

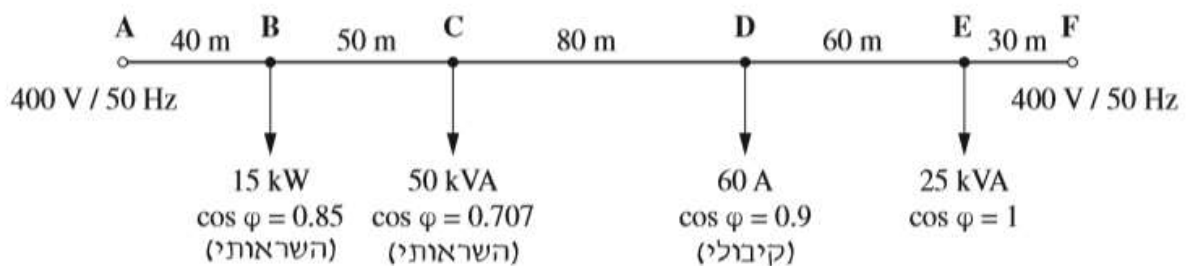
רשתות ובחירת שטחי חתך

אביב 2018 שאלה 2:

באיור לשאלה 2 נתונה רשת תלת-מופעית. הרשת מוזנת בנקודות A ו-F במתחים זהים של $400 \text{ V} / 50 \text{ Hz}$ בעלי מופעים זהים.

נתונים:

- מוליכי הרשת עשויים נחושת.
- ההיגב ההשראותי למופע (פאזה) ליחידת אורך הוא $X_0 = 0.1 \frac{\Omega}{\text{km}}$.
- שטח החתך של מוליכי הרשת הוא אחיד, וערכו 25 mm^2 .



איור לשאלה 2

- א. חשב את הזרם בכל אחד ממקטעי הרשת (EF, DE, CD, BC, AB). רשום את תשובתך בהצגה קרטזית.
- הערה: בחישוב הזרמים של הצרכנים הנח מתח של 400 V .
- ב. קבע באמצעות חישוב באיזו נקודה יתקבל המתח המזערי ברשת. חשב את ערכו של מתח זה.
- ג. חשב את הפסדי ההספק הממשיים ברשת בין הנקודות B ו-F.
- ד. מקטינים את שטח החתך האחיד ברשת ב-30%. האם מפלי המתח ברשת ישתנו באותו שיעור? נמק את תשובתך.

פתרון אביב 2018 שאלה 2:

א.

נחשב את זרם $\bar{I}_B$ על פי:

$$\bar{I}_B = \frac{P_B}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi}$$

מכאן:

$$\bar{I}_B = \frac{15 \times 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.85} = 25.47 \angle -31.79^\circ = (21.65 - j13.42) \text{ A}$$

נחשב את זרם $\bar{I}_C$ על פי:

$$\bar{I}_C = \frac{S_C}{\sqrt{3} \cdot U}$$

מכאן:

$$\bar{I}_C = \frac{50 \times 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 72.17 \angle -45^\circ = (51.03 - j51.03)A$$

נחשב את זרם $\bar{I}_D$ על פי:

$$\bar{I}_D = 60 \angle 25.84^\circ = (54 + j26.16)A$$

נחשב את זרם $\bar{I}_E$ על פי:

$$\bar{I}_E = \frac{S_C}{\sqrt{3} \cdot U}$$

מכאן:

$$\bar{I}_E = \frac{25 \times 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 36.08 \angle 0^\circ = (36.08 + j0)A$$

נחשב את $\bar{I}_{A-B}$ על פי נוסחת "המומנטים":

$$\bar{I}_{A-B} = \frac{\bar{I}_B \cdot (L_{B-F}) + \bar{I}_C \cdot (L_{C-F}) + \bar{I}_D \cdot (L_{D-F}) + \bar{I}_E \cdot (L_{E-F})}{L_{A-F}}$$

מכאן:

$$\bar{I}_{A-B} = \frac{(25.47 \angle -31.79^\circ \cdot 220) + (72.17 \angle -45^\circ \cdot 170) + (60 \angle 25.84^\circ \cdot 90) + (36.08 \angle 0^\circ \cdot 30)}{40 + 50 + 80 + 60 + 30}$$

$$\bar{I}_{A-B} = 82.64 \angle -25.57^\circ = (74.54 - j35.67)A$$

נחשב את זרמי הקטעים על פי קירכהוף:

$$\bar{I}_{B-C} = \bar{I}_{A-B} - \bar{I}_B = 82.64 \angle -25.57^\circ - 25.47 \angle -31.79^\circ = (52.89 - j22.25)A$$

$$\bar{I}_{C-D} = \bar{I}_{B-C} - \bar{I}_C = 57.38 \angle -22.82^\circ - 72.17 \angle -45^\circ = (1.86 + j28.78)A$$

$$\bar{I}_{D-E} = \bar{I}_{C-D} - \bar{I}_D = 28.84 \angle 86.3^\circ - 60 \angle 25.84^\circ = (-52.14 + j2.63)A$$

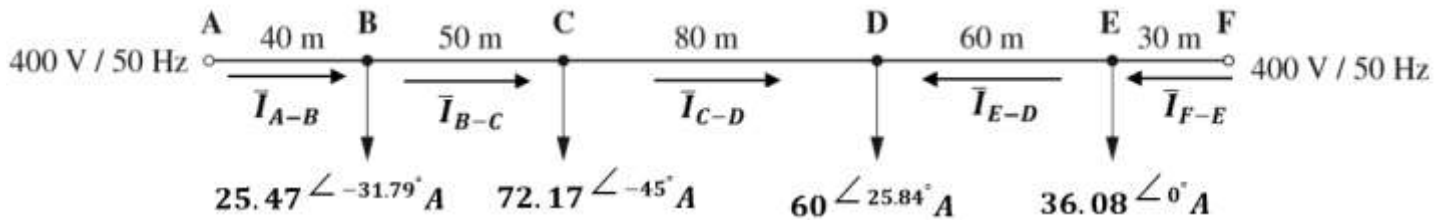
ניתן לראות כי החלק הממשי של הזרם עם סימן שלילי, לכן יש להפוך את כיוון הזרם, מכאן נקבל כי:

$$\bar{I}_{E-D} = \bar{I}_D - \bar{I}_{C-D} = 60 \angle 25.84^\circ - 28.84 \angle 86.3^\circ = (52.14 - j2.63)A$$

$$\bar{I}_{F-E} = \bar{I}_{E-D} + \bar{I}_E = 52.21 \angle -2.89^\circ + 36.08 \angle 0^\circ = (88.22 - j2.63)A$$

ב.

נתבונן בשרטוט הבא:



מתח מזערי מתקבל בנקודת השפך (המגש). על פי השרטוט ניתן לראות כי נקודת השפך היא נקודה D.

נחשב את המתח בנקודה D על פי:

$$U_D = U_F - \Delta U_{(F-D)}$$

נחשב את מפל המתח $\Delta U_{(F-D)}$ על פי:

$$\Delta U_{(F-D)} = \Delta U_{a(F-D)} + \Delta U_{r(F-D)}$$

נחשב מפל מתח מרבי ממשי $\Delta U_{a(F-D)}$ על פי:

$$\Delta U_{a(F-D)} = \frac{\sqrt{3}}{\gamma \cdot A} \cdot \sum_{k=F}^{k=D} (I_a \cdot L_k)$$

מכאן:

$$\Delta U_{a(F-D)} = \frac{\sqrt{3}}{57 \cdot 25} \cdot [(88.22 \cdot 30) + (52.14 \cdot 60)] = 7.02(V)$$

נחשב מפל מתח מרבי היגבי $\Delta U_{r(F-D)}$ על פי:

$$\Delta U_{r(F-D)} = \sqrt{3} \cdot X_o \cdot \sum_{k=F}^{k=D} (I_r \cdot L_k)$$

מכאן:

$$\Delta U_{r(F-D)} = \sqrt{3} \cdot \frac{0.1}{1000} \cdot [(2.63 \cdot 30) + (2.63 \cdot 60)] = 0.04(V)$$

לכן:

$$\Delta U_{(F-D)} = 7.02 + 0.04 = 7.06(V)$$

נחשב את המתח בנקודה D:

$$U_D = 400 - 7.06 = 392.94(V)$$

$$U_D = 392.94(V)$$

ג.

נחשב את איבוד הספק בקטע $B - E$ על פי:

$$\Delta P_{(B-E)} = \frac{3}{\gamma \cdot A} \cdot \sum_{k=B}^{k=E} (I_K^2 \cdot L_K)$$

מכאן:

$$\Delta P_{(B-E)} = \frac{3}{57 \cdot 25} \cdot [(57.38^2 \cdot 50) + (28.84^2 \cdot 80) + (52.21^2 \cdot 60)] = 831(W)$$

$$\Delta P_{(B-E)} = 831(W)$$

ד.

אם מקטינים את שטח החתך, מפל מתח האקטיבי (ממשי) יגדל אך מפל מתח הריאקטיבי (היגבי) לא יושפע כלל.

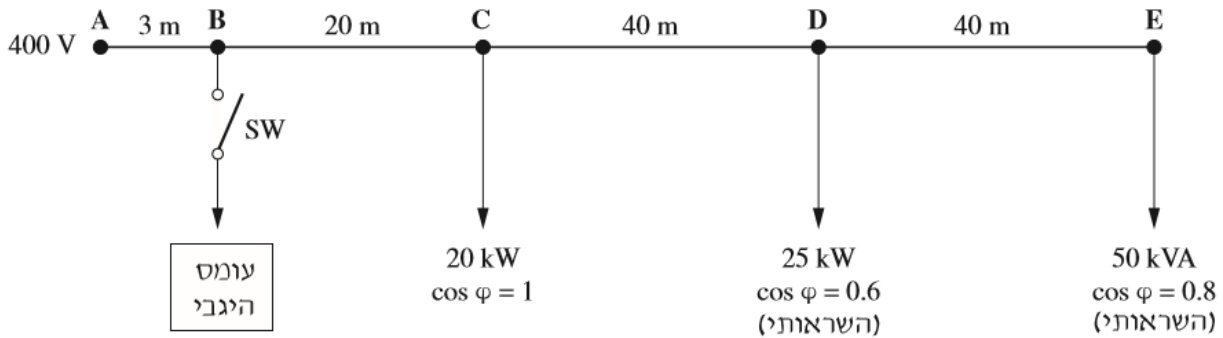
נחשב את אחוז השינוי של מפל מתח האקטיבי:

$$\frac{1}{0.7} = 1.42$$

כלומר מפל מתח האקטיבי יקטן ב 42% ולא ב 30%.

אביב 2019 שאלה 1:

באיור לשאלה 1 נתון קו חלוקה תלת-מופעי בעל מתח נקוב של $400 \text{ V} / 50 \text{ Hz}$. הקו מוזן בנקודה A. מוליכי הקו עשויים אלומיניום $\gamma = 35 \left[\frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2} \right]$ וההיגב ההשראותי שלהם ליחידת אורך הוא $X_0 = 0.2 \Omega/\text{km}$.



איור לשאלה 1

המפסק SW פתוח.

א. (10 נק') חשב את שטח החתך התקני האחיד של מוליכי הקו, הנדרש כדי להבטיח מפל מתח מרבי של 3% מהמתח הנקוב של הקו.

ב. (5 נק')

1. (2.5 נק') חשב את מקדם ההספק של הרשת כלפי המקור.

2. (2.5 נק') האם מקדם ההספק עונה על דרישת רשות החשמל? נמק את תשובתך.

סוגרים את המפסק SW, ומוסיפים עומס היגבי טהור.

ג. (10 נק') רשום במחברתך מה צריכים להיות ההספק המזערי ואופיו של העומס המחובר לנקודה B כדי לעמוד בדרישת רשות החשמל?

פתרון אביב 2019 שאלה 1:

א.

מפסק SW פתוח.

נחשב את זרמי הצרכנים:

$$\bar{I}_C = \frac{P_C}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{20 \times 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 1} = 28.87 \angle 0^\circ (\text{A})$$

$$\bar{I}_D = \frac{P_D}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{25 \times 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.6} = 60.14 \angle -53.13^\circ (\text{A})$$

$$\bar{I}_E = \frac{S_E}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{50 \times 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 72.17 \angle -36.87^\circ (\text{A})$$

נחשב את הזרמים הקווים על פי חוקי קירכהוף:

$$\bar{I}_{D-E} = \bar{I}_E = 72.17 \angle -36.87^\circ = (57.74 - j43.3) A$$

$$\bar{I}_{C-D} = \bar{I}_{D-E} + \bar{I}_D = 72.17 \angle -36.87^\circ + 60.14 \angle -53.13^\circ = (93.82 - j91.41) A$$

$$\bar{I}_{A-C} = \bar{I}_{C-D} + \bar{I}_C = 131 \angle -44.26^\circ + 28.87 \angle 0^\circ = (122.69 - j91.41) A$$

על פי נתוני התרגיל:

$$\Delta U = \frac{3}{100} \cdot 400 = 12(V)$$

נחשב מפל מתח מרבי היגבי $\Delta U_{r(A-E)}$ על פי:

$$\Delta U_{r(A-E)} = \sqrt{3} \cdot X_o \cdot \sum_{k=A}^{k=E} (I_r \cdot L_k)$$

מכאן:

$$\Delta U_{r(A-E)} = \sqrt{3} \cdot \frac{0.2}{1000} \cdot [(91.41 \cdot 23) + (91.41 \cdot 40) + (43.3 \cdot 40)] = 2.59(V)$$

נחשב מפל מתח מרבי ממשי ΔU_a על פי:

$$\Delta U_{a(A-E)} = \Delta U - \Delta U_{r(A-E)}$$

מכאן:

$$\Delta U_{a(A-E)} = 12 - 2.59 = 9.41(V)$$

נחשב שטח חתך אחיד על פי:

$$A = \frac{\sqrt{3}}{\gamma \cdot \Delta U_{a(A-E)}} \cdot \sum_{k=A}^{k=E} (I_a \cdot L_k)$$

מכאן:

$$A = \frac{\sqrt{3}}{35 \cdot 9.41} \cdot [(122.69 \cdot 23) + (93.82 \cdot 40) + (57.74 \cdot 40)] = 46.72(mm^2)$$

$$A = 50(mm^2)$$

ב.

