דפי נוסחאות לבחינה ב"תפעול ותחזוקת מתקני מתח גבוה"

למגמות: 4867 (מקצוע בחינה 38778), 3840 (מקצוע בחינה 38440)

רשת תלת-מופעית

זרם נצרך: $I = \frac{S}{\sqrt{3}*U}$;$I = \frac{P}{\sqrt{3}*U*\cos\varphi}$

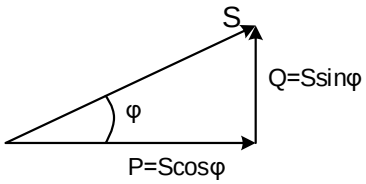
<u>הספק מדומה , הספק פעיל והספק עיוור :</u> $S = \sqrt{3}U_L I_L = 3U_{ph}I_{ph} = P + jQ \quad (VA)$

$$P = \sqrt{3}U_L I_L \cos\varphi = 3U_{ph}I_{ph}\cos\varphi = \sqrt{S^2 - Q^2} \quad (W)$$

$$Q = \sqrt{3}U_L I_L \sin\varphi = 3U_{ph}I_{ph}\sin\varphi = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (VAr)$$

<u>מקדם ההספק:</u>

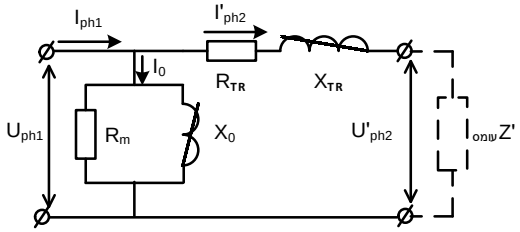
$\cos\varphi = \frac{P}{S}$ $\tan\varphi = \frac{Q}{P}$



שנאי תלת-מופעי

זרם נקוב: $I_{1n} = \frac{S_n}{\sqrt{3}U_{1n}}$; $I_{2n} = \frac{S_n}{\sqrt{3}U_{2n}}$

<u>מעגל תמורה "Γ":</u>



$$R_{TR} = R_1 + R'_2 \; ; X_{TR} = X_1 + X'_2$$

$$R'_2 = R_2\left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \; ; X'_2 = X_2\left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$$

$$R_{TR} = \frac{\Delta P_{Cu}{U_n}^2}{{S_n}^2} ; R_{TR} = \frac{U_r\%{U_n}^2}{100S_n} ; X_{TR} = \frac{U_x\%{U_n}^2}{100S_n} ; Z_{TR} = \frac{U_k\%{U_n}^2}{100S_n} ;$$

$$X_{TR} = \sqrt{{Z_{TR}}^2 - {R_{TR}}^2}$$

ΔP_{cun} – הפסדי נחושת נקובים (W);

S_n –ההספק הנקוב (VA);

U_k% –– מתח הקצר (%).

U_r% – הרכיב האקטיבי של מתח הקצר (%);

U_x% – הרכיב הריאקטיבי של מתח הקצר (%);

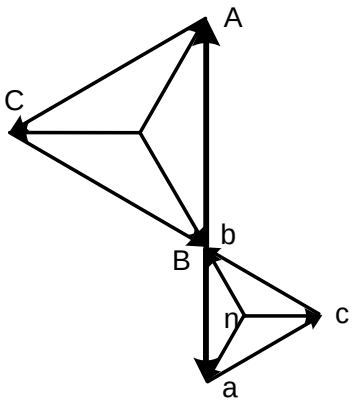
U_n – מתח נקוב בנקודת הקצר (V).

במידה ואין אפשרות לחשב את התנגדות R_{TR}, ניתן להזניחה, כאשר הספק השנאי הוא 630kVA או יותר.

