

המחלקה לחשמל קירור ומיזוג אוויר

מתקני חשמל חשמלאי מוסמך

נכתב ונערך ע"י ארנון בן טובים

2013

דרך הטייסים 28, ת.ד. 62137, תל-אביב 61620, טל: 03-6302333, פקס: 03-6311153

28 DERECH HATAYASIM STR. P.O.Box 62137, TEL-AVIV 61620; Tel: 972-3-6302333

כתובת אינטרנט: <http://s.ort.org.il>

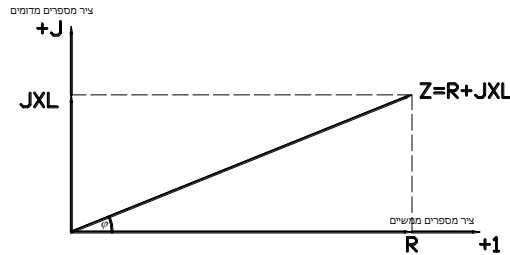
אורט ישראל- חברה לתועלת הציבור חל"צ / 174

תוכן עניינים:

מבוא	עמ' 3
פרק 1- איבודי הספק	עמ' 4-14
פרק 2- מפלי מתח	עמ' 15-30
פרק 3- שיפור גורם ההספק	עמ' 31-33
פרק 4- הארקות והגנות בפני התחשמלות	עמ' 34-40
פרק 5- הגנות בפני זרמי יתר וזרמי קצר	עמ' 41-47
פרק 6- שרטוט סכמתי חשמלי	עמ' 48-54
פרק 7- תכנון דירת מגורים	עמ' 55-56
פרק 8- תכנון בית מלאכה ובתי עסק	עמ' 57-62
פרק 9- משק החשמל בישראל	עמ' 63-64
פרק 10- תאורה	עמ' 65-81
פרק 11- שערים לוגיים ודיאגראמת סולם	עמ' 82-84

מבוא-זרמים והספקים בזרם חילופין

באופן כללי צרכן הזרם חילופין מאופיין ע"י העכבה Z. העכבה בנויה מ-2 רכיבים:
 הרכיב האפקטיבי R הוא התנגדות האומית הנובעת מהתנגדותם האומית של מוליכי הצרכן
 הרכיב הראקטיבי X הוא ההיגב שמבטא את השפעות השדות המגנטי והחשמלי המופיעים בצרכן.
 ההיגב X יכול להיות אחד מ-2 הסוגים הבאים:
 א. היגב השראי X_L לצרכנים הכוללים סלילים אשר אוגרים בתוכם שדה מגנטי.
 ב. היגב קיבולי X_C לצרכנים הכוללים קבלים אשר אוגרים בתוכם שדה חשמלי.
 חיבור בין האפקטיבי והראקטיבי הינו מספר מרוכב וניתן להציגו בדיאגרמות הוקטוריות הבאות:
 עבור צרכן בעל אופי השראי-



מקובל לרשום את ההיגב השראי עם סימן "+".
 זווית העכבה φ מתקבלת לפי הביטויים:

$$\varphi = \cos^{-1} \left(\frac{R}{Z} \right)$$

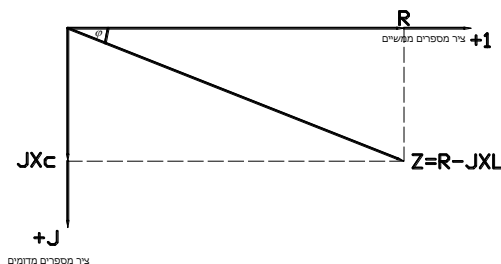
$$\varphi = \sin^{-1} \left(\frac{XL}{Z} \right)$$

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{XL}{R} \right)$$

מתייחסים לחיבור 2 הרכיבים R ו-X כאל חיבור טורי ולכן ניתן להציגו:

$$R + jXL = Z^{\angle \varphi}$$

עבור צרכן בעל אופי קיבולי-



מקובל לרשום את ההיגב הקיבולי עם סימן "-".
 זווית העכבה φ מתקבלת לפי הביטויים:

$$\varphi = \cos^{-1} \left(\frac{R}{Z} \right)$$

$$\varphi = \sin^{-1} \left(\frac{-XC}{Z} \right)$$

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{-XC}{R} \right)$$

מתייחסים לחיבור 2 הרכיבים R ו-X כאל חיבור טורי ולכן ניתן להציגו:

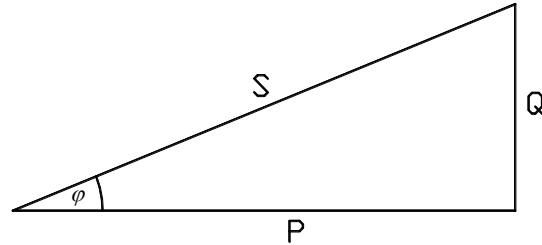
$$R - jXC = Z^{\angle -\varphi}$$

פרק 1-איבודי הספק

רשתות חשמל היא מערכת הולכת אנרגיה חשמלית. איבודי הספק נגרמים כתוצאה מהתנגדות המוליכים וכתוצאה מכך חלק מהאנרגיה המועברת מתבזבזת והופכת לחום.

מבוא

משולש הספקים



$$P = S * \cos \varphi$$

$$Q = S * \sin \varphi$$

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

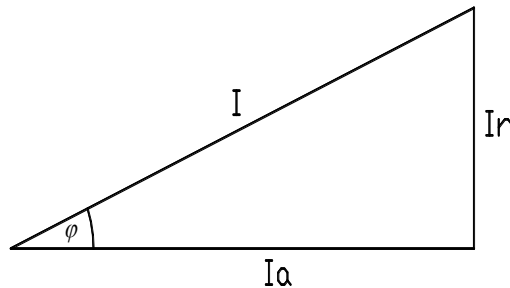
$$\sin \varphi = \frac{Q}{S}$$

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

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

משולש הזרמים



$$Ia = I * \cos \varphi$$

$$Ir = I * \sin \varphi$$

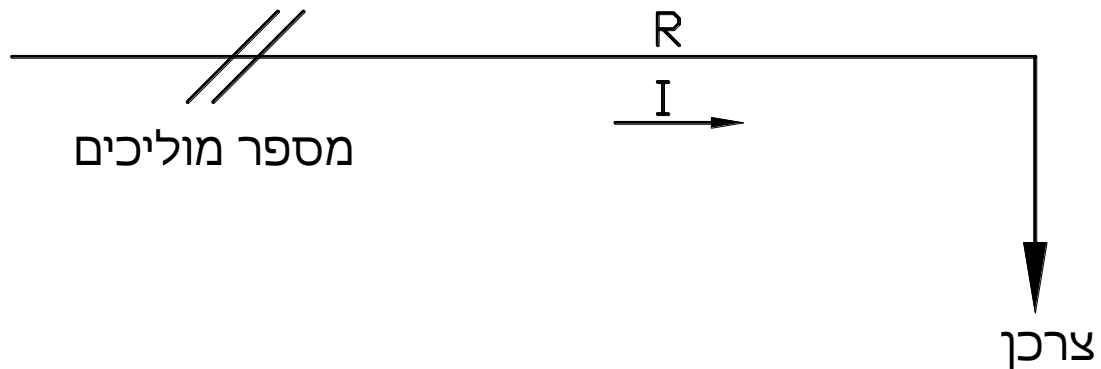
$$\cos \varphi = \frac{Ia}{I}$$

$$\sin \varphi = \frac{Ir}{I}$$

$$\tan \varphi = \frac{Ir}{Ia}$$

$$I^2 = Ia^2 + Ir^2$$

$$I = \sqrt{Ia^2 + Ir^2}$$



$$\Delta P = I^2 * R [W]$$

$$R = \frac{\rho * l}{A} \left[\frac{\Omega * mm^2}{m} \right]$$

$$\Delta P = \frac{2\rho}{A} * I^2 * l [W]$$

כאשר:

ΔP - איבודי הספק

I - זרם בקו

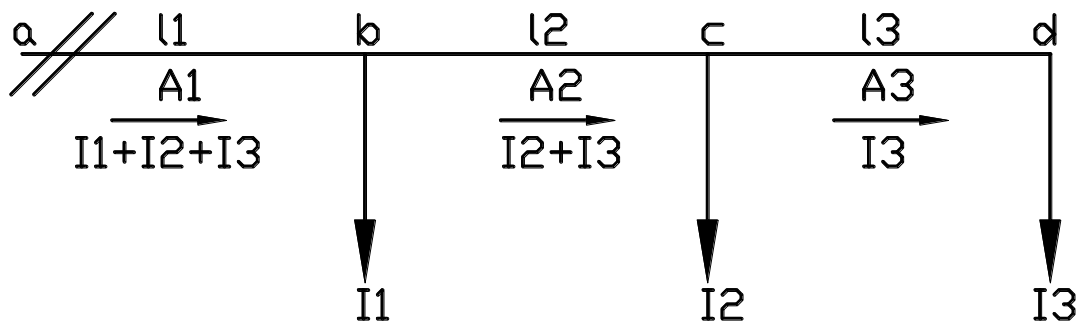
ρ - התנגדות סגולית של חומר המוליך:

$$\rho_{Cu} = \frac{1}{48} \div \frac{1}{60}$$

$$\rho_{Al} = \frac{1}{34} \div \frac{1}{36}$$

l - המרחק מהמקור ועד לצרכן (m).

A - שטח החתך של המוליך (mm^2).



$$I_{cd} = I_3$$

$$I_{bc} = I_2 + I_3$$

$$I_{ab} = I_1 + I_2 + I_3$$

$$\Delta P_{cd} = \frac{2 * \rho_3}{A_3} * I_{cd}^2 * l_3$$

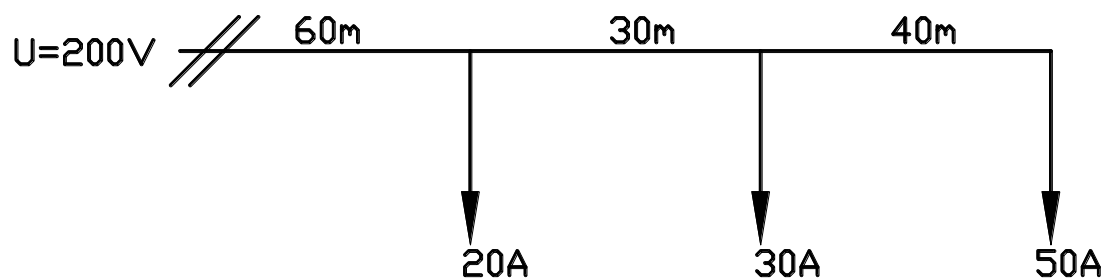
$$\Delta P_{bc} = \frac{2 * \rho_2}{A_2} * I_{bc}^2 * l_2$$

$$\Delta P_{ab} = \frac{2 * \rho_1}{A_1} * I_{ab}^2 * l_1$$

$$\Delta P_{max} = \Delta P_{ab} + \Delta P_{bc} + \Delta P_{cd}$$

תרגיל דוגמא 1

נתונה רשת חשמל במתח ישר המתוארת באיור הבא:

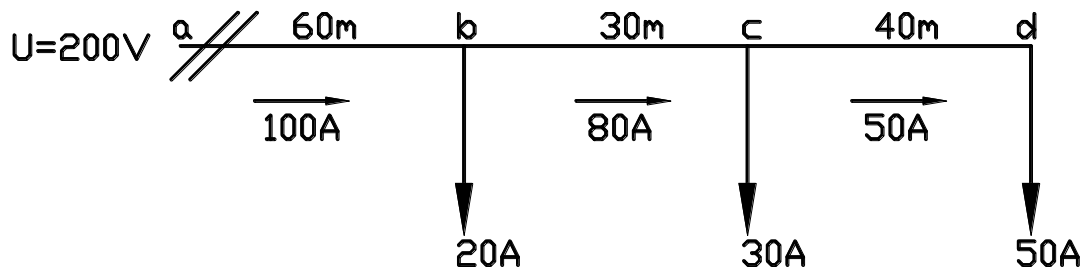


נתון:

$$\rho = \frac{1}{57} \left[\frac{\Omega * mm^2}{m} \right]$$

$$A = 10 [mm^2]$$

מה איבוד ההספק המקסימאלי ברשת ?
האם הרשת כלכלית?



$$\Delta P_{max} = \frac{2 \cdot \rho_1}{A_1} * I_{ab}^2 * l_1 + \frac{2 \cdot \rho_2}{A_2} * I_{bc}^2 * l_2 + \frac{2 \cdot \rho_3}{A_3} * I_{cd}^2 * l_3$$

כאשר סוג החומר וחתך המוליכים אחידים ניתן מבחינה מתמטית להוציא גורם משותף ולכן:

$$\Delta P_{max} = \frac{2\rho}{A} * \sum I^2 * l = \frac{2\rho}{A} * (I_{ab}^2 * l_1 + I_{bc}^2 * l_2 + I_{cd}^2 * l_3)$$

$$\Delta P_{max} = \frac{2}{10} * \frac{1}{57} * (100^2 * 60 + 80^2 * 30 + 50^2 * 40) = 3129.82W$$

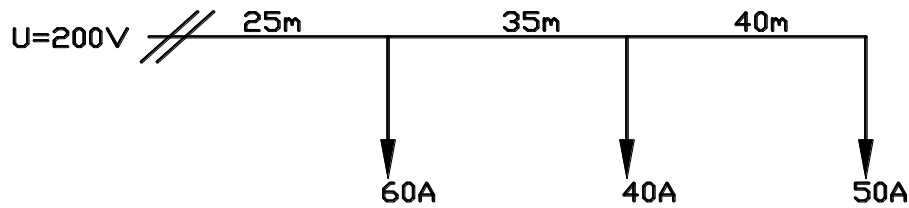
$$\Delta P_{max}\% = \frac{\Delta P_{max}}{P_n} * 100$$

$$P_n = U_n * I_n = 200 * 100 = 20KW$$

$$\Delta P_{max}\% = \frac{3129.82}{20 * 10^3} * 100 = 15.649\%$$

רשת כלכלית מוגדרת כרשת שאיבודי ההספק המקסימאליים בה לא עולה מעל 10%.

רשת זו אינה רשת כלכלית ועל מנת לפתור בעיה זו אחת הדרכים להגדיל את שטח החתך של המוליכים.

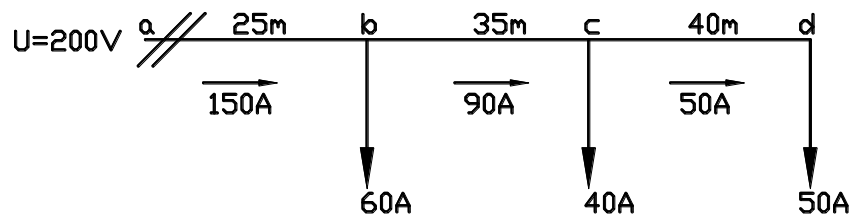


נתון:

$$\rho = \frac{1}{34} \left[\frac{\Omega * mm^2}{m} \right]$$

- א. חשב שטח חתך אחיד לרשת עבור איבודי הספק מקסימאליים של 6%.
 ב. בחר שטח חתך מסחרי וחשב את איבודי ההספק מקסימאליים באחוזים.

פתרון לתרגיל דוגמא 2



א.

$$P_n = U_n * I_n = 200 * 150 = 30KW$$

$$\Delta P_{max} = \frac{\Delta P\% * P_n}{100} = \frac{6 * 30 * 10^3}{100} = 1800W$$

$$\Delta P_{max} = \frac{2\rho}{A} * \sum I^2 * l$$

$$A = \frac{2\rho}{\Delta P_{max}} * \sum I^2 * l$$

$$A = \frac{2}{1800 * 34} * (150^2 * 25 + 90^2 * 35 + 50^2 * 40) = 30.91mm^2$$

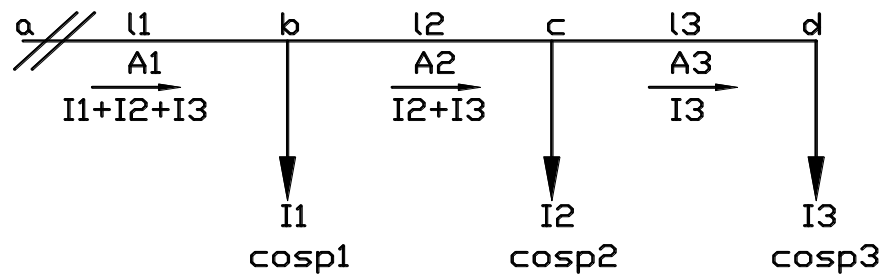
ב.

נבחר שטח חתך מסחרי של $35mm^2$

$$\Delta P_{max} = \frac{2\rho}{A} * \sum I^2 * l$$

$$\Delta P_{max} = \frac{2}{35 * 34} * (150^2 * 25 + 90^2 * 35 + 50^2 * 40) = 1589.81W$$

$$\Delta P_{max}\% = \frac{\Delta P_{max}}{P_n} * 100 = \frac{1589.81}{30 * 10^3} * 100 = 5.3\%$$



$$\vec{I_{cd}} = \vec{I_3}$$

$$\vec{I_{bc}} = \vec{I_2} + \vec{I_3}$$

$$\vec{I_{ab}} = \vec{I_1} + \vec{I_2} + \vec{I_3}$$

$$\Delta P_{cd} = \Delta P_{cd} = \frac{2 * \rho_3}{A_3} * I_{cd}^2 * l_3$$

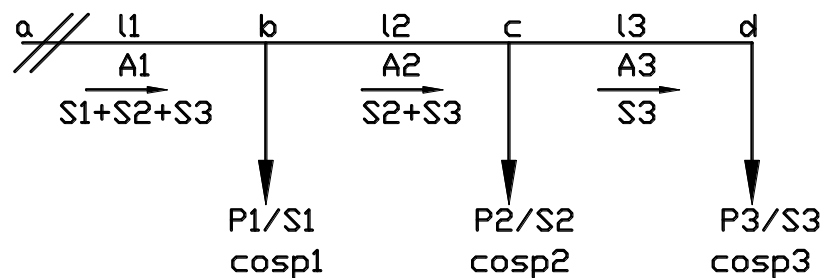
$$\Delta P_{bc} = \frac{2 * \rho_2}{A_2} * I_{bc}^2 * l_2$$

$$\Delta P_{ab} = \frac{2 * \rho_1}{A_1} * I_{ab}^2 * l_1$$

$$\Delta P_{max} = \Delta P_{ab} + \Delta P_{bc} + \Delta P_{cd}$$

כאשר סוג החומר ושטח החתך אחידים:

$$\Delta P_{max} = \frac{2\rho}{A} * \sum I^2 * l$$



$$S = U * I$$

$$P = U * I * \cos\phi$$

$$Q = U * I * \sin\phi$$

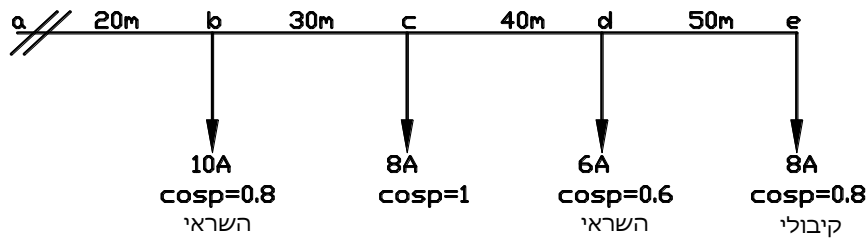
$$I = \frac{S}{U} \quad \text{מכיוון ש-}$$

$$I^2 = \frac{S^2}{U^2} \quad \text{לכן-}$$

$$\Delta P_{max} = \frac{2\rho}{A * U^2} * \sum S^2 * l$$

תרגיל דוגמא 1

נתונה הרשת הבאה:



נתון:

$$\rho = \frac{1}{34} \left[\frac{\Omega * mm^2}{m} \right]$$

$$\Delta P_{max} = 1.2\%$$

$$U = 250V$$

א. חשב את הזרם בכל אחד מקטעי הרשת

ב. חשב את שטח החתך האחיד של מוליכי הרשת עבור איבודי הספק מקסימאליים של 1.2%.

ג. קבע שטח חתך מסחרי וחשב לפיו את איבודי ההספק בקטע bc ואת סכום איבודי ההספק ברשת.

פתרון לתרגיל דוגמא 1

א.

$$\vec{I}_e = (6.4 - j4.8) A$$

$$\vec{I}_d = (3.6 + j4.8) A$$

$$\vec{I}_c = (8 + j0) A$$

$$\vec{I}_b = (8 + j6) A$$

$$\vec{I}_{de} = \vec{I}_e = (6.4 - j4.8) = \sqrt{6.4^2 + 4.8^2} = 8A$$

$$\vec{I}_{cd} = \vec{I}_d + \vec{I}_{de} = (3.6 + j4.8) + (6.4 + j4.8) = (10 + j0) = \sqrt{10^2 + 0^2} = 10 A$$

$$\vec{I}_{bc} = \vec{I}_c + \vec{I}_{cd} = (8 + j0) + (10 + j0) = (18 + j0) = \sqrt{18^2 + 0^2} = 18 A$$

$$\vec{I}_{ab} = \vec{I}_b + \vec{I}_{bc} = (8 + j6) + (18 + j0) = (26 + j6) = \sqrt{26^2 + 6^2} = 26.683A$$

ב.

$$P_n = U_n * I_a = 250 * 26 = 6500W$$

$$\Delta P_{max} = \frac{\Delta P\%}{100} * P_n = \frac{1.2}{100} * 6500 = 78W$$

$$A = \frac{2\rho}{\Delta P_{max}} * \sum I^2 * l$$

$$A = \frac{2}{78 * 34} * (26.683^2 * 20 + 18^2 * 30 + 10^2 * 40 + 8^2 * 50) = 23.5mm^2$$

ג. נבחר שטח חתך מסחרי של $25mm^2$.

$$\Delta P_{bc} = \frac{2\rho}{A} * I_{bc}^2 * l_{bc} = \frac{2}{25 * 34} * 18^2 * 30 = 22.78W$$

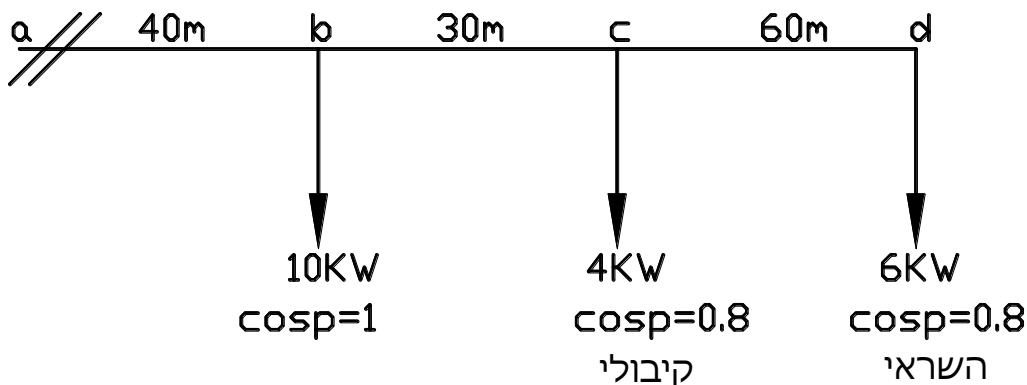
$$\Delta P_{max} = \frac{2\rho}{A} * \sum I^2 * l =$$

$$\Delta P_{max} = \frac{2}{25 * 34} * (26.683^2 * 20 + 18^2 * 30 + 10^2 * 40 + 8^2 * 50)$$

$$\Delta P_{max} = 73.317W$$

תרגיל דוגמא 2

נתונה הרשת הבאה:



נתון:

$$\rho = \frac{1}{56} \left[\frac{\Omega * mm^2}{m} \right]$$

$$\Delta P_{max} = 5\%$$

$$U = 250V$$

א. חשב את שטח האחיד והמסחרי של הרשת

ב. חשב את הפסדי ההספק ברשת באחוזים.

פתרון לתרגיל דוגמא 2

א.

$$Q = P * \tan \varphi$$

$$S_d = (6 + j4.5)KVA$$

$$S_c = (4 - j3)KVA$$

$$S_b = (10 + j0)KVA$$

$$S_{cd} = S_d = (6 + j4.5) = \sqrt{6^2 + 4.5^2} = 7.5KVA$$

$$S_{bc} = S_c + S_{cd} = (4 - j3) + (6 + j4.5) = (10 + j1.5) = \sqrt{10^2 + 1.5^2} = 10.112KVA$$

$$S_{ab} = S_b + S_{bc} = (10 + j0) + (10 + j1.5) = (20 + j1.5) = \sqrt{20^2 + 1.5^2} = 20.056KVA$$

$$\Delta P_{max} = \frac{P_n * \Delta P\%}{100} = \frac{(10 + 4 + 6) * 10^3 * 5}{100} = 1000W$$

$$A = \frac{2\rho}{\Delta P_{max} * U^2} * \sum S^2 * l$$

$$A = \frac{2}{1000 * 56 * 250^2} * (20.056^2 * 40 + 10.112^2 * 30 + 7.5^2 * 60) * 10^6 = 12.876mm^2$$

נבחר שטח חתך מסחרי של $16mm^2$.

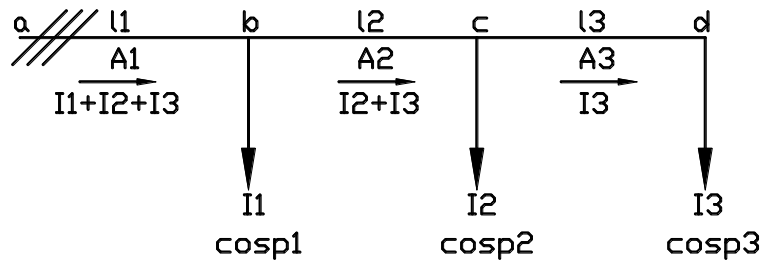
ב.

$$\Delta P_{max} = \frac{2\rho}{A * U^2} * \sum S^2 * l$$

$$\Delta P_{max} = \frac{2}{16*56*250^2} * (20.056^2 * 40 + 10.112^2 * 30 + 7.5^2 * 60) * 10^6 = 804.725W$$

$$\Delta P\% = \frac{\Delta P_{max}}{P_n} * 100 = \frac{804.725}{(10 + 4 + 6) * 10^3} * 100 = 4.024\%$$

רשת תלת פאזית במתח חילופין



$$\vec{I_{cd}} = \vec{I_3}$$

$$\vec{I_{bc}} = \vec{I_2} + \vec{I_3}$$

$$\vec{I_{ab}} = \vec{I_1} + \vec{I_2} + \vec{I_3}$$

$$\Delta P_{cd} = \Delta P_{cd} = \frac{3 * \rho^3}{A_3} * I_{cd}^2 * l_3$$

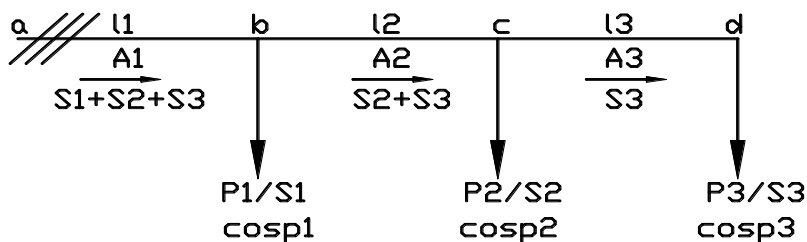
$$\Delta P_{bc} = \frac{3 * \rho^2}{A_2} * I_{bc}^2 * l_2$$

$$\Delta P_{ab} = \frac{3 * \rho^1}{A_1} * I_{ab}^2 * l_1$$

$$\Delta P_{max} = \Delta P_{ab} + \Delta P_{bc} + \Delta P_{cd}$$

כאשר סוג החומר ושטח החתך אחידים:

$$\Delta P_{max} = \frac{3\rho}{A} * \sum I^2 * l$$

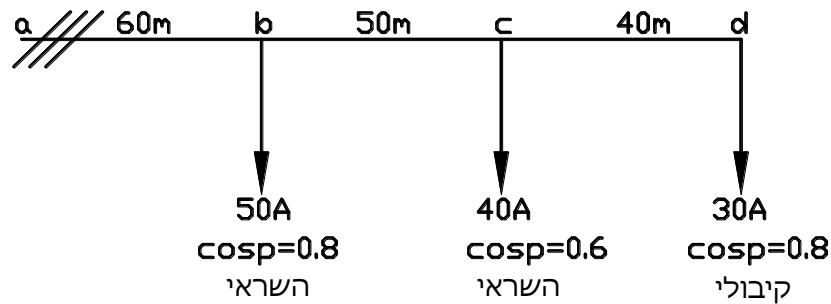


$$S = \sqrt{3} * U * I$$

$$P = \sqrt{3} * U * I * \cos\phi$$

$$Q = \sqrt{3} * U * I * \sin\phi$$

$$\Delta P_{max} = \frac{\rho}{A * U^2} * \sum S^2 * l$$



נתון:

$$\rho = \frac{1}{56} \left[\frac{\Omega * mm^2}{m} \right]$$

$$UL = 400V$$

א. חשב את הזרם בכל אחד מקטעי הרשת.

