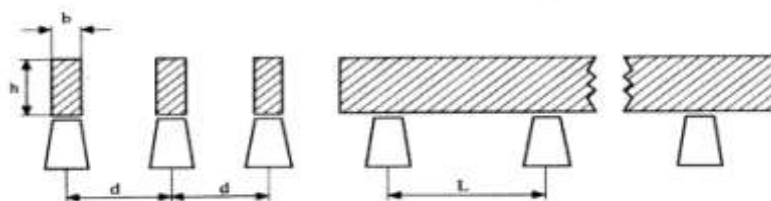


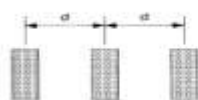
## פרק 6-ציוד בלוח חשמל

### חישוב פסי צבירה בלוח

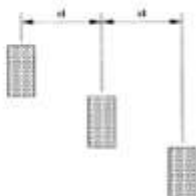
בדרך כלל בלוחות חשמל משתמשים בפסי צבירה מנחושת בצורה מלבנית, כשהם מחוזקים ע"י מבודדי תמיכה. המרחק בין נקודות החיזוק של הפסים חייב להתאים לכוחות האלקטרו דינמיים, העשויים להתפתח בזמן מעבר זרמי קצר. המרחק המקובל בין פסים של מופעיים שונים בלוחות למתח נמוך  $d = 10\text{cm}$  ולא פחות מ-  $3\text{cm}$ .



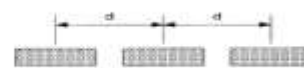
שיטות התקנה פסי צבירה:



מאונך מקבילי



מאונך מדורג



מאונך מקבילי

לצורך קביעת חתך פסי הצבירה, המרחקים ביניהם, חוזק המבודדים וכו' יש לערוך סדרת חישובים.

שלב החישוב:

- א. בחירת שטח חתך של פסי הצבירה מבחינת העמסת מותרת- בשלב זה קובעים את חתך הפס  $S(\text{mm}^2)$ , גובהו  $h(\text{mm})$ , ורוחבו  $b(\text{mm})$ .  
 הנתון הקובע הוא הזרם הנתון של המפסק הראשי בלוח החשמל  $I_n$ .  
 הזרם המתמיד המרבי של פסי הצבירה בחתכים השונים נתון בקטלוגים של היצרנים. יש לבחור את החתך לפי התנאי:  $I_z \geq I_n$ .

- ב. בדיקת עמידות הפס בהלם תרמי- בשלב הזה בודקים האם החתך הנבחר מספיק בכדי לעמוד בהעמסה תרמית בזרמי קצר. חתך הפס המינימאלי שיעמוד בהלם תרמי נתון מחושב ע"י הנוסחה הבאה:

$$S = \sqrt{\frac{I_k^2 * t}{k^2}}$$

כאשר:

$S$  - שטח חתך של הפס ( $\text{mm}^2$ ).

$I_k$  - זרם קצר התלת מופעי הצפוי על פסי הצבירה (A).

$t$  - זמן ניתוק הקצר ע"י המפסק הראשי, כאשר המפסק פועל ללא השהיה ניתן לקבוע כי:  $t = 0.1\text{s}$ . (מומלץ לבדוק את עמידות הפס בזרם קצר לזמן של 3s).

$k$  - מקדם המאפיין את צפיפות הזרם בשניה. עבור נחושת גלויה:  $k = 155$ .

יש לבדוק שחתך הפס הנבחר בסעיף א' אינו קטן מחתך המינימאלי המחושב בסעיף זה, ולהגדילו במידה ויש צורך.  
 ג. בדיקת עמידות הפסים בפני כוחות אלקטרו דינמיים- בשלב זה קובעים את המרווח המקסימאלי (L) בין 2 המבודדים (בין 2 נקודות החיזוק) של פס אחד.  
 העברת זרם דרך פסי הצבירה יוצרת כוחות אלקטרו דינמיים בין הפסים המותקנים במקביל. ניתן לחשב את הכוח הפועל על פס אחד בעת העברת זרם הלם לפי הנוסחה הבאה:

$$F = \frac{1.76 * I_{shok}^2 * L}{d * 100}$$

כאשר:

-F הכוח הפועל על פס הצבירה בקטע שבין 2 מבודדים (kgf) (ק"ג כוח).  
 -L מרווח בין 2 מבודדים של פס אחד (cm).  
 -I<sub>shok</sub> זרם הלם (kA).  
 -d מרחק בין פסים של מופעים שונים (cm).  
 הכוח F מפעיל על הפס מאמץ כפיפה  $\sigma$  (סיגמא).

$$\sigma = \frac{F * L}{12 * W}$$

כאשר:

- $\sigma$  מאמץ כפיפה שפועל על הפס (kg/cm<sup>2</sup>).  
 -W מומנט ההתנגדות (cm<sup>3</sup>), הנתון ע"י הנוסחה  $W = 0.17 * b^2 * h$  כאשר הפסים מותקנים המצב מאונך ו-  $W = 0.17 * b * h^2$  כאשר הם מותקנים במצב מאוזן.  
 -h גובה הפס (cm).  
 -b עובי הפס (cm).

תנאי לעמידת פסי הצבירה בפני כוחות האלקטרו דינמיים הוא שמאמץ הכפיפה לא יעלה על הערך המרבי המותר לנחשת:  $\sigma_{max} = 2500 \left(\frac{gk}{cm^2}\right)$   
 לפי תנאי זה ניתן לחשב את המרחק המרבי בין 2 מבודדים של פס אחד:

$$L_{max} = \sqrt{\frac{\sigma_{max} * 12 * W * d * 100}{1.76 * I_{shok}^2}}$$

לאחר הצבת הערכים נקבל עבור הפסים המותקנים במאונך:

$$L_{max} = 538 * \frac{b}{I_{shok}} * \sqrt{h * d}$$

על המרחק הנבחר בין החיזוקים להיות קטן מהערך המחושב בסעיף זה.  
 ד. בדיקת עמידות פסי הצבירה בפני תהודה-

בשלב זה בודקים האם מידות הפס והמרחק בין החיזוקים לא יגרמו לתופעת תהודה במערכת פסי הצבירה. לשם כך יש לחשב את תדירות התהודה הטבעית של פסי הצבירה לפי הנוסחה:

$$f_0 = \frac{112}{L^2} * \sqrt{\frac{E * J}{G}}$$

כאשר:

-f<sub>0</sub> תדירות הטבעית של הפס (Hz).

## קורס- מתקני חשמל -הנדסאי חשמל

$L$  - המרחק בין המבודדים (cm).

$E$  - מודול האלסטיות השווה ל-  $1.1 \cdot 10^6 \text{ (gk/cm}^2\text{)}$  עבור נחושת.

$J$  - מומנט האינרציה המחושב לפי:  $J = \frac{b^3 \cdot h}{12} \text{ (cm}^4\text{)}$  עבור התקנה במאונך.

$J = \frac{h^3 \cdot b}{12} \text{ (cm}^4\text{)}$  עבור התקנה במאוזן.

$G$  - משקל 1cm פס צבירה (kg/cm).

המשקל הסגולי של נחושת הוא:  $g_0 = 8.9 \cdot 10^{-3} \text{ (}\frac{\text{gk}}{\text{cm}^3}\text{)}$ , מכאן :

$$G = g_0 \cdot h \cdot b$$

לאחר הצבת הערכים נקבל את הנוסחה הבאה:

$$f_0 = 3.6 \cdot 10^5 \cdot \frac{b}{L^2}$$

כוחות התהודה המסוכנים ביותר מתפתחים בתדרים השווים לתדר הרשת

ולמכפלתו. יש לבדוק שהתדירות הטבעית של הפסים אינה בתחומים:

45-60Hz ו- 80-110Hz. אם מסתבר שהתדירות הטבעית נמצאת באחד מהתחומים

המסוכנים, יש לשנות את המרחק  $L$  בין המבודדים ושוב לבדוק את החישוב.

### תרגיל דוגמא 1

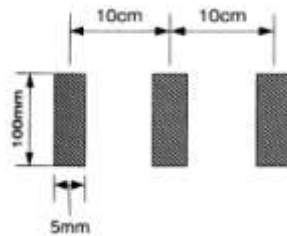
חשב את פסי הצבירה ללוח חשמל ראשי במתקן למתח נמוך. המפסק הראשי בלוח:

1000A, המפסק מכיל לזמן ניתוק 0.3s, עכבת הקצר עד למפסק:  $Z_k = j5.08m\Omega$ .

### פתרון לתרגיל דוגמא 1

נקבע לפי קטלוג היצרן את מידת הפס עבור זרם צפוי 1000A לפי התנאי:  $I_z \geq I_n$ :

$h=100mm$ ,  $b=5mm$ . נבחר במרחק סטנדרטי בין הפסים  $d=10cm$ .



נבדוק עמידות הפסים בהלם תרמי:

$$I_k = \frac{1.1 \cdot Un}{\sqrt{3} \cdot Z_k} = \frac{1.1 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 5.08 \cdot 10^{-3}} = 50KA$$

נחשב שטח החתך הנדרש (עבור פס נחושת גלויה,  $k=155$ ):

$$S = \sqrt{\frac{I_k^2 \cdot t}{k^2}} = \sqrt{\frac{(50 \cdot 10^3)^2 \cdot 0.3}{155^2}} = 176.685mm^2$$

שטח החתך של הפס שבחרנו הוא:  $A = b \cdot h = 5 \cdot 100 = 500 mm^2$

מסקנה: הפסים עומדים בפני זרם הלם.

נחשב את המרחק בין המבודדים בתנאי עמידות בפני כוחות אלקטרו דינמיים:

נחשב את זרם ההלם הצפוי-  $I_{shok} = \sqrt{2} \cdot k \cdot I_k$

את מקדם ההלם ניתן למצוא לפי הטבלה לפי היחס:  $\frac{R_k}{X_k}$

$$\frac{R_k}{X_k} = \frac{0}{5.08} = 0 \Rightarrow k = 2$$

## קורס- מתקני חשמל -הנדסאי חשמל

$$I_{shok} = \sqrt{2} * k * I_k = \sqrt{2} * 2 * 50 * 10^3 = 141.421KA$$

$$L_{max} = 538 * \frac{b}{I_{shok}} * \sqrt{h * d} = 538 * \frac{0.5}{141.421} * \sqrt{10 * 10} = 19cm$$

כיוון ש- 19cm היא לא מידה סטנדרטית, נבחר במידה סטנדרטית וכן גם ליתר ביטחון:  
L=15cm

נבדוק את עמידות הפסים בפני תהודה:

$$f_0 = 3.6 * 10^5 * \frac{b}{L^2} = 3.6 * 10^5 * \frac{0.5}{15^2} = 800Hz$$

ניתן לראות שאין סכנת תהודה.

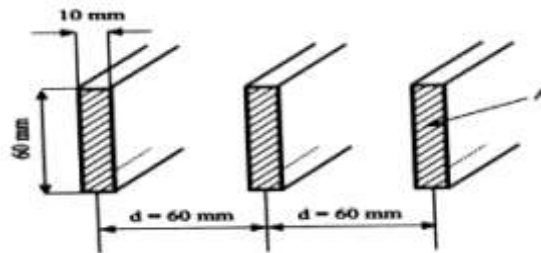
### תרגיל דוגמא 2

לוח ראשי מוזן משנאי תלת מופעי על ידי קו הזנה שאורכו 100m. הקו מורכב מכבלי נחושת

$$X_0 = 0.08 \frac{\Omega}{km} \text{ ההיגב ליחידת אורך של הכבל הוא } 3x(4x185)mm^2$$

נתוני השנאי:  $U_{r\%} = 1.2\%$  ;  $U_{k\%} = 4\%$  ;  $22/0.4kV$  ;  $S = 630KVA$  ;  
בלוח מתוקנים פסי צבירה כמתואר באיור בעלי הנתונים הבאים:

$$\sigma = 1200 \frac{kg}{cm^2} ; d = 60mm ; A = 10 \times 60mm^2$$



א. חשב את זרם הקצר בפסי הצבירה בלוח.

ב. קבע את אורך המרבי של פס הצבירה בין 2 מבודדים שיבטיח עמידה בפני מאמץ מכני.

ג. קבע את זמן התגובה המרבי של מערכת ההגנה בלוח.

### פתרון לתרגיל דוגמא 2

א. חישוב עכבת הכבל-

$$R_L = \rho * \frac{l}{A} = 0.018 * \frac{100}{3 * 185} = 3.243m\Omega$$

$$X_L = X_0 * l = \frac{0.08}{1000} * 100 = 8m\Omega$$

$$Z_L = R_L + jX_L = (3.243 + j8)m\Omega$$

חישוב עכבת השנאי-

$$R_{TR} = \frac{U_{r\%} * Un^2}{100 * Sn} = \frac{1.2 * 400^2}{100 * 630 * 10^3} = 3.048m\Omega$$

$$Z_{TR} = \frac{U_{k\%} * Un^2}{100 * Sn} = \frac{4 * 400^2}{100 * 630 * 10^3} = 10.159m\Omega$$

$$X_{TR} = \sqrt{Z_{TR}^2 - R_{TR}^2} = \sqrt{10.159^2 - 3.048^2} = 9.69m\Omega$$

$$Z_{TR} = R_{TR} + jX_{TR} = (3.048 + j9.69)m\Omega$$

$$Z_k = Z_L + Z_{TR} = 3.243 + j8 + 3.048 + j9.69 = 6.291 + j17.69 = (18.775 \angle 70.42^\circ)m\Omega$$

$$I_k = \frac{1.1 * Un}{\sqrt{3} * Z_k} = \frac{1.1 * 400}{\sqrt{3} * 18.775 * 10^{-3}} = 13.53KA$$

ב. חישוב אורך מרבי של פסי הצבירה-

$$\frac{R_k}{X_k} = \frac{6.291}{17.69} = 0.355 \Rightarrow k \approx 1.35$$

$$I_{shok} = \sqrt{2} * k * I_k = \sqrt{2} * 1.35 * 13.53 * 10^3 = 25.831KA$$

$$W = 0.17 * b^2 * h = 0.17 * 1^2 * 6 = 1.02cm^2$$

$$L_{max} = \sqrt{\frac{\sigma_{max} * 12 * W * d * 100}{1.76 * I_{shok}^2}} = \sqrt{\frac{1200 * 12 * 1.02 * 6 * 100}{1.76 * 25.831^2}} = 86.63cm$$

ג. חישוב זמן מרבי לניתוק ההגנה למניעת פגיעה בפסי הצבירה-

$$t = \left( \frac{k * S}{I_k} \right)^2 = \left( \frac{155 * 10 * 60}{13.53 * 10^3} \right)^2 = 47.25s$$

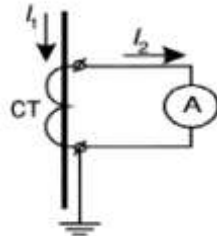
למרות התוצאה שקבלנו הזמן המרבי לניתוק ההגנה יהיה 5s בהתאם לתקנה.

### מדידות זרם ומתח

לצורך מדידת זרמים ומתחים גדולים באמצעות מכשירי מדידה סטנדרטיים המיועדים לזרמים ומתחים נמוכים, משתמשים בשנאי מדידה. למדידה מסוג זה קוראים מדידה משנית, לעומת מדידה ראשונית, כאשר מכשיר המדידה מחובר ישירות למעגל הנמדד.

### מדידת זרם

שנאי מדידה המיועד למדידת זרם נקרא "משנה זרם" (CT), ותפקידו להפריד בין מעגל הזרם החזק לבין מעגל האמפרמטר. יישום משנה הזרם מעלה את אמינות המעגל לזרם חזק מאחר ומכשיר המדידה אינו מותקן ישירות במעגל, ומאפשר שימוש במוליכים בעלי שטח חתך קטן לחיבור האמפרמטר. כמו כן ניתן להתקין מכשיר מדידה במרחק מסוים מהמעגל הנמדד או מספר מכשירי מדידה בחיבור טורי אם יש צורך.



### מקדם השנאה של משנה זרם:

$$\frac{I_{1n}}{I_{2n}} = \frac{N_2}{N_1}$$

לפי בחירת מקדם השנאה של משנה הזרם יש לבחור סקלה של האמפרמטר, כאשר הזרם המרבי של סקלת האמפרמטר יהיה לא פחות מהזרם המרבי של המעגל הנמדד.

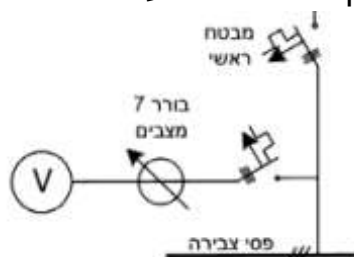
זרם המשני של "משנה הזרם" מותאם עם מכשירי המדידה הסטנדרטיים ושווה ל- 5A.

מאחר והתנגדות של האמפרמטר נמוכה, משנה הזרם פועל בתנאים הקרובים לקצר. הסליל המשני חייב להיות מחובר למכשיר המדידה. אם מסיבה כל שהיא מעגל הסליל המשני יפתח, שטף בליבת השנאי יעלה פי כמה וכמה. שטף זה יכול לגרום להשראת מתח גדול בסליל המשני ולפריצת הבידוד וכן לגרום להתחממות השנאי עקב עליית הפסדי הברזל. מסיבה זו על פי תקנות החשמל (העמסה והגנה על מוליכים) אסור להתקין מבטח או מפסק במעגל המשני של משנה הזרם.

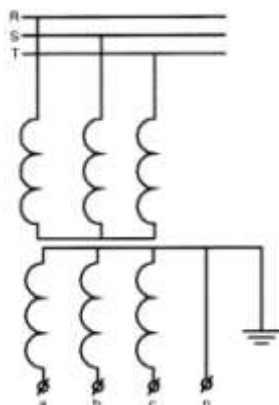
משנה הזרם מהווה מקור מתח ועל פי תקנות החשמל (הארקות ואמצעי הגנה בפני חשמול) יש להתקין הארקת שיטה באחד מהדקיו.

### מדידת מתח

מדידת מתח במתקנים למתח נמוך:  
 במתקנים למתח נמוך משתמשים למדידת מתח במדידה ראשונית, כאשר הוולטמטר מחובר ישירות למתח המתקן. באמצעות בורר 7 מצבים מתאפשר מדידת מתחים פאזיים וקווים של המתקן באמצעות מכשיר מדידה אחד.  
 מעגל הוולטמטר חייב להיות מוגן בפני זרם יתר ע"י מאבטח בעל כושר ניתוק מתאים.



מדידת מתח במתקנים למתח גבוה:  
 למדידת מתח במתקן למתח גבוה משתמשים ב"משנה מתח" (PT). אשר מהווה שנאי תלת מופעי עם חיבור סלילים Y/y ותפקידו להפריד בין מעגל מתח גבוה לבין מעגל הוולטמטר. ישום זה מאפשר מדידת מתחים גבוהים ע"י מכשירים סטנדרטיים אשר יכולים להיות מרוחקים מהרשת הנמדדת ומאפשרת שימוש במוליכים בעלי בידוד למתח נמוך.



### מקדם השנאה של משנה מתח:

$$\frac{U_{1n}}{U_{2n}} = \frac{N_1}{N_2}$$

מקדם השנאה של "משנה מתח" הוא יחס המתחים בראשוני ובמשני

לפני בחירת מקדם השנאה של משנה מתח יש לבחור את סקלה הוולטמטר כאשר המתח המרבי של סקלת הוולטמטר לא תהיה פחות מהמתח הקווי של הרשת הנמדדת.  
 מתח המשני הנקוב של "משנה המתח" מתואם עם מכשירי מדידה סטנדרטיים ושווה ל-  
 100V או 110V.

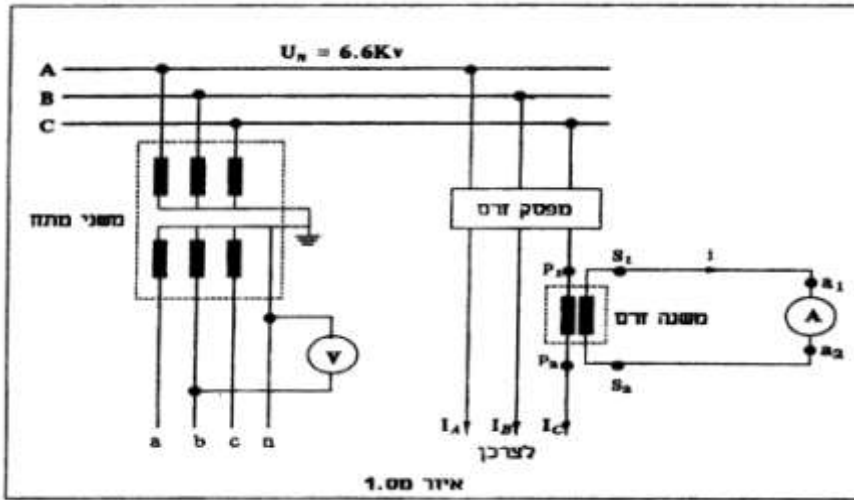
כדי להגן על מעגלי המדידה בפני אפשרות פריצת מתח גבוה, חובה להאריק את נקודת הכוכב של הסליל המשני.

