

נספח

7.1 מושגי יסוד

מעגל מגנטי הינו מסלול לשטף מגנטי (כפי שמעגל חשמלי הינו מסלול לזרימת זרם חשמלי). שנאיים, מכונות חשמליות ומתקנים אלקטרו-מכניים נוספים מושתתים על מעגלים מגנטיים. צפיפות שטף מגנטי, B , מוגדר ביחידות Tesla (T) במשוואת הכוחות:

$$F = B l I \quad (7.1)$$

F הינו כוח ביחידות N הפועל על מוליך באורך

l ביחידות m כאשר זרם בו זרם

I ביחידות A

והמוליך מונח בזווית 90° לכיוון קווי השטף המקבילים – בעצם B הינו ווקטור בגודל B ובמקביל לקווי השטף

שטף מגנטי, φ , העובר דרך שטח S ניתן ביחידות Weber (Wb) על-ידי:

$$\varphi = \oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} \quad (7.2)$$

במקרה ו B אחיד על כל שטח A ב- S וניצב לו אזי

$$B = \frac{\varphi}{A} \quad \text{או} \quad \varphi = BA \quad (7.3)$$

מקור שטף מגנטי הינו מגנט תמידי או זרם חשמלי. במקרה השני יכולתו של זרם לייצור מגנטיות מתבטא בכוח מגנטו-מניע, mmf , המוגדר ביחידות (At) Ampere turn:

$$\mathfrak{S} = NI \quad (7.4)$$

I הינו הזרם הזורם בתוך

N ליפופים של סליל

עצמת שדה מגנטי, H , ניתן ביחידות A/m על-ידי:

$$\oint_l \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = I \quad (7.5)$$

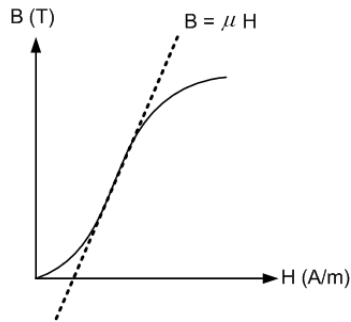
I הינו סך-הכול הזרם שזורם דרך שטח פתוח התחום על-ידי קו האינטגרל l .

כאשר הזרם "חותך" את השטח N פעמים (למשל כאשר סליל בעל N ליפופים מלופף סביב ליבה של מעגל מגנטי) אזי מתקיים:

$$\oint_l \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = NI \equiv \mathfrak{S} \quad (7.6)$$

חומר הליבה במעגל מגנטי הינו לרוב פרומגנטי, והיחס בין B ו- H ניתן על-ידי עקומת רוויה בעל אזור

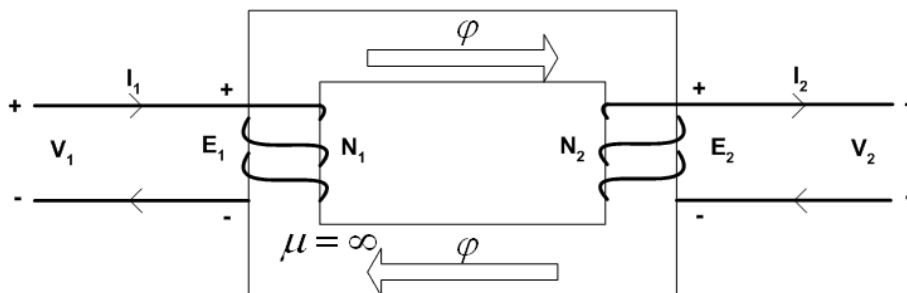
שבו היחס קרוב לליניארי דהיינו $B = \mu H$ ראה איור 7.1



איור 7.1 עקומת רוויה של ליבה פרומגנטית

7.2 שני אידיאלי

שני אידיאלי הנו מתקן אלקטרו-מגנטי בעל שניים או יותר ליפופי סליל מוצמדים. מטרת השני ליצור התמרות מתח, זרם ו/או עכבות ובנוסף לבודד בין שני מעגלים חשמליים. באיור 7.2 מצויר שני אידיאלי בעל שני ליפופי סליל – הוא אידיאלי בכך שאין לו הפסדים, שטף אינו זולג ממנו ואיל רוויה בפרמיאביליותו.



