

מועד הבחינה :
קיץ תשפ"ה - 2025 - מועד ב'
מספר השאלון : 97100
נספח : נוסחאון

פתרון תורת החשמל ומבוא לאלקטרוניקה להנדסאים במגמת הנדסת אלקטרוניקה 97100

פתרון שאלה 1

א.

$$V_a = I_1 \cdot R_2 = 2 \cdot 6 = 12V R_{TH}' = R_2 + R_3 = 8k\Omega$$

$$V_b = V_1 \cdot \frac{R_4}{R_4 + R_5} = 20 \cdot \frac{25}{25 + 75} = 5V R_{TH}'' = R_4 \parallel R_5 = 25 \parallel 75 = 18.75k\Omega$$

$$V_{ab} = 7V R_{TH} = R_{TH}' + R_{TH}'' = 26.75k\Omega$$

ב.

$$R_{TH} = R_L$$

$$26.75 = 25 \cdot [1 + 0.008 \cdot (T - 20)] \Rightarrow T = 28.75^\circ\text{C}$$

פתרון שאלה 2

א. רישום משוואות זרמים בצמתים:

$$\frac{V_a - V_b}{R_2} + \frac{V_a - V_2}{R_5} - I_1 = 0$$

$$\frac{V_b - V_a}{R_2} + \frac{V_b - V_1}{R_3} + \frac{V_b - V_2}{R_4} = 0$$

$$\frac{V_a - V_b}{3} + \frac{V_a - 12}{4} - 6 = 0$$

$$\frac{V_b - V_a}{3} + \frac{V_b + 4}{2} + \frac{V_b - 12}{2} = 0$$

$$\begin{pmatrix} \frac{1}{3} + \frac{1}{4} & -\frac{1}{3} \\ -\frac{1}{3} & \frac{1}{3} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} V_a \\ V_b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3 + 6 \\ -2 + 6 \end{pmatrix}$$

$$V_a = 20V, V_b = 8V$$

ב.

$$V_{I1} = V_a + I_1 \cdot R_1 = 20 + 4 \cdot 6 = 44V \Rightarrow P_{I1} = 44 \cdot 6 = 264mW_{\text{supply}}$$

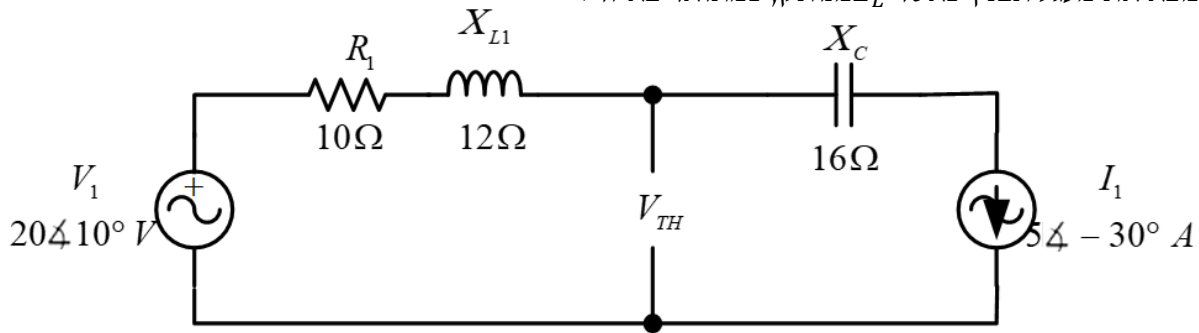
$$I_{V1} = \frac{V_b - V_1}{R_3} = \frac{8 + 4}{2} = 6mA \Rightarrow P_{V1} = 6 \cdot 4 = 24mW_{\text{supply}}$$

$$I_{V2} = 0, P_{V2} = 0$$

$$I_{V2} + I_{R4} + I_{R5} = 0; I_{V2} + \frac{V_b - V_2}{R_4} - \frac{V_a - V_2}{R_5} = 0; I_{V2} + \frac{8 - 12}{2} - \frac{20 - 12}{4} = 0 \Rightarrow I_{V2} = 0$$

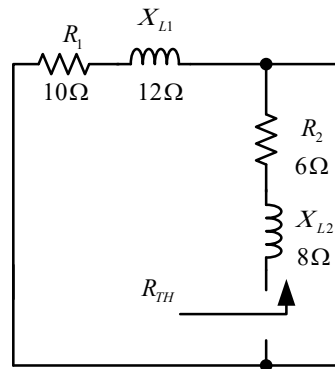
פתרון שאלה 3

א. נמצא את מעגל תבנית כאשר Z_L מנותק, כמתואר באיור:



$$V_{TH} = V_1 - (R_1 + j \cdot X_{L1}) \cdot I_1 = 20\angle 10^\circ - (10 + 12j) \cdot 5\angle -30^\circ = 58.525\angle -156.338^\circ$$