### תרגיל דוגמא 1

באיור מס' 1 מתוארת סכמה עקרונית להזנת מכשירי מדידה באמצעות שנאי מדידה: משנה זרם ומשנה מתח.

## קורס- מתקני חשמל -הנדסאי חשמל

הזרם הנקוב של האמפרמטר הוא 5A ותחום הסקאלה שלו- 0-200A.  
 המתח הנקוב של הוולטמטר הוא 100V ותחום הסקאלה שלו- 0-7KV.  
 הזרם הנקוב של הצרכן הוא 95A.



- א. מה צריך להיות קריאת 2 מכשירי המדידה בזמן הפעלת הצרכן לפי הספקו הנקוב?  
 ב. איזה יחס השנאה צריך להיות עבור השנאים.

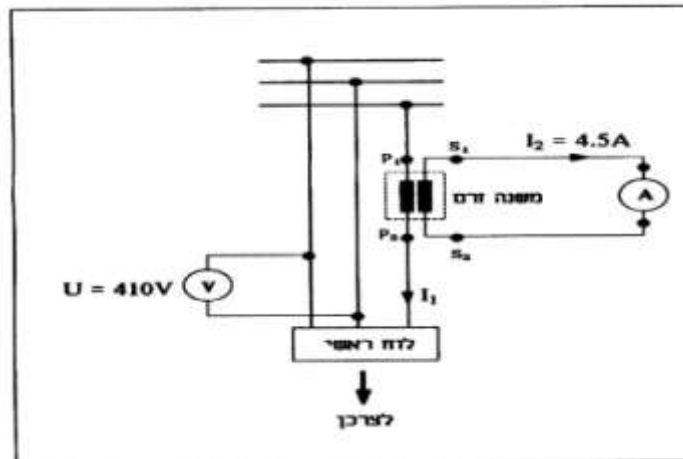
פתרון לתרגיל דוגמא 1

א.  $95A, 3.81KV$

ב.  $PT = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_{1n}}{U_{2n}} = \frac{7000}{100}$ ,  $CT = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_{1n}}{I_{2n}} = \frac{200}{5}$

תרגיל דוגמא 2

באחד המופעים של קו זינה ללוח ראשי תלת מופעי מורכב משנה זרם בעל יחס השנאה של-  
 $1/100$  הזרם במשני של השנאי  $I_2 = 4.5A$ . המתח השלוב הנמדד בלוח באמצעות  
 הוולטמטר הוא 410V.



- א. חשב מה הזרם שיורה האמפרמטר.  
 ב. חשב מה ההספק המדומה המועבר מהלוח הראשי לצרכן.

פתרון לתרגיל דוגמא 2

א.

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{I_{1n}}{I_{2n}} \Rightarrow \frac{100}{1} = \frac{I_{1n}}{4.5} \Rightarrow I_{1n} = 100 * 4.5 = 450A$$

ב.

$$S_n = \sqrt{3} * U_n * I_{1n} = \sqrt{3} * 410 * 450 = 319.563KVA$$

## פרק 7-הארקות והגנות בפני התחשמלות

מסה כללית של האדמה:



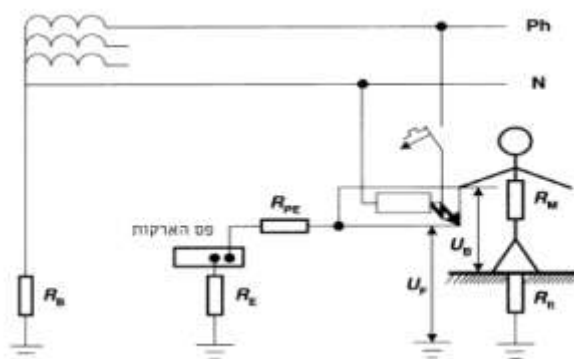
תחום האדמה המרוחק מאלקטרודת הייחוס במידה כזאת, שהמתח בין נקודות כלשהן בתחום זה הנו זניח. כאשר קיים מתח בין 2 אלקטרודות באדמה A ו-B, עובר בניהם זרם I. מתח הנמדד בין האלקטרודה A לבין נקודה כלשהי באדמה, הנמצאת בין 2 אלקטרודות, גדל ככל שמתרחקים מהאלקטרודה A. זהו תחום השפעת האלקטרודה ואורכו נחשב שווה לעומק 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 הארקת שיטה.

$R_E$  - התנגדות אלקטרודת הארקה.

$R_{PE}$  - התנגדות מוליך הארקה.

$R_M$  - התנגדות גוף האדם.



## קורס - מתקני חשמל -הנדסאי חשמל

Rf - התנגדות הרצפה.

Uf - מתח תקלה.

Ub - 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:

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

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

### מטרות מערכת הארקה:

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

### נזקי התחשמלות:

- א. התכווצויות בלתי רצוניות של שרירים.
- ב. פגיעה במערכת העצבים.
- ג. כוויות.
- ד. 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:

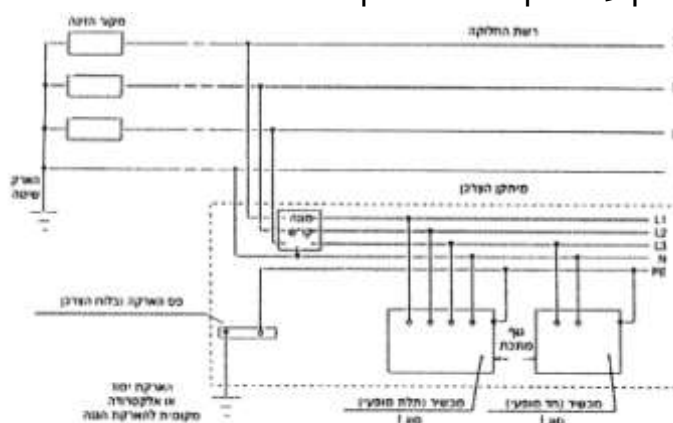
1. הארקת הגנה.
2. איפוס.
3. הפרד מגן.
4. זינה צפה.
5. מפסק מגן.
6. בידוד מגן
7. מתח נמוך מאוד.

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 בנקודת האפס במתקן כך שנוצר מצב שבו המתחים בין הפאזות לבין האפס במתקן אינו נשמר ותפקיד הארקת השיטה לדאוג לייצוב המתח במתקן בכך דואגת שהמתח על כל 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 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 וכך היא הבטיחה מסלול תקלה לאדמה צורה זולה. עם השנים החלו להשתמש בצנרת מחומרים בעלי הולכה חשמלית גרועה (כדוגמת צנרת פלסטיק) וכתוצאה מכך פגעו באיכות הארקה הגנה. כדי לפתור בעיה זו מצאו פיתרון מעשי וזול וזאת להשתמש בברזלי הזיון של הבניין כאלקטרודה לחיבור לאדמה. פתרון זה נקרא הארקה יסוד והוגדרו בחוק החשמל קובץ של תקנות עבור חיבור זה.

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

הארקה היסוד בנויה מ-3 חלקים עיקריים:

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

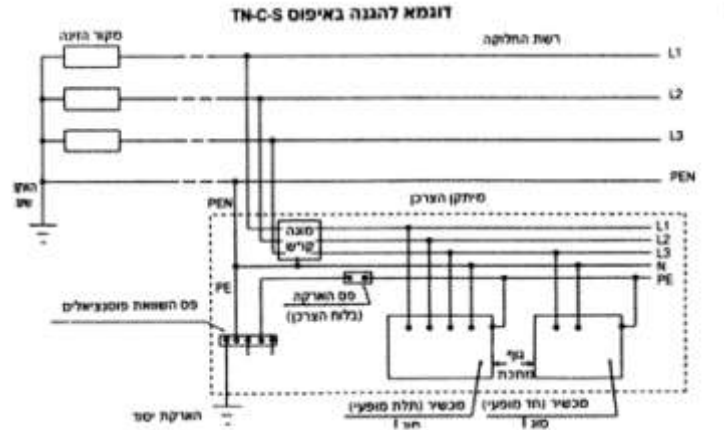
3. פס השוואת הפוטנציאליים- פס נחושת מלבני בהתאם לתקנה בחוק החשמל ומטרתו אמצעי חיבור בין כל חלקי המתכת במבנה לצורך השוואת הפוטנציאל שלהם לאדמה.

### 2. שיטת האיפוס

כפי שהוסבר השימוש בהארקה ההגנה מותנה בכך שלולאת התקלה תהיה נמוכה מאוד והיא תלויה גם 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 להארקה ההגנה וזאת בתנאים הבאים:

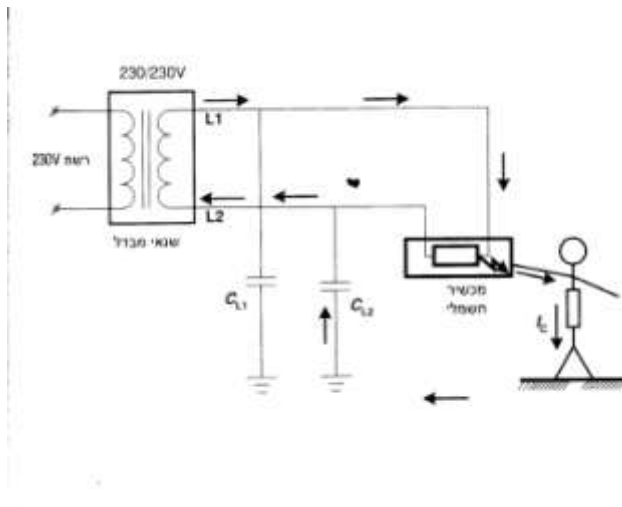
- א. התנגדות הארקה ההגנה (בלבד ללא שיטת האיפוס) לא תעלה על  $20\Omega$ .
- ב. באישור בעל הרשת (לדוגמה ח"ח) אשר מבטיח חתך מתאים למוליך האפס.
- ג. קיימת במתקן השוואת פוטנציאליים של כל חלקי המתכת.
- ד. חיבור שיטת האיפוס בהתאם לתקנות.



3. הפרד מגן

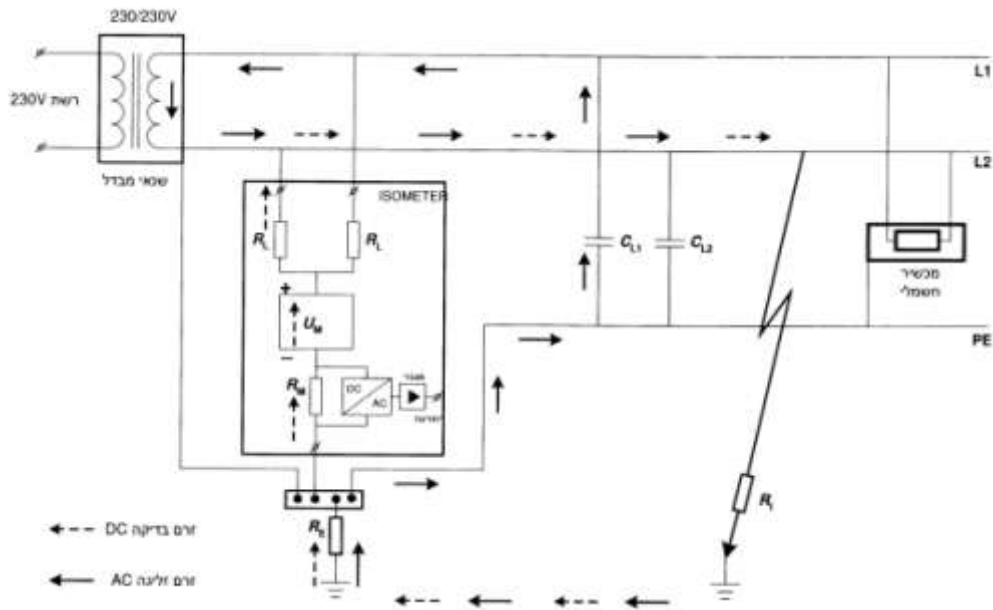
הרעיון בשיטה זו למנוע אפשרות של סגירת מעגל תקלה דרך האדמה ע"י הפרדת הצרכן מהארקת השיטה. התנאים בשימוש בשיטה זו הם:

- 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 ביניהם 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 C11 ובחזרה לשנאי. זרם הזליגה זה יכול לגרום להיווצרות מתח תקלה השווה למפל המתח על ההתנגדות בין הארקה לבין המסה הכללית של האדמה Re. המשגוח מצויד במקור מתח Um אשר במקרה של תקלה בבידוד יגרום לזרימת זרם DC דרך מוליך הרשת L2, האדמה, התנגדות הארקה ובחזרה למשגוח. על הנגד Rm ייווצר מפל מתח, שערכו תלוי בהתנגדות הבידוד Ri- ככל שהתנגדות הבידוד נמוכה יותר כך המתח על נגד Rm יהיה גדול יותר. תפקיד המשגוח הוא להתריע כאשר התנגדות הבידוד יורדת מתחת לערך מסוים.

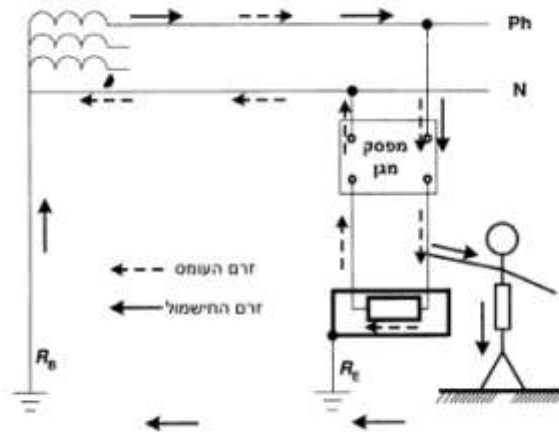
הסכנות בשימוש בשיטה זו הם:

- א. יש צורך בייצוב מתח (כיוון שאין 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.

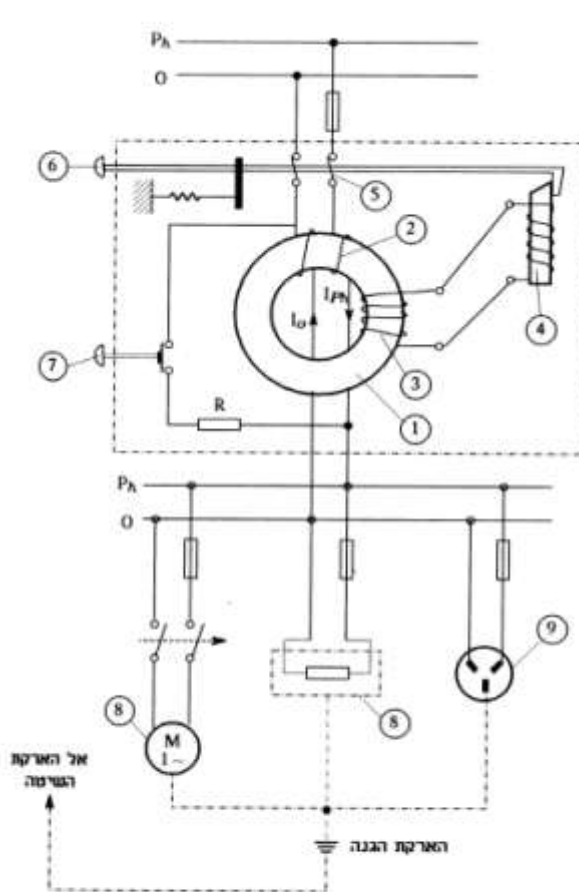
התנאים לשימוש בשיטה זו הם:

- א. שימוש באזור מוגבל תחת השגחה רצופה של חשמלאי מורשה.
  - ב. שימוש בציוד 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 שמועדים לזרמים נומינאליים שונים כדוגמא: 25A,40A,63A,80A. 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  $I_{kph} \geq 10 * I_{\Delta n}$
- 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. הפרד 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

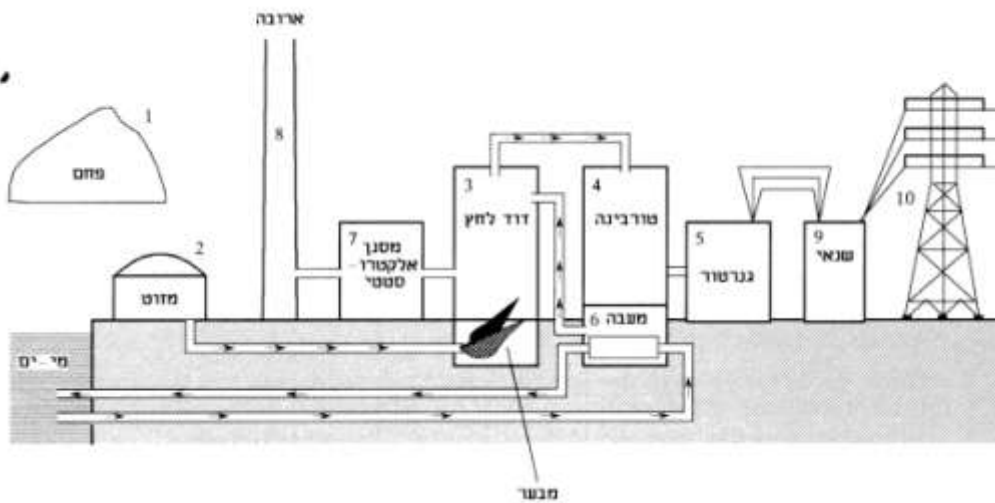
מטרת השיטה למנוע הופעת מתח העולה על 50V. בשיטה זו נמנעת היווצרות מתח מגע הגדול מ-50V. ובהעדרות הארקה שיטה נמנעת סגירת לולאת תקלה .



## פרק 8 מערכות הספק למתח גבוה ועליון

משק החשמל בישראל מבוססת על תחנות כוח המקושרות זו לזו. תחנות הכוח מייצרות חשמל באמצעות גנראטורים 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 ובלחץ גבוהים מוזרם הקיטור אל להבי הטורבינה [4], ומסובב אותן במהירות של 3,000 סיבובים בדקה. ציר הטורבינה מסובב את ציר הגנרטור [5] המייצר את החשמל. בכך לא תמה דרכו של הקיטור. הוא מקורר באמצעות מי-ים במחליפי חום מיוחדים הנקראים מעבים [6], מתעבה למים, ומוזרם לשימוש חוזר בדוד השריפה. גזי השריפה הנוצרים בדוד מועברים דרך מסנני שיקוע אלקטרוסטטיים [7] אל הארובה הגבוהה [8], ונפלטים בגובה רב. המסננים האלקטרוסטטיים משמשים רק כאשר ייצור החשמל נעשה בפחם, ותפקידם לקלוט את רוב רובו של האפר המרחף הנוצר בתהליך השריפה. החשמל הנוצר בגנרטור מועבר לשנאים גדולים [9], ומהם אל המערכת הארצית [10], המעבירה ומחלקת את החשמל לכל חלקי הארץ.



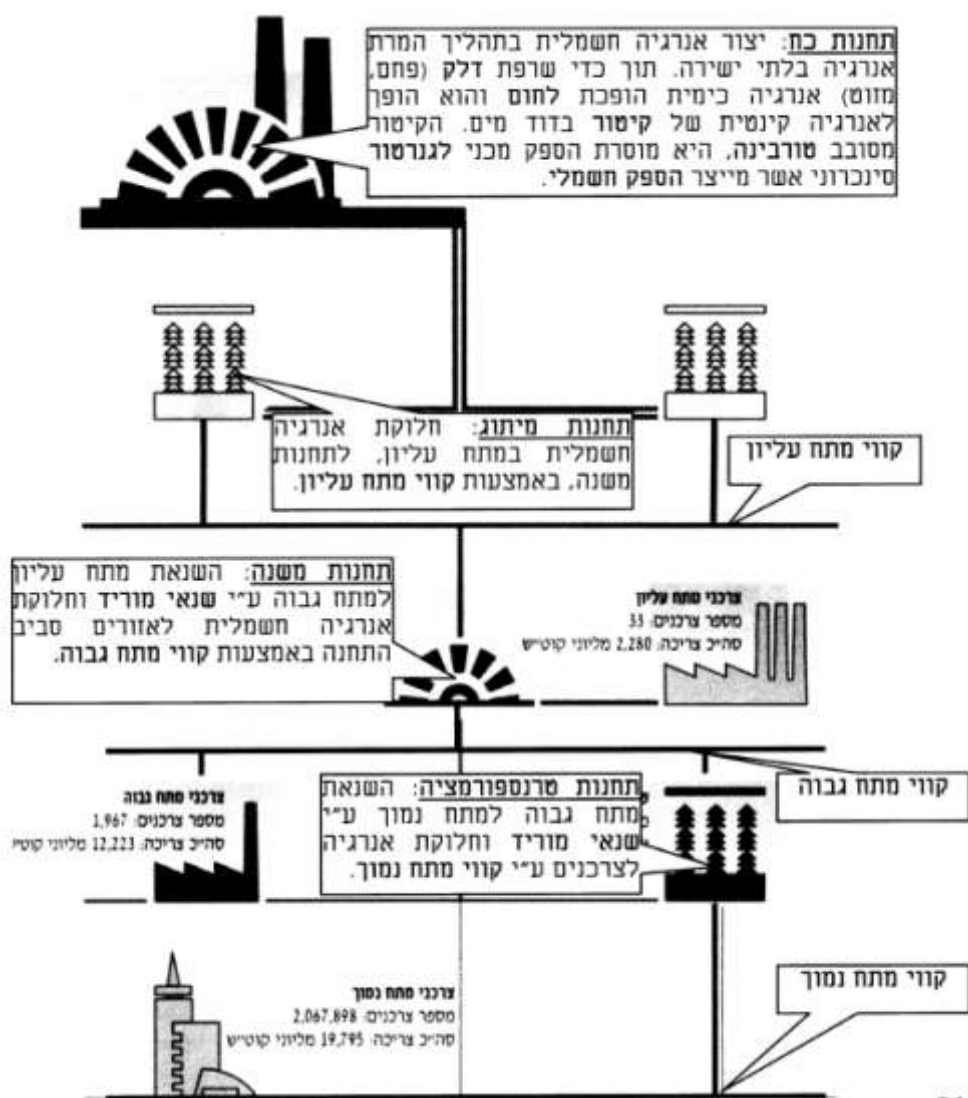
### מערכות חלוקה ארצית

המתח החשמלי (כ"מ) המופק מהגנראטורים 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.

