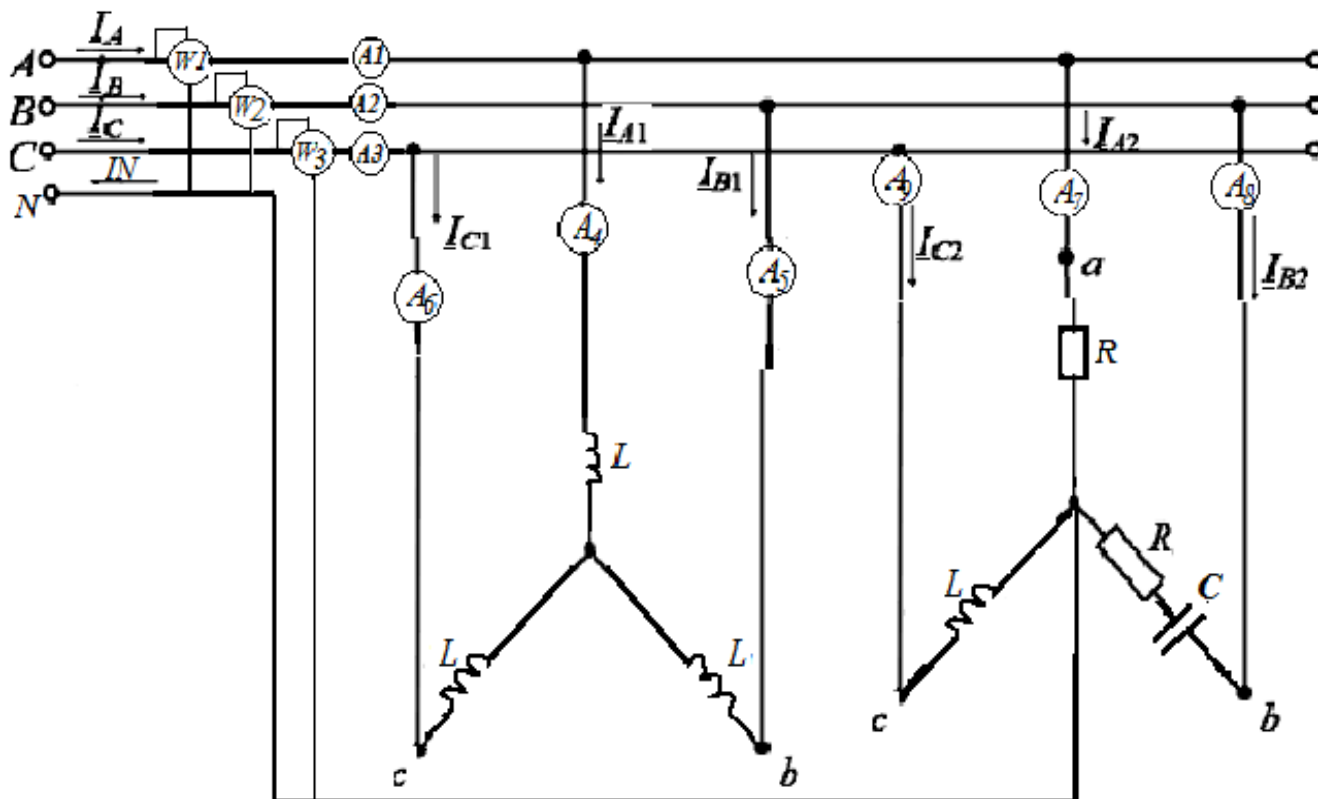


Исходные данные: $N = 13$

$$\dot{U}_1 = 220 \quad (B) \quad \dot{U}_2 = 220 \quad (B) \quad \dot{U}_3 = 220 \quad (B) \quad \dot{U}_4 = 220 \quad (B)$$

$$P_I = 15000 \cdot \frac{N}{2} (Bm) \quad P_2 = 10000 \cdot \frac{N}{2} (Bm) \quad Q_3 = 12000 \cdot \frac{N}{2} (BAp) \quad Q_4 = 36000 \cdot \frac{N}{2} (BAp)$$

