

# תוכן העניינים:

3	פרק 1
3	דיודות
3	דיודה אידיאלית :
3	סיכום כללי :
5	שאלות :
7	תשובות סופיות :
8	דיודה לא אידיאלית :
8	סיכום כללי :
10	שאלות :
16	תשובות סופיות :
17	קו עומס של מעגל ונקודת עבודה :
17	סיכום כללי :
18	שאלות :
19	תשובות סופיות :
20	דיודת זנר :
20	סיכום כללי :
21	שאלות :
22	תשובות סופיות :

## הקדמה כללית:

תלמידים יקרים!

פרק הדיודות כולל בתוכו את כל החומר הנלמד באופן המותאם אישית למוסד הלימוד שלכם והחוג בו אתם לומדים.

הפרק בנוי מנושאים, שכל אחד פותח בסיכום ולאחריו שאלות תרגול ברמה עולה. את ההסברים לכל תכני הסיכומים ניתן למצוא באתר GOOL.CO.IL בפירוט והרחבה. בחלק מהנושאים בחוברת זו, הסיכום התיאורטי כולל דוגמאות. אלו נפתרות בהרחבה בקורס המתקשב באתר GOOL כחלק מהלימוד התיאורטי.

שאלות התרגול נחלקות לשני סוגים:

- **שאלות חימום:** נלקחו מקורסי הנדסאים ומטרתן לבסס את היסודות.
- **שאלות כלליות:** אלו מתאימות לתכני לימוד שלכם מהכיתה.

בהצלחה בלמידה ובבחינות!

צוות האתר גול.

# פרק 1

## דיודות

### דיודה אידיאלית:

**סיכום כללי:**

**התקן לא ליניארי:**

התקן חשמלי הפועל באופנים שונים תחת מצבים שונים של מפלי מתח עליו או מעברי זרמים דרכו.

**הדיודה:**



דיודה היא התקן המורכב מצומת PN. ניתן לחבר דיודה בשני אופנים:

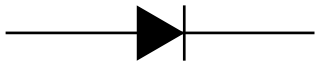
**ממתח חיובי (מצב הולכה – הדיודה פתוחה):**

הפוטנציאל באנודה גדול משל הקתודה ( $v_p > v_n$ ). הפרש הפוטנציאלים מתבטל ותנועת מטענים מתאפשרת.

**ממתח אחורי (מצב קיטעון – הדיודה סגורה):**

הפוטנציאל בקתודה גדול משל האנודה ( $v_p < v_n$ ). הפרש הפוטנציאלים גדל וההתקן נחסם לתנועה של מטענים.

**סימון חשמלי של דיודה:**



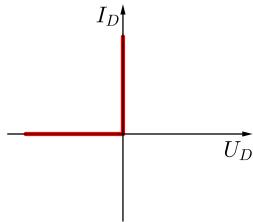
להלן סימון החשמלי של דיודה. כיוון החץ מצביע על כיוון הזרם בממתח חיובי.

**דיודה אידיאלית:**

התקן שעבור מפל מתח חיובי (כלומר בכיוון החץ) תתנהג כקצר ועבור מפל מתח שלילי (נגד כיוון החץ) תתנהג כנתק.

**אופיין הדיודה:**

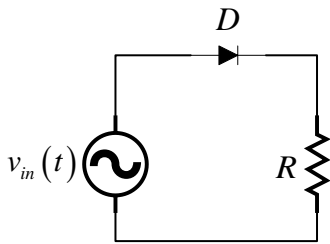
אופיין דיודה הוא גרף המתאר את התלות של הזרם העובר דרך הדיודה למפל המתח עליה. נסמן  $I_D$  את הזרם דרך הדיודה וב-  $U_D$  את מפל המתח עליה. האופיין הוא הגרף מהצורה:  $I_D = f(U_D)$ .



**אופיין הדיודה האידיאלית:**

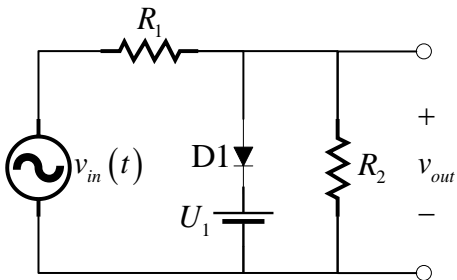
$$I_D = \begin{cases} 0 & U_D < 0 \\ \infty & U_D > 0 \end{cases} \text{ : תבנית מתמטית}$$

**דוגמא לפעילות של דיודה במעגל בסיסי:**



הנח כי במעגל הבא הדיודה D היא אידיאלית. מתח הכניסה הוא  $v_{in}(t) = 4 \sin(100\pi \cdot t)$  [V]. צייר את אות המוצא של מפל המתח על הנגד R:

**דוגמא לשימוש של דיודה במעגל מורכב:**



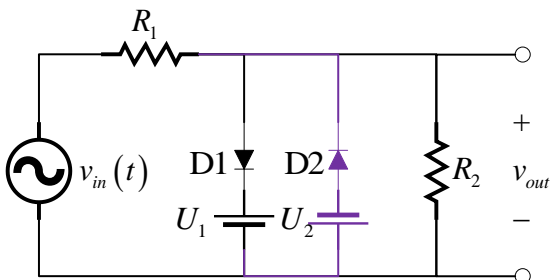
במעגל שלפניך:  $U_1 = 2V$ ,  $R_1 = R_2 = 3k\Omega$ . מתח הכניסה הוא סינוסי מהצורה:  $v_{in}(t) = 8 \sin(\omega t)$  [V]. מחברים דיודה אידיאלית D1 ומגדירים את מתח המוצא במעגל כמתואר בתרשים.

א. צייר את אות המוצא  $v_{out}(t)$ .

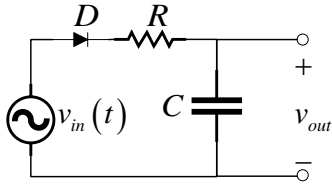
ב. כיצד ישתנה הגרף אם מסובבים את הדיודה D1?

ג. מוסיפים ענף למעגל, המקביל לענף של הדיודה D1 ומקור המתח, כמתואר בתרשים הבא ובו דיודה נוספת D2 ומקור מתח  $U_2 = 3V$ .

כיצד ישתנה הגרף שסירטטת כעת?



◀ דוגמא למעגל עם דיודה וקבל:



במעגל שלפניך נתון:  $C = 9\mu\text{F}$ ,  $R = 4\text{k}\Omega$ .

מתח הכניסה הוא  $v_{in}(t) = 8 \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right)$  [V].

הדיודה הינה אידיאלית.

א. סרטט את אות מתח המוצא (המסומן)  $v_{out}(t)$  עבור:

i.  $RC \ll T$ .

ii.  $RC \gg T$ .

