

# מעבדה בחשמל

## הנדסה ביורפואית

מגישים:

דן טורצקי

סול אמארה

תאריך:

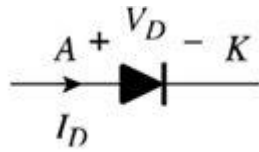
15.12.2021

## תוכן עניינים:

1	רקע תאורטי:	3
2	תשובות לשאלות הכנה:	9
2.1	שאלה 4.1:	9
2.2	שאלה 4.2:	10
2.3	שאלה 4.3:	11
2.4	שאלה 4.4:	14
2.5	שאלה 4.5:	16
2.6	שאלה 4.6:	17
2.7	שאלה 4.7:	19
3	מקורות	20
4	נספחים	21

## 1 רקע תאורטי:

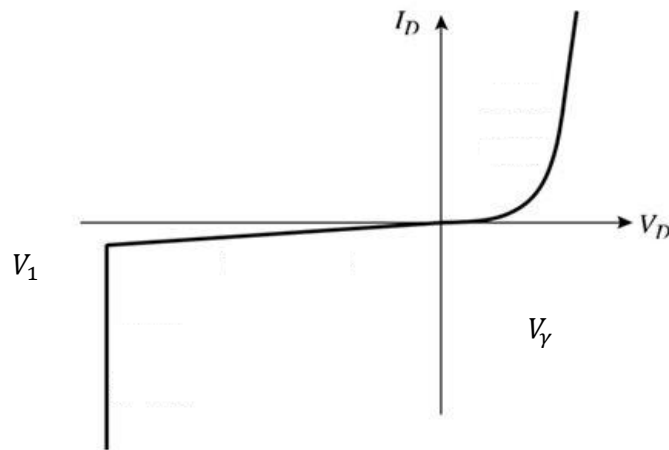
**דיודה** הינה רכיב חשמלי לא לינארי במעגל המאופיין ביכולת להעביר זרם בכיוון אחד בלבד.



איור (1): סימון דיודה במעגל חשמלי [1]

באיור 1 ניתן לראות כי הזרם של הדיודה עובר משמאל לימין, במצב זה ההדק השמאלי נקרא אנודה (הדק חיובי) וההדק הימני נקרא קתודה (הדק שלילי).

**ממתח קדמי** הוא מצב בו המתח בין האנודה לקתודה חיובי (כלומר מתח האנודה גדול מהמתח על הקתודה), **ממתח אחורי** הוא מצב בו המתח בין האנודה לקתודה שלילי (מתח הקתודה גדול ממתח האנודה).



איור (2): אופיין של זרם על דיודה מעשית כתלות במתח [1]

באיור 2 ניתן לראות אופיין של **דיודה מעשית**. מהאיור ניתן לראות כי כאשר המתח שלילי הזרם על הדיודה ישאף ל-0, זרם זה נקרא זרם זליגה. **מתח פריצה** הוא המתח  $V_\gamma$ , עבור מתח זה יש זרם בדיודה ששואף לאינסוף.

**בדיודה איזאלית** מתח הפריצה יהיה אפס והדיודה תתנהג כקצר (הזרם ישאף לאינסוף) כאשר המתח עליה יתאפס.

הזרם בדיודה המעשית כפונקציה של המתח עבור  $V_D > V_\gamma$  או  $V_1 < V_D$  מתואר על ידי **משוואת**

**שוקלי**:  $I_D = I_S \left( e^{\frac{V_D}{\eta V_T}} - 1 \right)$ , כאשר  $I_S$  הינו זרם רוויה אחורי,  $V_T$  מתח טרמי, תלוי בטמפ'

בקלווין על ידי הנוסחה:  $V_T = \frac{K \cdot T}{q} = \frac{1.306 \cdot 10^{-23} \cdot T}{1.6 \cdot 10^{-19}}$ . (2) [1].

**מעגלי יישור** הינם מעגלים שבכניסה אליהם נכנס מתח AC ומוצא המעגל הינו מתח DC. ליתר דיוק, מעגלי יישור מעבירים זרם רק בכיוון אחד, גם אם אמפליטודת המתח במוצא אינה קבועה בזמן. ישנם מספר מושגים שימושיים לניתוח מעגלי יישור:

**ערך ממוצע של אות:** עבור אות  $V(t)$ , הערך הממוצע שלו הינו:

$$(3) V_{avg} = \frac{1}{T} \int_0^T V(t) dt$$

כאשר עבור אות מחזורי נבחר את  $T$  להיות כפולה שלמה של זמן המחזור.

**ערך אפקטיבי של אות** מוגדר ע"י:

$$(4) V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V(t)^2 dt}$$

**מקדם צורת הגל – Form Factor:**

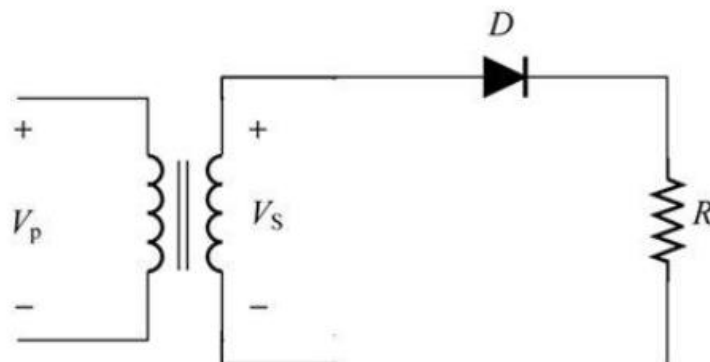
$$(5) FF = \frac{V_{RMS}}{V_{avg}}$$

**מקדם גליות - Riple Factor:**

$$(6) RF = \frac{V_{ac}}{V_{avg}} = \frac{\sqrt{V_{RMS}^2 - V_{avg}^2}}{V_{avg}} = \sqrt{\frac{V_{RMS}^2}{V_{avg}^2} - 1} = \sqrt{FF^2 - 1}$$

