

ניסוי שניאי

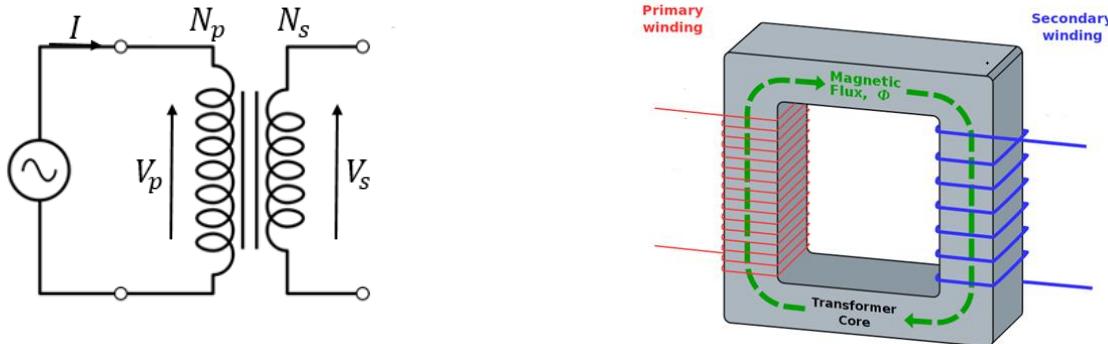
לפני קריית התדריך יש לודא הבנה של המונחים הבאים

חוק פארדי, חוק לנץ, עומס, עכבה שקוולה, השראות, היגב חשמלי, פאזר.

מבוא

לפי חוק פארדי, השינוי בזמן של שטף המגנטי דרך סליל תגרום להיווצרות מתח חשמלי על הסליל הנקרע כא"מ מושרה: $\frac{d\Phi_B}{dt} = N$ – כאשר N זה מספר כיריות בסליל. נניח שני סלים מלוופים על אותה ליבת ברזל. הסלים לא מחוברים ביניהם אבל מוקמים כך שהשיטף המגנטי שמיוצר בסליל אחד עבר גם בסליל השני דרך ליבת הברזל (איור 1). על מנת שהשיטף המגנטי "יכל" בתוך הליבה ולא יעבור באוויר, חומר הליבה צריך להיות בעל פרטבליות גבוהה מאוד (ובאופן אידיאלי, אינסופית). ברזל מתאים לכiba משומש שהפרטבליות שלו היא $\mu_s = 5,000$.

כשנחבר מקור מתח חילופין לסליל ראשון, יזרום דרכו זרם חילופין שיגרום להתחפות שטף מגנטי משתנה בזמן. אם לשני הסלים יש מספר כיריות שונה, השיטף ישירה מתחים שונים על הסלים. התקן זה נקרא **שניאי** (איור 2) כיון שהוא משנה מתח במעגל חשמלי. סליל המחבר למקור המתח קוראים **סליל ראשוני** (primary) ומסמנים את מספר היריות שלו N_p , ולסליל השני שהוא מוצא הנקרא **סליל שניאי** (secondary) והוא בעל N_s כיריות.



איור 2: תרשימים סכמטיים של שניאי. הקווים האנכיים בין הסלים מצינים שישנו צמוד השראות בינם (הם חולקים שטף).

איור 1: שני סלים מלוופים על אותה ליבת ברזל

שניאי אידיאלי ללא עומס

נניח שבשניאי אין איבוד אנרגיה. לשניי זהה קוראים **שניאי אידיאלי**. נתבונן במעגל שבאיור 2 ונמצא את הקשר בין המתחים V_p ו- V_s כאשר זרם חילופין I במעגל הראשוני. המתח המושרה בסליל הראשוני הוא:

$$V_p = -N_p \frac{d\Phi}{dt} \quad (1)$$

זה הוא השיטף המגנטי הנוצר בסליל הראשוני. בהנחה שאין איבוד שטף מגנטי במעבר מהסליל הראשוני למשני, אותו שטף מגנטי משולב בשני הסלים, הראשוני והשניי, לפיכך ניתן גם לכתוב את משווואה (1) לגביו הסליל המשני:

$$V_s = -N_s \frac{d\Phi}{dt} \quad (2)$$

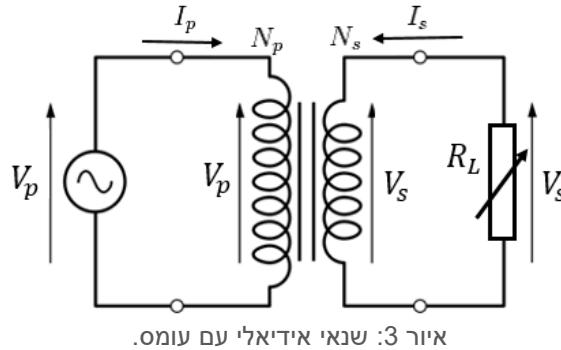
נחלק את משווואה (2) במשווואה (1) ונקבל את הקשר:

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p} \quad (3)$$

נשים לב שאם מספר הרכיקות בסיל' המשני קטן יותר מאשר מספר הרכיקות בסיל' הראשוני ($N_p < N_s$), המתח המושרעה על הסיל' המשני גם כן קטן יותר מהמתוח המושרעה על הסיל' הראשוני. זהו **שנאי מוריד מתח**. באופן דומה, אם $N_s > N_p$ נקבל **שנאי מעלה מתח**.