ב. מוסיפים נגד עומס  $R_L = 1\text{k}\Omega$  המחובר להדקי היציאה.

סרטט את  $v_{out}(t)$  עבור:

i.  $R_L C \gg T$ ,  $RC \ll T$ .

ii.  $R_L C \ll T$ ,  $RC \ll T$ .

iii.  $R_L C \gg T$ ,  $RC \gg T$ .

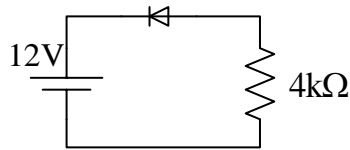
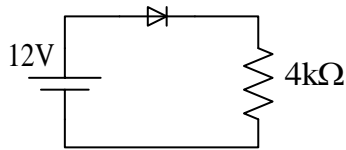
iv.  $R_L C \ll T$ ,  $RC \gg T$ .

שאלות:

שאלות חימום - דיודה במעגלי זרם ישר:

(1) לפניך שני המעגלים הבאים:

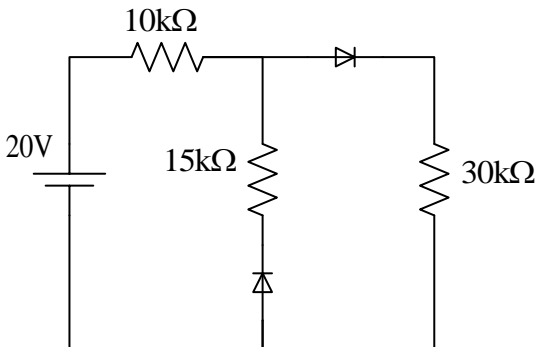
כתוב את מפלי המתח במעגל בהנחה שהדיודות אידיאליות.



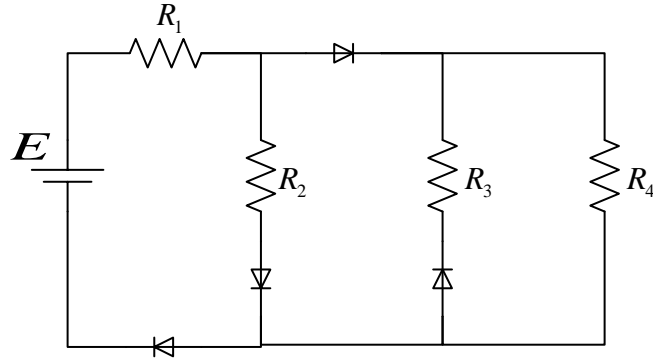
(2) במעגל הבא כל הדיודות הן אידיאליות.

חשב את הזרמים ומפלי המתח

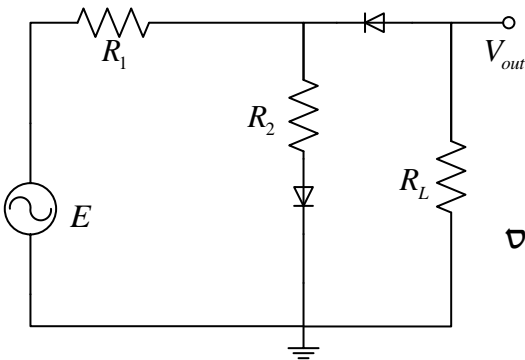
על כל אחד מהנגדים.



- 3 במעגל הנתון לפניך כל הדיודות הן ממודל ראשון.  
מקור המתח הינו מקור אידיאלי.  
נתון:  $E = 24V$ ,  $R_1 = 11k\Omega$ ,  $R_2 = 12k\Omega$ ,  $R_3 = 100k\Omega$ ,  $R_4 = 24k\Omega$ .  
חשב את עוצמת הזרם דרך הנגד  $R_2$ .



**שאלות חימום – דיודה במעגל זרם חילופין:**

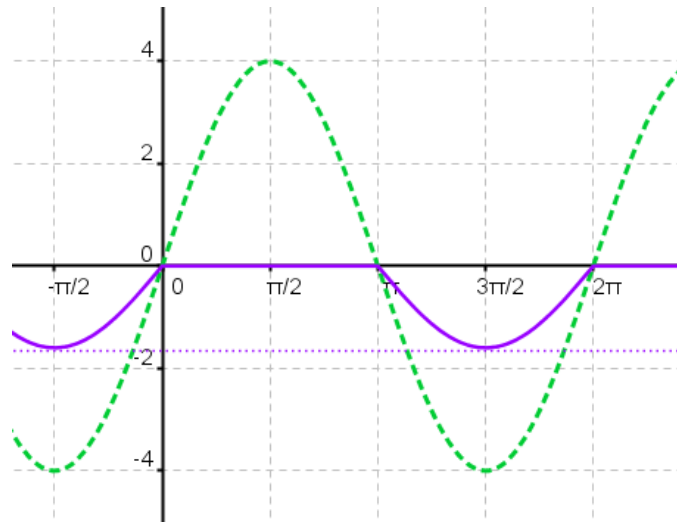


- 4 במעגל שלפניך נתונים ערכי הרכיבים הבאים:  
 $R_1 = 800\Omega$ ,  $R_2 = 200\Omega$ ,  $R_L = 400\Omega$   
מקור המתח הוא:  $E(t) = 5 \sin(1000\pi \cdot t)$  [V]  
הדיודות הן אידיאליות.  
סרטט את מהלך המתח המתפתח על פני נגד העומס בהתאמה למקור מתח הכניסה של המעגל,  $E$ .

**שאלות כלליות - דיודה אידיאלית:**

**תשובות סופיות:**

- (1) מעגל שמאלי:  $U_R = 12V$       מעגל ימני:  $U_R = 0V$
- (2)  $10k\Omega: U = 5V, I = 0.5mA$ ;  $15k\Omega: U = 0V, I = 0A$ ;  $30k\Omega: U = 15V, I = 0.5mA$
- (3)  $I = 0.842mA$
- (4) להלן הסרטוט:



## דיודה לא אידיאלית:

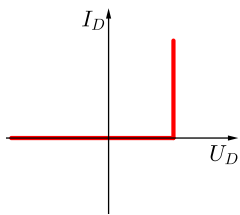
**סיכום כללי:**

**מודלים של דיודה:**

**דיודה ממודל ראשון:**

דיודה אידיאלית נקראת דיודה ממודל ראשון.

**דיודה ממודל שני:**



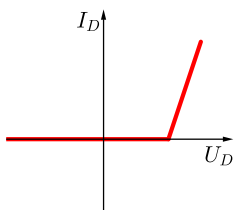
התקן המתפקד כקצר עבור מפל מתח חיובי הגדול מערך נקוב  $v_D$  ונתק עבור מפל מתח הקטן ממנו. הערך  $v_D$  הינו קבוע לכל דיודה ונקרא בשם: **מתח הברך של הדיודה**.

