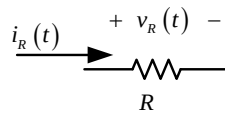


פרק 8: רשתות LP ו-HP**8.1 מבוא**

מעגלים אלקטרוניים רבים מבוססים על טעינה ופריקה של קבל דרך נגד. דוגמא למעגלים אלה הם מעגלי השהייה, מתנדים לגל ריבועי, מעגלי חד יציב המפיקים פולס באורך קבוע, מסננים ועוד. כדי לדון באופן הפעולה של מעגלים אלה, נכיר תחילה את אופן הפעולה של מעגל RC. נבחן את פעולת המעגלים האלה לגל מדרגה, לפולס או לצורת גל מבוא המורכבת ממספר רמות מתח ישר.

8.2 נגד R

סימון נגד מתואר באיור 8.1:



איור 8.1: סימון נגד

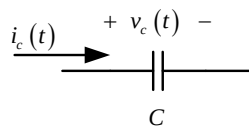
מתח המתפתח על הדקיו של הנגד יחסי לזרם שזורם דרכו (חוק אוהם). הקשר בין המתח $v_R(t)$ לזרם $i_R(t)$ שווה ל:

$$v_R(t) = R \cdot i_R(t) \quad i_R(t) = \frac{v_R(t)}{R} = G \cdot v_R(t)$$

ההספק המתפתח בנגד הופך כולו לחום. לפי כך הנגד לא מסוגל לאגור אנרגיה. הזרם דרך הנגד זורם תמיד מ- (+) ל- (-).

8.3 קבל C

סימון קבל מתואר באיור 8.2:



איור 8.2: סימון קבל

קבל המרוכב בדרך כלל מ-2 לוחות מקבילים הוא רכיב המסוגל לאגור אנרגיה חשמלית. הזרם שזורם דרך הקבל הוא יחסי לקצב שינוי המתח על הדקיו. במילים אחרות, הזרם שזורם דרך קבל $i(t)$ יחסי לנגזרת של מתח $v_c(t)$. ככל ששינויי המתח על הדקי הקבל גדולים יותר, כך הזרם דרכו גדול יותר.

הקשר בין מטען הקבל $q(t)$ ומתח הקבל $v_c(t)$ נתון ע"י:

$$q(t) = C \cdot v_c(t)$$

כלומר המטען בקבל יחסי למתח על הדקי הקבל.

שינוי מטען $q(t)$ בזמן מוגדר כזרם חשמלי $i(t)$ ולכן ניתן לרשום שזרם הזרם דרך הקבל יחסי לקצב השינוי של המתח:

$$i_c(t) = C \cdot \frac{\Delta v_c(t)}{t}$$

כאשר המתח על הדקי הקבל קבוע, הזרם דרך הקבל שווה לאפס.

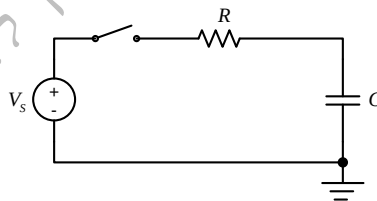
האנרגיה האגורה בקבל נתונה ע"י:

$$E(t) = \frac{1}{2} \cdot C \cdot v_c^2(t)$$

ומכיון ואנרגיה לא יכולה להשתנות בפתאומיות, מתח על פני הקבל משתנה בצורה מונוטונית ללא קפיצות.

כאשר הזרם דרך הקבל $i_c(t)$ זורם מ- (+) ל- (-), הקבל נטען ומתפקד כצרכן ומגדיל את האנרגיה שלו (מתח על הדקיו $v_c(t)$ עולה). כאשר זרם $i_c(t)$ זורם מ- (-) ל- (+), הקבל מתפרק ומשמש כמקור. המתח על הדקי הקבל יורד.

באיור 8.3 מתואר מעגל RC המחובר למקור מתח V_s דרך מפסק:



איור 8.3: מעגל RC

הקבל הוא רכיב שאוגר אנרגיה ולכן יש לציין את תנאי ההתחלה שלו (ב- $t = 0$). האם הקבל טעון או לא טעון. אנו נניח כעת שהקבל אינו טעון כלומר $V_C(0) = 0V$.

ניתוח המעגל

כאשר המפסק נסגר, ניתן לרשום שסכום המתחים על הדקי הקבל והנגד שווה למתח המקור:

$$V_s = v_R(t) + v_C(t)$$

הזרם ההתחלתי (ב- $t = 0$) יהיה זרם מכסימלי:

$$I(0) = \frac{V_s - V_C(0)}{R} = \frac{V_s}{R}$$

כלומר קצב שינוי המתח על הדקי הקבל יהיה מכסימלי. ככל שהמתח על הדקי הקבל גדול יותר, כך הזרם $i(t) = \frac{V_s - v_c(t)}{R}$ יהיה קטן יותר וקצב טעינת הקבל ילך ויקטן. במצב מתמיד אין שינויים במתח על הדקי הקבל ולכן הזרם במעגל יהיה שווה לאפס והקבל יהיה טעון למתח המקור. במצב מתמיד הקבל מהווה נתק.

פיתוח משוואת טעינת הקבל ותיאור כל המתחים והזרמים במעגל דורשים פתרון של משוואה דיפרנציאלית. מתברר שניתן לרשום את תגובת המתחים והזרמים במעגל RC באופן אחיד, לפי משוואת הדפקים היסודית:

$$X(t) = X_\infty - [X_\infty - X_0] \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

כאשר:

X_∞ - מתח או זרם במצב מתמיד כלומר אחרי שתופעות המעבר חולפות.

X_0 - מתח או זרם התחלתיים.

$e = 2.71...$ - מספר טבעי.

$R \cdot C$ - מכפלה בין ערכו של הקבל ובין ההתנגדות "שרואה" הקבל. מכפלה זו נקראת "קבוע זמן" time constant ונמדדת בשניות:

$$[R] \cdot [C] = \left[\frac{V}{I} \right] \cdot \left[\frac{Q}{V} \right] = \left[\frac{V \cdot Q}{I \cdot V} \right] = \left[\frac{Q}{I} \right] = [t] = \text{sec}$$

ניתוח מעגל RC

נניח שמתח התחלתי על הדקי הקבל שווה לאפס (הקבל אינו טעון): $V_C(0) = 0V$.

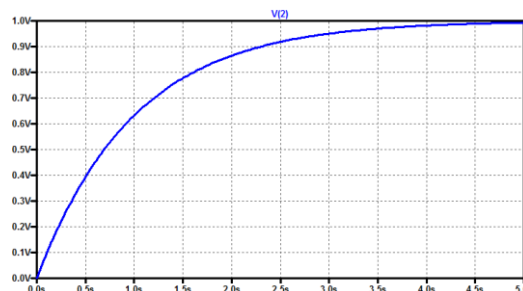
לאחר סגירת המפסק, הקבל שואף להיטען למתח המקור V_s ולכן $V_C(\infty) = V_s$.

הקבל מחובר בטור ולכן קבוע הזמן של המעגל שווה ל- $\tau = R \cdot C$.

משוואת המתח על הדקי הקבל שווה ל:

$$V_C(t) = V_C(\infty) - [V_C(\infty) - V_C(0)] \cdot e^{-\frac{t}{RC}} = V_s - [V_s - 0] \cdot e^{-\frac{t}{RC}} = V_s - V_s \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

באיור 8.4 מתואר המתח על הדקי הקבל:



איור 8.4: מתח על הדקי הקבל

מתוך איור 8.4 רואים שככל שהמתח על הדקי הקבל גדול יותר קצב שינוי המתח על הדקי הקבל הולך וקטן עד שבמצב מתמיד המתח על הדקי הקבל שווה למתח המקור V_S .

באותה שיטה נחשב את משוואת הזרם $i(t)$.

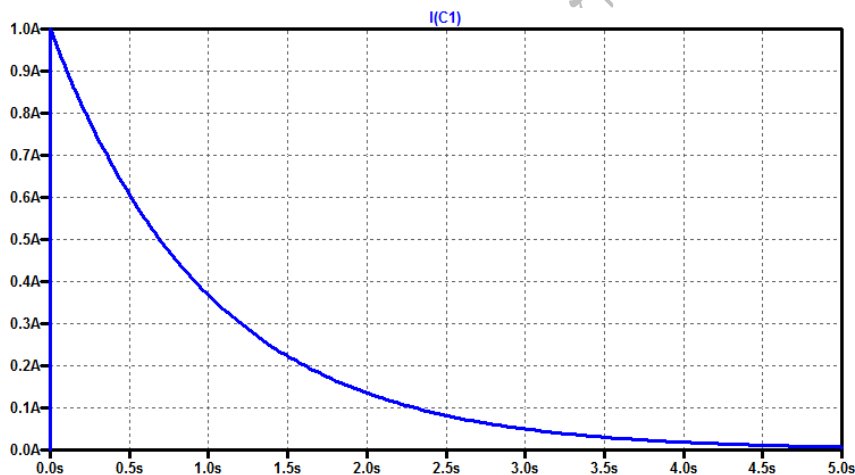
ברגע סגירת המפסק, הזרם $I(0^+)$ (סימן "+" מסמן רגע לאחר סגירת המפסק) מקבל ערך:

$$I(0^+) = \frac{V_S - V_C(0)}{R} = \frac{V_S - 0}{R} = \frac{V_S}{R}$$

במצב מתמיד הזרם שווה לאפס: $I(\infty) = 0$ ולכן:

$$i(t) = I(\infty) - [I(\infty) - I(0)] \cdot e^{-\frac{t}{RC}} = 0 - \left[0 - \frac{V_S}{R}\right] \cdot e^{-\frac{t}{RC}} = \frac{V_S}{R} \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

באיור 8.5 מתואר הזרם כפונקציה של הזמן:



איור 8.5: זרם כפונקציה של הזמן

הזרם קופץ לערך מרבי $\frac{V_S}{R}$ ויורד לכוון אפס.

מתח על הדקי נגד $v_R(t)$ זהה צורתית לזרם: מתח זה קופץ לערך התחלתי V_S ויורד לכוון האפס.

לעתים קרובות רוצים לחשב את הזמן, שבו מתח או זרם מקבלים ערך מסוים. ניתן כמובן לחלץ את הזמן t מתוך המשוואה אך ניתן לפתח ביטוי כללי. הביטוי לזמן בו מתח/זרם מקבלים ערך מסוים הוא:

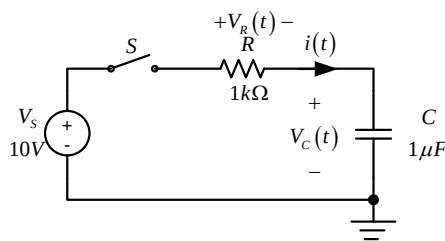
$$t = R \cdot C \cdot \ln \frac{X_\infty - X_0}{X_\infty - X_t}$$

כאשר :

 X_∞ - מתח או זרם במצב מתמיד כלומר אחרי שתופעות המעבר חולפות.. X_0 - מתח או זרם התחלתיים. X_t - מתח או זרם בזמן מסוים אותו רוצים לחשב.

דוגמא

באיור 8.6 מתואר מעגל RC. הקבל אינו טעון.



איור 8.6 : מעגל RC

המפסק נסגר בזמן $t = 0$.

א. חשב ושרטט את המתח על הדקי הקבל $V_C(t)$, את המתח על הדקי הנגד $V_R(t)$ ואת הזרם $i(t)$.

ב. חשב את המתח על הדקי הקבל והנגד בזמן $t = R \cdot C$.

ג. חשב את הזמן בו המתח על פני הקבל מגיע ל- 5V.

