

## פרק 4-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 ההשראתי וגורם ההספק שלו קטן (כדוגמא 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  $P = r * I^2$ .

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.

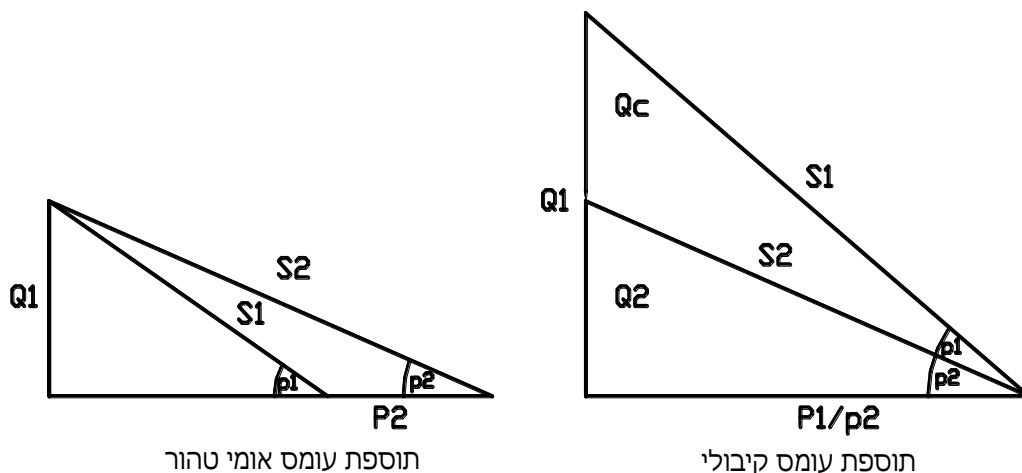
החוק מחייב להתקין במתקן אמצעי שיפור גורם ההספק עבור צרכנים השראתיים עד רמה של 0.92.

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.  
ניתן להגביל צריכה ריאקטיבית מהרשת ע"י שימוש בקבלים אשר מהווים מקור מקומי של אנרגיה ריאקטיבית ובכך לשפר את גורם ההספק.
- חיבור עומסים אומים טהורים הגורמים להגדלת ההספק הממשי ובכך משפרים את גורם ההספק.
- חיבור מנוע סינכרוני העובד בריקם במקביל לצרכנים ההשראתיים הגורם להגדלת ההיגב הקיבולי במתקן ובכך גורם לשיפור גורם ההספק במתקן, (לא כלכלי).



שיטות התקנת קבלים לשיפור גורם ההספק

א. שיטה יחידנית:

לכל צרן מחובר קבל לשיפור גורם ההספק.  
 יתרונות בשיטה זו- התקנה היחידנית משפרת את ההספק גם בקווים של המעגלים הסופיים ובכך מתקבלת תועלת מרבית.  
 חסרונות בשיטה זו- כמות הקבלים היא מרבית (עלות).  
 אין שליטה על מצב הקבלים (בלאי).  
 אין קיזוז טבעי של לגורם ההספק ע"י צרכנים אומים.  
 ממומלץ להשתמש בשיטה זו כאשר ההספק של צרן בודד מהווה חלק משמעות מההספק הכולל של המתקן.

ב. שיטה קבוצתית:

לכל קבוצת צרכנים (בלוח משנה) מותקן קבל לשיפור גורם ההספק יתרונות בשיטה זו- ההתקנה הקבוצתית משפרת את מקדם ההספק גם בקווים הפנימיים מלוח הראשי עד ללוח המשנה.  
 כמות הקבלים במתקן יחסית לשיטה הקודמת קטנה.  
 חסרונות בשיטה זו- כאשר משטר העומס משתנה באופן משמעותי עלול להיווצר או קיזוז חסר ובמצב זה השיפור הוא לא מספק, או קיזוז יתר שמשמעותו שההספק הראקטיבי המופק מהקבל גדול יותר מההספק הראקטיבי הנצרך ע"י המתקן, ומצב זה מלווה בעליית מתח על הדקי הצרכנים המסכן אותם.

ממומלץ להשתמש בשיטה זו כאשר משטר העבודה של הצרכנים קבוע וכן שהמתקן פרוש על שטח גדול (אורך קווי ההזנה ללוחות המשנה ארוכים).

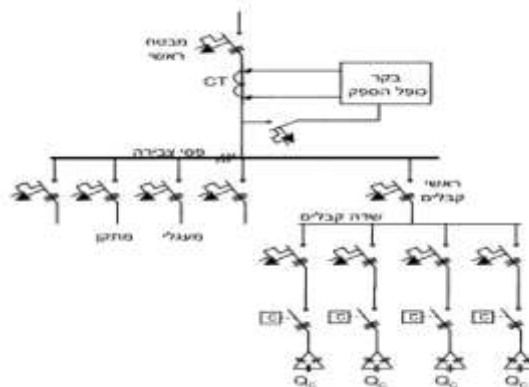
ג. שיטה מרכזית:

בלוח הראשי (או משני) מותקנות סוללות קבלים ובקר כופל הספק. הבקר מחשב באופן רציף את מקדם ההספק של המתקן באמצעות מדידת זרם, מתח והזווית בניהם. בהתאם לתוצאות המדידה, הבקר ממתג את סוללות הקבלים באמצעות מגענים.

יתרונות בשיטה זו- כמות הקבלים המתקן היא יחסית מינימאלית. אודות לבקר אין חשש למקם חסר או יתר.

חסרונות בשיטה זו- השיפור אינו כולל את הקווים הפנים במתקן. עלות גבוהה.

שיטה זו היא השימושית ביותר.



חישוב הספק וקיבול סוללת הקבלים:

$$Q_c = P(\tan \varphi_{\text{קיים}} - \tan \varphi_{\text{רצוי}})$$

בחיבור קבלים משולש-

$$C_{\Delta} = \frac{Q_c}{Un^2 * 6\pi f}$$

בחיבור קבלים בכוכב-

$$C_Y = \frac{Q_c}{Un^2 * 2\pi f}$$

כאשר:

$Q_c$  - ההספק של סוללות הכבלים (VAR).

$P$  - הספק המתקן (W).

$\varphi$  - זווית המופע לפני השיפור.

$\varphi_{\text{רצוי}}$  - זווית המופע הרצויה.

$C$  - קיבול הקבל (F).

$Un$  - מתח שלוב נקוב (V).

$Un_{ph}$  - מתח מופעי נקוב (V).

$f$  - תדר הרשת (Hz).

תכנון קו הזנה לסוללת הקבלים:

את שטח החתך של המוליכים וגודל המבטח בוחרים לפי זרם הקבל המחושב לפי-

$$I_c = \frac{Q_c}{\sqrt{3} * Un}$$

בעת בחירת מוליכים ואמצעי מיתוג והגנה יש להתחשב בזרם ההתנעה הגבוה אשר מופיע בזמן חיבור של קבל לא טעון למקור המתח. מסיבה זו נקבע בתקנות החשמל: "מוליכים במעגל זינה לקבל יוגנו בפני זרם קצר על ידי מאבטח בעל זרם הנקוב השווה לזרם הנקוב של הקבל כפול 1.43 לזרם הנקוב הגבוה יותר, הקרוב ביותר מתוך הסדרה התקינית של מאבטחים".

זאת אומרת יש לבחור מבטח מעגל לפי  $I_n \geq 1.43 * I_c$ .

לעומת זאת לפי לשון התקנה: "אין מניעה שחתך המוליכים במעגל הזינה של הקבל יתאים לזרם הנקוב של הקבל ולא לזרם של המבטח במעגל הזינה".  
זאת אומרת שמותר לבחור את חתך המוליכים לפי התנאי  $I_z \geq I_c$  בהתאם לשיטה תקנת מוליכי המעגל.

תרגיל דוגמא 1

חשב את ערך הקבל ב- $\mu F$  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

$$\tan \varphi_{\text{קיים}} = \tan(\cos^{-1} 0.45) = 1.9845$$

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

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

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

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

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

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

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

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

$$S_T = S_1 + S_2 = (P_1 + JQ_1) + (P_2 + JQ_2)$$

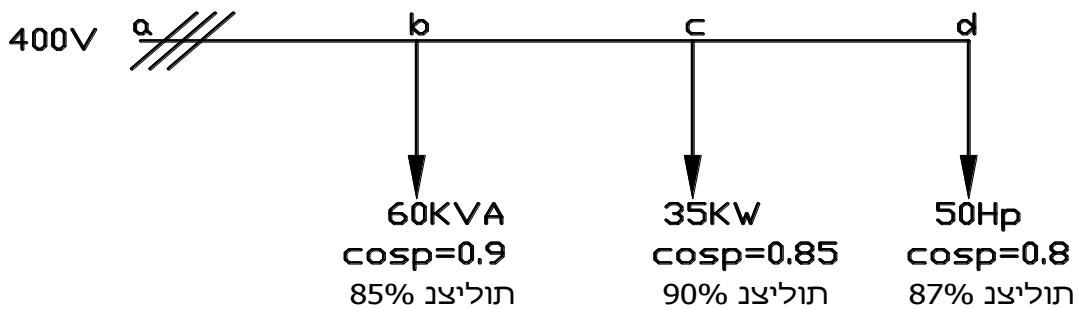
$$S_T = [(7 + J6.173) + (5 + J6.667)] * 10^3 = (12 + J12.84) \text{KVA}$$

$$\tan \varphi_{\text{קיים}} = \frac{Q_T}{P_T} = \frac{12.84 * 10^3}{12 * 10^3} = 1.07$$

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

$$Q_c = P(\tan \varphi_{\text{קיים}} - \tan \varphi_{\text{רצוי}}) = 12 * 10^3(1.07 - 0.3287) = 8.895 \text{KVAR}$$

נתונה רשת תלת מופעית המזינה בית מלאכה עם צרכנים השראתיים 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.

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

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

$$Pb = \frac{Sb' * \cos \rho b}{\eta b} = \frac{60 * 10^3 * 0.9}{0.85} = 63.529KW$$

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

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

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

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

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

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

$$\tan \varphi_{קיי} = \frac{QT}{PT} = \frac{86.594 * 10^3}{144.717 * 10^3} = 0.5984$$

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

$$\cos \varphi_{קיי} = \cos 30.8963 = 0.858$$

ב.

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

$$Qc = P(\tan \varphi_{קיי} - \tan \rho_{רצוי}) = 144.717 * 10^3(0.5984 - 0.426) = 24.949KVar$$

נבחר בסוללת הקבלים הקרובה ביותר 25KVar.

תרגיל דוגמא 4

לוח חשמל ראשי במפעל המוזן ממתח תלת מופעי 400V/50Hz מזין מספר קבוצות צרכנים כמפורט בטבלה:

שם הקבוצה	הספק (KW)	מקדם הספק
קבוצה A	100	0.75
קבוצה B	50	0.8
קבוצה C	40	1
קבוצה D	20	0.85

- א. חשב את מקדם ההספק.  
 ב. חשב את הספק סוללת הקבלים שיש להתקין על מנת לשפר את מקדם ההספק של המפעל ל- 0.92.  
 ג. חשב את גודל הקבלים שבסוללה כאשר הן מחוברות בחיבור משולש וכן שהן מחוברות בחיבור כוכב.  
 ד. בחר סוללת קבלים מסחרית וחשב את גודל המאבטח עבורן (בחיבור משולש).  
 ה. קבע את שטח החתך של המוליכים עבור סוללת הקבלים.

פתרון לתרגיל 4:

א.

$$Q_T = P_A * \tan \varphi_A + P_B * \tan \varphi_B + P_C * \tan \varphi_C + P_D * \tan \varphi_D =$$

$$Q_T = 10^3 * [100 * \tan(\cos^{-1} 0.75) + 50 * \tan(\cos^{-1} 0.8) + 40 * \tan(\cos^{-1} 1) + 20 * \tan(\cos^{-1} 0.85)] =$$

$$Q_T = 138.087 \text{ KVA}r$$

$$P_T = P_A + P_B + P_C + P_D = 10^3 * [100 + 50 + 40 + 20] = 210 \text{ KW}$$

$$\tan \varphi_T = \frac{Q_T}{P_T} = \frac{138.087}{210} = 0.658$$

$$\cos \varphi_T = \cos(\tan^{-1} 0.658) = 0.835$$

ב.

$$Q_c = P_T (\tan \varphi_{\text{קיי}} - \tan \varphi_{\text{רצוי}}) = 210 * 10^3 [0.658 - \tan(\cos^{-1} 0.92)] = 48.927 \text{ KVA}r$$

ג.

$$C_{\Delta} = \frac{Q_c}{U_n^2 * 6\pi f} = \frac{48.927 * 10^3}{400^2 * 6\pi * 50} = 324.457 \mu F$$

$$C_Y = \frac{Q_c}{U_n^2 * 2\pi f} = \frac{48.927 * 10^3}{400^2 * 2\pi * 50} = 973.372 \mu F$$

ד. נבחר בסוללת קבלים בגודל 50KVAr

$$I_c = \frac{Q_c}{\sqrt{3} * U_n} = \frac{48.927 * 10^3}{\sqrt{3} * 400} = 70.62 \text{ A}$$

נבחר במבטח בגודל לפי התנאי:  $I_n \geq 1.43 * I_c$

$$I_n \geq 1.43 * 70.62 = 100.987 \text{ A}$$

נבחר בגודל מבטח מסחרי בגודל 125A

ה. את שטח החתך של המוליכים נבחר לפי התנאי:  $I_z \geq I_c$  לפי שיטת התקנה "א" טבלה

$$I_z = 82 - \text{נבחר בשטח חתך } 25 \text{ mm}^2 \text{ שעבורו -}$$

## פרק 5-הגנות על מוליכים בפני זרמי יתר וזרמי קצר

### סוגי הגנות

קיימים 3 סוגים עיקריים של מאבטחים:

- נתיכים
- מפסקי זרם אוטומטים זעירים (מא"ז) בלתי מתכווננים.
- מפסקי זרם אוטומטים מתכווננים (מאמ"ת).

תפקיד המאבטח להגן על המוליך בפני העמסת זרם יתר וכן להגן על המוליך בפני 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:

$$I_2 = 1.6I_n \quad \text{עבור נתיכים או מא"ז בעל אופיין L}$$

$$I_2 = 1.45I_n \quad \text{עבור מא"זים בעלי אופיין B,C}$$

$$I_2 = 1.15I_n \quad \text{עבור מאמ"תים}$$

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

$$1.6In \leq 1.45Iz$$

$$\frac{1.6In}{1.45} \leq Iz$$

$$1.10In \leq Iz$$

עבור מא"זים בעלי אופיין B,C

$$1.45In \leq 1.3Iz$$

$$\frac{1.45In}{1.3} \leq Iz$$

$$1.12In \leq Iz$$

עבור מאמ"תים

$$1.15In \leq 1.1Iz$$

$$\frac{1.15In}{1.1} \leq Iz$$

$$1.05In \leq Iz$$

ניתן לסכם את התנאים בצורה הבאה:

**עבור נתיכים או מא"ז בעל אופיין L:**

**תנאי ראשון:**  $Ib \leq In \leq Iz$

**תנאי שני:**  $1.103In \leq Iz$

**עבור מא"זים בעל אופיין B,C:**

**תנאי ראשון:**  $Ib \leq In \leq Iz$

**תנאי שני:**  $1.115In \leq Iz$

**עבור מאמ"תים:**

**תנאי ראשון:**  $Ib \leq In \leq Iz$

**תנאי שני:**  $1.045In \leq Iz$

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  $I_k = 10In$ . ההגנה בפני זרמי קצר מבוססת על עקרון הגנה מגנטית.



קיימים דגמים שונים של מא"זים שהעיקרים שבניהם:

דגם A - מיועד לציוד אלקטרוני (בעל זמן תגובה איטי יחסי).  
דגם B – מיועד לציוד תאורה (3-5In).  
דגם C – מיועד למנועים (5-10In).  
דגם D – מיועד לציוד 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 (לדוגמה 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 השוק כתלת קוטבי או בעלי 4 קטבים עם כושר ניתוק בגדלים 25KA,35KA,50KA,100KA.

