aligned}
 XL_1 &:= w \cdot L = 2.513 \, \Omega \\
 XL_3 &:= 3 \cdot w \cdot L = 7.54 \, \Omega \\
 XL_5 &:= 5 \cdot w \cdot L = 12.566 \, \Omega
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z1_1 &:= R = 3 \, \Omega \\
 Z1_3 &:= R = 3 \, \Omega \\
 Z1_5 &:= R = 3 \, \Omega
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z2_1 &:= j \cdot XL_1 = 2.513j \, \Omega \\
 Z2_3 &:= j \cdot XL_3 = 7.54j \, \Omega \\
 Z2_5 &:= j \cdot XL_5 = 12.566j \, \Omega
 \end{aligned}$$

$$XC_1 := \frac{1}{w \cdot C} = 7.958 \, \Omega$$

$$XC_3 := \frac{1}{3 \cdot w \cdot C} = 2.653 \, \Omega$$

$$XC_5 := \frac{1}{5 \cdot w \cdot C} = 1.592 \, \Omega$$

$$Z3_1 := R - j \cdot XC_1 = (3 - 7.958j) \, \Omega$$

$$Z3_3 := R - j \cdot XC_3 = (3 - 2.653j) \, \Omega$$

$$Z3_5 := R - j \cdot XC_5 = (3 - 1.592j) \, \Omega$$

Струми гармонік у вітках

$$\phi_1 := \operatorname{atan}\left(\frac{A_1}{B_1}\right) = 78.405^\circ$$

$$Um_1 := \sqrt{A_1^2 + B_1^2} \cdot e^{j \cdot \phi_1} = (4.775 + 23.27j) \, V$$

$$\phi_3 := \operatorname{atan}\left(\frac{A_3}{B_3}\right) = 60.002^\circ$$

$$Um_3 := \sqrt{A_3^2 + B_3^2} \cdot e^{j \cdot \phi_3} = (4.774 + 8.27j) \, V$$

$$\phi_5 := \operatorname{atan}\left(\frac{A_5}{B_5}\right) = 0^\circ$$

$$Um_5 := \sqrt{A_5^2 + B_5^2} \cdot e^{j \cdot \phi_5} = 3.183 \, V$$

Струми гармонік в першій вітці кола:

$$I1_1 := \frac{Um_1}{Z1_1 + \frac{Z2_1 \cdot Z3_1}{Z2_1 + Z3_1}} = (4.034 + 2.734j) \, A$$

$$I1_3 := \frac{Um_3}{Z1_3 + \frac{Z2_3 \cdot Z3_3}{Z2_3 + Z3_3}} = (0.465 + 1.062j) \, A$$

$$I1_5 := \frac{Um_5}{Z1_5 + \frac{Z2_5 \cdot Z3_5}{Z2_5 + Z3_5}} = (0.471 + 0.058j) \, A$$

Струми гармонік в другій вітці кола:

$$I2_1 := I1_1 \cdot \frac{Z3_1}{Z2_1 + Z3_1} = (5.995 + 2.915j) \, A$$

$$I2_3 := I1_3 \cdot \frac{Z3_3}{Z2_3 + Z3_3} = (0.674 - 0.448j) \, A$$

$$I2_5 := I1_5 \cdot \frac{Z3_5}{Z2_5 + Z3_5} = (-0.014 - 0.141j) \, A$$

Струми гармонік в
третій вітці кола:

$$I_{3_1} := I_{1_1} \cdot \frac{Z_{2_1}}{Z_{2_1} + Z_{3_1}} = (-1.962 - 0.181j) \text{ A}$$

$$I_{3_3} := I_{1_3} \cdot \frac{Z_{2_3}}{Z_{2_3} + Z_{3_3}} = (-0.209 + 1.51j) \text{ A}$$

$$I_{3_5} := I_{1_5} \cdot \frac{Z_{2_5}}{Z_{2_5} + Z_{3_5}} = (0.485 + 0.199j) \text{ A}$$

Миттєві значення струмів і напруг

$$\psi_1 := \arg(I_{1_1}) = 34.129^\circ \quad \psi_3 := \arg(I_{1_3}) = 66.337^\circ \quad \psi_5 := \arg(I_{1_5}) = 7.036^\circ$$

