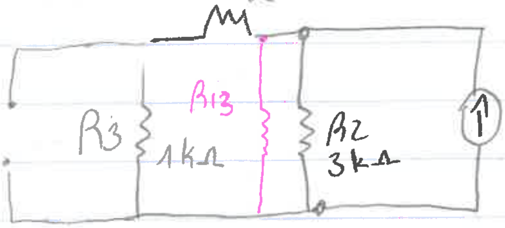
1

תרגיל 5

שאלה 2:

שלב ננטרל את מקור הזרם I_{S1} :



$R_{13} = R_1 + R_3 = 2 + 1 = 3\,k\Omega$

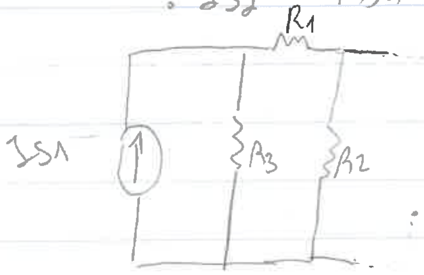
$I_T = 3mA$

מחלק זרם

$I_{2_{k}} = I_T \cdot \frac{R_{13}}{R_2 + R_{1,3}} = 3 \cdot \frac{3}{3+3} = 1.5mA$

$I_{1_k} = I_{3_k} = I_T - I_2 = 3 - 1.5 = 1.5mA$

ננטרל את מקור הזרם I_{S2} :



$R_{12} = R_1 + R_2 = 3 + 2 = 5k\Omega$

מחלק זרם:

$I_T = 2mA$

$I_{3_?} = I_T \cdot \frac{R_{12}}{R_T + R_{12}} = 2 \cdot \frac{5}{5+1} = \frac{5}{3}mA$

$I_{1_?} = I_{2_?} = I - I_3 = 2 - \frac{5}{3} = \frac{1}{3}k\Omega$

חשוב סופי:

$I_{R1} = I_{1_k} - I_{1_?} = 1.5 - \frac{2}{3} = 1.1667mA$

$I_{R2} = I_{2_k} + I_{2_?} = 1.5 + \frac{1}{3} = 1.83mA$

$I_{R3} = I_{3_k} + I_{3_?} = 1.5 + \frac{5}{3} = 3.1667mA$

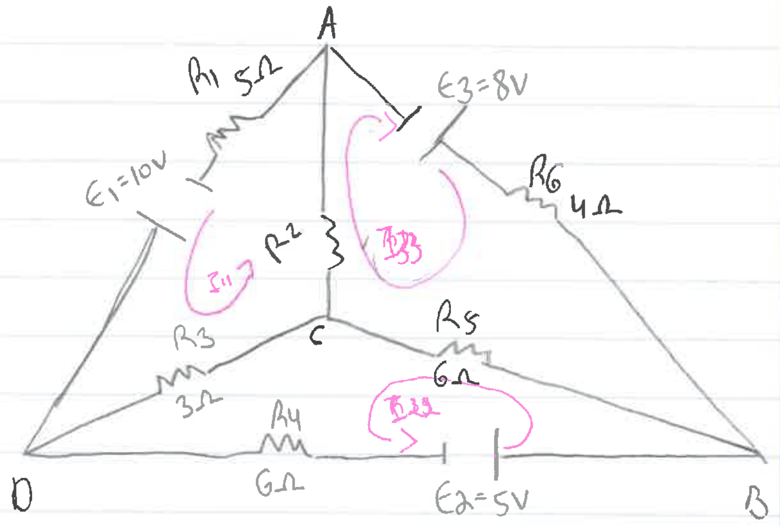
$P_E = P_{R1} + P_{R2} + P_{R3} = (1.1667)^2 \cdot 2 + (3.1667)^2 \cdot 1 + 10.08 = 22.83$

$\eta = \frac{P_{R2}}{P_E} = \frac{10.08}{22.83} = 0.4415 \quad P_{R2} = I_{R2}^2 \cdot R_2 = (1.833)^2 \cdot 3 = 10.08\,mA$

44.16%

שאלה 5:

2



חשוב זרמים חוגיים

$$\begin{cases} E_1 = R_3(I_{11}-I_{22}) + R_2(I_{11}+I_{33}) + R_1 \cdot I_{11} \\ E_2 = R_5(I_{22}+I_{33}) + R_3(I_{22}-I_{11}) + R_4 \cdot I_{22} \\ E_3 = R_5 \cdot (I_{33}+I_{22}) + R_2(I_{33}+I_{11}) + R_6 \cdot I_3 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 10 = 3(I_{11}-I_{22}) + 4(I_{11}+I_{33}) + 5 \cdot I_{11} \\ 5 = 6 \cdot (I_{22}+I_{33}) + 3(I_{22}-I_{11}) + 6 \cdot I_{22} \\ 8 = 6 \cdot (I_{33}+I_{22}) + 4 \cdot (I_{33}+I_{11}) + 4 I_{33} \end{cases}$$

$$\begin{cases} 10 = 12 I_{11} - 3 I_{22} + 4 I_{33} \\ 5 = -3 I_{11} + 15 I_{22} + 6 I_{33} \\ 8 = 4 I_{11} + 6 I_{22} + 14 I_{33} \end{cases}$$

$I_{11} = 0.916\,A$ $I_{22} = 0.474\,A$ $I_{33} = 0.106\,A$

$I_{R1} = 0.916\,A$

$I_{R2} = 0.916 + 0.106 = 1.022\,A$

$I_{R3} = 0.916 - 0.474 = 0.442\,A$

$I_{R4} = 0.474\,A$

$I_{R5} = 0.106 + 0.474 = 0.58\,A$

$I_{R6} = 0.106\,A.$

נחשב את הספקים במעגל: ←

$P_{R1} = I_1^2 \cdot R_1 = (0.916)^2 \cdot 5 = 4.195\,W$

$P_{R2} = I_2^2 \cdot R_2 = 1.022^2 \cdot 4 = 4.1779\,W$

$P_{R3} = I_3^2 \cdot R_3 = 0.442^2 \cdot 3 = 0.586\,W$

$P_{R4} = I_4^2 \cdot R_4 = 0.474^2 \cdot 6 = 1.348\,W$

$P_{R5} = I_5^2 \cdot R_5 = 0.58^2 \cdot 6 = 2.018\,W$

$P_{R6} = I_6^2 \cdot R_6 = 0.106^2 \cdot 4 = 0.449\,W$

$P_{E1} = V \cdot I_{11} = 10 \cdot 0.916 = 9.16\,W$

$P_{E2} = V \cdot I_{22} = 0.474 \cdot 5 = 2.37\,W$

$P_{E3} = V \cdot I_{33} = 0.106 \cdot 8 = 0.848\,W$

6) המקורות הם ספקים ולא צרכנים.

$P_{R1} + P_{R2} + P_{R3} + P_{R4} + P_{R5} + P_{R6} = P_{E1} + P_{E2} + P_{E3}$

$4.195 + 4.1779 + 0.586 + 1.348 + 2.018 + 0.449 = 9.16 + 2.37 + 0.848$

.3

$$\begin{cases} \epsilon_6 = I_3 \cdot R_6 + (I_3 - I_1) R_2 + (I_3 - I_2) R_4 \\ \epsilon_3 = I_2 R_5 + (I_2 - I_3) R_4 + (I_2 - I_1) R_3 \end{cases}$$

$R_6 = 100$, $R_2 = 200$, $R_4 = 50$, $R_5 = 150$, $R_4 = 50$, $R_3 = 100$

$$\begin{cases} 100 = 350 I_3 - 50 I_2 + 100 I_1 \\ 100 = -50 I_3 + 300 I_2 + 100 I_1 \end{cases}$$

$$I_1 = 2A$$

$$\begin{cases} 100 = 350 I_3 - 50 I_2 + 400 \\ 100 = -50 I_3 + 300 I_2 + 200 \end{cases} - \begin{cases} -300 = 350 I_3 - 50 I_2 \\ -100 = -50 I_3 + 300 I_2 \end{cases}$$