$$\cos\varphi_1 = 1 \qquad \cos\varphi_2 = 0.6 \qquad \cos\varphi_3 = 0 \qquad \cos\varphi_4 = 0$$



$$\dot{Z}_I = \frac{\dot{U}_I^2 \cdot \cos \varphi_I}{P_I} = \frac{220^2}{15000 \cdot \frac{13}{2}} = 0.496 \quad (OM) \quad \varphi_I = \arccos(\cos \varphi_I) = 0.^\circ$$

$$\dot{Z}_2 = \frac{\dot{U}_2^2 \cdot \cos \varphi_2}{P_2} = \frac{220^2 \cdot 0.6}{10000 \cdot \frac{13}{2}} = 0.447 \quad (O_M) \quad \varphi_2 = -\arccos(\cos \varphi_2) = -53.13^\circ$$

$$\dot{Z}_3 = \frac{\dot{U}_3^2 \cdot \sin \varphi_3}{Q_3} = \frac{220^2}{12000 \cdot \frac{13}{2}} = 0.621 \quad (OM) \quad \varphi_3 = \arccos(\cos \varphi_3) = 90^\circ$$

$$\dot{Z}_4 = \frac{\dot{U}_4^2 \cdot \sin \varphi_4}{\frac{Q_4}{3}} = \frac{220^2}{\frac{36000 \cdot \frac{13}{2}}{3}} = 0.621 \quad (OM) \quad \varphi_4 = \arccos(\cos \varphi_4) = 90^\circ$$

$$\dot{Z}_1 = 0.496 \cdot e^{j \cdot 0}$$

$$\dot{Z}_2 = 0.447 \cdot e^{j \cdot -53.13}$$

$$\dot{Z}_3 = 0.621 \cdot e^{j \cdot 90}$$

$$\dot{Z}_4 = 0.621 \cdot e^{j \cdot 90}$$

$$\dot{Z}_1 = 0.496 \quad (OM)$$

$$\dot{Z}_2 = 0.268 - 0.357j \quad (OM)$$

$$\dot{Z}_3 = 0.621j \quad (OM)$$

$$\dot{Z}_4 = 0.621j \quad (OM)$$

Рассмотрим несимметричную нагрузку при соединении приемников звездой.

$$\dot{U}_a = \dot{U}_1 \cdot e^{j \cdot 0^\circ} = 220 \quad (B)$$

$$\dot{U}_b = \dot{U}_2 \cdot e^{j \cdot (0-120)^\circ} = 220 \cdot e^{j \cdot (0-120)^\circ} = -110 - 190.53j \quad (B)$$

$$\dot{U}_c = \dot{U}_3 \cdot e^{j \cdot (0+120)^\circ} = 220 \cdot e^{j \cdot (0+120)^\circ} = -110 + 190.53j \quad (B)$$

$$\dot{U}_{ab} = \dot{U}_a - \dot{U}_b = 330 + 190.526j \quad (B)$$

$$\dot{U}_{bc} = \dot{U}_b - \dot{U}_c = -381.05j \quad (B)$$

$$\dot{U}_{ca} = \dot{U}_c - \dot{U}_a = -330 + 190.53j \quad (B)$$

$$\dot{U}_{nN} = 0 \quad (B)$$

Фазные токи

$$I_{a2} = \frac{\dot{U}_a - \dot{U}_{nN}}{\dot{Z}_1} = \frac{220 - 0}{0.496} = 443.182 \quad (A)$$

$$I_{b2} = \frac{\dot{U}_b - \dot{U}_{nN}}{\dot{Z}_2} = \frac{-110 - 190.526j - 0}{0.268 - 0.357j} = 193.434 - 452.841j \quad (A)$$

$$I_{c2} = \frac{\dot{U}_c - \dot{U}_{nN}}{\dot{Z}_3} = \frac{-110 + 190.526j - 0}{0.621j} = 307.045 + 177.273j \quad (A)$$

$$I_{a2} = 443.182 \cdot e^{j \cdot 0}$$

$$I_{b2} = 492.42 \cdot e^{j \cdot -66.87}$$

$$I_{c2} = 354.55 \cdot e^{j \cdot 30}$$

Рассмотрим симметричную нагрузку при соединении приемников звездой.