מבנה מערכת הספק ארצית



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:

- מפגע לנזף ולסביבה
- א. חשופה לברקים ותקלות.
  - ב. מסוכנת יותר.
  - ג. גוזלת שטחי קרקע נרחבת.
- באמצעות רשת תת קרקעית-

יתרונות השיטה:

- אינה נראת לעין אסתטית.
- אינה יקרה הרבה בהקמה עם מקימים אותה מראש באזור.
- בטוחה יותר.
- גוזלת פחות קרקע.

חסרונות השיטה:

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

### מעגלי תמורה של מרכיבי מערכת הספק

מרכיבי מערכת הספק למתח גבוה ומת עליון הם:

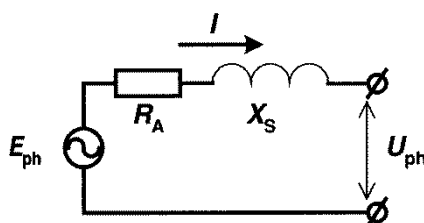
- גנראטורים סינכרוניים.
- שנאים.
- קווים (עלילים ותת קרקעיים).
- קבלים לשיפור מקדם ההספק.

לצורך הקלה בחישובים ניתן להציג את כל מרכיב במערכת ע"י מעגל תמורה המהווה חיבור טורי, מקבילי או מעורב של מרכיבים פשוטים כגון נגד, סליל וקבל. מעגל התמורה משקף את מרכיב המערכת בצורה הנכונה כאשר זרמים, מתחים והספקים מחושבים באמצעותו שווים בקירוב מסוים לערכים הנמדדים בפועל. מעגל תמורה מציג מופע אחד של מרכיב במערכת התלת מופעית. רכיבים אומים של מעגלי התמורה מבטאים הפסדי הספק ממשי במערכת.

### גנראטור סינכרוני

גנראטור סינכרוני מוצג על ידי מעגל תמורה מקורב "Γ" (גמה).

את רכיבי המעגל:  $-X_s$  היגב סינכרוני ו-  $-R_A$  התנגדות העוגן ניתן לחשב על-פי תוצאות של ניסוי בקצר.



ההספק הנקוב של גנראטור ברשת הארצית מגיע לכמה מאות MVA. במעגל התמורה של הגנראטור בגודל כזה ניתן להזניח את הרכיב האקטיבי  $R_A$ .

### שנאי

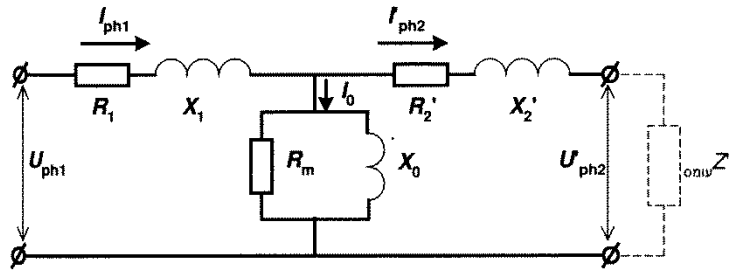
מעגל תמורה "ד" כולל רכיבים של הסליל הראשוני  $(R_1, X_1)$ , רכיבים משוקפים של הסליל המשני  $(R'_2, X'_2)$  וענף המיגנוט  $(R_m, X_0)$ .

את התנגדות הסלילים  $R_1, R_2$  ואת ההיגבים  $X_1, X_2$  ניתן לחשב על-פי תוצאות של ניסוי בקצר, ואת הערכים המשוקפים מקבלים באמצעות יחס מספרי כריכות:

$$R'_2 = R_2 \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2 \quad X'_2 = X_2 \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2$$

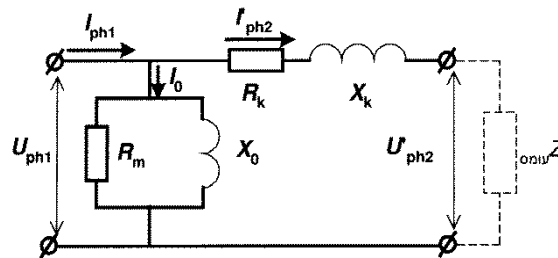
## קורס- מתקני חשמל -הנדסאי חשמל

ואת הרכיבים של ענף המגנט  $R_m, X_0$  מקבלים בניסוי ריקם.



מעגל תמורה "Γ" (גמה) פשוט יותר, אך פחות מדויק. הרכיבים של הסליל הראשוני והסליל המשני מחוברים במעגל זה יחד:

$$R_k = R_1 + R'_2, \quad X_k = X_1 + X'_2$$

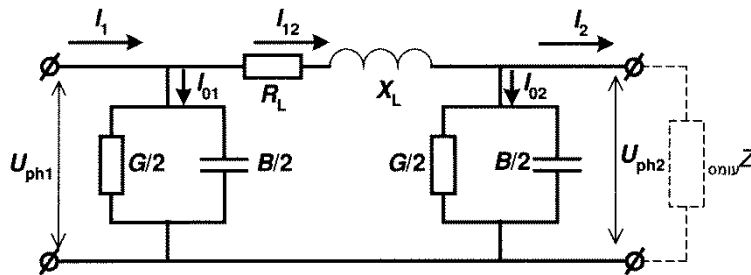


כאמור הרכיבים הטוריים מתקבלים בניסוי בקצר והרכיבים המקביליים מתקבלים בניסוי בריקם.

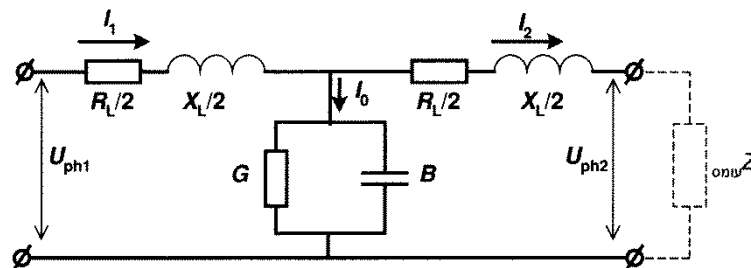
ההתנגדות  $R_k$  -מבטאת את הפסדי ההספק בסלילים  $\Delta P_{cu}$  וההתנגדות  $R_m$  מבטאת את הפסדי ההספק בברזל  $\Delta P_{fe}$ .

קו עילי או תת-קרקעי:

קו מוצג על ידי מעגל תמורה π (פאי):



או על ידי מעגל תמורה "T":



## קורס - מתקני חשמל -הנדסאי חשמל

הרכיבים הטורים: של מעגל התמורה הם  $R_L$  - התנגדות הקו, ו- $X_L$  -היגב הקו. התנגדות הקו תלויה באורך, שטח החתך ובסוג החומר ניתן לחשבו לפי הביטויים:

$$R_L = \rho * \frac{l}{A} = r_o * l$$

היגב הקו תלוי באורך ובסוג הרשת וניתן לחשבו לפי הביטוי:

$$X_L = x_o * l$$

הרכיבים המקבילים: של מעגלי התמורה הם G- המוליכות האומית ו- B- המוליכות הקיבולית (מתירות) של הקו.

יחידות המדידה של המוליכות האומית והמוליכות הקיבולית היא Simmens

$$\Omega^{-1} = S_m$$

המוליכות האומית נותנת ביטוי ל-2 תופעות:

א. תופעת זליגה דרך הבידוד לאדמה. בקו תת קרקעי ערך הזליגה תלוי בטיב בידוד הכבל, ברשת עילית הוא תלוי במצב ניקיון המבודדים.

ב. תופעת קורונה- זוהי תופעת פריקת מטען חשמלי באוויר בלחץ אטמוספרי, כאשר שדה חשמלי בין אלקטרודות (תילים, חודים) אינו אחיד. התופעה מלווה בזמזום ובעירה ליד החלקים החשמליים וגורמת להפסדי הספק בקו. תופעה זו קיימת רק ברשת עלית ולא קיימת ברשת תת קרקעית.

הגורמים המשפיעים על תופעת הקורונה:

1. מתח בין מוליכי הרשת (מתחת לגבול תחתון מסוים).
2. קוטר ומבנה המוליך (סביב מוליך שזור צפיפות שדה החשמלי גדול יותר).
3. מרחק בין מוליכי המופעים.
4. מזג האוויר (לחות מגבירה את התופעה).
5. לחץ אטמוספרי וטמפ' האוויר.

מתירות B (מוליכות קיבולית) מבטאת את קיבוליות הרשת לפי הביטוי:

$$B = \frac{1}{X_c} = \omega * C = \omega * C_0 * l$$

כאשר:  $l$  -אורך הקו ב- Km.

$C_0$  -קיבולית סגולית  $\mu F / Km$

הקיבוליות הסגולית תלויה במרחק בין מוליכי הרשת לאדמה ביחס הפוך ולכן קיבוליות הכבלים גבוהה יותר מקיבוליות הרשת העלית.

דרך המוליכות הקיבולית זורמים זרמים פאזיים לאדמה, במצב תקין של הרשת סכום הזרמים של 3 המופעים שווה ל-0.

תרגיל דוגמא 1:

קו תמסורת עילי תלת מופעי מזין עומס 70MW בגורם הספק 0.8 מפגר. מתח העומס השלוב

132KV ותדר הרשת 50Hz. נתוני הקו: אורכו 100 ק"מ, התנגדות כל מוליך לפאזה  $0.15 \frac{\Omega}{km}$ ,

היגב הקו ההשראי  $0.38 \frac{\Omega}{km}$  והקיבול בין כל מוליך מופע לאדמה הוא  $0.0084 \frac{\mu F}{km}$ .

קבע את הפרמטרים של מעגל התמורה מסוג T של הקו, וחשב את:

א. זרם מתח ומקדם ההספק בתחילת הקו.

ב. נצילות הקו.

ג. כיצד ניתן לשפר את כושר העברת ההספק של הקו?

פתרון לתרגיל דוגמא 1:

בהיעדרות המוליכות האומית ניתן להזניחה ולכן:

$$R_L = r_o * l = 0.15 * 100 = 15\Omega$$

$$R_{L1} = R_{L2} = \frac{R_L}{2} = \frac{15}{2} = 7.5\Omega$$

$$X_L = x_o * l = 0.38 * 100 = 38\Omega$$

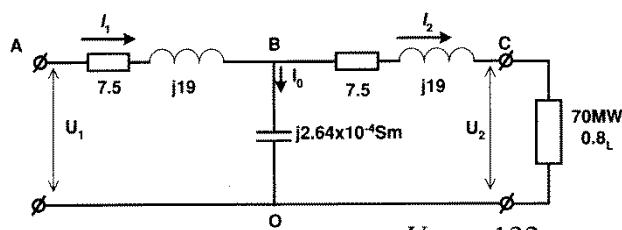
$$X_{L1} = X_{L2} = \frac{X_L}{2} = \frac{38}{2} = 19\Omega$$

$$B = \omega * C_o * l = 2\pi * 50 * 0.0084 * 100 = 2.64 * 10^{-4} Sm$$

$$I_{2ph} = I_{2L} = \frac{P_2}{\sqrt{3} * U_2 * \cos \rho} = \frac{70 * 10^6}{\sqrt{3} * 132 * 10^3 * 0.8} = 383A$$

$$U_{2ph} = \frac{U_{2L}}{\sqrt{3}} = \frac{132 * 10^3}{\sqrt{3}} = 76.2KV$$

נשרטט את מעגל התמורה מסוג "T" ונרשום את הערכים של הפרמטרים:



א.

$$\overrightarrow{\Delta U_{BC}} = \overrightarrow{I_{2ph}} * \overrightarrow{Z_{BC}} = 383 \angle -36.9^\circ * (7.5 + j19) = 7.8 \angle 31.5^\circ KV$$

$$\overrightarrow{U_{BO}} = \overrightarrow{U_{2ph}} + \overrightarrow{\Delta U_{BC}} = (76.2 \angle 0^\circ + 7.8 \angle 31.5^\circ) * 10^3 = 83 \angle 2.8^\circ KV$$

$$\overrightarrow{I_0} = \overrightarrow{U_{BO}} * B = 83 \angle 2.8^\circ * 10^3 * 2.64 * 10^{-4} = 21.9 \angle 92.8^\circ A$$

$$\overrightarrow{I_1} = \overrightarrow{I_2} + \overrightarrow{I_0} = 383 \angle -36.9^\circ + 21.9 \angle 92.8^\circ = 369 \angle -34.3^\circ A$$

$$\overrightarrow{\Delta U_{AB}} = \overrightarrow{I_{1ph}} * \overrightarrow{Z_{AB}} = 369 \angle -34.3^\circ * (7.5 + j19) = 7.54 \angle 34.2^\circ KV$$

$$\overrightarrow{U_{1ph}} = \overrightarrow{U_{BO}} + \overrightarrow{\Delta U_{AB}} = (83 \angle 2.8^\circ + 7.54 \angle 34.2^\circ) * 10^3 = 89.5 \angle 5.3^\circ KV$$

$$\rho_1 = \rho_{U1} - \rho_{I1} = 5.3 - (-34.5) = 39.6^\circ$$

$$\cos \rho_1 = \cos 39.6 = 0.77$$

ב.

$$U_{1L} = \sqrt{3} * U_{1ph} = \sqrt{3} * 89.5 * 10^3 = 155KV$$

$$P_1 = \sqrt{3} * I_{L1} * U_{L1} * \cos \rho_1 = \sqrt{3} * 369 * 155 * 10^3 * 0.77 = 76.3MW$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{70}{76.3} = 0.918$$

ג.

ניתן לשפר את כושר העברת ההספק בקו ע"י שיפור הנצילות וזאת ע"י שיפור גורם ההספק.

תרגיל דוגמא 2

נתוניו של קו תלת מופעי במתח עליון להולכת אנרגיה חשמלית הם:

התנגדות סגולית:  $0.03 \frac{\Omega}{km}$

היגב השראי סגולי:  $0.38 \frac{\Omega}{km}$

קיבוליות סגולית:  $8 * 10^{-3} \frac{\mu F}{km}$

איבודי הקורונה:  $2 \frac{KW}{km}$

מתח ותדירות הרשת: 161KV , 50Hz

אורך הקו: 30km

מצב ניקיון המבודדים: נקי מאוד.

א. שרטט את מעגל התמורה של הקו וחשב את הפרמטרים במעגל זה.

ב. חשב את איבודי ההספק הפעיל כאשר בקו מועבר עומס של 100MVA.

ג. חשב את ההספק העיוור המופק ע"י הקו.

פתרון לתרגיל דוגמא 2:

$$R_L = r_o * l = 0.03 * 30 = 0.9\Omega$$

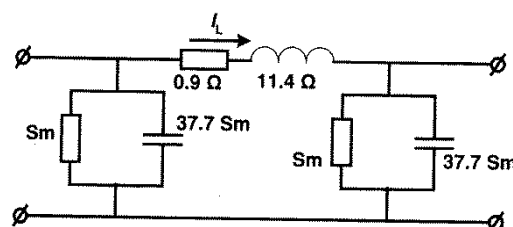
$$X_L = x_o * l = 0.38 * 30 = 11.4\Omega$$

$$B = \omega * C_0 * l = 2\pi * 50 * 8 * 10^{-3} * 30 = 75.4 Sm$$

$$\frac{B}{2} = \frac{75.4}{2} = 37.7 Sm$$

$$G = \frac{\Delta P_{cor}}{3 * U_{ph}^2} = \frac{2 * 10^3 * 30}{3 * \left(\frac{161 * 10^3}{\sqrt{3}}\right)^2} = 2.31 * 10^{-6} Sm$$

$$\frac{G}{2} = \frac{2.31 * 10^{-6}}{2} = 1.155 * 10^{-6} Sm$$



ב.

$$I_{ph} = I_L = \frac{S}{\sqrt{3} * U_2} = \frac{100 * 10^6}{\sqrt{3} * 161 * 10^3} = 359A$$

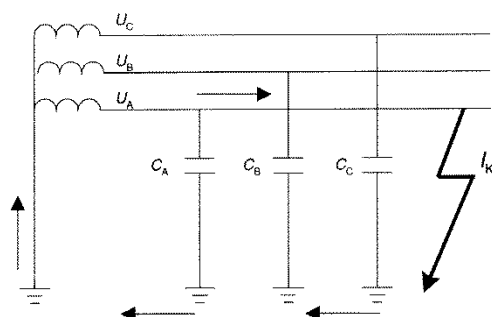
$$\Delta P = 3 * I_{ph}^2 * R_L = 3 * 359^2 * 0.9 = 348KW$$

$$Q_L = 3 * I_{ph}^2 * X_L = 3 * 359^2 * 11.4 = 4.4MVA_r$$

### שיטות הארקת נקודת האפס ברשתות חלוקה

ברשתות חלוקה נפוצות מספר שיטות הארקת נקודת האפס. ההבדלים בין השיטות הן הרמת הבטיחות,אמינות אספקת החשמל ובהתנהגות הרשת בקצר חד מופעי לאדמה.

#### א. מערכת עם נקודת האפס מוארקת ישירות (הארקת שיטה):



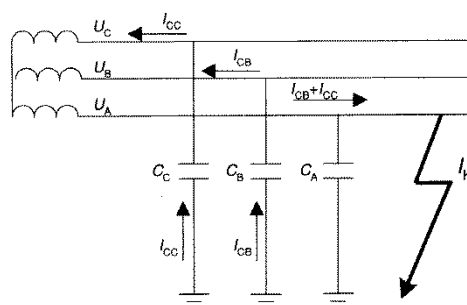
במצב תקין של הרשת המתחים בין מוליכי הקו לאדמה שווים למתח המופעי של הרשת.

בזמן קצר חד מופעי לאדמה נוצר "מעגל לולאת תקלה" והוא בעל עכבה נמוכה הנסגר דרך האדמה. במעגל תקלה זה מתפתח זרם קצר גבוה הגורם לניתוק אוטומטי של הרשת באמצעות אמצעי ההגנה. השיטה זו משתמשים ברשתות למתח נמוך וברשתות למתח גבוה עד 12.6KV.

#### ב. מערכת עם נקודת האפס מוארקת דרך נגד או סליל:

בשיטה זו נקודת הכוכב מוארקת באמצעות נגד או סליל בעל ערך נמוך שתפקידו להגדיל את עכבת לולאת התקלה ולהגביל את זרם הקצר לאדמה. לשיטה זו שימוש חלקי ברשתות תת קרקעיות למתח גבוה.

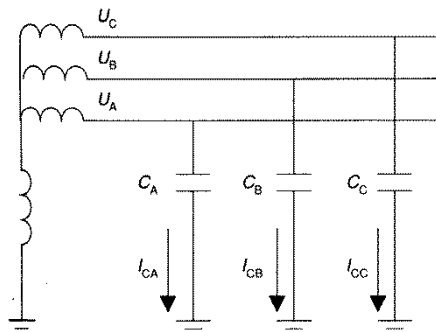
#### ג. מערכת עם נקודת האפס מבודדת מהאדמה (זינה צפה):



בשיטה זו בזמן קצר לאדמה לא נוצר מסלול לולאת תקלה וזרם הקצר אינו זרם, אך נוצר זרם קיבולי יחסית קטן. יתרונות השיטה: במצב קצר חד מופעי לאדמה הרשת יכולה להמשיך לפעול מתח המגע אינו מגיע לערכים מסוכנים. חסרונות השיטה: עליית מתח בפאזות התקינות בזמן קצר. נדרשות שיטות וציוד מיוחד לאיתור וניתוק התקלה וקיימת אפשרות להתפתחות קצר חד מופעי לקצר דו מופעי. בשיטה זו משתמשים ברשתות למתח נמוך בתוספת משגוח המתריע על ירידה בבידוד ובמקרה של סכנה מנתק את המתח. שיטה זו אינה שימושית בארץ למתח גבוה.