תשובה

א. הקבל C נטען דרך נגד R ממתח 0V למתח המקור V_s :

$$V_C(0) = 0V, V_C(\infty) = V_s = 10V; \tau = R \cdot C = 1k \cdot 1\mu = 1msec$$

משוואת המתח על הדקי הקבל :

$$\begin{aligned} V_C(t) &= V_C(\infty) - [V_C(\infty) - V_C(0)] \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}} = \\ &= 10 - [10 - 0] \cdot e^{-\frac{t}{1m}} = 10 - 10 \cdot e^{-\frac{t}{1m}} [V] \end{aligned}$$

המתח על הדקי הנגד קופץ לערך מכסימלי V_s עם סגירת המפסק. המתח על הדקי הנגד הולך ויורד לאפס.

$$V_R(0) = V_S = 10V, V_C(\infty) = 0V; \tau = R \cdot C = 1k \cdot 1\mu = 1msec$$

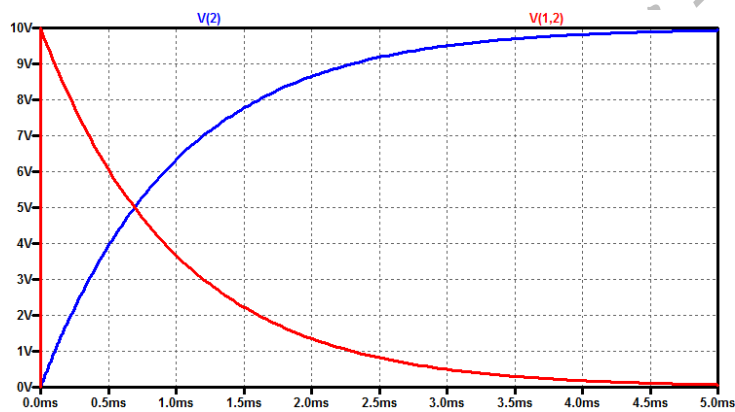
$$V_R(t) = V_R(\infty) - [V_R(\infty) - V_R(0)] \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}} = 0 - [0 - V_S] \cdot e^{-\frac{t}{1m}} = 10 \cdot e^{-\frac{t}{1m}} [V]$$

הזרם במעגל קופץ לערך מכסימלי עם סגירת המפסק. הזרם יורד לאפס :

$$I(0) = \frac{V_S}{R} = \frac{10}{1} mA, I(\infty) = 0 mA; \tau = R \cdot C = 1k \cdot 1\mu = 1msec$$

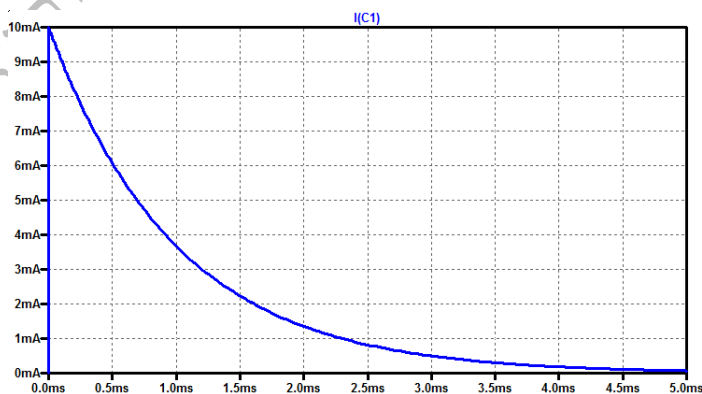
$$I(t) = I(\infty) - [I(\infty) - I(0)] \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}} = 0 - \left[0 - \frac{10}{1}\right] \cdot e^{-\frac{t}{1m}} = 10 \cdot e^{-\frac{t}{1m}} [mA]$$

באיור 8.7 מתוארים המתח על הדקי הקבל והמתח על הדקי הנגד :



איור 8.7 : המתח על הדקי הקבל והמתח על הדקי הנגד

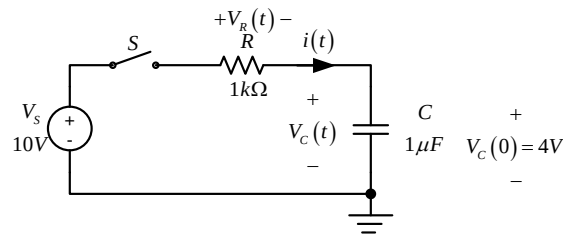
באיור 8.8 מתואר הזרם במעגל :



איור 8.8 : הזרם במעגל

דוגמא

באיור 8.9 מתואר מעגל RC :

איור 8.9 : מעגל RCהמתח התחלתי על הדקי הקבל שווה ל- $V_C(0) = 4V$.א. חשב ושרטט את המתח על הדקי הקבל $V_C(t)$ ואת המתח על הדקי הנגד $V_R(t)$.ב. חשב את הזמן בו המתח על הדקי הקבל מגיע ל- $7.5V$.תשובהא. הקבל נטען מ- $V_C(0) = 4V$ לכוון מתח המקור $V_s = 10V$ דרך הנגד R :

$$V_C(0) = 4V, V_C(\infty) = V_s = 10V, \tau = R \cdot C = 10k \cdot 0.1\mu = 1msec$$

$$V_C(t) = V_C(\infty) - [V_C(\infty) - V_C(0)] \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}} = 10 - [10 - 4] \cdot e^{-\frac{t}{1m}} = 10 - 6 \cdot e^{-\frac{t}{1m}}$$

המתח על הדקי הנגד קופץ להפרש בין מתח המקור ובין המתח על הדקי הקבל ולכן :

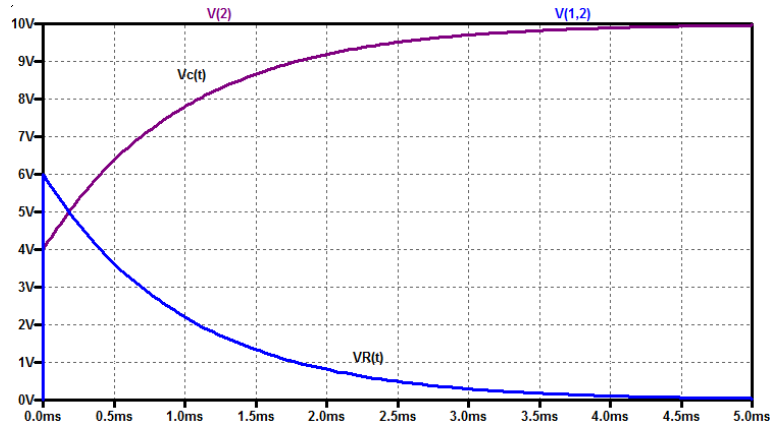
$$V_R(0^+) = V_s - V_C(0) = 10 - 4 = 6V$$

המתח על הדקי הנגד יורד לכוון $0V$.

$$V_R(0^+) = 6V, V_C(\infty) = 0V, \tau = R \cdot C = 10k \cdot 0.1\mu = 1msec$$

$$V_R(t) = V_R(\infty) - [V_R(\infty) - V_R(0)] \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}} = 0 - [0 - 6] \cdot e^{-\frac{t}{1m}} = 6 \cdot e^{-\frac{t}{1m}}$$

באיור 8.10 מתואר המתח על הדקי הקבל והמתח על הדקי הנגד :



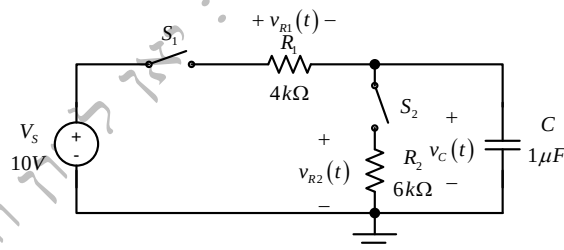
איור 8.10 : מעגל RC - המתח על הדקי הקבל והמתח על הדקי הנגד

ב. לחישוב הזמן בו המתח על הדקי הקבל מגיע ל- $7.5V$ נשתמש בנוסחה לחישוב זמן :

$$t = R \cdot C \cdot \ln \frac{V_{\infty} - V_0}{V_{\infty} - V_t} = 1m \cdot \ln \frac{10 - 4}{10 - 7.5} = 1m \cdot \ln 2.4 = 0.8754 msec$$

דוגמא

איור 8.11 מתאר מעגל RC המחובר לשני מפסקים ומקור מתח קבוע :



איור 8.11 : מעגל RC

הקבל אינו טעון בזמן $t = 0$. בזמן $t = 0$ נסגר מפסק S_1 . כאשר המתח על הדקי הקבל מגיע ל- $8V$, נסגר מפסק S_2 .

א. חשב ושרטט את : המתח על הדקי הקבל $V_C(t)$, המתח על הדקי נגד $R_1 - V_{R1}(t)$ ואת המתח על הדקי נגד $R_2 - V_{R2}(t)$.

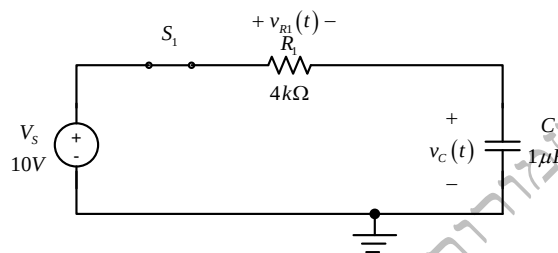
ב. חשב מתי המתח על הדקי הקבל שווה ל- $7V$.

תשובה

נחלק את הפתרון לשתי תקופות זמן: תקופה ראשונה מתחילה בזמן $t = 0$ ומסתיימת כאשר המתח על הדקי הקבל מגיע ל- $8V$. תקופה שנייה מתחילה עם סגירת מפסק S_2 . כפי שצוין, אין קפיצות מתח על הדקי הקבל ולכן המתח על הדקי הקבל בסוף התקופה ($8V$) הוא גם המתח ההתחלתי של הקבל בתקופה השנייה.

$$0 < t < t^*$$

המעגל לאחר סגירת מפסק S_1 מתואר באיור 8.12:



איור 8.12: מעגל RC – סגירת מפסק S_1

חישוב המתח על הדקי הקבל: הקבל רוצה להיטען למתח המקור:

$$V_C(0) = 0V, V_C(\infty) = V_s = 10V, \tau_1 = R_1 \cdot C = 4k \cdot 1\mu = 4msec$$

$$V_C(t) = V_C(\infty) - [V_C(\infty) - V_C(0)] \cdot e^{-\frac{t}{RC}} = 10 - [10 - 0] \cdot e^{-\frac{t}{4m}} = 10 - 10 \cdot e^{-\frac{t}{4m}}$$

נחשב את המתח על הדקי נגד R_1 . ניתן פשוט להחסיר את המתח על הדקי הקבל ממתח המקור:

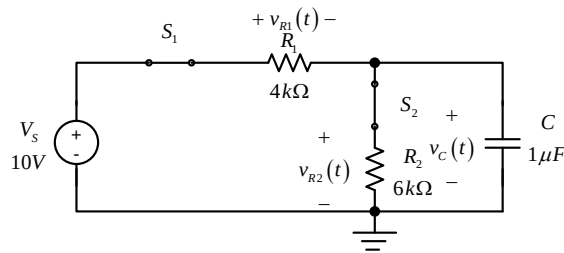
$$V_{R1}(t) = V_s - V_C(t) = 10 - \left(10 - 10 \cdot e^{-\frac{t}{4m}}\right) = 10 \cdot e^{-\frac{t}{4m}}$$

נחשב תוך כמה זמן המתח על הדקי הקבל מגיע ל- $8V$:

$$t = R \cdot C \cdot \ln \frac{V_\infty - V_0}{V_\infty - V_t} = 4m \cdot \ln \frac{10 - 0}{10 - 8} = 4m \cdot \ln 5 = 6.4377 msec$$

$$6.4377 m < t$$

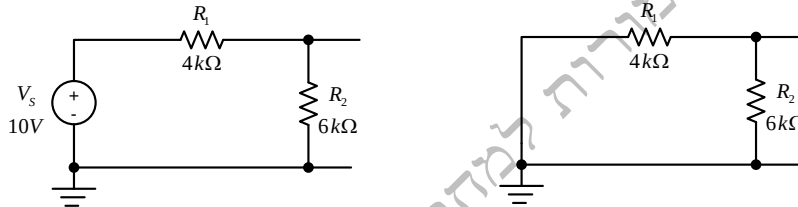
המעגל החדש מתואר באיור 8.13 :



איור 8.13 : מעגל RC-2 המפסקים סגורים

$$t^* = t - 6.4377 \text{ msec}$$

נחשב את המתח על הדקי הקבל במצב מתמיד. הקבל במצב מתמיד מהווה נתק ולכן לבדיקת המתח במצב מתמיד נוכל לנתק את הקבל כמתואר באיור 8.14 :



איור 8.14 : מעגל RC-בדיקת התנגדות שקולה ומתח במצב מתמיד

המתח על הדקי נגד R_2 שווה ל :

$$V_{R2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_s = \frac{6}{4 + 6} \cdot 10 = 6V$$

הקבל מתפרק מ- $8V$ לכוון $6V$. כדי לחשב את קבוע הזמן החדש יש להסתכל על התנגדות תבנין מהדקי הקבל. התנגדות תבנין מתקבלת כאשר מבטלים את המקורות. לאחר קיצור מקור מתח, ההתנגדות מהדקי הקבל שווה ל- $R_1 \parallel R_2 = 6 \parallel 4 = 2.4k\Omega$.

