

## מבוא - שנאים

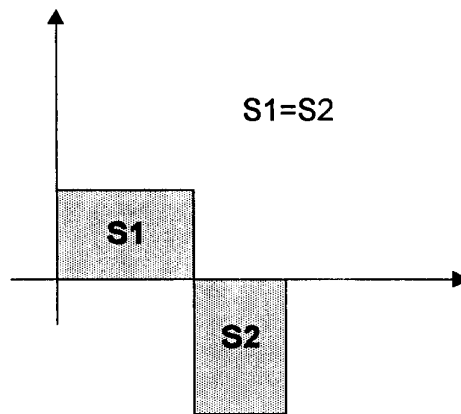
השנאי חשוב מאוד במקרים בהם אנו רוצים בידוד בין הכניסה ליציאה.

### תכונות שנאים

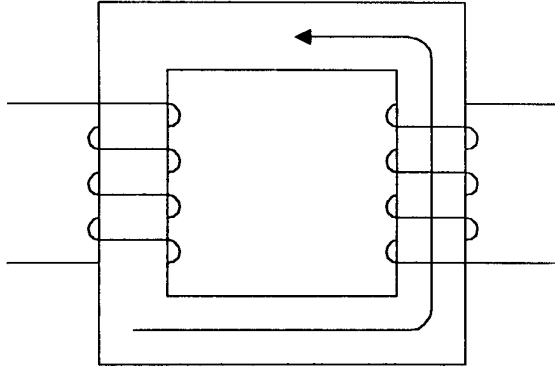
#### 1. כללי

במערכת המכילה סליל ועובדת במצב תקין (אין עשן וכו') המתח הממוצע על הסליל הוא אפס. במקרה והמתח הממוצע לא אפס, הזרם נבנה בסליל והסליל יישרף בסופו של דבר, אין הכוונה בכך שהזרם הרגעי יהיה אפס, אלא הכוונה היא שאם נעשה אינטגרציה על פני מחזור שלם המתח הממוצע יהיה אפס.

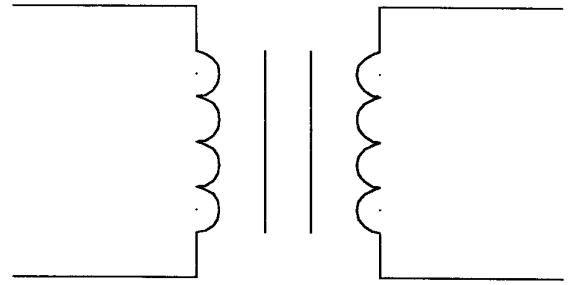
כל ליפוף של שנאי הוא סליל ומכאן שגם בשנאי המתח הממוצע צריך להיות אפס, וזה נכון גם לגבי המתח הראשוני וגם לגבי המתח המשני.



אנו נדבר על שנאי בעל צימוד טוב, כלומר שנאי בו כל השטף המגנטי עובר דרך שני הסלילים (ליבה משותפת) כמתואר באיור.



מבנה שנאי



סימון חשמלי

לפי הנוסחה

$$V = L \frac{dI}{dt}$$

נוכל לרשום

$$V = n \frac{d\phi}{dt}$$

$$\phi = B \cdot A \text{ [Tesla} \cdot \text{m]}$$

$$B = \mu \cdot H$$

$$n \cdot I = \oint H dl$$

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$$

$$\mu_0 = 1.25 \cdot 10^{-7} \left[ \frac{H}{m} \right]$$

$\mu_r$  - ככל שהחומר מוליך שדה מגנטי טוב יותר  $\mu_r$  גדול יותר. בחומרים פרומגנטיים הוא נע בין 1000-4000.

