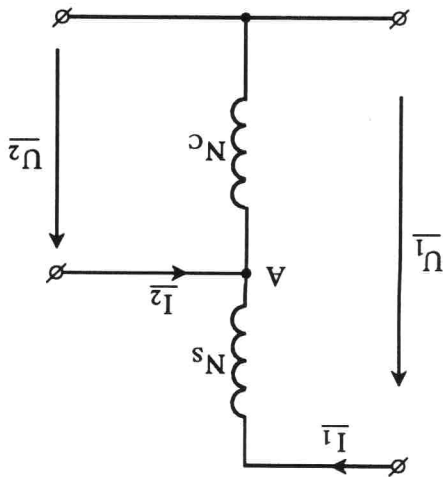


הם:  $\bar{I}_1$  ו- $\bar{I}_2$  הם הזרמים המזינים והיוצאים מהמחברות.

המחברות של המערכת הנתונה הן:  $\bar{U}_1$  ו- $\bar{U}_2$ .  
 המערכת הנתונה היא מערכת ליניארית, ולכן ניתן להשתמש במודל המערכת הליניארית. המודל הליניארית של המערכת הנתונה הוא:

איור 1-6: מודל מערכת ליניארית של מערכת



המערכת הנתונה היא מערכת ליניארית, ולכן ניתן להשתמש במודל המערכת הליניארית. המודל הליניארית של המערכת הנתונה הוא:

### 6' אצא את

המחברות של המערכת הנתונה הן:

המערכת הנתונה היא מערכת ליניארית, ולכן ניתן להשתמש במודל המערכת הליניארית. המודל הליניארית של המערכת הנתונה הוא:

המחברות של המערכת הנתונה הן:

המערכת הנתונה היא מערכת ליניארית, ולכן ניתן להשתמש במודל המערכת הליניארית. המודל הליניארית של המערכת הנתונה הוא:

המחברות של המערכת הנתונה הן:

- המחברות של המערכת הנתונה הן:
- המערכת הנתונה היא מערכת ליניארית, ולכן ניתן להשתמש במודל המערכת הליניארית. המודל הליניארית של המערכת הנתונה הוא:
- המחברות של המערכת הנתונה הן:
- המערכת הנתונה היא מערכת ליניארית, ולכן ניתן להשתמש במודל המערכת הליניארית. המודל הליניארית של המערכת הנתונה הוא:
- המחברות של המערכת הנתונה הן:
- המערכת הנתונה היא מערכת ליניארית, ולכן ניתן להשתמש במודל המערכת הליניארית. המודל הליניארית של המערכת הנתונה הוא:

- במערכות בקרה
- בהתנעת מנועים, כפי שניווכח בהמשך לימודינו בהמרת אנרגיה.
- במעבדה, לקבל מתחים שונים בתחום מסויים.
- במערכות הספק משמש השנאי העצמי לחיבור שתי רשתות בעלות מתח שונה. בחברת החשמל לדוגמה, משתמשים בשנאים עצמיים (500 MVA, 400/170 kV) כשנאי קישור בין מערכת 400 kV לבין מערכת 170 kV.

זוא שנאי, שאחד  
ר 9-1 משותף הן  
(commor). מספר  
ליכות של הסליל  
י (series coil).

### 9.1 מבנה השנאי העצמי ועקרון הפעולה שלו

בשנאי עצמי, בדומה לשנאי הספק רגיל, אנו מבחינים בין הצד הראשוני לצד השניוני. למשל, המתח והזרם בצד הראשוני יסומנו - בהתאמה - על-ידי  $U_1$  ו-  $I_1$ ; ואילו  $U_2$  ו-  $I_2$  הם - בהתאמה - המתח והזרם בצד השניוני. גדלים אלה מסומנים באיור 9-1. בסליל הטורי ( $N_s$ ) זורם הזרם  $I_1$ , ואילו הזרם בסליל המשותף ( $N_c$ ) הוא ההפרש בין הזרם בצד הראשוני לבין הזרם בצד השניוני:  $I_1 - I_2$ .

כאמור, הקשר בין הצד הראשוני ובין הצד השניוני בשנאי הספק רגיל נעשה אך ורק דרך השדה המגנטי הראשי בגרעין השנאי, ללא שום קשר חשמלי בין סלילי השנאי. ואילו בשנאי עצמי יש קשר חשמלי בין הסליל הראשוני לסליל השניוני, שהרי הסליל הטורי משותף לחוג הראשוני ולחוג השניוני.