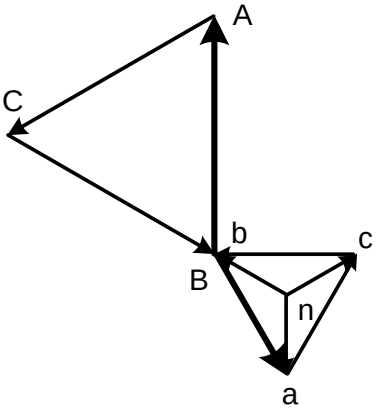
במקרה זה מניחים: $U_K\% = U_X\%$;$Z_{TR} = jX_{TR}$

נצילות שנאי: $\eta = \frac{\beta S_n \cos\varphi_2}{\beta S_n \cos\varphi_2 + \Delta P_{Fe} + \beta^2 \Delta P_{Cun}}$; מקדם העמסה: $\beta = \frac{S}{S_n}$

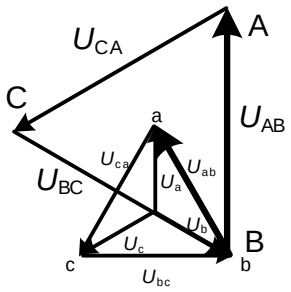
קבוצות החיבורים - דיאגרמות המחוגים:



Y/y-6



D/y-5



D/y-11

חיבור שנאים לעבודה מקבילית

העומס מתחלק בין שנאים המחוברים במקביל ביחס הפוך למתחי הקצר:

$$\beta_2 = \beta_1 \frac{U_{k1}\%}{U_{k2}\%} \qquad \frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{U_{k2}\%}{U_{k1}\%} \qquad \frac{S_1}{S_2} = \frac{S_{n1}}{S_{n2}} \times \frac{U_{k2}\%}{U_{k1}\%}$$

מקדמי העמסה כל אחד מהשנאים המחוברים במקביל לעומס משותף: $S_T = S_1 + S_2 + \ldots$

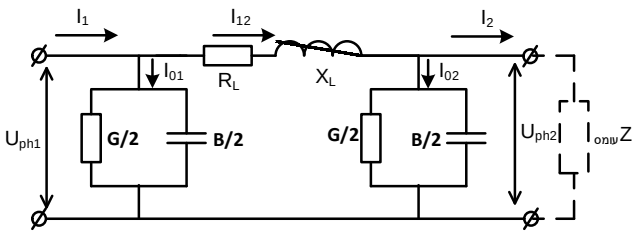
$$\beta_1 = \frac{S_T}{U_{k1}\%\left(\frac{S_{n1}}{U_{k1}\%} + \frac{S_{n2}}{U_{k2}\%} + \ldots\right)} \qquad \beta_2 = \frac{S_T}{U_{k2}\%\left(\frac{S_{n1}}{U_{k1}\%} + \frac{S_{n2}}{U_{k2}\%} + \ldots\right)}$$

$$S_i = \frac{S_{total}}{C} \cdot \frac{S_{in}}{U_{kin\%}}$$

$$S_{max} = C \cdot U_{kn\%\,min} \; ; \; C = \frac{S_{n1}}{U_{kn1\%}} + \frac{S_{n2}}{U_{kn2\%}} + \cdots + \frac{S_{ni}}{U_{kni\%}}$$

קו מתח גבוה

מעגל תמורה "Π":



$$R_L = \rho \frac{l}{A}; \qquad R_L = r_0\, l$$

$$X_L = x_0\, l$$

$$B = \frac{1}{X_C} = \omega C = \omega C_0\, l$$

כאשר: l - אורך קו (km), C_0 - קיבוליות סגולית (F/km).

חישוב מפלי המתח

מפל מתח בקו תלת-מופעי:

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U(\mathrm{V})}{U_n} \times 100 \qquad \Delta U_L = \sqrt{3}\, I \,;\left(R_L \cos\phi_2 \pm X_L \sin\phi_2\right)$$

מפל מתח על שנאי:

$$\Delta U_{TR}\% = \beta\left(U_R\% \cos\varphi_2 + U_X\% \sin\varphi_2\right)$$

חישוב זרמי קצר

זרם קצר תלת-מופעי – $I_{k3} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \times Z_k}$; עכבת הקצר: $Z_k = \sum Z$

U_n - מתח נקוב בנקודת הקצר.

