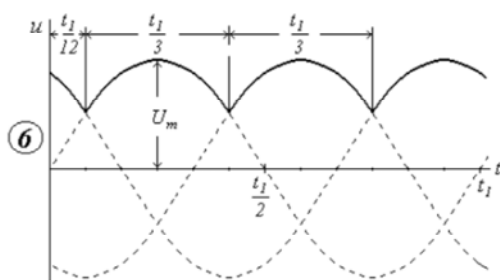


## ЗАВДАННЯ:

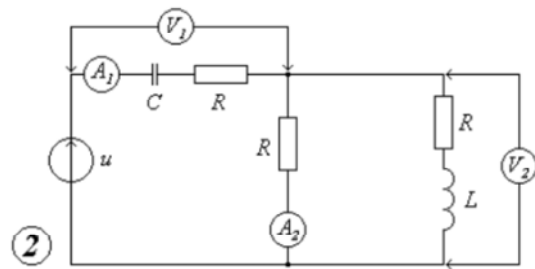
В електричному колі діє джерело періодичної несинусоїдної напруги, форма якої задана за варіантом,  $t_1 := 5 \cdot 10^{-3} \text{ s}$ . Нелінійні ділянки є відтинками синусоїди.

## 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:

$$U_m := 50 \text{ V}$$

$$R := 5 \text{ } \Omega$$

$$C := 200 \text{ } \mu\text{F}$$

$$L := 4 \text{ mH}$$

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

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

$$w := \frac{2 \cdot \pi}{t_1} = 1256.637 \frac{1}{\text{s}}$$

# Розклад заданої ЕРС в ряд Фур'є

$$U(t) := \left\{ \begin{array}{l} \text{if } 0 \leq t \leq \frac{t_1}{12} \\ \left\| U_m \cdot \sin\left(w \cdot t + \frac{2 \cdot \pi}{3}\right) \right\| \\ \text{else if } \frac{t_1}{12} < t < \frac{5 \cdot t_1}{12} \\ \left\| U_m \cdot \sin(w \cdot t) \right\| \\ \text{else if } \frac{5 \cdot t_1}{12} \leq t < \frac{3 \cdot t_1}{4} \\ \left\| U_m \cdot \sin\left(w \cdot t - \frac{2 \cdot \pi}{3}\right) \right\| \\ \text{else if } \frac{3 \cdot t_1}{4} \leq t \leq t_1 \\ \left\| U_m \cdot \sin\left(w \cdot t + \frac{2 \cdot \pi}{3}\right) \right\| \end{array} \right.$$

$$U_0 := \frac{1}{t_1} \cdot \int_0^{t_1} U(t) dt = 41.35 \text{ V}$$

$$A_3 := \frac{2}{t_1} \cdot \int_0^{t_1} U(t) \cdot \sin(3 \cdot w \cdot t) dt = -10.337 \text{ V}$$

$$A_6 := \frac{2}{t_1} \cdot \int_0^{t_1} U(t) \cdot \sin(6 \cdot w \cdot t) dt = 0 \text{ V}$$

$$A_9 := \frac{2}{t_1} \cdot \int_0^{t_1} U(t) \cdot \sin(9 \cdot w \cdot t) dt = 1.034 \text{ V}$$

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

$$B_6 := \frac{2}{t_1} \cdot \int_0^{t_1} U(t) \cdot \cos(6 \cdot w \cdot t) dt = 2.363 \text{ V}$$

$$B_9 := \frac{2}{t_1} \cdot \int_0^{t_1} U(t) \cdot \cos(9 \cdot w \cdot t) dt = 0 \text{ V}$$

