

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

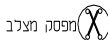
רב קווי



מפסק יחיד



מפסק כפול



הארקה

N●

P●==

בשרטוט סכמתי

חד קווי



שקע חד פאזי

שקע תלת פאזי

מפסק יחיד

מפסק כפול

מפסק מחקי

מפסק מצלב

בשרטוט סכמתי

לוחות חשמל

מפסק חד קוטבי 0-1

מפסק דו קוטבי 0-1

מפסק תלת קוטבי 0-1

מפסק חד קוטבי 1-0-2

מגנן חד פאזי

מגנן תלת פאזי רב קווי

שעון מרחוק

תא פוטו אלקטרי

ממסר צעד

ממסר חדר מדרגות

יתרת זרם תלת פאזי

מנוע חד פאזי רב קווי

מנוע תלת פאזי רב קווי

סוללת קבליים

מא"ז חד פאזי

מא"ז דו פאזי

מא"ז תלת פאזי

נתיך חד קוטבי

נתיך דו קוטבי

נתיך תלת קוטבי

ממסר פחת

מא"מ הספק

הגנת מנוע

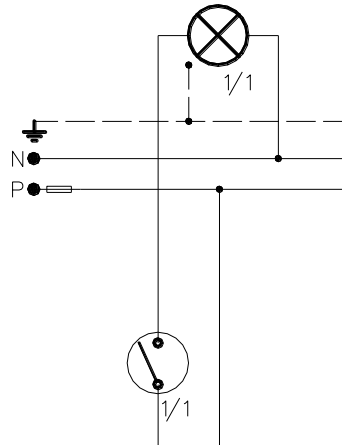
קיימים 2 סוגי שרטוטים סכמתיים חשמליים:

- שרטוט רב קווי
- שרטוט חד קווי

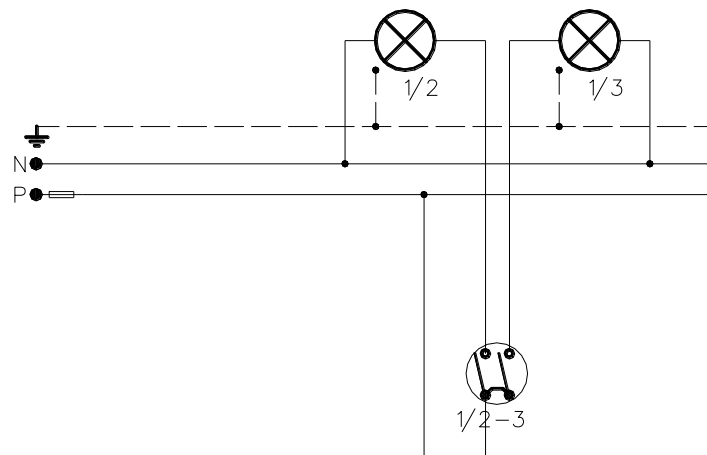
א. שרטוט רב קווי

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:

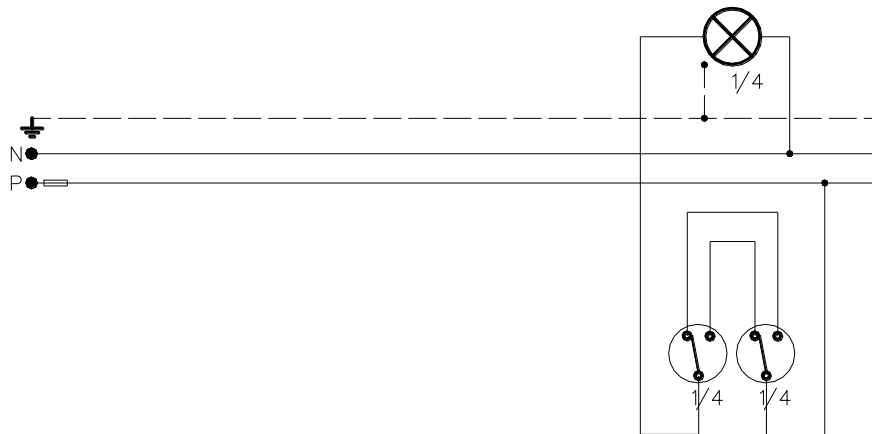


שרטוט סכמתי רב קווי של חיבור 2 מנורות עם הדלקה/כיבוי ממקום אחד:



קורס- מתקני חשמל והספק-חשמלאי מוסמך

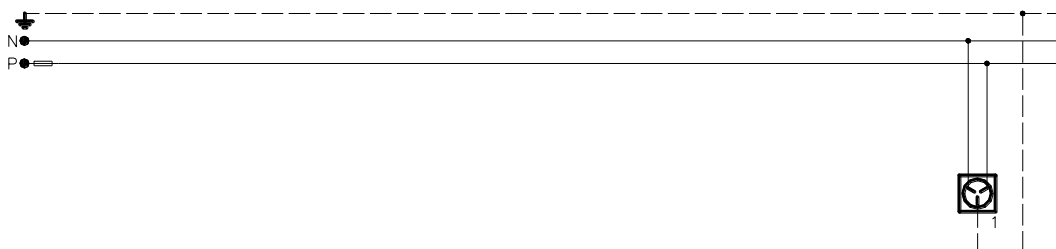
שרטוט סכמתי רב קווי של חיבור מנורה עם הדלקה/כיבוי מ-2 מקומות:



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

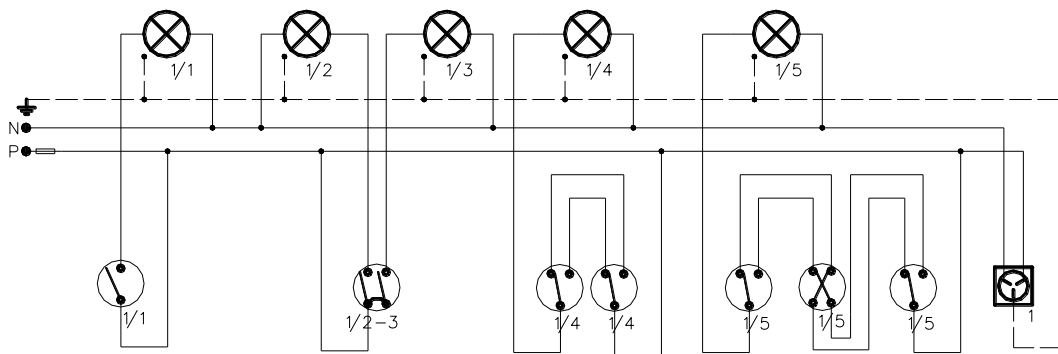


שרטוט סכמתי רב קווי של חיבור שקע:



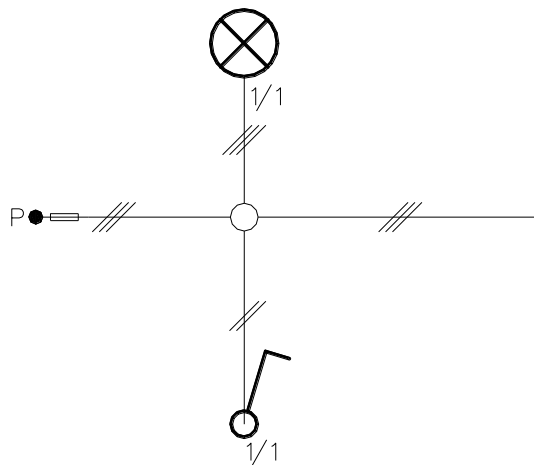
קורס- מתקני חשמל והספק-חשמלאי מוסמך

שרטוט סכמתי רב קווי של מעגל משולב לדוגמא:

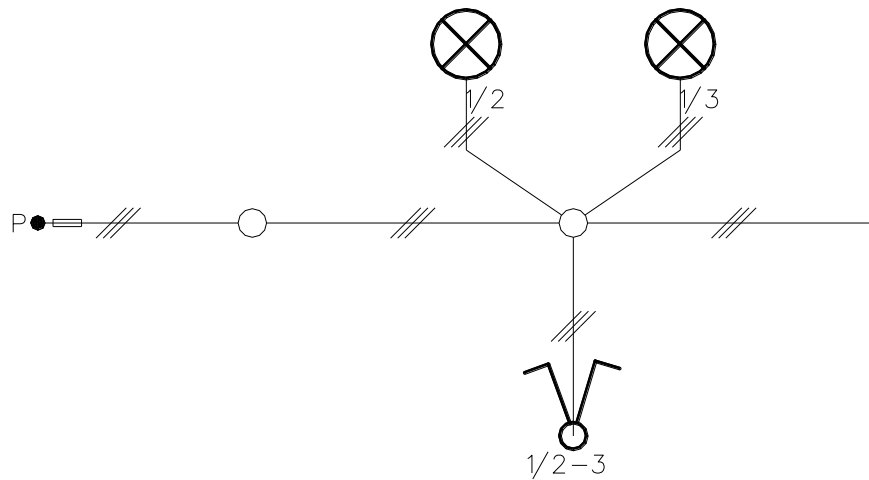


ב. שרטוט חד קווי

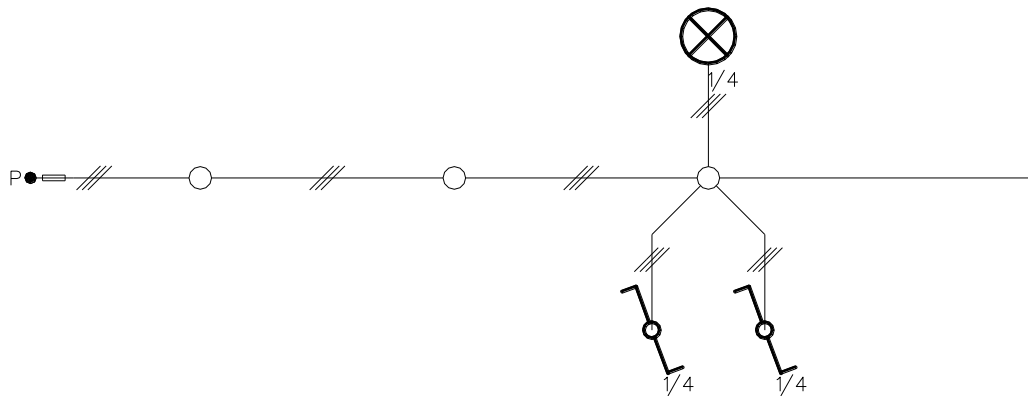
בשרטוט מסוג זה מציניים בצורה חד קווית את כל המוליכים ומסמנים את מספר המוליכים בכל קו.
שרטוט סכמתי חד קווי של חיבור מנורה עם הדלקה/כיבוי ממקום אחד:



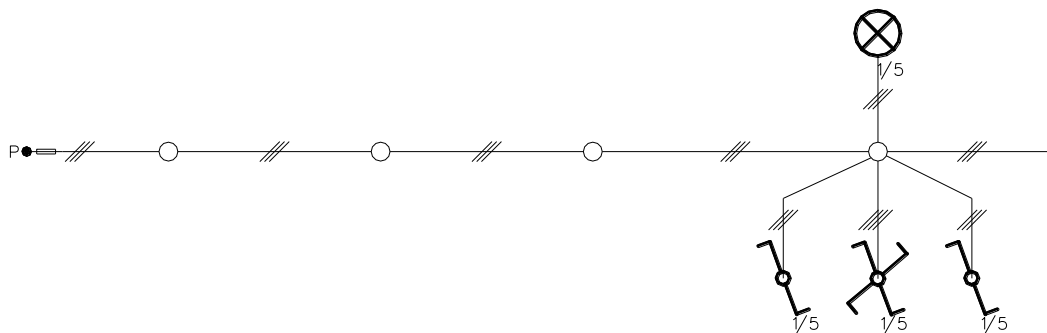
שרטוט סכמתי חד קווי של חיבור 2 מנורות עם הדלקה/כיבוי ממקום אחד:



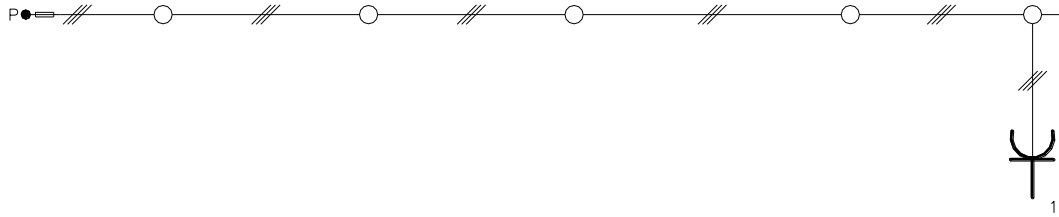
שרטוט סכמתי חד קווי של חיבור מנורה עם הדלקה/כיבוי מ-2 מקומות:



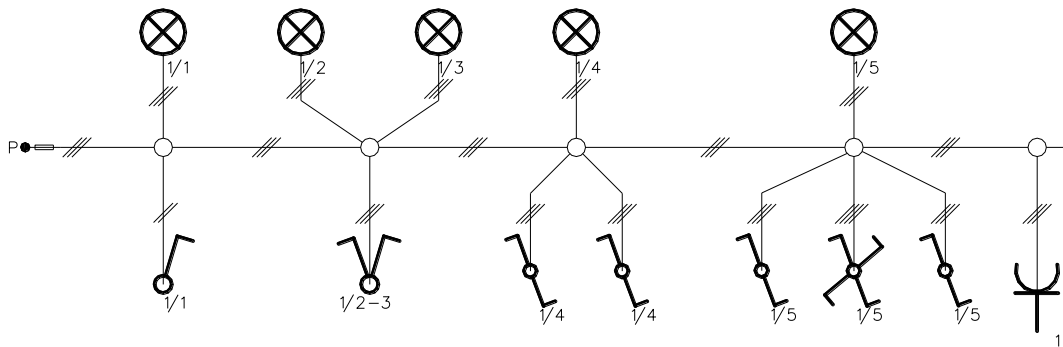
שרטוט סכמתי חד קווי של חיבור מנורה עם הדלקה/כיבוי מ-3 מקומות:



שרטוט סכמתי חד קווי של חיבור שקע:

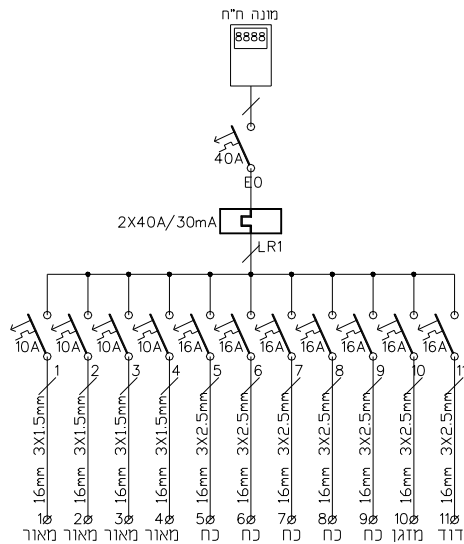


שרטוט סכמתי חד קווי של מעגל משולב לדוגמא:

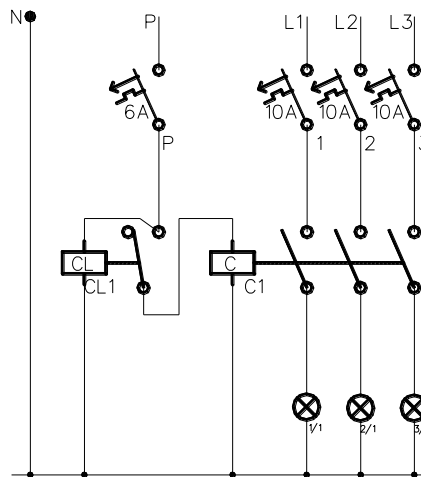


שרטוט לוח דירתי חד פאזי חד קווי לדוגמא:

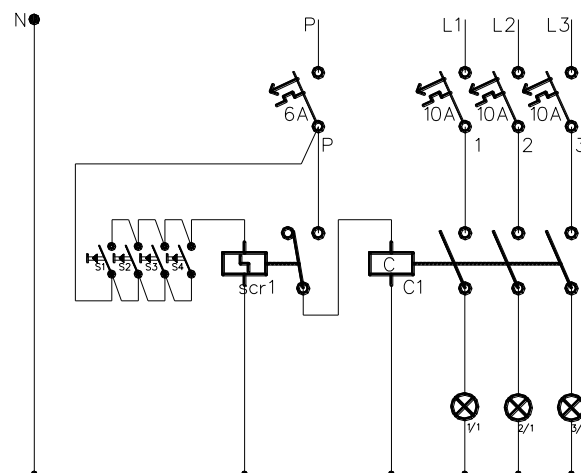
קורס- מתקני חשמל והספק-חשמלאי מוסמך



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

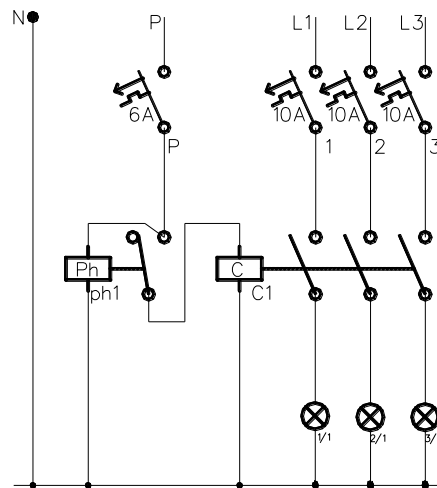


שרטוט הדלקת/כיבוי מס' מעגלי מאור דרך ממסר צעד:

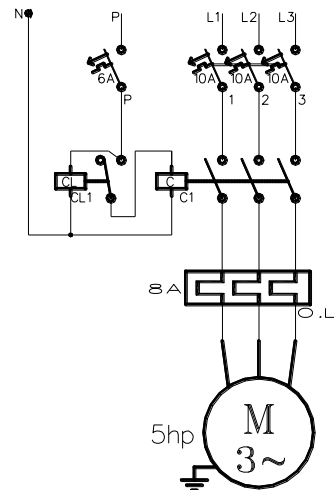


קורס- מתקני חשמל והספק-חשמלאי מוסמך

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:

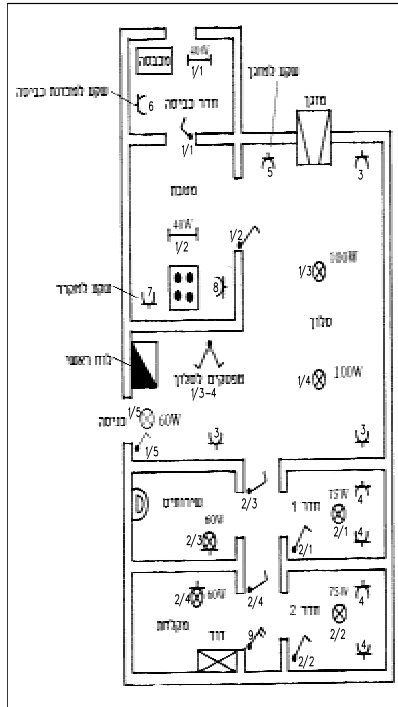
צריכה מקסימאלית עד 1750W זרם מחושב 7.6A צורת התקנה מוליכים בתוך צינור ולכן סוג ההגנה מא"ז בגודל 10A בעל אופיין B ומכאן גודל מוליכים $1.5mm^2$.
עבור מעגלים שקעים 3-4:

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 $2.5mm^2$.