חישוב המתח על הדקי הקבל :

$$V_C(0^*) = 8V, V_C(\infty) = 6V, \tau_2 = (R_1 \parallel R_2) \cdot C = 2.4k \cdot 1\mu = 2.4 \text{ msec}$$

$$V_C(t) = V_C(\infty) - [V_C(\infty) - V_C(0)] \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}} = 6 - [6 - 8] \cdot e^{-\frac{t}{2.4m}} = 6 + 2 \cdot e^{-\frac{t}{2.4m}}$$

חישוב המתח על הנגד R_1 : מכוון ואין קפיצות מתח על הדקי הקבל, המתח על הדקי הנגד R_1 לאחר סגירת המפסק שווה ל :

$$V_{R1}(0^*) = V_s - V_C(0^*) = 10 - 8 = 2V$$

נשים לב שבמצב מתמיד זורם זרם במעגל. כאשר הקבל מהווה נתק הזרם במעגל שווה ל:

$$I(\infty) = \frac{V_s}{R_1 + R_2} = \frac{10}{4 + 6} = 1mA$$

ולכן המתח על הדקי הנגד R_1 במצב מתמיד שווה ל- $V_{R1}(\infty) = R_1 \cdot I(\infty) = 4k \cdot 1m = 4V$

חישוב המתח על הדקי הנגד R_1 :

$$V_{R1}(0^+) = 2V, V_C(\infty) = 4V, \tau_2 = (R_1 \parallel R_2) \cdot C = 2.4k \cdot 1\mu = 2.4msec$$

$$V_{R1}(t) = V_{R1}(\infty) - [V_{R1}(\infty) - V_{R1}(0)] \cdot e^{-\frac{t^*}{(R_1 \parallel R_2)C}} =$$

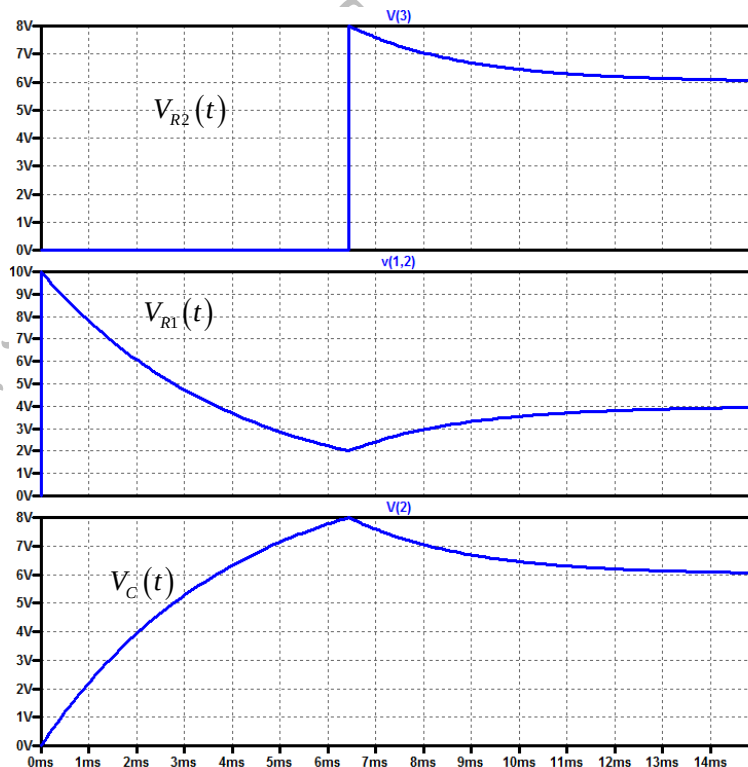
$$= 4 - [4 - 2] \cdot e^{-\frac{t^*}{2.4m}} = 4 - 2 \cdot e^{-\frac{t^*}{2.4m}}$$

המתח על הדקי הנגד R_2 :

בתקופה הראשונה המתח על הדקי הנגד R_2 שווה לאפס מכיוון והמפסק פתוח ולא זורם דרך הנגד זרם. כאשר המפסק נסגר, המתח על הדקי הנגד R_2 שווה למתח על הדקי הקבל:

$$V_{R2}(t^*) = 6 + 2 \cdot e^{-\frac{t^*}{2.4m}}$$

באיור 8.15 מתואר המתח על הדקי הקבל, המתח על הדקי הנגד R_1 והמתח על הדקי הנגד R_2 :



איור 8.15: מעגל RC – תיאור מתחים

ב. המתח על הדקי הקבל עובר דרך המתח $7V$ פעמיים: פעם ראשונה בזמן הטעינה לכוון מתח מקור המתח ופעם שנייה בזמן הפריקה לכוון מתח $6V$. חישוב הזמנים:

$$t_1 = \tau_1 \cdot \ln \frac{V_\infty - V_0}{V_\infty - V_t} = 4m \cdot \ln \frac{10-0}{10-7} = 4.816msec$$

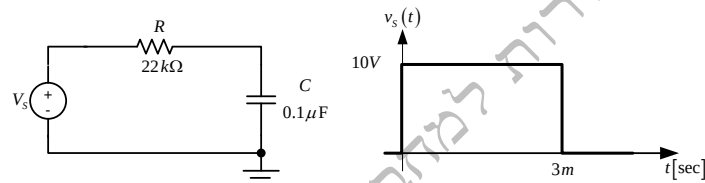
$$t_2^* = \tau_2 \cdot \ln \frac{V_\infty - V_0}{V_\infty - V_t} = 2.4m \cdot \ln \frac{6-8}{6-7} = 1.6635msec$$

הזמן האמיתי מתקבל לאחר הוספת זמן t^* :

$$t_2 = 6.4377m + 1.6635m = 8.1012msec$$

דוגמא

באיור 8.16 מתואר מעגל RC ומתח מבוא למעגל:



איור 8.16: מעגל RC ומתח מבוא

א. חשב ושרטט את המתח על הדקי הקבל $V_C(t)$ ואת המתח על הדקי הנגד $V_R(t)$.

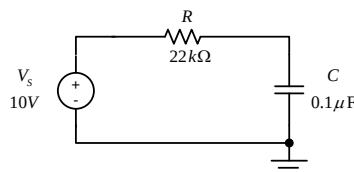
ב. חשב מתי המתח על הדקי הנגד שווה ל- $-4V$.

תשובה

שוב נחלק את ניתוח המעגל לשתי תקופות: הראשונה עד $3m$ והתקופה השנייה מ- $3m$ עד אינסוף. המתח על הדקי הקבל בסוף תקופה זו יהיה המתח ההתחלתי לתקופה השנייה.

$$0 < t < 3msec$$

מתח המקור שווה ל- $V_s = 10V$. המעגל מתואר באיור 8.17:



איור 8.17: מעגל RC- תקופה ראשונה

הקבל נטען לכוון מתח המקור ולכן :

$$V_C(0) = 0V, V_C(\infty) = V_S = 10V, \tau = R \cdot C = 22k \cdot 1\mu = 2.2msec$$

$$V_C(t) = V_C(\infty) - [V_C(\infty) - V_C(0)] \cdot e^{-\frac{t}{RC}} = 10 - [10 - 0] \cdot e^{-\frac{t}{2.2m}} = 10 - 10 \cdot e^{-\frac{t}{2.2m}}$$

נחשב את המתח על הדקי הקבל בזמן $t = 3msec$:

$$V_C(3m) = 10 - 10 \cdot e^{-\frac{3m}{2.2m}} = 7.4427V$$

המתח על הדקי הנגד קופץ בזמן $t = 0^+$ למתח המקור. המתח על הדקי הנגד יורד לכוון אפס.

$$V_R(0^+) = V_S = 10V, V_C(\infty) = 0V, \tau = R \cdot C = 22k \cdot 1\mu = 2.2msec$$

$$V_R(t) = V_R(\infty) - [V_R(\infty) - V_R(0)] \cdot e^{-\frac{t}{RC}} = 0 - [0 - 10] \cdot e^{-\frac{t}{2.2m}} = 10 \cdot e^{-\frac{t}{2.2m}}$$

בזמן $t = 3msec$ המתח על הדקי הנגד שווה ל :

$$V_R(3m) = 10 \cdot e^{-\frac{3m}{2.2m}} = 2.572V$$

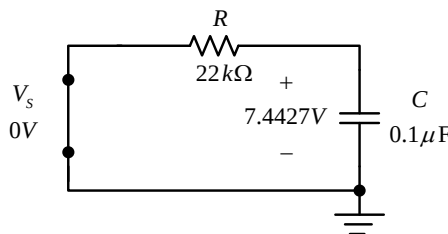
(או פשוט ניתן לבצע חיסור מתחים : $V_R(3m) = V_S - V_C(3m) = 10 - 7.4427 = 2.5572V$)

$$3m < t$$

$$t^* = t - 3m$$

מתח המקור יורד ל- $0V$. המתח על הדקי הקבל לא משתנה ולכן מעגל בזמן $t = 3m^+$ מתואר

באיור 8.18 :



איור 8.18 : מעגל RC- תקופה שנייה

הקבל מתפרק לכוון $0V$:

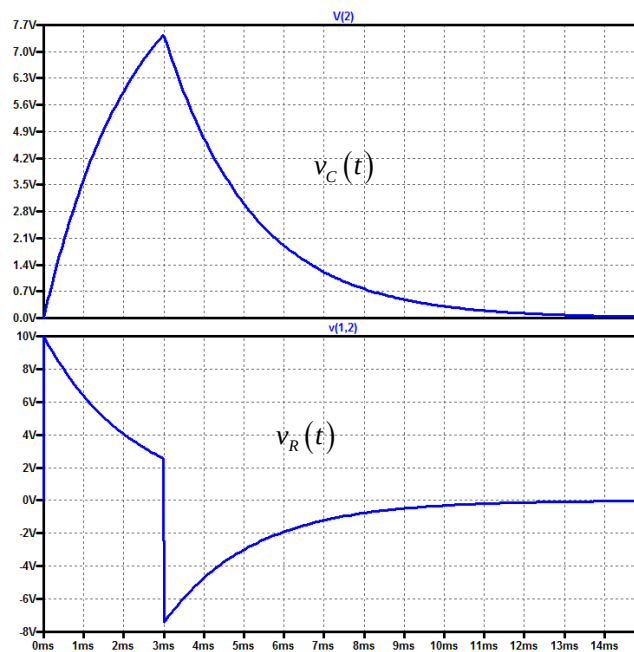
$$V_C(0^*) = 7.4427V, V_C(\infty) = 0V, \tau = R \cdot C = 22k \cdot 1\mu = 2.2msec$$

$$V_C(t^*) = V_C(\infty) - [V_C(\infty) - V_C(0)] \cdot e^{-\frac{t^*}{R \cdot C}} = 0 - [0 - 7.4427] \cdot e^{-\frac{t^*}{2.2m}} = 7.4427 \cdot e^{-\frac{t^*}{2.2m}}$$

המתח על הדקי הנגד שווה ל:

$$V_R(t^*) = V_S - V_C(t^*) = 0 - 7.4427 \cdot e^{-\frac{t^*}{2.2m}} = -7.4427 \cdot e^{-\frac{t^*}{2.2m}}$$

באיור 8.19 מתואר המתח על הדקי הקבל והמתח על הדקי הנגד:



איור 8.19: מעגל RC – מתח על הדקי הקבל ומתח על הדקי הנגד

ב. המתח על הדקי הנגד שווה ל- $-4V$ בתקופה השנייה:

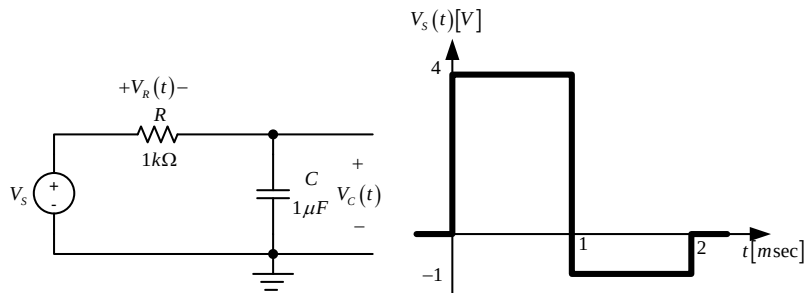
$$t^* = R \cdot C \cdot \ln \frac{V_\infty - V_0}{V_\infty - V_t} = 2.2m \cdot \ln \frac{0 - (-7.4427)}{0 - (-4)} = 1.366msec$$

זמן אמיתי יהיה:

$$t = t^* + 3m = 3 + 1.366 = 4.366msec$$

דוגמא

באיור 8.20 מתואר מעגל RC ומתח מבוא :



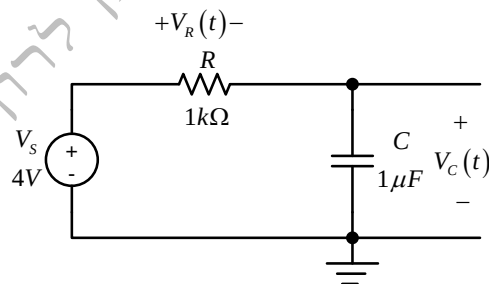
איור 8.20 : מעגל RC

- א. חשב ושרטט את המתח על הדקי הקבל $V_C(t)$.
- ב. חשב ושרטט את המתח על הדקי הנגד $V_R(t)$.
- ג. חשב את הזמנים בהם המתח על הדקי הקבל שווה ל- 2V.