זה הוא הערך המינימלי שנדרש בכדי לפתוח את מחסום הפוטנציאלים של ההתקן.

$$I_D = \begin{cases} 0 & U_D < v_D \\ \infty & U_D > v_D \end{cases} \text{ : תבנית מתמטית}$$

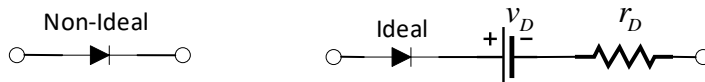
**דיודה ממודל שלישי:**

דיודה לא אידיאלית הינה התקן שמכיל מתח ברך  $v_D$  והתנגדות דינמית  $r_D$ . כאשר הדיודה במצב הולכה (ממתח קדמי) והיא פתוחה, ניתן יהיה להתייחס למפל המתח עליה בתור מפל קבוע של  $v_D$  בתוספת מפל מתח על התנגדותה הפנימית  $r_D$ .



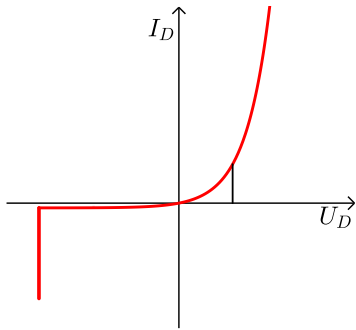
$$I_D = \begin{cases} 0 & U_D \leq v_D \\ \frac{1}{r_D} \cdot (U_D - v_D) & U_D > v_D \end{cases} \text{ : תבנית מתמטית}$$

כאשר הדיודה סגורה (מצב קיטעון) נתייחס אליה כאל נתק במעגל. כאשר הדיודה פתוחה (מצב הולכה) נוכל למדל אותה באופן הבא:





**דיודה מעשית:**



$$I = I_0 \left( e^{\frac{U_D}{\eta \cdot v_{Th}}} - 1 \right)$$

כאשר:

$I_0$  - זרם הזליגה של הדיודה.

$v_{Th}$  - מתח תרמי שערכו קבוע ל-26 mV.

$\eta$  - מקדם עבור המתח התרמי.

ערכו 1 עבור דיודת גרמניום ו-2 עבור דיודת סיליקון.

עבור ממתח קדמי אפשר לקרב:  $I = I_0 e^{\frac{U_D}{\eta \cdot v_{Th}}}$

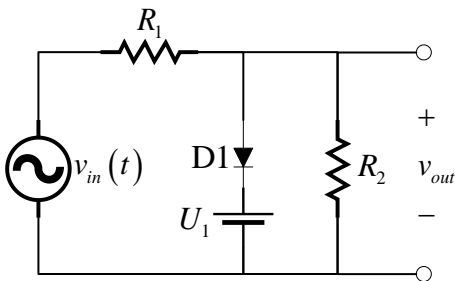
עבור ממתח אחורי נאמר כי הזרם הוא זרם הזליגה:  $I \sim I_0$

(סדרי גודל של זרם זליגה:  $I_0 \sim 10^{-15} \text{ A} = 1 \text{ fA}$ )

$$r_D = \frac{dU_D}{dI} = \left( \frac{dI}{dU_D} \right)^{-1} = \frac{\eta \cdot v_{Th}}{I_0} e^{-\frac{U_D}{\eta \cdot v_{Th}}}$$

ההתנגדות הדינמית של דיודה מעשית הוא:

**◀ דוגמא למעגל עם דיודה לא אידיאלית (מודל 3):**



במעגל שלפניך:  $U_1 = 2 \text{ V}$ ,  $R_1 = R_2 = 3 \text{ k}\Omega$

מתח הכניסה הוא סינוסי מהצורה:  $v_{in}(t) = 8 \sin(\omega t) \text{ [V]}$

מחברים דיודה D1 ומגדירים את מתח המוצא במעגל כמתואר בתרשים.

א. צייר את אות המוצא  $v_{out}(t)$  עבור המקרים הבאים:

i. הדיודה D1 אידיאלית.

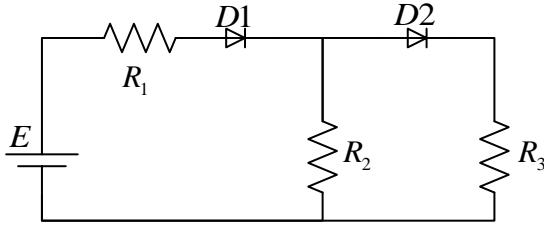
ii. הדיודה D1 לא אידיאלית עם  $v_D = 0.3 \text{ V}$  ועם התנגדות דינמית של  $0 \Omega$ .

iii. הדיודה D1 לא אידיאלית עם  $v_D = 0.3 \text{ V}$  ו- $r_D = 15 \Omega$ .

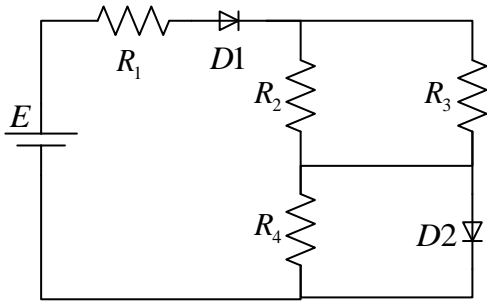
ב. כיצד ישתנה הגרף בכל אחד מהמקרים הקודמים אם מסובבים את הדיודה D1?

שאלות:

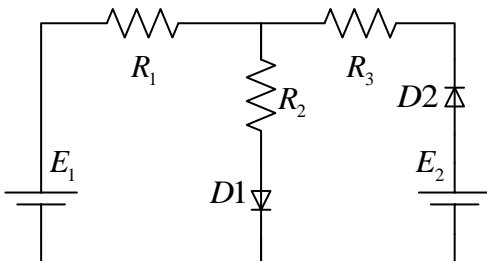
שאלות חימום – זיודה במעגל זרם ישר:



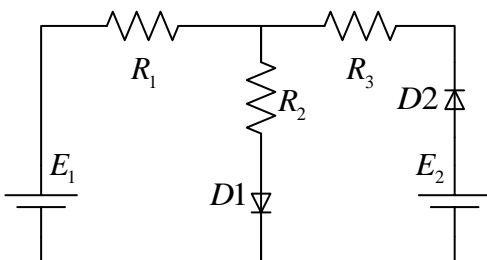
- (1) במעגל שלפניך ערכי הרכיבים הם:  
 $E = 18V$ ,  $R_1 = 6k\Omega$ ,  $R_2 = 8k\Omega$ ,  $R_3 = 12k\Omega$   
 מקור המתח הוא אידיאלי.  
 הזיודה  $D1$  היא ממודל שני ובה:  $v_{D1} = 0.8V$ .  
 הזיודה  $D2$  היא ממודל שלישי  
 עם:  $v_{D2} = 0.65V$ ,  $r_{D2} = 200\Omega$   
 חשב את הזרמים דרך כל אחד מהנגדים במעגל.



