

מערכות הספק ומתקני חשמל

הנדסאים – הנדסת חשמל

פתרון שאלון 90624, 97162 – קיץ 2025 – מועד א

פתרון שאלה 1

א. ההספק המדומה של המפעל בהנחה שבחירת כבל ההזנה מבוססת על שיקולי העמסת יתר בלבד -

$$I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3} \cdot U_L} = \frac{135 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 194.85 \text{ A}$$

$$I_n = I'_Z = 200 \text{ A}$$

הטמפרטורה האופפת של הקרקע היא 50°C ולכן,

$$K_2 = 0.82$$

ההתנגדות התרמית הסגולית של הקרקע היא 1.5 Km/W .

$$K_3 = 1.1$$

הזרם המתמיד המרבי של המוליך:

$$\frac{I'_Z}{C} = \frac{200}{0.82 \cdot 1.1} = 221.73 \text{ A}; I_Z \geq 221.73 \text{ A}$$

הזרם המתמיד המרבי מהטבלה לפי שיטת ההתקנה (טבלה 90.6) הוא 223 A שטח חתך 120 ממ^2 .

ב. שיטת ההגנה היא איפוס TN-C-S. קיים חיבור בין מוליך האפס לפס הארקות במתקן.

ג. עכבת לולאת תקלה בלוח הראשי (לוח מסוג 1) בבית המלאכה $0.19^{477^\circ} \Omega$. זווית המתח ברשת בה זרם

הקצר יהיה בעל ערך מרבי תהיה-

$$\varphi_U - \varphi_K = -90^\circ \rightarrow \varphi_U = 90^\circ - 77^\circ = 13^\circ$$

בהנחה שזווית המתח בזמן הקצר $\varphi_U = 13^\circ$, גודל זרם הקצר בפאזה L1 ברגע $t=0.01 \text{ sec}$ יהיה-

$$i = \sqrt{2} \cdot I_K \cdot \left[\sin(\omega t + \varphi_U - \varphi_K) - \sin(\varphi_U - \varphi_K) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \right]$$

$$Z_K = 0.19^{477^\circ} \Omega = 0.0427 + j0.185 \Omega$$

$$I_k = \frac{1.1 \cdot U_L}{\sqrt{3} \cdot Z_k} = \frac{1.1 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 0.19 \cdot 10^{-3}} = 1.33 \text{ kA}$$

עבור $\varphi_U - \varphi_K = -90^\circ$ וזמן $t=0.01 \text{ sec}$ גודל זרם הקצר יהיה:

$$\tau = \frac{X_K}{2\pi f R_K} = \frac{0.185}{2\pi \cdot 50 \cdot 0.0427} = 0.0138 \text{ sec}$$

$$i = \sqrt{2} \cdot 1.33 \cdot 10^3 \cdot \left[\sin\left(2\pi \cdot 50 \cdot 0.01 - \frac{\pi}{2}\right) - \sin\left(-\frac{\pi}{2}\right) \cdot e^{-\frac{0.01}{0.0138}} \right] = 2.79 \text{ kA}$$

- ד. מוליך PEN של רשת יחובר אל פס השוואת הפוטנציאלים; חיבור זה ייעשה במוליך בעל בידוד בצבע כחול עם סימון, באמצעות שרוול או כיוצא באלה, בצבע צהוב/ירוק לסירוגין בכל קצה. ניתוק מוליך ה-PEN ישפיע על לולאת התקלה בעת ניתוקו כך שבעת תקלת חשמול המסלול של זרם התקלה יהיה דרך אלקטרודת הארקה של המתקן, הארקות PEN נוספות ברשת ואלקטרודת הארקה השיטה של מקור הזינה.
- ה. הכיוון הנדרש-

$$I_r = \frac{194.85}{250} = 0.78 \rightarrow K_1 = 0.9 \rightarrow I_r = 225 \text{ A}$$
$$I_m = \frac{1.33 \cdot 10^3}{225} = 5.9 \rightarrow K_2 = 5 \rightarrow I_r = 1225 \text{ A}$$

אפשרות 3.