נוהג להגדיר את הגודל $\frac{N_p}{N_s} = \frac{1}{a}$. גודל זה נקרא "**יחס ההשנה**" של השנאי ולכן ניתן לכתוב את נוסחה 3 כ-

שנאי אידיאלי עם עומס נתבונן עתה בשנאי אידיאלי אשר עומס R_L (אוומי בלבד) מחובר לסיל' המשני שלו, כמו תואר באיר 3.



אייר 3: **שנאי אידיאלי עם עומס**.

יחס המתוחים על סיל' השנאי ניתן על ידי נוסחה (3), אלא שבמקרה זה זרם גם בסיל' המשני. נסמן זרם זה ב- I_s ואת הזרם בסיל' הראשוני נסמן ב- I_p . לאחר שזהו **שנאי אידיאלי**, אין בו הפסדי אנרגיה لكن לפי חוק שימור אנרגיה ההספק שנכננו שווה להספק שיוצא:

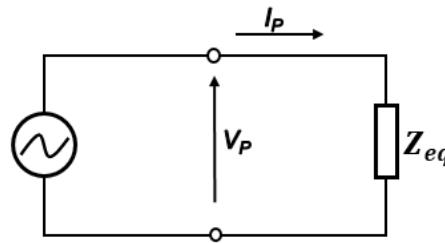
$$V_p \cdot I_p = V_s \cdot I_s \quad (4)$$

מכאן: $\frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p}$. נציב את נוסחה (3) ונקבל:

$$\boxed{\frac{I_s}{I_p} = \frac{N_p}{N_s} = a} \quad (5)$$

шиוך עכבות בשנאי אידיאלי

כמו בכל מעגל חשמלי אנו נרצה למצוא את העכבה השקולה של המעגל. שאיפתנו היא לבטא את השנאי ואת העומס המחבר אליו כרכיב בודד בעכבה Z וזה נוכל לפתור את המעגל המכיל שנאי בשיטות הסטנדרטיות שאנו מכירים. لكن בניית מעגל שקול למעגל באיר 3 על ידי כך שנסמן את השנאי ביחיד עם העומס המחבר אליו עכבה Z_{eq} (אייר 4).



אייר 4: **מעגל שקול למעגל שנאי אידיאלי עם עומס**

נמצא את Z_{eq} : $Z_{eq} = \frac{V_p}{I_p} = \frac{V_s \frac{N_p}{N_s}}{I_s \frac{N_s}{N_p}} = \left(\frac{N_p}{N_s}\right)^2 \cdot \left(\frac{V_s}{I_s}\right) = \left(\frac{N_p}{N_s}\right)^2 R_L$

הסלילים של שנאי והעומס המחבר אליו. במקרה שלנו העומס שჩיבורנו אל שנאי הוא נגד R_L

(האות L מסמנת "Load"). נשים לב שהשנאי לא משנה את אופי העכבה אלא רק את ערכו (עומס השראתי נשאר השראתי, עומס קיבול נשאר קיבול). בסך הכל קיבלנו:

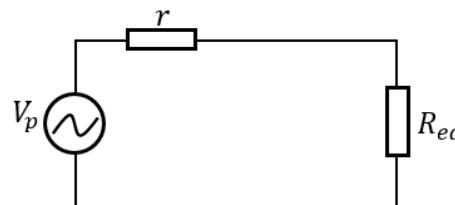
$$|Z_{eq}| = R_{eq} = a^2 R_L \quad (6)$$

הפאזה של העכבה השוואתית:

$$\varphi = 0^\circ$$

שנאי כמתאים אימפדינסים

אחד השימושים הכי נפוצים של השנאי הוא הגדלת היעילות של העברת הספק ממקור מעומס. נניח שאנו רצים לקבל את מקס'imum ההספק האפשרי שmagבר עם התנגדות פנימית r יכול לספק לרמקול עם התנגדות R_L . נחבר את הרמקול למגבר דרך שנאי, ונחשב את התנגדות השוואתית להשנאי והרמקול יחד: $R_{eq} = a^2 R_L$. קיבלנו מעגל שקול כמפורט באירור 5. במעגל זה נקבל מקס'imum ההספק על R_{eq} כאשר $R_{eq} = r$. כדי שהתנאי זהה יתקיים נבחר שנאי עם יחס הכריכות (a) מתאים ונקבל ההספק מקס'ימלי על הנגד השקול R_{eq} וכן גם על הרמקול. שיטת העברת הספק באופן זה נקראת **תיאום אימפדינסים**.

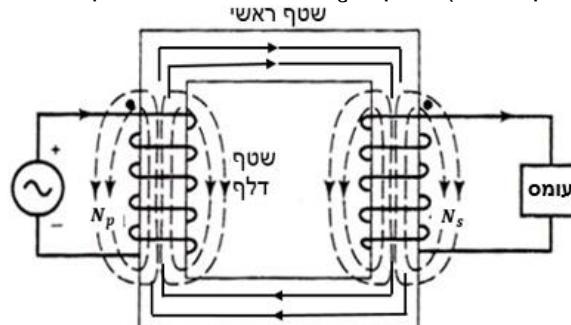


איור 5: מעגל תיאום עכבות לבועית מגבר עם רמקול

שנאי מעשי (לא אידיאלי)