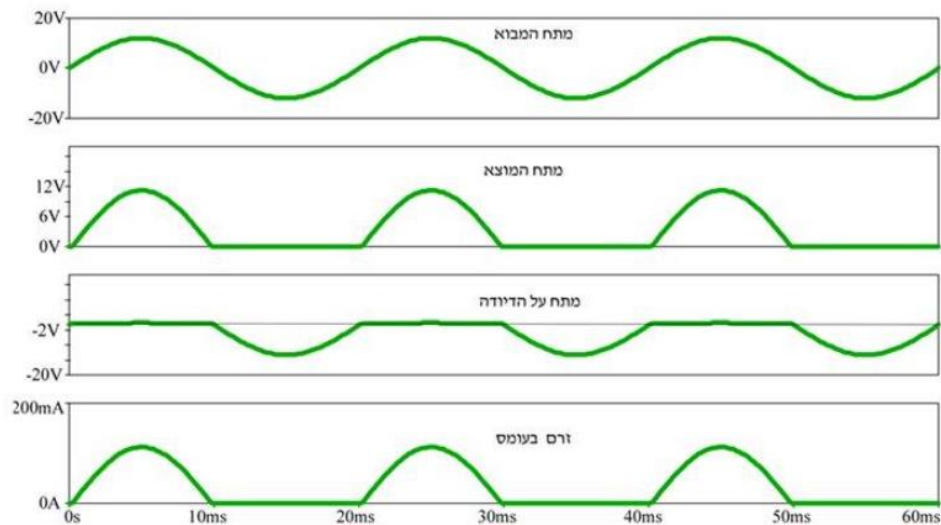
במעבדה זו נעסוק בארבעה מעגלי יישור:

**1. מיישר חד דרכי עם עומס התנגדותי טהור** הינו דיודה המחוברת בטור לנגד המהווה את העומס.



איור (3): מיישר חד דרכי התנגדותי [1]

עבור כניסת AC כאשר המתח חיובי (אם מניחים אידאליות של הדיודה) הדיודה מאפשרת מעבר זרם והעומס נופל כולו על הנגד. בטווח בו אמפליטודת מתח הכניסה שלילית הדיודה לא מאפשרת מעבר של זרם והמתח על העומס הוא אפס.



איור (4): מתח וזרם על הנגד כתלות במתח הכניסה [1]

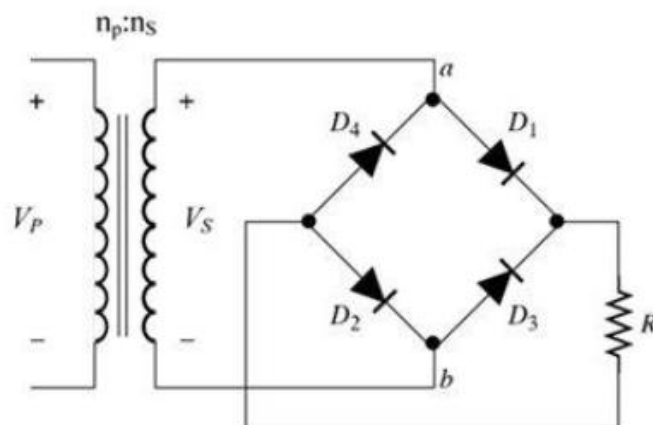
**מקדם צורת הגל** של מיישר זה הינו:

$$FF = \frac{V_{RMS}}{V_{avg}} = \frac{\frac{V}{2}}{\frac{V}{\pi}} = \frac{\pi}{2} = 1.57$$

**מקדם גליות** של מיישר זה:

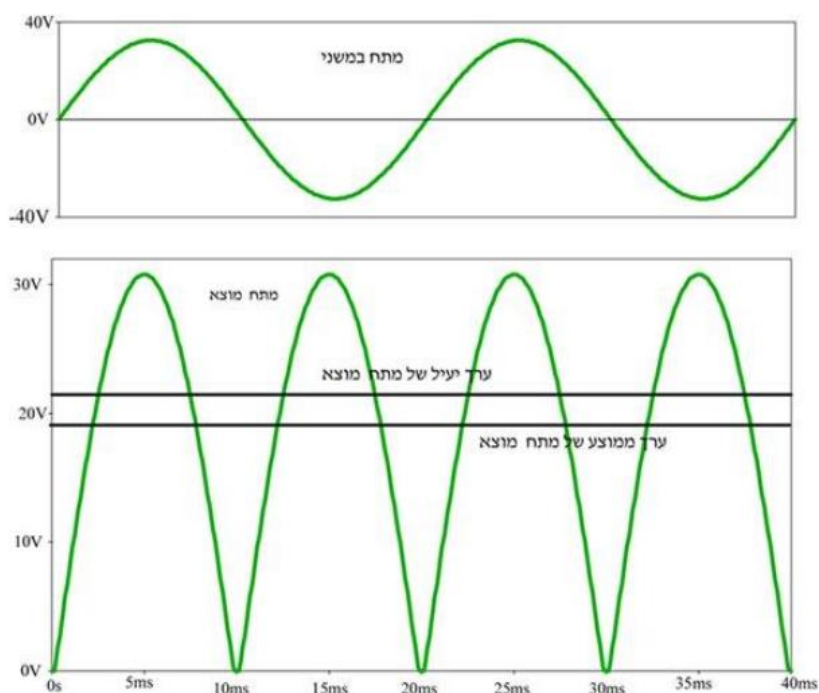
$$RF = \sqrt{FF^2 - 1} = \sqrt{\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 - 1} = 1.21$$

**2. מיישר דו דרכי באמצעות גשר דיודות עם עומס התנגדתי** הינו מיישר מהצורה הבאה:



איור (5): מיישר דו-דרכי עם גשר דיודות ועומס התנגדתי [1]

תחת הנחת אידאליות הדיודות, כאשר אמפליטודת מתח הכניסה חיובית לא עובר זרם ב-  $D_1$ , לכן הזרם כולו עובר ב-  $D_2$ . ב-  $D_4$  לא עובר זרם גם כן לכו הזרם כולו ממשיך לנגד. אם כך המתח על העומס – הנגד, הינו מתח המקור. כאשר אמפליטודת מתח הכניסה שלילית לא עובר זרם ב-  $D_2$ , לכן הזרם כולו עובר ב-  $D_1$ . כיוון שדרך  $D_3$  לא יעבור זרם הוא ימשיך במעגל, יעבור דרך  $D_4$  וימשיך לנגד. אם כך במקרה זה המתח על העומס הינו מינוס המתח על הכניסה. בסה"כ עבור כניסת AC שהינה סינוס כלשהו המתח על העומס בזמן יהיה הערך המוחלט של אות הכניסה בזמן.



