

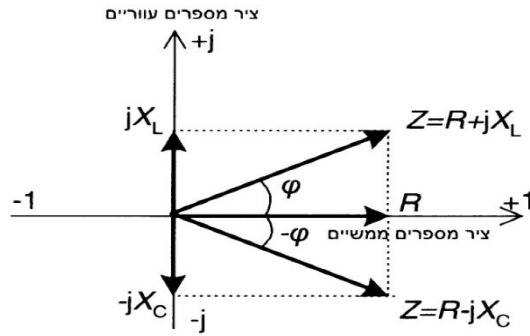
**נוסחאון במערכות
הספק ומתקני
חשמל**

הנדסאי חשמל

נכתב ונערך ע"י ארנון בן טובים

2022

זרמים והספקים בזרם חילופין



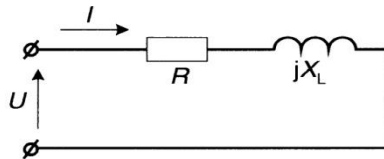
עבור צרכן בעל אופי השראי-

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

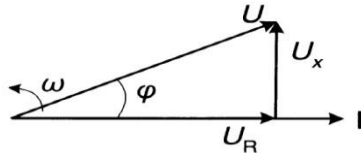
$$\varphi = \sin^{-1} \left(\frac{X_L}{Z} \right)$$

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

מעגל תמורה של צרכן אומי השראי:



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



$$U_X = I * jX_L = j * I * X_L, \quad U_R = I * R.$$

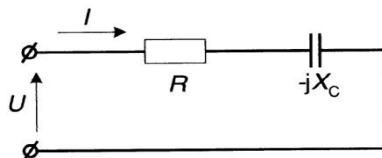
עבור צרכן בעל אופי קיבולי-

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

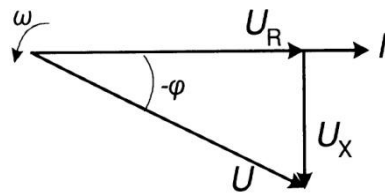
$$\varphi = \sin^{-1} \left(\frac{-X_C}{Z} \right)$$

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

מעגל תמורה של צרכן אומי קיבולי:

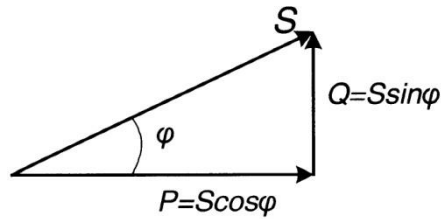


$$R - jX_C = Z^{\angle -\varphi}$$



$$U_x = I * (-jX_c) = -j * I * X_c, \quad U_R = I * R$$

משולש הספקים:



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

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

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

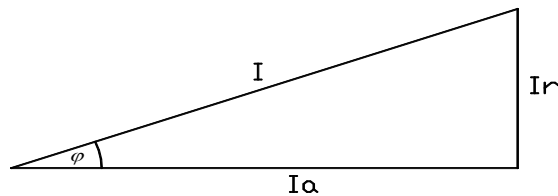
$$\sin \varphi = \frac{Q}{S}$$

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

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

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

משולש הזרמים:



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

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

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

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

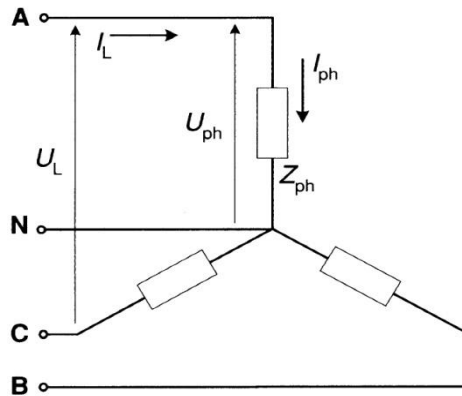
$$\tan \varphi = \frac{I_r}{I_a}$$

$$I^2 = I_a^2 + I_r^2$$

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_r^2}$$

מערכת תלת מופעית חיבור צרכן בחיבור כוכב ובחיבור משולש:

