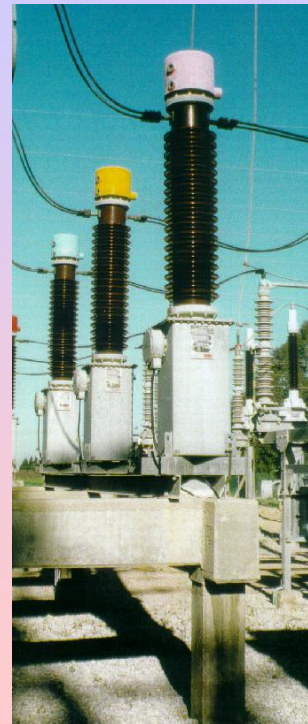


שנאי מדידה



כתיבה ועריכה:
סגל אריאל

סגל אריאל

שנאי מדידה

1

שנאי מדידה

- ❖ תפעול תקין של מתקנים חשמליים מחייב מדידה שוטפת של פרמטרים חשמליים למטרות הבאות:
- ❖ מדידות - קריאת ערכים למטרות תפעוליות או מסחריות.
- ❖ הפעלת מכשור הגנה - לאבחון, איתור וסילוק הפרעות במערכת.
- ❖ ויסות אוטומטי - לשמירה על פרמטרים בגבולות שנקבעו מראש.

סגל אריאל

שנאי מדידה

2

שנאי זרם

- ❖ במתקנים חשמליים עשויים לזרום זרמים גדולים (עד עשרות אלפי אמפר).
- ❖ מדידה ישירה של ערכים בסדר גודל כזה הינה בלתי אפשרית. לפיכך משתמשים באמצעי ל"שיקוף" ערך הזרם והורדתו לערכים ברי מדידה ישירה. אמצעי כזה הוא שנאי הזרם
- ❖ הצד הראשוני של שנאי הזרם מחובר ישירות למתקן בו נמדד הזרם בעוד שהצד המשני מחובר לציווד המדידה או להגנות.
- ❖ קיים יחס קבוע בין הזרם בצד הראשוני ובמשני. על פי רוב בנויים שנאי הזרם להורדת ערך זרם ראשוני מירבי לערך קבוע של 5A או 2A וזאת על מנת לאפשר אחידות של מכשירי מדידה, הגנות, מניה ובקרה הערך המועד 5A.
- ❖ ערכים ראשוניים סטנדרטיים (IEC 60044): 10 – 12,5 – 15 – 20 – 25 – 30 – 40 – 50 – 60 – 75 A, וכפולות פי 10^n .

שנאי זרם



סגל אריאל

שנאי מדידה

5

שנאי זרם



מבנה שנאי זרם



סגל אריאל



שנאי מדידה

7

שנאי זרם לשימוש פנימי

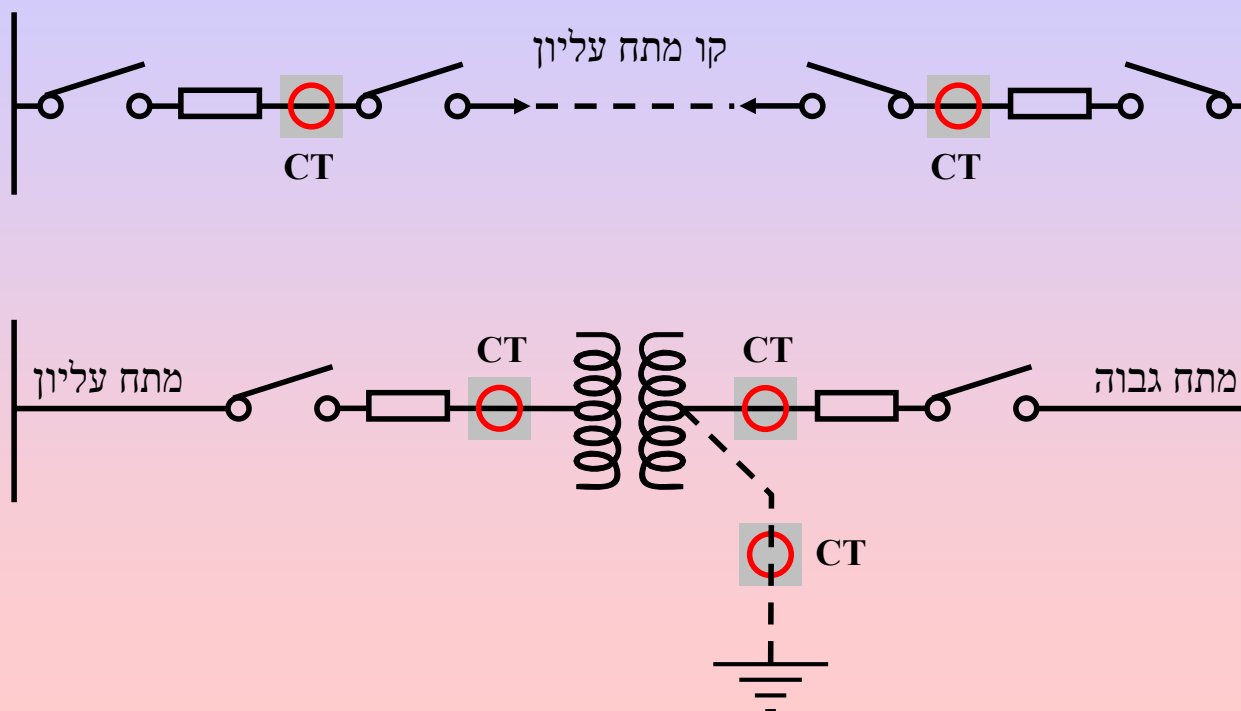


סגל אריאל

שנאי מדידה

8

דוגמאות להתקנת שנאי זרם במתקני חשמל

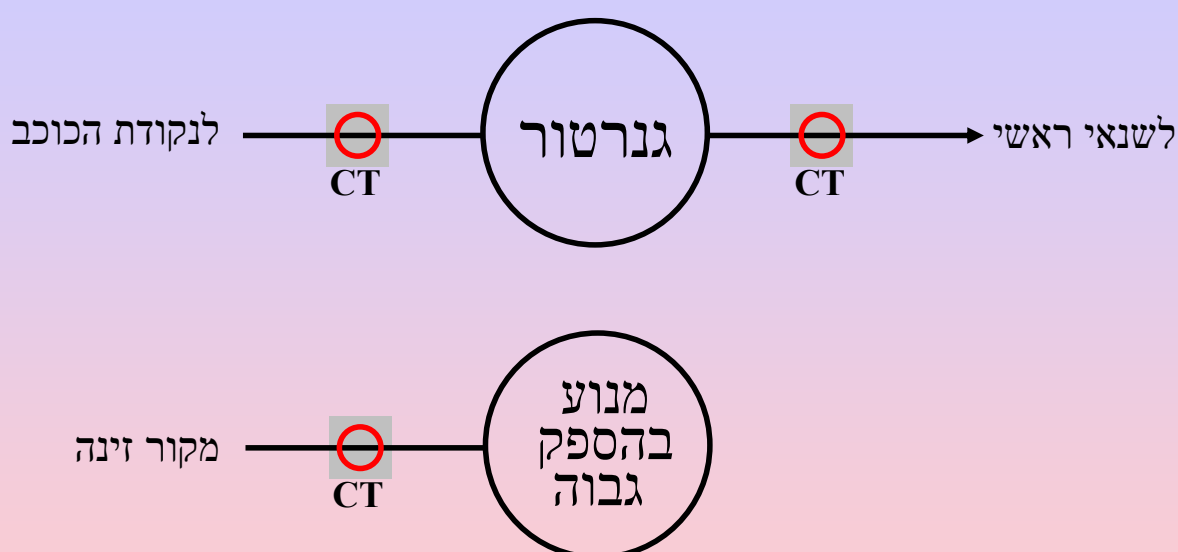


סגל אריאל

שנאי מדידה

9

דוגמאות להתקנת שנאי זרם במתקני חשמל



סגל אריאל

שנאי מדידה

10

עיקרון הפעולה של שנאי זרם

- ❖ זרם חילופין I_1 שעובר דרך כריכות ראשוניות N_1 גורם להווצרות כח מגנטו מניע M_1

$$M_1 = I_1 * N_1$$

- ❖ בהשפעת הכמ"מ M_1 מופיע בליבת השנאי שטף מגנטי משתנה Φ_1 בכריכות של הליפוף המשני מופיע כא"מ E_2 .
- ❖ כאשר בהדקי הליפוף המשני מחובר עומס חשמלי מופיע זרם I_2 הנסגר דרך עכבת עומס זה.
- ❖ זרם זה עובר דרך כריכות הסליל המשני וגורם להווצרות כמ"מ M_2 .

$$M_2 = I_2 * N_2$$

עיקרון הפעולה של שנאי זרם

- ❖ בעקבות הכמ"מ M_2 נוצר שטף מגנטי משני Φ_2 אשר נסגר גם הוא דרך הליבה.
- ❖ בהתאם לחוק לנץ מתנגד השטף Φ_2 לגורם שיצר אותו Φ_1 .
- ❖ בעבודה רגילה השטף בליבה שווה להפרש השטפים.

$$\Phi_m = \Phi_1 - \Phi_2$$

- ❖ שטף ההפרש Φ_m נקרא שטף המגנט של השנאי. הכמ"מ הראשוני מקוזז ברובו ע"י הכמ"מ המשני, ההפרש מהווה את הכמ"מ למגנט הליבה.

$$M_m = M_1 - M_2$$

עיקרון הפעולה של שנאי זרם

❖ מהגדרת הכמ"מ M_m ניתן לרשום:

$$I_2 * N_2 = I_1 * N_1 - I_m * N_1$$

❖ מהקשר האחרון נבטא את יחס ההשנאה האמיתי של שנאי זרם:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} + \frac{I_m}{I_2}$$

מסקנות:

❖ יחס הזרמים בשנאי זרם אינו שווה ליחס הכריכות.

❖ ההפרש בין היחסים נוצר עקב זרם המגנוט I_m שגורם לשגיאות במדידה.

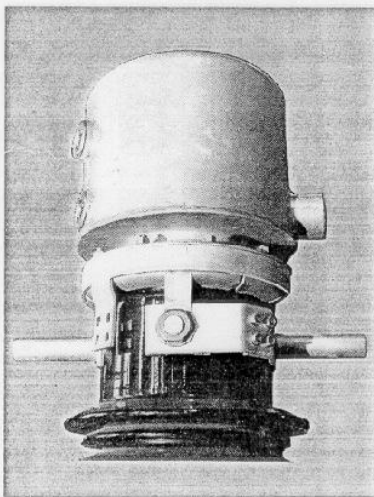
❖ ככל שזרם המגנוט גבוה יותר השגיאה במדידה גדולה יותר.