חישוב התנגדות R_{TH} (קיצור מקור מתח, ניתוק מקור זרם):

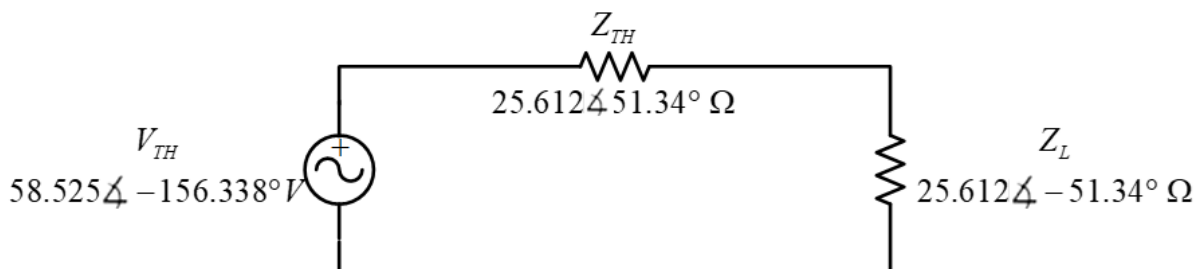


$$Z_{TH} = R_1 + Z_{L1} + R_2 + Z_{L2} = 10 + 12j + 6 + 8j = 16 + 20j = 25.612\angle 51.34^\circ$$

להעברת הספק מקסימלי:

$$Z_L = Z_{TH}^* = 25.612\angle -51.34^\circ$$

ב. תיאור המעגל:



$$I = \frac{V_{TH}}{Z_{TH} + Z_L} = \frac{58.525\angle -156.338^\circ}{25.612\angle 51.34^\circ + 25.612\angle -51.34^\circ} = 1.828\angle -156.34^\circ$$

$$P = Z_L \cdot I^2 = (1.828\angle -156.34^\circ)^2 \cdot (25.612\angle -51.34^\circ) = 85.584W$$

אפשר גם:

$$P = I^2 \cdot R = 1.858^2 \cdot 25.612 = 85.584W$$

פתרון שאלה 4

א. משוואות זרמים בצומת:

$$\begin{aligned} \frac{V - V_{S1}}{R_1 + jX_L} + \frac{V}{R_3 - jX_C} + \frac{V - V_{S2}}{R_2} &= 0 \\ \frac{V - 100\angle 30^\circ}{10 + j5} + \frac{V}{2 - 8j} + \frac{V - 150\angle 60^\circ}{6} &= 0 \\ V \cdot \left(\frac{1}{10 + j5} + \frac{1}{2 - 8j} + \frac{1}{6} \right) &= \frac{100\angle 30^\circ}{10 + j5} + \frac{150\angle 60^\circ}{6} \\ 0.2867\angle 15.708^\circ \cdot V &= 30.845\angle 46^\circ \\ V &= 107.586\angle 30.28^\circ \text{ V} \end{aligned}$$

ב.

$$\begin{aligned} I_{VS2} &= \frac{V_{S2} - V}{R_2} = \frac{150\angle 60^\circ - 107.586\angle 30.28^\circ}{6} = 12.955\angle 103^\circ \text{ [A]} \\ I_{VS1} &= \frac{V_{S1} - V}{R_1 + jX_L} = \frac{100\angle 30^\circ - 107.586\angle 30.28^\circ}{10 + j5} = 0.68\angle -172.9^\circ \text{ [A]} \\ S_{VS1} &= V_{S1} \cdot I_{S1}^* = 100\angle 30^\circ \cdot 0.68\angle -172.6^\circ = 68\angle -157.4^\circ \text{ [VA]} \\ S_{VS2} &= V_{S2} \cdot I_{S2}^* = 150\angle 60^\circ \cdot 12.955\angle -103^\circ = 1943.25\angle -43^\circ \text{ [VA]} \end{aligned}$$

פתרון שאלה 5

א.

$$T = 8msec \Rightarrow f = \frac{1}{T} = \frac{1}{8m} = 125Hz, \omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 785.398rad/sec$$

$$v(t) = 5 + 3 \cdot \cos(785.398 \cdot t) = 5 + 3 \cdot \sin(785.398 \cdot t + 90^\circ)$$

ב.