פתרון לשאלה 2

א. נציג זרמים בצורה קרטזית:

$$I_{ph} = \frac{U_{ph}}{Z_{ph}}$$

$$\vec{I}_1 = \frac{230^{40^\circ}}{4 + j5} = 35.9^{4-51.34^\circ} A$$

$$\vec{I}_2 = \frac{230^{4-120^\circ}}{6 + j2} = 36.36^{4-138.43^\circ} A$$

$$\vec{I}_3 = \frac{230^{4+120^\circ}}{3 - j4} = 46^{4+173.13^\circ} A$$

$$\vec{I}_N = \vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3$$

הזרם במוליך האפס:

$$\vec{I}_N = 35.9^{4-51.34^\circ} + 36.36^{4-138.43^\circ} + 46^{4+173.13^\circ} = 68.71^{4-137.23^\circ}$$

ב. נחשב את מקדם ההספק:

הספק:

$$\vec{S}_1 = \vec{I}_1^* \cdot \vec{U}_1 = 35.9^{4+51.34^\circ} \cdot 230^{40^\circ} = 8.257^{4+51.34^\circ} kVA$$

$$\vec{S}_2 = \vec{I}_2^* \cdot \vec{U}_2 = 36.36^{4+138.43^\circ} \cdot 230^{4-120^\circ} = 8.362^{4+18.43^\circ} kVA$$

$$\vec{S}_3 = \vec{I}_3^* \cdot \vec{U}_3 = 46^{4-173.13^\circ} \cdot 230^{4+120^\circ} = 10.58^{4-53.13^\circ} kVA$$

הספק כולל:

$$\vec{S}_T = \vec{S}_1 + \vec{S}_2 + \vec{S}_3 = 19.46^{4+1.88^\circ} kVA$$

מקדם ההספק:

$$\cos(1.88) = 0.99$$

מקדם ההספק של המתקן הוא 0.99.

ג. לא יתקין אדם הארקות שיטה כאשר ההגנה בפני חשמול מבוססת על-

זינה צפה, הפרד מגן ומתח נמוך מאד.

ד. שיטת ההגנה בפני חשמול שתיושם במתקן היא TN-C-S. בין שתי אותיות A-C נדרש לבצע חיבור על מנת

ליישם את השיטה. צבעו של המוליך המחבר בין הנקודות יהיה בעל בידוד בצבע כחול עם סימון, באמצעות

שרוול או כיוצא באלה, בצבע צהוב/ירוק לסירוגין בכל קצה.

ה. המתח עומס Z1 במקרה של נתק בנקודה B-

$$\vec{U}_N = \frac{\vec{I}_N}{\vec{Y}_1 + \vec{Y}_2 + \vec{Y}_3} = \frac{\vec{I}_N}{\frac{1}{\vec{Z}_1} + \frac{1}{\vec{Z}_1} + \frac{1}{\vec{Z}_1}} = \frac{68.71^{4-137.23^\circ}}{\frac{1}{6.4^{4+51.3^\circ}} + \frac{1}{6.32^{4+18.43^\circ}} + \frac{1}{5^{4-53.13^\circ}}} = 186.71^{4-135.36^\circ} V$$

$$\vec{U}_{Z1} = \vec{U}_{ph} - \vec{U}_N = 230^{40^\circ} - 186.71^{4-135.36^\circ} = 385.19^{4+19.8^\circ} V$$

מתח עומס Z1 יהיה 385.19V.

פתרון שאלה 3

א. כבל ההזנה לכל כניסה (5 גידים בכבל ההזנה) מותקן בצינור בקרקע. כאשר טמפרטורת האדמה היא 40°C וההתנגדות התרמית הסגולית של הקרקע היא 2.5 Km/W . הצינורות צמודים והם בעלי מוליכי אלומיניום ובידוד XLPE.

מקדמי התיקון:

הטמפרטורה האופפת של הקרקע היא 40°C ולכן,

$$K_2 = 0.91$$

הצינורות צמודים ולכן,

$$K_7 = 0.85$$

הזרם המתמיד המרבי של המוליך:

$$\frac{I'_Z}{C} = \frac{63}{0.91 \cdot 0.85} = 81.44 \text{ A}; I_Z \geq 81.44 \text{ A}$$

לפי טבלה 90.6 (שיטת התקנה ל') שטח החתך המסחרי המינימלי יהיה 35 ממ"ר.

ב. לפי חוק החשמל, החתך המזערי של מוליך הארקה, המותקן כולו עם יתר מוליכי המעגל כך שביכולתו לבוא במגע איתם כגון בהתקנה בצינור משותף או בתעלה סגורה, עבור 35 ממ"ר חתך מוליך מופע יהיה 16 ממ"ר.

ג. מדדו את התנגדות מוליך הארקה של מעגל ההזנה לעמדת הטעינה. התנגדות מוליך הארקה שנמדדה היא 0.34Ω .

