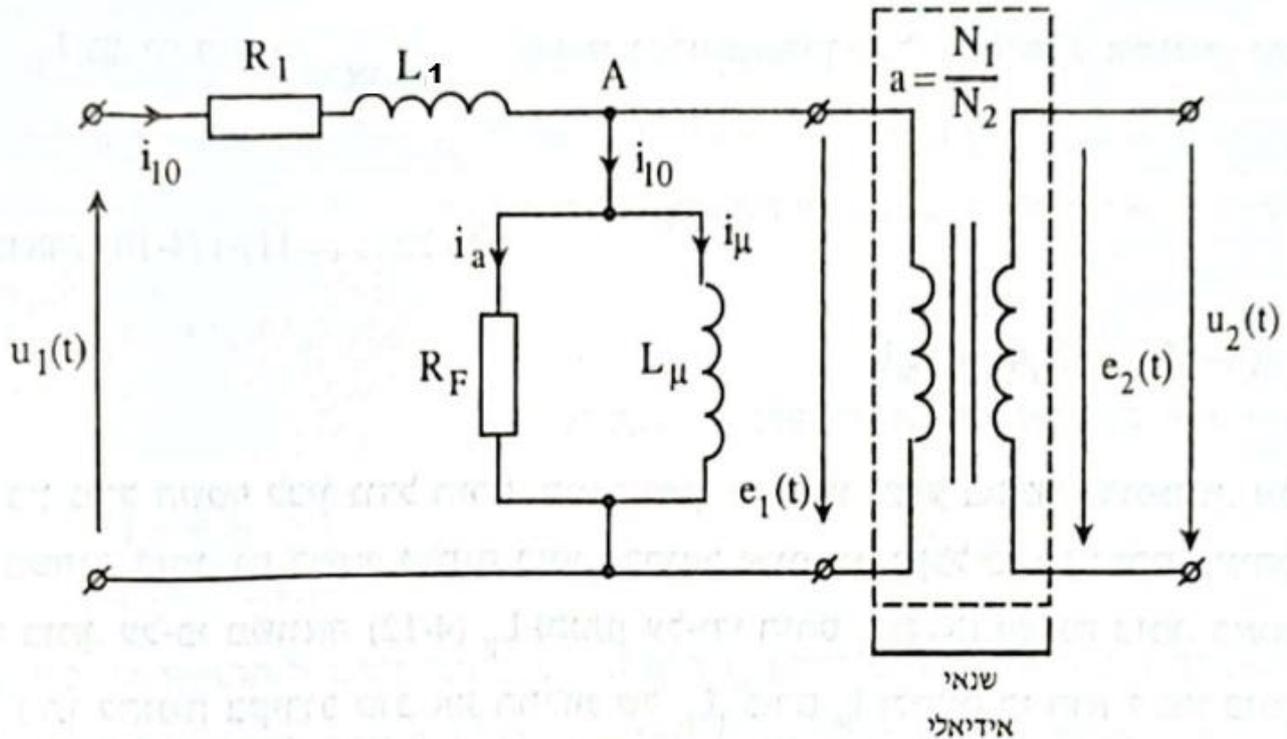


מעגל תמורה של שנאי מעשי בריקם



תחילה נסביר את הרכיבים המחוברים במקביל RF ו- L_μ .

הרכיבים הללו משקפים את התהליכים העיקריים בפעולות השנאי המעשי בריקם.

איד התהליכים העיקריים שניתן לייצג באמצעות רכיב, במעגל התמורה של השנאי הוא : היווצרות השטף המגנטי בגרעין . רכיב , הגורם להיווצרות שטף זה, הוא המשך L_μ . ודרכו עובר

זרם I_μ . כמובן שזרם זה הוא אותו מרכיב של זרם הריקם I_{10} . הדרוש ליצירת השטף הראשי

אך מאחר והסליל L_μ מחובר במקביל למקור המתח יזרום דרכו זרם I_μ

כאשר השנאי מחובר למקור מתח סינוסואידאלי מתקבלים הפסדי הספק , הכרוכים בהתחממות הגרעין. אנו קוראים להפסדים הללו הפסדי ברזל. וכדי לייצג את ההפסדים הללו בוחרים בנגד, רכיב זה כאשר עובר זרם דרכו מייצר חום כמובן שמסמנים את הנגד ע"י R_F . והנגד הזה מייצג את הפסדי הברזל .

