



מבחן גמר קורס חשמלאי מתח גבוה

מסוייג

הנחיות לנבחן,

קרא בעיון את ההנחיות לפני תחילת כתיבת המבחן. ענה על כל השאלות במחברת המבחן. אין צורך להעתיק את השאלות, אלא רק לציין את מספר השאלה ותת - הסעיף.

מבנה השאלון ומפתח הערכה:

בשאלון שלפניך שמונה שאלות. עליך לענות על חמש מהן. לכל שאלה – 20 נקודות.

משך המבחן: 3 שעות.

ציון עובר: 55.

חומר עזר מותר לשימוש:

נוסחאון, כלי שרטוט, מחשבון אישי, מדריך לחשמלאי מאת דונייבסקי, חוק החשמל ותקנות החשמל.

הנחיות מיוחדות:

1. כתוב את תשובותיך בכתב ברור ונקי.
2. בתשובותיך פרט את הדרך לפתרון, בליווי הסבר מתאים.
3. בסיום המבחן מסור את השאלון ואת המחברת למשגיח.

הערה חשובה:

קבלת שאלון הבחינה, מחברת הבחינה/דף התשובות והשימוש בהם יהוו מבחינת משרדנו אישור של ידיעת ההנחיות לשמירה על טוהר הבחינות על כל המשתמע מכך ומחויבות הנבחן לפעול בהתאם.

ההנחיות כתובות בלשון זכר, אולם מכוונות לשני המינים.

בהצלחה!

אין להעתיק לצלם, לתרגם, לאחסן במאגרי מידע,
לשדר או לקלוט בכל אמצעי אלקטרוני, אופטי,
מכני או אחר – אף חלק משאלון המבחן.
לא ייעשה שימוש מסחרי ופרסומי מכל סוג שהוא
ללא רשות בכתב ממנהל תחום הבחינות.
© כל הזכויות שמורות לתחום הבחינות.



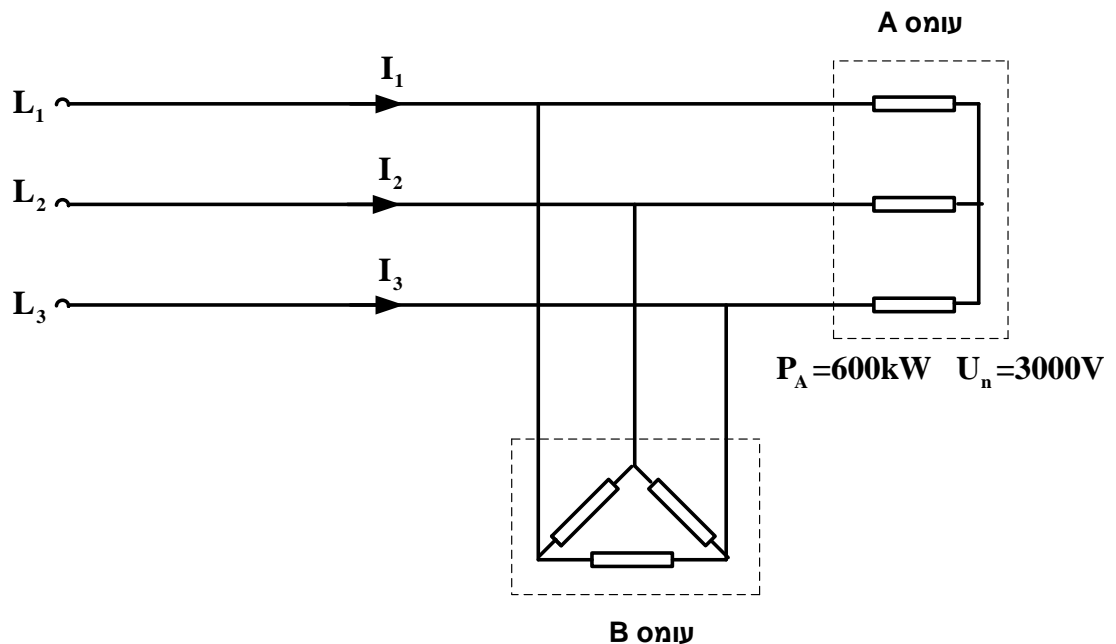
שאלה 1 (20 נקודות)