$I_1 = 2A$, $I_2 = I_3 + I_1 = 1.0741A$, $I_3 = -0.926$, $I_2 = -0.487$

$I_3 = I_2 + I_1 = 1.513$, $I_4 = I_3 + I_2 = 0.439$, $I_5 = I_2 = 0.487$, $I_6 = 0.926A$,

$P_{\epsilon_3} = \epsilon_3 \cdot (I_2 + I_1) = 100 \cdot (-0.487 + 2) = 151.3$

$P_{\epsilon_6} = \epsilon_6 \cdot I_3 = 100 \cdot -0.926 = -92.6$

$P_{I_1} = V \cdot I = 466.102 = 932.2$

$P_{R_1} = (I_1)^2 \cdot R_1 = 400\,W$

$P_{R_2} = (I_2)^2 \cdot R_2 = 230.867\,W$

$P_{R_3} = (I_3)^2 \cdot R_3 = 228.917\,W$

$P_{R_4} = (I_4)^2 \cdot R_4 = 9.636\,W$

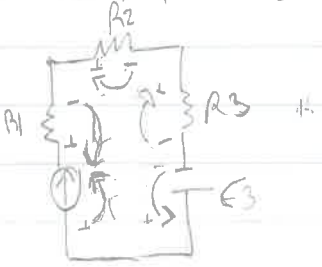
$P_{R_5} = (I_5)^2 \cdot R_5 = 35.57\,W$

$P_{R_6} = (I_6)^2 \cdot R_6 = 85.747\,W$

כן. מאזן ההספקים:

$P_{R_1} + P_{R_2} + P_{R_3} + P_{R_4} + P_{R_5} + P_{R_6} = 949.533\,W$

נחשב את ההספק של מקור הזרם עפ"י חוק קירכהוף: סכום ההספקים בלולאה שווה ל-0.



עבור I_1:

$V = I \cdot R$

$V_I - V_{R1} - V_{R2} - V_{R3} + \epsilon_3 = 0$

$V_{R1} = I_1 \cdot R_1 = 2 \cdot 100 = 200$

$V_{R2} = I_2 \cdot R_2 = 1.0740 \cdot 200 = 214.8$

$V_{R3} = I_3 \cdot R_3 = 1.513 \cdot 100 = 151.3$

$0 = 100 + 566.1 - V_I$

$V_I = 466.1$

$P_I + P_{\epsilon_3} + P_{\epsilon_6} \overset{!}{=} \sum_{i=1}^{6} P_{R_i}$

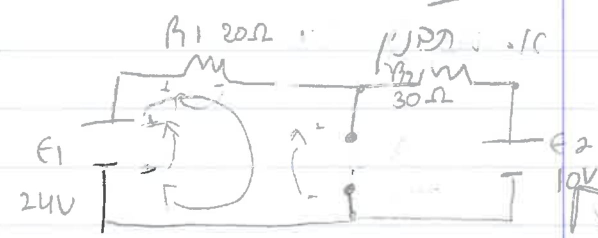
$P_I + P_{\epsilon_3} = P_{\epsilon_6} + \sum_{i=1}^{6} P_{R_i} = 1083$

סה"כ נקבל:

I_1 ו ϵ_3 מספקים,

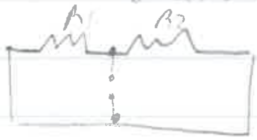
ϵ_6 ו כל הנגדים צורכים.

תרגול:



נחשב את Rth: ננתק את R3 ונקצר את מקורות המתח (נחשב את ההתנגדות השקולה)

$R_{th} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{20 \cdot 30}{20 + 30} = \frac{600}{50} = 12$



נחשב את Vth.

לפי קירכהוף של הלולאה השמאלית:

$V_{R1} = I \cdot R_1 = \frac{24-10}{20+30} \cdot 20 = 5.6$

$I = \frac{V_T}{R_T}$

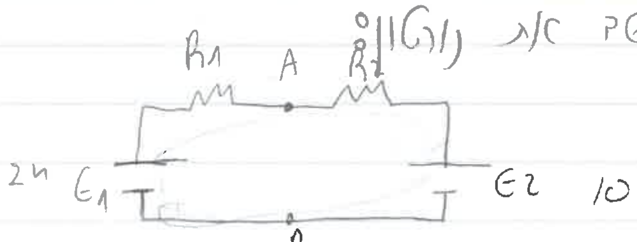
$E_1 - V_{R1} - V_{th} = 0$

$24 - 5.6 = V_{th}$

$V_{th} = 18.4V$

נשרטט מעגל תבנין:

נחשב את נורטון:



תשובה RN נעשה כמו חישוב Rth, $R_N = R_{th}$, חישוב I_n נעשה ע״י קצר בין הצמתים וחישוב הזרם שעובר דרך הקצר שמחליף את הנגד

חישוב הזרם דרך AB

$I = \frac{V}{R}$

$I_n = I_1 + I_2 = \frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} = \frac{24}{20} + \frac{10}{30} = 1.5333$

מעגל נורטון:

ד.