תשובה

$$0 < t < 1m$$

המעגל מתואר באיור 8.21 :



איור 8.21 : מעגל RC- מתח מבוא שווה ל- 4V

הקבל מתחיל להטען לכוון מתח המקור :

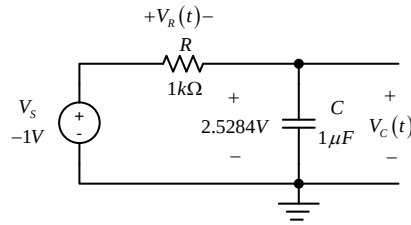
$$V_C(0) = 0V, V_C(\infty) = V_s = 4V, \tau = R \cdot C = 1k \cdot 1\mu = 1msec$$

$$V_C(t) = V_C(\infty) - [V_C(\infty) - V_C(0)] \cdot e^{-\frac{t}{RC}} = 4 - (4 - 0) \cdot e^{-\frac{t}{1m}} = 4 - 4 \cdot e^{-\frac{t}{1m}}$$

$$V_C(1m) = 4 - 4 \cdot e^{-\frac{1m}{1m}} = 4 - 4 \cdot e^{-1} = 2.5284V$$

$$1m < t < 2m$$

נסמן $t^* = t - 1m$. מעגל במצב זה מתואר באיור 8.22 :



איור 8.22 : מעגל RC- מתח מבוא שווה ל-1V-

הקבל שואף להטען למתח המבוא החדש (בפועל מדובר על פריקת הקבל וטעינה למתח שלילי) :

$$V_C(0^*) = 2.5284V, V_C(\infty) = V_s = -1V, \tau = R \cdot C = 1k \cdot 1\mu = 1msec$$

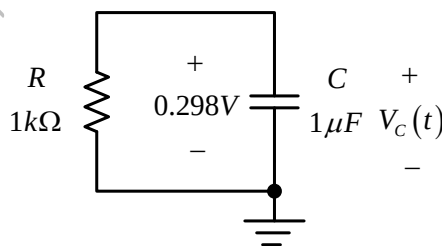
$$V_C(t^*) = V_C(\infty) - [V_C(\infty) - V_C(0)] \cdot e^{-\frac{t^*}{RC}} = -1 - (-1 - 2.5284) \cdot e^{-\frac{t^*}{1m}} = -1 + 3.5284 \cdot e^{-\frac{t^*}{1m}}$$

$$V_C(2m) = V_C(1m^*) = -1 + 3.5284 \cdot e^{-\frac{1m}{1m}} = -1 + 3.5284 \cdot e^{-1} = 0.298V$$

$$2m < t$$

נסמן : $t^{**} = t - 2m$

המעגל כאשר מתח המבוא מתאפס מתואר באיור 8.23 :



איור 8.23 : מעגל RC- מתח מבוא שווה ל-0V

הקבל מתפרק לאפס וולט :

$$V_C(0^*) = 0.298V, V_C(\infty) = V_s = 0V, \tau = R \cdot C = 1k \cdot 1\mu = 1msec$$

$$V_C(t^{**}) = V_C(\infty) - [V_C(\infty) - V_C(0)] \cdot e^{-\frac{t^{**}}{RC}} = 0 - (0 - 0.298) \cdot e^{-\frac{t^{**}}{1m}} = 0.298 \cdot e^{-\frac{t^{**}}{1m}}$$

ב. מתח על הדקי הנגד :

$$V_R(0^+) = V_S = 4V$$

$$V_R(1m^-) = V_S(1m^-) - V_C(1m) = 4 - 2.5284 = 1.4716V$$

$$V_R(1m^+) = V_S(1m^+) - V_C(1m) = -1 - 2.5284 = -3.5284V$$

$$V_R(2m^-) = V_S(2m^-) - V_C(2m) = -1 - 0.298 = -1.298V$$

$$V_R(2m^+) = V_S(2m^+) - V_C(2m) = 0 - 0.298 = -0.298V$$

ג. המתח על הדקי הקבל עובר פעמים דרך מתח $2V$: פעם בטעינה ופעם בפריקה :

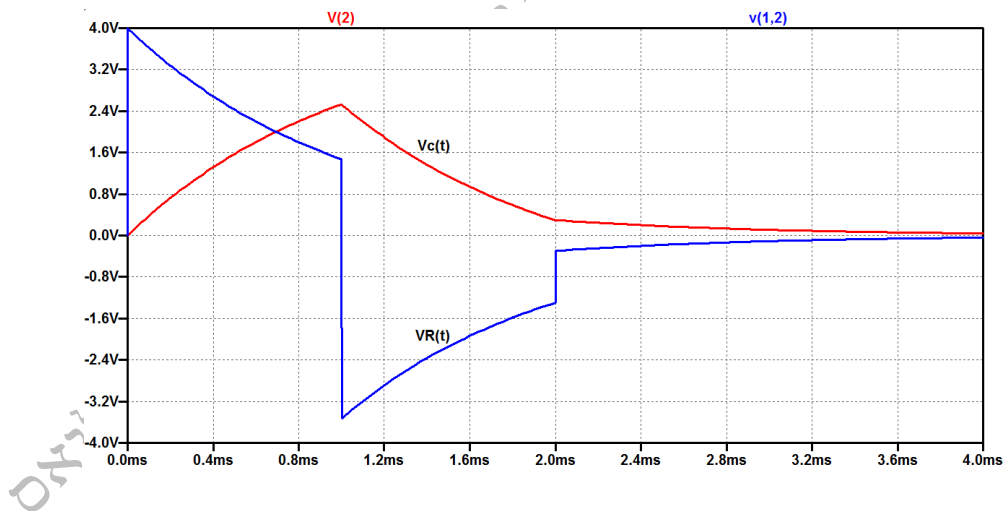
$$t_1 = R \cdot C \cdot \ln \frac{V_\infty - V_0}{V_\infty - V_t} = 1m \cdot \ln \frac{4-0}{4-2} = 1m \cdot \ln 2 = 0.693msec$$

$$t_2^* = R \cdot C \cdot \ln \frac{V_\infty - V_0}{V_\infty - V_t} = 1m \cdot \ln \frac{-1-2.5284}{-1-2} = 1m \cdot \ln 1.176 = 0.1622msec$$

בפועל הזמן השני שווה ל :

$$t = t^* + 1m = 1m + 0.1622 = 1.1622msec$$

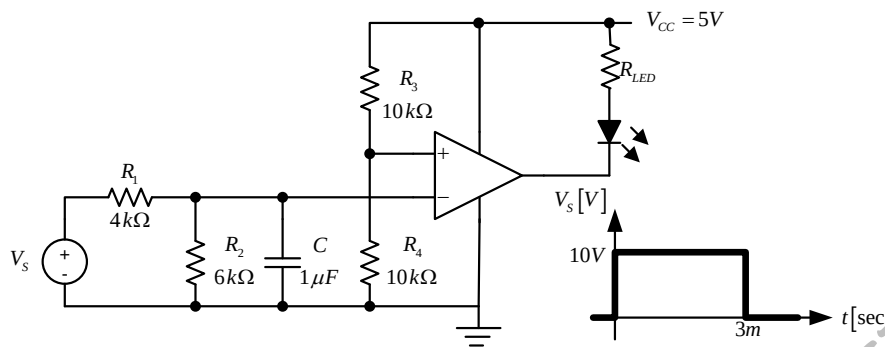
באיור 8.24 מתואר המתח על הדקי הקבל והנגד :



איור 8.24 : המתח על הדקי הקבל והמתח על הדקי הנגד

דוגמא

באיור 8.25 מתואר מעגל RC עם משוואה המפעיל דיודת LED, ומתח מבוא למעגל:



איור 8.25 : מעגל RC עם משוואה

נתוני דיודת LED : $V_{LED} = 1.6V, I_{LED} = 5mA$.

א. חשב ושרטט את המתח V_x ואת מתח המוצא V_o כפונקציה של הזמן.

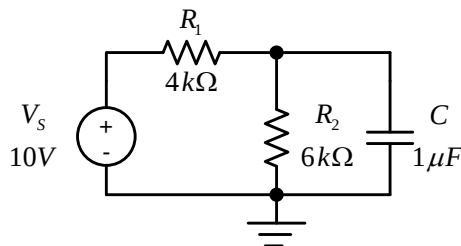
ב. חשב את ערכו של הנגד R_{LED} .

ג. חשב את הזמנים בהם ה-LED דולק.

תשובה

$$0 < t < 3m$$

נפשט את המעגל שמחובר לקבל המתואר באיור 8.26 :

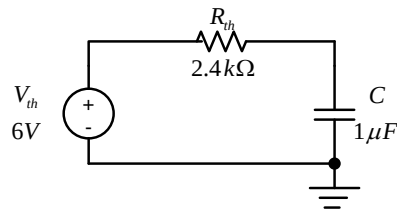


איור 8.26 : מעגל המחובר לקבל

ע"י מציאת מעגל תבנית מהדקי הקבל.

$$V_{th} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{CC} = \frac{6}{6 + 4} \cdot 10 = 6V \quad ; \quad R_{th} = R_1 \parallel R_2 = 6 \parallel 4 = 2.4k\Omega$$

המעגל המפושט מתואר באיור 8.27 :



איור 8.27 : מעגל מפושט

המתח על הדקי הקבל רוצה להטען למתח V_{th} :

$$V_C(0) = 0V, V_C(\infty) = V_{th} = 6V, \tau = R_{th} \cdot C = 2.4k \cdot 1\mu = 2.4 msec$$

$$V_C(t) = V_C(\infty) - [V_C(\infty) - V_C(0)] \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}} = 6 - (6 - 0) \cdot e^{-\frac{t}{2.4m}} = 6 - 6 \cdot e^{-\frac{t}{2.4m}}$$

$$V_C(3m) = 6 - 6 \cdot e^{-\frac{3m}{2.4m}} = 4.2809V \quad : t = 3 msec \quad \text{נחשב את המתח על הדקי הקבל בזמן}$$

$$t^* = t - 3m : 3m < t \quad \text{נסמן}$$

הקבל מתפרק לכוון $0V$:

$$V_C(0^*) = 4.2809V, V_C(\infty) = 0V, \tau = R_{th} \cdot C = 2.4k \cdot 1\mu = 2.4 msec$$

$$V_C(t) = V_C(\infty) - [V_C(\infty) - V_C(0^*)] \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}} = 0 - (0 - 4.2809) \cdot e^{-\frac{t^*}{2.4m}} = 4.2809 \cdot e^{-\frac{t^*}{2.4m}}$$

המתח בכניסה ההופכת של המשווה שווה ל :

$$V_- = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot V_{CC} = \frac{10}{10 + 10} \cdot 5 = 2.5V$$

כאשר המתח על הדקי הקבל קטן מ- $2.5V$, המשווה נמצא ברוויה שלילית ולכן $V_o = 0V$ - נה-
 LED דולק. כאשר המתח על הדקי הקבל עולה מעל $2.5V$, המשווה נמצא ברוויה חיובית וה-
 LED כבה.

