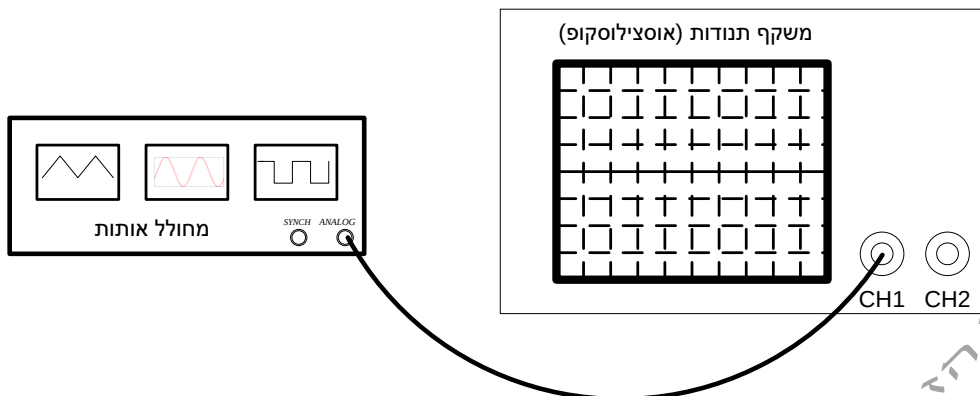
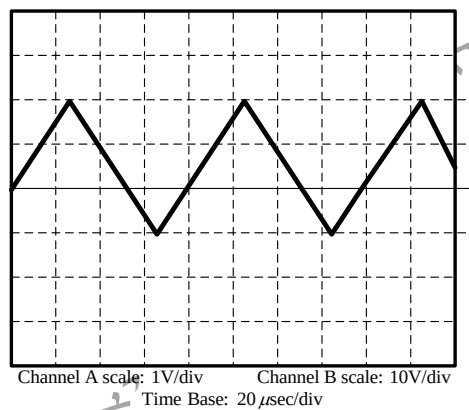


חיבור מחולל עם אוסצילוסקופ כמתואר באיור 1.17 :



איור 1.17 : חיבור מחולל עם אוסצילוסקופ

גל המתקבל על צג אוסצילוסקופ מתואר באיור 1.18 :



איור 1.18 : תצוגת גל על גבי צג אוסצילוסקופ

חשב את : האמפליטודה של הגל, ערך שיא לשיא, תדירות של הגל, רכיב offset של הגל. תשובה

הגל תופס 3 משבצות אנכיות כלומר ערך שיא לשיא שווה ל : $V_{ptp} = 3 \cdot 1 = 3V$. אמפליטודה שווה

למחצית ערך שיא כלומר $A = 1.5V$.

הגל רוכב על רכיב DC. נחשב את הממוצע של הגל :

$$\bar{V} = \frac{V_{\max} + V_{\min}}{2} = \frac{2 + (-1)}{2} = 0.5V$$

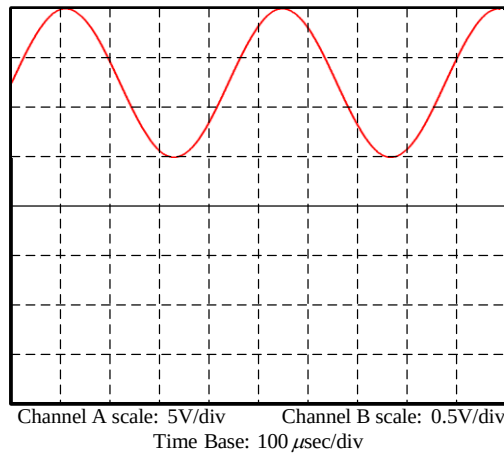
מתח offset שווה ל- $0.5V$.

על צג האוסצילוסקופ מתוארים 1.5 מחזורים. כל משבצת משמעותה $200 \mu\text{sec}$ ולכן :

$$\begin{array}{lcl} 2.5 \cdot T & \dots\dots\dots & 10 \cdot 20 \mu = 200 \mu\text{sec} \\ T & \dots\dots\dots & x \end{array} \Rightarrow x = \frac{200 \mu\text{sec} \cdot T}{2.5 \cdot T} = 80 \mu\text{sec}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{80 \mu\text{sec}} = \frac{1}{80 \cdot 10^{-6}} = 125 \text{kHz}$$

גל מבוא מ על צג האוסצילוסקופ התקבל גל המתואר באיור 1.28 :



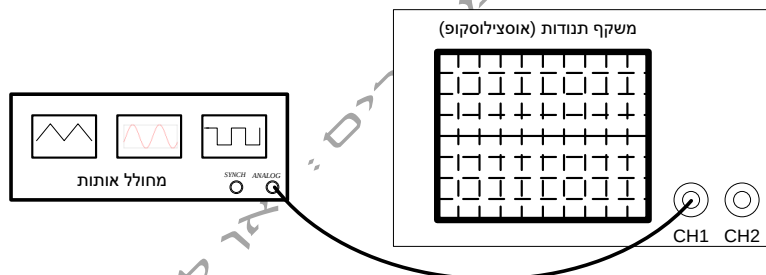
איור 1.28 : תרגיל 6 - גל מתח

חשב :

- ערך מכסימלי של הגל.
- ערך מינימלי של הגל.
- ערך שיא לשיא של הגל.
- מתח היסט.
- אמפליטודה של הגל.
- זמן מחזור של הגל.
- תדירות של הגל.