$$\dot{U}_L = \sqrt{3} \cdot \dot{U}_\Phi \quad I_L = I_\Phi$$

Напряжение смещения нейтрали для схемы с симметричной нагрузкой:

$$\dot{U}_{nN} = 0 \quad (B)$$

Фазные напряжения:

$$\dot{U}_a = 220 \quad (B)$$

$$\dot{U}_b = -110 - 190.526j \quad (B)$$

$$\dot{U}_c = -110 + 190.526j \quad (B)$$

Находим токи:

$$I_{a1} = \frac{\dot{U}_a}{\dot{Z}_4} = \frac{220}{0.621j} = -354.545j \quad (A)$$

$$I_{a1} = 354.545 \cdot e^{j \cdot -90}$$

$$I_{b1} = \frac{\dot{U}_b}{\dot{Z}_4} = \frac{-110 - 190.526j}{0.621j} = -307.045 + 177.273j \quad (A)$$

$$I_{b1} = 354.545 \cdot e^{j \cdot 150}$$

$$I_{c1} = \frac{\dot{U}_c}{\dot{Z}_4} = \frac{-110 + 190.526j}{0.621j} = 307.045 + 177.273j \quad (A)$$

$$I_{c1} = 354.545 \cdot e^{j \cdot 30}$$

Найдем общие токи:

$$I_A = I_{a1} + I_{a2} = -354.545j + 443.182 = 443.182 - 354.545j \quad (A)$$

$$I_B = I_{b1} + I_{b2} = -307.045 + 177.273j + 193.434 - 452.841j = -113.611 - 275.568j \quad (A)$$

$$I_C = I_{c1} + I_{c2} = 307.045 + 177.273j + 307.045 + 177.273j = 614.091 + 354.545j \quad (A)$$

$$I_A = 567.55 \cdot e^{j \cdot -38.66}$$

$$I_B = 298.069 \cdot e^{j \cdot -112.405}$$

$$I_C = 709.091 \cdot e^{j \cdot 30}$$

Ток в нейтральном проводе:

$$I_N = I_A + I_B + I_C = 443.2 - 354.5j + -113.6 - 275.6j + 614.1 + 354.5j = 943.7 - 275.6j \quad (A)$$

Показания ваттметров

$$\dot{U}_{W1} = \dot{U}_a = 220 \quad (B)$$

$$|\dot{U}_{W1}| = 220 \quad \angle(\dot{U}_{W1}) = 0^\circ$$

$$|\dot{I}_A| = 567.55 \quad \angle(\dot{I}_A) = -38.66^\circ$$

$$p_{W1} = |\dot{U}_{W1}| \cdot |\dot{I}_A| \cdot \cos(\angle(\dot{U}_{W1}) - \angle(\dot{I}_A)) = 97500 \quad (Bm)$$

$$\dot{U}_{W2} = \dot{U}_b = -110 - 190.526j \quad (B)$$

$$|\dot{U}_{W2}| = 220 \quad \angle(\dot{U}_{W2}) = -120^\circ$$

$$|\dot{I}_B| = 298.069 \quad \angle(\dot{I}_B) = -112.405^\circ$$

$$p_{W2} = |\dot{U}_{W2}| \cdot |\dot{I}_B| \cdot \cos(\angle(\dot{U}_{W2}) - \angle(\dot{I}_B)) = 65000 \quad (Bm)$$

$$\dot{U}_{W3} = \dot{U}_c = -110 + 190.526j \quad (B)$$

$$|\dot{U}_{W3}| = 220 \quad \angle(\dot{U}_{W3}) = 120^\circ$$

$$|\dot{I}_C| = 709.091 \quad \angle(\dot{I}_C) = 30^\circ$$

$$p_{W3} = |\dot{U}_{W3}| \cdot |\dot{I}_C| \cdot \cos(\angle(\dot{U}_{W3}) - \angle(\dot{I}_C)) = 0 \quad (Bm)$$