1.

על פי חישובים שבסעיף א':

$$\bar{I}_{A-C} = 153 \angle -36.69^\circ (A)$$

מכאן:

$$\cos \varphi = \cos(36.69) = 0.8$$

$\cos \varphi = 0.8$

2.

מקדם הספק אינו עונה לדרישת רשות החשמל מכיון שהדרישה היא $\cos \varphi = 0.92$.

ג.

מפסק SW סגור.

נחשב את הספק צרכן בנקודה B על פי:

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

נחשב את ההספק הכללי של הרשת על פי:

$$P_T = P_C + P_D + P_E$$

נחשב את ההספק הממשי P_E על פי:

$$P_E = S_E \cdot \cos \varphi_E$$

מכאן:

$$P_E = 50 \times 10^3 \cdot 0.8 = 40(kW)$$

לכן:

$$P_T = 20 + 25 + 40 = 85(kW)$$

נחשב את $\tan \varphi_1$ (לפי זווית המצויה):

$$\tan \varphi_1 = \tan(36.69) = 0.745$$

נחשב את $\tan \varphi_2$ (לפי זווית הרצויה):

$$\tan \varphi_2 = \tan(\cos^{-1} 0.92) = 0.426$$

מכאן:

$$Q_C = 85 \times 10^3 \cdot (0.745 - 0.426) = 27.12(kVAR)$$

$Q_C = 30(kVAR)$

אופי של הצרכן הוא קיבולי.

שיפור מקדם הספק

אביב 2016 שאלה 3

מפעל תעשייתי מוזן מרשת תלת-מופעית בעלת מתח נקוב של 400 V/50 Hz. בשיא העומס נמדד מקדם הספק של 0.82 השראותי. לצורך שיפור מקדם ההספק ל-0.92 בשיא העומס, הרכיבו בלוח הראשי 7 סוללות קבלים, שההספק של כל אחת מהן הוא 20 kVAR. הקבלים בסוללה מחוברים בחיבור משולש.

א. חשב את הזרם הנצרך על-ידי המפעל בשיא העומס:

1. לפני שיפור מקדם ההספק.

2. אחרי שיפור מקדם ההספק.

ב. חשב את גודל נגדי הפריקה הנדרשים כדי להבטיח פריקת סוללת קבלים אחת ל-12.5% מהמתח הנקוב בתוך 60 שניות.

ג. כיצד ישתנו מפלי המתח והפסדי ההספק במעגלים הסופיים של המפעל, עקב שיפור מקדם ההספק? נמק את תשובתך.

הערה: הנח כי מתח ההזנה של המפעל נשאר קבוע.

פתרון אביב 2016 שאלה 3

א.

1.

נחשב את זרם הנצרך של המפעל לפני שיפור על פי:

$$I_{\text{(לפני השיפור)}} = \frac{P_T}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi}$$

ידוע כי:

$$Q_C = P_T \cdot (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \longrightarrow P_T = \frac{Q_C}{(\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)}$$

נחשב את סוללת קבלים הכללית על פי:

$$Q_C = Q_C' \cdot n$$

מכאן:

$$Q_C = 20 \times 10^3 \cdot 7 = 140(kVAR)$$

נחשב את $\tan \varphi_1$ (לפי זווית המצויה):

$$\tan \varphi_1 = \tan(\cos^{-1} 0.82) = 0.698$$

נחשב את $\tan \varphi_2$ (לפי זווית הרצויה):

$$\tan \varphi_2 = \tan(\cos^{-1} 0.92) = 0.426$$

לכן:

$$P_T = \frac{140 \times 10^3}{(0.698 - 0.426)} = 514.705(kW)$$

נחשב את זרם הנצרך של המפעל לפני שיפור:

$$I_{(\text{לפני השיפור})} = \frac{514.705 \times 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.82} = 906(A)$$

2.

נחשב את זרם הנצרך של המפעל לאחר השיפור על פי:

$$I_{(\text{לאחר השיפור})} = \frac{P_T}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi}$$

מכאן:

$$I_{(\text{לאחר השיפור})} = \frac{514.705 \times 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.92} = 807.51(A)$$

$$I_{(\text{לאחר השיפור})} = 807.51(A)$$

ב.

נחשב את גודל נגדי הפריקה על פי:

$$R = \frac{t}{\ln\left(\frac{U_0}{U_c}\right) \cdot C}$$

לצורך כך נחשב את קיבול הקבל על פי:

$$C_{\Delta} = \frac{Q_{c1}}{2\pi \cdot f \cdot U_{ph}^2}$$

מכאן:

$$C_{\Delta} = \frac{20 \times 10^3 / 3}{2\pi \cdot 50 \cdot 400^2} = 132.63(\mu F)$$

על פי נתוני התרגיל:

$$t = 60(sec); U_c = \frac{12.5}{100} \cdot 400 = 50(V)$$

המתח המקסימלי שיכול להיות להתפתח על הקבל בתחילת הפריקה:

$$U_0 = \sqrt{2} \cdot U_{ph} = \sqrt{2} \cdot 400 = 566(V)$$

לכן:

$$R = \frac{60}{\ln\left(\frac{566}{50}\right) \cdot 132.63 \times 10^{-6}} = 187.32(k\Omega)$$

$$R = 187.32(k\Omega)$$

ג.

מכוון שסוללת הקבלים מותקנת בלוח הראשי, אין השפעה על מפלי מתח והפסדי הספק במעגלים

הסופיים.

אביב 2017 שאלה 3

לוח חשמל של סופרמרקט מזין 10 מקררים זהים ו-2 תנורים זהים.

הנתונים של כל מקרר: ההספק – 1472 W, הנצילות – 80%, מקדם ההספק – 0.75.
הנתונים של כל תנור: ההספק – 13,700 W.

א. חשב את יחס מקדמי ההספק $\frac{PF_{\text{יום}}}{PF_{\text{לילה}}}$, אם ידוע שבשעות היום כל העומסים פועלים בהספק מלא, ואילו בשעות הלילה התנורים אינם פועלים.

ב. בלוח החשמל של הסופרמרקט מתקינים סוללת קבלים כדי לשפר את מקדם ההספק ל-0.94 לפחות, בכל שעות היממה. חשב את ההספק של סוללת הקבלים הנדרשת.

ג. לאחר התקנת סוללת הקבלים ממליץ חשמלאי המתקן להחליף את המפסק הראשי במפסק בעל ערך זרם נקוב גדול יותר.
האם החשמלאי צודק? נמק את קביעתך.

פתרון אביב 2017 שאלה 3

א.

נחשב את $\tan \varphi_{(\text{יום})}$ על פי:

$$\tan \varphi_{(\text{יום})} = \frac{Q_{T(\text{יום})}}{P_{T(\text{יום})}}$$

נחשב את $P_{T(\text{יום})}$ על פי:

$$P_{T(\text{יום})} = P_{T(\text{מקרר})} + P_{T(\text{תנור})}$$

נחשב את $P_{T(\text{מקרר})}$ על פי:

$$P_{T(\text{מקרר})} = n \cdot \frac{P_{(\text{מקרר})}}{\eta}$$

מכאן:

$$P_{T(\text{מקרר})} = 10 \cdot \frac{1472}{0.8} = 18.4(kW)$$

נחשב את $P_{T(\text{תנור})}$ על פי:

$$P_{T(\text{תנור})} = n \cdot P_{(\text{תנור})}$$

מכאן:

$$P_{T(\text{תנור})} = 2 \cdot 13700 = 27.4(kW)$$

לכן:

$$P_{T(\text{יום})} = 18.4 \times 10^3 + 27.4 \times 10^3 = 45.8(kW)$$

נחשב את $Q_{T(\text{יום})}$ על פי:

$$Q_{T(\text{יום})} = Q_{T(\text{מקרר})} + Q_{T(\text{תנור})}$$

נחשב את $Q_{T(\text{מקרר})}$ על פי:

$$Q_{T(\text{מקרר})} = P_{T(\text{מקרר})} \cdot \tan \varphi_{(\text{מקרר})}$$

על פי נתוני התרגיל ידוע כי:

$$\cos \varphi_{(\text{מקרר})} = 0.75 \longrightarrow \tan \varphi_{(\text{מקרר})} = 0.882$$

מכאן:

$$Q_{T(\text{מקרר})} = 18.4 \times 10^3 \cdot 0.882 = 16.23(kVAR)$$

נחשב את $Q_{T(\text{תנור})}$ על פי:

$$Q_{T(\text{תנור})} = P_{T(\text{תנור})} \cdot \tan \varphi_{(\text{תנור})}$$

על פי נתוני התרגיל ידוע כי:

$$\cos \varphi_{(\text{תנור})} = 1 \longrightarrow \tan \varphi_{(\text{תנור})} = 0$$

מכאן:

$$Q_{T(\text{תנור})} = 27.4 \cdot 0 = 0(kVAR)$$

לכן:

$$Q_{T(\text{יום})} = 16.23 \times 10^3 + 0 = 16.23(kVAR)$$

נחשב את $\tan \varphi_{(\text{יום})}$:

$$\tan \varphi_{(\text{יום})} = \frac{16.23}{45.8} = 0.354 \longrightarrow \cos \varphi_{(\text{יום})} = 0.943$$

מכוון שבליילה פועלים רק מקררים ניתן לומר כי:

$$\cos \varphi_{(\text{לילה})} = \cos \varphi_{(\text{מקרר})} = 0.75$$

מכאן:

$$\frac{\cos \varphi_{(\text{יום})}}{\cos \varphi_{(\text{לילה})}} = \frac{0.943}{0.75} = 1.26$$

ב.

נחשב את הספק סוללת קבלים על פי:

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

נחשב את גודל ההספק המדומה הכללי (כל שעות היממה) על פי:

$$S_T = S_{(\text{יום})} + S_{(\text{לילה})}$$

נחשב את $S_{(\text{יום})}$ על פי:

$$S_{(\text{יום})} = P_{(\text{יום})} + jQ_{(\text{יום})}$$

מכאן:

$$S_{(\text{יום})} = 45.8 + j16.23 = 48.59 \angle 19.51^\circ (kVA)$$

נחשב את $S_{(\text{לילה})}$ על פי:

$$S_{(\text{לילה})} = P_{(\text{לילה})} + jQ_{(\text{לילה})}$$

מכאן:

$$S_{(\text{לילה})} = 18.4 + j16.23 = 24.54 \angle 41.41^\circ (kVA)$$

לכן:

$$S_T = 48.59 \angle 19.51^\circ + 24.54 \angle 41.41^\circ = 64.2 + j32.46 = 71.94 \angle 26.82^\circ (kVA)$$

נחשב את $\tan \varphi_1$ (לפי זווית המצויה):

$$\tan \varphi_1 = \tan(26.82) = 0.505$$

נחשב את $\tan \varphi_2$ (לפי זווית הרצויה):

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

מכאן:

$$Q_C = 64.2 \times 10^3 \cdot (0.505 - 0.363) = 9116.4(VAR)$$

$$Q_C = 9116.4(VAR)$$

ג.

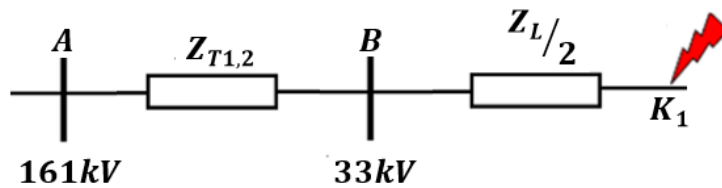
החשמלאי אינו צודק, מכיוון שכאשר משפרים את מקדם ההספק של המקום זרם ההזנה קטן, לכן אין צורך להחליף את המפסק הראשי במפסק בעל זרם נקוב גדול יותר.

זרמי קצר

פתרון אביב 2017 שאלה 4

א.