ניתן להיווכח בקשר החשמלי שבין הסליל הראשוני לסליל השניוני על-פי הזרמים שבאיור 9-2: הזרם  $I_1$  זורם בחוג הראשוני ועובר לצומת A שבחוג השניוני. קשר חשמלי זה, בין הסליל הראשוני לסליל השניוני, גורם למגבלות טכניות בשימוש בשנאים עצמיים, כי אין בידוד חשמלי בין הסליל הראשוני לסליל השניוני, ויש לכך השלכות בטיחותיות וטכניות שונות, שחורגות מהמסגרת של לימודינו.

הדקי הראשוני של השנאי העצמי שבאיור 9-2 הם 1 ו- 1' (התחלה וקצה, בהתאמה),

קולים העיקריים  
י זול יותר משנאי  
ספק נקוב). ניתן  
הנחושת הנדרשת  
גל אותם נתונים



נקודה אחת,  
לחוג השניוני  
הטורי ולסליל

והזרמים בסלילים. נקבע את כל אלה, כשנתון כי השנאי העצמי בריקס, כלומר:  $I_2 = 0$ .  
באיור 9-2, כאמור, הדקי הצד הראשוני של השנאי מחוברים למקור מתח סינוסואידלי.

בגרעין השנאי מתקבל שטף ראשי  $\Phi(t)$ , השולב את שני הסלילים, הטורי והמשותף.  
בדומה לשטף הראשי בשנאי הספק רגיל, כפי שהסברנו, גם בשנאי עצמי נוצר שטף זה על-  
ידי זרם הריקס  $I_{10}$ , שערכו קטן בהרבה מהזרמים הנקובים, ולפיכך נזניח אותו בהמשך.  
כאמור, שטף זה משתנה בצורה סינוסואידלית, והוא מפגר ב- $90^\circ$  אחרי מתח המקור.

השטף הראשי משרה כא"מ  $E_S$  בסליל הטורי וכא"מ  $E_C$  בסליל המשותף. כיווני הכא"מים  
האלה מסומנים באיור 9-2. כזכור, כיוון הכא"מים המושרים נקבע; על-פי חוק לנץ. בדומה  
למשוואה (3-21), נקבל קשר גם בין תנופת השטף המגנטי לבין הערך האפקטיבי של כל  
אחד משני הכא"מים המושרים:

$$(9-1) \quad E_S = 4.44 N_S f \Phi_M$$

$$(9-2) \quad E_C = 4.44 N_C f \Phi_M$$

נבחר שוב את פאזור המתח  $U_1$  כפאזור הייחוס, כלומר:  $\underline{U}_1 = U_1 \angle 0^\circ$ .  
פאזורי הכא"מים המושרים יהיו:

$$(9-3) \quad \underline{E}_S = E_S \angle -180^\circ$$

$$(9-4) \quad \underline{E}_C = E_C \angle -180^\circ$$

בדל בין עקרון  
עמוד של גרעין  
י, וזאת בדומה

נניח כי השנאי העצמי אידיאלי (כלומר, נזניח את מפלי המתח, הנגרמים על-ידי שטפי  
הפיזור וההתנגדויות האומיות של הסלילים), ונשתמש בחוק המתחים של קירכהוף,  
למעגל הראשוני ולמעגל השניוני שבאיור 9-2. במעגל הראשוני נקבל:

$$(9-5) \quad \underline{U}_1 + \underline{E}_S + \underline{E}_C = 0$$

ומכאן:

$$(9-6) \quad \underline{U}_1 = -(\underline{E}_S + \underline{E}_C)$$

$$\underline{U}_2 - \underline{E}_C = 0$$

ובמעגל השניוני נקבל:

הספק רגיל), גם  
ות האומית של  
גי בריקס ולאחר  
זהדקים  $U_1$  ו- $U_2$   
רים על הסלילים