ראה תרשים מספר 1

רשת תלת- מופעי, מתח גבוה, $U_n = 3000V$, מתח שלוב, מזינה שני עומסים A ו B.

$$P_A = 600kW \quad U_n = 3000V/50 \text{ Hz} \quad \cos \varphi = 1$$

$$P_B = 1200kW \quad U_n = 3000V/50 \text{ Hz} \quad \cos \varphi = 0.85$$



$$P_B = 1200kW \quad U_n = 3000V \quad \cos \varphi = 0.85$$

תרשים מספר 1

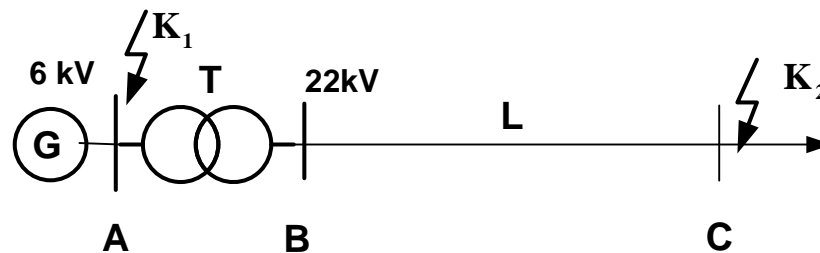
- א. חשב את הזרמים I_1, I_2, I_3 בקווי ההזנה (10 נקודות).
- ב. חשב את ההספק הכולל פעיל והגבי הנמסר ע"י המקור (5 נקודות).
- ג. חשב את מקדם ההספק שרואה המקור (5 נקודות).



שאלה 2 (20 נקודות)

ראה איור מספר 2

באיור לשאלה נתונה רשת מתח גבוה 22 kV:



איור מספר 2

- נתוני הגנרטור: $S=15 \text{ MVA}$, $U=6\text{kV}$, $u_k(x_d) = 12\%$
- נתוני השנאי: $S=20 \text{ MVA}$, $6/22 \text{ kV}$, $u_k = 10\%$
- נתוני קו מתח גבוה: $L=12 \text{ km}$, $R_0=0.2\Omega/\text{km}$, $x_0=0.3 \Omega/\text{km}$

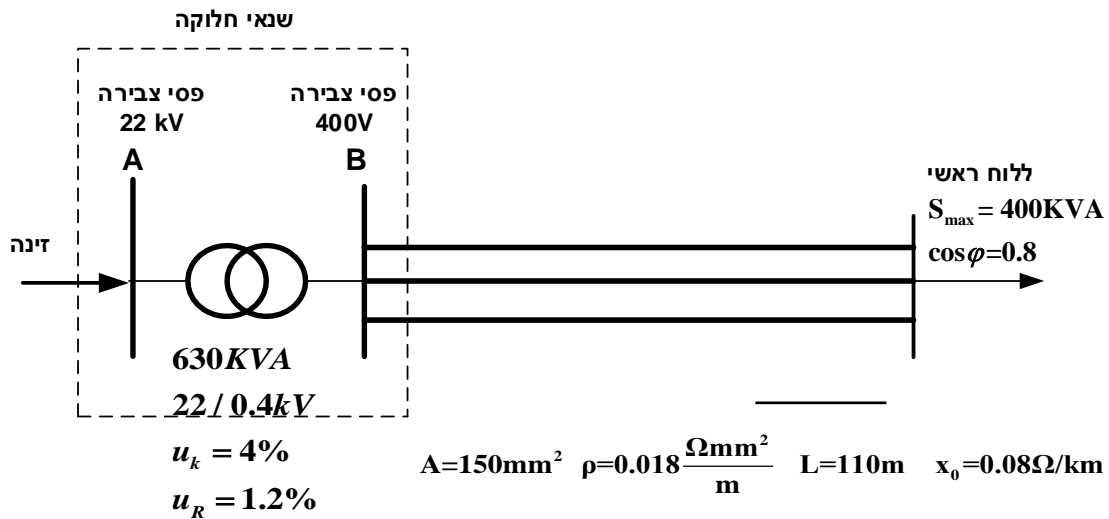
- א. חשב את ההספק הקצר בנקודה A (6 נקודות).
- ב. קבע את כושר הניתוק של הציוד בנקודה C, והסבר את הסיבה שבגללה זרם הקצר נמוך יחסית (10 נקודות).
- ג. למה יש צורך בחישוב זרם הים בלוחות החשמל (4 נקודות)?