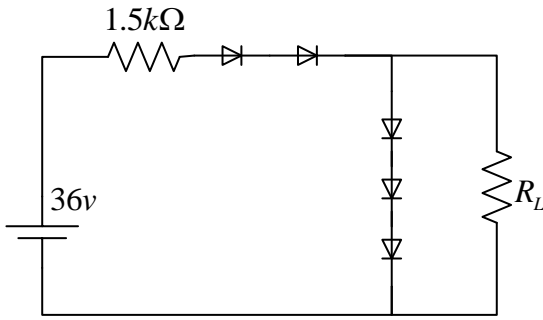
- (2) בתרשים החיבורים שלפניך נתון:  
 $R_1 = 3.1k\Omega$ ,  $R_2 = 3k\Omega$   
 $R_3 = 2k\Omega$ ,  $R_4 = 0.5k\Omega$   
 מפל המתח על הנגד  $R_1$  הוא  $9.3V$ .  
 נתוני הזיודות הם:  
 זיודה  $D1$ :  $v_{D1} = 0.65V$ ,  $r_{D1} = 250\Omega$   
 זיודה  $D2$ :  $v_{D2} = 0.7V$  (מודל שני).  
 מצא את ערך מקור המתח  $E$ .



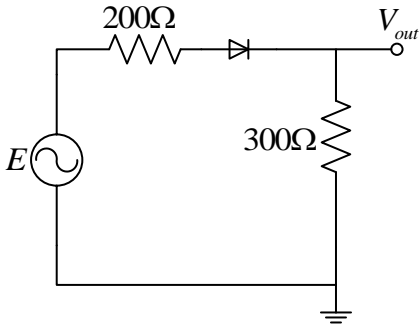
- (3) במעגל שלפניך כל הזיודות הן  
 ממודל שני בעל:  $v_D = 0.6V$ .  
 נתון:  $E_1 = 12V$ ,  $E_2 = 24V$ .  
 $R_1 = 3k\Omega$ ,  $R_2 = 2k\Omega$ ,  $R_3 = 1k\Omega$   
 מצא את כל הזרמים והמתחים על פני  
 כל הנגדים במעגל.



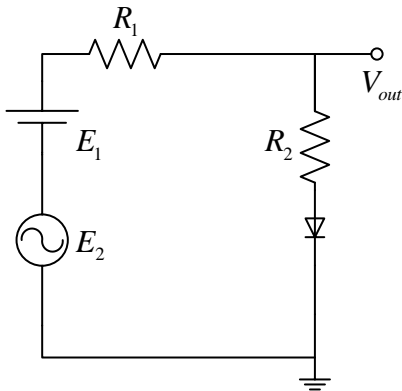
- (4) במעגל שלפניך כל הזיודות הן ממודל שלישי  
 עם:  $v_D = 0.6V$ ,  $r_D = 150\Omega$ .  
 נתון:  $E_1 = 12V$ ,  $E_2 = 24V$ .  
 $R_1 = 3k\Omega$ ,  $R_2 = 2k\Omega$ ,  $R_3 = 1k\Omega$   
 מצא את כל הזרמים והמתחים על פני  
 כל הנגדים במעגל.



- 5 במעגל שלפניך כל הדיודות הן זהות והינן ממודל שלישי עם:  $v_D = 0.7V$ ,  $r_D = 50\Omega$ .  
 ערכי כל הרכיבים מופיעים בתרשים החשמלי.  
 חשב את מפל המתח על נגד עומס של  $0.3k\Omega$ .



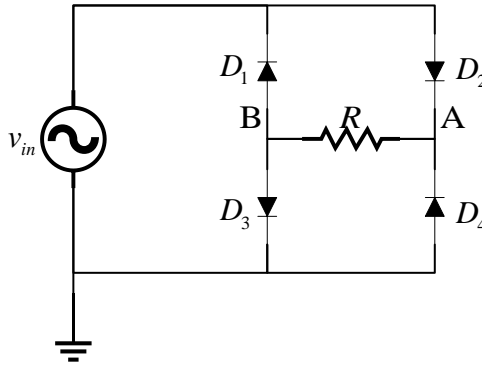
- 6 במעגל שלפניך נתון:  $E(t) = 4 \sin(2000t)$  [V].  
 שאר רכיבי המעגל מופיעים באיור.  
 סרטט את מתח המוצא ומתח הכניסה בהתאמה עבור המצבים הבאים:  
 א. הדיודה אידיאלית.  
 ב. הדיודה ממודל שני:  $v_D = 0.7V$ .  
 ג. הדיודה ממודל שלישי:  $v_D = 0.6V$ ,  $r_D = 100\Omega$ .



- 7 במעגל שלפניך נתון מתח כניסה:  $E_2(t) = \frac{1}{2} \sin(\omega t)$  [V].  
 כמו כן:  $E_1 = 100V$ ,  $R_1 = 500\Omega$ ,  $R_2 = 250\Omega$ .  
 חשב את מתח המוצא עבור המקרים הבאים:  
 א. הדיודה אידיאלית.  
 ב. הדיודה ממודל שני:  $v_D = 0.7V$ .  
 ג. הדיודה ממודל שלישי:  $v_D = 0.6V$ ,  $r_D = 80\Omega$ .

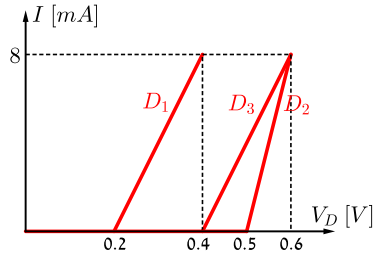
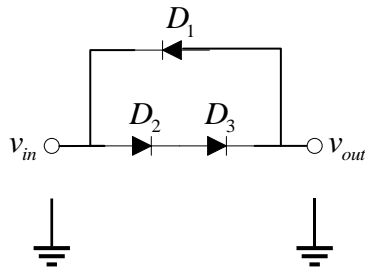
שאלות כלליות – דיודה לא אידיאלית:

8) במעגל שלפניך ישנו גשר דיודות המורכב מ-4 דיודות זהות לא אידיאליות עם מתח ברך של  $0.6V$  והתנגדות דינמית של  $30\Omega$  לכל דיודה. בין הנקודות A ו-B מחברים נגד  $R$  שהתנגדותו אינה ידועה. אות מתח הכניסה של המעגל הוא:  $v_{in}(t) = 5 \sin(100\pi t)$  [V]. מסמנים את מתח המוצא  $v_{out}(t) = V_A - V_B$ .