נציג מעגל תמורה של עכבות:



נחשב את זרם הקצר I_{K1} על פי:

$$I_{K1} = \frac{1.1 \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z_{K1}}$$

נחשב את עכבת הקצר Z_{K1} על פי:

$$Z_{K1} = Z_{T1,2} + \frac{Z_L}{2}$$

מכוון שהשנאים מחוברים במקביל ובעלי נתונים זהים נחשב את העכבה השקולה של השנאים $Z_{T1,2}$ על פי:

$$Z_{T1,2} = \frac{Z_T}{2}$$

נחשב את העכבה של שנאי בודד על פי:

$$Z_T = R_T + jX_T$$

מכוון שנתון רק $U_{k\%}$ של השנאי, ניתן לרשום כי $U_{k\%} = U_{x\%} = 10\%$.

נחשב את X_T של השנאי על פי:

$$X_{T1} = \frac{U_{x\%} \cdot U^2}{100 \cdot S_T}$$

מכאן:

$$X_{T1} = \frac{10 \cdot (33 \times 10^3)^2}{100 \cdot 5 \times 10^6} = 21.78 (\Omega)$$

לכן:

$$Z_{T1,2} = \frac{X_{T1}}{2} = j10.89(\Omega)$$

נחשב את העכבה Z_{L1} על פי:

$$Z_{L1} = R_{L1} + jX_{L1}$$

נחשב את התנגדות הקו R_{L1} על פי:

$$R_{L1} = R_0 \cdot L_1$$

מכאן:

$$R_{L1} = 0.1 \cdot 20 = 2(\Omega)$$

נחשב את היגב הקו X_{L1} על פי:

$$X_{L1} = X_0 \cdot L_1$$

מכאן:

$$X_{L1} = 0.2 \cdot 20 = 4(\Omega)$$

לכן:

$$\frac{Z_{L1}}{2} = (1 + j2)\Omega$$

נחשב את עכבת הקצר Z_{K1} :

$$Z_{K1} = j10.89 + (1 + j2) = (1 + j12.89) = 12.93 \angle 85.56^\circ (\Omega)$$

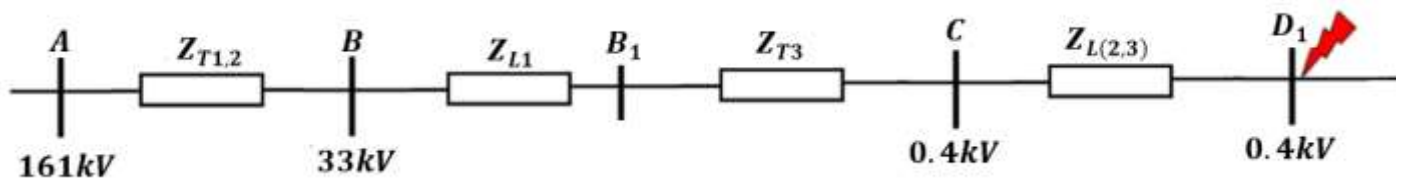
מכאן:

$$I_{K1} = \frac{1.1 \cdot 33 \times 10^3}{\sqrt{3} \cdot 12.93} = 1620.87(A)$$

$I_{K1} = 1620.87(A)$

ב.

נציג מעגל תמורה של עכבות:



נחשב את $I_{הלם(D1)}$ על פי:

$$I_{הלם(D1)} = \sqrt{2} \cdot I_{K(D1)} \cdot K_{הלם}$$

נחשב את עכבת הקצר $Z_{K(D1)}$ על פי:

$$Z_{K(D1)} = Z_{B1}' + Z_{T3} + Z_{L(2,3)}$$

נחשב את העכבה Z_{B1} על פי:

$$Z_{B1} = Z_{T1,2} + Z_{L1}$$

מכאן:

$$Z_{B1} = j10.89 + (2 + j4) = (2 + j14.89)\Omega$$

נבצע שיקוף לעכבת Z_{B1} על פי:

$$Z_{B1}' = Z_{B1} \cdot \left(\frac{U_{2n}}{U_{1n}} \right)^2$$

מכאן:

$$Z_{B1}' = (2 + j14.89) \cdot \left(\frac{0.4}{33} \right)^2 = (0.29 + j2.19)m\Omega$$

נחשב את העכבה של שנאי T_3 על פי:

$$Z_{T3} = R_{T3} + jX_{T3}$$

נחשב את התנגדות השנאי R_{T3} על פי:

$$R_{T3} = \frac{U_{r\%} \cdot U^2}{100 \cdot S_T}$$

מכאן:

$$R_{T3} = \frac{1 \times 400^2}{100 \cdot 800 \times 10^3} = 2(m\Omega)$$

נחשב את היגב השנאי X_{T3} על פי:

$$X_{T3} = \frac{U_{x\%} \cdot U^2}{100 \cdot S_T}$$

מכאן:

$$X_{T3} = \frac{4 \times 400^2}{100 \cdot 800 \times 10^3} = 8(m\Omega)$$

$$Z_{T3} = (2 + j8)m\Omega$$

מכוון ששני הקווים מחוברים במקביל ובעלי נתונים זהים נחשב את העכבה השקולה של

הקווים $Z_{L1,2}$ על פי:

$$Z_{L(2,3)} = \frac{Z_{L2}}{2}$$

נחשב את העכבה Z_{L2} על פי:

$$Z_{L2} = R_{L2} + jX_{L2}$$

נחשב את התנגדות הקו R_{L2} על פי:

$$R_{L2} = \rho \cdot \frac{L_2}{n \cdot A}$$

* מניחים כי מוליכי הקו עשויים מנחושת.

מכאן:

$$R_{L2} = 0.0175 \cdot \frac{50}{3 \cdot 240} = 1.22(m\Omega)$$

נחשב את היגב הקו X_{L2} על פי:

$$X_{L2} = \frac{X_0 \cdot L_2}{n}$$

מכאן:

$$X_{L2} = \frac{0.08 \cdot 0.05}{3} = 1.33(m\Omega)$$

לכן:

$$Z_{L(2,3)} = \frac{(1.22 + j1.33)}{2} = (0.61 + j0.665)m\Omega$$

נחשב את עכבת הקצר $Z_{K(D1)}$:

$$Z_{K(D1)} = (0.29 + j2.19) + (2 + j8) + (0.61 + j0.665) = (2.9 + j10.86) = 11.24 \angle 75.05^\circ (m\Omega)$$

מכאן:

$$I_{K(D1)} = \frac{1.1 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 11.24 \times 10^{-3}} = 22.6(kA)$$

על פי חישוב, ניתן לראות כי:

$$\frac{R_K}{X_K} = \frac{2.9}{10.86} = 0.267$$

על פי טבלה 5.2 בעמוד 9 שבדף נוסחאות:

$$K_{הלם(D1)} = 1.42$$

מכאן:

$$I_{הלם(D1)} = \sqrt{2} \cdot 22.6 \times 10^3 \cdot 1.42 = 45.38(kA)$$

$I_{הלם(D1)} = 45.38(kA)$

ג.

נתבונן בטבלה הבאה:

זרם מרבי מותר (A)	ממדי הפס (mm)
100	6×8
250	15×5
500	40×5
620	50×5
800	60×5

מכוון שמבטח ראשי בעל זרם של 630A יש לבחור פס צבירה שיעמוד בזרם זה, לכן ממדי הפס נבחרו על פי זרם מותר של 800A.

נתונים:

$$d = 6cm ; h = 6cm ; b = 0.5cm ; \sigma = 1400 \frac{kg}{cm^2}$$

נחשב את המרחק המרבי בין שני מבדדים על פי:

$$L_{max} = \sqrt{\frac{\sigma_{max} \cdot 12 \cdot W \cdot 100}{F}}$$

נחשב את הכוח הפועל על הפס באורך של 1m על פי:

$$F = 1.76 \cdot \frac{I_{הלם}^2}{d}$$

מכאן:

$$F = 1.76 \cdot \frac{45.38^2}{6} = 604.07(kg/m)$$

נחשב את מומנט ההתנגדות על פי:

$$W = \frac{b^2 \cdot h}{6}$$

מכאן:

$$W = \frac{0.5^2 \cdot 6}{6} = 0.25(cm^3)$$

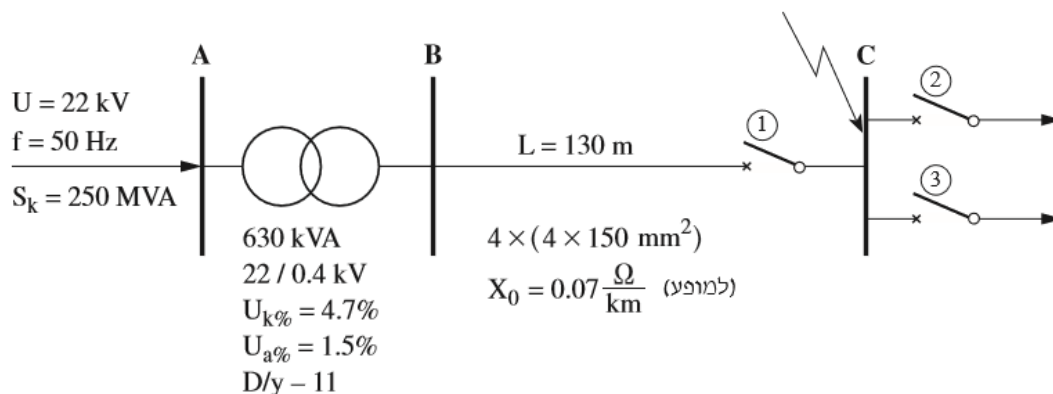
לכן:

$$L_{max} = \sqrt{\frac{1400 \cdot 12 \cdot 0.25 \cdot 100}{604.07}} = 26.37(cm)$$

$L_{max} = 26.37(cm)$

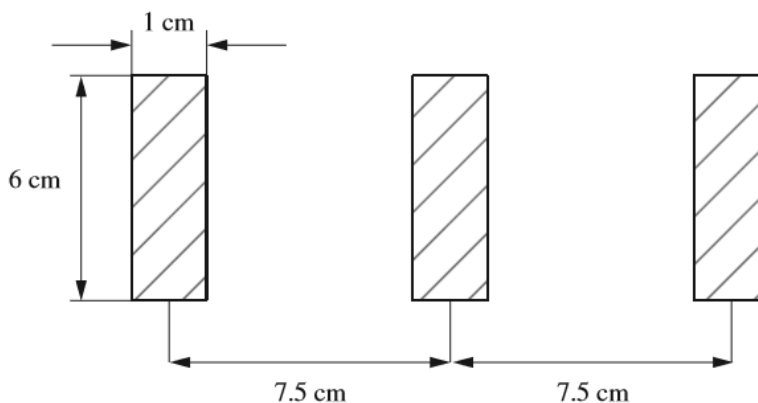
אביב 2018 שאלה 1:

באיור א' לשאלה 1 נתונה רשת תלת-מופעית שהתדר שלה הוא $f = 50 \text{ Hz}$, המוונת בפס-צבירה A. מוליכי הרשת עשויים נחושת.



איור א' לשאלה 1

- א. בפס-צבירה C מתרחש קצר תלת-מופע. חשב את ערכו של זרם הקצר הכולל במופע R כעבור 12 msec מרגע התרחשות הקצר. נתון שזווית המתח במופע R ברגע התרחשות הקצר היא 30° .
- ב. קבע את כושר הניתוק (הפסקה) של המבטחים 1 ו-2 המחוברים לפס-צבירה C.
- ג. באיור ב' לשאלה מתואר חתך צד של מערכת פס-הצבירה C.

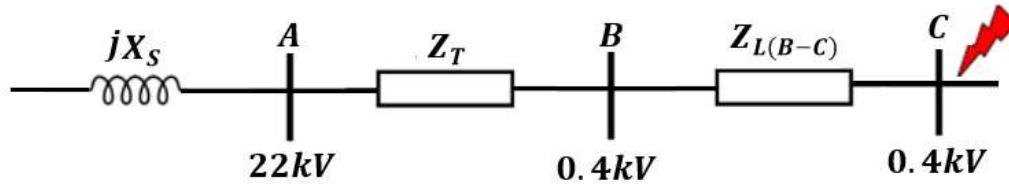


איור ב' לשאלה 1

קבע את המרחק המרבי בין כל שני מבדדים סמוכים לאורך פס-הצבירה, כך שהמערכת תהיה עמידה בפני כוחות אלקטרו-דינמיים. נתון כי פס-הצבירה עשויים נחושת, ומאמץ הכפיפה המותר הוא $1,400 \text{ kg/cm}^2$.

א.

נתאר את הרשת באמצעות מעגל תמורה של עכבות:



נחשב את גודל זרם הקצר בנקודה C על פי:

$$I_{K(C)} = \frac{1.1 \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z_{K(C)}}$$

נחשב את עכבת $Z_{K(C)}$ על פי:

$$Z_{K(C)} = jX_S + Z_T + Z_{L(B-C)}$$

נחשב את היגב מערכת אספקה במתח גבוה על פי:

$$X_S = \frac{U^2}{S_k}$$

מכאן:

$$X_S = \frac{400^2}{250 \times 10^6} = j0.64(m\Omega)$$

* יש לציין כי היגב מערכת אספקה במתח גבוה משוקף לפי מתח בנקודת הקצר C.