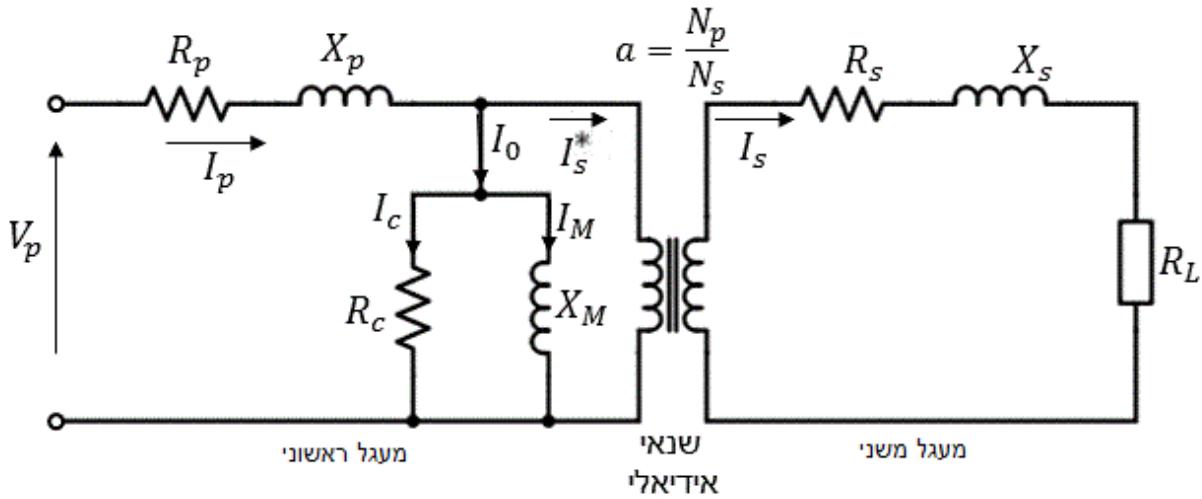
בשנאי מעשי ישנו איבוד אנרגיה, וכך לא כל ההספק המסופק לסיליל הראשוני עובר לסיליל המשני. נסזה לבנות **מעגל תמורה** (מעגל שקול מבchnה شمالית) המכיל רכיבים שיסקפו את התהליכי הפיסיקליים המתארים בשנאי המעשי ונסביר בעדרתם למה יש הפסדים בהספק:

- א. לסילילים מהם מורכב השנאי ישנה גם התנגדות האווחית (ראו תדריך "זרם חילופין" ע"מ 4-5) שגורמת להתחממות הסיליל ובריחת אנרגיה. נסמן את התנגדויות אלה ב- R_p עברו הסיליל הראשוני ו- R_s עברו הסיליל המשני.
- ב. קיימת זיגזגת שטף מגנטי בסילילים של השנאי, ככלומר חלק קטן מהשטף עובר באוויר ולא בליבת הסילילים (ראה איור 6). השתנות של שטף דלף זה יוצרת השראות מגנטית. נסמן ב- X_p את ההיגבים הנוצרים עקב זיגזגת השטף בסילילים הראשוני והמשני בהתאם.
- ג. מכיוון שחותם הליבה הוא לא בעל פרמטרים אינטואיטיביים, נדרש זרם על מנת ליצור את השטף הראשי (איור 6). נסמן ב- X_s את ההיגב האחראי להיווצרות השטף הראשי החסל (Hysteresis) וזרמי מערבולות (Eddy currents).
- ד. קיימים הפסדים בחומר המגנטי של הליבה בגין הפסדי החסל (Hysteresis) וזרמי מערבולות (Eddy currents). הפסדים אלו גורמים להתחממות של הליבה ובריחת אנרגיה [1]. כדי如此, רכיב שהזרם החשמלי בו הופך לחום הוא נגד (ראו תדריך "זרם חילופין" ע"מ 4). נסמן ב- R_C את התנגדות המתקבלת בגין האיבודים בליבת השנאי.



איור 6: שטף דלף בסולילים של שניי מעשי

כעת נבנה את מעגל התמורה של שניי לא אידיאלי עם עומס R_L המחברו אליו (ראו איור 7). הסבר על איך בחרנו את מיקומו של כל רכיב במעגל התמורה אפשר למצוא ב-[2].

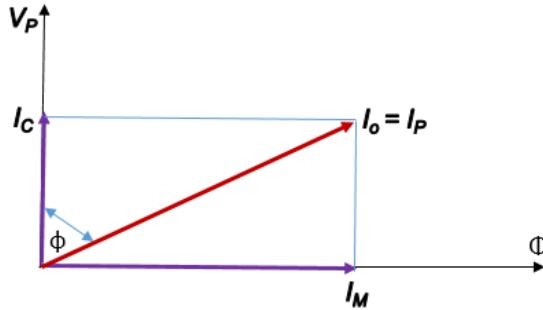


איור 7: מעגל תמורה של שניי אמיתי עם עומס (R_L). הזרם המושרה במעגל הראשון על ידי המעגל המשני מסומן ב- I_s^* . והקשר בין הזרם במעגל המשני (I_s) נתון על ידי נוסחה 5, התקפה עברו שניי אידיאלי.

בניסוי נמצא את ערכי הרכיבים במעגל תמורה של שניי אמיתי. נעשה זאת על ידי ביצוע שני ניסויים: **ניסוי שניי ללא עומס (נתק/ריקם)** ו**ניסוי קצר**.