חיבור צרכן בחיבור כוכב:



$$U_A \angle 0^\circ, U_B \angle -120^\circ, U_C \angle 120^\circ$$

$$U_L = \sqrt{3} * U_{ph}$$

לפי חוק מפלי מתח של קירכהוף:

$$\vec{U}_{AB} = \vec{U}_A - \vec{U}_B, \quad \vec{U}_{BC} = \vec{U}_B - \vec{U}_C, \quad \vec{U}_{CA} = \vec{U}_C - \vec{U}_A$$

$$S = 3 * S_{ph} = 3 * \vec{I}_{ph} * \vec{U}_{ph}$$

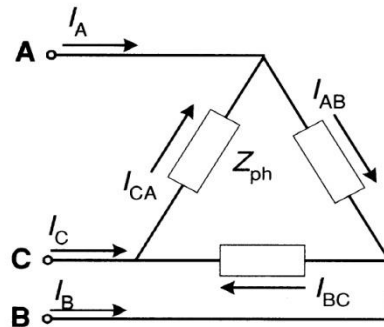
בחיבור צרכן מאוזן:

$$\vec{Z}_A = \vec{Z}_B = \vec{Z}_C$$

$$\vec{I}_A = \vec{I}_B = \vec{I}_C$$

$$\vec{I}_A + \vec{I}_B + \vec{I}_C = \vec{I}_N = 0A$$

חיבור צרכן בחיבור משולש



$$U_A = U_{AB}, \quad U_B = U_{BC}, \quad U_C = U_{CA}$$

$$U_{AB} \angle 0^\circ, \quad U_{BC} \angle -120^\circ, \quad U_{CA} \angle 120^\circ$$

$$\vec{I}_{AB} = \frac{\vec{U}_{AB}}{\vec{Z}_{AB}}, \quad \vec{I}_{BC} = \frac{\vec{U}_{BC}}{\vec{Z}_{BC}}, \quad \vec{I}_{CA} = \frac{\vec{U}_{CA}}{\vec{Z}_{CA}}$$

בעומס סימטרי:

$$I_L = \sqrt{3} * I_{ph}$$

$$S = 3 * I_{ph} * U_{ph} = 3 * \frac{I_L}{\sqrt{3}} * U_L = \sqrt{3} * I_L * U_L$$

חישובי רשתות

בחירת שטח חתך המוליכים לפי שיקול חוזק מכני:

בתקנות החשמל מוגדרים החתכים המינימאליים של המוליכים במתקן מתח נמוך:

- א. למוליך נחושת 1.5 mm^2 .
- ב. למוליך אלומיניום 2.5 mm^2 (במעגלים סופיים 6 mm^2).
- ג. למוליך נחושת בכבל עילי (התלוי על תיל נושא) 4 mm^2 .
- ד. למוליך אלומיניום בכבל עילי 16 mm^2 .
- ה. למוליך נחושת ברשת עילית ללא בידוד 16 mm^2 .
- ו. למוליך אלומיניום ברשת עילית ללא בידוד 25 mm^2 .

חישוב שטח חתך המוליכים לפי שיקול מפל מתח מותר:

תקנות:

לפי תקנות החשמל: "מפל המתח המרבי בין הדקי הצרכן לבין נקודת צריכה כלשהי במתקן הצרכן לא יעלה על 3% מהמתח הנומינאלי של הרשת".

שלבי חישוב שטח חתך אחיד:

- א. הצגת זרמי הקטעים או ההספקים ברשת בצורה קרטזית.
- ב. חישוב מפל מתח ראקטיבי $\Delta U_r\%$.

הערות:

1. בתצוגה קרטזית של הספקי קטעים מסמנים את הרכיב הראקטיבי ב-(+)
כאשר האופי הוא השראי וב-(-) כאשר האופי הוא קיבולי.
2. בתצוגה קרטזית של זרמי קטעים מסמנים את הרכיב הראקטיבי ב-(+)
כאשר האופי הוא קיבולי וב-(-) כאשר האופי הוא השראי.
3. בחישוב מפל המתח הראקטיבי כאשר הרשת מוצגת ע"י זרמים יש להפוך את הסימנים.
4. מפל מתח הראקטיבי שווה לאפס או ניתן להזנחה במקרים הבאים:
רשת לזרם ישר.
מקדם הספק של צרכנים קרוב ל-1.
מוליכי רשת בעלי חתכים קטנים שהתנגדותם האומית הרבה יותר גדולה מההיגב האשראי שלהם.
במקרים אלו מניחים כי- $\Delta U\% = \Delta U_a\%$ ועוברים לשלב ד.
- ג. חישוב מפל מתח אקטיבי מותר $\Delta U_a\%$ לפי הנוסחה: $\Delta U_a\% = \Delta U\% - \Delta U_r\%$
- ד. חישוב שטח חתך אחיד לפי $\Delta U_a\%$.