שאלה 3 (20 נקודות)

ראה איור מספר 3

באיור לשאלה נתונה קטע מרשת חלוקה:



איור מספר 3

- א. חשב את מפל המתח בקטע BC בעומס מקסימלי, הלוח הראשי מוזן ע"י 3 כבלים עשויים מנחושת (8 נקודות).
- ב. חשב את מפל המתח בשנאי בעומס מקסימלי (8 נקודות).
- ג. קיימות שלוש דרגות מתח בבורר הידני בשנאי החלוקה:

$$U_2 = (1 + n\Delta U)U_{2n} \quad U_{2n} = 400V, \quad n = -1, 0, +1 \quad \Delta U = 5\%$$

$$U_{1n} = 21.7 \text{ kV} \quad \text{A: המתח בנקודה}$$

על איזו דרגה יש להציב את בורר המתח הידני בשנאי החלוקה, כדי לקבל $U_C = 400 \text{ V}$

(4 נקודות)?



שאלה 4 (20 נקודות)

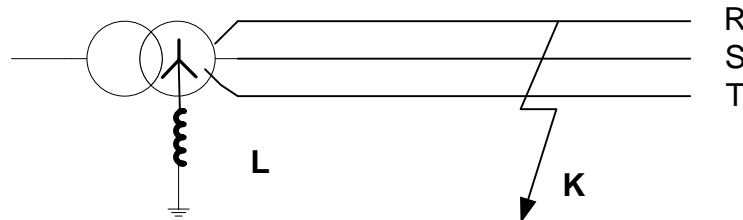
ראה איור מספר 4

רשת חלוקה המוזנת ע"י שנאי בעל נקודת ה-"אפס", מוארקת באמצעות סליל כיבוי.

נתוני הקו הם: $A=240\text{mm}^2$, $x_0=0.078 \Omega/\text{km}$, $C_0=0.18 \mu\text{F}/\text{km}$, $L_{\text{TOTAL}}=50\text{km}$.

סליל הכיבוי מכויל כך שבזמן חיבור המופע R לאדמה, הזרם במקום התקלה הוא בעל אופי השראתי וערכו: 12 A . מתח הרשת הוא: 22 kV , 50 Hz .

- א. חשב את הזרם הקיבולי במקום התקלה ואת הזרם בסליל הכיבוי, בעת חיבור חד- מופעי לאדמה (7 נקודות).
- ב. חשב את השראות סליל הכיבוי (7 נקודות).
- ג. מנה את היתרונות וחסרונות של הרשת, אם נקודת האפס מוארקת דרך סליל כיבוי (6 נקודות).



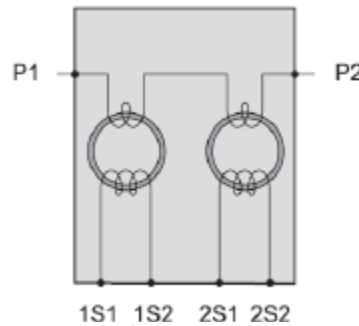
איור מספר 4



שאלה 5 (20 נקודות)

ראה איור מספר 5

באיור לשאלה נתון שלט של שנאי זרם בעל 2 ליפופים משניים:



n° 9191671		type		RCF 2 / B			
17,5/38/95		kv		50 Hz			
		norme standard		CEI - 185			
lth	25	kA	1 s	l _{dyn}	62,5	KA ext.	%
rapport ratio	norme terminale	VA	class	FS ou FLP			
150/5	1S1 - 1S2	15	0,5	7			
150/5	2S1 - 2S2	15	5P	10			

איור מספר 5

- הגדר את הנתונים הרשומים על שלט השנאי ואשר מסומנים במספרים: 5, 6, 4, 9 (5 נקודות).
- הגדר את המושגים הבאים: CLASS, ALF (5 נקודות).
- איזה מן היציאות 1S1-1S2 ו-2S1-2S2 שייכת לגרעין מדידה, ואיזו לגרעין הגנה (5 נקודות)?
- בשנאי זרם הנתון, נמדד יחס זרמים $I_1=150A$, $I_2=4.95A$.
חשב את שגיאת תמסורת הזרמים באחוזים עבור שנאי הזרם (5 נקודות).

