

חברים,
אנא קראו את ההערות לדו"ח.
נעשו כאן שגיאות חוזרות ונשנות שדיברנו עליהן
בפגישה - חבל.

ציונים:
בחן: 60
ביצוע: 100
דו"ח: 88

מעבדה 3 - חקירת מאפייני השנאי

דור קליינשטרן (204881692), גל רעיוני (305653487)

20 באפריל 2016

galra@campus.technion.ac.il, dore@campus.technion.ac.il

מטרת הניסוי

מטרת הניסוי הייתה לראות שהשנאי משנה מתח וזרם ושגורם לזווית הזזה. בנוסף לראות את הקשר ביחס המתחים על הקצוות השונים של השנאי כתלות ביחס מספר הכריכות ואיך עומס משפיע על המערכת. מדדנו מתחים וזרמים בחלקים שונים של המערכות, וגזרנו את הספק המעגלים ואת נצילותם.



מבוא

נסתמך בדוח זה על החוק האהוב עלינו בעולם בחשמל, חוק אוהם -

$$V = I \cdot R \quad (1)$$

בנוסף לכך, ההספק לפי הספרות המדעית (יחד עם חוק אוהם) הינ

$$P = V \cdot I = \frac{V^2}{R} = I^2 \cdot R \quad (2)$$

כמו כן, נשתמש בנוסחת הנצילות האומרת כי:

$$\eta_0 = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{loss}} \quad (3)$$

בנוסף, נשתמש בנוסחאות סטטיסיות יודעות:

מבחן ה η -

$$\eta = \frac{|X_1 - X_2|}{\sqrt{\delta X_1^2 + \delta X_2^2}} \quad (4)$$



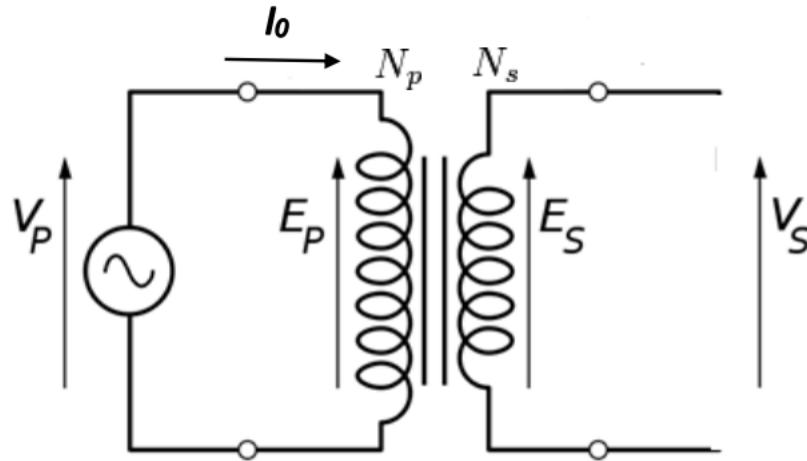
חישוב שגיאה נגררת של פרמטר F -

$$\delta F = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial x} \delta x\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial y} \delta y\right)^2 + \dots} \quad (5)$$

הסתמכנו על המודל הבא:



שנאי אידיאלי ללא עומס



איור 1: מערכת הניסוי של שנאי אידיאלי ללא עומס

התלות בין מתח על הסליל המשני למספר הכריכות שלו הוא מינוס השינוי בשתף המגנטי -

$$V_s = -N_s \frac{d\phi}{dt}$$

כאשר ϕ הוא השתף המגנטי בסליל השני.