שאלה: מדוע מחובר הנגד במקביל למשך במעגל התמורה.

הרעיון הבסיסי של מעגל תמורה של שנאי מעשי הוא שהמעגל מייצג שנאי אידיאלי ורכיבים נוספים. המחוברים לשנאי האידיאלי . מאחר שהזרם הוא אפס בשנאי אידיאלי בריקם. נקבעו R_F והמשך L_μ במקביל במעגל התמורה. כך שהזרם יעבור דרכם. ולשנאי האידיאלי לא יגיע למעשה זרם.

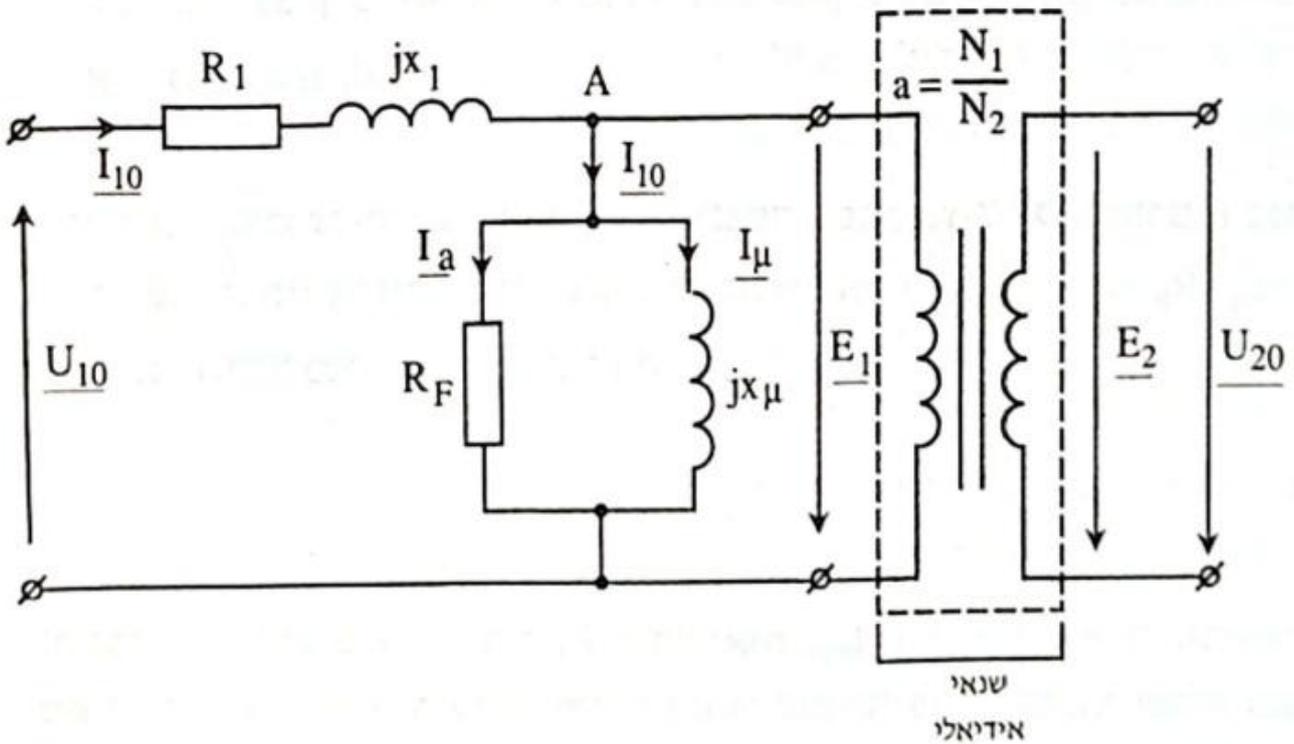
הפסד ההספק הנגרם ע"י הנגד הוא הפסד הספק פעיל ולכן : הזרם i_a בנגד R_F נמצא במופע עם המתח על הנגד.