שנאי זרם

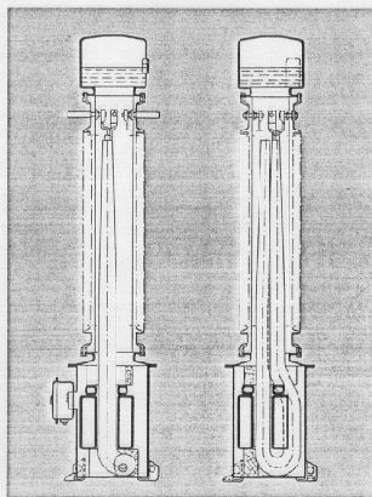
שנאי זרם מסוג
ליבה עלית

שנאי זרם מסוג
ליבה תחתית

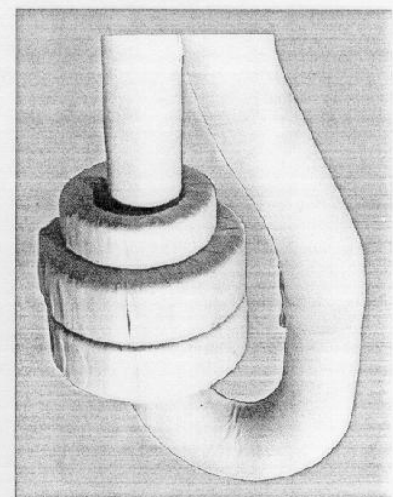
Top of IMBD showing primary terminals and connecting links (28232)



Cross section of IMBD

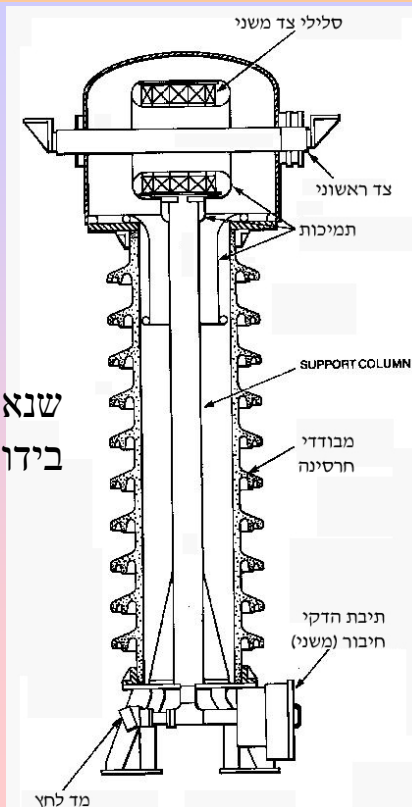


Cores with secondary windings on the primary winding at assembly (L 25398)



מבנה שנאי זרם

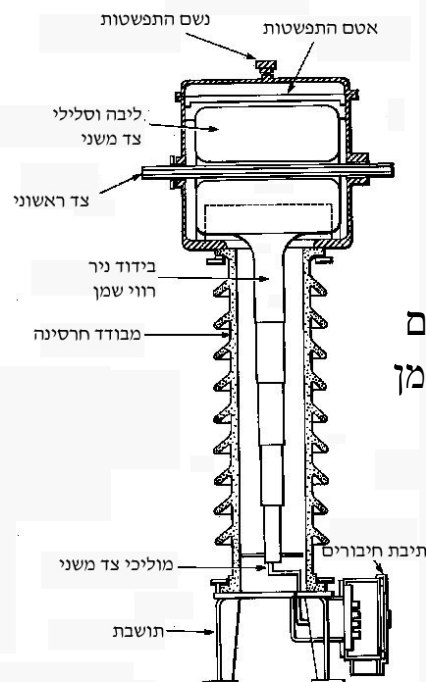
שנאי זרם
בידוד SF_6



סגל אריאל

שנאי מדידה

שנאי זרם
בידוד שמן

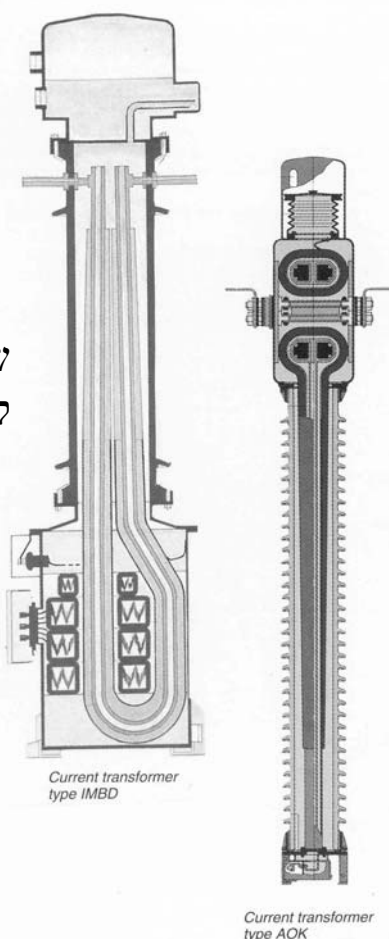


15

מבנה שנאי זרם

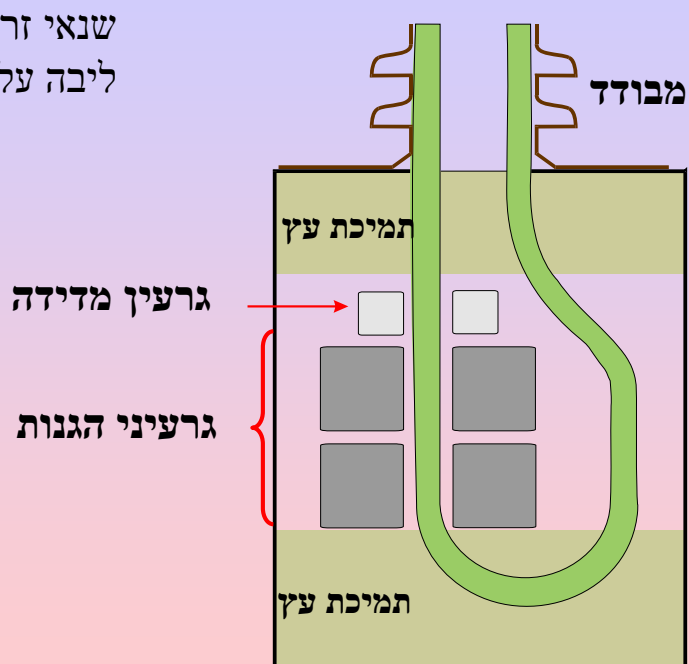
שנאי זרם
ליבה עלית

שנאי זרם
לבה תחתית



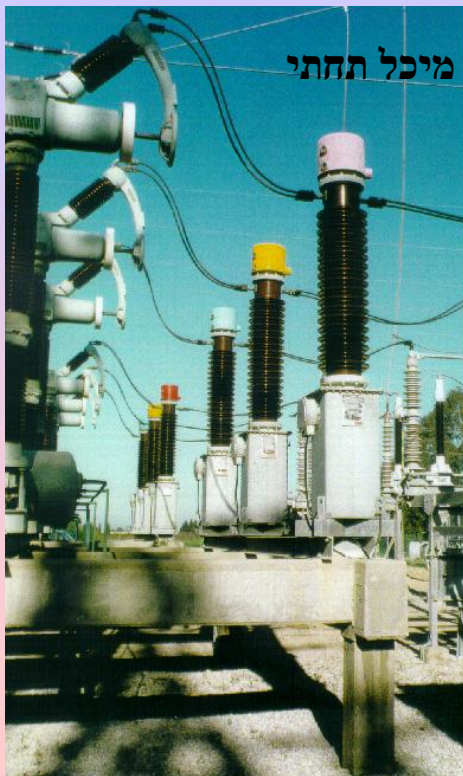
סגל אריאל

שנאי מדידה



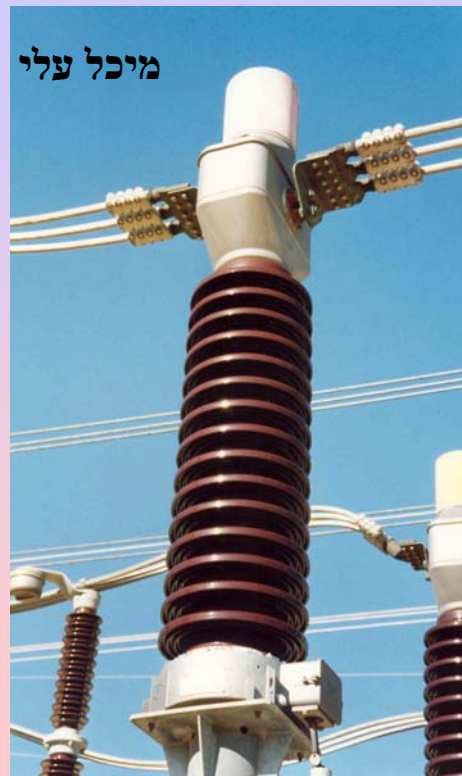
16

שנאי זרם במסדר מתח עליון



סגל אריאל

שנאי מדידה



17

סוגי שנאי זרם במסדרי מתח גבוה

- שני סוגים של שנאי זרם נפוצים במתקני מתח גבוה:
- ❖ **מיכל** - הליבה ממוקמת בחלקו התחתון של המיכל בסמוך לקרקע. המוליך הראשוני בעל צורת U או מעגלי.
 - ❖ **ליבה עלית** - הליבה ממוקמת בחלקו העליון של שנאי הזרם. המוליך הראשוני בדור"כ בעל צורת מוט (חתך מלבני).



סגל אריאל

שנאי מדידה



18

שנאי זרם מסוג מיכל

יתרונות:

- ❖ מרכז כובד נמוך.
- ❖ עמידות טובה ברעידות אדמה.
- ❖ אין מאמצים בשל המשקל על המבודד.
- ❖ המיכל הינו חלק מהתמיכה.
- ❖ תנועת השמן כלפי מעלה לאורך המוליך מאפשרת טמפרטורה אחידה ללא נקודות חמות.

חסרונות:

- ❖ מוליך ראשוני ארוך גורם להפסדים.
- ❖ תצורה זו אינה מתאימה לזרמים מעבר ל- 3000A .
- ❖ מוגבל לזרמי קצר מירביים של $60\text{-}80\text{kA}$ בשל הכוחות האלקטרודינמיים הגדולים המתפתחים בין המוליכים בקצר.
- ❖ בידוד המוליך הראשוני מהמיכל יקר ומורכב.

שנאי זרם מסוג ליבה עלית

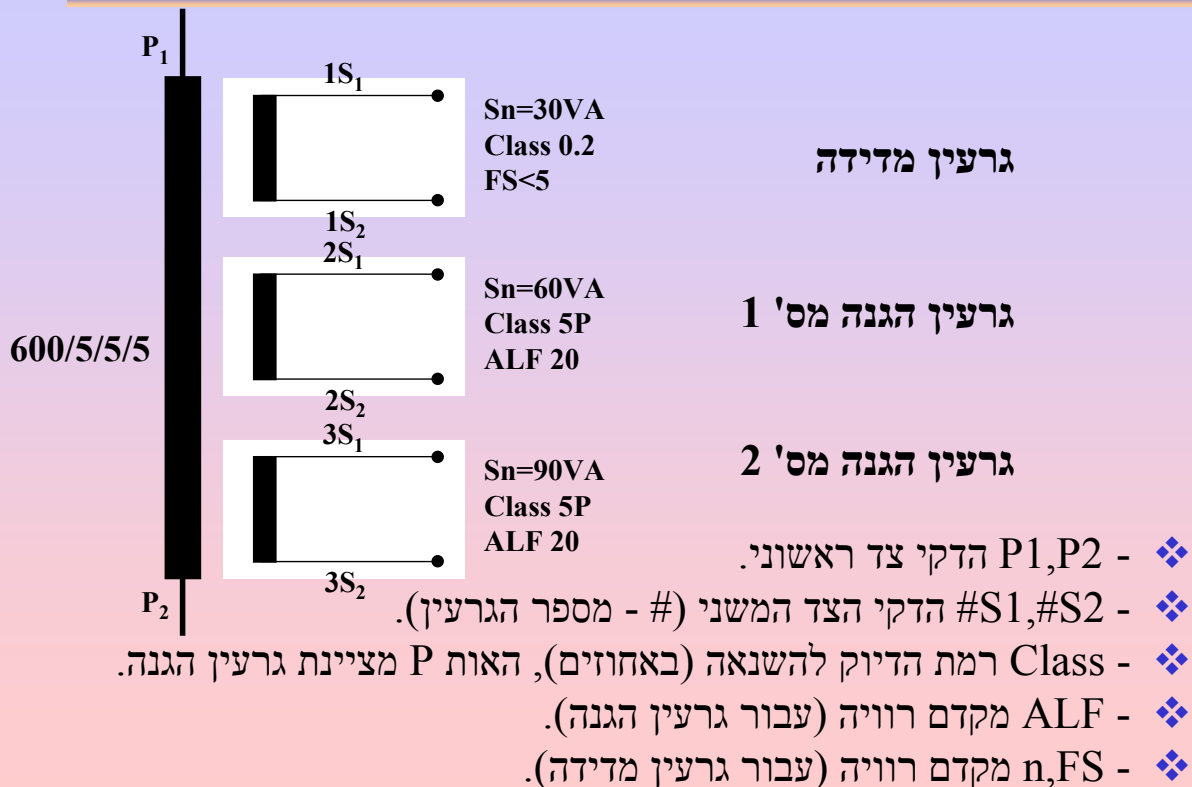
יתרונות:

- ❖ מוליך קצר גורם להפסדים טרמיים נמוכים.
- ❖ עמידות טובה בזרמי קצר גבוהים.
- ❖ זול יותר במיוחד במערכות בהן המתחים מעל 170kV .