$P = V^2/R$

$I = 1.5333^2 \cdot 10$

$V_{R3} = \frac{V_{th} \cdot R3}{R3 + R_{th}} = \frac{18.4 \cdot 10}{10 + 12} = 8.36V$ נחשב לפי מחלק מתח עבור

$P_{R3} = \frac{V_{R3}^2}{R3} = \frac{8.36^2}{10} = 6.995W$

ג. ההספק המקסימלי יהיה כאשר ערך הנגד R3 יהיה שווה לערך Rth כלומר

$R3 = R_{th} = 12$

נחשב מחלק זרם עבור R3

$I_{R3} = \frac{I_N \cdot R_N}{R3 + R_N} = \frac{1.533 \cdot 12}{12 + 12} \approx 0.7605A$

$P_{R3} = I_{R3}^2 \cdot R_3 = 0.7605^2 \cdot 12 = 7.05W$

8. א. * פרט קטן $R_N = R_{th} = 1.833\Omega$

נקבל את RL ונמצא את IN

נפתור באמצעות זרמי חוגים

$$\begin{cases} E1 - E2 = I_{11} \cdot R1 + (I_{11} - I_{22}) \cdot R2 \\ E3 = I_{33} \cdot R4 + (I_{33} - I_{22}) \cdot R3 \\ E_2 - E_3 = (I_{22} - I_{11}) R_2 + (I_{22} - I_{33}) \cdot R3 \end{cases}$$

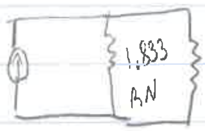
$$\begin{cases} 24 - 16 = I_{11} \cdot 1 + 1 I_{11} - 1 \cdot I_{22} \\ 16 - 12 = -1 I_{11} + I_{22} + 2 I_{22} - 2 I_{33} \\ 12 = 4 I_{33} + 2 I_{33} - 2 I_{22} \end{cases}$$

$$\begin{cases} 8 = 2 I_{11} - 1 I_{22} + 0 I_{33} \\ 4 = -I_{11} + 3 I_{22} - 2 I_{33} \\ 12 = 0 I_{11} - 2 I_{22} + 6 I_{33} \end{cases}$$

$I_{11} = 7.2727A$ $I_{22} = 6.5454A$, $I_{33} = 4.18A$

$I_N = 6.5454A$

מעגל נורטון

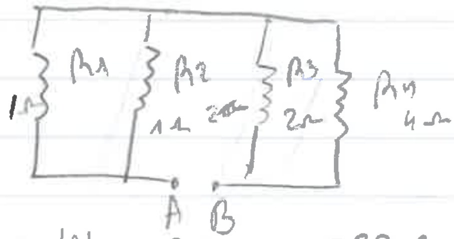


לפי מחלק זרם:

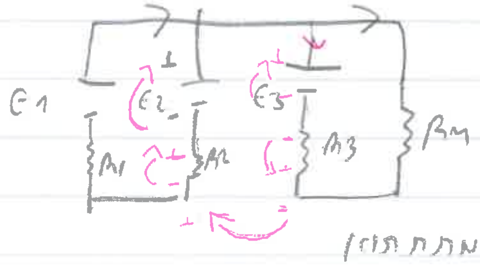
$I_L = \frac{I_N \cdot R_N}{R_L + R_N} = \frac{6.545 \cdot 1.833}{4} = 3A$

* מעגל תקין:

נחשב את Rth; נקצר מקורות מתח, ננתק את R5 ונחשב את ההתנגדות שהוא רואה:



$$R_{th} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1+R_2} + \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3+R_4} = \frac{1 \cdot 1}{1+1} + \frac{2 \cdot 4}{2+4} = 1.833\,\Omega$$



במעגל השמאלי התחתון

$$E_1 - E_2 = 24 - 16 = 8V$$

לפי מחלק מתח:

$$U_{R2} = \frac{E \cdot R_2}{R_1+R_2} = 8 \cdot \frac{1}{1+1} = 4V$$

לפי המעגל הימני

$$U_{R3} = \frac{E_3 \cdot R_3}{R_3+R_4} = \frac{12 \cdot 2}{2+4} = 4V$$

ולפי קירכהוף על הלולאה האמצעית את המתח UAB.