ב. חשב את שטח החתך האחיד עבור הפסד הספק מקסימאלי מותר של 4%.

ג. קבע שטח חתך מסחרי וחשב את איבוד הספק מקסימאלי של הרשת באחוזים.

פתרון לתרגיל דוגמא 1

א.

$$\vec{I_d} = (24 - j18) A$$

$$\vec{I_c} = (24 + j32) A$$

$$\vec{I_b} = (40 + j30) A$$

$$\vec{I_{cd}} = \vec{I_d} = (24 - j18) = \sqrt{24^2 + 18^2} = 30 A$$

$$\vec{I_{bc}} = \vec{I_c} + \vec{I_{cd}} = (24 + j32) + (24 - j18) = (48 + j14) = \sqrt{48^2 + 14^2} = 50 A$$

$$\vec{I_{ab}} = \vec{I_b} + \vec{I_{bc}} = (40 + j30) + (48 + j14) = (88 + j44) = \sqrt{88^2 + 44^2} = 98.387 A$$

ב.

$$P_n = \sqrt{3} * UL * I_a(ab) = \sqrt{3} * 400 * 88 = 60.938 KW$$

$$\Delta P_{max} = \frac{\Delta P\%}{100} * P_n = \frac{4}{100} * 60.938 * 10^3 = 2437.52 W$$

$$A = \frac{3\rho}{\Delta P_{max}} * \sum I^2 * l$$

$$A = \frac{3}{2437.52 * 56} * (98.387^2 * 60 + 50^2 * 50 + 30^2 * 40) = 16.303 mm^2$$

ג.

נבחר שטח חתך מסחרי $25 mm^2$.

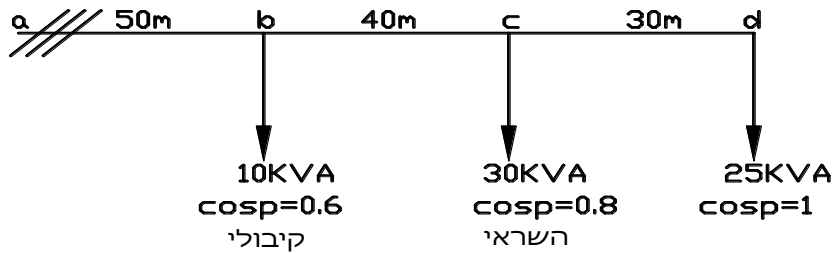
$$\Delta P_{max} = \frac{3\rho}{A} * \sum I^2 * l$$

$$\Delta P_{max} = \frac{3}{25 * 56} * (98.387^2 * 60 + 50^2 * 50 + 30^2 * 40) = 1589.57 W$$

$$\Delta P\% = \frac{\Delta P_{max}}{P_n} * 100 = \frac{1589.57}{60.939 * 10^3} * 100 = 2.6\%$$

תרגיל דוגמא 2

נתונה הרשת הבאה:



נתון:

$$\rho = \frac{1}{57} \left[\frac{\Omega * mm^2}{m} \right]$$

$$UL = 400V$$

- חשב את הזרם בכל קטע.
- חשב את שטח החתך האחיד בדרוש עבור איבוד הספק מרבי של 1.5%.
- בחר שטח חתך מסחרי וחשב את איבודי ההספק בקטע bc.

פתרון לתרגיל דוגמא 2

א.

$$S_d = (25 + j0)KVA$$

$$S_c = (24 + j18)KVA$$

$$S_b = (6 - j8)KVA$$

$$S_{cd} = S_d = (25 + j0) = \sqrt{25^2 + 0^2} = 25KVA$$

$$S_{bc} = S_c + S_{cd} = (24 + j18) + (25 + j0) = (49 + j18) = \sqrt{49^2 + 18^2} = 52.202KVA$$

$$S_{ab} = S_b + S_{bc} = (6 - j8) + (49 + j18) = (55 + j10) = \sqrt{55^2 + 10^2} = 55.902KVA$$

ב.

$$\Delta P_{max} = \frac{\Delta P\%}{100} * P_n = \frac{1.5}{100} * 55 * 10^3 = 825W$$

$$A = \frac{\rho}{\Delta P_{max} * U^2} * \sum S^2 * l$$

$$A = \frac{1}{825 * 400^2 * 57} * 10^6 (55.902^2 * 50 + 52.202^2 * 40 + 25^2 * 30) = 37.746mm^2$$

ד.

נבחר שטח חתך מסחרי $50mm^2$.

$$\Delta P_{bc} = \frac{\rho}{A * U^2} * S_{bc}^2 * l_{bc} =$$

$$\Delta P_{bc} = \frac{1}{50 * 400^2 * 57} * (52.202 * 10^3)^2 * 40 = 239.039W$$

פרק 2- מפלי מתח

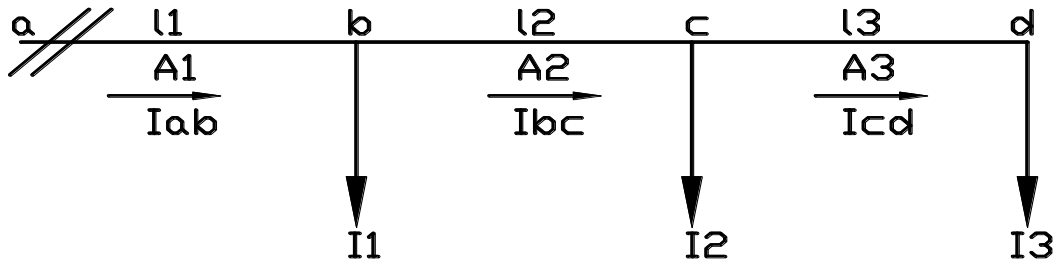
רשתות מתח ישר

מפל מתח המתפתח על מוליכי הרשת מוגדר ΔU .

$$\Delta U = I l * R l$$

$$R l = \frac{2 \rho * l}{A}$$

$$\Delta U = \frac{2 \rho}{A} * I * l$$



$$\Delta U_{ab} = \frac{2 * \rho_1}{A_1} * I_{ab} * l_1$$

$$\Delta U_{bc} = \frac{2 * \rho_2}{A_2} * I_{bc} * l_2$$

$$\Delta U_{cd} = \frac{2 * \rho_3}{A_3} * I_{cd} * l_3$$

$$U_b = U_a - \Delta U_{ab}$$

$$U_c = U_b - \Delta U_{bc} = U_a - (\Delta U_{ab} + \Delta U_{bc})$$

$$U_d = U_c - \Delta U_{cd} = U_a - (\Delta U_{ab} + \Delta U_{bc} + \Delta U_{cd})$$

המשמעות היא: הצרכן הרחוק ביותר מהמקור מקבל את מתח הנמוך ביותר.

$$\Delta U_{max} = \Delta U_{ab} + \Delta U_{bc} + \Delta U_{cd}$$

$$\Delta U_{max} = \frac{2 * \rho_1}{A_1} * I_{ab} * l_1 + \frac{2 * \rho_2}{A_2} * I_{bc} * l_2 + \frac{2 * \rho_3}{A_3} * I_{cd} * l_3$$

כאשר סוג חומר ושטח החתך אחידים:

$$\Delta U_{max} = \frac{2 \rho}{A} * \sum I * l$$

$$\Delta U_{max} \% = \frac{\Delta U_{max}}{U_n} * 100$$

תרגיל דוגמא 1

נתון צרכן הצורך 30A מתח המקור 115V הצרכן מרוחק 40 מ' מהמקור. מפל המתח

$$\rho = \frac{1}{58} \left[\frac{\Omega \cdot mm^2}{m} \right] \text{ נתון כי } 3\%$$

א. חשב את שטח החתך של המוליך.

ב. בחר שטח חתך מסחרי וחשב את המתח על הצרכן.

פתרון לתרגיל דוגמא 1

א.

$$\Delta U_{max} = \frac{\Delta U_{max\%} * U_n}{100} = \frac{3 * 115}{100} = 3.45V$$

$$A = \frac{2\rho}{\Delta U_{max}} * I * l = \frac{2}{3.45 * 58} * 30 * 40 = 11.99mm^2$$

ב.

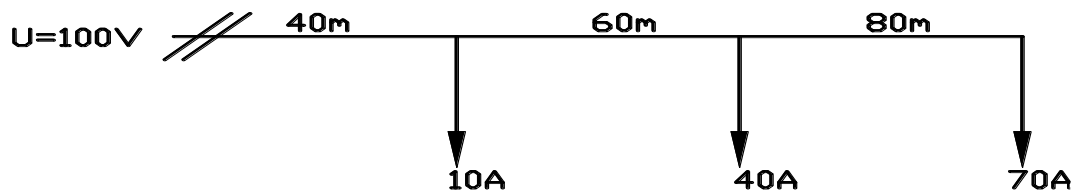
נבחר שטח חתך מסחרי של $16mm^2$

$$\Delta U_{max}' = \frac{2\rho}{A'} * I * l = \frac{2}{16 * 58} * 30 * 40 = 2.586V$$

$$U(\text{צרכן}) = U(\text{מקור}) - \Delta U_{max}' = 115 - 2.586 = 112.414V$$

תרגיל דוגמא 2

נתונה הרשת הבאה:

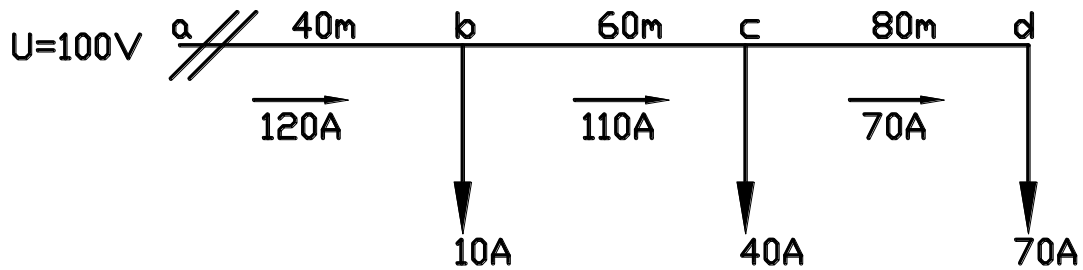


$$\rho = \frac{1}{34} \text{ נתון כי}$$

א. חשב שטח אחיד לרשת עבור מפל מתח של 4%.

ב. בחר שטח חתך מסחרי וחשב את המתח הנופל על צרכן c.

ג. חשב את מפל המתח המקסימאלי באחוזים.



א.

$$\Delta U_{max} = \frac{\Delta U_{max\%} * U_n}{100} = \frac{4 * 100}{100} = 4V$$

$$A = \frac{2\rho}{\Delta U_{max}} * \sum I * l = \frac{2}{4 * 34} * (120 * 40 + 110 * 60 + 70 * 80) =$$

$$A = 250mm^2$$

ב.

נבחר שטח חתך מסחרי של $2 \times 150 mm^2$

$$\Delta U_{ac} = \frac{2\rho}{A} * (I_{ab} * l_{ab} + I_{bc} * l_{bc}) = \frac{2}{34 * 2 * 150} * (120 * 40 + 110 * 60) =$$

$$\Delta U_{ac} = 2.33V$$

$$U_c = U_a - \Delta U_{ac} = 100 - 2.33 = 97.77V$$

ג.

$$\Delta U_{max} = \frac{2\rho}{A} * \sum I * l = \frac{2}{34 * 2 * 150} * (120 * 40 + 110 * 60 + 78 * 80) =$$

$$\Delta U_{max} = 3.33V$$

$$\Delta U_{max\%} = \frac{\Delta U_{max}}{U_n} * 100 = \frac{3.33}{100} * 100 = 3.33\%$$

$$\Delta U_{max} = \Delta U_a + \Delta U_r$$

$$\Delta U_a = \Delta U - \Delta U_r$$

$$\Delta U_a = R_o * I_a * l = \frac{2\rho}{A} * I_a * l$$

$$\Delta U_r = X_o * I_r * l$$

$$\Delta U_{max} = \frac{2\rho}{A} * I_a * l + X_o * I_r * l$$

$$A = \frac{2\rho}{\Delta U_a} * \sum I_a * l$$

$$I_a = I * \cos \varphi$$

$$I = \frac{P}{U * \cos \varphi}$$

$$I_a = \frac{P}{U}$$

$$I_r = I * \sin \varphi$$

$$I = \frac{Q}{\sin \varphi}$$

$$I_r = \frac{Q}{U}$$

$$\Delta U_{max} = \frac{2\rho}{A} * \frac{P}{U} * l + \frac{X_o}{U} * Q * l$$

$$S \cos \varphi = P + JQ$$

$$S = U * I$$

כאשר:

$$R_o = R_o * l \left[\frac{\Omega}{Km} \right] \text{ - התנגדות המוליך ליחידת אורך-}$$

$$X_o = X_o * l \left[\frac{\Omega}{Km} \right] \text{ - היגב המוליך ליחידת אורך-}$$

$$I_a \text{ - זרם דרך המרכיב הממשי של המוליך- } [A]$$

$$I_r \text{ - זרם דרך המרכיב ההיגבי של המוליך- } [A]$$

$$P \text{ - ההספק האקטיבי המתפתח בצרכן- } [W]$$

$$Q \text{ - ההספק הראקטיבי המתפתח בצרכן- } [VAr]$$

$$S \text{ - ההספק המדומה המתפתח בצרכן- } [VA]$$

תרגיל דוגמא 1

נתון צרכן חד פאזי בעל הנתונים הבאים: $100A$, $\cos \varphi = 0.8$
מחובר למקור מתח של $200V$ באמצעות כבל בעל הנתונים הבאים:

$$L=100m, \rho = \frac{1}{57} \left[\frac{\Omega mm^2}{m} \right], X_o=0.1 \frac{\Omega}{Km}$$

א. חשב מה שטח החתך הדרוש למוליך עבור מפל מתח מקסימאלי של 3%.

ב. בחר שטח חתך מסחרי וחשב עבורו את המתח הנופל על הצרכן.

פתרון לתרגיל דוגמא 1

א.

$$I_a = I * \cos \varphi = 100 * \cos 36.87 = 80A$$

$$I_r = I * \sin \varphi = 100 * \sin 36.87 = 60A$$

$$\vec{I} = (80 + j60)A$$

$$\Delta U_r = X_o * I_r * l = \frac{0.1}{1000} * 60 * 100 = 0.6V$$

$$\Delta U = \frac{\Delta U\% * U_n}{100} = \frac{3 * 200}{100} = 6V$$

$$\Delta U_a = \Delta U - \Delta U_r = 6 - 0.6 = 5.4V$$

$$A = \frac{2\rho}{\Delta U_a} * I_a * l = \frac{2}{5.4 * 57} * 80 * 100 = 51.98mm^2$$

ב.

נבחר שטח חתך מסחרי של $70mm^2$.

$$\Delta U_{max} = \frac{2\rho}{A} * I_a * l + X_o * I_r * l =$$

$$\Delta U_{max} = \frac{2}{70 * 57} * 80 * 100 + \frac{0.1}{1000} * 60 * 100 = 4.5V$$

$$U(\text{צרכן}) = U(\text{מקור}) - \Delta U_{max} = 200 - 4.5 = 195.5V$$

תרגיל דוגמא 2

רשת חד פאזית מספקת לצרכן של $15KW$ בגורם הספק של 0.8 השראתי. המתח הנמדד על פני הצרכן הוא $220V$. התנגדות האומית של הרשת עד לצרכן הוא 0.04Ω . ואילו ההיגב ההשראתי של הרשת עד לצרכן הוא 0.15Ω . חשב את מתח המקור.

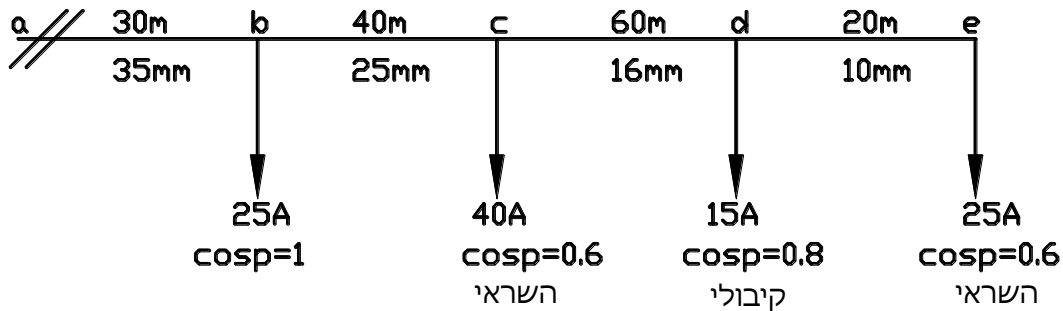
פתרון לתרגיל דוגמא 2

$$I_L = \frac{PL}{U_L * \cos \varphi} = \frac{15 * 10^3}{220 * 0.8} = 85.227 \angle 36.87^\circ A = (68.182 + j51.136)A$$

$$\Delta U_{max} = R * I_a * + X * I_r * =$$

$$\Delta U_{max} = 0.04 * 68.182 + 0.15 * 51.136 = 10.4V$$

$$U(\text{מקור}) = U(\text{צרכן}) + \Delta U_{max} = 220 + 10.4 = 230.4V$$



נתון כי:

$$\rho = \frac{1}{57} \left[\frac{\Omega mm^2}{m} \right]$$

$$X_o = 0.2 \left[\frac{\Omega}{Km} \right]$$

$$U_n = 200V$$

א. חשב את המתח הנופל על הצרכנים.

ב. חשב את מפל המתח המקסימאלי באחוזים.

פתרון לתרגיל דוגמא 3

א.

$$I_e = (12 + j16)A$$

$$I_d = (12 - j9)A$$

$$I_c = (24 + j32)A$$

$$I_b = (25 + j0)A$$

$$I_{de} = I_e = (12 + j16)A$$

$$I_{cd} = I_d + I_{de} = (12 - j9) + (12 + j16) = (24 + j7)A$$

$$I_{bc} = I_c + I_{cd} = (24 + j32) + (12 + j7) = (48 + j39)A$$

$$I_{ab} = I_b + I_{bc} = (25 + j0) + (48 + j39) = (73 + j39)A$$

$$\Delta U_{ab} = \frac{2\rho}{A_{ab}} * I_a(ab) * l_{ab} + X_o * I_r(ab) * l_{ab} =$$

$$\Delta U_{ab} = \frac{2}{35 * 57} * 73 * 30 + \frac{0.2}{1000} * 39 * 30 = 2.43V$$

$$U_b = U_n - \Delta U_{ab} = 200 - 2.43 = 197.57V$$

$$\Delta U_{bc} = \frac{2\rho}{A_{bc}} * I_a(bc) * l_{bc} + X_o * I_r(bc) * l_{bc} =$$

$$\Delta U_{bc} = \frac{2}{25 * 57} * 48 * 40 + \frac{0.2}{1000} * 39 * 40 = 3V$$

$$U_c = U_b - \Delta U_{bc} = 197.57 - 3 = 194.57V$$

$$\Delta U_{cd} = \frac{2\rho}{A_{cd}} * I_a(cd) * l_{cd} + X_o * I_r(cd) * l_{cd} =$$

$$\Delta U_{cd} = \frac{2}{16 * 57} * 24 * 60 + \frac{0.2}{1000} * 7 * 60 = 3.24V$$

$$U_d = U_c - \Delta U_{cd} = 194.57 - 3.24 = 191.33V$$

$$\Delta U_{de} = \frac{2\rho}{A_{de}} * I_a(de) * l_{de} + X_o * I_r(de) * l_{de} =$$

$$\Delta U_{de} = \frac{2}{10 * 57} * 12 * 20 + \frac{0.2}{1000} * 16 * 20 = 0.906V$$

$$U_e = U_d - \Delta U_{de} = 191.33 - 0.906 = 190.42V$$

ב.

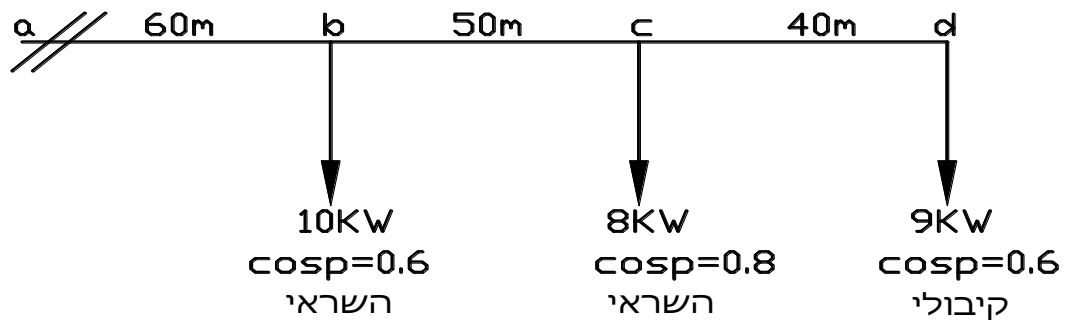
$$\Delta U_{max} = \sum \Delta U = \Delta U_{ab} + \Delta U_{bc} + \Delta U_{cd} + \Delta U_{de} =$$

$$\Delta U_{max} = 2.43 + 3 + 3.24 + 0.906 = 9.576$$

$$\Delta U_{max}\% = \frac{\Delta U_{max}}{U_n} * 100 = \frac{9.576}{200} * 100 = 4.79\%$$

תרגיל דוגמא 4

נתונה הרשת הבאה:



נתון כי:

$$\rho = \frac{1}{58} \left[\frac{\Omega mm^2}{m} \right]$$

$$X_o = 0.35 \left[\frac{\Omega}{Km} \right]$$

$$U_n = 240V$$

א. חשב שטח חתך אחיד לרשת עבור מפל מתח של 5%.

ב. בחר שטח חתך מסחרי וחשב את המתח של הצרכן C ואת מפל המתח בקטע bc.

פתרון לתרגיל דוגמא 4

א.

$$S_d = (9 - j12) KVA$$

$$S_c = (8 + j6) KVA$$

$$S_b = (10 + j13.33) KVA$$

$$S_{dc} = S_d = (9 - j12) KVA$$

$$S_{bc} = S_c + S_{dc} = (8 + j6) + (9 - j12) = (17 - j6) KVA$$

$$S_{ab} = S_b + S_{bc} = (10 + j13.33) + (17 - j6) = (27 + j7.33) KVA$$

ב.

$$\Delta U_r = \frac{X_o}{U} * \sum Q * l =$$

$$\Delta U_r = \frac{0.35}{1000 * 240} * 10^3 * (7.33 * 60 - 6 * 50 - 12 * 40) = -0.5V$$

$$\Delta U_{max} = \frac{\Delta U_{max\%}}{100} * U_n = \frac{4}{100} * 240 = 12V$$

$$\Delta U_a = \Delta U_{max} - \Delta U_r = 12 + 0.5 = 12.5V$$

$$A = \frac{2\rho}{\Delta U_a * U} * \sum P * l =$$

$$A = \frac{2}{12.5 * 58 * 240} * 10^3 * (27 * 60 + 17 * 50 + 9 * 40) = 32.54 mm^2$$

ג.נבחר שטח חתך מסחרי של $.35mm^2$

$$\Delta U(ac) = \frac{2\rho}{A * U} * (Pab * lab + Pbc * lbc) + \frac{Xo}{U} * (Qab * lab + Qbc * lbc) =$$

$$\Delta U(ac) = \frac{2}{35 * 58 * 240} * 10^3 * (27 * 60 + 17 * 50) + \frac{0.35}{1000 * 240} * 10^3 * (7.33 * 60 - 6 * 50)$$

$$\Delta U(ac) = 10.34V$$

$$Uc = Un - \Delta U(ac) = 240 - 10.34 = 229.66V$$

$$\Delta U(cd) = \frac{2\rho}{A * U} * (Pcd * lcd) + \frac{Xo}{U} * (Qcd * lcd) =$$

$$\Delta U(cd) = \frac{2}{35 * 58 * 240} * 9 * 10^3 * 40 + \frac{0.35}{1000 * 240} * (-12) * 10^3 * 40 = 0.777V$$

$$\Delta U_{max} = \Delta U_a + \Delta U_r$$

$$\Delta U_a = \Delta U - \Delta U_r$$

$$\Delta U_a = \sqrt{3} * R_o * I_a * l = \frac{\sqrt{3}\rho}{A} * I_a * l$$

$$\Delta U_r = \sqrt{3} * X_o * I_r * l$$

$$\Delta U_{max} = \frac{\sqrt{3}\rho}{A} * I_a * l + \sqrt{3} * X_o * I_r * l$$

$$A = \frac{\sqrt{3}\rho}{\Delta U_a} * \sum I_a * l$$

$$I_a = I * \cos \varphi$$

$$I = \frac{P}{U_n * \sqrt{3} * \cos \varphi}$$

$$I_a = \frac{P}{U_n * \sqrt{3}}$$

$$I_r = I * \sin \varphi$$

$$I = \frac{Q}{U_n * \sqrt{3} * \sin \varphi}$$

$$I_r = \frac{Q}{U_n * \sqrt{3}}$$

$$\Delta U_{max} = \frac{\rho}{A * U_n} * P * l + \frac{X_o}{U_n} * Q * l$$

$$\Delta U_a = \frac{\rho}{A * U_n} * P * l$$

$$\Delta U_r = \frac{X_o}{U_n} * Q * l$$

$$S = \sqrt{3} * U * I$$

כאשר:

$$R = R_o * l \left[\frac{\Omega}{Km} \right] \text{ - התנגדות המוליך ליחידת אורך-}$$

$$X = X_o * l \left[\frac{\Omega}{Km} \right] \text{ - היגב המוליך ליחידת אורך-}$$

$$I_a \text{ - זרם דרך המרכיב הממשי של המוליך- } [A]$$

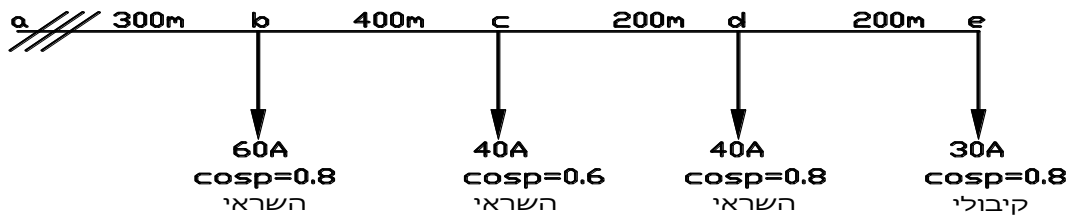
$$I_r \text{ - זרם דרך המרכיב ההיגבי של המוליך- } [A]$$

$$P \text{ - ההספק האקטיבי המתפתח בצרכן- } [W]$$

$$Q \text{ - ההספק הראקטיבי המתפתח בצרכן- } [VAr]$$

$$S \text{ - ההספק המדומה המתפתח בצרכן- } [VA]$$

תרגיל דוגמא 1



נתון כי:

$$\rho = 0.0175 \left[\frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}} \right]$$

$$U_n = 400V$$

- א. חשב שטח חתך אחיד לרשת עבור מפל מתח של 5%.
 ב. בחר שטח חתך מסחרי וחשב את המתח של הצרן e.