היגב מערכת אספקה במתח גבוה (פסי צבירה): $X_S = \frac{U_n^2}{S_k}$

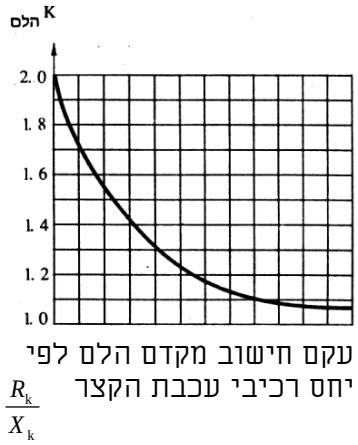
S_k – הספק הקצר של המערכת (VA): הספק הקצר המוכרז במערכת המתח הגבוה של חברת החשמל הינו 400 MVA במתח 12.6 kV, ו- 500 MVA במתחים 22 kV ו- 33 kV.

שיקוף פרמטרים של רשת למתח של אותו צד בשנאי שבו רוצים לחשב את זרם הקצר:

$Z' = Z\left(\frac{U_{2n}}{U_{1n}}\right)^2$ כאשר: U_{1n}, U_{2n} - המתחים הנקובים של השנאי.

ערך מקורב של זרם קצר ביציאות שנאי: $I_k = \frac{100 \times I_{2n}}{U_k\%}$ (בכל רמות המתח)

כאשר I_{2n} - זרם נקוב משני של השנאי.



עקם חישוב מקדם הלם לפי יחס רכיבי עכבת הקצר $\frac{R_k}{X_k}$

זרם הלם: $I_{shok} = \sqrt{2}\, I_k\, k_{shok}$

ערך מקדם ההלם k_{shok} נע בגבולות $[1 \div 2]$

מערכת עם נקודת כוכב מוארקת דרך סליל כיבוי ("סליל פטרסן")

זרם קצר קיבולי כללי בפאזה המקוצרת : $I_C = 3U_{ph}\omega C$

זרם קצר כללי עם קיזוז של הסליל כיבוי : $I_{total} = U_{ph}\left(3\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)$

מתחי יתר ברשת מתח גבוה

מתח נקוב, kV	בדיקת P.W.F., kV	בדיקת BIL (1.2/50), kV	מרחקים בין הפאזות במתקנים פנימיים, cm	מרחקים בין הפאזות במתקנים חיצוניים, cm
12.6	38	95	12	19
22	50	125	21.5	26
33	70	170	32	36

פרמטרים של מגן ברק:

מתח נקוב U_r : $U_r = \frac{U_{max}}{\sqrt{3}} \times k_e$

k_e – מקדם התלוי בשיטת הארקה של הרשת:

k_e = 1.4 ברשת עם נקודת האפס מוארקת בקשיחות

k_e = 1.73 ברשת עם שיטת הארקה אחרת

רמת ההגנה U_{VPL} של מגן ברק שווה למתח פריצתו (Voltage Protection Level)