נתיכים

משמש לצורך הגנה התעשייה כאשר יש צורך בתגובה איטית לדוגמה 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

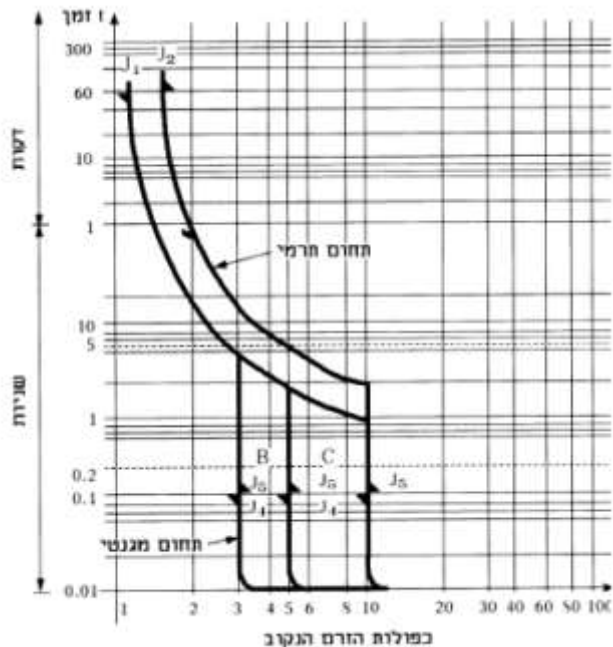
מכיוון שנתון ש-22A=Ib נבחר מא"ז מסוג B בעל זרם נקוב של In=25A ונבדוק עם הוא עומד בתנאים: תנאי ראשון-

$$Ib \leq In \leq Iz$$

$$1.12In \leq Iz$$

תנאי שני-

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
$J_1 (t > 1h)$	$1.13 \times J_N$	$1.13 \times J_N$
$J_2 (t < 1h)$	$1.45 \times J_N$	$1.45 \times J_N$
$J_4 (t \geq 0.1S)$	$3 \times J_N$	$5 \times J_N$
$J_5 (t < 0.1S)$	$5 \times J_N$	$10 \times J_N$

באזור 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" 11. 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" 12. 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.

## קורס - מתקני חשמל ורשת-חשמלאי ראשי

התחום המגנטי-הגנה בפני זרם קצר-הניתוק נעשה באופן מהיר מאוד וניתן לראות באופיין כי עבור מא"ז מסוג B בזרם קצר הגדול מ-3In ועבור מא"ז מסוג C בזרם קצר הגדול מ-5In 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-5In ומא"ז מסוג C ינתק זרם קצר הגדול מ-10In בפחות מ-0.1 שניות.

### תכנון מעגלים מהיבט ההגנה בפני העמסת יתר

ש.ל.ב. תכנון

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

מנועים	צרכנים רגילים	סוג המעגל
$I_b = \frac{\beta * P_n * (736)}{U_n * \eta * \cos \varphi}$	$I_b = \frac{P}{U_n * \cos \varphi}$	חד מופעי
$I_b = \frac{\beta * P_n * (736)}{\sqrt{3} * U_n * \eta * \cos \varphi}$	$I_b = \frac{P}{\sqrt{3} * U_n * \cos \varphi}$	תלת מופעי

כאשר:

$P$  - הספק (W).

$U_n$  - מתח נקוב של המעגל (V).

$\beta$  - מקדם העמסה של מנוע (כאשר המנוע עובד בעומס שונה מהספקו הנקוב).

736 - מקדם המרה (כאשר הספק המנוע נתון בכ"ס (HP)).

ב. בחירת סוג המאבטח בהתאם לתחום שימוש 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 השניה לתקנות של חוק החשמל (העמסה והגנה של מוליכים...)  
בתוך שיטת ההתקנה יש להגדיר סוג החומר של המוליך (נחושת או אלומיניום), ואת סוג הבידוד ( $70^\circ$  או  $90^\circ$ ). 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:

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

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

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

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 שסביבם אוויר-טמפרטורה של  $35^{\circ}\text{C}$ .
  2. לכבלים שסביבם קרקע- טמפרטורה של  $30^{\circ}\text{C}$  והתנגדות תרמית סגולית של הקרקע  $120^{\circ}\text{C} \cdot \frac{\text{cm}}{\text{W}}$ .
  3. התקנת עד 3 מוליכים מבודדים או 3 כבלים חד גידיים ללא רווח בניהם למעט מוליכי הארקה, בהתקנה חשופה לתנועת לאוויר.
  4. התקנת עד כבל רב גידי אחד בהתקנה חשופה לאוויר
- במידה ותנאי הסביבה אינם רגילים יש צורך בשימוש במקדמי תיקון לקביעת הזרם המרבי המתמיד במוליך Iz.

### מקדמי תיקון

1. כאשר טמפרטורת האוויר הסביבתית שונה מ- $35^{\circ}\text{C}$  יש להכפיל את הערכים של הזרם המתמיד המרבי Iz שבתוספת הראשונה במקדם המתאים מטבלה 17 שבתקנות החשמל.
2. כאשר טמפרטורת הקרקע הסביבתית שונה מ- $30^{\circ}\text{C}$  יש להכפיל את הערכים של הזרם המתמיד המרבי Iz 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 Iz שבתוספת הראשונה במקדם המתאים מטבלה 15 שבתקנות החשמל.
4. כאשר מותקנים כבלים רב גידיים אחדים ללא רווח בניהם בהתקנה חשופה לתנועת האוויר בתנוחה אופקית או אנכית כדוגמה בהתקנה על סולמות, יש להכפיל את הערכים של הזרם המתמיד המרבי Iz שבתוספת הראשונה במקדם המתאים מטבלה 16 שבתקנות החשמל.

### תרגיל דוגמא 1

נתונים 6 מפוחים תלת פאזיים זהים בעלי הנתונים הבאים:

$$Un=400V ; Pn=800W ; \cos\varphi=0.78 ; \eta=0.82$$

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

### פתרון לתרגיל דוגמא 1

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

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

ב. נקבע את סוג וגודל המאבטח.

## קורס - מתקני חשמל ורשת-חשמלאי ראשי

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

ג. נמצא בתוספת השניה- 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-

נבחן את המוליך הנבחר ב-2 התנאים:

$$I_b \leq I_n \leq I_z' \Rightarrow 1.8 < 2 < 11 \Rightarrow o.k.$$

$$1.045I_n \leq I_z' \Rightarrow 1.045 * 2 < 11 \Rightarrow o.k.$$

לסיכום נבחר כבל של  $4 \times 1.5 N2XY$  עבור כל מפוח המאובטח במאבטח מסוג "הגנת מנוע"

בעל הגנה תרמית מכוילת ל-2A.

### תרגיל דוגמא 2

מנוע תלת פאזי בעל הנתונים הבאים:

$$U_n=400V ; P_n=100HP ; \cos\phi=0.75 ; \eta=0.78$$

מוזן ע"י כבל אלומיניום, בידוד  $90^{\circ}C$  המותקן בצינור טמון באדמה. המנוע עמוס ב-80% מהספקו הנקוב, תכנן את המעגל.

### פתרון לתרגיל דוגמא 2

$$I_b = \frac{\beta * P_n * (736)}{\sqrt{3} * U_n * \eta * \cos\phi} = \frac{0.8 * 100 * 736}{\sqrt{3} * 400 * 0.78 * 0.75} = 145.275A$$

נבחר בסוג המאבטח- מכיוון שהמאבטח מגן על מנוע נבחר במאבטח מסוג מאמ"ת מסוג

הגנת מנוע (הניתן לכוונון) בעל זרם בסיסי  $I_u = 160A$  בעל  $I_r = 125 \div 160A$ , נכוון את המאבטח ל-150A.

על פי שיטת ההתקנה ט"ז שבתוספת השניה נבחר בטבלה 90.8 וניתן לראות שעבור זרם מתמיד של 164A יש להשתמש בכבל בעל שטח חתך של  $95mm^2$ . נבדוק אם בחירה זו עומדת ב-2 התנאים:

תנאי ראשון:

$$I_b \leq I_n \leq I_z \\ 145.275 \leq 150 \leq 164 \Rightarrow o.k.$$

תנאי שני עבור מאמ"ת:

$$1.045I_n \leq I_z \\ 1.045 * 150 \leq 164 \Rightarrow o.k.$$

תרגיל דוגמא 3

10 מפוחים תלת פאזיים בעלי הנתונים הבאים:

$$Un=400V ; Pn=800W ; \cos\varphi=0.78 ; \eta=0.82$$

מוזנים כל אחד בנפרד מלוח מפוחים ע"י כבל נחושת בעל בידוד  $90^{\circ}C$  מותקנים במקובץ בתעלה צרה סגורה בטמפ' סביבתית של  $45^{\circ}C$ , הלוח מוזן ע"י כבל אלומיניום בעל בידוד  $90^{\circ}C$  המותקן במישרין באדמה. תכנן את המעגל.

פתרון לתרגיל דוגמא 3

קביעת גודלת סוג מאבטח ושטח חתך הכבל לכל מפוח-

$$I_b = \frac{P_n}{\sqrt{3} * U_n * \eta * \cos \varphi} = \frac{800}{\sqrt{3} * 400 * 0.82 * 0.78} = 1.8A$$

נבחר מאבטח מסוג מאמ"ת הגנת מנוע בעל הנתונים הבאים:

$$I_u = 2.5A, I_r = 1.6 \div 2.5A, I_n = 1.8A$$

על פי שיטת ההתקנה ה' נבחר בטבלה 90.1 ונבחר בכבל שעל שטח חתך  $1.5mm^2$  שהוא שטח חתך מינימאלי מותר במתח נמוך, ונבחן את התאמתו ל-2 התנאים.

$$k_{16} = 0.48 \text{ כיוון ש-10 הכבלים מונחים במקובץ לכן-}$$

$$k_{17} = 0.9 \text{ וכיוון שהטמפרטורה האופפת היא } 45^{\circ}C \text{ לכן-}$$

לכן  $I_z$  לאחר התיקון הוא:

$$I'_z = I_z * k_{16} * k_{17} = 18 * 0.48 * 0.9 = 7.776A$$

נבדוק אם בחירה זו עומדת ב-2 התנאים:

תנאי ראשון:

$$I_b \leq I_n \leq I'_z$$

$$1.8 = 1.8 < 7.776 \Rightarrow o.k.$$

תנאי שני עבור מאמ"ת:

$$1.045I_n \leq I_z$$

$$1.045 * 1.8 < 7.776 \Rightarrow o.k.$$

לסיכום נבחר במאבטח מסוג הגנת מנוע מכויל ל-1.8A וכבל בעל שטח חתך של  $1.5mm^2$  עבור כל מפוח.

קביעת גודלת סוג מאבטח ושטח חתך כבל ההזנה-

$$I_{b(total)} = \sum I_b = 10 * 1.8 = 18A$$

נבחר מאבטח מסוג מא"ז בעל אופיין C:

$$I_u = 20A$$

## קורס- מתקני חשמל ורשת-חשמלאי ראשי

---

על פי שיטת ההתקנה יד' נבחר בטבלה 90.6 ונבחר בכבל שעל שטח חתך  $6\text{mm}^2$  שהוא שטח חתך מינימאלי מותר במתח נמוך, ונבחן את התאמתו ל-2 התנאים:

תנאי ראשון:

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$
$$18 < 20 < 43 \Rightarrow o.k.$$

תנאי שני עבור מא"ז B או C:

$$1.115I_n \leq I_z$$
$$1.115 * 20 < 43 \Rightarrow o.k.$$

לסיכום נבחר במאבטח מסוג מא"ז 20A בעל אופיין C וכבל בעל שטח חתך של  $6\text{mm}^2$ .

**בדיקת מבטח לעמידה בזרם התנעה**

מכשירי חשמל רבים צורכים בזמן הפעלתם זרם העולה פי כמה וכמה על הזרם הנקוב. בבחירת מבטח להגנת מעגלים הכוללים מכשירים בעלי זרמי מעבר גבוהים יש להתחשב בהשפעות זרמים אלו על המבטח. פרמטר חשוב נוסף- משך זמן זרם מעבר.

להלן צרכנים שונים עם זרמי מעבר אופייניים וההתייחסות בבחירת גודל המבטח: (כאשר הזרם הנקוב של הצרכן מסומן ב-  $I_n$ , והזרם הנקוב של המבטח מסומן  $I_u$ ).

סוג הצרכן	זרם מעבר ( $\times I_n$ )	משך זמן זרם המעבר (s)	התייחסות בבחירת גודל מבטח
נורות ליבון	15-20	0.001	אין
נורות ליבון ללא קבלים לשיפור $\cos \varphi$	1-1.6	0.002	אין
נורות ליבון עם קבלים לשיפור $\cos \varphi$	15-20	0.002	מומלץ לבחור מא"ז מסוג "C" לפי: $I_u \geq 1.3 * I_n$
קבלים לשיפור $\cos \varphi$	30-60	0.002	נדרש בתקנות לבחור מבטח לפי:
שנאי חלוקה	10-15	0.002-0.004	בחירת נתיך מתח גבוה לפי:
מנוע השראה	5-7	2-5	מומלץ לבדוק לפי התנאי:

התנאי לבחירת מבטח למעגל מנוע:  $I_5'' \geq 1.3 * I_{st}$  משמעותו בדיקת אי פעולת המבטח בזרם העולה ב-30% על זרם התנעת המנוע תוך זמן של 5 שניות.

ערכים של זרם התנעה מופיעים בקטלוגים של מנועים ככפולות הזרם הנקוב:

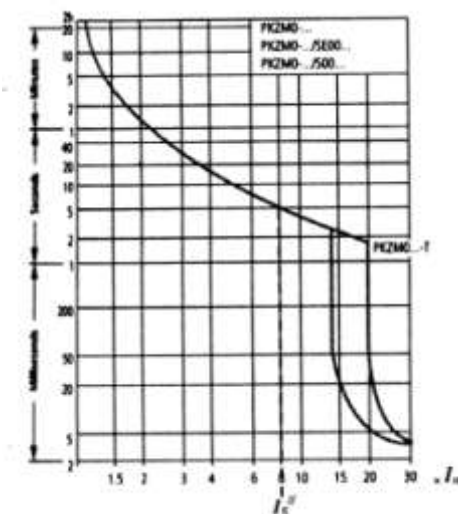
זרם  $I_5''$  ניתן לקבל מאופיינים של מבטחים.

לדוגמא: אם במעגל מנוע מותקן מא"ז, ניתן לראות באופיין המא"ז שהזרם המינימאלי העלול להפעיל את המא"ז תוך זמן של 5 שניות שהוא הזרם הנקוב כפול 3 (ראה אופיין מא"זים). מכאן המא"ז מתאים למנוע אם מתקיים התנאי:  $3 * I_n \geq 1.3 * I_{st}$ . מומלץ להשתמש להגנה על מעגלי מנועים במפסק אוטומטי הניתן לכוונון ("הגנת מנוע"), במקרה זה אין חשש לפעולה שגויה של המבטח בזרם התנעה מכיוון שזרם הפעולה המידי (ההגנה המגנטית) של המבטח נמצא בתחום:  $I_m = (14 - 20) * I_n$ . כאשר מאמ"ת הוא בעל הגנה מיידית מתכוונת יש לכייל אותה לזרם הגדול מזרם ההתנעה:

$$I_m > I_{st}$$



להלן דוגמא לאופיין של מבטח מסוג "הגנת מנוע":



#### הגנה על מנוע והגנה על מוליכי מעגל המנוע

על פי תקנות החשמל "מנוע שהספקו עולה על 0.5kW יוגן בפני עומס יתר ע"י מאבטח המיועד לו בלבד, המפסיק אוטומטית זרם העלול לגרום נזק למנוע בשל התחממות יתרה". בחירת מבטח מסוג מא"ז אינה מאפשרת תאום בין זרם המבטח לבין זרם המנוע בשל הסדרה הדיסקרטית של הזרמים הנקובים ובשל זרם התנעה המחייב בחירת מא"ז גדול יותר, לכן הפתרון הוא בחירת מבטח מפסק אוטומטי הניתן לכוונון. נהוג לכייל את ההגנה התרמית של המפסק לזרם השווה לזרם המעשי או גבוה מזה בכמה אחוזים. מצד שני, קיימת דרישה להגן גם על מוליכי המעגל בפני זרם העמסת יתר ובפני זרם קצר.