בהינתן שאין איבודים של שטף במעבר בין הסליל הראשון לשני, הרי שאותה משווה תקפה גם לסליל הראשון -

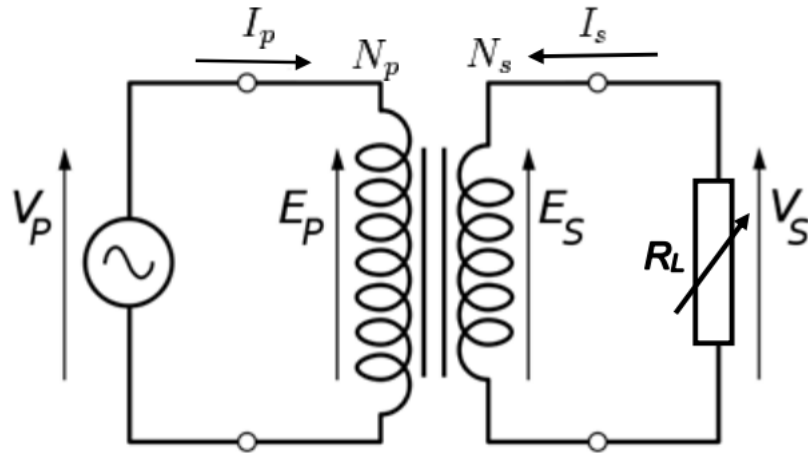
$$V_p = -N_p \frac{d\phi}{dt}$$

ולכן נקבל את היחס -

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p} \quad (6)$$



שנאי אידיאלי עם עומס



איור 2: מערכת הניסוי עבור שנאי אידיאלי עם עומס



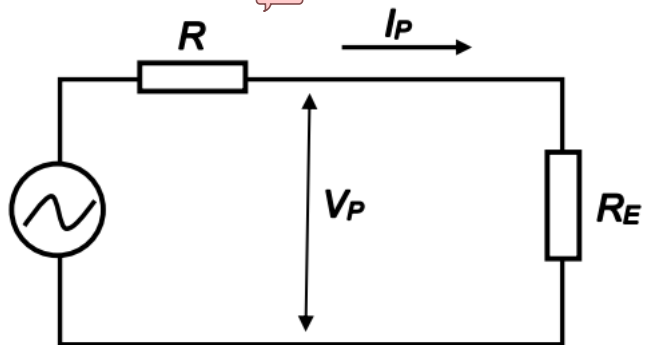
לשנאי אידיאלי אין איבודי אנרגיה ולכן $V_s \cdot I_s = V_p \cdot I_p$ מה שגורר

$$\frac{I_s}{I_p} = \frac{N_p}{N_s} \quad (7)$$

ולפי הגדרת הספק ושימור אנרגיה נקבל

$$V_p \cdot I_p = \frac{(V_s)^2}{R_L} \quad (8)$$

שנאי כממיר אימפדנסים



איור 3: תיאור המערכת של שנאי כממיר אימפדנסים



נחשב את העכבה שנראת מההדקים של V_p שנסמן אותה כ R_E

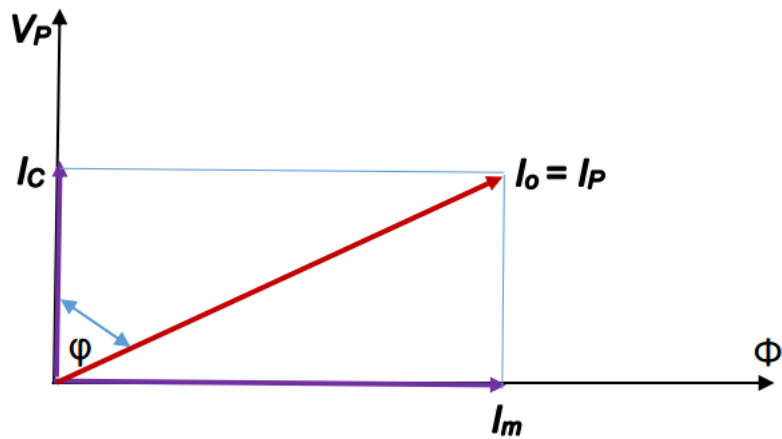
$$R_E \equiv \frac{V_p}{I_P} = \left(\frac{\frac{N_P}{N_S} \cdot V_S}{\frac{N_S}{N_P} \cdot I_S} \right) = \left(\frac{N_P}{N_S} \right)^2 \left(\frac{V_S}{I_S} \right) = \left(\frac{N_P}{N_S} \right)^2 R_L$$