נחשב את העכבה עבור שנאי T על פי:

$$Z_T = R_T + jX_T$$

מניחים כי הכוונה בנתון התרגיל:

$$U_{a\%} = U_{r\%} = 1.5\%$$

נחשב את רכיב היגבי של מתח הקצר $U_{X\%}$ על פי:

$$U_{X\%} = \sqrt{U_{k\%}^2 - U_{r\%}^2}$$

מכאן:

$$U_{X\%} = \sqrt{4.7^2 - 1.5^2} = 4.45\%$$

נחשב את R_T של השנאי על פי:

$$R_T = \frac{U_{r\%} \cdot U^2}{100 \cdot S_T}$$

מכאן:

$$R_T = \frac{1.5 \cdot 400^2}{100 \cdot 630 \times 10^3} = 3.81(m\Omega)$$

נחשב את X_T של השנאי על פי:

$$X_T = \frac{U_{x\%} \cdot U^2}{100 \cdot S_T}$$

מכאן:

$$X_T = \frac{4.45 \cdot 400^2}{100 \cdot 630 \times 10^3} = 11.33(m\Omega)$$

לכן:

$$Z_T = (3.81 + j11.33) m\Omega$$

נחשב את העכבה של קו L_{B-C} על פי:

$$Z_{L(B-C)} = R_{L(B-C)} + jX_{L(B-C)}$$

נחשב את התנגדות הקו $R_{L(B-C)}$ על פי:

$$R_{L(B-C)} = \rho \cdot \frac{L_{B-C}}{n \cdot A}$$

מכאן:

$$R_{L(B-C)} = 0.0175 \cdot \frac{130}{4 \cdot 150} = 3.8(m\Omega)$$

נחשב את היגב הקו $X_{L(B-C)}$ על פי:

$$X_{L(B-C)} = \frac{X_o \cdot L_{B-C}}{n}$$

מכאן:

$$X_{L(B-C)} = \frac{0.07 \cdot 0.13}{4} = 2.275(m\Omega)$$

לכן:

$$Z_{L(B-C)} = (3.8 + j2.275)m\Omega$$

נחשב את $Z_{K(C)}$:

$$Z_{K(C)} = j0.64 + (3.81 + j11.33) + (3.8 + j2.275) = (7.61 + j14.245) = 16.15 \angle 61.89^\circ (m\Omega)$$

מכאן:

$$I_{K(C)} = \frac{1.1 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 16.15 \times 10^{-3}} = 15.73(kA)$$

נחשב את ערכו של זרם הקצר הכולל על פי:

$$i_{(R)} = i_a + i_k$$

נחשב את ערכו של רכיב הישר של זרם הקצר על פי:

$$i_a = -\sqrt{2} \cdot I_K \cdot \sin(\alpha - \varphi_K) e^{\frac{-t}{\tau}}$$

נחשב את זווית מופע של עכבת הקצר φ_K על פי:

$$\tan \varphi_K = \frac{X_K}{R_K}$$

מכאן:

$$\tan \varphi_K = \frac{14.245}{7.61} = 1.87 \longrightarrow \varphi_K = 61.89^\circ$$

נחשב את קבוע הזמן של מעגל הקצר על פי:

$$\tau = \frac{X_K}{\omega \cdot R_K}$$

מכאן:

$$\tau = \frac{14.245}{2\pi \cdot 50 \cdot 7.61} = 6(\text{msec})$$

לכן:

$$i_a = -\sqrt{2} \cdot 15.73 \times 10^3 \cdot \sin(30 - 61.89) e^{\frac{-12}{6}} = 1590.48(A)$$

נחשב את רכיב מחזורי של זרם הקצר על פי:

$$i_k = \sqrt{2} \cdot I_K \cdot \sin(\omega t + \alpha - \varphi_K)$$

מכאן:

$$i_k = \sqrt{2} \cdot 15.73 \times 10^3 \cdot \sin(2 \cdot 180 \cdot 50 \cdot 0.012 + 30 - 61.89) = -1594.37(A)$$

לכן:

$$i_{(R)} = 1590.48 - 1594.37 = -3.89(A)$$

$$i_{(R)} = -3.89(A)$$

ב.

על פי חישובים שבסעיף א' כושר הניתוק של המפסקים 1 ו 3 חייב להיות גדול מ $I_{K(C)}$ כלומר:

$$I_{CU} > 15.73(kA)$$

ג.

נתונים:

$$d = 7.5cm ; h = 6cm ; b = 1cm ; \sigma = 1400 \frac{kg}{cm^2}$$

על פי חישוב, ניתן לראות כי:

$$\frac{R_K}{X_K} = \frac{7.61}{14.245} = 0.53$$

על פי טבלה 5.2 בעמוד 9 שבדף נוסחאון:

$$K_{\eta_{\text{לם}}(C)} = 1.2$$

מכאן:

$$I_{\eta_{\text{לם}}(C)} = \sqrt{2} \cdot 15.73 \times 10^3 \cdot 1.2 = 26.69(kA)$$

נחשב את המרחק המרבי בין שני מבדדים על פי:

$$L_{max} = \sqrt{\frac{\sigma_{max} \cdot 12 \cdot W \cdot 100}{F}}$$

נחשב את הכוח הפועל על הפס באורך של 1m על פי:

$$F = 1.76 \cdot \frac{I_{\eta_{\text{לם}}}^2}{d}$$

מכאן:

$$F = 1.76 \cdot \frac{26.69^2}{7.5} = 167.17(kg/m)$$

נחשב את מומנט ההתנגדות על פי:

$$W = \frac{b^2 \cdot h}{6}$$

מכאן:

$$W = \frac{1^2 \cdot 6}{6} = 1(cm^3)$$

לכן:

$$L_{max} = \sqrt{\frac{1400 \cdot 12 \cdot 1 \cdot 100}{167.17}} = 100.25(cm)$$

$L_{max} = 100.25(cm)$

בטיחות בחשמל

אביב 2016 שאלה 4:

באיור לשאלה 4 מתואר תרשים של רשת תלת-מופעת המזינה לוח חשמל ראשי במתח של $400\text{ V}/50\text{ Hz}$. תנור חימום בעל גוף חימום התנגדותי טהור, מחובר ללוח החשמל כמתואר באיור לשאלה.

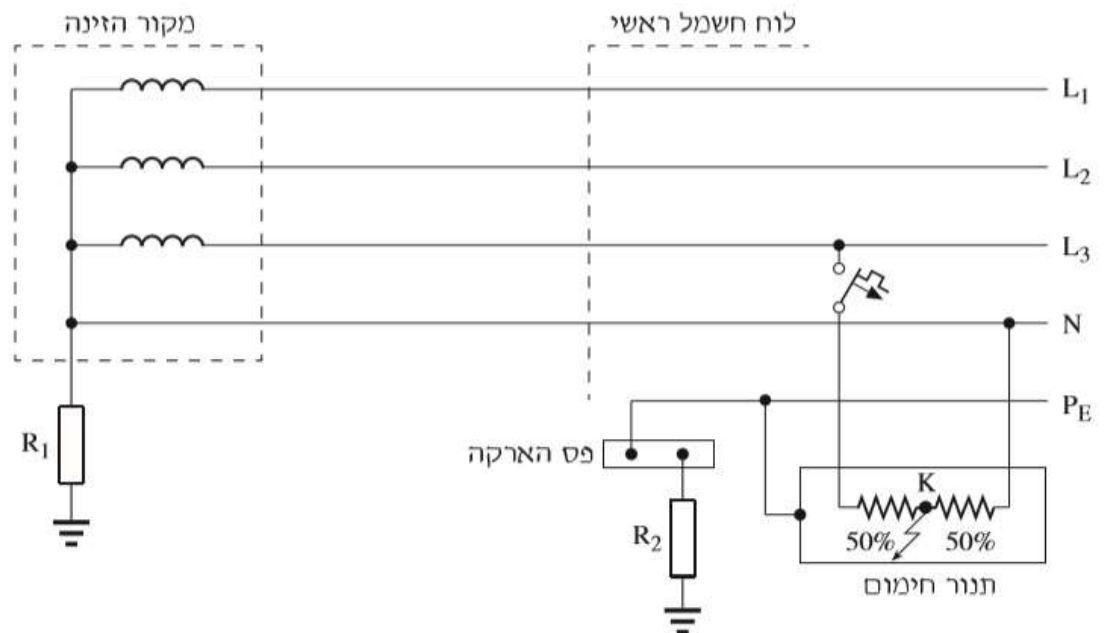
שיטת ההגנה מפני התחשמלות היא הארקת הגנה מסוג TT.

נתוניו של תנור החימום: $U_n = 230\text{ V}$; $P_n = 6\text{ kW}$

התנגדות הארקת השיטה היא: $R_1 = 1\ \Omega$.

התנגדות הארקת ההגנה כלפי המסה הכללית של האדמה היא: $R_2 = 1\ \Omega$

הערה: בחישוביך הזנח את עכבת מקור הזינה ואת העכבות של מוליכי הרשת.



איור לשאלה 4

באמצע גוף החימום, בנקודה K, מתרחשת פריצה בין גוף החימום לגוף המתכתי של התנור (הגוף המתכתי מוארק).

א. סרטט על גבי נספח א' לשאלה 4 את לולאת התקלה בזמן הפריצה.

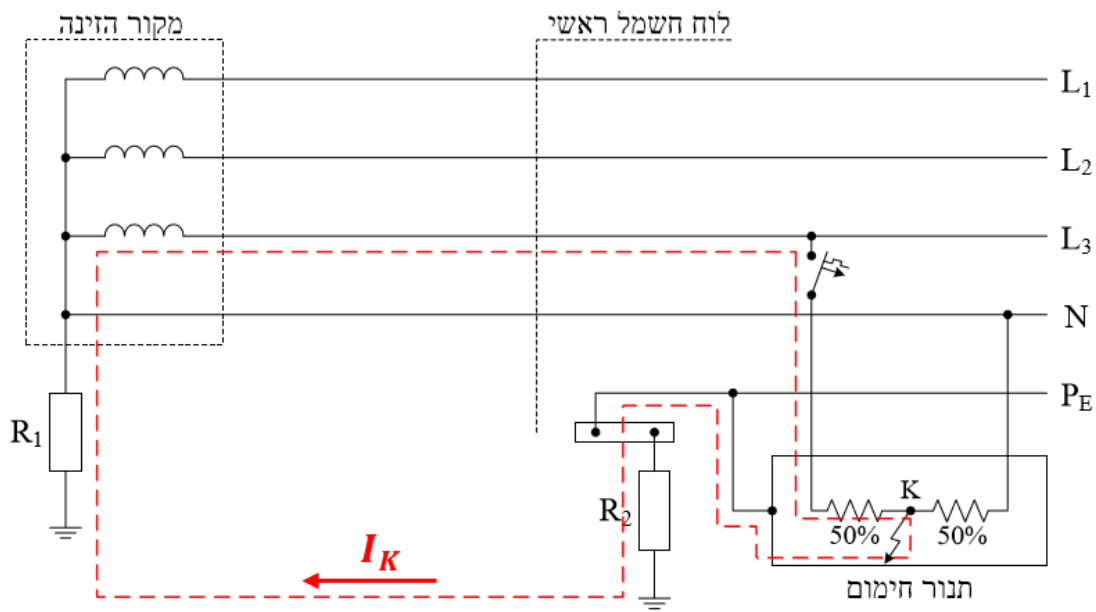
ב. חשב את זרם התקלה העובר דרך הנגד R_2 .

ג. חשב את מתח התקלה בין הגוף המתכתי של התנור ובין המסה הכללית של האדמה.

הערה: הדבק מדבקת נבחן במקום המיועד לכך בנספח וצרף אותו למחברתך.

א.

בזמן פריצה לולאת התקלה תיראה כך:



ב.

נחשב את זרם התקלה I_K על פי:

$$I_K = \frac{U_{ph}}{R_K}$$

נחשב את R_K על פי:

$$R_K = R_1 + R_2 + \frac{R_n}{2}$$

נחשב את התנגדות תנור חימום R_n על פי:

$$R_n = \frac{U_n^2}{P_n}$$

מכאן:

$$R_n = \frac{230^2}{6000} = 8.82(\Omega)$$

לכן:

$$R_K = 1 + 1 + \frac{8.82}{2} = 6.41(\Omega)$$

נחשב את זרם התקלה I_K :

$$I_K = \frac{230}{6.41} = 35.88(A)$$

$$I_K = 35.88(A)$$

ג.