- א. ענה על הסעיפים הבאים (בטא באמצעות  $R$  במידת הצורך):
- מהו מפל המתח המירבי על הנגד  $R$ ?
  - סרטט במערכת צירים אחת את  $v_{in}(t)$  ו-  $v_{out}(t)$ .
- ב. מוסיפים קבל  $C$  שערכו  $1.5\mu F$  במקביל לנגד  $R$ .
- האם הקבל יטען במלואו מתישהו? אם כן אז מתי?
  - כתוב תנאי על  $R$  עבורו הקבל יתפרק לחלוטין בכל מחזור של  $v_{in}$ . סרטט את אות המוצא  $v_{out}(t)$  יחד עם אות הכניסה  $v_{in}(t)$  במקרה זה.
- ג. מצא ערך מקורב ל-  $R$  עבורו הקבל יאבד פחות מ-5% מערכו בכל מחזור טעינה. סרטט את אות המוצא  $v_{out}(t)$  יחד עם אות הכניסה  $v_{in}(t)$  במקרה זה.
- ד. מנתקים את הקבל מהסעיף הקודם ומחברים אותו בטור לנגד  $R$ . הנח כי הקבל אינו טעון בתחילה וענה על הסעיפים הבאים:
- כתוב תנאי על  $R$  עבורו הקבל יטען במלואו ברבע מחזור אות המתח הראשון מרגע חיבורו.
  - סרטט מחזור אחד של אות מתח הכניסה ומתח הקבל תחת התנאי שרשמת בסעיף הקודם.
  - כיצד ישתנה הגרף שסירטטת אם התנאי שרשמת לא מתקיים? לאחר כמה מחזורי (אם בכלל) ניתן להניח כי הקבל יטען במלואו? תן תשובה איכותית, אין צורך בחישוב מדויק.

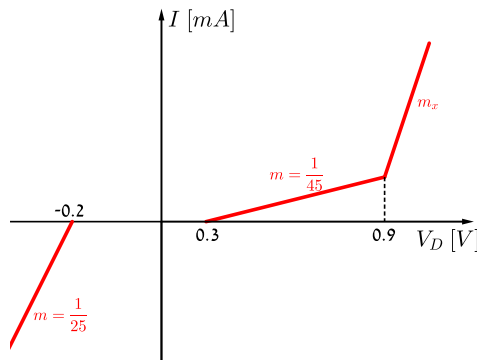
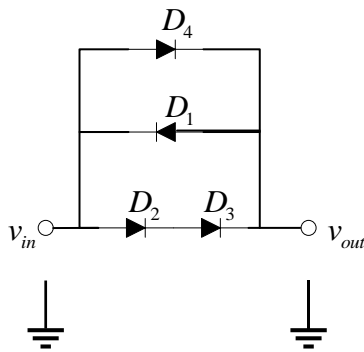
9) המעגל שלפניך מורכב מ-3 דיודות לא אידיאליות D1, D2 ו-D3. האופיין של כל אחת מהדיודות מופיע בתרשים הבא.



א. מצא את האופיין  $I(v_{in})$  של המעגל.

ב. מוסיפים דיודה רביעית D4 כמתואר במעגל הבא.

ידוע כי האופיין  $I(v_{in})$  כעת הוא :



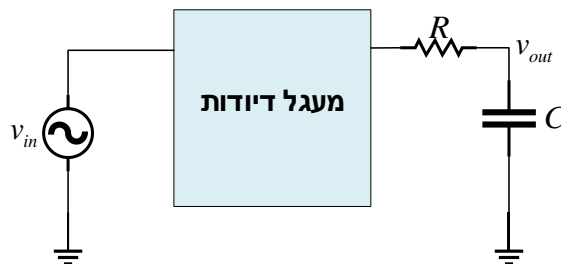
i. מצא את  $V_{D4}$  ואת  $r_{D4}$ .

ii. מצא את  $m_x$ .

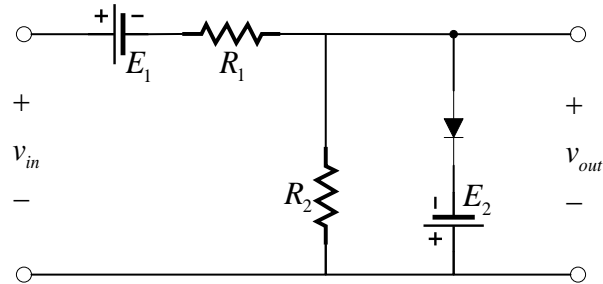
ג. מחברים למעגל מקור מתח חילופין:  $v_{in}(t) = 1.1 \sin(100\pi t)$  [V]

ורשת של נגד  $R = 1k\Omega$  וקבל של  $C = 10\mu F$  כמתואר באיור הבא.

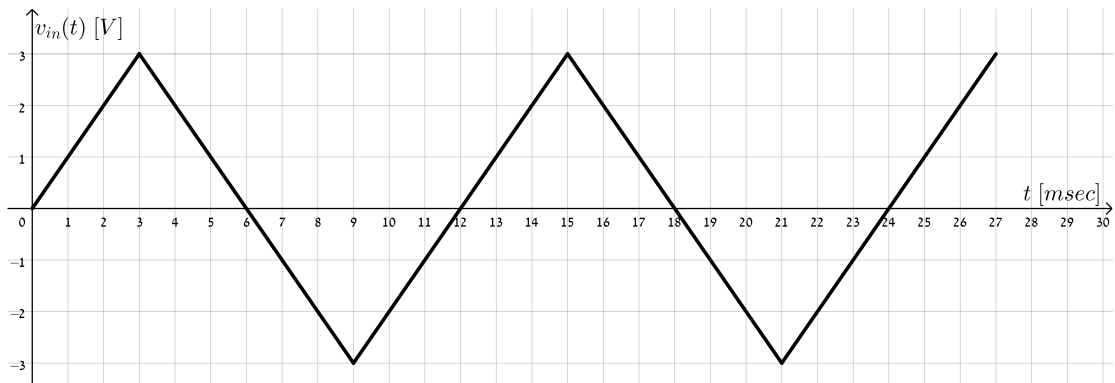
צייר גרף של אות מתח הכניסה ואות המתח על פני הקבל על פני מחזור אחד של אות הכניסה. הסבר איכותית את ממצאיך. היעזר בחישובים במידת הצורך.