תגלה:  $E_2 = 4.44 N_C \Phi_M \angle -180^\circ$  ונקבל את  $E_1$ ,  $E_2$  ונקבל את יחס ההשגחה  $E_2/E_1$  כפי שקיבלנו בשאלה הקודמת:

$$(9-13) \quad \overline{E_2} = 4.44 N_C \Phi_M \angle -180^\circ$$

נחבר את המשוואות (9-11) ו-(9-12) ונקבל:

$$(9-12) \quad \overline{E_1} = 4.44 (N_S + N_C) \Phi_M \angle -180^\circ$$

נציב את  $E_2$  במשוואה (9-9) ונקבל:

$$E_S + E_C = 4.44 (N_S + N_C) \Phi_M$$

נחבר את המשוואות (9-1) ו-(9-2) ונקבל:

$$(9-11) \quad \overline{U_2} = \overline{E_2} = \overline{E_C}$$

נחבר את המשוואות (9-7) ו-(9-10) ונקבל את יחס ההשגחה  $E_2/E_1$  כפי שקיבלנו בשאלה הקודמת:

$$(9-10) \quad \overline{U_1} = -\overline{E_1}$$

נציב את  $E_2$  במשוואה (9-6) ונקבל:

$$(9-9) \quad \overline{E_1} = \overline{E_S} + \overline{E_C} = E_S \angle -180^\circ + E_C \angle -180^\circ = (E_S + E_C) \angle -180^\circ$$

נציב את  $E_2$  במשוואה (9-8) ונקבל:

$$(9-8) \quad \overline{E_1} = \overline{E_S} + \overline{E_C}$$

נחבר את המשוואות (9-8) ו-(9-9) ונקבל את יחס ההשגחה  $E_2/E_1$  כפי שקיבלנו בשאלה הקודמת:

נחבר את המשוואות (9-8) ו-(9-9) ונקבל את יחס ההשגחה  $E_2/E_1$  כפי שקיבלנו בשאלה הקודמת:

$$(9-7) \quad \overline{U_2} = \overline{E_C}$$

נחבר:

התוצאה היא  $E_2/E_1 = 1$  כלומר יש שוויון בין שני הקצוות.

התוצאה היא  $E_2/E_1 = 1$  כלומר יש שוויון בין שני הקצוות.

התוצאה היא  $E_2/E_1 = 1$  כלומר יש שוויון בין שני הקצוות.

התוצאה היא  $E_2/E_1 = 1$  כלומר יש שוויון בין שני הקצוות.

התוצאה היא  $E_2/E_1 = 1$  כלומר יש שוויון בין שני הקצוות.

$$(9-14) \quad a = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_S + N_C}{N_C}$$

על-פי המשוואות (9-14), (9-10) ו- (9-11) נקבל את הקשר בין יחס המתחים המושרים ובין יחס מתחי ההדקים בשנאי אידיאלי (ושוב - כפי שקיבלנו בשנאי הספק רגיל):

$$(9-15) \quad \frac{U_1}{U_2} = -\frac{E_1}{E_2} = -\frac{N_S + N_C}{N_C}$$

נשתמש בשני שלבים, כדי לקבל את הביטוי של היחס בין הכא"מ  $E_S$ , המושרה בסליל הטורי, לבין הכא"מ  $E_C$ , המושרה בסליל המשותף. בשלב הראשון נחלק את משוואה (9-3) במשוואה (9-4), ובשלב השני נחלק את משוואה (9-1) במשוואה (9-2). נקבל את משוואה (9-16):

$$(9-16) \quad \frac{E_S}{E_C} = \frac{E_S \frac{-180^\circ}{-180^\circ}}{E_C \frac{-180^\circ}{-180^\circ}} = \frac{E_S}{E_C} = \frac{N_S}{N_C}$$

נתבונן באיור 9-2, ונקבל:

$$(9-17) \quad U_S = -E_S$$

$$(9-18) \quad U_C = E_C$$

מהמשוואות (9-16) עד (9-18), נקבל:

$$(9-19) \quad \frac{U_S}{U_C} = -\frac{E_S}{E_C} = -\frac{N_S}{N_C}$$

בשנאי עצמי מעשי הערך המוחלט של יחס ההשנאה שווה, בקירוב טוב, ליחס שבין מתח ההדקים בצד הראשוני לבין  $U_{20}$ , מתח ההדקים בצד השניוני, כשהשנאי העצמי האידיאלי בריקס. נשתמש במשוואות (9-15) ו- (9-19), ונקבל:

$$(9-20) \quad |a| = \left| \frac{E_1}{E_2} \right| = \frac{N_S + N_C}{N_C} \approx \frac{U_{10}}{U_{20}}$$

$$(9-21) \quad \left| \frac{E_S}{E_C} \right| = \frac{N_S}{N_C} \approx \frac{U_{S0}}{U_{C0}}$$