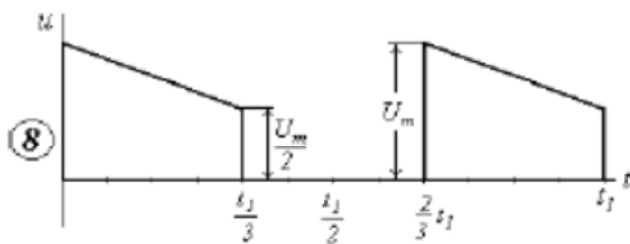


## ЗАВДАННЯ:

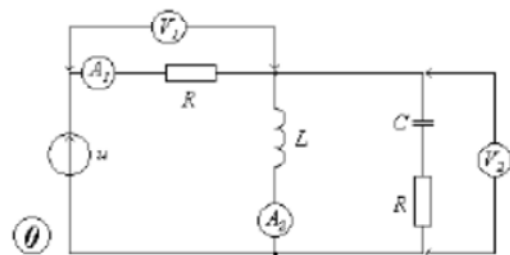
В електричному колі діє джерело періодичної несинусоїдної напруги, форма якої зображена на рис.4,  $t_1 := 5 \cdot 10^{-3} \text{ s}$ . Нелінійні ділянки є відтинками синусоїди.

## 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:

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

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

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

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

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

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

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

# Розклад заданої ЕРС в ряд Фур'є

$$U(t) := \left\| \begin{array}{l} \text{if } 0 \leq t \leq \frac{t_1}{3} \\ \left\| U_m \cdot \left( 1 - \frac{3 \cdot t}{2 \cdot t_1} \right) \right\| \\ \text{else if } \frac{t_1}{3} < t < \frac{2 \cdot t_1}{3} \\ \left\| 0 \right\| \\ \text{else if } \frac{2 \cdot t_1}{3} \leq t < t_1 \\ \left\| U_m \cdot \left( 2 - \frac{3 \cdot t}{2 \cdot t_1} \right) \right\| \end{array} \right\|$$

$$U_0 := \frac{1}{t_1} \cdot \int_0^{t_1} U(t) dt = 15 \text{ V}$$

$$A_1 := \frac{2}{t_1} \cdot \int_0^{t_1} U(t) \cdot \sin(w \cdot t) dt = -1.561 \text{ V}$$

$$A_2 := \frac{2}{t_1} \cdot \int_0^{t_1} U(t) \cdot \sin(2 \cdot w \cdot t) dt = 2.181 \text{ V}$$

$$A_3 := \frac{2}{t_1} \cdot \int_0^{t_1} U(t) \cdot \sin(3 \cdot w \cdot t) dt = 3.183 \text{ V}$$

$$B_1 := \frac{2}{t_1} \cdot \int_0^{t_1} U(t) \cdot \cos(w \cdot t) dt = 12.405 \text{ V}$$

$$B_2 := \frac{2}{t_1} \cdot \int_0^{t_1} U(t) \cdot \cos(2 \cdot w \cdot t) dt = -6.202 \text{ V}$$

