

פתרון מבחן מה"ט

תורת

החשמל

אביב 2008

פתר: אבי יומטוביאן

©

כל הזכויות שמורות

1

$R = 150 \Omega$

$C = 14 \cdot 110 \cdot 10^{-6} = 1.54 \mu F$

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$

$\mu_r = 2150$

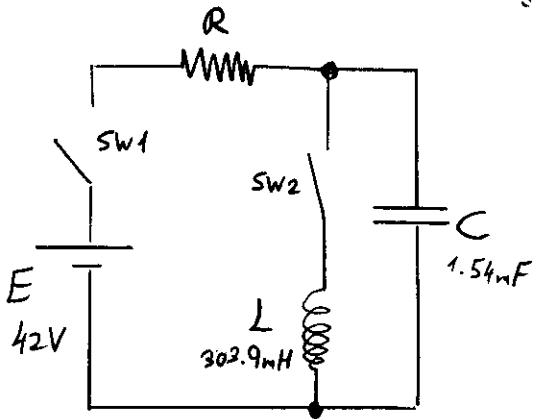
$l = 0.4 \text{ m}$

$A = 5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

המגנט "המגנט"  $\rightarrow$   $R_m = \frac{l}{\mu_0 \mu_r A} = \frac{0.4}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2150 \cdot 5 \cdot 10^{-4}} = 296.102 \cdot 10^3 \frac{1}{H}$

$N = 300$

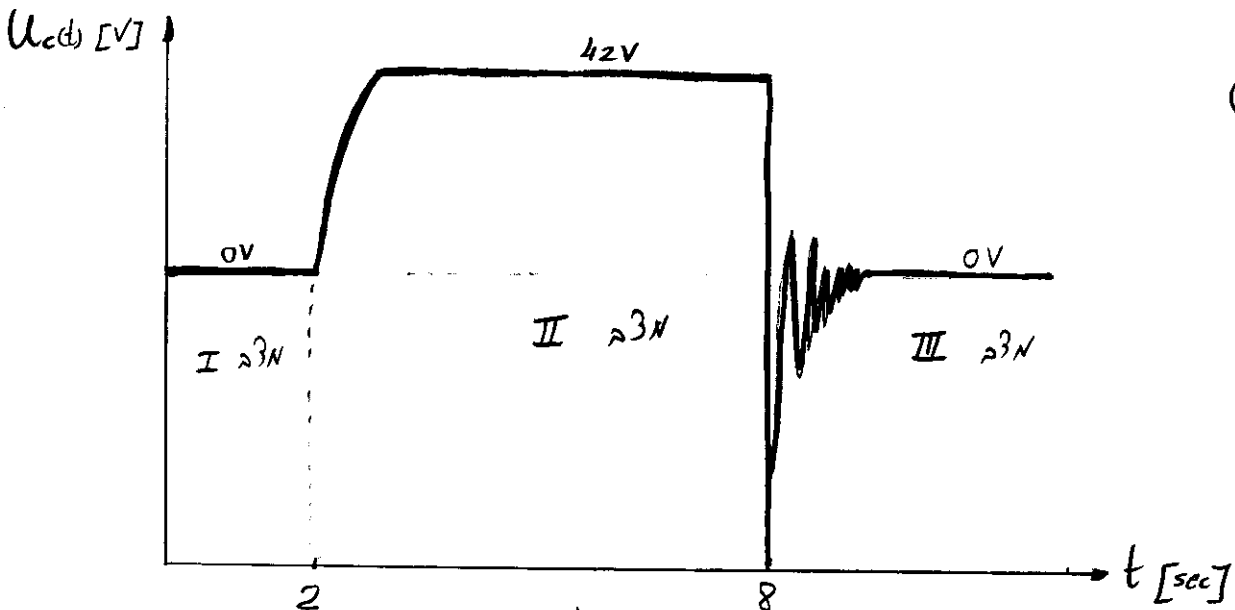
$L = \frac{N^2}{R_m} = \frac{300^2}{296.102 \cdot 10^3} = 303.949 \mu H$



Ⓐ כצביר 2 שניות הצבירו את המתג SW1 סגור,  $t = 8 \text{ sec}$  כצביר 6 שניות אחרי הצבירת המתג SW1 סגור,  $t = 8 \text{ sec}$  כצביר 2 שניות את SW2 סגור.