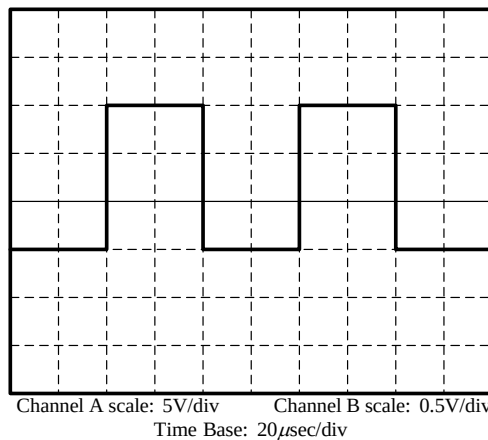
תרגיל 7

חברו מחולל אותות ואוסצילוסקופ כמתואר באיור 1.29 :



איור 1.29 : תרגיל 7 - חיבור מחולל ואוסצילוסקופ

על צג האוסצילוסקופ התקבל גל המתואר באיור 1.30 :

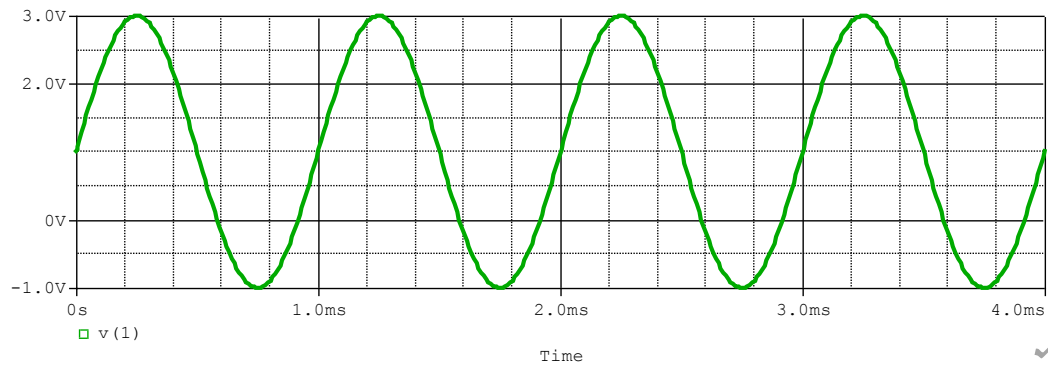


איור 1.30 : תרגיל 7 - גל מתח

חשב :

- ערך מכסימלי של הגל.
- ערך מינימלי של הגל.
- ערך שיא לשיא של הגל.
- מתח היסט.
- אמפליטודה של הגל.
- זמן מחזור של הגל.
- תדירות של הגל.

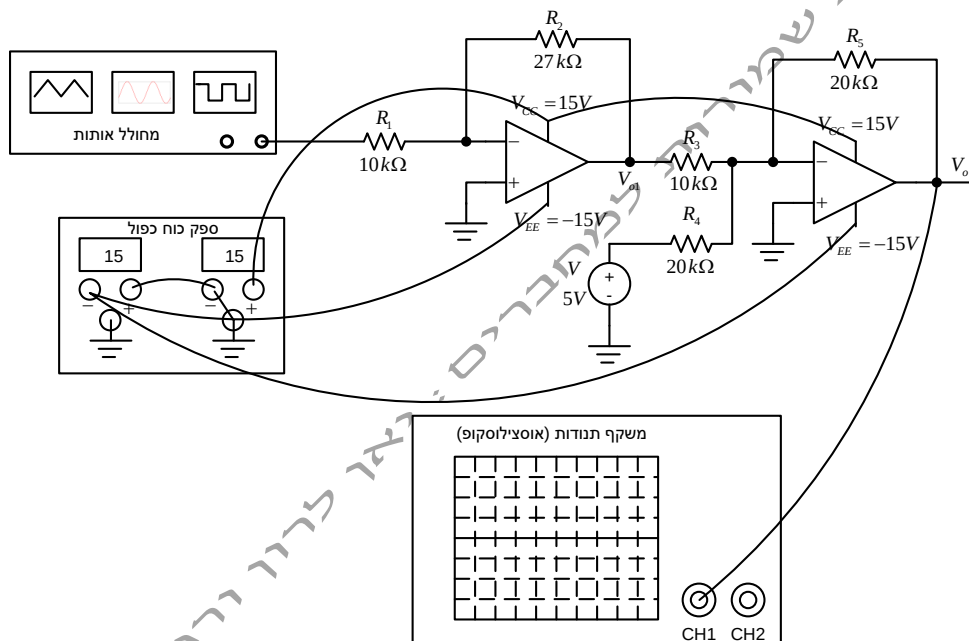
תואר באיור 2.36 :



איור 2.36 : תרגיל מס' 4 – מתח מבוא

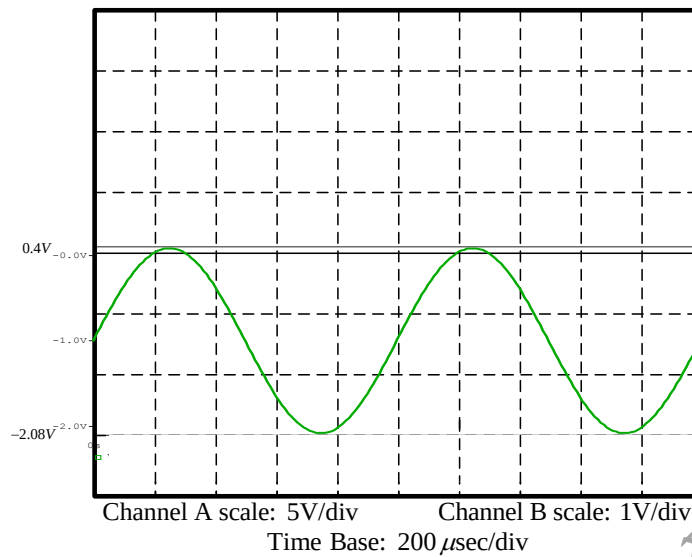
תרגיל מס' 5

באיור 2.37 מתואר מעגל הבנוי מ-2 מגברי שרת אידיאליים :



באיור 2.37 : תרגיל מס' 5 – מעגל

המתח במוצא המעגל, כפי שמוצג על צג האוסצילוסקופ מתואר באיור 2.38 :