כאשר R_L מוגדר להיות $R_L = \frac{V_S}{I_S}$ התנגדות היציאה השקולה ולכן נקבל כי

$$R_E = a^2 \cdot R_L \quad (9)$$

$$a = \frac{N_P}{N_S} \text{ כאשר}$$

שנאי אמיתי ללא עומס



איור 4: מערכת ניסוי של שנאי אמיתי ללא עומס



לפי הציוור מקבלים ש -

$$I_c = I_0 \cos(\varphi) \quad (10)$$

$$I_m = I_0 \sin(\varphi) \quad (11)$$

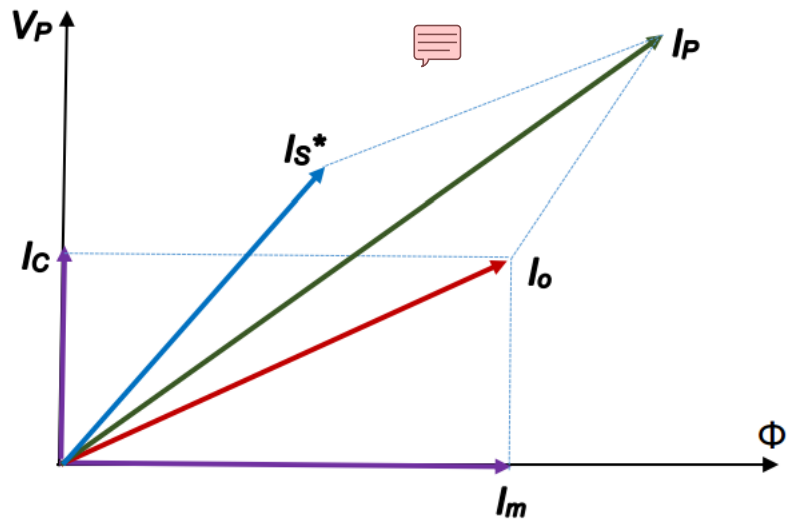
$$I_0 = \sqrt{I_c^2 + I_m^2} \quad (12)$$

ואיבוד האנרגיה שנגרם כתוצאה מזה שהשנאי אינו אידיאלי ניתן לחישוב על ידי הנוסחה

$$P = V_P \cdot I_c \quad (13)$$

שנאי אמיתי עם עומס

אם נוסיף לעומס על הסליל המשני, כמו שיש בציור 3, דיאגרמת הזרמים תשתנה ונקבל את הדבר הבא:

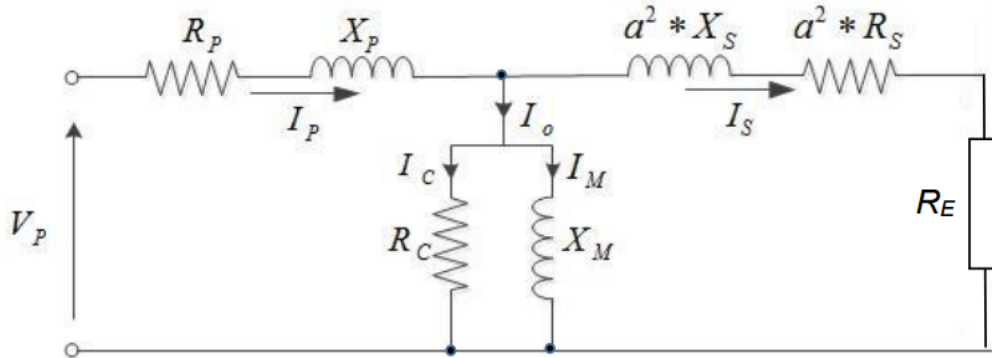


איור 5: תיאור מערכת ניסוי של שנאי אמיתי עם עומס

כפי שניתן לראות החיבור הינו וקטורי, ואם מספר הכריכות לא שווה, אז נקבל ש

$$I_s^* = a^2 \cdot I_s \quad (14)$$

מעגל תמורה של השנאי האמיתי



כאן:

R_C - התנגדות אוהמית המתקבלת בגלל האיבודים בליבת השנאי.