נחשב את הזמן הדרוש למתח על הדקי הקבל להגיע ל- $2.5V$ בעת טעינה :

$$t = R \cdot C \cdot \ln \frac{V_\infty - V_0}{V_\infty - V_t} = 2.4m \cdot \ln \frac{6 - 0}{6 - 2.5} = 1.2935 msec$$

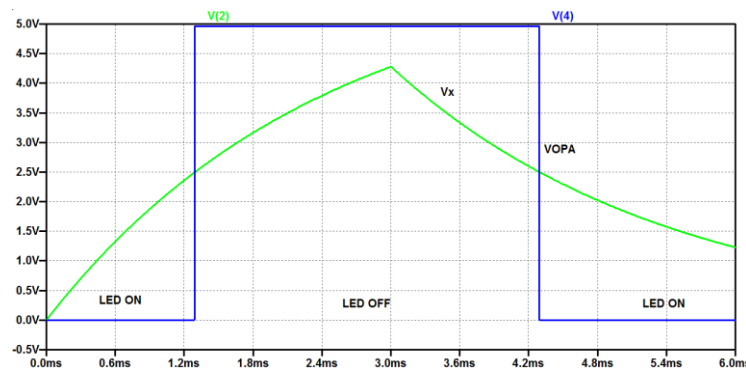
נחשב את הזמן הדרוש למתח על הדקי הקבל להגיע ל- $2.5V$ בעת הפריקה:

$$t^* = R \cdot C \cdot \ln \frac{V_{\infty} - V_0}{V_{\infty} - V_t} = 2.4m \cdot \ln \frac{0 - 4.2809}{0 - 2.5} = 1.2908 msec$$

בפועל הזמן הוא:

$$t = 3m + t^* = 3 + 1.2908 = 4.2908 msec$$

באיור 8.28 מתואר מתח על הדקי הקבל ומתח ביציאת המשווה:



איור 8.28: מתח על הדקי הקבל ומתח ביציאת המשווה

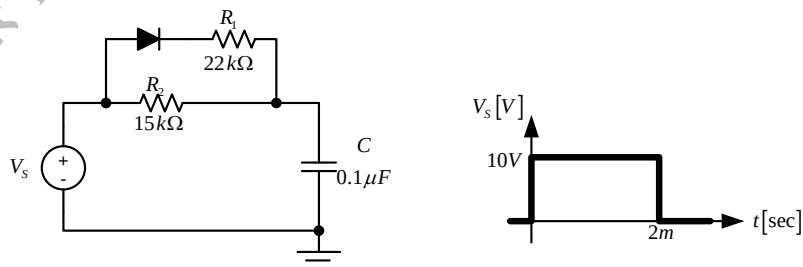
ג. חישוב נגד R_{LED} :

$$V_{CC} - R_{LED} \cdot I_{LED} - V_{LED} - V_o('0') = 0$$

$$5 - 5 \cdot R_{LED} - 1.6 - 0 = 0 \Rightarrow R_{LED} = \frac{5 - 1.6}{5} = 680 \Omega$$

דוגמא

באיור 8.29 מתואר מעגל RC עם דיודה אידיאלית וצורת מתח מבוא:



איור 8.29: מעגל RC עם דיודה אידיאלית

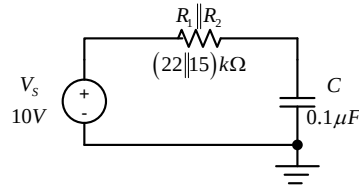
א. חשב ושרטט את המתח על הדקי הקבל.

ב. קבע מתי המתח על הדקי הקבל שווה ל- $5V$.

תשובה

$$0 < t < 2m$$

כאשר מתח המבוא עולה ל- $10V$ הדיודה מוליכה ומתקבל המעגל המתואר באיור 8.30 :



איור 8.30 : מעגל RC – דיודה מוליכה

המתח על הדקי הקבל עולה לכוון מתח המקור :

$$V_C(0) = 0V, V_C(\infty) = V_s = 10V$$

$$\tau = (R_1 \parallel R_2) \cdot C = (22 \parallel 15)k \cdot 0.1\mu = 0.892msec$$

$$V_C(t) = V_C(\infty) - [V_C(\infty) - V_C(0)] \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}} =$$

$$= 10 - (10 - 0) \cdot e^{-\frac{t}{0.892m}} = 10 - 10 \cdot e^{-\frac{t}{0.892m}}$$

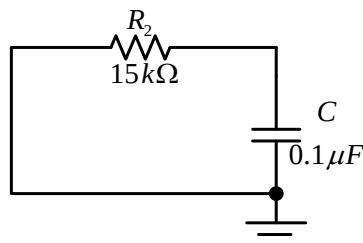
נחשב את המתח על הדקי הקבל בזמן $t = 2msec$:

$$V_C(2m) = 10 - 10 \cdot e^{-\frac{2m}{0.892m}} = 8.938V$$

$$2m < t$$

מתח המקור חוזר ל- $0V$. הקבל מתפרק וכיוון הזרם משתנה. הדיודה לא מוליכה ומתקבל

המעגל המתואר באיור 8.31 :



איור 8.31 : מעגל RC – דיודה לא מוליכה

$$t^* = t - 2 \text{ msec} : \text{נסמן}$$

הקבל מתפרק לכיוון $0V$.

$$V_C(0^*) = 8.938V, V_C(\infty) = 0V, \tau = R_2 \cdot C = 15k \cdot 0.1\mu = 1.5 \text{ msec}$$

$$V_C(t) = V_C(\infty) - [V_C(\infty) - V_C(0)] \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}} = 0 - (0 - 8.938) \cdot e^{-\frac{t}{1.5m}} = 8.938 \cdot e^{-\frac{t}{1.5m}}$$

ב. חישוב המעבר דרך מתח $5V$ בזמן הטעינה:

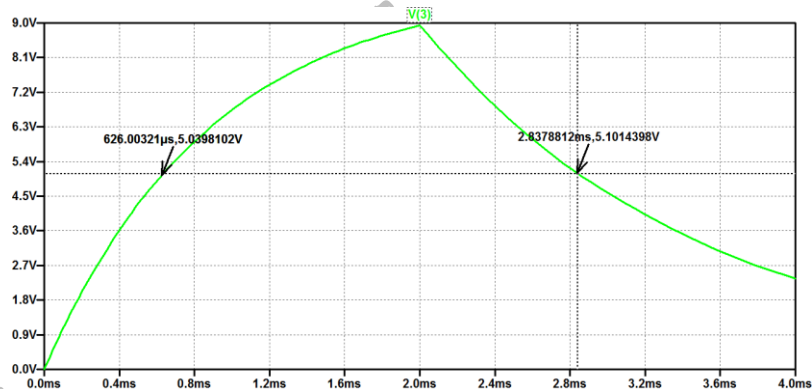
$$t_1 = (R_1 \parallel R_2) \cdot C \cdot \ln \frac{V_\infty - V_0}{V_\infty - V_t} = 0.892m \cdot \ln \frac{10 - 0}{10 - 5} = 0.6183 \text{ msec}$$

חישוב המעבר דרך $5V$ בזמן הפריקה:

$$t_2^* = R_2 \cdot C \cdot \ln \frac{V_\infty - V_0}{V_\infty - V_t} = 1.5m \cdot \ln \frac{0 - 8.938}{0 - 5} = 0.8713 \text{ msec}$$

בפועל הזמן הזה שווה ל: $t = t_2^* + 2m = 2.8713 \text{ msec}$

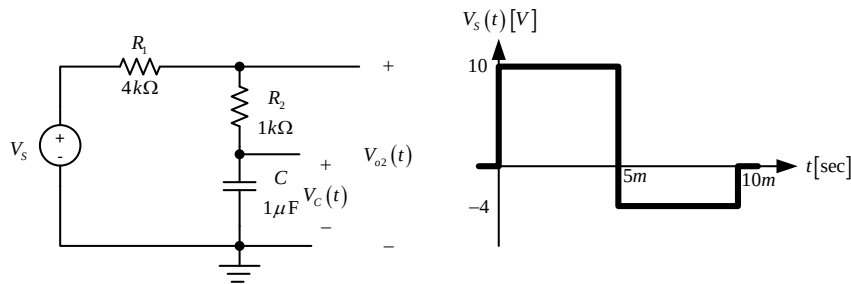
באיור 8.32 מתואר המתח על הדקי הקבל:



איור 8.32 : מתח על הדקי הקבל

דוגמא

באיור 8.33 מתואר מעגל RC ומתח מבוא למעגל:



איור 8.33 : מעגל RC ומתח מבוא

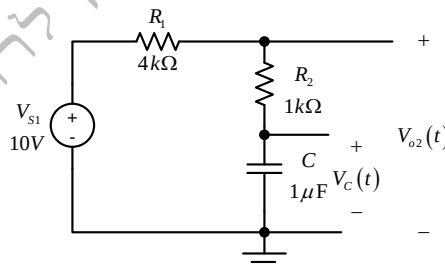
חשב ושרטט את:

- המתח על הדקי הקבל $V_C(t)$.
- מתח V_{o2} .
- המתח על הדקי הנגד R_2 .

תשובה

$$0 < t < 1m$$

המעגל מתואר באיור 8.34:



איור 8.34 : מעגל RC

הקבל נטען למתח המקור:

$$V_C(0) = 0V, V_C(\infty) = V_{S1} = 10V, \tau = (R_1 + R_2) \cdot C = (4+1)k \cdot 1\mu = 5msec$$

$$V_C(t) = V_C(\infty) - [V_C(\infty) - V_C(0)] \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}} = 10 - (10 - 0) \cdot e^{-\frac{t}{5m}} = 10 - 10 \cdot e^{-\frac{t}{5m}}$$

נחשב את מתח הקבל כעבור $t = 5msec$:

$$V_C(5m) = 10 - 10 \cdot e^{-\frac{5m}{5m}} = 10 - 10 \cdot e^{-1} = 6.321V$$

מתח המוצא V_{o2} :כאשר מתח המבוא עולה, המתח V_{o2} עולה במחלק המתח (הקבל ברגע הראשון מהווה קצר):

$$V_{o2}(0^+) = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{S1} = \frac{1}{1+4} \cdot 10 = 2V$$

מתח V_{o2} שואף להגיע למתח המקור:

$$V_{o2}(0) = 2V, V_{o2}(\infty) = V_{S1} = 10V, \tau = (R_1 + R_2) \cdot C = (4+1)k \cdot 1\mu = 5msec$$

$$V_{o2}(t) = V_{o2}(\infty) - [V_{o2}(\infty) - V_{o2}(0)] \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}} = 10 - (10 - 2) \cdot e^{-\frac{t}{5m}} = 10 - 8 \cdot e^{-\frac{t}{5m}}$$

$$V_{o2}(5m) = 10 - 8 \cdot e^{-\frac{5m}{5m}} = 10 - 8 \cdot e^{-1} = 7.0569V$$

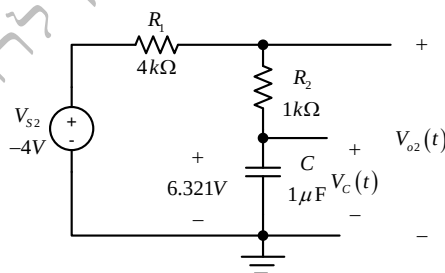
חישוב המתח על הנגד R_2 :

$$V_{R2}(0^+) = V_{o2}(0^+) - V_C(0) = 2 - 0 = 2V$$

$$V_{R2}(5m^-) = V_{o2}(5m^-) - V_C(5m) = 7.0569 - 6.321 = 0.7359V$$

$$5m < t < 10m$$

המעגל מיד לאחר קפיצת המתח מתואר באיור 8.35:



איור 8.35: מעגל RC- שלב II

אין קפיצות מתח על הדקי הקבל ולכן המתח על הדקי הקבל לפני קפיצת מתח המבוא שווה למתח על הדקי הקבל לאחר קפיצה במתח המבוא.