ד. מערכת עם נקודת האפס מוארקת דרך סליל כיבוי (סליל פטרסון):  
 עקרון הפעולה של סליל פטרסון מבוסס על קיזוז זרם קיבולי בזמן הופעת קצר חד מופעי כלפי האדמה וזאת באמצעות זרם אשראי הזורם בסליל. כיוון הזרם הקיבולי מבחינה וקטורית מנוגד לזרם הזורם בסליל המשמעות היא זרם קצר זה הינו קטן וזאת הסיבה שסליל הפטרסון נקרא גם "סליל כיבוי".



בין מוליך המופע של רשת עילית לבין האדמה קיימת קיבוליות התלויה באורך הרשת ובגובה המוליך מעל האדמה. עקב כך זורמים זרמים קיבוליים מהרשת לאדמה ובחזרה למקור המתח. במצב תקין הסכום הוקטורי של 3 הזרמים המופעים הללו שווה ל-0.

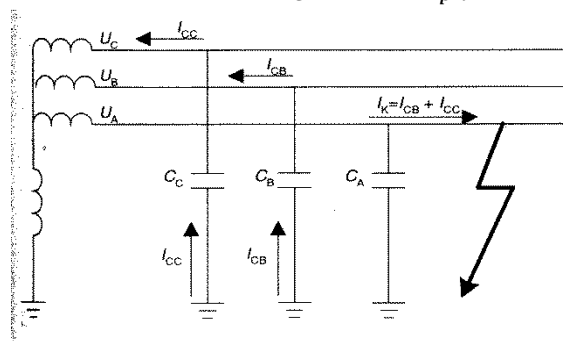
$$\vec{I}_{CA} + \vec{I}_{CB} + \vec{I}_{CC} = 0A$$

המתח בין מוליכי הרשת לאדמה הינו מתח מופעי וכן:

$$\vec{I}_{CA} + \vec{I}_{CB} + \vec{I}_{CC} = \frac{U_{ph}}{-jX_C}$$

לכן במצב תקין של הרשת גם המתח על הסליל שווה ל-0V. בעת קצר לאדמה במופע A לדוגמא, מופיע על הסליל מתח  $U_A$  השווה למתח המופעי של הרשת. המתחים על המופעים התקנים כלפי האדמה גדלים עד לערכו הקווי של מתח הרשת:

$$U'_B = U'_C = \sqrt{3} * U_{ph}$$



ערך הזרם הקיבולי במופע A שווה ל-0 ואילו במופעים B ו-C הזרמים גדלים ביחס  $\sqrt{3}$ .

$$\vec{I}_{CB} + \vec{I}_{CC} = \frac{U_L}{-jX_C} = \sqrt{3} * I_C$$

המתח על הקיבול  $C_A$  במופע A המקוצרת שווה ל-0V. והזרם דרכו גם שווה ל-0A. הסכום של הזרמים במופעים האחרים  $I_{CB}, I_{CC}$  מהווה את זרם הקצר החד מופעי לאדמה, אשר הוא גדול פי 3 מהזרם המופעי הקיבולי במצב תקין:

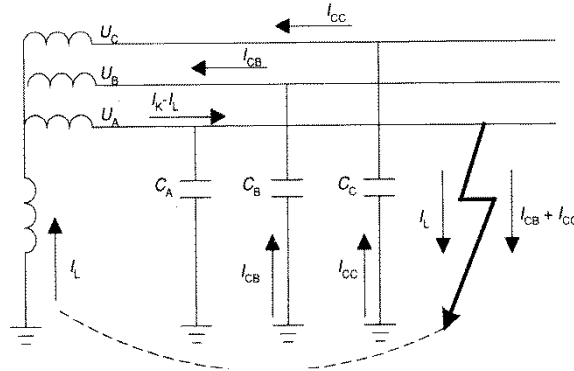
$$I_k = \vec{I}_{CB} + \vec{I}_{CC} = 3 * I_C$$

## קורס- מתקני חשמל -הנדסאי חשמל

המתח  $U_A$  המופיע על הסליל והאופי ההשראי של הסליל גורמים לזרם ההשראי  $I_L$  שזורם דרך הסליל, זורם גם דרך מוליך המופע המקוצר עד למקום הקצר ובחזרה לסליל דרך האדמה. זרם השראי זה מקזז את זרם הקצר הקיבולי בנקודת הקצר:

$$\vec{I}_L = \frac{U_{ph}}{jX_L}$$

אם היגב הסליל  $X_L$  נבחר כך ש-  $I_L = I_c$  סכום הזרמים הווקטורי בנקודת הקצר יהיה שווה ל-0:  $\vec{I}_C + \vec{I}_L = 0A$



יתרונות השיטה: ערך קטן של זרם הקצר לאדמה ואפשרות לשנותו ע"י כיוול הסליל. מתח מגע נמוך כך שמאפשר כיבוי עצמי ומהיר של הקשת הנוצרת בעת קצר.

חסרונות השיטה: עלית המתח במופעים התקינות בעת התרחשות הקצר. קושי בכיוול הסליל עקב קיבוליות המשתנה של הרשת.

קושי באיתור וניתוק התקלה, נדרשות שיטות מיוחדות לשם כך.

בשיטה זו משתמשים ברשתות למתח גבוה, סליל הכיבוי מותקן בנקודת הכוכב של השנאים בתחנות משנה.

תרגיל דוגמא 1:

רשת תלת מופעית לחלוקת אנרגיה במתח גבוה  $22KV$  ובתדירות  $50Hz$  מוזנת ע"י מקור זינה בעלת נקודת אפס מוארקת דרך סליל פטרסון.

האורך הכללי של הרשת הוא  $50Km$  והקיבוליות הסגולית הפאזית היא  $5 \cdot 10^{-9} \frac{F}{Km}$ .  
א. חשב את זרמי הזליגה הקיבוליים כלפי האדמה במצב תקין.

ב. חשב מהוא ערכו של זרם הקצר במקרה של קצר במוליך אחד המופעים לאדמה.  
פתרון לתרגיל דוגמא 1:

א.

$$U_{ph} = \frac{U_L}{\sqrt{3}} = \frac{22 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} = 12.7 \text{ KV}$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C_0 \cdot l} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 5 \cdot 10^{-9} \cdot 50} = 12.7 \text{ K}\Omega$$

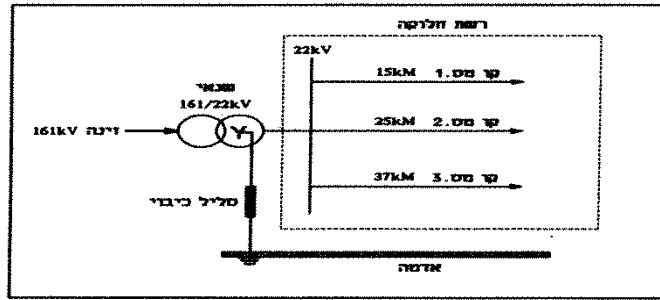
$$I_c = \frac{U_{ph}}{X_C} = \frac{12.7}{12.7} = 1A$$

ב.

$$I_k = 3 \cdot I_c = 3 \cdot 1 = 3A$$

תרגיל דוגמא 2:

רשת תלת מופעית לחלוקת אנרגיה מוזנת באמצעות שנאי כמתואר באיור:



השנאי המזין מוארק דרך סליל כיבוי שמכיל לקזז ב- 100% את הזרם הקיבולי של הרשת. הקיבוליות הסגולית של הרשת היא:  $6 \cdot 10^{-9} \frac{F}{Km}$ . מתח הרשת הוא 22KV והתדירות הרשת 50Hz.

- א. חשב את זרמי הזליגה הקיבוליים הפאזיים במצב תקין.
- ב. חשב את זרם התקלה במקרה של קצר חד מופעי ברשת.
- ג. מה ערכם של הפוטנציאלים השלובים והפוטנציאלים כלפי האדמה במקרה של קצר במופע R.

פתרון לתרגיל דוגמא 2:

א.

$$U_{ph} = \frac{U_L}{\sqrt{3}} = \frac{22 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} = 12.7 \text{ KV}$$

$$C_{Tph} = C_0 \cdot \sum l = 6 \cdot 10^{-9} \cdot (15 + 25 + 37) = 0.462 \mu F$$

$$X_{Cph} = \frac{1}{\omega C_{Tph}} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C_{Tph}} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 0.462 \cdot 10^{-6}} = 6.89 \text{ K}\Omega$$

$$I_{Cph} = \frac{U_{ph}}{X_{Cph}} = \frac{12.7}{6.89} = 1.843 \text{ A}$$

ב.

כיוון שהסליל מכיל לקיזוז של 100% של הזרם הקיבולי לכן:

$$X_{Cph} = X_{Lph}$$

במופע המקוצר זרם הקצר דרך האדמה שווה ל-

$$I_{kT} = \vec{I}_{Cph} + \vec{I}_{Lph} = \frac{U_{ph}}{-jX_{Cph}} + \frac{U_{ph}}{jX_{Lph}} = \frac{12.7}{-j6.89} + \frac{12.7}{j6.89} = 0 \text{ A}$$

במופעים הלא מקוצרים זרם הקצר דרך האדמה שווה ל-

$$I_k = 3 \cdot I_C = 3 \cdot 1.843 = 5.529 \text{ A}$$

ג.

המתחים השלובים בזמן קצר במופע R לאדמה שווים ל-

$$U_{R-S} = U_{S-T} = U_{T-R} = 22 \text{ KV}$$

המתחים הפאזיים בזמן קצר במופע R לאדמה שווים ל-

$$U_{R-N} = 0 \text{ V}$$

$$U_{S-N} = U_{T-N} = U_L = 22 \text{ KV}$$

**העמסת שנאים**

שנאים הם אחד המרכיבים החשובים ביותר ברשת הארצית, תפקידם לשנות את מתח וזרם האנרגיה החשמלית. ההספק החשמלי המועבר מתחנות הכוח לצרכנים עובר דרך מספר שנאים המותקנים בתחנת הכוח, תחנות משנה ויחידות השנאה קצה. כיוון שפסדי השנאי מהווים חלק ניכר מהפסדי הרשת הכוללים לכן ההספקים של כל שנאי הרשת גדול פי 3 מהספק הגנראטורים.

לשנאי 2 סוגי הפסדי הספק:

**הפסדי הברזל:**  $\Delta P_{fe}$  שהם הפסדים קבועים ואינם תלויים בעומס השנאי והם מתוארים במעגל התמורה באמצעות הרכיב המקבילי  $R_0$ . כנלמד ניתן להגדיר את הפסדי הברזל כאיבודי הריקים של השנאי.

**הפסדי נחושת:**  $\Delta P_{cu}$  שהם הפסדים המשתנים והם תלויים בעומס השנאי והם מתוארים במעגל התמורה באמצעות הרכיב הטורי  $R_k$ . כנלמד ניתן להגדיר את הפסדי הנחושת כאיבודי הקצר או העומס וניתן לחשבם לפי הביטוי:

$$\Delta P_{cu} = \beta^2 * \Delta P_{cun}$$

כאשר  $\beta$  הוא מקדם העמסה של השנאי הנתון לפי הביטוי:

$$\beta = \frac{S}{S_n}$$

נצילות של שנאי: נתונה לפי הביטוי:

$$\eta = \frac{\beta * S_n * \cos \varphi_2}{\beta * S_n * \cos \varphi_2 + \Delta P_{fe} + \beta^2 * \Delta P_{cun}}$$

נצילות מרבית: נתונה ע"י הביטוי:

$$\beta_{\eta_{max}} = \sqrt{\frac{\Delta P_{fe}}{\Delta P_{cun}}}$$

לשנאי חלוקה סטנדרטי עומס הנצילות המקסימאלי הוא כ- 40% מהספקו הנקוב-

$$\beta_{\eta_{max}} = 0.4$$

כאשר מחברים 2 שנאים זהים לעבודה מקבילית הפסדים שלהם מצטברים.

ניתן להשוות את נצילות שנאי אחד בעומס מסוים  $\beta$  מול נצילות משותפת של 2 שנאים באותו עומס, כאשר כל אחד מהם מעביר מחצית העומס ומקדם העמסה של כל אחד מהם

שווה ל-  $\frac{\beta}{2}$ . במקרה זה הפסדי הנחושת של כל אחד מהשנאים יהיה לפי הביטוי הבא:

$$\Delta P_{cu} = \left(\frac{\beta}{2}\right)^2 * \Delta P_{cun} = \frac{\beta^2}{4} * \Delta P_{cun} = \frac{\Delta P_{cu}}{4}$$

ניתן לסכם את הפסדי שנאי אחד מול הפסדי 2 שנאים המחוברים במקביל בטבלה הבאה:

הפסדים	שנאי אחד	שני שנאים זהים
$\Delta P_{fe}$	$\Delta P_{fe}$	$2 * \Delta P_{fe}$
$\Delta P_{cu}$	$\Delta P_{cu}$	$2 * (\Delta P_{cu} / 4) = \Delta P_{cu} / 2$
$\Delta P_T$	$\Delta P_{fe} + \Delta P_{cu}$	$2 * \Delta P_{fe} + \Delta P_{cu} / 2$

## קורס- מתקני חשמל -הנדסאי חשמל

מטבלה ניתן לראות כי בחיבור 2 שנאים במקביל אומנם הפסדי הנחושת קטנים פי 2 אך הפסדי הברזל גדולים פי 2 וכן בעומסים נמוכים אין הדבר כדאי. ניתן למצוא את העומס שבו כדי לחבר שנאים בעבודה מקבילית לפי התנאי שבעומס זה ההפסדים של שנאי אחד שווים להפסדים של 2 שנאים:

$$\Delta P_{fe} + \Delta P_{cu} = 2 * \Delta P_{fe} + \frac{\Delta P_{cu}}{2}$$

$$\Delta P_{cu} = 2 * \Delta P_{fe}$$

משמעות הביטוי הנ"ל כי בעומס מסוים זה הפסדי הנחושת של השנאי שווים לפעמים הפסדי הברזל של השנאי.

ניתן לרשום את הביטוי הנ"ל גם בצורה הבאה:

$$\beta^2 * \Delta P_{cun} = 2 * \Delta P_{fe}$$

ובשינוי נושא נוסחה נקבל כי:

$$\beta = \sqrt{2} * \sqrt{\frac{\Delta P_{fe}}{\Delta P_{cun}}} = \sqrt{2} * \beta_{\eta_{max}}$$

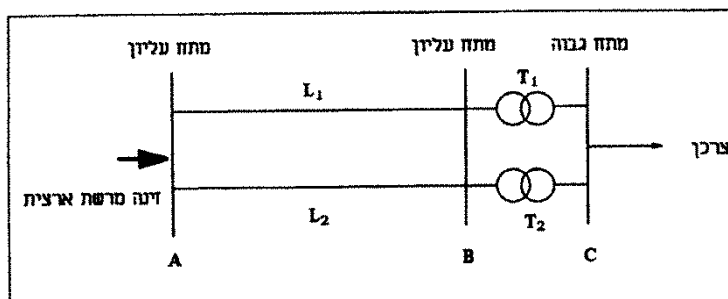
לסיכום ניתן לומר כי מבחינה כלכלית כדאי לחבר 2 שנאים במקביל כאשר מקדם העמסה של

$$\beta = \sqrt{2} * \beta_{\eta_{max}}$$

שנאי אחד עולה מעל הערך:

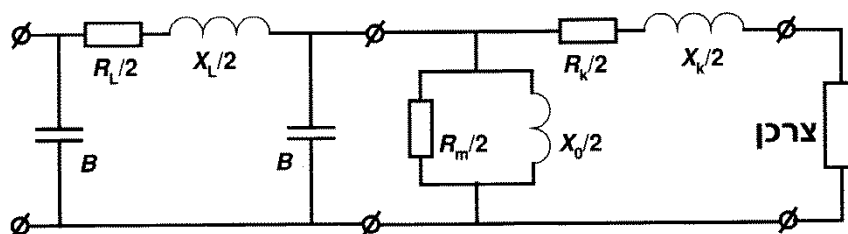
### מעגל תמורה של חיבור 2 שנאים זהים במקביל

נתון צרכן מתח גבוה מוזן מרשת ארצית באמצעות 2 מעגלים ארוכים L1,L2 בעלי פרמטרים זהים ובהנחה שלא קיימים הפסדי קורונה. בתחנת משנה של הצרכן מותקנים 2 שנאים T1,T2 המחוברים במקביל בעלי פרמטרים חשמליים זהים, המזינים את הצרכן.



שרטט את מעגל התמורה של המעגל הנ"ל.

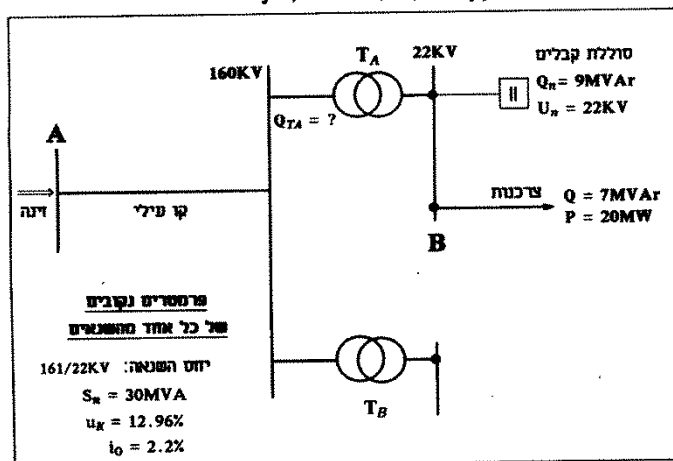
מעגל הקווים מתח עליון יתואר באמצעות מעגל תמורה  $\pi$  ואילו השנאים יתוארו באמצעות מעגל תמורה  $\Gamma$ .



מעגל התמורה של 2 שנאים זהים המחוברים במקביל ניתן לתיאור ע"י מעגל תמורה של שנאי אחד שבו ערכי העכבות מהווה מחצית העכבה של שנאי אחד. הדבר נכון גם לגבי הרכיבים הטורים של הקווים, לעומת זאת עבור הרכיבים המקביליים של הקווים, שהם מוליכויות יש להכפיל את ערכם.

תרגיל דוגמא 1:

תחנת משנה 161/22KV מוזנת מהרשת באמצעות קו מתח עליון כמתואר באיור הבא:



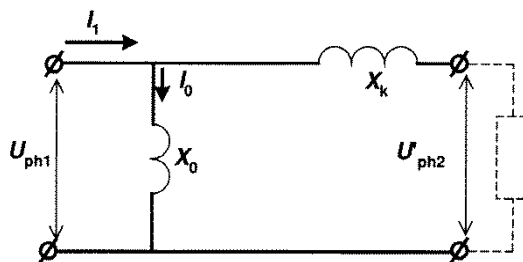
א. חשב את ההספק העיוור  $Q_{TA}$  המועבר בין רשת הזינה לבין השנאי  $T_A$  וציין את כיוון של הספק זה.

ב. שרטט מעגל תמורה של המערכת בין נקודת הזינה "A" ועד לנקודה "B".

פתרון תרגיל דוגמא 1:

א. לשנאים בעלי הספקים גדולים (500KVA ומעלה) משקל הרכיבים האומיים זניח ביחס לרכיבים ההיגבים וכן ניתן להזניחם).

נשרטט את מעגל התמורה של שנאי  $T_A$ :



חישוב עכבת השנאי:

$$X_k = Z_k = \frac{U_{k\%} * U_{1n}^2}{100 * S_n} = \frac{12.96 * (161 * 10^3)^2}{100 * 30 * 10^3} = 112 \Omega$$

חישוב העומס על השנאי:

$$S = (20 + j7 - j9) * 10^6 = (20 - j2) MVA (C)$$

חישוב הזרם בכניסה לשנאי:

$$I_1 = \frac{S}{\sqrt{3} * U_{1n}} = \frac{(20 - j2) * 10^6}{\sqrt{3} * 161 * 10^3} = 72.529 A$$

חישוב הספקו היגבי הקצר של השנאי:

$$Q_k = 3 * I_{1ph}^2 * X_k = 3 * 72.529^2 * 112 = 1.768 MVar$$

חישוב זרם המגנוט(הריקום) של השנאי:

$$I_{1n} = \frac{S_n}{\sqrt{3} * U_{1n}} = \frac{30 * 10^6}{\sqrt{3} * 161 * 10^3} = 107.581 A$$

$$I_0 = 2.2\% * I_{1n} = \frac{2.2}{100} * 107.581 = 2.367 A$$

## קורס- מתקני חשמל -הנדסאי חשמל

חישוב את ההספק ההיגבי של ענף המגנט:

$$Q_0 = 3 * I_0 * U_{1ph} = 3 * 2.367 * \frac{161 * 10^3}{\sqrt{3}} = 0.66 MVar$$

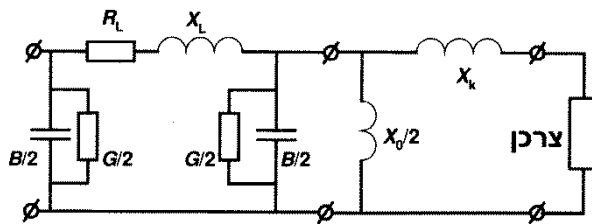
חישוב ההספק ההיגבי הנצרך מהרשת ע"י שנאי  $T_A$ :

$$Q_{T_A} = Q_{\text{ומ}} + Q_k + Q_0 = (-2 + 1.768 + 0.66) * 10^6 = 0.428 MVar$$

להספק ההיגבי זה אופי חיובי לכן כיוונו לתוך השנאי ז"א השנאי צורך הספק היגבי.