הצביר:  $t = 2 \text{ sec}$  הקבץ מתחיל להטות (מתחיל RC טורי).

ב-  $t = 8 \text{ sec}$  נכנס הסליל לתמונה, ומשחרר וקבץ הסליל מתחיל להטות, ישן תוצאות מתחילות להטות,  $t = 8 \text{ sec}$  שחרור וקבץ הסליל יורד לסוף.



$$W_c = \frac{C \cdot U_c^2}{2}$$

⇓

$$[I] \quad W_c = \frac{1.54 \cdot 10^{-3} \cdot 0^2}{2} = 0 \text{ J,,}$$

$$[II] \quad W_c = \frac{1.54 \cdot 10^{-3} \cdot 42^2}{2} = 1.358 \text{ J,,}$$

$$[III] \quad W_c = \frac{1.54 \cdot 10^{-3} \cdot 0^2}{2} = 0 \text{ J,,}$$

$$\textcircled{d} \quad W_L = \frac{L \cdot I^2}{2}$$

⇓

$$[I] \quad I_L = 0 \text{ A} \Rightarrow W_L = \frac{303.949 \cdot 10^{-3} \cdot 0^2}{2} = 0 \text{ J}$$

γ<sub>max</sub> 850<sub>2</sub>

$$[II] \quad I_L = 0 \text{ A} \Rightarrow W_L = \frac{303.949 \cdot 10^{-3} \cdot 0^2}{2} = 0 \text{ J}$$

γ<sub>max</sub> 850<sub>2</sub>

$$[III] \quad \begin{array}{c} \text{---} R = 150 \Omega \text{---} \\ | \\ E = 42 \text{ V} \text{---} | \\ | \\ L \\ | \\ \text{---} I_L \text{---} \\ | \\ \text{---} C \text{---} \end{array} \Rightarrow I_L = \frac{E}{R} = \frac{42}{150} = 0.28 \text{ A}$$

$$W_L = \frac{303.949 \cdot 10^{-3} \cdot 0.28^2}{2} = 11.914 \text{ mJ}$$

$$\textcircled{3} \quad P_R = I_R^2 \cdot R$$

⇓

$$[I] \quad I_R = 0 \text{ A} \Rightarrow P_R = 0 \text{ W}$$

$$[II] \quad I_R = 0 \text{ A} \Rightarrow P_R = 0 \text{ W}$$

$$[III] \quad I_R = I_L = 0.28 \text{ A} \Rightarrow P_R = 0.28^2 \cdot 150 = 11.76 \text{ W,,}$$

2

$$U_0(t) = 5V = \begin{cases} \text{Binn} \rightarrow 5V \\ \text{Effekt} \rightarrow 5V \end{cases}$$

$$U_1(t) = 37 \sin(\omega_1 t) = \begin{cases} \text{Binn} \rightarrow 0V \\ \text{Effekt} \rightarrow \frac{37}{\sqrt{2}} V \end{cases}$$

$$U_3(t) = 14 \sin(3\omega_1 t + 0.45) = \begin{cases} \text{Binn} \rightarrow 0V \\ \text{Effekt} \rightarrow \frac{14}{\sqrt{2}} \end{cases}$$

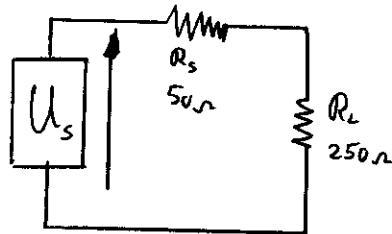
⊙  $\omega_3 = 3\omega_1 = 3 \cdot 7540 = 22620 \text{ rad/sec}$

$$f_3 = \frac{\omega_3}{2\pi} = \frac{22600}{2\pi} = 3600 \text{ Hz} = 3.6 \text{ kHz}$$

