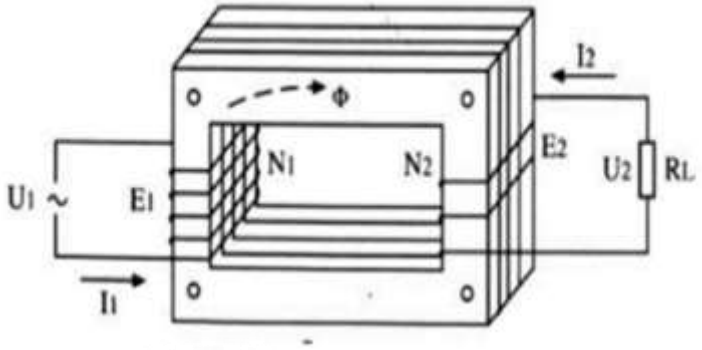
נוסחאון עזר
להנדסאי חשמל

שנאים



Copy Rights
Roy Shahar

מרצה:רועי שחר

שם הסטודנט:

כיתה : חשמל ב-1

שנאי חד פאזי

$$K = \frac{N_1}{N_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

K = יחס השנאה

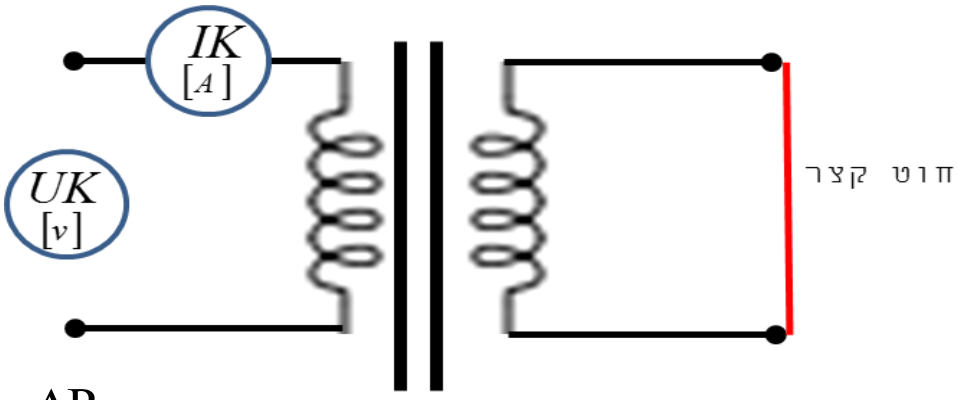
$$S_n = U_{n1} \cdot I_{n1} = U_{n2} \cdot I_{n2}$$

חישוב הספק השנאי[VA]

$$I_{n1} = \frac{S_n}{U_{n1}}$$

חישוב זרם נקוב

ניסוי קצר



מטרת הניסוי: חישוב איבודי הספק בסלילי השנאי. $\Delta P_K = PK_n = \Delta P_{cu\,n}$

ביצוע: הזנת השנאי במתח UK עד לקבלת זרם נקוב שהוא גם זרם קצר IK

הפסדי הספק נקובים יתקבלו רק כאשר מבוצע ניסוי קצר בערכים נקובים הפסדים אלה זהים כאשר מבצעים ניסוי גם מהצד השיניוני.

$$PK_n = UK_n \cdot IK_n \cdot \cos_{\varphi K}$$

ניתן לבצע ניסוי קצר בשני צידי השנאי:כאשר מקדם ההספק ומתח הקצר באחוזים נשארים ללא שינוי.

מתח הקצר בצד השיניוני $UK_{\%} = UK_{\%}$ מתח הקצר בצד הראשוני

מקדם ההספק בקצר בצד השיניוני $\cos_{\varphi K} = \cos_{\varphi K}$ מקדם ההספק בקצר בצד הראשוני

המשך

מרצה: רועי שחר

ניסוי קצר – נוסחאות בסיס

לפני התחלת תרגיל הקשור בניסוי קצר,
יש לוודא שהנתונים בשאלה הם ערכים נקובים!

נוודא זרם קצר, שהוא שווה לזרם הנקוב של השנאי ע"י הנוסחא:

$$IK_{n1} = \frac{S_n}{U_{n1}}$$

$IK_{n1} =$ זרם קצר נקוב בצד הראשוני

$S_n =$ הספק נקוב של השנאי

$U_{n1} =$ מתח נקוב בצד הראשוני

במידה והערכים הנתונים אינם הערכים הנקובים של השנאי
נעזר בנוסחא הנ"ל לחישוב הערכים הנקובים:

$$\frac{UK'}{IK'} = \frac{UK_n}{IK_n}$$

$UK' =$ מתח קצר לא נקוב

$IK' =$ זרם קצר לא נקוב

$UK_n =$ מתח קצר נקוב

$IK_n =$ זרם קצר נקוב

מתח הקצר בדרך כלל נתון באחוזים מתוך המתח הנקוב, לחישוב המתח בוולט:

$$UK = \frac{UK_{\%}}{100} \cdot U_n$$

$UK =$ מתח קצר (V)

$UK_{\%} =$ מתח קצר באחוזים (%)

$U_n =$ מתח נקוב (V)

לחישוב מתח הקצר באחוזים כאשר הוא נתון בוולט:

$$UK_{\%} = \frac{UK_n}{U_n} \cdot 100$$

מתח הקצר באחוזים מורכב משני רכיבים:

$$UK_{\%} = \sqrt{\Delta UR_{\%}^{\ 2} + \Delta UR_{\%}^{\ 2}}$$

ניתן לרשום גם כך

$$UR_{K\%} = U_{ka\%}$$

$$UX_{K\%} = U_{kr\%}$$

הצמדת זוית מקדם הספק הקצר למתח הקצר באחוזים בתצוגה פולרית
תציג לנו בקרטזית את רכיבי מתח הקצר באחוזים.

עכבת הקצר ומרכיבי התמורה - נוסחאות

$$Z_{k1} = \sqrt{R_{k1}^{\ 2} + X_{k1}^{\ 2}}$$

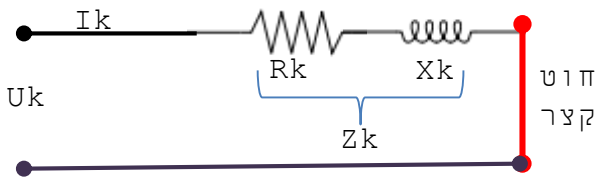
עכבת הקצר מורכבת מחיבור וקטורי של התנגדות והיגב השקולים של השנאי.

$Z_K \angle \cos\varphi_k$	פולרי
$R_k + X_k j$	קרטזי

ניתן להעזר במחשבון מוד 2 ע"י הצמדת זוית מקדם הספק הקצר.

$$Z_k = \frac{UK_n}{IK_n}$$

עכבת הקצר Zkn



שבלונת פתרון: כאשר מבקשים לחשב את "רכיבי מתח הקצר באחוזים"

במידה ומבקשים את **רכיבי מתח הקצר** באחוזים: $(\Delta UR_{\%} _ \Delta UX_{\%})$

ונתון לנו מתח הקצר באחוזים: $UK_{\%}$ והתנגדות הסלילים $R1, R2$

נחשב את **PK** ע"י $PK = \left(IK_1^{\ 2} \cdot R1\right) + \left(IK_2^{\ 2} \cdot R2\right)$

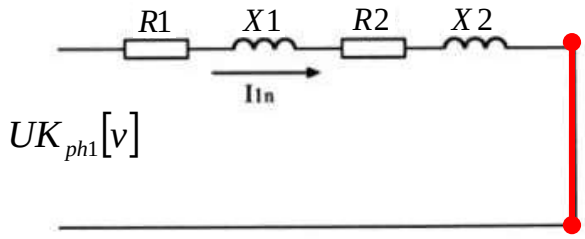
נחשב את $\Delta UR_{\%}$ ע"י הנוסחא: $\Delta UR_{\%} = \frac{PK}{Sn} \cdot 100$

