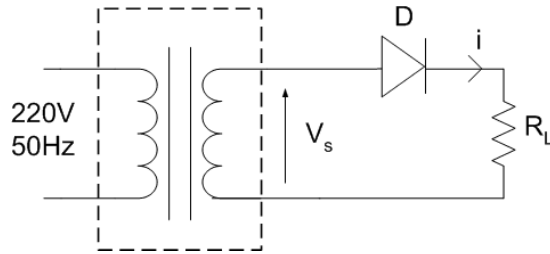
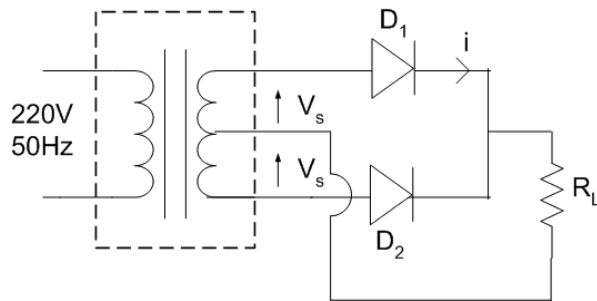


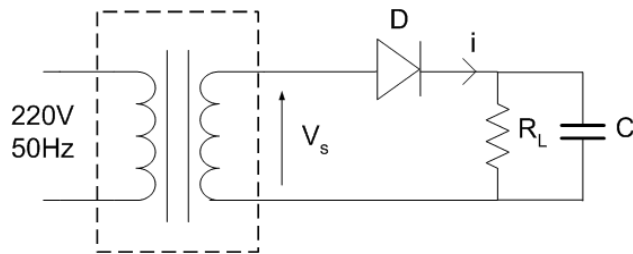
ניסוי 8: מעגלי יישור וסינון



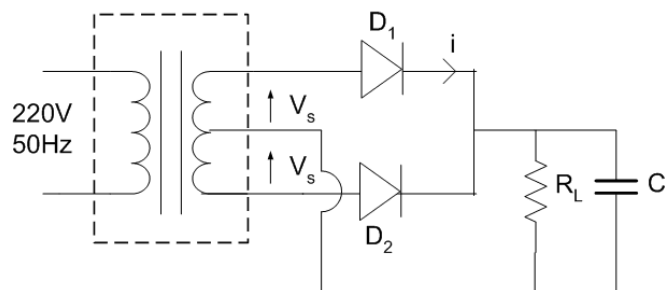
איור 3.1: מעגל יישור חד-דרכי



איור 3.2: מעגל יישור דו-דרכי



איור 3.3: מעגל יישור חד-דרכי עם מסנן קיבולי

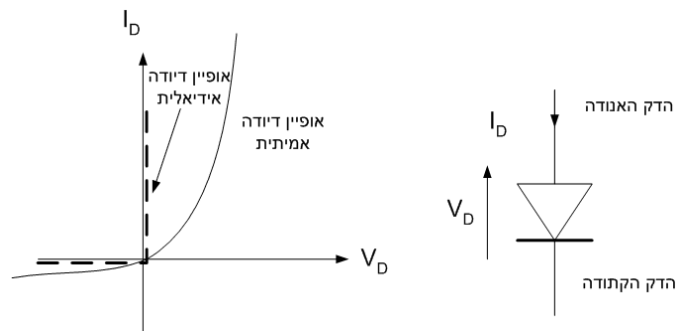


איור 3.4: מעגל יישור דו-דרכי עם מסנן קיבולי

התקנים חשמליים רבים זקוקים למתח קבוע לשם הפעלתם, למשל רדיו טרנזיסטור או תהליך אלקטרוליזה. מקור מתח קבוע נקרא גם מקור מתח ישר והוא מספק מתח קבוע בין הדקיו. סוללות ומצברים הינם מקורות מקובלים למתח ישר, אולם משך חייהם הקצר ומחירם הגבוה מגבילים את השימוש בהם. ניתן לקבל מקור מתח ישר על ידי המרת מתח חילופין המסופק, למשל, על ידי הרשת; המכשיר שעושה זאת נקרא ספק למתח ישר. התהליך הראשון המתבצע בספק הינו הפיכת מתח חילופין, המחליף את קוטביותו באופן מחזורי למתח בעל קוטביות קבועה ובעל גודל שאינו קבוע. תהליך זה נקרא יישור. הפעולה הבאה המתבצעת בספק הינה סינון המתח המיושר, אחריו מתקבל מתח כמעט קבוע. בספקים משוכללים מתבצעת גם פעולה שלישית שנקראת ייצוב ומטרתה ייצוב גודל המתח. ההתקן החשמלי המבצע את פעולת היישור הינו דיודת צומת. עקב השימוש בדיודת צומת במעגלי יישור היא נקראת גם מיישר (rectifier). בניסוי זה ייבדקו אופיין זרם מתח של דיודת הצומת, שני מעגלי יישור ומעגל סינון אחד.