:  $U_{S(av)}$  Binn und dann mit  $R_L$  und  $R_S$  (⊙)

$$U_{S(av)} = 5 + 0 + 0 = 5V$$

⇓

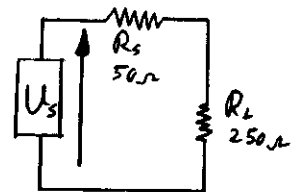


$$U_{R_L(av)} = U_{S(av)} \cdot \frac{R_L}{R_L + R_S} = 5 \cdot \frac{250}{300} = 4.166 V$$

:  $U_{S(RMS)}$  Effektiv dann mit  $R_L$  und  $R_S$  (⊙)

$$U_{S(RMS)} = \sqrt{5^2 + \left(\frac{37}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{14}{\sqrt{2}}\right)^2} = 28.416 V$$

⇓



$$U_{R_L(RMS)} = U_{S(RMS)} \cdot \frac{R_L}{R_L + R_S} = 28.416 \cdot \frac{250}{300} = 23.68 V$$

⇓



$$\textcircled{3} P_{R_2} = \frac{U_{R_2(RMS)}^2}{R_2} = \frac{23.68^2}{250} = 2.243 W$$

(ה) נתון כי אנו יודעים את זרם המוליך הממוצע של המעגל. מכיון ש- $U_1$   
 ו- $U_3$  הם אותם סינוס מתחילים, עם מתח הממוצע של כל אחד  
 מהם זהה גם (כיון שהתחילת המעגל זהה למעגל), ולכן רק  
 $U_0$  הוא הקוטר הממוצע של המעגל. לפיכך מכיון שהמתח הממוצע  
 של הזרם באותו יחיד קבוע:

$$I = \frac{U_0}{R_1 + R_2}$$

$$I = \frac{5}{300}$$

$$I = \frac{1}{60} \text{ /} \cdot t$$

$$I \cdot t = \frac{t}{60}$$

$$Q = \frac{t}{60}$$

נוסח המוליך הממוצע  
 הזרם הממוצע

$$t = 45 \text{ sec}$$



$$Q = \frac{45}{60} = 0.75 C //$$

3

$I_{R_5} = 0.6A$



$U_{R_5} = U_{AB} = I_{R_5} \cdot R_5 = 0.6 \cdot 75 = 45V$



Loew  
Indiv

$U_{AB} = \frac{\frac{E_1}{R_1+R_3} + \frac{E_2}{R_2+R_4}}{\frac{1}{R_1+R_3} + \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_2+R_4}}$

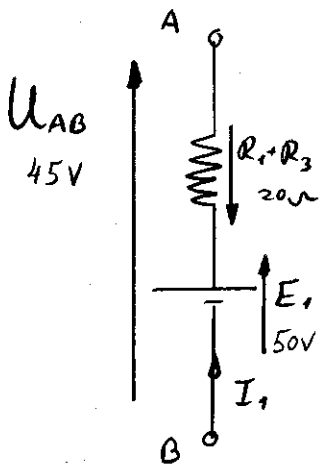
$45 = \frac{\frac{50}{20} + \frac{E_2}{30}}{1/20 + 1/75 + 1/30}$

$45 = \frac{2.5 + \frac{E_2}{30}}{0.0966}$

$4.35 = 2.5 + \frac{E_2}{30}$

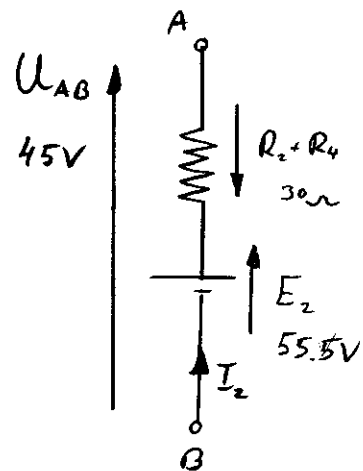
$E_2 = 55.5V$

2



$I_1 = \frac{E_1 - U_{AB}}{R_1+R_3} = \frac{50-45}{20} = 0.25A$

$P_{E_1} = I_1 \cdot E_1 = 0.25 \cdot 50 = 12.5W$



$I_2 = \frac{E_2 - U_{AB}}{R_2+R_4} = \frac{55.5-45}{30} = 0.35A$

$P_{E_2} = I_2 \cdot E_2 = 0.35 \cdot 55.5 = 19.425W$

$$\textcircled{c} P_{R_2} = I_{R_5} \cdot U_{R_5} = 0.6 \cdot 45 = 27 \text{ W}$$