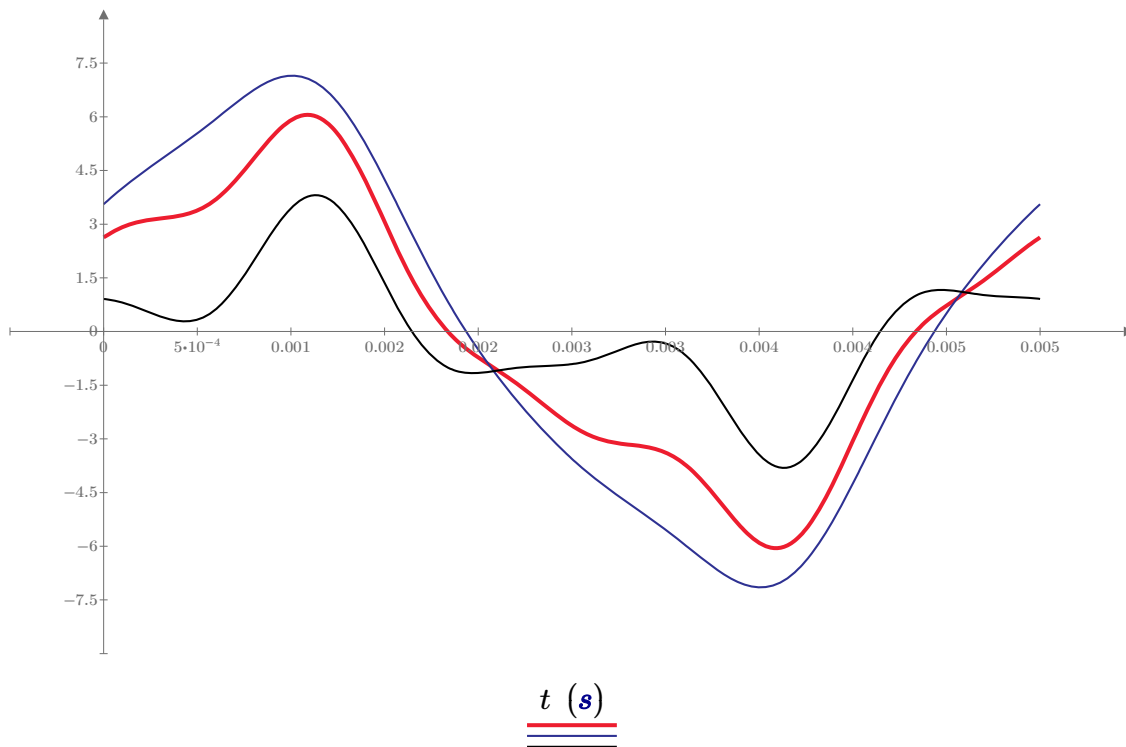
$$i_1(t) := |I_{1_1}| \cdot \sin(w \cdot t + \psi_1) + |I_{1_3}| \cdot \sin(3 \cdot (w \cdot t + \psi_3)) + |I_{1_5}| \cdot \sin(5 \cdot (w \cdot t + \psi_5))$$

$$i_2(t) := |I_{2_1}| \cdot \sin(w \cdot t + \psi_1) + |I_{2_3}| \cdot \sin(3 \cdot (w \cdot t + \psi_3)) + |I_{2_5}| \cdot \sin(5 \cdot (w \cdot t + \psi_5))$$

$$i_3(t) := |I_{3_1}| \cdot \sin(w \cdot t + \psi_1) + |I_{3_3}| \cdot \sin(3 \cdot (w \cdot t + \psi_3)) + |I_{3_5}| \cdot \sin(5 \cdot (w \cdot t + \psi_5))$$

$$u(t) := |U_{m_1}| \cdot \sin(w \cdot t + \phi_1) + |U_{m_3}| \cdot \sin(3 \cdot (w \cdot t + \phi_3)) + |U_{m_5}| \cdot \sin(5 \cdot (w \cdot t + \phi_5))$$