איור 2.38 : תרגיל 5 – מתח מוצא

- א. רשום משוואה למתח המוצא כפונקציה של מתח מבוא V_s .
- ב. על סמך איור 2.38 חשב את מתח המבוא.
- א. בטעות הצימוד באוסצילוסקופ מכון לצימוד AC. איך תראה צורת הגל של מתח המוצא ע"ג האוסצילוסקופ?
- תשובה

א. המעגל סביב מגבר A_1 מממש מגבר הופך מופע:

$$V_{o1} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot V_s = -\frac{27}{10} \cdot V_s = -2.7 \cdot V_s$$

המעגל סביב מגבר A_2 מממש מסכם הופך מופע:

$$V_{o2} = -\frac{R_5}{R_3} \cdot V_{o1} - \frac{R_5}{R_4} \cdot 5 = -\frac{20}{10} \cdot (-2.7 \cdot V_s) - \frac{20}{20} \cdot 5 = 5.4 \cdot V_s - 5$$

ב. המתח המוצג ע"ג צג האוסצילוסקופ הוא מתח בעל ממוצע:

$$\bar{V}_o = \frac{0.4 + (-2.08)}{2} \cdot 5 = -4.2V$$

אמפליטודה של הגל שווה ל:

$$A = \frac{0.4 - (-2.08)}{2} \cdot 5 = 6.2V$$

לפי איור 2.38, זמן מחזור של הגל שווה ל-5 משבצות:

$$T = 5 \cdot DIV = 5 \cdot 200\mu = 1msec \Rightarrow f = 1kHz$$

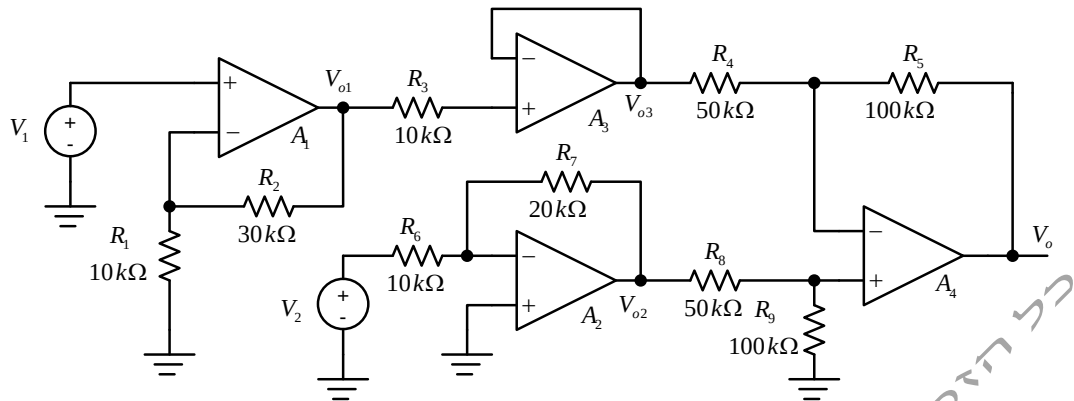
$$V_o(t) = 6.2 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 1000 \cdot t) - 4.2$$

נניח שמתח מבוא הוא בצורה:

$$V_s(t) = A \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 1000 \cdot t) + B$$

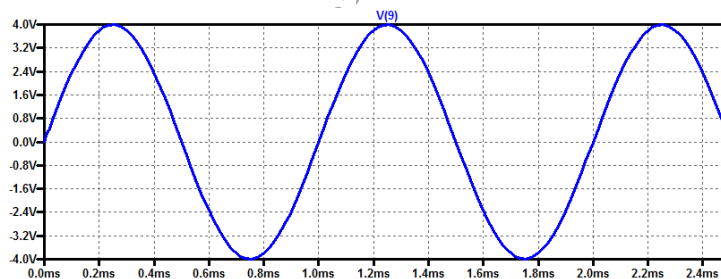
תרגיל מס' 31

באיור 2.94 מתואר מעגל עם מגברי שרת:



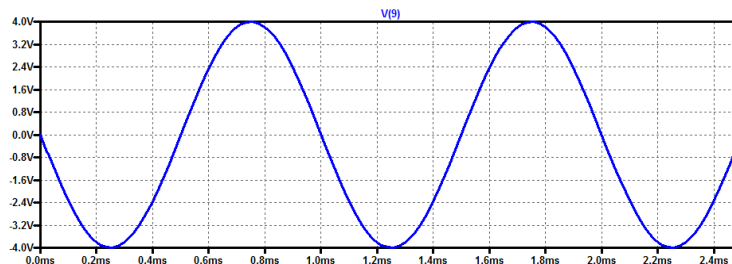
איור 2.94: תרגיל לפתרון עצמי 31 – המעגל

- רשום ביטוי למתח המוצא כפונקציה של מתחי מבוא V_1, V_2 .
- נתון: $v_1(t) = 1 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 1000 \cdot t)$. מה צריך להיות מתח $v_2(t)$ כדי שמתח המוצא יהיה שווה לאפס?
- שרטט מעגל עם 2 מגברי שרת שמבצע את אותה פעולה.
- חיברו מחולל אחד לכניסה V_1 ומחולל אחר לכניסה V_2 . ביציאת המעגל התקבל גל מתח המתואר באיור 2.95:



איור 2.95: תרגיל לפתרון עצמי 31 – מתח מוצא

- כאשר החליפו בין המחוללים, (החליפו את הכניסות), ביציאת המעגל התקבל גל מתח המתואר באיור 2.96:



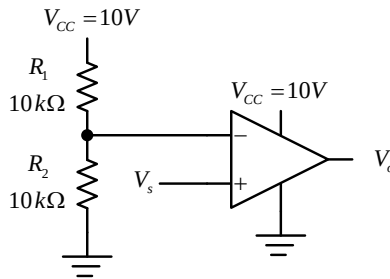
איור 2.96: תרגיל לפתרון עצמי 31 – מתח מוצא

חשב את מתחי המבוא.