$$I_0 = \sqrt{I_a^2 + I_\mu^2} \quad . \quad \text{כידוע}$$

עתה נותר להסביר את מיקומן של R_1 ו- L_1 , במעגל תמורה. כידוע ע"פ חוק המתחים של קירכהוף משוואת המתחים בחוג, כל הרכיבים בחוג מחוברים בטור ובפרט הנגד R_1 והמשרן L_1

מקור המתח בחוג זה הוא מקור המתח המחובר לשנאי, והזרם בחוג זה הוא I_{10} . זרם זה זורם בנגד R_1 ובמשרן L_1 המחוברים בטור למקור המתח.

השנאי המעשי בריקים – בעירור סינוסואידלי



כזכור עכבת משרן שהשראותו L_1 היא: $X_L = 2\pi fL$ ו- f תדר הזרם. והגב המשרן jX_μ היוצר את מגנט הגרעין.

דוגמה 1

להלן נתוני שנאי בריקס: $2400/240V$; $R_1 = 0.75\Omega$; $L_1 = 2.65mH$.

השראות ענף המגנט: $L_\mu = 13.26H$; $R_F = 34k\Omega$.

לסליל הראשוני של השנאי מחובר מקור מתח: $U_1 = 2400V$; תדר המקור: $f = 60Hz$.

א. סרטט את מעגל התמורה של השנאי בריקס, וסמן בו את ערכי הרכיבים.

ב. חשב את הפאזור I_{10} .

ג. חשב את הפסדי הברזל ואת ההספק הדרוש ליצירת השטף בגרעין.

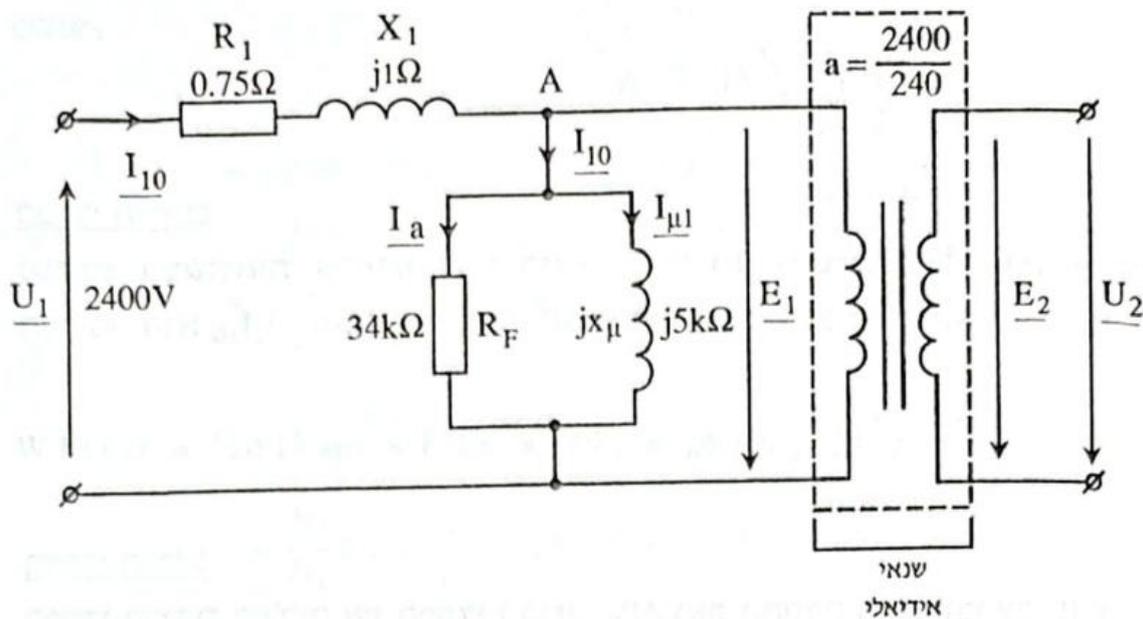
ד. חשב את U_{20} , המתח השניוני בריקס.