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

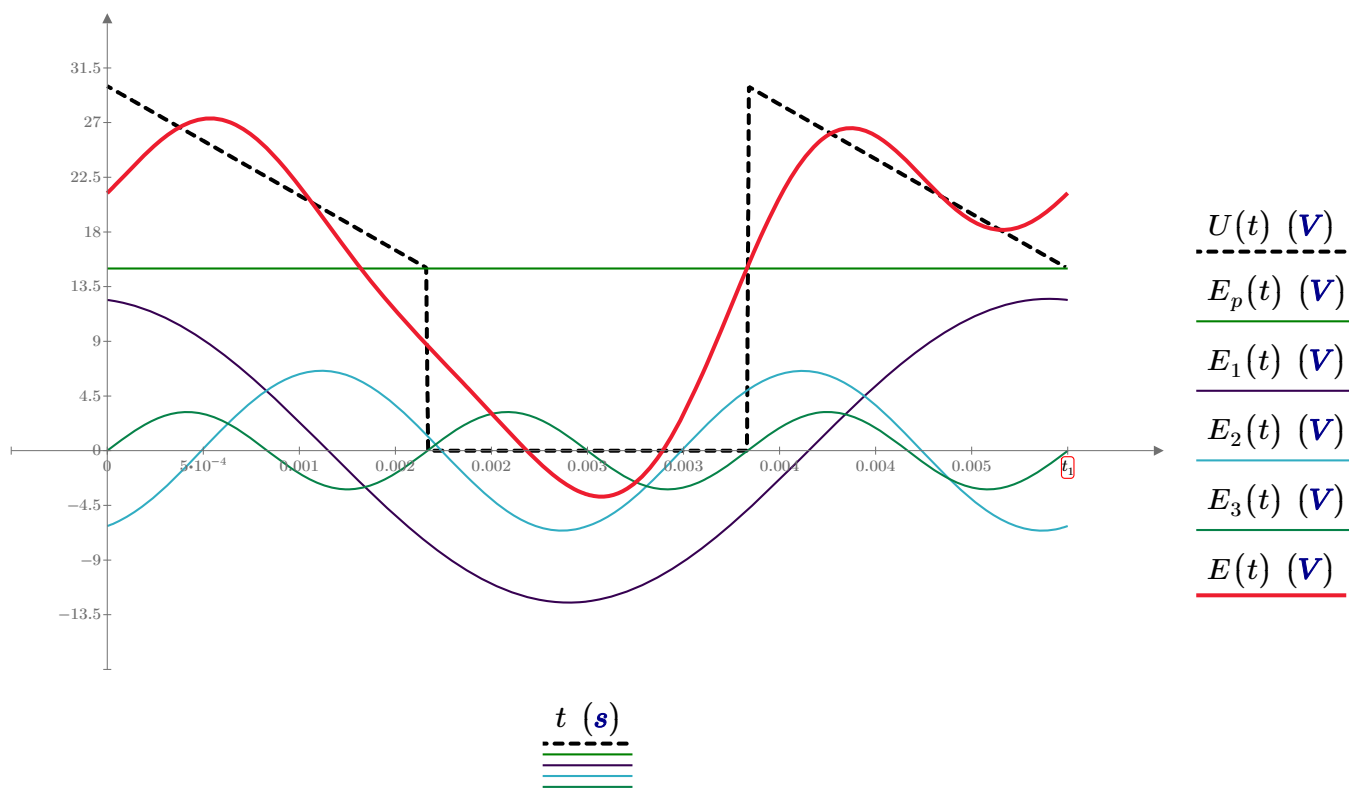
$$E_p(t) := U_0$$

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

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

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

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



$$XL_1 := w \cdot L = 2.513 \, \Omega$$

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

$$XL_2 := 2 \cdot w \cdot L = 5.027 \, \Omega$$

$$XC_2 := \frac{1}{2 \cdot w \cdot C} = 3.979 \, \Omega$$

$$XL_3 := 3 \cdot w \cdot L = 7.54 \, \Omega$$

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

$$Z1_1 := R = 3 \, \Omega$$

$$Z2_1 := j \cdot XL_1 = 2.513j \, \Omega$$

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

$$Z1_2 := R = 3 \, \Omega$$

$$Z2_2 := j \cdot XL_2 = 5.027j \, \Omega$$

$$Z3_2 := R - j \cdot XC_2 = (3 - 3.979j) \, \Omega$$

$$Z1_3 := R = 3 \, \Omega$$

$$Z2_3 := j \cdot XL_3 = 7.54j \, \Omega$$

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

## Струми гармонік у вітках

$$\phi_1 := \text{atan}\left(\frac{A_1}{B_1}\right) = -7.174^\circ$$

$$Um_1 := \sqrt{A_1^2 + B_1^2} \cdot e^{j \cdot \phi_1} = (12.405 - 1.561j) \, V$$

$$\phi_2 := \text{atan}\left(\frac{A_2}{B_2}\right) = -19.372^\circ$$

$$Um_2 := \sqrt{A_2^2 + B_2^2} \cdot e^{j \cdot \phi_2} = (6.202 - 2.181j) \, V$$

$$\phi_3 := \text{atan}\left(\frac{A_3}{B_3}\right) = 90^\circ$$

$$Um_3 := \sqrt{A_3^2 + B_3^2} \cdot e^{j \cdot \phi_3} = 3.183j \, V$$

Для постійної складової напруги:

$$I1_0 := \frac{U_0}{R} = 5 \, A$$

$$I2_0 := \frac{U_0}{R} = 5 \, A$$

$I3_0 := 0 \, A$  -> конденсатор - розрив у колі постійного струму, через який струм не тече