X_M - השראות של הסליל הראשוני.



R_P - התנגדות אוהמית של הסליל הראשוני.

X_P - השראות המתקבלת בגלל זליגת השתף בסליל הראשוני.

R_S - התנגדות אוהמית של הסליל המשני.

X_S - השראות המתקבלת בגלל זליגת השטף בסליל המשני.

איור 6: תיאור מערכת של תמורה בשנאי אמיתי

לפי חוק אוהם וחיבור נגדים בטור ובמקביל, נובע כי בניסוי ללא עומס ($R_E \rightarrow \infty$) נקבל כי $I_P \rightarrow 0$ וכי $X_P, R_P \ll R_C, X_M$ ולכן

$$R_C = \frac{V_P}{I_C} \quad (15)$$

$$X_M = \frac{V_P}{I_M} \quad (16)$$

ובהתאם, בניסוי שמקצרים את השנאי המשני, כלומר $R_E = 0$, הזרם במעגל גדול $I_P = I_S \gg I_0$ ומכאן נובע שהעכבה הכוללת של השנאי היא

$$Z = (R_P + iX_P) + (a^2 R_S + ia^2 X_S) = R + iX$$

ולכן ההספק של המעגל הינו:

$$P = V_P \cdot I_P \cdot \cos \varphi \quad (17)$$

$$|Z| = \frac{V_P}{I_P} \quad (18)$$

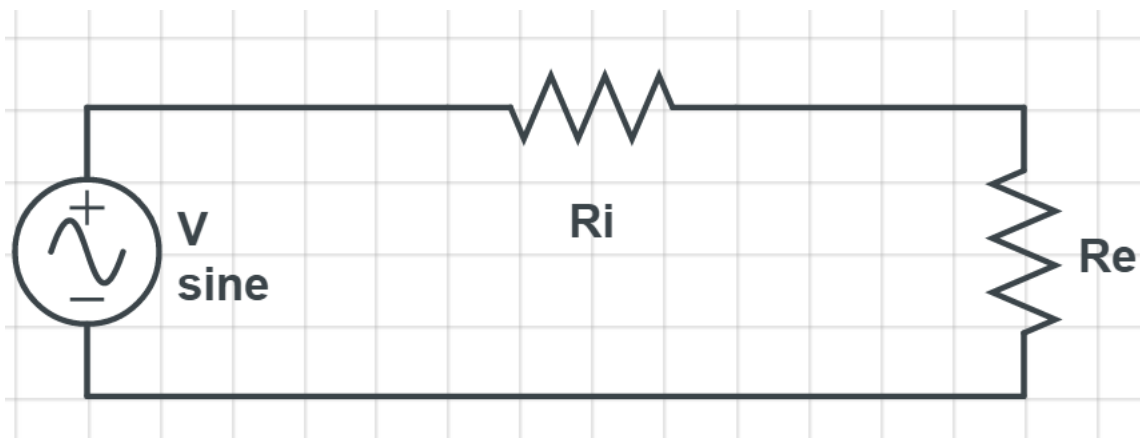
ומכאן נקבל:

$$R = \frac{P}{I_P^2} \quad (19)$$

$$X = \sqrt{Z^2 - R^2} \quad (20)$$

ואם הסלילים שלנו בניסוי זהים, אז: $R_P = R_S$ וכן $X_P = X_S$

חישוב התנגדות מקסימאלית עבור חיבור 2 נגדים בטור



איור 7: תיאור מערכת של שני נגדים בטור עם מחולל

נרצה למצוא מה היא התנגדות שצריך שיהיה ל R_E על מנת שההספק שלו P_E יהיה מקסימאלי. לפי חוק אוהם נקבל $V = I \cdot R_i + I \cdot R_E$. ולפי משוואה 2 נקבל כי $P_E = I^2 \cdot R_E$ ולכן נקבל $P_E = \frac{V^2}{(R_i + R_E)^2} \cdot R_E$ בשביל למצוא את ההספק המקסימאלי, נגזור לפי R_E ונשווה ל 0. $\frac{d}{dR_E} P_E = 0$ ולאחר גזירה, השוואה ל 0, וכמובן בדיקת נקודת מינימום/מקסימום נקבל כי הדבר מתקיים עבור

