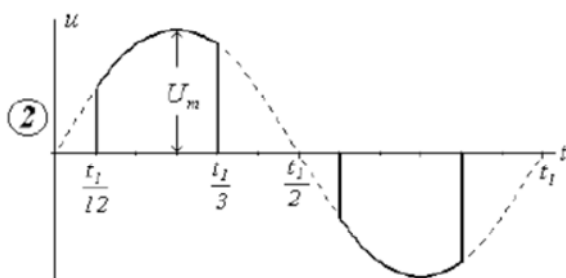


## ЗАВДАННЯ:

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.



Графік напруги

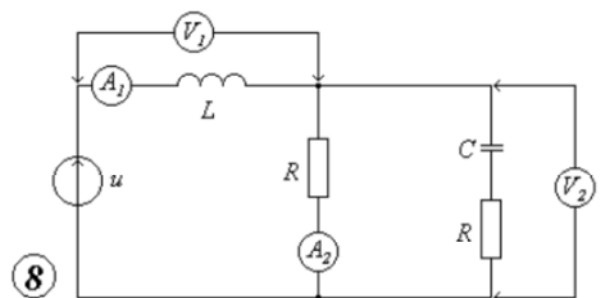


Схема кола

## Параметри за варіантом:

$$U_m := 100 \text{ V}$$

$$R := 4.5 \text{ } \Omega$$

$$C := 220 \text{ } \mu\text{F}$$

$$L := 3.5 \text{ mH}$$

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

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

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

## Розклад заданої ЕРС в ряд Фур'є

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

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

$$A_1 := \frac{2}{t_1} \cdot \int_0^{t_1} U(t) \cdot \sin(w \cdot t) dt = 77.566 \text{ V}$$

$$A_3 := \frac{2}{t_1} \cdot \int_0^{t_1} U(t) \cdot \sin(3 \cdot w \cdot t) dt = -27.566 \text{ V}$$

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

$$B_1 := \frac{2}{t_1} \cdot \int_0^{t_1} U(t) \cdot \cos(w \cdot t) dt = 15.915 \text{ V}$$

$$B_3 := \frac{2}{t_1} \cdot \int_0^{t_1} U(t) \cdot \cos(3 \cdot w \cdot t) dt = -15.914 \text{ V}$$