$$\eta_{\%} = \frac{P_{R_2}}{P_{E_1} + P_{E_2}} \cdot 100\% = \frac{27}{12.5 + 19.425} \cdot 100\% = 84.57\% //$$

4<sup>ⓔ</sup>  $\underline{Z}_{eq} = \underline{Z}_{TH} = \underline{Z}_1 \parallel \underline{Z}_2 = 4 \angle 75^\circ \parallel 8 \angle 60^\circ = 2.687 \angle +70^\circ \Omega //$

לעול  
למשך

$$\underline{E}_{eq} = \frac{\frac{E_1}{Z_1} + \frac{E_2}{Z_2}}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2}} = \frac{\frac{48 \angle 120^\circ}{4 \angle 75^\circ} + \frac{52 \angle -45^\circ}{8 \angle 60^\circ}}{\frac{1}{4 \angle 75^\circ} + \frac{1}{8 \angle 60^\circ}} =$$

$$= \frac{16.255 \angle -65^\circ}{0.372 \angle -70^\circ} = 43.68 \angle 4.75^\circ V //$$

ⓐ רוצים לראות מתי (ולא הספק מתי!!!), ולשא בק האפנה  
הכוללת צריכה להיות הקלנה ביותר:

$\underline{Z}_{Load} = 0 \Omega //$  (קצר)

ⓑ לא ניתן לבנות מתי תרבות לראות היחסיין.  
 PE היינו יוצרים גופל קבל או סליל שמצא בטוב מן  
 התרבות המוצע היינו יוצרים אמצע את התרבות  
 מנסות היגב הממאמה.



5

$$\textcircled{1} U = E - I \cdot r$$

$I=0$  כולו,  $E$  רק 30V  $E$  רק 30V

$$U = E - 0 \cdot r$$

$$U = E = 30V, \quad \text{כיוון } I=0 \text{ - } \delta$$

כיוון  $E$  רק 30V  $E$  רק 30V

$$U = E - I \cdot r$$

$$25 = 30 - 40 \cdot r$$

$$r = \frac{25-30}{-40} = 0.125 \Omega$$

$$\textcircled{2} U = U_R = 25V \Rightarrow R = \frac{U_R}{I_R} = \frac{25}{40} = 0.625 \Omega$$

$$I = I_R = 40A$$

$$\textcircled{3} P_E = E \cdot I \Rightarrow P_{E_{max}} = E \cdot I_{max} = 30 \cdot \frac{E}{r} = 30 \cdot \frac{30}{0.125} = 7200W$$

יכול להיות  
במקרה  
הפוך

$$I_{max} = \frac{E}{r} = \frac{30}{0.125} = 240A, \quad U = E - I \cdot r = 30 - 30 = 0V$$

כיוון  $E$  רק 30V  $E$  רק 30V  $P_{E_{max}} = 7200W$

$$R_A = 0 \Omega (= r)$$

$$R_V \rightarrow \infty (= r)$$

ⓐ  $U = 225V$   
 $I = 6.7A \Rightarrow Z = \frac{U}{I} = \frac{225}{6.7} = 33.582 \Omega$

$P = 875W \Rightarrow P = I^2 \cdot R$

$875 = 6.7^2 \cdot R$

$R = 19.5 \Omega$

$X = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{33.582^2 - 19.5^2} = 27.346 \Omega$

ⓑ אם שלב ניתן עומה  $\varphi$  המצגם בעד היגב השראי בו קיבול, אגם  
 מקור ניתן אגב אגז צ'ור המופז של המצגם  $\varphi$