$$R_E = R_i \quad (21)$$

מהלך הניסוי

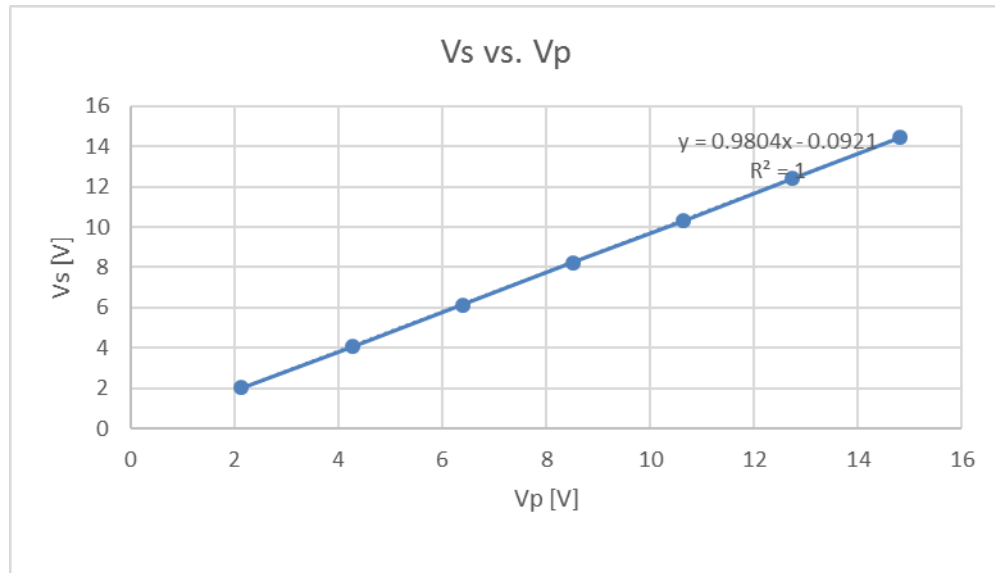
ניסוי זה מורכב מכמה שלבים. ראשית עשינו מדידות שונות על שנאי ללא עומס בסליל המשני. שינונו את מתח המחולל ואת מספר הכריכות וראינו את שינוי המתחים והזרמים בהתאם. לאחר מכן הוספנו עומס בסליל המשני על ידי ריאוסטט, ושוב עשינו מדידות תוך כדי שינוי מתח המחולל ואת מספר הכריכות בסליל המשני. באותו חלק גם הפרש המופע שהיה בין שני הזרמים, ואת ההפרש מופע שהיה בין המתח לזרם הראשי. לבסוף מדדנו את הזרמים בשני הסלילים עם מתח קבוע, אך שינונו את התנגדות העומס.

בניסוי השתמשנו במולטימטר רבים, וכן בסקופ דיגיטלי. מדידת המתחים/הזרמים במעגל, וחישוב זווית ההסחה בהתאמה.