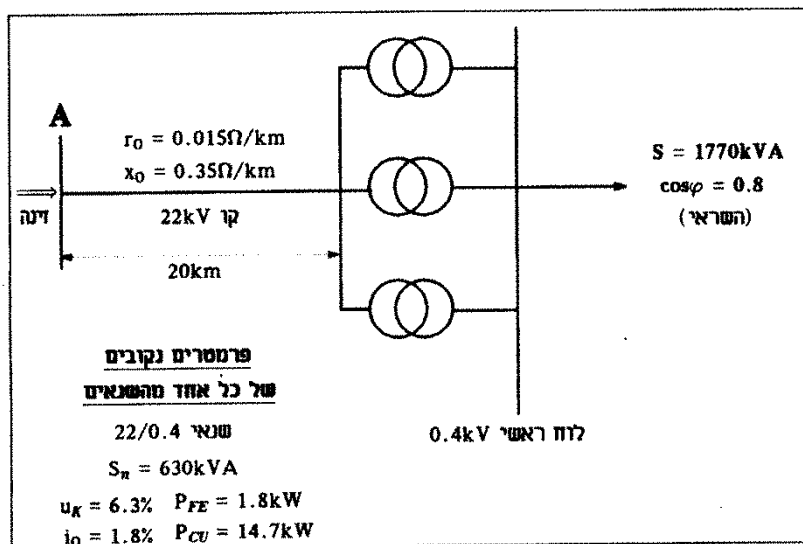
ב.

שנאי  $T_B$  מחובר לרשת אך אינו עמוס כלל כך שהשפעתו על מעגל התמורה רק בענף המגנט (הרכיב המקבילי  $X_0$ ) ולכן מעגל התמורה הכולל יראה כך: כאשר מעגל הקווים מתח עליון יתואר באמצעות מעגל תמורה  $\pi$  ובהנחה שקיימים בקו הפסדי קורונה ואילו השנאים יתוארו באמצעות מעגל תמורה  $\Gamma$ .



תרגיל דוגמא 2:

לוח ראשי מוזן באמצעות 3 שנאים זהים בעלי תמסורת של 22/04 KV כמתואר באיור. ההספק הנצרך 1770KVA במקדם הספק השראי 0.8.



- א. חשב את ההספקים הפעיל והעיוור המועברים בקו המתח הגבוה.
- ב. חשב את איבודי ההספק הפעיל והעיוור בקו המתח הגבוה.
- ג. בהנחה שלא קיימים הפסדי קורונה בקו המתח גבוה, שרטט את מעגל התמורה של המערכת בין נקודת הזינה A לבין הלוח הראשי כאשר מעגל הקו מתח גבוה יתואר באמצעות מעגל תמורה  $\pi$  ואילו השנאים יתוארו באמצעות מעגל תמורה  $\Gamma$ .

.א

$$\beta = \frac{S}{S_n} = \frac{1770/3}{630} = \frac{590}{630} = 0.937$$

$$\Delta P_{TR} = (\Delta P_{fe} + \Delta P_{cu}) = (\Delta P_{fe} + \beta^2 * \Delta P_{cun})$$

$$\Delta P_{TR} = (1.8 + 0.937^2 * 14.7) * 10^3 = 14.706Kw$$

$$I_{1n} = \frac{S_n}{\sqrt{3} * U_{1n}} = \frac{630 * 10^3}{\sqrt{3} * 22 * 10^3} = 16.533A$$

$$I_0 = I_{0\%} * I_{1n} = \frac{1.8}{100} * 16.533 = 0.298A$$

$$\cos \varphi_0 = \frac{\Delta P_{fe}}{\sqrt{3} * U_{1n} * I_0} = \frac{1.8 * 10^3}{\sqrt{3} * 22 * 10^3 * 0.298} = 0.159$$

$$Q_{fe} = \Delta P_{fe} * \tan \varphi_0 = 1.8 * 10^3 * \tan(\cos^{-1} 0.159) = 11.177KVAr$$

$$U_k = U_{k\%} * U_{1n} = \frac{6.3}{100} * 22 * 10^3 = 1.386KV$$

$$\cos \varphi_k = \frac{\Delta P_{cun}}{\sqrt{3} * U_k * I_{1n}} = \frac{14.7 * 10^3}{\sqrt{3} * 1.386 * 10^3 * 16.533} = 0.37$$

$$Q_{cu} = \beta^2 * \Delta P_{cun} * \tan \varphi_k = 0.937^2 * 14.7 * 10^2 * \tan(\cos^{-1} 0.37) = 32.406KVAr$$

$$Q_{TR} = (Q_{fe} + Q_{cu}) = (11.177 + 32.406) * 10^3 = 43.583KVAr$$

ההספקים המועברים בקו המתח הגבוה:

$$\vec{S}_L = \vec{S}_{onw} + \sum \vec{S}_{TR} =$$

$$\vec{S}_L = [1770 \angle 36.87 + 3 * (14.706 + j43.583)] * 10^3 = 1460.12 + j1192.75KVA$$

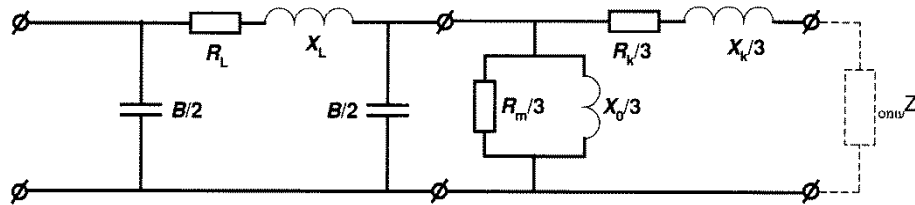
.ב

$$I_L = \frac{S_L}{\sqrt{3} * U_n} = \frac{(1460.12 + j1192.75) * 10^3}{\sqrt{3} * 22 * 10^3} = 49.478A$$

$$\Delta P_L = 3 * I_L^2 * r_o * l = 3 * 49.478^2 * 0.015 * 20 = 2.2Kw$$

$$\Delta Q_L = 3 * I_L^2 * x_o * l = 3 * 49.478^2 * 0.35 * 20 = 51.41KVAr$$

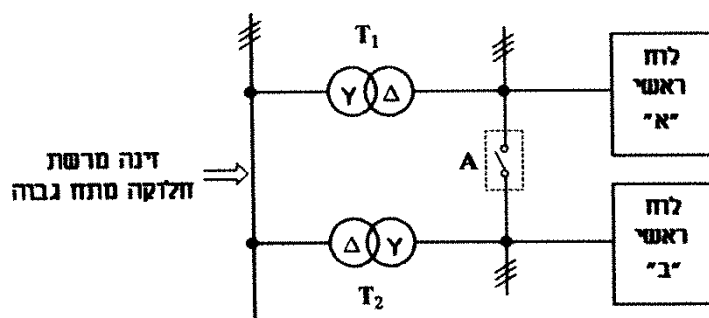
.ג





תרגיל דוגמא 3:

2 שנאים תלת מופעיים מזינים את הלוחות למתח נמוך בהתאם לאיור. השנאים מוזנים יחד מרשת חלוקה מתח גבוה כאשר מפסק A במצב מנותק.



**שנאי T<sub>1</sub>**  
 הספק נקוב:  $S_n = 630 \text{KVA}$   
 יחס השנאה:  $22 \text{KV} / 0.4 \text{KV}$   
 קבוצת חיבורים:  $\text{Y}/\Delta-1$   
 $u_k = 6.5\%$

**שנאי T<sub>2</sub>**  
 הספק נקוב:  $S_n = 1000 \text{KVA}$   
 יחס השנאה:  $22 \text{KV} / 0.4 \text{KV}$   
 קבוצת חיבורים:  $\Delta/\text{Y}-1$   
 $u_k = 7\%$

- א. ציין את התנאים המאפשרים הפעלה תקינה במקביל של שנאי הספק תלת מופעיים.  
 ב. האם מותר "לסגור" את מפסק A לצורך חיבור השנאים במקביל, הסבר.

פתרון לתרגיל דוגמא 3:

- א.  
 התנאים לחיבור שנאים תלת מופעים במקביל הם:  
 1. המתחים הנקובים צריכים להיות זהים בכל השנאים.  
 2. מספר קבוצת החיבורים של השנאים זהה.  
 3. מתחי הקצר של השנאים רצוי שיהיו שווים או לפחות שההפרש בין מתחי הקצר לא יעלה על 10% מהערך הממוצע שלהם.

ב. לכאורה על פני התנאים הנ"ל ניתן לחבר 2 שנאים אלו במקביל:

1. המתחים הנקובים זהים  $22/0.4 \text{KV}$ .  
 2. מספר קבוצת החיבורים זהה.  
 3. ההפרש בין מתחי הקצר קטן מ-10%.

$$U_{k\%} = \frac{U_{k1} - U_{k2}}{U_{k(av)}} * 100 = \frac{7 - 6.5}{\frac{7 + 6.5}{2}} * 100 = 7.4\%$$

אבל הסליל השניוני של שנאי T1 מחובר בצורת משולש ובחיבור שנאי זה ללוח למתח נמוך המשמעות היא שאין את מוליך ה"אפס" זאת אומרת שלא ניתן לחבר צרכנים חד פאזיים או צרכנים תלת פאזיים לא סימטריים שזו מגבלה מהותית בהזנת לוח למתח נמוך. ובנוסף לא ניתן לבצע הארקה שיטה לשנאי זה בהתאם לתקנות החשמל (שמבוצע בנקודת הכוכב בסליל השניוני) ומצב זה לא מאפשר את קיומה של לולאת התקלה. לכן שנאי זה לא ניתן לחבר אפילו לבד ללוח למתח נמוך ובטח לא במקביל לשנאי נוסף.

השפעת ההספק האקטיבי והראקטיבי על תדירות ומתח הרשת

תדירות הזרם ברשת

תדירות זרם חילופין ומהירות סיבוב הגנראטור תלויות זה בזה לפי הביטוי  $f = \frac{n \cdot p}{60}$

בגנראטורים בתחנות הכוח מספר זוגות הקטבים בדרך כלל 2.

גנראטור מייצר הספק אקטיבי בתהליך המרת האנרגיה המכאנית של הטורבינה בתחנת הכוח. הספק חשמלי אקטיבי של הצרכנים מעמיס את הגנראטור אשר מפעיל כוח נגדי על הטורבינה ועל ידי כך מושך ממנה את ההספק. כל שינוי פתאומי של ההספק האקטיבי יגרום לשינוי העמסת הטורבינה וכתוצאה מכך לתנודות במהירותה, אשר משפיע על תדירות הרשת.

במיתקן אשר מוזן מגנראטור בעל סדר גודל הדומה לעומס, השפעת שינוי ההספק האקטיבי של הצרכנים על התדירות היא מאוד משמעותית.

ברשת הארצית כל הגנראטורים בתחנות הכוח עובדים במקביל והספק הצרכנים מתחלק ביניהם. כאשר עומס כל הצרכנים ברשת עולה על כושר הייצור של הגנראטורים מתבצעת פעולה אוטומטית של השאלת עומסים כדי למנוע את ירידת התדירות וקריסת המערכת.

התדר הנומינאלי ברשת הארצית הוא:  $f_n = 50Hz(+0.6\% - 0.5\%)$ .

מפל מתח ברשת

מפל המתח ברשת מהווה סכום של מפלי המתח האקטיבי והראקטיבי, כאשר משקלו של מפל המתח האקטיבי זניח ביחס למפל המתח הראקטיבי, וזאת עקב השראות מרכיבי הרשת הגדולה בהרבה מהתנגדותה האומית.

מפל המתח הראקטיבי תלוי בהספק הראקטיבי המועבר ברשת וכן ניתן להבין כי ההספק הראקטיבי משפיע על מתח הרשת.

השפעת ההספק הראקטיבי על המתח יכולה להיות קריטית במתקן המוזן מגנראטור לאספקה חלופית כאשר הספק הקבלים גדול מצריכת ההספק הראקטיבי על ידי הצרכנים, במקרה זה מתח המערכת יכול להגיע לערכים מסוכנים.

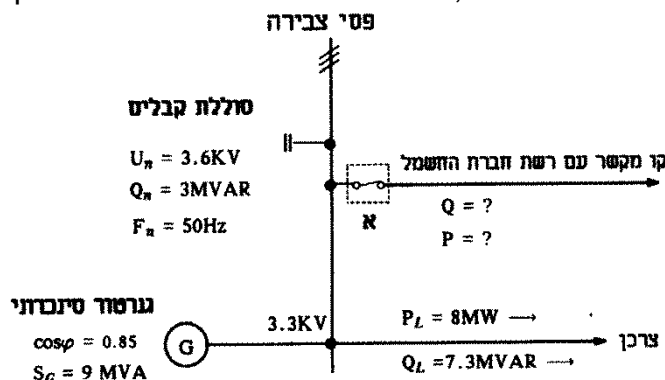
מסיבה זו במתקן המוזן מגנראטור לאספקה חלופית נהוג לנתק את הקבלים בעת חיבור לגנראטור.

המתחים הנומינאליים בהדקי לקוח מתח גבוה:  $U_n = 12.6, 22, 33 KV \pm 10\%$

המתחים הנומינאליים בהדקי לקוח מתח נמוך:  $U_n = 400V \pm 10\%$

תרגיל דוגמא 1:

גנראטור סינכרוני תלת מופעי מזין פסי צבירה של הצרכנים. הגנראטור מופעל במקביל לרשת חברת חשמל כמתואר באיור, לפסי הצבירה מחוברים גם סוללת קבלים.



- חשב את ההספק העיוור המסופק ע"י סוללת הקבלים.
- חשב את ההספקים המועברים בקו המקשר לרשת חברת חשמל, ומהו כיוון הזרימה של הספקים אלו.
- עקב הפרעה נפסק מפסק "א" של הקו המקשר עם רשת חברת חשמל, והגנראטור ממשיך להזין לבדו את הצרכנים המחוברים ללוח, איזה פרמטר בגנראטור (מתח או תדירות) משתנה באופן משמעותי מיד לאחר הפסקת הקו? הסבר.

פתרון לתרגיל דוגמא 1:

א.

הספק סוללת הקבלים תלוי במתח ההזנה לקבלים ביחס ריבועי. מכיוון שהמתח בפסי הצבירה אליו מחוברים הקבלים שונה מהמתח הנקוב של סוללת הקבלים יש צורך לחשב את ההספק של סוללת הקבלים בנתונים הנוכחים:

$$Q_C = Q_{Cn} * \left(\frac{U_C}{U_{Cn}}\right)^2 = 3 * 10^6 * \left(\frac{3.3}{3.6}\right)^2 = 2.521 MVAR$$

ב.

$$S_{צרכנים} = P_L + J(Q_L - Q_C) = [8 + J(7.3 - 2.521)] * 10^6 = 8 + J4.799 MVAR$$

$$S_{גנרטור} = 9 * 10^6 \angle 31.79 = 7.649 + J4.741 MVAR$$

$$S_{ח"ח} = S_{צרכנים} - S_{גנרטור} = (8 + J4.799) - (7.649 + J4.741) = 0.351 + J0.058 MVA$$

להספק זה אופי השראי ולכן זרימת ההספק היא מרשת חברת חשמל אל פסי הצבירה.

ג.

לאחר הפסקת מפסק "א" הגנראטור מספק את כל הצריכה:  
לפני הפסקת המפסק:

$$S_{גנרטור} = 7.649 + J4.741 = 9 \angle 31.79 MVAR$$

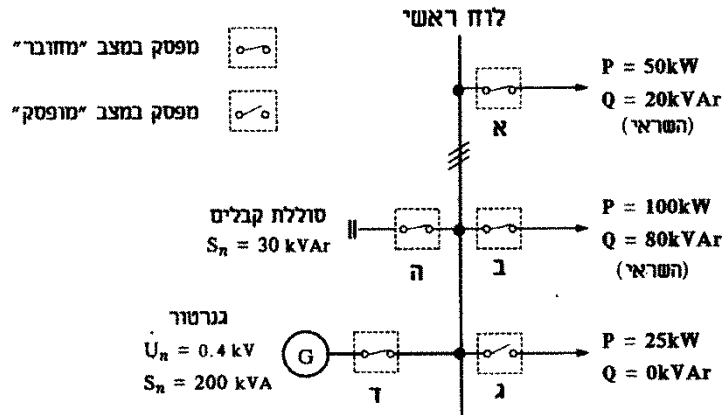
לאחר הפסקת המפסק:

$$S_{גנרטור} = 8 + J4.799 = 9.33 \angle 30.96 MVAR$$

וניתן לראות כי כמעט אין שינוי בהספקים לכן המתח והתדירות אינם משתנים באופן משמעותי. כל זאת בהנחה שהגנראטור יכול לספק הספק זה (לא נתון ההספק הנקוב של הגנראטור).

תרגיל דוגמא 2:

גנראטור מזין לוח ראשי של מתקן. צרכני המתקן מוזנים באמצעות מפסקי זרם "א" ו-"ב" כמתואר באיור. ללוח הראשי מחוברת גם סוללת קבלים לשיפור גורם ההספק של העומס. הספק הקצר המרבי של הגנראטור הוא פי 5 מהספקו הנקוב.



- א. מפסקים את סוללת הקבלים איזה פרמטר מתח או תדירות מושפע משמעותית בעקבות הפסקת סוללת הקבלים.
- ב. מחברים עומס נוסף באמצעות מפסק "ג" איזה פרמטר מתח או תדירות מושפע משמעותית בעקבות חיבור עומס זה.
- ג. חשב והגדר פרמטרים בסיסיים המאפיינים את מפסק הגנראטור "ד".

פתרון לתרגיל דוגמא 2:

- א. עם ניתוק סוללת הקבלים מתרחש שינוי משמעותי בהספק הראקטיבי הנצרך מהרשת לכן במצב זה הפרמטר מתח יושפע בצורה משמעותית כלפי מטה.
- ב. עם חיבור עומס אקטיבי נוסף מתרחש שינוי משמעותי בהספק האקטיבי הנצרך מהגנראטור והוא מהווה גידול בעומס המכאני על מנוע הדיזל של הגנראטור וגורם להאטה במהירות הסיבוב ובכך משפיע בצורה משמעותית על תדירות הזרם בצרכנים כלפי מטה.

ג.

$$U_{n_g} = U_n = 400V$$

$$I_{\text{צרכנים}} = \frac{S_{\text{צרכנים}}}{\sqrt{3} * U_n} = \frac{(50 + j20 + 100 + j80 + 25 - j30) * 10^3}{\sqrt{3} * 400} = 272A$$

$$I_{Gn} = \frac{S_{Gn}}{\sqrt{3} * U_n} = \frac{200 * 10^3}{\sqrt{3} * 400} = 289A$$

$$I_{Gn} \geq I_{\text{צרכנים}} = 285A$$

$$I_k = \frac{S_k}{\sqrt{3} * 1.1 * U_n} = \frac{5 * S_{Gn}}{\sqrt{3} * 1.1 * U_n} = \frac{5 * 200 * 10^3}{\sqrt{3} * 1.1 * 400} = 1.312KA$$

$$I_{cu} \geq I_k = 1.4KA$$

**עמידות תרמית ומגנטית**

בין הפרמטרים החשובים של ציוד חשמלי למתח גבוה הוא עמידותו התרמית ועמידות הדינמית בזרם קצר.

עמידות תרמית

עמידות תרמית מסומנת ב-  $I_{th}$  והיא מגדירה את זרם הקצר המרבי אשר הציוד מסוגל לספוג במשך שנייה אחת מבחינת הים החום הנוצר מבלי להיפגע. הביטוי  $I_k^2 * t [KA^2 * sec]$  מבטא את כמות החום הנוצר בזמן הקצר. עמידות התרמית של ציוד חשמלי יכולה להיות קטנה מזרם הקצר הצפוי בתנאי שכמות החום הנוצרת עד להפסקת הקצר לא תעלה מעל לערך  $I_{th}^2 * 1sec$  ולכן:

$$I_k^2 * t \leq I_{th}^2 * 1sec$$

עמידות דינמית

עמידות דינמית מסומנת ב-  $I_{dyn}$  והיא מגדירה את זרם ההלם המרבי אשר הציוד מסוגל לספוג מבחינת חוזקו המכאני. עמידות הדינמית של ציוד חייבת להיות גדולה מזרם ההלם הצפוי במקום התקנת הציוד. ולכן:

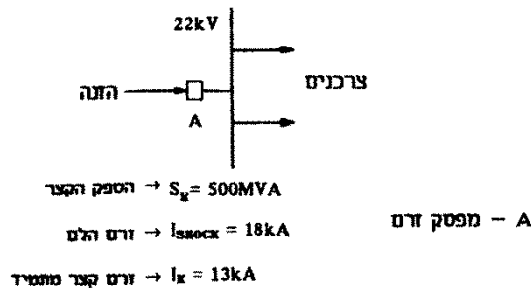
$$I_{dyn} \geq I_{shok}$$

תרגיל דוגמא 1:

על מפסק זרם רשומים הנתונים הבאים:

$$U_n = 22KV ; I_{dyn} = 15KA ; I_{th} = 5KA$$

המפסק מותקן כמתואר באיור והוא מצויד באמצעי ההגנה הבאים:  
הגנה מושהת בפני זרמי יתר.  
הגנה מושהת בפני זרמי קצר.