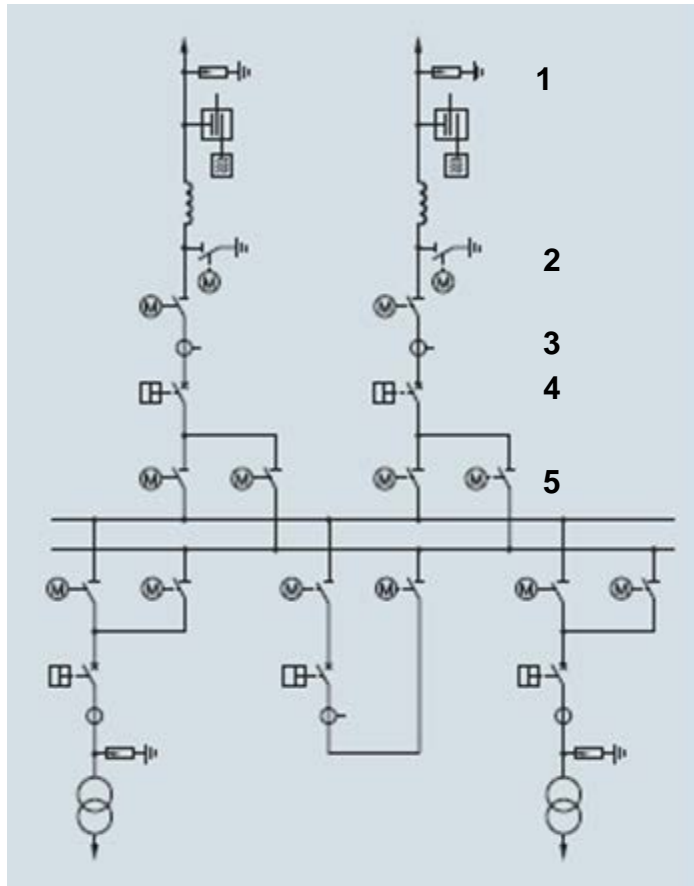


שאלה 6 (20 נקודות)

ראה איור מספר 6

באיור לשאלה 6 נתון תרשים חד-קווי של מסדר חשמלי:

- א. מה סוג המסדר ומה התכונות שלו (7 נקודות)?
- ב. מנה את היתרונות של המסדר הנ"ל (7 נקודות).
- ג. הגדר את מכלול הציוד המאפשר תפעול תקין של המעגל השייך לאותה כניסת אנרגיה (שדה חשמלי), מסומן במספרים 1–5 (6 נקודות).



איור מספר 6



שאלה 7 (20 נקודות)

- א. מנה את התנאים לחיבור שני שנאים במקביל (7 נקודות).
- ב. באיזה ממסרי הגנה מצוידים השנאים בתחנת משנה להגנה בפני (7 נקודות):
- תקלות פנימיות.
 - תקלות חיצוניות.
- ג. שני שנאים בעלי הספק של 630 kVA בחיבור **DYn11** מזינים עומס של 1200 kVA. איך מתחלק העומס בן שני השנאים (6 נקודות)?