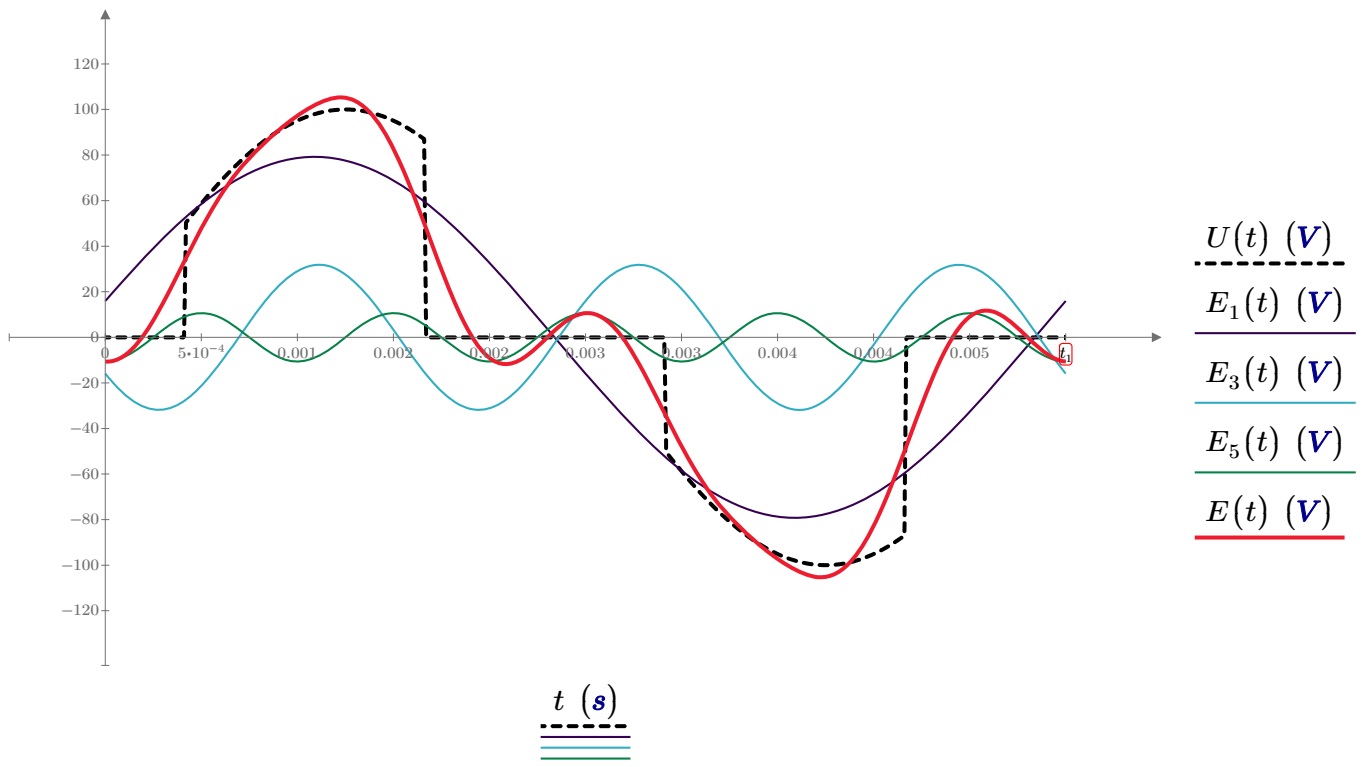
$$B_5 := \frac{2}{t_1} \cdot \int_0^{t_1} U(t) \cdot \cos(5 \cdot w \cdot t) dt = -10.61 \text{ V}$$

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

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

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

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



$$XC_1 := \frac{1}{w \cdot C} = 3.617 \, \Omega$$

$$XC_3 := \frac{1}{3 \cdot w \cdot C} = 1.206 \, \Omega$$

$$XC_5 := \frac{1}{5 \cdot w \cdot C} = 0.723 \, \Omega$$

$$Z1_1 := j \cdot XL_1 = 4.398j \, \Omega$$

$$Z1_3 := j \cdot XL_3 = 13.195j \, \Omega$$

$$Z1_5 := j \cdot XL_5 = 21.991j \, \Omega$$

$$XL_1 := w \cdot L = 4.398 \, \Omega$$

$$XL_3 := 3 \cdot w \cdot L = 13.195 \, \Omega$$

$$XL_5 := 5 \cdot w \cdot L = 21.991 \, \Omega$$

$$Z2_1 := R = 4.5 \, \Omega$$

$$Z2_3 := R = 4.5 \, \Omega$$

$$Z2_5 := R = 4.5 \, \Omega$$

$$Z3_1 := R - j \cdot XC_1 = (4.5 - 3.617j) \, \Omega$$

$$Z3_3 := R - j \cdot XC_3 = (4.5 - 1.206j) \, \Omega$$

$$Z3_5 := R - j \cdot XC_5 = (4.5 - 0.723j) \, \Omega$$

## Струми гармонік у вітках

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

$$Um_1 := \sqrt{A_1^2 + B_1^2} \cdot e^{j \cdot \phi_1} = (15.915 + 77.566j) \, V$$

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

$$Um_3 := \sqrt{A_3^2 + B_3^2} \cdot e^{j \cdot \phi_3} = (15.914 + 27.566j) \, V$$

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

$$Um_5 := \sqrt{A_5^2 + B_5^2} \cdot e^{j \cdot \phi_5} = 10.61 \, V$$

В першій вітці кола:

$$I1_1 := \frac{Um_1}{Z1_1 + \frac{Z2_1 \cdot Z3_1}{Z2_1 + Z3_1}} = (16.347 + 7.177j) \, A$$

$$I1_3 := \frac{Um_3}{Z1_3 + \frac{Z2_3 \cdot Z3_3}{Z2_3 + Z3_3}} = (2.284 - 0.828j) \, A$$

$$I1_5 := \frac{Um_5}{Z1_5 + \frac{Z2_5 \cdot Z3_5}{Z2_5 + Z3_5}} = (0.05 - 0.481j) \, A$$