א. מה הערך המותר של זמן הכיול בהגנה המושהת.

ב. על בסיס הנתונים הרשומים באיור האם המפסק מתאים לעמוד בפני הכוחות האלקטרודינמיים המתפתחים בזמן קצר.

פתרון לתרגיל דוגמא 1:

א.

$$t = \left(\frac{I_{th}}{I_k}\right)^2 * 1sec = \left(\frac{5}{13}\right)^2 * 1sec = 0.148sec$$

ב.

$$I_{dyn} \geq I_{shok}$$

$$15kA < 18kA$$

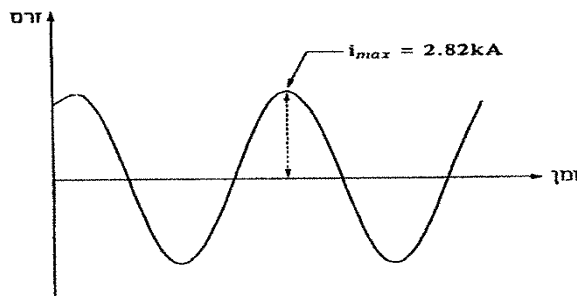
ניתן לראות כי העמידות הדינמית של המפסק נמוכה מזרם ההלם הצפוי לעבור לכן מפסק זה אינו מתאים למקום ההתקנה.

תרגיל דוגמא 2:

הזרם התרמי הנקוב הרשום על מפסק זרם למתח גבוה הוא:

$$I_{th}/1sec = 1200A/1sec$$

חשב את פרק הזמן לפיו מותר להתקיים במפסק הנ"ל זרם סינוסוידלי בעל אופיין כמתואר באיור הבא:



פתרון לתרגיל דוגמא 2:

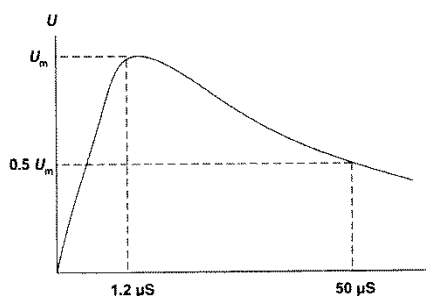
$$I_{k_{eff}} = \frac{I_{k_{max}}}{\sqrt{2}} = \frac{2.82 * 10^3}{\sqrt{2}} = 2KA$$

$$t = \left(\frac{I_{th}}{I_k}\right)^2 * 1sec = \left(\frac{1200}{2000}\right)^2 * 1sec = 0.36sec$$

**עמידות הציוד בפני מתחי יתר**

מתח יתר מוגדר כמתח שערכו עולה על 110% מעל המתח הנומינאלי של הרשת. מבדילים ב-2 סוגי מתחי יתר:

- א. מתחי יתר פנימיים-הנגרמים כתוצאה מתופעות מעבר קצרים, מיתוג קווי הזנה או שנאים וניתוק עומסים גדולים.
  - ב. מתחי יתר חיצוניים- הנגרמים ע"י פגיעות ברק ישירות.
- כל ציוד במתח גבוה שמחובר לרשת חברת חשמל חייב לעבוד בבדיקות הבאות:  
 בדיקת P.W.F - בדיקת מתח יתר בתדר הרשת במשך דקה אחת, בדיקה זו קובעת את עמידות הציוד בפני מתחי יתר פנימיים.  
 בדיקת BIL – לפי התקן הבינלאומי IEC בודקים את הציוד ע"י גל מתח הולם שצורתו היא 5 פעמים המתח המרבי במשך  $1\mu sec$  ודיעכת המתח ל-50% ממתח הבדיקה תוך  $50\mu sec$ .



דוגמאות לבדיקות בפני מתחי יתר:

מתח נקוב, kV	מתח מדבי, kV	בדיקת P.W.F, kV	בדיקת BIL (1.2/50), kV
12.6	13.8	38	90
22	24	50	125
33	36	70	170

פרק 9-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-  $\phi$  [lumen]

ב. נצילות אורית-

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

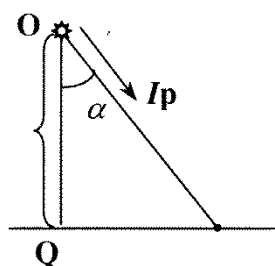
ג. רמת הארה-לוקס

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

רמת ההארה בנקודה P הנמצאת בזווית  $\alpha$  ממקור האור O וגובה h:

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

כאשר  $I_p$  הוא עוצמת האור בכיוון הנקודה P.



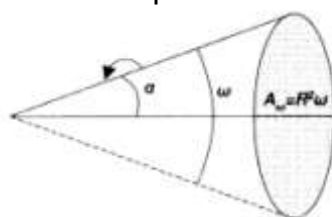
ד. אחידות ההארה-

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.



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

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

ו. עוצמת האור-קנדלה

שטף המוקרן ממקור אור בזווית מרחבית  $\omega$  בכיוון נתון.

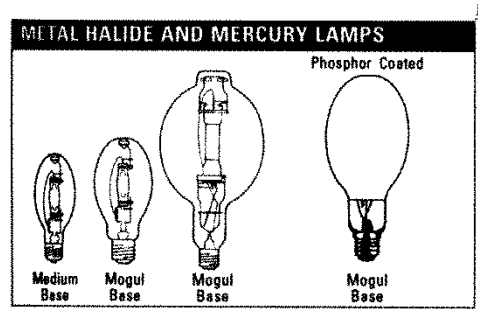
$$I = \frac{\phi}{\omega} \left[ \frac{lm}{srad} = cd \right]$$

- ז. בהיקות-קנדלה למ"ר היחס בין עוצמת האור של מקור או משטח מחזיר אור לבין שטחו של המשטח שממנו מוחזר או מוקרן האור.
- $$L = \frac{I(cd)}{A(m^2)} = \frac{\rho * E}{\pi} \left[ \frac{cd}{m^2} = nit \right]$$
- כאשר  $\rho$ - מקדם החזרה.
- ח. טמפרטורת צבע-קלווין מתארת את מראה הצבע של הנורות (ככל שהערך גבוה יותר כך הצבע קר יותר).  
כאשר:  
 $CCT \leq 3000^\circ K$  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

- ניתן לחלק את מקורות האור החשמליים ל-4 קבוצות:
- נורות להט: הכוללות את נורת הליבון ונורת ההלוגן.
  - נורות פריקה בגז-HID: הכוללת את נורת הכספית, נורת כספית בתוספת האלידים ונורת נתרן.
  - נורה פלורוסנטית.
  - דיודות פולטות אור- LED.
- א. נורת ליבון-  
מבנה: תיל טונגסטן.  
מילוי: גז אציל ארגון בתוספת 7% חנקן.  
טמפ' עבודה:  $2650^\circ C - 3150^\circ C$ .
- 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.
- ג. נורות כספית בלחץ גבוה-  
מבנה: שפופרת קוורץ בתוך אגס זכוכית  
מילוי: כספית וגז ארגון.  
לחץ: 1-10 ATMs.  
עקרון פעולה: פריקת זרם דרך אידי כספית.  
הצתה: באמצעות אלקטרודת עזר.



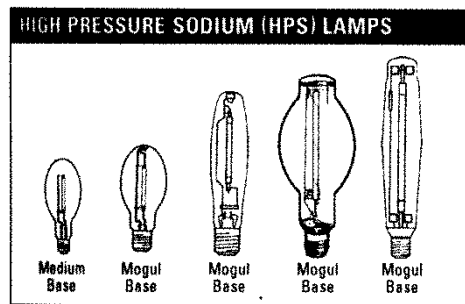


ד. נורות כספית עם האלידים – Metal-Halide

מבנה: תוספת תרכובת של יוד עם מתכת לתוך שפופרת קוורץ.  
 הצתה: ב-2 שיטות: 1. באמצעות אלקטרודת עזר זמן, הצתה 3-4 דקות, הצתה מחודשת 10-20 דקות.  
 2. באמצעות פולסי מתח גבוה, זמן הצתה 2 דקות, הצתה מחודשת 3-4 דקות.

ה. נורות נתון לחץ גבוה-נל"ג-

מבנה: שפופרת קראמית עם תערובת כספית ונתון בתוך מעטה זכוכית.  
 לחץ: 1-1.5 ATMs.  
 עקרון פעולה: פריקת זרם אדי נתון.  
 הצתה: בעזרת פולסי ממתח גבוה. זמן הצתה 3-4 דקות, הצתה מחודשת 1 דקה.

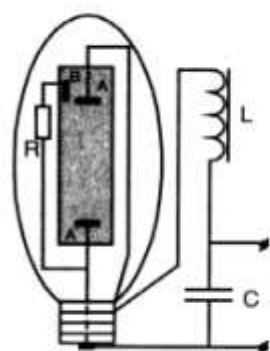


ו. נורות נתון לחץ נמוך-נל"מ-

מבנה: שפופרת פריקה המכילה נתון מוצק ותערובת גז ניאון וארגון.  
 לחץ:  $1 \cdot 10^{-5}$  ATMs.  
 זמן הצתה: 7-10 דקות, הצתה מחודשת 3-12 שניות.

**שיטות הצתה נורות HID:**

בשיטת הצתה ע"י אלקטרודת עזר- בתוך שפופרת פריקה מותקנת אלקטרודת עזר המחוברת למעגל חשמלי של הנורה באמצעות נגד הצתה. לאחר חיבור המתח טמפ' הנורה נמוכה, התנגדותה גבוהה ואין תנאים לפריקת המטען בגז בין האלקטרודות הראשיות. הפריקה הראשונית מתחילה בין האלקטרודה הראשית לבין אלקטרודת העזר הודות למרחק הקטן בניהם. הקשת החשמלית מחממת את הנורה וגורמת לריבוי נושא מטען בתוך השפופרת. כתוצאה מכך התנגדות הגז בין 2 האלקטרודות הראשיות קטנה והפריקה עוברת מסלול הרגיל שביניהן.

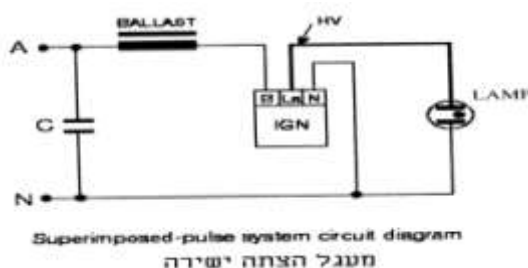


- A – אלקטרודות ראשיות. תפקידן להעביר זרם פריקה בתוך הנורה.
- B – אלקטרודת עזר. תפקידה ליצור קשת פריקה ואשונית בזמן הצתת הנורה כאשר התנגדותה גבוהה.
- R – נגד הצתה. תפקידו להגביל את זרם ההצתה ולהפסיק את מעגל ההצתה כאשר הנורה נדלקת והתנגדותה ירדה.
- L – נטל השראי. תפקידו לייצב את זרם העבודה.
- C – קבל לשיפור מקדם ההספק.

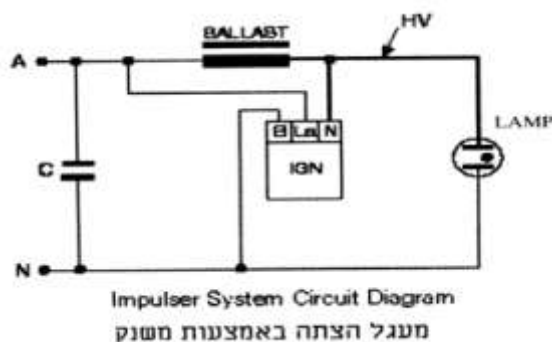
הגז הוא חנקן. תפקידו בידוד תרמי של שפופרת הקשת.

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:

1. 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.



2. 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 חייה עלולים לגרום לנזק גם למשנק. לכן רצוי שהמצת יצויד בטיימר אשר יפסיק את ההצתות לאחר זמן מסוים.

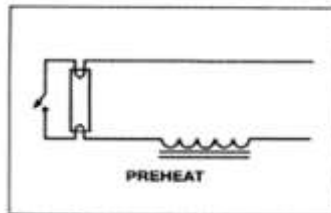


ז. נורת פלורוסנטית-

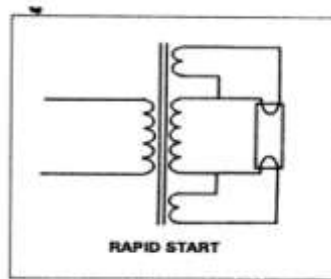
מבנה: שפרפרת זכוכית עם ציפוי פלורוסנטי מילוי: גז אציל בתוספת כספית. אלקטרודות: טונגסטן עם ציפוי חומר פולט אלקטרונים. לחץ גז: כ-  $10^{-5}$  ATMs . אורך חיים: תלוי במספר שעות ההפעלה לכל הצתה.

**שיטות הצתה נורות פלורוסנטיות:**

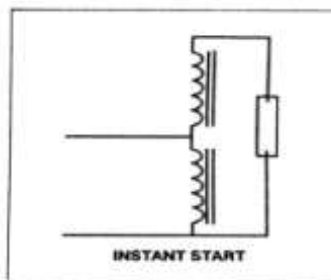
1. הצתה עם חימום מוקדם Preheat Start - בשיטה זו לסטרטר תפקיד כפול: חימום מוקדם של אלקטרודות הנורה ואחר כך יצירת מתח יתר להצתת הנורה. פולס מתח היתר נוצר ע"י פתיחת מגע תרמי של הסטרטר אשר מפסיק את הזרם הזורם דרך המשנק. פתיחת המגע נמשכת כשנייה והזרם בזמן זה הוא כ- פי 2 מהזרם הרגיל של הנורה. כל הצתה גורמת 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.



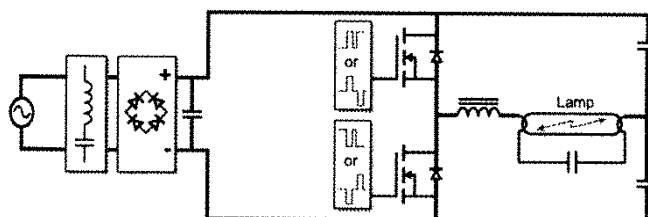
3. הצתה Instant Start - בשיטה זו המשנק מספק פולס מתח גבוה על מנת להצית את הנורה תוך זמן פחות מ- 0.05s, ללא חימום מוקדם של האלקטרודות. פליטת האלקטרונים בנורה חד פינית היא "פליטה קרה" אשר נגרמת ע"י שדה אלקטרומגנטי ולא ע"י טמפ' גבוהה של האלקטרודות.



## קורס - מתקני חשמל -הנדסאי חשמל

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

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



ח. דיודה פולטת אור-LED

מבנה: התקן עשוי ממוליך למחצה הפולט אור כתוצאה מזרם חשמלי העובר דרכו.

ניתן לסכם את הנתונים העיקריים של הנורות השונות בטבלה הבאה:

CRI (%)	CCT (°K)	תחום הספקים (W)	אורך חיים (שעות)	נצילות אורית (lm/W)	סוג נורה
100	2900 - 3000	3 - 1000	1000 - 2000	10 - 15	ליבון
100	2900 - 3000	5 - 500	2000 - 4000	15 - 25	הלוגן
50 - 95	2700 - 6500	10 - 105	7500 - 24000	50 - 100	פלורסנט טובולרי
70-90	2700 - 6500	4 - 55	10000 - 20000	50 - 80	פלורסנט קומפקטי
42 - 52	3500 - 4000	40 - 1000	16000 - 24000	25 - 55	כספית (Mercury)
65 - 93	3000 - 6000	35 - 2000	6000 - 20000	50 - 115	כספית עם האלידים (MH)
25 - 60	2000	35 - 1000	16000 - 24000	60 - 140	נתרן - נל"ג (HPS)
10 - 20	1800	35 - 180	14000 - 18000	100-185	נתרן - נל"ן (LPS)
-	-	0.05 - 0.1	40000-100000	10 - 30	LED

### תופעת הסטרובוסקופית

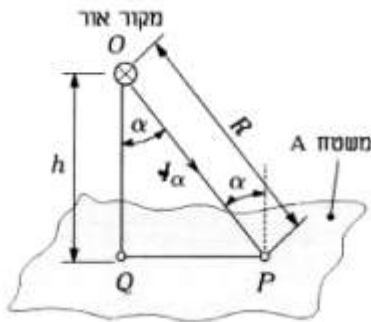
כל נורת פריקה המופעלת בתדירות הרשת, נכבית פעמיים במשך מחזור של זרם חילופין, כאשר גל הזרם עובר דרך נקודת האפס. כיבוי רגעי זה יכול ליצור אשליה אופטית המתבטאת בכך שאובייקט מסתובב נראה ללא תנועה ודבר זה יכול לגרום לתאונת עבודה. כדי למנוע סכנה זו, מומלץ לחבר נורות פלורוסנטיות ונורות HID למעגל תלת פאזי ולחלק את גופי התאורה בין 3 הפאזות.

**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 הארה בנקודה P על משטח A	$E_p$	[Lux]
עוצמת האור בכיוון $\alpha$	$I_\alpha$	[cd]
הגובה בין מקור האור למשטח	$h$	[m]
הזווית בין $PO$ לקו האנכי העולה בנקודה P על משטח A	$\alpha$	[°]

עבור מספר מקורות אור  
משתמשים בנוסחה:

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

שיטות חישוב עוצמת האור בכיוון זווית  $\alpha$

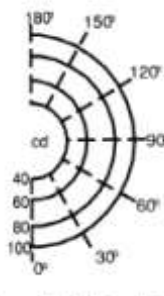
א. כאשר נתון מקור אור בעל עוצמת אור אחידה ניתן לחשב את עוצמת האור בכל כיוון לפי

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

כאשר:  $\phi$  [lm] - שטף הנורה.

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

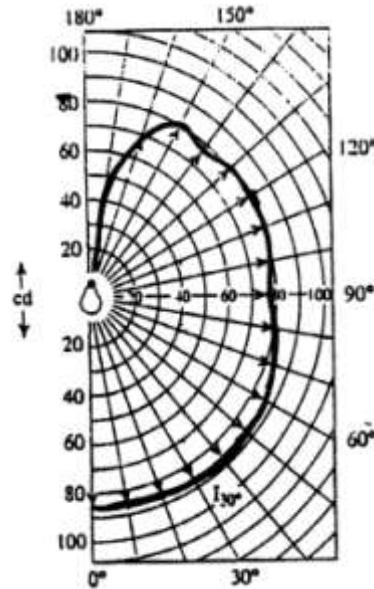
ו-  $\omega = 2\pi$  עבור חצי כדור וכו').