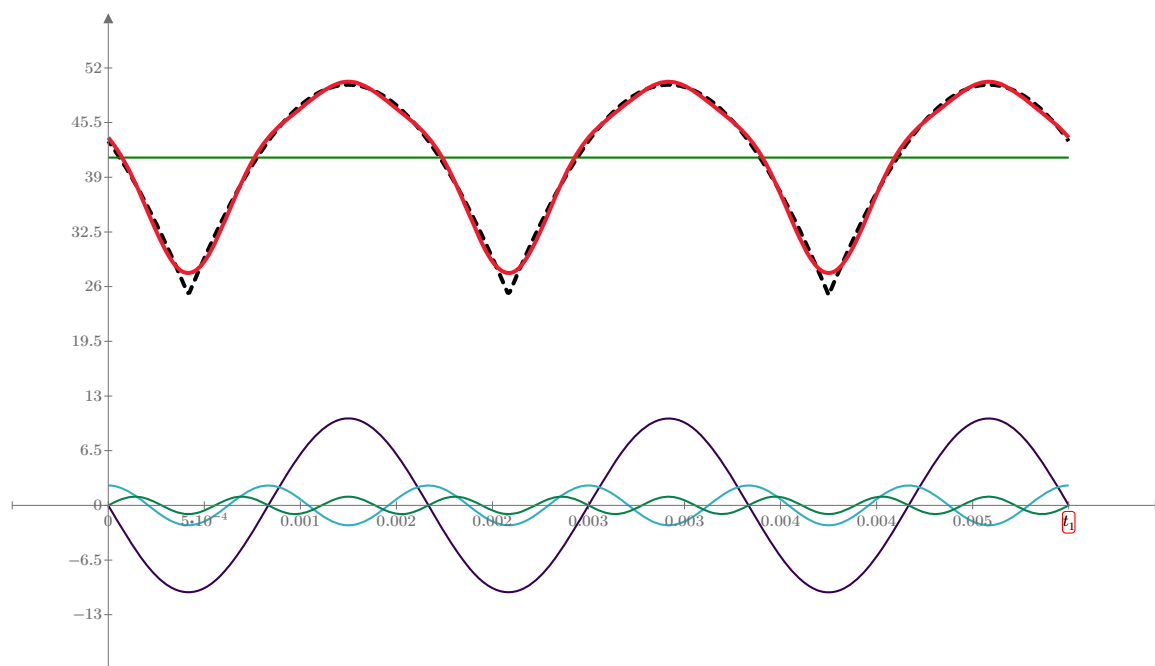
$$E_p(t) := U_0$$

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

$$E_6(t) := A_6 \cdot \sin(6 \cdot w \cdot t) + B_6 \cdot \cos(6 \cdot w \cdot t)$$

$$E_9(t) := A_9 \cdot \sin(9 \cdot w \cdot t) + B_9 \cdot \cos(9 \cdot w \cdot t)$$

$$E(t) := U_0 + A_3 \cdot \sin(3 \cdot w \cdot t) + B_3 \cdot \cos(3 \cdot w \cdot t) + A_6 \cdot \sin(6 \cdot w \cdot t) + B_6 \cdot \cos(6 \cdot w \cdot t) + A_9 \cdot \sin(9 \cdot w \cdot t) + B_9 \cdot \cos(9 \cdot w \cdot t)$$



$U(t)$  (V)  
 $E_p(t)$  (V)  
 $E_3(t)$  (V)  
 $E_6(t)$  (V)  
 $E_9(t)$  (V)  
 $E(t)$  (V)

$t$  (s)