איור (6): מתח על הנגד כתלות במתח הכניסה [1]

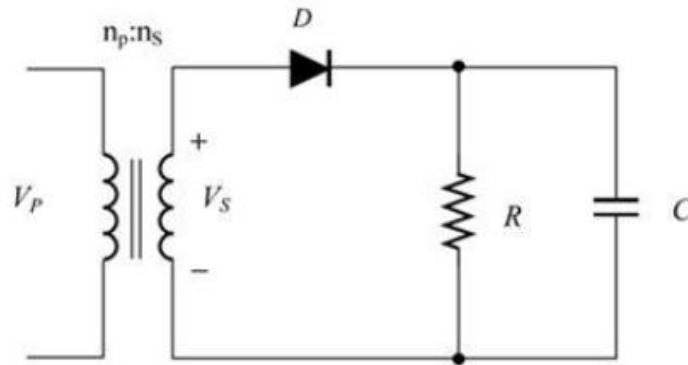
**מקדם הצורה של מיישר זה:**

$$FF = \frac{V_{RMS}}{V_{avg}} = \frac{\frac{V}{\sqrt{2}}}{\frac{2V}{\pi}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1.11$$

**מקדם הגליות של מיישר זה:**

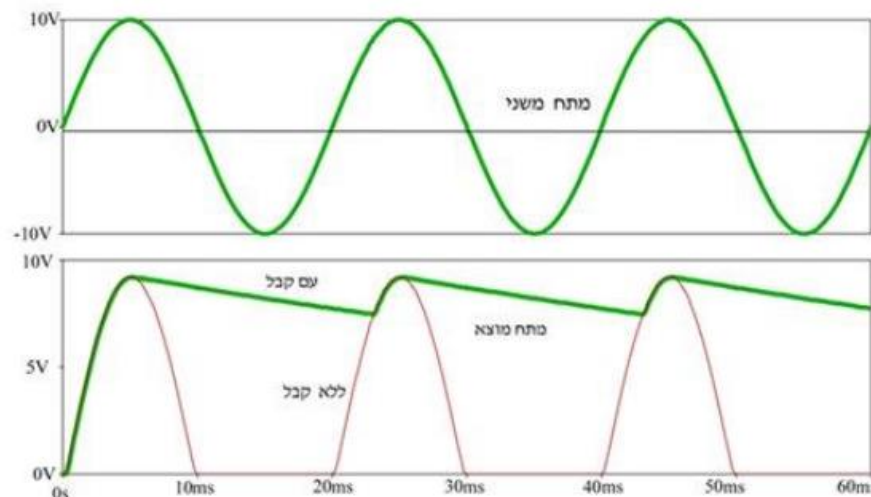
$$RF = \sqrt{FF^2 - 1} = \sqrt{1.11^2 - 1} = 0.482$$

### 3. מיישר חד-דרכי עם מסנן קבל:



איור (7): מיישר חד דרכי עם נגד וקבל [1]

כפי שראינו במעגל חד דרכי עם עומס התנגדותי זרם המוצא הינו בכיוון אחד בלבד, אך המתח עליו אינו  $DC$  קבוע, אלא פולסים של החלק החיובי של מתח המוצא. כאשר מוסיפים קבל – כאשר מתח הכניסה חיובי עובר זרם בדיודה, וכאשר המתח חיובי וגם נגזרת המתח חיובית (רבע ראשון של המחזור עבור כניסת סינוס) הקבל נטען. ההתנגדות שהקבל רואה הינה חיבור במקביל של התנגדות העומס וההתנגדות הפנימית של הדיודה. כיוון שהתנגדות הדיודה קטנה מאוד ההתנגדות שהקבל רואה קטנה מאוד ולכן קבוע הזמן קטן מאוד. אם כך, בטעינת הקבל ניתן לומר כי מתח הקבל הינו מתח הכניסה. כעת הקבל מתחיל לפרוק, והזרם שהוא פורק עובר בנגד. גם כאשר לא עובר זרם בדיודה אין זה משפיע על פריקת הקבל. אם כך, עד הרגע בו מתח המקור הינו בשנית חיובי ובעל נגזרת חיובית הקבל יפרק ויעבור ממנו זרם דרך הנגד, וכשיגיע רגע זה הקבל יתחיל להטען בשנית.



איור (8): מתח המוצא ומתח הכניסה במעגל [1]

מהנחות של קיבול גבוה והתנגדות דיודה קטנה, הגיעו לקרובים הבאים: [2]

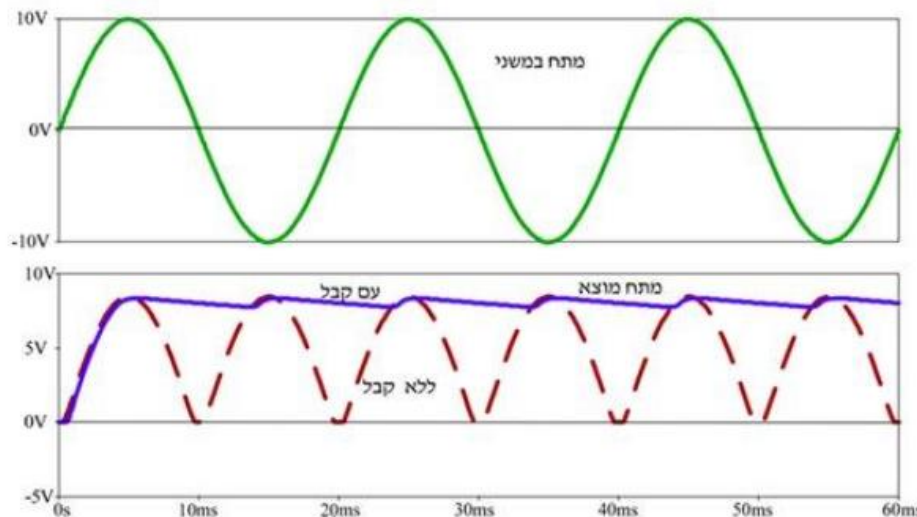
מקדם הגליות של מיישר זה :

$$RF = \frac{1}{2\sqrt{3}fCR_L}$$

מקדם צורת הגל של מיישר זה :

$$FF = \sqrt{RF^2 + 1} = \sqrt{\left(\frac{1}{2\sqrt{3}fCR_L}\right)^2 + 1}$$

**4. מיישר דו-דרכי עם מסנן קבל:** כפי שראינו במיישר דו-דרכי באמצעות גשר דיודות עם עומס התנגדותי, מתח המוצא בעל תדירות כפולה מתדירות מתח המוצא של מיישר חד-דרכי (הפולסים רצופים במקום להיות בדיליי במרווח זהה לאורך הפולס). אם כך, כאשר נוסיף קבל במקביל לנגד העומס, הקבל יפרק במשך זמן ארוך יותר, כך שהמתח על העומס נשאר קרוב למתח השיא של המקור (בין פיק לפיק של מתח העומס ישנה ירידת מתח אך היא איטית)



איור (9) : מתח המוצא במיישר דו דרכי עם קבל ובלעדיו [1]

מאותן הנחות שביצענו עבר מיישר חד-דרכי עם מסנן קבל נקבל כי :

מקדם הגליות של מיישר זה :

$$RF = \frac{1}{4\sqrt{3}fCR_L}$$

מקדם צורת הגל של מיישר זה :

$$FF = \sqrt{RF^2 + 1} = \sqrt{\left(\frac{1}{4\sqrt{3}fCR_L}\right)^2 + 1}$$

[1]

