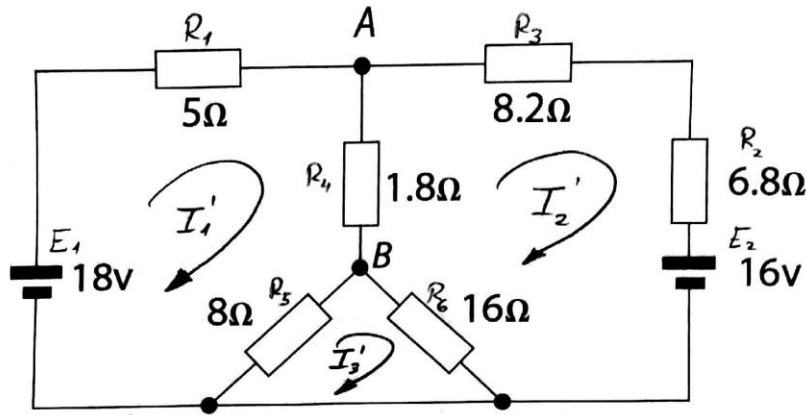


פתרון מוצע לבחינת מה"ט בתורת החשמל

מועד קיץ תשע"ז, יולי 2017 (מועד א')
מחבר: מר אבי יומטוביאן, מכללת אורט סינגאלובסקי - ת"א

שאלה מספר 1



נניח עכשיו סעיף זה בכמה ציבים, וננו ענה על כל מה שחוגים:

$$\begin{cases} +R_{11}I_1' - R_{12}I_2' - R_{13}I_3' = E_1' \\ -R_{21}I_1' + R_{22}I_2' - R_{23}I_3' = E_2' \\ -R_{31}I_1' - R_{32}I_2' + R_{33}I_3' = E_3' \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} R_{11} = 5 + 1.8 + 8 = 14.8 \Omega \\ R_{22} = 1.8 + 8.2 + 6.8 + 16 = 32.8 \Omega \\ R_{33} = 8 + 16 = 24 \Omega \\ R_{12} = R_{21} = 1.8 \Omega \\ R_{13} = R_{31} = 8 \Omega \\ R_{23} = R_{32} = 16 \Omega \end{cases} \begin{cases} E_1' = 18V \\ E_2' = -16V \\ E_3' = 0V \end{cases}$$

$$\begin{cases} +14.8I_1' - 1.8I_2' - 8I_3' = 18 \\ -1.8I_1' + 32.8I_2' - 16I_3' = -16 \\ -8I_1' - 16I_2' + 24I_3' = 0 \end{cases}$$

$$\Downarrow$$

$$I_1' = 1.305A \quad I_2' = -0.302A \quad I_3' = 0.234A$$

$$\Downarrow$$

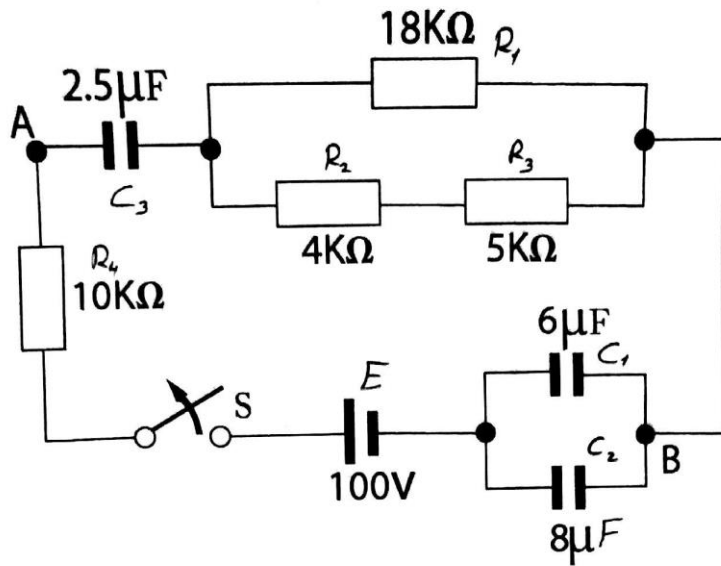
$$U_{AB} = U_{R_4} = (I_1' - I_2') \cdot R_4 = (1.305 + 0.302) \cdot 1.8 = 1.607 \cdot 1.8 = 2.892V_{//}$$