ונחשב את $\Delta UX_{\%}$ ע"י הנוסחא: $\Delta UR_{\%} = \sqrt{UK_{\%}^{\ 2} - \Delta UR_{\%}^{\ 2}}$

לחישוב מקדם ההספק ניתן להעזר בנוסחא: $\cos\varphi_k = \frac{\Delta UR_{\%}}{UK_{\%}}$

מרצה: רועי שחר

שבלונת פתרון: חישוב PK כאשר נתון R1,R2



כאשר נתונים לנו התנגדות אמיתית של סלילי השנאי $R1, R2$
ומבקשים לחשב את איבודי הספק הסלילים ΔP_{cun}
נבצע את הפעולות הבאות:
נחשב התנגדות משוקפת(לא אמיתית) של הסליל השני בעזרת הנוסחא:

$$R_2' = R_2 \cdot \left(\frac{U1_{ph}}{U2_{ph}}\right)^2$$

$R_2'=$ התנגדות משוקפת
$R_2 =$ התנגדות אמיתית
$U1_{ph} =$ מתח **פאזי** בצד הראשוני
$U2_{ph} =$ מתח **פאזי** בצד השיניוני

נחבר את ההתנגדות האמיתית של הסליל הראשון להתנגדות המשוקפת של הסליל השני לקבלת התנגדות שקולה:

$$RK_1 = R1 + R2'$$

$RK =$ התנגדות שקולה מהצד הגבוה

$$P_{kn} = I_{Kn}^2 \cdot R_K$$

חישוב איבודי הספק נחושת\סלילים

לחישוב היגב שקול נעדר בנוסחא:

$$XK_1 = X_1 + X_2'$$

$XK_1 =$ היגב שקול מהצד הגבוה
$X_1 =$ היגב אמיתי סליל ראשוני
$X_2' =$ היגב משוקף סליל שיניוני

חישוב התנגדות הקצר וההיגב מהצד הנמוך (שיניוני).
נחשב RK ו XK מהצד הגבוה, כמו שמוסבר מעל ונציב בנוסחא:

$$RK_2 = RK_1 \cdot \left[\frac{Uph_2}{Uph_1}\right]^2$$

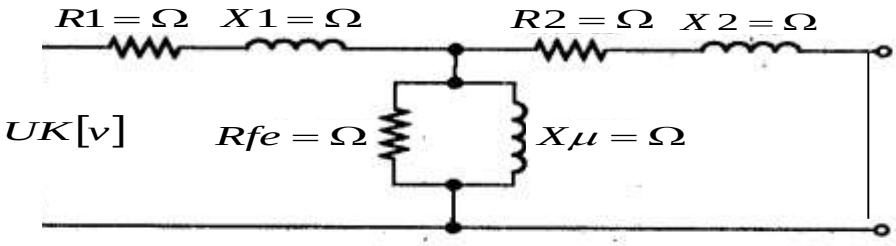
$RK_2 =$ התנגדות הקצר השקולה מהצד הנמוך
$RK_1 =$ התנגדות הקצר השקולה מהצד הגבוה
$\left[\frac{Uph_2}{Uph_1}\right]^2 =$ מתח פאזי בצד הנמוך לחלק למתח פאזי בצד הגבוה. כל זה **בריבוע**

$$XK_2 = XK_1 \cdot \left[\frac{Uph_2}{Uph_1}\right]^2$$

$$Q_{kn} = I_{Kn}^2 \cdot X_K$$

לחישוב הספק היגבי (VAR)

שבלונת פתרון: חישוב נתונים כאשר נתון המעגל H14\1



כאשר נתון מעגל תמורה **מדוייק**, זה אומר שכבר חישבו לנו את ההתנגדות המשוקפת של הצד הנמוך:

לכן נעזר בנוסחאות הנ"ל

חישוב עכבה במחשבון (מוד 2)

$$ZK = (R1 + X1j) + (R2 + X2j)$$

את זוית העכבה שתתקבל נמיר ל- $\cos\varphi_k$

לחישוב מתח הקצר בצד הגבוה UK1

$$UK_1 = IK_1 \cdot ZK$$

לחישוב הפסדי הספק בנחושת $\Delta P_K = \Delta P_{cun}$

$$\Delta P_K = UK_1 \cdot IK_1 \cdot \cos\varphi_K$$

לחישוב איבודי הספק בליבה

$$\Delta Pfe = \frac{U_{n1}^2}{Rfe}$$

נוסחאות נוספות לשימוש חישובים הקשורים לניסוי קצר

$$UR_{k\%} = \frac{\Delta P_{cun}}{S_n} \cdot 100$$

$$\cos\varphi_k = \frac{PK_n \cdot 100}{S_n \cdot UK_{\%}}$$

$$\cos\varphi_k = \frac{UR_{k\%}}{U_{K\%}}$$

$$\cos\varphi_k = \frac{R_k}{Z_k}$$

כאשר מבקשים לשרטט מעגל תמורה (חצי מעגל T)

במידה ונתון לנו רכיבי מתח הקצר באחוזים $UR_{K\%}$ $UX_{K\%}$

נרשום במחשבון (mode 2) $(UR_{K\%}) + (UX_{K\%}j)$ ונקבל תצוגה קרטזית.

נמיר לתצוגה פולרית (shift 2,3) ונקבל את מתח הקצר באחוזים וזוית מקדם ההספק $UK_{\%}\angle_^{\circ}$ את הזוית ניתן להפוך ל-cosK

בעזרת מתח הקצר באחוזים נחשב מתח קצר בוולט. $ZK = \frac{UK_{ph}}{IK_{ph}}$

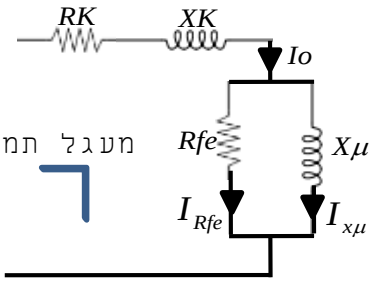
נחלק לזרם קצר ונקבל את העכבה

רכיבי התמורה $ZK\angle^{\circ} = (RK) + (XKj)$

הזרמים בליבה בפולרי לקרטזי $Io_{ph}\angle^{\circ} = (Ife_{ph}) + (Ix\mu_{ph}_j)$

רכיבי התמורה בליבה $Rfe = \frac{Uo_{ph}}{Ife_{ph}}_X\mu = \frac{Uo_{ph}}{Ix\mu_{ph}}$

מעגל תמורה



ניסוי ריקם:

$$\Delta P_{fe} = \Delta P_0$$

מטרת הניסוי לחשב את הפסדי הברזל (איבודי ריקם) של השנאי.
נקראים גם **איבודי הספק נקובים בגרעין הפרומגנטי**, ונמצאים בליבת השנאי.
הספקים אלו מושפעים בעיקר ממתחים.
בדרך כלל זרם הניסוי נתון באחוזים מהזרם הנקוב.(זרם נקוב שווה לזרם קצר)

$$\Delta Pfe = U_0 \cdot I_0 \cdot \cos\varphi_0$$

מתח בניסוי ריקם שווה למתח הנקוב U0 =Un
זרם בניסוי ריקם = I0
זוית המופע בריקם = $\cos\varphi_0$

$$\Delta P_0 = \frac{U_0 ph^2}{Rfe}$$

$$I_0 = \frac{I_{0\%}}{100} \cdot I_n$$

$$I_0\% = \frac{I_0}{I_n} \cdot 100$$

$I_0 =$ זרם בריקם
$I_{0\%} =$ זרם בריקם באחוזים מתוך הזרם הנקוב
$I_n =$ זרם נקוב\זרם קצר

לחישוב מרכיבי התמורה של גרעין השנאי(איבודי ברזל)

נחשב את זרם הריקם, נצמיד את זוית מקדם ההספק בריקם.
נעביר לתצוגה קרטזית, ונחלץ את הזרמים בגרעין.
נחשב התנגדות ע"י מתח נקוב חלקי זרם הנגד וההיגב.