מכאן קיימות מס' אפשרויות לתכנון מעגל מנוע:

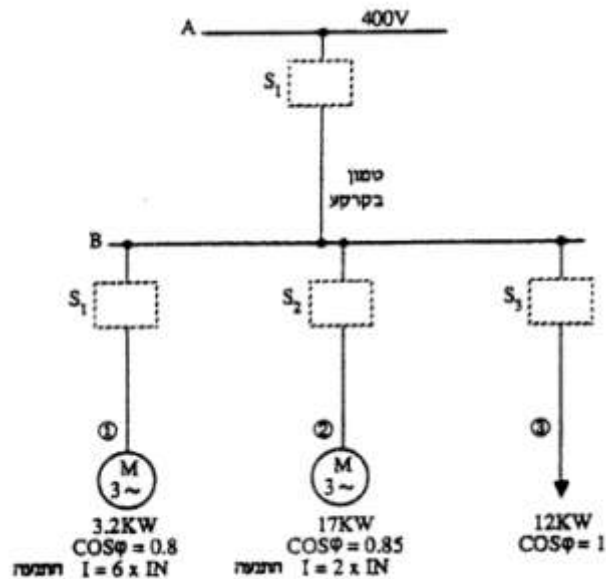
- א. מנוע ומוליכי המעגל מוגנים ע"י מפסק אוטומטי הניתן לכיול- ניתן לתכנן מעגל בצורה כזו כאשר המנוע מוזן באמצעות מעגל בלעדי ומעגל הפיקוד נמצא בלוח המזין. ההגנה על המנוע ועל מוליכי המעגל בפני זרם העמסת יתר ובפני זרם קצר מתבצעת ע"י המפסק. יש לכייל את ההגנה התרמית של המפסק לזרם המנוע, זרם זה יהווה את הזרם הנקוב של המבטח, ולפיו מתכננים את חתך מוליכי המעגל, בנוסף בודקים את התאמת המפסק להגנה על המעגל בפני זרם קצר.
- ב. מנוע מוגן ע"י ממסר יתרת זרם (O.L.) ומוליכי המעגל מוגנים ע"י מא"ז או נתיך- ניתן לתכנן מעגל בצורה כזו כאשר מעגל הפיקוד נמצא ליד המנוע. במקרה זה מכיילים את ממסר יתרת זרם לזרם המנוע והוא מגן על המנוע ומוליכי המעגל בפני זרם יתר ואת חתך מוליכי המעגל מחשבים לפי זרם הכיול של הממסר. מא"ז או נתיך מגנים על מוליכי המעגל בפני זרם קצר בלבד ויש לבדוק את התאמתם להגנה זו, ולאחר בודקים את עמידות המא"ז או הנתיך לזרם התנעת המנוע ואת תנאי הסלקטיביות בינם לבין הממסר.
- ג. מנוע מוגן ע"י מפסק אוטומטי הניתן לכוונון או ממסר יתרת זרם ומוליכי המעגל מוגנים ע"י מפסק אוטומטי או מא"ז-

## קורס - מתקני חשמל ורשת-חשמלאי ראשי

ניתן לתכנן מעגל בצורה כזו כאשר הוא מזין מספר מנועים. במקרה זה מפסק המותקן בראש המעגל מגן על מוליכי המעגל בפני זרם יתר ובפני זרם קצר על פי הכללים הרגילים. ואילו מפסקים מתכוונים מגנים על כל מנוע בנפרד בפני זרם יתר וזרם קצר, ויש לבדוק את תנאי הסלקטיביות בניהם וכן את עמידות המפסק הראשי בזרמי התנעת המנועים בהתאם למטר העבודה שלהם. יש לציין שעל פי התקנות: מנוע תלת פאזי שהספקו גדול מ-3HP ומנוע חד פאזי שהספקו גדול מ-1HP מחויב במתנע כאמצעי להקטנת זרם ההתנעה.

### תרגיל דוגמא

נתון המערכת הבאה:



- נתון: כי הכבלים מנחושת בעלי בידוד של  $90^{\circ}\text{C}$  וכן הכבלים עבור עומסים 1,2,3 מותקנים בתוך צינור.
- א. בחר את שטחי החתך של הכבלים בהתאם לדרישות הצרכן והזרמים המותרים.
- ב. בחר את סוג וגודל המבטחים S1-S4 הדרושים להבטחת הצרכנים והמוליכים.

### פתרון לתרגיל דוגמא

חישוב הזרם המתמיד-

$$I_{b1} = \frac{P_1}{\sqrt{3} * U_n * \cos \varphi_1} = \frac{3.2 * 10^3}{\sqrt{3} * 400 * 0.8} = 5.774A$$

$$I_{b2} = \frac{P_2}{\sqrt{3} * U_n * \cos \varphi_2} = \frac{17 * 10^3}{\sqrt{3} * 400 * 0.85} = 28.868A$$

$$I_{b3} = \frac{P_3}{\sqrt{3} * U_n * \cos \varphi_3} = \frac{12 * 10^3}{\sqrt{3} * 400 * 1} = 17.321A$$

$$\vec{I}_T = \vec{I}_{b1} + \vec{I}_{b2} + \vec{I}_{b3} =$$

$$\vec{I}_T = (5.775 \angle 36.87^{\circ}) + (28.868 \angle 31.79^{\circ}) + (17.321 \angle 0^{\circ}) = (50.089 \angle 21.89^{\circ})A$$

לפי שיטת התקנה "ז" עבור הזנות הצרכנים 1-3 המותקנים בתוך צינור, נבחר בטבלה -  
90.1 :

עבור צרכן 1- נבחר בהתאם לזרם המחושב, נבחר בהגנה מסוג הגנת מנוע בגודל 4-  
(6.3)A נכייל אותו ל-6A ונבדוק התאמתו לפי התנאי הראשון:

$$I_b \leq I_n \Rightarrow 5.8 < 6 \Rightarrow o.k.$$

נבחר בשטח חתך  $1.5\text{mm}^2$  שעל פי הטבלה  $I_z = 18A$  ונבדוק התאמתו לפי  
התנאי השני:

$$1.045I_n \leq I_z \Rightarrow 1.045 * 6 = 6.27 < 18A \Rightarrow o.k.$$

נבדוק התאמתו לזרם ההתנעה:

$$I_{st} = 6 * I_n = 6 * 5.8 = 34.8A$$

על פי הנתונים הטכניים של סוג הגנה זו ניתן לראות כי זרם הפעלה מידי של  
הגנה זו היא 88A ולכן בזרם ההתנעה של הצרכן ההגנה לא תנתק.

עבור צרכן 2- נבחר בהתאם לזרם המחושב, נבחר בהגנה מסוג הגנת מנוע בגודל  
(24-32)A נכייל אותו ל-30A ונבדוק התאמתו לפי התנאי הראשון:

$$I_b \leq I_n \Rightarrow 28.868 < 30 \Rightarrow o.k.$$

נבחר בשטח חתך  $4\text{mm}^2$  שעל פי הטבלה  $I_z = 33A$  ונבדוק התאמתו לפי  
התנאי השני:

$$1.045I_n \leq I_z \Rightarrow 1.045 * 30 = 31.35 < 33A \Rightarrow o.k.$$

נבדוק התאמתו לזרם ההתנעה:

$$I_{st} = 2 * I_n = 2 * 28.868 = 57.74A$$

על פי הנתונים הטכניים של סוג הגנה זו ניתן לראות כי זרם הפעלה מידי של  
הגנה זו היא 448A ולכן בזרם ההתנעה של הצרכן ההגנה לא תנתק.

עבור צרכן 3- נבחר בהתאם לזרם המחושב, נבחר בהגנה מסוג מאמ"ת בגודל 20A  
ונבדוק התאמתו לפי התנאי הראשון:

$$I_b \leq I_n \Rightarrow 17.321 < 20 \Rightarrow o.k.$$

נבחר בשטח חתך  $2.5\text{mm}^2$  שעל פי הטבלה  $I_z = 24A$  ונבדוק התאמתו לפי  
התנאי השני:

$$1.115I_n \leq I_z \Rightarrow 1.115 * 20 = 22.3 < 24A \Rightarrow o.k.$$

## קורס- מתקני חשמל ורשת-חשמלאי ראשי

עבור ההזנה הראשית- לפי שיטת התקנה "יד" עבור ההזנה הראשית הטמונה באדמה  
נבחר בטבלה 90.5:

נבחר הגנה בהתאם לזרם המחושב, נבחר בהגנה מסוג מא"ז  
בגודל 63A ונבדוק התאמתו לפי התנאי הראשון:

$$I_b \leq I_n \Rightarrow 50.089 < 63 \Rightarrow o.k.$$

נבחר בשטח חתך  $10\text{mm}^2$  שעל פי הטבלה  $I_z = 76A$  ונבדוק  
התאמתו לפי התנאי השני:

$$1.045I_n \leq I_z \Rightarrow 1.045 * 63 = 65.8 < 76A \Rightarrow o.k.$$

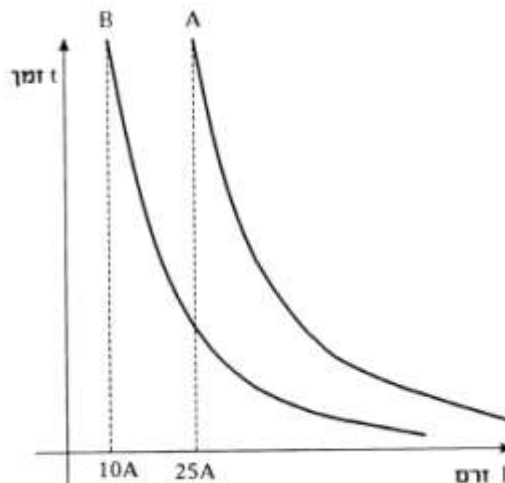
### סלקטיביות בהפעלת מאבטחים

#### סלקטיביות זרם

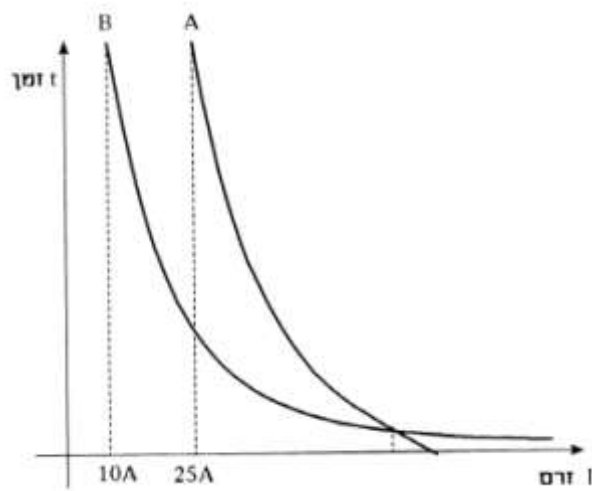
פעולת מאבטחים נחשבת סלקטיבית כאשר במקרה של הופעת זרם יתר במעגל יפעל אך  
ורק המאבטח הקרוב ביותר למקום התקלה. לפי עקרון זה הזרם הנקוב של כל מאבטח  
חייב להיות קטן מהזרם הנקוב של המאבטח המותקן לפניו (ביחס למקור המתח).

התנאים לסלקטיביות זרם:

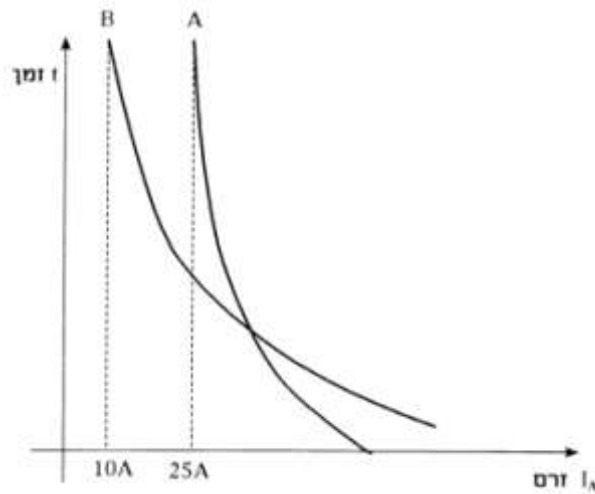
- במקרה של תקלה במערכת התקני ההגנה בפני זרם יתר צריכים לפעול ולנתק רק את  
המעגל המושפע מהתקלה.
- זרמי מעבר של העומסים אינו צריך לגרום לניתוק המעגל.
- מערכת סלקטיבית צריכה להיות מתוכננת כך שאם המאבטח הקרוב למקום התקלה  
אינו פועל צריך המאבטח המותקן לפניו לפעול ולנתק את הזרם המעגל.  
כאשר לא קיימת נקודת מפגש באופינים 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:



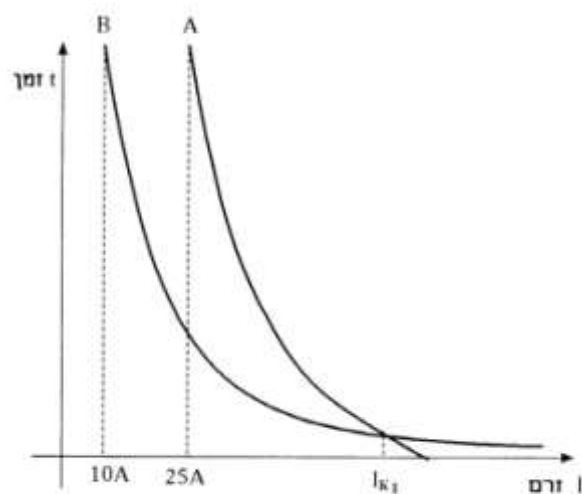
דוגמא לסלקטיביות זרם חלקית בין 2 מאבטחים (רק בתחום ההגנה התרמית):



דוגמא לחוסר סלקטיביות זרם חלקית בין 2 מאבטחים:



דוגמא לסלקטיביות בין 2 נתיכים אם זרם הקצר במתקן קטן מ- $I_{k1}$ .

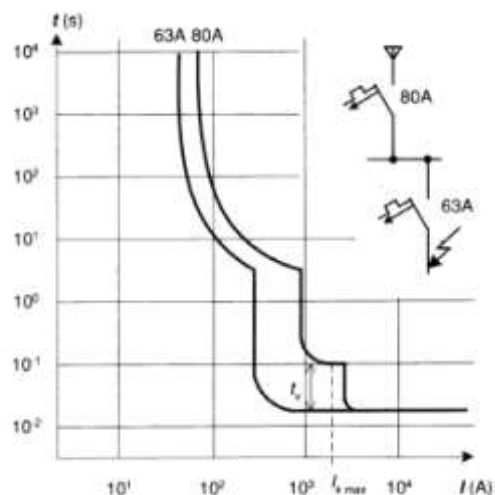


סלקטיביות זמן

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 כיוול לזמן תגובה מגנטי עבור זרמי הקצר. זמן זה מוגדר  $t_v$ .

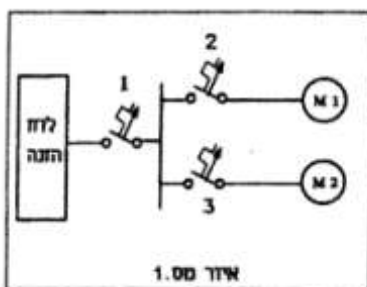
פעולת מאבטחים תהיה סלקטיבית כאשר זרם הקצר המרבי הצפוי בהדקי המאבטח הקטן יותר תהיה בתחום ההשהיה של המפסק הגדול יותר.