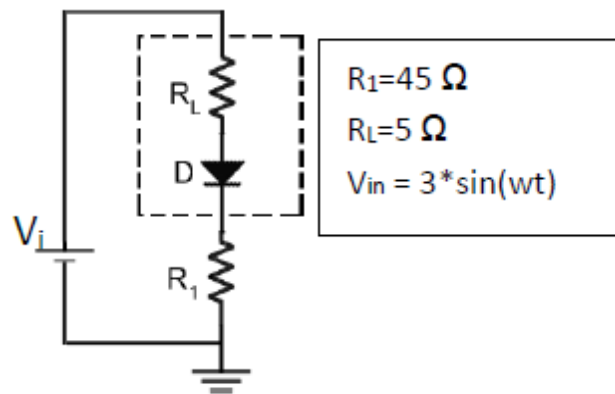


## 2 תשובות לשאלות הכנה:

### 2.1 שאלה 4.1:

**סעיף א.** אופיין דיודה אידאלית הינו אופיין בו עבור מתחים שלילים הזרם הינו אפס, כלומר מתנהגת כנתק ועבור מתח אפס הזרם חיובי (שואף לאינסוף) והדיודה היא קצר. לעומת זאת, עבור דיודה שאיננה אידיאלית ישנו מתח סף  $V_\gamma$  שהחל ממנו יש זרם על הדיודה ועבור מתחים שנמוכים ממתח זה הזרם הינו אפס. ככל שהזרם עולה המתח ישאף להתאפס (הדיודה תשאף להיות קצר).

### סעיף ב.



איור (10): דיודה מעשית במעגל [3]

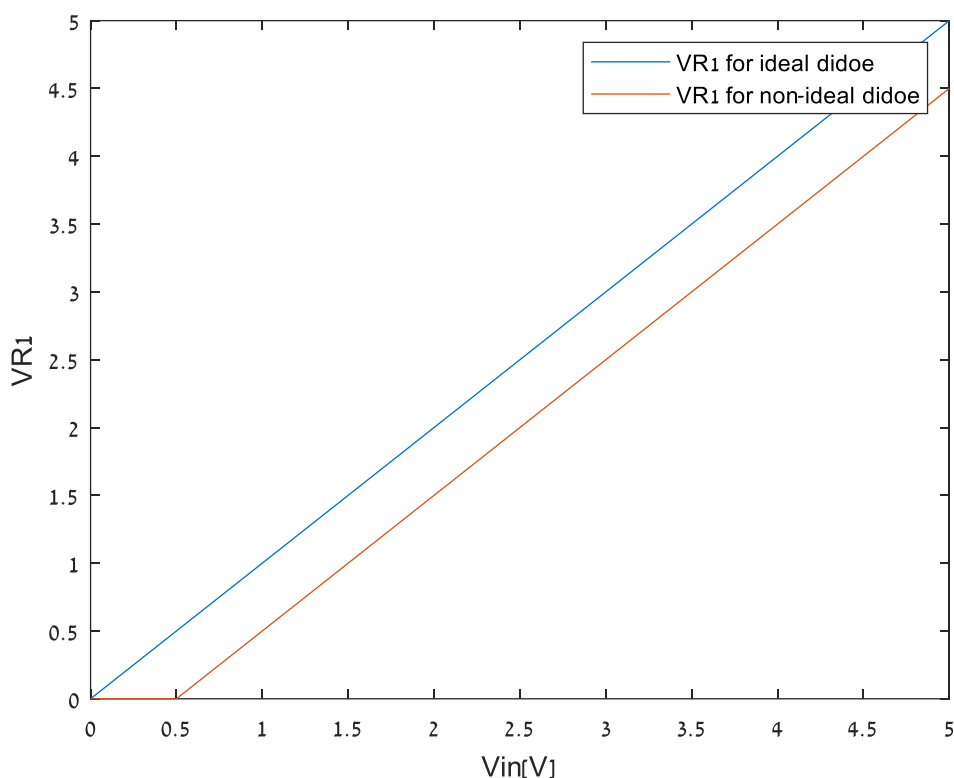
במעגל זה המתח שנופל על הדיודה המעשית הינו:  $V_D = V_{in} - V_{R_1} - V_{R_L}$

$$I = \frac{V_{R_1}}{R_1} \rightarrow V_{R_L} = I \cdot R_L = \frac{V_{R_1}}{R_1} \cdot R_L$$

$$V_D = V_{in} - \frac{V_{R_1}}{R_1} \cdot R_L - V_{R_1} = V_{in} - \frac{1}{9} V_{R_1} - V_{R_1} = V_{in} - \frac{10}{9} V_{R_1}$$

כלומר מתוך מדידות מתח הנגד  $R_1$  ניתן לקבל אופיין זה באמצעות:

$$I_D = \frac{V_{R_1}}{5}, V_D = V_{in} - \frac{10}{9} V_{R_1}$$



איור (11): גרף המתח על הנגד כתלות מתח הכניסה עבור דיודה אידאלית ולא אידאלית

מגרף זה ניתן לראות את המתח על הנגד עבור דיודה אידאלית ודיודה שאיננה אידאלית. עבור הדיודה האידאלית, ניתן לראות כי כאשר מתח הכניסה חיובי, הדיודה היא קצר ולכן המתח על הנגד הינו מתח המקור. לעומת זאת, עבור הדיודה שלא אידאלית המתח על הנגד הוא אפס עד שמתח המקור שווה למתח הפריצה של הדיודה.

#### סעיף ד. עבור שתי דיודות מחוברות בטור:

כאשר מתח הסף של דיודה 1 גדול ממתח הסף של דיודה 2, הדיודה השנייה תתנהג כנתק ולכן לא יזרום זרם במעגל. יתחיל לזרום רק כאשר שתי הדיודות יעברו את מתח הסף ולכן אם נמדל אותן לדיודה שקולה ניתן להסיק שמתח הסף של הדיודה השקולה הינו סכום מתחי הסף של שתי הדיודות (כיוון שצריך להיות על כל אחת מתח הגדול ממתח הסף, המתח שיהיה על שתיהן יהיה סכום המתחים).