חסרונות:

- ❖ מרכז כובד גבוה.
- ❖ מאמצים במבודד בשל משקל הליבות.
- ❖ קושי רב יותר לקרר את הליבה מאחר והיא ממוקמת בחלק העליון.
- ❖ לא עמיד ברעידות אדמה.

שנאי זרם בעל מספר ליפופים משניים



שנאי זרם - גרעין מדידה

- ❖ משמש למדידת ערכי זרם במעגל חשמלי.
- ❖ מתוכנן להיכנס לרוויה כאשר הזרם הראשוני עולה מעבר לערך מסוים (בד"כ $5 \cdot I_n$)
- ❖ גרעין המדידה מצוין ע"פ התקן האירופי ב - FS (security Factor) מקדם זה מצביע על היחס בין הזרם הראשוני I_1 עבורו נכנס שנאי הזרם לרוויה. לזרם הראשוני הנקוב (FS=5) לעיתים מצוין בשלט מקדם זה ע"י האות n.
- ❖ עבור ערכי זרם הגורמים לגרעין להיכנס לרוויה נסגר רוב הזרם דרך ענף המגנוט תוך הגנת מכשיר המדידה מזרם יתר גבוה מדי.
- הערה : הגדרה זו נכונה בתנאי שהעומס במשני אינו עולה על העומס הנקוב.

שנאי זרם - גרעין מדידה



שנאי זרם - גרעין הגנה (P)

❖ משמש להזנת ממסרי הגנה, תוך שמירה על רמת דיוק מספקת עבור כל גודל זרם צפוי במעגל.

❖ האות (P) מציינת את יעוד הגרעין "הגנה – Protection"

❖ גרעין ההגנה מצוין ע"פ התקן האירופי ב- ALF (Accuracy Limit Factor) (או ב- F_n) מקדם זה מצביע על היחס בין הזרם הראשוני I_1 לזרם הראשוני הנקוב עבורו מבטיח השנאי רמת דיוק כמצוין בלוחית הזיהוי (ערך אופייני $ALF=20$).

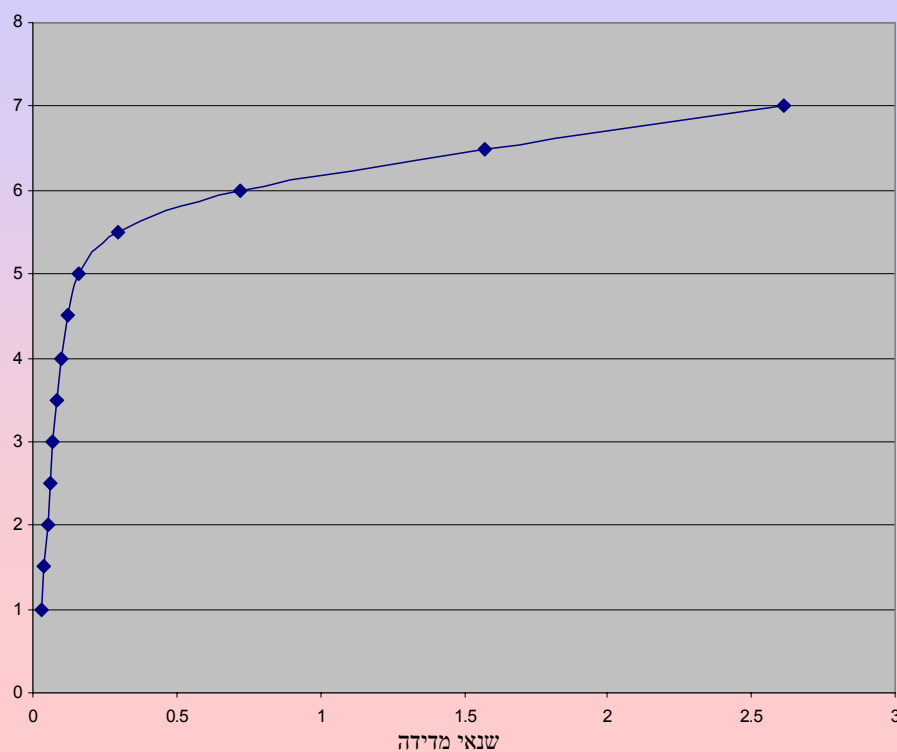
הערה : הגדרה זו נכונה בתנאי שהעומס במשני אינו עולה על העומס הנקוב.

שנאי זרם - גרעין הגנה



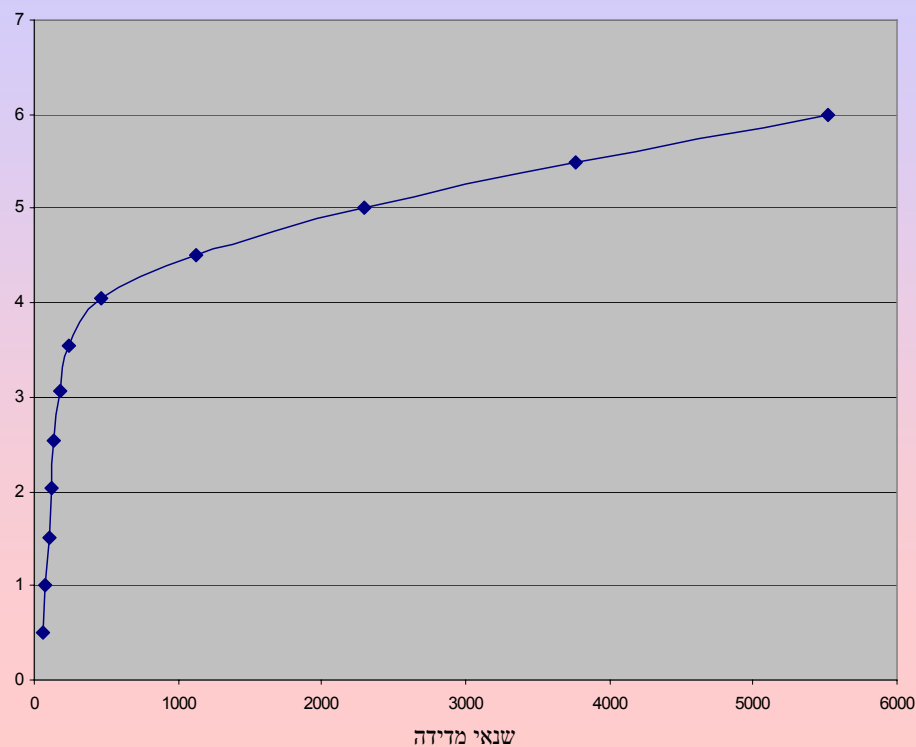
שנאי זרם - גרעין מדידה

שנאי זרם 200/5 מדידה 20VA



שנאי זרם - גרעין מדידה

שנאי זרם 150/5 מדידה 10VA



סגל אריאל

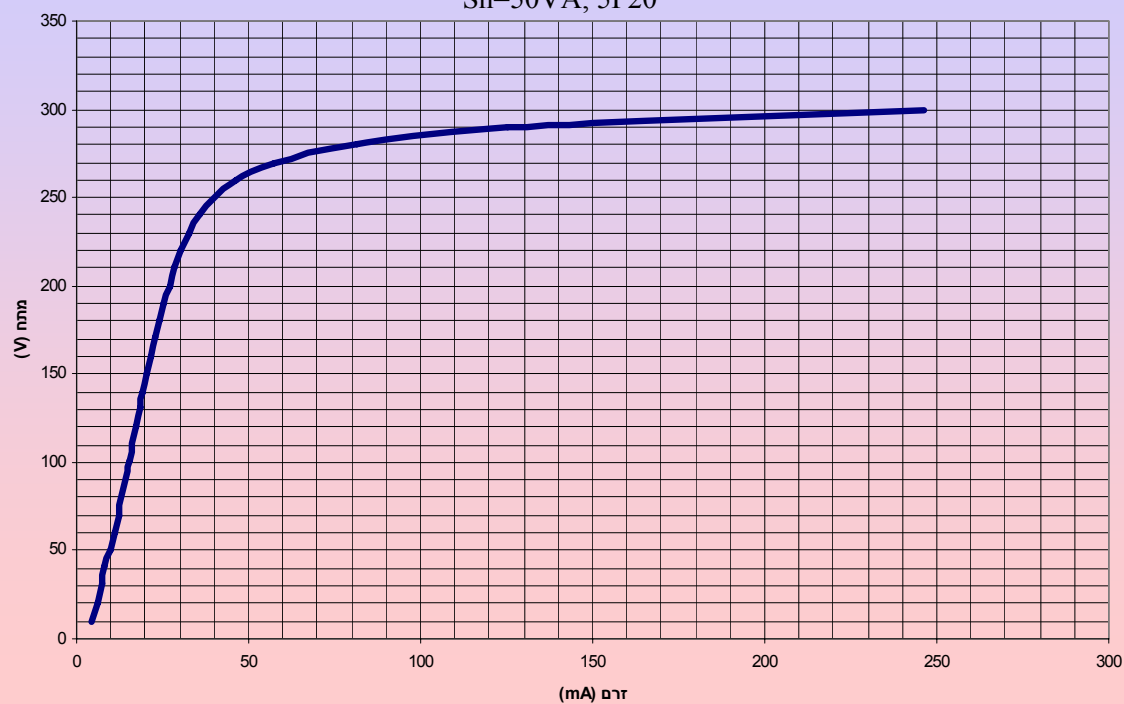
שנאי מדידה

27

שנאי זרם - גרעין הגנה

עקום מגנט שני גרעין הגנה

Sn=50VA, 5P20



סגל אריאל

שנאי מדידה

28

דיוק שנאי זרם

עבור שנאי זרם המיוצרים באירופה (לפי תקן IEC-185)

גרעין הגנה

ALF (F_n) - כפולה של הזרם הנקוב או היחס בין I/In הגורם לרווית הגרעין. (כפולה של הזרם הנקוב עבורה שגיאת שנאי הזרם הופכת מגיעה לערך מירבי שאינו עולה על ה-Class).
Class - דרגת דיוק או שגיאת תמסורת הזרמים באחוזים. בד"כ. 5% או 10%.

דוגמא: על גרעין רשום: Class 10P, ALF30.

מנתונים אלה ניתן ללמוד כי הגרעין מיועד לחיבור הגנות וכי בזרם הגדול פי 30 מהזרם הנקוב תהיה שגיאת המדידה בגבולות של $\pm 10\%$ (בשל צורת אופיין המגנוט בדרי"כ השגיאה כלפי מטה).

עומס נקוב - Burden

❖ לצד המשני של שנאי זרם מחובר עומס המכיל אמצעי מדידה, מתמרים, הגנות וחוטי חיבור.

❖ כל אלה מהווים יחד עכבת עומס הקרויה Burden.

❖ על פי רוב ההיגב ההשראי של מעגל העומס זניח וניתן לראותו כבעל התנגדות טהורה.

❖ ערך ההתנגדות המירבית שניתן לחבר להדקי שנאי הזרם נע בדרך כלל בין עשרות מיליאום עד מאות מיליאום, תלוי בהספק שנאי הזרם.

❖ הספקי שנאי הזרם מוגדרים על פי תקן IEC 60044: 2,5 –

5,0 – 10 – 15 – 30 VA. הספקים גבוהים יותר אפשריים למטרות ייחודיות.

עומס נקוב - Burden

❖ חיבור עומס גדול יותר מהנקוב יגרום לרוויית גרעין שנאי הזרם, חימומו, לעוות בקריאה ולהעדר סלקטיביות בפעולת ההגנות.

$$Z_{\max} = \frac{S}{I^2}$$

❖ לדוגמא עכבת העומס המירבית שניתן לחבר לשנאי 200/5 שהספקו 5VA, תהיה:

$$Z_{\max} = \frac{S}{I^2} = \frac{5}{5^2} = 0.2\Omega$$

❖ מכפלת גבול הדיוק (ALF) הנקובה שונה ממכפלת גבול הדיוק בפועל (Fa) בשל היחס בין עכבת ההעמסה הקיימת לעכבת ההעמסה האפשרית.