דוגמא לסלקטיביות זמן מלאה בין 2 מאבטחים:



תרגיל דוגמא:

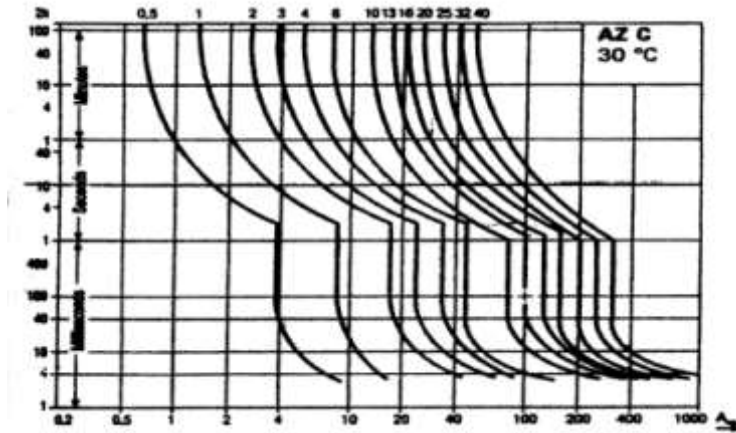
2 מנועים תלת מופעיים ובעלי מתח נקוב של 400V מוזנים ממקור בעל מתח נקוב של 400V, כמתואר באיור מס' 1. נתוני המנועים כמפורט בטבלה.



זמן התנעה (sec)	זרם התנעה (A)	נצילות (%)	$\cos\phi$	הספק המנוע (HP)	
10	30	90	0.92	7.5	מנוע M1
10	18	85	0.92	3	מנוע M2

## קורס- מתקני חשמל ורשת-חשמלאי ראשי

- א. חשב את הזרמים הנקובים של המנועים.  
 ב. בהנחה שעוצמת זרם הקצר בנקודה כל שהיא במעגל היא 200A מהם הגדלים הנקובים של המאבטחים עבור נקודות ההזנה 1-2-3 לשם השגת הגנה סלקטיבית במעגל. (אופייני ההפעלה של המבטחים באיור הבא)



פתרון לתרגיל דוגמא:

א.

$$I_{nM1} = \frac{P_{M1} * 736}{\sqrt{3} * Un * \eta_{M1} * \cos \varphi_{M1}} = \frac{7.5 * 736}{\sqrt{3} * 400 * 0.9 * 0.92} = 9.623A$$

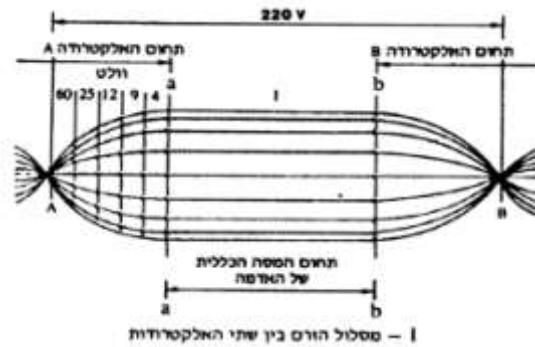
$$I_{nM2} = \frac{P_{M2} * 736}{\sqrt{3} * Un * \eta_{M2} * \cos \varphi_{M2}} = \frac{3 * 736}{\sqrt{3} * 400 * 0.85 * 0.92} = 4.075A$$

$$\vec{I}_{nT} = \vec{I}_{nM1} + \vec{I}_{nM2} = 9.623 \angle 23.07^\circ + 4.075 \angle 23.07^\circ = (13.698 \angle 23.07^\circ)A$$

- ב. עבור מאבטח 2- על פי האופיין ניתן לראות כי מאבטח בגודל 10A עומד בזרם ההתנעה של 30A במשך 10sec ומתאים בעמידה בזרם קצר של 200A במשך זמן שאינו עולה על 5sec וכן מתאים גם מבחינת התנאי הראשון.  
 עבור מאבטח 3- על פי האופיין ניתן לראות כי מאבטח בגודל 6A עומד בזרם ההתנעה של 18A במשך 10sec ומתאים בעמידה בזרם קצר של 200A במשך זמן שאינו עולה על 5sec וכן מתאים גם מבחינת התנאי הראשון.  
 עבור מאבטח 1- על מנת ליצור סלקטיביות מאבטח 1 צריך להיות גדול ממאבטחים 2 ו-3 ולפי האופיין ניתן לראות כי מאבטח בגודל 16A עומד בזרם ההתנעה של 30A במשך 10sec שהוא זמן ההתנעה הארוך מבין 2 המנועים ומתאים בעמידה בזרם קצר של 200A במשך זמן שאינו עולה על 5sec וכן מתאים גם מבחינת התנאי הראשון.

פרק 6-הארקות והגנות בפני התחשמלות

מסה כללית של האדמה:



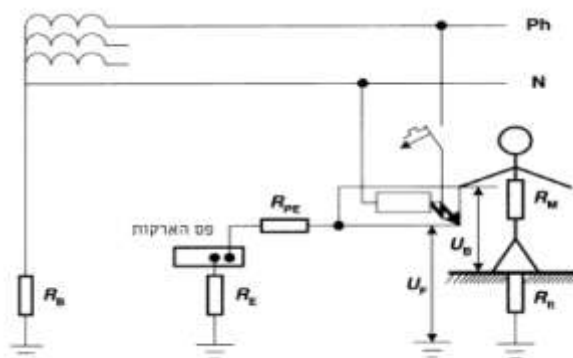
תחום האדמה המרוחק מאלקטרודת הייחוס במידה כזאת, שהמתח בין נקודות כלשהן בתחום זה הנו זניח. כאשר קיים מתח בין 2 אלקטרודות באדמה A ו-B, עובר בניהם זרם. מתח הנמדד בין האלקטרודה A לבין נקודה כלשהי באדמה, הנמצאת בין 2 אלקטרודות, גדל ככל שמתרחקים מהאלקטרודה A. זהו תחום השפעת האלקטרודה ואורכו נחשב שווה לעומק באלקטרודה (בקירוב). התחום בין הנקודות a ו-b שבו המתח לא משתנה נקרא "המסה הכללית של האדמה".

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 פוטנציאלים. 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.
- $R_{fi}$  - התנגדות הרצפה.
- $U_f$  - מתח תקלה.



## קורס - מתקני חשמל ורשת-חשמלאי ראשי

U<sub>B</sub> - מתח מגע.

השפעת זרם חשמלי על גוף האדם:

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 ( $\Omega$ )	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.

### מטרות מערכת הארקה:

- בטיחות חשמלית- מניעת עליית מתחי מגע, והפרש פוטנציאלים בין חלקים מתכתיים מעל הערכים הבטיחותיים בזמן קצר.
- 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.
- הגנה בפני ברקים- ביצוע מעגל לזרם הברק עם מוליכות טובה בין קולטי ברקים לבין מערכת הארקה.
- 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.

### נזקי התחשמלות:

- התכווצויות בלתי רצונית 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

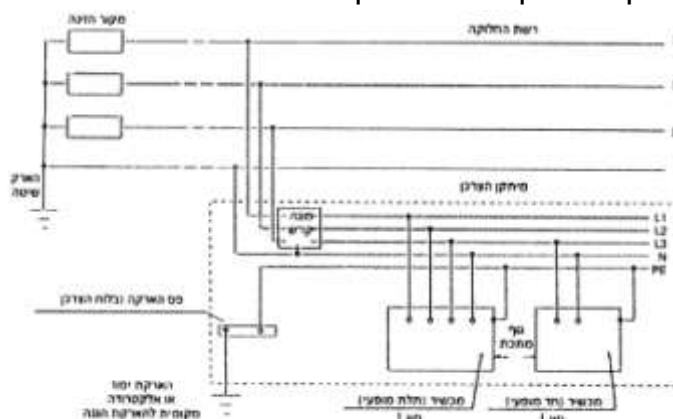
אמצעי הגנה בפני חשמול המותרים לשימוש במדינת ישראל הם:

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

#### 1. הארקת הגנה

הרעיון בהארקת ההגנה ליצור מסלול חלופי לזרם התקלה. מסלול זה צריך להיות בעל התנגדות נמוכה מאוד ביחס להתנגדות גוף האדם 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 נקודת 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 צרכן 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 הארקות הגנה. כדי לפתור בעיה זו מצאו פיתרון מעשי וזול וזאת להשתמש בברזלי הזיון של הבניין כאלקטרודה לחיבור לאדמה. פתרון זה נקרא הארקות יסוד והוגדרו בחוק החשמל קובץ של תקנות עבור חיבור זה.

הארקות יסוד- מטרתה לבנות רצף חשמלי בין המבנה לאדמה בעל התנגדות נמוכה שאינו עולה על  $5\Omega$ .

הארקות היסוד בנויה מ-3 חלקים עיקריים:

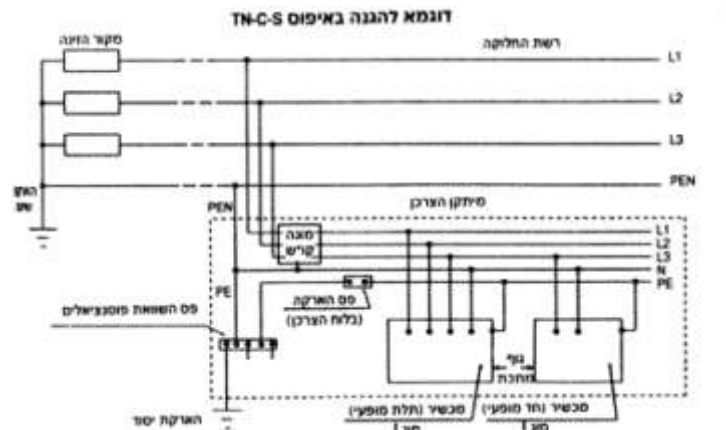
1. אלקטרודת הארקות היסוד- הם בעצם ברזלי הזיון הנמצאים בכלונסאות המבנה לפי המתואר בתקנות החוק החשמל.
2. טבעת הגישור- חיבור (כדוגמא באמצעות ריתוך) של ברזלי הזיון כלפי עצמם וכלפי אלקטרודת היסוד, וזאת בתנאים העיקריים הבאים:
  - א. יש להבטיח פחות מ-10 מ' מכל נקודה בתווך לטבעת הגישור.
  - ב. יש להוציא 5 יציאות 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 בהארקות ההגנה מותנה בכך שלולאת התקלה תהיה נמוכה מאוד והיא תלויה גם מגודל המפסק הראשי של המתקן. כך שככל 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 ובכל 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 להארקות ההגנה וזאת בתנאים הבאים:

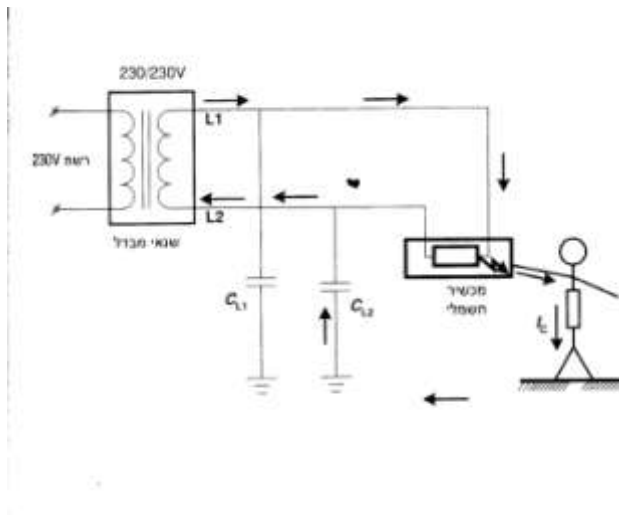
- א. התנגדות הארקות ההגנה (בלבד ללא שיטת האיפוס) לא תעלה על  $20\Omega$ .
- ב. באישור בעל הרשת (לדוגמא ח"ח) אשר מבטיח חתך מתאים למוליך האפס.
- ג. קיימת במתקן השוואת פוטנציאליים של כל חלקי המתכת.
- ד. חיבור שיטת האיפוס בהתאם לתקנות.



3. הפרד מגן

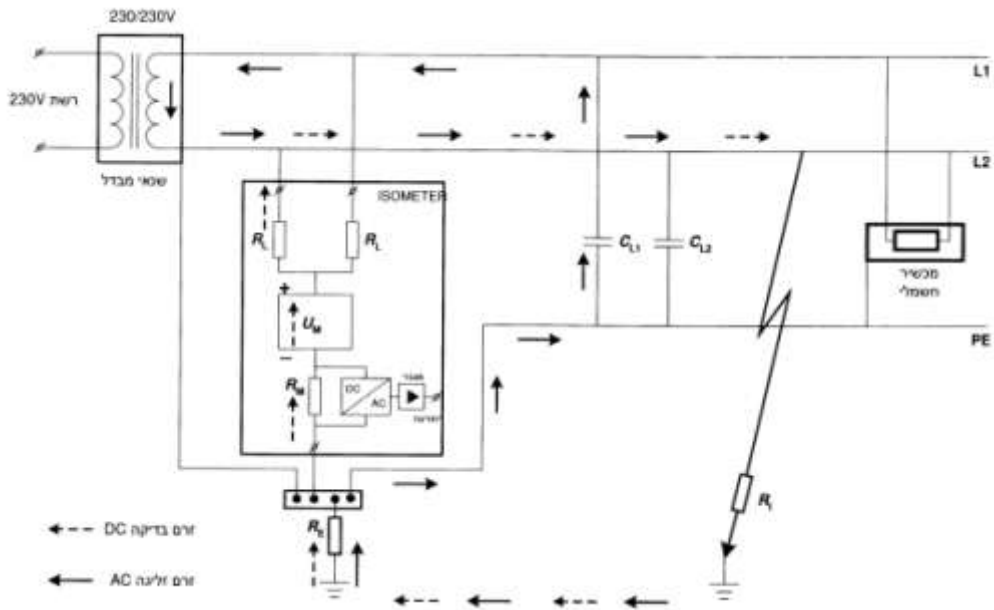
הרעיון בשיטה זו למנוע אפשרות של סגירת מעגל תקלה דרך האדמה ע"י הפרדת הצרכן מהארקת השיטה. התנאים בשימוש בשיטה זו הם:

- א. שימוש בשנאי מבדל
- ב. אין לבצע הארקת הגנה ושיטה במוצא השנאי.
- ג. בשימוש בשיטה זו אסור שהשנאי יזין יותר ממכשיר אחד
- ד. המתח בסליל השנאי לא יעלה 500V
- ה. 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 הארקת 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  $C_{L1}$  ובחזרה לשנאי. זרם הזליגה זה יכול לגרום להיווצרות מתח תקלה השווה למפל המתח על ההתנגדות בין הארקה לבין המסה הכללית של האדמה  $R_E$ . המשגוח מצויד במקור מתח  $U_M$  אשר במקרה של תקלה בבידוד יגרום לזרימת זרם DC דרך מוליך הרשת L2, האדמה, התנגדות הארקה ובחזרה למשגוח. על הנגד  $R_M$  ייווצר מפל מתח, שערכו תלוי בהתנגדות הבידוד  $R_i$ - ככל שהתנגדות הבידוד נמוכה יותר כך המתח על נגד  $R_M$  יהיה גדול יותר. תפקיד המשגוח הוא להתריע כאשר התנגדות הבידוד יורדת מתחת לערך מסוים. הסכנות בשימוש בשיטה זו הם:

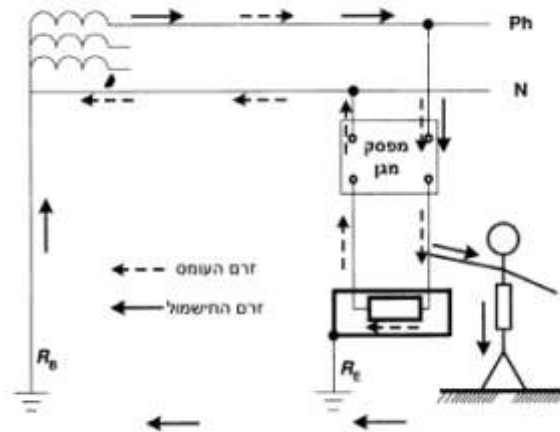
- א. יש צורך בייצוב מתח (כיוון שאין הארקת שיטה).
- ב. ברגע שיש יותר מתקלה אחת בו זמנית יש סכנת התחשמלות.
- ג. תקלות מסוימות בצרכן לא תפעיל את ההגנות ולא יהיה ניתן לדעת על קיומה של התקלה.