10 במעגל שלפניך דיודה עם מתח ברך של  $0.6V$  והתנגדות דינמית של  $50\Omega$ .  
ידוע כי:  $R_1 = 200\Omega$ ,  $R_2 = 600\Omega$ ,  $E_1 = 4V$ ,  $E_2 = 5V$ .

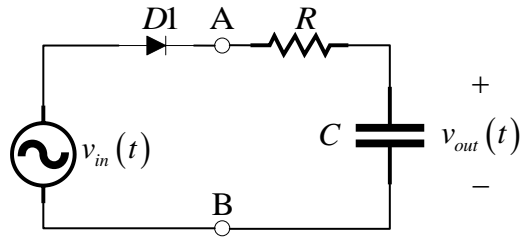


- חשב וסרטט את קו העומס של המעגל ואת אופיין הדיודה.
- באילו מתחי כניסה נקודת העבודה של המעגל היא בעלת זרם אפס?
- חשב וסרטט את  $v_{out} = f(v_{in})$ .
- מכניסים אות מתח כניסה משולש כמתואר באיור הבא. הוסף לאיור את צורת הגל של מתח המוצא.



11 במעגל הבא נתונה דיודה D1 עם מתח ברך  $v_D$  והתנגדות דינמית  $r_D$  נתונים. מחברים בטור קבל  $C$  ונגד  $R$ .

מתח הכניסה הוא:  $v_{in}(t) = v_0 \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right)$  [V] ( $v_0 > v_D$ ) וידוע כי  $RC \gg T$ .



- א. יש לסרטט את אות מתח המוצא  $v_{out}(t)$ .
- ב. בין הנקודות A ו-B מכניסים דיודה נוספת, D2, הזזה בפרמטרים שלה לדיודה D1, שהיא במצב הולכה עבור  $V_{AB} > v_D$ . הוסף את הדיודה למעגל וסרטט את אות מתח המוצא  $v_{out}(t)$  עבור:
- $r_D \cdot C \gg T$
  - $r_D \cdot C \ll T$
- ג. משנים את תדר אות הכניסה כך שכעת:  $RC \ll T$ . כיצד הגרפים שסירטטת בסעיף ב' ישתנו?
- ד. כיצד הגרפים שסירטטת בסעיף ב' ישתנו אם:
- הופכים את כיוון הדיודה D2.
  - הופכים את כיוון הדיודה D2 וגם משנים את תדר אות הכניסה כך שמתקיים:  $RC \ll T$ .

תשובות סופיות:

$I_1 = 1.56\text{mA}$  ,  $I_2 = 0.975\text{mA}$  ,  $I_3 = 0.588\text{mA}$  (1)

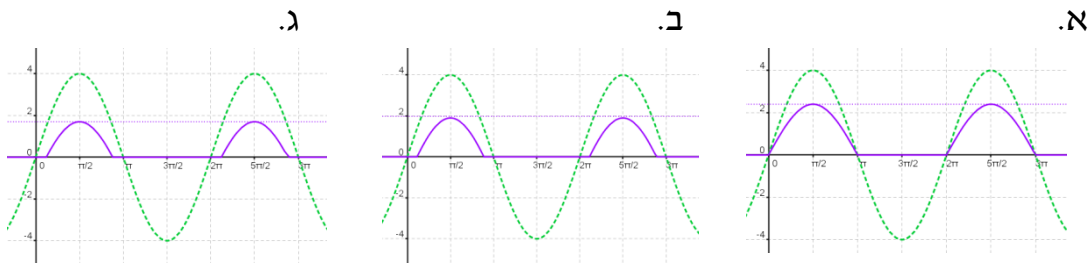
$E = 15\text{V}$  (2)

$V_{R_1} = 3.1\text{V}$  ,  $I_{R_1} = 1.036\text{mA}$  ;  $V_{R_2} = 14.5\text{V}$  ,  $I_2 = 7.25\text{mA}$  ;  $V_{R_3} = 8.3\text{V}$  ,  $I_3 = 8.3\text{mA}$  (3)

$V_{R_1} = 2.76\text{V}$  ,  $I_{R_1} = 0.921\text{mA}$  ;  $V_{R_2} = 13.17\text{V}$  ,  $I_2 = 6.58\text{mA}$  ;  $V_{R_3} = 7.51\text{V}$  ,  $I_3 = 7.51\text{mA}$  (4)

$U_L = 3.35\text{V}$  (5)

להלן סרטוטים: (6)



$V_{out}(t) = 3.1 + \frac{1}{6} \sin(\omega t)$  [V] ב. (7)

$V_{out}(t) = 3\frac{1}{3} + \frac{1}{6} \sin(\omega t)$  [V] א. (7)

$V_{out}(t) = 4.33 + 0.198 \sin(\omega t)$  [V] ג.

א. ii. ראה בסרטון הוידאו.  $V_R(\text{max}) = \frac{3.8R}{R+60}$  [V] א. i. (8)

ב. i. כן, לאחר רבע מחזור.  $R \ll \frac{T}{C} \approx 13.3\text{k}\Omega$  ב. ii.

ב. iii.  $R \approx 130\text{k}\Omega$   $R \ll \frac{T}{C} - 2r_D$  א. i. ג.

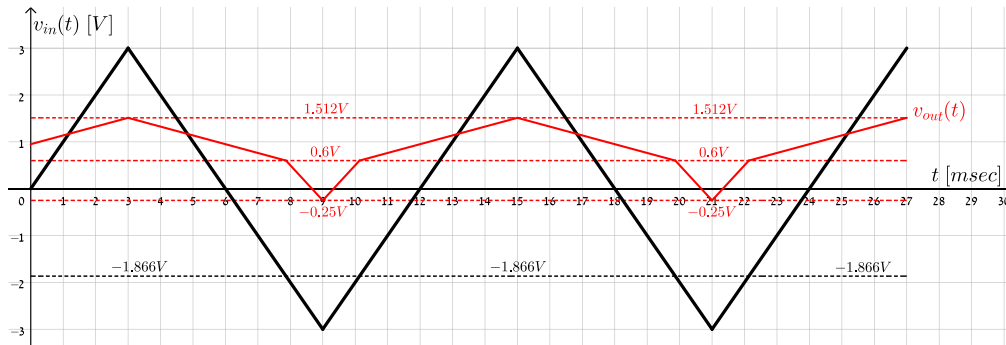
ג. ii. ראה בסרטון הוידאו. ג. iii. המתח יעלה בהדרגתיות ממחזור למחזור של אות הכניסה עד שיגיע לערכו המירבי.

א. ראה אופיין בסרטון הוידאו. ב. i.  $V_{D4} = 0.3\text{V}$  ,  $r_{D4} = 45\Omega$  (9)

ב. ii.  $m_x = \frac{1}{19.35}$  ג. ראה גרף והסבר מפורט בסרטון הוידאו.