אפשרות א'

$$R_E \leq \frac{U_{safety}}{I_{trip}}$$

$$R_E \leq \frac{50}{10 \cdot 25} = 0.2 \Omega$$

התוצאה שהתקבלה אינה תקינה.

אפשרות ב' (עבור ניתוק של עד 5 שניות)

$$R_E \leq \frac{U_{safety}}{I_{trip}}$$

$$R_E \leq \frac{50}{6.6 \cdot 25} = 0.3 \Omega$$

התוצאה שהתקבלה אינה תקינה.

ד. שיטת ההגנה של המתקן החשמלי היא שיטת TN-C-S. מלבד החיבור שתואר בפילר חברת חשמל, לא יותקן כל חיבור אחר בתוך המבנה בין מוליך האפס לבין מוליך הארקה. החשמלאי לא צודק בהצעתו. ה. פילר בעל מעטפת מתכתית נדרש בחיבור הארקה, הפילר מרוחק מהמבנה כך שאינו בתחום ההשפעה של המבנה, כך שבעת ניתוק מוליך ה-PEN יתפתח מתח בין מבנה הפילר לארקה. לכן, יש להתקין פילר בעל מעטפת מבודדת.

פתרון לשאלה 4

א. חישוב הספק של שנאי 1

$$S_1 = 250^{431.78^\circ} + 160^{425.84^\circ} + 120^{433.9^\circ} + 135^{436.87^\circ} = 663.52^{431.77^\circ} \text{ kVA}$$

מקדם ההספק של כלל המפעל הוא 0.85.

מקדם הספק נדרש:

$$\cos \varphi_2 = 0.94$$

$$\tan \varphi_2 = \tan(\cos^{-1} \varphi_2) = \tan(\cos^{-1} 0.94) = 0.363$$

$$Q_C = P_T \cdot ((\tan \varphi_1) - (\tan \varphi_2))$$

$$Q_C(400V) = 663.52 \cdot 0.85 \cdot (0.619 - 0.363) = 144.8 \text{ kVAr}$$

$$Q_C(480V) = Q_C(400V) \cdot \left(\frac{480}{400}\right)^2 = 144.8 \cdot \left(\frac{480}{400}\right)^2 = 208.5 \text{ kVAr}$$

הערך המינימלי של סוללת הקבלים עבור 480V יהיה 208.5kVAr.

מקדם העמסת השנאי יהיה-

$$\beta = \frac{S_1}{S_n} = \frac{663.52 \cdot 0.85}{\frac{0.94}{1250}} = 0.48 \rightarrow 48\%$$

מקדם העמסת השנאים יהיה 48%.

ב. גודלו המינימלי של מבטח לוח הקבלים יהיה-

$$I_n = 1.43 \cdot I_C = 1.43 \cdot \frac{Q_C(400V)}{\sqrt{3} \cdot U_L} = 1.43 \cdot \frac{144.8 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 298.8 \text{ A}$$

$$I_n = 315 \text{ A}$$

שטחי חתך המוליכים לפי טבלה 90.5 יהיו 150 ממ"ר.

ג. זרם הקצר המרבי העלול להתפתח בלוח הראשי (הזניחו את המרחק שבין השנאי ללוח החשמל).
עכבת הרשת:

$$X_{sys} = \frac{U_L^2}{S_k} = \frac{400^2}{125 \cdot 10^6} = 1.28 \cdot 10^{-3} \Omega$$

התנגדות ועכבת השנאי:

$$R_{tr} = \Delta P_k \cdot \frac{U_L^2}{S_n^2} = \frac{20,000 \cdot 400^2}{(1250 \cdot 10^3)^2} = 2.05 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$Z_{tr} = \frac{u_k(\%)}{100} \cdot \frac{U_L^2}{S_n} = \frac{7}{100} \cdot \frac{400^2}{1250 \cdot 10^3} = 8.96 \cdot 10^{-3} \Omega$$

היגב השנאי:

$$X_{tr} = \sqrt{Z_{tr}^2 - R_{tr}^2} = \sqrt{(8.96 \cdot 10^{-3})^2 - (2.05 \cdot 10^{-3})^2} = 8.72 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$Z_k = \sqrt{(2.05)^2 + (1.28 + 8.72)^2} = 10.2 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$\varphi_k = \tan^{-1} \frac{1.28 + 8.72}{2.05} \rightarrow 78.41^\circ$$

זרם הקצר המקסימלי מהזנת הרשת :

$$I_k = \frac{1.1 \cdot U_L}{\sqrt{3} \cdot Z_k} = \frac{1.1 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 10.2 \cdot 10^{-3}} = 24.9 \text{ kA}$$