Графіки миттєвих значень



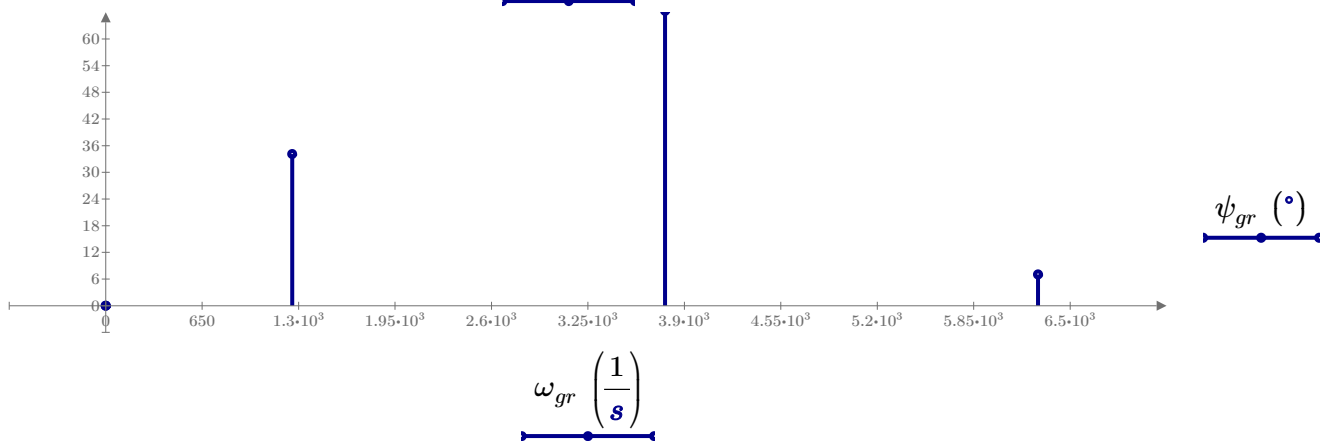
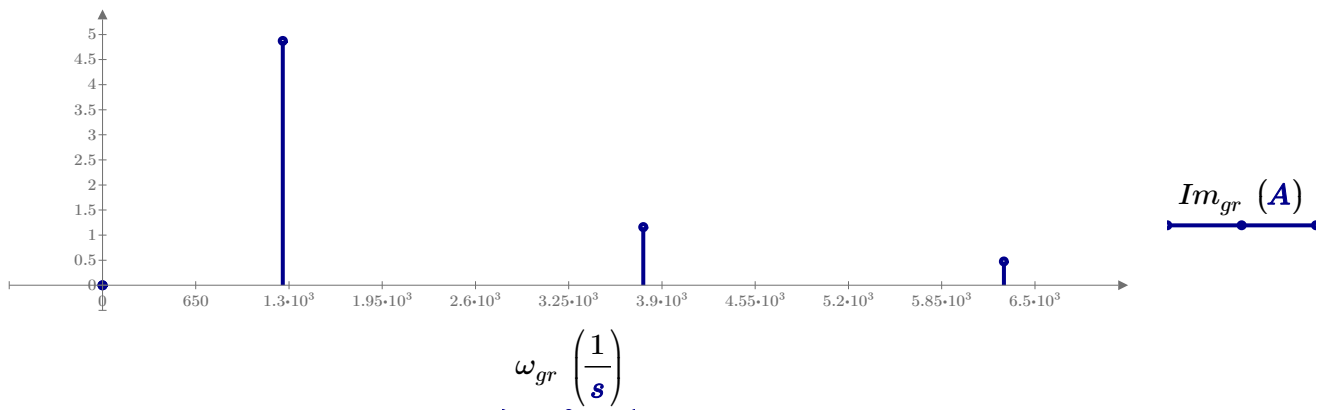
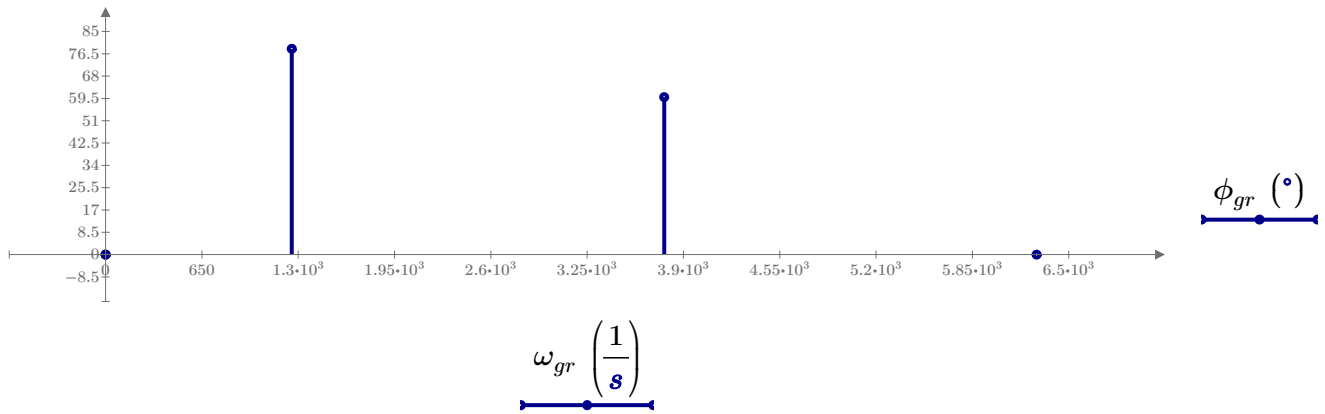
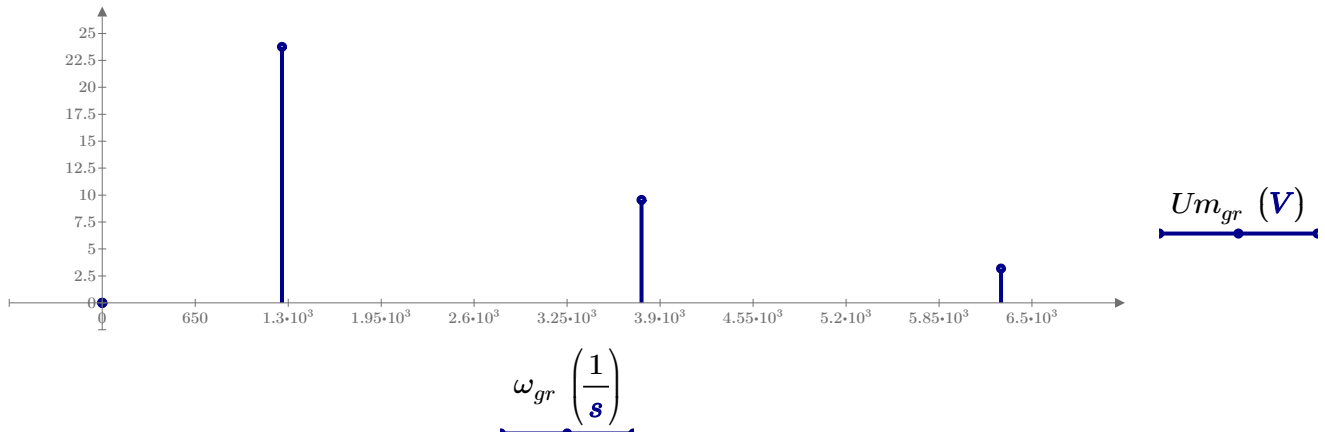
$$\underline{i_1(t) \text{ (A)}}$$