קורס- מתקני חשמל והספק-חשמלאי מוסמך

ג. שלב שלישי-ציון מספרי המעגלים/הדלקות על גבי התוכנית הסכמטית.



ד. שלב רביעי-חישוב גודל מאבטח ראשי:

בתכנון לוח דירתי מקדם הביקוש הוא $k = 0.5 - 0.6$

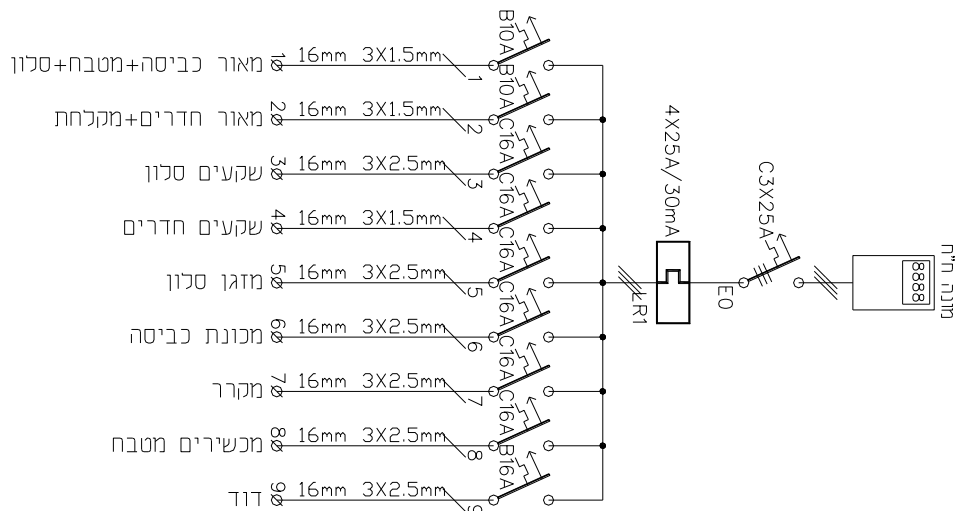
$$It = \frac{\sum P}{U_{ph}} * k = \frac{21500}{230} * 0.6 = 56A$$

כיוון שגודל חיבור חד פאזי מקסימאלי עלפי חוקי חברת חשמל הוא 40A לכן נקבע

גודל חיבור תלת פאזי של 3X25A. ומכאן שגודל המאבטח הראשי יהיה 3X25A

בהתאם לגודל החיבור. בעל אופיין C.

ה. שלב חמישי-שרטוט תוכנית סכמטית ללוח החשמל.



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-

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

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

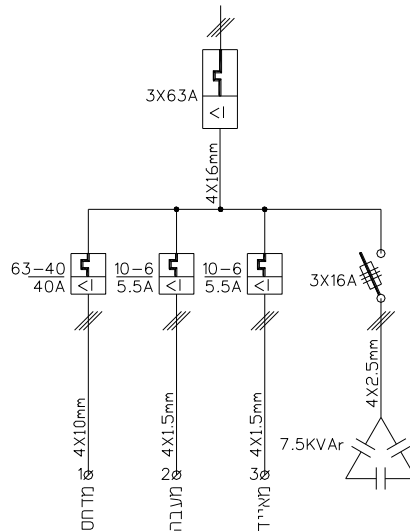
$$St = \sqrt{Pt^2 + Qt^2} = 10^3 * \sqrt{28.545^2 + 11.647^2} = 30.83KVA$$

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

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-

$$I1 = \frac{P1}{Un * \sqrt{3} * \cos\phi1 * \eta1} = \frac{5 * 736}{400 * \sqrt{3} * 0.8 * 0.8} = (8.299 \angle 36.87^\circ) A$$

נקבע מאבטח מסוג הגנת מנוע בגודל 10A.

2. כרסומת-

$$I2 = \frac{S2}{Un * \sqrt{3} * \eta2} = \frac{10 * 10^3}{400 * \sqrt{3} * 0.8} = (18.042 \angle 41.41^\circ) A$$

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:

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

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

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

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

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:

$$\cos\varphi_{\text{מיו}} = \frac{P}{U_n * \sqrt{3} * I_n} = \frac{32 * 10^3}{400 * \sqrt{3} * 60} = 0.77$$

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

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

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

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:

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

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

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

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-

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

נחשב את זרם ההתנעה של המנוע-

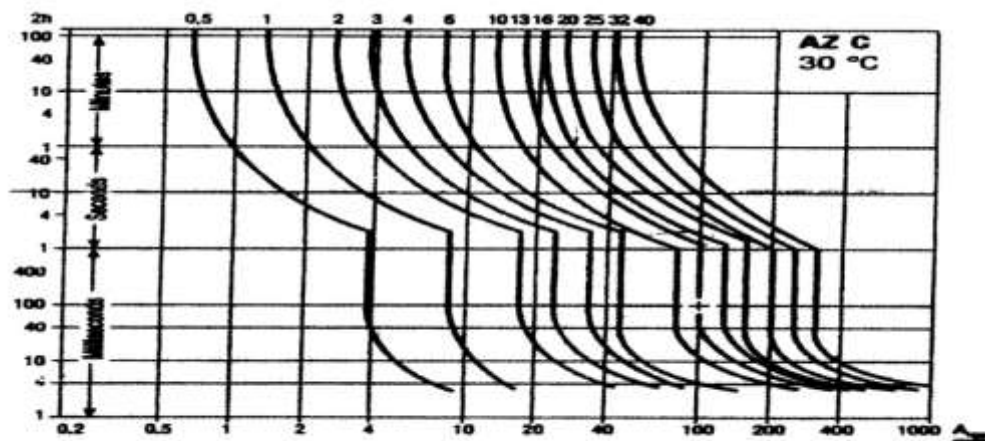
$$I_{st} = 5 * I_b = 5 * 6.249 = 31.245A$$

על פי התנאי לעמידת מאבטח בפני זרם התנעה-

$$I5'' \geq 1.3I_{st}$$

$$I5'' \geq 40.619A$$

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.