ד. שטח חתך מוליך הארקה ללוח החשמל הראשי אם ידוע שמחוברים ללוח 6 מוליכי נחושת עם בידוד PVC וזמן הקצר המרבי הוא 0.5sec.

$$S = \sqrt{\frac{\left(\frac{I_k}{N}\right)^2 \cdot t}{K^2}} = \sqrt{\frac{\left(\frac{24.9 \cdot 10^3}{6}\right)^2 \cdot 0.5}{115^2}} = 25.5 \text{ mm}^2 \rightarrow 35 \text{ mm}^2$$

ה. משיקולי הפסדי הספק, האם שימוש בשנאי מס' 3 כשנאי לגיבוי בלבד עדיף מחלוקת העומסים בצורה שווה בין השנאים ספק כולל.

הפסדי שנאי 1,2 בהעמסת המתקן-

$$\Delta P = 2 \cdot (\beta^2 \cdot \Delta P_{CU} + \Delta P_{FE}) = 2 \cdot (0.48^2 \cdot 20 + 5.88) = 20.97 \text{ kW}$$

הפסדי שנאי 1,2,3 בהעמסת המתקן-

$$\Delta P = 3 \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot \beta\right)^2 \cdot \Delta P_{CU} + \Delta P_{FE} = 2 \cdot (0.48^2 \cdot 20 + 5.88) = 23.78 \text{ kW}$$

שימוש בשנאי 3 כגיבוי מועדף.

פתרון לשאלה 5

א. חישוב בנקודה B

$$S_B = 69.28^{425.84^\circ} + 92.77^{433.9^\circ} = 161.65^{430.45^\circ} \text{ kVA}$$

$$I_B = \frac{161.65 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 233.3 \text{ A}$$

מפל מתח מחושב:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot \frac{\rho \cdot l}{A} \cdot \Sigma I_a = \sqrt{3} \cdot \frac{1 \cdot 55}{58 \cdot 120} \cdot 233.3 \cdot \cos(30.45^\circ) = 2.75 \text{ V}$$

מתח בנקודה B (ביחס למופע אחר) יהיה-

$$U_B = 400 - 2.75 = 397.25 \text{ V}$$

ב. הפסדי ההספק של הרשת:

חישוב בנקודה C

$$S_C = 120^{419.95^\circ} \text{ kVA}$$

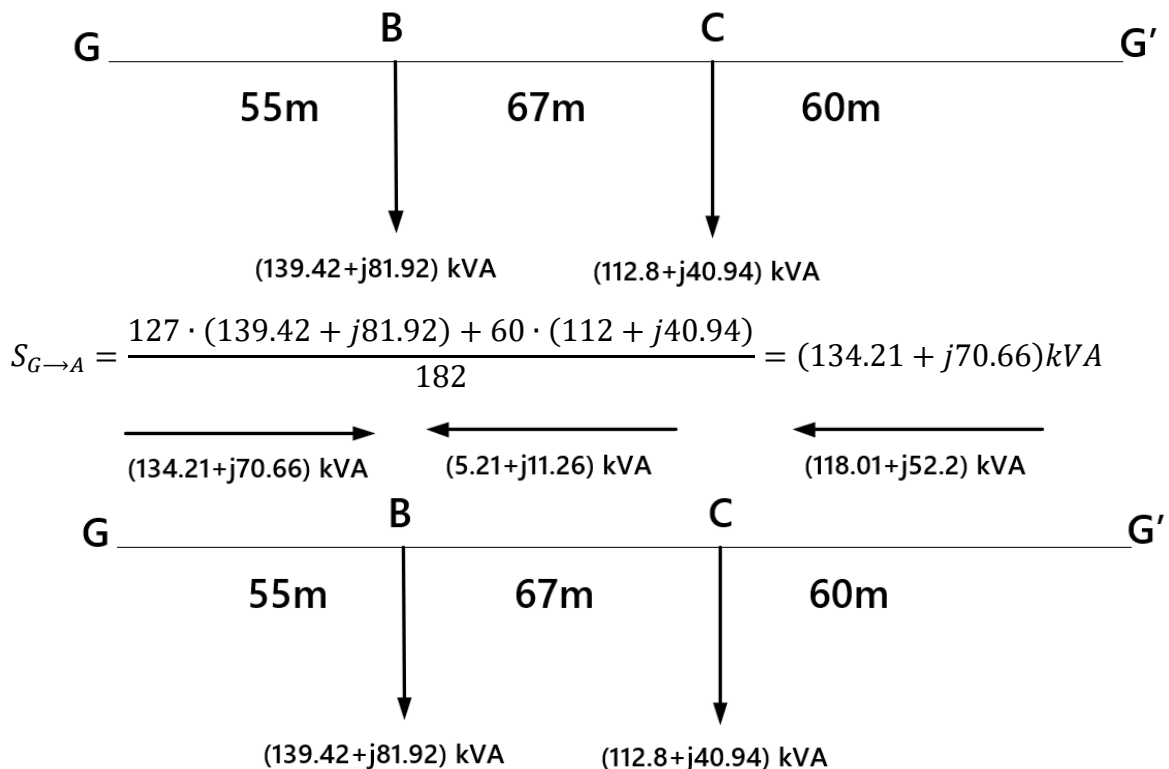
$$I_C = \frac{120 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 173.2 \text{ A}$$