התנאים לשימוש בשיטה זו הם:

- א. שימוש באזור מוגבל תחת השגחה רצופה של חשמלאי מורשה.
- ב. שימוש בצידוד עזר המתריע בעת הופעת תקלה כגון "משגוח".

שיטה זו נפוצה בשימוש בהם נדרשת אמינות הספקה גבוהה כגון חדרי ניתוח ועוד.

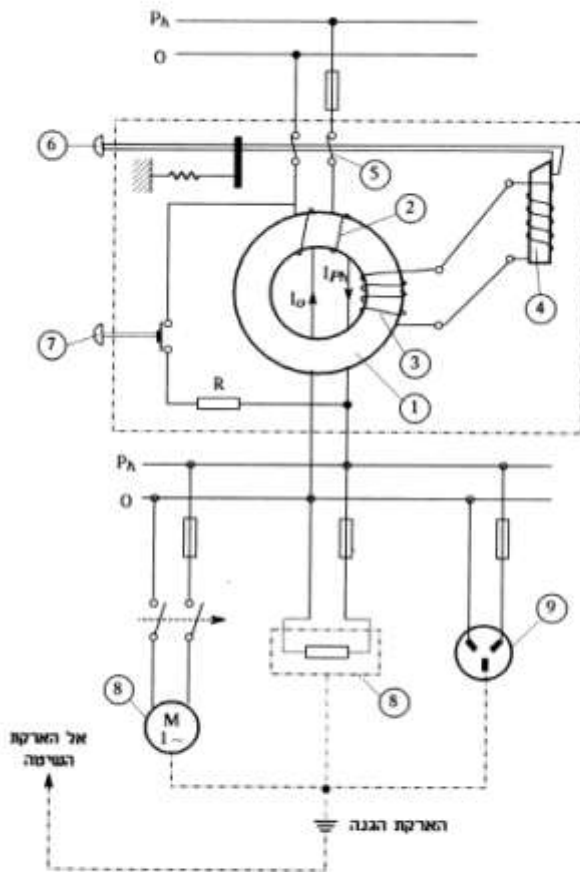
5. מפסק מגן בפני זרם דלף (ממסר פחת)



עקרון 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



במצב תקין  $I_{ph} = I_0$

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 דרך 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 בצידן סכנת התחשמלות, אך הפועל 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, שמויעדים 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 העלולות לגרום להתחשמלות.
- ד. יש להקפיד שהזרם הנומינאלי של ממסר הפחת יהיה שווה או גדול מהזרם הנומינאלי של ההגנה שמעליו.
- ה. בהתאם לתקנות בחוק החשמל.

הגנה בלעדית על ידי מפסק מגן:

ישנם מקרים אשר בהם התקנות מתירות שימוש במפסק מגן כהגנה בלעדית. המצב השכיח ביותר לשימוש כזה הוא כאשר ערך עכבת לולאת התקלה גבוה מידי, והתנאי של ניתוק האוטומטי בפרק זמן שלא יעלה על 5 שניות אינו מתקיים. במקרה זה לא ניתן ליישם את אמצעי ההגנה "שיטת האיפוס" או "הארקת הגנה".

שימוש במפסק מגן פותר את הבעיה מאחר זרם הפעלתו קטן מאוד. במקרים מסוימים מתקנים מפסק מגן רגיל, בעל זרם הפעלה של 0.03A או 0.3A, אך ברוב במקרים משתמשים ביחידות משולבות אשר זרם הפעלתם ניתן לכיול בגבולות רחבים. התנאי לשימוש במפסק מגן כהגנה בלעדית הוא אחד מהשניים:

א. בזמן קצר בין מופע לאדמה יתפתח זרם קצר פי עשר לפחות מזרם ההפעלה של מפסק המגן, על מנת להבטיח הפסקת הזרם למתקן בצורה בטוחה  $I_{kph} \geq 10 * I_{\Delta n}$ .  
באופן מעשי לאחר מדידת עכבת לולאת התקלה מכיילים את זרם ההפעלה של המפסק מגן לעשירית מזרם הקצר החד פזי הצפוי המתקן.

ב. התנגדות בין אלקטרודת ההארקה לבין המסה הכללית של האדמה לא תעלה על הערך המחושב -  $R_E = \frac{U_B}{I_{\Delta n}}$ , כאשר  $-U_B$  הוא מתח המגע המותר, על פי התקנות במתקנים רגילים  $U_B = 50V$ , במתקנים בהם קיימת סכנה מוגברת כגון חצרים רפואיים או חקלאיים  $U_B = 24V$  וזה על מנת להבטיח את התנאי שמתח המגע לא יעלה על הערכים המסוכנים.

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

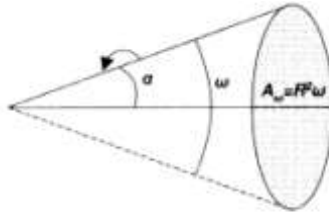
מטרת השיטה למנוע הופעת מתח העולה על 50V. בשיטה זו נמנעת היווצרות מתח מגע הגדול מ-50V. ובהעדרות הארקה שיטה נמנעת סגירת לולאת תקלה .



## פרק 7-תאורה

### מונחים בפטומטריה יחידות 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-  $\phi$  [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  $\alpha$  עם ציר הקונוס.



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

(זווית מרחבית של כדור מלא:  $\omega = 4\pi$ )

- ו. עוצמת האור-קנדלה  
שטף המוקרן ממקור אור בזווית מרחבית  $\omega$  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  $\rho$ - מקדם החזרה.

ח. טמפרטורת צבע –קלוין  
מתארת את מראה הצבע של הנורות (ככל שהערך גבוה יותר כך הצבע קר יותר).  
כאשר:

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

$CCT \geq 4000^{\circ}K$  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.

מקורות אור

א. נורת ליבון-

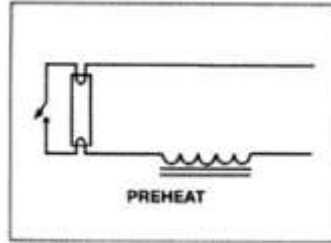
מבנה: תיל טונגסטן.  
מילוי: גז אציל ארגון בתוספת 7% חנקן.  
טמפ' עבודה:  $2650^{\circ}\text{C} - 3150^{\circ}\text{C}$ .  
אורך חיים: תלוי במתח ההזנה קטן ב- 50% אם המתח עולה ב-5% 1000-2000 שעות.  
זרם הדלקה: פי 15-20 מזרם העבודה.  
נצילות אורית: נמוכה  $\left[\frac{\text{lm}}{\text{w}}\right]$  10-15.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

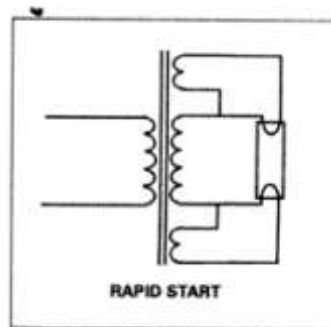
מבנה: תיל טונגסטן בתוך שפופרת קוורץ.  
מילוי: גז אציל ארגון בתוספת 7% חנקן ובתוספת יוד.  
עקרון הפעולה: מולקולות היוד מבצעות העברת אטומי טונגסטן הנפלטים מתיל הלהט ובחזרה אליו. הודות לכך אורך החיים והנצילות האורית של נורת הלוגן גדולים יותר בהשוואה לנורה הרגילה.  
אורך חיים: 2000-4000 שעות.  
נצילות אורית: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

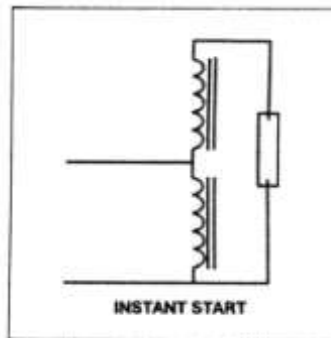
מבנה: שפרפרת זכוכית עם ציפוי פלורוסנטי  
מילוי: גז אציל בתוספת כספית.  
אלקטרודות: טונגסטן עם ציפוי חומר פולט אלקטרונים.  
לחץ גז: כ-  $10^{-5}$  ATMs.  
אורך חיים: טובולריות 7500-24000 שעות.  
קומפקטיות 10000-20000 שעות.  
שיטות הצתה:  
1. הצתה עם חימום מוקדם Preheat Start - בשיטה זו לסטרטר תפקיד כפול: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

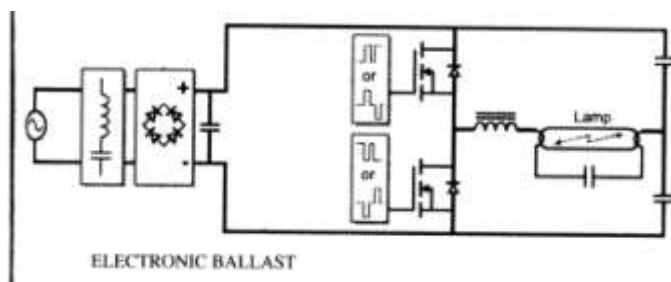


3. הצתה Instant Start- בשיטה זו המשנק מספק פולס מתח גבוה על מנת להצית את הנורה תוך זמן פחות מ- 0.05s, ללא חימום מוקדם של האלקטרודות. פליטת האלקטרונים בנורה חד פינית היא "פליטה קרה" אשר נגרמת ע"י שדה אלקטרומגנטי ולא ע"י טמפ' גבוהה של האלקטרודות.



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.

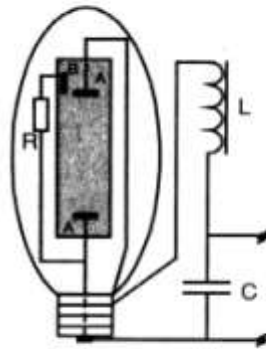
4. הצתה אלקטרונית- משנק אלקטרוני מספק לנורה מתח בצורת פולסים מלבניים התדירות גבוהה 20-60KHz. שיטה זו מאפשרת חסכון של אנרגיה של כ-5% 10%, והגדלת הנצילות האורית של הנורה ב-10% ויותר והארכת חיי הנורה באופן ניכר. שיטה זו מאפשרת שימוש בדימרים לוויסות עוצמת האור ומונעת את תופעת הסטרובוסקופית. כמו כן אין צורך 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 כיבוי 3-6 דקות.  
 נצילות אורית: נמוכה יחסית  $25-55 \left[ \frac{\text{lm}}{\text{w}} \right]$ .  
 אורך חיים: 16000-24000 שעות.
- ה. נורת כספית עם האלידים -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-20-10 דקות.  
 נצילות אורית: גבוהה  $55-115 \left[ \frac{\text{lm}}{\text{w}} \right]$ .  
 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  $60-140 \left[ \frac{\text{lm}}{\text{w}} \right]$ .  
 אורך חיים: 16000-24000 שעות.
- ז. נתרן לחץ נמוך-LPS-  
 מבנה: שפרפרת פריקה המכילה נתקן מוצק ותערובת גז ניאון וארגון.  
 לחץ: כ-  $10^{-5} \text{ ATMs}$ .  
 זמן הצתה: 7-10 דקות הצתה מחודשת 3-12 שניות.  
 נצילות אורית: גבוהה  $100-185 \left[ \frac{\text{lm}}{\text{w}} \right]$ .  
 אורך חיים: 14000-18000 שעות.

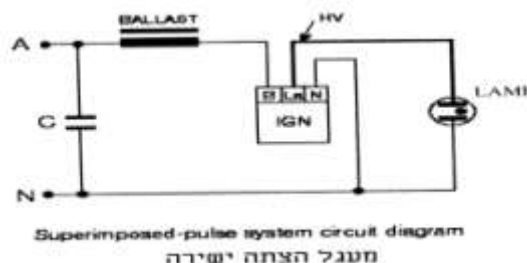
1. שיטת הצתה ע"י אלקטרודת עזר- בתוך שפרפרת הפריקה מותקנת אלקטרודת עזר המחוברת למעגל החשמלי של הנורה באמצעות נגד הצתה. לאחר חיבור המתח טמפרטורת הנורה נמוכה והתנגדותה גבוהה ואין תנאים לפריקת המטען בגז בין האלקטרודות הראשיות. הפריקה הראשונית מתחילה בין האלקטרודה הראשית לבין אלקטרודת העזר הודות למרחק הקטן 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 - אלקטרודת עזר. תפקידה ליצור קשת פריקה ראשונית בזמן הצתת הנורה כאשר התנגדותה גבוהה.  
 R - נגד הצתה. תפקידו להגביל את זרם ההצתה ולהפסיק את מעגל ההצתה כאשר הנורה נדלקה והתנגדותה 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:

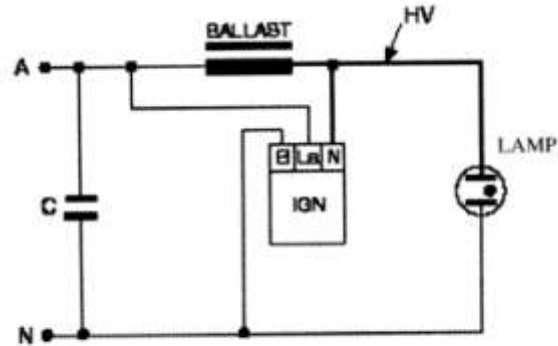
א. הצתה ישירה- המצת מייצר פולס מתח גבוה של כ- 2-5KV בתדירות 2-3 פולסים במשך חצי מחזור של זרם הרשת. לאחר הפעלתה הנורה מקבלת זרם עבודה מיוצב באמצעות המשנק. בשיטה זו נדרש משנק סטנדרטי רגיל המיועד למתח נמוך. בסוף חיי הנורה כאשר המצת מנסה להציתה ללא הצלחה לא יכול להיגרם נזק למשנק.



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.

## קורס- מתקני חשמל ורשת-חשמלאי ראשי

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 חייה 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

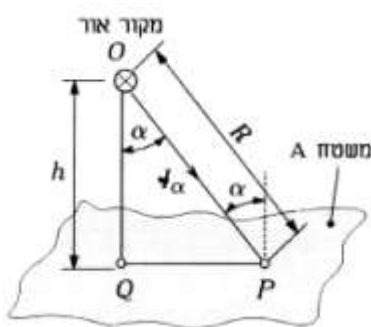
**תכנון תאורה בשיטה נקודתית-תאורת חוץ**

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 $\alpha$	$I_\alpha$	[cd]
הגובה בין מקור האור למשטח	$h$	[m]
הזווית בין לקו האנכי העולה בנקודה P על משטח A	$\alpha$	[°]

עבור מספר מקורות אור

משתמשים בנוסחה:

שיטות חישוב עוצמת האור בכיוון זווית  $\alpha$

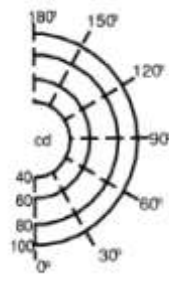
א. כאשר נתון מקור אור בעל עוצמת אור אחידה ניתן לחשב את עוצמת האור בכל כיוון לפי

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

כאשר:  $\phi [lm]$  - שטף הנורה.

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

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



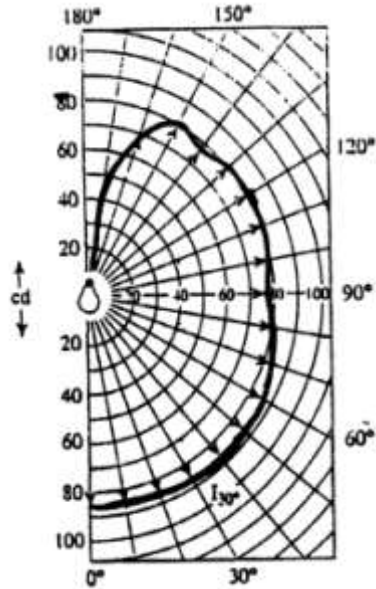
במקרה זה עוצמת האור שווה בכל זווית והעקום הפולארי מתואר ע"י עיגול.