$$V_{avg} = 5V$$

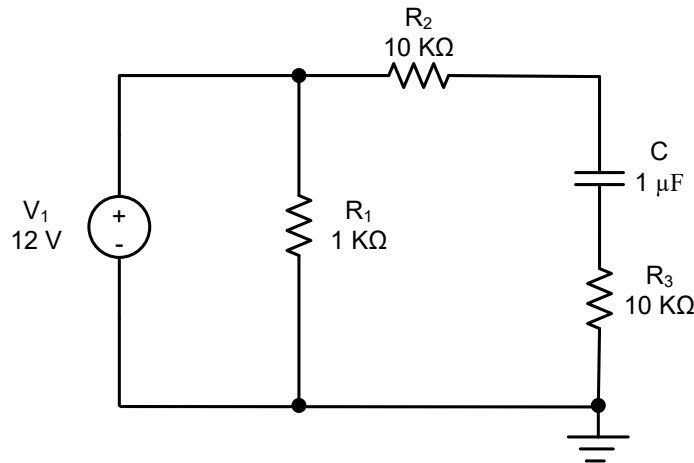
$$V_{rms} = \sqrt{V_{DC}^2 + V_{rms1}^2} = \sqrt{5^2 + \left(\frac{3}{\sqrt{2}}\right)^2} = 5.431V$$

ג.

$$P_R = \frac{V_{rms}^2}{R_L} = \frac{5.431^2}{10} = 2.95W$$

פתרון שאלה 6

א.ב. מעגל במצב a מוצג באיור הבא :



חישוב הזמן הדרוש למתח הקבל להגיע למתח 8V :

$$V_c(0) = 0V \quad V_c(\infty) = 12V \quad \tau_1 = C \cdot (R_2 + R_3) = 1\mu \cdot (10 + 10)K = 20msec$$

$$t = \tau \cdot \ln \frac{V_\infty - V_0}{V_\infty - V_t} = 20m \cdot \ln \frac{12 - 0}{12 - 8} = 21.972msec$$

$$V_{R3}(0^+) = V_1 \cdot \frac{R_3}{R_1 + R_3} = 12 \cdot \frac{10}{10 + 10} = 6V$$

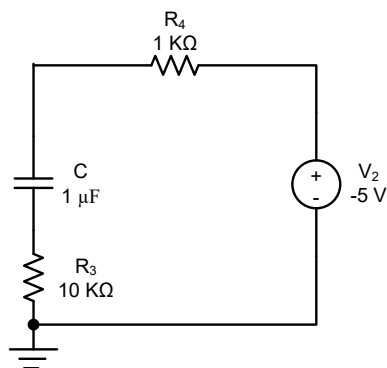
$$V_{R3}(21.972msec) = [V_1 - V_c(21.972msec)] \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_3} = (12 - 8) \cdot \frac{10}{10 + 10} = 4 \cdot 0.5 = 2V$$

$$V_{R3}(\infty) = 0V$$

$$V_{R3}(t) = 0 - [0 - 6] \cdot e^{-\frac{t}{\tau_1}} = 6 \cdot e^{-\frac{t}{20m}}$$

$$V_c(t) = 12 - [12 - 0] \cdot e^{-\frac{t}{\tau_1}} = 12 - 12 \cdot e^{-\frac{t}{20m}}$$

כאשר המפסק עובר למצב b, המתח על הקבל נשאר ברגע הראשון 8V. המעגל מוצג באיור הבא :



משוואת מתח הקבל:

$$V_c(0^*) = 8V, V_c(\infty) = -5V, \tau_2 = (R_4 + R_3) \cdot C = 11K \cdot 1\mu = 11msec$$

$$V_c(t^*) = -5 - [-5 - 8] \cdot e^{-\frac{t^*}{\tau_2}} = -5 + 13 \cdot e^{-\frac{t^*}{11m}}$$

ערכו של הזרם מיד לאחר העברת מפסק למצב b שווה ל:

$$I(0^{*+}) = \frac{V_c(0^*) - V_2}{R_3 + R_4} = \frac{8 - (-5)}{1 + 10} = 1.1818mA$$