תרגילים עם פתרון מלא – בכל התרגילים יש להניח מגבר אידיאלי

תרגיל דוגמא מס' 1

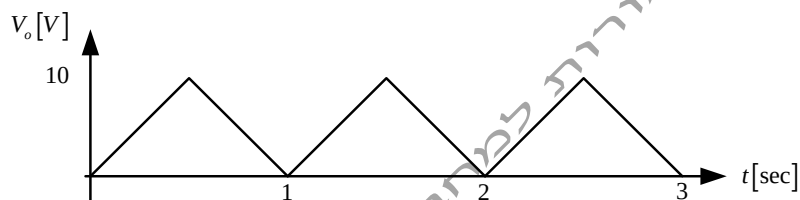
באיור 3.17 מתואר המעגל הבא:



איור 3.17: תרגיל דוגמא מס' 1 - המעגל

א. שרטט אופיין מעבר של המעגל $V_o = f(V_s)$.

ב. מתח מבוא $v_s(t)$ מתואר באיור 3.18:



איור 3.18: תרגיל דוגמא מס' 1 - מתח מבוא

שרטט את מתח המוצא $v_o(t)$.

ג. מה היחס בין תדירות אות מבוא ותדירות אות מוצא?

תשובה

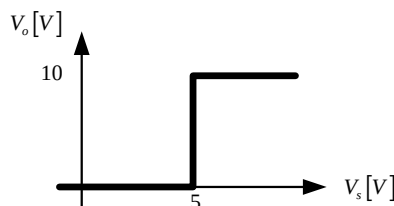
א. מתח בכניסה הופכת של המגבר שווה למחלק מתח בין הנגדים – לא נכנס זרם לכניסות המגבר:

$$V_- = V_{CC} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 10 \cdot \frac{10}{10 + 10} = 5V$$

כאשר $V_s < 5V$ המשווה נמצא ברוויה שלילית $(V_- > V_+)$ ולכן $V_o = 0V$.

כאשר $V_s > 5V$ המשווה נמצא ברוויה חיובית $(V_- < V_+)$ ולכן $V_o = 10V$.

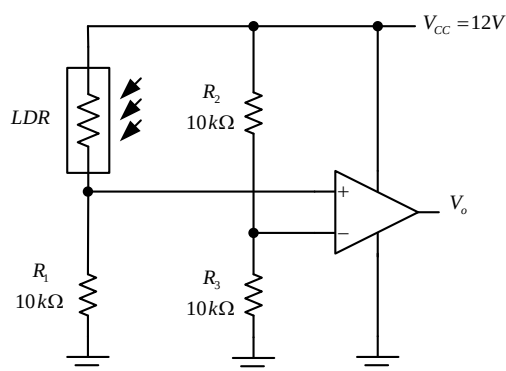
אופיין מעבר של המעגל מתואר באיור 3.19:



איור 3.19: תרגיל דוגמא מס' 1 - אופיין מעבר

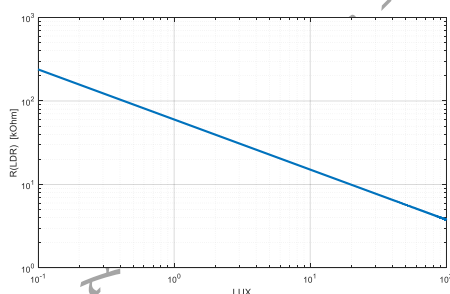
תרגיל

באיור 4.8 מתואר מעגל לזיהוי אור :



איור 4.8 : מעגל לזיהוי אור

באיור 4.9 מתואר אופיין של ה-LDR :



איור 4.9 : אופיין של LDR

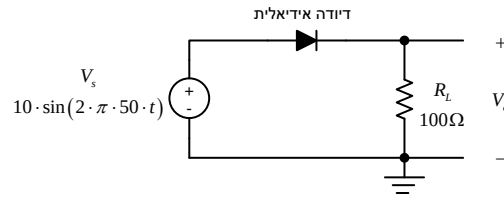
חשב את עוצמת התאורה שגורמת למעבר ביציאת המגבר.

תשובה

כאשר התאורה נמוכה, ההתנגדות של LDR גדולה מאוד ויציאת המגבר נמצאת במצב LOW (רוויה שלילית). המתח בכניסה הופכת של המגבר שווה ל- $6V$. כדי שהמתח בכניסה הלא הופכת יהיה שווה ל- $6V$, ההתנגדות של LDR צריכה להיות שווה ל- $10k\Omega$. מתוך אופיין ה-LDR רואים שעבור $R_{LDR} = 10k\Omega$ עוצמת התאורה שווה ל- $20 Lux$.

דוגמא

באיור 5.25 מתואר מיישר חצי גל המשלב דיודה אידיאלית :



איור 5.25 : מיישר חצי מתח

א. חשב את : מתח המוצא הממוצע, מתח המוצא היעיל, את ההספק המתפזר בנגד העומס.

ב. שרטט את מתח המבוא V_s , מתח המוצא V_o ואת מתח על הדיודה V_D .