В другій вітці кола:

$$I2_1 := I1_1 \cdot \frac{Z3_1}{Z2_1 + Z3_1} = (10.552 + 1.26j) \, A$$

$$I2_3 := I1_3 \cdot \frac{Z3_3}{Z2_3 + Z3_3} = (1.108 - 0.572j) \, A$$

$$I2_5 := I1_5 \cdot \frac{Z3_5}{Z2_5 + Z3_5} = (0.006 - 0.244j) \, A$$

В третій вітці кола:

$$I3_1 := I1_1 \cdot \frac{Z2_1}{Z2_1 + Z3_1} = (5.795 + 5.918j) \, A$$

$$I3_3 := I1_3 \cdot \frac{Z2_3}{Z2_3 + Z3_3} = (1.176 - 0.257j) \, A$$

$$I3_5 := I1_5 \cdot \frac{Z2_5}{Z2_5 + Z3_5} = (0.044 - 0.237j) \, A$$

## Миттєві значення струмів і напруг

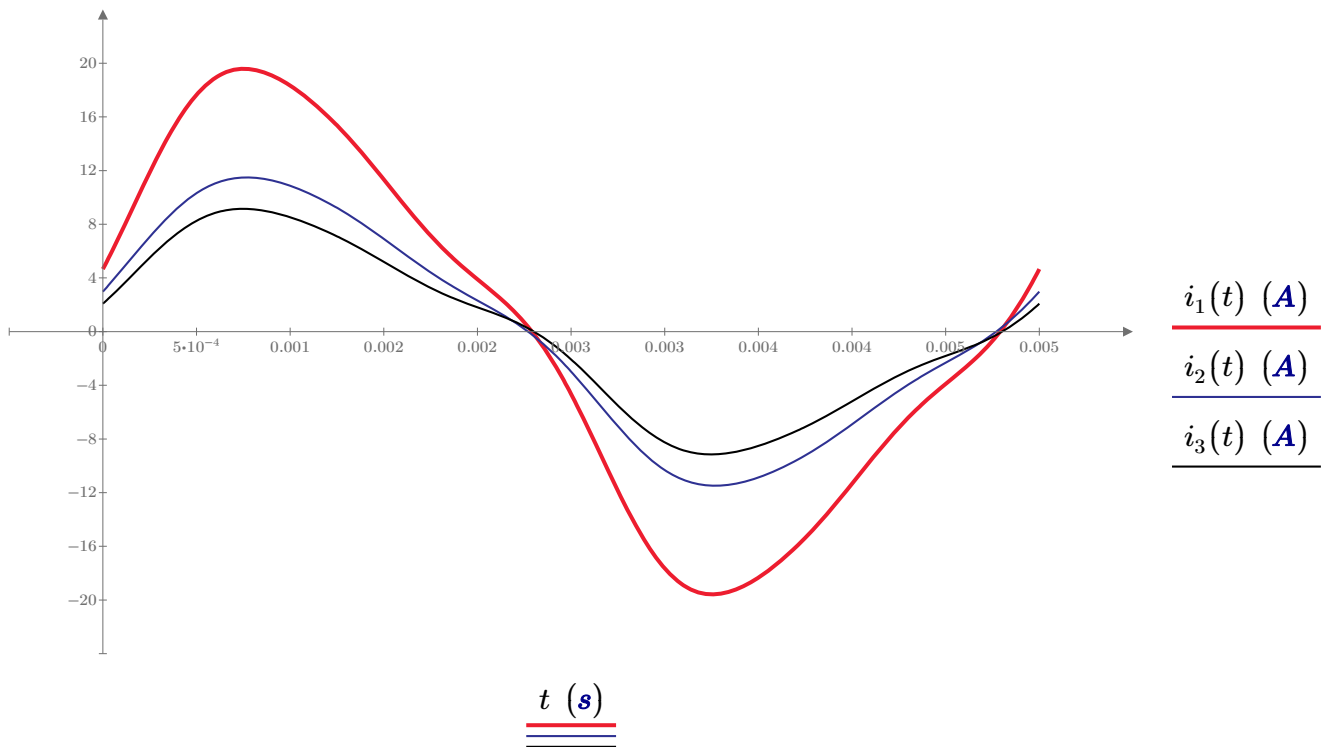
$$\psi_1 := \arg(I_{1_1}) = 23.705^\circ \quad \psi_3 := \arg(I_{1_3}) = -19.932^\circ \quad \psi_5 := \arg(I_{1_5}) = -84.073^\circ$$