נחשב את מתח התקלה U_F על פי:

$$U_F = I_K \cdot R_2$$

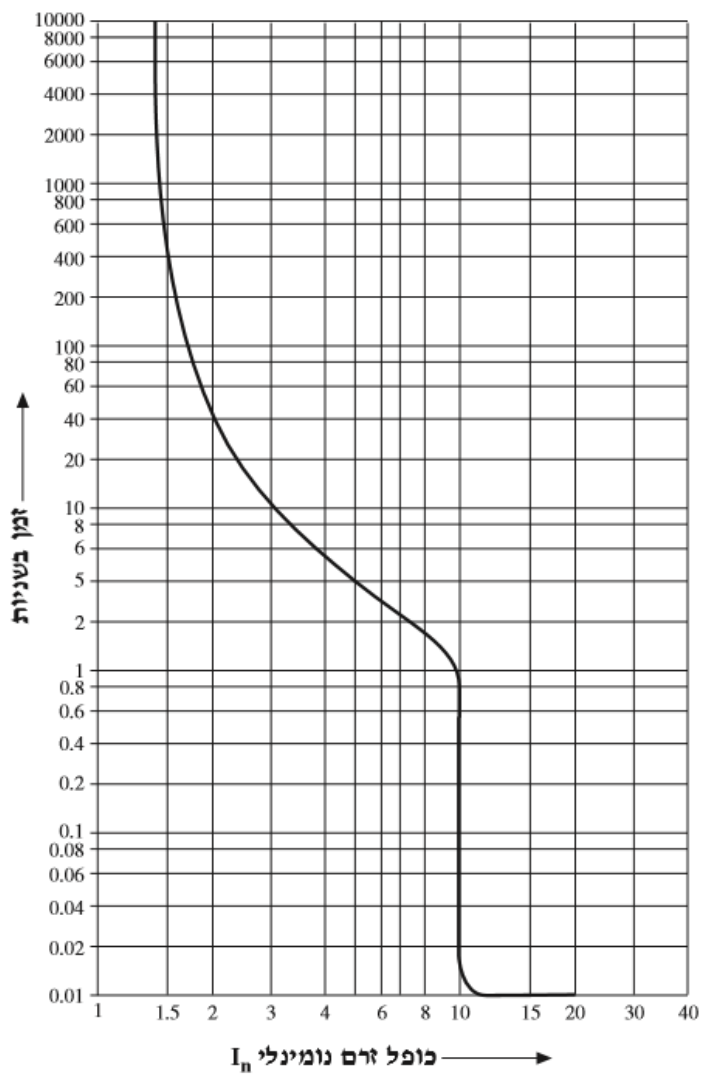
מכאן:

$$U_F = 35.88 \cdot 1 = 35.88(V)$$

$$U_F = 35.88(V)$$

אביב 2018 שאלה 3:

בלוח חשמל ביתי מותקן מא"ז ראשי חד-מופעי מסוג C בעל זרם נקוב של 40 A . אופיין הניתוק של המא"ז מתואר באיור לשאלה. המתקן הביתי מוגן מפני התחשמלות בשיטת הגנה TN-C-S .

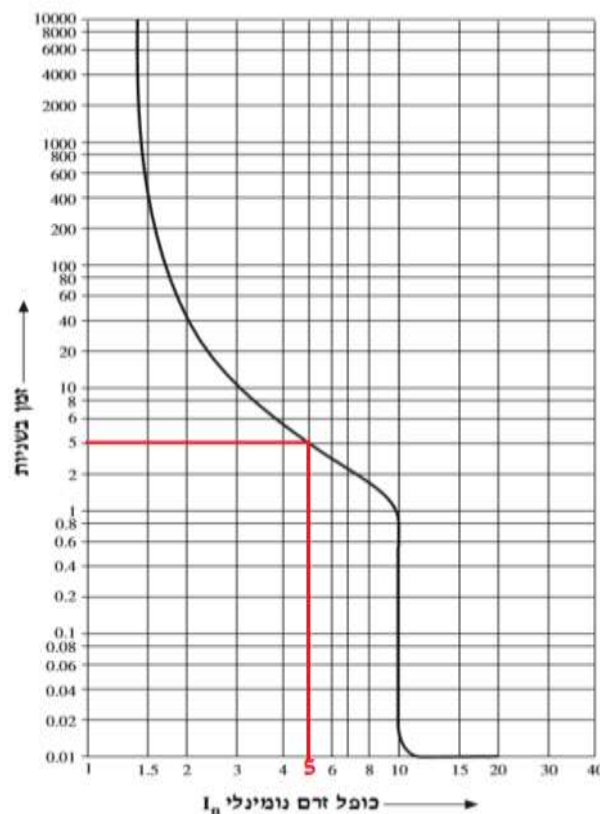


איור לשאלה 3

- א. חשב את ההתנגדות המרבית המותרת של לולאת התקלה, כך שהמא"ז יגיב כנדרש כאשר מתרחש קצר חד-מופעי במתקן.
- ב. מוליך PEN מתנתק ביציאה מהשנאי. חשב את ההתנגדות המרבית בין פס השוואת הפוטנציאלים ובין המסה הכללית של האדמה, כך שהמתקן יהיה מוגן מפני התחשמלות. הנח שהתנגדות הארקת השיטה שווה ל- 5Ω . בחישובך הזנח את התנגדות המוליכים.
- ג. הגדר את המושגים **מתח צעד ומתח מגע**.

פתרון אביב 2018 שאלה 3:

- א. על פי חוק החשמל על המבטח להבטיח ניתוק תוך 5 שניות לכל היותר. נתבונן באופיין הבא:



על פי האופיין ניתן לראות כי:

$$I_K = 5 \cdot I_n \longrightarrow I_K = 5 \cdot 40 = 200(A)$$

נחשב את התנגדות המרבית על פי:

$$Z_{loop} = \frac{U_{ph}}{I_K}$$

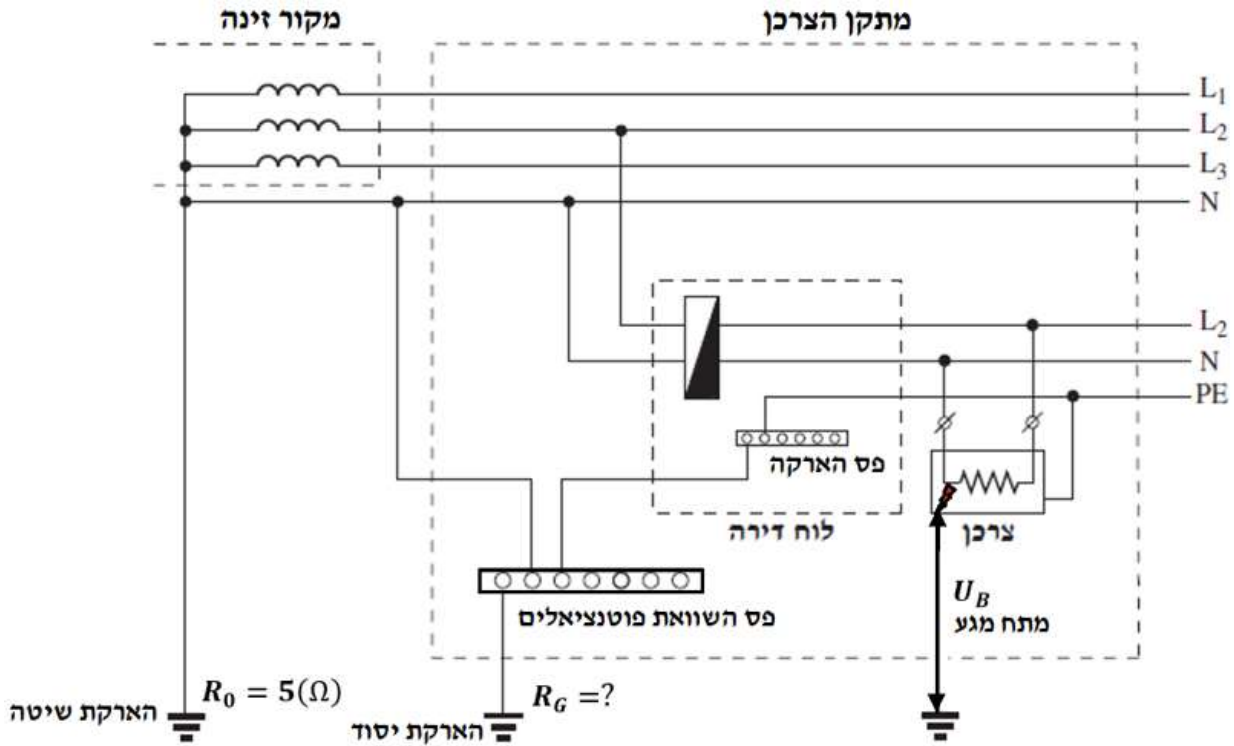
מכאן:

$$Z_{loop} = \frac{231}{200} = 1.16(\Omega)$$

$$Z_{loop} \leq 1.16(\Omega)$$

ב.

נתבונן באיור הבא:



* עקב חוסר נתונים של התנגדות גוף האדם והתנגדות הרצפה מניחים כי מתח המגע שווה למתח התקלה.

* במקרה של ניתוק מוליך ה- PEN יש להבטיח מתח מגע קטן מ- 50(V).

על פי כלל מחלק מתח:

$$U_B = U_{ph} \cdot \frac{R_G}{R_G + R_0}$$

מכאן:

$$50 = 231 \cdot \frac{R_G}{R_G + 5} \longrightarrow \frac{R_G}{R_G + 5} = \frac{50}{231} = 0.216 \longrightarrow R_G = 0.216 \cdot R_G + 1.08$$

$$\longrightarrow 0.784 \cdot R_G = 1.08 \longrightarrow R_G = \frac{1.08}{0.784} = 1.38(\Omega)$$

$$R_G = 1.38(\Omega)$$

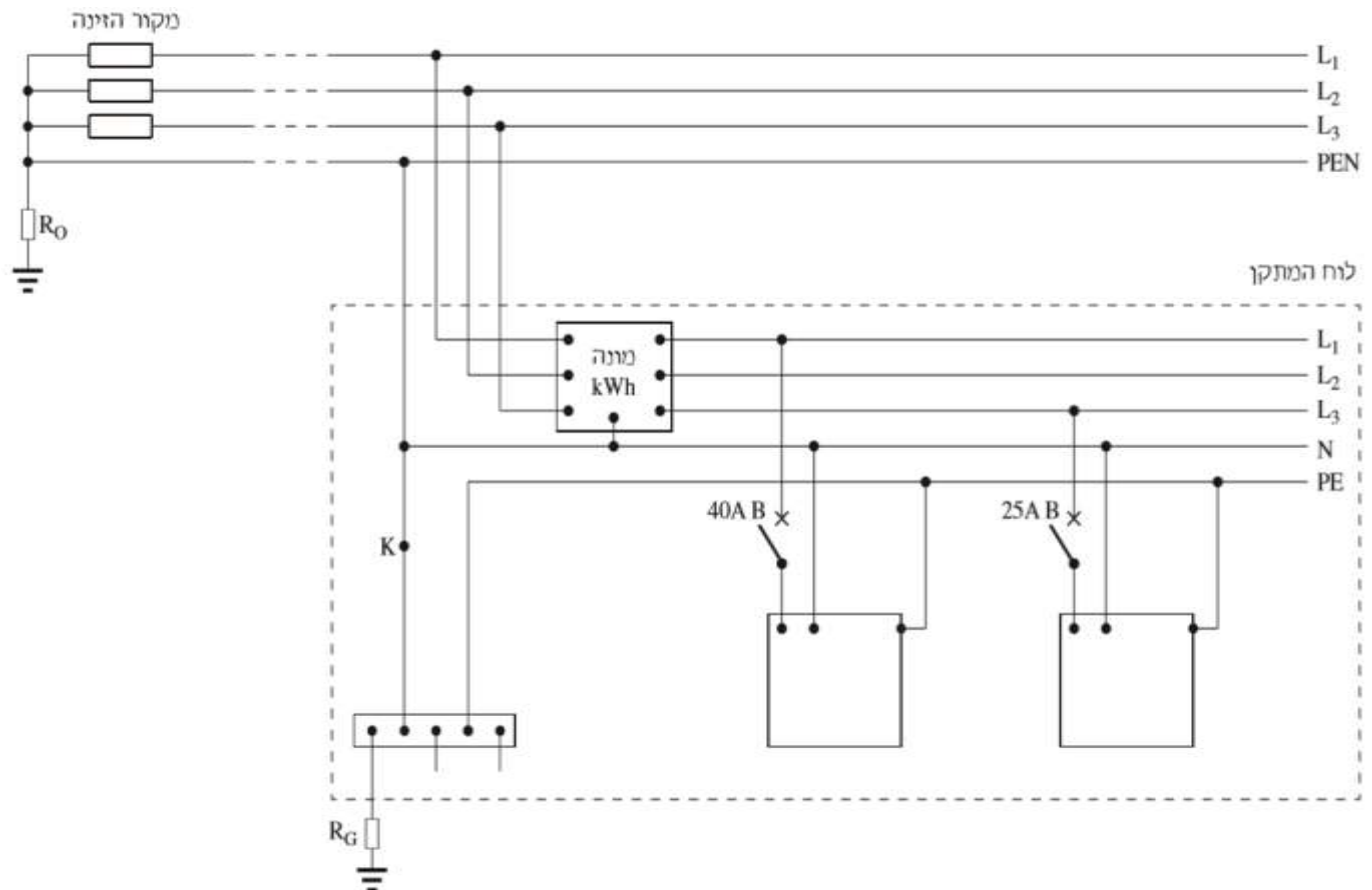
ג.

מתח מגע- זהו מתח שמופיע על גוף האדם שבו זמנית נוגע בשתי נקודות בעלות הפרש פוטנציאל ביניהם. עוצמתו של מתח המגע תלוי במתקן החשמל, התנגדות גוף האדם (ביגוד, נעליים, ידיים רטובות) והתנגדות הרצפה.