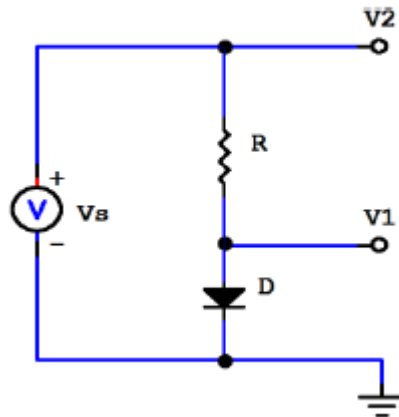
## 2.2 שאלה 4.2:

$$I_D = I_S \left( e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1 \right) \quad \text{משוואת שוקלי הינה:}$$

$I_S$  הינו זרם רוויה אחורי, ערכיו נעים בין  $10^{-15}$  –  $10^{-6}$  A. מקדם התלוי במאפייני

הדיודה, עכשיו נעים בין 1-2.  $V_T$  מתח טרמי, תלוי בטמפר' בקלווין על ידי הנוסחה:  $V_T = \frac{k \cdot T}{q}$

$$[1]. \frac{1.306 \cdot 10^{-23} \cdot T}{1.6 \cdot 10^{-19}}$$



איור (12): מעגל יישור חד-דרכי [3]

**סעיף א.** אם  $V_1$  קטן ממתח הפריצה, לא יהיה זרם במעגל והמתח על הדיודה יהיו  $V_2 = 1[V]$ . אם  $V_1$  גדול ממתח הפריצה, המתח על הדיודה יהיו  $V_1$  והזרם במעגל יהיו:

$$I_D = 7 \cdot 10^{-8} (e^{23.9 \cdot V_D} - 1)$$

כעת נמצא את  $V_1$  (עבור  $V_1$  גדול ממתח הפריצה) תחת ההנחה שחוקי קירכהוף מתקיימים:

$$V_2 - V_1 = I_D \cdot R \rightarrow V_1 = V_2 - I_D \cdot R = 1 - 700 \cdot 10^{-8} (e^{23.9 \cdot V_D} - 1)$$

כלומר, אם  $V_1$  גדול ממתח הפריצה מתקיים:

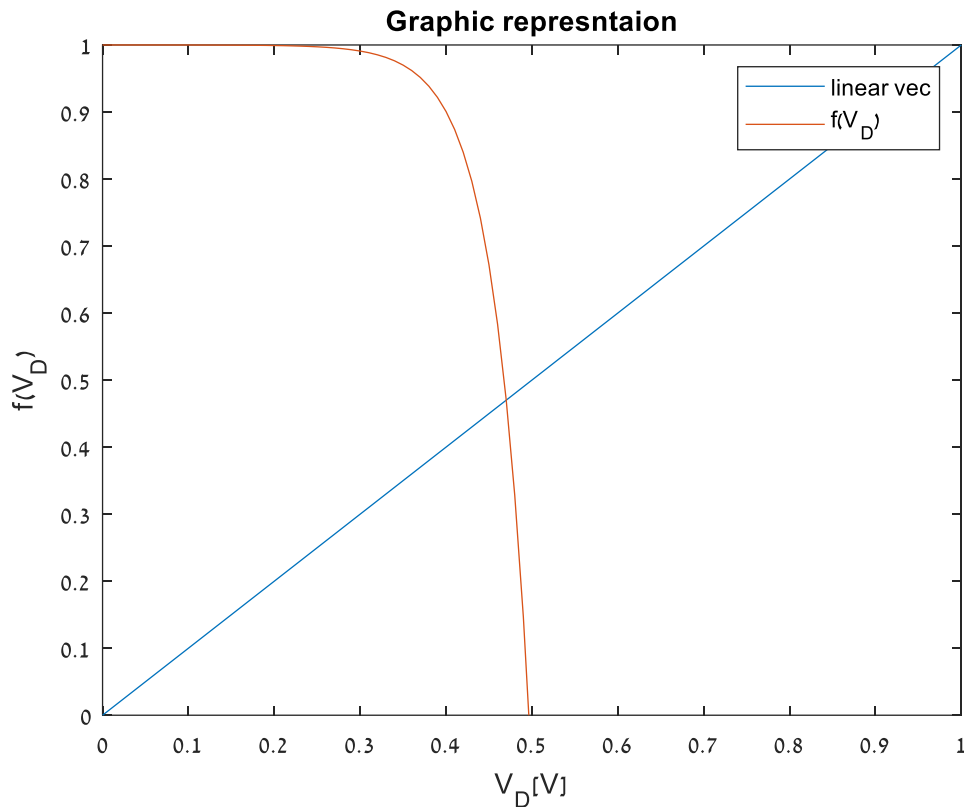
$$V_D = 1 - 700 \cdot 10^{-8} (e^{23.9 \cdot V_D} - 1) \rightarrow V_D \approx 0.47[V]$$

המתח שמצאנו יהיו מתח של נקודת העבודה, באמצעותו נוכל למצוא את הזרם וההתנגדות בנקודת העבודה:

$$I_D = 7 \cdot 10^{-8} (e^{23.9 \cdot 0.47} - 1) = 5.29 \cdot 10^{-3} [A]$$

$$R_D = \frac{V_D}{I_D} = \frac{0.43}{5.29 \cdot 10^{-3}} = 81.27 [\Omega]$$

הצגה גרפית של הפתרון :



איור (13) : מציאת נקודת העבודה בצורה גרפית

**סעיף ב.** לאחר הוספת הנגד :

כאשר המתח קטן ממתח הפריצה:  $V_D = V_{Rn} = \frac{V_2}{2}$ , אין זרם דרך הדיודה במצב זה.

כאשר המתח גדול ממתח הפריצה :

$$V_D = V_{Rn} = R_n I_{Rn} = R_n (I_R - I_D) = R_n \left( \frac{V_2 - V_D}{R} - I_D \right) \rightarrow V_D = \frac{V_2}{2} - \frac{R_n I_D}{2}$$