נתוני השנאים:

$U_k \%$	U_2 kV	U_1 kV	S kVA	
4	0.4	22	630	שנאי T_1
4.4	0.4	22	630	שנאי T_2

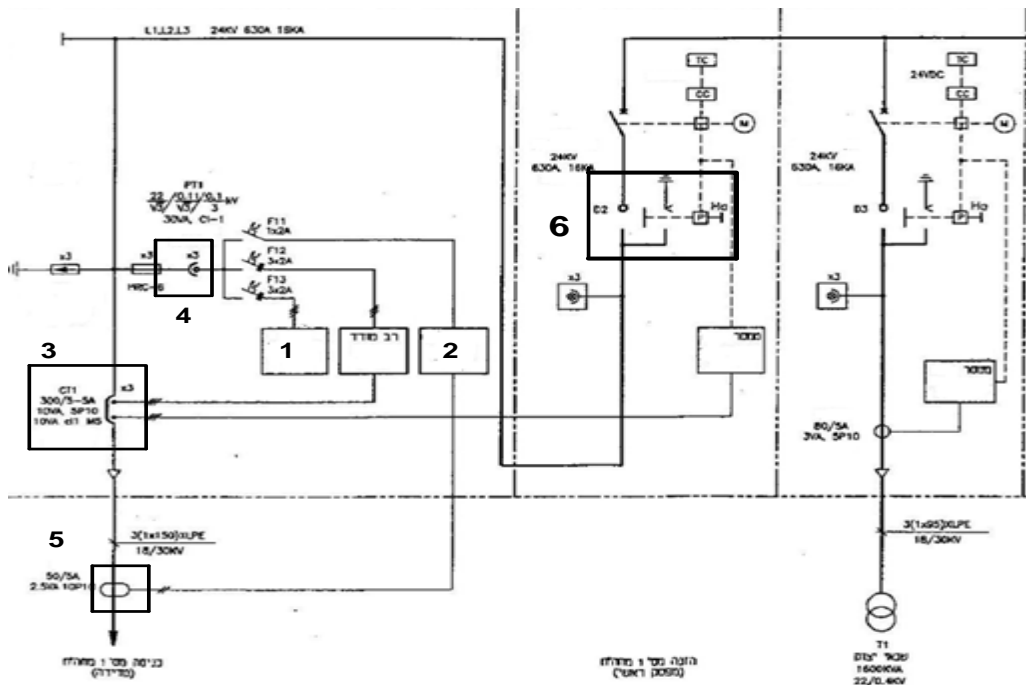


שאלה מס 8 (20 נקודות)

ראה איור מספר 8

באיור לשאלה 8 מתואר תרשים חד-קווי חלקי של תחנת השנאה.

- א. ציין מהו כל רכיב מאלה המסומנים במספרים 1 עד 5, ומה תפקידו (10 נקודות).
- ב. קבע את הערכים הנקובים המאפיינים את הרכיבים 3, 4, 5 (6 נקודות).
- ג. מהו הרכיב המסומן במספר 6, ומה תפקידו (4 נקודות)?



איור מספר 8

בהצלחה!



נוסחאון במערכות מתח גבוה

נוסחאות בסיסיות:

זרם חילופין:

חוק אום:

$$I = \frac{U}{Z}; \quad U = I \cdot Z; \quad Z = \frac{U}{I}$$

התנגדות:

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

התנגדות סגולית של מוליכים:

$$\rho_{CU} = 0.0175 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}; \quad \rho_{AL} = 0.028 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$$

הספק במערכות זרם חילופין:

$$S = U \cdot I$$

$$P = S \cdot \cos\phi = U \cdot I \cdot \cos\phi$$

$$Q = S \cdot \sin\phi = U \cdot I \cdot \sin\phi$$

מערכות תלת פאזיות:

חיבור כוכב:

$$I_L = I_{PH}$$

$$U_L = \sqrt{3} * U_{PH}$$

חיבור משולש:

$$U_L = U_{PH}$$

$$I_L = \sqrt{3} * I_{PH}$$

הספקים במערכות תלת פאזיות (באמצעות ערכים פאזיים)

$$S = 3U_{PH} * I_{PH}$$

$$P = 3U_{PH} * I_{PH} * \cos\Phi$$

$$Q = 3U_{PH} * I_{PH} * \sin\Phi$$

הספקים במערכות תלת פאזיות (באמצעות ערכים בקו)

$$S = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L$$

$$I_L = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_L}$$

$$P = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \cos\Phi$$

$$I_L = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_L \cdot \cos\Phi}$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \sin\Phi$$

$$I_L = \frac{Q}{\sqrt{3} \cdot U_L \cdot \sin\Phi}$$



שיטות טיפול בנקודת האפס:

מתח שלוב ומתח פאזי:

$$U_L = \sqrt{3} \cdot U_{PH} \quad U_{PH} = \frac{U_L}{\sqrt{3}}$$

$$I_C = 3 \cdot U_{PH} \cdot \omega \cdot C$$

$$I_C = \sqrt{3} \cdot U_{PH} \cdot \omega \cdot C$$

$$I = U_{PH} \cdot \left(3 \cdot \omega \cdot C - \frac{1}{\omega \cdot L} \right)$$

$$I_K = \frac{U_{PH}}{\sqrt{R^2 + X^2}} \quad X = X_T + X_L$$

$$Z_T \cong X_T$$

$$X_{TR} = \frac{U_{K\%} \cdot U_L^2}{100 \cdot S_n}$$

$$I_K \approx \frac{U_{PH}}{X_T + X_L}$$

זרם קיבולי בפזה המקוצרת במערכת מבודדת, במצב תקלה:

זרם קיבולי בפזות התקינות: במצב תקלה

זרם בפזה המקוצרת במערכת המכילה סליל כיבוי, במצב תקלה

זרם קצר חד פאזי במערכת המכילה נגד בנקודת הכוכב:

בשנאים גדולים:

זרם קצר לאדמה בהארקה ישירה:

שנאי מדידה:

שנאי זרם:

יחס השנאי של שנאי זרם:

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

עקבת עומס מרבית (Burden):

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

ערך מדידה מרבי של שנאי למערכות הגנה:

$$I_{2_{\max}} = I_{2_n} \cdot ALF$$

מקדם הרוויה בפועל:

$$F_a \cong ALF \times \frac{|S_{in} + S_n|}{|S_{in} + S_a|}$$

שגיאת מדידה בשנאי זרם:

$$\mathcal{E}\% = \left(\frac{Kn}{K} - 1 \right) * 100$$



שנאי מתח:

שגיאת מדידה בשנאי מתח:

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

חישוב זרמי קצר

חישוב עכבת הקצר:

כאשר רכיבים שונים ברשת נמצאים ברמות מתח שונים, יש ליחס את כל הערכים של העכבות

במסלול זרם הקצר למתח אחיד- בדרך כלל המתח בנקודת הקצר: $U_{reference} = U_2$

היחס נעשה לפי הנוסחה הבאה:

$$X_2 = X_1 \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^2 \quad R_2 = R_1 \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^2$$

$$I_K = \frac{1.1U}{\sqrt{3} \times Z_K}$$

$$Z_K = \sqrt{\Sigma R_K^2 + \Sigma X_K^2}$$



חישוב מפלי מתח

$$\Delta U = \sqrt{3} I (R_L \times \cos \varphi + X_L \times \sin \varphi)$$

Xk	Rk	נתונים	
$X_{system} = \frac{U_{system}^2}{S_k}$	ניתן להזנחה	מתח U_{system} הספק קצר S_k	רשת הזנה
$X_G = \frac{x_d''(u_k)\% \cdot U_G^2}{100 \cdot S_G}$	ניתן להזנחה	מתח U_G הספק הגנרטור S_G מתח קצר ב% u_k השראות יחסית $x_d''\%$	גנרטור
$u_k = \sqrt{u_{k-r}^2 + u_{k-x}^2}$ $X_T = \frac{u_{k-x}\% \cdot U_T^2}{100 \cdot S_T}$ $Z_T = \frac{u_k\% \cdot U_T^2}{100 \cdot S_T}$ $Z_T = \sqrt{R_T^2 + X_T^2}$	$R_T = \frac{u_{k-r}\% \cdot U_T^2}{100 \cdot S_T}$ $R_T = \Delta P_{cu} \frac{U_T^2}{S_T^2}$	U1/U2 מתח קצר $u_k\%$ הספק השנאי S_T מתח קצר אקטיבי $u_{k-r}\%$ או הפסדי הספק ΔP_{cu}	שנאי
$X_L = X_0 \cdot L$	$R_L = R_0 \cdot L$	R0 התנגדות סגולית X0 השראות סגולית L אורך הקו	קווים