⊙ מציא את הספק מקורות המעח, ונשיא עב מ' מעש כספק מ' מעש כצ'ק:

$$\begin{cases} P_{E_1} = I_1' \cdot E_1 = 1.305 \cdot 18 = 23.49W \quad (\text{ספק}) \\ P_{E_2} = -I_2' \cdot E_2 = 0.302 \cdot 16 = 4.832W \quad (\text{ספק}) \end{cases}$$

$$P_T = P_{E_1} + P_{E_2} = 28.322W_{//}$$

שאלה מספר 2



2

Ⓐ ברגע $t=0^+$, כנראה רצו סגירת החסך, הקבצים מתקרבים כקצת, ולכן טווח עמו
מוזעם המכיל רק עכבוס, וזעם קו:

$$R_T = [(R_2 + R_3) \parallel R_1] + R_4 =$$

$$= \left[\frac{1}{4+5} + \frac{1}{18} \right]^{-1} + 10 = 6 + 10 = 16 \text{ k}\Omega$$

$$\Downarrow$$

$$i(t=0^+) = \frac{E}{R_T} = \frac{100}{16 \cdot 10^3} = 6.25 \text{ mA}$$

Ⓑ לאחר זמן רב, כנראה $t \rightarrow \infty$, הקבצים מתקרבים כקצת, ולכן כנראה המזעם הוא:

$$i(t \rightarrow \infty) = 0 \text{ A}$$

Ⓒ ברגע אחר את קבוצת הזמן τ , יש לפתור את המזעם, המזעם תמונה תבנית, שיהיה:

$$\tau = R_{TH} \cdot C_T$$

$$\Downarrow$$

$$C_T = (C_1 \parallel C_2) \rightarrow C_3 = (6+8) \rightarrow 2.5 = \left(\frac{1}{14} + \frac{1}{2.5} \right)^{-1} = 2.121 \mu\text{F}$$

קו למטר ש. $E_{TH} = 100\text{V}$ (לא עישו למימון) ו- $R_{TH} = R_T = 16 \text{ k}\Omega$ (ההתשובות ע- C_T ירואה), ולכן:

$$\tau = R_{TH} \cdot C_T = 16 \cdot 10^3 \cdot 2.121 \cdot 10^{-6} = 33.94 \text{ ms}$$

שאלה מספר 3

3

$$A_1 = 12.5 \text{ cm}^2 = 12.5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$l_1 = 20 \text{ cm} = 20 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$\mu_{r1} = 100$$

$$A_0 = 12.5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$l_0 = 1.2 \text{ mm} = 1.2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\mu_{r0} = 1$$

$$R_{m1} = \frac{1}{\mu_1 \cdot \mu_{r1}} \cdot \frac{l_1}{A_1} = \frac{1}{100 \cdot \mu_0} \cdot \frac{20 \cdot 10^{-2}}{12.5 \cdot 10^{-4}} = 1.273 \cdot 10^6 \frac{1}{\text{H}}$$

$$R_{m0} = 0.764 \cdot 10^6 \frac{1}{\text{H}}$$

$$R_{mT} = R_{m1} + R_{m0} = 1.273 + 0.764 = 2.037 \cdot 10^6 \frac{1}{\text{H}}$$

$$\phi = 800 \mu\text{Wb}$$

$$F_{mm} = \phi \cdot R_{mT} = 800 \cdot 10^6 \cdot 2.037 \cdot 10^6 = 1629.6 \text{ A}_{\text{mm}}$$

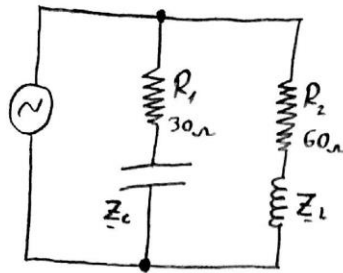
שאלה אגטי אטתה בטון, הצורה ביק חומר בו-אמטי, אורס לבי חוק בארבי, לכפ"ח
אטרה בתק החומר. בטוגה חנק גנריוס בחומר הליבה זרמיס, הסובביס
לארק קוויס זקומיס בכה נפת החומר. זרמיס אלו קרמיס לרמי מצרבלת
או לרמי סו-קין (ז"ס הפקט' שגלה תופזה זו, וכן מצב את החיות הטור).
זרמיס גלה טנג רבוים בהתקניס אמליס רביס, כפונמית שטיס, כי תס זרמיס
להתממית ידה של הליבה נוסף ז"ס כק, זרמיס גלה זרמיס הליבה של אגטי
שטתס, הצולא לטפ את עטני התיפנון של התיקון האמטי.