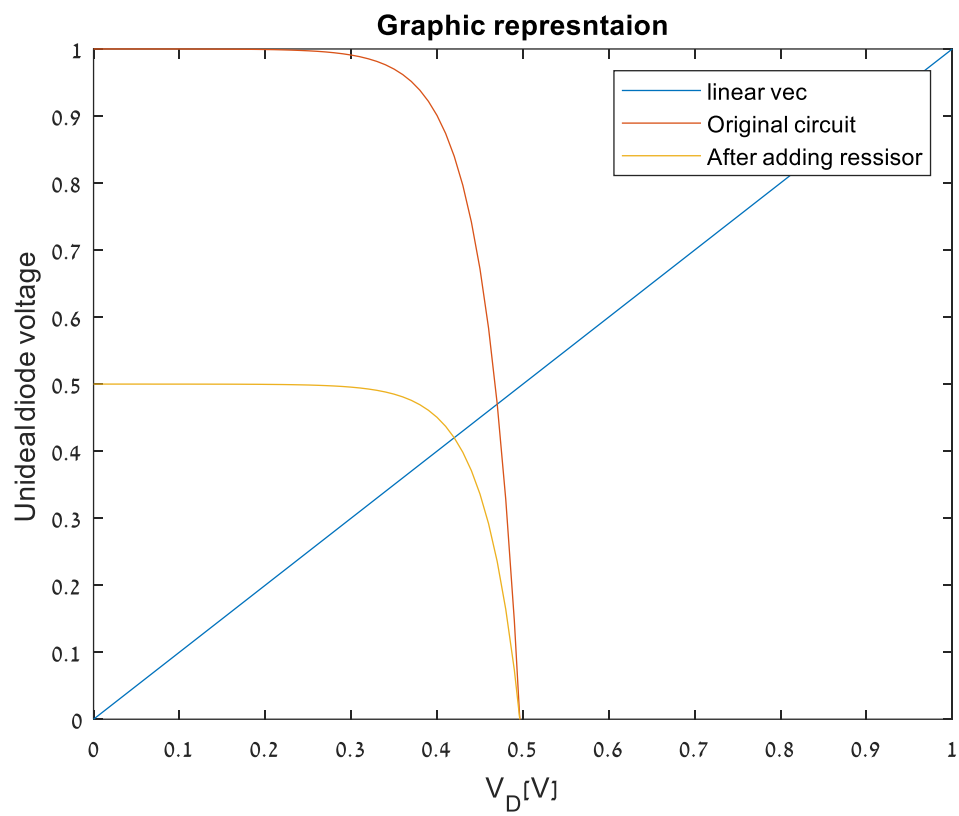
$$= 0.5 - 700 \cdot 10^{-8} (e^{23.9 \cdot V_D} - 1) \rightarrow V_D \approx 0.41$$

כלומר נקודת העבודה שונה, ועבורה :

$$I_D = 3.5 \cdot 10^{-8} (e^{23.9 \cdot 0.41} - 1) = 6.3 \cdot 10^{-4} [A]$$

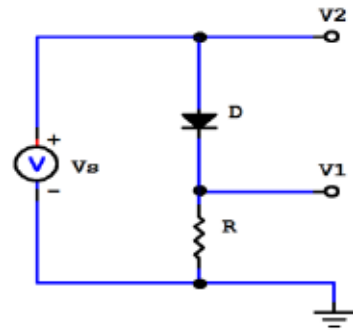
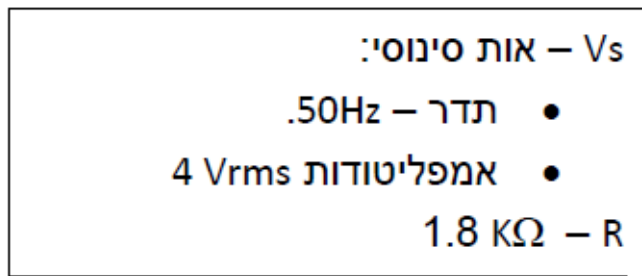
$$R = \frac{0.41}{6.3 \cdot 10^{-4}} = 650.26 \Omega$$

נציג זאת גרפית :



איור (14) : מציאת נקודת העבודה החדשה לאחר הוספת נגד במקביל לדיודה בהצגה גרפית

## 2.4 שאלה 4.4:



איור (15): מעגל יישור חד-דרכי [3]

**סעיף א.** עבור אות סינוסי  $V = V_m \cdot \sin(\alpha)$ , כאשר  $2\pi k < \alpha < \pi + 2\pi k$ , המתח יהיה חיובי. בתחום זה, המתח חיובי ולכן הדיודה מוליכה, יש זרם במעגל. המתח שיש על הדיודה ( $V_2 - V_1$ ) יהיה מתח הפריצה  $V_\gamma$  ולכן מתח המוצא יהיה שווה ל- $V_1 = V_{in} - V_\gamma$ . לעומת זאת, כאשר  $\pi + 2\pi k < \alpha < 2\pi + 2\pi k$ , מתח המוצא שלילי, לכן הדיודה לא מוליכה ואין זרם במעגל (בדיודה מעשית יש זרם זליגה ששוואף לאפס). מכאן שמתח המוצא (המתח  $V_1$  שיש על הנגד) הינו אפס. [1]

**סעיף ב.** זמן המחזור של מתח הכניסה הינו  $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} [\text{sec}]$  מכאן:

$$V_{in,RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V_{in}(t)^2 dt} = \sqrt{50 \cdot \int_0^{\frac{1}{50}} (V_m \cdot \sin(2\pi \cdot 50 \cdot t))^2 dt}$$

$$= V_m \cdot \sqrt{50 \cdot \int_0^{\frac{1}{50}} (\sin(100\pi \cdot t))^2 dt} = V_m \cdot \sqrt{50 \cdot \frac{1}{100}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

$$\frac{V_m}{\sqrt{2}} = 4 \rightarrow V_m = 4\sqrt{2} [V] = 5.657 [V]$$

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I(t)^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{V_1}{R}\right)^2 dt} = \frac{1}{R} \cdot \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V_1^2 dt}$$

$$= \frac{1}{R} \cdot \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \left( \int_0^{\frac{T}{2}} (V_{in} - V_\gamma)^2 dt + \int_0^{\frac{T}{2}} 0^2 dt \right)}$$

$$= \frac{1}{R} \cdot \sqrt{50 \cdot \int_0^{\frac{1}{100}} (4\sqrt{2} \cdot \sin(100\pi \cdot t) - 0.5)^2 dt} = \frac{1}{1.8 \cdot 10^3} \cdot \sqrt{6.324}$$

$$I_{RMS} = 1.397 \cdot 10^{-3} [A]$$

$$I_{avg} = \frac{V_{1,avg}}{R} = \frac{\frac{1}{T} \int_0^T V_1(t) dt}{R} = \frac{\frac{1}{T} \cdot \left( \int_0^{\frac{T}{2}} (V_{in} - V_\gamma) dt + \int_0^{\frac{T}{2}} 0 dt \right)}{R}$$

$$= \frac{50 \cdot \int_0^{\frac{1}{100}} (4\sqrt{2} \cdot \sin(100\pi \cdot t) - 0.5) dt}{R} = \frac{1.5505}{1.8 \cdot 10^3} = 8.614 \cdot 10^{-4} [A]$$

$$I_{avg} = 8.614 \cdot 10^{-4} [A]$$

$$V_{1,avg} = \frac{1}{T} \cdot \left( \int_0^{\frac{T}{2}} (V_{in} - V_\gamma) dt + \int_0^{\frac{T}{2}} 0 dt \right) = 50 \cdot \int_0^{\frac{1}{100}} (4\sqrt{2} \cdot \sin(100\pi \cdot t) - 0.5) dt$$