תשובה

א. מתח מוצא ממוצע :

$$\overline{V_o} = \frac{V_m}{\pi} = \frac{10}{\pi} = 3.183V$$

מתח מוצא יעיל :

$$V_{o(rms)} = \frac{V_m}{2} = \frac{10}{2} = 5V$$

הספק המתפזר בנגד עומס :

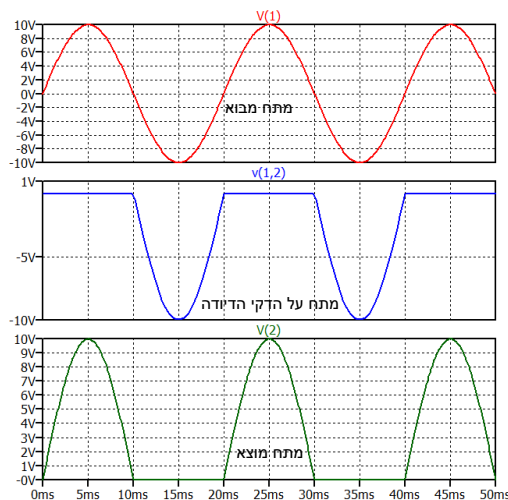
$$P = \frac{V_{o(rms)}^2}{R_L} = \frac{5^2}{100} = 0.25W$$

ב.

$$f = 50Hz \Rightarrow T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 20ms$$

באיור 5.26 מתוארים בהתאמה מלמעלה למטה : מתח מבוא V_s , מתח מוצא V_o ומתח על הדיקה

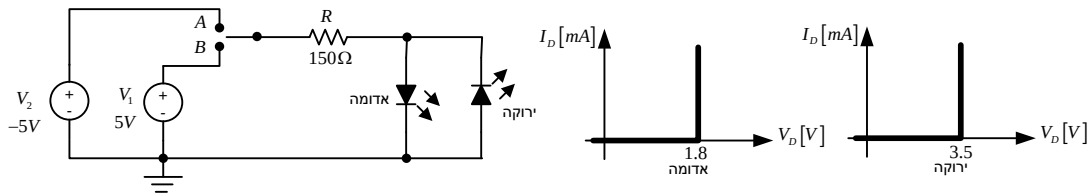
הדיודה V_D עבור 2.5 מחזורים של האות :



איור 5.26 : מיישר חד דרכי – צורות גלים

תרגיל דוגמא מס' 6

חיברו מעגל המתואר באיור 5.77 הכולל 2 דיודות: דיודה אדומה ודיודה ירוקה. האיור מתאר גם את אופייני הדיודות:

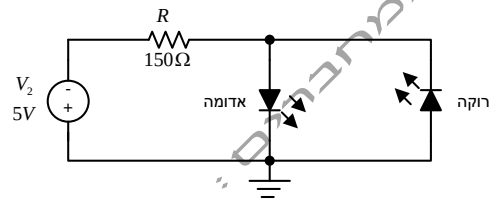


איור 5.77: תרגיל דוגמא מס' 6 – מעגל ואופייני הדיודות

- כאשר המפסק במצב A, איזו דיודה פולטת אור, חשב את הזרם דרכה ואת ההספק המתפזר בה.
- כאשר המפסק במצב B, איזו דיודה פולטת אור, חשב את הזרם דרכה ואת ההספק המתפזר בה.

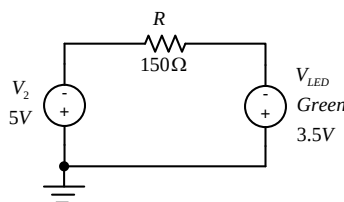
תשובה

- במצב A מתקבל המעגל המתואר באיור 5.78:



איור 5.78: תרגיל דוגמא מס' 6 – מצב A

דיודה ירוקה נמצאת בממתח קדמי ואילו דיודה אדומה בממתח אחורי ולכן המעגל הסופי, לאחר החלפת דיודה ירוקה במקור מתח מתואר באיור 5.79:



איור 5.79: תרגיל דוגמא מס' 6 – מצב A- מעגל תמורה

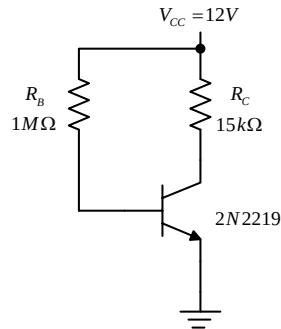
חישוב זרם והספק דרך הדיודה:

$$I_{LED(GREEN)} = \frac{V_2 - V_{LED(GREEN)}}{R} = \frac{5 - 3.5}{150} = \frac{1.5}{150} = 10 \text{ mA}$$

$$P_{LED(GREEN)} = V_{LED(GREEN)} \cdot I_{LED(GREEN)} = 3.5 \cdot 0.01 = 35 \text{ mW}$$

דוגמא

באיור 6.36 מתואר מעגל עם טרנזיסטור :



איור 6.36 : מעגל טרנזיסטורי

נתוני הטרנזיסטור : $\beta = 50, V_{BE} = 0.7V, V_{CEsat} = 0.2V$.

א. חשב את נקודת העבודה של הטרנזיסטור.

ב. הטרנזיסטור הוחלף לטרנזיסטור מאותו סוג אך עם $\beta = 100$. חשב שוב את נקודת העבודה של הטרנזיסטור.

תשובה

א.

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{12 - 0.7}{1000} = \frac{11.3}{1000} = 11.3 \mu A$$

$$I_C = \beta \cdot I_B = 50 \cdot 11.3 \mu = 0.565 mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C \cdot I_C = 12 - 15 \cdot 0.565 = 6.525 V$$

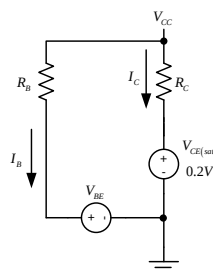
הטרנזיסטור במצב פעיל.