Струми гармонік в першій вітці кола:

$$I1_1 := \frac{Um_1}{Z1_1 + \frac{Z2_1 \cdot Z3_1}{Z2_1 + Z3_1}} = (1.598 - 2.006j) \, A$$

$$I1_2 := \frac{Um_2}{Z1_2 + \frac{Z2_2 \cdot Z3_2}{Z2_2 + Z3_2}} = (0.516 - 0.326j) \, A$$

$$I1_3 := \frac{Um_3}{Z1_3 + \frac{Z2_3 \cdot Z3_3}{Z2_3 + Z3_3}} = (-0.043 + 0.384j) \, A$$

Струми гармонік в другій вітці кола:

$$I2_1 := I1_1 \cdot \frac{Z3_1}{Z2_1 + Z3_1} = (1.773 - 3.028j) \, A$$

$$I2_2 := I1_2 \cdot \frac{Z3_2}{Z2_2 + Z3_2} = (-0.24 - 0.926j) \, A$$

$$I2_3 := I1_3 \cdot \frac{Z3_3}{Z2_3 + Z3_3} = (0.269 - 0.017j) \, A$$

Струми гармонік в третій вітці кола:

$$I3_1 := I1_1 \cdot \frac{Z2_1}{Z2_1 + Z3_1} = (-0.175 + 1.022j) \, A$$

$$I3_2 := I1_2 \cdot \frac{Z2_2}{Z2_2 + Z3_2} = (0.755 + 0.6j) \, A$$

$$I3_3 := I1_3 \cdot \frac{Z2_3}{Z2_3 + Z3_3} = (-0.312 + 0.401j) \, A$$

## Миттєві значення струмів і напруг

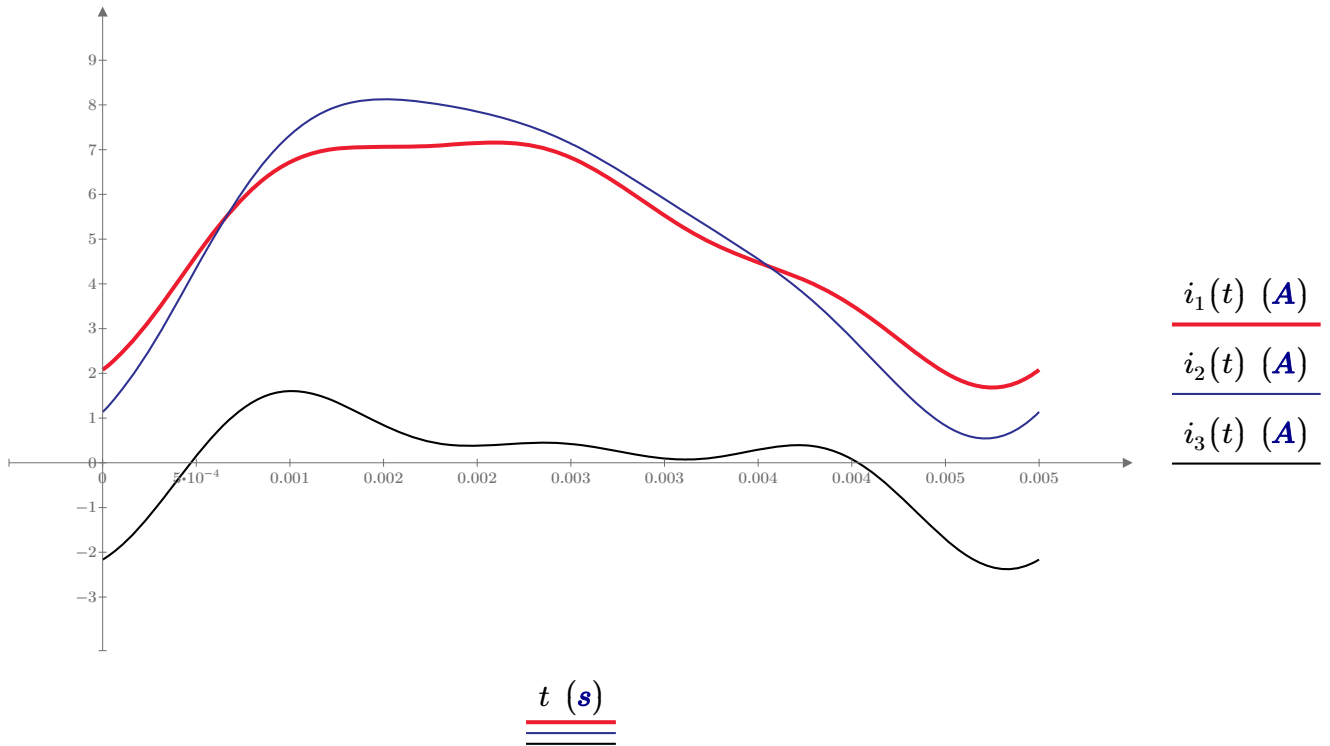
$$\psi_1 := \arg(I_{1_1}) = -51.449^\circ \quad \psi_2 := \arg(I_{1_2}) = -32.265^\circ \quad \psi_3 := \arg(I_{1_3}) = 96.335^\circ$$