$I_0 \angle \cos\varphi_0$ פולרי

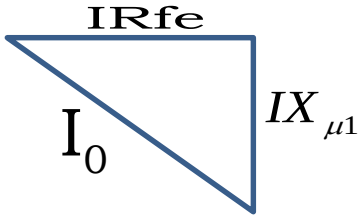
$I_{Rfe} - I_{x\mu} j$ קרטזי

$Rfe_1 =$ התנגדות הליבה
$U_0 = Un =$ מתח נקוב\מתח בריקם מתח פאזי
$IRfe_1 =$ זרם בליבה מהצד הגבוה

$$Rfe_1 = \frac{U_0 ph}{IRfe_1}$$

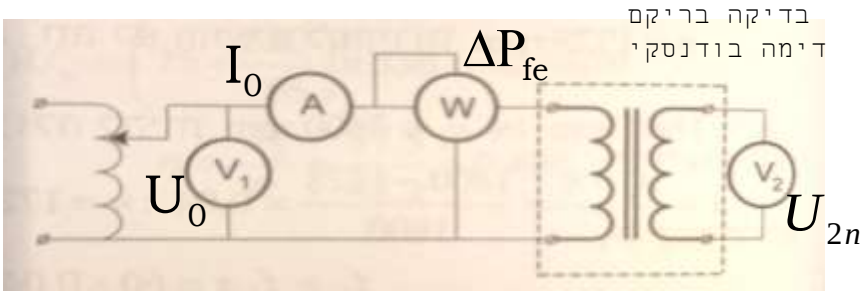
$X\mu_1 =$ היגב הליבה מהצג הגבוה
$IX_{\mu 1} =$ זרם היגב הליבה מהצד הגבוה
$Uo_1 =$ מתח בריקם/ מתח נקוב בצד הגבוה

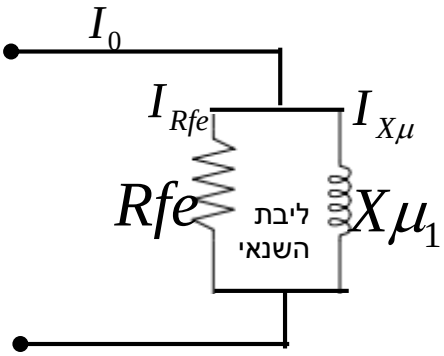
$$X\mu_1 = \frac{U_0 ph}{IX_{\mu 1}}$$



$$\cos\varphi_0 = \frac{IRfe}{I_0}$$ גורם הספק בריקם

$$I_0 = \sqrt{IRfe^2 + Ix\mu^2}$$





חישוב הספק ממשי בכניסה לשנאי בעומס נקוב (גודל וזוית)

$$\boxed{\vec{S} = \left(\vec{S}_{load}\angle^{\circ}\right) + \left(\vec{S}_{0}\angle^{\circ}\right) + \left(\vec{S}_{kn}\angle^{\circ}\right)}$$

לחשב במחשבון
גודל וזוית
MODE 2

$\vec{S} =$ הספק מדומה בכניסה לשנאי (גודל וזוית)

$\vec{S}_{load} =$ הספק מדומה של העומס (גודל וזוית)

$\vec{S}_{0} = \dfrac{P_0}{\cos\varphi_0}$ הספק מדומה של הפסדי הריקם (גודל וזוית)
את הזוית ניקח ממקדם ההספק בריקם

$\vec{S}_{Kn} = \dfrac{P_{kn}}{\cos\varphi_k}$ הספק מדומה של הפסדי הקצר (גודל וזוית)
את הזוית ניקח ממקדם ההספק בקצר

לאחר שנחשב הספק מדומה S (גודל וזוית)תצוגה פולרית
בעזרת המחשבון תצוגה קרטזית נמצא את ההספק הממשי P וההספק העיוור Q

כאשר השנאי עמוס בעומס לא נקוב יש לחשב לפי השלבים:

1.חישוב מקדם העמסה $\boxed{\beta = \dfrac{S_{load}}{S_n}}$

2.חישוב הספק הפסדי נחושת נקובים $\boxed{\vec{S}_{Kn} = \dfrac{P_{kn}}{\cos\varphi_k}}$

3.חישוב הספק איבודי נחושת בעומס לא נקוב $\boxed{\vec{S}_{K}' = S_{kn}\cdot\beta^2}$

4.חישוב הספק איבודי הריקם (ללא תלות בעומס) $\boxed{\vec{S}_{0} = \dfrac{P_0}{\cos\varphi_0}}$

5. נציב בנוסחא (גודל וזוית) ונקבל תצוגה פולרית של הספק מדומה

$$\boxed{\vec{S} = \left(\vec{S}_{load}\angle^{\circ}\right) + \left(\vec{S}_{0}\angle^{\circ}\right) + \left(\vec{S}K'\angle^{\circ}\right)}$$

לאחר שנחשב הספק מדומה S (גודל וזוית)תצוגה פולרית
בעזרת המחשבון תצוגה קרטזית נמצא את ההספק הממשי P וההספק העיוור Q

מרצה: רועי שחר

חישוב נצילות השנאי

$$\eta = \frac{S_n \cdot \beta \cdot \cos\varphi_{load}}{S_n \cdot \beta \cdot \cos\varphi_{load} + \Delta P_{0n} + \beta^2 \cdot \Delta Pcu_n}$$

$\eta =$ נצילות

$S_n =$ הספק נקוב

$\beta = \frac{S_{Load}}{S_n}$ הספק העומס / הספק נקוב

$\cos\varphi_{load} =$ מקדם הספק העומס

$\Delta P_{0n} =$ איבודי הספק נקובים בגרעין הפרומגנטי\הפסדי ריקם

$\Delta Pcu_n =$ איבודי הספק נקובים בליפופי השנאי\ הפסדי נחושת

$\Delta P0 = \Delta Pfe$ = איבודי ריקם/איבודי ברזל

$\Delta Pcun = \Delta Pk$ = איבודי נחושת נקובים/איבודי קצר נקובים

Copy Rights
Roy Shahar

חישוב נצילות מירבית של השנאי $\eta_{\max}$

$$\eta_{\max} = \frac{\beta_{\max} \cdot S_n \cdot \cos\varphi_{load}}{\beta_{\max} \cdot S_n \cdot \cos\varphi_{load} + \Delta Pfe + \beta\max^2 \cdot \Delta Pcu_n}$$

$\eta_{\max} =$ נצילות מירבית\מקס'

$S_n =$ הספק נקוב

$\beta_{\max} = \sqrt{\frac{\Delta Pfe}{\Delta P_{cu}}}$ = מקדם העמסה מקסימלי

$\cos\varphi_{load} =$ מקדם הספק העומס

$\Delta P_{0n} = \Delta Pfe$ איבודי הספק נקובים בגרעין הפרומגנטי\הפסדי ריקם

$\Delta Pcu_n = \Delta Pk$ איבודי הספק נקובים בליפופי השנאי\ הפסדי נחושת

$S_{Load\ \max} =$ **הספק העומס בנצילות מירבית**

$$S_{Load\max} = S_n \cdot \beta_{\max}$$

$S_n =$ הספק נקוב

$\beta_{\max} =$ מקדם העמסה מקסימלי

$$P_{Load\max} = S_n \cdot \beta_{\max} \cdot \cos_{Load}$$

הספק עומס מקס' התנגדותי
כאשר הזוית היא אפס

חישוב מתח הכניסה של השנאי כאשר נתון עומס השראי

לשים לב: בעומס קיבולי נחשב חיבור בין הזויות

$$\boxed{[(\angle_k + \angle_{load})]}$$

$$\boxed{U_1 = U_{1n} \cdot \left[1 + \beta \cdot \frac{\Delta U_{k\%}}{100} \cdot \cos(\angle_k - \angle_{load})\right]}$$

$U_1 =$ מתח הכניסה לשנאי

$U_{1n} =$ מתח נקוב של השנאי

$\beta =$ מקדם העמסה

$\Delta U_{k\%} =$ מתח הקצר באחוזים

$\angle_k =$ זוית מקדם ההספק של הקצר במעלות

$\angle_{load} =$ זוית מקדם ההספק של העומס במעלות

$$\boxed{\Delta U_{\%} = \frac{U_1 - U_{1n}}{U_{1n}} \cdot 100}$$

שיעור מפל המתח באחוזים
(נחשב תחילה את U1)