הפסדי הרשת יהיו-

$$\Delta P = \frac{3 \cdot \rho}{A} \cdot (I_B^2 \cdot l_B + I_C^2 \cdot l_C) = \frac{3 \cdot 1}{58 \cdot 120} \cdot (233.3^2 \cdot 55 + 173.2^2 \cdot 60) = 2.06 \text{ kW}$$

הפסדי הרשת הם 2.06kW

ג. לאחר חיבור של מפסק SW3, המתח בנקודה B יהיה-



$$\Delta U_B = \sqrt{3} \cdot \frac{\rho \cdot l}{A} \cdot \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_L} = \sqrt{3} \cdot \frac{1 \cdot 55}{58 \cdot 120} \cdot \frac{134.21 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 2.65 V$$

מתח בנקודה B (ביחס למופע אחר) יהיה-

$$U_B = 400 - 2.65 = 397.35 V$$

ד. הפסדים עבור מפסק SW3 מופסק

$$\Delta P = \frac{3 \cdot \rho}{A} \cdot (I_B^2 \cdot l_B + I_C^2 \cdot l_C) = \frac{3 \cdot 1}{58 \cdot 120} \cdot (233.3^2 \cdot 55 + 173.2^2 \cdot 60) = 2.06 \text{ kW}$$

הפסדים עבור מפסק SW3 מחובר

$$\Delta P = \frac{3 \cdot \rho}{A} \cdot (I_B^2 \cdot l_B + I_{BC}^2 \cdot l_{BC} + I_C^2 \cdot l_C) = \frac{3 \cdot 1}{58 \cdot 120} \cdot (218.65^2 \cdot 55 + 17.9^2 \cdot 67 + 129^2 \cdot 60) = 1.57 \text{ kW}$$

הפסדי ההספק יהיו קטנים יותר כשמפסק SW3 מחובר.

ה. נניח שמפסקים SW1 ו-SW3 מחוברים ומפסק SW2 מופסק-

חישוב בנקודה B

$$S_A = 69.28^{425.84^\circ} + 92.77^{433.9^\circ} + 120^{419.95^\circ} = 280.5^{425.98^\circ} \text{ kVA}$$

$$I_A = \frac{280.5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 404.86 \text{ A}$$

$$J_A = \frac{I}{S} = \frac{404.86}{120} = 3.37 \text{ A/mm}^2$$

בהתאם לצפיפות זרם בנחושת של 2.2 A/mm^2 המצב שתואר לא אפשרי מהיבט העמסת יתר

פתרון לשאלה 6

א. לפי אמות המידה של רשות החשמל, הספק המנוע הנדרש בהתקן התנעה יהיה 2.5kW למנוע חד מופעי ו- 3.7kW למנוע תלת מופעי. מטרת התקן ההתנעה להקטין את זרם ההתנעה ולמנוע שקיעת מתח בקו ההזנה עבור התנעת המנוע וצרכנים נוספים המחוברים לקו ההזנה. שיטות מוכרות להתנעה הן כוכב-משולש, שנאי עצמי, התנעה רכה וווסת מהירות.

ב. מנתק הארקה. תפקיד מנתק הארקה לבצע חיבור של המתקן המתוחזק להארקה וכך לאפשר ביצוע תחזוקה בצורה בטוחה.