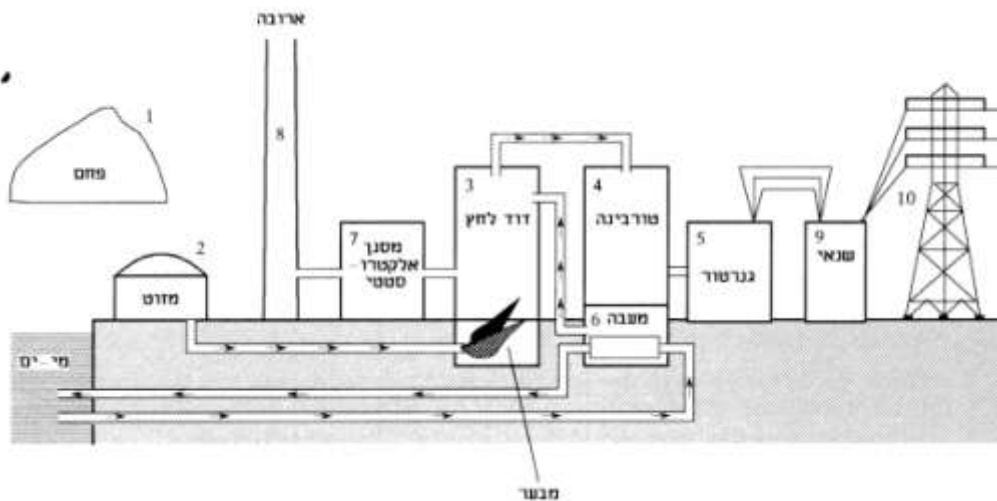
את גודל ה-0.1 נכון לערך הנומינאלי של זרם המנוע כ-6.5A.

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 נוזלי מלחים. החום הגבוה, המגיע ל-1,000 מעלות צלסיוס, הופך את המים לקיטור. בטמפרטורה גבוהה 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 מים-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], ונפלטת 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. $E = \frac{\phi}{A} [lux]$

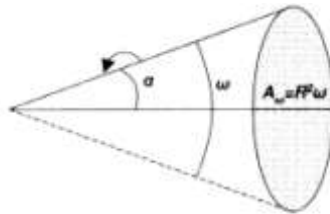
ד. אחידות ההארה-

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.



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

($\omega = 4\pi$ מלא: כדור מלא)

ו. עוצמת האור-קנדלה

שטף המוקרן ממקור אור בזווית מרחבית ω בכיוון נתון.

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

ז. בהיקות -קנדלה למ"ר

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

שממנו מוחזר או מוקרן האור.

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

ח. כח- מקדם החזרה.

טמפרטורת צבע -קלווין

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

כאשר:

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

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

לדוגמא עבור נורות פלורוסנט:

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

י. 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	ס' להמנה	סימן ביג'ל	הספק P(W)	בית נורה	שטח אור צבע Φ (lm)	מקדם מסירת אור צבע Ra	סוג צבע	קוטר D(mm)	אורך L(mm)	אורך חיים (h)
פלואורסנט לבן חם	INT	TL	14 *	G5	1,350	85	2,700	16	540	20,000
			28 *	G5	2,800	85	2,700	16	1,140	20,000
			35 *	G5	3,650	85	2,700	16	1,440	20,000
פלואורסנט לבן חם	WW	TL	14 *	G5	1,350	80	3,000	16	540	20,000
			21 *	G5	2,100	80	3,000	16	840	20,000
			28 *	G5	2,900	80	3,000	16	1,140	20,000
			35 *	G5	3,650	80	3,000	16	1,440	20,000
			24 **	G5	2,000	80	3,000	16	540	20,000
			39 **	G5	3,500	80	3,000	16	840	20,000
			49 **	G5	4,850	80	3,000	16	1,440	20,000
			54 **	G5	5,000	80	3,000	16	1,140	20,000
			80 **	G5	6,900	80	3,000	16	1,440	20,000
			18	G13	1,150	50	2,900	26	590	12,000
			36	G13	2,850	50	2,900	26	1,200	12,000
			58	G13	4,800	50	2,900	26	1,500	12,000
פלואורסנט לבן קר	CW	TL	6	G5	240	80	4,000	16	212	12,000
			8	G5	450	80	4,000	16	288	12,000
			13	G5	950	80	4,000	16	517	12,000
			14 *	G5	1,350	85	4,000	16	540	20,000
			21 *	G5	2,100	85	4,000	16	840	20,000
			28 *	G5	2,900	85	4,000	16	1,140	20,000
			35 *	G5	3,650	85	4,000	16	1,440	20,000
			24 **	G5	2,000	85	4,000	16	540	20,000
			39 **	G5	3,500	85	4,000	16	840	20,000
			49 **	G5	4,850	85	4,000	16	1,440	20,000
			54 **	G5	5,000	85	4,000	16	1,140	20,000
			80 **	G5	6,900	85	4,000	16	1,440	20,000
			18	G13	1,150	85	4,100	26	590	12,000
			36	G13	2,850	85	4,100	26	1,200	12,000
			58	G13	4,800	85	4,100	26	1,500	12,000
פלואורסנט אור יום	DL	TL	14 *	G5	1,300	85	6,200	16	540	20,000
			21 *	G5	2,000	85	6,200	16	840	20,000
			28 *	G5	2,750	85	6,200	16	1,140	20,000
			35 **	G5	3,500	85	6,200	16	1,440	20,000
			24 **	G5	1,900	85	6,200	16	540	20,000
			39 **	G5	3,400	85	6,200	16	840	20,000
			49 **	G5	4,850	85	6,200	16	1,440	20,000
			54 **	G5	4,900	85	6,200	16	1,140	20,000
			80 **	G5	6,400	85	6,000	16	1,440	20,000
			18	G13	1,050	70	6,200	26	590	12,000
			36	G13	2,500	70	6,200	26	1,200	12,000
			58	G13	4,000	70	6,200	26	1,500	12,000
פלואורסנט לבן חם	WW	TL	18	G13	1,350	85	3,000	26	590	15,000
			36	G13	3,350	85	3,000	26	1,200	15,000
			58	G13	5,200	85	3,000	26	1,500	15,000
פלואורסנט לבן קר	CW	TL	18	G13	1,350	85	4,000	26	590	15,000
			36	G13	3,350	85	4,000	26	1,200	15,000
			58	G13	5,200	85	4,000	26	1,500	15,000

HE = High Efficiency *

HO = High Output **

הנתונים שולחו הם לפי מידע היצרנים
* נתוני חלקי פחית 35 - נמוך ב-30%

מקורות אור

א. נורת ליבון-

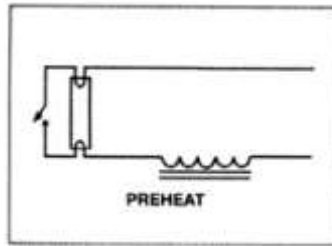
מבנה: תיל טונגסטן.
מילוי: גז אציל ארגון בתוספת 7% חנקן.
טמפ' עבודה: 2650°C - 3150°C .
אורך חיים: תלוי במתח ההזנה קטן ב- 50% אם המתח עולה ב-5%. 1000-2000 שעות.
זרם הדלקה: פי 15-20 מזרם העבודה.
נצילות אורית: נמוכה $\left[\frac{\text{lm}}{\text{w}}\right]$ 10-15.
צבע אור: קרוב לצבע אור השמש.
שטף אור: נמוכה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