א. ראה סרטוט מלא בסרטון הוידאו. ב.  $v_{in} = -1.867\text{V}$  (10)

ג. ראה גרף בסרטון הוידאו. ד. להלן גרף המוצא:



ראה גרפים ופתרון מלא בסרטוני הוידאו. (11)



## קו עומס של מעגל ונקודת עבודה:

### סיכום כללי:

#### הגדרות:

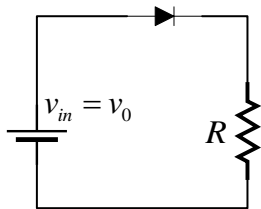
הקשר שבין הזרם שעובר דרך דיודה במעגל לבין מפל המתח עליה נקרא קו העבודה של המעגל (או קו העומס) והוא מבוטא כך:  $I_D = f(U_D)$ .

נקודת עבודה של המעגל מוגדת בתור הזוג  $(U_D, I_D)$  שבהם עובדת הדיודה. נקודה עבודה רלוונטית למעגלים בהם הערכים  $(U_D, I_D)$  הם קבועים, כלומר מעגל זרם ישר.

#### הערה:

במעגלים מורכבים נרצה להמיר את המעגל לשקול תבנית (עבור הדיודה) כדי להביא אותו לצורה של מקור מתח והתנגדות שקולה המחוברים בטור לדיודה.

### ◀ דוגמא למציאת קו עומס:



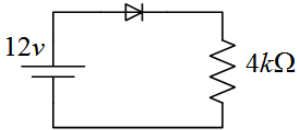
מצא את קו העומס ונקודת העבודה במעגל הבא עבור:

- דיודה אידיאלית (מודל ראשון).
- דיודה ללא התנגדות דינמית (מודל שני).
- דיודה לא אידיאלית (מודל שלישי).

שאלות:

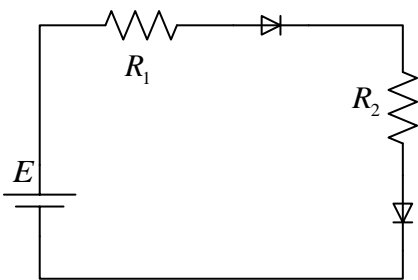
שאלות חימום:

1) לפניך המעגל הבא. רשום את משוואת קו העבודה של המעגל וחשב את נקודת העבודה של הדיודה במעגל באמצעות המשוואה ומתוך המעגל עבור:



- א. הדיודה ממודל ראשון.  
 ב. הדיודה ממודל שני עם:  $v_D = 0.65V$ .  
 ג. הדיודה ממודל שלישי עם:  $v_D = 0.7V$ ,  $r_D = 100\Omega$ .

2) במעגל שלפניך הדיודות זהות.



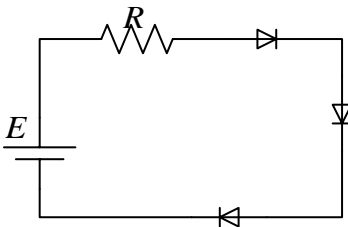
נתון:  $E = 18V$ ,  $R_1 = 3k\Omega$ ,  $R_2 = 5k\Omega$ .

א. כתוב את משוואת קו העבודה של המעגל הנתון.

ב. חשב את נקודת העבודה של המעגל עבור:

- i. דיודת ממודל ראשון.  
 ii. דיודת ממודל שני עם:  $v_D = 0.6V$ .  
 iii. דיודת ממודל שלישי עם:  $v_D = 0.7V$ ,  $r_D = 500\Omega$ .

3) במעגל שלפניך שלוש הדיודות זהות.



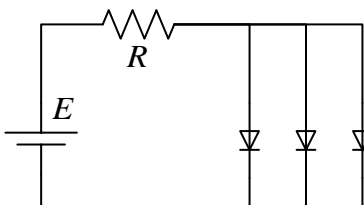
א. פתח נוסחה בפרמטרים למשוואת קו העבודה של המעגל וסרטט גרף מתאים.

ב. ידוע כי כל הדיודות הן ממודל שני עם  $v_D = 0.6V$ .

מקור המתח הוא  $E = 10V$  וידוע כי הזרם במעגל בנקודת העבודה הוא  $16mA$ . מהו ערך הנגד  $R$ ?

ג. הראה כי עבור נגד הגדול פי 2 מזה שמצאת בסעיף הקודם, הזרם בנקודת העבודה יקטן פי 2.

4) נתון המעגל הבא ובו כל הדיודות זהות.

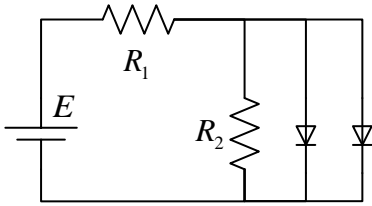


א. פתח נוסחה למשוואת קו העבודה של המעגל וסרטט את הגרף המתאים.

ב. כל הדיודות הן ממודל שני עם מתח הפעלה  $v_D$  שאינו ידוע.

מצא את  $v_D$  אם נתון כי עבור  $E = 12V$ ,  $R = 3.5k\Omega$  נמדד זרם במעגל של  $3.2mA$ .

5) במעגל שלפניך נתונים הרכיבים הבאים :  
ידוע כי כל הדיודות זהות.



- א. כתוב פרמטרית את משוואת קו העבודה של המעגל.  
 ב. שי השתמש בשני נגדים המקיימים:  $R_1 = 2R_2$  כדי לבנות את המעגל הנתון. הוא חיבר מקור מתח של  $5.5V$  ומדד נקודת עבודה של  $(0.5V, 1mA)$ . בהנחה שהדיודות הן ממודל שני, מהם ערכי הנגדים?

שאלות כלליות:

תשובות סופיות:

א.  $(0V, 3mA)$       ב.  $(0.65V, 2.8375mA)$       ג.  $(0.975V, 2.75mA)$       (1)

א.  $I_D = \frac{E}{R_1 + R_2} - \frac{2U_D}{R_1 + R_2}$       ב. i.  $(0V, 2.25mA)$       ב. ii.  $(0.6V, 2.1mA)$       (2)

ב. iii.  $(1.62V, 1.84mA)$

א.  $I_D = \frac{E}{R} - \frac{3U_D}{R}$       ב.  $R = 512.5\Omega$       (3)

א.  $I_D = \frac{E}{3R} - \frac{U_D}{3R}$       ב.  $v_D = 0.8V$       (4)

א.  $I_D = \frac{E}{2R_1} - U_D \frac{R_1 + R_2}{2R_1R_2}$       ב.  $R_1 = 2k\Omega, R_2 = 1k\Omega$       (5)