פתרון תרגיל דוגמא 1

א.

$$\vec{I}_e = (24 - j18)A$$

$$\vec{I}_d = (32 + j24)A$$

$$\vec{I}_c = (24 + j32)A$$

$$\vec{I}_b = (48 + j36)A$$

$$\vec{I}_{de} = \vec{I}_e = (24 - j18)A$$

$$\vec{I}_{cd} = \vec{I}_d + \vec{I}_{de} = (32 + j24) + (24 - j18) = (56 + j6)A$$

$$\vec{I}_{bc} = \vec{I}_c + \vec{I}_{cd} = (24 + j32) + (56 + j6) = (80 + j38)A$$

$$\vec{I}_{ab} = \vec{I}_b + \vec{I}_{bc} = (48 + j36) + (80 + j38) = (128 + j74)A$$

$$\Delta U_{max} = \frac{\Delta U\%}{100} * U_n = \frac{5}{100} * 400 = 20V$$

בהנחה ש- $X_0=0$ (לא נתון).

$$\Delta U_{max} = \Delta U_a = 20V$$

$$A = \frac{\sqrt{3}\rho}{\Delta U_a} * \sum I_a * l$$

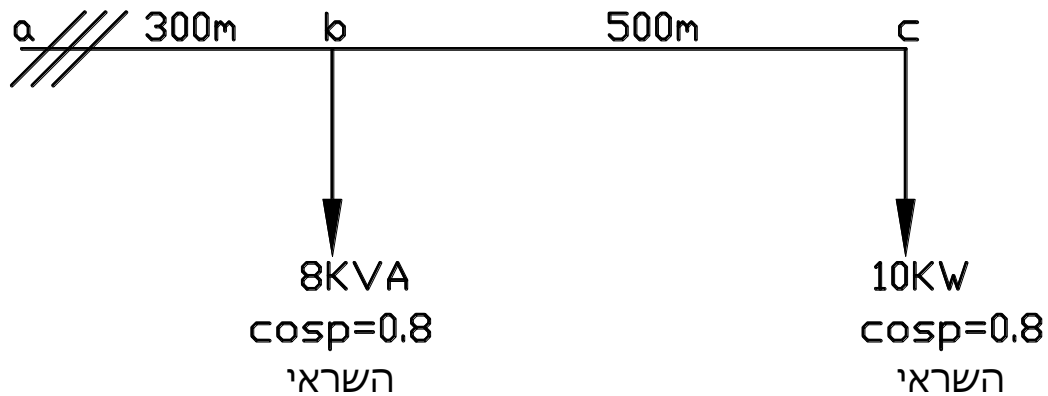
$$A = \frac{\sqrt{3} * 0.0175}{20} * (128 * 300 + 80 * 400 + 56 * 200 + 24 * 200) = 130.943 \text{mm}^2$$

ב.נבחר שטח חתך מסחרי של 150mm^2 .

$$\Delta U_a = \frac{\sqrt{3}\rho}{A} * \sum I_a * l$$

$$\Delta U_a = \frac{\sqrt{3} * 0.0175}{150} * (128 * 300 + 80 * 400 + 56 * 200 + 24 * 200) = 17.459V$$

$$U_e = U_n - \Delta U_a = 400 - 17.459 = 382.541V$$



נתון כי: המוליכות הסגולית של המוליכים $g = 56 \left[\frac{m}{\Omega mm^2} \right]$

מתח המקור 400V

$$X_o = 0.35 \frac{\Omega}{km}$$

חשב: את השטח החתך המסחרי המותר כך שמפל המתח המותר לא יעלה על 3%.

פתרון תרגיל דוגמא 2

$$\vec{S_c} = \frac{P_c}{\cos \phi_c} = \frac{10 \cdot 10^3}{0.8} = 12.5 KVA = (10 + j7.5) KVA$$

$$\vec{S_b} = 8 KVA = (6.4 + j4.8) KVA$$

$$\vec{S_{bc}} = \vec{S_c} = (10 + j7.5) KVA$$

$$\vec{S_{ab}} = \vec{S_b} + \vec{S_{bc}} = (6.4 + j4.8) + (10 + j7.5) = (16.4 + j12.3) KVA$$

$$\Delta U_{max} = \frac{\Delta U\%}{100} \cdot U_n = \frac{3}{100} \cdot 400 = 12V$$

$$\Delta U_r = \frac{X_o}{U_n} \cdot \sum Q \cdot l = \frac{X_o}{U_n} \cdot (Q_{ab} \cdot l_{ab} + Q_{bc} \cdot l_{bc}) =$$

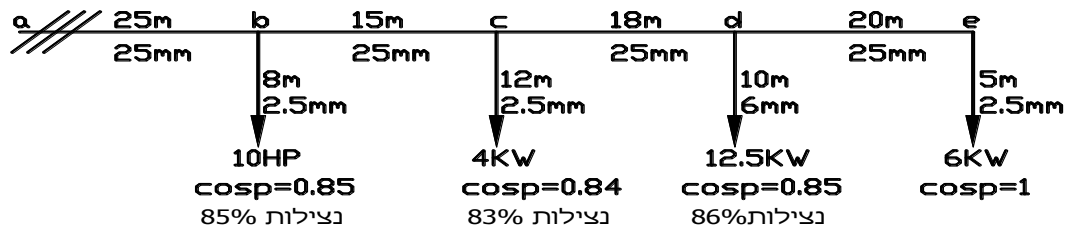
$$\Delta U_r = \frac{0.35}{1000 \cdot 400} \cdot 10^3 \cdot (12.3 \cdot 300 + 7.5 \cdot 500) = 6.51V$$

$$\Delta U_a = \Delta U_{max} - \Delta U_r = 12 - 6.51 = 5.59V$$

$$A = \frac{\rho}{\Delta U_a \cdot U_n} \cdot \sum P \cdot l = \frac{\rho}{\Delta U_a \cdot U_n} \cdot (P_{ab} \cdot l_{ab} + P_{bc} \cdot l_{bc}) =$$

$$A = \frac{1}{56 \cdot 5.59 \cdot 400} \cdot 10^3 \cdot (16.4 \cdot 300 + 10 \cdot 500) = 79.223 mm^2$$

נבחר בשטח חתך מסחרי של $95 mm^2$.



הקו התלת מופעי המתואר בתרשים מזין שלושה מנועים ותנור תלת מופעי

נתון כי: הקו עשוי ממוליכי אלומיניום $\rho = \frac{1}{34} \left[\frac{\Omega mm^2}{m} \right]$ ניתן להזניח את ההשראות בקו.
חשב: את הפסדי המתח עבור כל אחד מהצרכנים.

פתרון תרגיל דוגמא 3

$$P1 = \frac{Pb}{\eta b} = \frac{10 * 736}{0.84} = 8761.90W$$

$$P2 = \frac{Pc}{\eta c} = \frac{4000}{0.83} = 4819.28W$$

$$P3 = \frac{Pd}{\eta d} = \frac{12500}{0.86} = 14534.9W$$

$$P4 = \frac{Pe}{\eta e} = \frac{6000}{1} = 6000W$$

$$Pde = P4 = 6000W$$

$$Pcd = P3 + Pde = 14534.9 + 6000 = 20534.9W$$

$$Pbc = P2 + Pcd = 4819.28 + 20534.9 = 25354.2W$$

$$Pab = P1 + Pbc = 8761.9 + 25354.2 = 34116.1W$$

$$\Delta U_{max} = \frac{\rho}{A * Un} * \sum P * l + \frac{Xo}{Un} * \sum Q * l$$

$$\Delta U(a-1) = \Delta Uab + \Delta U1 = \frac{\rho}{Un} * \left(\frac{Pab * lab}{Aab} + \frac{P1 * l1}{A1} \right)$$

$$\Delta U(a-1) = \frac{1}{34 * 400} * \left(\frac{34116.1 * 25}{25} + \frac{8761.9 * 8}{2.5} \right) = 4.57V$$

$$\Delta U(a-2) = \Delta Uab + \Delta Ubc + \Delta U2 = \frac{\rho}{Un} * \left(\frac{Pab * lab}{Aab} + \frac{Pbc * lbc}{Abc} + \frac{P2 * l2}{A2} \right)$$

$$\Delta U(a-2) = \frac{1}{34 * 400} * \left(\frac{34116.1 * 25}{25} + \frac{25354.2 * 15}{25} + \frac{4819.28 * 12}{2.5} \right) = 5.32V$$

$$\Delta U(a-3) = \Delta Uab + \Delta Ubc + \Delta Ucd + \Delta U3$$

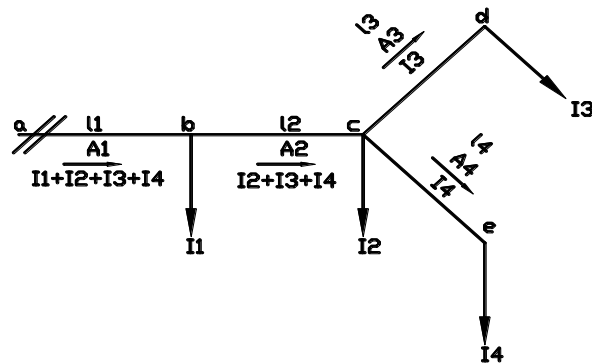
$$\Delta U(a-3) = \frac{\rho}{Un} * \left(\frac{Pab * lab}{Aab} + \frac{Pbc * lbc}{Abc} + \frac{Pcd * lcd}{Acd} + \frac{P3 * l3}{A3} \right)$$

$$\Delta U(a-3) = \frac{1}{34 * 400} * \left(\frac{34116.1 * 25}{25} + \frac{25354.2 * 15}{25} + \frac{20534.9 * 18}{25} + \frac{14534.9 * 10}{6} \right) = 6.49V$$

$$\Delta U(a-4) = \Delta Uab + \Delta Ubc + \Delta Ucd + \Delta Ude + \Delta U4$$

$$\Delta U(a-4) = \frac{\rho}{Un} * \left(\frac{Pab * lab}{Aab} + \frac{Pbc * lbc}{Abc} + \frac{Pcd * lcd}{Acd} + \frac{Pde * lde}{Ade} + \frac{P4 * l4}{A4} \right)$$

$$\Delta U(a-4) = \frac{1}{34 * 400} * \left(\frac{34116.1 * 25}{25} + \frac{25354.2 * 15}{25} + \frac{20534.9 * 18}{25} + \frac{6000 * 20}{25} + \frac{6000 * 5}{2.5} \right) = 5.95V$$

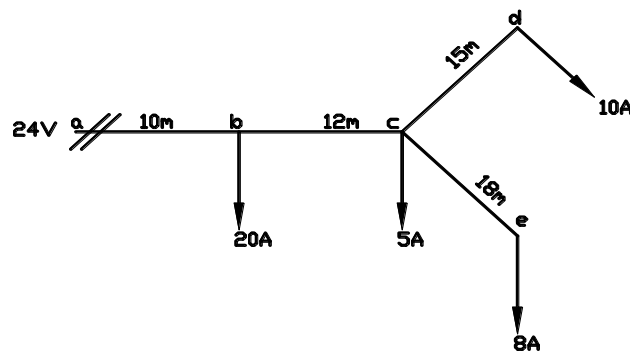


$$\Delta U_{max}(ad) = \frac{2\rho}{A(ad)} * \sum (I(ad) * l(ad))$$

$$\Delta U_{max}(ae) = \frac{2\rho}{A(ae)} * \sum (I(ae) * l(ae))$$

קובעים את שטח החתך האחיד בהתאם מפל המתח הקטן מבניהם.

תרגיל דוגמא



$$\rho = \frac{1}{57} \left[\frac{\Omega mm^2}{m} \right] \text{ נתון כי:}$$

חשב מהו שטח החתך המסחרי האחיד של הרשת למפל מתח מקסימאלי של 3%.

פתרון לתרגיל דוגמא

$$\Delta U_{max} = \frac{\Delta U\%}{100} * U_n = \frac{3}{100} * 24 = 0.72V$$

$$I_{cd} = I_d = 10A$$

$$I_{ce} = I_e = 8A$$

$$I_{bc} = I_{cd} + I_{ce} + I_c = 10 + 8 + 5 = 23A$$

$$I_{ab} = I_{bc} + I_b = 23 + 20 = 43A$$

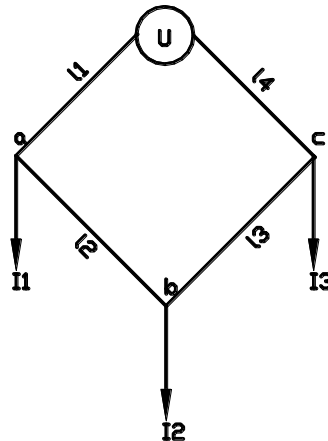
$$A = \frac{2\rho}{\Delta U_{max}} * \sum I * l$$

$$A(ad) = \frac{2}{0.72 * 57} * (43 * 10 + 23 * 12 + 10 * 15) = 41.715mm^2$$

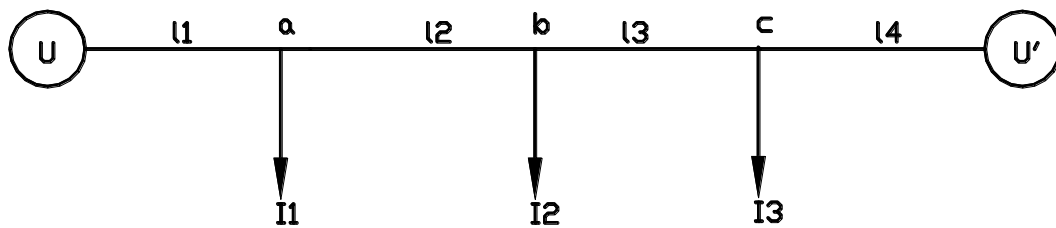
$$A(ae) = \frac{2}{0.72 * 57} * (43 * 10 + 23 * 12 + 8 * 18) = 41.423mm^2$$

על פי החישוב ניתן לראות כי שטח הגדול האחיד של קטע רשת ad הוא גדול יותר ולפיכך יקבע שטח החתך האחיד של הרשת. נבחר שטח חתך מסחרי של $50mm^2$.

רשת טבעתית או רשת עם 2 מקורות שווים



שלב ראשון- יש לפתוח את הרשת הטבעתית כמו רשת בעלת 2 מקורות שווים



שלב שני- לחשב את הזרם שיוצא מכל מקור עבור כל קטע בהתאם החלק היחסי של אורך הקווים בקטעים השונים בהתאם לביטויים המתמטיים הבאים.

$$I_u = \frac{I_3 * l_4 + I_2 * (l_3 + l_4) + I_1 * (l_2 + l_3 + l_4)}{l_1 + l_2 + l_3 + l_4}$$

$$I_{u'} = \frac{I_1 * l_1 + I_2 * (l_1 + l_2) + I_3 * (l_1 + l_2 + l_3)}{l_1 + l_2 + l_3 + l_4}$$

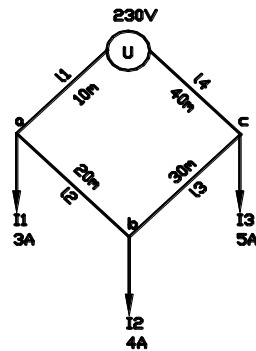
שלב שלישי- לקבוע את כיווני הזרמים היוצאים מהמקורות באופן שרירותי ולחשב את הזרמים בקטעים השונים עלפי קירכהוף זרם שסימנו שלילי יש לשנות את כיוונו.

$$I_{ab} = I_u - I_1$$

$$I_{bc} = I_{ab} - I_2$$

$$I_{cu'} = I_{bc} - I_3$$

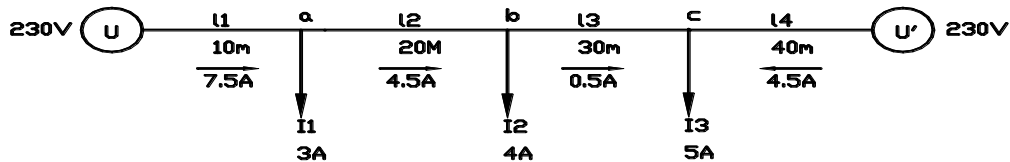
שלב רביעי- יש למצוא את נקודת השפך ברשת. נקודת השפך היא נקודת מפגש הזרמים ברשת בנקודה זו מפל המתח הוא מקסימאלי. ברשת בעלת מקורות שווים מפל המתח מ-2 הכיוונים חייב להיות שווה. לאחר מציאת נקודת השפך ניתן לחשב את שטח החתך בעזרת הנוסחאות הרגילות מאחד המקורות ועד לנקודת השפך באופן שרירותי.



נתון כי: $\rho = \frac{1}{58} \left[\frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}} \right]$
 $A = 4 \text{ mm}^2$

חשב ומצא את הנקודה ברשת שבה המתח הוא מינימאלי.

פתרון לתרגיל דוגמא



$$I_u = \frac{I_3 * l_4 + I_2 * (l_3 + l_4) + I_1 * (l_2 + l_3 + l_4)}{l_1 + l_2 + l_3 + l_4}$$

$$I_u = \frac{5 * 40 + 4 * (30 + 40) + 3 * (20 + 30 + 40)}{10 + 20 + 30 + 40} = 7.5A$$

$$I_{u'} = \frac{I_1 * l_1 + I_2 * (l_1 + l_2) + I_3 * (l_1 + l_2 + l_3)}{l_1 + l_2 + l_3 + l_4}$$

$$I_{u'} = \frac{3 * 10 + 4 * (10 + 20) + 5 * (10 + 20 + 30)}{10 + 20 + 30 + 40} = 4.5A$$

$$I_{ab} = I_u - I_1 = 7.5 - 3 = 4.5A$$

$$I_{bc} = I_{ab} - I_2 = 4.5 - 4 = 0.5A$$

$$I_{cu'} = I_{bc} - I_3 = 0.5 - 5 = -4.5A$$

הסימן השלילי מעיד כי בקטע זה כיוון הזרם הפוך.

מפגש הזרמים מתבצע הנקודה C ולכן נקודה זו היא נקודת השפך שבו מפל המתח הוא

מקסימאלי ניתן לחשב זאת ב-2 אפשרות:

אפשרות 1-

$$\Delta U_{u'c} = \frac{2\rho}{A} * I_{u'} * l_4 = \frac{2}{4 * 58} * 4.5 * 40 = 1.55V$$

אפשרות 2-

$$\Delta U_{uc} = \frac{2\rho}{A} * I_u * l_1 + I_{ab} * l_2 + I_{bc} * l_3 =$$

$$\Delta U_{uc} = \frac{2}{4 * 58} * 7.5 * 10 + 4.5 * 20 + 0.5 * 30 = 1.55V$$

המתח בנקודה השפך-

$$U_c = U - \Delta U_{uc} = 230 - 1.55 = 228.45$$

פרק 3- שיפור גורם ההספק

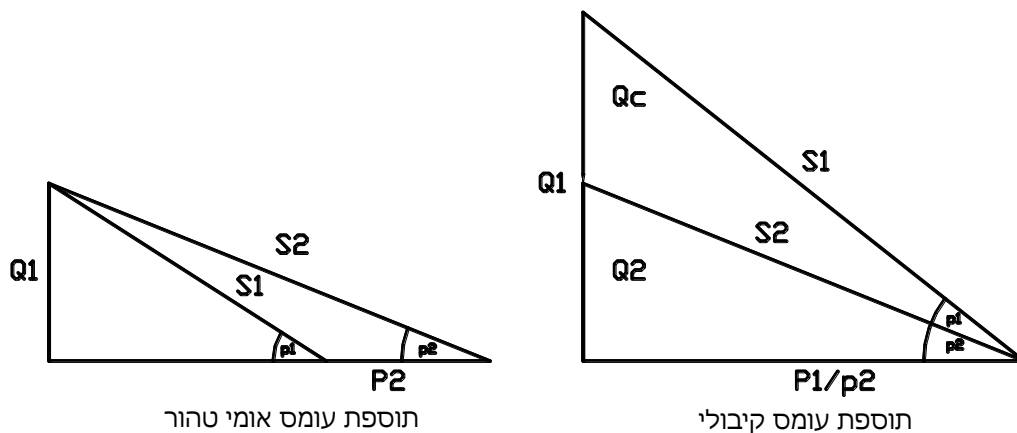
לפי נוסחת ההספק המושקע $P = UL * I * \cos\phi$ ברור כי ככל שגורם הספק יהיה קטן יהיה דרוש זרם גדול יותר כדי לספק לצרכן את אותו ההספק (בתנאי שהמתח על הדקי הצרכן אינו משתנה).

יתכן מצב בו משתנים תנאי העבודה של הצרכן השראתי וגורם ההספק שלו קטן (כדוגמה שהמנוע לא עובד בעומס הנקוב שלו או שעובד בריקם). כתוצאה מכך הזרם בצרכן עולה וגורם לכך שההפסדים בהתנגדות האומית של הקווים גדלים כיוון שהם תלויים בעוצמת הזרם בריבוע לפי הנוסחה $\Delta P = r * I^2$. בשל עליית הזרם יתכן כי מוליכי הרשת השנאים והגנראטורים לא יעמדו בתנאים אלה כיוון שהספקם המדומה שלהם עלה לפי הנוסחה $S = U * I$ והגדלתם יגרום לייקור הרשת.

החוק מחייב להתקין במתקן אמצעי שיפור גורם ההספק עבור צרכנים השראתיים עד רמה של 0.92.

הדרכים הטבעיות לשיפור גורם ההספק:

- להתאים את הצרכנים לצריכה הממשית שלהם כדי שהם יעבדו בעומס הנקוב המלא שלהם.
 - למנוע מצב בו מנועים אסינכרוניים עובדים בריקם.
 - שימוש במנועים או בציוד משופרים בעלי גורם הספק גבוה.
- הדרכים המלאכותיות לשיפור גורם ההספק:
- התקנת סוללות קבלים לעומסים השראתיים בצורה יחידנית ז"א במקביל לכל צרכן וצרכן.
 - התקנת סוללות קבלים לעומסים השראתיים בצורה קבוצתית ז"א באמצעות בקר הדוגם את גורם ההספק הכללי במתקן מחבר או מנתק סוללות קבלים בהתאם לערך של גורם ההספק.
 - חיבור עומסים אומים טהורים הגורמים להגדלת ההספק הממשי ובכך משפרים את גורם ההספק.
 - חיבור מנוע סינכרוני העובד בריקם במקביל לצרכנים השראתיים הגורם להגדלת ההיגב הקיבולי במתקן ובכך גורם לשיפור גורם ההספק במתקן.



נוסחאות:

$$Q_c = P(\tan \rho_{\text{קיי}} - \tan \rho_{\text{רצוי}})$$

ברשת חד פאזית:

$$C = \frac{Q_c}{U^2 * 2\pi f}$$

ברשת תלת פאזית:

$$C = \frac{Q_c}{U^2 * 6\pi f}$$

בחיבור כבלים משולש-

$$C = \frac{Q_c}{U^2 * 2\pi f}$$

בחיבור קבלים בכוכב-

תרגיל דוגמא 1

חשב את ערך הקבל ב- μF המשפר את מקדם ההספק של נורת נתרן לחץ גבוה בעלת הספק של 400W מ-0.45 ל-0.92 כאשר מתח הרשת 230V/50Hz.

פתרון לתרגיל דוגמא 1

$$\tan \rho_{\text{קיי}} = \tan(\cos^{-1} 0.45) = 1.9845$$

$$\tan \rho_{\text{רצוי}} = \tan(\cos^{-1} 0.92) = 0.426$$

$$Q_c = P(\tan \rho_{\text{קיי}} - \tan \rho_{\text{רצוי}}) = 400(1.9845 - 0.426) = 623.4 \text{VAR}$$

$$C = \frac{Q_c}{U^2 * 2\pi f} = \frac{623.4}{230^2 * 2\pi * 50} = 37.5 \mu F$$

תרגיל דוגמא 2

במתקן חשמלי מחוברים במקביל 2 מנועים האחד צורך הספק של 7KW בעל מקדם הספק של 0.75 והמנוע השני צורך הספק של 5KW בעל מקדם הספק של 0.6. חשב את הספק בקבל שיש לחבר במקביל ל-2 המנועים על מנת לשפר את מקדם ההספק ל-0.95.

פתרון לתרגיל דוגמא 2

$$P_1 = 7 \text{KW}$$

$$Q_1 = P_1 * \tan \rho_1 = 7 * 10^3 * \tan(\cos^{-1} 0.75) = 6.173 \text{KVAr}$$

$$P_2 = 5 \text{KW}$$

$$Q_2 = P_2 * \tan \rho_2 = 5 * 10^3 * \tan(\cos^{-1} 0.6) = 6.667 \text{KVAr}$$

$$ST = S_1 + S_2 = (P_1 + jQ_1) + (P_2 + jQ_2)$$

$$ST = [(7 + j6.173) + (5 + j6.667)] * 10^3 = (12 + j12.84) \text{KVA}$$

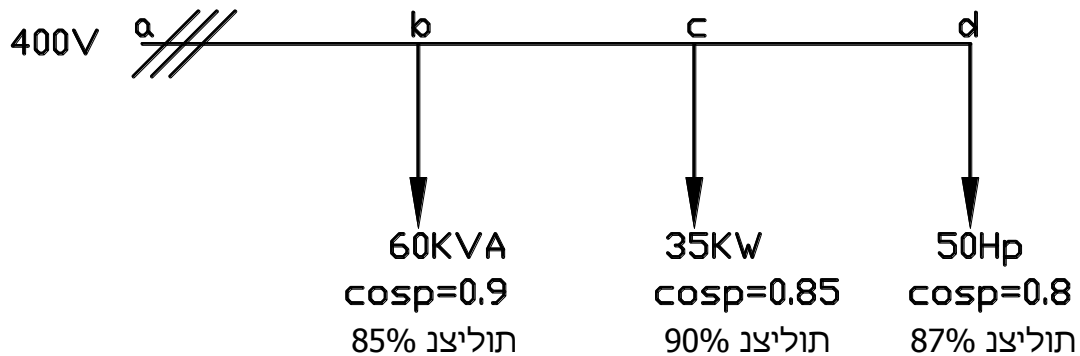
$$\tan \rho_{\text{קיי}} = \frac{QT}{PT} = \frac{12.84 * 10^3}{12 * 10^3} = 1.07$$

$$\tan \rho_{\text{רצוי}} = \tan(\cos^{-1} 0.95) = 0.3287$$

$$Q_c = P(\tan \rho_{\text{קיי}} - \tan \rho_{\text{רצוי}}) = 12 * 10^3(1.07 - 0.3287) = 8.895 \text{KVAr}$$

תרגיל דוגמא 3

נתונה רשת תלת מופעית המזינה בית מלאכה עם צרכנים השראתים כמתואר בתרשים



חשב: א. מקדם ההספק של הרשת הנתונה.