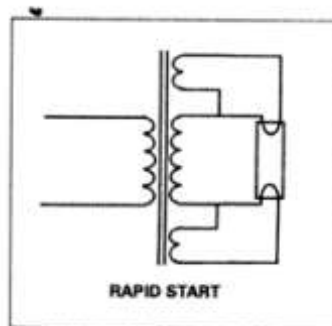
מבנה: תיל טונגסטן בתוך שפופרת קוורץ.
מילוי: גז אציל ארגון בתוספת 7% חנקן ובתוספת יוד.
עקרון הפעולה: מולקולות היוד מבצעות העברת אטומי טונגסטן הנפלטים מתיל הלהט ובחזרה אליו. הודות לכך אורך החיים והנצילות האורית של נורת הלוגן גדולים יותר בהשוואה לנורה הרגילה.
אורך חיים: 2000-4000 שעות.
נצילות אורית: נמוכה 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-

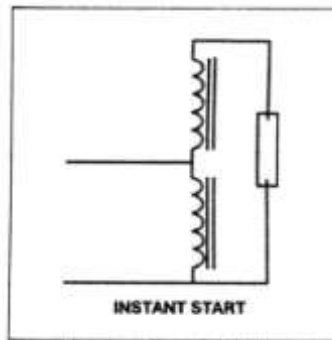
מבנה: שפרפרת זכוכית עם ציפוי פלורוסנטי
מילוי: גז אציל בתוספת כספית.
אלקטרודות: טונגסטן עם ציפוי חומר פולט אלקטרונים.
לחץ גז: כ- 10^{-5} ATMs.
אורך חיים: טובולריות 7500-24000 שעות.
קומפקטיות 10000-20000 שעות.
שיטות הצתה:
1. הצתה עם חימום מוקדם Preheat Start - בשיטה זו לסטרטר תפקיד כפול: חימום מוקדם של 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.

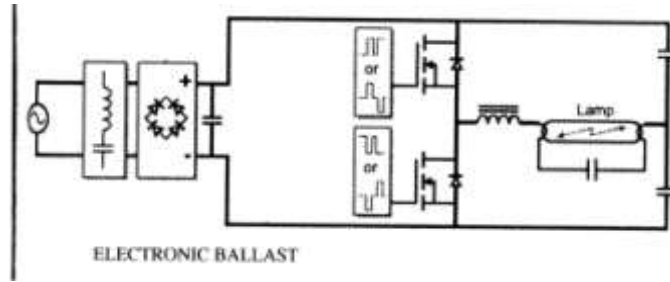


3. הצתה Instant Start- בשיטה זו המשנק מספק פולס מתח גבוה על מנת להצית את הנורה תוך זמן פחות מ-0.05s, ללא חימום מוקדם של האלקטרודות. פליטת האלקטרונים בנורה חד פינית היא "פליטה קרה" אשר נגרמת ע"י שדה אלקטרומגנטי ולא ע"י טמפ' גבוהה של האלקטרודות.



לזרם בנורה ובמשנק אופי השראי, מקדם ההספק מאוד נמוך בממוצע $\cos\phi=0.4-0.5$ 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-5-10%, 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 נתקן מוצק ותערובת גז ניאון וארגון.

לחץ: כ- 10^{-5} ATMs .

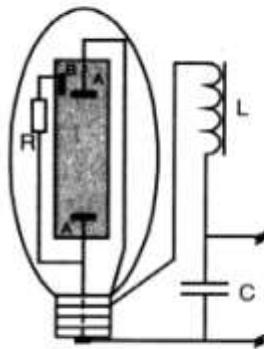
זמן הצתה: 7-10 דקות הצתה מוחדשת 3-12 שניות.

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 אלקטרודת 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 אלקטרודת העזר הודות למרחק הקטן שביניהן. 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 והתנגדותה ירדה.

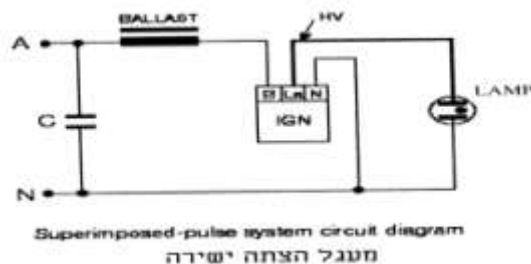
L – נסל השראי. תפקידו לייצב את זרם העבודה.

C – קבל לשיפור מקדם ההספק.

הגז הוא חנקן, תפקידו בידוד תרמי של שפופרת הקשת.

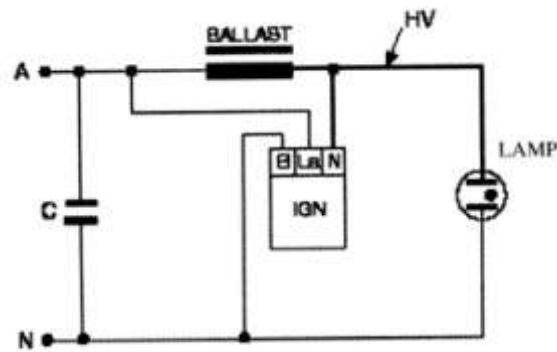
2. בנורות HID חדשות לחץ הגז יחסית גבוה והן דורשות מתח הצתה גדול ממתח העבודה. מעגל הפעלה טיפוסי כולל מצת ומשנק שתפקידם לספק לנורה פולס מתח גבוה ולשמור על יציבות זרם הנורה לאחר הפעלתה. ישנם 2 סוגי מצתים:

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

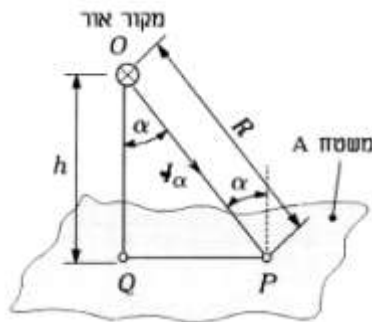
תכנון תאורה בשיטה נקודתית-תאורת חוץ

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

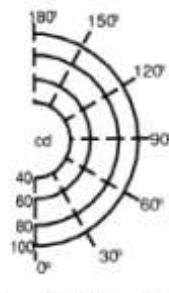
א. כאשר נתון מקור אור בעל עוצמת אור אחידה ניתן לחשב את עוצמת האור בכל כיוון

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

כאשר: $\phi [lm]$ - שטף הנורה.