ג. זרם הקצר התלת-מופע המרבי בנקודה A-

ערכי של עכבת הקצר:

רשת החשמל-

$$X_k = \frac{U_L^2}{S_n} = \frac{400^2}{500 \cdot 10^6} = 0.32 \text{ m}\Omega$$

כבל מתח גבוה-

$$R_{MV} = \frac{\rho \cdot L_{MV}}{S} = \frac{0.0285 \cdot 100}{185} = 15.4 \text{ m}\Omega$$

נבצע שיקוף לנקודת הקצר:

$$R_{MV} \cdot \left(\frac{400}{33000}\right)^2 = 2.26 \cdot 10^{-3} \text{ m}\Omega$$

$$X_{MV} = L_{MV} \cdot x_0 = 100 \cdot 0.095 = 9.5 \text{ m}\Omega$$

נבצע שיקוף לנקודת הקצר:

$$X_{MV} \cdot \left(\frac{400}{33000}\right)^2 = 1.4 \cdot 10^{-3} \text{ m}\Omega$$

עכבת השנאי

$$X_{tr} = \frac{u_{k.r}(\%)}{100} \cdot \frac{U_L^2}{S_n} = \frac{7}{100} \cdot \frac{400^2}{1600 \cdot 10^3} = 7 \text{ m}\Omega$$

עכבת כבל המתח הנמוך 1

$$R_1 = \frac{\rho \cdot L_{LV}}{S} = \frac{0.018 \cdot 50}{7 \cdot 300} = 0.43 \text{ m}\Omega$$

$$X_1 = L_{LV} \cdot x_0 = \frac{50}{7} \cdot 0.08 \cdot 10^{-3} = 0.57 \text{ m}\Omega$$

עכבת כבל המתח הנמוך 2

$$R_2 = \frac{\rho \cdot L_{LV}}{S} = \frac{0.018 \cdot 40}{150} = 4.8 \text{ m}\Omega$$

$$X_2 = L_{LV} \cdot x_0 = 40 \cdot 0.08 \cdot 10^{-3} = 3.2 \text{ m}\Omega$$

עכבת הקצר:

$$Z_{eq} = \sqrt{(R_{MV} + R_1 + R_2)^2 + (X_k + X_{MV} + X_{tr} + X_1 + X_2)^2}$$

$$Z_{eq} = \sqrt{(0.002 + 0.43 + 4.8)^2 + (0.32 + 0.001 + 7 + 0.57 + 3.2)^2}$$

$$Z_k = 12.26 \text{ m}\Omega$$

זרם הקצר התלת פאזי התמיד המרבי מהזנת הרשת בנקודה A:

$$I_k = \frac{1.1 \cdot U_L}{\sqrt{3} \cdot Z_{eq}} = \frac{1.1 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 12.26 \cdot 10^{-3}} = 20.72 \text{ kA}$$

ערך הפסגה של זרם הקצר-

מקדם ההלם יהיה:

$$K = \frac{R}{X} = \frac{0.002 + 0.43 + 4.8}{0.32 + 0.001 + 7 + 0.57 + 3.2} = 0.47 \rightarrow K \approx 1.25$$

ערך הפסגה של זרם הקצר:

$$I_p = \sqrt{2} \cdot K \cdot I_k = \sqrt{2} \cdot 1.25 \cdot 20.72 = 36.63 \text{ kA}$$

ד. נבדוק את התקנת פס צבירה BB2 בהתאם לטבלה המצורפת מהיבט של כוחות אלקטרו-

דינאמיים ותדירות טבעית.

התדירות הטבעית של הפס עבור התקנה במאונך-

מומנט האינרציה

$$J = \frac{b^3 \cdot h}{12} = \frac{0.5^3 \cdot 4}{12} = 0.0416 \text{ cm}^4$$

$$f_0 = \frac{112}{L^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J}{G}} = \frac{112}{33^2} \cdot \sqrt{\frac{1.1 \cdot 10^6 \cdot 0.0416}{8.9 \cdot 10^{-3} \cdot 0.5 \cdot 4}} = 164.9 \text{ Hz}$$

מומנט ההתנגדות במצב מאונך:

$$W = \frac{b^2 \cdot h}{6} = \frac{0.5^2 \cdot 4}{6} = 0.16 \text{ cm}^3$$

מאמץ הכפיפה-

$$\sigma = \frac{1.76 \cdot I_{shok}^2 \cdot L^2}{12 \cdot W \cdot d \cdot 100} = \frac{1.76 \cdot 36.63^2 \cdot 33^2}{12 \cdot 0.16 \cdot 5 \cdot 100} = 2678 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

מאמץ הכפיפה גדול מהערך המותר, ההתקנה אינה תקינה.