ז"י הליקה אלומית ממבת רבות ונקות, שטר אמובנות זו אמז ז"י טיבת לכה,
קבלת התגנות שטמית לנולדה, וכן אמעל זרמיס ארוק יותר, זוקבה התקלנה
את זמי פוקו ומחלשה את השפזתס.

בקיבור טתי: ז"י שימוש בלוחות מחובניס ומבונניס, אמניליס את התגנות
השטמית של הליבה, וז"י כן מקלניס את השפזת זמי פוקו.

שאלה מספר 4

4



$L = 0.2H$

$C = 15\mu F$

⊖ בכי יקנה תנאי מתאלי לתימובה יש לקבל ברכיבים הריאליים:

יש לכתוב תנאי אצובה הכוללת $Z_T = (R_T \pm jX_T)$
 לשימוש את התנאי של התימובה שקודם לשבס, ואתהם את התנאי לתימובה הריאלי.
 התנאי הריאליים אלו הם (מוזגים מקיבלי מוזגים) הוא:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \cdot \sqrt{\frac{R_0^2 - R_2^2}{R_0^2 - R_1^2}}, \quad R_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

⇓

$$\textcircled{2} R_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{0.2}{15 \cdot 10^{-6}}} = 115.47 \Omega \Rightarrow \omega_0 = \sqrt{\frac{1}{0.2 \cdot 15 \cdot 10^{-6}}} \cdot \sqrt{\frac{115.47^2 - 60^2}{115.47^2 - 30^2}} = 570.83 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$$

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = 81.3 \text{ Hz}$$

⊖ נשק את התימובה הכוללת של המוזגים:

$$Z_T = (R_1 + Z_c) \parallel (R_2 + Z_L)$$

\downarrow \downarrow \downarrow \downarrow
 30Ω 60Ω $j\omega_0 L = j102.166 \Omega$
 \downarrow
 $-j \frac{1}{\omega_0 C} = -j130.5 \Omega$

קבועים!

$$Z_T = \left[\frac{1}{30 - j130.5} + \frac{1}{60 + j102.166} \right]^{-1} = (168.143 - j0.009) \Omega = 168.143 \angle -0.003^\circ \Omega = 168.143 \Omega //$$

הצרה:

בסדר ג' ניתן לקבל את הביטוי המתמטי למעלה התהווה
של המצגת בצורה מ"בית, צ"י שימוש בביטוי מוכן המופיע
במסמך:

$$\frac{X_c}{R_c^2 + X_c^2} = \frac{X_L}{R_L^2 + X_L^2}$$

⇓

$$\frac{1/\omega_0 \cdot 15 \cdot 10^{-6}}{30^2 + \left(\frac{1}{\omega_0 \cdot 15 \cdot 10^{-6}}\right)^2} = \frac{0.2\omega_0}{60^2 + (0.2\omega_0)^2}$$

ומטן הצדק בטוה לחישוב ω_0 :

$$\omega_0 = 510.83 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$$

⇓

$$f_0 = 81.3 \text{ Hz}$$

שאלה מספר 5

5

הצגה: את כל החישובים יש לערוך במצב RAD
במשבון, שהי' הנז'ר המתקבלת מהכפלת ה- ω
בזמן היא ברציאניס!