(ערך שיא): $U_{VPL} \le \frac{U_{BIL}}{1.4}$

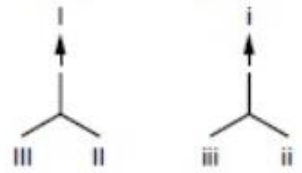
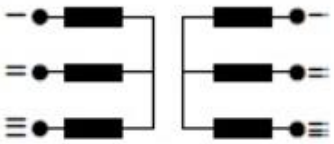
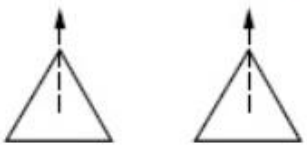
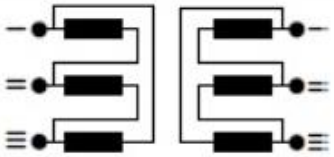
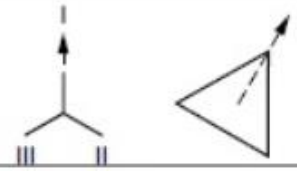
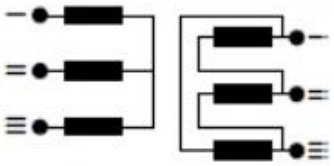
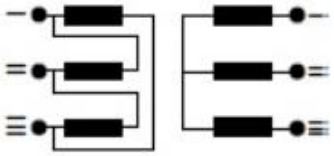
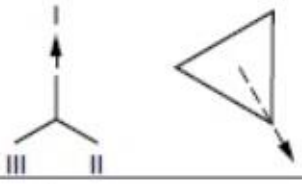
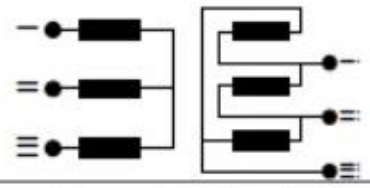
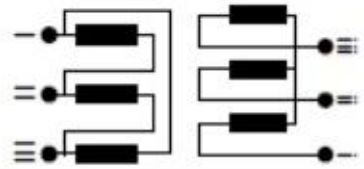
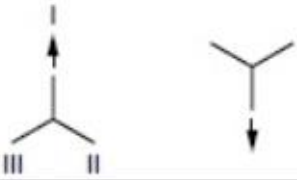
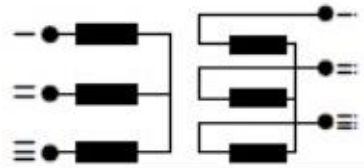
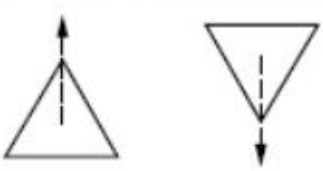
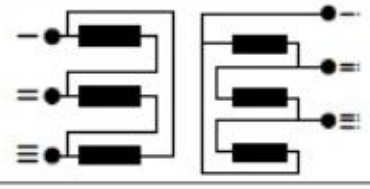
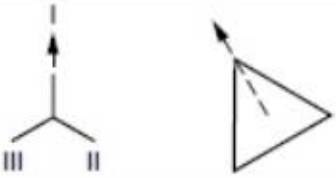
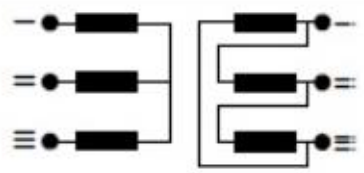
שנאי מדידה

משנה-זרם – נתונים נקובים:

- הזרם הראשוני הנקוב (primary current) I_{1n}
- הזרם המשני הנקוב (secondary current) I_{2n} : 5A או 1A.
- יחס השנאה (ratio): $\frac{I_{2n}}{I_{1n}} = \frac{N_1}{N_2}$
- סטיית הזרם , דיוק מדידה (accuracy class): $f_I = \frac{I_2 \frac{N_2}{N_1} - I_1}{I_1} \times 100\,\%$
- הספק נקוב Sn (accuracy power), ב- (VA).
- העכבה המרבית של העומס: $z_{max} = \frac{S_n}{I_{2n}^2}$
- מקדם הדיוק (accuracy limit factor ALF).

משנה מתח – נתונים נקובים:

- המתח הראשוני הנקוב (primary voltage) U_{1n}
- המתח המשני הנקוב (secondary voltage): 100V או 110V U_{2n}
- יחס השנאה (ratio): $\frac{U_{1n}}{U_{2n}} = \frac{N_1}{N_2}$
- סטיית הזרם f_I ,דיוק מדידה (accuracy class): $f_U = \frac{U_2 \frac{N_1}{N_2} - U_1}{U_1} \times 100\,\%$
- הספק נקוב Sn (accuracy power), ב- (VA).
- העכבה המינימלית של העומס: $z_{min} = \frac{U_{2n}^2}{S_n}$

Phasor symbols	Terminal markings and phase displacement diagram		Winding connections
	HV winding	LV winding	
Yy0			
Dd0			
Yd1			
Dy1			
Yd5			
Dy5			
Yy6			
Dd6			
Yd11			
Dy11	