תוצאות

שנאי ללא עומס

נרצה לראות את היחס בין המתח על השנאי המשני כפונקציה של המתח הראשי

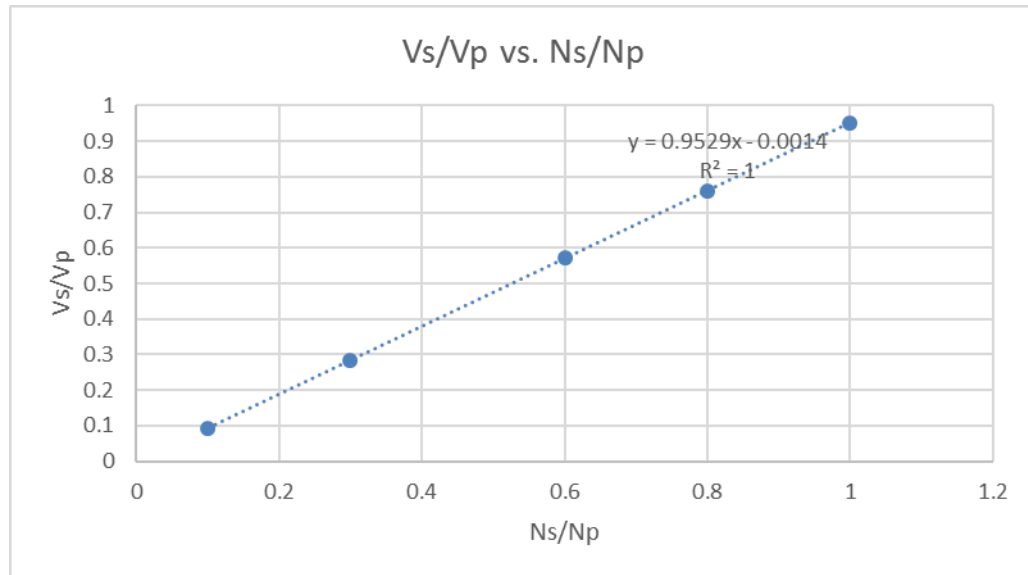


איור 8: V_S כתלות ב V_P

כפי שניתן לראות, התקבל $R^2 = 1$, כלומר השגיאה הסטטיסטית שלנו קטנה, וההתאמה לחיזוי התיאורטי של קשר לינארי מתקיימת ברמת דיוק טובה, מבחינה איכותית. סטייה מהתיאוריה, ככל שהיא קיימת, נובעת אם כן משגיאה שיטתית.

| | Coeff | Inter. |
|-----|-------|--------|
| Val | 0.980 | -0.09 |
| Err | 0.002 | 0.02 |

כעת, נרצה לראות את היחס שבין $\frac{V_S}{V_P}$ כפונקציה של $\frac{N_S}{N_P}$:



איור 9: $\frac{V_s}{V_p}$ כתלות ב $\frac{N_s}{N_p}$

גם כאן התקבל $R \approx 1$, ועל כן סטייה ביחס לתיאוריה ככל שהיא קיימת נובעת משגיאה שיטתית.

| | Coeff | Inter. |
|-----|--------|---------|
| Val | 0.9530 | -0.0014 |
| Err | 0.0004 | 0.0003 |

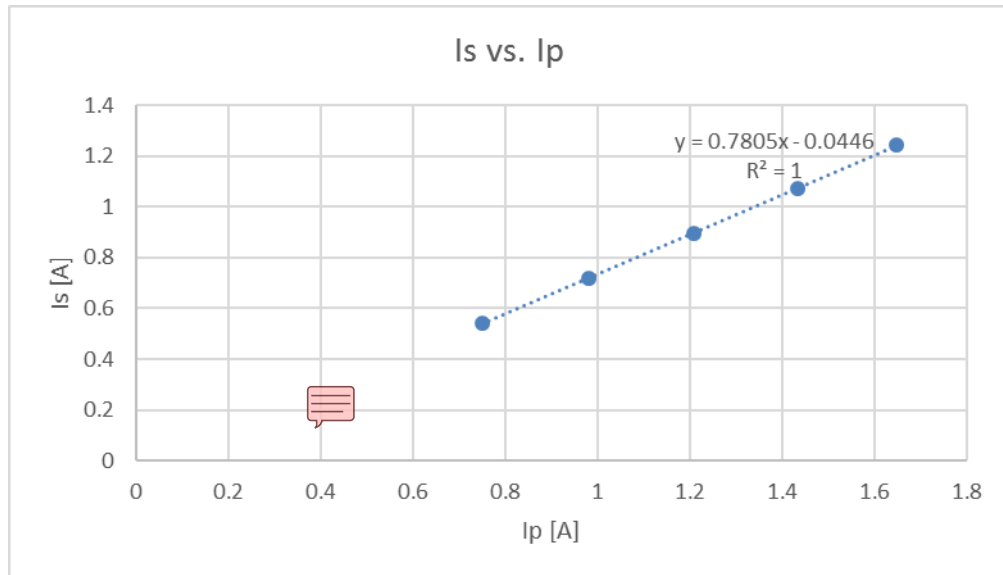
במידת זווית הסחה בין V_p ל- I_p , עבור הפרמטרים הבאים:

$$\begin{aligned} V_p &= 1.17 \pm 0.005[V] \\ V_s &= 2.13 \pm 0.005[V] \\ I_p &= 3.800 \pm 0.0005[Amp] \end{aligned}$$

התקבל: $\phi = 68.33^\circ$

שנאי עם עומס

נרצה לראות את היחס בין הזרם I_p המשני כפונקציה של הזרם הראשי:



איור 10: I_s כתלות ב I_p

גם כאן התקבל $R \approx 1$, ועל כן סטייה ביחס לתיאוריה ככל שהיא קיימת נובעת משגיאה שיטתית.

| | Coeff | Inter. |
|-----|-------|--------|
| Val | 0.770 | -0.031 |
| Err | 0.004 | 0.004 |

במידת זווית הסחה בין V_p ל- I_p , עבור הפרמטרים הבאים:

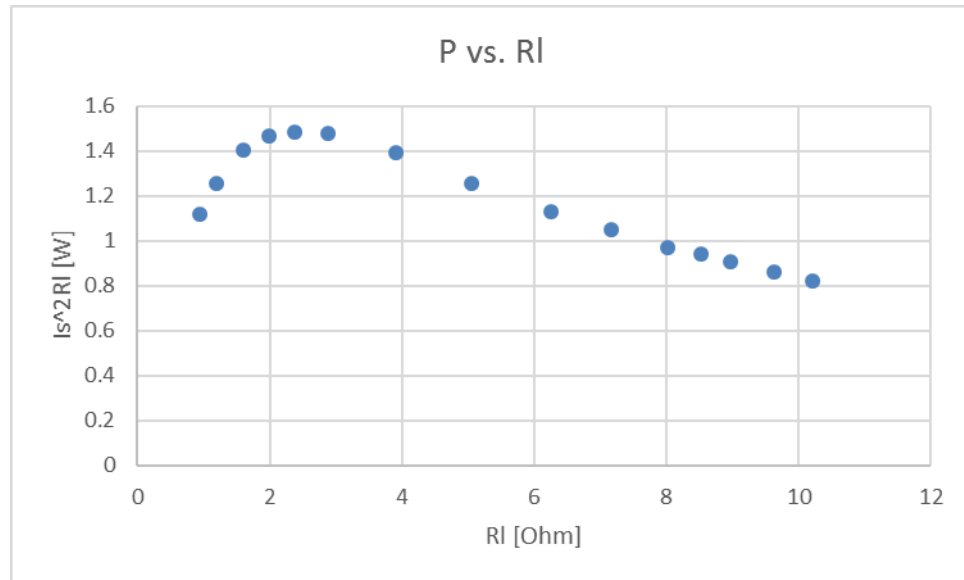
$$V_p = 2.12 \pm 0.005[V]$$

$$I_p = 1.005 \pm 0.0005[Amp]$$

התקבל: $\varphi = 68.33^\circ$.

שנאי כממיר אימפדנסים

נרצה לראות את היחס בין ההספק על הנגד המשתנה, כפונקציה של הנגד המשתנה:



איור 11: $I_s^2 \cdot R_L$ כתלות ב R_L

כמצופה, ניתן לראות שככל שמתקרבים לערך מסוים (בהמשך נראה שהוא שווה ל R_i) אזי ההספק עולה, וככל שמתרחקים ממנו הוא יורד.