## קורס- מתקני חשמל ורשת-חשמלאי ראשי

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:

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

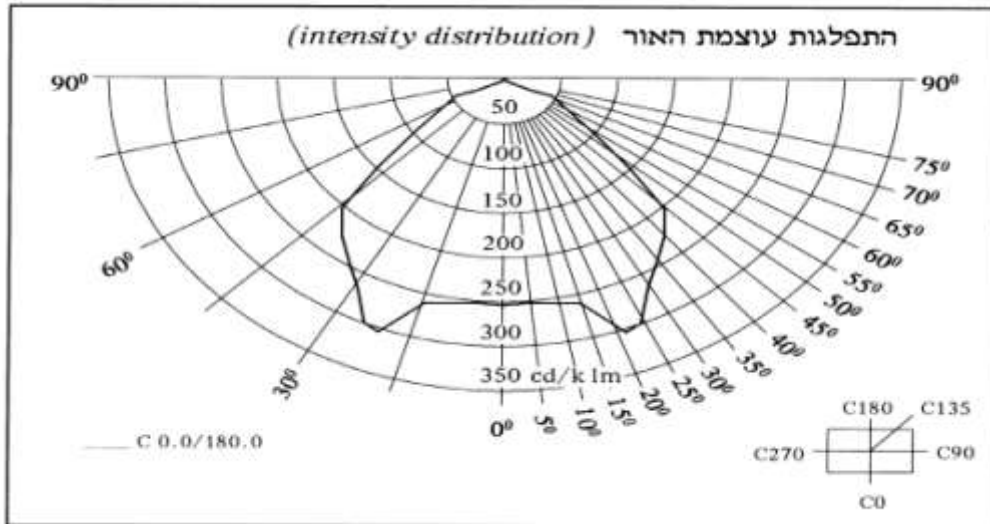


## קורס- מתקני חשמל ורשת-חשמלאי ראשי

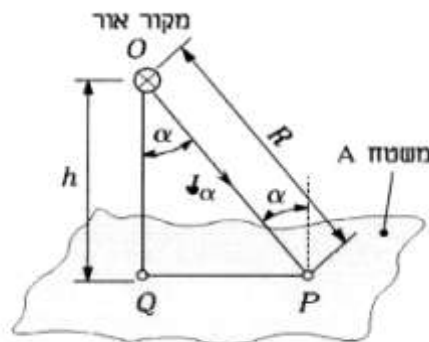
תרגיל דוגמא 1:

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  $-21.8^\circ$   $I_\alpha = 300 \frac{\text{cd}}{1000\text{lm}}$

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

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

## קורס- מתקני חשמל ורשת-חשמלאי ראשי

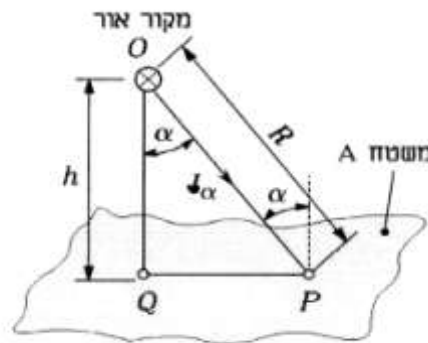
תרגיל דוגמא 2:

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:

90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°	זווית α
63	78	83	86	86	62	51	45	40	36	עוצמת האור-(cd) I

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  $51.34^\circ$  - 86 cd Iα

ולכן-

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

**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.

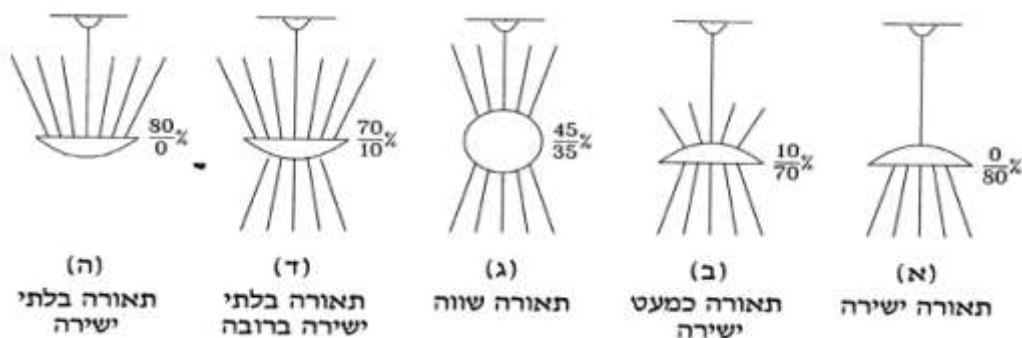
בטבלה מובאות המלצות מ- LESNA LIGHTING HANDBOOK לגבי רמת ההארה הממוצעות של תאורת פנים עבור מתקני תאורה שונים:

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

**דרישות התקן החדש של CIE (2001) לתאורת משרדים**

דרישת גורם התאמת הצבע CRI (%)	דרישות רמת ההארה $E_{ave}$ (lx)	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:**

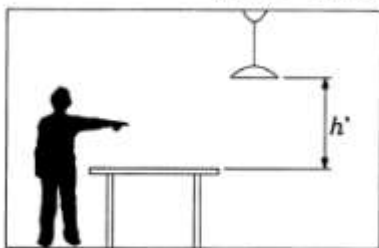
לתאורת פנים מומלץ להשתמש בנורות פלורוסנט כאשר הן מותקנות עד גובה 4 מ' מעל המשטח המואר.

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).

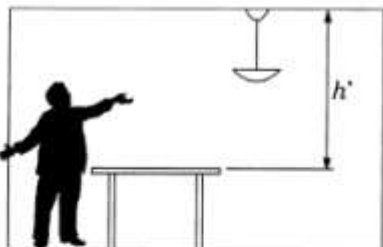
חישובי תאורת פנים:

**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 <sup>2</sup> ]
מקדם הפחתה	$K$	
שטף אור נדרש	$\phi$	[lm]
רמת ההארה הנדרשת	$E$	[Lux]
נצילות מתקן התאורה	$CU$	[%]
נצילות אורית	$\eta$	$\left[\frac{lm}{W}\right]$
הספק מקור האור	$P$	(W)
כמות הנורות באולם	$n$	(י"ח)

כאשר:

k- מקדם הפחתה המתחשב בבילאי 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 ורשת-חשמלאי ראשי

טבלת מקדמי הפחתה k

**מקדמי הפחתה K**

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

**מקדמי נצילות (CU%) עבור מתקני תאורה שונים:**

סדר	סוג גוף תאורה (עוצמת האור של נורה 100%)	חלוקת עוצמת האור	המרחק המקסימלי בין יחידות התאורה המרחק	קבוצה	75		50			30				
					קבוצה		50	30	10	50	30	10	30	10
					מקדם הנצילות CU%									
1			a = 1.3h' גורם ההפחתה 0.7	קבוצה	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			a = 1.3h' גורם ההפחתה 0.7	קבוצה	0.6	37	32	28	37
0.8	46	41	36	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 ורשת-חשמלאי ראשי

מס' תאורה	סוג גוף תאורה (עוצמת האור של נורה 100%)	חלוקת עוצמת האור	המרחק המקסימלי בין יחידות התאורה המרחק	מקדם הנצילות CU%								
				קצב קעור	75			50			30	
					50	30	10	50	30	10	30	10
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
0.8	20	16	14					13	11	10	8	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	27	36
				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	המרחק המקסימלי בין יחידות התאורה המרחק	מקדם הנצילות CU%								
				קצב קעור	75			50			30	
					50	30	10	50	30	10	30	10
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 0.65-0.55	0.5	24	19	16	22
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
				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:

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

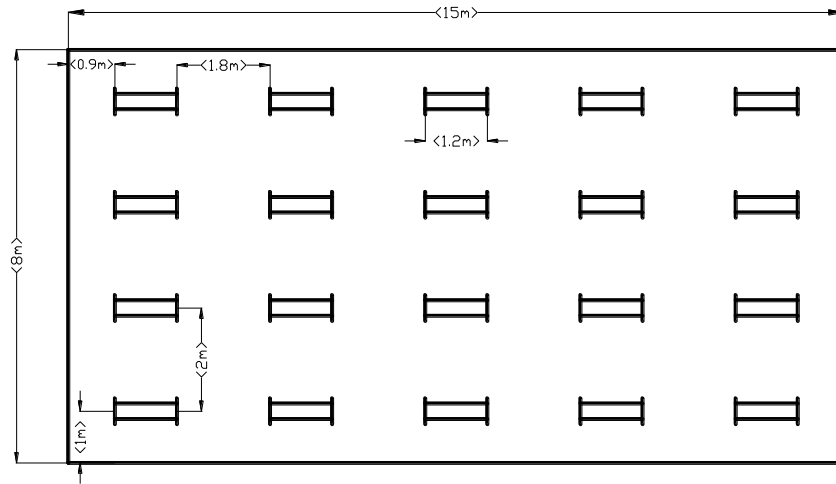


## קורס - מתקני חשמל ורשת-חשמלאי ראשי

קביעת המרחק בין השורות ( $y$ ) -

את המרחק בין השורות נחשב באמצעות הביטוי:

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

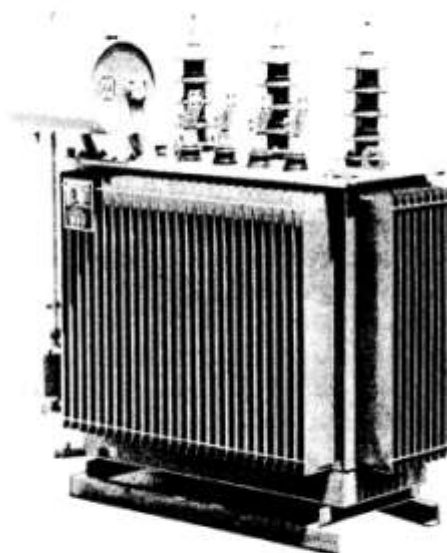


שנאי רשת (באדיבות חב' אלקו תעשיות)

Technical data

General data

Rated primary voltage : 22 kV  
 Tapping range : ±5% (up to 630 kVA)  
 ±2X2.5% (800 - 1600 kVA)  
 Rated secondary voltage : 0.4/0.231 kV  
 Rated Frequency : 50 Hz  
 Connection group : Dyn 11  
 Insulating voltage level  
 Power frequency : 50 kV  
 Lightning impulse (BIL) : 125 kV  
 Cooling : Oil natural - Air Natural (ONAN)  
 Oil temperature rise : 60°C  
 Winding temperature rise : 65°C  
 Tolerances and testing acc. to I.E.C. 76



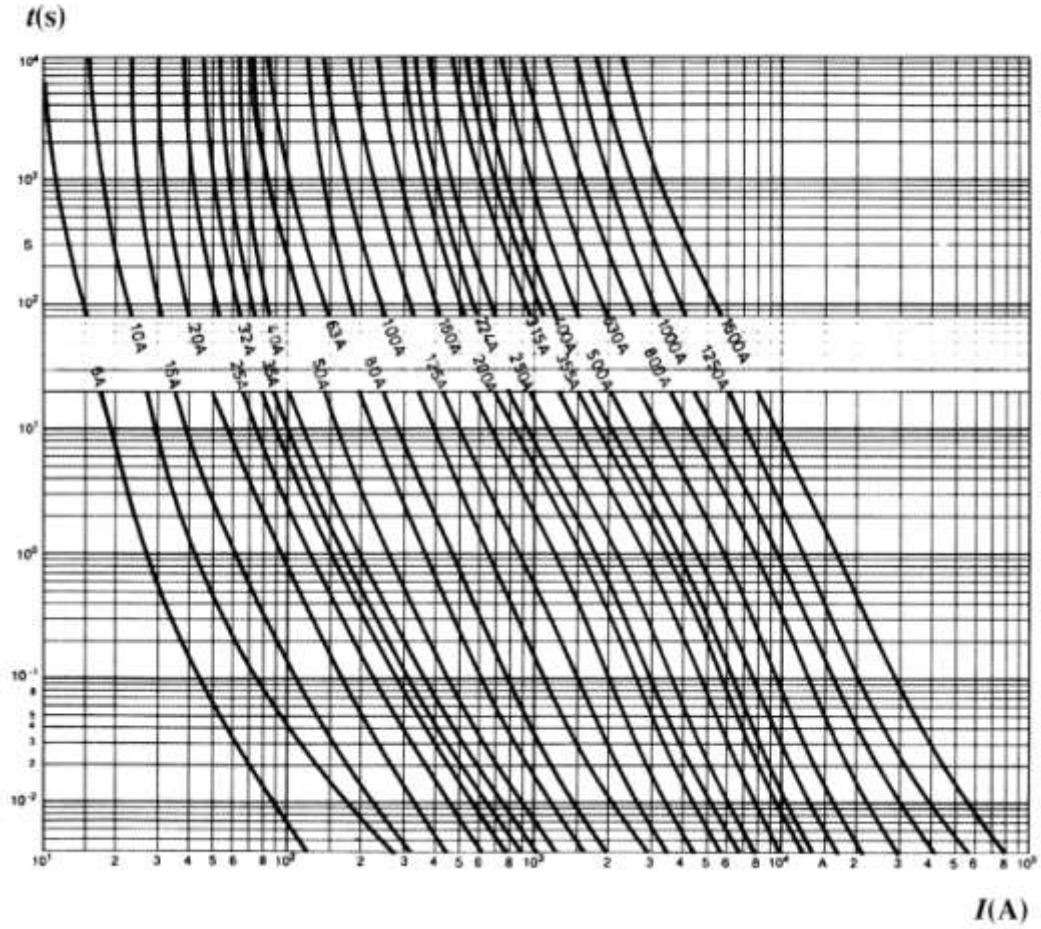
$S_n$	$\Delta P_{fe}$	$\Delta P_{cu n}$	$U_k \%$	$U_r \%$	$U_x \%$	$\eta_{\beta=1}$	$\Delta U \%_{\beta=1}$	$I_0 \%$
-------	-----------------	-------------------	----------	----------	----------	------------------	-------------------------	----------

Electrical data

Rating kVA	LOSSES - kW		Sh.C. impedance %	Er %	Ex %	Efficiency at full load		Regulation at full load		I <sub>0</sub> %
	No-Load	Load <sup>at</sup> <sub>75°C</sub>				at cosθ=1	at cosθ=0.8	at cosθ=1	at cosθ=0.8	
50	0.165	0.98	4.7	1.96	4.272	97.76	97.22	2.051	4.156	2.1
100	0.23	1.76	4.4	1.76	4.033	98.05	97.57	1.841	3.851	1.7
160	0.30	2.33	4.4	1.456	4.152	98.38	97.99	1.542	3.686	1.5
250	0.45	3.33	4.4	1.332	4.194	98.51	98.15	1.420	3.614	1.3
400	0.645	4.67	4.4	1.168	4.242	98.69	98.37	1.257	3.516	1.2
630	0.90	5.46	4.4	0.867	4.314	99.00	98.75	0.960	3.325	1.0
800	1.20	8.50	5	1.063	4.886	98.80	98.51	1.182	3.835	0.9
1000	1.35	10.30	5	1.03	4.893	98.85	98.57	1.15	3.814	0.8
1250	1.50	11.30	5	0.904	4.918	98.99	98.74	1.025	3.731	0.7
1250	1.50	11.30	6	0.904	5.932	98.99	98.74	1.08	4.37	0.7
1600	1.70	14.70	6	0.919	5.929	98.99	98.74	1.085	4.38	0.6

HRC נתיכי

אופיין gL/gG כושר ניתוק: 120 kA



# קורס - מתקני חשמל ורשת-חשמלאי ראשי

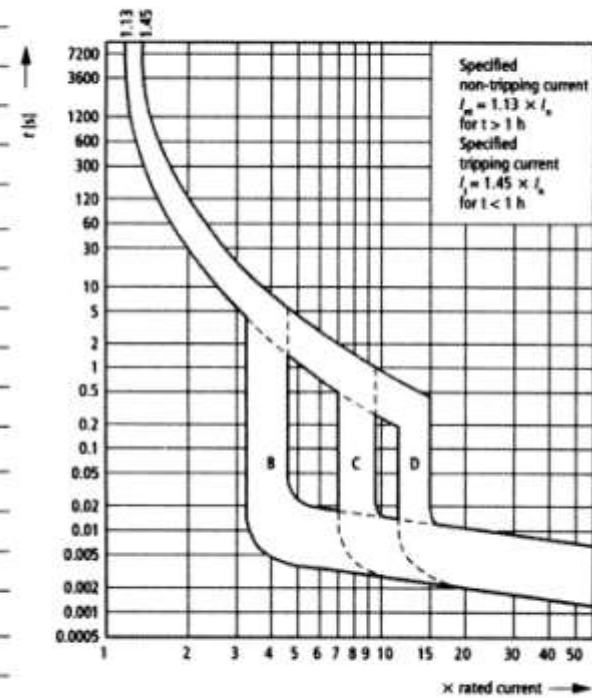
מפסק אוטומטי זעיר (מא"ז) (באדיבות חב' Moeller)  
אופייני C, B כושר ניתוק: 10 kA

FAZ Miniature Circuit-Breakers  
Switching Capacity 10 kA (IEC/EN 60 898)

Characteristic	1-pole				2-pole With 2 protected poles		3-pole With 3 protected pole	
	Rated current $I_n$ A	Type Article no.	Price See Price List	Std. pack	Type Article no.	Price See Price List	Type Article no.	