פתרון :

א. מעגל התמורה בריקס

$$X_1 = 2\pi f L_1 = 2\pi \times 60 \times 2.65 \times 10^{-3} = 1 \Omega$$

$$X_{\mu 1} = 2\pi f L_{\mu 1} = 2\pi \times 60 \times 13.26 = 4998.9 \Omega \approx 5 k\Omega$$



ב. חישוב I_{10} : נבחר את המתח הראשוני כמתח ייחוס, כלומר: $\underline{U}_1 = 2400 \angle 0^\circ \text{ V}$

$$I_{10} = \frac{\underline{U}_1}{R_1 + jX_1 + Z_{\mu 1}} \quad \text{על סמך המעגל שלעיל:}$$

נחשב תחילה את העכבות שבמכנה:

$$\begin{aligned} Z_{\mu 1} &= R_{F1} \parallel jX_{\mu 1} = 34 \text{ k}\Omega \parallel j5 \text{ k}\Omega = \frac{34 \cdot j5}{34 + j5} \text{ k}\Omega \\ &= (719.73 + j4894.15) \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_1 + jX_1 + Z_{\mu 1} &= 0.75 + j1 + 719.73 + j4894.15 \\ &= 720.48 + j4895.15 = Z_{\mu 1} \end{aligned}$$

זוהי דוגמה לכך, שבריקס אכן ניתן להזניח את R_1 ו- X_1 , כפי שהנחנו. נציב את הנתונים, ונקבל כי:

$$\underline{I}_{10} = \frac{2400 \angle 0^\circ}{720.48 + j4895.15} = \frac{2400 \angle 0^\circ}{4947.88 \angle 81.62^\circ} \quad \boxed{I_{10} = 0.485 \angle -81.62 [A]}$$

ג. הפסדי הריקס

נשתמש במשוואות שלמדנו לגבי הספק פעיל (P) והספק היגבי (Q). המדומה הוא $U_1 I_{10}$, והפסדי הריקס ΔP_0 שווים להספק הפעיל ומכאן:

$$\Delta P_0 = U_1 I_{10} \cos \phi_0 = 2400 \times 0.485 \times \cos 81.62^\circ = 169.63 \text{ W}$$

הפסדי הברזל

הפסדי הריקס כוללים את הפסדי הברזל ΔP_{Fe} ואת ההספק המתבזבז על R_1 , ולכן:

$$\begin{aligned} \Delta P_{Fe} &= \Delta P_0 - I_{10}^2 R_1 = 189.63 - 0.485^2 \times 0.75 \\ &= 169.46 \text{ W} \approx \Delta P_0 \end{aligned}$$

כלומר, כפי שהנחנו, הפסדי הריקס הם למעשה, הפסדי הברזל.

ההספק ההיגבי הדרוש ליצירת השטף בגרעין

ההספק ההיגבי ΔQ_0 נתון על-ידי:

$$\Delta Q_0 = U_1 I_{10} \sin \phi_0 = 2400 \times 0.485 \times \sin 81.62^\circ = 1151.57 \text{ VAR}$$

ההספק ההיגבי ΔQ_0 שווה לסכום של שני הספקים היגביים: ההספק ההיגבי של X_1 וההספק ההיגבי ΔQ_u של X_μ . מכאן:

$$\Delta Q_\mu = \Delta Q_0 - I_{10}^2 X_1 = 1151.57 - 0.485^2 \times 1 = 1151.33 \text{ VAR}$$