במידה וחסר מתח הקצר באחוזים:
ניתן להשתמש בדרך הזאת

חישוב מפל המתח על R

$$\Delta U_{RK\%} = \frac{PK}{Sn} \cdot 100$$

$$\Delta U_{k\%} = \frac{\Delta U_{Rk\%}}{\cos\varphi_k}$$

חישוב מתח המוצא(מתח על הדקי העומס) של השנאי כאשר נתון עומס השראי

לשים לב: בעומס קיבולי נחשב חיבור בין הזויות

$$\boxed{[(\angle_k + \angle_{load})]}$$

$$\boxed{U_2 = U_{2n} \cdot \left[1 - \beta \cdot \frac{\Delta U_{k\%}}{100} \cdot \cos(\angle_k - \angle_{load})\right]}$$

$U_2 =$ מתח המוצא של השנאי/מתח על הדקי העומס

$U_{2n} =$ מתח נקוב שינוני של השנאי

$\beta =$ מקדם העמסה

$\Delta U_{k\%} =$ מתח הקצר באחוזים

$\angle_k =$ זוית מקדם ההספק של הקצר במעלות

$\angle_{load} =$ זוית מקדם ההספק של העומס במעלות

$$\boxed{\Delta U_{\%} = \frac{U_2 - U_{2n}}{U_{2n}} \cdot 100}$$

שיעור מפל המתח באחוזים
(נחשב תחילה את U2)

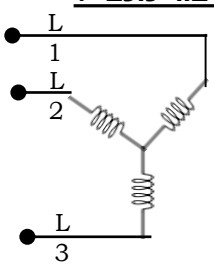
מרצה: רועי שחר

מרצה: רועי שחר

שנאים תלת פאזי

כל עוד לא נאמר אחרת המתחים והזרמים הנתונים הם נתונים קווים (LINE)

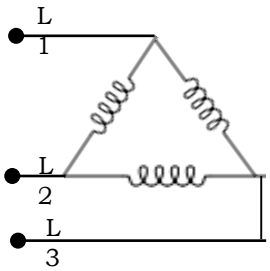
חיבור כוכב Y



$$U_{PH} = \frac{U_{LINE}}{\sqrt{3}}$$

$$I_{PH} = I_{LINE}$$

Δ חיבור משולש



$$U_{PH} = U_{LINE}$$

$$I_{PH} = \frac{I_{LINE}}{\sqrt{3}}$$

חישוב זרם נקוב/זרם קצר מהצד הגבוה

$$IK_{n_1} = I_{n_1} = \frac{Sn}{\sqrt{3} \cdot U_{n_1}}$$

חישוב זרם נקוב/זרם קצר מהצד הנמוך

$$IK_{n_2} = I_{n_2} = \frac{Sn}{\sqrt{3} \cdot U_{n_2}}$$

$$S_n = \sqrt{3} \cdot U_{LINE} \cdot I_{LINE}$$

יחס השנאה = K

ניתן לחשב מתח שינוני בעזרת יחסי ליפופים (N1/N2) **לשים לב** למתח הפאזי

$$K = \frac{U_{1Ph}}{U_{2Ph}} = \frac{I_{2Ph}}{I_{1Ph}} = \frac{N_1}{N_2}$$

חישוב זרם בעומס נתון H14\2

$$I_{Load} = \frac{S_{Load}}{U_{n2} \cdot \sqrt{3}}$$

כאשר מחברים סוללת קבלים לשנאי, נעזר בנוסחא הנ"ל לחישוב הספק עומס חדש.

לחישוב במחשבון (mode 2) נקבל תצוגה קרטזית נמיר לפולרית (Shift 2.3) לקבלת ערך S במידה והזוית יצאה במינוס משמע העומס קיבולי. (חשוב כאשר מחשבים מתח מוצא\כניסה)

$$\vec{S}_{Load_{new}} = \left(\vec{S}_{Load}\angle^{\circ}\right) + \left(\vec{S}_{c}\angle -90^{\circ}\right)$$

$\vec{S}_{Load_{new}} =$ הספק עומס חדש עם הקבלים

$\vec{S}_{Load}\angle^{\circ} =$ הספק עומס הנתון גודל וזוית

$\vec{S}_{c}\angle -90^{\circ} =$ הספק הקבלים הנתון, נוסיף זוית של -90

ניסוי קצר בשנאי תלת פאזי

$$\Delta P_{Kn} = \Delta P_{cun} = PK_n$$

איבודי נחושת/ קצר נקובים
איבודי הספק נקובים בליפופי השנאי

$$\Delta P_{Kn} = U_{Kn} \cdot I_{Kn} \cdot COS\varphi_K \cdot \sqrt{3}$$

$U_{Kn} =$ מתח קצר נקוב
$I_{Kn} =$ זרם קצר נקוב
$COS\varphi_K =$ גורם\מקדם ההספק

$$U_k = \frac{U_{k\%}}{100} \cdot Un$$

$UK =$ מתח קצר בוולט
$UK_{\%} =$ מתח קצר באחוזים
$Un =$ מתח נקוב

$$U_{k\%} = \frac{U_{kn}}{Un} \cdot 100$$

חישוב מתח הקצר באחוזים
כאשר נתון מתח קצר בוולט

$$Z_{k_{ph}} = \frac{UK_{Ph}}{IK_{Ph}}$$

חישוב עכבה:
יש לשים לב להשתמש בזרם ומתח פאזי

$$\Delta P_{Kn} = 3 \cdot IK_{ph_n}{}^2 \cdot RK$$

$IK_{Ph_n}{}^2 =$ זרם קצר **פאזי** נקוב בריבוע
$RK =$ התנגדות שקולה (עיין בחד פאזי)

$Z_K \angle \cos\varphi_k$	פולרי
$R_k + X_k j$	קרטזי

כאשר נתון בשאלה התנגדות הסלילים: $R1, R2$

ניתן לחשב: $PK \backslash \Delta P_{cun}$ בעזרת הנוסחא:

$$\Delta P_{Kn} = \left(3 \cdot IK_{ph_n 1}{}^2 \cdot R1\right) + \left(3 \cdot IK_{ph_n 2}{}^2 \cdot R2\right)$$

$IK_{ph_n 1}{}^2 =$ זרם קצר **פאזי** מהצד הגבוה
$IK_{ph_n 2}{}^2 =$ זרם קצר **פאזי** מהצד הנמוך

$$Q_{Kn} = 3 \cdot I_{KnPh1}{}^2 \cdot X_{k1}$$

$$S_{Kn} = 3 \cdot I_{KnPh1}{}^2 \cdot Z_{k1}$$

$$Z_{Kn} = \frac{UKn_{\%} \cdot U_{line}{}^2}{100 \cdot Sn}$$

חישוב עכבה
בחיבור כוכב בלבד

שבלונת פתרון: חישובים הקשורים להפסדי נחושת ומעגלי תמורה $PK = \Delta P_{cu}$

כאשר נתון בשאלה ערך התנגדות של סליל והיגב השנאי באומים.
ומבקשים לחשב את ההתנגדות או ההיגב של מעגל התמורה. $[RK = XK]$
1. נחשב תחילה זרם פאזי בכל צד של השנאי.
2. נחשב הספק איבודי נחושת בכל צד של השנאי בעזרת הנוסחאות.

$$\boxed{\Delta P_{cun.1} = Iph_1^{\,2} \cdot R1 \cdot 3} \qquad \boxed{\Delta P_{cun.2} = Iph_2^{\,2} \cdot R2 \cdot 3}$$

3. נחבר את איבודי הנחושת של שני צידי השנאי לקבלת הפסדי נחושת בכל השנאי.