מתח צעד- מתח אשר מופיע על האדמה בין רגלי האדם בעת התרחשות תקלה (קצר).

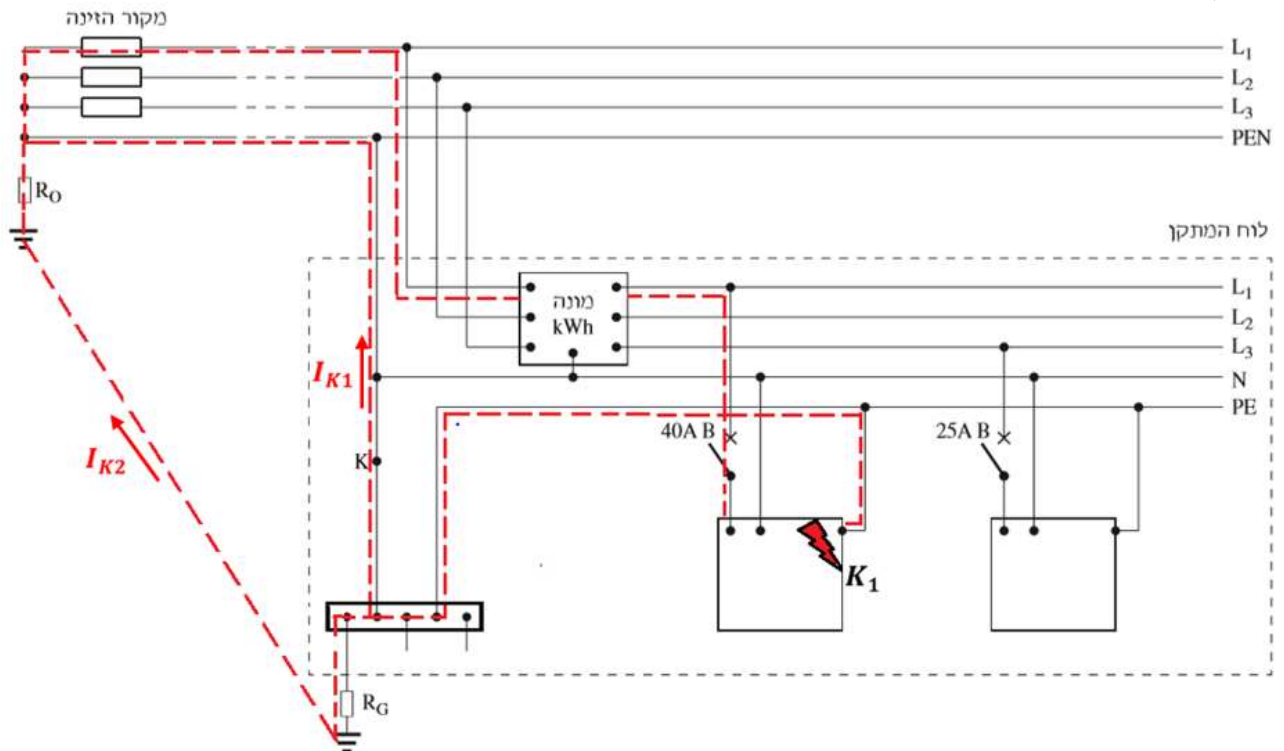
בנספח לשאלה 4 מתוארת שיטת הגנה מפני התחשמלות ברשת מתח נמוך 231 V/400 V.

- 10 נק')** **א.** רשום במחברתך את שמה המלא של השיטה, וסרטט על-גבי הנספח את מסלולי לולאת התקלה במצב של פריצת בידוד (קצר) בין מוליך המופע לגוף של אחד מהמכשירים.
- 5 נק')** **ב.** קבע את עכבת לולאת התקלה, המבטיחה הגנה מפני התחשמלות בהתאם לתקנות החשמל.
- 10 נק')** **ג.** בנקודה K מתרחש נתק. חשב את מתח התקלה במקרה של פריצת בידוד (קצר) בין מוליך המופע לגוף של אחד מהמכשירים. הנח כי: $R_G = 1.5 \Omega$, $R_O = 5.5 \Omega$ וכי התנגדות המוליכים זניחה.



א.

נתבונן בשרטוט הבא:



על פי איור הבא ניתן לראות כי שמה של שיטת הגנה מפני התחשמלות היא איפוס מסוג $TN - C - S$. כמו כן ישנם שני מסלולים של לולאת התקלה כאשר רוב הזרם (I_{K1}) יזרום דרך מוליך ה PEN ואילו חלק קטן של הזרם (I_{K2}) יזרום דרך האדמה.

ב.

לולאת תקלה תיקבע על פי גודל המבטח הגדול מבין השניים.

נתבונן בטבלה שבעמוד 12 שבדף נוסחאון:

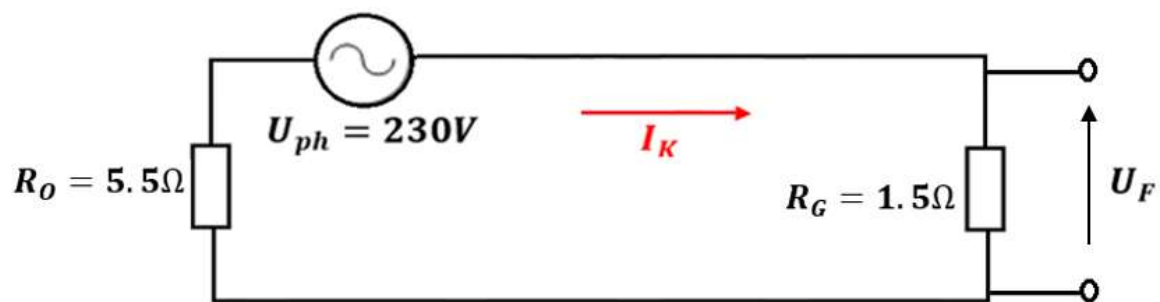
זרם נקוב	עכבה מרבית	זרם קצר מזערי
$I_n [A]$	$Z_1 [\Omega]$	$I_k [A]$
6	8.85	26
10	4.89	47
16	3.19	72
20	2.55	90
25	1.91	120
32	1.40	164
35	1.25	183
40	1.12	205
50	0.92	250
63	0.63	360
80	0.51	450
100	0.39	580

על פי הטבלה ניתן לראות כי:

$$Z = 1.12(\Omega)$$

ג.

נתבונן באיור הבא:



על פי כלל מחלק מתח:

$$U_F = U_{ph} \cdot \frac{R_G}{R_G + R_O}$$

מכאן:

$$U_F = 230 \cdot \frac{1.5}{1.5 + 5.5} = 49.29(V)$$

$U_F = 49.29(V)$

תאורה

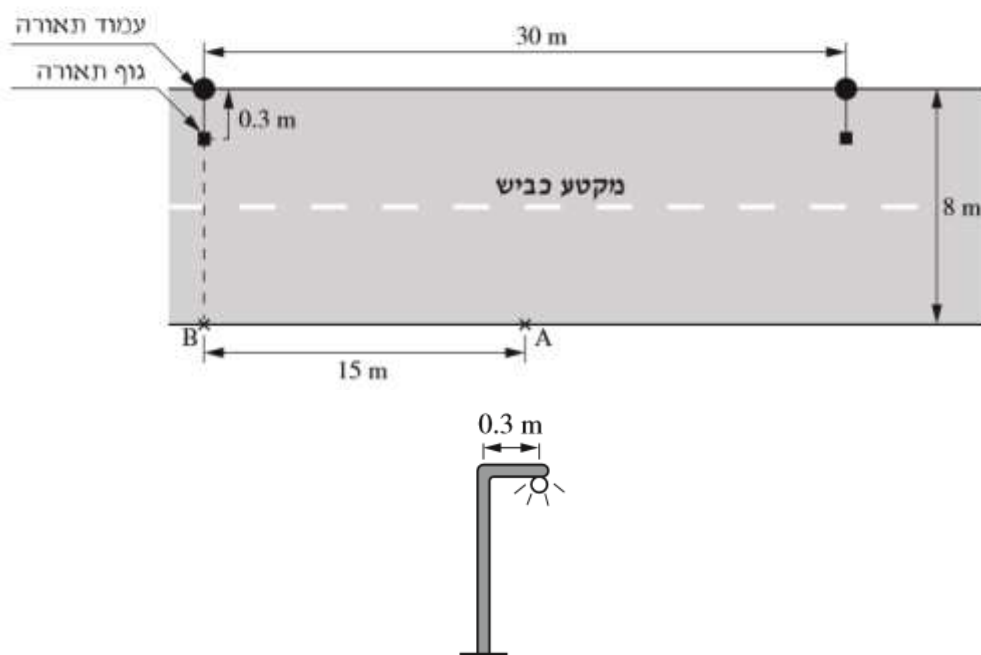
תאורת חוץ

אביב 2018 שאלה 4:

באיור א' לשאלה 4 מתואר מבט"על של מקטע כביש הכולל מערכת תאורה וכן עמוד תאורה סכמתי. על כל עמוד תאורה מותקן גוף תאורה אחד; בכל גוף תאורה מותקנת נורת נתרן לחץ גבוה.

נתונים:

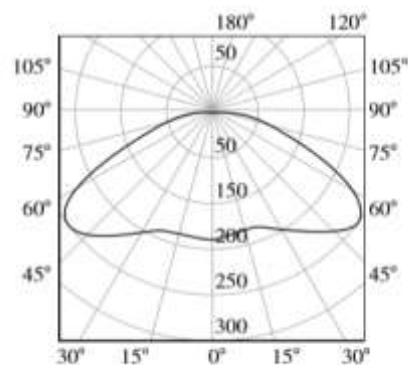
- ההספק של כל נורה: 250 W
- היעילות האורית של כל נורה: 110 lm / W
- המרחק בין כל שני עמודים סמוכים: 30 m
- רוחב הכביש: 8 m



עמוד תאורה סכמתי

איור א' לשאלה 4

- העקומה הפולארית של כל גוף תאורה מתוארת באיור ב' לשאלה ותונה ביחידות של $\text{cd} / 1,000 \text{ lm}$



איור ב' לשאלה 4

- א. חשב את גובהו של עמוד תאורה, כך שעוצמת ההארה על-פני הכביש, אנכית מתחת לגוף התאורה, תהיה 55 lx. אין להתחשב בתרומת ההארה של עמודי התאורה הסמוכים.
- ב. חשב את עוצמת ההארה על-פני הכביש בנקודה A. כל גוף תאורה מותקן בגובה שחיבת בתשובתך לסעיף א'.
- ג. הנח כי מגדילים את המרחק בין כל שני עמודים סמוכים. באיזו מהנקודות, A או B, תפחת עוצמת ההארה? נמק את תשובתך.

פתרון אביב 2018 שאלה 4: תאורת חוץ

א.

נתונים:

$$P_0 = 250(W); \quad \eta_e = 110 \left(\frac{lm}{w} \right)$$

נחשב את גובה העמוד על פי:

$$h = \sqrt{\frac{I_\alpha \cdot \cos \alpha^3}{E}}$$

כאשר רוצים לקבל עצמת הארה אנכית מתחת לעמוד:

$$\alpha = 0^\circ \longrightarrow \cos \alpha^3 = 1$$

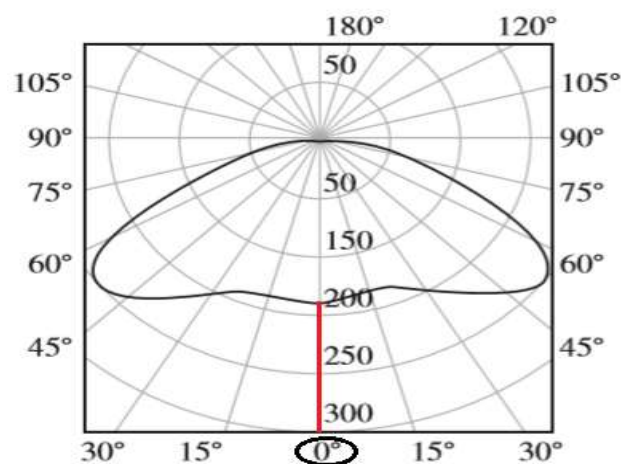
נחשב את שטף הנורה על פי:

$$\phi_0 = P_0 \cdot \eta_e$$

מכאן:

$$\phi_0 = 250 \cdot 110 = 27500(lum)$$

נתבונן בעקומה פולארית:



על פי הדיאגרמה פולארית:

$$I_{\alpha^\circ} = 190 \left(\frac{cd}{1000lum} \right)$$

נחשב את I_α על פי:

$$I_\alpha = \frac{I_{\alpha^\circ}}{1000} \cdot \phi_0$$

מכאן:

$$I_{\alpha} = \frac{190}{1000} \cdot 27500 = 5225(cd)$$

לכן:

$$h = \sqrt{\frac{5225 \cdot 1}{55}} = 9.75(m)$$

$h = 9.75(m)$

ב.

* לצורך חישובים נשתמש בגובה תקני של עמוד $h = 10(m)$.