$$i_1(t) := I_{1_0} + |I_{1_1}| \cdot \sin(w \cdot t + \psi_1) + |I_{1_2}| \cdot \sin(2 \cdot (w \cdot t + \psi_2)) + |I_{1_3}| \cdot \sin(3 \cdot (w \cdot t + \psi_3))$$

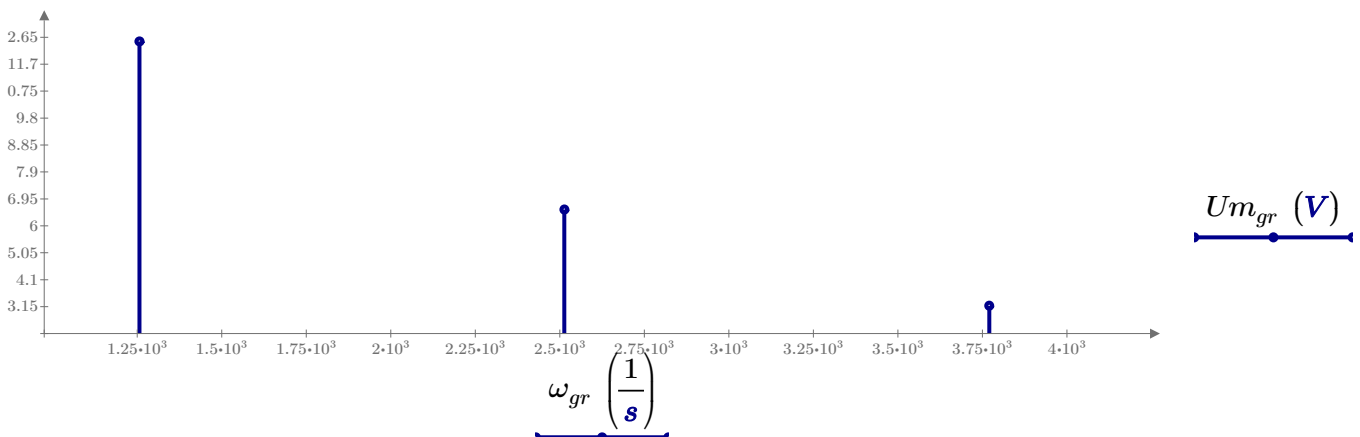
$$i_2(t) := I_{2_0} + |I_{2_1}| \cdot \sin(w \cdot t + \psi_1) + |I_{2_2}| \cdot \sin(2 \cdot (w \cdot t + \psi_2)) + |I_{2_3}| \cdot \sin(3 \cdot (w \cdot t + \psi_3))$$