$$\boxed{\Delta P_{cun} = \Delta P_{cun.1} + \Delta P_{cun.2}}$$

4. מאחר ואיבודי הנחושת שווים בשני צידי השנאי, נחשב את התנגדות הקצר של מעגל התמורה בצד הגבוה בעזרת הנוסחא:

$$\boxed{\Delta P_{cun} = Iph_1^{\,2} \cdot RK_1 \cdot 3}$$

לחישוב התנגדות הקצר בצד הנמוך נעזר בנוסחא:

$$\boxed{\Delta P_{cun} = Iph_2^{\,2} \cdot RK_2 \cdot 3}$$

5. לחישוב היגבי הקצר של מעגל התמורה:
א. נחשב זרם פאזי בכל צד.
ב. נחשב הספק עיוור בצד הגבוה:

$$\boxed{Q_1 = I_{ph.1}^{\,2} \cdot X1 \cdot 3}$$ בצד הגבוה

$$\boxed{Q_2 = I_{ph.2}^{\,2} \cdot X2 \cdot 3}$$ בצד הנמוך

ג. נחבר את ההספק העיוור של שני הצדדים להספק שקול.

$$\boxed{Q_T = Q_1 + Q_2}$$

ד. לחישוב ערך היגב התמורה של הצד הגבוה נעזר בנוסחא:

$$\boxed{Q_T = Iph_1^{\,2} \cdot XK_1 \cdot 3}$$ $XK_1 =$ היגב התמורה בצד הגבוה

ד. לחישוב ערך היגב התמורה של הצד הנמוך נעזר בנוסחא:

$$\boxed{Q_T = Iph_2^{\,2} \cdot XK_2 \cdot 3}$$ $XK_2 =$ היגב התמורה בצד הגבוה

בעזרת נתונים אלו ניתן לחשב את מקדם ההספק $\cos\varphi_K$

נציב במחשבון במצב קרטזי (mode2) $(RK_1) + (XK_1)j$

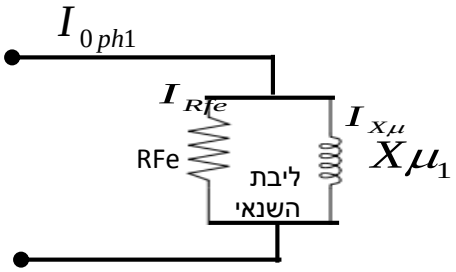
נמיר לפולרי (Shift 2,3) ונקבל את העכבה עם הזווית. $ZK\angle$
קוסינוס של הזווית נותן את מקדם הספק הקצר.

ניסוי ריקם בשנאי תלת פאזי – ערכים מקבילים (עיין גם בחד פאזי)

לחישוב איבודי הספק בגרעין הפרומגנטי/איבודי ריקם / איבודי ברזל.
חשוב לזכור שאת הניסוי מבצעים על כל פאזה בנפרד.

$$\Delta P_0 = \Delta Pfe$$

איבודי הספק בריקם = P0



$$I_0 = \frac{I_{0\%}}{100} \cdot I_n$$

חישוב זרם הריקם באמפר.
כאשר הזרם נתון באחוזים מתוך הזרם הנקוב

$$I_0\% = \frac{I_0}{I_n} \cdot 100$$

חישוב זרם הריקם באחוזים
כאשר נתון זרם ריקם באמפר

$\Delta P_0 =$ איבודי הספק בריקם בכל השנאי

$U_0 =$ מתח בריקם\מתח נקוב

$I_0 =$ זרם קווי בריקם

$\cos\varphi_0 =$ מקדם הספק בריקם

$$\Delta P_0 = U_0 \cdot I_0 \cdot \cos\varphi_0 \cdot \sqrt{3}$$

$$\cos\varphi_0 = \frac{\Delta P_0}{U_0 \cdot I_0 \cdot \sqrt{3}}$$

$$\Delta P_0 = \frac{U_0 ph^2}{Rfe} \cdot 3$$

לחישוב מרכיבי התמורה של ליבת השנאי

נצמיד לזרם הריקם הפאזי את מקדם ההספק בריקם.
נמיר במחשבון לתצוגה קרטזית
ונקבל את זרם ההתנגדות וזרם ההיגב
לחישוב ההתנגדות וההיגב, עלינו לחשב תחילה מתח **פאזי** נקוב, ולחלק בזרם הרצוי.

פולרי	$I_0 \angle \cos\varphi_0$
קרטזי	$I_{fe} - I_{x\mu} j$

$$Rfe_1 = \frac{U_{0Ph1}}{Ife_1}$$

$Rfe_1 =$ התנגדות ליבת השנאי

$U_{0Ph1} =$ מתח פאזי נקוב

$Ife_1 =$ זרם התנגדות הברזל

$$x\mu_1 = \frac{U_{0Ph1}}{Ix\mu_{Ph1}}$$

$x\mu_1 =$ היגב הברזל

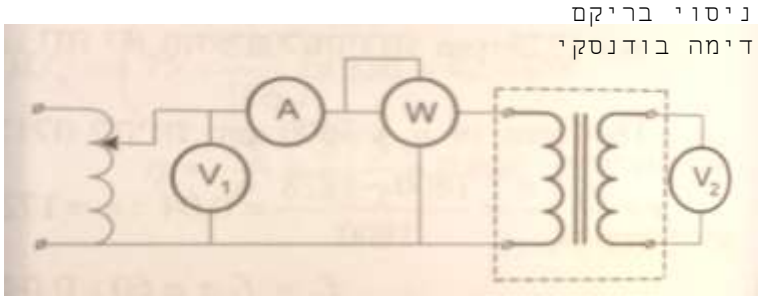
$U_{0Ph1} =$ מתח פאזי

$Ix\mu_1 =$ זרם בהיגב

$$\Delta P_0 = Ife_{Ph1}{}^2 \cdot Rfe \cdot 3$$

איבודי הספק בריקם בכל השנאי

ניסוי בריקם
דימה בודנסקי



$$Q_0 = Ix\mu_{Ph1}{}^2 \cdot x\mu \cdot 3$$

$$Q_0 = U_0 \cdot I_0 \cdot sin\varphi_0 \cdot \sqrt{3}$$

חישוב הספק ממשי בכניסה לשנאי בעומס נקוב (גודל וזוית)

$$\boxed{\vec{S} = \left(\vec{S}_{load}\angle^{\circ}\right) + \left(\vec{S}_{0}\angle^{\circ}\right) + \left(\vec{S}_{kn}\angle^{\circ}\right)}$$

לחשב במחשבון
גודל וזוית
MODE 2

$\vec{S} =$ הספק מדומה בכניסה לשנאי (גודל וזוית)

$\vec{S}_{load} =$ הספק מדומה של העומס (גודל וזוית)

$\vec{S}_{0} = \dfrac{P_0}{\cos\varphi_0}$ הספק מדומה של הפסדי הריקם (גודל וזוית)
את הזוית ניקח ממקדם ההספק בריקם

$\vec{S}_{Kn} = \dfrac{P_{kn}}{\cos\varphi_k}$ הספק מדומה של הפסדי הקצר (גודל וזוית)
את הזוית ניקח ממקדם ההספק בקצר

לאחר שנחשב הספק מדומה S (גודל וזוית)תצוגה פולרית
בעזרת המחשבון תצוגה קרטזית נמצא את ההספק הממשי P וההספק העיוור Q

כאשר השנאי עמוס בעומס לא נקוב יש לחשב לפי השלבים:

1.חישוב מקדם העמסה $\boxed{\beta = \dfrac{S_{load}}{S_n}}$

2.חישוב הספק הפסדי נחושת נקובים $\boxed{\vec{S}_{Kn} = \dfrac{P_{kn}}{\cos\varphi_k}}$

3.חישוב הספק איבודי נחושת בעומס לא נקוב $\boxed{\vec{S}_{K}' = S_{kn}\cdot\beta^2}$

4.חישוב הספק איבודי הריקם (ללא תלות בעומס) $\boxed{\vec{S}_{0} = \dfrac{P_0}{\cos\varphi_0}}$

5. נציב בנוסחא (גודל וזוית) ונקבל תצוגה פולרית של הספק מדומה

$$\boxed{\vec{S} = \left(\vec{S}_{load}\angle^{\circ}\right) + \left(\vec{S}_{0}\angle^{\circ}\right) + \left(\vec{S}K'\angle^{\circ}\right)}$$