Показания амперметров

$$pA_1 = |\dot{I}_A| = 567.55 \quad (A)$$

$$pA_2 = |\dot{I}_B| = 298.069 \quad (A)$$

$$pA_3 = |\dot{I}_C| = 709.091 \quad (A)$$

$$pA_4 = |\dot{I}_{a1}| = 354.545 \quad (A)$$

$$pA_5 = |\dot{I}_{b1}| = 354.545 \quad (A)$$

$$pA_6 = |\dot{I}_{c1}| = 354.545 \quad (A)$$

$$pA_7 = |\dot{I}_{a2}| = 443.182 \quad (A)$$

$$pA_8 = |\dot{I}_{b2}| = 492.424 \quad (A)$$

$$pA_9 = |\dot{I}_{c2}| = 354.545 \quad (A)$$

Мощность несимметричного приемника, соединенного звездой

$$\dot{S}_a = \dot{I}_{a2}^2 \cdot \dot{Z}_1 = 443.182^2 \cdot 0.496 = 97500 \quad (BA)$$

$$\dot{S}_b = \dot{I}_{b2}^2 \cdot \dot{Z}_2 = (0.268 - 0.357j) \cdot 492.424^2 = 65000 - 86666.667j \quad (BA)$$

$$\dot{S}_c = \dot{I}_{c2}^2 \cdot \dot{Z}_3 = (0.621j) \cdot 354.545^2 = 78000j \quad (BA)$$

$$\dot{S}_{3B_несим} = \dot{S}_a + \dot{S}_b + \dot{S}_c = 162500 - 8666.7j$$

Мощность несимметричного приемника, соединенного в звезду

$$\dot{S}_a = \dot{I}_{a1}^2 \cdot \dot{Z}_4 = (0.621j) \cdot 354.545^2 = 78000j \quad (BA)$$

$$\dot{S}_b = \dot{I}_{b1}^2 \cdot \dot{Z}_4 = (0.621j) \cdot 354.545^2 = 78000j \quad (BA)$$

$$\dot{S}_c = \dot{I}_{c1}^2 \cdot \dot{Z}_4 = (0.621j) \cdot 354.545^2 = 78000j \quad (BA)$$

$$\dot{S}_{3B_симм} = \dot{S}_a + \dot{S}_b + \dot{S}_c = 234000j$$

Мощность источников:

$$P_a = |\dot{U}_a| \cdot |\dot{I}_A| \cdot \cos(\angle(\dot{U}_a) - \angle(\dot{I}_A)) = 97500 \quad (Bm)$$

$$Q_a = |\dot{U}_a| \cdot |\dot{I}_A| \cdot \sin(\angle(\dot{U}_a) - \angle(\dot{I}_A)) = 78000 \quad (BAp)$$

$$P_b = |\dot{U}_b| \cdot |\dot{I}_B| \cdot \cos(\angle(\dot{U}_b) - \angle(\dot{I}_B)) = 65000 \quad (Bm)$$

$$Q_b = |\dot{U}_b| \cdot |\dot{I}_B| \cdot \sin(\angle(\dot{U}_b) - \angle(\dot{I}_B)) = -8666.667 \quad (BAp)$$

$$P_c = |\dot{U}_c| \cdot |\dot{I}_C| \cdot \cos(\angle(\dot{U}_c) - \angle(\dot{I}_C)) = 0 \quad (Bm)$$

$$Q_c = |\dot{U}_c| \cdot |\dot{I}_C| \cdot \sin(\angle(\dot{U}_c) - \angle(\dot{I}_C)) = 156000 \quad (BAp)$$

$$\dot{S}_{a.} = P_a + j \cdot Q_a = 97500 + j \cdot 78000 = 97500 + 78000j \quad (BA)$$

$$\dot{S}_{b.} = P_b + j \cdot Q_b = 65000 + j \cdot -8666.667 = 65000 - 8666.667j \quad (BA)$$

$$\dot{S}_{c.} = P_c + j \cdot Q_c = 0 + j \cdot 156000 = 156000j \quad (BA)$$

$$\dot{S}_{ИСТ} = \dot{S}_{a.} + \dot{S}_{b.} + \dot{S}_{c.} = 162500 + 225333.333j \quad (BA)$$