$$XL_3 := 3 \cdot w \cdot L = 15.08 \, \Omega$$

$$XC_3 := \frac{1}{3 \cdot w \cdot C} = 1.326 \, \Omega$$

$$XL_6 := 6 \cdot w \cdot L = 30.159 \, \Omega$$

$$XC_6 := \frac{1}{6 \cdot w \cdot C} = 0.663 \, \Omega$$

$$XL_9 := 9 \cdot w \cdot L = 45.239 \, \Omega$$

$$XC_9 := \frac{1}{9 \cdot w \cdot C} = 0.442 \, \Omega$$

$$Z1_3 := R - j \cdot XC_3 = (5 - 1.326j) \, \Omega$$

$$Z2_3 := R = 5 \, \Omega$$

$$Z3_3 := R + j \cdot XL_3 = (5 + 15.08j) \, \Omega$$

$$Z1_6 := R - j \cdot XC_6 = (5 - 0.663j) \, \Omega$$

$$Z2_6 := R = 5 \, \Omega$$

$$Z3_6 := R + j \cdot XL_6 = (5 + 30.159j) \, \Omega$$

$$Z1_9 := R - j \cdot XC_9 = (5 - 0.442j) \, \Omega$$

$$Z2_9 := R = 5 \, \Omega$$

$$Z3_9 := R + j \cdot XL_9 = (5 + 45.239j) \, \Omega$$

## Струми гармонік у вітках

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

$$Um_3 := \sqrt{A_3^2 + B_3^2} \cdot e^{j \cdot \phi_3} = 10.337j \, V$$

$$\phi_6 := \text{atan}\left(\frac{A_6}{B_6}\right) = 0^\circ$$

$$Um_6 := \sqrt{A_6^2 + B_6^2} \cdot e^{j \cdot \phi_6} = 2.363 \, V$$

$$\phi_9 := \text{atan}\left(\frac{A_9}{B_9}\right) = 90^\circ$$

$$Um_9 := \sqrt{A_9^2 + B_9^2} \cdot e^{j \cdot \phi_9} = 1.034j \, V$$

Для постійної складової напруги:

-> конденсатор - розрив у  
колі постійного струму,  
через який струм не тече

$$I1_0 := 0 \, A$$

$$I2_0 := 0 \, A$$

$$I3_0 := 0 \, A$$

Струми гармонік в першій вітці кола:

$$I1_3 := \frac{Um_3}{Z1_3 + \frac{Z2_3 \cdot Z3_3}{Z2_3 + Z3_3}} = (-0.021 + 1.119j) \, A$$

$$I1_6 := \frac{Um_6}{Z1_6 + \frac{Z2_6 \cdot Z3_6}{Z2_6 + Z3_6}} = (0.242 - 0.002j) \, A$$

$$I1_9 := \frac{Um_9}{Z1_9 + \frac{Z2_9 \cdot Z3_9}{Z2_9 + Z3_9}} = (0.001 + 0.105j) \, A$$

Струми гармонік в другій вітці кола:

$$I2_3 := I1_3 \cdot \frac{Z3_3}{Z2_3 + Z3_3} = (-0.276 + 0.943j) \, A$$

$$I2_6 := I1_6 \cdot \frac{Z3_6}{Z2_6 + Z3_6} = (0.231 + 0.034j) \, A$$

$$I2_9 := I1_9 \cdot \frac{Z3_9}{Z2_9 + Z3_9} = (-0.01 + 0.102j) \, A$$

Струми гармонік в третій вітці кола:

$$I3_3 := I1_3 \cdot \frac{Z2_3}{Z2_3 + Z3_3} = (0.254 + 0.176j) \, A$$

$$I3_6 := I1_6 \cdot \frac{Z2_6}{Z2_6 + Z3_6} = (0.012 - 0.036j) \, A$$

$$I3_9 := I1_9 \cdot \frac{Z2_9}{Z2_9 + Z3_9} = (0.011 + 0.002j) \, A$$

## Миттєві значення струмів і напруг

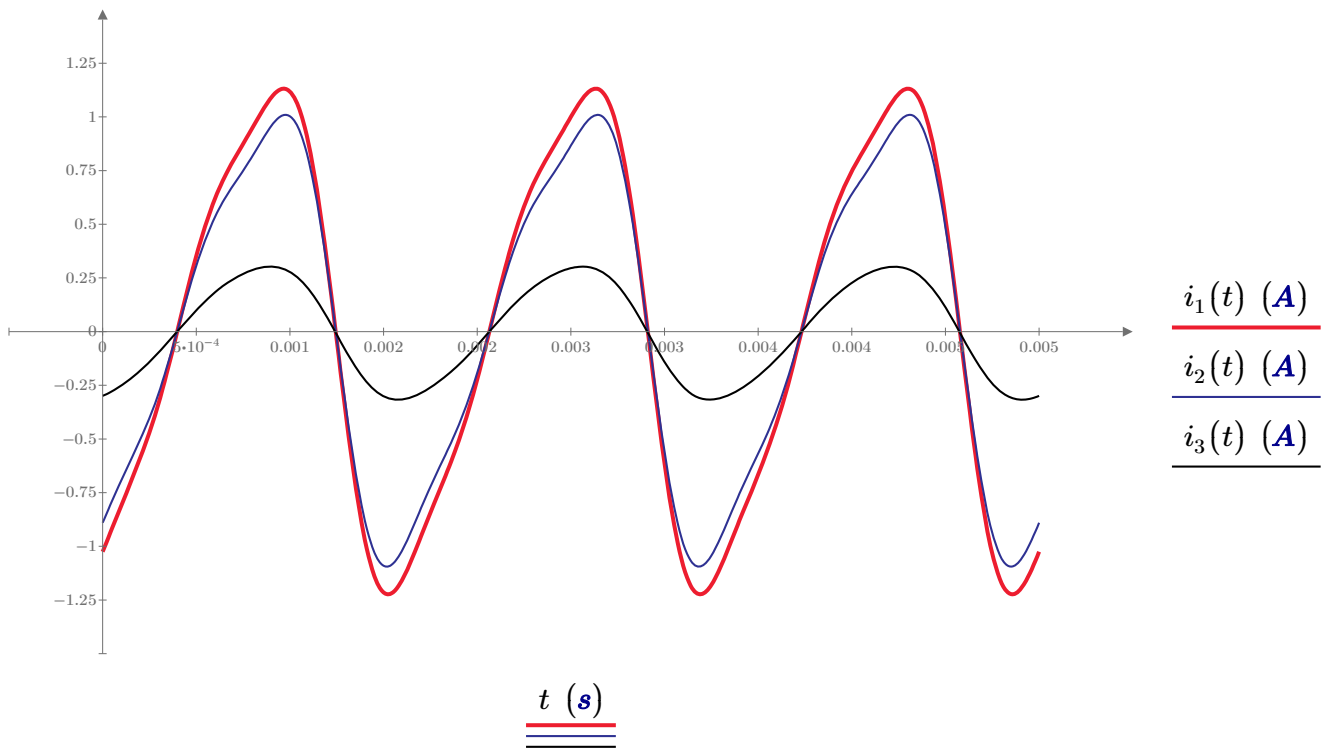
$$\psi_3 := \arg(I_{1_3}) = 91.084^\circ \quad \psi_6 := \arg(I_{1_6}) = -0.492^\circ \quad \psi_9 := \arg(I_{1_9}) = 89.509^\circ$$

$$i_1(t) := I_{1_0} + |I_{1_3}| \cdot \sin(3 \cdot (w \cdot t + \psi_3)) + |I_{1_6}| \cdot \sin(6 \cdot (w \cdot t + \psi_6)) + |I_{1_9}| \cdot \sin(9 \cdot (w \cdot t + \psi_9))$$