המתח על הדקי הקבל יורד לכוון מתח V_{S2} :

$$t^* = t - 5m \quad \text{נסמן:}$$

$$V_C(0^*) = 6.321V, V_C(\infty) = V_{S2} = -4V; \tau = (R_1 + R_2) \cdot C = (4+1)k \cdot 1\mu = 5msec$$

$$V_C(t^*) = V_C(\infty) - [V_C(\infty) - V_C(0)] \cdot e^{-\frac{t^*}{RC}} = -4 - (-4 - 6.321) \cdot e^{-\frac{t^*}{5m}} = -4 + 10.321 \cdot e^{-\frac{t^*}{5m}}$$

נחשב את המתח על הדקי הקבל בזמן $t = 10m$ ($t^* = 5m$):

$$V_C(10m) = V_C(5m^*) = -4 + 10.321 \cdot e^{-\frac{5m}{5m}} = -4 + 10.321 \cdot e^{-1} = -0.2031V$$

נחשב את המתח V_{o2} ישר לאחר קפיצת המתח:

$$\begin{aligned} V_{o2}(5m^+) &= V_C(5m^+) - I(5m^+) \cdot R_2 = V_C(5m^+) - \frac{V_C(5m^+) - V_{S2}}{R_1 + R_2} \cdot R_2 = \\ &= 6.321 - \frac{6.321 - (-4)}{5} \cdot 1 = 4.2568V \end{aligned}$$

מתח זה רוצה להגיע למתח המקור $V_{S2} = 4V$:

$$V_{o2}(0^*) = 4.2568V, V_{o2}(\infty) = V_{S2} = -4V$$

$$\tau = (R_1 + R_2) \cdot C = (4+1)k \cdot 1\mu = 5msec$$

$$V_{o2}(t^*) = V_{o2}(\infty) - [V_{o2}(\infty) - V_{o2}(0)] \cdot e^{-\frac{t^*}{RC}} = -4 - (-4 - 4.2568) \cdot e^{-\frac{t^*}{5m}} = -4 + 8.2568 \cdot e^{-\frac{t^*}{5m}}$$

נחשב את ערכו של המתח בזמן $t = 10m^-$:

$$V_{o2}(10m^-) = V_{o2}(5m^-) = -4 + 8.2568 \cdot e^{-\frac{5m}{5m}} = -4 + 8.2568 \cdot e^{-1} = -0.9625V$$

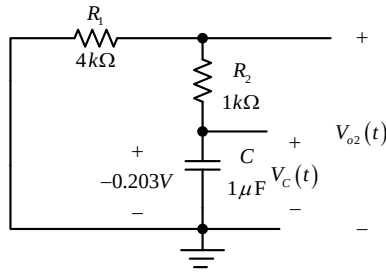
המתח על הנגד R_2 :

$$V_{R2}(5m^+) = V_{o2}(5m^+) - V_C(5m) = 4.2568 - 6.321 = -2.0642V$$

$$V_{R2}(10m^-) = V_{o2}(10m^-) - V_C(10m) = -0.9625 - (-0.2031) = -1.1656V$$

נסמן: $10m < t$: $t^{**} = t - 10m$

מתח המבוא מתאפס ומתקבל המעגל המתואר באיור 8.36 :



איור 8.36 : מעגל RC- שלב III

המתח על הדקי הקבל מתפרק לכוון 0V :

$$V_C(0^{**}) = -0.23021V, V_C(\infty) = 0V \quad \tau = (R_1 + R_2) \cdot C = (4+1)k \cdot 1\mu = 5msec$$

$$V_C(t^{**}) = V_C(\infty) - [V_C(\infty) - V_C(0)] \cdot e^{-\frac{t^{**}}{R \cdot C}} = 0 - (0 - (-0.23021)) \cdot e^{-\frac{t^{**}}{5m}} = -0.23021 \cdot e^{-\frac{t^{**}}{5m}}$$

נחשב את $V_{o2}(0^{**})$:

$$V_{o2}(0^{**+}) = V_{o2}(10m^+) = V_C(10m) \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} = -0.2031 \cdot \frac{4}{4+1} = -0.1625V$$

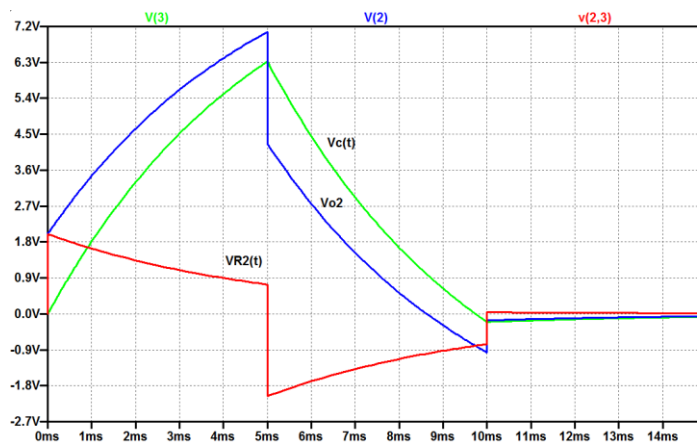
$$V_{o2}(t^{**}) = -0.1625 \cdot e^{-\frac{t^{**}}{5m}}$$

המתח על הנגד R_2 שווה ל :

$$V_{R2}(0^{**}) = V_C(0^{**}) - V_{R1}(0^{**}) = -0.2031 - (-0.1625) = -0.0406V$$

גם מתח זה שואף לאפס.

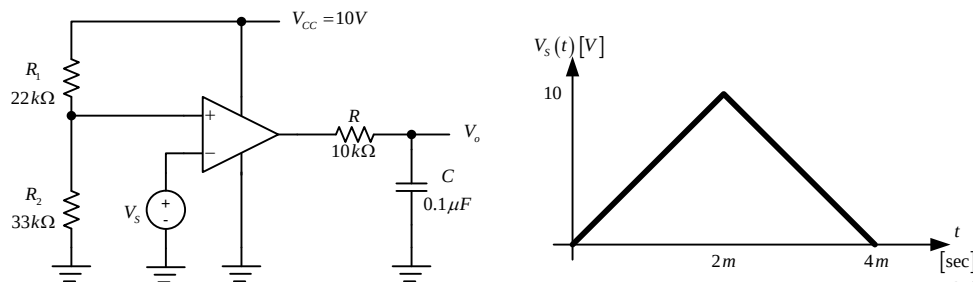
באיור 8.37 מתוארות צורות הגלים במעגל :



איור 8.37 : צורות גלים

דוגמא

באיור 8.38 מתואר מעגל עם משווה, רשת RC וצורת מתח מבוא :



איור 8.38 : מעגל עם משווה, רשת RC וצורת מתח מבוא

חשב ושרטט את המתח במוצא המגבר V_{OPA} ואת מתח המוצא $V_o(t)$.

תשובה

מתח ייחוס בכניסה לא הופכת של המגבר שווה ל :

$$V_+ = V_{CC} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 10 \cdot \frac{33}{33 + 22} = 6V$$

כל עוד מתח המבוא קטן מ- $6V$, המגבר נמצא ברויח חיובית והמתח במוצא המגבר שווה ל- $10V$.

נחשב תוך כמה זמן מתח המקור מגיע ל- $6V$:

$$\begin{array}{ccc} 2m \dots\dots\dots & 10V & \\ t \dots\dots\dots & 6V & \end{array} \Rightarrow t = \frac{2 \cdot 6}{10} = 1.2msec$$

מתח הקבל מתחיל להטען מיד עם מעבר מתח מוצא המגבר ל- $10V$. נחשב לאיזה מתח יטען הקבל תוך $t = 1.2msec$:

$$V_C(0) = 0V, V_C(\infty) = V_{OPA} = 10V, \tau = R \cdot C = 10k \cdot 0.1\mu = 1msec$$

$$V_C(t) = V_C(\infty) - [V_C(\infty) - V_C(0)] \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}} = 10 - (10 - 0) \cdot e^{-\frac{t}{1m}} = 10 - 10 \cdot e^{-\frac{t}{1m}}$$

$$V_C(1.2m) = 10 - 10 \cdot e^{-\frac{1.2m}{1m}} = 10 - 10 \cdot e^{-1.2} = 6.988V$$

כאשר מתח המבוא עולה מעל $6V$, המגבר נכנס לרויח שלילית ולכן $V_{OPA} = 0V$. הקבל מתחיל להתפרק לכיוון $0V$.

נחשב מתי מתח המקור עובר שוב דרך $6V$. כעת המתח יורד מ- $10V$ ל- $6V$ ולכן השינוי הוא $4V$ בלבד.

$$\begin{matrix} 2m..... & 10V \\ t_2 & & 4V \end{matrix} \Rightarrow t_2 = \frac{2 \cdot 4}{10} = 0.8 msec$$

כלומר בזמן אמיתי השווה ל- $t = 2 + 0.8 = 2.8 msec$. בפועל זה קורה

$t' = 2.8 - 1.2 = 1.6 msec$ לאחר שמתח המגבר ירד לרוויה שלילית. נחשב את המתח אליו

התפרק הקבל:

$$V_C(0^*) = 6.988V, V_C(\infty) = V_{OPA} = 0V, \tau = R \cdot C = 10k \cdot 0.1\mu = 1msec$$

$$V_C(t) = V_C(\infty) - [V_C(\infty) - V_C(0)] \cdot e^{-\frac{t^*}{R \cdot C}} = 0 - (0 - 6.988) \cdot e^{-\frac{t^*}{1m}} = 6.988 \cdot e^{-\frac{t^*}{1m}}$$

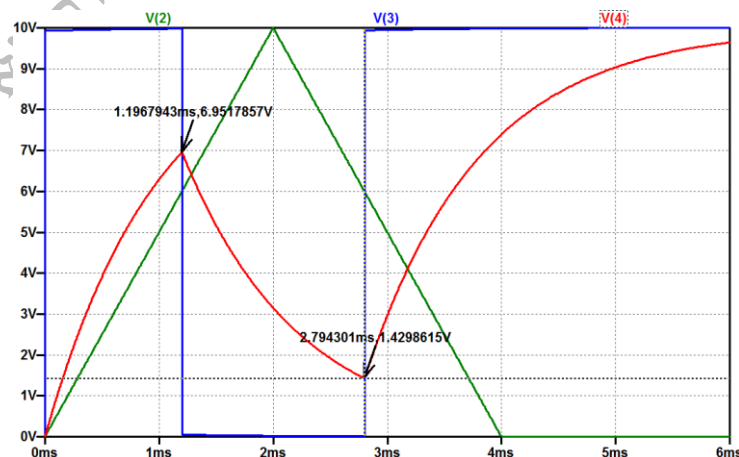
$$V_C(2.9m) = V_C(1.6m^*) = 6.988 \cdot e^{-\frac{1.6}{1}} = 1.4108V$$

לאחר זמן זה, מתח מבוא יורד מתחת למתח ייחוס ושוב יציאת המגבר עולה ל- $10V$. הקבל נטען שוב לכוון מתח זה:

$$V_C(0^{**}) = 1.4108V, V_C(\infty) = V_{OPA} = 10V, \tau = R \cdot C = 10k \cdot 0.1\mu = 1msec$$

$$\begin{aligned} V_C(t) &= V_C(\infty) - [V_C(\infty) - V_C(0)] \cdot e^{-\frac{t^{**}}{R \cdot C}} = \\ &= 10 - (10 - 1.4108) \cdot e^{-\frac{t^{**}}{1m}} = 10 - 8.589 \cdot e^{-\frac{t^{**}}{1m}} \end{aligned}$$

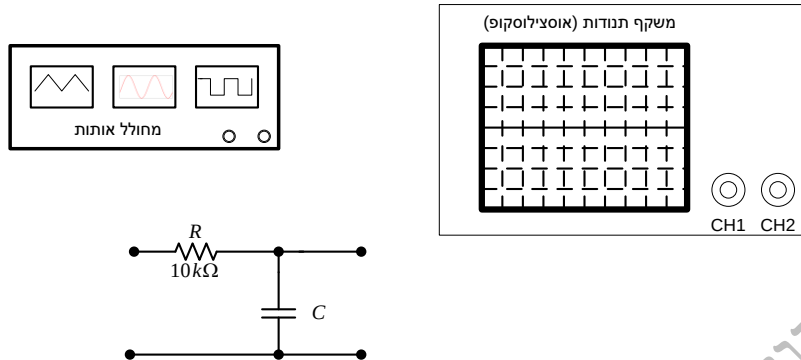
צורת הגלים מתוארת באיור 8.39:



איור 8.39: צורות גלים

דוגמא

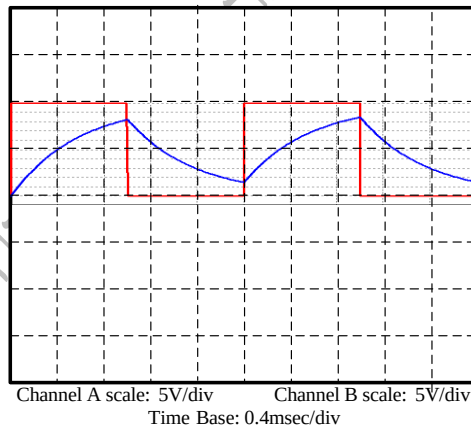
כדי לגלות מה ערכו של קבל מסוים, ביצעו ניסוי ושילבו את הקבל במעגל RC כמתואר באיור 8.40:



איור 8.40: מעגל RC ומכשור מדידה

א. תאר את חיבור המכשירים כדי שבאוסצילוסקופ יופיע גם מתח מבוא וגם מתח מוצא (מתח על הדקי הקבל).