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

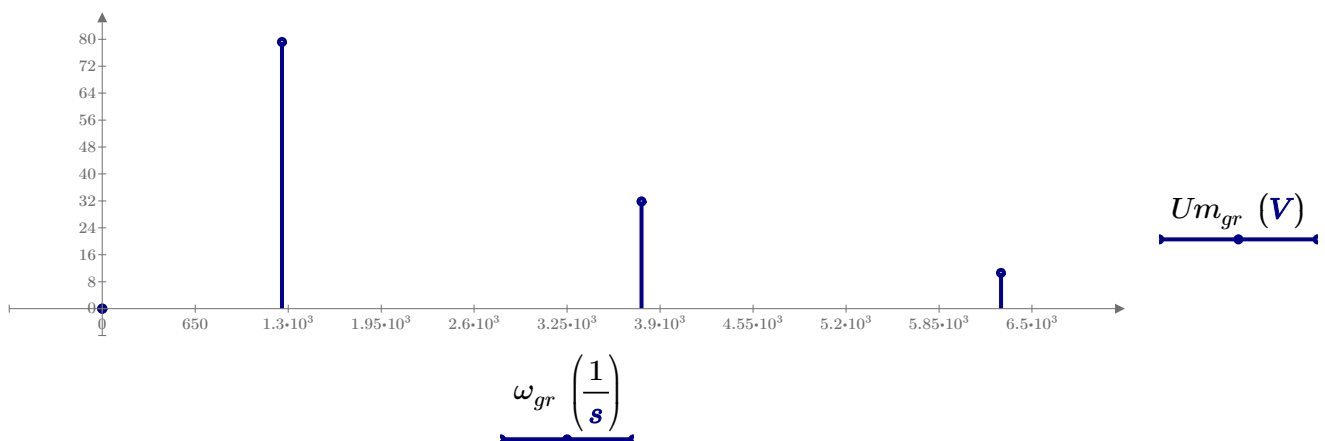
$$i_2(t) := |I_{2_1}| \cdot \sin(w \cdot t + \psi_1) + |I_{2_3}| \cdot \sin(3 \cdot (w \cdot t + \psi_3)) + |I_{2_5}| \cdot \sin(5 \cdot (w \cdot t + \psi_5))$$