לאחר שנחשב הספק מדומה S (גודל וזוית)תצוגה פולרית
בעזרת המחשבון תצוגה קרטזית נמצא את ההספק הממשי P וההספק העיוור Q

חישוב נצילות השנאי

$$\eta = \frac{S_n \cdot \beta \cdot \cos\varphi_{load}}{S_n \cdot \beta \cdot \cos\varphi_{load} + \Delta P_{0n} + \beta^2 \cdot \Delta Pcu_n}$$

$\eta =$ נצילות

$S_n =$ הספק נקוב

$\beta = \frac{S_{Load}}{S_n}$ הספק העומס / הספק נקוב

$\cos\varphi_{load} =$ מקדם הספק העומס

$\Delta P_{0n} =$ איבודי הספק נקובים בגרעין הפרומגנטי\הפסדי ריקם

$\Delta Pcu_n =$ איבודי הספק נקובים בליפופי השנאי\ הפסדי נחושת

$\Delta P0 = \Delta Pfe$ = איבודי ריקם/איבודי ברזל

$\Delta Pcun = \Delta Pk$ = איבודי נחושת נקובים/איבודי קצר נקובים

Copy Rights
Roy Shahar

חישוב נצילות מירבית של השנאי $\eta_{\max}$

$$\eta_{\max} = \frac{\beta_{\max} \cdot S_n \cdot \cos\varphi_{load}}{\beta_{\max} \cdot S_n \cdot \cos\varphi_{load} + \Delta Pfe + \beta\max^2 \cdot \Delta Pcu_n}$$

$\eta_{\max} =$ נצילות מירבית\מקס'

$S_n =$ הספק נקוב

$\beta_{\max} = \sqrt{\frac{\Delta Pfe}{\Delta P_{cu}}}$ = מקדם העמסה מקסימלי

$\cos\varphi_{load} =$ מקדם הספק העומס

$\Delta P_{0n} = \Delta Pfe$ איבודי הספק נקובים בגרעין הפרומגנטי\הפסדי ריקם

$\Delta Pcu_n = \Delta Pk$ איבודי הספק נקובים בליפופי השנאי\ הפסדי נחושת

הספק העומס בנצילות מירבית

$$S_{Load\max} = S_n \cdot \beta_{\max}$$

$S_{Load\max} =$

$S_n =$ הספק נקוב

$\beta_{\max} =$ מקדם העמסה מקסימלי

$$P_{Load\max} = S_n \cdot \beta_{\max} \cdot \cos_{Load}$$

הספק עומס מקס' התנגדותי
כאשר הזוית היא אפס

חישוב מתח הכניסה של השנאי כאשר נתון עומס השראי

לשים לב: בעומס קיבולי נחשב חיבור בין הזויות

$$\boxed{[(\angle_k + \angle_{load})]}$$

$$\boxed{U_1 = U_{1n} \cdot \left[1 + \beta \cdot \frac{\Delta U_{k\%}}{100} \cdot \cos(\angle_k - \angle_{load})\right]}$$

$U_1 =$ מתח הכניסה לשנאי

$U_{1n} =$ מתח נקוב של השנאי

$\beta =$ מקדם העמסה

$\Delta U_{k\%} =$ מתח הקצר באחוזים

$\angle_k =$ זוית מקדם ההספק של הקצר במעלות

$\angle_{load} =$ זוית מקדם ההספק של העומס במעלות

$$\boxed{\Delta U_{\%} = \frac{U_1 - U_{1n}}{U_{1n}} \cdot 100}$$

שיעור מפל המתח באחוזים
(נחשב תחילה את U1)

במידה וחסר מתח הקצר באחוזים:
ניתן להשתמש בדרך הזאת

חישוב מפל המתח על R

$$\Delta U_{RK\%} = \frac{PK}{Sn} \cdot 100$$

$$\Delta U_{k\%} = \frac{\Delta U_{Rk\%}}{\cos\varphi_k}$$

חישוב מתח המוצא(מתח על הדקי העומס) של השנאי כאשר נתון עומס השראי

לשים לב: בעומס קיבולי נחשב חיבור בין הזויות

$$\boxed{[(\angle_k + \angle_{load})]}$$

$$\boxed{U_2 = U_{2n} \cdot \left[1 - \beta \cdot \frac{\Delta U_{k\%}}{100} \cdot \cos(\angle_k - \angle_{load})\right]}$$

$U_2 =$ מתח המוצא של השנאי/מתח על הדקי העומס

$U_{2n} =$ מתח נקוב שינוני של השנאי

$\beta =$ מקדם העמסה

$\Delta U_{k\%} =$ מתח הקצר באחוזים

$\angle_k =$ זוית מקדם ההספק של הקצר במעלות

$\angle_{load} =$ זוית מקדם ההספק של העומס במעלות

$$\boxed{\Delta U_{\%} = \frac{U_2 - U_{2n}}{U_{2n}} \cdot 100}$$

שיעור מפל המתח באחוזים
(נחשב תחילה את U2)

מרצה: רועי שחר

חיבור שנאים במקביל:

על מנת לחבר שנאים במקביל חייבים להתקיים 2 תנאים.

1. יחס מתחים קווים שווה.

$$\frac{U_{lineA1}}{U_{lineA2}} = \frac{U_{lineB1}}{U_{lineB2}} = \frac{U_{lineC1}}{U_{lineC2}}$$

דוגמא: $\frac{15_{KV}}{5_{KV}} = \frac{18_{KV}}{6_{KV}} = \frac{24_{KV}}{8_{KV}}$

2. מספר קבוצות חיבורים זהה: בדוגמא, לכל השנאים יש את הספרה "11"

Dy11

Dy11

Dy11

- מומלץ גם ערכי מתח קצר באחוזים קרובים אחד לשני, על מנת לאפשר חלוקת הספק טובה יותר בין השנאים.

Copy Rights
Roy Shahar

כינוי התחילית לועזי	כינוי התחילית עברי	ערך הכפולה
tera	טרא	10^{12}
giga	גיגא	10^{9}
mega	מגא	10^{6}
kilo	קילו	10^{3}
hecto	חקטו	10^{2}
deca	דקא	10
		1
deci	דסי	10^{-1}
centi	סנטי	10^{-2}
milli	מילי	10^{-3}
micro	מיקרו	10^{-6}
nano	ננו	10^{-9}
pico	פיקו	10^{-12}
femto	פמטו	10^{-15}
atto	אטו	10^{-18}

חישוב נתוני שנאי לאחר שינוי מתח הזנה נקוב

כל שנאי מוזן ממתח הנקוב אותו קבע היצרן.
במידה ושונה מתח ההזנה של השנאי יש לחשב את **ההספק** החדש של השנאי
את **מתח הקצר באחוזים** החדש ואת הפסדי **הספק בריקם** החדשים

$$S_n' = S_n \cdot \left(\frac{U'}{U_n}\right)$$

S_n' = הספק חדש של השנאי
S_n = הספק נקוב של השנאי
U' = מתח הזנה חדש של השנאי
U_n = מתח הזנה נקוב של השנאי

חישוב מתח קצר חדש לאחר שינוי מתח הזנה נקוב

$$U_{K\%}' = U_{K\%n} \cdot \left(\frac{U_n}{U'}\right)$$

$U_{K\%}'$ = מתח הקצר באחוזים החדש
$U_{K\%n}$ = מתח הקצר באחוזים נקוב
U_n = מתח הזנה נקוב של השנאי
U' = מתח הזנה חדש של השנאי

חישוב הספק בריקם חדש לאחר שינוי מתח הזנה נקוב

$$\Delta P fe' = \Delta P fe_n \cdot \left(\frac{U_1'}{U_n}\right)^2$$

חישוב PK חדש לאחר שנתון שהזרם השתנה

$$\Delta P_{cu} = PK$$

$$\Delta P_{cun} = RK_1 \cdot 3 \cdot \left(I_{1\,ph}\right)^2$$

$$\Delta P_{cu'} = RK_1 \cdot 3 \cdot \left(I_{1\,ph'}\right)^2$$

$$\frac{\Delta P_{cu'}}{\Delta P_{cun}} = \frac{RK_1}{RK_1} \cdot \frac{3}{3} \cdot \frac{I_{1\,ph'^2}}{I_{1\,ph\,n^2}}$$