7.2 דיודת צומת

דיודת הצומת היא התקן בעל שני הדקים העשוי מחומר מוליך למחצה (גרמניום או סיליקון). הדיודה היא התקן לא ליניארי שתכונתה העיקרית מתבטאת בהולכת זרם טובה בכיוון אחד והתנגדות גבוהה לזרמה בכיוון ההפוך. אופיין זרם מתח של דיודה נראה באיור 7.1. כאשר מתח הדיודה חיובי אומרים שהדיודה נמצאת בממתח קדמי ואז זרם הדיודה תלוי באופן אקספוננציאלי בממתחה; כאשר מתח הדיודה שלילי, היא בממתח אחורי, זרם הדיודה קטן מאד וכמעט שאינו תלוי במתח הדיודה. דיודה אידיאלית מהווה קצר לזרם בכיוון החיובי ונתק כאשר המתח שלילי, דיודה אמיתית מאופיינת על ידי שני פרמטרים עיקריים: הזרם המכסימלי שמותר להזרים דרכה בממתח חיובי והמתח המכסימאלי שהיא יכולה לשאת בממתח אחורי.



איור 7.1 : סכמה של דיודה ואופני דיודה אידיאלית ואמיתית

7.3 מעגלי יישור

7.3.1 הפרמטרים המאפיינים מעגל יישור

כדי לאפיין ספקי מתח ישר ולאפשר השוואה בין הביצועים של ספקים שונים נוהגים להתייחס לפרמטרים הבאים:

V_{DC} הערך הממוצע של המתח על פני העומס

V_{rms} הערך האפקטיבי של המתח על פני העומס

$V_r(t) = V_L(t) - V_{DC}$: ההפרש בין המתח הרגעי למתח הממוצע על פני העומס

a מקדם צורת הגל: היחס בין המתח האפקטיבי על עומס לבין המתח הממוצע עליו:

$$a = \frac{V_{rms}}{V_{DC}} = \frac{I_{rms}}{I_{DC}}$$

כאשר I_{rms} ו- I_{DC} מציינים את הזרם האפקטיבי והזרם הממוצע בעומס, וכן

$$I_{rms} = \sqrt{(I_{DC}^2 + I_{AC}^2)}$$

מתח ישר יהיה בעל $a=1$ ובכל מקרה אחר $a > 1$.

τ מקדם הגליות: היחס בין הערך האפקטיבי של V_r לבין המתח הממוצע:

$$\tau = \frac{V_{r_{rms}}}{V_{DC}} = \frac{\sqrt{(V_{rms}^2 - V_{DC}^2)}}{V_{DC}} = \sqrt{(a^2 - 1)}$$

במתח ישר מקדם הגליות $\tau = 0$. ככל שהיישור והסינון טובים יותר הגליות קטנה יותר.

פרמטרים נוספים שמאפיינים ספק למתח ישר:

- הזרם המכסימלי שניתן לקבל מהספק

- אופיין העמסת הספק: התלות בין מתח המוצא של הספק לבין הזרם שהעומס צורך מהספק.

- נצילות: היחס בין ההספק הנמסר לעומס להספק שמספק המקור הסינוסי המזין את הספק.

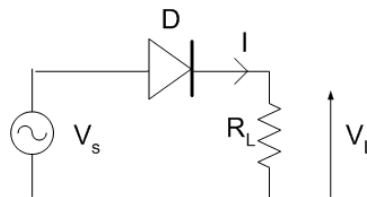
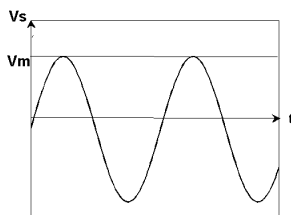
7.3.2 מעגל יישור חד דרכי – עומס אוהמי ללא סינון

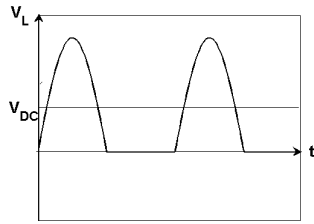
במעגל יישור חד דרכי המתואר באיור 7.2 משתמשים בדיודה אחת ההופכת את מתח החילופין למתח

פועם חד כווני בעל ערך ממוצע חיובי. הזרם בעומס ניתן על-ידי

$$i = \begin{cases} \frac{V_m}{R} \sin(\omega t) & V_s(t) > 0 \\ 0 & V_s(t) < 0 \end{cases}$$

כאשר V_m היא משרעת מתח החילופין בכניסה למיישר.