חישוב העומס בפועל

❖ התנגדות מוליכי החיבור תלויה באורכם:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A}$$

❖ ההתנגדות תלויה בטמפרטורה:

$$R_T = R_{20^{\circ}C} \cdot (1 + \alpha \Delta T)$$

Material Resistivity ρ (+20°C) Copper 0.0178 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$

Resistivity ρ (+75°C) 0.0216 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$

Temp. coefficient α 0.0039 1/°C

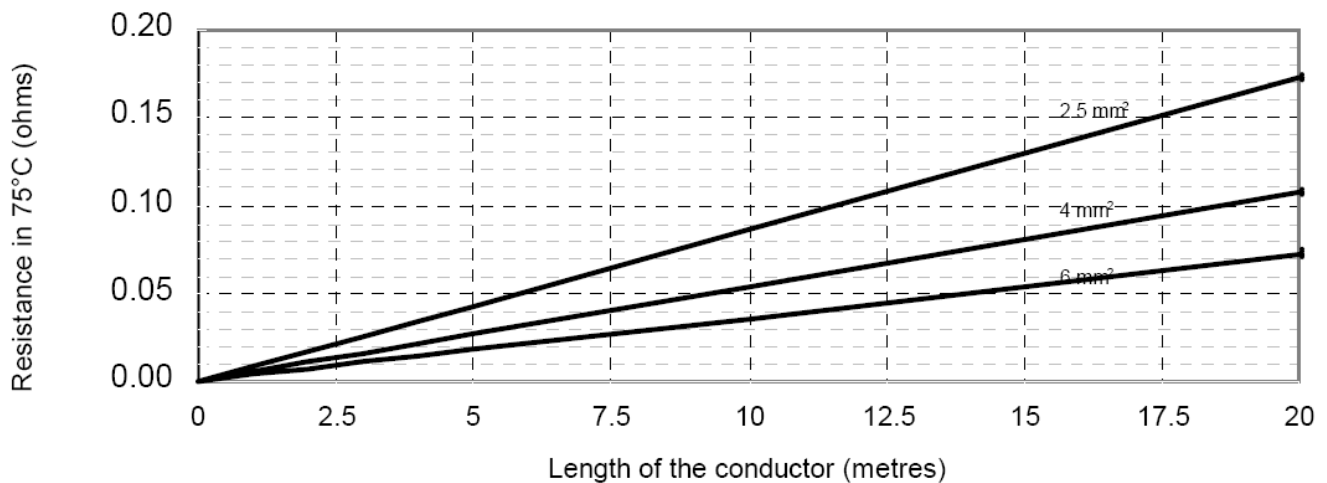
Resistance per cable length (+75 °C) for copper

Material	2.5 mm ²	4 mm ²	6 mm ²
Copper	0.00865 Ω/m	0.00541 Ω/m	0.00360 Ω/m

חישוב העומס בפועל

התנגדות מוליכי נחושת בעלי שטחי חתך שונים כתלות באורך בטמפרטורה 75°C

Conductor wire resistance (copper)



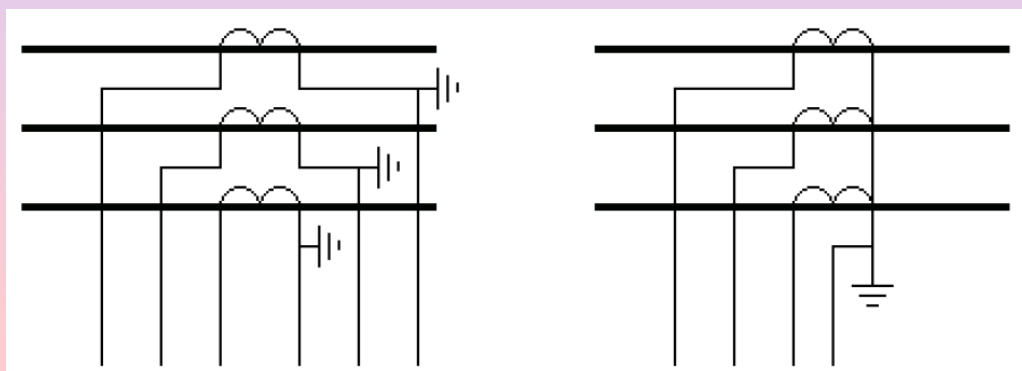
חישוב העומס בפועל השפעת שיטת החיבור

לשיטת החיבור נודעת חשיבות בעת בחירת שנאי זרם מתאים.

שיטות חיבור:

❖ חיבור 6 חוטים כפי שמתואר בתרשים משמאל.

❖ חיבור 4 חוטים כבתרשים מימין



חישוב העומס בפועל השפעת שיטת החיבור

- ❖ בשיטת 6 חוטים יחושב האורך הכולל של החוט כפעמיים המרחק משנאי הזרם לממסר.
- ❖ בשיטת 4 חוטים יחושב האורך הכולל של החוט על פי המרחק משנאי הזרם לממסר כפול 1.2.
- לדוגמא בממסר המרוחק משנאי הזרם 25 מטר, יחושב המרחק כ-50 מטר בשיטת 6 חוטים וכ-30 מטר בשיטת 4 חוטים.
- ❖ עכבת (התנגדות הכניסה של הממסר) חייבת להיות חלק ממפרט היצרן לאמצעי המדידה או ממסר ההגנה אותם הוא מייצר.
- לדוגמא: התנגדות הכניסה בסדרת ממסרי SPACOM מתוצרת ABB קטנה מ- 0.02Ω בכניסת 5A (0.5VA), וקטנה מ- 0.1Ω בכניסת 1A.

דוגמת חישוב

- ❖ שנאי זרם מרוחק 35 מטר מממסר הגנה. הממסר מחובר לשנאי באמצעות חוטי חיבור בשטח חתך 4 מ"מ"ר. עכבת הכניסה להגנה 0.02Ω . יש לחשב את ההספק הנדרש משנאי הזרם בהנחת טמפרטורה של 75°C כשיטת החיבור היא ב-4 חוטים.
- ❖ התנגדות מוליכי נחושת בשטח חתך 4 מ"מ"ר בטמפרטורה 75°C הינה: $0.00541\Omega/\text{m}$. בשל שיטת החיבור ואורך המוליכים תהיה התנגדות המוליכים: $0.35 \cdot 1.2 \cdot 0.00541 = 0.227\Omega$
- ❖ העומס הכולל על שנאי הזרם יהיה: $0.227 + 0.02 = 0.247\Omega$
- ❖ ההספק המזערי הנדרש משנאי הזרם יהיה:
$$S = I^2 \cdot R = 25^2 \cdot 0.247 = 6.18\text{VA}$$

הספק השנאי שיבחר יהיה 10VA.

מקדם הרוויה בפועל

❖ מקדם הרוויה בפועל F_a יחושב על פי הנוסחה:

$$F_a \approx ALF \cdot \frac{|S_{in} + S_n|}{|S_{in} + S_a|}$$

S_{in} = internal burden of the CT secondary coil

S_n = rated burden of the CT

S_a = actual burden of the CT

❖ הגודל S_a יחושב כמו בדוגמא הקודמת.

דוגמת חישוב - F_a

❖ נתון שנאי זרם 300/5A, 5P20, 10VA. ההתנגדות הפנימית של הסליל המשני 0.07Ω . התנגדות העומס המחובר להדקי שנאי הזרם 0.117Ω (כולל חוטי החיבור והממסר). יש לחשב את F_a .

פתרון

$$ALF = 20 \text{ (5P20),}$$

$$S_{in} = (5A)^2 \times 0.07\Omega = 1.75 \text{ VA}$$

$$S_n = 10 \text{ VA (from CT data),}$$

$$S_a = (5A)^2 \times 0.117\Omega = 2.925 \text{ VA}$$

$$F_a \approx ALF \cdot \frac{|S_{in} + S_n|}{|S_{in} + S_a|} = 20 \cdot \frac{|1.75 + 10|}{|1.75 + 2.925|} = 50.3$$

משמעות התוצאה היא: מקדם הרוויה בעומס הנתון יהיה גדול פי 2.5 ממקדם הרוויה הנקוב של השנאי.

השנאי יוכל למדוד בצורה לינארית זרם העולה על פי 50 מהנקוב.

דרגת דיוק שנאי זרם לפי יעוד המכשיר

עבור שנאי זרם המיוצרים באירופה (לפי תקן IEC-185).

גרעין מדידה

FS - כפולה של הזרם הנקוב הגורם לרווית הגרעין (שגיאת שנאי הזרם הופכת להיות לפחות 10%). לדוגמא: FS5.

-Class - דרגת דיוק (שגיאת תמסורת הזרמים באחוזים).

$$\varepsilon \% = \left(\frac{K_n}{K} - 1 \right) * 100$$

ε - שגיאת תמסורת הזרמים באחוזים.

K_n - תמסורת הזרמים הנקובה $K_n = I_{n1}/I_{n2}$.

K - תמסורת הזרמים הנמדדת

ערך ε חיובי פרושו זרם משני גדול מהנקוב ולהפך

דיוק שנאי זרם

דוגמא : בשנאי בעל $K=400/5A$ נמדד יחס זרמים:

$$I_1=400A, I_2=4.992A .$$

$$\varepsilon \% = \left(\frac{400 / 5}{400 / 4.992} - 1 \right) * 100 = -0.16 \%$$

❖ שגיאת תמסורת הזרמים בעת בדיקה חייבת להיות בגבולות דרגת הדיוק המצוין בלוחות הזיהוי.

❖ בנוסף למדידת דרגת הדיוק בזרם ראשוני נקוב מומלץ למדוד את שגיאת תמסורת הזרמים גם עבור 20% מהזרם הראשוני הנקוב ולהשוות את התוצאה לנתוני השלט. המלצה זו אינה מתייחסת לשנאי זרם בדיוק 3 או 5.

❖ צורה אחרת להגדרת שגיאת שנאי הזרם מוגדרת בתקן IEC 60044-1

$$\varepsilon \% = \left(\frac{K_n \cdot I_S - I_P}{I_P} \right) * 100$$

דיוק שנאי זרם

דרגת דיוק	יעוד המכשיר
0.1	מכשירי מעבדה בעלי דיוק גבוה מאוד
0.2	מדידה מדויקת של הספק או אנרגיה
0.5	מדידה רגילה של הספק או אנרגיה
1.0	וואטמטרים, ממסרי הספק, ממסרים כוונניים
3	מדי זרם, וסתיים, ממסרי הספק, ממסרי יתרת זרם, ממסרים תרמיים
5	ממסרי יתרת זרם, ממסרים תרמיים
5P10; 5P20	ממסרים דיפרנציאליים, ממסרי מרחק