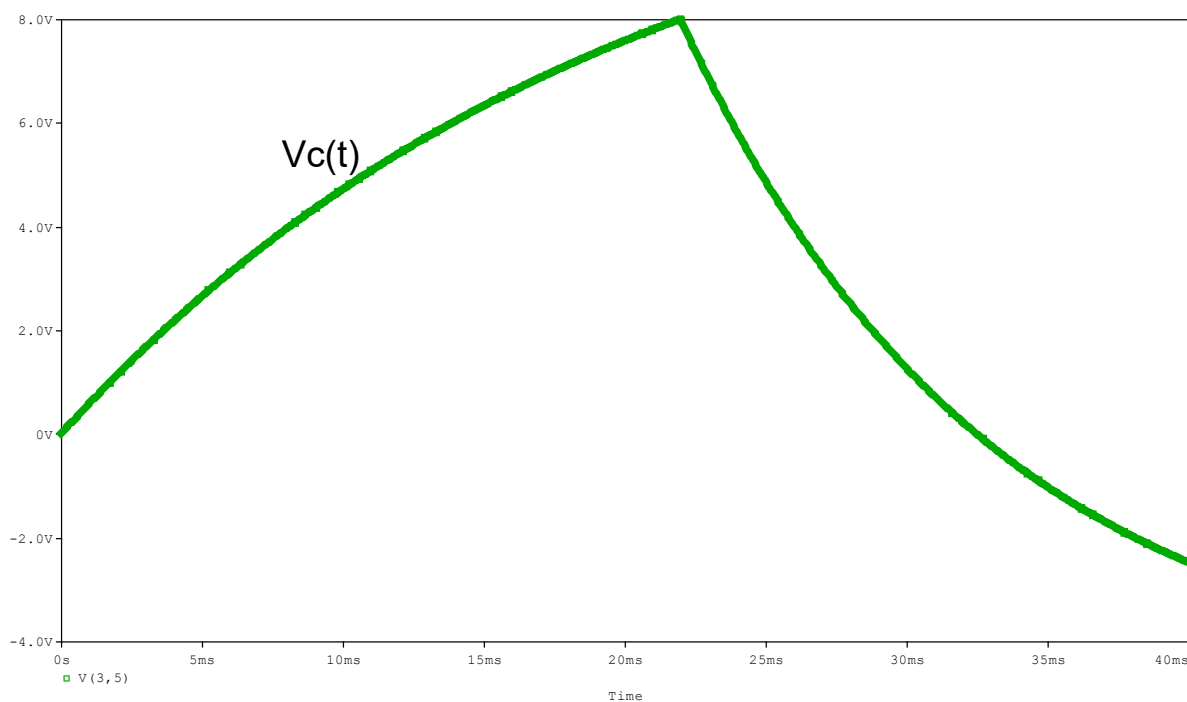
$$V_{R3}(0^{*+}) = -R_3 \cdot I(0^{*+}) = -10 \cdot 1.1818 = -11.818V$$

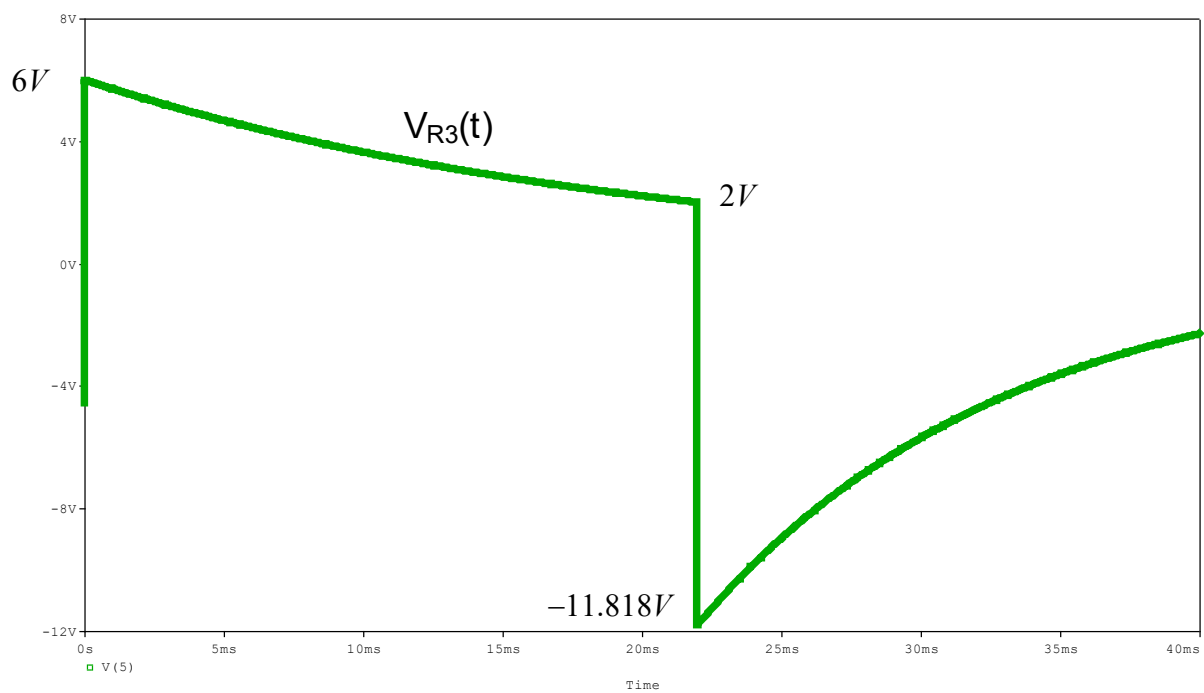
$$V_{R3}(t^*) = -11.818 \cdot e^{-\frac{t^*}{11m}}$$