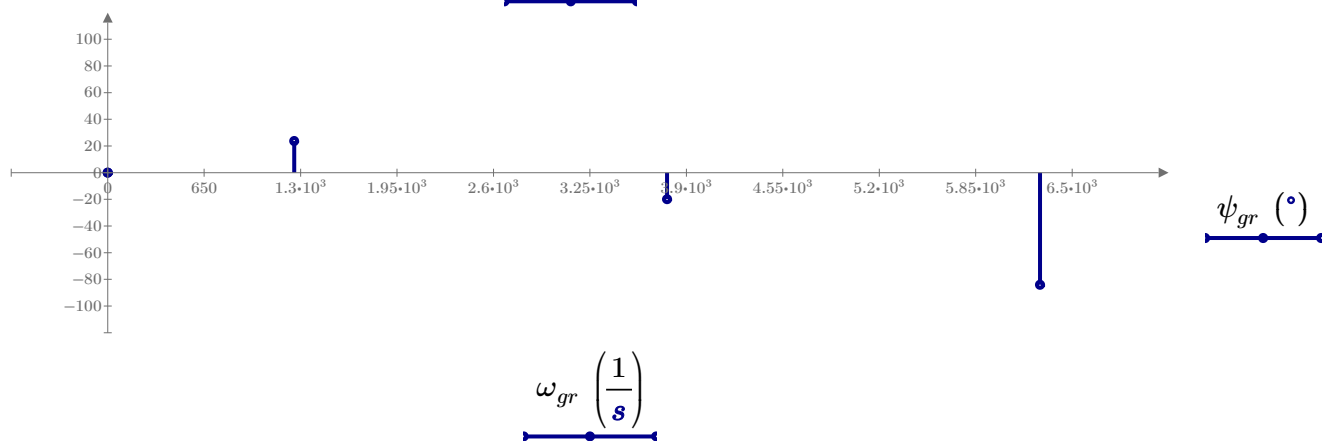
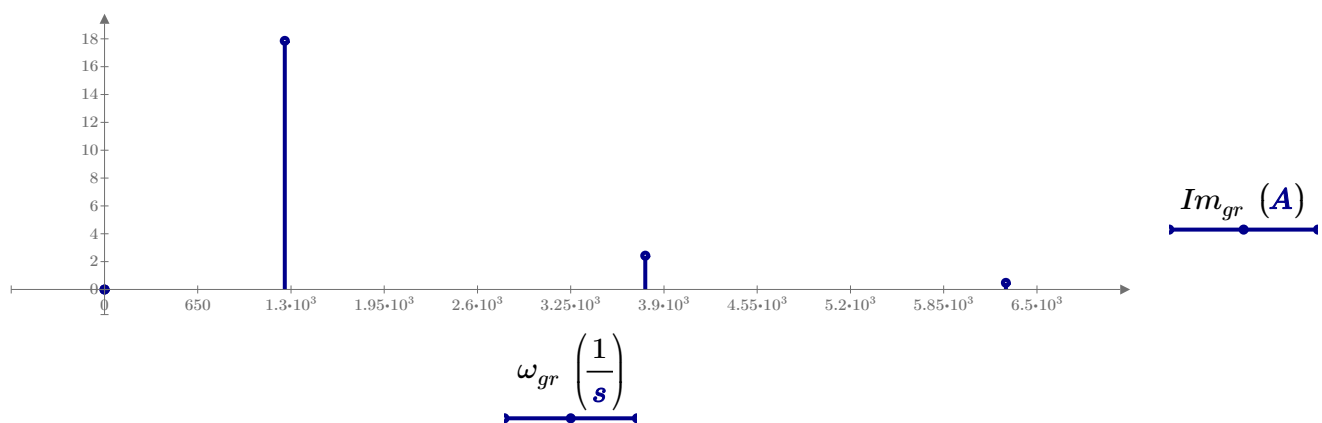
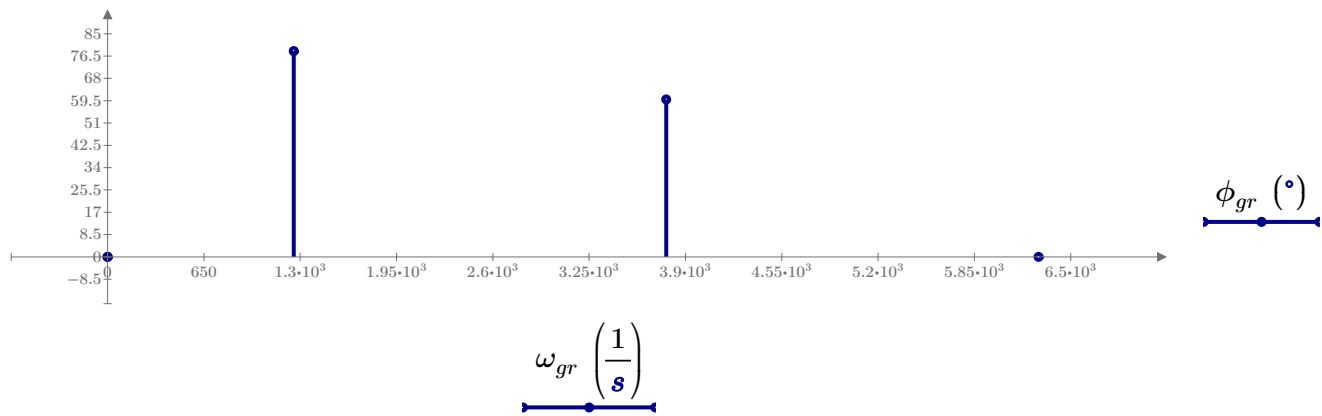
$$i_3(t) := |I_{3_1}| \cdot \sin(w \cdot t + \psi_1) + |I_{3_3}| \cdot \sin(3 \cdot (w \cdot t + \psi_3)) + |I_{3_5}| \cdot \sin(5 \cdot (w \cdot t + \psi_5))$$