להעתיק את הפיתוח כמו שהוא

להציב בנוסחא:

$$\frac{\Delta P_{cu'}}{\Delta P_{cun}} = \frac{I_{1\,ph'^2}}{I_{1\,ph\,n^2}}$$

חישוב הפסדי ברזל ונחושת במספר שנאים המחוברים במקביל:

כאשר מבקשים לחשב הפסדי ברזל ונחושת במספר שנאים עלינו לזכור כי הפסדי הברזל אינם תלויים בעומס על השנאי ולכן נעזר בנוסחא:

דוגמא: שנאים A,B,C

$$\boxed{\sum \Delta P_{fe} = \Delta P_{fe_A} + \Delta P_{fe_B} + \Delta P_{fe_C} \ldots\ldots}$$

לעומת זאת **הפסדי הנחושת** כן תלויים בעומס על השנאי, לכן נחשב תחילה את בטא של כל שנאי.

$$\boxed{\beta = \frac{S_{load}}{Sn}}$$

ולאחר מיכן נחשב את הפסדי הנחושת החדשים של השנאי

$$\boxed{PK_{load} = PK_n \cdot \beta^2}$$

שלב אחרון: חיבור כל איבודי הספק הנחושת בשנאים

$$\boxed{\sum PK_{total} = PK_{load_A} + PK_{load_B} + PK_{load_C}}$$

הוספת עכבה בטור לשנאי:

כאשר מחברים שנאים במקביל,
יש לשאוף שמתח הקצר של כל השנאים יהיה כמה שאפשר זהה.
מתח קצר זהה מאפשר חלוקת הספק יותר טובה על השנאים.
על מנת להגדיל מתח קצר של שנאי,
ניתן לחבר בטור בכניסה או ביציאה מהשנאי עכבה.

1.נחשב כמה מתח קצר באחוזים הוספנו
ע"י הנוסחא:

$$UK_{\%\,\text{נוסף}} = UK_{\%\,\text{חדש}\,New} - UK_{n\%\,\text{נקוב}}$$

2.נחשב את מתח הקצר בוולט בעזרת הנוסחא:

$$UK_{VOLT} = \frac{U_{k\%Add}}{100} \cdot U_n$$

3.לאחר שחישבנו את מתח הקצר שנופל על העכבה יש לוודא שהוא מתח קצר פאזי
במשולש: מתח פאזי שווה למתח קווי
בכוכב: מתח פאזי שווה למתח קווי חלקי שורש 3. $UK_{PH} = \frac{UK_{LINE}}{\sqrt{3}}$

4.בשלב הבא נחשב זרם קצר נקוב של השנאי בצד שבו מחוברת העכבה בעזרת
הנוסחא:

$$I_{Kn} = I_n = \frac{Sn}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

חישוב זרם נקוב/זרם קצר

לחישוב עכבה נשתמש בזרם פאזי.
בחיבור משולש: זרם פאזי שווה: $I_{PH} = \frac{I_{LINE}}{\sqrt{3}}$
בחיבור כוכב: זרם פאזי שווה לזרם קווי.

5.נחשב את העכבה כגודל.
על מנת להציג עכבה עם הזוית, נהפוך את COSφK של העכבה שנוספה למעלות.

חישוב עכבה:
יש לשים לב להשתמש בזרם ומתח פאזי

$$Z_{k.new} = \frac{UK_{Ph1}}{IK_{Ph1}}$$

נוסחא מקוצרת לחישוב
העכבה בחיבור
כוכב/זיגזג **בלבד**

$$Z_{k.new} = \frac{U_n^{\,2} \cdot (UK_{new\%} - UK_{n\%})}{100 \cdot Sn}$$

חישוב הספק מירבי לקבוצת שנאים המחוברים במקביל כך שאף אחד מהשנאים לא יעבור את העומס הנקוב שלו

חישוב הספק מירבי ללא עומס לקבוצת שנאים (לדוגמא שנאי C,B,A)
נחשב הספק מירבי לכל שנאי בנפרד ולאחר מיכן נחבר את כל ההספקים.

$$S_A = S_{nA} \cdot \left(\frac{U_{k\min\%}}{U_{KA\%}} \right)$$

$S_A =$ הספק מירבי לשנאי A

$S_{nA} =$ הספק נקוב לשנאי A

$U_{k\min\%} =$ מתח הקצר הכי נמוך בקבוצת השנאים אותה נרצה לחבר

$U_{KA\%} =$ מתח הקצר הנקוב של שנאי A

$$S_B = S_{nB} \cdot \left(\frac{U_{k\min\%}}{U_{KB\%}} \right)$$

$S_B =$ הספק מירבי לשנאי B

$S_{nB} =$ הספק נקוב לשנאי B

$U_{k\min\%} =$ מתח הקצר הכי נמוך בקבוצת השנאים אותה נרצה לחבר

$U_{KB\%} =$ מתח הקצר הנקוב של שנאי B

$$S_C = S_{nC} \cdot \left(\frac{U_{k\min\%}}{U_{KC\%}} \right)$$

$S_C =$ הספק מירבי לשנאי C

$S_{nC} =$ הספק נקוב לשנאי C

$U_{k\min\%} =$ מתח הקצר הכי נמוך בקבוצת השנאים אותה נרצה לחבר

$U_{KC\%} =$ מתח הקצר הנקוב של שנאי C

חישוב הספק מירבי Smax ללא עומס לקבוצת שנאים:

$$S_{\max} = S_A + S_B + S_C$$

Copy Rights
Roy Shahar

חישוב חלוקת הספק מדומה/(עומס) בין מספר שנאים המחוברים במקביל

כאשר מבקשים מאיתנו לחשב חלוקת הספק מדומה בין מספר שנאים עלינו לרכז נתונים של כל שנאי. (לדוגמא עם 3 שנאים)

הספק נקוב של כל שנאי **Sn**, ומתח קצר **נקוב** באחוזים של כל שנאי $\Delta U_{kn\%}$.

והספק העומס המשותף **S**load (לוודא שהעומס נתון בוולט אמפר, במידה ונתון בוואט, יש לחשב $\frac{P_{(W)}}{\cos\varphi_{laod}} = S_{load}$)

כעת נציב בנוסחא, בכל פעם נמצא את ההספק שמעביר שנאי נתון.

SA נקרא לשנאי 1

SB נקרא לשנאי 2

Sc נקרא לשנאי 3

בעזרת חישוב זה נוכל לדעת בנוסף אם השנאי יופעל בעומס ייתר.

לחישוב ההספק שמעביר שנאי A

$$S_A = \left(\frac{S_{load}}{\frac{S_{nA}}{U_{knA\%}} + \frac{S_{nB}}{U_{knB\%}} + \frac{S_{nC}}{U_{knC\%}}} \right) \cdot \frac{S_{nA}}{U_{knA\%}}$$

לחישוב ההספק שמעביר שנאי B

$$S_B = \left(\frac{S_{load}}{\frac{S_{nA}}{U_{knA\%}} + \frac{S_{nB}}{U_{knB\%}} + \frac{S_{nC}}{U_{knC\%}}} \right) \cdot \frac{S_{nB}}{U_{knB\%}}$$

לחישוב ההספק שמעביר שנאי C

$$S_C = \left(\frac{S_{load}}{\frac{S_{nA}}{U_{knA\%}} + \frac{S_{nB}}{U_{knB\%}} + \frac{S_{nC}}{U_{knC\%}}} \right) \cdot \frac{S_{nC}}{U_{knC\%}}$$

שנאי דרגות

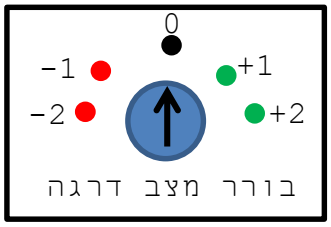
שנאי דרגות הוא שנאי בעל יכולת לשנות את יחס הליפופים שלו $\frac{N1}{N2}$
ומכאן גם לשנות את מתח המוצא שלו. U_{line2}

שינוי הדרגות יתבצע ע"י בורר מכני או אוטומטי,
ויתבצע בצד הראשוני של השנאי בו המתח גבוה יותר והזרם קטן יותר.