$$V_c(30m) = -5 + 13 \cdot e^{-\frac{(30-21.972)}{11}} = 1.265V$$

$$V_{R3}(30m) = -11.818 \cdot e^{-\frac{(30-21.972)}{11}} = -5.696V$$

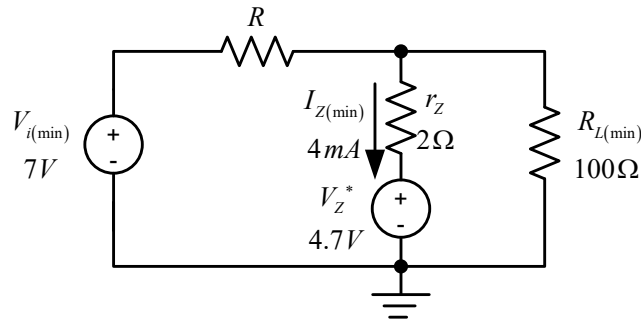
צורות הגלים:





פתרון שאלה 7

מקרה קיצוני ראשון: מתח המבוא מינימלי, עומס מושך זרם מכסימלי ועדיין הדיודה צריכה להיות בתחום הפריצה מתואר באיור הבא:



$$V_o = V_Z^* + I_{Z(min)} \cdot r_Z = 4.7 + 2 \cdot 0.004 = 4.708V$$

$$I_L = \frac{V_o}{R_{L(min)}} = \frac{4.708}{0.1} = 47.08mA$$

$$I_T = I_{Z(min)} + I_L = 4 + 47.08 = 51.08mA$$

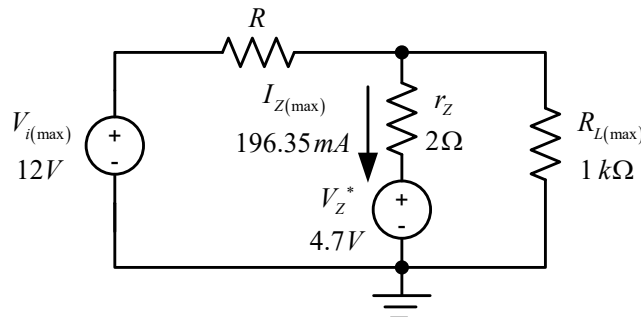
$$R_{max} = \frac{V_{i(min)} - V_o}{I_T} = \frac{7 - 4.708}{51.08} = 44.87\Omega$$

נחשב את הזרם המכסימלי לפי נתוני ההספק:

$$(V_Z^* + r_Z \cdot I_Z) \cdot I_Z = P; (4.7 + 2 \cdot I_Z) \cdot I_Z = 1$$

$$2 \cdot I_Z^2 + 4.7 \cdot I_Z - 1 = 0 \Rightarrow I_{Z(max)} = 196.35mA$$

המעגל מתואר באיור הבא:



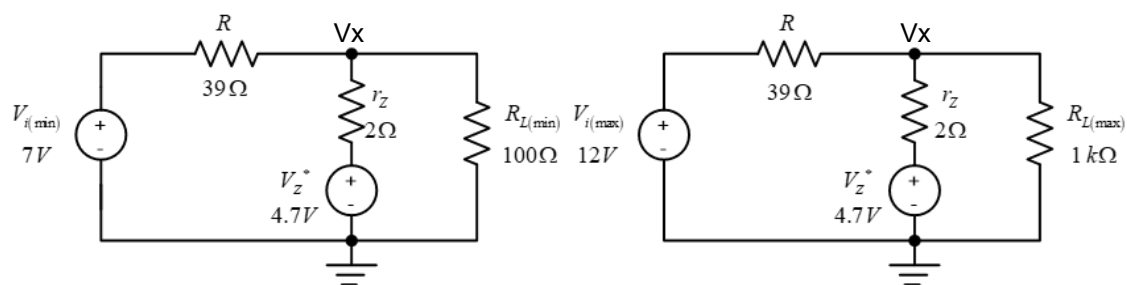
$$V_o = V_Z^* + r_Z \cdot I_{Z(max)} = 4.7 + 2 \cdot 0.19635 = 5.092V$$

$$I_{RL} = \frac{V_o}{R_{L(max)}} = \frac{5.092}{1} = 5.092mA$$

$$I_T = I_{Z(max)} + I_{RL} = 196.35 + 5.092 = 201.442mA$$

$$R_{min} = \frac{V_{i(max)} - V_o}{I_T} = \frac{12 - 5}{0.201} = 34.825\Omega$$

ב. מעגלים לחישוב מקדם ייצוב מתוארים באיור הבא :