ב. מעגל בסיס אמיתר לא משתנה ולכן זרם בבסיס הוא כמו זרם בסעיף הקודם. בהנחה שהטרנזיסטור במצב פעיל מתקבל :

$$I_C = \beta \cdot I_B = 100 \cdot 11.3 \mu = 1.13 mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C \cdot I_C = 12 - 15 \cdot 1.13 < 0 !!$$

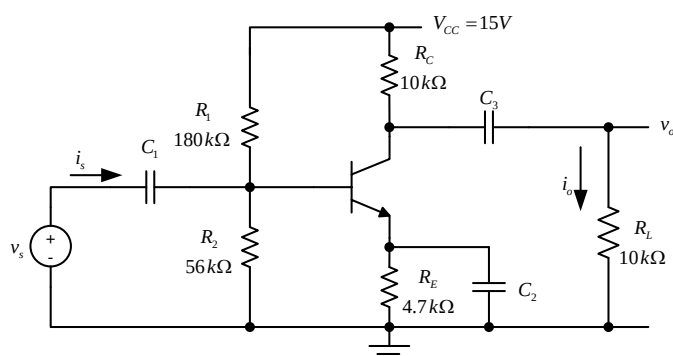
הטרנזיסטור לא במצב פעיל. נניח שהטרנזיסטור במצב רוויה. מעגל תמורה למצב רוויה מתואר באיור 6.37 :



איור 6.37 : מעגל תמורה למצב רוויה

תרגיל

באיור 6.81 מתואר מגבר CE :



איור 6.81 : מגבר CE

נתוני טרנזיסטור : $\beta = h_{fe} = 100$, $V_{BE} = 0.7V$, $h_{ie} = 5k\Omega$.

א. חשב את נקודת העבודה.

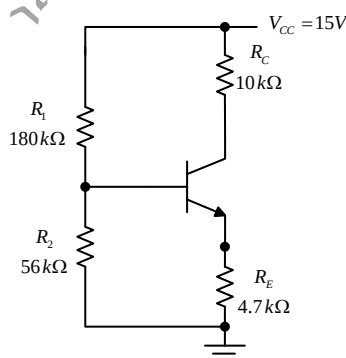
ב. שרטט את מעגל תמורה לאות קטן.

ג. חשב את הגבר המתח $A_v = \frac{v_o}{v_s}$, הגבר זרם $A_i = \frac{i_o}{i_s}$, התנגדות מבוא R_i והתנגדות מוצא R_o .

R_o, R_o'

תשובה

מעגל DC לאחר ניתוק קבלים מתואר באיור 6.82 :



איור 6.82 : מגבר CE – מעגל DC

חישוב נקודת עבודה :

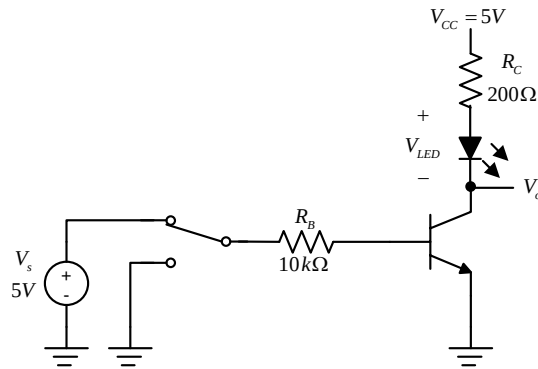
$$V_{th} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{CC} = \frac{56}{180 + 56} \cdot 15 = 3.559V$$

$$R_{th} = R_1 \parallel R_2 = 180 \parallel 56 = 42.711k\Omega$$

$$I_C = \frac{\beta \cdot (V_{th} - V_{BE})}{R_{th} + (\beta + 1) \cdot R_E} = \frac{100 \cdot (3.559 - 0.7)}{42.711 + 101 \cdot 4.7} = 0.552mA$$

דוגמא

באיור 6.106 מתואר מעגל שתפקידו להפעיל תאורה כאשר מתח מבוא נמצא במצב HIGH :



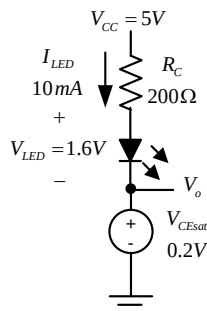
איור 6.106 : מעגל מיתוג טרנזיסטורי

נתוני הטרנזיסטור : $V_{CEsat} = 0.2V$, $V_{BE} = 0.7V$, $\beta = 100$. נתוני LED : $V_{LED} = 1.6V$.

- אם דרוש $I_{LED} = 10mA$, חשב את ערכו של נגד R_{LED} .
- חשב את ערכו המכסימלי של נגד R_B המבטיח פעולה תקינה של המעגל.
- אם מיתוג המעגל הוא סימטרי, כלומר 50% מהזמן ה-LED דולק ו-50% הוא כבוי, חשב את ההספק המכסימלי הרגעי בטרנזיסטור ואת ההספק הממוצע. הנח $R_B = 39k\Omega$.

תשובה

א. כאשר הטרנזיסטור מוליך ונמצא ברוויה מתקבל מעגל המתואר באיור 6.107 :



איור 6.107 : טרנזיסטור ברוויה – מעגל תמורה

$$V_{CC} - R_{LED} \cdot I_{LED} - V_{LED} - V_{CEsat} = 0$$

$$5 - R_{LED} \cdot 10 - 1.6 - 0.2 = 0 ; R_{LED} = \frac{5 - 1.6 - 0.2}{10} = 0.32k\Omega$$

$$I_B > \frac{I_C}{\beta} = \frac{10}{100} = 0.1mA : \text{זרם בסיס } I_B \text{ חייב להיות גדול מ:}$$

1 מייצבי מתח בעלי 3 הדקים (מייצבים קבועים)

מייצבי מתח בעלי 3 הדקים הם מייצבים למתח מוצא קבוע. מייצבים אלה לא דורשים חיבור משותף וכתוצאה מכך נדרשים רק 3 הדקים:

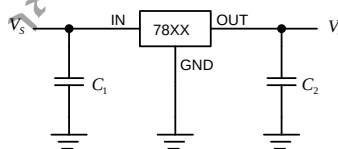
- הדק מבוא V_{in}
- הדק מוצא V_{out}
- הדק אדמה $Ground$

מייצבים מסוג זה נפוצים ביותר במעגלים אלקטרוניים הבנויים על מעגל מודפס. מייצבים אלה מצטיינים במחיר נמוך ובפשטות. ניתן להשתמש בהם כבסיס למייצבים ליניאריים בעלי זרמים גבוהים ומתחים גבוהים.