ה. גודל סוללת הקבלים הנדרשת לשיפור מקדם ההספק בפס BB2 ל-0.93 -

$$P_1 = \frac{\beta \cdot P_n}{\eta} = \frac{0.75 \cdot 45}{0.87} = 38.8 \text{ kW} \rightarrow Q_1 = P_1 \cdot \tan \varphi = 38.8 \cdot 0.67 = 26 \text{ kVAr}$$

$$P_2 = \frac{\beta \cdot P_n}{\eta} = \frac{1 \cdot 34}{0.81} = 41.97 \text{ kW} \rightarrow Q_2 = P_2 \cdot \tan \varphi = 41.97 \cdot 0.8 = 33.57 \text{ kVAr}$$

$$\tan \varphi = \frac{26 + 33.57}{38.8 + 41.97} = 0.737$$

$$\cos \varphi_2 = 0.93 \rightarrow \tan \varphi_2 = 0.395$$

$$Q_c = P \cdot (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) = (38.8 + 41.97) \cdot (0.737 - 0.395) = 27.6 \text{ kVAr}$$

מערכת קבלים נדרשת להיות אוטומטית עם בקר לשיפור מקדם ההספק עבור דרגות שונות.

פתרון לשאלה 7

א. ההספק בנקודה A (יש להתחשב בהפסדים)

זרם קיבולי לפאזה

$$I_C = \frac{U_L}{\sqrt{3}} \cdot 2\pi f C = \frac{22 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot (0.2 \cdot 10^{-6} \cdot 30 + 0.01 \cdot 10^{-6} \cdot 15) = j24.5 \text{ A}$$

$$Q_C = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_C = \sqrt{3} \cdot 22 \cdot 10^3 \cdot 24.5 = 0.93 \text{ MVA}$$

זרם מחושב במעגל

$$I_C = \frac{10 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 22 \cdot 10^3} = 262.4 \text{ A}$$

הפסדי קו

$$\Delta P = 3 \cdot 0.15 \cdot (I_1^2 \cdot l_1 + I_2^2 \cdot l_2 + I_3^2 \cdot l_3) = 3 \cdot 0.15 \cdot 262.4^2 \cdot (15 + 14 + 16) = 1.4 \text{ MW}$$

הספק השראתי של הרשת העילית

$$Q = 3 \cdot 0.4 \cdot (I_1^2 \cdot l_1 + I_2^2 \cdot l_2 + I_3^2 \cdot l_3) = 3 \cdot 0.4 \cdot 262.4^2 \cdot (3 + 12) = 1.24 \text{ MW}$$

הספקי עומסים

$$P = S \cdot \cos \varphi = 10 \cdot 10^6 \cdot 0.8 = 8 \text{ MW}$$

$$Q = S \cdot \sin \varphi = 10 \cdot 10^6 \cdot 0.6 = 6 \text{ MVAr}$$

הספק בנקודה A-

$$S = \sqrt{(8 + 8 + 8 + 1.4)^2 + (6 + 6 + 6 + 1.24 - 0.93)^2} = 31.31 \text{ MVA}$$

ב. במצב קצר חד פאזי בין פאזה L3 לאדמה במעגל 2 (כמתואר באיור), גודל זרם התקלה יהיה-

נחשב את גודל הנגד

$$Z_{tr} = X_{tr} = \frac{u_k(\%)}{100} \cdot \frac{U_L^2}{S_n} = \frac{15}{100} \cdot \frac{22000^2}{45 \cdot 10^6} = 1.61 \Omega$$

$$R = \sqrt{\left(\frac{U_L}{\sqrt{3} \cdot I_k}\right)^2 - X_{tr}^2} = \sqrt{\left(\frac{22000}{\sqrt{3} \cdot 150}\right)^2 - 1.61^2} = 84.66 \Omega$$

עכבת הקו תהיה

$$R_{cable} = r_0 \cdot l = 0.15 \cdot 14 = 2.1 \Omega$$

עכבת הקצר:

$$Z_k = \sqrt{(84.66 + 2.1)^2 + (1.61)^2} = 86.75 \Omega$$

$$I_{k.R} = \frac{1.1 \cdot U_L}{\sqrt{3} \cdot Z_k} = \frac{1.1 \cdot 22000}{\sqrt{3} \cdot 86.75} = 161 \text{ A}$$

זרם תקלה קיבולי

$$I_{C.f} = 3 \cdot \frac{U_L}{\sqrt{3}} \cdot 2\pi f C = 3 \cdot 24.5 = j73.5 \text{ A}$$

זרם קצר-

$$I_k = \sqrt{I_{k.R}^2 + I_{C.f}^2} = \sqrt{161^2 + 73.5^2} = 177 \text{ A}$$

ג. יחס ההשנאה של שנאי הזרם המסכם CTΣ יהיה 150-250/5 A או 150-250/1 A.