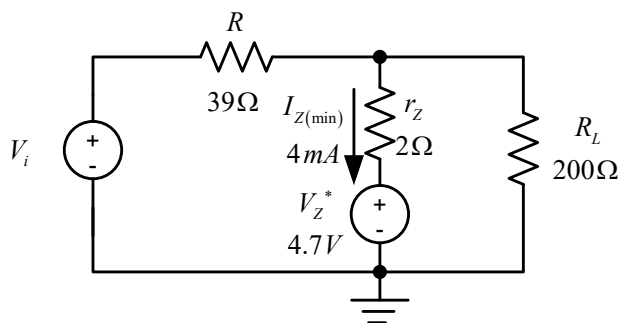
$$\frac{V_x - V_{i(\min)}}{R} + \frac{V_x - V_Z^*}{r_z} + \frac{V_x}{R_{L(\min)}} = 0 \quad ; \quad \frac{V_x - V_{i(\max)}}{R} + \frac{V_x - V_Z^*}{r_z} + \frac{V_x}{R_{L(\max)}} = 0$$

$$\frac{V_x - 7}{39} + \frac{V_x - 4.7}{2} + \frac{V_x}{100} = 0 \quad ; \quad \frac{V_x - 12}{39} + \frac{V_x - 4.7}{2} + \frac{V_x}{100} = 0$$

$$V_x = 4.7223V \quad ; \quad V_x = 5.0465V$$

$$\frac{\Delta V_o}{\Delta V_i} \cdot 100 = \frac{5.0465 - 4.7223}{12 - 7} \cdot 100 = 6.484\%$$

ג. נחשב את מתח המבוא V_i הגורם לפריצת הדיודה :



$$V_o = V_Z^* + r_z \cdot I_{Z(\min)} = 4.7 + 2 \cdot 0.004 = 4.708V$$

$$I_{RL} = \frac{V_o}{R_L} = \frac{4.708}{200} = 23.54mA$$

כאשר $V_i < 5.782V$ הדיודה לא נפרצת ומהווה נתק. מתח המוצא מחושב לפי מחלק מתח :

$$V_o = V_i \cdot \frac{R_L}{R_L + R} = V_i \cdot \frac{200}{200 + 39} = 0.8368 \cdot V_i$$

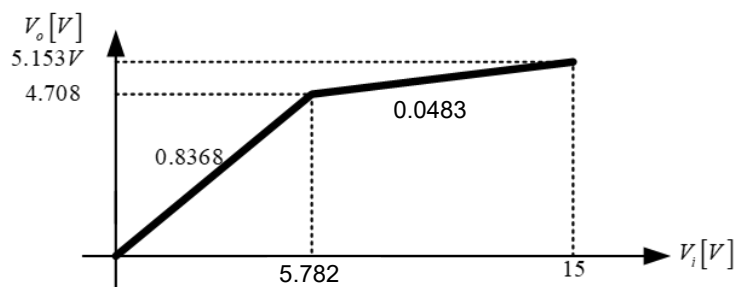
נחשב את מתח המוצא כאשר $V_i = 15V$:

$$\frac{V_o - V_i}{R} + \frac{V_o - V_Z^*}{r_z} + \frac{V_o}{R_L} = 0$$

$$\frac{V_o - 15}{39} + \frac{V_o - 4.7}{2} + \frac{V_o}{200} = 0 \Rightarrow V_o = 5.153V$$

$$\alpha = \frac{\Delta V_o}{\Delta V_i} = \frac{5.153 - 4.708}{15 - 5.782} = 0.0483$$

הגרף מתואר באיור הבא :



פתרון שאלה 8

א.

$$R_{DS(on)} = \frac{1}{2 \cdot K \cdot (V_{GS} - V_T)} = \frac{1}{400 \cdot (5 - 2)} = 0.833\Omega$$

ב.ג.

$$I_D(\infty) = I \frac{V_{DD}}{r} \frac{V_{DD}}{R} \frac{16}{0.1} \frac{16}{0.2} \frac{1}{I_{D(max())}}$$

$$\tau = \frac{L}{r} = 0.01 = 10msec ; I_D(0) = \frac{V_{DD}}{R} = \frac{16}{0.2} = 80mA$$

$$i_D(t) = I_\infty - [I_\infty - I_0] \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = 240 - (240 - 80) \cdot e^{-\frac{t}{10m}} = 240 - 160 \cdot e^{-\frac{t}{10m}}$$

$$i_L(t) = 160 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{10msec}}\right)$$