FAZ miniature circuit-breakers	Rated current $I_n$ A	Type Article no.
B Response current of short-circuit release $3-5 \times I_n$	4	FAZ-B4H 214570
	6	FAZ-B6 211352
	10	FAZ-B10 211358
	13	FAZ-B13 211364
	16	FAZ-B16 211370
	20	FAZ-B20 211376
	25	FAZ-B25 211382
	32	FAZ-B32 211388
	40	FAZ-B40 211394
	50	FAZ-B50 211400
	63	FAZ-B63 211406
C Response current of short-circuit release $5-10 \times I_n$	0.5	FAZ-C0,5 211474
	1	FAZ-C1 211480
	2	FAZ-C2 211486
	3	FAZ-C3 211492
	4	FAZ-C4 211498
	6	FAZ-C6 211504
	10	FAZ-C10 211510
	13	FAZ-C13 211516
	16	FAZ-C16 211522
	20	FAZ-C20 211528
	25	FAZ-C25 211534
	32	FAZ-C32 211540
	40	FAZ-C40 211546
	50	FAZ-C50 211552
63	FAZ-C63 211558	

FAZ tripping characteristics at 30 °C: B, C, D to IEC/EN 60 898

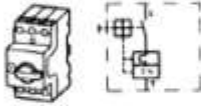


מפסק אוטומטי מגנטי תרמי (מאמ"ת) להגנה על מנועים עד 63 A  
הגנה תרמית מתכווננת

PKZM0, PKZM4 Motor-Protective Circuit-Breakers  
Motor-Protective Circuit-Breakers

Max. AC-3 motor rating					Rated uninter- rupted current $I_n$ A	Setting range	
220 V	380 V	440 V	500 V	660 V		Overload release	Short-circuit release
230 V	400 V			690 V	$I_{cr}$	$I_{cs}$	
240 V	415 V				A	A	
				0.06	0.16	0.1 - 0.16	2.2
	0.06	0.06	0.06	0.12	0.25	0.16 - 0.25	3.5
0.06	0.09	0.12	0.12	0.18	0.4	0.25 - 0.4	5.6
0.09	0.12	0.18	0.25	0.25	0.63	0.4 - 0.63	8.8
0.12	0.25	0.25	0.37	0.55	1	0.63 - 1	14
0.25	0.55	0.55	0.75	1.1	1.6	1 - 1.6	22
0.37	0.75	1.1	1.1	1.5	2.5	1.6 - 2.5	35
0.75	1.5	1.5	2.2	3	4	2.5 - 4	56
1.1	2.2	3	3	4	6.3	4 - 6.3	88
2.2	4	4	4	7.5	10	6.3 - 10	140
4	7.5	9	9	12.5	16	10 - 16	224
5.5	9	11	12.5	15	20	16 - 20	280
5.5	12.5	12.5	15	22	25	20 - 25	350

Motor-protective circuit-breakers<sup>®</sup>, Type "1" and Type "2" coordination

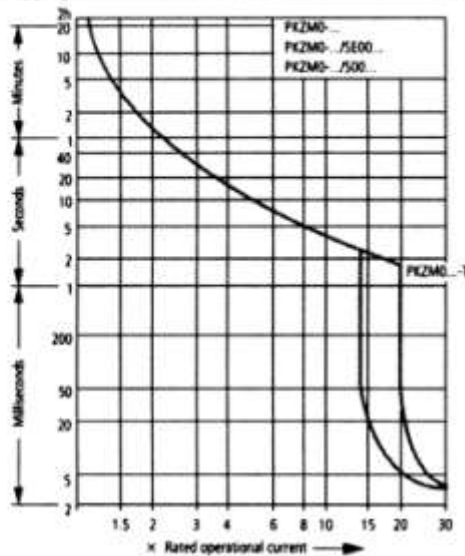


Motor-protective circuit-breakers<sup>®</sup>, Type "1" and Type "2" coordination



PKZM0 Motor-Protective Circuit-Breakers  
Tripping Characteristics

Tripping characteristics, motor-protective circuit-breakers



16	10 - 16	224
25	16 - 25	350
32	24 - 32	448
40	32 - 40	560
50	40 - 50	700
58	50 - 58	812
63	63 - 55	882



מפסק אוטומטי מגנטי תרמי (מאמ"ת) עד 200 A  
 כושר ניתוק: 35 kA (דגם N), 65 kA (דגם S), 100 kA (דגם H)  
 הגנה תרמית ומגנטית מתכווננות

**NZM7 Circuit-Breakers, 3-pole**  
 Motor Protection, Circuit-Breakers without Overload Release

Motor data			Setting ranges		Normal switching capacity 35 kA at 400 V 50/60 Hz Type Article no.
AC-3	Rated current		Overload releases	Short-circuit releases, non-delayed	
380 V 400 V 415 V	Operational $I_n$ Uninterrupted $I_n$	A	$I_n$ A	$I_{sc}$ A	
P kW	A	A	A	A	

Circuit-breakers for motor protection, 3-pole

With phase-failure sensitivity<sup>1)</sup>

Adjustable overload releases

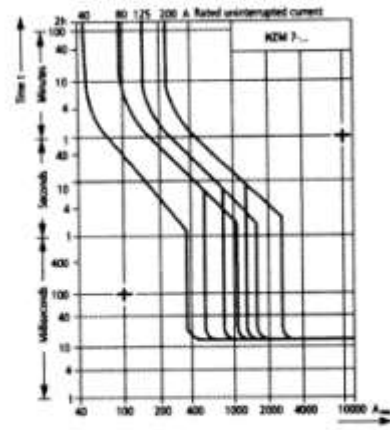
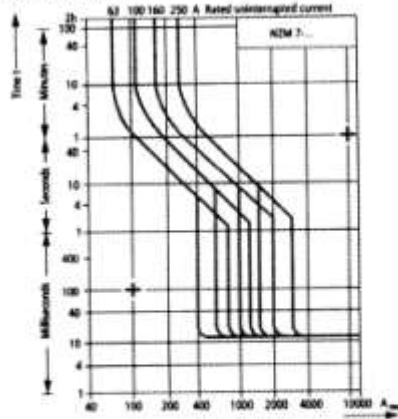
Adjustable non-delayed short-circuit releases

With terminals	15	29.3	40	25 - 40	$9 - 14 \times I_n$	NZM7-40N-M 049032
	18.5	36	40	25 - 40		NZM7-40N-M 049032
	22	41	63	40 - 63	$6 - 14 \times I_n$	NZM7-63N-M 049033
	30	55	63	40 - 63		NZM7-63N-M 049033
	37	68	80	63 - 80		NZM7-80N-M 049034
	45	81	100	80 - 100		NZM7-100N-M 049035
	55	99	125	80 - 125		NZM7-125N-M 049036
	75	139	160	125 - 160		NZM7-160N-M 049037
	90	161	200	160 - 200	$6 - 12 \times I_n$	NZM7-200N-M 049038
	110	196	200	160 - 200		NZM7-200N-M 049038
With M8 bolt connection and cable lug cover	15	29.3	40	25 - 40	$9 - 14 \times I_n$	NZM7-40N-M-M8 065820
	18.5	36	40	25 - 40		NZM7-40N-M-M8 065820
	22	41	63	40 - 63	$6 - 14 \times I_n$	NZM7-63N-M-M8 065821
	30	55	63	40 - 63		NZM7-63N-M-M8 065821
	37	68	80	63 - 80		NZM7-80N-M-M8 065822
	45	81	100	80 - 100		NZM7-100N-M-M8 065823
	55	99	125	80 - 125		NZM7-125N-M-M8 065824
	75	134	160	125 - 160		NZM7-160N-M-M8 065825
	90	161	200	160 - 200	$6 - 12 \times I_n$	NZM7-200N-M-M8 065826
	110	196	200	160 - 200		NZM7-200N-M-M8 065826

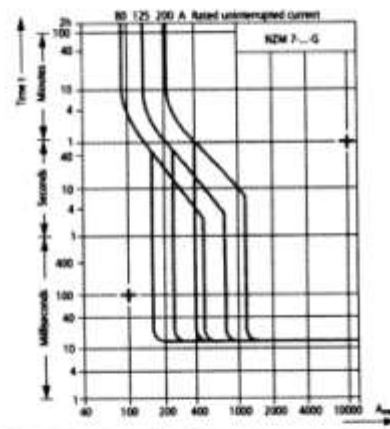
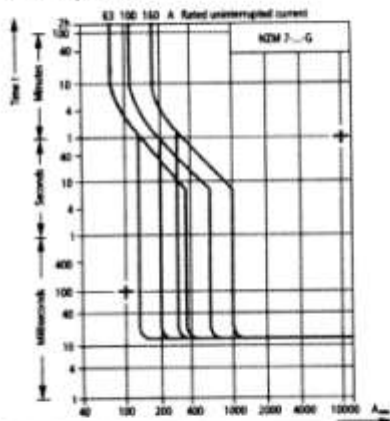


NZM7 Circuit-Breakers  
Tripping Characteristics

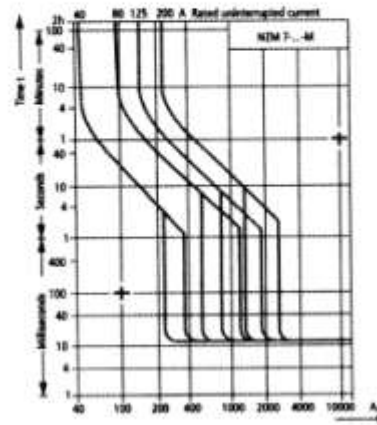
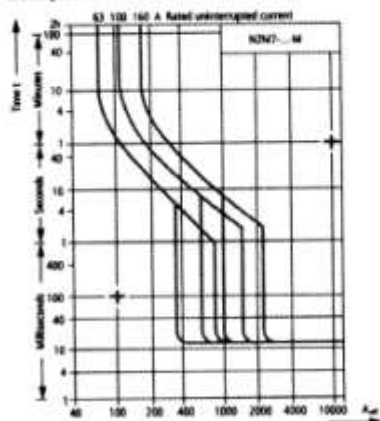
System protection



Generator protection



Motor protection



מפסק אוטומטי מגנטי תרמי (מאמ"ת) עד 630 A  
 כושר ניתוק: 45 kA (דגם N), 65 kA (דגם S), 100 kA (דגם H)  
 הגנה תרמית ומגנטית מתכווננות, סלקטיביות-זמן

**NZM10 Circuit-Breakers, 3-pole**  
 System, Generator and Motor Protection

Rating data		Motor data	Setting ranges:		Normal switching capacity 45 kA at 400 V 50/60 Hz
Rated uninter- rupted current	AC-3	380 V 400 V 415 V	Overload- releases	Short-circuit releases	Type
				Delayed	Non-delayed
$I_n$ A	P kW		$I_r$	$I_{m1}$	$I_{m2}$

**Circuit-breakers for system and generator protection**

Adjustable overload releases

Adjustable non-delayed short-circuit releases



250	-	125 - 250	-	$2 - 12 \times I_n$	NZM10-400N/ZM-250 047818
400	-	200 - 400	-		NZM10-400N/ZM-400 034730
630	-	300 - 630	-		NZM10-630N/ZM-630 034731

**Circuit-breakers with time selectivity**

Adjustable overload releases

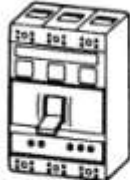
Time delay setting to overcome current peaks ( $t_r = 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 17, 20$  s).

Overload release can be de-activated ( $t_r = \infty$ ).

Adjustable delayed short-circuit releases

( $t_{sc} = 10, 10, 50, 100, 150, 200, 300, 500, 750, 1000$  ms) - 20%

Adjustable non-delayed short-circuit releases



250	-	125 - 250	$2 - 12 \times I_n$	1000 - 6000	NZM10-400N/ZMV-250 047823
400	-	200 - 400		1000 - 9000	NZM10-400N/ZMV-400 034738
630	-	300 - 630		1000 - 9000	NZM10-630N/ZMV-630 034739

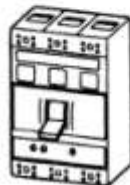
**Circuit-breakers for motor protection**

Adjustable overload releases

Time delay setting to overcome current peaks ( $t_r = 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 17, 20$  s).

Overload release can be de-activated ( $t_r = \infty$ ).

Adjustable short-circuit releases

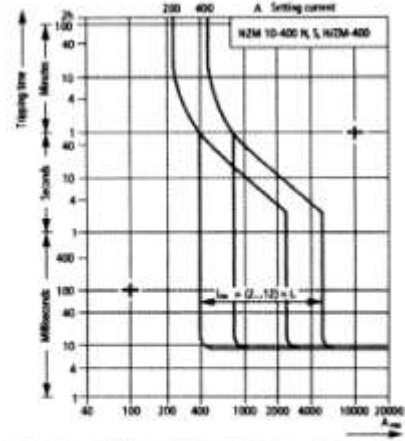
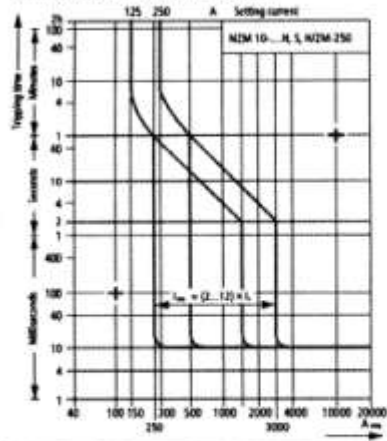


250	110	125 - 250	-	$2 - 12 \times I_n$	NZM10-400N/ZMM-250 047821
250	132	125 - 250	-		NZM10-400N/ZMM-250 047821
400	160	200 - 400	-		NZM10-400N/ZMM-400 034732
400	200	200 - 400	-		NZM10-400N/ZMM-400 034732
630	250	300 - 630	-		NZM10-630N/ZMM-630 034733
630	315	300 - 630	-		NZM10-630N/ZMM-630 034733

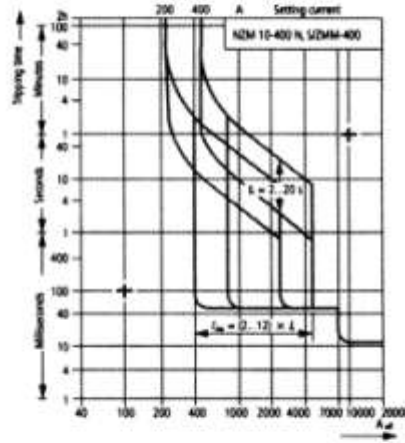
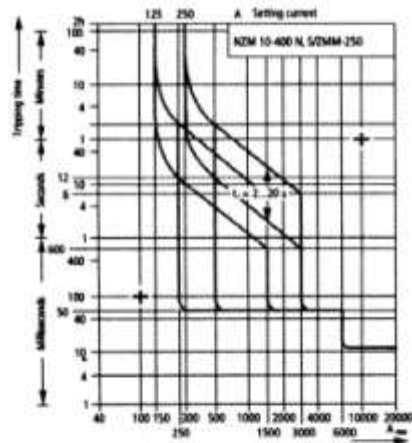