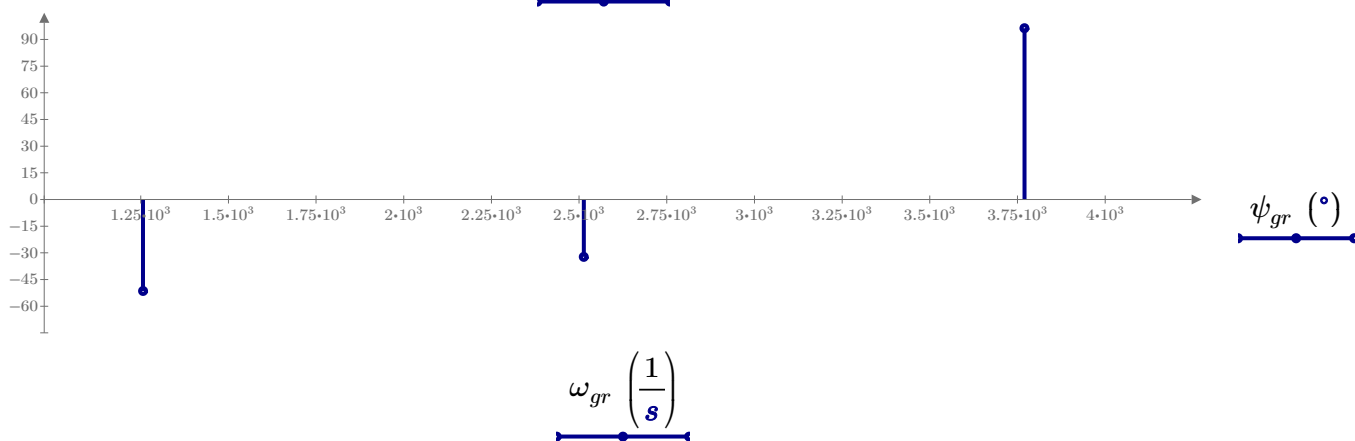
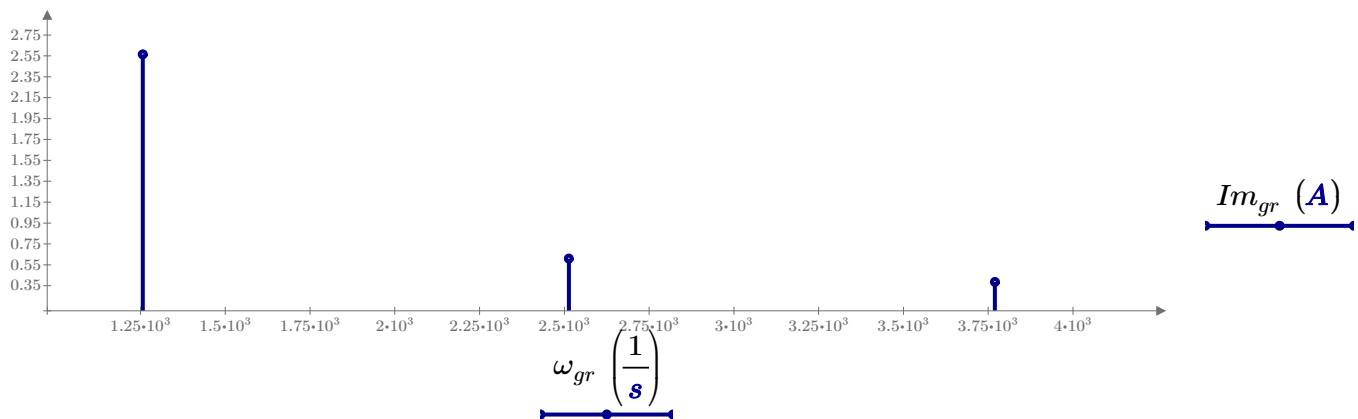
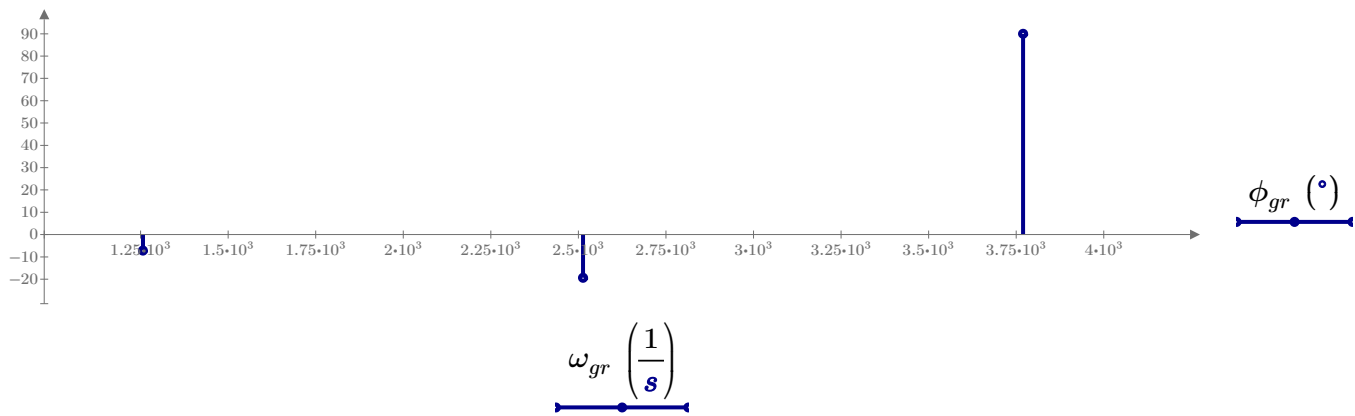
$$i_3(t) := I_{3_0} + |I_{3_1}| \cdot \sin(w \cdot t + \psi_1) + |I_{3_2}| \cdot \sin(2 \cdot (w \cdot t + \psi_2)) + |I_{3_3}| \cdot \sin(3 \cdot (w \cdot t + \psi_3))$$