.7

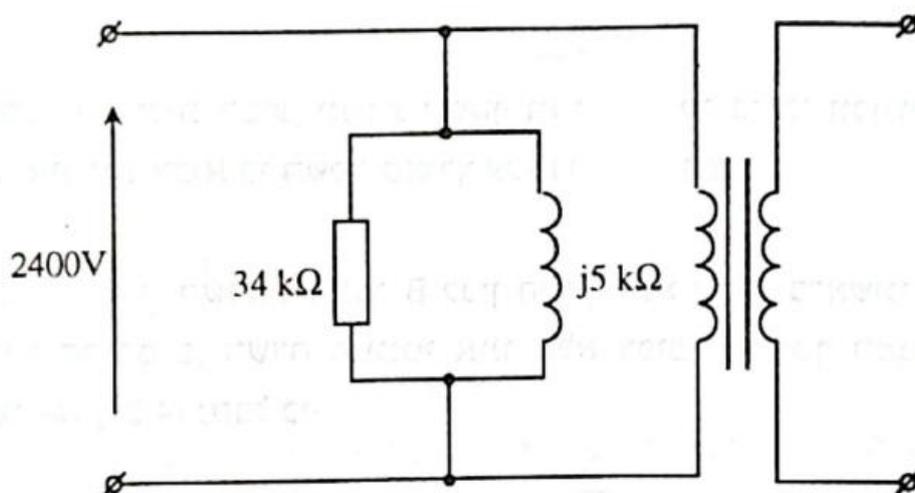
חישוב המתח השניוני

$$\begin{aligned} \underline{E}_1 &= -\underline{U}_{10} + \underline{I}_{10} (R_1 + jX_1) \\ &= -2400 \angle 0^\circ + 0.485 \angle -81.62^\circ \times (0.75 + j1) \\ &= -2400 \angle 0^\circ + 0.485 \angle -81.62^\circ \times 1.25 \angle 53.13^\circ \\ &= -2399.46 - j0.289 \approx 2400 \angle 180^\circ \end{aligned}$$

קיבלנו דוגמה לכך שבריקס: $U_{10} \approx E_1$. ולכן המתח השניוני יהיה:

$$U_{20} = \frac{N_2}{N_1} E_1 = \frac{240}{2400} \times 2400 = 240 \text{ V}$$

כך שבניסוי בריקס ניתן להשתמש במעגל פשוט יותר, אשר מתקבל בהזנחת R_1 ו- X_1 ,



זרם המגנוט I_{10} , המופיע במעגל התמורה של שנאי מעשי בריקס, נקבע על-ידי E_{10} , ובקירוב - על-ידי המתח U_{10} על הסליל הראשוני. נמצא עתה את הקשר בין שני גדלים אלה.

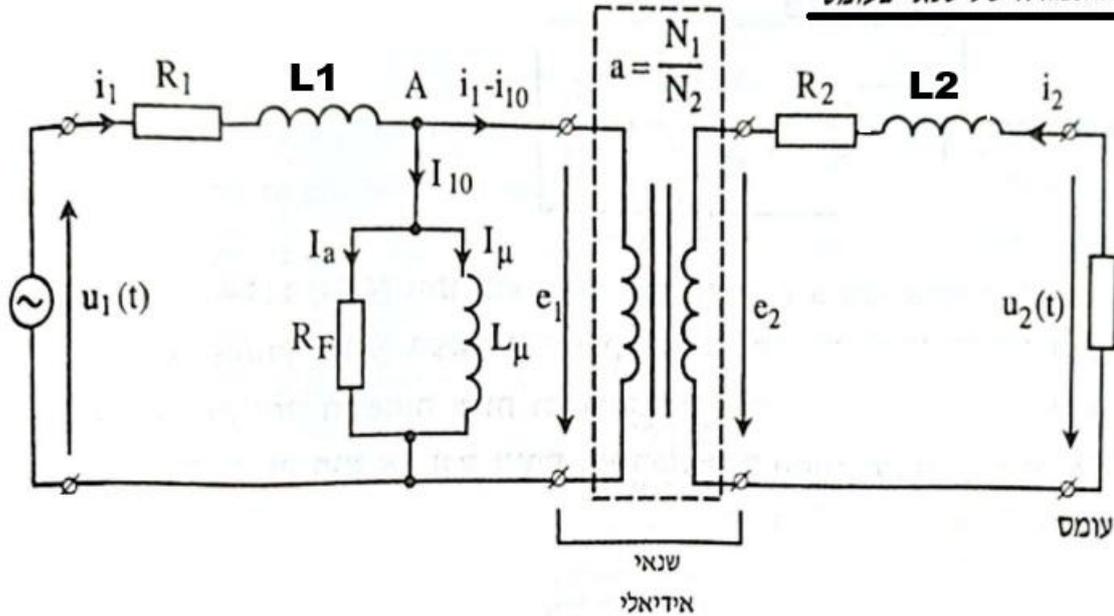
בדומה למשוואה נקבל - למקרה כזה - קשר בין E_{10} , לבין השטף המגנטי