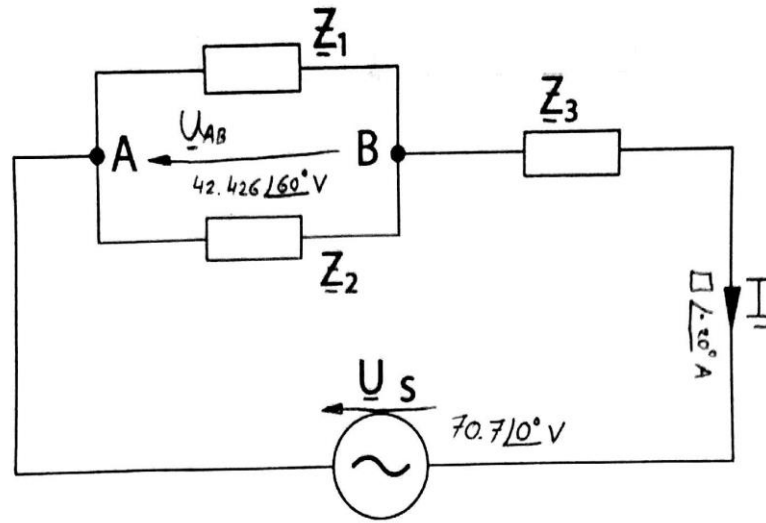
$$\textcircled{b} \quad \left[t = 0.2 \text{ msec} \right] \begin{cases} U_1 = 7.5 \cdot \sin(1000 \cdot 0.2 \cdot 10^{-3}) \approx 1.5 \text{ V} \\ U_2 = 5 \cdot \sin(600 \cdot 0.2 \cdot 10^{-3}) \approx 0.6 \text{ V} \\ U_3 = 3 \cdot \sin(300 \cdot 0.2 \cdot 10^{-3}) \approx 0.18 \text{ V} \end{cases}$$

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = 2.28 \text{ V}_{,,}$$

⇓

$$\textcircled{c} \quad i_R(t=0.2 \text{ msec}) = \frac{U}{R} = \frac{2.28}{50} = 45.6 \text{ mA}$$

שאלה מספר 6



ⓐ $\phi_{z_1} = +20^\circ$ \Leftarrow זווית הזרם הזורם דרך Z_1 היא 20°

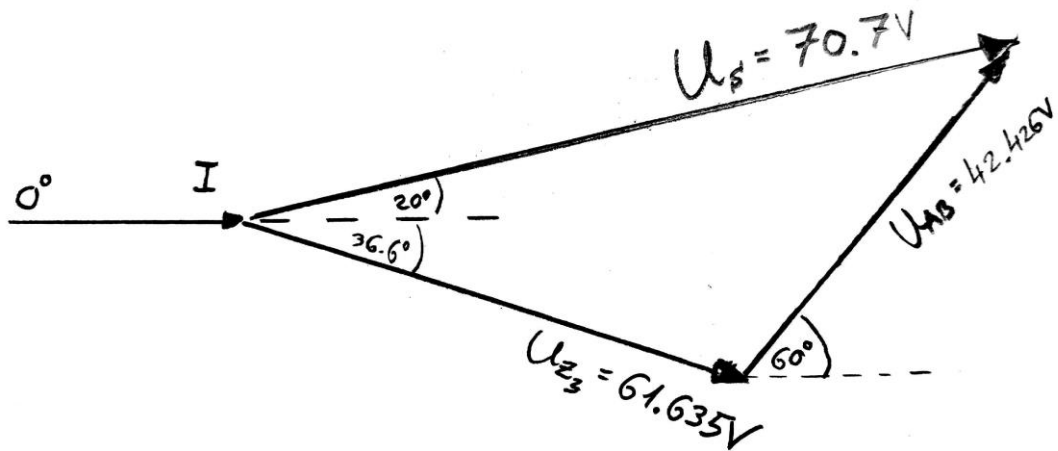
ⓑ $\underline{U}_s = \frac{100}{\sqrt{2}} \angle 0^\circ = 70.7 \angle 0^\circ \text{ V}$

$\underline{U}_{AB} = \frac{60}{\sqrt{2}} \angle 60^\circ = 42.426 \angle 60^\circ \text{ V}$

\Downarrow

$\underline{U}_{z_3} = \underline{U}_s - \underline{U}_{AB} = 70.7 \angle 0^\circ - 42.426 \angle 60^\circ = 61.635 \angle -36.6^\circ \text{ V}$