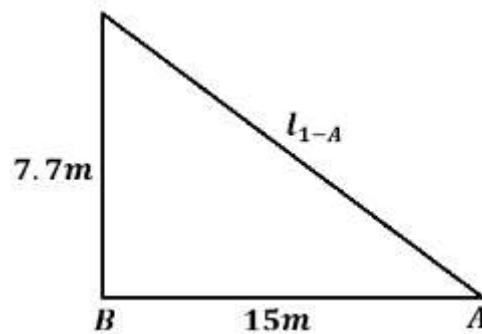
מכוון שהעמודים נמצאים בצורה סימטרית כלפי נקודה A, עצמת הארה בנקודה זו תחושב על פי:

$$E_A = 2 \cdot E_{1-A}$$

נחשב את עצמת הארה E_{1-A} על פי:

$$E_{1-A} = \frac{I_{\alpha} \cdot \cos \alpha_{1-A}^3}{h^2}$$

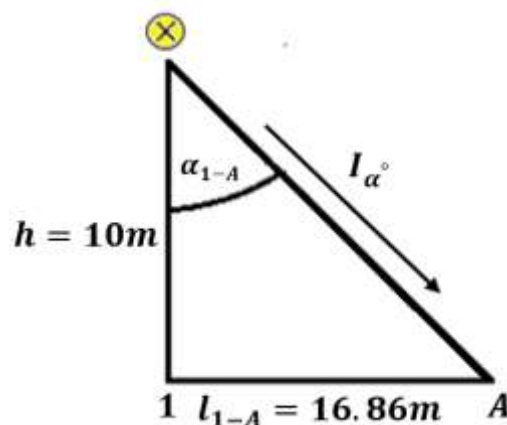
נתבונן באיור הבא:



נחשב את המרחק מגוף תאורה 1 כלפי נקודה A על פי פיתגורס:

$$l_{1-A} = \sqrt{7.7^2 + 15^2} = 16.86(m)$$

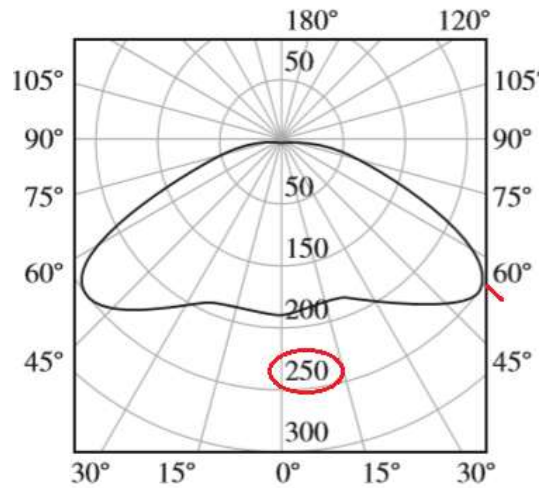
נתבונן באיור הבא:



מכאן:

$$\tan \alpha_{1-A} = \frac{16.86}{10} \longrightarrow \alpha_{1-A} = 59.33^\circ$$

נתבונן בעקומה פולארית הבאה:



על פי עקומה פולארית ניתן לראות כי:

$$I_{59.33^\circ} = 250 \left(\frac{cd}{1000lum} \right)$$

נחשב את I_α :

$$I_\alpha = \frac{250}{1000} \cdot 27500 = 6875(cd)$$

מכאן:

$$E_{1-A} = \frac{6875 \cdot (\cos 59.33)^\alpha}{10^2} = 9.12(lux)$$

לכן:

$$E_A = 2 \cdot 9.12 = 18.24(lux)$$

$E_A = 18.24(lux)$

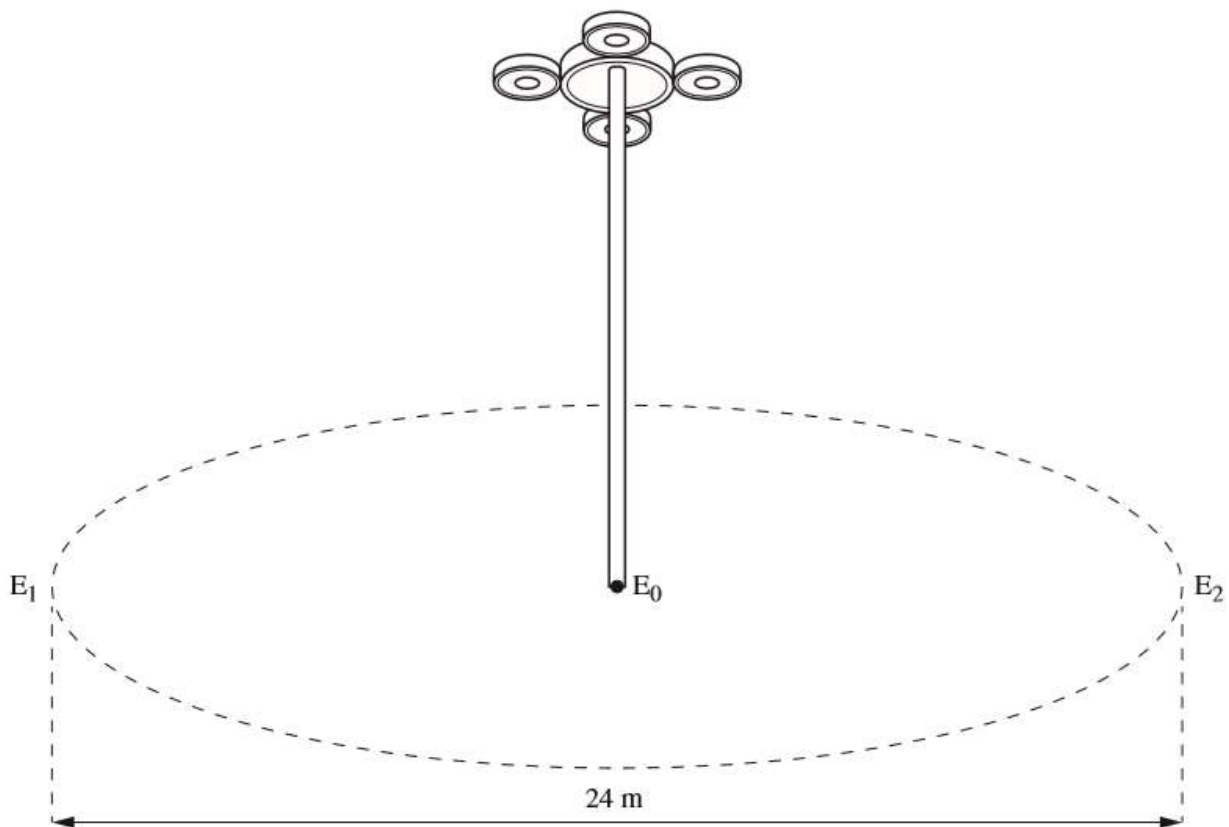
ג.

מניחים כי הגדלת הגדלת מרחק בין עמודי תאורה משמע להרחיק עמוד תאורה שמאלי שמאלה ועמוד תאורה ימין ימינה.

בהנחה שנקודות A ו B אינן זזות ונשארות כפי שמופיעות באיור, עצמת הארה תקטן בשתי הנקודות מכוון שזווית בין העמודים כלפי הנקודות גדלה.

אביב 2019 שאלה 2:

באיור לשאלה 2 מתואר עמוד תאורה הכולל ארבעה גופי תאורה הצמודים אליו. עמוד התאורה ממוקם במרכזו של שטח עגול שקוטרו 24 מטר. בכל גוף תאורה מותקנת נורת לד בעלת נצילות של 150 lm/W והספק של $P = 250 \text{ W}$. פיזור האור אחיד בכל הכיוונים: $I = 80 \text{ cd/klm}$.



איור לשאלה 2

10 נק') א. נתון כי עוצמת ההארה במרכז העיגול $E_0 = 100 \text{ lx}$. חשב את גובה עמוד התאורה.

10 נק') ב. חשב את עוצמת ההארה בנקודה E_1 , הנמצאת על היקף מעגל שקוטרו 24 m.

5 נק') ג. חשב את גובה עמוד התאורה שעבורו יחס עוצמת ההארה יהיה $\frac{E_0}{E_1} = 2$?

א.

נתונים:

$$P_0 = 250(W); \eta_e = 150 \left(\frac{lm}{w} \right); I = 80 cd/klm$$

נחשב את גובה העמוד על פי:

$$h = \sqrt{\frac{I_\alpha \cdot \cos \alpha^3}{E}}$$

כאשר רוצים לקבל עצמת הארה מתחת לעמוד:

$$\alpha = 0^\circ \longrightarrow \cos \alpha^3 = 1$$

נחשב את שטף הנורה על פי:

$$\phi_0 = P_0 \cdot \eta_e$$

מכאן:

$$\phi_0 = 250 \cdot 150 = 37500(lum)$$

מכוון שישנם 4 גופי תאורה על עמוד תאורה:

$$\phi_{0(T)} = 4 \cdot \phi_0 = 4 \cdot 37500 = 150000(lum)$$

על פי נתוני התרגיל:

$$I_{\alpha^\circ} = 80 \left(\frac{cd}{1000lum} \right)$$

נחשב את I_α על פי:

$$I_\alpha = \frac{I_{\alpha^\circ}}{1000} \cdot \phi_{0(T)}$$

מכאן:

$$I_\alpha = \frac{80}{1000} \cdot 150000 = 12000(cd)$$

לכן:

$$h = \sqrt{\frac{12000 \cdot 1}{100}} = 10.95(m)$$

$$h = 11(m)$$

ב.

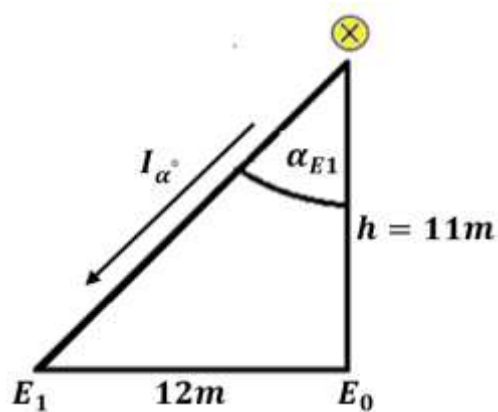
מכוון שישנם 4 גופי תאורה על עמוד תאורה:

$$E_{E1} = 4 \cdot E$$

נחשב את עצמת הארה E על פי:

$$E = \frac{I_{\alpha} \cdot \cos \alpha_{E1}^3}{h^2}$$

נתבונן באיור הבא:



מכאן:

$$\tan \alpha_{E1} = \frac{12}{11} \longrightarrow \alpha_{E1} = 47.49^\circ$$

לכן:

$$E_{E1} = 4 \cdot \frac{3000 \cdot (\cos 47.49)^3}{11^2} = 30.6(lux)$$

$$E_{E1} = 30.6(lux)$$

ג.

על פי נתוני הסעיף:

$$\frac{E_0}{E_1} = \frac{\frac{I \cdot \cos \alpha_{E0}^3}{h^2}}{\frac{I \cdot \cos \alpha_{E1}^3}{h^2}} = 2 \longrightarrow \frac{1}{\cos \alpha_{E1}^3} = 2 \longrightarrow \cos \alpha_{E1}^3 = 0.5 \longrightarrow \alpha_{E1} = 37.47^\circ$$

נחשב את גובה העמוד על פי:

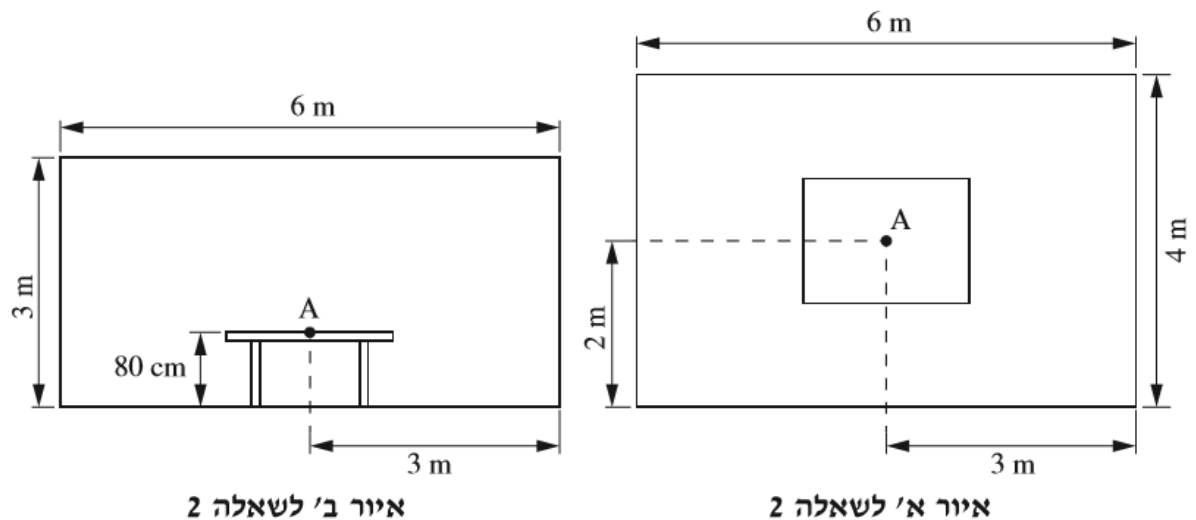
$$h = \frac{l}{\tan \alpha_{E1}}$$

מכאן:

$$h = \frac{12}{\tan(37.47)} = 15.65(m)$$

$$h = 15.65(m)$$

באיור א' לשאלה 2 מתואר היטל-על של משרד שממדי $(L \times W \times H) 6m \times 4m \times 3m$.
באיור ב' לשאלה 2 מתואר היטל-צד של המשרד.
במרכז המשרד ניצב שולחן שגובהו 80 cm.