איור 7.2 ציור סכמטי של שני אידיאלי

N_1 הינו מספר ליפופים בסליל הראשוני

N_2 הינו מספר ליפופים בסליל המשני

ϕ הינו השטף המשוטף המתלפף בתוך כל ליפופי שני הסלילים

על-פי חוק Faraday נוצרים בהשראה מתחים משתנים e_1 ו- e_2 בכיוונים שמייצרים זרם שמייצר שטף שמתנגד לשינוי בשטף:

$$e_1 = N_1 \frac{d\phi}{dt} \qquad e_2 = N_2 \frac{d\phi}{dt} \qquad (7.7)$$

מכאן

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{E_1}{E_2} \equiv a \qquad (7.8)$$

$E_{1/2}$ הינם הערכים האפקטיביים של המתח ו- a הינו יחס השנאה.

בשני אידיאלי $e_1 = v_1$, $e_2 = v_2$

במקרה ש- $\varphi = \varphi_m \sin \omega t$ הינו סינוסואידיאלי דהיינו $\varphi = \varphi_m \sin \omega t$ אזי

$$e_{1/2} = \omega N_{1/2} \varphi_m \cos \omega t \quad E_{1/2} = \frac{\omega N_{1/2} \varphi_m}{\sqrt{2}} = \frac{4.44 f N_{1/2} \varphi_m}{\sqrt{2}} \quad (7.9)$$

כאשר f הינו תדר המתח/שטף

בשנאי אידיאלי אין הפסדי (או הצטברויות) mmf ולכן $N_1 I_1 = N_2 I_2$ ולכן

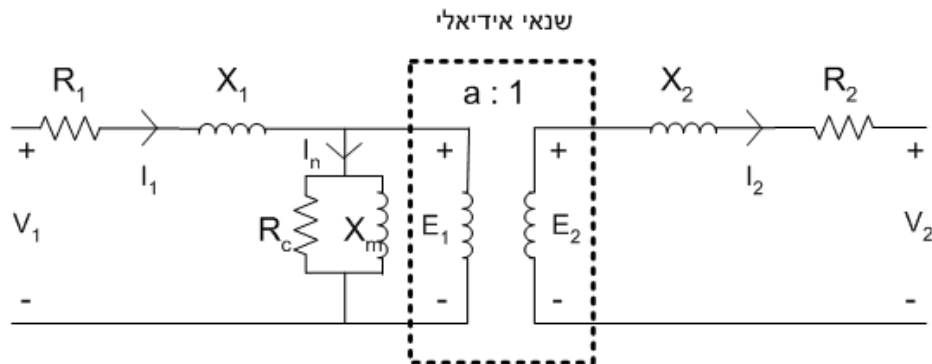
$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \equiv a \quad (7.10)$$

והיה ועכבה Z_2 מחובר במעגל המשני אזי העכבה שנואית במעגל הראשוני, Z_1 נתון על-ידי

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \equiv a^2 \quad (7.11)$$

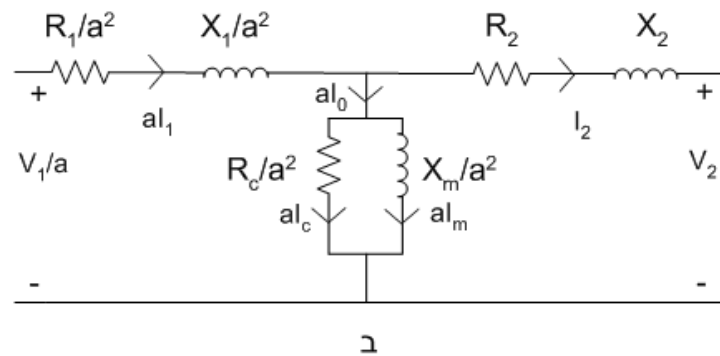
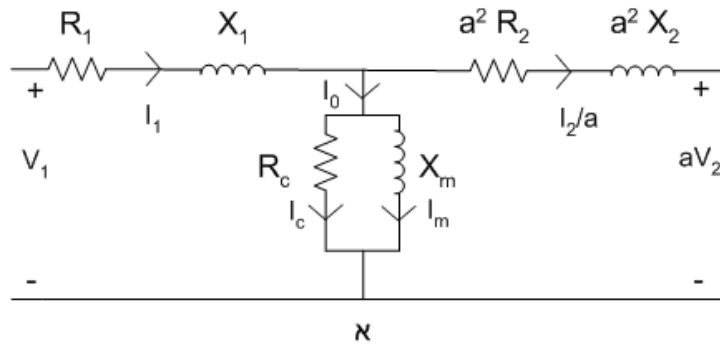
7.3 שנאי אמיתי