ד. מצב קצר דו-פאזי בין פאזה L3 לפאזה L1 במעגל 2 (כמתואר באיור), שנאי זרם CT2 יזהה את התקלה

המתוארת.

פתרון שאלה 8

א. שיטות ההגנה המתאפשרת בעמודי תאורה יהיו TN-S, TNC-S, TT, זינה צפה, הפרד מגן, מפסק מגן כהגנה בלעדית בפני זרם דלף, בידוד מגן ומתח נמוך מאוד.

ב. נחשב את רמת ההארה בנקודה A

שטף האור לנורה

$$\varphi = P \cdot \eta_E = 400 \cdot 150 = 60000 \text{ Lm}$$

$$I_\alpha = \frac{\varphi}{2 \cdot \pi} = \frac{60000}{2 \cdot \pi} = 9549.3 \text{ Cd}$$

עמודים 2,3

$$\tan \alpha = \frac{7.5}{8} = 0.9375 \rightarrow \alpha = 43.15^\circ$$

$$E_2 = \frac{4 \cdot I_\alpha \cdot \cos^3 \alpha}{h^2} = \frac{4 \cdot 9549.3 \cdot \cos^3 43.15}{8^2} = 231.76 \text{ lux}$$

עמוד 1

$$\tan \alpha = \frac{22.5}{8} = 2.81 \rightarrow \alpha = 70.4^\circ$$

$$E_1 = \frac{4 \cdot I_\alpha \cdot \cos^3 \alpha}{h^2} = \frac{4 \cdot 9549.3 \cdot \cos^3 70.4}{8^2} = 22.53 \text{ lux}$$

רמת הארה בנקודה A תהיה-

$$E_A = 2 \cdot E_2 + E_1 = 2 \cdot 231.76 + 22.53 = 486.05 \text{ lux}$$

ג. רמת הארקה בנקודה B-

עמוד 1

$$\tan \alpha = \frac{15}{8} = 1.875 \rightarrow \alpha = 61.9^\circ$$

$$E_1 = \frac{4 \cdot I_\alpha \cdot \cos^3 \alpha}{h^2} = \frac{4 \cdot 9549.3 \cdot \cos^3 61.9}{8^2} = 62.19 \text{ lux}$$

עמוד 2

$$\tan \alpha = \frac{21.21}{8} = 2.65 \rightarrow \alpha = 69.33^\circ$$

$$E_2 = \frac{4 \cdot I_\alpha \cdot \cos^3 \alpha}{h^2} = \frac{4 \cdot 9549.3 \cdot \cos^3 69.33}{8^2} = 26.23 \text{ lux}$$

עמוד 3

$$\tan \alpha = \frac{33.54}{8} = 4.19 \rightarrow \alpha = 76.58^\circ$$

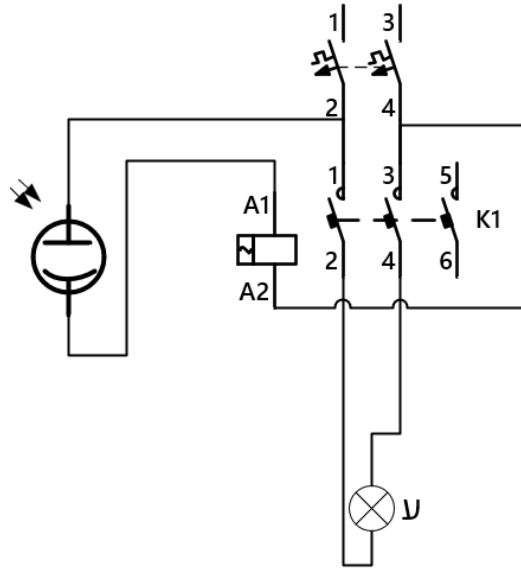
$$E_3 = \frac{4 \cdot I_\alpha \cdot \cos^3 \alpha}{h^2} = \frac{4 \cdot 9549.3 \cdot \cos^3 76.58}{8^2} = 7.45 \text{ lux}$$

רמת הארה בנקודה B תהיה-

$$E_A = E_1 + E_2 + E_3 = 62.19 + 26.23 + 7.45 = 95.87 \text{ lux}$$

ד. נדרש מפסק דו-קוטבי.

ה. סרטוט סכמה חשמלית של מעגל תאורה הפועל בהתבסס על התקן פוטו-צל (Photo cell)-



© כל הזכויות שמורות למה"ט