כאשר נתון בנתוני השנאי לדוגמא: $\pm 2\times 2.5\%$

הסימון: $\pm$ מסמן שיש אפשרות להוסיף או להחסיר דרגה (כריכות).

המספר: 2 מסמן את מספר הדרגות הניתנות להוספה או להחסרה.
המספר: 2.5% : מסמן את אחוז המתח שעלינו להוסיף/להחסיר למתח המוצא
מתוך מתח המוצא בפועל של השנאי
(כאשר השנאי אינו מוזן במתח נקוב יש לחשב תחילה את מתח המוצא החדש)



לשנאי זה חמישה מתחי יציאה שונים.

בורר במצב 0 נקבל במוצא השנאי מתח נתון
בורר במצב 1- נקבל תוספת של 2.5% למתח הקיים
בורר במצב 2- נקבל תוספת של 5% למתח הקיים
בורר במצב 1+ נקבל במוצא מתח פחות 2.5% ממתח המוצא הקיים
בורר במצב 2+ נקבל במוצא מתח פחות 5% ממתח המוצא הקיים

דוגמא:
שנאי בעל נתוני יצרן 33K/0.4K חובר במצב +1X2.5%
עלינו לחשב כמה שווה 2.5% ממתח היציאה הנתון.

$$\frac{2.5\times 400}{100}=10v \Leftarrow\Leftarrow$$

$$U_{line2}-10=400-10$$

את המתח שקיבלנו(10v)
יש להחסיר ממתח היציאה הנתון של השנאי.

$$U_{line2}'=390v$$

כאשר מחברים שני שנאים במקביל, ואת מוצא השנאים מחברים במקביל לפסי צבירה.(ללא עומס)
במידה ומתח המוצא של השנאים לא שווה, יזרום זרם מהשנאי בעל המתח הגבוה לשנאי בעל המתח הנמוך.זרם זה נקרא **זרם איזון** ולחישובו נעזר בנוסחא:

$$\boxed{I_Z=\frac{\Delta U_{ph}}{Z_{K2A}+Z_{K2B}}}$$

$I_Z =$ זרם איזון

$\Delta U_{ph} =$ הפרש מתח המוצא בין שנאי A לשנאי B

$$Z_{K2A}=\frac{UK_{ph_2}}{IK_{ph_2}}$$ חישוב עכבה בצד הנמוך של שנאי A

$$Z_{K2B}=\frac{UK_{ph_2}}{IK_{ph_2}}$$ חישוב עכבה בצד הנמוך של שנאי B

לחישוב עכבה בחיבור כוכב בלבד עיין בעמוד 12

שנאי עצמי (אוטו-טרנספורמטור)

שנאי עצמי הוא שנאי רגיל שחיברו לו את הסליל הראשוני והסליל המשני בטור הקשר בין שני הסלילים הוא גלווני ולא השראי(ע"מ 40 ארנון ב.ט)
הרעיון הוא שאסור לסלילי השנאי לעבור את הזרם הנקוב שחושב בשנאי המקורי.
זאת אומרת,תחילה נחשב זרם נקוב של כל סליל בשנאי המקורי. ולאחר מיכן נחבר את הסלילים בתצורה המבוקשת(העלאה\הורדת מתח)
שאר החישובים כמו בשנאי רגיל.

לחישוב זרמים נקובים של הסלילים בשנאי המקורי: $I_{2n} = \frac{S_n}{U_{2n}}$ $I_{1n} = \frac{S_n}{U_{1n}}$

שנאי מוריד מתח יחובר כך:

זרם נקוב בכניסה לשנאי שווה לזרם הנקוב של הסליל שהוא פוגש.
במקרה שלנו הסליל המשני בשנאי המקורי.

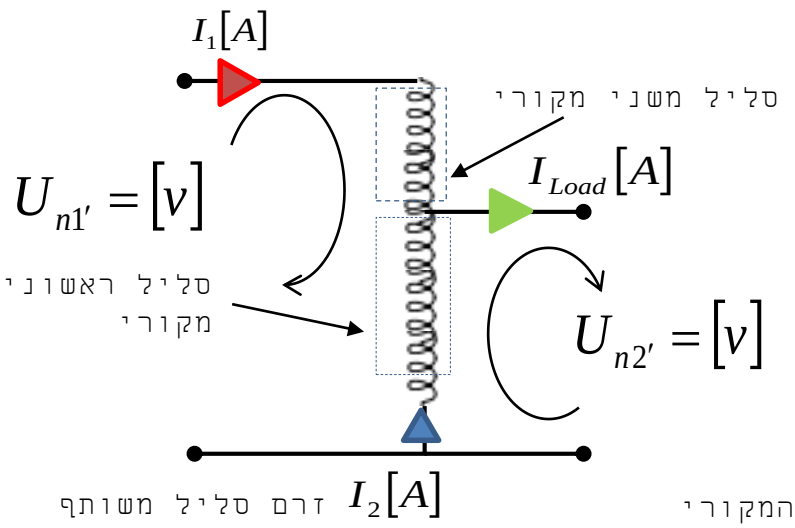
$$I_1 = I_{2n}$$

הזרם ביציאה מהשנאי שהוא הזרם הנקוב השיניוני בשנאי העצמי יחושב עם הנוסחא:

$$I_{Load} = \frac{U_{n1'} \cdot I_1}{U_{n2'}}$$

לחישוב זרם הסליל המשותף:
שהוא גם הסליל הראשוני בשנאי המקורי

$$I_2 = I_{Load} - I_1$$



חישוב הספק השנאי

$$S_n = I_1 \cdot U_{n1} = I_{Load} \cdot U_{n2}$$

שנאי מעלה מתח:

הזרם הראשוני בכניסה לשנאי יחושב:

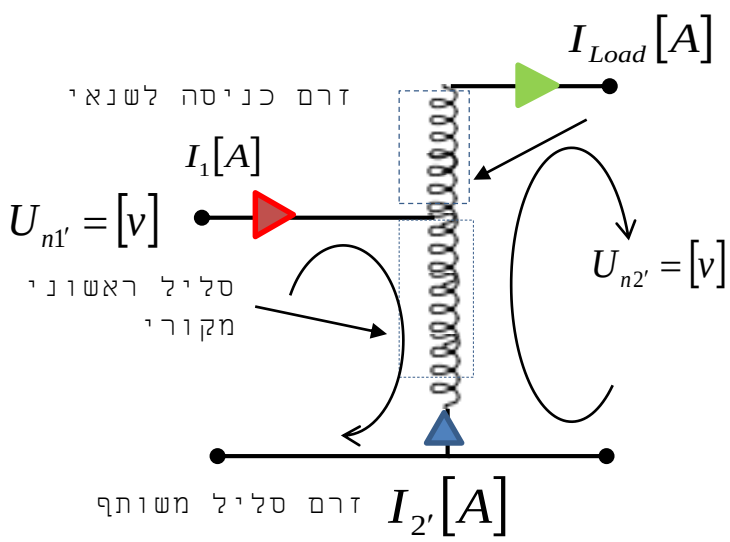
$$I_1 = I_{2'} + I_{Load}$$

הזרם השיניוני לשנאי שהוא גם זרם העומס יחושב

$$I_{Load} = \frac{U_{n1} \cdot I_1}{U_{n2}}$$

הזרם בסליל המשותף שווה לזרם הראשוני של הסליל בשנאי המקורי.

$$I_{2'} = I_{1n}$$



חישוב הספק השנאי

$$S_n = I_1 \cdot U_{n1} = I_{Load} \cdot U_{n2}$$