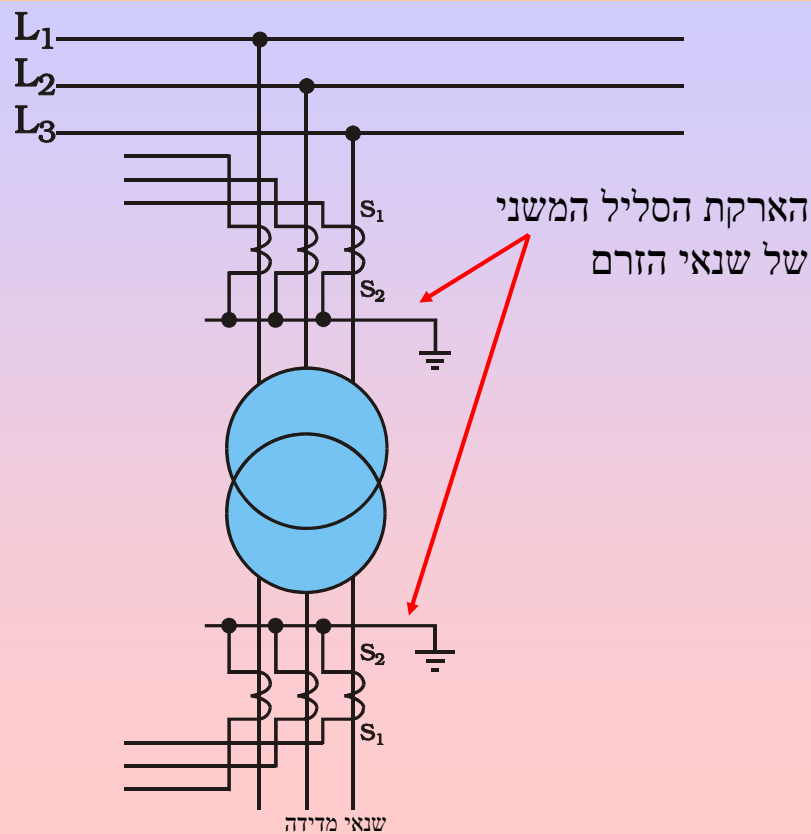
דיוק שנאי זרם

שגיאת יחס הזרמים % ε		Class הדיוק של שנאי זרם למדידה
ב- 20% מהזרם הנקוב	בזרם נקוב	
± 0.2	± 0.1	0.1
± 0.35	± 0.2	0.2
± 0.2	± 0.2	0.2S
± 0.75	± 0.5	0.5
± 0.5	± 0.5	0.5S
± 1.5	± 1.0	1.0
--	± 3	3
--	± 5	5

הארקת הסליל המשני בשנאי זרם

- ❖ למניעת הווצרות מתח גבוה מאוד במשני ביחס לאדמה יש להאריק את קצה הסליל המשני בנקודה אחת (S_1 או S_2). זאת במיוחד בשל חשש מפריצת מתח מהצד הראשוני וחישמול במתח מסוכן של כל הציוד המחובר לשנאי הזרם.
- ❖ בליבות שאינן בשימוש יש לקצר את שני קצוות הליפוף המשני ולהאריקן.

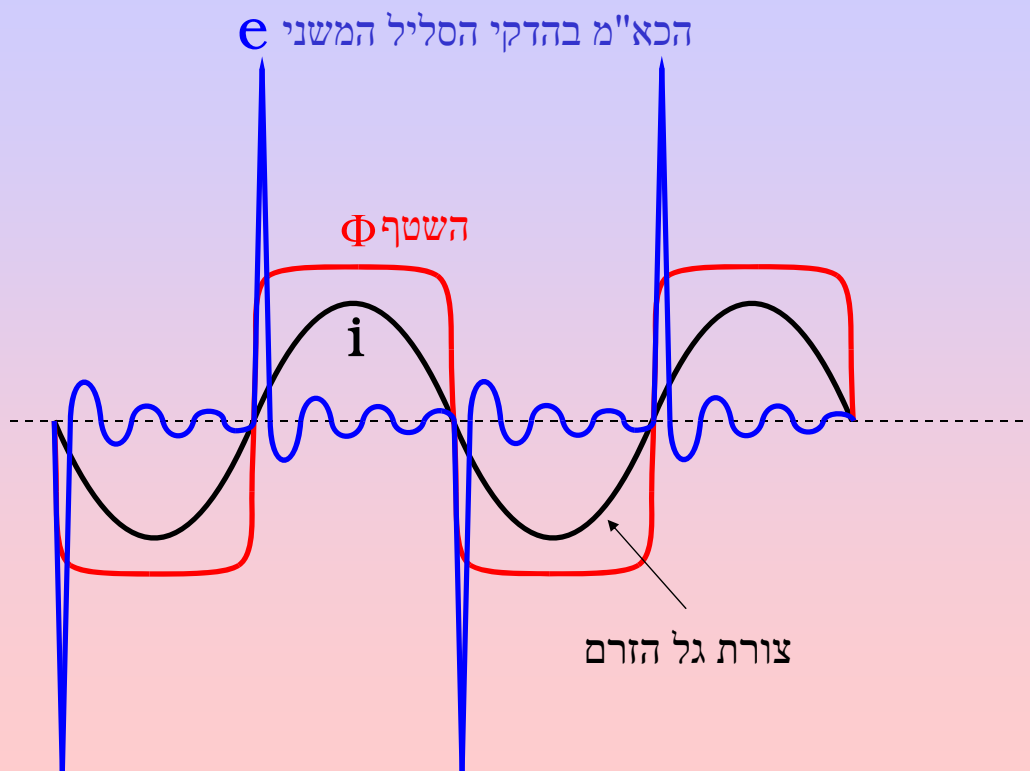
דוגמאת חיבור שנאי זרם להגנה דיפ' של שנאי



שנאי זרם - פתיחת המעגל המשני

- ❖ במקרה של פתיחת המעגל המשני עולה צפיפות השטף בפלדה פי כמה בהשוואה לתנאי עבודה רגילים. כתוצאה מכך עולים הפסדי הברזל הפעלה ממושכת של השנאי בתנאים אלה מביאה לחימום מופרז של הליבה, נזק לבידוד ורתיחת השמן (בשנאים בעלי בידוד שמן).
- ❖ בעיה נוספת היא המתח U_2 המתפתח על הדקי הסליל המשני הפתוח. מתח זה הוא בעל פסגות גבוהות מאוד עקב רווית הפלדה שהודות לה מקבל השטף צורה של עקומה שטוחה ביותר. עוצמת הפסגות במתח U_2 בשנאי זרם עבור זרמים גדולים מגיעה לכמה אלפי וולט המסכנים את הבידוד והעובדים.
- ❖ קיימת הוראה על סגירת הדקי הסליל המשני דרך מכשיר מדידה או באמצעות קצר יש לקצר את ההדקים לפני הסרת מכשיר המדידה.

שנאי זרם - פתיחת המעגל המשני



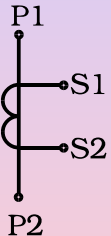
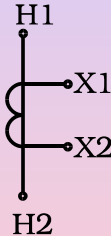
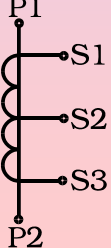
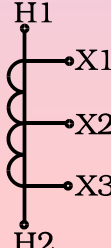
עבודות במעגלים של שנאי זרם ושנאי מתח

- ❖ כל עבודות במעגלי שנאי מתח ושנאי זרם מחייבות אישור בכתב או בע"פ מאת המורשה הבכיר ביותר באותו המתקן.
- ❖ כל עבודה במעגלים משניים של שנאי זרם ושנאי מתח הנמצאים תחת מתח, תבוצע ע"י צוות של שני עובדים לפחות בעלי הרשאה מתאימה.
- ❖ הדק אחד של כל ליפוף משני של שנאי מתח או שנאי זרם חייב להיות מוארק מטעמי בטיחות כולל כל חלקיהם המתכתיים. במקרה של חיבור הליפופים המשניים של שנאי מתח במשולש פתוח, יש להאריק קצה אחד של המעגל.

עבודות במעגלים של שנאי זרם ושנאי מתח

- ❖ פתיחת מעגל משני של שנאי זרם בכל רמות המתחים והזרמים, כשבמעגל הראשוני זורם זרם, מביאה להוצרות מתחים מסוכנים במעגל המשני. לכן לפני ביצוע כל עבודה במעגל המשני של שנאי זרם יש להבטיח רציפות המעגל באמצעות אחד מהאמצעים הבאים:
 - ❖ הרכבת מקצר בין ההדקים המשניים של שנאי הזרם.
 - ❖ הרכבת חיבור עוקף קטע במעגל העומד לפירוק או לפתיחה.
- ❖ בעת ביצוע עבודות בשנאי זרם או במעגלים משניים של שנאי זרם יש לשמור על אמצעי בטיחות כגון:
 - ❖ אין להתקרב לפסים או התיילים של המעגל הראשוני.
 - ❖ חיבור מעגל משני אל מהדקים של שנאי זרם מותר רק לאחר גמר כל עבודות ההתקנה של מכשירי המדידה ו/או הממסרים וחיבורם הסרת המקצרים תבצע רק לאחר סיום כל החיבורים.

סימון הדקי שנאי זרם

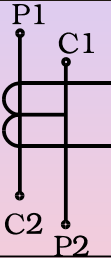
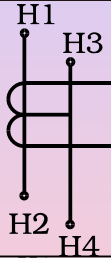
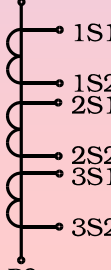
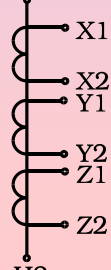
מס'	דוגמא	סימון ההדקים בהתאם לתקן IEC185		סימון ההדקים בהתאם לתקן ANSI/IEEE	
		הדקי ליפופים ראשוניים	הדקי ליפופים משניים	הדקי ליפופים ראשוניים	הדקי ליפופים משניים
1	שנאי זרם בעל יחס זרמים יחיד				
2	שנאי זרם בעל הסתעפות בליפוף משני				

סגל אריאל

שנאי מדידה

49

סימון הדקי שנאי זרם

מס'	דוגמא	סימון ההדקים בהתאם לתקן IEC185		סימון ההדקים בהתאם לתקן ANSI/IEEE	
		הדקי ליפופים ראשוניים	הדקי ליפופים משניים	הדקי ליפופים ראשוניים	הדקי ליפופים משניים
3	שנאי זרם בעל ליפוף ראשוני מחולק (שני החלקים מיועדים לחיבור טורי או מקבילי)				
4	שנאי זרם בעל 3 ליפופים משניים, כל אחד מהם על גרעין נפרד				

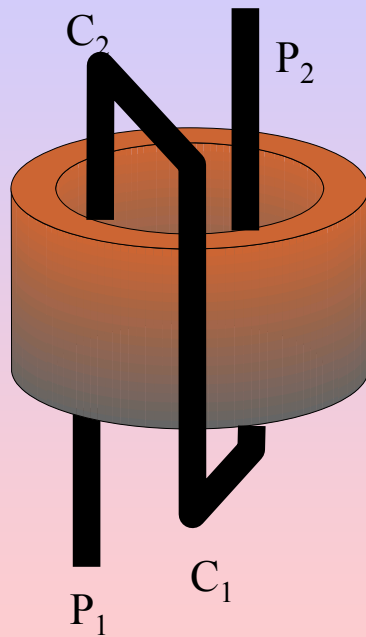
סגל אריאל

שנאי מדידה

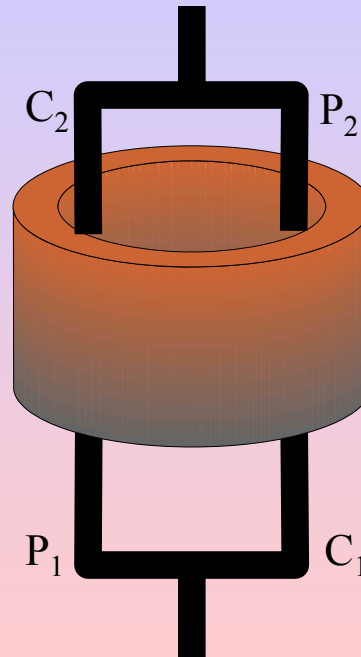
50

חיבור טורי/מקבילי של מעגל ראשוני בשנאי זרם

חיבור טורי



חיבור מקבילי



שנאי זרם

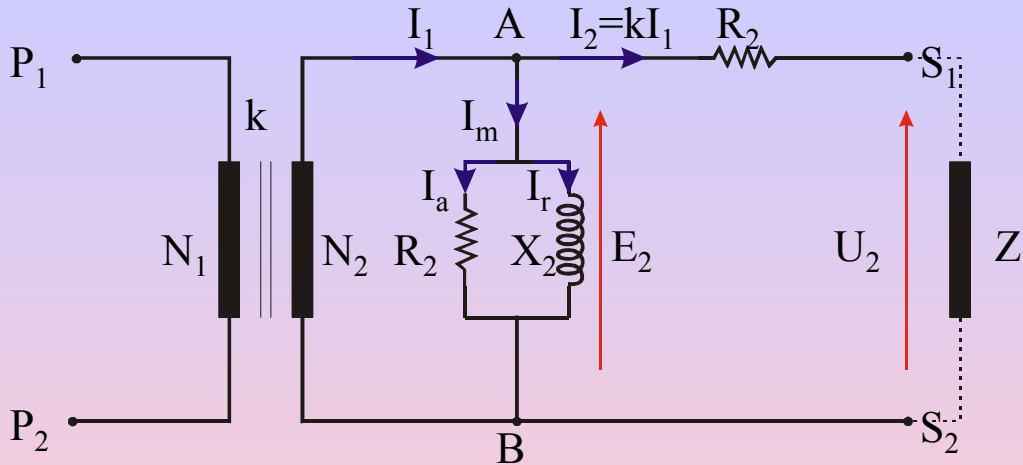
תקן אמריקאי



תקן IEC



מעגל תמורה של שנאי זרם



❖ כל הפרמטרים משוקפים לצד המשני של שנאי הזרם.

$$k = \frac{N_1}{N_2}$$

I_m - זרם המגנוט. U_2 - מתח משני.