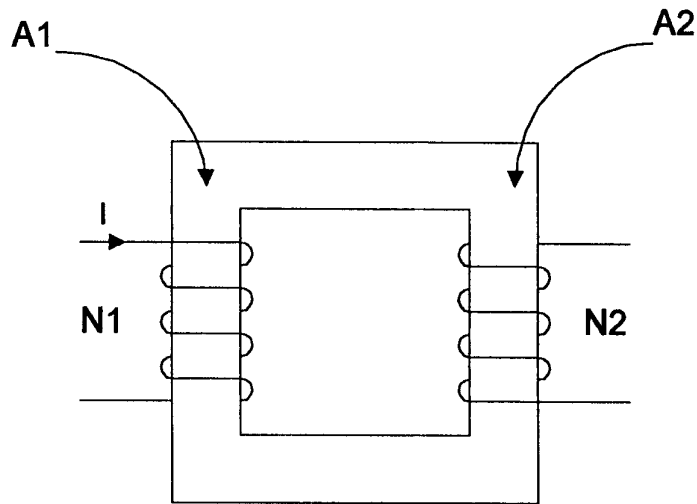
[weber] - סה"כ קווי השטף שעוברים ליחידת שטח.

A - שטח החתך המגנטי

\* נניח כעת כי יש חוג l ובו זורם זרם אזי השדה המגנטי מסביבו יהיה :

$$nI = \oint H dl = H \cdot l$$

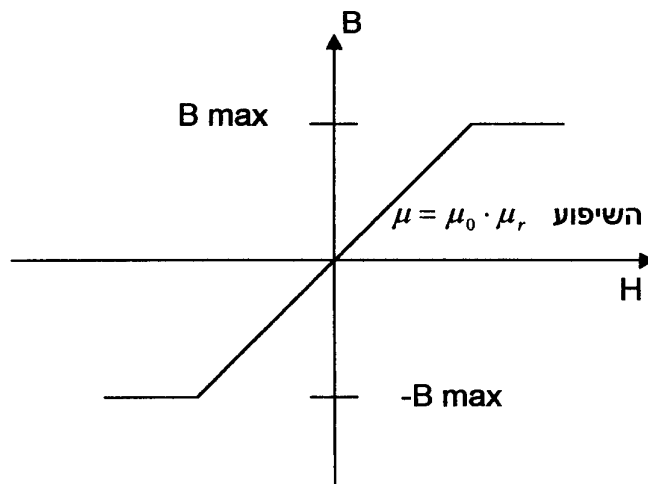
l - אורך מגנטי



$$\mu_r \gg 1$$

אם נזרים זרם  $I$ , ייווצר שדה מגנטי  $H$ , השדה המגנטי ייצור  $B$  ( $B = \mu H$ ), בגלל העובדה שה  $\mu$  גדול מאוד לעומת ה  $\mu$  של האוויר, השדה יהיה כלוא בתוך הליבה וכמעט שלא יצא החוצה (המקביל החשמלי לחומר פרו מגנטי מושלם זהו מוליך מושלם בו כל הזרם זורם בתוכו, ולא יוצא החוצה).  
 \* אנו בד"כ נניח כי החתך  $A$  של שני הליפופים שווה, כלומר  $A_1 = A_2$ .

לכל חומר פרו מגנטי ישנו  $B_{max}$  שמעליו הוא אינו יכול לעלות, משום שמעל ערך  $B_{max}$  זה הברזל נכנס לרוויה.



\* ניתן לראות כי השיפוע של הגרף הוא  $\mu$ .

### 3. השראות

נמדוד כעת השראות בכניסת השנאי, כאשר הסליל השני מנותק.

$$V = n \frac{d\phi}{dt} = n \cdot A \frac{dB}{dt} = n \cdot A \cdot \mu \frac{dH}{dt} = \frac{n \cdot A \cdot \mu \cdot n}{l} \cdot \frac{dI}{dt}$$

$$V = L \frac{dI}{dt}$$

ולכן לפי הנוסחה

נקבל

$$L = \frac{n^2 \cdot A \cdot \mu}{l}$$

$n$  - מס' הליפופים

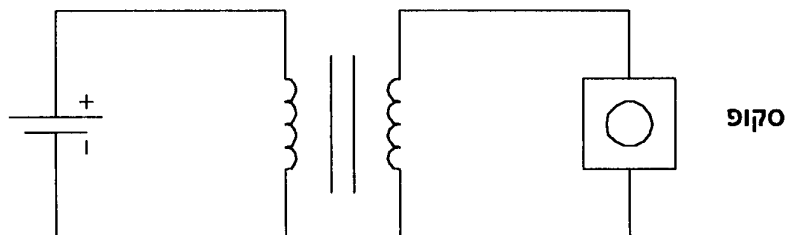
$\rightarrow$  - אורך מגנטי

$A$  - שטח חתך מגנטי

כלומר ההשראות תלויה בריבוע הליפופים.