שניי מעשי ללא עומס

בשניי ללא עומס, R_L מנותק ולכן $I_s^* = 0$ (ראה איור 7). האיבודים העיקריים הם בחומר של הליבה ואפשר להזניח את האיבודים בתיל של הסליל וזריגת שטף, כיוון להזניח את הרכיבים R_p, X_p לעומת R_C, X_M לעומת I_0 . כמו כן לזרם I_0 (ראה ציר 7) בסליל הראשון (בשניי ללא עומס) קיימים שני רכיבים: הזרם I_M שמייצר את השטף המגנטי בליתת השני וקיים באותו מופע עם השטף המגנטי Φ , והזרם I_C שהוא שגורם לאיבודים בליתת השני ולא מייצר שטף מגנטי. הרכיב הזה בדרך כלל קטן אבל יכול להגיע ל- 10% מהזרם ואף יותר אם ישנים ליקויים בבנית השני. דיאגרמת פאזהרים (הסביר על פאזהרים ניתן למצוא בתדריך "זרם חילופין" ע"מ 3) של הזרמים מוצגת באירור 8.



איור 8: דיאגרמת פאזהרים של הזרמים בשנאי ללא עומס

מתיקיים:

$$I_C = I_0 \cos \varphi \quad (7)$$

$$I_M = I_0 \sin \varphi \quad (8)$$

$$I_0 = \sqrt{I_C^2 + I_M^2} \quad (9)$$

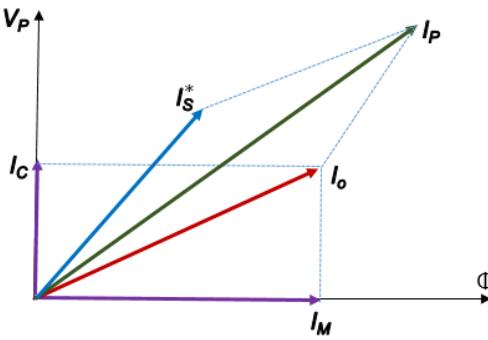
לפי ההנחהות שלנו: $I_0 = I_p$. אם נמדד את הגודל של הזרם זהה ואת הזווית φ בין המתח והזרם בסליל הראשוני, יוכל לחשב את הזרמים I_M , I_C , I_p ואת גם את הרכיבים R_C , X_M לפ"י:

$$R_C = \frac{V_p}{I_C} \quad (10)$$

$$X_M = \frac{V_p}{I_M} \quad (11)$$

שנאי מעשי עם עומס

אם מעמיסים את השנאי (מחברים ריאווטט להדק הסליל המשני כמו בציור 3) אז דיאגרמת הזרמים תשתנה (ראה איור 9). בסליל המשני יזרום זרם I_s^* אשר ישנה את השטף בסליל המשני וכתוצאה מכך ישנה גם את השטף בסליל הראשוני. הזרם זהה ינסה לפ"י חוק לנץ (Lenz's law) להקטין את השטף בסליל הראשוני. מאוחר והמתוך כניסה לסליל הראשוני קבוע (מהחולל) זה יגרום להגברת הזרם בסליל הראשוני, בהתאם לחישוב הפופים, כך שיגיע לערך I_s^* (ראה הסבר לאיור 7). הזרם בסליל הראשוני I_p יהיה הסכום של שני קוטוריים: הזרם I_s^* והזרם I_0 (זרם של שנאי ללא עומס).



איור 9: דיאגרמת פאזהרים של הזרמים בשנאי מעשי עם עומס

ניסוי קצר

בניסוי קצר מקצרים את הסליל המשני, כלומר $R_E = 0$. במצב כזה נקבל זרמי I_p ו- I_s^* גדולים לעומת הזרם I_0 , יוכל להניח כי $I_0 \gg I_p = I_s^*$ (ראה איור 7). לכן נזניח את הרכיבים R_C , X_M ונמצא עכבה השקולה למעגל:

$$Z = (R_p + iX_p) + (a^2R_s + ia^2X_s) = R + iX \quad (12)$$

מכאן:

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2} = \frac{V_p}{I_p}$$

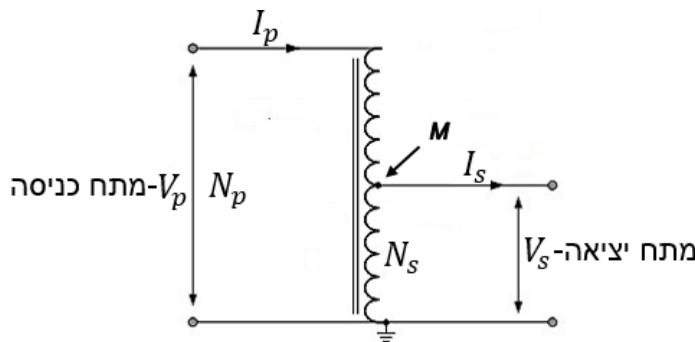
$$X = \sqrt{|Z|^2 - R^2}, \quad R = \frac{P}{I_p^2}$$

ולכן:

כאשר P הוא הספק של מקור המתח. הסלילים של השנאי בניסוי זהים לכך:
 $X_p = X_s, R_p = R_s$

שנאי עצמי (Autotransformer)

ניתן למקם מספר סילילים על אותה ליבת, לחבר את הסילילים ביחד ולקבל מתחים שונים. צריכים רק להקפיד שהמתח של מספר הסילילים מתחבר ולא מתפרק. כישר סליל אחד על הליבה (או סילילים המתחברים ביניהם כך שיש בין הראשוני והמשני מגע חשמלי) אז המערכת נקראת שנאי עצמי (ראה איור 10). M היא נקודת החיבור בין שני הסילילים.