- עליך לתכנן **תאורה ישירה** במשרד. התכנון יכלול גופי תאורה הכוללים נורות T5.
ההספק של כל נורה הוא 35 W ושטף האור שלה הוא 3,350 Lm.
החזר האור מהתקרה - 70%, החזר האור מהקירות - 30%, מצב האבק במשרד - מועט.
- א.** חשב את מספר הנורות הנדרש לקבלת עוצמת הארה של 400 Lx בגובה של 80 cm.
- ב.** מעוניינים לקבל פיזור אחיד של האור במשרד. סרטט תרשים עקרוני (ללא קנה מידה) המציג בהיטל-על את מיקום גופי התאורה. ציין על-גבי הסרטוט את המרחקים בין מרכזי גופי התאורה ואת המרחקים בינם ובין הקירות. עליך להשתמש בגופי תאורה כפולים (2 נורות בכל גוף).
- ג.** הנורות שנבחרו תואמות את העקום הפולארי III שבנוסחאון. חשב את עוצמת ההארה בנקודה A שבמרכז השולחן במשרד. בחישובך התייחס למרכזי גופי התאורה.

א.

נחשב את מקדם האולם על פי:

$$R_K = \frac{2a + b}{6 \cdot h'}$$

נחשב את h' על פי:

$$h' = h - h_1$$

מכאן:

$$h' = 3 - 0.8 = 2.2(m)$$

לכן:

$$R_K = \frac{2 \cdot 4 + 6}{6 \cdot 2.2} = 1.06$$

נתבונן בטבלת מקדם ניצול תאורה CU .

מקדם ניצול תאורה CU

30			50			75			← החזרה מהתקרה (%)	R_K	סוג גוף התאורה
10	30	10	30	50	10	30	50	← החזרה מהקירות (%)			
31	34	31	34	38	31	34	39			0.6	א
40	42	41	43	46	42	44	47			0.8	
45	47	46	47	50	47	48	51			1.0	
51	52	52	53	56	52	55	58			1.5	
55	57	58	58	60	57	59	61			2.0	
61	62	62	63	66	62	65	68			3.0	
64	66	65	67	69	67	69	71			5.0	

על פי אינטרפולציה הבאה נחשב את נצילות המתקן בהתאם ל $R_K = 1.06$.

$$CU = \frac{CU_2 - CU_1}{R_{K2} - R_{K1}} \cdot (R_K - R_{K1})$$

מכאן:

$$CU = \frac{55 - 48}{1.5 - 1} \cdot (1.06 - 1) = 0.84\% \longrightarrow CU = 48 + 0.84 = 48.84\%$$

נתבונן בטבלה הבאה:

מקדמי הפחתה k

תאורה פלורסנטית		תאורת כספית		תאורת ליבון		סוג התאורה	סוג גופי התאורה
מרוכה	מועט	מרוכה	מועט	מרוכה	מועט	מצב האבק	
0.55	0.75	0.6	0.8	0.6	0.85	גופים לתאורה ישירה גופים לתאורה שווה גופים לתאורה בלתי ישירה	
0.37	0.7	0.4	0.7	0.4	0.75		
0.3	0.6	0.35	0.65	0.35	0.7		

על פי נתוני התרגיל:

$$k = 0.75$$

נחשב את שטף הכללי של האולם על פי:

$$\Phi_T = \frac{E_T \cdot a \cdot b \cdot 100}{CU \cdot k}$$

מכאן:

$$\Phi_T = \frac{400 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 100}{48.84 \cdot 0.75} = 26,208 \text{ (lum)}$$

נחשב את מספר הנורות על פי:

$$N_{\text{מספר נורות}} = \frac{\Phi_T}{\Phi_o}$$

מכאן:

$$N_{\text{מספר נורות}} = \frac{26,208}{3350} = 7.82$$

$N_{\text{מספר נורות}} = 8$

ב.

מכוון שמבקשים 2 נורות בכל גוף נשתמש בארבע גופים.

נחשב את מספר גופי תאורה בכל שורה על פי:

$$n = \sqrt{\frac{N \cdot a}{b}}$$

מכאן:

$$n = \sqrt{\frac{4 \cdot 4}{6}} = 1.63 \approx 2$$

נחשב את מספר שורות על פי:

$$m = \sqrt{\frac{N \cdot b}{a}}$$

מכאן:

$$m = \sqrt{\frac{4 \cdot 6}{4}} = 2.45 \approx 3$$

נחשב את המרחק האופקי בין נורה לנורה על פי:

$$X = \frac{a}{n}$$

מכאן:

$$X = \frac{4}{2} = 2(m)$$

נחשב את המרחק האנכי בין נורה לנורה על פי:

$$Y = \frac{b}{m}$$

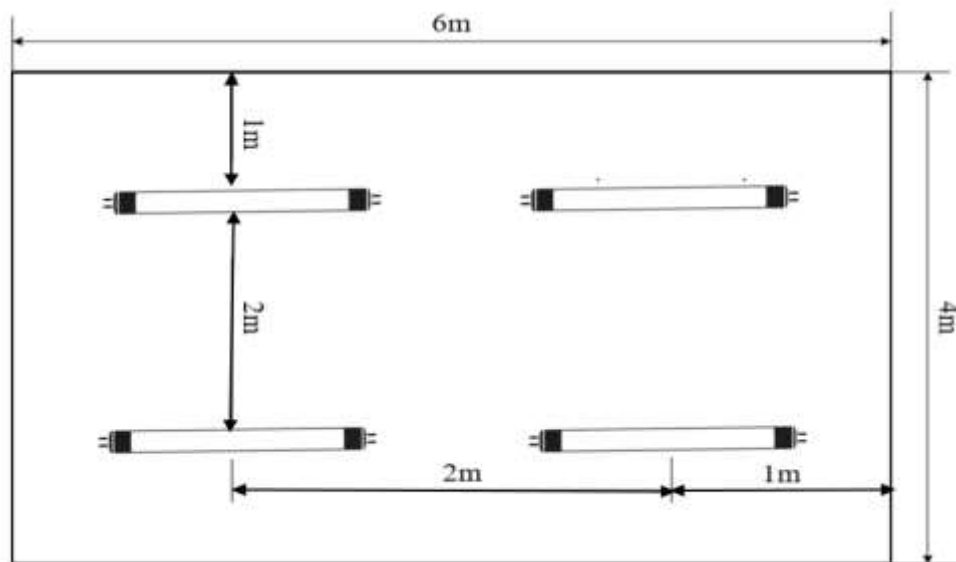
מכאן:

$$Y = \frac{6}{3} = 2(m)$$

נחשב את המרחקים בין הנורות לקירות:

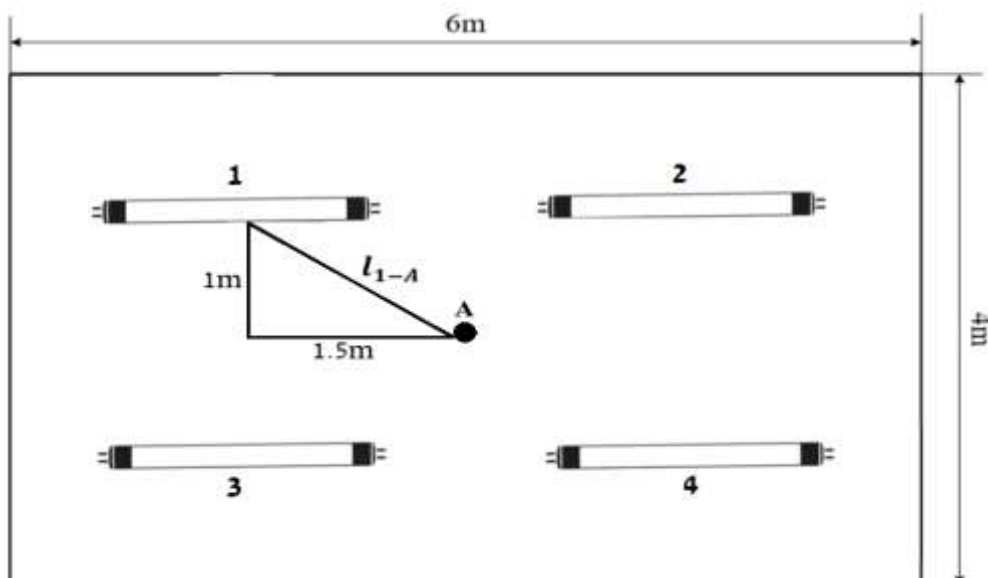
$$\frac{X}{2} = \frac{2}{2} = 1(m); \frac{Y}{2} = \frac{2}{2} = 1(m)$$

נתבונן באיור הבא המתאר את פיזור גופי תאורה:



ג.

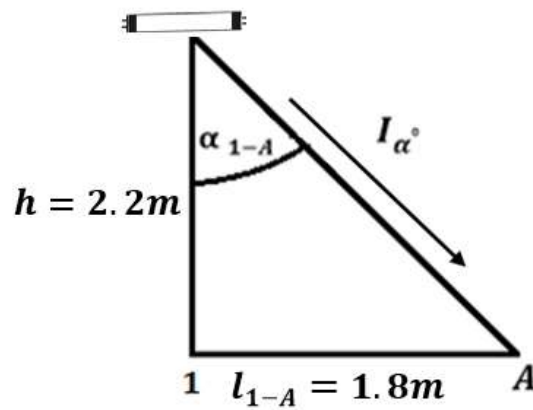
נתבונן באיור הבא:



נחשב את המרחק מעמוד 1 כלפי נקודה A על פי פיתגורס:

$$l_{1-A} = \sqrt{1^2 + 1.5^2} = 1.8(m)$$

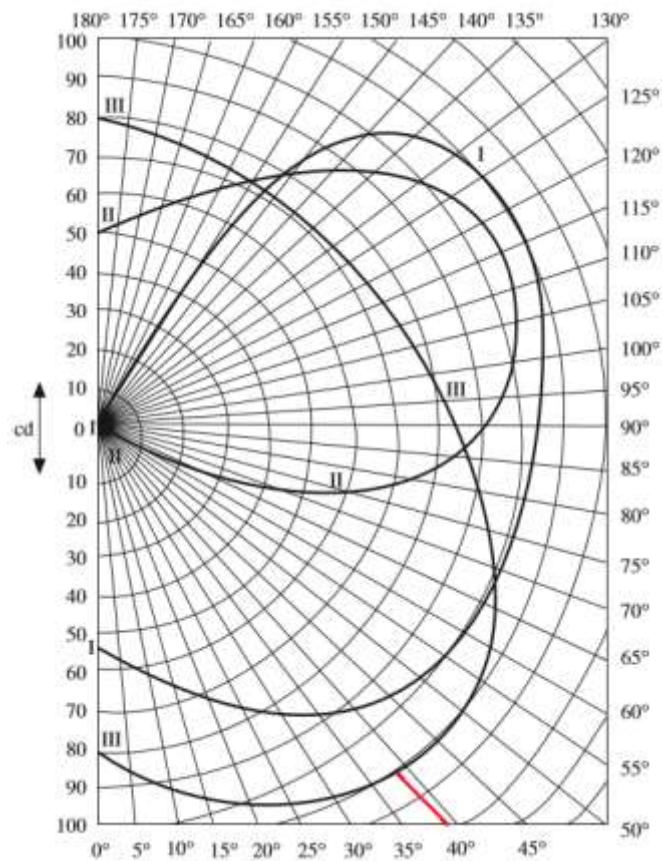
נתבונן באיור הבא:



מכאן:

$$\tan \alpha_{1-A} = \frac{1.8}{2.2} \longrightarrow \alpha_{1-A} = 39.29^\circ$$

נתבונן בדיאגרמה פולארית הבאה:



על פי דיאגרמה פולארית נמצא את I_{α° כאשר $\alpha_{1-A} = 39.29^\circ$:

$$I_{\alpha^\circ} = 110 \left(\frac{cd}{1000lum} \right)$$

נחשב את I_α על פי:

$$I_\alpha = \frac{I_{\alpha^\circ}}{1000} \cdot \Phi_0$$

מכאן:

$$I_\alpha = \frac{110}{1000} \cdot 6700 = 737(cd)$$

לכן:

$$E_{1-A} = \frac{737 \cdot (\cos 39.29)^\circ}{2.2^2} = 70.59(lux)$$

נחשב את עוצמת הארה הכללית בנקודה A על פי:

$$E_A = 4 \cdot E_{1-A} = 4 \cdot 70.59 = 282.36(lux)$$

$E_A = 282.36(lux)$

הפתרון והעריכה בוצעו בעדיבותם של יעקב בוסקילה ויגאל גויכמן