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

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:

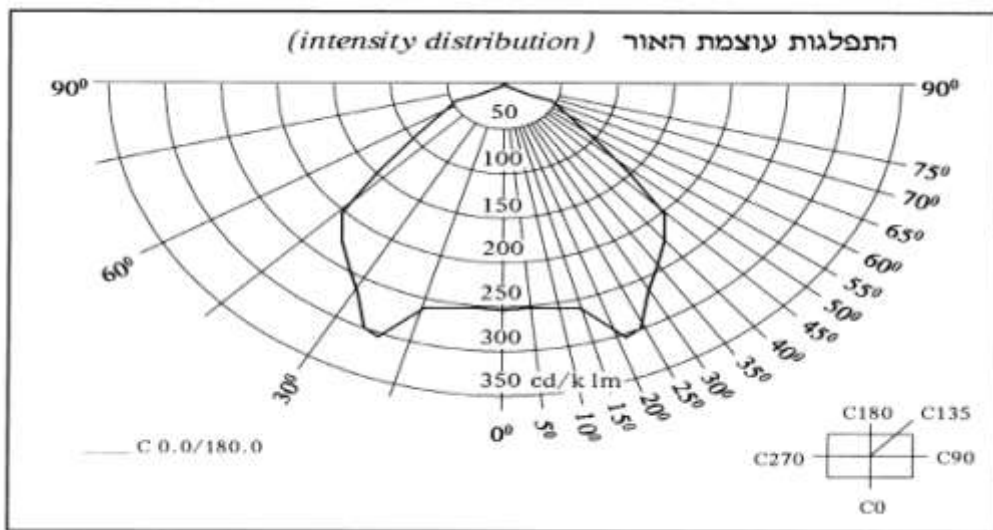
$$I_\alpha = I_\alpha / 1000lm * \frac{\phi}{1000}$$



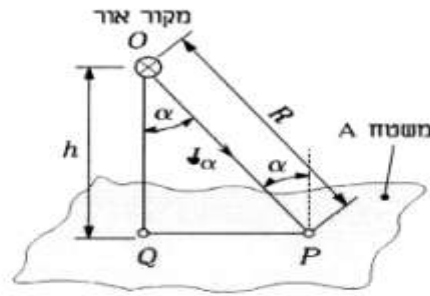
- בעקום פולארי זה בזווית  $0^\circ$  עוצמת האור היא 90 cd.
  - בזווית  $30^\circ$  עוצמת האור היא 95 cd.
  - בזווית  $80^\circ$  עוצמת האור היא 80 cd.
  - בזווית  $170^\circ$  עוצמת האור היא 50 cd.
  - בזווית  $180^\circ$  עוצמת האור היא 0 cd.
- יש לזכור כי נתוני עוצמת האור בעקום הפולארי הוא לכל 1000 lm של מקור האור. וזאת הסיבה מדוע יש לחלק את השטף האורי של הנורה ב-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-1000lm עבור זווית  $21.8^\circ$  הוא  $I_\alpha = 300 \frac{cd}{1000lm}$  ולכן-

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

ולכן עבור נורה בעלת שטף של -20000 lm

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

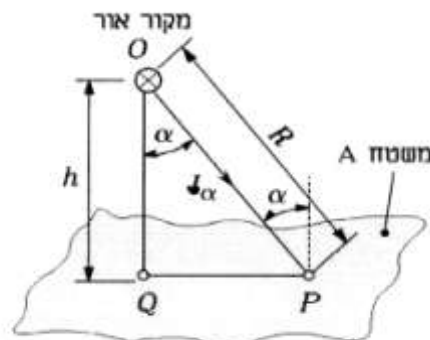
תרגיל דוגמא 2:

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

פתרון לתרגיל דוגמא 2:



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

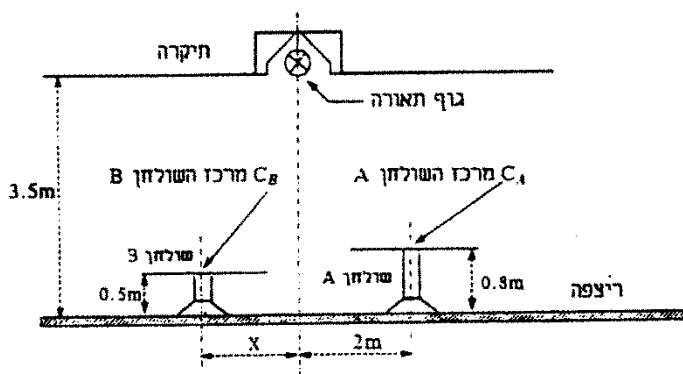
לפי טבלת נתוני עוצמת האור, עבור זווית  $51.34^\circ$  הוא  $I_\alpha = 86 cd$  ולכן-

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

תרגיל דוגמא 3:

בגוף תאורה מורכבת נורת ליבון המוזנת במתח 230V. הזרם הנצרך ע"י הנורה הוא 0.87A. גוף התאורה מורכב בצמוד לתקרת החדר שגובהו 3.5 מ'. הנצילות האורית של הנורה היא 10 lm/w. ההתפלגות הפולארית של גוף התאורה אחידה בכל הזוויות ועוצמת האור היא 90cd.

- חשב את שטף האור של הנורה.
- על רצפת החדר מונח שולחן A כמתואר באיור חשב את רמת ההארה במרכז השולחן.
- חשב את המרחק X של מרכז שולחן B מאנך הנורה כך שרמת ההארה במרכזו תהיה זהה לרמת ההארה במרכזו של שולחן A.



פתרון לתרגיל דוגמא 3:

א.

$$P = U \cdot I = 230 \cdot 0.87 = 200W$$

$$\eta E = \frac{\phi}{P} \left[ \frac{lm}{w} \right]$$

$$\phi = P \cdot \eta E = 200 \cdot 10 = 2000 \text{ lm}$$

ב.

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{l}{h'} = \tan^{-1} \frac{2}{(3.5 - 0.8)} = 36.53^\circ$$

$$E_p = \frac{I\alpha \cdot \cos^3 \alpha}{h'^2} = \frac{90 \cdot \cos^3 36.53}{(3.5 - 0.8)^2} = 6.4 \text{ [lux]}$$

ג.

$$\cos^3 \alpha = \frac{E_p \cdot h'^2}{I\alpha} = \frac{6.4 \cdot (3.5 - 0.5)^2}{90} = 0.64$$

$$\cos \alpha = \sqrt[3]{0.64} = 0.64 \left( \frac{1}{3} \right) = 0.861774$$

$$\alpha = \cos^{-1} 0.861774 = 30.48^\circ$$

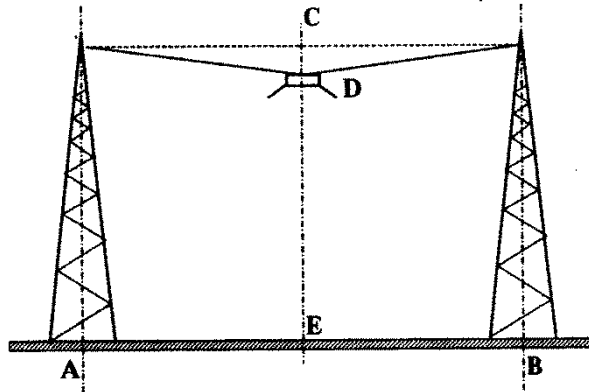
$$\tan \alpha = \frac{x}{h'}$$

$$x = h' \cdot \tan \alpha = (3.5 - 0.5) \cdot \tan 30.48 = 1.766 \text{ m}$$



תרגיל דוגמא 4:

גוף לתאורה חיצונית תלוי על תיל בין 2 עמודים כמתואר באיור



צריך להבטיח רמת הארה של  $400 \text{ lux}$  בנקודה "E" על פני הקרקע.  
 הנורה בעלת שטף אור של  $18000 \text{ lm}$  ועוצמת האור שלה  $250 \text{ cd}/1000 \text{ lm}$ .  
 עוצמת האור היא אחידה בכל הכיוונים.  
 גובה העמוד הוא  $4 \text{ m}$  ואורך התיל  $13 \text{ m}$ .  
 עקב המשקל העצמי שלו, גוף התאורה יורד לנקודה "D" מהנקודה "C" הנמצאת בגובה העמוד.  
 חשב את המרחק "AB" בין 2 העמודים.

פתרון לתרגיל דוגמא 4:

$$I\alpha = \frac{I\alpha}{1000 \text{ lm}} * \frac{\phi}{1000} = 250 * \frac{18000}{1000} = 4500 \text{ cd}$$

$$E_p = \frac{I\alpha * \cos^3 \alpha}{h^2} =$$

$$E_E = \frac{I\alpha * \cos^3 0}{(4 - CD)^2} =$$

$$(4 - CD)^2 = \frac{I\alpha * \cos^3 0}{E_E} =$$

$$4 - CD = \sqrt{\frac{I\alpha * \cos^3 0}{E_E}} =$$

$$CD = 4 - \sqrt{\frac{I\alpha * \cos^3 0}{E_E}} = 4 - \sqrt{\frac{4500 * 1}{400}} = 0.646 \text{ m}$$

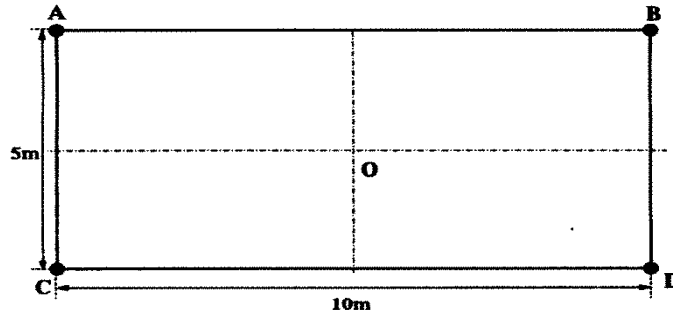
$$DB = \frac{ADB}{2} = \frac{13}{2} = 6.5 \text{ m}$$

$$CA = CB = \sqrt{(DB)^2 - (CD)^2} = \sqrt{6.5^2 - 0.646^2} = 6.45 \text{ m}$$

$$AB = CA = CB = 2 * 6.45 = 12.9 \text{ m}$$

תרגיל דוגמא 5:

מגרש מלבני בעל ממדים כמתואר באיור, מואר באמצעות 4 גופי תאורה המורכבים על העמודים A,B,C,D. גובה העמודים 5m ושטף באור של כל נורה הוא 30000 lm.



עקומת ההתפלגות הפולארית של גוף התאורה כמתואר בטבלה:

83	76	69	62	55	45	34	20	10	0	$\alpha^\circ$
0	72	115	190	230	280	260	220	200	150	$I \left[ \frac{cd}{1000lm} \right]$

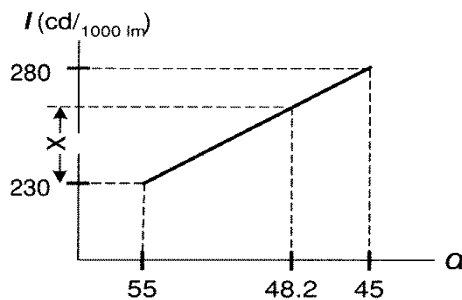
חשב את רמת הארה במרכז המגרש.

פתרון לתרגיל דוגמא 5:

$$AO = \sqrt{\left(\frac{AB}{2}\right)^2 + \left(\frac{AC}{2}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{10}{2}\right)^2 + \left(\frac{5}{2}\right)^2} = 5.59 \text{ m}$$

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{AO}{h}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{5.59}{5}\right) = 48.2^\circ$$

לפי ההתפלגות הפולארית: הזווית 48.2 נמצאת בין הזווית 45 לבין הזווית 55. בהנחה שהעקום הפולארי הוא ליניארי נחשב את עוצמת האור בזווית 48.2 בשיטת האינטרפולציה:



$$\frac{X}{55 - 48.2} = \frac{280 - 230}{55 - 45}$$

$$X = \frac{280 - 230}{55 - 45} * (55 - 48.2) = \frac{50}{10} * 6.8 = 34$$

$$I_{48.2^\circ} = 230 + 34 = 264 \frac{cd}{1000lm}$$

$$I\alpha = \frac{I_{48.2^\circ}}{1000lm} * \frac{\phi}{1000} = 264 * \frac{30000}{1000} = 7920cd$$

$$E_A = \frac{I\alpha * \cos^3\alpha}{h^2} = \frac{7920 * \cos^3 48.2}{5^2} = 93.81 \text{ lux}$$

$$E_O = 4 * E_A = 4 * 93.81 = 375.24 \text{ lux}$$

**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.

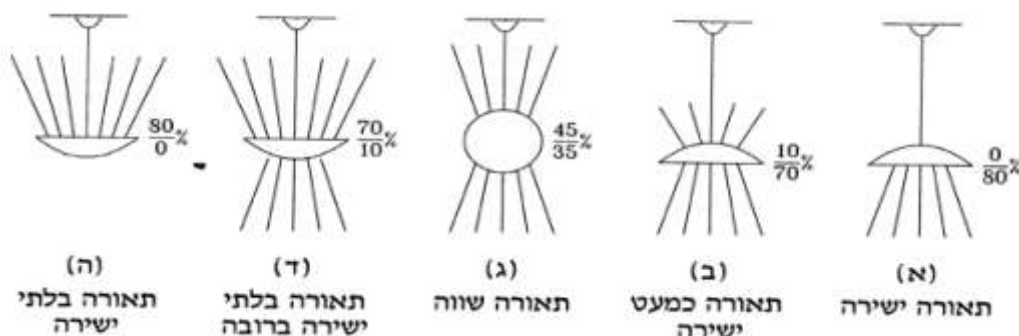
בטבלה מובאות המלצות מ- LESNA LIGHTING HANDBOOK לגבי רמת ההארה הממוצעות של תאורת פנים עבור מתקני תאורה שונים:

רמת ההארה lx	יעוד	רמת ההארה lx	יעוד
100	מחסנים ללא פעילות פעילים, מוצרים גדולים פעילים, מוצרים קטנים	500	תעשייה הרכבות ברמה נמוכה
200		1000	הרכבות ברמה בינונית
500		2000	הרכבות ברמה גבוהה
50	חניונים כללי רמפות, פניות כניסות	300	מסחר פעילות נמוכה
100		800	פעילות בינונית
500		1000	פעילות גבוהה
5000	תעשיית בגדים גזירה, תפירה	500	לימודים כיתות לימוד, ספריה
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 <sub>avc</sub> (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:**

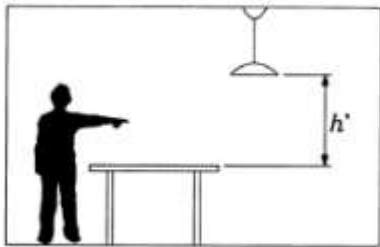
לתאורת פנים מומלץ להשתמש בנורות פלורוסנט כאשר הן מותקנות עד גובה 4 מ' מעל המשטח המואר.

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).

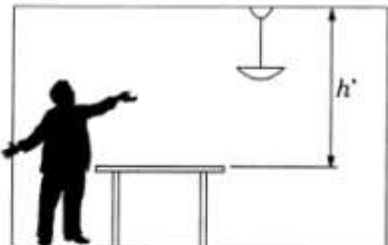
חישובי תאורת פנים:

**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.

טבלת מקדמי הפחתה k




מקדמי הפחתה K




תאורה פלואורסצנטית		תאורת כספית		תאורת ליבון		סוג התאורה	סוג גופי תאורה
מרבח	מועט	מרבח	מועט	מרבח	מועט	מצב האבק	
0.55	0.75	0.6	0.8	0.6	0.85	גופים לתאורה ישירה	סוג גופי תאורה
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:

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

## קורס - מתקני השמל -הנדסאי השמל

מס' סוג גוף תאורה (עוצמת האור של נורה 100%)	חלוקת עוצמת האור	הסרתם המוקדמית בין יחידות התאורה המרחק	מקדם הנצילות %CU								
			קב"ק	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 0.8	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' סוג גוף תאורה (עוצמת האור של נורה 100%)	חלוקת עוצמת האור	הסרתם המוקדמית בין יחידות התאורה המרחק	מקדם הנצילות %CU								
			קב"ק	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 0.65-0.85	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 1:

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 1:

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:  $15 - 6 = 9m$ .

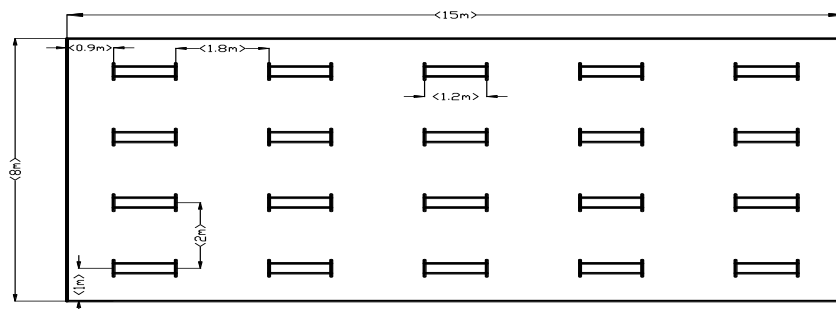
ולכן לקביעת המרחק בין הגופים נחשב באמצעות הביטוי:

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

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 השמל-הנדסאי השמל

תרגיל דוגמא 2:

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'-

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

פתרון לתרגיל דוגמא 2:

עבור נורת ליבון-

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

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

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

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

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

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

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

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

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



תרגיל דוגמא 3:

יש לתכנן מערכת תאורה לחדר עבודה בעל גובה 3m אורך החדר 8m ורוחבו 6m. מקורות האור הם נורות פלורוסנטיות ושטף האור של כל נורה 2000lm הנורות מותקנות במרחק של 10cm מהתקרה. גובה שולחן העבודה הוא 85cm מהרצפה זקוקים לרמת הארה של 300lux על פני השולחן. מקדם ההפחתה הכללי של החדר הוא 0.7. בטבלה הבאה נתונים ערכי נצילות אורית כפונקציה של מקדם החדר (המתחשב בכל מקדמי ההחזרה תקרה+קירות).

מקדם הנצילות האורית	מקדם החדר
41	1
46	1.25
50	1.5
55	2

פתרון לתרגיל דוגמא 3:

$$Rc = \frac{2W + L}{6h'} = \frac{2 * 6 + 8}{6 * (3 - 0.88 - 0.1)} = 1.65$$

נחשב את נצילות התקן התאורה באמצעות אינטרפולציה:

$$\frac{X}{2 - 1.65} = \frac{55 - 50}{2 - 1.5}$$

$$X = \frac{55 - 50}{2 - 1.5} * (2 - 1.65) = \frac{5}{0.5} * 0.35 = 3.5$$

$$CU = 55 - 3.5 = 51.5$$

$$n = \frac{E * A * 100}{k * CU * \phi} = \frac{300 * 8 * 6 * 100}{0.7 * 51.5 * 2000} = 19.97 \text{ נורות}$$

מכאן שמספר הנורות הוא 20 יח'

תרגיל דוגמא 4:

דרושה רמת הארה של 300lux על פני שולחן שגובהו 85cm. השולחן נמצא באולם שאורכו 12m ורוחבו 7m וגובהו 4.35m.

השולחן עשוי מחומר בגוון מט ומקדם ההזרה שלו הוא 25%. הנצילות האורית המתאימה למקדם החדר הוא 52%. ומקדם ההפחתה הכללי הוא 78%. משתמשים בנורות בעלות שטף אורי של 2450 lm כ"א, ונצילות אורית של 14.6 lm/w. הנורות מורכבות בגופי תאורה והמרחק שלהם מהתקרה הוא 15 cm.

- א. חשב את מקדם החדר יחסית לשולחן העבודה.
- ב. חשב את מספר המנורות הדרושות להשגת רמת הארה הרצויה וכן חשב את ההספק החשמלי הנצרך מהקשת ע"י מערכת התאורה.
- ג. חשב את בהיקות שטח השולחן.