איור 10: שנאי עצמי

נשים לב שההמשוואות המקשרות מתח וזרם בסילילים הראשוני והמשני לא משתנות:

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p}, \quad \frac{I_s}{I_p} = \frac{N_p}{N_s}$$

היתרון הגדול של שנאי עצמי שהוא זול יותר בהשוואה לשנאי רגיל כי הוא דורך פחות חוטי נוחותה לסילילים והמבנה שלו פשוט יותר. גם האיבודים בשנאי עצמי קטנים יותר מאשר בשנאי רגיל, לאותו הספק.

החסכנות של שנאי עצמי הם:

1. הסליל הראשוני נשא את הזרמים של הסליל הראשוני והמשני וכן חוטי הנחשות צריכים להיות עבים יותר עבור הספק נתון.
 2. המוגלים לא מבודדים חשמלית.
- רכיב שימושי הנקרא Variac הוא שנאי עצמי אשר מגע M (איור 10) בו מחליף לאורך הסליל ומאפשר לבחור מתח יציאה רצוי בין 0 ל- V_p .

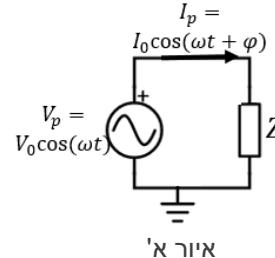
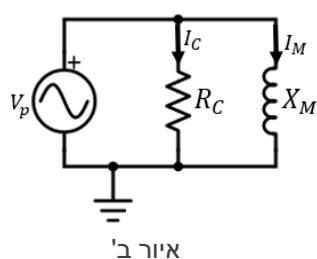
הערה: ציר להקפיד שהחיבור המשותף בין הכניסה ויציאה יהיה ב- "0" של הרשת ולא בצד ה"חט" (220V) כי זה מסוכן!

שאלות ההכנה

1. לשנאי יש בסליל הראשוני 1000 סריגות ובמשני 2000 סריגות. מתח של $50Hz, 100V$ נופל על הסליל הראשוני (הכניסה). מה יהיה המתח על הסליל המשני (היציאה)? מהו מתח היציאה אם נ הפר את החיבורים (כניסה ויציאה)?
2. עבור המוגל שבאיור 3 נתון: $42 = N_s, N_p = 140, V_p = 10V, R_L = 10\Omega$. מצאו את הזרם I_s הזורם דרך העומס R_L . רמז: השתמשו בחוק אום עבור העומס ובנוסחה (3).
3. הוכחו שעבור המוגל שבאיור 5 נקבל מקסימום הספק על הנגד $R_{eq} = R_{eq} = r$. דרך לפתרון: יש למצוא ביטוי להספק המתפתח על הנגד R_{eq} בעזרת הפרמטרים V_p, r, R_{eq} , לגזר את הביטוי לפי R_{eq} ולהשווות ל-0.

א. הוכחו שההספק הממוצע המתפתח על Z בمعالג שבאיור א' שווה ל- φ . $P_{avg} = \frac{1}{2}V_0I_0\cos\varphi$. שימוש לב- φ היא הזרווית בין המתח לזרם של המקור והוא גם מינוס הפאה של העבבה (ראו הסביר בתדריך מבוא לזרם חילופין ע"מ 3). השתמשו בנוסחה: $P_{avg} = \frac{1}{T}\int_0^T V_p I_p dt$. מרי הנוסחה להספק אם נתונים ערכי-h RMS של המתח והזרם במקום האמפליטודות שליהם?

ב. מהו ההספק המתפתח על הסליל X_M ועל הנגד R_C בمعالם שbaiור ב'.



5. רוצים לחבר בעזרתו שני מגבר המיצג ע"י מקור מתח סינוס והתנגדות פנימית של 500Ω לרםkol בעל עכבות כניסה של 4Ω . מה צריך להיותיחס הcrcיות של השנאי שיתאים בין העכבות של המגבר והרמקול (יתן מקסימום הספק ברמזהן). האם הסליל בעל המספר הגבוי של הcrcיות צריך להתחבר למגבר או לרמקול?

6. המגבר שבסעלה 5 יכול לספק W_2 לרמקול כשייש תיאום עכבות. בהנחה שהשנאי אידיאלי (לא הפסדים):

- מהו ההספק המתבקש בתתנדות היציאה של המגבר אם הרמקול מחובר כמו בסעלה 5?
- אם הרמקול בעל העכבה של Q_2 מחובר ישירות ליציאת המגבר (לא השנאי), מה יהיה הספק היציאה (ההספק של הרמקול)?

ג. מכל החיבורים איזה בעל הנכילות \neq הגובהה ביותר כאשר נכילות מוגדרת כ- $\frac{\text{הספק היציאה}}{\text{הספק היציאה} + \text{הספק היבוא}}$ = η .

7. בניםו שניילר לא עומס נתון: $I_p = 0.1A$, $V_p = 2V$, $\varphi = 70^\circ$. יש למצאו את הרכיבים: X_M , R_C .

8. בניםו קוצר $R_E = 0$, הזרם בمعالג גדול לkn: $I_0 \gg I_s = I_p$. יש למצאו את הרכיבים R_p , X_p , R_E , X_E בمعالג התמורה שבאיור 7 אם ידוע כי- $I_p = 0.5A$, $V_p = 2V$ ו הפרש המופע ביןיהם הוא $\varphi = 35^\circ$. הסוללים של השנאי בינוים.

9. שניי בניו ע"י סיל ראשו יחיד ושבי סילאים משניים המולבשים על הליבה. כיצד צריך לחבר את ההדקים של הסילאים המשניים על מנת לקבל את סכום המתוחים שלהם כ"מוצא" השנאי (חיבור בטור)?