U_2 - מתח משני.

Z - עומס משני.

K - יחס ההשנאה.

I_a - רכיב פעיל של זרם המגנוט.

I_r - רכיב עיוור של זרם המגנוט.

R_2 - התנגדות הליפוף המשני.

E₂ - כא"מ בסליל המשני.

הבדלים בין שנאי הספק לשנאי זרם

סוג השנאי	שנאי הספק	שנאי זרם
פעולה בריקם	בעת חיבור למתח רשת זורם זרם ריקם בצד הראשוני. בצד המשני מופיע מתח בעל ערך נקוב	פתיחת המעגל המשני של שנאי זרם, אינה משפיעה על גודל הזרם בראשוני. זרם המגנוט, השטף והמתח במשני עולים לערכים גבוהים מאוד.
קצר חשמלי בהדקי צד משני	עבור מתח נומינלי בצד ראשוני, מתפתחים בליפופים זרמים גבוהים ומסוכנים. המצב זה נפסקת ההזנה לשנאי ע"י הגנותיו	קיצור ההדקים של הסליל המשני, אינו גורם לשינויים כלשהם בערך הזרמים (ראשוני או משני)
צורת החיבור למעגל	חיבור מקבילי למתח ההזנה	חיבור בטור למעגל

הבדלים בין שנאי הספק לשנאי זרם

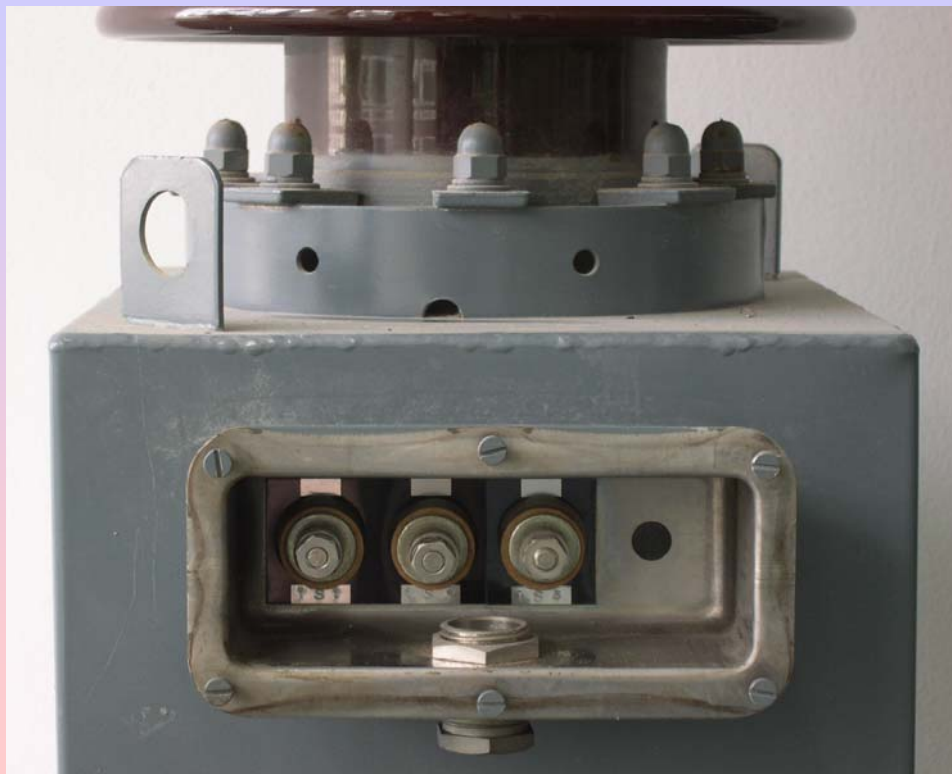
שנאי זרם	שנאי הספק	סוג השנאי פרמטרים להשוואה
חיבור צרכנים בטור, מביא לעלית ערך עכבת העומס. העמסת יתר מביאה לעליה במתח בהדקים המשניים, להגדלת השטף המגנטי מעבר למותר ויציאה מלינאריות.	עליה בצרכנות (ירידה בעכבת העומס) מגדילה את עוצמת הזרם בכריכות ועלולה לגרום עומס יתר מעל המותר.	העמסה
הזרם בראשוני תלוי אך ורק בהעמסת המעגל הנמדד. גודל הזרם בסליל המשני אינו משפיע על ערך הזרם בליפוף הראשוני.	עליה בעומס המשני, גוררת עלית זרם בסליל המשני וכתוצאה גדל הזרם בצד הראשוני. (זרם הראשוני תלוי ישירות בעומס הסליל המשני).	זרמים בסלילים ראשוני ומשני
לא קיים הפרש פוטנציאלים בין הדקי הצד הראשוני. הגורם להוצרות זרם המגנוט והשטף המגנטי הינו זרם העומס. בעבודה רגילה יכול זרם זה לקבל ערכים מ-0 עד לערך נקוב. מסקנה: זרם המגנוט והשטף המגנטי לא קבועים ויכולים להשתנות בעבודה רגילה.	הגורם להוצרות זרם מגנוט ושטף מגנטי הוא מתח הרשת המזינה. לכן, במשטר עבודה רגיל השטף המגנטי וזרם המגנוט קבועים.	שטף מגנטי וזרם מגנוט

סגל אריאל

שנאי מדידה

55

תיבת חיבורים

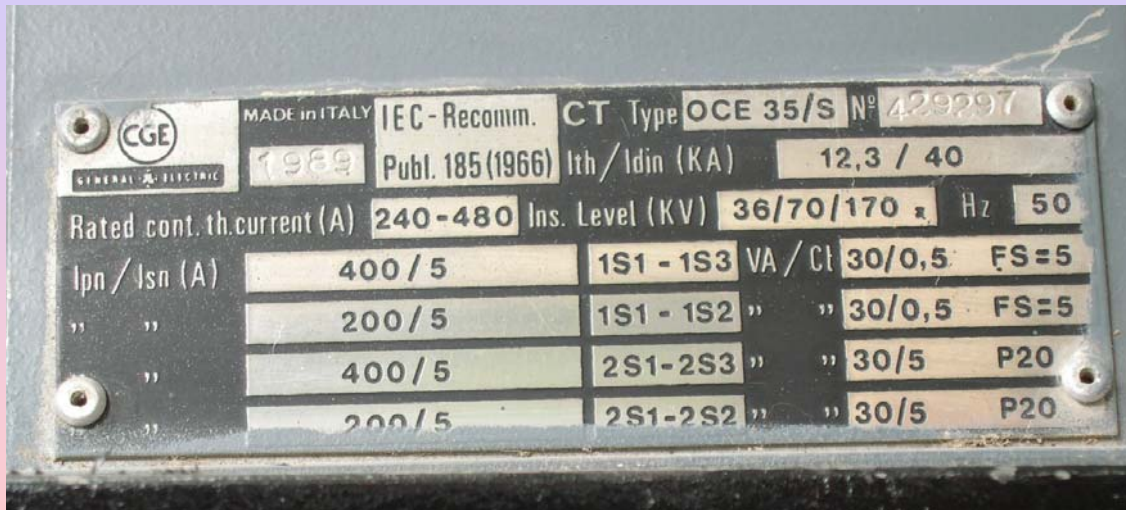


סגל אריאל

שנאי מדידה

56

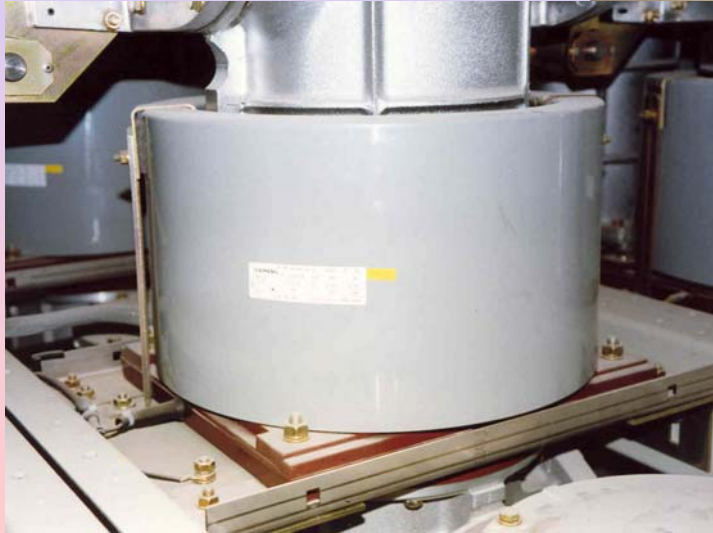
שלט השנאי



שנאי זרם לשימוש פנימי



שנאי זרם במסדר סגור – תחמ"ש



SIEMENS		4 MC 4244 XD	A 400-200 / 5 / 5	-T1L3
VDE 0411	92/979675	VR 10-5 / 20-10		
IEC 185	0.72/3	kV	CL 0.5 / 10 P	
	50	Hz	F _s ≤ 5 / 10	
	3s 20	kA	1S1-1S3 / 2S1-2S3	

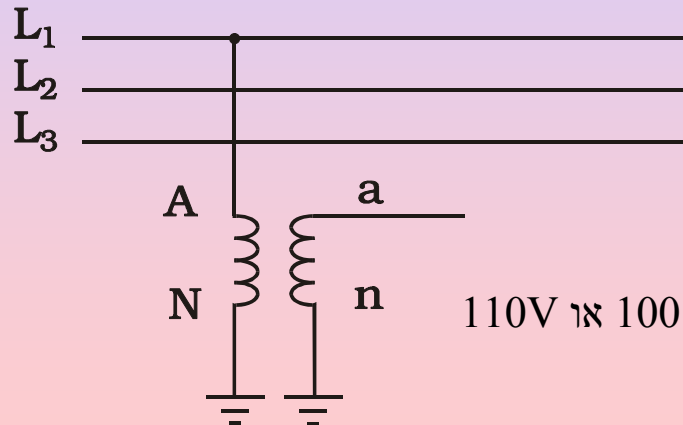
שנאי מתח

- ❖ שנאי המתח ניתנים לחלוקה לשתי קבוצות.
 - ❖ שנאי מתח מגנטיים.
 - ❖ שנאי מתח קיבוליים.
- ❖ שנאי המתח המגנטיים זולים יותר במערכות מתח עד 145kV במתח גבוה יותר כדאי משיקולים כלכליים להעדיף שנאי מתח קיבוליים.
- ❖ קיימים שני סוגים של שנאי מתח קיבוליים:
 - ❖ בעלי קיבול גבוה.
 - ❖ בעלי קיבול נמוך.

שנאי מתח

❖ במקרים של דרישת דיוק במשטרי עבודה שונים (זיהום, הפרעות, שינויים בתדר ושינויים רגעיים) שנאי המתח בעלי קיבוליות גבוהה הם בחירה מועדפת.

❖ רוב שנאי המתח לשימוש חיצוני מחוברים בין הפאזה לאדמה.