$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{19.5}{33.582} = 0.58 \Rightarrow \varphi = 54.5^\circ$

מכיון שגרו מצגם אורי, נניח שצ'ור המופז של השראי היא  $0^\circ$ , וכאן  
 כן צ'ור המופז של המצגם היא  $\varphi = 54.5^\circ$



$U = 225 \angle 54.5^\circ V$ ,  $I = 6.7 \angle 0^\circ A$ ,  $Z = 33.582 \angle 54.5^\circ \Omega$

כאומר משיקולי נוחות התאנו שערכה יש אגז השראי:

$Z = 33.582 \angle 54.5^\circ = (19.5 + j27.346) \Omega$

Ⓒ נשתה בטוחה מוכנה אהמרה הנגד:

$R_p = \frac{R_s^2 + X_s^2}{R_s} = \frac{19.5^2 + 27.346^2}{19.5} = 57.833 \Omega$

$X_p = \frac{R_s^2 + X_s^2}{X_s} = \frac{19.5^2 + 27.346^2}{27.346} = 41.24 \Omega$

② ההגב שבזוהם בעל אופי קיבולתי. נסביר בקצרה את הסיבה לקביעה זו: ח'ב'ר קבל מוכר לנו בזיק סדר משמעות של שיפור מקצב ההספק  $(\cos \phi)$ , כשר ההספק הכולל של המעגל נתון ע"י:

$$\underline{S} = \underline{U} \cdot \underline{I}^*$$

במקרה שלנו, לפני נאחזי ח'ב'ר הקבל המתח  $\underline{U}$  נשאר כזוכו, ומאז'ק הזרם יצא לאחרי ח'ב'ר הקבל  $\Rightarrow \underline{S} \Leftarrow$  גודל. כ'ב'ר  $\underline{S}$  מורגב מהקבולי הבא:

$$\underline{S} = P + jQ$$

כשר  $P$  הוא ההספק של הנעבים האהוויים במעגל, ואילו  $Q$  הוא ההספק של הרביבים ההגב"פ כ'ב'ר סדר יקבל. במקרה שלנו  $P$  נשאר קבוע כי לא הוספנו נעבים למעגל, ואכן הסיבה הח'ב'ר לעצירת  $\underline{S}$  הוא צבירת  $Q$ .

אם הזוהם היה בעל אופי הרטאי (כ'ב'ר שהנתנו מ'ק'ול'י מ'ח'ר בסדר ע"י ח'ב'ר הקבל מק'ול'ן את ה-  $Q$  מ'וס כ'ן הזוהם הוא בעל אופי קיבולתי.



$$\underline{Z} = (19.5 - j27.346) \Omega = 33.582 \angle -54.5^\circ \Omega$$

$$\underline{I} = 6.7 \angle 0^\circ \text{ A}$$

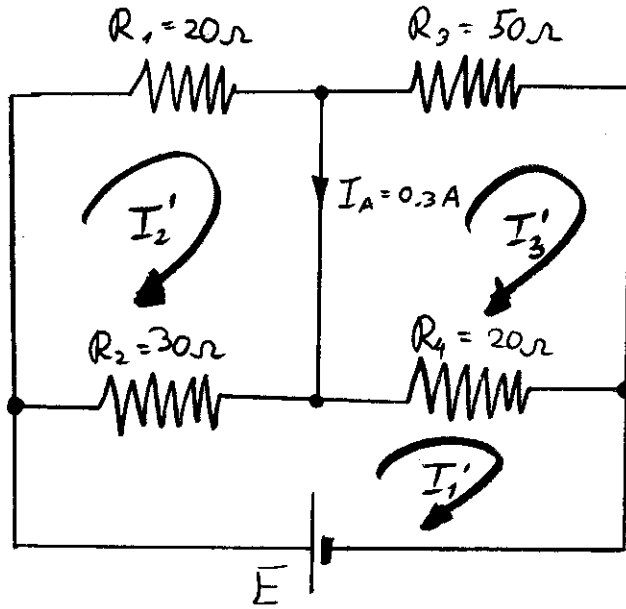
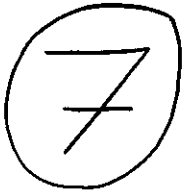
$$\underline{U} = 225 \angle -54.5^\circ \text{ V}$$

המשולבות  
העבות  
זכ'ר סדר  
ע'

ק'ח'ת מ'ב המתח לא תשתנה, כי הוא מחובר במקביל למקור מתח, ולקבל החצב אין שום השפעה זל'ו.