10. האם השנאי יכול לעבוד בזרם ישר? הסבר.
 11. מהו זרם מערכות? כיצד הוא משפיע על השנאי וכייז ניתן להקטין אותו?

12. מהו הביטוי לניצולות אם ידועים הספק הכספי וההפסדים בשנה? השתמש בנוסחה בשאלת 6.ג. ובשים ארגוגיה.

מהלך הניסוי

חייבים לעبور הדרכה על הסקוֹפ הדיגיטלי לפני שימושים בניוֹסִי.

כללי בטיחות בעבודה על עמדת ניסוי "שנאי":

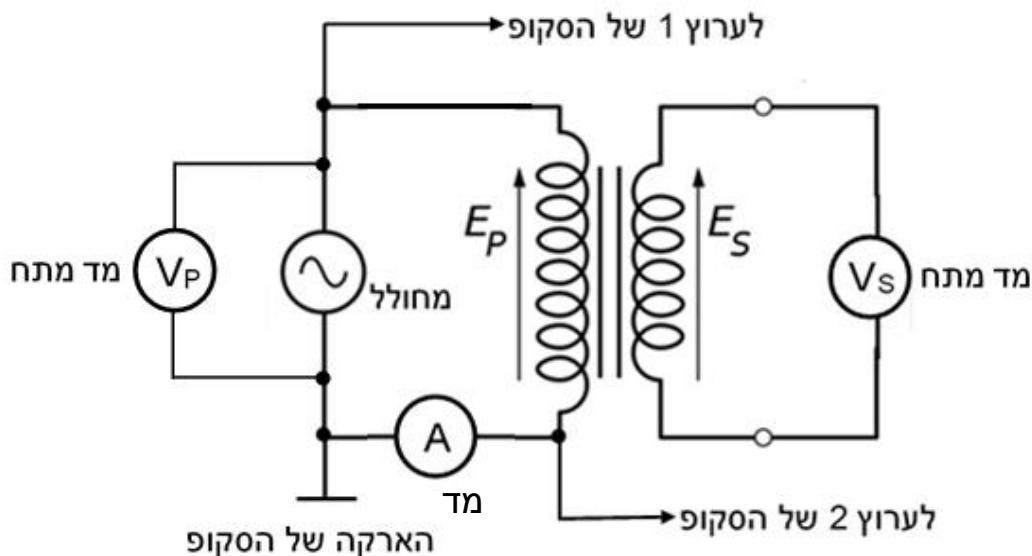
- (1) יש לקרוא למדרך לבדיקת המעהל לפני הדילקת מתח הספק.
 (2) אם בעת הדילקת הספק מכשרי המדידה לא מגיבים (מראים 0) או מוצפפים יש לכבות מיד את הספק.
 (3) כشعושים שינויים בהרכבת המעהל יש לכבות את הספק, לבצע את השינוי ורק איז להדילק שוב את הספק.
 (4) מספר הcrcיות בסלול הראשוני חייב להיות 140 בכל המעהלים (פרט לסעיף הנוגע להמרת אימפרנסים). נא לא להקטין את המספר כי זה גורם להגברת הזרם במעעל וזרם הגadol מ- 5A יכול לגרום נזק לציר.

לפני תחילת הנסיון יש לרשום את ערך ההשראות וההתגדות שਮופיעים על הסלילים, ולמדוד את ההשראות של הסלילים כאשר הם מולבשים על הליבת בעזרת MD-LCR. מה יוצר את הבדל בין הערכיהם?

מדידות בשנאי ללא עומס

למדידת זרם יש לחבר תחילת את החוטים למולטימטר רק בין השקעים COM ו- A או 20 (בהתאם לסוג המכשיר). רק לאחר שמודאים שהזרם הנמדד אינו מעל התוחם המדידה התח้อน, העבר את החוט משקע 10A/20A לשקע A_{10mA} בהתקדמות (בהתאם לסוג המכשיר).

1. לחבר את המעגל והמולטימטרים למדידת מתח וזרם בסליל הראשוני ובסליל המשני לפי איור 11. תחשבו מראש היקן למקם כל מולטימטר בהתאם למדידות הנדרשות (היקן דרוש מדידה בו זמןית של זרם ומתח? איזה מולטימטר מאפשר זאת? -- ראה "שימוש במולטימטר דיגיטלי" להסביר על מדידת זרם ומתח בו זמןית).
 2. לחבר את הסקופ למעגל בעזרת שני כבלים קוואקסיאליים (ראה איור 12).
- *הסבר למדידת עוצץ 2 של הסקופ:** במחזור הניתני, נרצה למדוד את הפרש הפאזה בין המתח לזרם ממחברים את הסקופ הדיגיטלי מסוגל למדוד רק מתחים בשני הערכות ולא זרמיים. על מנת למדוד את הפאזה של הזרם מחברים את עוצץ 2 של הסקופ במקביל למד הזרם שמודד את I_p (ראה איור 11). למד הזרם ישנה התנגדות פנימית קטנה: $\Omega \sim 0.1\Omega$ ואם מודדים את המתח על מד הזרם אז המתח זה יהיה פרופורציונלי לזרם, כלומר בעל אותה פאזה. באופן זה ניתן למדוד את הפאזה של הזרם.



איור 11: המעגל החשמלי למדידות בשנאי ללא עומס, ראה הסבר בסעיף 1.