$$u(t) := U_0 + |Um_1| \cdot \sin(w \cdot t + \phi_1) + |Um_2| \cdot \sin(2 \cdot (w \cdot t + \phi_2)) + |Um_3| \cdot \sin(3 \cdot (w \cdot t + \phi_3))$$



Амплітудні і фазові спектральні діаграми  
для струму і напруги джерела.





Діючі значення напруг і струмів

$$A1 := \sqrt{I1_0^2 + |I1_1|^2 + |I1_2|^2 + |I1_3|^2} = 5.666 \text{ A}$$

$$A2 := \sqrt{I2_0^2 + |I2_1|^2 + |I2_2|^2 + |I2_3|^2} = 6.189 \text{ A}$$

$$V1 := \sqrt{(I1_0 \cdot R)^2 + |I1_1 \cdot Z1_1|^2 + |I1_2 \cdot Z1_2|^2 + |I1_3 \cdot Z1_3|^2} = 16.997 \text{ V}$$

$$V2 := \sqrt{(I2_0 \cdot R)^2 + |I2_1 \cdot Z2_1|^2 + |I2_2 \cdot Z2_2|^2 + |I2_3 \cdot Z2_3|^2} = 18.167 \text{ V}$$

Розрахунок потужностей

$$U_1 := \left| \frac{Um_1}{\sqrt{2}} \right| = 8.841 \text{ V}$$

$$U_2 := \left| \frac{Um_2}{\sqrt{2}} \right| = 4.649 \text{ V}$$

$$U_3 := \left| \frac{Um_3}{\sqrt{2}} \right| = 2.251 \text{ V}$$

$$U := \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + U_3^2} = 18.161 \text{ V}$$

$$P := U_0 \cdot I_{10} + |U_1| \cdot |I_{11}| \cdot \cos(\psi_1 - \phi_1) + |U_2| \cdot |I_{12}| \cdot \cos(\psi_2 - \phi_2) + |U_3| \cdot |I_{13}| \cdot \cos(\psi_3 - \phi_3) = 94.863 \text{ W}$$

$$Q := |U_1| \cdot |I_{11}| \cdot \sin(\psi_1 - \phi_1) + |U_2| \cdot |I_{12}| \cdot \sin(\psi_2 - \phi_2) + |U_3| \cdot |I_{13}| \cdot \sin(\psi_3 - \phi_3) = -16.366 \text{ W}$$

$$S := U \cdot A_1 = 102.896 \text{ W}$$

$$T := \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} = 36.341 \text{ W}$$

Коефіцієнт потужності:  $K_p := \frac{P}{S} = 0.922$

Коефіцієнти для змінної складової напруги

$$U_{\text{сеп\_по\_мод}} := \frac{U_1 + U_2 + U_3}{1.11} = 14.181 \text{ V}$$

$$K_f := \frac{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2}}{U_{\text{сеп\_по\_мод}}} = 0.722$$

$$K_{sp} := \frac{U_1}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2}} = 0.863$$

$$K_a := \frac{|Um_1|}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2}} = 1.221$$

$$K_g := \frac{U_2 + U_3}{U_1} = 0.78$$

Ємність, при якій відбудеться резонанс:  $C_r := \frac{1}{\omega^2 \cdot L} = (3.166 \cdot 10^{-4}) \text{ F}$

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:

$$U_{0_{\text{діюча}}} := \sqrt{3} \cdot \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2} = 17.735 \text{ V}$$

$$I_{\phi} := \sqrt{|I_{11}|^2 + |I_{12}|^2 + |I_{13}|^2} = 2.664 \text{ A}$$

$$a := e^{j \cdot 120^\circ}$$

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