איור 7.2 : סכמת מעגל מיישר חד דרכי וצורת הגל בכניסה ועל העומס

הזרם הממוצע בעומס נתון על ידי :

$$I_{DC} = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} \frac{V_m}{R} \sin(\omega t) dt = \frac{V_m}{\pi R} = \frac{I_m}{\pi}$$

הזרם האפקטיבי בעומס נתון על ידי :

$$I_{rms}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T i^2(\omega t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} \frac{V_m^2}{R^2} \sin^2(\omega t) dt = \frac{V_m^2}{4R^2}$$

$$I_{rms} = \frac{V_m}{2R} = \frac{\pi}{2} I_{DC}$$

המתחים בעומס, ממוצע ואפקטיבי, מתקבלים על ידי כפל ב-R של ערכי הזרם המתאימים.

$$V_{DC} = I_{DC} R = \frac{V_m}{\pi} \quad V_{rms} = \frac{V_m}{2}$$

טיבו של המיישר נבחן באמצעות מקדם צורת הגל או מקדם הגליות. במיישר חד דרכי (עבור אות כניסה סינוסי) הביטויים הללו נתונים על ידי :

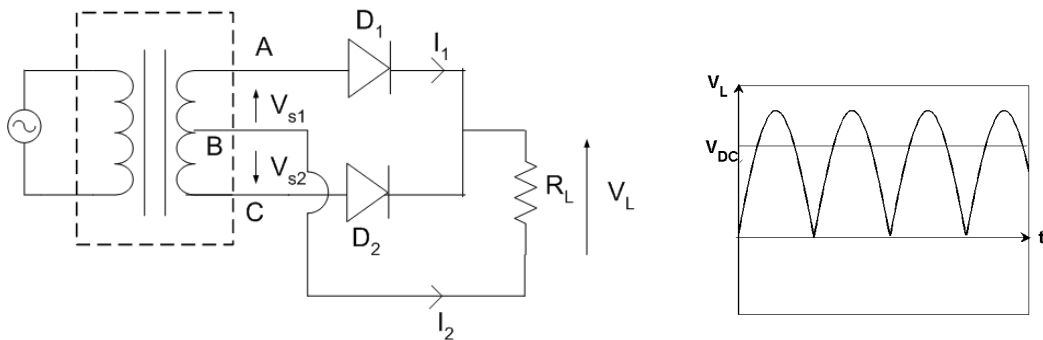
$$a = \frac{I_{rms}}{I_{DC}} = \frac{\pi}{2} = 1.57$$

$$\tau = \sqrt{(a^2 - 1)} = 1.21$$

הפיתוח הנ"ל מבוסס על ההנחות שהמעגל ניזון ממקור אידיאלי למתח סינוסי ושדיודת היישור הינה אידיאלית; לכן מצייני המיישר כפי שחושבו לעיל התקבלו ללא תלות בערך נגד העומס.

7.3.3 מיישר דו דרכי – עומס אוהמי ללא סינון

באיור 7.3 מתואר מיישר דו דרכי והמתח על העומס עבור כניסת מתח סינוס. המיישר מוזן משני מתחים סינוסיים $V_{AB} = V_{S1}$; $V_{CB} = V_{S2} = (-) V_{S1}$. מתחים סינוסיים אלו מתקבלים ממתח הרשת באמצעות שנאי (המשמש גם לקביעת V_m), אשר הליפוף שלו כולל סנף אמצעי. בחצי המחזור בו V_{S1} חיובי מוליכה הדיודה D_1 והזרם i_1 זורם במסלול הבא :



איור 7.3 : סכמת מעגל מיישר דו דרכי וצורת הגל על העומס

בתקופה זו הדיודה D_2 חסומה עקב $V_{s2} < 0$. בחצי המחזור השני בו $V_{s2} > 0$ הדיודה D_1 חסומה עקב $V_{s1} < 0$. שים לב שהזרמים i_1 ו- i_2 זורמים דרך נגד העומס R_L באותו כוון, מלמעלה למטה באיור מספר 7.3, לכן בכל מחזור של מתח הכניסה הזרם בנגד R מכיל שני חצאי מחזורים של גל סינוסי בעלי אותה קוטביות. מכאן שהזרם הממוצע בעומס יהיה כפול מהזרם הממוצע אשר התקבל ביישור חד דרכי.