NZM10 Circuit-Breakers  
Tripping Characteristics

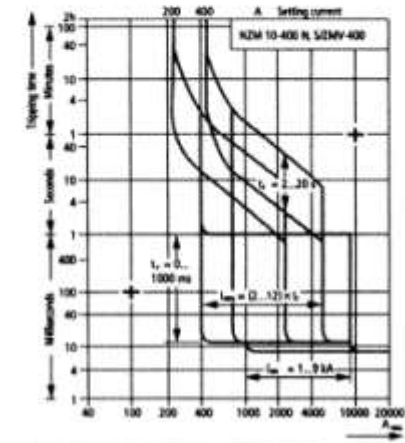
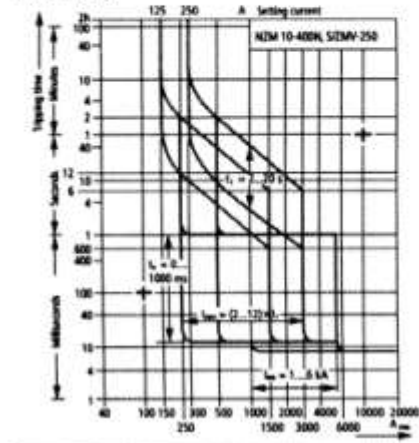
System protection, generator protection



Motor protection



Time selectivity



## קורס - מתקני חשמל ורשת-חשמלאי ראשי

סוללות קבלים לשיפור מקדם-הספק (באדיבות חב' קצנשטיין אדלר ושות')

### קבלים תלת פאזיים גיליים



מידות (מ"מ) גובה X קוטר	גודל פריקה KΩ	הספק ב- 440V 50Hz KVAR	הספק ב- 400V 50Hz KVAR	דגם	מק"ט
75X176	300	6.25	5	MKPg-5	26-1057
75X176	300	9.1	7.5	MKPg-7.5	26-1073
75X230	300	12.5	10	MKPg-10	26-1099
85X230	300	15	12.5	MKPg-12.5	26-1108
95X230	180	18.3	15	MKPg-15	26-1115
100X230	180	25	20	MKPg-20	26-1330
116x230	120	30	25	MKPg-25	26-1347
116x280	120	-	30	MKPg-30	26-1350

### קבלים תלת פאזיים בקופסא

מידות (מ"מ) עצגור	גודל פריקה KΩ	הספק ב- 440V 50Hz KVAR	הספק ב- 400V 50Hz KVAR	דגם	מק"ט
180X430X160	300	6.25	5	MKPg - BOX - 5 KVAR	26-1214
180X430X160	300	9.1	7.5	MKPg - BOX - 7.5 KVAR	26-1222
180X430X160	300	12.5	10	MKPg - BOX - 10 KVAR	26-1230
180X430X180	300	15	12.5	MKPg - BOX - 12.5 KVAR	26-1248
180X430X160	180	18.3	15	MKPg - BOX - 15 KVAR	26-1255
180X430X180	180	25	20	MKPg - BOX - 20 KVAR	26-1263
180X430X160	120	30	25	MKPg - BOX - 25 KVAR	26-1271
280X480X160	120	-	30	MKPg - BOX - 30 KVAR	26-1289
280X430X160	2X180	50	(2X20) 40	MKPg - BOX - 40 KVAR	26-1297
280X430X160	2X120	60	(2X25) 50	MKPg - BOX - 50 KVAR	26-1313
280X480X160	2X120	-	(2X30) 60	MKPg - BOX - 60 KVAR	26-1321

## קורס - מתקני חשמל ורשת-חשמלאי ראשי

מנועים אסינכרוניים תלת-פאזיים רוטור-כלוב (באדיבות חבר' יונה אושפיז מנועים)  
מהירות סינכרונית: 750 rpm , 1000 rpm , 1500 rpm , 3000 rpm

RATINGS AND PERFORMANCES												400V-50Hz
Speed SYN.	Output		Frame Type	Weight Kg.	Rated Speed RPM	Rated Current Amp.	$\eta$ %	Power Factor	GD <sup>2</sup> Kgm <sup>2</sup>	Ist In	Mst Mn	Mmax Mn
	KW	HP										
<b>1500</b>	0.37	0.5	K71	11	1350	1.04	71.0	0.72	0.004	3.7	2.1	2.5
	0.55	0.75	K71 <sup>Ⓜ</sup>	12	1390	1.46	74.0	0.74	0.005	4.2	2.2	2.7
	0.55	0.75	K80	15	1410	1.4	76.5	0.75	0.007	4.7	2.2	2.7
	0.75	1	K80	16	1410	1.8	77.0	0.78	0.010	4.8	2.2	2.7
	1.1	1.5	K80 <sup>Ⓜ</sup>	17	1410	2.6	78.0	0.79	0.012	5.3	2.1	2.7
	1.1	1.5	K90S	20.5	1420	2.5	79.5	0.80	0.015	5.2	2.1	2.7
	1.5	2	K90L	22	1420	3.3	81.5	0.80	0.017	5.7	2.1	2.8
	2.2	3	K90L <sup>Ⓜ</sup>	25	1420	4.8	82.8	0.80	0.023	6.2	2.2	2.7
	2.2	3	K100L <sup>Ⓜ</sup>	30	1425	4.7	83.7	0.81	0.030	6.3	2.2	2.7
	3	4	K100L	33	1430	6.2	84.0	0.82	0.040	6.4	2.2	2.8
	4	5.5	K112M	40	1430	8.2	85.8	0.83	0.058	6.5	2.3	2.7
	5.5	7.5	K112M <sup>Ⓜ</sup>	43	1430	11	86.5	0.83	0.065	6.8	2.4	2.7
	5.5	7.5	K132S	66	1430	11	87.4	0.84	0.096	7.0	2.2	2.8
	7.5	10	K132M	73	1440	14	88.0	0.85	0.123	6.5	2.2	3.0
	9.2	12.5	K132M	77	1450	18	88.6	0.84	0.14	7.0	2.3	3.0
	11	15	K160M	125	1450	21	89.8	0.84	0.34	6.5	2.2	2.4
	15	20	K160L	140	1455	27	91.2	0.85	0.45	6.5	2.0	2.5
	18.5	25	K180M	195	1460	34	91.2	0.86	0.57	6.5	2.0	2.5
	22	30	K180L	210	1460	41	91.7	0.85	0.64	6.5	1.9	2.5
	30	40	K200L	247	1470	54	92.8	0.85	0.85	7.0	2.0	2.6
	37	50	K225S	370	1470	67	93.7	0.85	2.09	7.0	2.0	2.5
	44	60	K225M	375	1470	79	94.2	0.87	2.56	7.0	2.0	2.5
	55	75	K250M	500	1475	98	94.4	0.87	2.88	7.0	2.0	2.5
	75	100	KN280M	670	1475	131	94.8	0.87	5.3	7.0	2.0	2.5
	90	125	KN280M	700	1480	165	95.0	0.88	6.8	7.0	2.0	2.5
	110	150	KN315S	950	1480	193	95.4	0.87	9.8	7.0	2.0	2.5
	132	180	KN315M	1050	1480	234	95.8	0.87	12.6	7.0	2.0	2.6
	160	220	KN315M	1150	1480	284	95.9	0.87	16	7.0	1.7	2.6
200	270	KN315L	1400	1490	338	95.8	0.89	18	6.5	1.3	2.6	
250	340	KN355M	1800	1485	422	96.2	0.90	37	7.2	1.6	2.5	
315	430	KN355L <sup>1-3</sup>	2050	1490	522	96.5	0.91	45	6.5	1.1	2.4	

$\eta$  - Efficiency  
Ist - Starting current  
In - Rated current

Mst - Starting torque  
Mn - Rated torque  
Mmax - Maximum torque

Terminals:  
up to 3HP - 6 terminals - 230V $\Delta$  / 400 VY  
above 3 HP - 6 terminals - 400V $\Delta$  / 690V Y











# קורס - מתקני חשמל ורשת-חשמלאי ראשי

## נורות פלורסנט (באדיבות געש תאורה)

אורך חיים (h)	אורך (L(mm))	קוטר D(mm)	טמפר' צבע °C	מקדם מסירת צבע Ra	שטף אור $\phi$ (lm)	בית נורה	הספק (W)	תיאור
12,000	590	26	2,900	50	1,150	TL-T8	18	פלואורסנט לבן חם
12,000	1,200	26	2,900	50	2,850	TL-T8	36	
12,000	1,500	26	2,900	50	4,600	TL-T8	58	
12,000	288	16	4,000	85	240	TL-T5	6	פלואורסנט לבן קר
12,000	517	16	4,000	85	450	TL-T5	8	
15,000	549	16	4,000	85	1,350	TL-T5	14	HIGH EFFICIENCY
15,000	849	16	4,000	85	2,100	TL-T5	21	HIGH EFFICIENCY
15,000	1,149	16	4,000	85	2,900	TL-T5	28	HIGH EFFICIENCY
15,000	1,449	16	4,000	85	3,650	TL-T5	35	HIGH EFFICIENCY
15,000	549	16	4,000	85	2,000	TL-T5	24	HIGH OUTPUT
15,000	849	16	4,000	85	3,500	TL-T5	39	HIGH OUTPUT
15,000	1,419	16	4,000	85	5,000	TL-T5	54	HIGH OUTPUT
	1,449	16	4,000	85	7,000	TL-T5	80	HIGH OUTPUT
12,000	590	26	4,100	65	1,150	TL-T8	18	
12,000	1,200	26	4,100	65	2,850	TL-T8	36	
12,000	1,500	26	4,100	65	4,600	TL-T8	58	
12,000	590	38	4,100	60	1,150	TL-T12	20	
12,000	1,200	38	4,100	60	2,800	TL-T12	40	
12,000	1,500	38	4,100	60	4,400	TL-T12	65	
12,000	2,400	38	4,100	60	8,600	TL-T12	105	
12,000	212	16	6,000	60	220	TL-T5	6	DL פלואורסנט אור יום
12,000	320	16	6,000	60	300	TL-T5	8	
15,000	549	16	6,000	85	1,300	TL-T5	14	HIGH EFFICIENCY
15,000	849	16	6,000	85	2,000	TL-T5	21	HIGH EFFICIENCY
15,000	1,149	16	6,000	85	2,750	TL-T5	28	HIGH EFFICIENCY
15,000	1,449	16	6,000	85	3,500	TL-T5	35	HIGH EFFICIENCY
15,000	549	16	6,000	85	1,900	TL-T5	24	HIGH OUTPUT
15,000	849	16	6,000	85	3,400	TL-T5	39	HIGH OUTPUT
15,000	1,419	16	6,000	85	4,900	TL-T5	54	HIGH OUTPUT
	1,449	16	6,000	85	6,650	TL-T5	80	HIGH OUTPUT
12,000	590	26	6,200	70	1,050	TL-T8	18	
12,000	1,200	26	6,200	70	2,500	TL-T8	36	
12,000	1,500	26	6,200	70	4,000	TL-T8	58	
12,000	590	38	6,200	70	1,050	TL-T12	20	
12,000	1,200	38	6,200	70	2,500	TL-T12	40	
12,000	1,500	38	6,200	70	4,000	TL-T12	65	
12,000	2,400	38	6,200	70	8,600	TL-T12	105	
15,000	590	26	3,000	85	1,350	TL-T8	18	ww פלואורסנט לבן חם
15,000	1,200	26	3,000	85	3,350	TL-T8	36	RABO TRIPHOSPHOR
15,000	1,500	26	3,000	85	5,200	TL-T8	58	
15,000	590	26	4,000	85	1,350	TL-T8	18	cw פלואורסנט לבן קר
15,000	1,200	26	4,000	85	3,350	TL-T8	36	RABO TRIPHOSPHOR
15,000	1,500	26	4,000	85	5,200	TL-T8	58	



HID נורות

אורך חיים (h)	אורך L (mm)	קוטר D (mm)	סמפ' צבע %	מקדם מסירת צבע Ra	שטף אור $\phi$ (lm)	בית נורה	הספק P (W)	תיאור
8,000	136	70	4,000	45	3,700	E27	80	כספית לחץ גבוה
8,000	170	75	4,000	45	6,200	E27	125	
8,000	226	90	4,000	45	12,700	E40	250	
8,000	290	120	4,000	45	22,000	E40	400	
15,000	220	130	4,100	65	14,000	Mogul	175	מסל הליד אונטו רגולטור
15,000	220	130	4,250	65	21,000	Mogul	250	
15,000	300	180	4,000	65	36,000	Mogul	400	
12,000	400	240	3,800	65	110,000	Mogul	1,000	
12,000	400	240	4,000	65	150,000	Mogul	1,500	
10,000	138	54	3,200	70	8,500	E27	100	מסל הליד אליפטי
10,000	138	54	3,200	70	13,000	E27	150	
10,000	226	90	4,000	70	17,000	E40	250	
10,000	290	120	3,900	70	31,000	E40	400	
5,000	114	20	4,200	80	5,500	RX7s	70	מסל הליד לינארי
5,000	114	20	3,000	75	5,000	RX7s	70	
5,000	132	23	4,200	85	11,250	RX7s	150	
5,000	132	23	3,000	75	13,000	RX7s	150	
5,000	163	25	4,200	85	20,000	Fc2	250	
5,000	163	25	3,000	80	20,000	Fc2	250	
5,000	206	31	5,400	90	35,000	Fc2	400	
8,000	90	20	3,000	80	3,400	G12	35	מסל הליד PREFOCUS
8,000	90	20	3,000	80	6,600	G12	70	MASTER COLOR
8,000	100	20	3,000	80	14,000	G12	150	
5,000	84	25	3,000	80	3,400	G12	35	מסל הליד PREFOCUS
5,000	84	25	4,200	85	5,500	G12	70	
5,000	84	25	3,000	85	5,200	G12	70	
5,000	84	25	4,200	85	12,600	G12	150	
8,000	84	25	3,000	80	12,000	G12	150	
5,000	149	32	4,200	85	5,300	PG12-2	70	מסל הליד PREFOCUS
5,000	149	37	4,200	85	12,000	PGX12-2	150	
8,000	257	47	5,400	90	19,000	E40	250	מסל הליד טובולרי
8,000	286	47	5,400	90	33,000	E40	400	
10,000	154	50	2,000	25	5,500	E27	70	ג.ל.ב טובולרי
10,000	210	50	2,000	25	8,500	E40	100	
20,000	210	50	2,000	25	15,000	E40	150	
20,000	257	60	2,000	25	28,000	E40	250	
20,000	280	60	2,000	25	48,000	E40	400	
7,000	380	60	2,000	25	130,000	E40	1,000	
10,000	156	70	2,000	25	3,500	E27	50	ג.ל.ב אליפטי
10,000	156	70	2,000	25	5,600	E27	70	
10,000	186	75	2,000	25	9,500	E40	100	
20,000	226	90	2,000	25	14,500	E40	150	
20,000	226	90	2,000	25	27,000	E40	250	
20,000	280	120	2,000	25	48,000	E40	400	

**גודל חיבור החשמל לצרכנים מסחריים ותעשייתיים**

גודל חיבור החשמל התקני במתח נמוך של צרכן מסחרי ותעשייתי נקבע לפי כלל הצרכנות 02-02-02, והוא בהתאם למפורט בטבלה שלהלן.  
ניתן להזמין רק גודל חיבור חשמל בהתאם לפירוט שלהלן.

גודל החיבור המוזמן על ידי הצרכן (אמפר)	נתיך חברת החשמל – זרם נקוב (אמפר)
40 x 1	63 x 1
25 x 3	35 x 3
40 x 3	63 x 3
63 x 3	80 x 3
80 x 3	100 x 3
100 x 3	125 x 3
125 x 3	160 x 3
160 x 3	200 x 3
200 x 3	250 x 3
250 x 3	315 x 3
315 x 3	400 x 3
400 x 3	500 x 3
500 x 3	630 x 3
630 x 3	800 x 3
800 x 3	910 x 3
910 x 3	1000 x 3