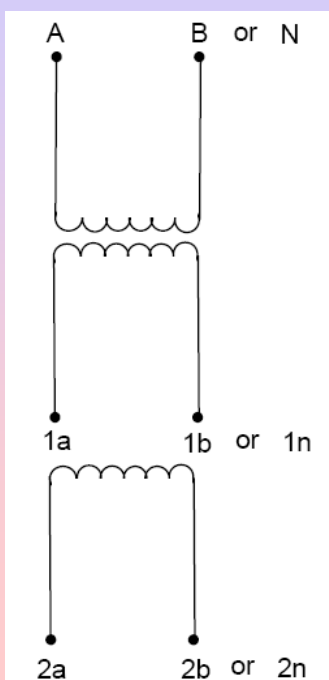


מתח משני אופייני 100 או 110V

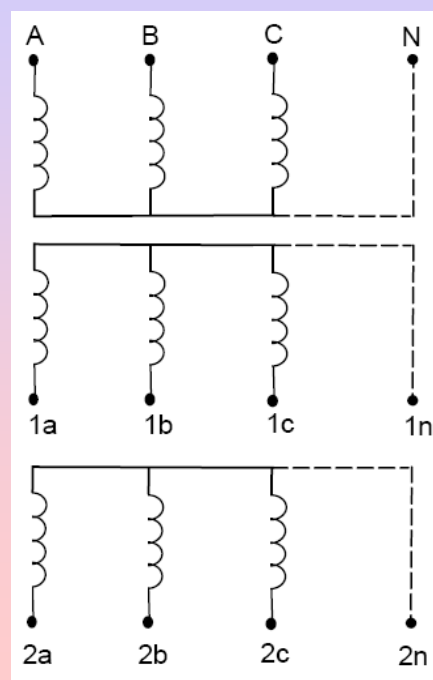
❖ הספקים סטנדרטיים: 10; 15; 25; 30; 40; 50; 100 VA

סימון הדקים

שנאי חד מופעי

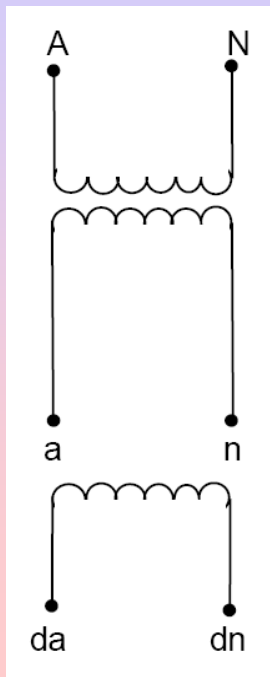


שנאי תלת מופעי



סימון הדקים

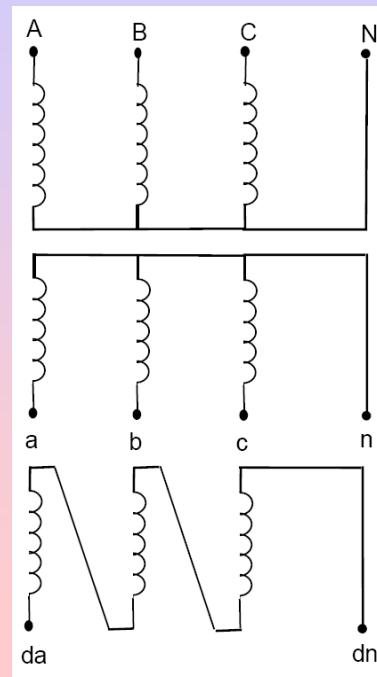
שנאי חד מופעי הכולל משולש פתוח



סגל אריאל

שנאי מדידה

שנאי תלת מופעי הכולל משולש פתוח



63

שנאי מתח מגנטיים

- ❖ הליבה והליפופים ממוקמים בדו"כ בתחתית המיכל.
- ❖ החיבור לחלק העליון נעשה ע"י מוליך החולף במרכז מבודד.
- ❖ בצורה זו מושגים היתרונות שפורטו בשנאי זרם מסוג מיכל:
- ❖ מרכז כובד נמוך.
- ❖ עמידות טובה ברעידות אדמה.
- ❖ אין מאמצים במבודד.
- ❖ קירור טוב.

סגל אריאל

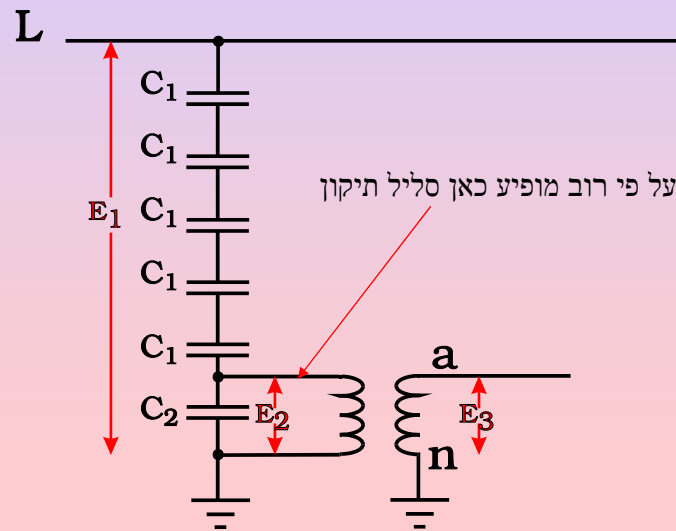
שנאי מדידה

64

שנאי מתח קיבוליים

❖ שנאי מתח אלה מבוססים על מחלק מתח הבנוי מקבלים בשילוב שנאי מתח מגנטי.

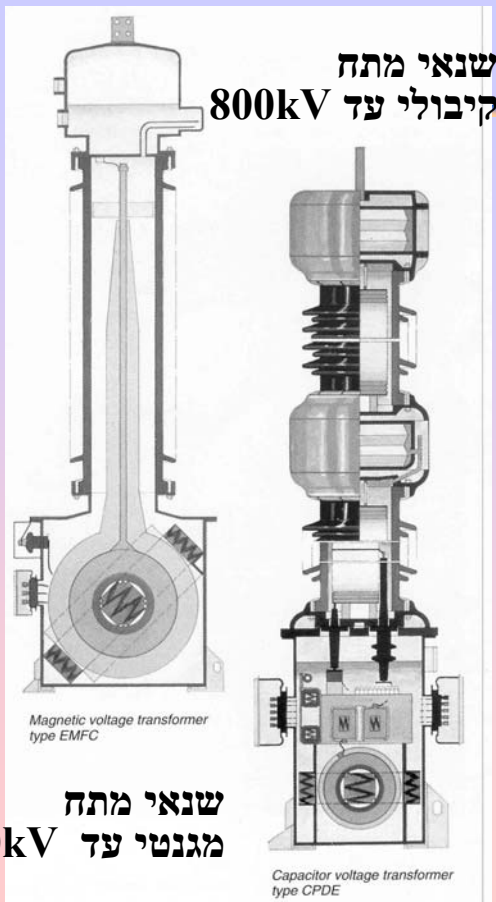
❖ שנאי המתח המגנטי מוזן בדר"כ במתח של $22/\sqrt{3}\text{kV}$



שנאי מתח קיבוליים

❖ פירוט הדרישות משנאי מתח קיבוליים מופיע בתקן IEC60044-5.

❖ שנאי מתח קיבוליים מחוברים בין מוליך מופע לאדמה במתקנים בהם המתח הפאזי גדול או שווה ל 72.5kV .



שנאי מתח מגנטיים וקיבוליים

שגיאת שנאי מתח

❖ שגיאת המדידה בשנאי מתח מוגדרת בתקן IEC60044 באופן

הבא:

$$\varepsilon_U \% = \left(\frac{K_R \cdot U_S - U_P}{U_P} \right) * 100$$

כאשר:

- ❖ K_R is the rated transformation ratio,
- ❖ U_P is the actual primary voltage,
- ❖ U_S is the actual secondary voltage when U_P is applied under the conditions of measurement.

❖ אחוזי דיוק קיימים: 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 3.0

עמידות במתחי יתר

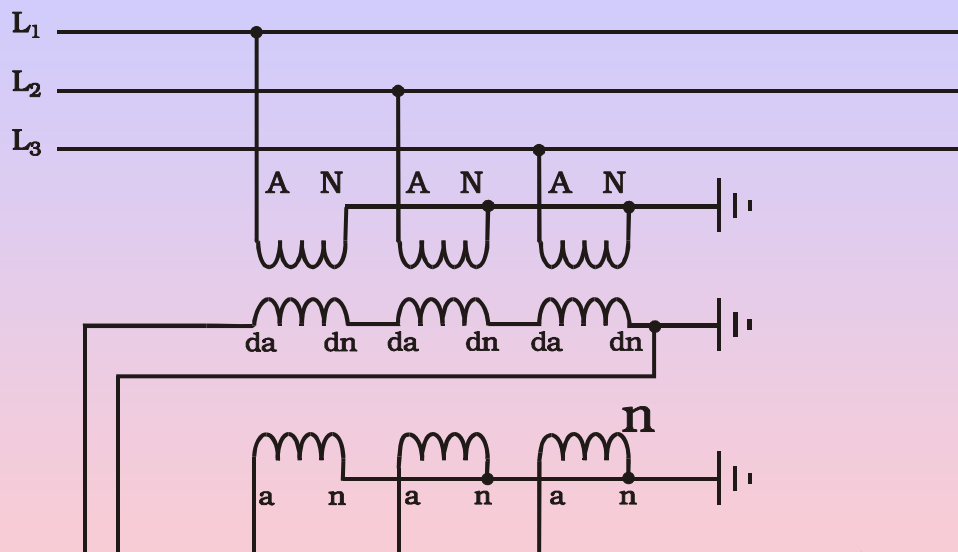
❖ שנאי מתח חשופים לעבודה במתחי יתר ותלויים במידה רבה בשיטת הטיפול בנקודת האפס.

מכפלת מתח יתר נדרש	משך זמן מתח יתר	שיטת טיפול בנק' האפס
1.2	מתמיד	מערכת מוארקת בקשיחות
1.5	ל-30 שניות	
1.2	מתמיד	בהעדר תנאי הארקה אפקטיבית במתקן מוגן בהגנות פחת
1.9	ל-30 שניות	
1.2	מתמיד	במערכת מבודדת או מוארקת דרך סליל כיבוי
1.9	8 שעות	

הארקת הסליל המשני בשנאי מתח

- ❖ כדי למנוע ערכי מתח מסוכנים שעלולים להתפתח בסלילים המשניים כלפי האדמה, במיוחד בשל חשש מפריצת מתח הצד הראשוני לצד המשני, מאריקים את סלילי הצד המשני.
- ❖ ההארקה מתבצעת רק בצד אחד של הסליל המשני.
- ❖ בשנאי מתח שבו הראשוני מחובר בין מוליך המופע לאדמה, יש להאריק את המשני בנקודה n.
- ❖ בשנאי מתח שבו הראשוני מחובר בין שתי פאזות, יש להאריק את אחד הצדדים.
- ❖ יש להקפיד על הארקת שלושת הסלילים המשניים באותו צד, זאת על מנת לשמור על הזזה של 120°
- ❖ יש להאריק בצד אחד גם סלילים שאינם בשימוש.

הארקת הסליל המשני בשנאי מתח



שנאי מתח בעל 2 קבוצות סלילים משניים.

קבוצה אחת מחוברת בכוכב.

קבוצה שניה מחוברת במשולש פתוח.

שנאי מתח בעל סליל משני מחובר במשולש פתוח

❖ כאשר מתחי הרשת תקינים סכום המתחים המתקבלים בהדקי המשולש הפתוח שווה בקירוב לאפס.

❖ בעת קצר חד פאזי לאדמה במערכת בעלת נקודת אפס מבודדת או מחוברת לאדמה דרך עכבה גבוהה (סליל פטרסון), עולה מתח הפאזות הבריאות כלפי האדמה.