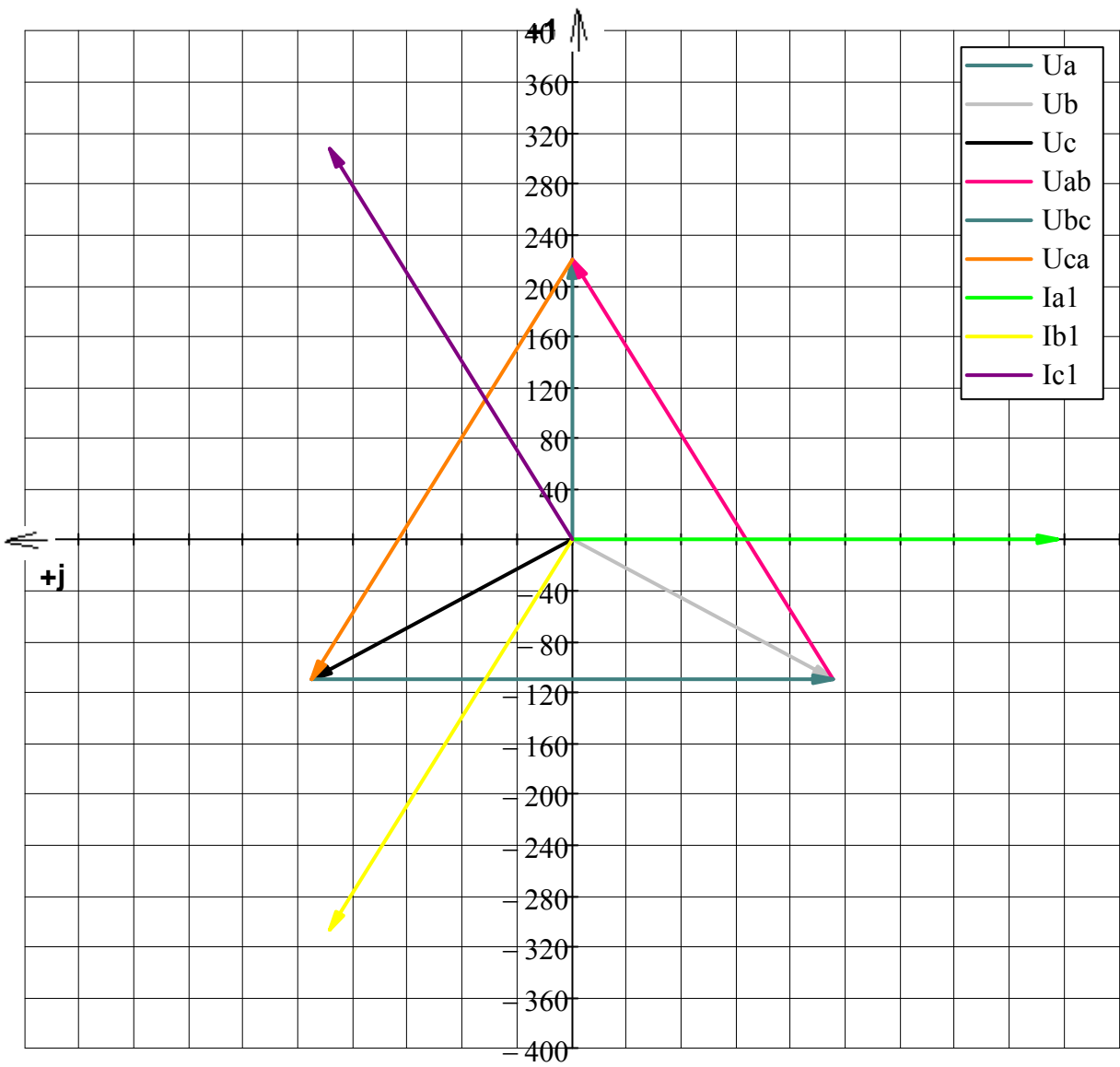
$$\dot{S}_{3B_несим} + \dot{S}_{3B_симм} = 162500 + 225333.333j \quad (BA)$$

Суммарная мощность источников электроэнергии равна суммарной мощности приемников.
Баланс мощности сошелся.

Векторная диаграмма токов и напряжений при соединении симметричной нагрузки, соединенной звездой.