$$\begin{aligned}\Phi_M(t) &= \frac{\sqrt{2} E_{10}}{N_1 \omega} \sin(\omega t - 90^\circ) \approx \frac{\sqrt{2} U_{10}}{N_1 \omega} \sin(\omega t - 90^\circ) \\ &= \Phi_M \sin(\omega t - 90^\circ)\end{aligned}$$

$$\Phi_M = \frac{\sqrt{2} E_{10}}{N_1 \omega} \approx \frac{\sqrt{2} U_{10}}{N_1 \omega}$$

כדי להשלים את מעגל התמורה של השנאי המעשה בעומס נחשב גם הפסדי ברזל בשנאי כפי שעשינו בשנאי מעשי בריקים ונקבל מעגל תמורה של שנאי מעשי בעומס תוך התחשבות בהפסדי הברזל, שטף הפיזור והתנגדות הסלילים.

מעגל תמורה של שנאי בעומס



לצירוף המקבילי של R_F ו- L_μ נכנס - דרך הצומת A - זרם הנקרא **זרם המגנוט**. הזרם, העובר השנאה דרך השנאי האידיאלי שבאיור זה, שווה להפרש שבין זרם הסליל הראשוני i_1 ובין זרם המגנוט. כדי להסביר היבטים אלה של הזרמים במעגל התמורה של שנאי בעומס, נתבונן במעגל המגנטי של גרעין השנאי. במעגל מגנטי זה יש שני כמ"מים: $N_1 i_1$ ו- $N_2 i_2$. הכמ"מ השקול של שני הכמ"מים שווה לסכומם: $N_1 i_1 + N_2 i_2$. הכמ"מ השקול גורם לשטף מגנטי Φ , שגודלו נקבע לפי חוק אום המגנטי:

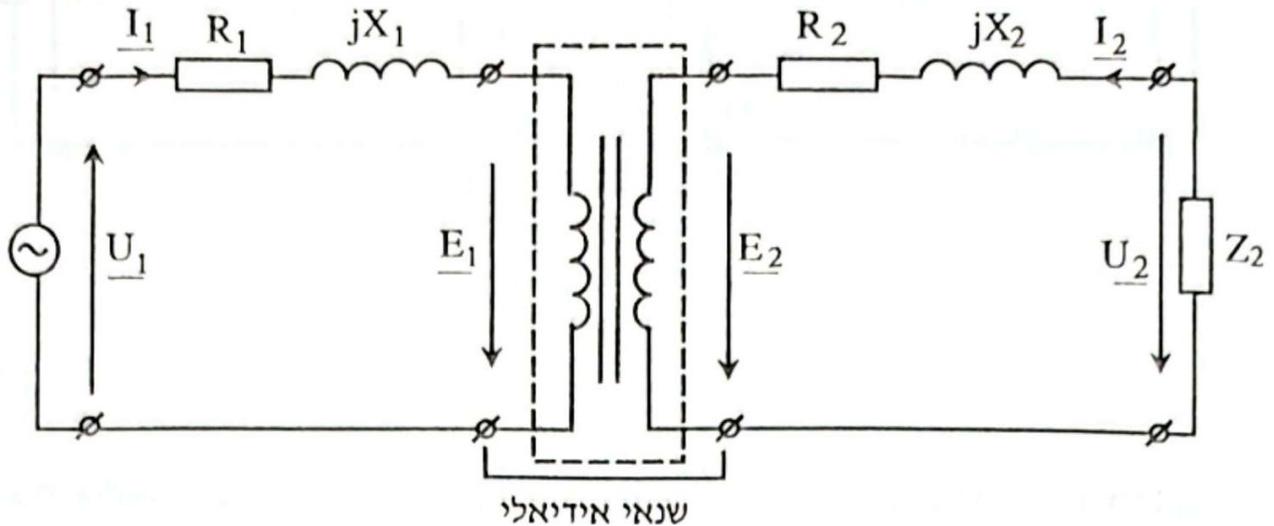
$$N_1 i_1 + N_2 i_2 = \Phi R_\mu$$

כאשר: R_μ - המיאון המגנטי.