מכוון ומתח המוצא V_o במייצבים מסוג זה קבוע, וכל רכיב מתוכנן לזרם מוצא מוגדר מראש, נגדי הגבלת זרם הם נגדים פנימיים.

היתרון הבולט של מייצבי מתח אלה הוא בפשטות החיבורים. ביישומים הבסיסיים אין צורך לחבר רכיבים נוספים למייצבי מתח מסוג זה, כאשר רוצים לבנות מעגל מורכב יותר סביב מייצב מתח קבוע ניתן לבנותו עם מספר רכיבים קטן.

באיור 7.11 מתואר חיבור בסיסי של מייצב מתח 3 הדקים.



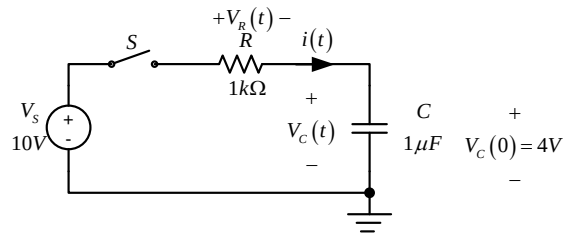
איור 7.11: חיבור בסיסי של מייצב מתח 3 הדקים

הקבל המחובר במבוא, C_1 , נדרש רק כאשר המייצב ממוקם במרחק העולה על 5 ס"מ מקבל הסינון של המייצב. במידה והמרחק גדול, ללא קבל C_1 השראות החיבורים בין המייצב לספק יכולה לגרום לתנודות. התנגדות אוהמית של הקבל חייבת להיות קטנה. הערכים המומלצים הם $0.2 \mu F$ לקבל קרמי, $2 \mu F$ או יותר לקבל טנטלום או $25 \mu F$ או יותר לקבל אלקטרוליטי.

במוצא של המייצב הוספת קבל C_2 תשפר את תגובת המייצב לשינויים בעומס ותקטין את הרעש ביציאת המייצב.

דוגמא

באיור 8.9 מתואר מעגל RC :



איור 8.9 : מעגל RC

מתח 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 מתי מתח על הדקי הקבל שווה ל- $7.5V$.

תשובה

א. הקבל נטען מ- $V_C(0) = 4V$ לכוון מתח המקור $V_s = 10V$ דרך נגד R :

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

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

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

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

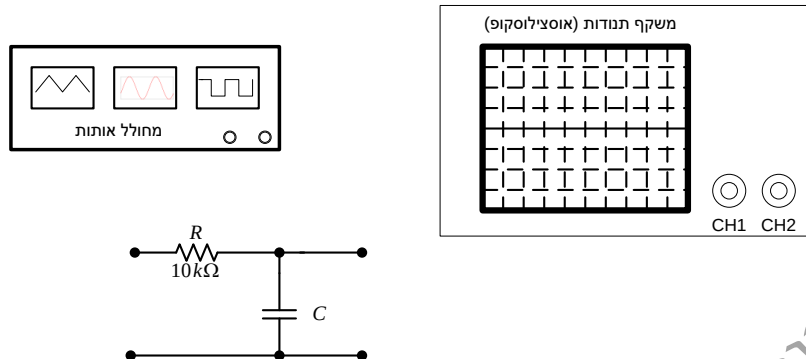
המתח על הדקי הנגד יורד לכוון $0V$.

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

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

דוגמא

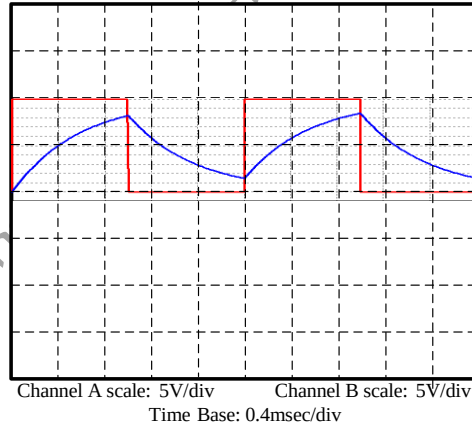
כדי לגלות מה ערכו של קבל מסוים, ביצעו ניסוי ושילבו את הקבל במעגל RC כמתואר באיור 8.40:



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 ?

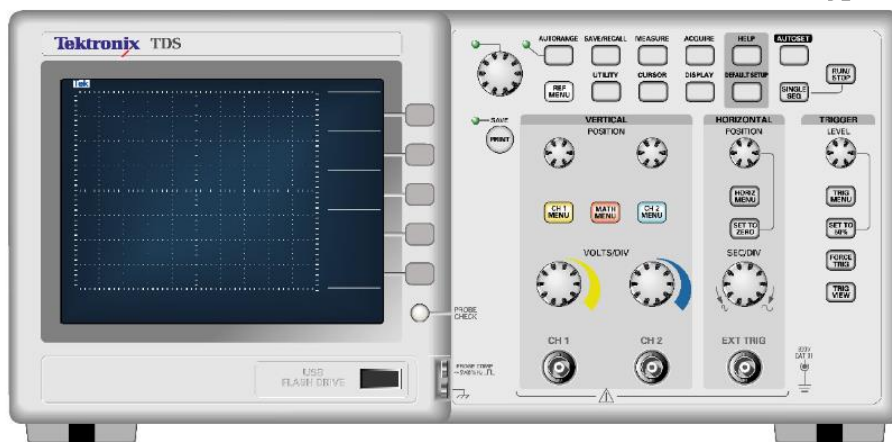
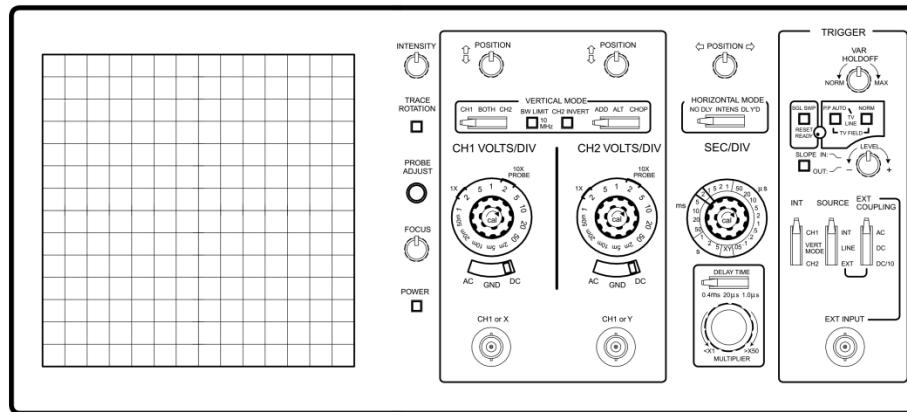
II. לפי תוצאות המדידה חשב את ערכו של הקבל.