איור 12: כבלים קוואקסיאליים

2. מודד את המתחים V_s , V_p והזרם I_p עברו כל המתחים של המחולל בין 2V עד 14V עברו מספר כריכות בסליל הראשוני 140 ובסליל המשני 140 כריכות.
חשבוב:

- יש לחכotta 5 ~ שניות או יותר עד שהקריה של המולטימטר תהייצב.
- המולטימטר מודד מתח וזרם אפקטיביים (RMS) ולא את האמפליטודה. ראה הקדמה לזרם חילופין בהסביר על **סקופ הדיגיטלי**.

שרטט גרף של V_s כפונקציה של V_p دون בשיפוע שהתקבל. האם הוא מתאים לתיאורייה?

3. מדוד את המתחים V_s , V_p והזרם I_p עבור מתח של המחולל 10V, מספר כריכות בסליל הראשוני 140 ומספר כריכות בסליל המשני: 14, 112, 84, 42, 140. שרטט גרפ של $\frac{V_s}{V_p}$ כפונקציה של $\frac{N_s}{N_p}$. מה ניתן להסיק מהגרף?

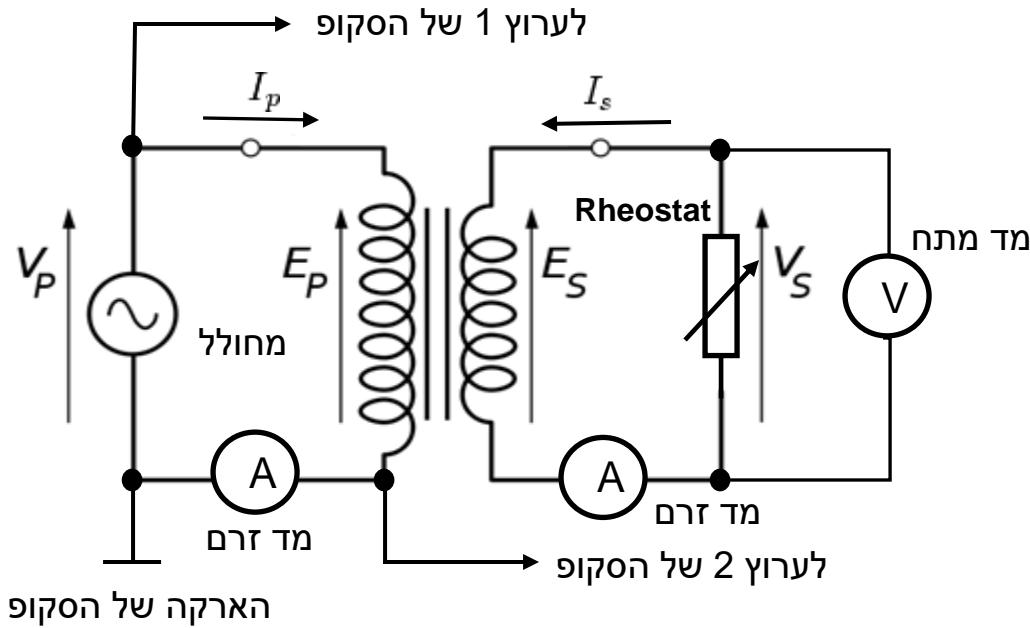
מדידות הפרש פאזה בمعالג הראשוני

4. **בעד מדידת הפרש פאזה ללא עומס (ניסוי ריקם):** כוון את המחולל -7V. ואה שמספר הCarectot בסליל הראשוני וגם במושני שווה ל140. כוון את המולטימטר למדידת זרם/מתוח AC בסקלט זרם של לפחות [A] 1 (הסקלוטות משתנות לסוג המולטימטר). במידה וככימ, קבע מצב AUTO עבור סקלט המדידה. קבע את הצימוד של שני העורצים של הסקופ ל-DC. מדוד את המתחים V_s , V_p , והזרם I_p ואת הפרש המופיע בין העורץ 1 והעורץ 2 של הסקופ (לחץ על כפתור meas ובוחר AcqMode (Averaging). כדי להקטין את הרעש בעורץ 2 לוחצים על המקש Acquire ובוחרם phase). מתוך תוצאות המדידה, חשב את הרכיבים X_M , I_M , I_C , R_C , X_P , R_S , X_S . בהמשך נניח ש- I_0 אינו משתנה כתוצאה מחיבור עומס סופי.

5. **בעד מדידת הפרש פאזה בקצר (ניסוי קצר):** בחلك זה זורם זרם גבואה בمعالג חבר את החוטים של המולטימטר למדידת זרם בין השקעים COM ו-A 10A או A 20 (בהתאם לשוג המכשיר) וכוון את סקלט המדידה ל-20A או למצב Auto אם אפשרי. כוון את המחולל -7V. ואה שמספר הCarectot בסליל הראשוני וגם במושני שווה ל140. קצר את הסליל המשני של השני על ידי חיבור ההדקים. מדוד את הזרם I_p , המתוך V_p ואת הפרש המופיע ביניהם (בין העורץ 1 והעורץ 2 של הסקופ). מתוך תוצאות המדידה, חשב את הרכיבים R_P , R_S , X_P , X_S . השווה להתנגדות הסילילים הרשומה עליהם.