## דיודת זנר:

### סיכום כללי:

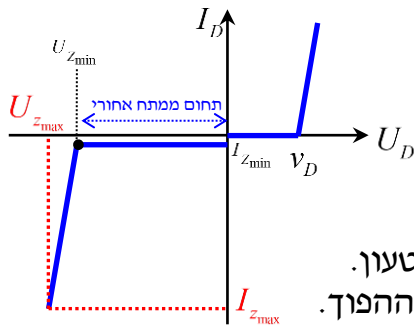
#### דיודת זנר:



דיודה בעלת תחום הולכה גם בממתח אחורי. הסימון החשמלי של דיודת זנר הוא הבא:

#### אופיין של דיודת זנר:

להלן האופיין של דיודת זנר:



#### ממתח אחורי ומתח הפריצה של הדיודה:

ממתח אחורי מינימלי (בערכו המוחלט) עבורו הדיודה בקטעון. עבור ממתח אחורי הגדול ממנו הדיודה תוליך זרם בכיוון ההפוך. בממתח אחורי נסמן:  $(U_Z, I_Z)$  את ערך המתח והזרם.

ממתח אחורי תקין יהיה בתחום:  $U_{Zmin} \leq U_Z \leq U_{Zmax}$ .

הזרם יהיה בהתאם לפי:  $I_{Zmin} \leq I_Z \leq I_{Zmax}$ .

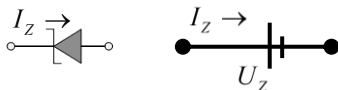
#### הספקים בדיודת זנר בממתח אחורי:

ההספק המירבי של דיודת זנר:  $P_{Zmax} = I_{Zmax} \cdot U_{Zmax}$ .

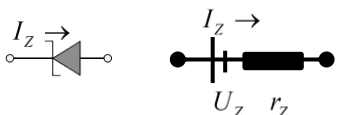
(כל ההספק הגדול מערך זה יגרום לשבירה של הדיודה).

בנקודת עבודה אופיינית  $(U_Z, I_Z)$  נאמר כי:  $P_Z = I_Z \cdot U_Z = \frac{1}{4} P_{Zmax}$ .

#### מודלים של דיודת זנר בממתח אחורי:

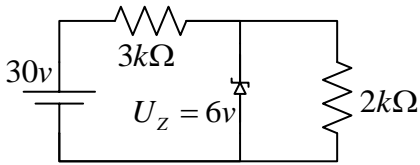


מודל דיודת זנר אידיאלית (מקור מתח בלבד):

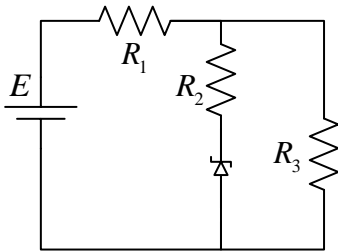


מודל דיודת זנר עם התנגדות (מקור מתח והתנגדות):

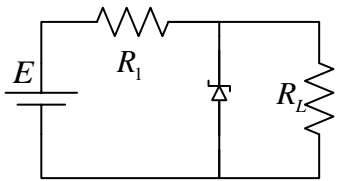
שאלות:



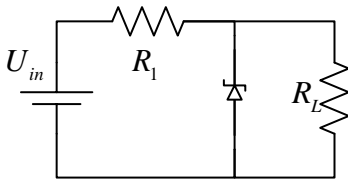
- (1) לפניך המעגל הבא :  
חשב את הזרמים על פני הנגדים והדיודה.



- (2) במעגל שלפניך נתון :  
 $E = 12V$ ,  $R_1 = R_2 = 500\Omega$ ,  $U_Z = 5V$   
חשב את ערכו של הנגד  $R_3$  כאשר נמדד  
דרך הדיודה זרם בעוצמה של  $1mA$ .

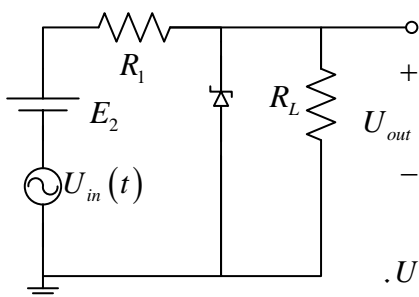


- (3) לפניך תרשים החיבורים הבא :  
ערכי הרכיבים במעגל הם :  $E = 20V$ ,  $R_L = 0.5k\Omega$   
נתוני הדיודה הם :  $U_Z = 6V$ ,  $I_{Z_{min}} = 10mA$   
חשב את ערכו של הנגד  $R_1$  על מנת שמפל המתח  
על נגד העומס יהיה  $6V$ .



- (4) במעגל שלפניך מתח הכניסה משתנה  
בתחום :  $8V \leq U_{in} \leq 12V$ . נתוני הדיודה הם :  
 $U_Z = 6V$ ,  $I_{Z_{min}} = 2mA$ ,  $P_{Z_{max}} = 540mW$   
א. חשב את תחומי הערכים של הנגד  $R_1$  לקבלת  
תחומי העבודה של הדיודה אם ידוע כי ערך  
נגד העומס הוא  $0.3k\Omega$ .

- ב. כעת נתון כי ערך נגד העומס גדול פי 4 משל הנגד  $R_1$ .  
מצא את הערך המקסימלי של הנגד  $R_1$  במקרה זה אשר יקיים את נתוני הדיודה.



- (5) לפניך המעגל הבא :  
נתון :  $E_2 = 20V$ ,  $R_1 = 1k\Omega$ ,  $R_L = 500\Omega$   
וכן :  $U_Z = 5V$ ,  $R_Z = 150\Omega$ ,  $U_D = 0.8V$ ,  $R_D = 100\Omega$   
מקור המתח הוא סינוסי בתדר  $1kHz$  עם  
מתח Peak של  $10V$ .  
א. כתוב את הביטוי המפורש של מתח הכניסה  $U_{in}(t)$ .  
ב. חשב את מתח המוצא וכתוב את  $U_{out}(t)$ .  
ג. סרטט את מתח המוצא והמתח על הנגד  $R_1$  כאשר הדיודה אידיאלית.

**תשובות סופיות:**

1.  $I_{3k\Omega} = 8\text{mA}$  ;  $I_{2k\Omega} = 3\text{mA}$  ;  $I_Z = 5\text{mA}$  (1)

2.  $R = 458\frac{1}{3}\Omega$  (2)

3.  $R = 636.36\Omega$  (3)

4.  $54.54\Omega < R_1 < 90.9\Omega$  (4)

5.  $U_{in}(t) = 10\sin(2000\pi t)$  [V] (5)

ג. להלן הסרטוט:

ב.  $R_1 = 250\Omega$   
 ג.  $U_{out}(t) = 5.517 + 1.03\sin(2000\pi t)$  [V]