В 1 клетке - 40В

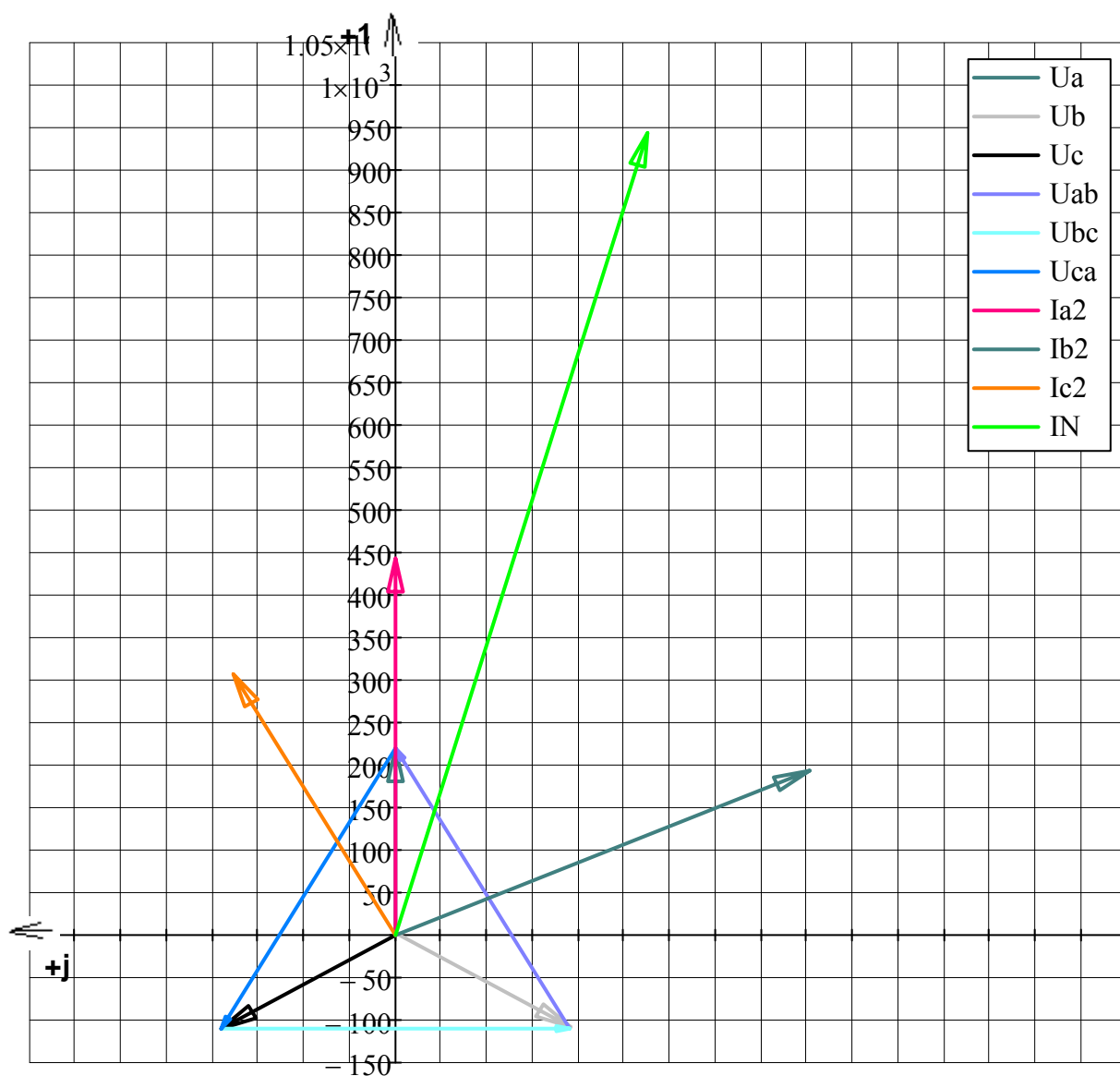
В 1 клетке - 40А



Векторная диаграмма токов и напряжений при соединении несимметричной нагрузки, соединенной звездой.

В 1 клетке - 50В

В 1 клетке - 50А



Векторная диаграмма токов и напряжений источника.

в 1 клетке - 50 В

в 1 клетке - 50 А