מדידות בשנאי עם עומס בסליל המשני

6. פרק את המمعالג ונתקן את כל החוטים. תכנן מראש היכן למקם כל מולטימטר בمعالג המצוייר באירור 13 בהתאם למדידות הנדרשות (היכן נדרש מדידה בו זמינות של זרם ומתח? איזה מולטימטר מאפשר זאת?)
7. כוון את הריאוסטט להתנגדות של 10Ω . מדוד את ההתנגדות R במדז"ק.
- חברו את המمعالג, הסקופ והמולטימטרים למדידת זרם ומתח בסליל הראשוני ובסליל המשני לפי אירור 13. (ראה "שימוש במולטימטר דיגיטלי" להסביר על מדידת זרם ומתח בו זמינות)
8. מדוד את הזרמים I_s , I_p עבור כל המתחים של המחולל בין 2V עד 14V ומספר כריכות בסליל הראשוני 140 ובסליל המשני 140 כריכות. שרטט גרפ של I_s כפונקציה של I_p . מה ניתן להסיק מהגרף?
9. מדוד את הזרמים I_s , I_p עבור המתח בסליל הראשוני $10V = V_p$ (מדוד את הערך המדויוק), מספר כריכות בסליל הראשוני 140 ומספר כריכות בסליל המשני: 14, 112, 84, 42, 140. שרטט גרפ של I_s כפונקציה של N . מה פירוש השיפוע? האם הוא תואם לתיאוריה? (ראה שאלת הינה 2)



איור 13: מעגל חשמלי לביסוי מדידת בשנאי עם עומס בסיליל המשני

10. בצע מדידת הפרש עומס סופי: כוון את המחולל ל- **7V**, ודא שמספר הרכיבות בסיליל הראשוני וגם במשני שווה ל- **140Ω**. כוון את המולטימטר למדידת זרם/מתח AC בסיליל זרם של לפחות [A] 1 (הסקולות משתנות לסוג המולטימטר). במידה וקיים, קבע מצב AUTO עבור סקלת המדידה. קבע את היצמד של שני העורוצים של הסקופ ל-DC. מדוד את הפרמטרים I_L , I_p , I_s , V_p , V_s , R_L ואת הפרש המופיע בין הערוך 1 והערוך 2 של הסקופ (את V_s ניתן לבדוק באמצעות הסקופ).

מתוך המדידה ותוצאות סעיף 4, חשב את הרכיב $\frac{V_s}{I_s}$ והשווה ל- $\frac{V_s}{I_s}$ שמדדת ישירות. חשב את ההספק בכינסה לשנאי (ראה שאלת הינה 4). חשב את האיבודים בתיל של הסילילים ומתחממות הליבת השנאי וחשב מתוכם את הנזילות. חשב את הנזילות של השנאי במצב זה לפי ההספק של העומס והספק הכינסה והשווה (שאלות הינה 12, 6, 12).

מדידות בשנאי כממיר אימפדינסים

11. שים את מספר כריכות בסיליל הראשוני ל- 84 ובסיליל המשני ל- 140. כוון את המחולל ל- **7V**. שנה את התנגדות הריאויסטט בין 0 ל- **10Ω** (פחות 10 נקודות שונות מכל הטווח של R_E) ומדוד את הזרם ואת המתח בסיליל המשני.
12. שרטט גраф של ההספק $\frac{V_s}{I_s}$ כנגד R_L . את התנגדות הריאויסטט אפשר למצוא לפי $\frac{V_s}{I_s} = R_L$. קבע עבור איזה ערך של R_L מתקבל ההספק המקיים על R_L . הוסף נקודות לגרף על מנת לבדוק את המקסימום במדויק. מהי ההתנגדות השקולה (R_E בציור 4) שמתאימה להספק המקיים בבדיקה? מהי ההתנגדות הפנימית של המחולל בו השתמשת בניסוי?

מדידות בשנאי עצמי

13. נתק את כל החוטים וחבר את השנאי כשןאי עצמי. יש להשתמש רק בסליל אחד, ראה איור 10. חבר שני מולטימטרים למדידת המתחים V_S , V_P : מד מתח אחד לחבר ישר למכלול האותות אשר מחובר לסליל הראשוני של 140 כריכות ומד מתח שני לחבר לאוינו הסליל בין הרכיכות מס' 14. שים מתח של 78 בmäßigול ומדוד את המתחים. שנה את מספר הרכיכות של הסליל המשני בשנאי ל- 42, 84, 112 ומדוד את המתחים בהתאם.

$$\frac{N_S}{N_P} \cdot \frac{V_S}{V_P}$$

השווה את התוצאה לערך התאורטי.

מושגים, שיטות ומכשורים שסטודנט יכול לדעת להשתמש בהם אחרי הגשת הדוח בנושא:

חוק פארדי, חוק לנץ, עומס, עכבה שколה, השראות, היגב חשמלי, שנאי, סליל משני, סליל ראשוני, שנאי אידיאלי, שנאי מורייד מתח, שנאי מעלה מתח, שיקוף עכבות, מעגל תמורה/שקל, תאום אימפダンסים, הפסדי החישל (Hysteresis), זרמי מעורבות (Variac), פאזר, דיאגרמת פאזררים, שנאי עצמי, Eddy currents.

רשימת מקורות:

[1] הסבר על תופעות הפסדי החישל וזרמי מעורבות מופיע בספר:
ד"ר דוד אלמקיס. המרת אנרגיה: שנאים ומכונות חשמל. משרד החינוך, מט"ח. ע"מ 63, 66-69.

[2] מקומות רכיבי מעגל תמורה של שנאי אמיות:
ד"ר דוד אלמקיס. המרת אנרגיה: שנאים ומכונות חשמל. משרד החינוך, מט"ח. ע"מ 48-50.