ב. הספק סוללת הקבלים הדרושה לשיפור מקדם ההספק הכללי ל-0.92.

פתרון לתרגיל דוגמא 3

א.

$$Pd = \frac{Pd'}{\eta_d} = \frac{50 * 736}{0.87} = 42.299KW$$

$$Pc = \frac{Pc'}{\eta_c} = \frac{35 * 10^3}{0.9} = 38.889KW$$

$$Pb = \frac{Sb' * \cos \rho_b}{\eta_b} = \frac{60 * 10^3 * 0.9}{0.85} = 63.529KW$$

$$Qd = Pd * \tan \rho_d = 42.299 * 10^3 * \tan(\cos^{-1} 0.8) = 31.724KVar$$

$$Qc = Pc * \tan \rho_c = 38.889 * 10^3 * \tan(\cos^{-1} 0.85) = 24.101KVar$$

$$Qb = Pb * \tan \rho_b = 63.529 * 10^3 * \tan(\cos^{-1} 0.9) = 30.769KVar$$

$$ST = (Pd + JQd) + (Pc + JQc) + (Pb + JQb)$$

$$ST = [(42.299 + J31.724) + (38.889 + J24.101) + (63.529 + J30.769)] * 10^3$$

$$ST = (144.717 + J86.594)KVar$$

$$\tan \rho_{\text{ק"י}} = \frac{QT}{PT} = \frac{86.594 * 10^3}{144.717 * 10^3} = 0.5984$$

$$\rho = \tan^{-1} 0.5984 = 30.8963^\circ$$

$$\cos \rho_{\text{ק"י}} = \cos 30.8963 = 0.858$$

ב.

$$\tan \rho_{\text{רצוי}} = \tan(\cos^{-1} 0.92) = 0.426$$

$$Qc = P(\tan \rho_{\text{ק"י}} - \tan \rho_{\text{רצוי}}) = 144.717 * 10^3 (0.5984 - 0.426) = 24.949KVar$$

נבחר בסוללת הקבלים הקרובה ביותר 25KVar.

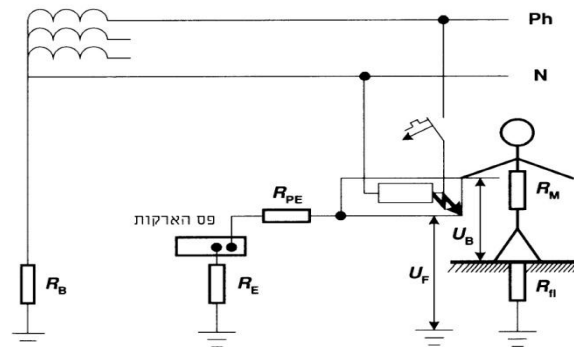
פרק 4-הארקות והגנות בפני התחשמלות

מתח תקלה:

מתח המופיע בזמן שקיים ליקויי בבידוד בין הגוף המחושמל לבין אלקטרודת הארקה המקומית, בעלת פוטנציאל שאינו משתנה עקב התקלה. מתח תקלה תלוי במתקן החשמל: סוג ההגנה בפני חשמול, התנגדות המוליכים והאלקטרודות וכו' במקרה של קצר ערכו של מתח התקלה כמעט שווה למתח המופע.

מתח מגע:

מתח המופיע על גוף האדם אשר נוגע בו זמנית בשתי נקודות בעלות הפרש פוטנציאליים. מתח המגע תלוי במתקן החשמל ובהתנגדות גוף האדם והרצפה.



כאשר:

R_B - התנגדות הארקה שיטה.

R_E - התנגדות אלקטרודת הארקה.

R_{PE} - התנגדות מוליך הארקה.

R_M - התנגדות גוף האדם.

R_{fl} - התנגדות הרצפה.

U_F - מתח תקלה.

U_B - מתח מגע.

התחשמלות היא מעבר של זרם מעל רמה מסוימת דרך גוף האדם. עוצמת זרם החשמול תלויה במתח המגע ובהתנגדות גוף האדם, אך התנגדות גוף האדם אינו ערך קבוע ומשתנה כפונקציה של מתח המגע.

הטבלה הבאה מציגה עבור כל אחד ממתחי המגע הצפויים במתח נמוך את עכבת גוף האדם המתאימה, ואת זרם החשמול המותר שעדין לא יגרום להיווצרות תופעות פיזיקאליות מזיקות לגוף האדם :

מתח מגע צפוי (V)	עכבת הגוף (Ω)	זרם חישמול (mA)	משך הזמן המותר (s)
25	-	-	עד 5 שניות
50	1725	29	עד 5 שניות
75	1625	46	0.60
90	1610	56	0.45
110	1535	72	0.36
150	1475	102	0.27
230	1375	167	0.17
280	1370	204	0.12
350	1369	256	0.08
500	1360	368	0.08

ההנחה בתקנות החשמל היא שמתח המגע המרבי הצפוי בחישמול הוא עד 50V, לכן משך זמן החישמול המרבי המותר הוא 5 שניות.

נזקי התחשמלות: התכווצויות בלתי רצוניות של שרירים.

פגיעה במערכת העצבים.

כוויות.

מוות.

רמת הנזק מושפעת מהעוצמת ומשך הזמן של הזרם הזורם דרך גוף האדם.

לפי סטטיסטיקה שנערכה נקבע כי זרם העולה על 30mA במשך לפחות 5sec גורם לנזק בלתי הפיך לגוף האדם.

לשם כך אנו זקוקים להגנות להגנה בפני התחשמלות.

אמצעי הגנה בפני חשמול

אמצעי הגנה בפני חשמול המותרים לשימוש במדינת ישראל הם:

1. הארקת הגנה.
2. איפוס.
3. הפרד מגן.
4. זינה צפה.
5. מפסק מגן.
6. בידוד מגן.
7. מתח נמוך מאוד.

מטרות מערכת הארקה:

- א. בטיחות חשמלית- מניעת עליית מתחי מגע, והפרש פוטנציאלים בין חלקים מתכתיים מעל הערכים הבטיחותיים בזמן קצר.
- ב. הגנה בפני זרמי יתר- יצירת מסלול לזרמי קצר (לולאת התקלה) עם התנגדות נמוכה כדי להבטיח ניתוק אוטומטי של מעגל שיש בו תקלה ע"י המאבטח.
- ג. הגנה בפני ברקים- ביצוע מעגל לזרם הברק עם מוליכות טובה בין קולטי ברקים לבין מערכת הארקה.
- ד. הגנה על ציוד אלקטרוני רגיש- חיבור להארקה של סיכוך מעגלים רגישים לשדות אלקטרומגנטיים והתקנת פסי הארקה מיוחדים בתוך הציוד המהווים נקודת יחוס בעלת פוטנציאל קבוע.

1. הארקת הגנה

הרעיון בהארקת ההגנה ליצור מסלול חלופי לזרם התקלה. מסלול זה צריך להיות בעל התנגדות נמוכה מאוד ביחס להתנגדות גוף האדם (שנקבע סטטיסטית ל-1000Ω) כך שבעת תקלה רוב הזרם יעבור במסלול זה ולא דרך גוף האדם. להתנגדות הנמוכה של מסלול התקלה יש חשיבות נוספת והיא להפעיל את ההגנות במהירות וזאת כתוצאה מזרם קצר גבוה העובר במסלול התקלה. מסלול התקלה הוא ממקור המתח למתקן דרך הגוף התקול וחזרה למקור. מקור מתח למתקן הוא השנאי. הצד השניוני של השנאי מחובר בצורת כוכב ונקודת הכוכב של השנאי מחוברת לאדמה באמצעות אלקטרודה. חיבור זה נקרא הארקת שיטה. להארקת השיטה 2 תפקידים:

1. לאפשר את מסלול התקלה של זרם הקצר.
2. כאשר העומסים במתקן אינן סימטריות בין הפאזות השונות קיימת תזוזת בנקודת האפס במתקן כך שנוצר מצב שבו המתחים בין הפאזות לבין האפס במתקן אינו נשמר ותפקיד הארקת השיטה לדאוג לייצוב המתח במתקן בכך דואגת שהמתח על כל צרן במתקן נשמר המתח הנומינאלי של השנאי. באופן מעשי הארקת השיטה מבוצעת בשנאי וכן על מוליך האפס לאורך הרשת.

לכל גוף מתכתי במתקן יש צורך לחבר מוליך הארקה כדי לאפשר את מסלול התקלה. מוליך הארקה זה מחובר דרך פס השוואת פוטנציאלים באמצעות אלקטרודה לאדמה. בזמן תקלה המתח מהשנאי דרך מוליך המופע מופיע על גוף הצרכן. מכיוון שגוף הצרכן מחובר לאדמה נוצר זרם תקלה זרם זה דרך מסת האדמה חוזר לשנאי לנקודת הכוכב. כתוצאה מהתנגדות הנמוכה של מסלול התקלה מתפתח זרם תקלה גבוה הגורם בזמן קצר מאוד להפעלת ההגנות ובכך לגרום לניתוק המתח לצרכן התקול. בעבר השתמשו הצנרת המים המתכתית במתקן כאלקטרודה לחיבור מוליכי הארקה של המתקן לאדמה כיוון שצנרת זו טמונה באדמה ויתרונה הגדול בעצם קיומה ובך היא הבטיחה מסלול תקלה לאדמה צורה זולה. עם השנים החלו להשתמש בצנרת מחומרים בעלי הולכה חשמלית גרועה(כדוגמת צנרת פלסטיק) וכתוצאה מכך פגעו באיכות הארקה הגנה. כדי לפתור בעיה זו מצאו פיתרון מעשי וזול וזאת להשתמש בברזלי הזיון של הבניין כאלקטרודה לחיבור לאדמה. פתרון זה נקרא הארקה יסוד והוגדרו בחוק החשמל קובץ של תקנות עבור חיבור זה. הארקה יסוד- מטרתה לבנות רצף חשמלי בין המבנה לאדמה בעל התנגדות נמוכה שאינו עולה על 5Ω .

הארקה היסוד בנויה מ-3 חלקים עיקריים:

1. אלקטרודת הארקה היסוד- הם בעצם ברזלי הזיון הנמצאים בכלונסאות המבנה לפי המתואר בתקנות החוק החשמל.
2. טבעת הגישור- חיבור (כדוגמה באמצעות ריתוך) של ברזלי הזיון כלפי עצמם וכלפי אלקטרודת היסוד, וזאת בתנאים העיקריים הבאים:
 - א. יש להבטיח פחות מ-10 מ' מכל נקודה בתווך לטבעת הגישור.
 - ב. יש להוציא 5 יציאות מטבעת הגישור 1 לכל כיווני 4 רוחות השמים ו-1 לפס השוואת הפוטנציאליים.

3. פס השוואת הפוטנציאליים- פס נחושת מלבני בהתאם לתקנה בחוק החשמל ומטרתו אמצעי חיבור בין כל חלקי המתכת במבנה לצורך השוואת הפוטנציאל שלהם לאדמה.

2. שיטת האיפוס

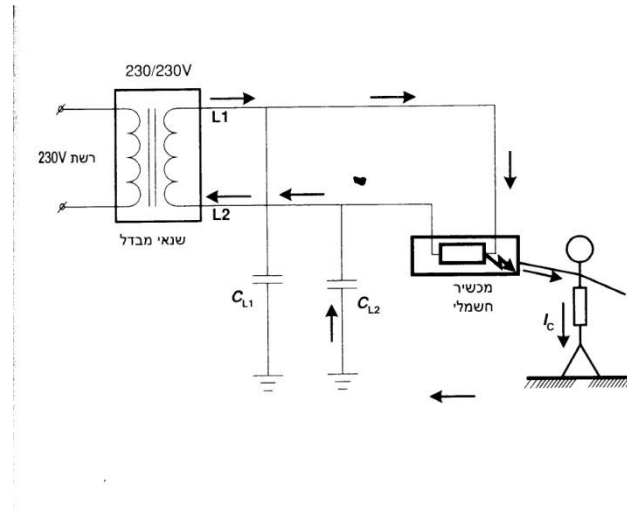
כפי שהוסבר השימוש בהארקה ההגנה מותנה בכך שלולאת התקלה תהיה נמוכה מאוד והיא תלויה גם בגודל המפסק הראשי של המתקן. כך שכול שהמפסק הראשי גדול יותר התנגדות לולאת התקלה צריכה להיות נמוכה יותר לאפשר את הפעלת ההגנות בזמן. ובנוסף התנגדות לולאת התקלה מושפעת גם מסוג צפיפות ורמת הלחות של הקרקע עצמה. באופן מעשי לעיתים יש קושי רב בהשגת רמת התנגדות תקינה של לולאת התקלה. הפתרון הפשוט והזול להתגבר על כך הוא שיטת האיפוס ובאופן מעשי יש לחבר את מוליך האפס הראשי של המתקן לפס השוואת הפוטנציאליים ובכך לרתום את מוליך האפס למסלול לולאת התקלה ובכך לשמור על רמת התנגדות נמוכה המבוססת על רצף התנגדות מוליכים בלבד שהם כידוע נמוכות מאוד ובכך שיתפתח זרם קצר גבוה שיבטיח את הפעלת ההגנות של המעגל.

- חסרונה של שיטה זו בשימוש במוליך האפס של בעל הרשת ואין באפשרותנו להבטיח את שלמותו בכל עת. כך שעם קריעתו לא נדע כי נחשפנו לסכנת התחשמלות. ולכן החוק מחייב ששימוש בשיטת האיפוס היא בנוסף להארקה ההגנה וזאת בתנאים הבאים:
- א. התנגדות הארקה ההגנה (בלבד ללא שיטת האיפוס) לא תעלה על 20Ω .
 - ב. באישור בעל הרשת (לדוגמה ח"ח) אשר מבטיח חתך מתאים למוליך האפס.
 - ג. קיימת במתקן השוואת פוטנציאליים של כל חלקי המתכת.
 - ד. חיבור שיטת האיפוס בהתאם לתקנות.

3. הפרד מגן

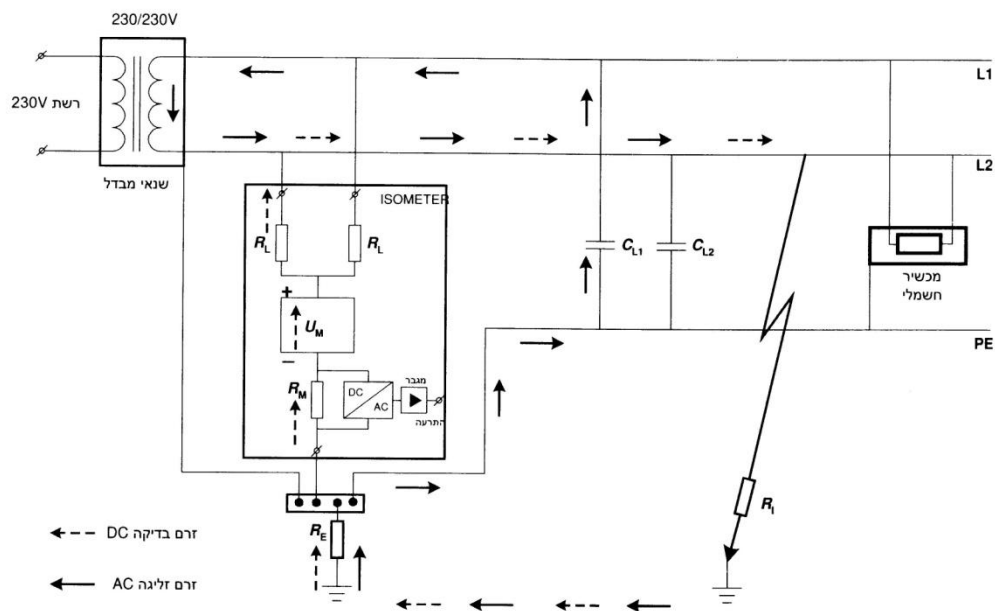
הרעיון בשיטה זו למנוע אפשרות של סגירת מעגל תקלה דרך האדמה ע"י הפרדת הצרכן מהארקת השיטה. התנאים בשימוש בשיטה זו הם:

- שימוש בשנאי מבדל
- אין לבצע הארקת הגנה ושיטה במוצא השנאי.
- בשימוש בשיטה זו אסור שהשנאי יזין יותר ממכשיר אחד
- המתח בסליל השנאי לא יעלה 500V
- בשימוש בשיטה זו יש צורך לשמור על קיבוליות נמוכה מאוד ולכן אורך הקו מהשנאי לא יעלה על 500 מ'.



4. זינה צפה

עקרון של שיטה זו כמו בשיטת הפרד מגן מבוססת על הספקה ממקור ללא הארקת שיטה בשימוש בשנאי מבדל. אך שיטה זו אינה מגבילה את מספר הצרכנים המחוברים לשנאי ובתנאי שהשנאי מתאים לעומס הנדרש.



כל הגופים המתכתיים מגושרים בניהם באמצעות מוליך ההגנה PE אשר מאורק לאלקטרודה הארקה או לפס השוואת הפוטנציאלים. הודות להיעדרות הארקה שיטה, לא נוצר מעגל לולאת תקלה במקרה של ליקוי בבידוד, אך מופיע זרם קיבולי לאדמה. לדוגמא-אם מתרחש ליקוי בבידוד מוליך מופע L2, הזרם יזרום מהשנאי דרך האדמה למוליך ההגנה PE ודרך קיבוליות הרשת CL1 ובחזרה לשנאי. זרם הזליגה זה יכול לגרום להיווצרות מתח תקלה השווה למפל המתח על ההתנגדות בין הארקה לבין המסה הכללית של האדמה RE. המשגוח מצויד במקור מתח UM אשר במקרה של תקלה בבידוד יגרום לזרימת זרם DC דרך מוליך הרשת L2, האדמה, התנגדות הארקה ובחזרה למשגוח. על הנגד RM ייווצר מפל מתח, שערכו תלוי בהתנגדות הבידוד RI- ככל שהתנגדות הבידוד נמוכה יותר כך המתח על נגד RM יהיה גדול יותר. תפקיד המשגוח הוא להתריע כאשר התנגדות הבידוד יורדת מתחת לערך מסוים.

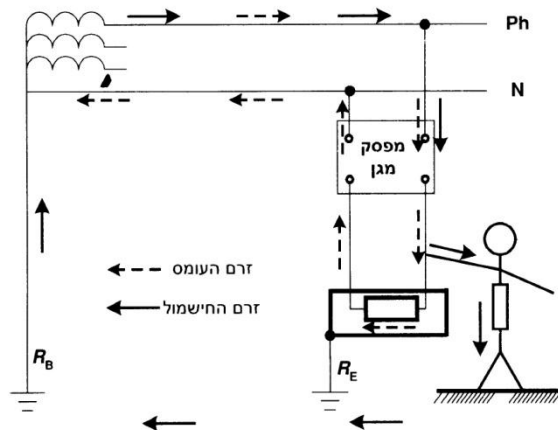
הסכנות בשימוש בשיטה זו הם:

- א. יש צורך בייצוב מתח (כיוון שאין הארקה שיטה).
- ב. ברגע שיש יותר מתקלה אחת בו זמנית יש סכנת התחשמלות.
- ג. תקלות מסוימות בצרכן לא תפעיל את ההגנות ולא יהיה ניתן לדעת על קיומה של התקלה.

התנאים לשימוש בשיטה זו הם:

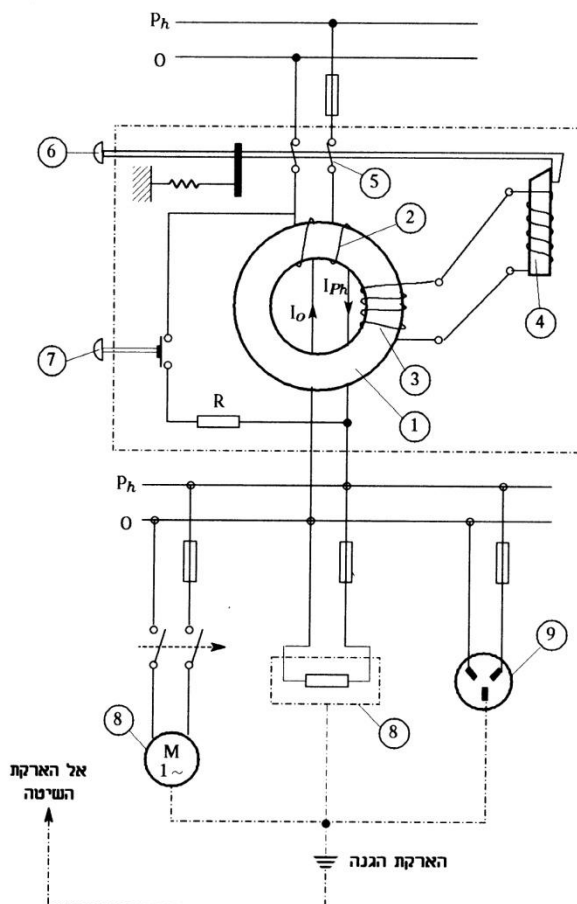
- א. שימוש באזור מוגבל תחת השגחה רצופה של חשמלאי מורשה.
 - ב. שימוש בצויד עזר המתריע בעת הופעת תקלה כגון "משגוח".
- שיטה זו נפוצה בשימוש בהם נדרשת אמינות הספקה גבוהה כגון חדרי ניתוח ועוד.

5. מפסק מגן בפני זרם דלף (ממסר פחת)



עיקרון פעולת ממסר הפחת כמתואר באיור הבא:

פתרון



- (1) שנאי איזון
- (2) ליפוף ראשוני
- (3) ליפוף משני
- (4) התקן שחרור
- (5) מפסק
- (6) לחצן החיבור
- (7) לחצן בדיקה
- (8) גופים מתכתיים מוגנים
- (9) בית תקע עם נקודות הארקה

$$I_{ph} = I_0$$

בליפוף המשני מושרה מתח רק במקרה של אי איזון הזרמים העוברים דרך השנאי. כלומר, כשקיים קצר לאדמה או זרם פחת מבידוד פגום (זרם דליפה) במעגל מוגן. המתח המשני מזרים זרם סליל ההתקן האלקטרומגנטי, מפעיל את האלקטרומגנט והמעגל נפתח. רגישותו הגבוהה ($15 + 30mA$) וזמן פעולתו האפסי מעניקים לו יתרון עצום בהגנה נגד התחשמלות במתקנים ביתיים.

יש לציין כי ממסר הפחת מזהה זרמי זליגה בלבד ולא זרמי קצר כאשר זרם הזליגה גדול יותר מהרגישות של הממסר, ממסר הפחת מנתק את המעגל.

ברוב המקרים זרמי הזליגה נגרמים מתקלות בבידוד במתקן כלומר תקלות שיש בציוד סכנת התחשמלות, אך בפועל קיימים מכשירים רבים שיש להן זליגה טבעית שיגרמו להפעלת ממסר הפחת גם ללא תקלה.

ממסר פחת מיוצר ברמות רגשיות שונות כדוגמא: 10mA, 30mA, 300mA, 500mA, 1A, 3A, שמיועדים לזרמים נומינאליים שונים כדוגמא: 25A, 40A, 63A, 80A וכו'. הערך הנומינאלי מגדיר את הזרם המרבי שניתן להעביר דרך ממסר הפחת מבלי שיינזק.

הערות להתקנת ממסר הפחת:

- א. במתקן ביתי יש חובה להתקנת ממסר פחת על כל המעגלים.
- ב. במתקנים שאינם ביתיים התקנת ממסרי הפחת נתונה לשיקול דעתו של המתכנן השיקולים להתקנת ממסר פחת הם:
 1. מה הסיכוי להתחשמלות בהתאם ליעוד המתקן והמשתמש.
 2. מה הסיכוי שבמעגל קיימת זליגה טבעית.
 - ג. ניתן אומנם במצבים אלו להשתמש בממסר פחת בעל רגישות נמוכה יותר אומנם פחת זה אינו מגן בפני התחשמלות אך הוא יתריע בפני תקלות העוללות לגרום להתחשמלות.
 - ד. יש להקפיד שהזרם הנומינאלי של ממסר הפחת יהיה שווה או גדול מהזרם הנומינאלי של ההגנה שמעליו.
 - ה. בהתאם לתקנות בחוק החשמל.
6. בידוד מגן
מטרת השיטה למנוע הופעתו של מתח על חלק נגיש של גוף המכשיר גם בזמן תקלה בו. בשיטה זו משתמשים חשמליים בעלי בידוד כפול. ובכשירים אלו יש איסור לחבר הארקה על מנת למנוע העברת פוטנציאל באמצעות מוליך הארקה.
7. מתח נמוך מאוד
מטרת השיטה למנוע הופעת מתח העולה על 50V. בשיטה זו נמנעת היווצרות מתח מגע הגדול מ-50V. ובהיעדרות הארקות שיטה נמנעת סגירת לולאת תקלה.

פרק 5-הגנות בפני זרמי יתר וזרמי קצר

סוגי הגנות

קיימים 3 סוגים עיקריים של מאבטחים:

א. נתיכים

ב. מפסקי זרם אוטומטים זעירים (מא"ז) בלתי מתכווננים.

ג. מפסקי זרם אוטומטים מתכווננים (מאמ"ת).

תפקיד המאבטח להגן על המוליך בפני העמסת זרם יתר ובפני זרם קצר.

קיים קשר ישיר בין גודל הזרם הצפוי במוליך לבין גודל המאבטח וכן שטח החתך של המוליך.

תמיד צריך להתקיים 2 התנאים הבאים:

א.

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

ב. עבור נתיכים או מא"ז בעל אופיין L

$$I_2 \leq 1.45I_z$$

עבור מא"זים בעלי אופיין B,C

$$I_2 \leq 1.3I_z$$

עבור מאמ"תים

$$I_2 \leq 1.1I_z$$

כאשר:

I_b - הזרם הצפוי במוליך.

I_n - הערך הנומינאלי של המאבטח.

I_z - הזרם המרבי שמותר להעביר במוליך.