תשובה

$$I_{o(1')} = I_{REF} \cdot \left(\frac{b_1}{2} + \frac{b_2}{4} + \frac{b_3}{8} + \frac{b_4}{16} \right) ; I_{o(1')} (0000) = 2 \cdot 0 = 0 \text{ mA}$$

$$I_{o(0')} = I_{max} - I_{REF} \cdot \left(\frac{b_1}{2} + \frac{b_2}{4} + \frac{b_3}{8} + \frac{b_4}{16} \right) = \frac{15}{8} - 0 = 1.875 \text{ mA}$$

באיור A.3 מתוארים פאנלים קדמיים של אוסצילוסקופ:



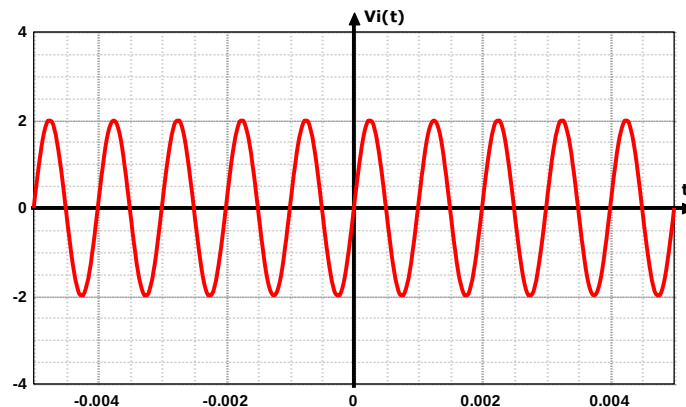
איור A.3: פאנל קדמי של אוסצילוסקופ

באיור A.3 מתוארים אוסצילוסקופים עם 2 כניסות (ערוצים). ישנם אוסצילוסקופים בעלי 3, 4 ויותר ערוצים. ככל שמספר ערוצים גדול יותר ניתן להציג יותר גלים ביחד באותה תצוגה.

בקרה אנכית Vertical

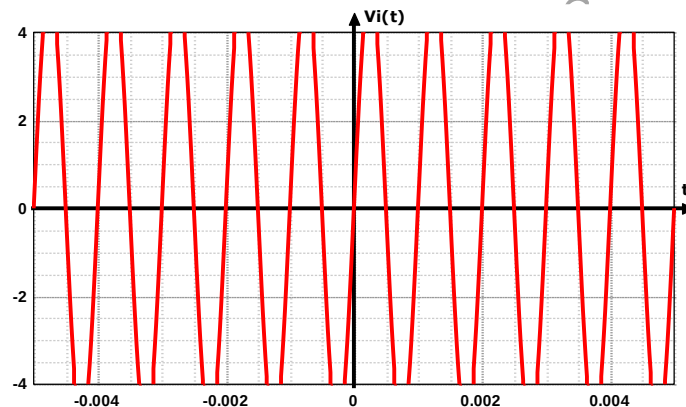
בקרה אנכית מאפשרת הצגת אותות באמפליטודות שונות ע"ג צג המכשיר ע"י הגברה/הנחתה של האותות המתחברים לכניסות האוסצילוסקופ. המגבר האנכי פועל ביחידות VOLTS/DIV. תחום ההגברה נע בגבולות 2mV/DIV עד 5V/DIV. חשוב מאוד להבין שהאוסצילוסקופ לא משנה את האות עצמו. ההגברה/הנחתה מיועדת לקבלת תמונה ברורה של הגל ע"י המסך.

לדוגמא, אם האות הנדגם בעל אמפליטודה $1V$, ההגבר המתאים ביותר הוא $0.5V/DIV$ ותצוגת האות תהייה על 4 משבצות אנכיות, כמתואר באיור A.3:



איור A.3: הצגת אות על גבי אוסצילוסקופ – בחירת הגבר אנכי נכון

אם נעלה את ההגבר ל- $0.2V/DIV$, צורת הגל "תברח" מהמסך כמתואר באיור:



איור A.4: הצגת אות על גבי אוסצילוסקופ – בחירת הגבר אנכי לא נכון

מאידך, הקטנת ההגבר תגרום להצגת האות באופן קטן מאוד ותגרור בעיית סינכרון. לעומת זאת אות באמפליטודה $10mV$ יש להציג בהגבר $5mV/DIV$ ושוב נקבל גל המוצג על 4 משבצות אנכיות. אות מבוא גדול בעל אמפליטודה $20V$ נציג בעזרת הגבר $5V/DIV$ ואז הגל יתפוס את כל 8 המשבצות האנכיות.

באיור A.5 מתואר פאנל בקרה להגבר אנכי:

איור A.5: פאנל בקרה להגבר אנכי