ב. הזינו את המעגל בגל ריבועי. באיור 8.41 מתואר מתח מבוא ומתח מוצא כפי שנמדדו באוסצילוסקופ:



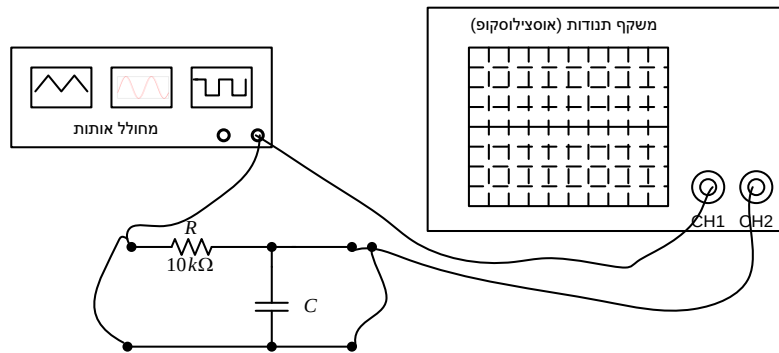
איור 8.41: מתח מבוא ומתח מוצא באוסצילוסקופ

I. מה תדר הגל הריבועי, ומה האמפליטודה של הגל ומה רכיב DC שלו ?

II. לפי תוצאות המדידה חשב את ערכו של הקבל.

תשובה

א. באיור 8.42 מתואר מערך מדידה להצגת מתח מבוא (CH1) ומתח מוצא (CH2) על צג האוסצילוסקופ:



איור 8.42: מערך מדידה

ב. לפי איור 8.41 זמן מחזור שווה ל- $T = DIV \cdot (sec/DIV) = 5 \cdot 0.4m = 2msec$ ולכן תדר תנודות שווה ל:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2m} = 500 Hz$$

האמפליטודה של הגל היא $10V$. ערך ממוצע (מתח DC) שווה ל- $5V$.

המתח על הדקי הקבל נטען מ- $0V$ לכוון $10V$. המדידה בוצעה בזמן $t = 0.4msec$ וערך המתח על הדקי הקבל שווה ל- $5V$.

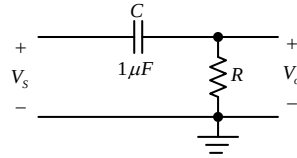
$$V_C(0) = 0V, V_C(\infty) = 10V, V_C(t) = 5V \quad t = 0.4msec$$

$$t = R \cdot C \cdot \ln \frac{V_\infty - V_0}{V_\infty - V_t}; 0.4m = 10k \cdot C \cdot \ln \frac{10-0}{10-5} = 10k \cdot C \cdot \ln 2$$

$$0.4 \cdot 10^{-3} = 10^4 \cdot C \cdot \ln 2 \Rightarrow C = \frac{0.4 \cdot 10^{-3}}{10^4 \cdot \ln 2} = 5.77 \cdot 10^{-8} = 57.7 nF$$

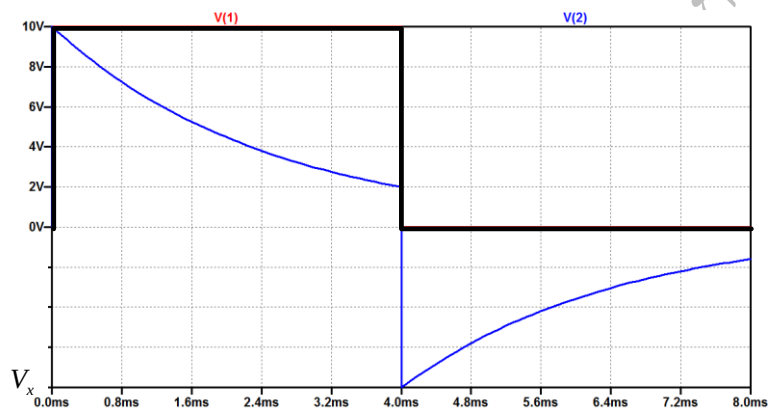
תרגיל סיכום (פתרון סופי)תרגיל סיכום מס' 1

רוצים לגלות את ערכו של נגד יצוק (לא רואים את צבעי הנגד). לצורך כך ערכו ניסוי וחיברו את הנגד במעגל RC בו ערך הקבל שווה ל- $1\mu F$ כמתואר באיור 8.43:



איור 8.43: תרגיל סיכום מס' 1 – המעגל

מתח מבוא ומתח מוצא מתוארים באיור 8.44:



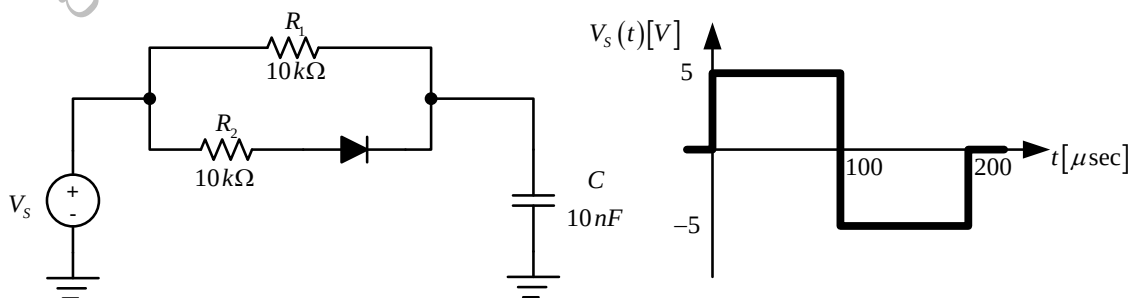
איור 8.44: תרגיל סיכום מס' 1 – צורות גלים

א. מה ערכו של הנגד ?

ב. מה ערכו של מתח V_x ?

תרגיל סיכום מס' 2

באיור 8.45 מתואר מעגל RC עם דיודה אידיאלית וצורת מתח מבוא:

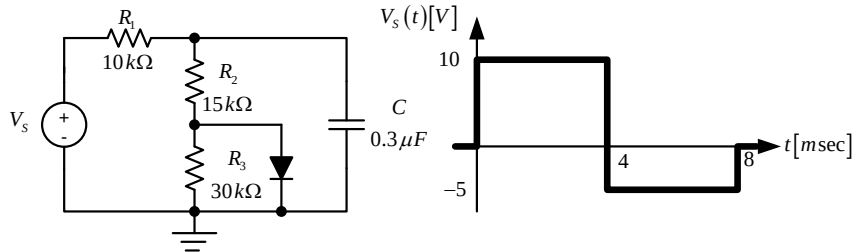


איור 8.45: תרגיל סיכום מס' 2 – המעגל ומתח מבוא

חשב ושרטט את המתח על הדקי הקבל $V_C(t)$.

תרגיל סיכום מס' 3

באיור 8.46 מתואר מעגל RC עם דיודה אידיאלית וצורת מתח מבוא :

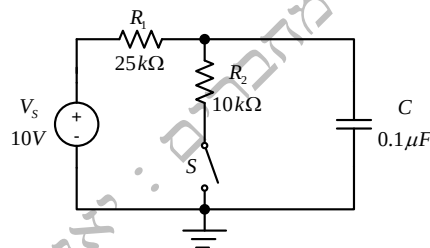


איור 8.46 : תרגיל סיכום מס' 3 – המעגל ומתח מבוא

חשב ושרטט את המתח על הדקי הקבל $V_C(t)$.

תרגיל סיכום מס' 4

באיור 8.47 מתואר מעגל RC :



איור 8.47 : תרגיל סיכום מס' 4 – המעגל

המפסק S פתוח ונסגר כאשר המתח על הדקי הקבל שווה ל- $8V$.

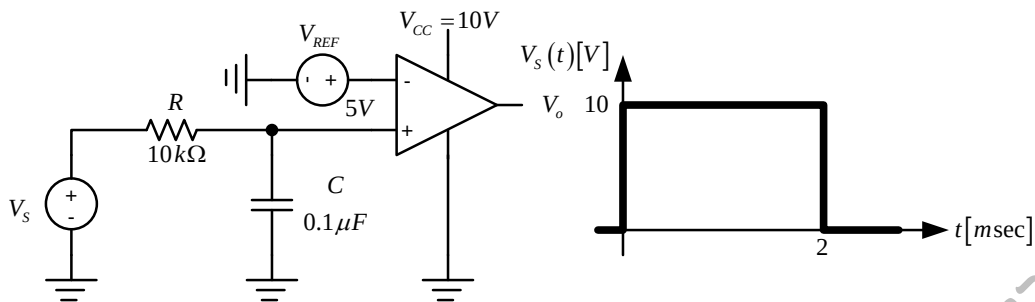
א. חשב את זמן סגירת המפסק.

ב. חשב ושרטט את המתח על הדקי הקבל.

ג. חשב את הזמנים בהם המתח על הדקי הקבל שווה ל- $4V$.

תרגיל סיכום מס' 5

באיור 8.48 מתואר מעגל RC ומתח מבוא למעגל:

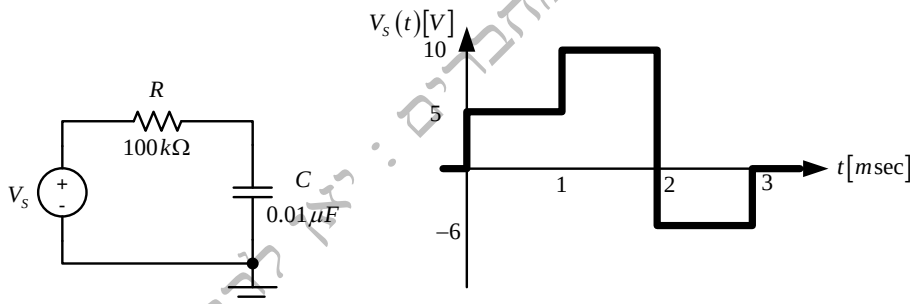


איור 8.48: תרגיל סיכום מס' 5 – המעגל ומתח מבוא

חשב ושרטט את המתח על הדקי הקבל, ואת מתח המוצא. ציין את הזמנים בהם המשווה מחליף מצב.

תרגיל סיכום מס' 6

באיור 8.49 מתואר מעגל RC ומתח מבוא למעגל:

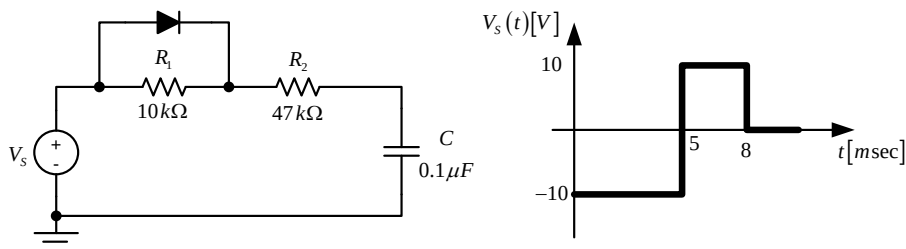


איור 8.49: תרגיל סיכום מס' 6 – המעגל ומתח מבוא

חשב ושרטט את המתח על הדקי הקבל והמתח על הדקי הנגד.

תרגיל סיכום מס' 7

באיור 8.50 מתואר מעגל RC עם דיודה אידיאלית וצורת מתח מבוא:



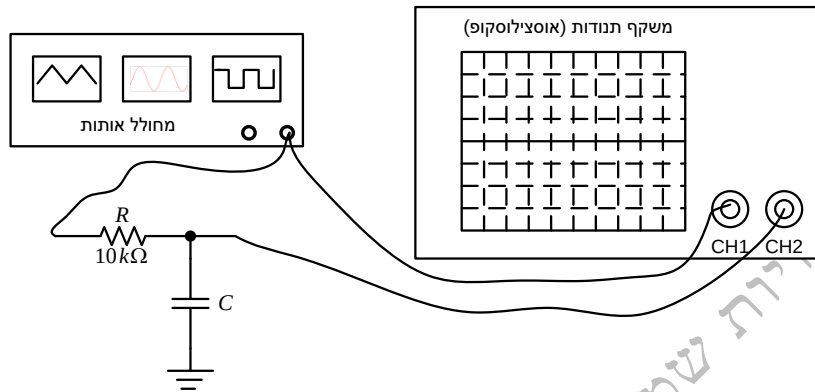
איור 8.50: תרגיל סיכום מס' 7 – המעגל ומתח מבוא

הקבל טעון למתח $V_C(0) = 5V$.

חשב ושרטט את המתח על הדקי הקבל $V_C(t)$.