I_2 - זרם הבדיקה הגבוה של המאבטח שהוא נתון יצרן:

עבור נתיכים או מא"ז בעל אופיין L $I_2 = 1.6I_n$

עבור מא"זים בעלי אופיין B,C $I_2 = 1.45I_n$

עבור מאמ"תים $I_2 = 1.15I_n$

אם נאחד את דרישות התקנות עם הגדרות התקנים נקבל יחס פשוט בין גודל המאבטח לבין הזרם המתמיד המרבי במוליך:

עבור נתיכים או מא"ז בעל אופיין L

$$1.6I_n \leq 1.45I_z$$

$$\frac{1.6I_n}{1.45} \leq I_z$$

$$1.10I_n \leq I_z$$

עבור מא"זים בעלי אופיין B,C

$$1.45I_n \leq 1.3I_z$$

$$\frac{1.45I_n}{1.3} \leq I_z$$

$$1.12I_n \leq I_z$$

עבור מאמ"תים

$$1.15I_n \leq 1.1I_z$$

$$\frac{1.15I_n}{1.1} \leq I_z$$

$$1.05I_n \leq I_z$$

ניתן לסכם את התנאים בצורה הבאה:

עבור נתיכים או מא"ז בעל אופיין L:

תנאי ראשון: $I_b \leq I_n \leq I_z$

תנאי שני: $1.103I_n \leq I_z$

עבור מא"זים בעל אופיין B,C:

תנאי ראשון: $I_b \leq I_n \leq I_z$

תנאי שני: $1.115I_n \leq I_z$

עבור מאמ"תים:

תנאי ראשון: $I_b \leq I_n \leq I_z$

תנאי שני: $1.045I_n \leq I_z$

זרם יתר- הוא זרם העולה במקצת על הזרם הנומינאלי נגרם כתוצאה מתקלה או כתוצאה מהעמסת יתר. זרם יתר יכול גם להתרחש במצב עבודה תקין כך לזמן קצר מאוד. ההגנה בפני זרמי יתר מבוססת על עקרון הגנה תרמית.

זרם קצר- הוא זרם שמתרחש בחיבור בין מוליכים כתוצאה מתקלה, זרם זה גבוה מאוד ויכול להגיע גם לערכים של $I_k = 10I_n$. ההגנה בפני זרמי קצר מבוססת על עקרון הגנה מגנטית.

קיימים דגמים שונים של מא"זים שהעיקרים שבניהם:

דגם A - מיועד לצידוד אלקטרוני (בעל זמן תגובה איטי יחסי).

דגם B – מיועד לצידוד תאורה (3-5In).

דגם C – מיועד למנועים (5-10In).

דגם D – מיועד לצידוד בעל התנעות קשות בעלי זרם התנעה גבוה (10-20In).

המא"זים מיועדים לזרמים נומינאליים של 0.5A-63A. מא"ז קיימים בשוק כ- חד קוטביים,

דו קוטביים, תלת קוטביים או בעלי 4 קטבים)

(השימושיים ביותר-2A,6A,10A,16A,20A,25A,32A,40A,50A,63A)

המא"ז הוא בעל הגנה תרמית נקובה בפני זרם יתר (שאינה ניתנת לכיוון) בהתאם לדגם.

המא"ז הוא בעל הגנה מגנטית נקובה בפני זרם קצר (שאינה ניתנת לכיוון) בהתאם לדגם.

למא"זים יש נתון הנקרא כושר ניתוק (מיתוג) והוא מגדיר החוזק המכאני של המא"ז או לחילופין מה הזרם המרבי שניתן להעביר דרך המא"ז מבלי שיינזק (לדוגמא בזרם קצר).

קיים בשוק בגדלים 3KA, 6KA, 10KA, 15KA

קיימים דגמים שונים של מאמ"תים שהעיקרים שבניהם:

הגנת מנוע – אביזר זעיר האביזר כולל הגנה תרמית והגנה מגנטית עם אפשרות לכיוון מיועד לזרמים נומינאליים של עד 40A וקיים בשוק בעיקר כתלת קוטביים עם כושר ניתוק בגדלים 22KA,50KA,100KA .

מפסק הספק (ברקר) – אביזר גדול פיזית מיועד לזרמים נומינאליים 25A-6300A כוללים הגנות תרמיות ומגנטיות ניתנות לכיוון וקיים בשוק כתלת קוטבי או בעלי 4 קטבים עם כושר ניתוק בגדלים 25KA,35KA,50KA,100KA.

נתיכים

משמש לצורך הגנה התעשייה כאשר יש צורך בתגובה איטית לדוגמא לצורך סלקטיביות מיועד לזרמים נומינאליים 1A-1600A וקיים בשוק עם כושר ניתוק של עד 120KA.

תרגיל דוגמא

קבע את גודל המא"ז עבור מעגל תאורה חד פאזי שהזרם הצפוי לזרם במוליך הוא 22A אם ידוע שהזרם המרבי שיכול לזרם במוליך $4mm^2$ הוא 29A.

פתרון לתרגיל דוגמא

מכיוון שנתון ש- $I_b=22A$ נבחר מא"ז מסוג B בעל זרם נקוב של $I_n=25A$ ונבדוק עם הוא עומד בתנאים: תנאי ראשון-

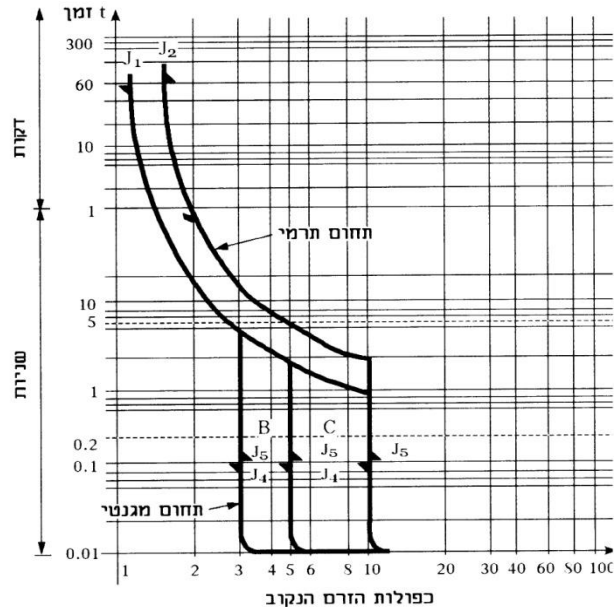
$$I_b \leq I_n \leq I_z$$
$$22A \leq 25A \leq 29A \checkmark$$

$$1.12I_n \leq I_z \quad \text{תנאי שני-}$$

$$1.12 * 25 \leq 29 \checkmark$$

אופייניים

כדי לתאר את תגובת המאבטח היצרן מצרף לכל סוג של מאבטח אופיין המתאר בצורה גרפית את זמן הניתוק של המאבטח הן עבור זרמי יתר והן עבור זרמי קצר כפונקציה של זמן. החוק קובע כי הזמן המקסימאלי לניתוק של מאבטח בזרם קצר לא יעלה על 5 שניות.



אופייני מאז"ים מסוג B ו-C בטמפרטורת סביבה של 30 מעלות צלסיוס		
	B	C
$J_1 (t > 1h)$	$1.13 \times J_N$	$1.13 \times J_N$
$J_2 (t < 1h)$	$1.45 \times J_N$	$1.45 \times J_N$
$J_4 (t \geq 0.1s)$	$3 \times J_N$	$5 \times J_N$
$J_5 (t < 0.1s)$	$5 \times J_N$	$10 \times J_N$

באיור נתון אופיין זרם של מא"ז לפי התקן הישראלי. הציר האנכי (ציר-Y) הוא ציר הזמן בשניות ובדקות, הציר האופקי (ציר-X) הוא ציר הזרם בכפולות הזרם הנקוב של המא"ז.

באופיין ניתן לראות שזרם האי-פעולה של המא"ז שווה ל- $1.13 \times I_n$, שזהו "זרם הבדיקה הנמוך" I1. המאבטח לא יפעל אם זרם זה יזרום דרכו במשך שעה.

זרם הפעולה של המא"ז שווה ל- $1.45 \times I_n$ שזהו "זרם הבדיקה הגבוה" I2. המאבטח חייב לפעול אם זרם זה יזרום דרכו במשך שעה.

התחום התרמי-הגנה בפני זרמי יתר-הניתוק נעשה באופן איטי לאחר זמן התלוי בעוצמת זרם היתר. ככל שזרם היתר גדל (בכפולות של I_n) הזמן לניתוק קטן.

התחום המגנטי-הגנה בפני זרם קצר-הניתוק נעשה באופן מהיר מאוד וניתן לראות באופיין כי עבור מא"ז מסוג B בזרם קצר הגדול מ- $3I_n$ ועבור מא"ז מסוג C בזרם קצר הגדול מ- $5I_n$ וזאת בזמן הקטן מ-5 שניות כהגדרת החוק אך גדול מ-0.1 שניות. עבור זרמי קצר גדולים יותר ניתן לראות כי מא"ז מסוג B ינתק זרם קצר הגדול מ- $5I_n$ ומא"ז מסוג C ינתק זרם קצר הגדול מ- $10I_n$ בפחות מ-0.1 שניות.

סלקטיביות בהפעלת מאבטחים

סלקטיביות זרם

פעולת מאבטחים נחשבת סלקטיבית כאשר במקרה של הופעת זרם יתר במעגל יפעל אך ורק המאבטח הקרוב ביותר למקום התקלה. לפי עקרון זה הזרם הנקוב של כל מאבטח חייב להיות קטן מהזרם הנקוב של המאבטח המותקן לפניו (ביחס למקור המתח). התנאים לסלקטיביות זרם:

א. במקרה של תקלה במערכת התקני ההגנה בפני זרם יתר צריכים לפעול ולנתק רק את המעגל המושפע מהתקלה.

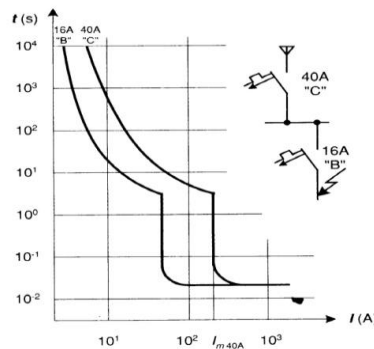
ב. זרמי מעבר של העומסים אינו צריך לגרום לניתוק המעגל.

ג. מערכת סלקטיבית צריכה להיות מתוכננת כך שאם המאבטח הקרוב למקום התקלה אינו פועל צריך המאבטח המותקן לפניו לפעול ולנתק את הזרם המעגל.

כאשר לא קיימת נקודת מפגש באופייניים של 2 מאבטחים המחוברים בטור במעגל אזי קיימת בניהם סלקטיביות מלאה. ואם קיימת נקודת מפגש אזי הסלקטיביות הינה חלקית או שלא קיימת.

סלקטיביות בין מאבטחים תהיה עד הגבול של זרם ההגנה המידי I_m של המאבטח הגדול במעגל.

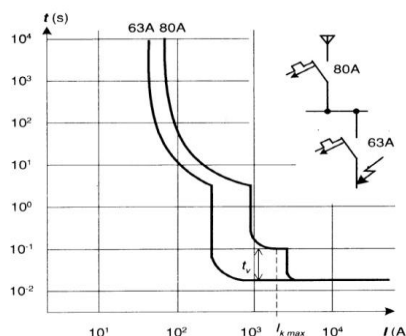
דוגמא לסלקטיביות זרם מלאה בין 2 מאבטחים:



סלקטיביות זמן

בכדי להגיע לסלקטיביות מלאה בין 2 מאבטחים יש צורך גם להתייחס לסלקטיביות בזמן. ז"א שתגובת ההגנה המגנטית של המפסק המותקן במעלה המעגל צריכה להיות איטית יותר ביחס למאבטח המותקן בקרבת התקלה. ישנם מאת"ים עם אפשרות כיול לזמן תגובה מגנטי עבור זרמי הקצר. זמן זה מוגדר t_v .

פעולת מאבטחים תהיה סלקטיבית כאשר זרם הקצר המרבי הצפוי בהדקי המאבטח הקטן יותר תהיה בתחום ההשהיה של המפסק הגדול יותר. דוגמא לסלקטיביות זמן מלאה בין 2 מאבטחים:



תכנון מעגלים מהיבט ההגנה בפני העמסת יתר

שלבי תכנון

א. חישוב זרם העבודה הממושך I_b הצפוי לעבור במעגל על פי הנוסחאות הבאות:

$$I_b = \frac{P}{Un \cdot \cos \varphi} \quad \text{עבור צרכן חד פאזי-}$$

$$I_b = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot Un \cdot \cos \varphi} \quad \text{עבור צרכן תלת פאזי-}$$

ב. בחירת סוג המאבטח בהתאם לתחום שימושם והזרם נקוב של מאבטח

בהתאם וגדלים הסטנדרטיים הקיימים והתאם לתנאי הראשון- $I_b \leq I_n$.

ג. בחירת שיטת ההתקנה סוג המוליכים וסוג הבידוד.

יש לבחור את שיטת ההתקנה של המוליכים מתוך 18 שיטות ההתקנה

בתוספת השנייה לתקנות של חוק החשמל (העמסה והגנה של

מוליכים...)

בתוך שיטת ההתקנה יש להגדיר סוג החומר של המוליך (נחושת או

אלומיניום), ואת סוג הבידוד (70° או 90°). התוצאה של שלב זה קביעת

הטבלה המתאימה לתנאי המעגל.

ד. חישוב ערך נדרש של זרם מרבי מתמיד I_z .

על סמך בחירת סוג המאבטח וזרמו הנקוב בשלב ב' יש לחשב את הערך

הנדרש של הזרם המתמיד I_z על פי התנאי השני לפי אחת מהנוסחאות:

$$I_z \geq 1.10 I_n \quad \text{עבור נתיכים}$$

$$I_z \geq 1.12 I_n \quad \text{עבור מא"זים}$$

$$I_z \geq 1.05 I_n \quad \text{עבור מאמ"תים}$$

ה. בחירת חתך המוליכים המעגל המתוכנן בתנאי סביבה רגילים.

יש למצוא בטבלה שנקבעה בשלב ג' את חתך המוליך בעל הזרם

המתמיד המרבי הגבוה או שווה לערך הנדרש שחושב בשלב ד'.

הערה- תנאי סביבה רגילים הם:

1. למוליכים וכבלים שסביבתם אוויר-טמפרטורה של 35°C .

2. כבלים שסביבתם קרקע- טמפרטורה של 30°C והתנגדות תרמית סגולית

$$\text{של הקרקע } \frac{cm}{W} \cdot 120^\circ\text{C}.$$

3. התקנת עד 3 מוליכים מבודדים או 3 כבלים חד גדיים ללא רווח בניהם

למעט מוליכי הארקה, בהתקנה חשופה לתנועת לאוויר.

4. התקנת עד כבל רב גדי אחד בהתקנה חשופה לאוויר

במידה ותנאי הסביבה אינם רגילים יש צורך בשימוש במקדמי תיקון

לקביעת הזרם המרבי המתמיד במוליך I_z .

מקדמי תיקון

1. כאשר טמפרטורת האוויר הסביבתית שונה מ- 35°C יש להכפיל את הערכים

של הזרם המתמיד המרבי I_z שבתוספת הראשונה במקדם המתאים מטבלה

17 שבתקנות החשמל.

2. כאשר טמפרטורת הקרקע הסביבתית שונה מ- 30°C יש להכפיל את הערכים

של הזרם המתמיד המרבי I_z שבתוספת הראשונה במקדם המתאים מטבלה

18 שבתקנות החשמל.

3. כאשר מותקנים יותר מ-3 מוליכים מבודדים או 3 כבלים חד גידיים למעט מוליכי הארקה ללא רווח בניהם בהתקנה חשופה לתנועת האוויר בתנוחה אופקית או אנכית כדוגמה בהתקנה על סולמות, יש להכפיל את הערכים של הזרם המתמיד המרבי I_z שבתוספת הראשונה במקדם המתאים מטבלה 15 שבתקנות החשמל.

4. כאשר מותקנים כבלים רב גידים אחדים ללא רווח בניהם בהתקנה חשופה לתנועת האוויר בתנוחה אופקית או אנכית כדוגמה בהתקנה על סולמות, יש להכפיל את הערכים של הזרם המתמיד המרבי I_z שבתוספת הראשונה במקדם המתאים מטבלה 16 שבתקנות החשמל.

תרגיל דוגמא

נתונים 6 מפוחים תלת פאזיים זהים בעלי הנתונים הבאים:

$$U_n=400V ; P_n=800W ; \cos\varphi=0.78 ; \eta=0.82$$

המפוחים מוזנים כל אחד בנפרד ע"י כבלים נחושת עם בידוד של $90^{\circ}C$ ומותקנים בתעלה צרה סגורה משותפת בשכבה אחת ובטמפרטורה סביבתית אופפת של האוויר של $45^{\circ}C$. קבע את שטח החתך של כל כבל ואת סוג וגודל המאבטח של כל מפוח.

פתרון לתרגיל דוגמא

א. נחשב את הזרם הממושך הצפוי לעבור במוליכים של כל מפוח-

$$I_b = \frac{P}{\sqrt{3} * U_n * \cos \varphi * \eta} = \frac{800}{\sqrt{3} * 400 * 0.78 * 0.82} = 1.805A$$

ב. נקבע את סוג וגודל המאבטח.

נבחר במאבטח מסוג "הגנת מנוע" בעל תחום כיול ההגנה התרמית של $I_r=1.6A-4A$ ונכייל אותו ל- $I_n=2A$.

ג. נמצא בתוספת השנייה- שיטת התקנה "ה", כבלים נחושת בידוד $90^{\circ}C$ טבלה 90.1.

ד. נמצא בטבלה המתאימה חתך מוליך בעל זרם מתמיד מרבי גדול או שווה ערך הנדרש- שטח חתך- $I_z=18A ; 1.5mm^2$.

נבצע תיקון ל- I_z בהתאם למקדמי התיקון שבטבלה 16 וטבלה 17-

$$I_z' = I_z * k_{16} * k_{17} = 18 * 0.68 * 0.9 = 11.016A$$

נבחן את המוליך הנבחר ב-2 התנאים:

$$I_b \leq I_n \leq I_z' \Rightarrow 1.8 < 2 < 11 \Rightarrow \checkmark$$

$$1.045I_n \leq I_z' \Rightarrow 1.045 * 2 < 11 \Rightarrow \checkmark$$

לסיכום נבחר כבל של 4X1.5 N2XY עבור כל מפוח המאובטח במאבטח מסוג "הגנת מנוע"

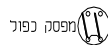
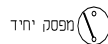
בעל ההגנה תרמית מכוילת ל-2A.

פרק 6 שרטוט סכמתי חשמלי

שרטוט חשמלי הוא שפה גרפית לצורך תכנון לפני ביצוע. כמו בכל שפה קיימות מוסכמות בינלאומיות מקובלות שהן הצורות הגרפיות של האביזרים השונים במעגל. שהעיקריות הן:

בשרטוט סכמתי

רב קווי

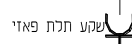
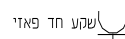


N●

P●

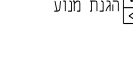
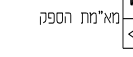
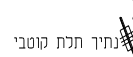
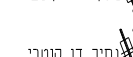
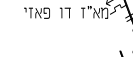
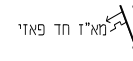
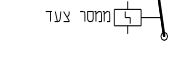
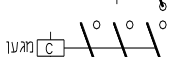
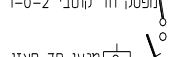
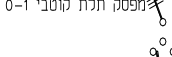
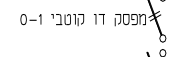
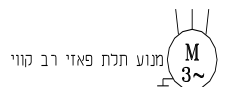
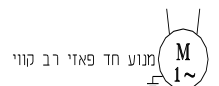
בשרטוט סכמתי

חד קווי



בשרטוט סכמתי

לוחות חשמל



קיימים 2 סוגי שרטוטים סכמתיים חשמליים:

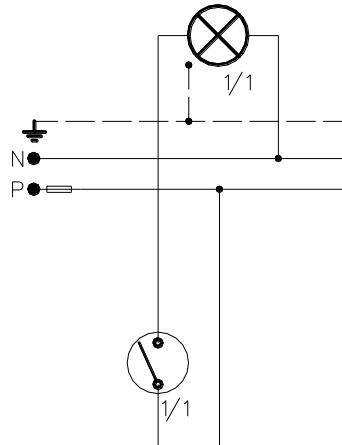
א. שרטוט רב קווי

ב. שרטוט חד קווי

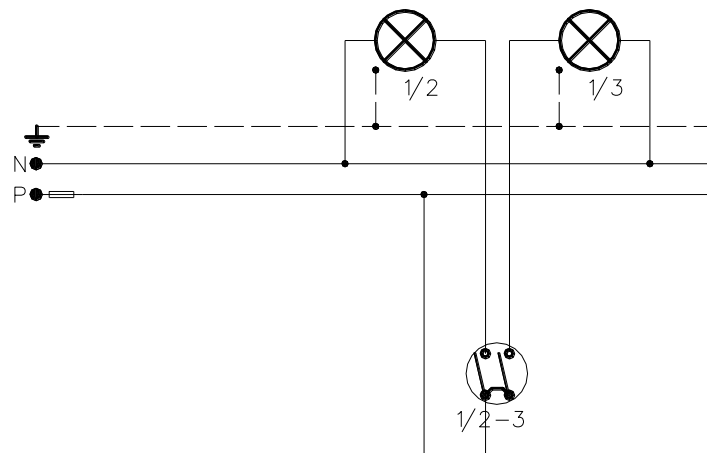
א. שרטוט רב קווי

בסוג זה מציינים את כל המוליכים במעגל ז"א מוליכי המופע (פאזה) האפס והארקה.

שרטוט סכמתי רב קווי של חיבור מנורה עם הדלקה/כיבוי ממקום אחד:

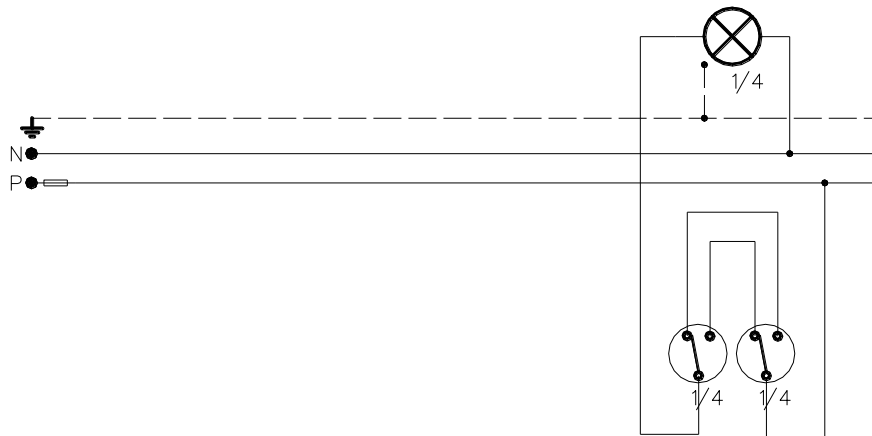


שרטוט סכמתי רב קווי של חיבור 2 מנורות עם הדלקה/כיבוי ממקום אחד:

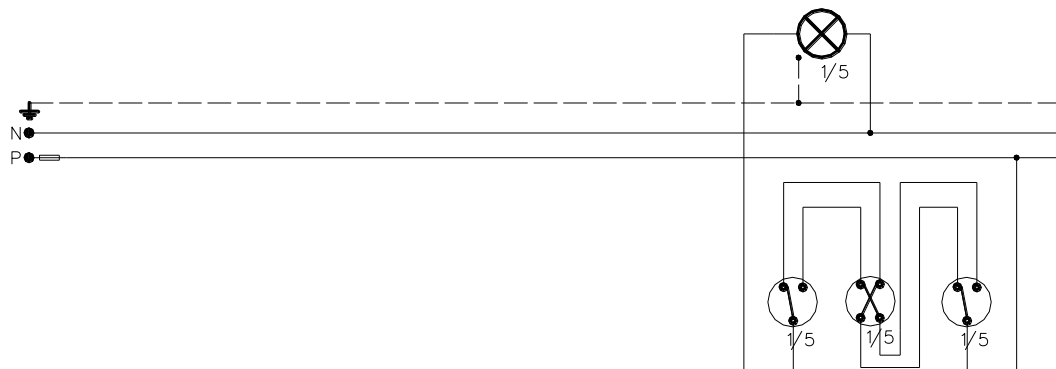


קורס- מתקני חשמל והספק-חשמלאי מוסמך

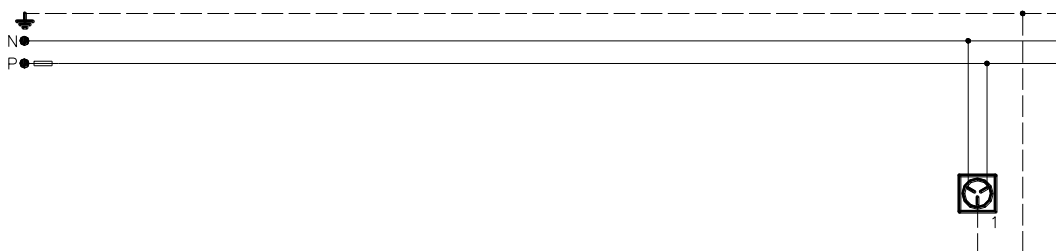
שרטוט סכמתי רב קווי של חיבור מנורה עם הדלקה/כיבוי מ-2 מקומות:



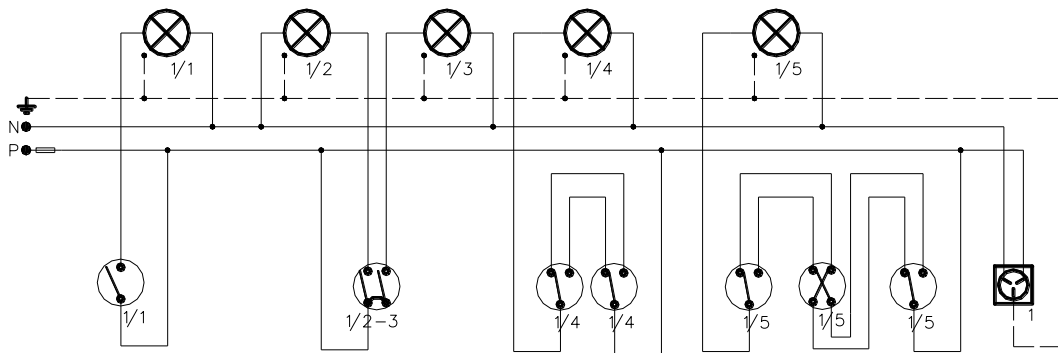
שרטוט סכמתי רב קווי של חיבור מנורה עם הדלקה/כיבוי מ-3 מקומות:



שרטוט סכמתי רב קווי של חיבור שקע:

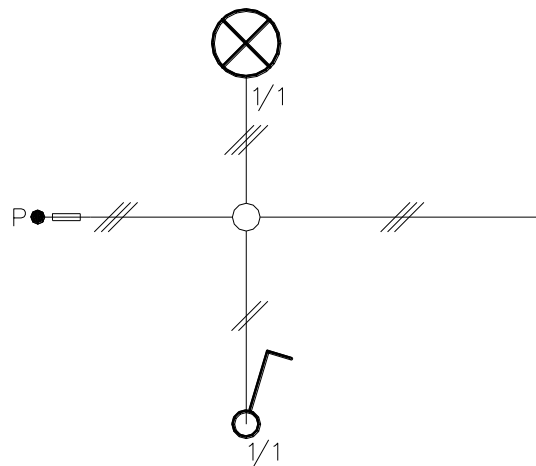


שרטוט סכמתי רב קווי של מעגל משולב לדוגמא:

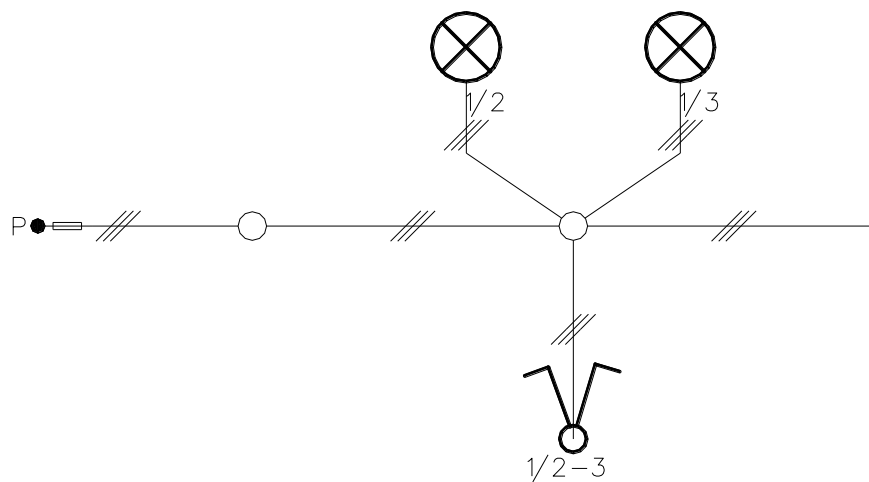


ב. שרטוט חד קווי

בשרטוט מסוג זה מציניים בצורה חד קווית את כל המוליכים ומסמנים את מספר המוליכים בכל קו.
שרטוט סכמתי חד קווי של חיבור מנורה עם הדלקה/כיבוי ממקום אחד:

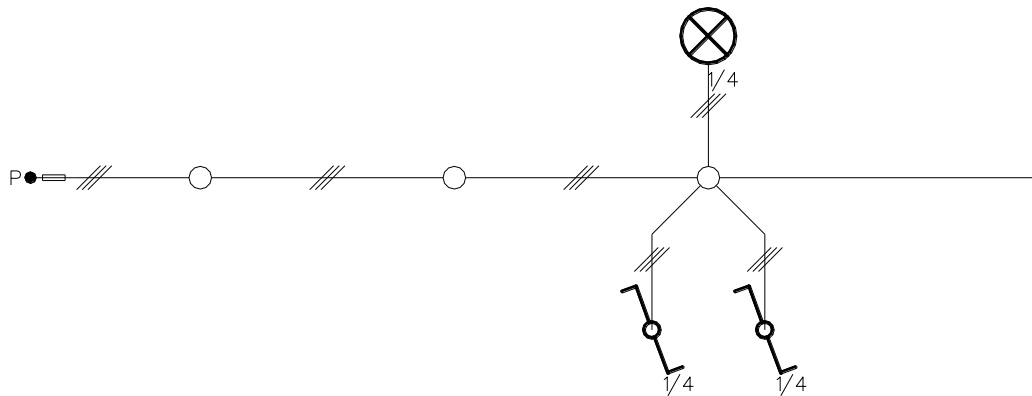


שרטוט סכמתי חד קווי של חיבור 2 מנורות עם הדלקה/כיבוי ממקום אחד:

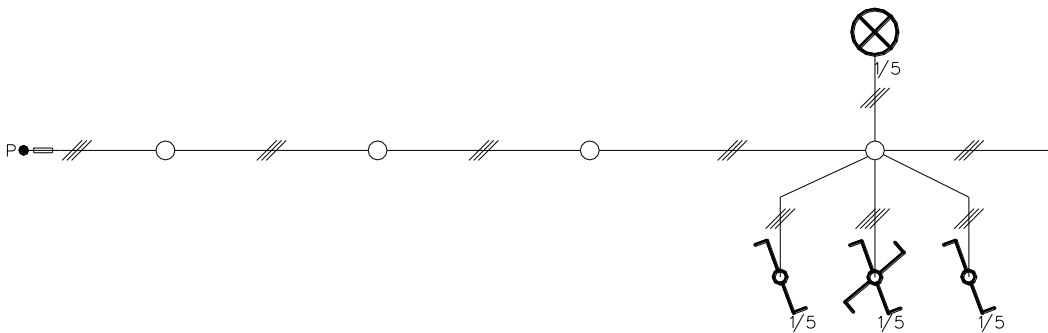


קורס- מתקני חשמל והספק-חשמלאי מוסמך

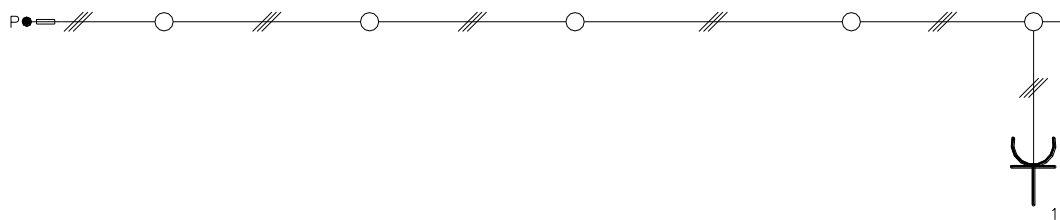
שרטוט סכמתי חד קווי של חיבור מנורה עם הדלקה/כיבוי מ-2 מקומות:



שרטוט סכמתי חד קווי של חיבור מנורה עם הדלקה/כיבוי מ-3 מקומות:

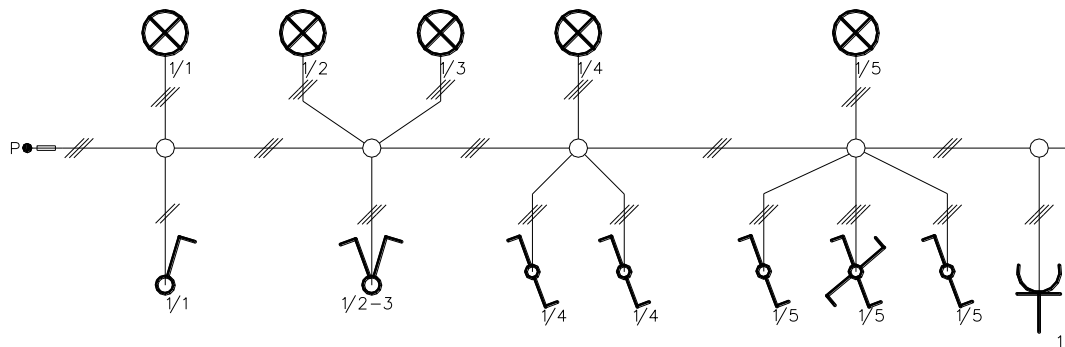


שרטוט סכמתי חד קווי של חיבור שקע:

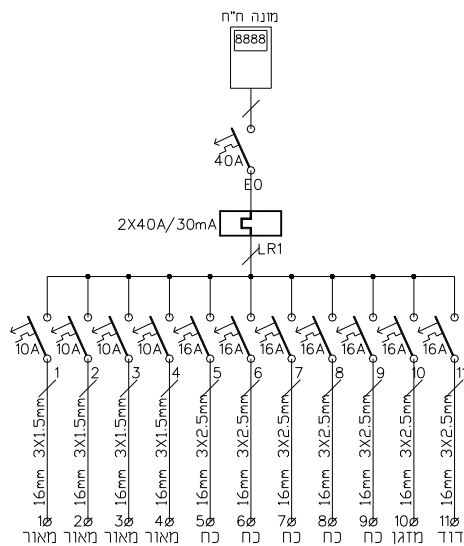


קורס- מתקני חשמל והספק-חשמלאי מוסמך

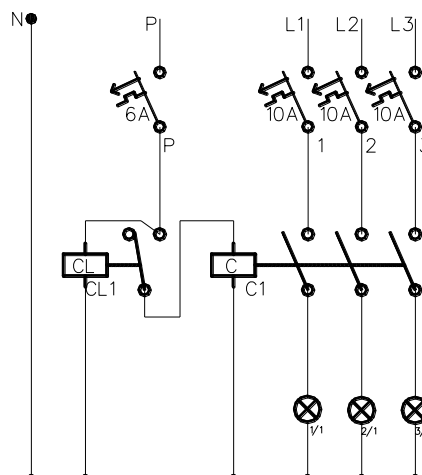
שרטוט סכמתי חד קווי של מעגל משולב לדוגמא:



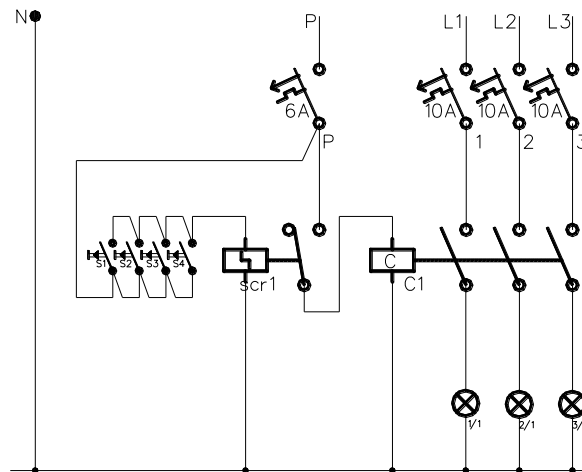
שרטוט לוח דירתי חד פאזי חד קווי לדוגמא:



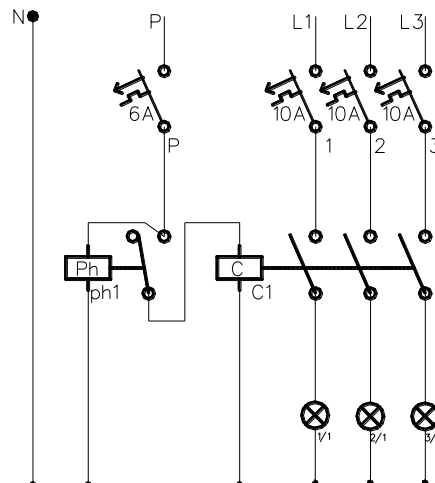
שרטוט הדלקת/כיבוי מס' מעגלי מאור דרך שעון מיתוג:



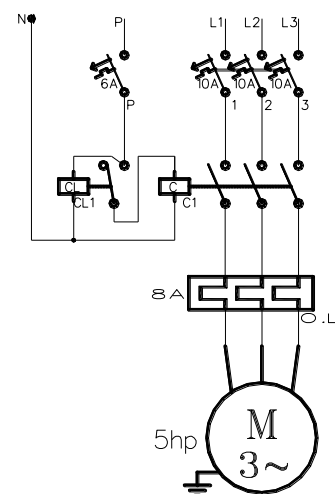
שרטוט הדלקת/כיבוי מס' מעגלי מאור דרך ממסר צעד:



שרטוט הדלקת/כיבוי מס' מעגלי מאור דרך תא פוטואלקטרי:



שרטוט הפעלת/כיבוי מנוע תלת פאזי דרך שעון מיתוג:



פרק 7 תכנון דירת מגורים

א. שלב ראשון- יש לערוך רשימת עומסים מפורטת של כל הצרכנים כולל חלוקה למעגלים.

דוגמא לרשימת עומסים:

מס' מעגל	תאור המעגל	הספק(W) מקסימאלי
1	מאור ח. כביסה+מטבח+סלון עד-	1750
2	מאור חדרי שינה+שירותים+מקלחת עד-	1750
3	שקעים סלון	3000
4	שקעים חדרי שינה	3000
5	מזגן סלון	3500
6	מכונת כביסה	2500
7	שקע כוח מקרר	1000
8	שקע מכשירים מטבח	2500
9	דוד	2500
סה"כ		21500

ב. שלב שני- חישוב שטחי חתך המוליכים וקביעת גודל וסוג ההגנות כולל ההגנה הראשית.

הנחת העבודה בדירת מגורים כי מקדם ההספק של הצרכנים $\cos \varphi = 1$

עבור מעגלי מאור 1-2:

צריכה מקסימאלית עד 1750W זרם מחושב 7.6A צורת התקנה מוליכים בתוך צינור

ולכן סוג ההגנה מא"ז בגודל 10A בעל אופיין B ומכאן גודל מוליכים $1.5mm^2$.

עבור מעגלים שקעים 3-4:

צריכה מקסימאלית עד 3000W זרם מחושב 13A צורת התקנה מוליכים בתוך צינור

ולכן סוג ההגנה מא"ז בגודל 16A בעל אופיין C ומכאן גודל מוליכים $2.5mm^2$.

עבור מעגל מכשירים 5-9:

צריכה מקסימאלית עד 3500W זרם מחושב 15.22A צורת התקנה מוליכים בתוך צינור

ולכן סוג ההגנה מא"ז בגודל 16A בעל אופיין C ומכאן גודל מוליכים $2.5mm^2$.

פרק 8 תכנון בית מלאכה ובתי עסק

תרגיל דוגמא 1:

לוח מערכת קירור המחובר לרשת תלת מופעית של 400V כולל את הצרכנים הבאים:

תאור	הספק יציאה	$\cos\varphi$	$\eta\%$
1. מדחס	20KW	0.85	87
2. מפוח מעבה	2KW	0.75	72
3. מפוח מאייד	2KW	0.75	72

- א. חשב את סוללת הקבלים המשפרת ל- $\cos\varphi=0.92$ ובחר סוללת קבלים מתאימה
 ב. תכנן את קווי ההזנה לכל הצרכנים בלוח כולל עבור סוללת הקבלים
 ג. חשב מה גודלו של המאבטח הראשי של הלוח ושרטט את לוח החשמל.

פתרון לתרגיל דוגמא 1:

מדחס-

$$P1 = \frac{P}{\eta} = \frac{20 * 10^3}{0.87} = 22.989KW$$

$$Q = P * \tan \varphi = 22.989 * 10^3 * \tan(\cos^{-1} 0.85) = 14.247KVar$$

$$I = \frac{P}{Un * \sqrt{3} * \cos \varphi * \eta} = \frac{20 * 10^3}{400 * \sqrt{3} * 0.85 * 0.87} = 39.037A$$

נבחר במאבטח מסוג הגנת מנוע בגודל 3X63A מכויל ל- 40A.

שטח חתך מוליכים לפי התנאי: $Ib \geq In \geq Iz$

נבחר בשטח חתך של $4x10mm^2$

מפוח מעבה-

$$P = \frac{P}{\eta} = \frac{2 * 10^3}{0.72} = 2.778KW$$

$$Q = P * \tan \varphi = 2.778 * 10^3 * \tan(\cos^{-1} 0.75) = 2.45KVar$$

$$I = \frac{P}{Un * \sqrt{3} * \cos \varphi * \eta} = \frac{2 * 10^3}{400 * \sqrt{3} * 0.75 * 0.72} = 5.346A$$

נבחר במאבטח מסוג הגנת מנוע בגודל 3X6A מכויל ל- 5.5A.

שטח חתך מוליכים לפי התנאי: $Ib \geq In \geq Iz$

נבחר בשטח חתך של $4x1.5mm^2$

מפוח מאייד-

$$P = \frac{P}{\eta} = \frac{2 * 10^3}{0.72} = 2.778KW$$

$$Q = P * \tan \varphi = 2.778 * 10^3 * \tan(\cos^{-1} 0.75) = 2.45KVar$$

$$I = \frac{P}{Un * \sqrt{3} * \cos \varphi * \eta} = \frac{2 * 10^3}{400 * \sqrt{3} * 0.75 * 0.72} = 5.246A$$

נבחר במאבטח מסוג הגנת מנוע בגודל 3X6A מכויל ל- 5.5A.

שטח חתך מוליכים לפי התנאי: $Ib \geq In \geq Iz$

נבחר בשטח חתך של $4 \times 1.5mm^2$

$$\Sigma P = (22.989 + 2.778 + 2.778) * 10^3 = 28.545KW$$

$$\Sigma Q = (14.247 + 2.45 + 2.45) * 10^3 = 19.147KVar$$

$$\tan \varphi_{\text{מצוי}} = \frac{\Sigma Q}{\Sigma P} = \frac{19.147 * 10^3}{28.545 * 10^3} = 0.671$$

$$\tan \varphi_{\text{רצוי}} = \tan(\cos^{-1} 0.92) = 0.426$$

$$Qc = \Sigma P * (\tan \varphi_{\text{מצוי}} - \tan \varphi_{\text{רצוי}})$$

$$Qc = 28.545 * 10^3 * (0.671 - 0.426) = 6.994KVar$$

נבחר בסוללת קבלים מסחרית בגודל 7.5KVar.

$$Ic = \frac{Qc}{Un * \sqrt{3}} = \frac{7.5 * 10^3}{400 * \sqrt{3}} = 10.825A$$

חישוב גודל המאבטח לסוללת הקבלים

$$I > 1.43 * Ic = 1.43 * 10.825 = 15.48A$$

נבחר במאבטח מסחרי מסוג נתיך בגודל 3X16A.

שטח חתך מוליכים לפי התנאי: $Ib \geq In \geq Iz$

נבחר בשטח חתך של $4 \times 2.5mm^2$

חישוב מאבטח ראשי-

$$St = \Sigma P + j(\Sigma Q - Qc) =$$

$$St = 10^3 * [28.545 + j(19.147 - 7.5)] = (28.545 + j11.647)KVA$$

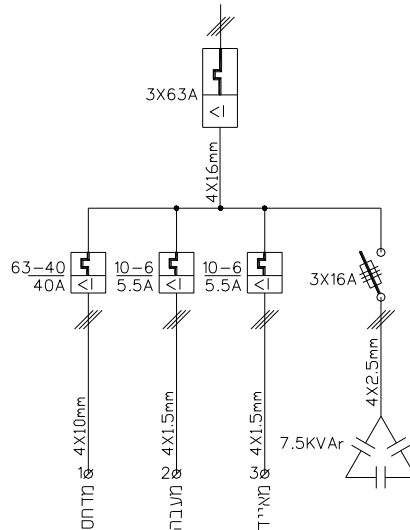
$$St = \sqrt{Pt^2 + Qt^2} = 10^3 * \sqrt{28.545^2 + 11.647^2} = 30.83KVA$$

$$It = \frac{Stotal}{Un * \sqrt{3}} = \frac{30.83 * 10^3}{400 * \sqrt{3}} = 44.449A$$

נבחר מפסק ראשי מסוג מאמ"ת בגודל 3X63 המתאים לגודל חיבור סטנדרטי.

שטח חתך מוליכים לפי התנאי: $Ib \geq In \geq Iz$

נבחר בשטח חתך של $4 \times 16mm^2$



תרגיל דוגמא 2:

בבית מלאכה המוזן מרשת תלת מופעית של 400V מחוברים המכונות הבאות:

1. מחרטה- 5HP, $\cos\phi=0.8$, $\eta=80\%$
2. כרסומת- 10KVA, $\cos\phi=0.75$, $\eta=80\%$
3. משחזת- 6KW, $\cos\phi=0.85$, $\eta=70\%$
4. מקדחה- 2HP, $\cos\phi=0.8$, $\eta=85\%$

נתון כי תדירות הרשת היא 50Hz ומקדם הביקוש 0.7.

חשב וקבע את:

- א. הזרם הנקוב של המאבטחים לכל המכונות.
- ב. הזרם הנקוב של המאבטח הראשי.
- ג. הספק סוללת הקבלים המסחרית שיש לחבר למערכת על מנת לשפר את מקדם ההספק ל-0.92.

פתרון לתרגיל דוגמא 2:

א. נחשב את הזרם לכל מכונה ונציג את התוצאה כערך פולארי ונקבע את סוג והערך של המאבטח:

1. מחרטה-

$$I_1 = \frac{P_1}{U_n * \sqrt{3} * \cos\phi_1 * \eta_1} = \frac{5 * 736}{400 * \sqrt{3} * 0.8 * 0.8} = (8.299 \angle 36.87^\circ) A$$

נקבע מאבטח מסוג הגנת מנוע בגודל 10A.

2. כרסומת-

$$I_2 = \frac{S_2}{U_n * \sqrt{3} * \eta_2} = \frac{10 * 10^3}{400 * \sqrt{3} * 0.8} = (18.042 \angle 41.41^\circ) A$$

נקבע מאבטח מסוג הגנת מנוע בגודל 20A.

3. משחזת-

$$I_3 = \frac{P_3}{U_n * \sqrt{3} * \cos\varphi_3 * \eta_3} = \frac{6 * 10^3}{400 * \sqrt{3} * 0.85 * 0.7} = (14.555 \angle 31.79^\circ) A$$

נקבע מאבטח מסוג הגנת מנוע בגודל 16A.

4. מקדחה-

$$I_4 = \frac{P_4}{U_n * \sqrt{3} * \cos\varphi_4 * \eta_4} = \frac{2 * 736}{400 * \sqrt{3} * 0.8 * 0.85} = (3.124 \angle 36.87^\circ) A$$

נקבע מאבטח מסוג הגנת מנוע בגודל 4A.

ב. נחשב את הזרם הכללי של כל בית המלאכה ונציג אותו כערך פולארי ונקבע את סוג והערך של המאבטח הראשי:

$$I_t = (I_1 + I_2 + I_3 + I_4)$$

$$I_t = [(8.299 \angle 36.87^\circ) + (18.042 \angle 41.41^\circ) + (14.555 \angle 31.79^\circ) + (3.124 \angle 36.87^\circ)]$$

$$I_t = (43.906 \angle 37.05^\circ) A$$

$$I_t' = I_t * K = 43.906 * 0.7 = 30.734 A$$

נקבע מאבטח ראשי מסוג מאמ"ת בגודל 40A.

ג. חישוב סוללת הקבלים לשיפור גורם ההספק:

$$P_t = S_t * \cos\varphi_t = I_t * U_n * \sqrt{3} * \cos\varphi_t = 43.904 * 400 * \sqrt{3} * \cos 37.05 = 24.278 KW$$

$$\tan\varphi_{\text{מיווי}} = \tan 37.05 = 0.755$$

$$\tan\varphi_{\text{רצוי}} = \tan(\cos^{-1} 0.92) = 0.426$$

$$Q_c = P_t * (\tan\varphi_{\text{מיווי}} - \tan\varphi_{\text{רצוי}}) = 24.278 * 10^3 * (0.755 - 0.426) = 7.987 KVar$$

נבחר סוללת קבלים מסחרית בגודל 10KVar.

תרגיל דוגמא 3:

במפעל תעשייתי המחובר לרשת תלת מופעי נרשמו הנתונים הבאים:

$$I_L=60A, U_L=400V, P=32KW$$

לצורך שיפור גורם ההספק ל-0.92 מחברים קבלים בלוח הראשי. המונה מחובר במרחק

של 100m בכבל בעל שטח חתך של $25mm^2$. בעל התנגדות סגולית של $\frac{1}{57} \left[\frac{\Omega * mm^2}{m} \right]$

המפעל עובד 12 שעות ביממה במשך 25 יום בחודש. מחיר האנרגיה החשמלית $25 \frac{\text{אג}}{\text{kwh}}$.

מחיר הקבלים 50 שקל לכל KVar.

חשב בכמה זמן יחזיר המפעל את ההשקעה בהתקנת הקבלים.

פתרון לתרגיל דוגמא 3:

$$\cos\varphi_{\text{מצי}} = \frac{P}{Un * \sqrt{3} * In} = \frac{32 * 10^3}{400 * \sqrt{3} * 60} = 0.77$$

$$\tan\varphi_{\text{מצי}} = \tan(\cos^{-1} 0.77) = 0.829$$

$$\tan\varphi_{\text{רצוי}} = \tan(\cos^{-1} 0.92) = 0.426$$

$$Q_c = P(\tan\varphi_{\text{מצי}} - \tan\varphi_{\text{רצוי}}) = 32 * 10^3 * (0.829 - 0.426) = 13KVar$$

חישוב ההפסדים על הקו לפני השיפור:

$$\Delta P1 = \frac{3 * \rho}{A} * I1^2 * l = \frac{3}{25 * 57} * 60^2 * 100 = 757.895W$$

חישוב ההפסדים על קו לאחר השיפור:

$$I2 = \frac{P}{Un * \sqrt{3} * \cos\varphi_{\text{רצוי}}} = \frac{32 * 10^3}{400 * \sqrt{3} * 0.92} = 50.2A$$

$$\Delta P2 = \frac{3 * \rho}{A} * I2^2 * l = \frac{3}{25 * 57} * 50.2^2 * 100 = 530.535W$$

$$\Delta P1 - \Delta P2 = 757.895 - 530.535 = 227.36W$$

חישוב החיסכון בהפסדי האנרגיה השנתית:

$$\Delta w = h * d * m * (\Delta P1 - \Delta P2) = 12 * 25 * 12 * 227.36 = 818.494KWh$$

חישוב הרווח השנתי במחיר הפסדי האנרגיה:

$$M1 = \Delta w * \frac{\text{ש"ח}}{kwh} = 818.494 * 10^3 * 0.25 = 204.624[\text{ש"ח}]$$

חישוב מחיר הקבלים:

$$M2 = 13 * 50 = 650[\text{ש"ח}]$$

החזר ההשקעה בקבלים לאחר:

$$\frac{M2}{M1} = \frac{650}{204.624} = 3.176[\text{שנים}]$$

תרגיל דוגמא 4:

נתון מנוע תלת מופעי בעל הנתונים הבאים:

נתון כי זרם ההתנעה גדול פי 5 מהזרם הנומינאלי.

תכנן הגנה מתאימה למנוע זה הכוללת מא"ז וממסר לזרם יתר O.L.

פתרון לתרגיל דוגמא 4:

חישוב זרם נומינאלי של המנוע-

$$Ib = \frac{P}{Un * \sqrt{3} * \cos\varphi * \eta} = \frac{4 * 736}{400 * \sqrt{3} * 0.8 * 0.85} = 6.249A$$

נחשב את זרם ההתנעה של המנוע-

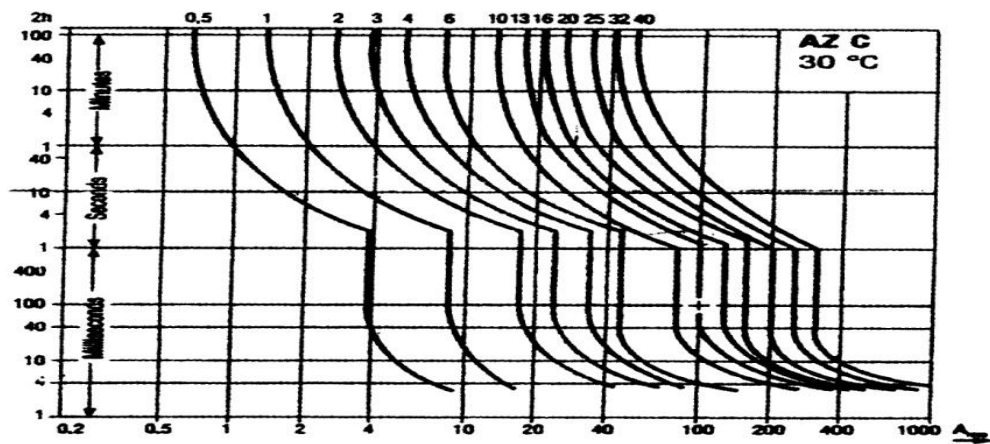
$$Ist = 5 * Ib = 5 * 6.249 = 31.245A$$

על פי התנאי לעמידת מאבטח בפני זרם התנעה-

$$I5'' \geq 1.3Ist$$

$$I5'' \geq 40.619A$$

על פי האופיין של מא"ז דגם C-



ניתן לראות שרק מא"ז 16A עומד בתנאי של זרם ההתנעה.

יש לבדוק עם מא"ז זה עומד גם בתנאי הבא:

$$I_b \leq I_n$$

והכן כן.