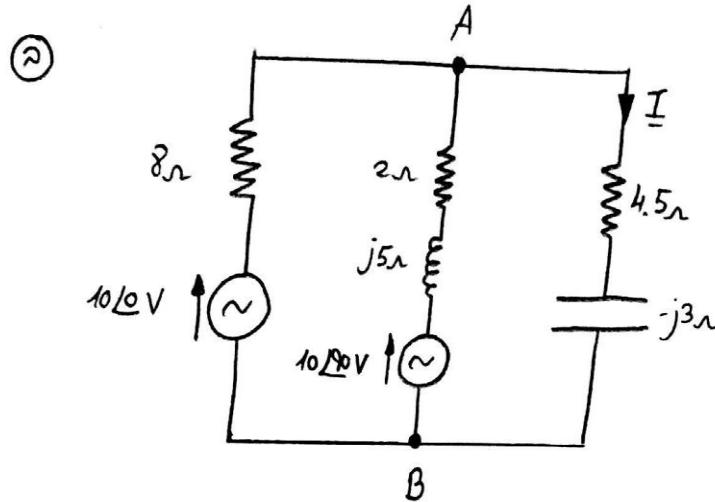
Ⓒ



שאלה מספר 7

7

$$\textcircled{a} \quad \underline{U}_{AB} = \frac{\frac{10 \angle 0}{5+3} + \frac{10 \angle 90}{2+j5}}{\frac{1}{5+3} + \frac{1}{2+j5}} = 11.764 \angle 54.6^\circ \text{ V}_{\text{rms}}$$



$$\underline{U}_{AB} = \frac{\frac{10 \angle 0}{8} + \frac{10 \angle 90}{2+j5}}{\frac{1}{8} + \frac{1}{2+j5} + \frac{1}{4.5-j3}} = 8.606 \angle 24.4^\circ \text{ V}_{\text{rms}}$$



$$\textcircled{c} \quad \underline{I} = \frac{\underline{U}_{AB}}{\underline{Z}_{AB}} = \frac{8.606 \angle 24.4}{4.5-j3} = 1.591 \angle 58.1^\circ \text{ A}$$



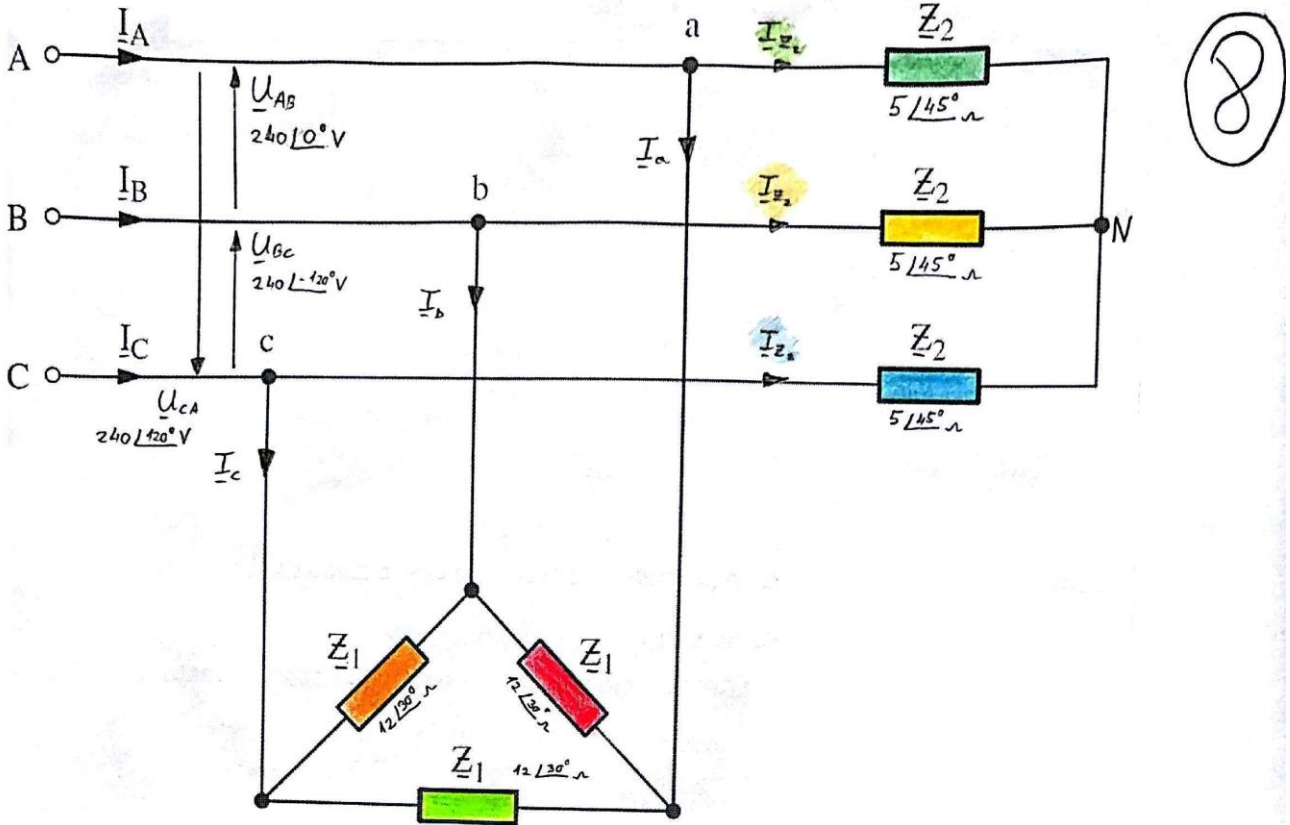
$$\varphi_u = 24.4^\circ \quad \varphi_I = 58.1^\circ$$