נחשב את זמן התפיסה – מתי זרם I_L מגיע ל- $100mA$:

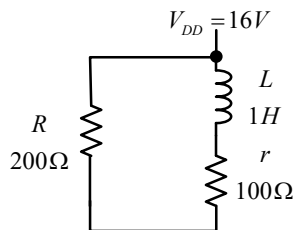
$$t = \tau \cdot \ln \frac{I_\infty - I_0}{I_\infty - I_t} = 10m \cdot \ln \frac{160 - 0}{160 - 100} = 9.808msec$$

נחשב את הזרם I_D ו- I_L בזמן $t = 10msec$:

$$I_L(10m) = 160 \cdot (1 - e^{-1}) = 101.139mA$$

$$I_D(10m) = 240 - 160 \cdot e^{-\frac{10m}{10m}} = 181.139mA$$

ב- $t = 10msec$ זרם I_D יורד לאפס. זרם I_L ממשיך לזרום במעגל הבא :



$$V_o(10m^+) = V_{DD} + R \cdot I_L(10m) = 16 + 0.2 \cdot 101.139 = 36.227V$$

מתח זה יורד לכיוון 16V עם קבוע זמן :

$$\tau' = \frac{L}{r + R} = \frac{1}{0.3} = 3.33msec$$

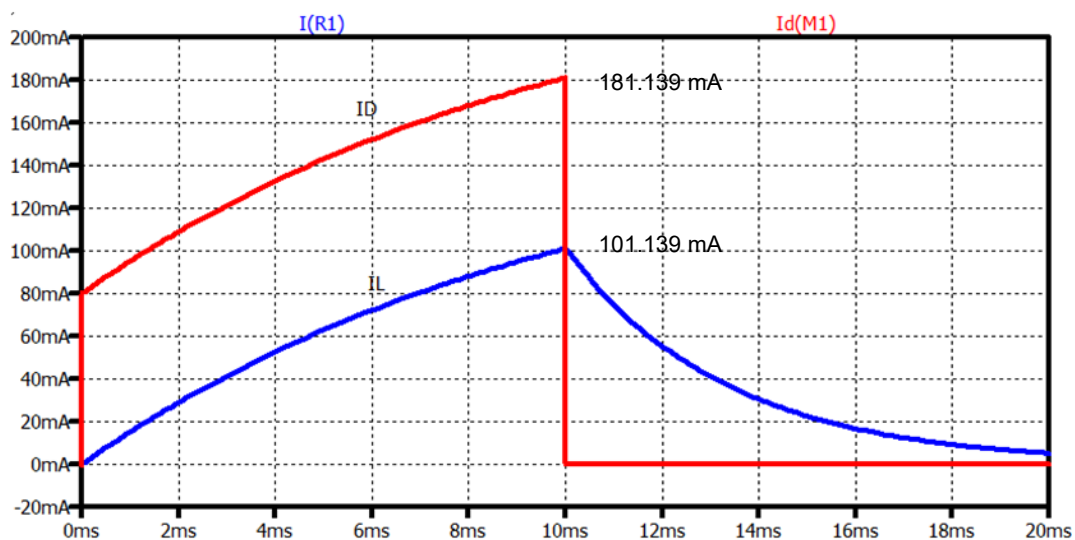
זמן דרוש לשחרור הממסר - לזרם לרדת ל-70mA יהיה :

$$I_L(0^*) = 101.139mA, I_L(\infty) = 0$$

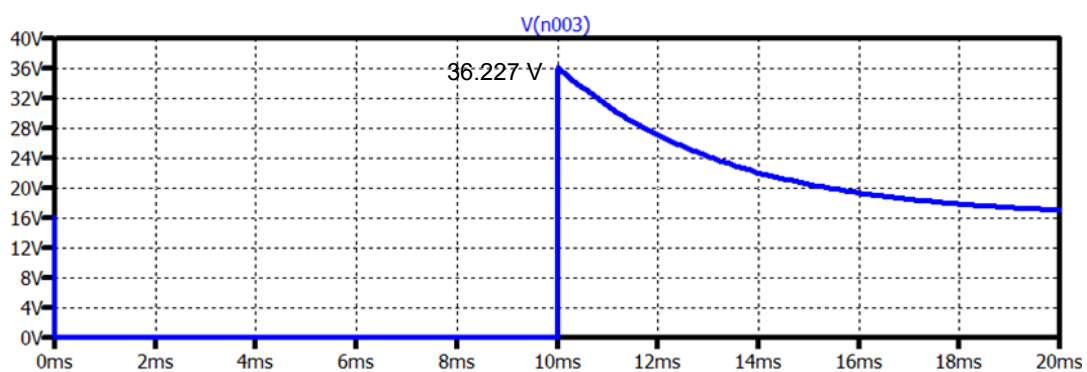
$$t = \tau \cdot \ln \frac{I_\infty - I_0}{I_\infty - I_t} = 3.33m \cdot \ln \frac{0 - 101.139}{0 - 70} = 1.226msec$$

כלומר בזמן $t = 11.226m$.