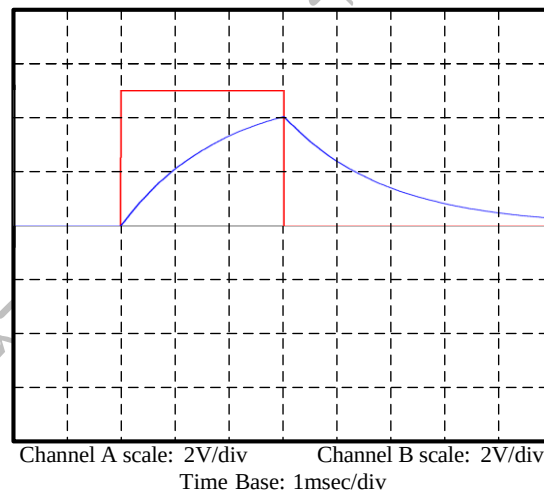
תרגיל סיכום מס' 8

בנו את המעגל המתואר באיור 8.51:



איור 8.51: תרגיל סיכום מס' 8 - מעגל בדיקה למעגל RC

מדדו את תגובת המעגל לפולס בודד בעזרת משקף תנודות. על צג משקף התנודות התקבל הגל המתואר באיור 8.52:



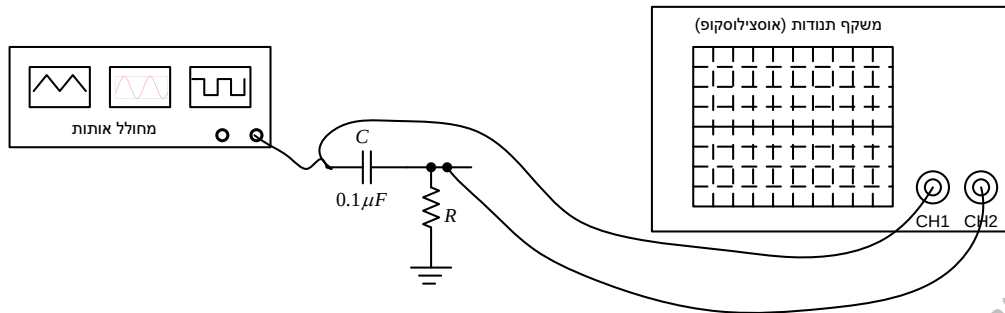
איור 8.52: תרגיל סיכום מס' 8 - מתח מבוא ומתח מוצא

א. מה אורך הזמן והאמפליטודה של הפולס ?

ב. על פי תוצאות המדידה, מה ערכו של נגד R ?

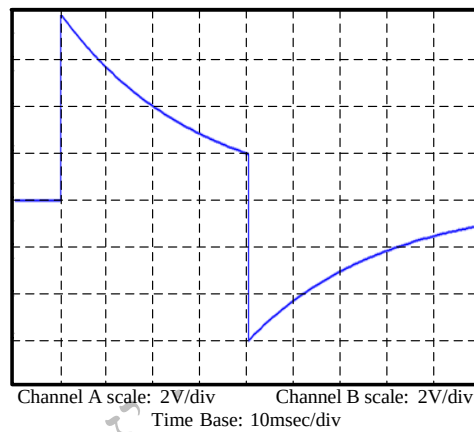
תרגיל סיכום מס' 9

בנו את המעגל המתואר באיור 8.53 :



איור 8.53 : תרגיל סיכום מס' 9 - מעגל בדיקה למעגל RC

בטעות מדדו רק את מתח המוצא. על צג האוסצילוסקופ נרשם המתח על הדקי הנגד כמתואר באיור 8.54 :

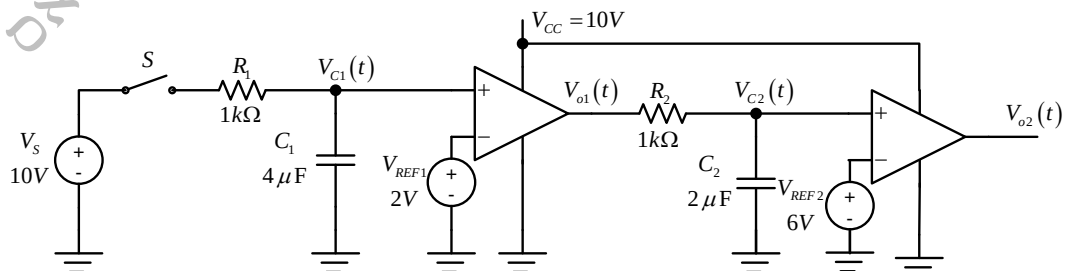


איור 8.54 : תרגיל סיכום מס' 9 – מתח על הדקי הנגד

א. שרטט את מתח המבוא. ציין את האמפליטודה של המתח וזמן הדופק.

ב. חשב את ערכו של נגד R .**תרגיל סיכום מס' 10**

בנו את המעגל המתואר באיור 8.55 :



איור 8.55 : תרגיל סיכום מס' 10 – מעגל

בזמן $t = 0$ סגרו את המפסק S.

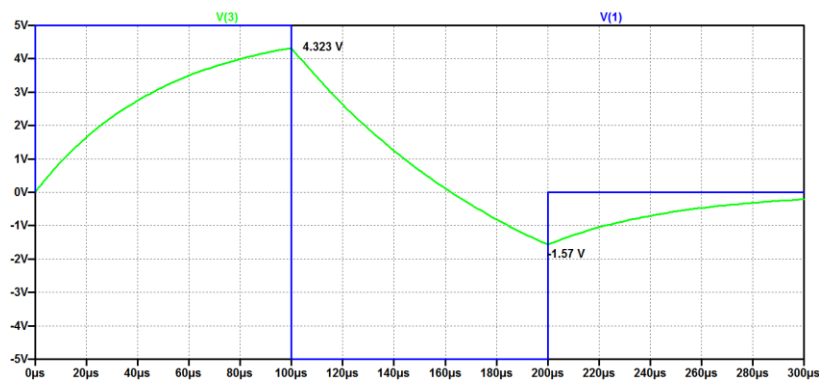
חשב ושרטט את מתח $V_{C1}(t)$, מתח $V_{o1}(t)$, מתח $V_{C2}(t)$ ומתח $V_{o2}(t)$. יש לציין את הזמנים האופייניים בהם המגברים משנים מצב.

תשובות סופיות לתרגילי סיכום

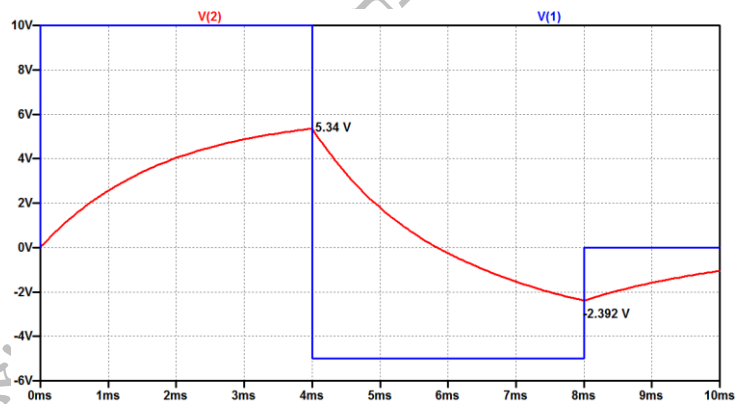
תרגיל סיכום מס' 1

א. ערכו של נגד $R = 2.485 k\Omega$. ב. ערכו של מתח $V_x = -8V$.

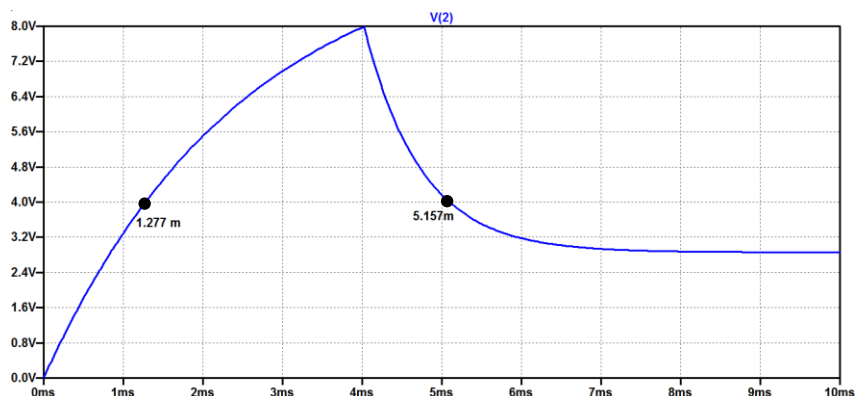
תרגיל סיכום מס' 2



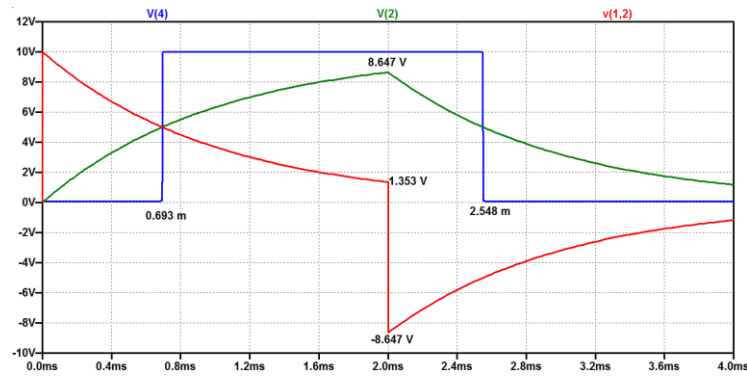
תרגיל סיכום מס' 3



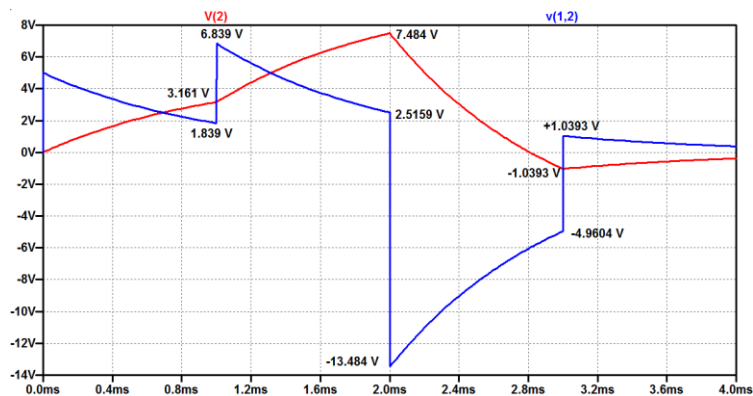
תרגיל סיכום מס' 4



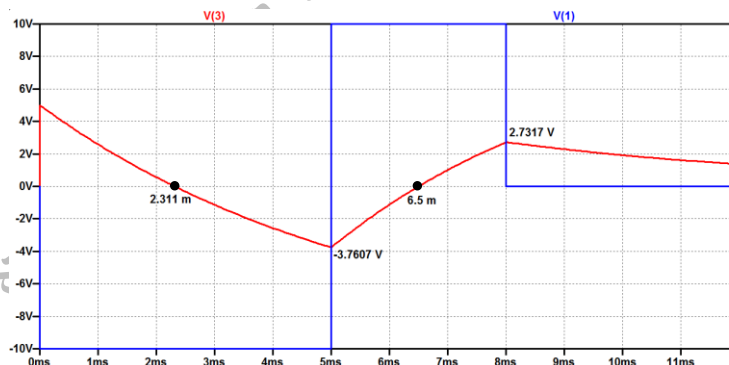
תרגיל סיכום מס' 5



תרגיל סיכום מס' 6



תרגיל סיכום מס' 7



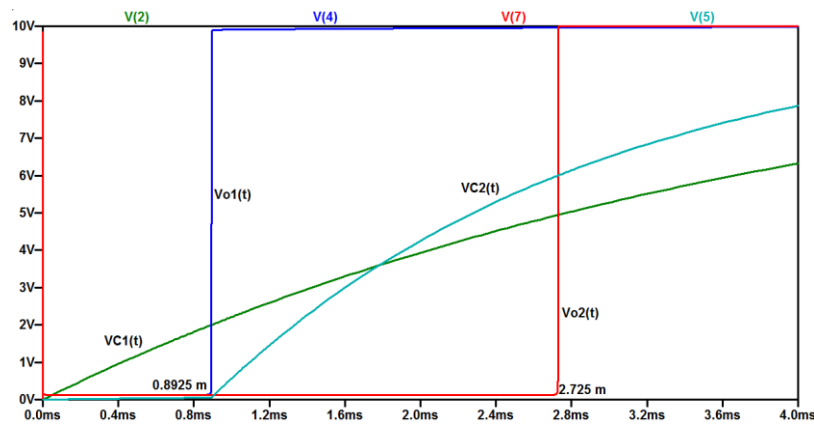
תרגיל סיכום מס' 8

א. אמפליטודה שווה ל- $5V$. רוחב הפולס שווה ל- $3msec$. ב. $C = 0.1864 \mu F$.

תרגיל סיכום מס' 9

א. אמפליטודה של הפולס היא $4V$. משך הפולס הוא $40msec$. ב. ערכו של הנגד $R = 288.53k\Omega$.

תרגיל סיכום מס' 10



כל הזכויות שמורות למחברים: יאן לרוו ורג'א אליאס