$$= 1.5505 [V]$$

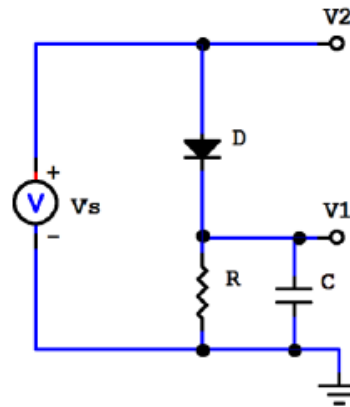
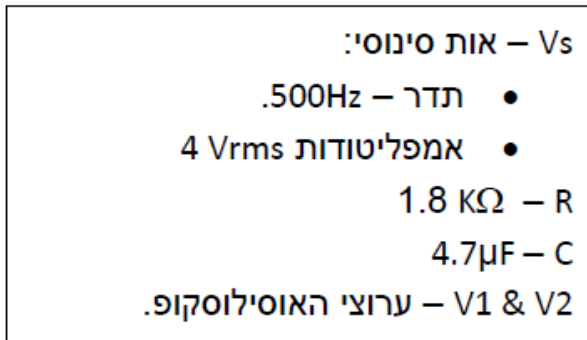
$$V_{1,avg} = 1.5505 [V]$$

**סעיף ג.** מקדם צורת הגל  $FF$ , הינו היחס בין מתח המוצא האפקטיבי למתח המוצא הממוצע. [1]

$$FF = \frac{V_{1,RMS}}{V_{1,avg}} = \frac{\sqrt{6.324}}{1.5505} = 1.622 \rightarrow FF = 1.622$$

מקדם הגליות (נקרא גם יחס האדווה) מתואר על ידי הנוסחה:  $[1] RF = \sqrt{FF^2 - 1}$ .

$$RF = \sqrt{FF^2 - 1} = RF = \sqrt{1.622^2 - 1} = 1.277 \rightarrow RF = 1.277$$



איור (16): מעגל יישור חד-דרכי עם עומס של נגד וקבל [3]

**סעיף א.** כאשר מתח הכניסה חיובי עובר זרם בדיודה, וכאשר המתח חיובי וגם נגזרת המתח חיובית (רבע ראשון של המחזור עבור כניסת סינוס) הקבל נטען. ההתנגדות שהקבל רואה הינה חיבור במקביל של התנגדות העומס וההתנגדות הפנימית של הדיודה. כיוון שהתנגדות הדיודה קטנה מאוד ההתנגדות שהקבל רואה קטנה מאוד ולכן קבוע הזמן קטן מאוד. אם כך, בטעינת הקבל ניתן לומר כי מתח הקבל הינו מתח הכניסה. כעת הקבל מתחיל לפרוק, והזרם שהוא פורק עובר בנגד. גם כאשר לא עובר זרם בדיודה אין זה משפיע על פריקת הקבל. אם כך, עד הרגע בו מתח המקור הינו בשנית חיובי ובעל נגזרת חיובית הקבל יפרק ויעבור ממנו זרם דרך הנגד, וכשיגיע רגע זה הקבל יתחיל להטען בשנית.

**סעיף ב.** כיוון שהדיודה אידאלית, מתוך הנחות של קיבול גבוה מספיק של הקבל והתנגדות קטנה של הדיודה נקבל:

מקדם הגליות:

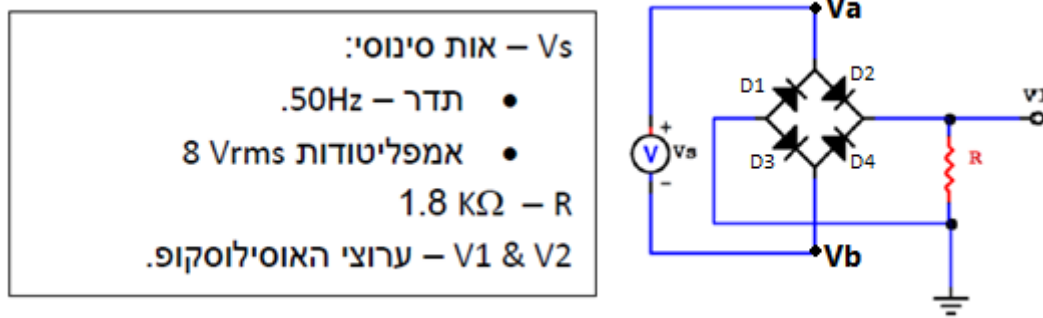
$$RF = \frac{1}{2\sqrt{3}fCR_L} = \frac{1}{2\sqrt{3} \cdot 4.7 \cdot 500 \cdot 10^{-6} \cdot 1.8 \cdot 10^3} = 0.07$$

המתח הממוצע:

$$FF = \sqrt{RF^2 + 1} = \frac{V_{RMS}}{V_{avg}} \rightarrow V_{avg} = \frac{V_{RMS}}{\sqrt{RF^2 + 1}} = \frac{4}{\sqrt{0.07^2 + 1}} = 3.99[V]$$



## 2.6 שאלה 4.6:



איור (17): מעגל דו-דרכי עם עומס של נגד [3]

**סעיף א.** בשאלה זו נניח דיודות אידאליות, לכן מתח הפריצה הינו  $0V$ . עבור אות סינוסי  $V = V_m \cdot \sin(\alpha)$ , כאשר  $2\pi k < \alpha < \pi + 2\pi k$  המתח יהיה חיובי. בתחום זה, המתח חיובי ולכן  $V_a > V_b$ . כתוצאה מכך, דיודה 1 תהיה נתק (זרם לא יכול לזרום בכיוון זה) ולכן כל הזרם יזרום דרך דיודה 2. בדומה לכך, דיודה 4 תתנהג כנתק גם ולכן כל הזרם מדיודה 2 יזרום לנגד ולאחר מכן לדיודה 3. לעומת זאת, כאשר  $\pi + 2\pi k < \alpha < 2\pi + 2\pi k$  מתח המוצא שלילי ולכן  $V_b > V_a$ . כתוצאה מכך, דיודה 3 תהיה נתק ולכן כל הזרם יזרום דרך דיודה 4. בדומה לכך, דיודה 2 תתנהג כנתק גם ולכן כל הזרם מדיודה 4 יזרום לנגד ולאחר מכן לדיודה 1.