ק'ח'ת מ'ב ההספק לא תשתנה, כי לא הוספנו נעבים למעגל. במ'ב'ר זה"נו מתחילים את הקבל ב'ל'ר הזוהם, אזי גם  $P$  היה משתנה זקב ש'נ' הזרם זיק הזוהם, אך זה לא המקרה בתהליך.

③ מקור המתח קבוע את תצ'ית זרם הח'לופין שבה פועל המעגל.



הזרם: המפיון שמש הזרם  
איננו לא 3"1  
אשר במחול קפ"י  
לפיך המספר  
הפול"י.

הזרם: קפ"י שמש לפי  
הנתנו שקולב"י  
מקור המתח E  
הא כמתאר במחול.  
באיפה והמתח הי"נה  
מול"ת נקבע אשר  
E בסיון (-).

הזרם: המפיון שמש הזרם, 20°C של בל"מ' אחר, 20°C של בל"מ' אחר, 20°C של בל"מ' אחר, 20°C של בל"מ' אחר.

⊕

$$\begin{cases} +R_{11}I_1' - R_{12}I_2' - R_{13}I_3' = E_1' \\ -R_{21}I_1' + R_{22}I_2' - R_{23}I_3' = E_2' \\ -R_{31}I_1' - R_{32}I_2' + R_{33}I_3' = E_3' \end{cases} \leftarrow \begin{matrix} \text{משוואת} \\ \text{"כר"מ' חול"י"} \end{matrix}$$

$$\begin{aligned} R_{11} &= R_2 + R_4 = 30 + 20 = 50 \Omega & E_1' &= +E \\ R_{22} &= R_2 + R_1 = 30 + 20 = 50 \Omega & E_2' &= 0 \\ R_{33} &= R_4 + R_3 = 20 + 50 = 70 \Omega & E_3' &= 0 \\ R_{12} &= R_{21} = R_2 = 30 \Omega \\ R_{13} &= R_{31} = R_4 = 20 \Omega \\ R_{23} &= R_{32} = 0 \Omega \end{aligned}$$



$$\begin{cases} +50I_1' - 30I_2' - 20I_3' = E \\ -30I_1' + 50I_2' - 0 \cdot I_3' = 0 \\ -20I_1' - 0 \cdot I_2' + 70I_3' = 0 \end{cases}$$

קבלנו מערכת של משוואות  
משוואת פר 4 נעזמים,  
כאשר תורה על משוואה,  
ונכנס ענ"ס אשר מן הנתון

$$\begin{aligned} I_2' - I_3' &= 0.3 \\ 0 \cdot I_1' + 1 \cdot I_2' - 1 \cdot I_3' &= 0.3 \end{aligned}$$

IA = 0.3A ←

אם נסדר את כל 4 המשוואות בצורה מ/ה' ציורית נקבל:

$$\begin{cases} +50I_1' - 30I_2' - 20I_3' - 1 \cdot E = 0 \\ -30I_1' + 50I_2' - 0 \cdot I_3' - 0 \cdot E = 0 \\ -20I_1' - 0 \cdot I_2' + 70I_3' - 0 \cdot E = 0 \\ -0 \cdot I_1' + 1 \cdot I_2' - 1 \cdot I_3' - 0 \cdot E = 0.3 \end{cases}$$

אם נציב את המצרפת הנ"ל במתבון מתאים נקבל:

$$I_1' = 0.954 \text{ A}$$

$$I_3' = 0.272 \text{ A}$$

$$I_2' = 0.572 \text{ A}$$

$$E = 25.09 \text{ V}$$

הקואליות של E היא כפי שבנינה בטול.