מעגל התמורה, המתאים מתואר באיור עכבת העומס היא Z_2 ,

והיא שווה ליחס בין פאזור המתח U_2 לפאזור הזרם I_2 :

$$Z_2 = \frac{U_2}{I_2}$$



דוגמה

באיור נתון מעגל תמורה של שנאי מעשי, שלראשוני שלו מחובר מקור מתח של

1100V ולשניוני שלו מחובר עומס: $Z_2 = 0.4 + j0.3\Omega$.

חשב את הגדלים האלה:

- א. פאזור הזרם I_1 .
- ב. פאזור הכא"מ המושרה בראשוני E_1 .
- ג. פאזור הכא"מ המושרה בשניוני E_2 .
- ד. פאזור הזרם I_2 .
- ה. פאזור מתח העומס U_2 .
- ו. הנח שהשנאי אידיאלי, וחזור וענה על הסעיפים הקודמים.

פתרון

א. כדי לחשב את פאזור הזרם I_1 , נמצא את העכבה הכללית Z של החוג הראשוני של השנאי. עכבה זו, שהיא העכבה הכללית המחוברת למקור, כוללת את ההתנגדות R_1 את ההיגב X_1 ואת העכבה Z_{CD} שבין הנקודות C ו-D. עכבה זו נתונה,

$$Z_{CD} = a^2 Z_{AB}$$

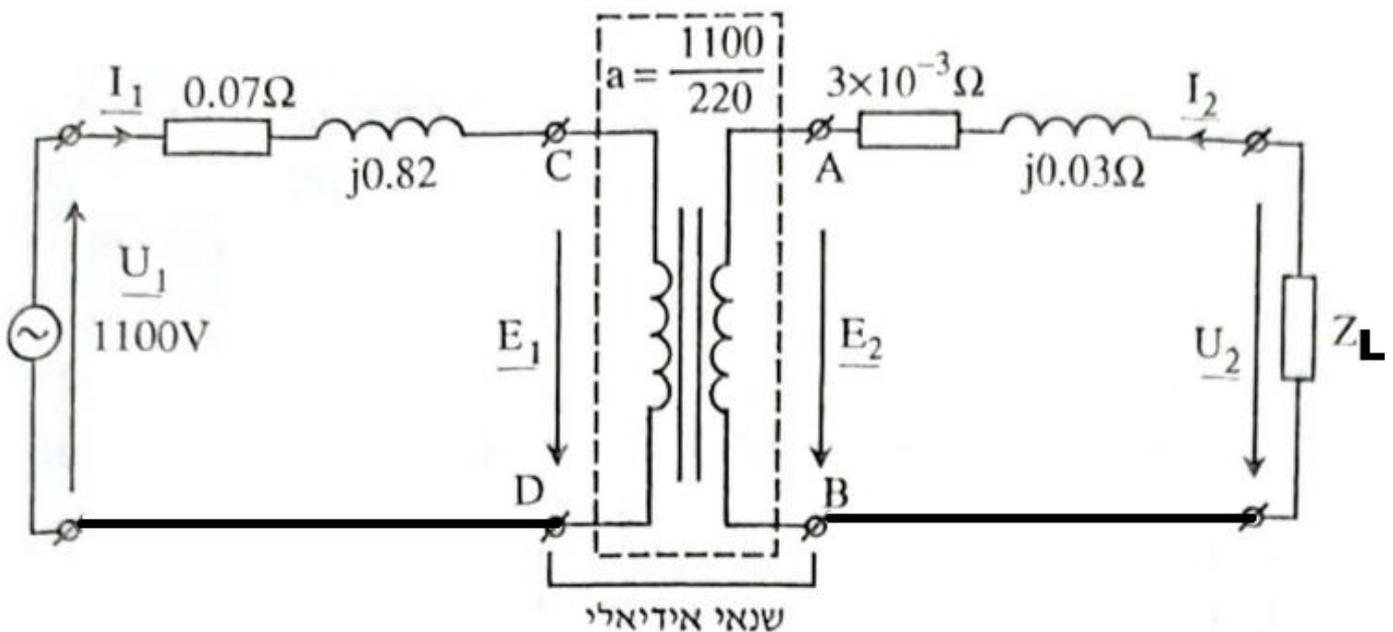
כאשר: Z_{AB} - העכבה בין הנקודות A ו-B בחוג השניוני של השנאי.
עכבה זו נתונה על-ידי:

$$Z_{AB} = R_2 + jX_2 + Z_L = 0.003 + j0.03 + 0.4 + j0.3 = 0.403 + j0.33 \Omega$$

$$Z_{CD} = a^2 Z_{AB} = \left(\frac{1100}{220}\right)^2 (0.403 + j0.33) = 10.075 + j8.25 \Omega \quad \text{ומכאן:}$$

והעכבה Z , המחוברת למקור, היא:

$$Z = R_1 + jX_1 + Z_{CD} = 0.07 + j0.82 + 10.075 + j8.25 = 10.145 + j9.07 \Omega$$



נבחר את פאזור המתח הראשוני כפאזור הייחוס, כלומר:

$$\underline{U}_1 = 1100 \angle 0^\circ \text{ V}$$

ונשתמש בחוק אום המורחב, כדי לקבל את פאזור הזרם I_1 :

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}_1}{\underline{Z}} = \frac{1100 \angle 0^\circ}{10.145 + j9.07} = \frac{1100 \angle 0^\circ}{13.608 \angle 41.8^\circ} = 80.83 \angle -41.8^\circ \text{ A}$$

$$\underline{E}_1 = -\underline{U}_1 + (R_1 + jX_1) \underline{I}_1$$

ב.

$$\begin{aligned} &= -1100 \angle 0^\circ + (0.07 + j0.82) \times 80.83 \angle -41.8^\circ \\ &= -1100 \angle 0^\circ + 0.823 \angle 85.12^\circ \times 80.83 \angle -41.8^\circ \\ &= -1100 \angle 0^\circ + 66.523 \angle 43.32^\circ = -1051.6 + j45.64 \\ &= 1052.59 \angle 177.51^\circ \text{ V} \end{aligned}$$

ג.

לפי משוואה

$$\underline{E}_2 = \frac{1}{a} \underline{E}_1 = \frac{220}{1100} \times 1052.59 \angle 177.51^\circ = 210.52 \angle 177.51^\circ \text{ V}$$

ד. לפי חוק אום המורחב:

$$\underline{I}_2 = \frac{\underline{E}_2}{\underline{Z}_{AB}} = \frac{210.52 \angle 177.51^\circ}{0.403 + j0.33} = \frac{210.52 \angle 177.51^\circ}{0.521 \angle 39.31^\circ}$$

$$= 404.06 \angle 138.21^\circ \text{ A}$$

ה. לפי חוק אום המורחב:

$$\underline{U}_2 = \underline{I}_2 \cdot Z_2 = 404.06 \angle 138.21^\circ \times (0.4 + j0.3)$$

$$= 404.06 \angle 138.21^\circ \times 0.5 \angle 36.87^\circ = 202.03 \angle 175.08^\circ \text{ A}$$

ו. בשנאי אידיאלי מקבלים:

$$E_2 = U_2 = \frac{1}{a} U_1 = \frac{220}{1100} \times 1100 = 220 \text{ V}$$

(ואילו בשנאי המעשי: $U_2 = 202.03 \text{ V}$)

$$I_2 = \frac{U}{|Z_2|} = \frac{220}{0.5} = 440 \text{ A}$$

ואילו בשנאי המעשי: $I_2 = 404.06 \text{ A}$