דיון בתוצאות והשוואה לתאוריה

שנאי ללא עומס

מהשוואה במבחן ה- η מתקבלות ההתאמות הבאות:
 עבור שיפוע הגרף 8 אל מול צפי תיאורטי של שיפוע 1 (ע"פ משוואה 6, תוך התחשבות בשגיאת התאמת הגרף הלינארי) מתקבלת $\eta = 11.7$
 עבור שיפוע הגרף 9 אל מול צפי תיאורטי של שיפוע 1 (ע"פ משוואה 6, תוך התחשבות בשגיאת התאמת הגרף הלינארי) מתקבלת $\eta = 113$
 ערכי ה- η הגדולים מתקבלים על אף קירבה לערכים התיאורטיים נובע משגיאה יחסית קטנה ביותר, ככל הנראה קטנה משמעותית משגיאת המדידה השיטתית (אותה אין באפשרותנו לשקלל בלינאריות של התוצאות), ובחוסר אינפורמציה לגבי מידת דיוקם של N_p, N_s על מנת להתייחס גם לשגיאה התיאורטית בהשוואה.

שנאי עם עומס

כפי שניתן לראות, בגרף ה-10 ה- R^2 הוא 1, ולכן התלות הלינארית מאוד חזקה, הישר הוא אכן ישר טוב, ואנו באמת מקבלים שהיחס או לינארי, כפי שמצפים מנסוחה 7.
 בניסוי שלנו, מספר הכריכות שווה (בשניהם 140), כלומר $a = 1$, ולכן לפי משוואה 14 נקבל כי $I_s^* = I_s = 0.18 [A]$
 לפי המדידות שלנו, עבור $V = 2 [V]$ $V_p = 2.12 [V]$, $I_p = 1.005 [A]$ וכי הזווית הסחה היא בת 75.7° . לכן, לפי משוואות 17 עד ל-20 ובהינתן שהסלילים זהים, כלומר, $R_P = R_S$, $X_P = X_S$, נקבל ש- $X_P = 1.25 [\Omega]$, $R_P = 0.32 [\Omega]$ ומקבלים שגיאות נגררות לכל ערך לפי משוואה 5.
 $P = 2.13 [W]$ ו- $P_{RL} = 0.53 [W]$ (של המעגל הכולל). ומקבלים שגיאות נגררות לכל ערך לפי משוואה 5.
 $\eta = 0.802$ משוואה 3 ניתן לראות כי במעגל שלנו הנצילות היא:

שנאי כממיר אימפדנסים

ההתנגדות השקולה R_E כפי שניתן לראות באיור 3 שמתאימה להספק המקסימלי הינה שיעור ה- X של הנקודה במקסימאלית ביותר באיור 11, ולפי חישוב הנקודה, קיבלנו כי $R_E = 2.38 [\Omega]$, ולפי משוואה 9 ועבור $a = 0.6$ נקבל כי $R_E = 0.86 [\Omega]$. ולפי משוואה 21 נקבל כי התנגדות המחולל תהיה שווה ל- R_E , השווה ל- $0.86 [\Omega]$.

מסקנות

ניתן לראות התאמה איכותית לתיאוריה (במקרים בהם היא מאפשרת לחזות ערך מדיד ניסויי), בכך שמתקיים קשר לינארי בין גורמים שונים. אמנם מתקבלות גדולות בהשוואת התוצאות לתיאוריה, אך אנו מעריכים את מקורן בלקות ביכולת הערכת השגיאה השיטתית מהמדדים, ובחוסר אינפורמציה אודות שגיאה במספר הסלילים. בשלבי הניסוי האחרים, ניתן להיווכח בהבדל שבין שנאי אידאלי לשנאי מציאותי, בו הנצילות > 1 , בשל זרמי מערבולת פנימיים בשנאי וזליגת שטף מגנטי שגורמים להפסדים (זרמי מערבולת). לבסוף, נוכחנו ביישום שתואם את הצפי התיאורטי, המאפשר למדוד את התנגדותו הפנימית של המחולל באמצעות חישוב הספק במעגל השנאי. כניסוי השלמה, ניתן למדוד את ההתנגדות הפנימית בשיטה נוספת, ולהשוות בין התוצאות.