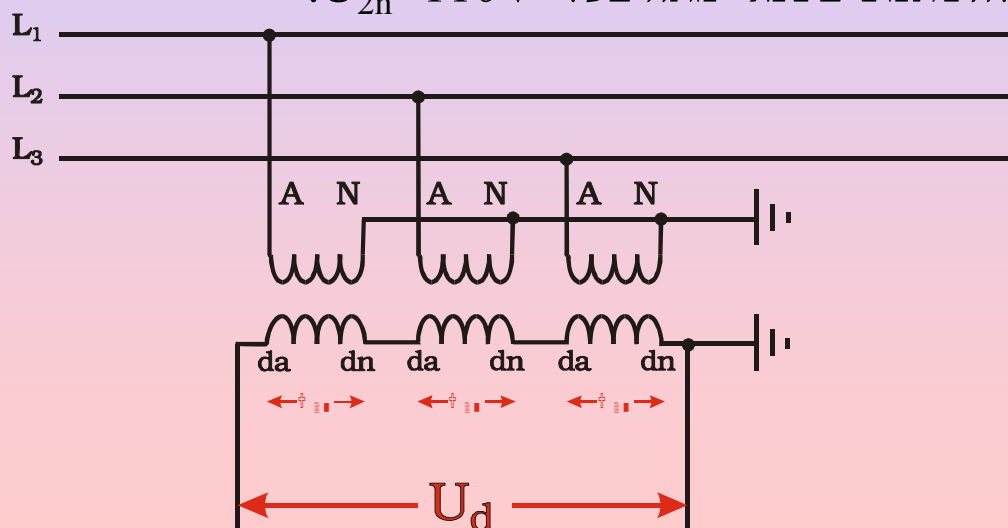
❖ המתח שמתפתח על הדקי המשולש הפתוח יכול להגיע לערך של $3 \cdot U_{2n}$

❖ במערכות בעלות נקודת אפס מוארקת ישירות מגיע מתח הדקי המשולש הפתוח ל- U_{2n}

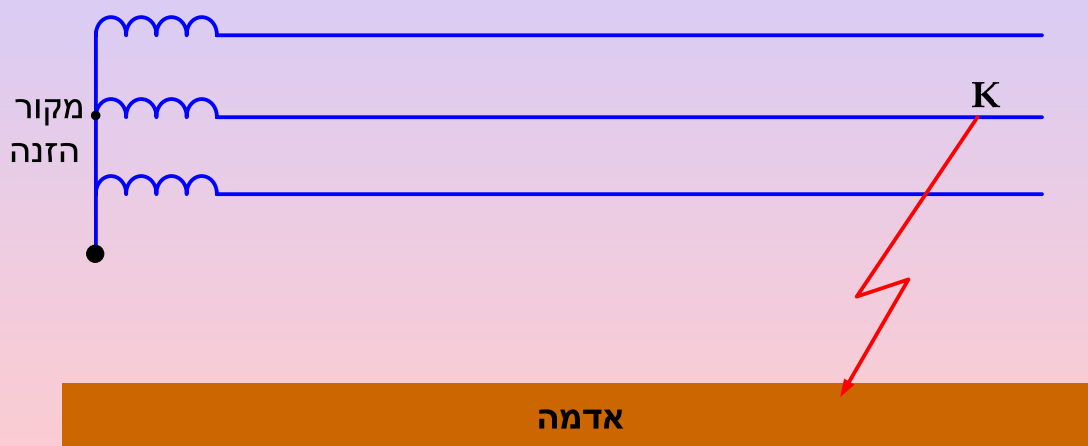
שנאי מתח בעל סליל משני מחובר במשולש פתוח

❖ במערכות בעלות נקודת אפס מבודדת או מוארקת דרך סליל נהוג להשתמש בשנאי מתח בעלי $U_{2n}=110/3V$.

❖ במערכות מתח בעלות נקודת אפס מוארקת ישירות נהוג להשתמש בשנאי מתח בעלי $U_{2n}=110V$.

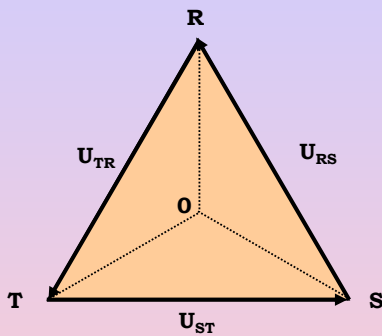


קצר במערכת בעלת נקודת אפס מבודדת



קצר במערכת בעלת נקודת אפס מבודדת

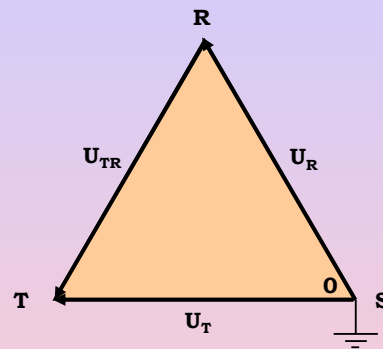
במצב תקין



$$|\bar{U}_R| = |\bar{U}_S| = |\bar{U}_T| = U_{PH}$$

$$|\bar{U}_{RS}| = |\bar{U}_{ST}| = |\bar{U}_{TR}| = \sqrt{3}U_{PH}$$

במצב קצר חד פזי

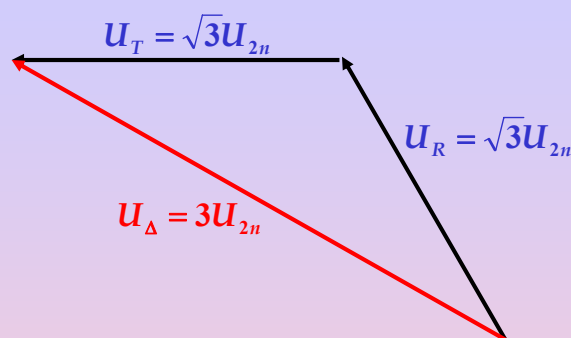


$$\bar{U}_S = 0$$

$$|\bar{U}_R| = |\bar{U}_T| = |\bar{U}_{TR}| = \sqrt{3}U_{PH}$$

מתחי הפזות התקינות עולים עד לערך מירבי של מתח שלוב

קצר במערכת בעלת נקודת אפס מבודדת



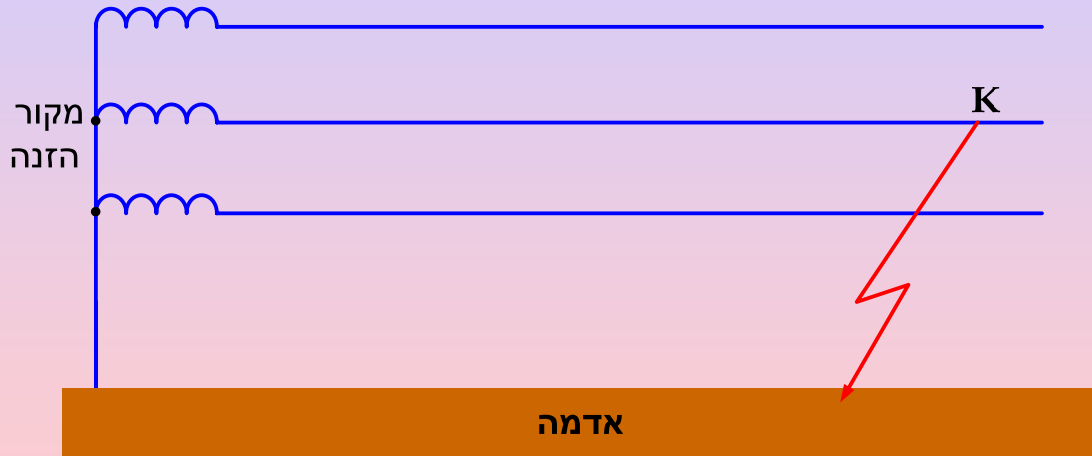
בעת קצר חד פזי לאדמה יהיה

מתח הדקי המשולש הפתוח: $U_{\Delta} = 3U_{2n}$

יחס ההשנאה של שנאי מתח המיועד למדידה ולמשולש פתוח יהיה לפיכך:

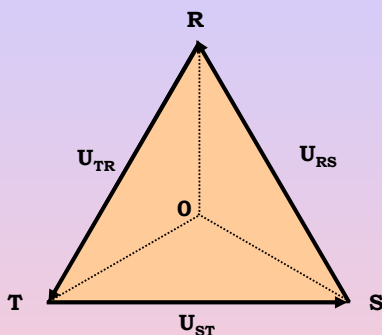
$$\frac{U_{L_n}}{\sqrt{3}} \div \frac{110}{\sqrt{3}} \div \frac{110}{3}$$

קצר במערכת בעלת נקודת אפס מאורקת ישירות



קצר במערכת בעלת נקודת אפס מאורקת ישירות

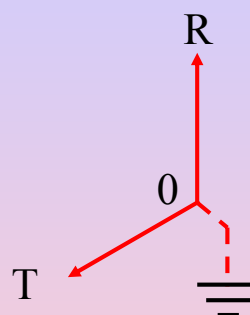
במצב תקין



$$|\bar{U}_R| = |\bar{U}_S| = |\bar{U}_T| = U_{PH}$$

$$|\bar{U}_{RS}| = |\bar{U}_{ST}| = |\bar{U}_{TR}| = \sqrt{3}U_{PH}$$

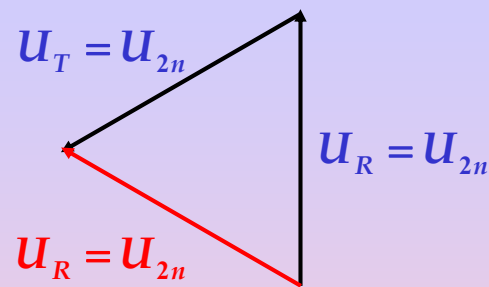
במצב קצר חד פזי



$$\bar{U}_S = 0$$

$$|\bar{U}_R| = |\bar{U}_T| = U_{PH}$$

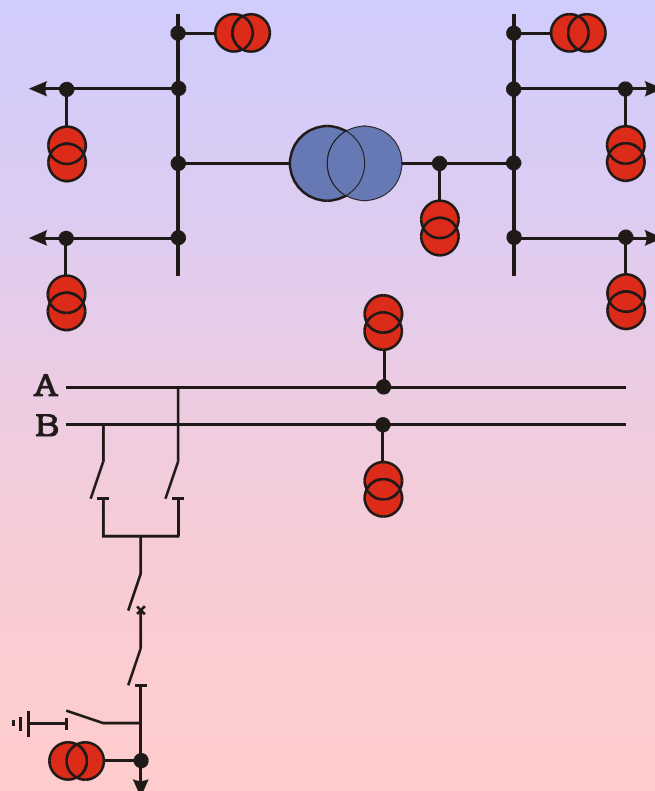
קצר במערכת בעלת נקודת אפס מאורקת ישירות



בעת קצר חד פזי לאדמה כשנקודת האפס מאורקת ישירות יהיה מתח הדקי המשולש הפתוח: $U_{\Delta} = U_{2n}$
 יחס ההשנאה של שנאי מתח המיועד למדידה ולמשולש פתוח יהיה למקרה זה:

$$\frac{U_{L_n}}{\sqrt{3}} : \frac{110}{\sqrt{3}} : 110$$

מיקום שנאי מתח במסדרי תחנות משנה



שנאי מתח במסדר פתוח מתח עליון



סגל אריאל

שנאי מדידה

81

שנאי מתח במסדר פתוח מתח עליון



סגל אריאל

שנאי מדידה

82