שנאי אמיתי שונה משנאי אידיאלי עקב הפסדים בליבה ובליפופים וזליגות שטף ועקב חוסר אידיאליות חומר הליבה. על-מנת לנתח שנאי אמיתי אנחנו נעזרים ב- "מעגל אקוויבלנטי" דהיינו מטמיעים את מקורות ההפסדים בתוך רכיבים נוספים במעגל ושנאי אידיאלי מבצע את ההתמרות של הפרמטרים בכניסתו וביציאתו. המעגל האקוויבלנטי משורטט באיורים 7.3 ו-7.4 כאשר באיור 7.4 השנאי הושמט ובמקומו מופיעים כל הפרמטרים "משוקפים" למעגל הראשוני (א) או למשני (ב).



איור 7.3 "מעגל אקוויבלנטי" של שנאי אמיתי

התנגדות ליפופי הסליל הראשוני	$R_{1/2}$
הגב ליפופי הסליל הראשוני	$X_{1/2}$
מתח מושרה ראשוני	$E_{1/2}$
מתח קצה ראשוני	$V_{1/2}$
זרם ראשוני	$I_{1/2}$
זרם ראשוני ללא עומס	I_0



איור 7.4 "מעגל אקוויבלנטי" של שנאי "משוקף" לראשוני (א) ולמשני (ב)

יחס השנאה	a
הגב וזרם הממגנטים	X_m, I_m
זרם והתנגדות הגורמות להפסדי ליבה	R_c, I_c

המעגלים באיור 7.4 משמשים להשיג את מאפייני השנאי בעזרת שתי בדיקות בסיסיות:

7.3.1 ניסוי ריקם

בניסוי ריקם צד אחד של השנאי פתוח (ללא עומס – נתק) ובצד האחר מפעילים מתח. מודדים מתח, זרם והספק בצד זה, V_0, I_0 , ו- P_0 , ומתח בצד השני (יש להיזהר במדידה זו מכיוון שהמתח בצד הפתוח יכול להיות גבוה בהרבה מהמתח המופעל בצדו האחר של השנאי) ומחשבים יחס השנאה a . הפסדי ההספק ללא עומס הינם P_0 , והפסדי הליבה ניתנים (לצורך החישוב נניח שהמתח מופעל בצד הראשוני) על-ידי

$$P_c = P_0 - I_0^2 R_1 \quad (7.12)$$

המתח המושרה הינו

$$E_1 = V_0 \angle 0^\circ - (I_0 \angle \theta_0)(R_1 + jX_1) \quad (7.13)$$

כאשר θ_0 הינו זווית גורם ההספק ללא עומס וניתן על-ידי

$$\theta_0 = \cos^{-1}(P_0 / V_0 I_0) \quad (7.14)$$

יתר הפרמטרים ניתנים על-ידי

$$I_m = \sqrt{I_0^2 - I_c^2} \quad X_m = \frac{E_1}{I_m} \quad a \approx \frac{V_0}{E_2} \quad (7.15)$$

$$R_c = \frac{E_1^2}{P_c} \quad I_c = \frac{P_c}{E_1}$$

7.3.2 ניסוי קצר

בניסוי קצר מקצרים צד אחד של השנאי ומתח קטן מופעל על הצד האחר על-מנת להשיג זרם ספציפי לזרם בצד המקוצר. עקב המתח הנמוך המופעל ניתן להזניח את הפסדי הליבה ($I_0 \rightarrow 0$). לצורך החישוב נניח שהמתח מופעל בצד הראשוני ושם נמדדים הספק, זרם ומתח P_s, I_s ו- V_s . חישוב הפרמטרים מתבצע בעזרת היחסים הבאים :-

$$Z_s = R_s + X_s \equiv (R_1 + a^2 R_2) + (X_1 + a^2 X_2) = \frac{V_s}{I_s} \quad (7.16)$$

$$R = \frac{P_s}{I_s^2} \quad X_s = \sqrt{Z_s^2 - R_s^2} \quad X_1 \approx a^2 X_2 \approx \frac{1}{2} X_s$$