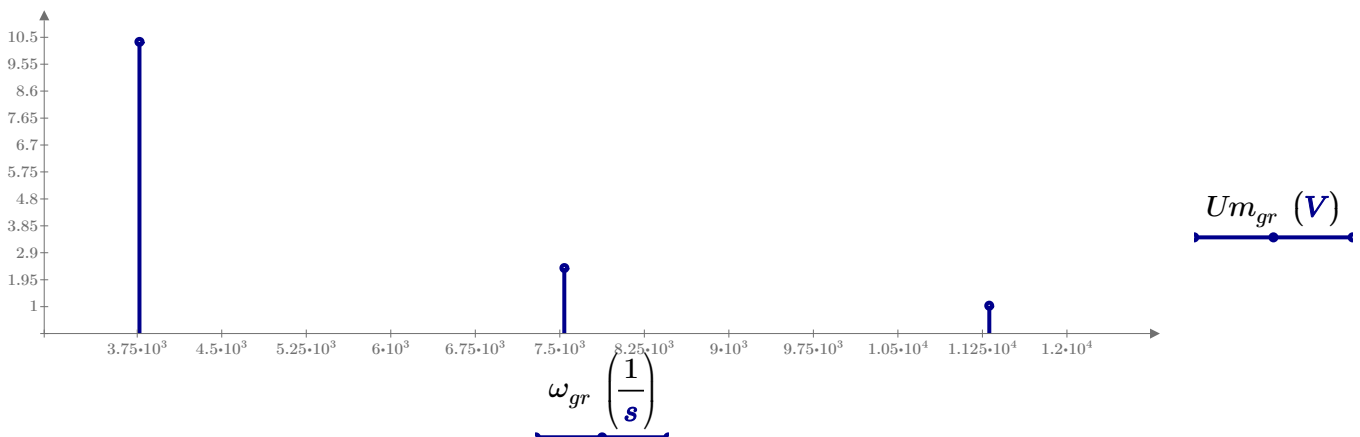
$$i_2(t) := I_{2_0} + |I_{2_3}| \cdot \sin(3 \cdot (w \cdot t + \psi_3)) + |I_{2_6}| \cdot \sin(6 \cdot (w \cdot t + \psi_6)) + |I_{2_9}| \cdot \sin(9 \cdot (w \cdot t + \psi_9))$$