$$u(t) := |Um_1| \cdot \sin(w \cdot t + \phi_1) + |Um_3| \cdot \sin(3 \cdot (w \cdot t + \phi_3)) + |Um_5| \cdot \sin(5 \cdot (w \cdot t + \phi_5))$$



Амплітудні і фазові спектральні діаграми  
для струму і напруги джерела.





Діючі значення напруг і струмів

$$A1 := \sqrt{|I1_1|^2 + |I1_3|^2 + |I1_5|^2} = 18.024 \text{ A}$$

$$A2 := \sqrt{|I2_1|^2 + |I2_3|^2 + |I2_5|^2} = 10.703 \text{ A}$$

$$V1 := \sqrt{|I1_1 \cdot Z1_1|^2 + |I1_3 \cdot Z1_3|^2 + |I1_5 \cdot Z1_5|^2} = 85.48 \text{ V}$$

$$V2 := \sqrt{|I2_1 \cdot Z2_1|^2 + |I2_3 \cdot Z2_3|^2 + |I2_5 \cdot Z2_5|^2} = 48.161 \text{ V}$$

## Розрахунок потужностей

$$U_1 := \left| \frac{Um_1}{\sqrt{2}} \right| = 55.99 \text{ V}$$

$$U_3 := \left| \frac{Um_3}{\sqrt{2}} \right| = 22.507 \text{ V}$$

$$U_5 := \left| \frac{Um_5}{\sqrt{2}} \right| = 7.503 \text{ V}$$

$$U := \sqrt{U_1^2 + U_3^2 + U_5^2} = 60.809 \text{ V}$$

$$P := |U_1| \cdot |I_{11}| \cdot \cos(\psi_1 - \phi_1) + |U_3| \cdot |I_{13}| \cdot \cos(\psi_3 - \phi_3) + |U_5| \cdot |I_{15}| \cdot \cos(\psi_5 - \phi_5) = 587.57 \text{ W}$$

$$Q := |U_1| \cdot |I_{11}| \cdot \sin(\psi_1 - \phi_1) + |U_3| \cdot |I_{13}| \cdot \sin(\psi_3 - \phi_3) + |U_5| \cdot |I_{15}| \cdot \sin(\psi_5 - \phi_5) = -873.279 \text{ W}$$

$$S := U \cdot A1 = 1096.055 \text{ W}$$

$$T := \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} = 305.748 \text{ W}$$

Коефіцієнт потужності:  $K_p := \frac{P}{S} = 0.536$

## Коефіцієнти для змінної складової напруги

$$U_{\text{сеп\_но\_мод}} := \frac{U_1 + U_3 + U_5}{1.11} = 77.478 \text{ V}$$

$$K_f := \frac{U}{U_{\text{сеп\_но\_мод}}} = 0.785$$

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

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

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

Ємність, при якій відбудеться резонанс:  $C_r := \frac{1}{\omega^2 \cdot L} = (1.809 \cdot 10^{-4}) \text{ F}$

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:

$$U_{0\text{діюча}} := \sqrt{3} \cdot U = 105.325 \text{ V}$$

$$I_{\phi} := \sqrt{|I_{11}|^2 + |I_{13}|^2 + |I_{15}|^2} = 18.024 \text{ A}$$

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

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