במציבה ואין לנו מתבון שמתקם בפתיחה 4 משוואות, נצטרך "דעגוב" קצת "נרשום" את המצרפת הנ"ל בצורה יותר פשוטה:

$$\begin{cases} ① & 50I_1' - 30I_2' - 20I_3' = E \\ ② & -30I_1' + 50I_2' = 0 \\ ③ & -20I_1' + 70I_3' = 0 \\ ④ & I_2' - I_3' = 0.3 \end{cases}$$

משוואה מספר ③ ניתן לחלק ב:

$$I_1' = 3.5I_3'$$

נציב את הביטוי שקבלנו בשאר המשוואות:

$$\begin{cases} ① & 50(3.5I_3') - 30I_2' - 20I_3' = E \\ ② & -30(3.5I_3') + 50I_2' = 0 \\ ④ & I_2' - I_3' = 0.3 \end{cases}$$



$$\begin{cases} ① & 175I_3' - 30I_2' - 20I_3' = E \\ ② & -105I_3' + 50I_2' = 0 \\ ④ & I_2' - I_3' = 0.3 \end{cases}$$



$$\begin{array}{l} \textcircled{1} \quad -30I_2' + 155I_3' = E \\ \textcircled{2} \quad +50I_2' - 105I_3' = 0 \\ \textcircled{4} \quad I_2' - I_3' = 0.3 \end{array}$$


---

לסדר את המשוואות בהתאמה:

$$\begin{array}{l} -30I_2' + 155I_3' - 1 \cdot E = 0 \\ +50I_2' - 105I_3' - 0 \cdot E = 0 \\ +1 \cdot I_2' - 1 \cdot I_3' - 0 \cdot E = 0.3 \end{array}$$


---

$$\begin{array}{l} I_2' = 0.572A \\ I_3' = 0.272A \end{array} \quad \Downarrow \quad E = 25.09V //$$

ב) בקצב של 3 מעלות צלזיוס, הוסיף לרשת, הוסיף 30 אומטר, הוסיף 50 אומטר, הוסיף 20 אומטר

$$R_1 \cdot R_4(\theta) = R_2 \cdot R_3$$

$$20 \cdot R_4(\theta) = 30 \cdot 50$$

$$R_4(\theta) = 75 \Omega$$

$$R_{4(20)} [1 + \alpha(\theta - 20)] = 75$$

$$20 \cdot [1 + 0.04(\theta - 20)] = 75 \quad /: 20$$

$$1 + 0.04(\theta - 20) = 3.75 \quad /-1$$

$$0.04(\theta - 20) = 2.75 \quad /: 0.04$$

$$\theta - 20 = 68.75 \quad /+20$$

$$\theta = 88.75^\circ C //$$

ד) בולטת יש פנלס את העצם של 30 מעלות צלזיוס, הוסיף 20 מעלות צלזיוס, הוסיף 50 מעלות צלזיוס, הוסיף 30 מעלות צלזיוס.  $88.75^\circ C$  של 20 מעלות צלזיוס



$$\underline{I}_T = \frac{\underline{E}}{\underline{Z}_T} = \frac{420 \cdot 10^{-3} \angle 0}{126 \angle 0} = 3.333 \angle 0 \text{ mA} //$$

Ⓛ) ניתן לראות שהמומנט בטמפרטורה, ישנו פיצול אחר  
 לגביה בשיט' אחרת

Ⓛ)  $\phi_{Z_T} = 0^\circ \Rightarrow$  המומנט  
 בתמיכה!

Ⓜ)  $Z_T = (126 + j0) \Omega \Rightarrow X_T = 0 \Omega \Rightarrow$  המומנט  
 בתמיכה

צריך אגב, הנסחאות אלו הם תמיכה זה מוצאת הנסחאות  
 צביר המקרה מוצג תמיכה מקביל' LVN, כשה  $R \rightarrow \infty$ .