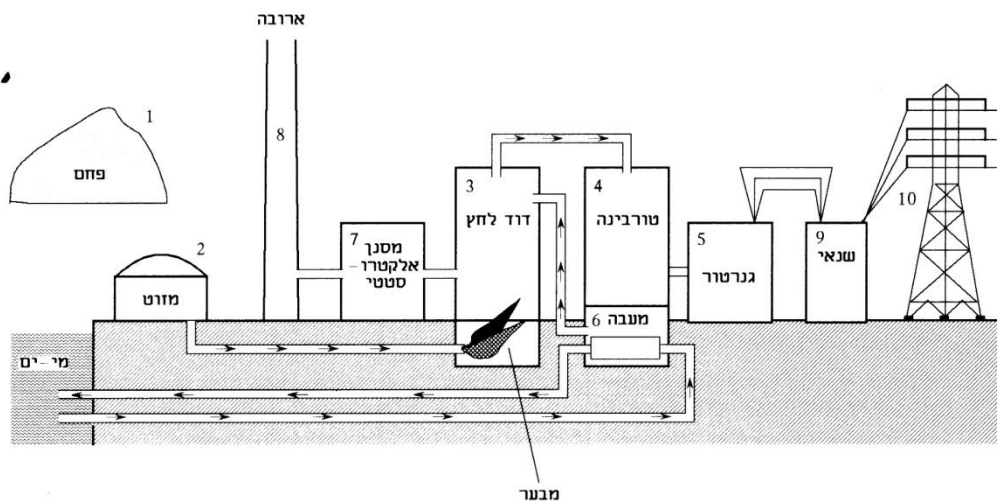
את גודל ה-0.1 נכון לערך הנומינאלי של זרם המנוע כ-6.5A.

פרק 9 משק החשמל בישראל

משק החשמל בישראל מבוססת על תחנות כוח המקושרות זו לזו. תחנות הכוח מייצרות חשמל באמצעות גנרטורים המונעים באמצעות טורבינות. באמצעות מערכת תשתית ארצית ומערכות חלוקה מועבר החשמל לכל חלקי הארץ ומסופק לצרכניים.

מבנה עקרוני של תחנת כוח תרמית

הדלק המשמש לייצור החשמל (פחם [1] או דלק נוזלי [2]) מוזרק בתוספת אוויר לדוד השריפה הגדול [3], נשרף ומפיק חום. קירות הדוד מכוסים באלפי מטרים של צינורות שבהם זורמים מים נטולי מלחים. החום הגבוה, המגיע ל-1,000 מעלות צלסיוס, הופך את המים לקיטור. בטמפרטורה ובלחץ גבוהים מוזרם הקיטור אל להבי הטורבינה [4], ומסובב אותן במהירות של 3,000 סיבובים בדקה. ציר הטורבינה מסובב את ציר הגנרטור [5] המייצר את החשמל. בכך לא תמה דרכו של הקיטור. הוא מקורר באמצעות מי-ים במחליפי חום מיוחדים הנקראים מעבים [6], מתעבה למים, ומוזרם לשימוש חוזר בדוד השריפה. גזי השריפה הנוצרים בדוד מועברים דרך מסנני שיקוע אלקטרוסטטיים [7] אל הארובה הגבוהה [8], ונפלטים בגובה רב. המסננים האלקטרוסטטיים משמשים רק כאשר ייצור החשמל נעשה בפחם, ותפקידם לקלוט את רוב רובו של האפר המרחף הנוצר בתהליך השריפה. החשמל הנוצר בגנרטור מועבר לשנאים גדולים [9], ומהם אל המערכת הארצית [10], המעבירה ומחלקת את החשמל לכל חלקי הארץ.



מערכות חלוקה ארצית

המתח החשמלי (כ"מ) המופק מהגנרטורים בתחנת הכוח הוא לרוב ברמה של 20KV ומגיע לשנאי בתחום תחנת הכוח המעלה את המתח הזה לרמת מתח עליון של 110KV או 161KV או 400KV. משם הוא מועבר ברשת הארצית עד לתחנת המיתוג האזורית, ומורד לרמה של מתח גבוה לרוב 22KV. משם הוא ממותג לתחנת השנאה וחלוקה באזור מסוים, ובאמצעות שנאי הנמצא בקרבת הצרכן הסופי מורד מתח זה למתח נמוך של 400V שלוב או 230V מופעי ומסופק לצרכן.

רמות מתחים ברשת הארצית

- א. מתח נמוך 400V.
- ב. מתח גבוה 12.6KV, 22KV, 33KV.
- ג. מתח גבוה מאוד 72KV.
- ד. מתח עליון 110KV, 161KV.
- ה. מתח על עליון 400KV.

רשתות חשמל

קימות 2 שיטות להעברת אנרגיה חשמלית ברשת הארצית:

באמצעות רשת עילית-

יתרונות השיטה:

- א. פשוטה יותר להקמה, זולה יותר.
 - ב. ניתן לשדרג אותה בקלות יותר ובעלויות זולות יותר.
- ניתן להעביר דרכה מתח עליון והספקים גבוהים למרחקים בהפסדים קטנים יחסית

חסרונות השיטה:

- א. מפגע לנזף ולסביבה
 - ב. חשופה לברקים ותקלות.
 - ג. מסוכנת יותר.
 - ד. גוזלת שטחי קרקע נרחבת.
- באמצעות רשת תת קרקעית-
- יתרונות השיטה:
- א. אינה נראת לעין אסתטית.
 - ב. אינה יקרה בהרבה בהקמה עם מקימים אותה מראש באזור.
 - ג. בטוחה יותר.
 - ד. גוזלת פחות קרקע.

חסרונות השיטה:

- א. יקר מאוד להעברת מתח גבוה.
- ב. יקרה פי 3 להקמה באזור בנוי.
- ג. קשה ויקרה יותר לשדרוג.

פרק 10 תאורה

מונחים בפוטומטריה ויחידות מדידה

א. שטף אור-לומן

כמות האור המוקרנת בשנייה אחת ממקור אור בכל כיוון או כמות האור הנקלטת

במשך שנייה אחת במשטח מכל כיוון. מסומן ב- ϕ [lumen]

ב. נצילות אורית-

מספר הלומנים המופק לכל ווט מושקע במקור האור. $\eta E = \frac{\phi}{p} \left[\frac{lm}{w} \right]$

ג. רמת הארה-לוקס

שטף אור המאיר יחידת שטח. $E = \frac{\phi}{A} [lux]$

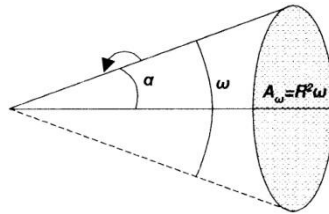
ד. אחידות ההארה-

היחס בין רמת הארה המינימאלית לרמת הארה הממוצעת על מישור עבודה

מסוים. $U = \frac{E_{min}}{E_{ave}}$

ה. זווית מרחבית- סטרדיאן

קונוס שקו היוצר שלו יותר זווית α עם ציר הקונוס.



$$\omega = 2\pi(1 - \cos \alpha) [sr]$$

($\omega = 4\pi$ מלא: כדור מלא)

ו. עוצמת האור-קנדלה

שטף המוקרן ממקור אור בזווית מרחבית ω בכיוון נתון.

$$I = \frac{\phi}{\omega} \left[\frac{lm}{sr} = cd \right]$$

ז. בהיקות -קנדלה למ"ר

היחס בין עוצמת האור של מקור או משטח מחזיר אור לבין שטחו של המשטח

שממנו מוחזר או מוקרן האור.

$$L = \frac{I(cd)}{A(m^2)} = \frac{\rho * E}{\pi} \left[\frac{cd}{m^2} = nit \right]$$

כאשר ρ - מקדם החזרה.

ח. טמפרטורת צבע -קלווין

מתארת את מראה הצבע של הנורות (ככל שהערך גבוה יותר כך הצבע קר יותר).

כאשר:

$$CCT \leq 3000^\circ K \text{ צבע האור נחשב "חם"}$$

$$CCT \geq 4000^\circ K \text{ צבע האור נחשב "קר"}$$

לדוגמא עבור נורות פלורוסנט:

3000°K-Warm White , 4000°K-Cool White , 6000°K-Day Light

ט. גורם התאמת הצבע-CR(%)

מידת ההתאמה בין הרכב הצבעים של הנורה לבין הרכב הצבעים של אור השמש.

קורס- מתקני חשמל והספק-חשמלאי מוסמך

נתוני יצרן עבור נורות פלורוסנט:

נספחים - נורות										
נורות פלואורסנט וקומפקט										
תיאור	מס' להזמנה	סימון ביג'ל	הספק P(W)	בית נורה	שטח אור ϕ (mm)	מקדם מסירת צבע Ra	טמפ' צבע °K	קוטר D (mm)	אורך L (mm)	אורך חיים t (h)
פלואורסנט לבן חם	001930	TL	14 *	G5	1,350	85	2,700	16	549	20,000
	001940		28 *	G5	2,800	85	2,700	16	1,149	20,000
	001950		35 *	G5	3,650	85	2,700	16	1,449	20,000
פלואורסנט לבן חם	001928	TL	14 *	G5	1,350	80	3,000	16	549	20,000
	001912		21 *	G5	2,100	80	3,000	16	849	20,000
	001929		28 *	G5	2,900	80	3,000	16	1,149	20,000
	001914		35 *	G5	3,650	80	3,000	16	1,449	20,000
	001909		24 **	G5	2,000	80	3,000	16	549	20,000
	001910		39 **	G5	3,500	80	3,000	16	849	20,000
	001915		49 **	G5	4,850	80	3,000	16	1,449	20,000
	001911		54 **	G5	5,000	80	3,000	16	1,149	20,000
	001913		80 **	G5	6,900	80	3,000	16	1,449	20,000
	002064		18	G13	1,150	50	2,900	26	590	12,000
	002055		36	G13	2,850	50	2,900	26	1,200	12,000
	002066		58	G13	4,600	50	2,900	26	1,500	12,000
פלואורסנט לבן קר	002086	TL	6	G5	240	80	4,000	16	212	12,000
	002088		8	G5	450	80	4,000	16	288	12,000
	002071		13	G5	950	80	4,000	16	517	12,000
	001921		14 *	G5	1,350	85	4,000	16	549	20,000
	001922		21 *	G5	2,100	85	4,000	16	849	20,000
	001923		28 *	G5	2,900	85	4,000	16	1,149	20,000
	001924		35 *	G5	3,650	85	4,000	16	1,449	20,000
	001925		24 **	G5	2,000	85	4,000	16	549	20,000
	001926		39 **	G5	3,500	85	4,000	16	849	20,000
	002116		49 **	G5	4,850	85	4,000	16	1,449	20,000
	001927		54 **	G5	5,000	85	4,000	16	1,149	20,000
	002111		80 **	G5	6,900	85	4,000	16	1,449	20,000
	002089		18	G13	1,150	65	4,100	26	590	12,000
	002039		36	G13	2,850	65	4,100	26	1,200	12,000
	002058		58	G13	4,600	65	4,100	26	1,500	12,000
פלואורסנט אור יום	001901	TL	14 *	G5	1,300	85	6,200	16	549	20,000
	001902		21 *	G5	2,000	85	6,200	16	849	20,000
	001903		28 *	G5	2,750	85	6,200	16	1,149	20,000
	001904		35 **	G5	3,500	85	6,200	16	1,449	20,000
	001905		24 **	G5	1,900	85	6,200	16	549	20,000
	001906		39 **	G5	3,400	85	6,200	16	849	20,000
	002117		49 **	G5	4,850	85	6,200	16	1,449	20,000
	001907		54 **	G5	4,900	85	6,200	16	1,149	20,000
	002112		80 **	G5	6,400	85	6,000	16	1,449	20,000
	002018		18	G13	1,050	70	6,200	26	590	12,000
	002036		36	G13	2,500	70	6,200	26	1,200	12,000
	002059		58	G13	4,000	70	6,200	26	1,500	12,000
פלואורסנט לבן חם	001960	TL	18	G13	1,350	85	3,000	26	590	15,000
	001961		36	G13	3,350	85	3,000	26	1,200	15,000
	001962		58	G13	5,200	85	3,000	26	1,500	15,000
פלואורסנט לבן קר	002065	TL	18	G13	1,350	85	4,000	26	590	15,000
	002037		36	G13	3,350	85	4,000	26	1,200	15,000
	002068		58	G13	5,200	85	4,000	26	1,500	15,000

HE = High Efficiency *
HO = High Output **
הנתונים שלהלן הם לפי פרסומי היצרנים.
* נתוני שומן לנורות T5 - נמדדו ב-35°

מקורות אור

א. נורת ליבון-

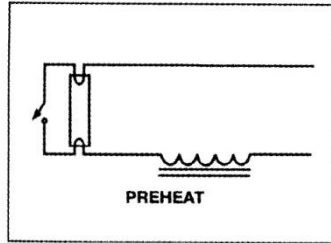
מבנה: תיל טונגסטן.
מילוי: גז אציל ארגון בתוספת 7% חנקן.
טמפ' עבודה: 2650°C - 3150°C .
אורך חיים: תלוי במתח ההזנה קטן ב- 50% אם המתח עולה ב-5%. 1000-2000 שעות.
זרם הדלקה: פי 15-20 מזרם העבודה.
נצילות אורית: נמוכה $\left[\frac{\text{lm}}{\text{w}}\right]$ 10-15.
צבע אור: קרוב לצבע אור השמש.
שטף אור: נמוכה
לדוגמא-לנורה 75W שטף אור של 950 lumen.
לנורה 100W שטף אור של 1380 lumen.
לנורה 150W שטף אור של 2100 lumen.

ב. נורת הלוגן-

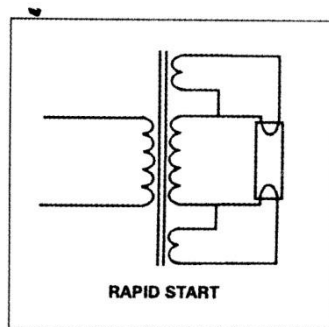
מבנה: תיל טונגסטן בתוך שפופרת קוורץ.
מילוי: גז אציל ארגון בתוספת 7% חנקן ובתוספת יוד.
עקרון הפעולה: מולקולות היוד מבצעות העברת אטומי טונגסטן הנפלטים מתיל הלהט ובחזרה אליו. הודות לכך אורך החיים והנצילות האורית של נורת הלוגן גדולים יותר בהשוואה לנורה הרגילה.
אורך חיים: 2000-4000 שעות.
נצילות אורית: נמוכה אך טובה יותר מנורת הליבון $\left[\frac{\text{lm}}{\text{w}}\right]$ 15-25.
צבע אור: קרוב לצבע אור השמש.
שטף אור: נמוכה
לדוגמא-לנורה 1000W שטף אור של 22000 lumen.
לנורה 2000W שטף אור של 44000 lumen.

ג. נורת פלורוסנטית-

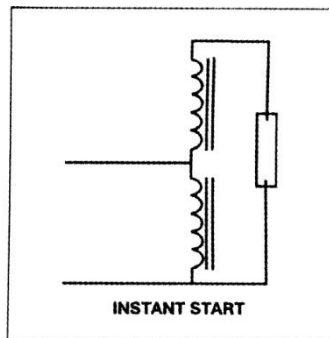
מבנה: שפרפרת זכוכית עם ציפוי פלורוסנטי
מילוי: גז אציל בתוספת כספית.
אלקטרודות: טונגסטן עם ציפוי חומר פולט אלקטרונים.
לחץ גז: כ- 10^{-5} ATM.
אורך חיים: טובולריות 7500-24000 שעות.
קומפקטיות 10000-20000 שעות.
שיטות הצתה:
1. הצתה עם חימום מוקדם Preheat Start- בשיטה זו לסטרטר תפקיד כפול: חימום מוקדם של אלקטרודות הנורה ואחר כך יצירת מתח יתר להצתת הנורה. פולס מתח היתר נוצר ע"י פתיחת מגע תרמי של הסטרטר אשר מפסיק את הזרם הזורם דרך המשנק. פתיחת המגע נמשכת כשנייה והזרם בזמן זה הוא כ-פי 2 מהזרם הרגיל של הנורה.
כל הצתה גורמת לבלאי אלקטרודות ואורך החיים של הנורה קשור למספר שעות עבודה לכל הדלקה, הצתות תכופות מקצרות את אורך החיים באופן משמעותי.



2. הצתה Rapid Start- בשיטה זו אין סטרטר והנורה נדלקת באופן טבעי, ע"י יוניזציה גז בקצוות עקב הפרשי פוטנציאלים בין האלקטרודות לגוף התאורה המוארק. אורך חייה של הנורה המופעלת בשיטה זו גדול בהרבה.

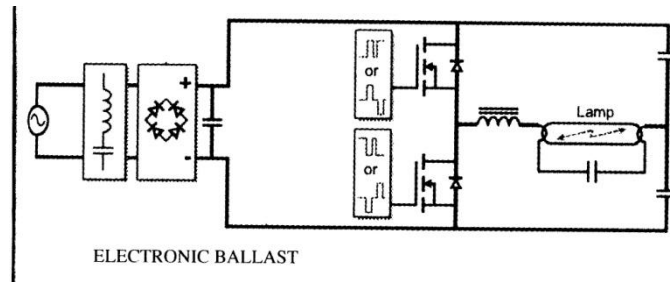


3. הצתה Instant Start- בשיטה זו המשנק מספק פולס מתח גבוה על מנת להצית את הנורה תוך זמן פחות מ- 0.05s, ללא חימום מוקדם של האלקטרודות. פליטת האלקטרונים בנורה חד פינית היא "פליטה קרה" אשר נגרמת ע"י שדה אלקטרומגנטי ולא ע"י טמפ' גבוהה של האלקטרודות.



לזרם בנורה ובמשנק אופי השראי, מקדם ההספק מאוד נמוך במוצע $\cos\phi=0.4-0.5$ ויש צורך לשיפור את מקדם ההספק. באופן כללי ניתן לבחור את הקבל לפי הכלל: $1\mu F$ לכל 10W של הספק הנורה.

4. הצתה אלקטרונית- משנק אלקטרוני מספק לנורה מתח בצורת פולסים מלבניים התדירות גבוהה 20-60KHz. שיטה זו מאפשרת חסכון של אנרגיה של כ-10-5%, והגדלת הנצילות האורית של הנורה ב-10% ויותר והארכת חיי הנורה באופן ניכר. שיטה זו מאפשרת שימוש בדימרים לוויסות עוצמת האור ומונעת את תופעת הסטרובוסקופית. כמו כן אין צורך בקבל לשיפור מקדם ההספק.



נורות HID

ד. נורת כספית בלחץ גבוה-

מבנה: שפרפרת קוורץ בתוך אגס זכוכית.

מילוי השפופרת: כספית וגז ארגון.

לחץ: $\frac{1}{10} \text{ ATMs}$.

עקרון פעולה: פריקת זרם דרך אדי כספית.

הצתה: באמצעות אלקטרודת עזר.

זמן הצתה: 5-7 דקות, הצתה מחודשת לאחר כבוי 3-6 דקות.

נצילות אורית: נמוכה יחסית $\left[\frac{\text{lm}}{\text{w}} \right]$ 25-55.

אורך חיים: 16000-24000 שעות.

ה. נורת כספית עם אלידים-Metal-Halide-

מבנה: תוספת תרכובת של יוד עם מתכת, כמו נתרן אל תוך שפופרת הקוורץ.

הצתה: אפשרות א- באמצעות אלקטרודת עזר. זמן הצתה 3-4 דקות זמן הצתה

מחודשת-10-20 דקות.

נצילות אורית: גבוהה $\left[\frac{\text{lm}}{\text{w}} \right]$ 55-115.

אורך חיים: 6000-20000 שעות.

ו. נורת נתרן לחץ גבוה-HPS-

מבנה: שפרפרת קראמית עם תערובת כספית ונתרן בתוך מעטה זכוכית.

לחץ: $\frac{1}{1.5} \text{ ATMs}$.

עקרון פעולה: פריקת זרם דרך אדי נתרן.

הצתה: בעזרת פולסי מתח גבוה.

זמן הצתה: 3-4 דקות הצתה מחודשת 1 דקה.

נצילות אורית: גבוהה $\left[\frac{\text{lm}}{\text{w}} \right]$ 60-140.

אורך חיים: 16000-24000 שעות.

ז. נתרן לחץ נמוך-LPS-

מבנה: שפרפרת פריקה המכילה נתרן מוצק ותערובת גז ניאון וארגון.

לחץ: כ- 10^{-5} ATMs .

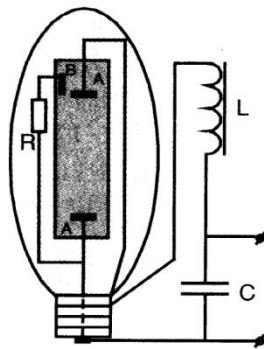
זמן הצתה: 7-10 דקות הצתה מחודשת 3-12 שניות.

נצילות אורית: גבוהה $\left[\frac{\text{lm}}{\text{w}} \right]$ 100-185.

אורך חיים: 14000-18000 שעות.

מעגלי הפעלה לנורות HID

1. שיטת הצתה ע"י אלקטרודות עזר- בתוך שפרפרת הפריקה מותקנת אלקטרודות עזר המחוברת למעגל החשמלי של הנורה באמצעות נגד הצתה. לאחר חיבור המתח טמפרטורת הנורה נמוכה והתנגדותה גבוהה ואין תנאים לפריקת המטען בגז בין האלקטרודות הראשיות. הפריקה הראשונית מתחילה בין האלקטרודה הראשית לבין אלקטרודות העזר הודות למרחק הקטן שבניהן. הקשת החשמלית מחממת את הנורה וגורמת לריבוי נושאי המטען התוך השפופרת. כתוצאה מכך התנגדות הגז בין 2 האלקטרודות הראשיות קטנה והפריקה עוברת למסלול הרגיל שבניהם.



A – אלקטרודות ראשיות. תפקידן להעביר זרם פריקה בתוך הנורה.

B – אלקטרודות עזר. תפקידה ליצור קשת פריקה ואשונית בזמן הצתת הנורה כאשר התנגדותה גבוהה.

R – נגד הצתה. תפקידו להגביל את זרם ההצתה ולהפסיק את מעגל ההצתה כאשר הנורה נדלקת וייתנגדותה ירדה.

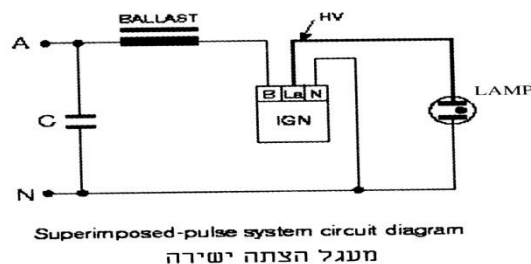
L – נטל השראי. תפקידו לייצב את זרם העבודה.

C – קבל לשיפור מקדם ההספק.

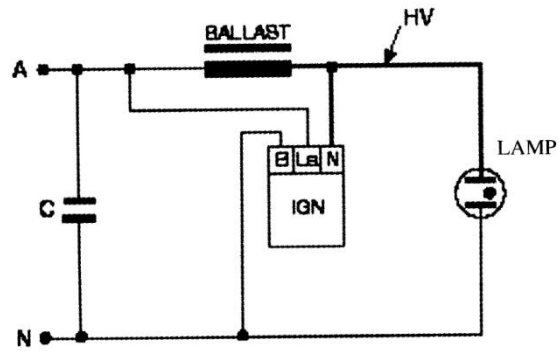
הגז הוא חנקן, תפקידו בידוד תרמי של שפופרת הקשת.

2. בנורות HID חדשות לחץ הגז יחסית גבוה והן דורשות מתח הצתה גדול ממתח העבודה. מעגל הפעלה טיפוסי כולל מצת ומשנק שתפקידם לספק לנורה פולס מתח גבוה ולשמור על יציבות זרם הנורה לאחר הפעלתה. ישנם 2 סוגי מצתים:

א. הצתה ישירה- המצת מייצר פולס מתח גבוה של כ- 2-5KV בתדירות 2-3 פולסים במשך חצי מחזור של זרם הרשת. לאחר הפעלתה הנורה מקבלת זרם עבודה מיוצב באמצעות המשנק. בשיטה זו נדרש משנק סטנדרטי רגיל המיועד למתח נמוך. בסוף חיי הנורה כאשר המצת מנסה להציתה ללא הצלחה לא יכול להיגרם נזק למשנק.



ב. בהצתה באמצעות משנק- הנורה מופעלת ע"י פולס מתח גבוה מתוך המשנק. תפקיד המצת במעגל למתג את הנורה, תחילה למתח הגבוה, ולאחר שהוצתה בטור עם המשנק המייצב את זרם הנורה. בשיטת הפעלה זו נדרש משנק מיוחד בעל בידוד למתח גבוה וחוזק דיאלקטרי המספיק בכדי לעמוד בפולסי המתח. ניסיונות חוזרים של המצת להצית את הנורה בסוף חיייה עלולים לגרום לנזק גם למשנק. לכן רצוי שהמצת יצויד בטיימר אשר יפסיק את ההצתות לאחר זמן מסוים.



Impulser System Circuit Diagram
מעגל הצתה באמצעות משנק

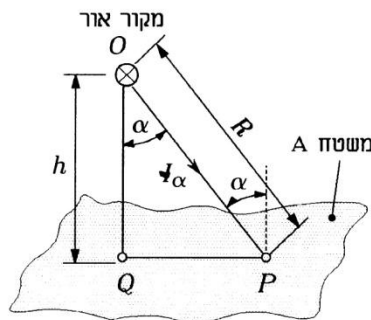
תכנון תאורה בשיטה נקודתית-תאורת חוץ

בשיטה זו ניתן לחשב רמת הארה בנקודות מסוימות של המשטח מואר, כאשר מספר מקורות האור הוא קטן. בחישובים מתייחסים רק לאור הנופל על המשטח באופן ישיר ולא מתחשבים בהחזרות אור מקירות, תקרה וכו'. ולכן שיטה זו מתאימה לחישובי תאורת חוץ.

עבור מקור אור נקודתי יחיד

משתמשים בנוסחה:

$$E_p = \frac{I_\alpha * \cos^3 \alpha}{h^2} [lux]$$



רמת ההארה בנקודה P על משטח A	E_p	[Lux]
עוצמת האור בכיוון α	I_α	[cd]
הגובה בין מקור האור למשטח	h	[m]
הזווית בין לקו האנכי העולה בנקודה P על משטח A	α	[°]

עבור מספר מקורות אור

משתמשים בנוסחה:

$$E_p = \sum_{i=1}^n E_{pi} [lux]$$

שיטות חישוב עוצמת האור בכיוון זווית α

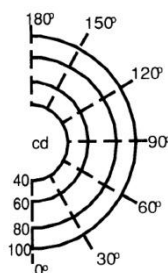
א. כאשר נתון מקור אור בעל עוצמת אור אחידה ניתן לחשב את עוצמת האור בכל כיוון

$$I_\alpha = \frac{\phi}{\omega} [cd]$$

כאשר: $\phi [lm]$ - שטף הנורה.