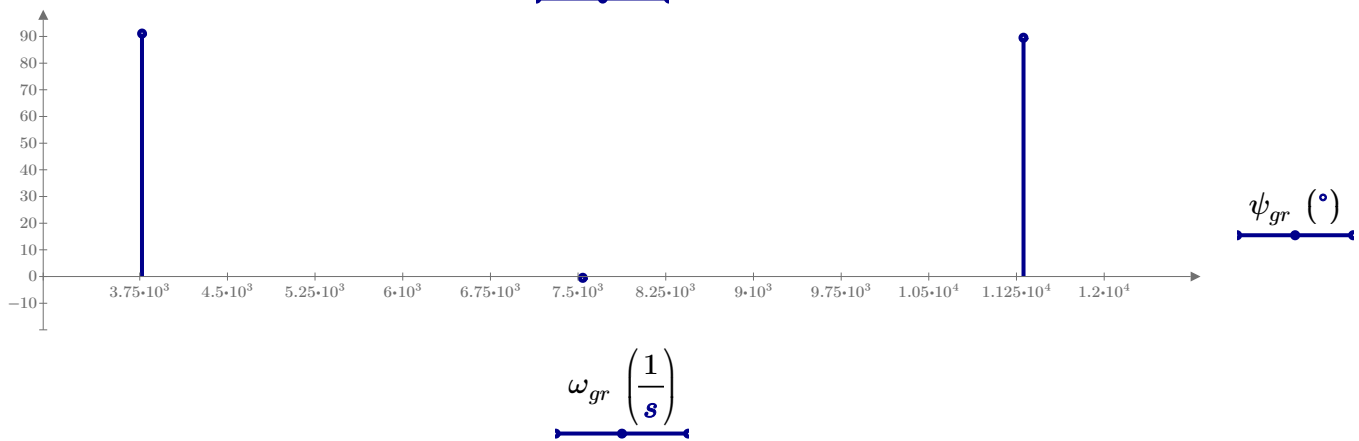
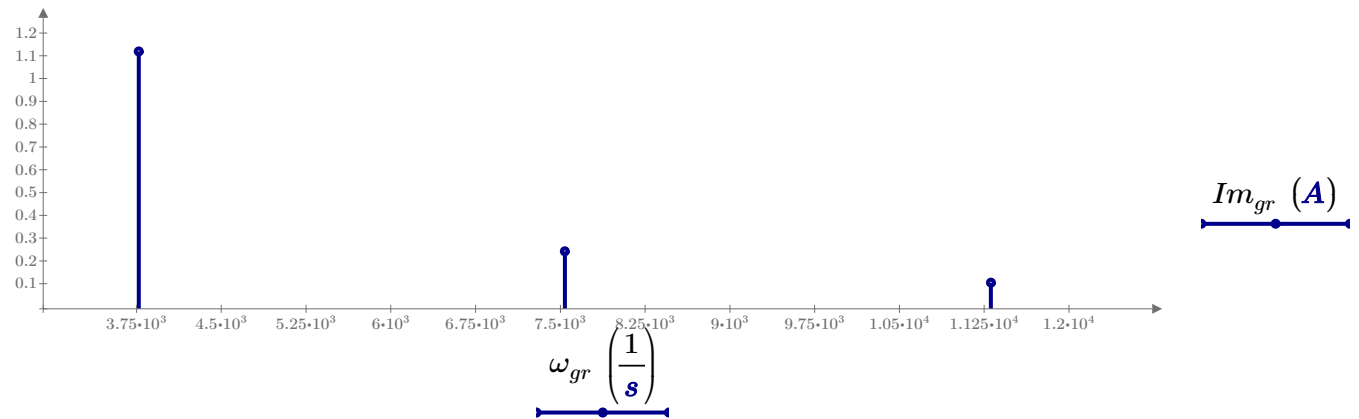
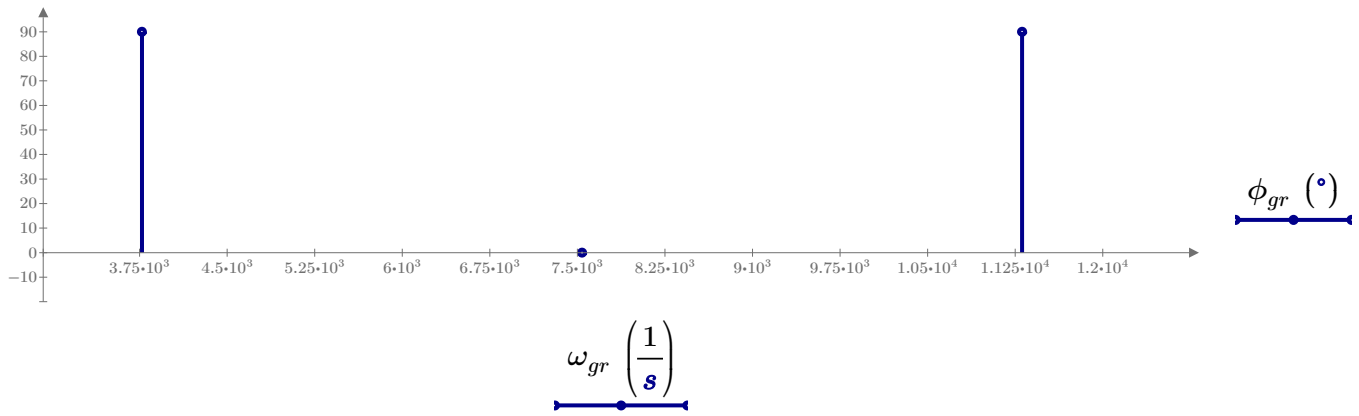
$$i_3(t) := I_{3_0} + |I_{3_3}| \cdot \sin(3 \cdot (w \cdot t + \psi_3)) + |I_{3_6}| \cdot \sin(6 \cdot (w \cdot t + \psi_6)) + |I_{3_9}| \cdot \sin(9 \cdot (w \cdot t + \psi_9))$$

$$u(t) := U_0 + |U_{m_3}| \cdot \sin(3 \cdot (w \cdot t + \phi_3)) + |U_{m_6}| \cdot \sin(6 \cdot (w \cdot t + \phi_6)) + |U_{m_9}| \cdot \sin(9 \cdot (w \cdot t + \phi_9))$$



Амплітудні і фазові спектральні діаграми  
для струму і напруги джерела.