### 4. Reset

נניח ונחבר ברגע מסוים מקור מתחי DC כמתואר באיור.



כתוצאה מחיבור המתח ייווצר זרם שיעלה ליניארית, ולכן ייווצר B שיגדל ליניארית מתוך הנוסחה

$$V = n \frac{d\Phi}{dt} = n \frac{AdB}{dt}$$

ולכן מקבלים

$$\frac{dB}{dt} = \frac{V}{nA}$$

נניח ובצד השני של השנאי נחבר סקופ, הסקופ יראה מתח קבוע מכיוון ש  $\frac{d\Phi}{dt}$  הוא קבוע

(נוצר מחיבור מתח לסליל 2)

$$V_1 = N_1 \frac{d\Phi}{dt}$$

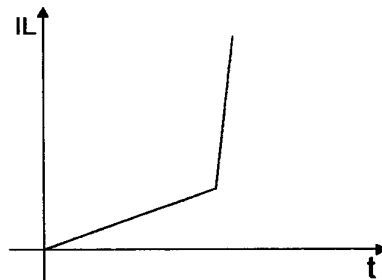
$$V_2 = N_2 \frac{d\Phi}{dt}$$

ומכאן

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

אם נמשיך להגדיל את B עד Bmax, הברזל יכנס לרוויה, וכתוצאה מכך  $\mu$  יעשה קטן

מאוד, ולכן ההשראות L של השנאי תקטן ומכאן שהזרם יגדל ל  $\infty$  והשנאי יישרף.



### מסקנה

עיימ לדאוג לעבודה תקינה של השנאי אסור לנו לתת לברזל להגיע לרוויה. אנו נעשה זאת

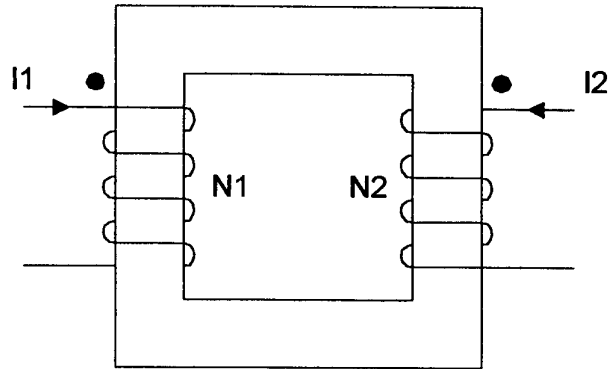
עיי כך שנחליף את הקוטביות ברגע שנתקרב ל Bmax עד ש B ירד ל Bmin ושוב נחליף את

הקוטביות, וכך נאפשר ל B להימצא בתחום בין Bmin ל Bmax ועיי כך נאפשר עבודה תקינה של

השנאי. החלפת הקוטביות בשנאי נקראת reset.

## 5. רציפות בשנאי

נהוג לחשוב כי בסליל או שנאי צריכה להתקיים רציפות בזרם, אך האמת היא שהרציפות היא לא בזרם, אלא בשטף המגנטי כלומר אם ישמר השטף המגנטי אין הכרח שתהיה רציפות בזרם, כלומר אם ניקח שנאי כדלקמן



נניח ובמבוא של השנאי ישנו זרם  $I_1$  בראשוני וברגע מסוים מפסיקים את הזרם ומזרימים זרם  $I_2$  במשני, מקפידים ש  $N_1 I_1 = N_2 I_2$  אזי מבחינת הזרם תהיה אי רציפות אך הדבר לא יגרום לבעיות משום שתתקיים רציפות בשטף המגנטי כלומר השנאי לא יבחין בשינוי של הזרם בגלל הרציפות בשטף המגנטי.