$$\varphi_u - \varphi_I = -33.7^\circ$$

שאלה מספר 8

הערה: כל התנאים שצויינו בפיתרון שאלה זו (כגון היחס בין מתח קו ומתח פאזי, הפרש המופע ביניהם וכו') מתקיימים בעומסים סימטריים, כפי נתוני השאלה עצמה.



Ⓔ במ'בור כוכב, המתח על הקו גדול פי $\sqrt{3}$ ממתח הפאזה, והוא $P'3N$ למה $\rightarrow 30^\circ$

$$U_L = \sqrt{3} \cdot U_{Ph}$$

$$\phi_{u_L} = \phi_{u_{Ph}} + 30^\circ$$

$$U_{AN} = 138.564 \angle -30^\circ \text{ V}$$

$$U_{Ph} = U_{AN} = U_{BN} = U_{CN} = \frac{U_L}{\sqrt{3}} = \frac{240}{\sqrt{3}} = 138.564 \text{ V} \Rightarrow U_{BN} = 138.564 \angle -150^\circ \text{ V}$$

$$U_{CN} = 138.564 \angle 90^\circ \text{ V}$$

$$I_{Z_2} = \frac{U_{AN}}{Z_2} = \frac{138.564 \angle -30^\circ}{5 \angle 45^\circ} = 27.712 \angle -75^\circ \text{ A}$$

$$I_{Z_2} = \frac{U_{BN}}{Z_2} = \frac{138.564 \angle -150^\circ}{5 \angle 45^\circ} = 27.712 \angle -195^\circ \text{ A}$$

$$I_{Z_2} = \frac{U_{CN}}{Z_2} = \frac{138.564 \angle 90^\circ}{5 \angle 45^\circ} = 27.712 \angle 45^\circ \text{ A}$$

⊙ נמצא את הזרמים בזכיות המסופים (Z_1) יזי שישו בטור בחוק אהרן:

$$\underline{I}_{ab} = \frac{U_{AB}}{Z_1} = \frac{240 \angle 0^\circ}{12 \angle 30^\circ} = 20 \angle -30^\circ \text{ A} //$$

$$\underline{I}_{bc} = \frac{U_{BC}}{Z_1} = \frac{240 \angle -120^\circ}{12 \angle 30^\circ} = 20 \angle -150^\circ \text{ A} //$$

$$\underline{I}_{ca} = \frac{U_{CA}}{Z_1} = \frac{240 \angle 120^\circ}{12 \angle 30^\circ} = 20 \angle 90^\circ \text{ A} //$$