צורות גלים (זרם דרך הסליל וזרם דרך הטרנזיסטור):

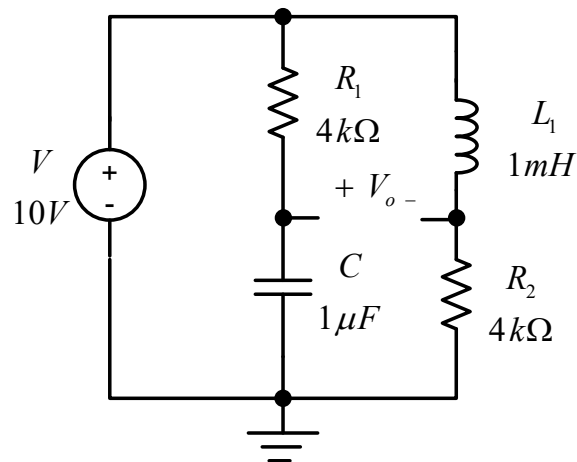


מתח V_{DS} :



פתרון שאלה 9

9.1 נתון המעגל הבא :



מתח המוצא במצב מתמיד שווה ל :

א. $10V$

ב. $0V$

ג. $5V$

ד. $3.33V$

9.2 במיישר דו דרכי עם שתי דיודות (סנף מרכזי), מפל המתח האחורי המכסימלי על הדקי הדיודה שווה ל _____ כאשר V_i הוא מתח במשני של השנאי :

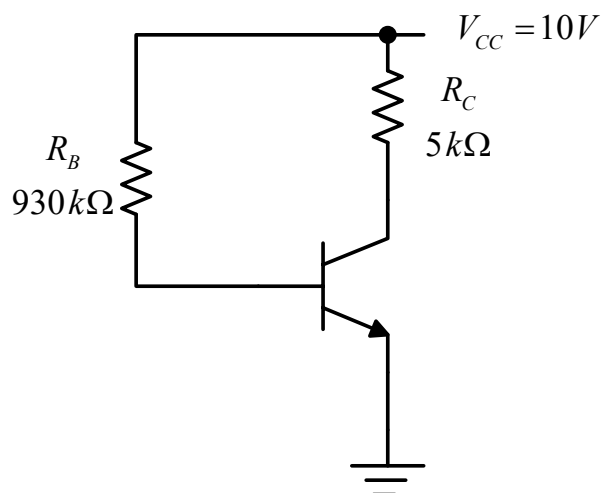
א. $VD_{i(max())}$

ב. $2 \cdot V_{i(max())}$

ג. $4 \cdot V_{i(max())}$

ד. $2 \cdot VD_{i(max())}$

9.3 נתון המעגל הבא :

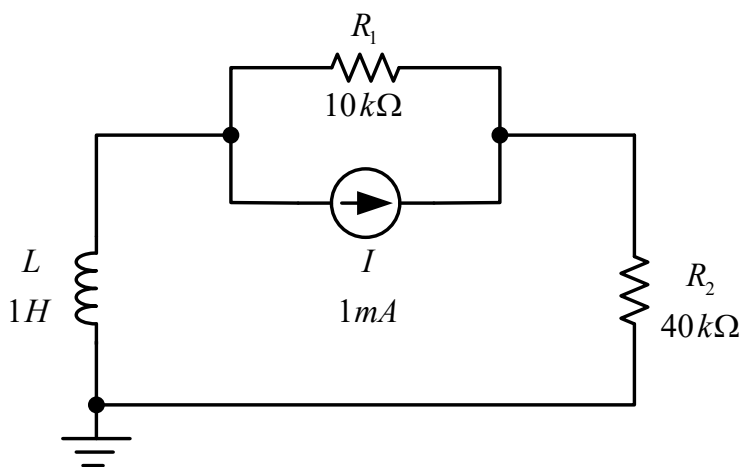


נתוני הטרנזיסטור : $\beta = 100$, $V_{BE} = 0.7V$, $V_{CEsat} = 0.2V$

מתח V_{CE} שווה ל :

- א. $5V$
- ב. $0.2V$
- ג. $0V$
- ד. $0.7V$

9.4 נתון המעגל הבא :



קבוע הזמן שווה ל :

- א. $25\mu sec$
- ב. $100\mu sec$
- ג. $20\mu sec$
- ד. $125\mu sec$

© כל הזכויות שמורות למה"ט