$$\underline{i_2(t) \text{ (A)}}$$

$$\underline{i_3(t) \text{ (A)}}$$

$$\underline{\underline{t \text{ (s)}}}$$

Амплітудні і фазові спектральні діаграми для струму і напруги джерела.



Діючі значення напруг і струмів

$$A1 := \sqrt{|I_{11}|^2 + |I_{13}|^2 + |I_{15}|^2} = 5.031 \text{ A}$$

$$A2 := \sqrt{|I_{21}|^2 + |I_{23}|^2 + |I_{25}|^2} = 6.717 \text{ A}$$

$$V1 := \sqrt{|I_{11} \cdot Z_{11}|^2 + |I_{13} \cdot Z_{13}|^2 + |I_{15} \cdot Z_{15}|^2} = 15.094 \text{ V}$$

$$V2 := \sqrt{|I_{21} \cdot Z_{21}|^2 + |I_{23} \cdot Z_{23}|^2 + |I_{25} \cdot Z_{25}|^2} = 17.921 \text{ V}$$

Розрахунок потужностей

$$U_1 := \left| \frac{Um_1}{\sqrt{2}} \right| = 16.797 \text{ V}$$

$$U_3 := \left| \frac{Um_3}{\sqrt{2}} \right| = 6.752 \text{ V}$$

$$U_5 := \left| \frac{Um_5}{\sqrt{2}} \right| = 2.251 \text{ V}$$

$$U := \sqrt{U_1^2 + U_3^2 + U_5^2} = 18.243 \text{ V}$$

$$P := |U_1| \cdot |I_{11}| \cdot \cos(\psi_1 - \phi_1) + |U_3| \cdot |I_{13}| \cdot \cos(\psi_3 - \phi_3) + |U_5| \cdot |I_{15}| \cdot \cos(\psi_5 - \phi_5) = 67.444 \text{ W}$$

$$Q := |U_1| \cdot |I_{11}| \cdot \sin(\psi_1 - \phi_1) + |U_3| \cdot |I_{13}| \cdot \sin(\psi_3 - \phi_3) + |U_5| \cdot |I_{15}| \cdot \sin(\psi_5 - \phi_5) = -56.146 \text{ W}$$

$$S := U \cdot A1 = 91.785 \text{ W}$$

$$T := \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} = 26.897 \text{ W}$$

Коефіцієнт потужності:

$$K_p := \frac{P}{S} = 0.735$$

Коефіцієнти для змінної складової напруги

$$U_{\text{сеп_по_мод}} := \frac{U_1 + U_3 + U_5}{1.11} = 23.243 \text{ V}$$

$$K_f := \frac{U}{U_{\text{сеп_по_мод}}} = 0.785$$

$$K_{sp} := \frac{U_1}{U} = 0.921$$

$$K_a := \frac{|Um_1|}{U} = 1.302$$

$$K_g := \frac{U_3 + U_5}{U_1} = 0.536$$

Ємність, при якій відбудеться резонанс:

$$C_r := \frac{1}{w^2 \cdot L} = (3.166 \cdot 10^{-4}) \text{ F}$$

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:

$$U_{0_{\text{діюча}}} := \sqrt{3} \cdot U = 31.598 \text{ V}$$

$$I_{\phi} := \sqrt{|I_{1_1}|^2 + |I_{1_3}|^2 + |I_{1_5}|^2} = 5.031 \text{ A} \qquad a := e^{j \cdot 120^\circ}$$

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