לסיכום, עלינו לשמור בסליל או שנאי על הרציפות בשטף המגנטי כלומר  $\frac{d\Phi}{dt}$  ולא

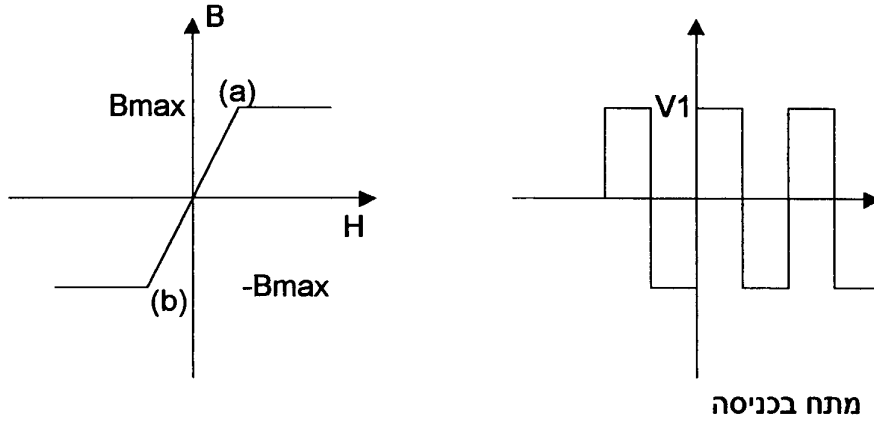
לרציפות בזרם.

**דוגמא**

נתון גל מרובע בתדר 1KHZ כמו כן נתונים מספר הליפופים N, שטח החתך A ו  $\mu$  מהו המתח המקסימלי Vmax שניתן להזין בו את השנאי כדי שיעבוד בצורה תקינה ?

**פתרון**

בהנחה כי המערכת היא סימטרית במובן הבא



במצב היציב הנקודה נעה בין (a) ל (b) ולכן נוכל לרשום

$$V = n \frac{d\Phi}{dt}$$

$$\phi = \frac{1}{n} \int V dt$$

$$\text{חצי זמן מחזור} = \frac{T_s}{2}$$

$$\Phi = \frac{1}{n} V_1 \frac{T_s}{2}$$

$$\Delta B = \frac{1}{nA} \cdot \frac{V_1 \cdot T_s}{2} = 2B_{\max}$$

לכן

$$B_{\max} = \frac{1}{4} \frac{V_1 \cdot T_s}{NA}$$

$$V_1 \max = \frac{4B_{\max} \cdot NA}{T_s}$$

לכן נוכל לרשום

$$V_1 \max = 4B \max N A f_s$$

ולכן

$$N_1 A = \frac{V_1 \max}{4B \max f_s}$$

כלומר ככל שהתדר גבוה יותר  $N_1 A$  קטן יותר כלומר השנאים קטנים יותר\* (NA פרמטר שנותן הערכה לגודל הפיסי של השנאי)

$$N_1 A \propto \frac{1}{f_s}$$

\*זהו אחד היתרונות בעבודה בתדר גבוה (מזעור השנאים)

### סיכום

- שנאי אידיאלי זהו שנאי בעל סלילים צמודים כלומר שכל השטף נע בתוך הברזל ואינו יוצא החוצה.

- שנאי מוגבל ב B האפשרי לחומר, ולכן חייבים להעביר דרכו מתח מתחלק, אחרת  $\frac{d\Phi}{dt}$  יעלה ואתו הזרמים ושנאי יישרף.