**סעיף ב.** נתון  $R_L = 1.8\text{ [k}\Omega]$ ,  $V_{in,RMS} = 8\text{ [V]}$

זמן המחזור של מתח הכניסה הינו  $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50}\text{ [sec]}$  מכאן:

$$V_{in,RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V_{in}(t)^2 dt} = \sqrt{50 \cdot \int_0^{\frac{1}{50}} (V_m \cdot \sin(2\pi \cdot 50 \cdot t))^2 dt}$$

$$= V_m \cdot \sqrt{50 \cdot \int_0^{\frac{1}{50}} (\sin(100\pi \cdot t))^2 dt} = V_m \cdot \sqrt{50 \cdot \frac{1}{100}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

$$\frac{V_m}{\sqrt{2}} = 8 \rightarrow V_m = 8\sqrt{2}\text{ [V]} = 11.314\text{ [V]}$$

כאשר מתח הכניסה חיובי, דיודה 1,4 נתק ודיודה 2,3 קצר. כתוצאה מכך המתח על הנגד יהיה מתח הכניסה. מסימטריות גם כאשר מתח הכניסה שלילי המתח על הנגד יהיה מתח הכניסה. מכאן:

$$V_{avg} = \frac{1}{T} \cdot \left( \int_0^{\frac{T}{2}} V_{in} dt + \int_0^{\frac{T}{2}} V_{in} dt \right) = \frac{2}{T} \cdot \int_0^{\frac{T}{2}} V_{in} dt$$

$$= 100 \cdot \int_0^{\frac{1}{100}} (8\sqrt{2} \cdot \sin(100\pi \cdot t)) dt = 7.20253 [V]$$

$$V_{avg} = 7.20253 [V]$$

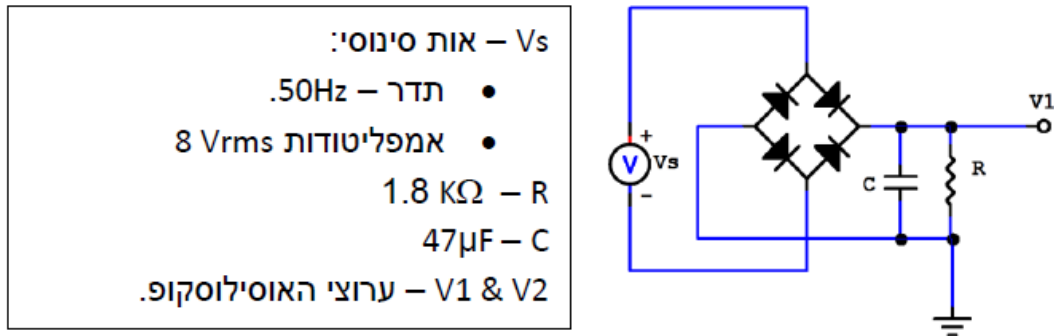
סעיף ג. מקדם צורת הגל:

$$FF = \frac{V_{1,RMS}}{V_{1,avg}} = \frac{8}{7.20253} = 1.11 \rightarrow FF = 1.11$$

מקדם הגליות:

$$RF = \sqrt{FF^2 - 1} = \sqrt{1.11^2 - 1} = 0.483 \rightarrow RF = 0.483$$

**סעיף ד.** במיישר חד דרכי, כאשר מתח הכניסה שלילי המתח על הנגד יהיה אפס. לעומת זאת, במיישר דו דרכי כאשר מתח הכניסה שלילי המתח על הנגד יהיה שווה למתח המוצא. בשאלה 4.4 עבור מיישר חד דרכי קיבלנו:  $FF = 1.622$ ,  $RF = 1.277$  ובשאלה זו עבור מיישר דו דרכי קיבלנו  $FF = 1.11$ ,  $RF = 0.483$ . במיישר אידאלי נרצה ש  $FF$  יהיה 1 ו  $RF$  יהיה אפס [1]. מהערכים שחישבנו ניתן לראות כי מיישר דו דרכי הינו קרוב יותר לערכים הרצויים ולכן אידאלי יותר.



איור (18): מעגל דו-דרכי עם עומס של נגד וקבל [3]

**סעיף א.** כפי שראינו במיישר דו-דרכי באמצעות גשר דיודות עם עומס התנגדותי, מתח המוצא בעל תדירות כפולה מתדירות מתח המוצא של מיישר חד-דרכי (הפולסים רצופים במקום להיות בדיליי במרווח זהה לאורך הפולס). אם כך, כאשר נוסיף קבל במקביל לנגד העומס, הקבל יפרק במשך זמן ארוך יותר, כך שהמתח על העומס נשאר קרוב למתח השיא של המקור (בין פיק לפיק של מתח העומס ישנה ירידת מתח אך היא איטית)

**סעיף ב.** מקדם הגליות:

$$RF = \frac{1}{4\sqrt{3}fCR_L} = \frac{1}{4\sqrt{3} \cdot 50 \cdot 47 \cdot 10^{-6} \cdot 1.8 \cdot 10^3} = 0.034$$

המתח הממוצע:

$$FF = \sqrt{RF^2 + 1} = \frac{V_{RMS}}{V_{avg}} \rightarrow V_{avg} = \frac{V_{RMS}}{\sqrt{RF^2 + 1}} = \frac{8}{\sqrt{0.034^2 + 1}} = 7.99[V]$$

- [1] "קראו בכותר - אלקטרוניקת הספק : חלק א" <https://kotar-cet-ac-il.elib.openu.ac.il/KotarApp/Viewer.aspx?nBookID=102627714#23.321.6.default> (accessed Dec. 11, 2021).
- [2] D. Chattopadhyay, *Electronics (fundamentals And Applications)*. New Age International, 2006.
- [3] "פרוטוקול מעבדת חשמל הנדסה ביורפואית 2."

```

%% 4.1.c
Vin=[0:0.1:5];
Vd=0.5;

V1=Vin; %for ideal didoe Vin=VR1

a=min(find(Vin>0.5));
u=zeros(1,length(Vin));
for i=a:length(Vin) %for non-ideal didoe Vr1=0 until Vin=Vd
    u(i)=1;
end
V2=(Vin-Vd).*u;

figure
plot(Vin,V1)
hold on
plot(Vin,V2)
xlabel('Vin[V]')
ylabel('VR1')
legend('VR1 for ideal didoe','VR1 for non-ideal didoe');

%% 4.3.a
V_D = 0:0.01:1;
f_VD = 1-700*10^(-8)*(exp(23.9*V_D)-1);

figure
plot(V_D,V_D)
hold on
plot(V_D,f_VD)
ylim([0 1])
xlabel('V_D[V]')
ylabel('f(V_D)')
title('Graphic represntaion')
legend('linear vec', 'f(V_D)')

%4.3.b
f_VD2 = 0.5-350*10^(-8)*(exp(23.9*V_D)-1);
figure
plot(V_D,V_D)
hold on
plot(V_D,f_VD)
plot(V_D,f_VD2)
ylim([0 1])
xlabel('V_D[V]')
ylabel('Unideal diode voltage')
title('Graphic represntaion')
legend('linear vec', 'Original circuit','After adding resisor')

```