ω - הזווית המרחבית של פיזור האור (כאשר $\omega = 4\pi$ עבור כדור מלא

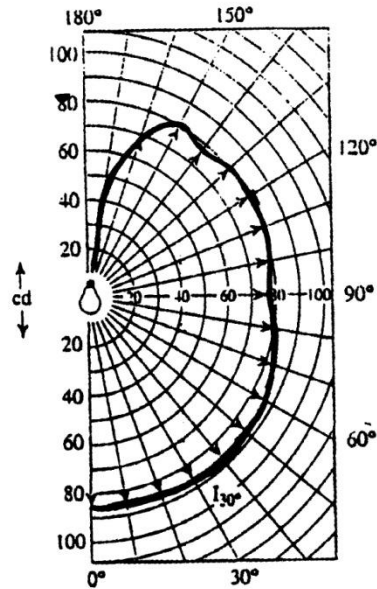
ו- $\omega = 2\pi$ עבור חצי כדור וכו').



במקרה זה עוצמת האור שווה בכל זווית והעקום הפולארי מתואר ע"י עיגול.

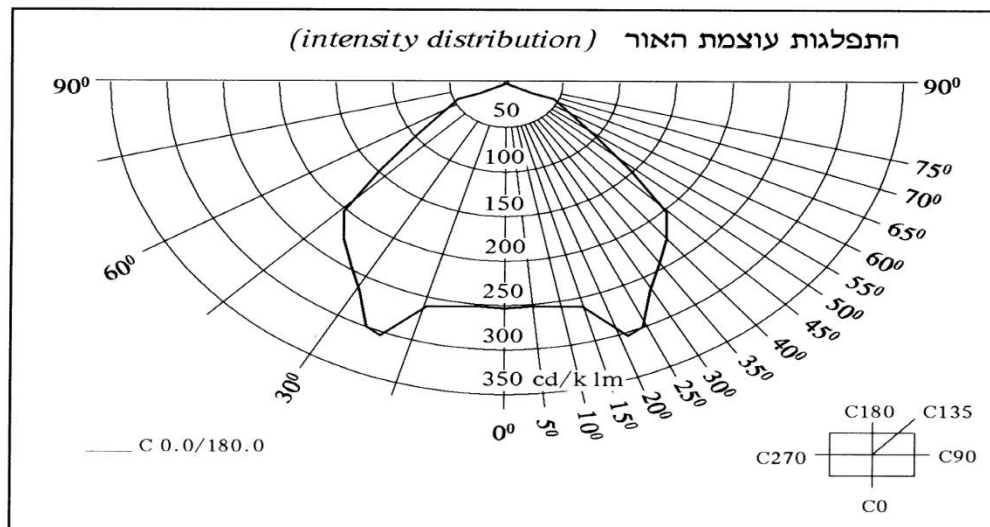
ב. באמצעות עקום פולארי הנתון ע"י יצרן גוף תאורה ניתן לקבוע את עוצמת האור בכל זווית. בדרך כלל עקומות פולאריות נתונות עבור שטף של 1000 lm אפשר לחשב את עוצמת האור עבור נורה מסוימת לפי הנוסחה:

$$I_\alpha = I_\alpha / 1000 lm * \frac{\phi}{1000}$$

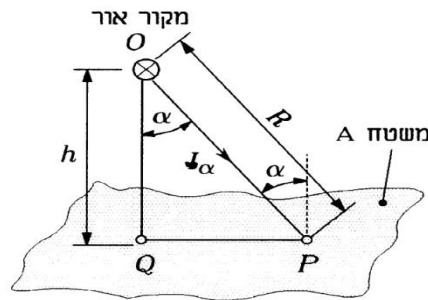


תרגיל דוגמא 1:

גוף תאורה שהעקום הפולארי שלו לכל 1000 lm מתואר באיור, מותקן בגובה 14 מ'. בגוף מותקנת נורת Metal Halide בעל שטף אורי של 20000 lm. חשב את עוצמת ההארה על הקרקע בנקודה הנמצאת 5.6 מ' מבסיס העמוד.



פתרון לתרגיל דוגמא 1:



$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{l}{h}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{5.6}{14}\right) = 21.8^\circ$$

לפי העקום הפולארי זווית האור ל-1000/lm עבור זווית 21.8° : $I\alpha = 300 \frac{\text{cd}}{1000\text{lm}}$ ולכן-

$$I\alpha = \frac{I\alpha}{1000\text{lm}} * \frac{\phi}{1000} = 300 * \frac{20000}{1000} = 6000\text{cd}$$

ולכן עבור נורה בעלת שטף של 20000 lm-

$$Ep = \frac{I\alpha * \cos^3 \alpha}{h^2} = \frac{6000 * \cos^3 21.8}{14^2} = 24.5 [\text{lux}]$$

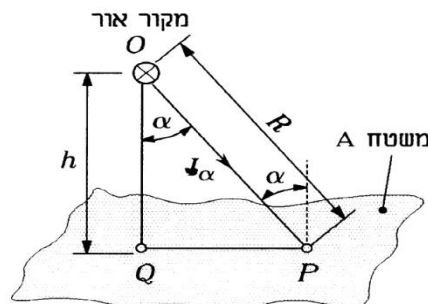
תרגיל דוגמא 2:

בחדר שגובהו 2.8 מ' תלוי מקור אור על כבל שאורכו 0.8 מ' מהתקרה. חשב את רמת ההארה בנקודה על הרצפה הנמצאת במרחק אופקי של 2.5 מ' מהקו האנכי של מקור האור לרצפה.

נתוני עוצמת האור:

זווית α	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
עוצמת האור- $I(\text{cd})$	3 6	40	45	51	62	86	86	83	78	63

פתרון לתרגיל דוגמא 2:



$$\alpha = \tan^{-1}\frac{l}{h'} = \tan^{-1}\frac{2.5}{(2.8 - 0.8)} = 51.34^\circ$$

לפי טבלת נתוני עוצמת האור, עבור זווית 51.34° : $I\alpha = 86 \text{ cd}$ ולכן-

$$Ep = \frac{I\alpha * \cos^3 \alpha}{h'^2} = \frac{86 * \cos^3 51.34}{2^2} = 5.24 [\text{lux}]$$

תכנון תאורה פנים בשיטת מקדמי ניצול מתקן התאורה

שיטה זו מיועדת לתכנון תאורת פנים, תוך התחשבות בהחזרות אור מקירות תקרה ורצפה.

מטרת התכנון: לחשב את מספר הנורות הנדרש לקבלת רמת הארה רצויה ולקבוע מרחקים בין הנורות.

אין תקנים רשמיים לגבי רמת ההארה הנדרשת ולכן ניתן להשתמש בתקנים של ארגונים לאומיים ובין לאומיים שונים כמו CIE- הנציבות הבין-לאומית לתאורה.

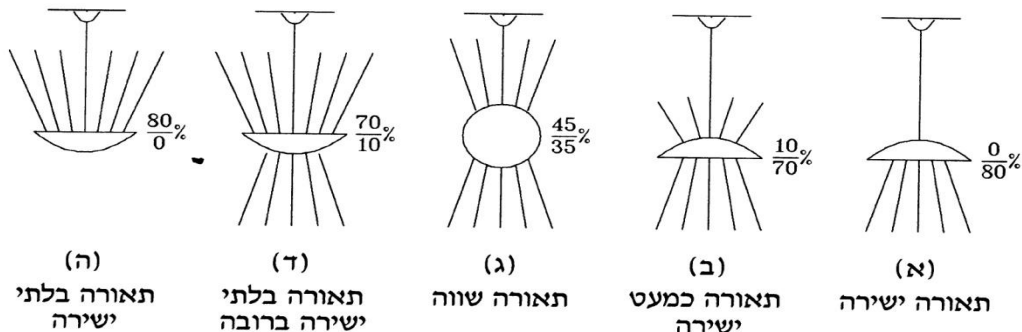
בטבלה מובאות המלצות מ- LESNA LIGHTING HANDBOOK לגבי רמת ההארה הממוצעות של תאורת פנים עבור מתקני תאורה שונים:

רמת ההארה Ix	יעוד	רמת ההארה Ix	יעוד
100	מחסנים	500	תעשייה
200	ללא פעילות	1000	הרכבות ברמה נמוכה
500	פעילים, מוצרים גדולים	2000	הרכבות ברמה בינונית
	פעילים, מוצרים קטנים		הרכבות ברמה גבוהה
50	חניונים	300	מסחר
100	כללי	800	פעילות נמוכה
500	רמפות, פניות	1000	פעילות בינונית
	כניסות		פעילות גבוהה
5000	תעשיית בגדים	500	לימודים
1000	גזירה, תפירה	1000	כיתות לימוד, ספריה
500	מוסכי רכב	250	בתי דפוס
	תעשיית טקסטיל		נגריות
			כנסים, תערוכות

דרישות התקן החדש של CIE (2001) לתאורת משרדים

דרישת גורם התאמת הצבע CRI (%)	דרישות רמת ההארה $E_{ave} (Ix)$	סוג החדר
80	750	סרטוט טכני
80	500	סרטוט ממוחשב
80	500	חדרי ועידה
80	300	מיון, צילום מסמכים
80	300	דלפק קבלה
80	200	ארכיונים

סוגי תאורה:



בחירת סוג נורה וסוג גוף תאורה לתאורת פנים:

לתאורת פנים מומלץ להשתמש בנורות פלורוסנט כאשר הן מותקנות עד גובה 4 מ' מעל המשטח המואר.

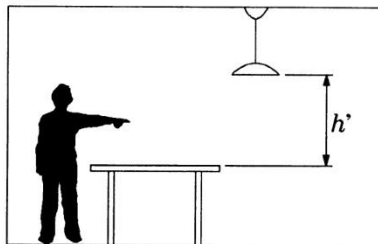
שימוש ברפלקטורים פראבוליים מונע עייפות עיניים החזרת אור ממסכי מחשב ונצילות אורית גבוהה יותר של גוף התאורה.

להתקנה גופי תאורה מעל גובה 4 מ' מומלץ להשתמש בנורות מסוג HID (למעט שימוש בנורות נל"ג עקב גורם התאמת הצבע הנמוך).

חישובי תאורת פנים:

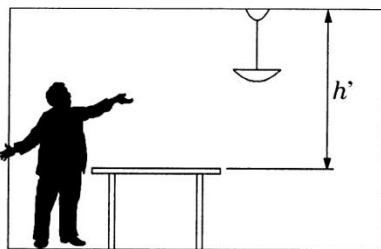
תאורת פנים

תאורה ישירה



$$R_c = \frac{2W+L}{6h'}$$

תאורה בלתי ישירה



$$R_c = \frac{2W+L}{4h'}$$

$$\phi = \frac{E \cdot A \cdot 100}{K \cdot CU}$$

$$n = \frac{E \cdot A \cdot 100}{K \cdot CU \cdot \phi}$$

מקדם האולם	R_c	
רוחב האולם	W	[m]
אורך האולם	L	[m]
גובה ממשטח העבודה (ראה איורים)	h'	[m]
שטח רצפת האולם ($A=W \cdot L$)	A	[m ²]
מקדם הפחתה	K	
שטף אור נדרש	ϕ	[lm]
רמת ההארה הנדרשת	E	[Lux]
נצילות מתקן התאורה	CU	[%]
נצילות אורית	η	$\left[\frac{lm}{W}\right]$
הספק מקור האור	P	(W)
כמות הנורות באולם	n	(י"ח)

כאשר:

k- מקדם הפחתה המתחשב בבילוי הנורות ובהשפעת האבק אשר בקירוב מסוים נמצא בתחום 0.3-0.85 בהתאם לסוג הגוף בעזרת טבלת מקדמי הפחתה של יצרני גופי התאורה.

CU- מקדם ניצול מתקן התאורה ב-% אשר מתחשב בהחזרות אור מהקירות, תקרה ורצפה. למציאת מקדם ניצול מתקן התאורה ניתן להשתמש בטבלאות המסופקות בקטלוגים ע"י יצרני גופי התאורה.

קורס- מתקני חשמל והספק-חשמלאי מוסמך

טבלת מקדמי הפחתה k

מקדמי הפחתה K

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

מקדמי נצילות (CU%) עבור מתקני תאורה שונים:

מס'	סוג גוף תאורה (עוצמת האור של נורה 100%)	חלוקת עוצמת האור	המרחק המקסימלי s בין יחידות התאורה המרחק	קתק	75			50			30			
				קקיר	50	30	10	50	30	10	30	10		
				מקדם הנצילות CU%										
				RC										
1			s=1.3h' גורם ההפחתה 0.7	0.6	29	24	20	28	22	19	21	19		
				0.8	37	31	27	35	29	25	28	25		
				1.0	41	35	31	39	34	30	32	29		
				1.25	46	40	36	42	37	34	36	32		
				1.5	50	44	39	46	41	37	39	35		
				2.0	55	50	44	51	46	42	43	40		
				2.5	60	54	49	55	50	46	48	45		
				3.0	63	57	52	58	53	49	50	47		
				4.0	68	62	57	62	57	54	54	52		
				5.0	70	65	60	65	60	56	56	54		
2			s=1.3h' גורם ההפחתה 0.7	0.6	37	32	28	37	32	28	31	28		
				0.8	46	41	38	45	40	37	40	37		
				1.0	50	46	43	49	46	43	45	43		
				1.25	54	50	47	53	50	47	48	47		
				1.5	58	54	50	56	52	50	52	50		
				2.0	62	59	56	61	58	56	57	56		
				2.5	67	64	60	65	63	60	62	60		
				3.0	69	66	63	67	64	63	64	62		
				4.0	72	69	67	70	68	66	67	65		
				5.0	74	71	69	72	69	68	68	67		

קורס- מתקני חשמל והספק-חשמלאי מוסמך

מס'	סוג גוף תאורה (עוצמת האור של נורה 100%)	חלוקת עוצמת האור	המרחק המקסימלי s בין יחידות התאורה המרחק	קטק	75			50			30	
				קקיר	50	30	10	50	30	10	30	10
				R _C	מקדם הנצילות CU%							
3			s = 1.2h' גורם ההפחתה 0.7	0.6	29	25	22	26	23	20	20	19
				0.8	36	32	29	32	29	26	26	24
				1.0	40	36	33	35	32	30	30	28
				1.25	44	40	37	39	36	34	32	31
				1.5	47	43	39	41	38	36	34	32
				2.0	51	48	44	45	42	40	37	36
				2.5	55	51	48	48	45	43	40	39
				3.0	58	54	51	50	47	45	42	40
				4.0	61	58	55	52	50	49	44	43
				5.0	63	60	57	55	52	50	46	44
4			s = 1.2h' גורם ההפחתה 0.6	0.6	16	12	11	10	9	7	5	4
				0.8	20	16	14	13	11	10	6	6
				1.0	23	20	17	15	13	11	8	6
				1.25	27	23	20	18	15	14	9	8
				1.5	29	25	22	20	17	15	10	9
				2.0	33	29	26	22	19	18	11	10
				2.5	36	32	30	24	22	20	13	12
				3.0	39	35	32	26	23	22	14	13
				4.0	43	40	37	28	26	25	15	14
				5.0	45	42	39	30	28	26	17	15
5			s = 1.2h' גורם ההפחתה 0.55-0.80	0.6	37	31	127	36	31	27	31	27
				0.8	45	41	38	45	40	37	40	37
				1.0	49	45	42	49	45	42	45	42
				1.25	53	49	46	53	49	46	48	46
				1.5	56	53	49	55	52	49	51	49
				2.0	61	58	55	60	57	55	56	55
				2.5	66	63	60	64	62	60	62	60
				3.0	67	65	62	66	64	62	63	61
				4.0	71	68	66	69	67	65	66	64
				5.0	72	70	67	71	68	67	67	66

מס'	סוג גוף תאורה (עוצמת האור של נורה 100%)	חלוקת עוצמת האור	המרחק המקסימלי s בין יחידות התאורה המרחק	קטק	75			50			30	
				קקיר	50	30	10	50	30	10	30	10
				R _C	מקדם הנצילות CU%							
6			s = 1.2h' גורם ההפחתה 0.55-0.70	0.6	35	31	28	34	31	28	30	28
				0.8	43	39	37	42	39	37	39	37
				1.0	46	44	42	46	44	42	43	42
				1.25	50	47	45	49	47	45	46	45
				1.5	53	50	47	51	49	47	49	47
				2.0	56	54	51	56	54	51	53	51
				2.5	61	58	56	59	57	56	56	54
				3.0	62	60	57	61	58	57	58	56
				4.0	64	62	61	63	61	60	60	59
				5.0	65	63	61	64	62	61	61	60
7			s = 1.2h' גורם ההפחתה 0.65-0.85	0.5	24	19	16	22	18	15	16	14
				0.8	29	25	22	27	23	20	20	19
				1.0	33	28	26	30	26	24	24	21
				1.25	37	32	29	33	29	26	26	24
				1.5	40	36	31	36	32	29	29	26
				2.0	45	40	36	40	36	33	32	29
				2.5	48	43	39	43	39	36	34	33
				3.0	51	46	42	45	41	38	37	34
				4.0	55	50	47	49	45	42	40	38
				5.0	57	53	49	51	47	44	41	40
8			s = 1.2h' גורם ההפחתה 0.50-0.80	0.6	16	13	11	12	10	9	7	6
				0.8	20	16	15	15	13	11	8	7
				1.0	23	20	17	17	14	13	10	8
				1.25	26	23	20	20	17	15	11	10
				1.5	29	26	22	22	19	17	12	11
				2.0	32	29	26	24	21	19	13	12
				2.5	36	32	30	26	24	22	15	14
				3.0	38	35	32	28	25	24	16	15
				4.0	42	39	36	30	29	27	18	17
				5.0	44	41	39	33	30	29	19	18

תרגיל דוגמא 3:

תכנן תאורה כיתת לימוד שמידותיו 8X15m גובה התקרה h=3.2m גובה השולחנות 0.8m. השתמש בגופי תאורה פלורוסנט 2X36W עם רפלקטור. רמת ההארה הנדרשת 500 lux. התייחס לכך שמקדם ההחזרה של התקרה 75% ואילו של הקירות 10%, רמת אבק נמוכה.

פתרון לתרגיל דוגמא 3:

חישוב מקדם האולם-

$$Rc = \frac{2W + L}{6h'} = \frac{2 * 8 + 15}{6 * (3.2 - 0.8)} = 2.15$$

לפי הטבלה נוכל לראות כי עבור גופים לתאורה ישירה פלורוסנטי לרמת אבק נמוכה k=0.75. וכן עבור מקדם אולם Rc המחושב הערך הקרוב ביותר הוא 2 ובהצטלבות עם נתוני החזר מהתקרה 75% ומהקירות 10% נקבל נצילות של 56%

חישוב כמות הנורות-

בקטלוג יצרן הנורות לפי סוג הנורה הספקה ומקדם מסירת הצבע ניתן לקבל את שטף הנורה.

בתרגיל זה עבור נורה 36W בעל מקדם מסירת צבע של 85% ניתן לראות מהקטלוג כי: $\Phi=3350 \text{ lm}$. נחשב את מספר הנורות:

$$n = \frac{E * A * 100}{k * CU * \phi} = \frac{500 * 8 * 15 * 100}{0.75 * 56 * 3350} = 42.64 \text{ נורות}$$

גוף התאורה כולל 2 נורות ולכן כמות גופי התאורה הוא 21 יח'.

קביעת מיקום גופי התאורה-

כדי למנוע הפרשים ניכרים ברמת ההארה יש למקם את גופי התאורה בצורה סימטרית תוך כדי שמירת מרחקים שווים בין הגופים. מרחק בין גופי תאורה סמוכים לא יהיה גדול מגובה התקנת הגופים מעל המשטח המואר. מרחק בין גוף תאורה קיצוני לקיר יהיה ממחצית עד שליש מהמרחק בין הגופים.

למרות שחישבנו 21 יח' גופי תאורה כיוון שהחדר הוא מלבני נתייחס ל-20 גופים ונחלק את הגופים ל-4 שורות, 5 ג"ת בכל שורה, נחשב את המרחקים.

קביעת המרחק בין גופי התאורה (x)-

אורך של ג"ת 36w הוא 1.2 m ולכן האורך הכללי של 5 גופי תאורה הוא: $5 * 1.2 = 6m$

אורך הכולל של המרחקים בין הגופים הוא: $15 - 6 = 9m$.

ולכן לקביעת המרחק בין הגופים נחשב באמצעות הביטוי:

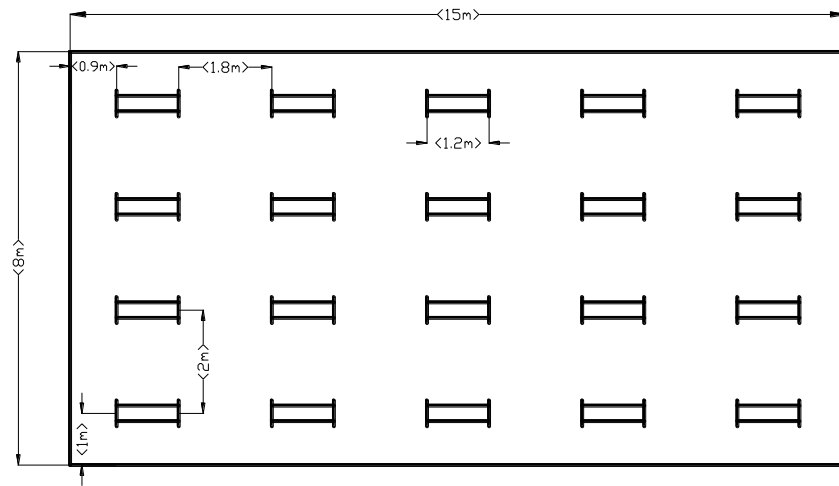
$$4x + \frac{2 * 2x}{2} = 9m \quad \text{ומכאן ש-} X=1.8m$$

קביעת המרחק בין השורות (y)-

את המרחק בין השורות נחשב באמצעות הביטוי:

$$3y + \frac{2y}{2} = 8m \quad \text{ומכאן ש-} Y=2m$$

קורס- מתקני חשמל והספק-חשמלאי מוסמך



תרגיל דוגמא 4:

רמת ההארה הדרושה במטבח היא 300 lux כמות האבק היא מעטה וגוף התאורה מאיר בצורה ישירה. מקדם הניצול התאורה הוא 75% אורכו של המטבח 5 מ' ורוחבו 4 מ'. חשב וקבע את סוג מקור האור העונה לדרישות אלו. העזר בנתוני הטבלאות הבאות: טבלה א' מקדם הפחתה K-

תאורה פלורוסנטית		תאורת הלוגן		תאורת ליבון		סוג תאורה	גופי תאורה
רבה	מועטה	רבה	מועטה	רבה	מועטה	כמות אבק	
0.55	0.75	0.6	0.8	0.6	0.85	תאורה ישירה	
0.37	0.7	0.4	0.7	0.4	0.75	תאורה אחידה	
0.3	0.6	0.35	0.65	0.35	0.7	תאורה עקיפה	

טבלה ב'-

הספק P(W)											נצילות אורית ηE
750	500	300	250	200	150	100	75	60	40	20	
	17	17		16	15	14	13	12	11	9	
22	19	17	16		16	14	13				נורת הלוגן
								89	78	69	נורת פלורוסנטית

פתרון לתרגיל דוגמא 4:

עבור נורת ליבון-

$$\Phi = \frac{E * A * 100}{k * CU} = \frac{300 * 5 * 4 * 100}{0.85 * 75} = 9411.76lm$$

$$\Phi = P * \eta E = 3 * (200 * 16) = 9600 lm$$

בשימוש בנורות ליבון יהיה צורך להשתמש ב-3 נורות של 200W כל אחת.

עבור נורת הלוגן-

$$\Phi = \frac{E * A * 100}{k * CU} = \frac{300 * 5 * 4 * 100}{0.8 * 75} = 10000lm$$

$$\Phi = P * \eta E = 2 * (300 * 17) = 10200 lm$$

בשימוש בנורות הלוגן יהיה צורך להשתמש ב-2 נורות של 300W כל אחת.

עבור נורה פלורוסנט-

$$\Phi = \frac{E * A * 100}{k * CU} = \frac{300 * 5 * 4 * 100}{0.75 * 75} = 10667lm$$

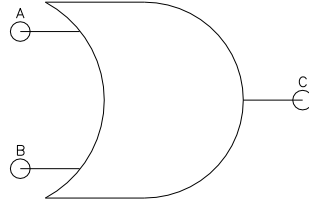
$$\Phi = P * \eta E = 2 * (60 * 86) = 10680lm$$

בשימוש בנורות פלורוסנט יהיה צורך להשתמש ב-2 נורות של 60W כל אחת.

פרק 11 שערים לוגיים ודיאגרמת סולם

שערים לוגיים:

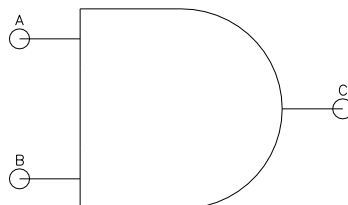
שער OR - (שער או) -



טבלת אמת-

A	B	C
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

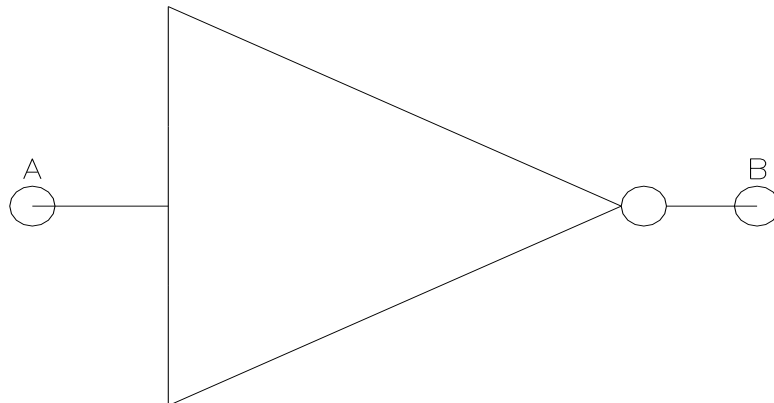
שער AND - (שער גם) -



טבלת אמת-

A	B	C
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

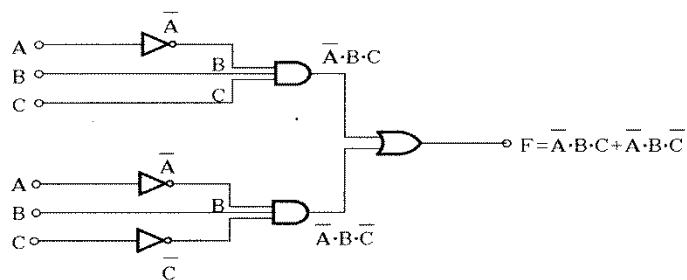
שער NOT- (מהפך)-



טבלת אמת-

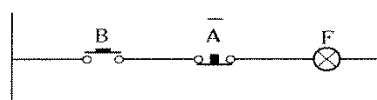
A	B
0	1
1	0

דוגמא למערכת שערים לוגיים-

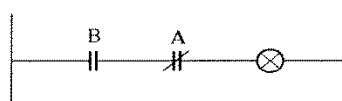


$$F = \bar{A}BC + \bar{A}B\bar{C} = \bar{A}B(C + \bar{C}) = \bar{A} \cdot B \cdot 1 = \bar{A} \cdot B$$

$$F = \bar{A} \cdot B$$



מימוש על ידי לחצנים



מימוש על ידי דיאגרמת סולם

קורס- מתקני חשמל והספק-חשמלאי מוסמך

דוגמא לדיאגרמת סולם (באמצעות בקר UNITRONICS)-



UNITRONICS M90/M91/Jazz OPLC™