$$\Delta U = \frac{P \times R + Q \times X}{U}$$

וויסות מתח ע"י שינוי דרגות השנאה

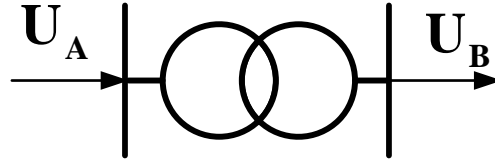
U_A מתח במהדקים בצד הראשוני של השנאי

U_B מתח הרצוי במהדקים בצד השניוני של השנאי

יחס השנאה משתנה $U_1 \pm n \times a\% / U_2$

n מספר דרגות השנאי

a גודל דרגה ב%



$$U_1 \pm n \times a_{\%} / U_2$$

לחישוב מספר הדרגות:

$$\frac{U_1 \pm n \times a_{\%}}{U_2} = \frac{U_A}{U_B + \Delta U_T}$$

אם וויסות המתח נעשה בצד המשני של השנאי

$$\frac{U_1}{U_2 \pm n \times a_{\%}} = \frac{U_A}{U_B + \Delta U_T}$$

פרמטרים של הרשתות

$R_L = R_0 \times L$	R_0 - התנגדות סגולית של המוליכים ב Ω / km
$X_L = X_0 \times L$	X_0 - הגב השראותי של המוליכים ב Ω / km
$C = C_0 \times L$	C_0 - קיבוליות הרשתות ב $\mu F / \text{km}$
	G - מוליכות הרשתות ב S
$B_L = \omega \times C_0 \times L$	B_L - מניחות הרשת



פרמטרים של שנאים

התנגדות השנאי	-	R_T	[Ω]	$R_T = \Delta P_{Cu} \cdot \frac{U_n^2}{S_n^2}$
הפסדי קצר	-	ΔP_{Cu}	[W]	
מתח נקוב של השנאי	-	U_n	[V]	$R_T = \frac{U_r\% \cdot U_n^2}{100 \cdot S_n}$
הפסק נקוב של השנאי	-	S_n	[VA]	
הרכיב הממשי של מתח הקצר (באחוזים)	-	$U_r\%$		$X_T = \frac{U_x\% \cdot U_n^2}{100 \cdot S_n}$
הרכיב ההיגבי של מתח הקצר (באחוזים)	-	$U_x\%$		
הרכיב ההיגבי של מתח הקצר (באחוזים)	-	$U_k\%$		$U_x\% = \sqrt{U_k\%^2 - U_r\%^2}$
היגב השנאי	-	X_T	[Ω]	
עכבת השנאי	-	Z_T	[Ω]	$Z_T = \sqrt{R_T^2 + X_T^2}$
מוליכות השנאי	-	G_T	[S]	
מתירות השנאי	-	Y_T	[S]	$G_T = \frac{\Delta P_{Fe}}{U_n^2}$
מניחות השנאי	-	B_T	[S]	
הפסדי ריקם	-	ΔP_{Fe}	[W]	$Y_T = \frac{I_0}{U_n} = \frac{I_0\% \cdot S_n}{100 \cdot U_n^2}$
זרם ריקם	-	I_0	[A]	
זרם ריקם (באחוזים)	-	$I_0\%$		$B_T = \sqrt{Y_T^2 - G_T^2}$

חישוב הפסדים בשנאי

$$\Delta P = 3 \times R_T \times I^2 \quad (W)$$

$$\Delta Q = 3 \times X_T \times I^2 \quad (Var)$$

$$\Delta Q_{Fe} = B_T \times U_n^2 \quad (Var)$$

הפסדי הספק בסלילים

הפסדי הספק הגבי

הפסדי הספק במעגל מגנטי

הפסדי הספק עבור מספר (N) שנאים מחוברים במקביל

$$\Delta P_0 = \Delta P_{Fe} \qquad \Delta P = N \times \Delta P_0 + \frac{1}{N} \beta_{max}^2 \times (\Delta P_{Cu})_n$$

$$\Delta P = \Delta P_0 + \beta_{max}^2 \times (\Delta P_{Cu})_n$$

הפסדי הספק בשנאי בודד