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

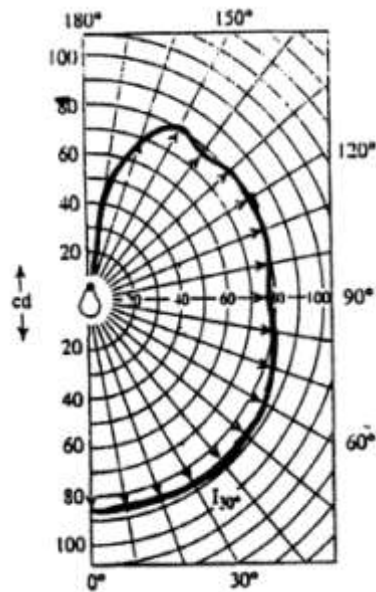
ו- $\omega = 2\pi$ עבור חצי כדור וכו').



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

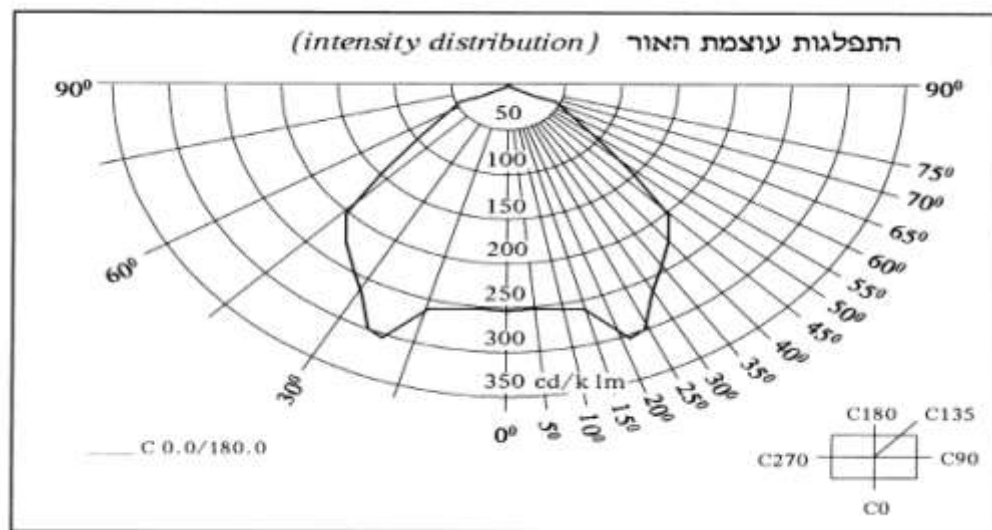
ב. באמצעות עקום פולארי הנתון ע"י יצרן גוף תאורה ניתן לקבוע את עוצמת האור בכל זווית. בדרך כלל עקומות פולאריות נתונות עבור שטף של 1000 lm אפשר לחשב את עוצמת האור עבור נורה מסוימת לפי הנוסחה:

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

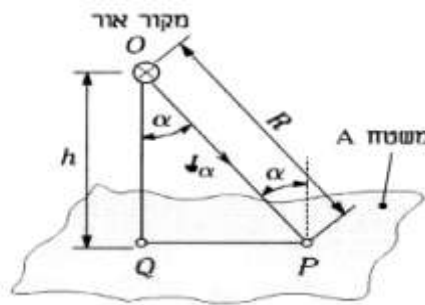


תרגיל דוגמא 1:

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

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

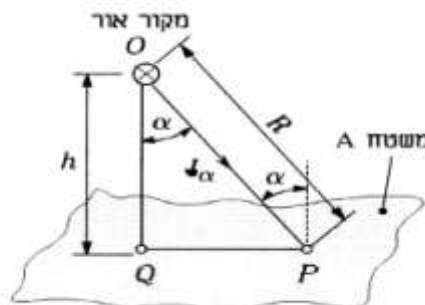
תרגיל דוגמא 2:

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-

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

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.

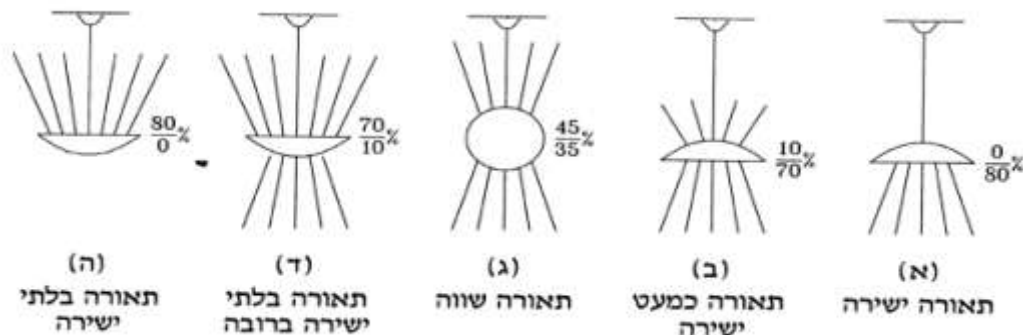
בטבלה מובאות המלצות מ- LESNA LIGHTING HANDBOOK לגבי רמת ההארה הממוצעות של תאורת פנים עבור מתקני תאורה שונים:

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	רמות, 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

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

סוגי תאורה:



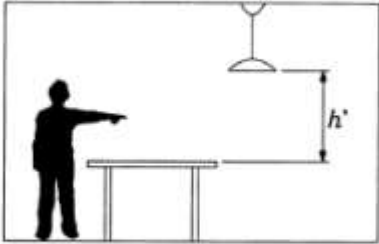
בחירת סוג נורה וסוג גוף תאורה לתאורת פנים:

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  $R_c = \frac{2W+L}{6h'}$	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]
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 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	מרוכה	מועט	מרוכה	מועט	מרוכה
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 בין יחידות התאורה המרחק	מקדם הנצילות CU%										
				קמ"	75			50			30			
					קמ"	50	30	10	50	30	10	30	10	
				R _C										
1			μ = 1.3h' גורם ההפחתה 0.7	0.6	29	24	20	28	22	19	21	19	19	
				0.8	37	31	27	35	29	25	28	25	25	
				1.0	41	35	31	39	34	30	32	29	29	
				1.25	46	40	36	42	37	34	36	32	32	
				1.5	50	44	39	46	41	37	39	35	35	
				2.0	55	50	44	51	46	42	43	40	40	
				2.5	60	54	49	55	50	46	48	45	45	
				3.0	63	57	52	58	53	49	50	47	47	
				4.0	68	62	57	62	57	54	54	52	52	
				5.0	70	65	60	65	60	56	56	54	54	
2			μ = 1.3h' גורם ההפחתה 0.7	0.6	37	32	28	37	32	28	31	28	28	
				0.8	46	41	38	45	40	37	40	37	37	
				1.0	50	46	43	49	46	43	45	43	43	
				1.25	54	50	47	53	50	47	48	47	47	
				1.5	58	54	50	56	52	50	52	50	50	
				2.0	62	59	56	61	58	56	57	56	56	
				2.5	67	64	60	65	63	60	62	60	60	
				3.0	69	66	63	67	64	63	64	62	62	
				4.0	72	69	67	70	68	66	67	65	65	
				5.0	74	71	69	72	69	68	68	67	67	

קורס- מתקני חשמל והספק-חשמלאי מוסמך

מס' תאורה	סוג גוף תאורה (עוצמת האור של נורה 100%)	חלוקת עוצמת האור	הסריקה המסוימת בין יחידות התאורה המריקה	קצב קריירה	75			50			30	
					50	30	10	50	30	10	30	10
					מקדם הנצילות C/U%							
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 0.8	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	8
				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	27	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' תאורה	סוג גוף תאורה (עוצמת האור של נורה 100%)	חלוקת עוצמת האור	הסריקה המסוימת בין יחידות התאורה המריקה	קצב קריירה	75			50			30	
					50	30	10	50	30	10	30	10
					מקדם הנצילות C/U%							
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:

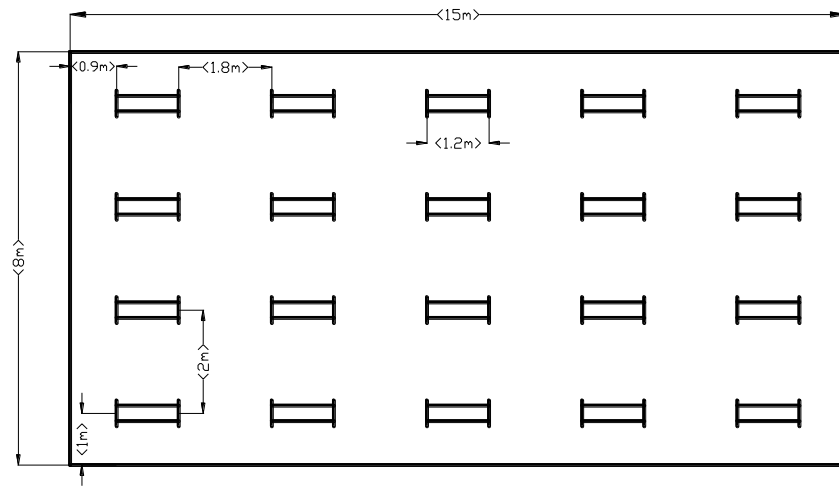
$$4x + \frac{2 * 2x}{2} = 9m \quad \text{ומכאן ש-} X=1.8m$$

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	
רבה	מועטה	רבה	מועטה	רבה	מועטה	כמות אבק	גופי תאורה
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'-

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

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

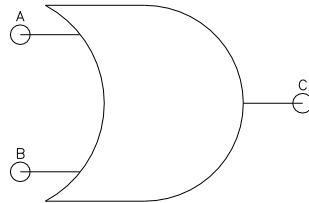
$$\Phi = P * \eta E = 2 * (60 * 86) = 10680lm$$

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

פרק 11 שערים לוגיים ודיאגרמת סולם

שערים לוגיים:

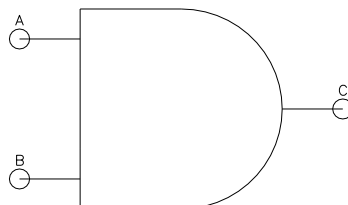
שער OR- (שער או)-



טבלת אמת-

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

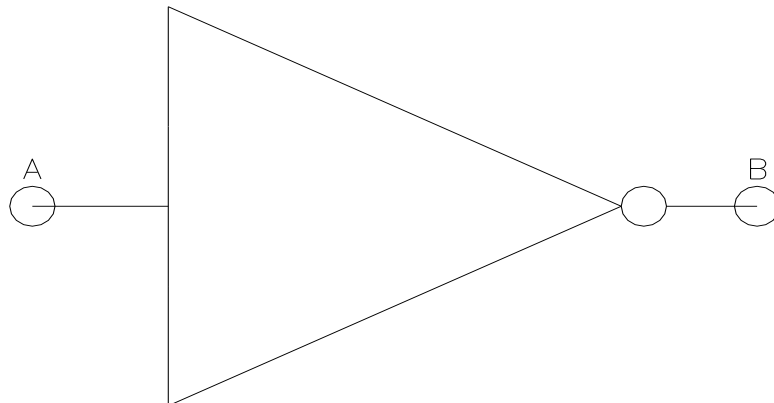
שער AND- (שער גם)-



טבלת אמת-

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

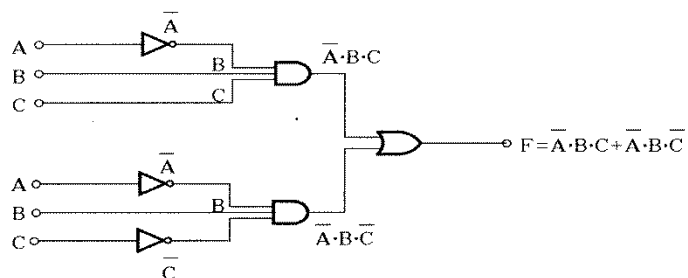
שער NOT- (מהפך)-



טבלת אמת-

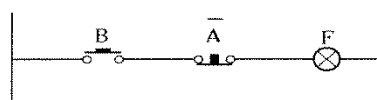
A	B
0	1
1	0

דוגמא למערכת שערים לוגיים-

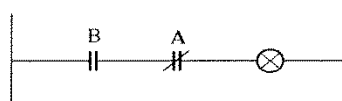


$$F = \bar{A}BC + A\bar{B}\bar{C} = \bar{A}B(C + \bar{C}) = \bar{A} \cdot B \cdot 1 = \bar{A} \cdot B$$

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



מימוש על ידי לחצנים



מימוש על ידי דיאגרמת סולם

דוגמא לדיאגרמת סולם (באמצעות בקר UNITRONICS)-



UNITRONICS M90/M91/Jazz OPLC™