⊙ כ"כיוז זרם יקו בחיבור מסופם לנכנס פי $\sqrt{3}$ מזהו הקצבה, וזוהי נספך אחריו ב- 30° :

$$I_L = \sqrt{3} \cdot I_{Ph}$$

$$\phi_{I_L} = \phi_{I_{Ph}} - 30^\circ$$



$$\underline{I}_a = \sqrt{3} \cdot \underline{I}_{ab} \angle -30 - 30 = 34.64 \angle -60^\circ \text{ A} //$$

$$\underline{I}_b = \sqrt{3} \cdot \underline{I}_{bc} \angle -150 - 30 = 34.64 \angle -180^\circ \text{ A} //$$

$$\underline{I}_c = \sqrt{3} \cdot \underline{I}_{ca} \angle 90 - 30 = 34.64 \angle 60^\circ \text{ A} //$$



וזם פי שישו בחוק קורכהוץ לנזומים לםם קזורה קבם:

$$\underline{I}_A = \underline{I}_a + \underline{I}_{Z_2} = 34.64 \angle -60^\circ + 27.712 \angle -75^\circ = 61.825 \angle -66.6^\circ \text{ A} //$$

$$\underline{I}_B = \underline{I}_b + \underline{I}_{Z_2} = 34.64 \angle -180^\circ + 27.712 \angle -195^\circ = 61.825 \angle -173.3^\circ \text{ A} //$$

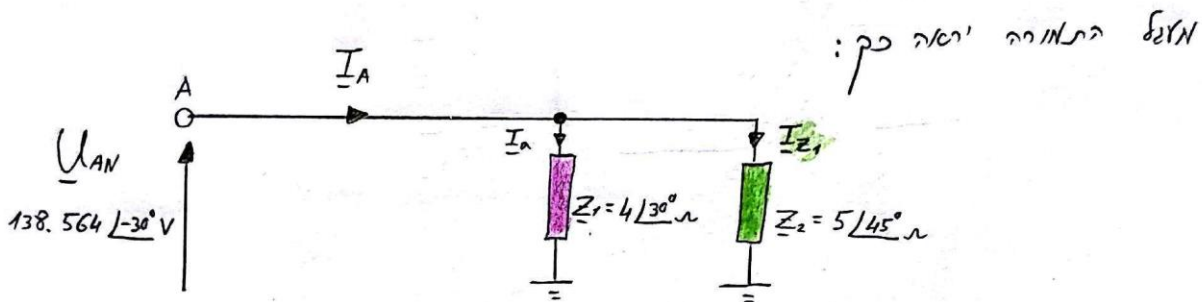
$$\underline{I}_C = \underline{I}_c + \underline{I}_{Z_2} = 34.64 \angle 60^\circ + 27.712 \angle 45^\circ = 61.825 \angle 53.3^\circ \text{ A} //$$

נין לפתור שאם זו גם באמצעות שימוש בגילוי המצב חזב פאזי שקול:
מכיוון שכל צעזועת השופש בהיות, ניין אהאיו לכוכב שרק צעזו המתקבלת
הוא:

$$Z_1 = \frac{Z_1}{3} = \frac{12 \angle 30^\circ}{3} = 4 \angle 30^\circ \Omega$$

בהיבט כוכב, מתח הקו שקול פי 3 מתח הפזה, ונחש מקצ'P אלו ק-30°,
ולכן מתח הפזה שנקח למצבם התמורה יהיה:

$$U_{AN} = \frac{U_{AB}}{\sqrt{3}} \angle -30^\circ = 138.564 \angle -30^\circ \text{ V}$$



$$+ \begin{cases} I_A = \frac{U_{AN}}{Z_1} = \frac{138.564 \angle -30^\circ}{4 \angle 30^\circ} = 34.64 \angle -60^\circ \text{ A} \\ I_{Z_2} = \frac{U_{AN}}{Z_2} = \frac{138.564 \angle -30^\circ}{5 \angle 45^\circ} = 27.712 \angle -75^\circ \text{ A} \end{cases}$$

$$I_A = 61.825 \angle -66.6^\circ \text{ A}$$

על פי כשני הסמלכיה ניין עקבם בקלות את שתי צרמי Z1
ו-Z2, וכן את צרמי הקו:

$$I_B = 61.825 \angle 173.3^\circ \text{ A}$$

$$I_C = 61.825 \angle 53.3^\circ \text{ A}$$