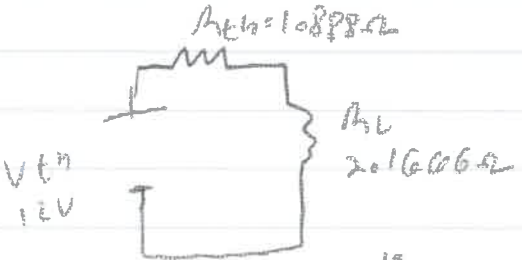
$$U_{AB} + U_{R2} + E_2 - E_3 + U_{R3} = 0$$

$$U_{AB} = -4 - 16 + 12 - 4$$

$$U_{AB} = -12$$

$$V_{th} = 12$$

נשרטט מעגל תקין



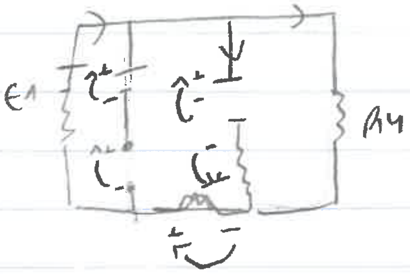
$$I = \frac{V_{th}}{R_{th}+R_L} = \frac{12}{1.833+2.1666} = 12/4 = 3A$$

ב. מעגל תקין:

$$R_{34} = \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3+R_4} = \frac{2 \cdot 4}{2+4} = \frac{4}{3}$$

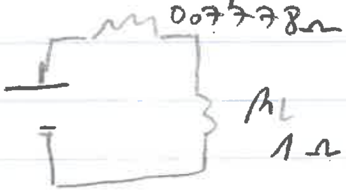
$$R_{345} = R_{34} + R_5 = \frac{4}{3} + 2.166 = 3.499$$

$$R_{th} = \frac{R_{345} \cdot R_1}{R_1+R_{345}} = \frac{3.499 \cdot 1}{1+3.499} = 0.7778\,\Omega$$



V_{th}

מעגל תבנין: R_{th} [illegible]

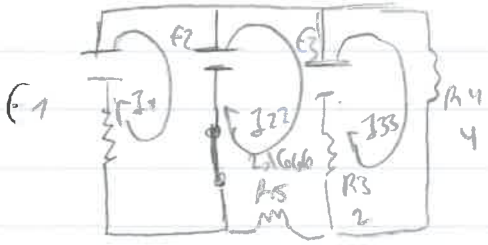


$$I = \frac{V_{th}}{R_{th}+R_L} = \frac{4.445}{1+0.778} = 2.5A$$

בס״ד

משפט נורטון: $R_N = 0.7778\Omega$

נתבקש את R_L ונמצא I_N



נפתור באמצעות זרמי חוגים:

$$\begin{cases} E_1 - E_2 = I_{11} \cdot R_1 \\ E_2 - E_3 = I_{22} \cdot R_5 + (I_{22} - I_{33}) R_3 \\ E_3 = I_{33} \cdot R_4 + (I_{33} - I_{22}) R_3 \end{cases}$$

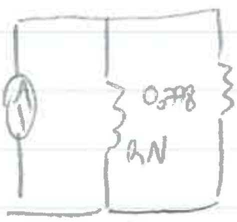
$$\begin{cases} 24 - 16 = I_{11} = 8 \\ 16 - 12 = 2.166 I_{22} + 2I_{22} - 2I_{33} \\ 12 = 4I_{33} + 2I_{33} - 2I_{22} \end{cases} \qquad \begin{cases} 8 = 2I_{11} \\ 4 = 4.166 I_{22} - 2I_{33} \\ 12 = 6I_{33} - 2I_{22} \end{cases}$$

$$I_{33} = 2.762$$

$$I_{22} = 2.286$$

$$I_N = I_{11} - I_{22} = 8 - 2.286 = 5.714A$$

מעגל נורטון



ע״פ מחלק זרם $I_L = \frac{I_N \cdot R_N}{R_L + R_N} = 0.5A$

ב. עבור $R_L = 1.1666\Omega$ נקבל

$$I_L = \frac{I_N \cdot R_n}{R_L + R_n}$$

$$6.545 \cdot \frac{1.833}{1.833 + 1.166} = 4A.$$

לפי תבנין:

$$I = \frac{V_{th}}{R_{th} + R_n} = \frac{12}{1.83 + 1.666} = \frac{12}{3} = 4A$$