$$I_{DC} = (2V_m) / \pi R$$

כאשר V_m הינה המשרעת של כל אחד ממתחי הסינוס המזינים את המיישר. הערך האפקטיבי של הזרם בעומס, I_{rms} , שווה לזה של זרם חילופין בעל משרעת דומה:

$$I_{rms} = (V_m) / (1.41R)$$

מצייני הטיב של מיישר דו דרכי נתונים על ידי:

$$a = \frac{I_{rms}}{I_{DC}} = \frac{\pi}{2 \times 1.41} = 1.21$$

$$\tau = 1.24$$

המתח הממוצע והאפקטיבי בעומס נתון על ידי כפל ב- R של ערכי הזרם המתאימים:

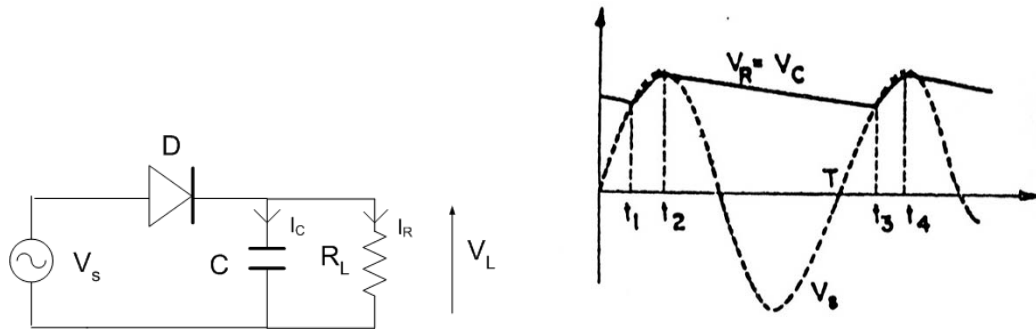
$$V_{DC} = (2V_m) / \pi$$

$$V_{rms} = V_m / 1.41$$

7.3.4 מסנן קיבולי

מעגלי היישור מפיקים מתח חד כווני שגודלו אינו קבוע, והוא בעל גליות גבוהה. כאשר נדרש מתח מיושר בעל גליות נמוכה מוסיפים מסנן למעגל היישור. המסנן הפשוט ביותר מתקבל על ידי חיבור קבל, C , במקביל לנגד העומס R_L , כמתואר באיור 7.4. עבור מיישר חד דרכי. בתקופה $T_1 = t_2 - t_1$ בה המתח בכניסה גדול ממתח הקבל V_C , הקבל נטען ומתחו עוקב (כמעט) אחרי מתח הכניסה. הדיודה מוליכה בזמן זה את זרם העומס i_R וגם את זרם טעינת הקבל i_C . כאשר מתח הכניסה יורד מערכו השיאי, מגיע רגע בו V_R גדול ממתח הכניסה ואז הדיודה נחסמת, זמן זה מצויין

כ- t_2 באיור. החל מרגע זה הקבל מתפרק דרך העומס ומספק את הזרם לעומס. ההתפרקות נמשכת עד זמן t_3 בו מתח הקבל משתווה בשנית למתח הכניסה. בתקופה t_3-t_4 מתח הכניסה שוב גדול ממתח הקבל והדיודה מוליכה. כלומר, הקבל משכך את השינויים במתח העומס ולכן מקבלים גליות קטנה מזו של מעגל יישור חד דרכי ללא קבל. ככל שהקבל גדול יותר שינויי מתח היציאה קטנים יותר והגליות קטנה. הגליות קטנה גם עם הגדלת העומס (הגדלת R_L) כיוון שאז פריקת הקבל איטית יותר.



איור 7.4 : סכמת מעגל מיישר חד דרכי עם מסנן קיבולי וצורת הגל על העומס

תוספת קבל הסינון מקטינה את הגליות ומעלה את המתח הממוצע המתקבל בעומס ביחס לאותו מיישר ללא סינון. נביא כאן את הביטויים, ללא הוכחה, עבור המתח הממוצע והגליות:

עבור מיישר חד דרכי עם סינון קיבולי

$$V_{DC} = V_m \left(1 - \frac{1}{2fCR_L} \right)$$

$$\tau = \frac{1}{2\sqrt{3}(fCR_L)}$$

כאשר f תדר מתח הכניסה ביחידות Hz.

עבור מיישר דו דרכי עם סינון קיבולי

$$V_{DC} = V_m \left(1 - \frac{1}{4fCR_L} \right)$$

$$\tau = \frac{1}{4\sqrt{3}(fCR_L)}$$

הביטויים הללו מתקבלים מפיתוח מקורב המתבסס על ההנחה שמתקיימת בדרך כלל, שהקבל מספיק גדול כך שמתקיים $t_1 \ll T$, כאשר T הינו מחזור הסינוס בכניסה ונתון על ידי $T=1/f$.