## Діючі значення напруг і струмів

$$A1 := \sqrt{|I1_0|^2 + |I1_3|^2 + |I1_6|^2 + |I1_9|^2} = 1.15 \text{ A}$$

$$A2 := \sqrt{|I2_0|^2 + |I2_3|^2 + |I2_6|^2 + |I2_9|^2} = 1.015 \text{ A}$$

$$V1 := \sqrt{|I1_3 \cdot Z1_3|^2 + |I1_6 \cdot Z1_6|^2 + |I1_9 \cdot Z1_9|^2} = 5.939 \text{ V}$$

$$V2 := \sqrt{|I2_3 \cdot Z2_3|^2 + |I2_6 \cdot Z2_6|^2 + |I2_9 \cdot Z2_9|^2} = 5.075 \text{ V}$$

## Розрахунок потужностей

$$U_3 := \left| \frac{Um_3}{\sqrt{2}} \right| = 7.31 \text{ V}$$

$$U_6 := \left| \frac{Um_6}{\sqrt{2}} \right| = 1.671 \text{ V}$$

$$U_9 := \left| \frac{Um_9}{\sqrt{2}} \right| = 0.731 \text{ V}$$

$$U := \sqrt{U_0^2 + U_3^2 + U_6^2 + U_9^2} = 42.03 \text{ V}$$

$$P := U_0 \cdot I_{10} + |U_3| \cdot |I_{13}| \cdot \cos(\psi_3 - \phi_3) + |U_6| \cdot |I_{16}| \cdot \cos(\psi_6 - \phi_6) + |U_9| \cdot |I_{19}| \cdot \cos(\psi_9 - \phi_9) = 8.659 \text{ W}$$

$$Q := |U_3| \cdot |I_{13}| \cdot \sin(\psi_3 - \phi_3) + |U_6| \cdot |I_{16}| \cdot \sin(\psi_6 - \phi_6) + |U_9| \cdot |I_{19}| \cdot \sin(\psi_9 - \phi_9) = 0.151 \text{ W}$$

$$S := U \cdot A_1 = 48.322 \text{ W}$$

$$T := \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} = 47.54 \text{ W}$$

Коефіцієнт потужності:  $K_p := \frac{P}{S} = 0.179$

### Коефіцієнти для змінної складової напруги

$$U_{\text{сеп\_по\_мод}} := \frac{U_3 + U_6 + U_9}{1.11} = 8.749 \text{ V}$$

$$K_f := \frac{\sqrt{U_3^2 + U_6^2 + U_9^2}}{U_{\text{сеп\_по\_мод}}} = 0.861$$

$$K_{sp} := \frac{U_3}{\sqrt{U_3^2 + U_6^2 + U_9^2}} = 0.97$$

$$K_a := \frac{|Um_3|}{\sqrt{U_3^2 + U_6^2 + U_9^2}} = 1.372$$

$$K_g := \frac{U_6 + U_9}{U_3} = 0.329$$

Ємність, при якій відбудеться резонанс:  $C_r := \frac{1}{w^2 \cdot L} = (1.583 \cdot 10^{-4}) \text{ F}$

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:

$$U_{0_{\text{діюча}}} := \sqrt{3} \cdot \sqrt{U_3^2 + U_6^2 + U_9^2} = 13.049 \text{ V}$$

$$I_{\phi} := \sqrt{|I_{13}|^2 + |I_{16}|^2 + |I_{19}|^2} = 1.15 \text{ A}$$

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

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