פתרון לתרגיל דוגמא 4:

א.

$$Rc = \frac{2W + L}{6h'} = \frac{2 * 7 + 12}{6 * (4.35 - 0.85 - 0.15)} = 1.29$$

ב.

$$n = \frac{E * A * 100}{k * CU * \phi} = \frac{300 * 7 * 12 * 100}{0.78 * 52 * 2450} = 25.36 \text{ נורות}$$

כמות הנורות הוא 26 יח'

$$\eta E = \frac{\phi}{P} \left[ \frac{lm}{w} \right]$$

$$P = \frac{\phi}{\eta E} = \frac{2450}{14.6} = 167.8W$$

$$P_T = P * n = 167.8 * 26 = 4.36KW$$

ג.

$$L = \frac{I(cd)}{A(m^2)} = \frac{\rho * E}{\pi} = \frac{0.25 * 300}{\pi} = 23.873 \left[ \frac{cd}{m^2} \right]$$

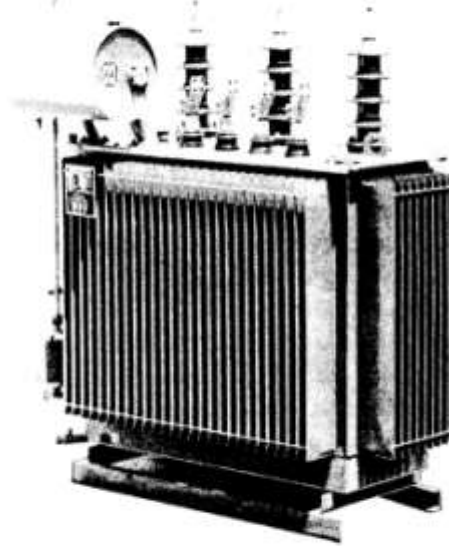
פרק 10- נספחים

שנאי רשת (באדיבות חב' אלקו תעשיות)

Technical data

General data

Rated primary voltage : 22 kV  
 Tapping range : ±15% (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	6.50	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	1.095	4.38	0.6

# קורס - מתקני השמל -הנדסאי השמל

מפסק אוטומטי זעיר (מא"ז) (באדיבות חב' Moeller)

אופייני B, C, כושר ניתוק: 10 kA

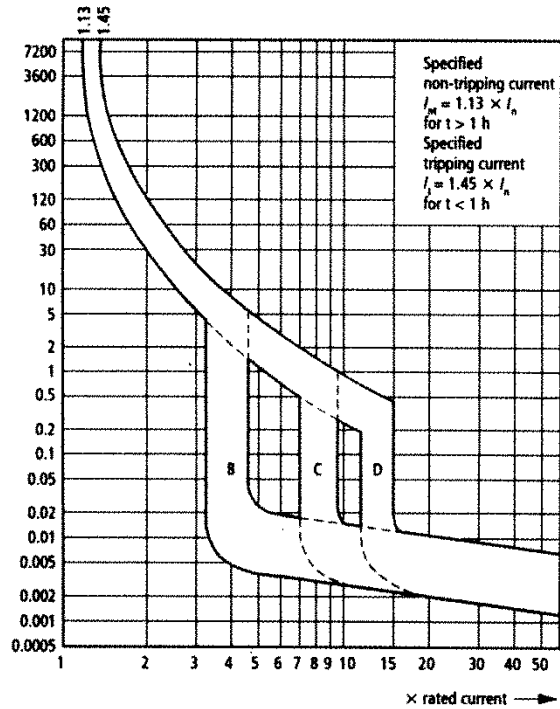
**FAZ Miniature Circuit-Breakers**  
Switching Capacity 10 kA (IEC/EN 60 898)

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**

Characteristic	Rated current	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		

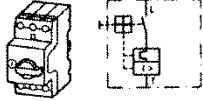
FAZ tripping characteristics at 30 °C: B, C, D to IEC/EN 60 898



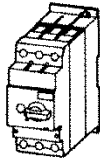
מפסק אוטומטי מגנטי תרמי (מאמ"ת) להגנה על מנועים עד 63 A  
הגנה תרמית מתכווננת

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

Max. AC-3 motor rating					Rated uninter- rupted current	Setting range	
220 V	380 V	440 V	500 V	660 V		690 V	Overload release
230 V	400 V					$I_n$	$I_m$
240 V	415 V					A	A
kW	kW	kW	kW	kW	kW		
Motor-protective circuit-breakers <sup>1)</sup> , Type "1" and Type "2" coordination							
-	-	-	-	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

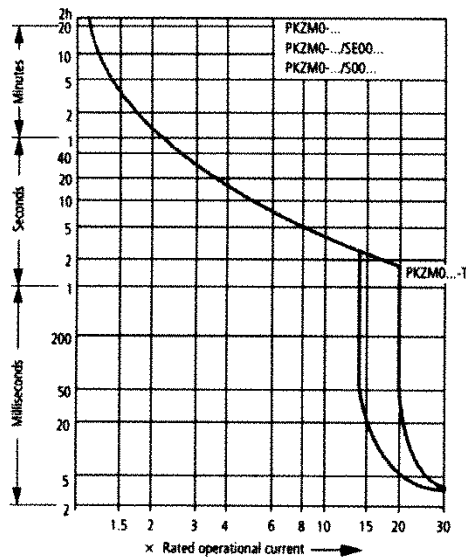


Motor-protective circuit-breakers<sup>1)</sup>, Type "1" and Type "2" coordination



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

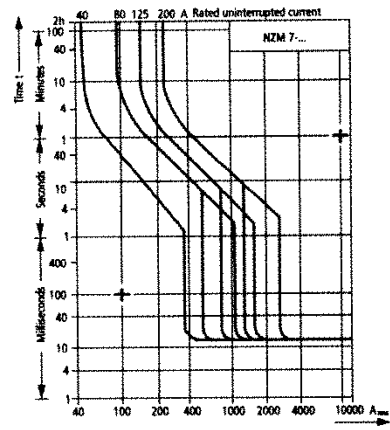
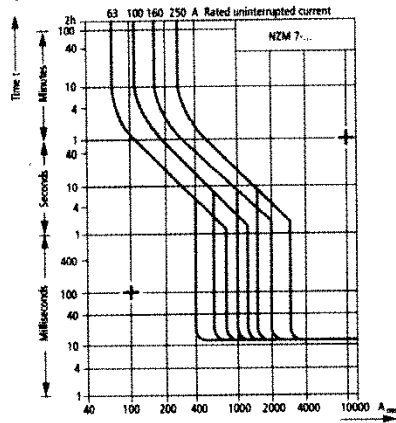
מפסק אוטומטי מגנטי תרמי (מאמ"ת) עד 200 A  
 כושר ניתוק: 35 kA (דגם N), 65 kA (דגם S), 100 kA (דגם H)  
 הגנה תרמית ומגנטית מתכווננות

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

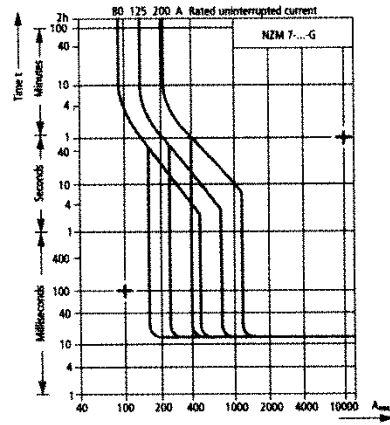
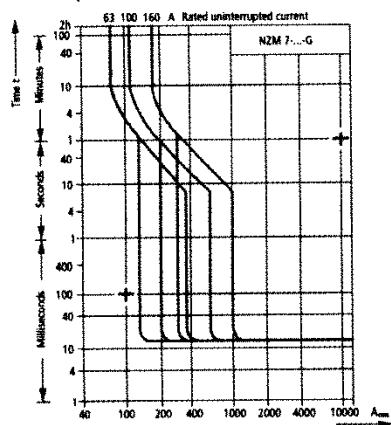
Motor data					Setting ranges		Normal switching capacity 35 kA at 400 V 50/60 Hz Type Article no.
AC-3 380 V 400 V 415 V P kW	Rated current Operational $I_n$ A	Uninterrupted $I_n$ A	Overload releases $I_r$ A	Short-circuit releases, non-delayed $I_{ms}$ A			
<b>Circuit-breakers for motor protection, 3-pole</b>							
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 × $I_n$	NZM7-40N-M 049032
		18.5	36	40	25 - 40		NZM7-40N-M 049032
		22	41	63	40 - 63	6 - 14 × $I_n$	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 × $I_n$	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 × $I_n$	NZM7-40N-M-M8 065820
		18.5	36	40	25 - 40		NZM7-40N-M-M8 065820
		22	41	63	40 - 63	6 - 14 × $I_n$	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 × $I_n$	NZM7-200N-M-M8 065826
		110	196	200	160 - 200		NZM7-200N-M-M8 065826

**NZM7 Circuit-Breakers**  
Tripping Characteristics

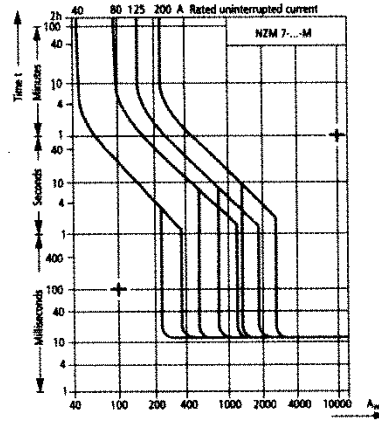
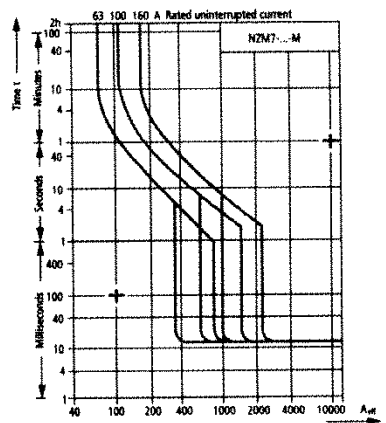
**System protection**



**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

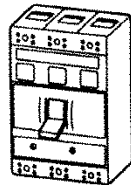
**NZM10 Circuit-Breakers, 3-pole  
 System, Generator and Motor Protection**

				Normal switching capacity 45 kA at 400 V 50/60 Hz	
				Type	
				Article no.	
Rating data		Setting ranges:			
	Motor data	Overload-releases	Short-circuit releases		
Rated uninterrupted current	AC-3		Delayed	Non-delayed	
	380 V 400 V 415 V				
$I_n$ A	P kW	$I_t$ A	$I_{mv}$ A	$I_m$ A	

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

Adjustable overload releases

Adjustable non-delayed short-circuit releases



250	-	125 - 250	-	$2 - 12 \times I_t$	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

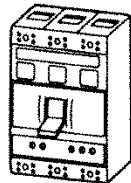
Time delay setting to overcome current peaks ( $t_r = 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 17, 20$  s).

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

Adjustable delayed short-circuit releases

( $t_s = 0, 10, 50, 100, 150, 200, 300, 500, 750, 1000$  ms) - 20%

Adjustable non-delayed short-circuit releases



250	-	125 - 250	$2 - 12 \times I_t$	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

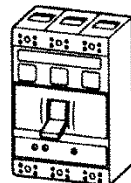
**Circuit-breakers for motor protection**

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

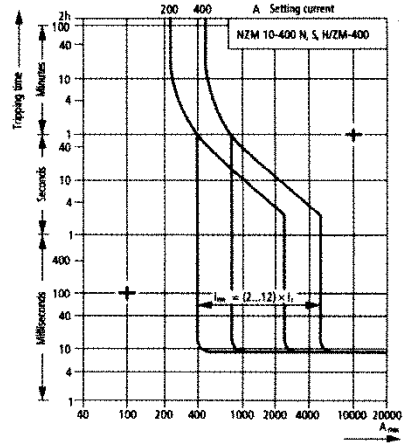
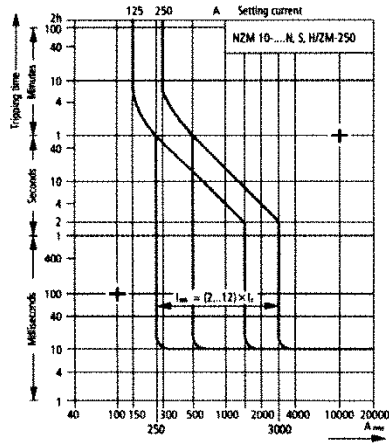


250	110	125 - 250	-	$2 - 12 \times I_t$	NZM10-400N/ZMM-250 047821
250	132	125 - 250	-		NZM10-400N/ZMM-250 047821
400	160	200 - 400	-		NZM10-400N/ZMM-400 034732
400	200	200 - 400	-		NZM10-400N/ZMM-400 034732
630	250	300 - 630	-		NZM10-630N/ZMM-630 034733
630	315	300 - 630	-		NZM10-630N/ZMM-630 034733

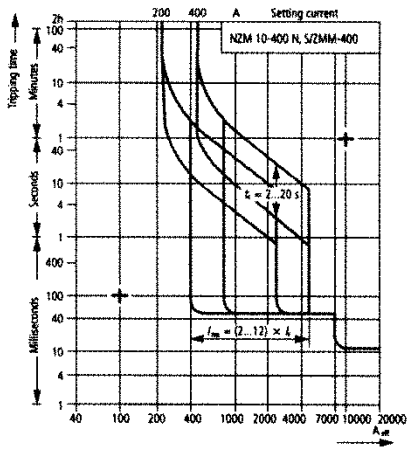
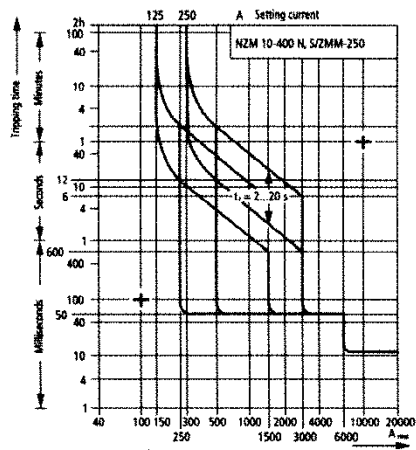


**NZM10 Circuit-Breakers**  
Tripping Characteristics

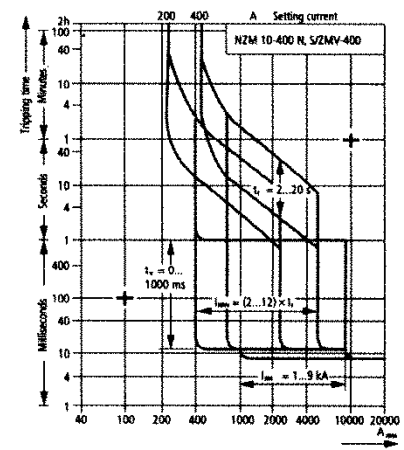
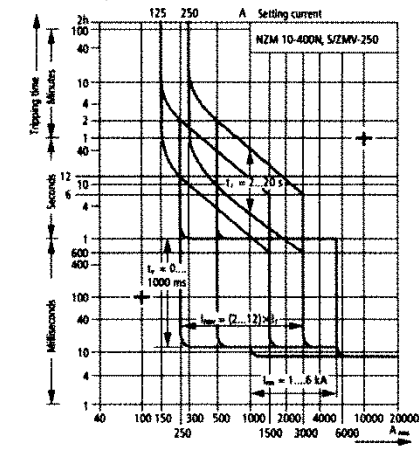
System protection, generator protection



Motor protection



Time selectivity



## קורס - מתקני חשמל -הנדסאי חשמל

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

### קבלים תלת פאזיים גליליים



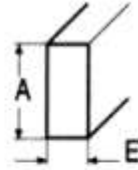
מק"ט	דגם	הספק ב- 400V 50Hz KVAR	הספק ב- 440V 50Hz KVAR	גודל פריקה K	מידות (מ"מ) גובהXקוטר
26-1057	MKPg-5	5	6.25	300	75X176
26-1073	MKPg-7.5	7.5	9.1	300	75X176
26-1099	MKPg-10	10	12.5	300	75X230
26-1108	MKPg-12.5	12.5	15	300	85X230
26-1115	MKPg-15	15	18.3	180	95X230
26-1339	MKPg-20	20	25	180	100X230
26-1347	MKPg-25	25	30	120	116x230
26-1350	MKPg-30	30	-	120	116x280

### קבלים תלת פאזיים בקופסא

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

# קורס - מתקני חשמל -הנדסאי חשמל

פסי צבירה ללוחות חשמל (באדיבות חב' יקיר תעשיות)



הזרם המתמיד המרבי  $I_z(A)$

כיצד לבחור פס נחושת אלקטרווליטית								מפתח מריט	AxE מ"מ
I	זרם עבודה			מספרות עבודה 85%					
	מספרות עבודה 85%	מספרות עבודה 85%	מספרות עבודה 85%	מספרות עבודה 85%	מספרות עבודה 85%	מספרות עבודה 85%	מספרות עבודה 85%		
			160				212		12x4
			183				241		12x5
			274				363	70090-2	20x5
		586	327			776	433		25x5
1003	896	672	379	1329	1187	890	502	70090-3	30x5
1220	1090	836	482	1617	1444	1108	639	70090-4	40x5
1411	1260	994	583	1870	1670	1317	772	70090-5	50x5
1613	1440	1150	688	2137	1908	1524	912	70090-6	60x5
1673	1494	1197	718	2217	1980	1586	951		63x5
1960	1750	1450	885	2597	2319	1921	1173	70090-7	80x5
2296	2050	1730	1080	3042	2716	2292	1431		100x5
2666	2381	2022	1300	3532	3155	2679	1723		125x5
1547	1289	986	573	2041	1701	1300	756	70095-1	30x10
1931	1609	1230	715	2549	2124	1624	944	70095-2	40x10
	2040	1510	852		2703	2001	1129	70095-3	50x10
	2300	1720	985		3048	2279	1305	70095-4	60x10
	2790	2110	1240		3697	2796	1643	70095-5	80x10
	3260	2480	1490		4320	3286	1974	70095-6	100x10
	3740	2860	1740		4956	3790	2306	70095-7	120x10
	4680	3590	2220		6201	4757	2942		160x10
	5610	4310	2690		7433	5711	3564		200x10

## קורס - מתקני השמל -הנדסאי השמל

מנועים אסינכרוניים תלת-פאזיים רוטור-כלוב (באדיבות חב' 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.	η %	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 (2)	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 (2)	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 (1)	25	1420	4.8	82.8	0.80	0.023	6.2	2.2	2.7
	2.2	3	K100L (1)	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 (2)	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 (3)	2050	1490	522	96.5	0.91	45	6.5	1.1	2.4

η - 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 השמל -הנדסאי השמל



נספחים - נרות

**נרות פלואורסנט וקומפקט**













  

חיצון	פסל להחמנה	סימן בינ"ל	הספק P(W)	כית נורה	שטחי אור פ (lm)	מקום מסירת צבע R <sub>a</sub>	סמך צבע ג'	קוטר D (mm)	אורך L (mm)	אורך חיים (h)
פלואורסנט לבן חם	001930	INT	14 *	G5	1,350	85	2,700	16	540	20,000
	001940		28 *	G5	2,800	85	2,700	16	1,140	20,000
	001950		35 *	G5	3,850	85	2,700	16	1,440	20,000
פלואורסנט לבן חם	001928	WW	14 *	G5	1,350	80	3,000	16	540	20,000
	001912		21 *	G5	2,100	80	3,000	16	840	20,000
	001929		28 *	G5	2,900	80	3,000	16	1,140	20,000
	001914		35 *	G5	3,600	80	3,000	16	1,440	20,000
	001909		24 **	G5	2,000	80	3,000	16	540	20,000
	001910		39 **	G5	3,500	80	3,000	16	840	20,000
	001915		49 **	G5	4,850	80	3,000	16	1,440	20,000
	001911		54 **	G5	5,000	80	3,000	16	1,140	20,000
	001913		80 **	G5	6,900	80	3,000	16	1,440	20,000
	002064		18	G13	1,150	50	2,900	26	590	12,000
	002055		36	G13	2,850	50	2,900	26	1,200	12,000
	002066		58	G13	4,800	50	2,900	26	1,500	12,000
	פלואורסנט לבן קר	002086	CW	8	G5	240	80	4,000	16	212
002088			8	G5	450	80	4,000	16	288	12,000
002071			13	G5	950	80	4,000	16	517	12,000
001921			14 *	G6	1,350	85	4,000	16	540	20,000
001922			21 *	G5	2,100	85	4,000	16	840	20,000
001923			28 *	G5	2,900	85	4,000	16	1,140	20,000
001924			35 *	G5	3,850	85	4,000	16	1,440	20,000
001925			24 **	G5	2,000	85	4,000	16	540	20,000
001926			39 **	G5	3,500	85	4,000	16	840	20,000
002116			49 **	G5	4,850	85	4,000	16	1,440	20,000
001927			54 **	G5	5,000	85	4,000	16	1,140	20,000
002111			80 **	G5	6,900	85	4,000	16	1,440	20,000
002089			18	G13	1,150	65	4,100	26	590	12,000
002039		36	G13	2,850	65	4,100	26	1,200	12,000	
002058		58	G13	4,800	65	4,100	26	1,500	12,000	
פלואורסנט אור יום	001901	DL	14 *	G5	1,300	85	6,200	16	540	20,000
	001902		21 *	G5	2,000	85	6,200	16	840	20,000
	001903		28 *	G5	2,750	85	6,200	16	1,140	20,000
	001904		35 **	G5	3,500	85	6,200	16	1,440	20,000
	001905		24 **	G5	1,900	85	6,200	16	540	20,000
	001906		39 **	G5	3,400	85	6,200	16	840	20,000
	002117		49 **	G5	4,850	85	6,200	16	1,440	20,000
	001907		54 **	G5	4,900	85	6,200	16	1,140	20,000
	002112		80 **	G5	6,400	85	6,000	16	1,440	20,000
	002018		18	G13	1,050	70	6,200	26	590	12,000
	002036		36	G13	2,500	70	6,200	26	1,200	12,000
	002059		58	G13	4,900	70	6,200	26	1,500	12,000
	פלואורסנט לבן חם	001960	WW	18	G13	1,350	85	3,000	26	590
001961		RAMB TRIPHOSPHOR	36	G13	3,350	85	3,000	26	1,200	15,000
001962			58	G13	5,200	85	3,000	26	1,500	15,000
פלואורסנט לבן קר	002065	CW	18	G13	1,350	85	4,000	26	590	15,000
	002037	RAMB TRIPHOSPHOR	36	G13	3,350	85	4,000	26	1,200	15,000
	002068		58	G13	5,200	85	4,000	26	1,500	15,000

HE = High Efficiency \*  
 HO = High Output \*\*  
 הערות: שדות עם זה לוחי הורגים  
 \* גודל חסן מותן 25 - גודל 35

# קורס- מתקני השמל-הנדסאי השמל

## HID נורות

אורך חיים (th)	אורך L(mm)	קוטר D(mm)	טמפ' צבע °k	מקדם מסירת צבע Ra	שטף אור φ(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	
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	מטל הלייד 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	
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	
6,000	90	20	3,000	80	3,400	G12	35	מטל הלייד PREFOCUS
6,000	90	20	3,000	80	6,600	G12	70	MASTER COLOR
6,000	100	20	3,000	80	14,000	G12	150	
5,000	84	25	3,000	80	3,400	G12	35	מטל הלייד 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	12,500	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	מטל הלייד PREFOCUS
5,000	149	37	4,200	85	12,000	PGX12-2	150	
8,000	257	47	5,400	90	19,000	E40	250	מטל הלייד טובולרי
8,000	285	47	5,400	90	33,000	E40	400	
10,000	154	50	2,000	25	5,500	E27	70	נ.ל.ג 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	נ.ל.ג 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