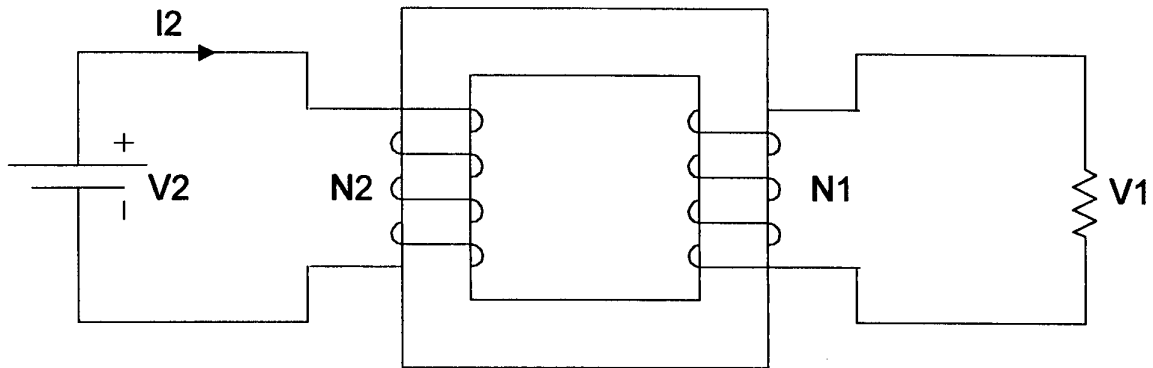
- בעבודה תקינה של השנאי ישנו היחס

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

- ישנו יתרון עצום לעבודה בתדר גבוה משום שבתדר כזה ניתן לעבוד עם שנאים קטנים.



העברת מתח DC דרך השנאי



נניח ונשים מתח V2 בראשוני, יופיע V1 בעומס (רגעי) שמתייחס לפי יחס הליפופים

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

בגלל המתח יתחיל לזרום בעומס זרם קבוע, הזרם בעומס יקבע זרם גם בראשוני. (עד שלא חיברנו עומס במשני לא היה זרם בראשוני)

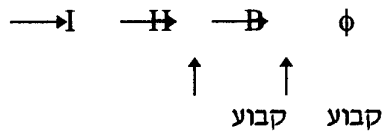
משיקולי אנרגיה ניתן לראות כי אם הזרם בעומס הוא DC אזי גם הזרם הראשוני הוא

.DC

מכיוון ש B נקבע חד משמעית ע"י V, על פי הנוסחה :

$$\frac{dB}{dt} = \frac{V}{NA}$$

לא יתכן שזרם במשני ישפיע על  $\frac{dB}{dt}$ .



לכן כדי לשמור על המצב ב  $\frac{dB}{dt}$  צריך לזרום זרם ב L2 כך ש

$$n_1 I_1 + n_2 I_2 = 0$$

ומכאן ששני הזרמים האלה מבטלים אחד את השני בכל רגע ורגע.

מכתב ע"י  $V_{in}$  ולכן אם ישנו זרם ב  $L1$  צריך להיות זרם  $I2$  ב  $L2$  כדי לבטל את השטף

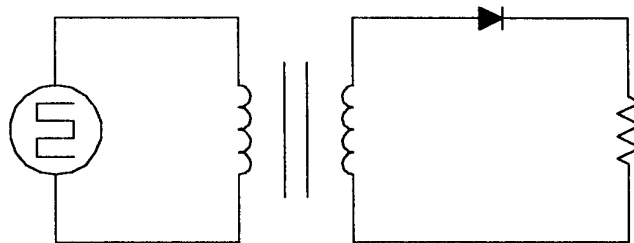
הנוסף הנוצר בעקבות  $I1$  כלומר נקבל

$$-\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

בקטע הזמן הזה ניתן להעביר DC, אבל ישנה כאן בעיה משום שאם נרצה להמשיך לעשות

זאת לא נוכל בגלל התמגנטות הברזל. ע"מ לפתור בעיה זו עלינו לבצע reset לשנאי. לדוגמא נבנה

מעגל מהצורה הבאה:



כלומר בכניסה לשנאי נשים גל מרובע שמתאים מבחינת וולט שניה לשנאי,

במוצא נקבל מתח DC כאשר המתח בכניסה חיובי, וכאשר המתח שלילי הדיודה לא

תוליך זרם, ובכך נבצע reset לשנאי (מאפסים את המגנט)