נוסחאון במערכות הספק ומתקני השמל-הנדסאי השמל

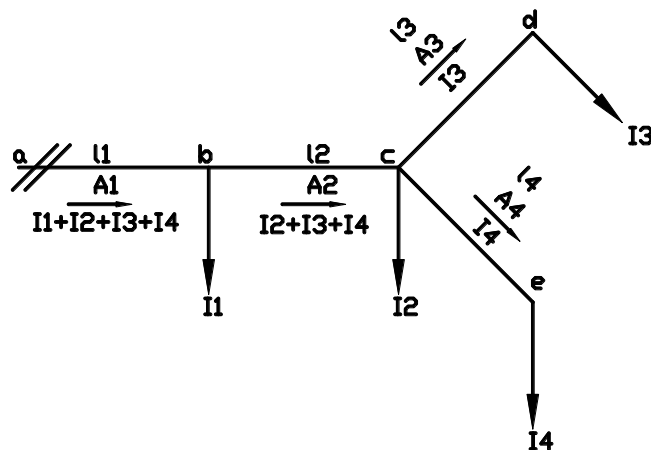
$$\Delta Ua\% = \Delta U\% - \Delta Ur\%$$

מפל מתח אקטיבי (%)	מפל מתח ראקטיבי (%)	הצגת הרשת	סוג הרשת
$\Delta Ua\% = \frac{200 * \rho}{A * Un} \sum_{i=1}^n Iali * li$	$\Delta Ur\% = \frac{2 * Xo}{10Un} \sum_{i=1}^n \bar{I}rli * li$	זרמי קטעים	חד מופעית
$\Delta Ua\% = \frac{200 * \rho}{A * Un^2} \sum_{i=1}^n Pli * li$	$\Delta Ur\% = \frac{2 * Xo}{10Un^2} \sum_{i=1}^n Qli * li$	הספקי קטעים	
$\Delta Ua\% = \frac{\sqrt{3} * 100\rho}{A * Un} \sum_{i=1}^n Iali * li$	$\Delta Ur\% = \frac{\sqrt{3} * Xo}{10Un} \sum_{i=1}^n \bar{I}rli * li$	זרמי קטעים	תלת מופעית
$\Delta Ua\% = \frac{100 * \rho}{A * Un^2} \sum_{i=1}^n Pli * li$	$\Delta Ur\% = \frac{Xo}{10Un^2} \sum_{i=1}^n Qli * li$	הספקי קטעים	

$$\Delta U = \Delta Ua + \Delta Ur$$

מפל מתח אקטיבי (V)	מפל מתח ראקטיבי (V)	הצגת הרשת	סוג הרשת
$\Delta Ua = \frac{2 * \rho}{A} \sum_{i=1}^n Iali * li$	$\Delta Ur = \frac{2 * Xo}{1000} \sum_{i=1}^n \bar{I}rli * li$	זרמי קטעים	חד מופעית
$\Delta Ua = \frac{2 * \rho}{A * Un} \sum_{i=1}^n Pli * li$	$\Delta Ur = \frac{2 * Xo}{1000Un} \sum_{i=1}^n Qli * li$	הספקי קטעים	
$\Delta Ua = \frac{\sqrt{3} * \rho}{A} \sum_{i=1}^n Iali * li$	$\Delta Ur = \frac{\sqrt{3} * Xo}{1000} \sum_{i=1}^n \bar{I}rli * li$	זרמי קטעים	תלת מופעית
$\Delta Ua = \frac{\rho}{A * Un} \sum_{i=1}^n Pli * li$	$\Delta Ur = \frac{Xo}{1000Un} \sum_{i=1}^n Qli * li$	הספקי קטעים	

רשת מתפצלות

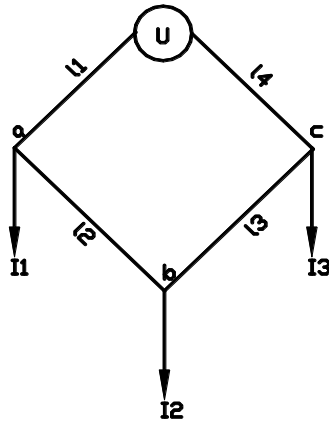


$$\Delta Umax(ad) = \frac{2\rho}{A(ad)} * \sum(I(ad) * l(ad))$$

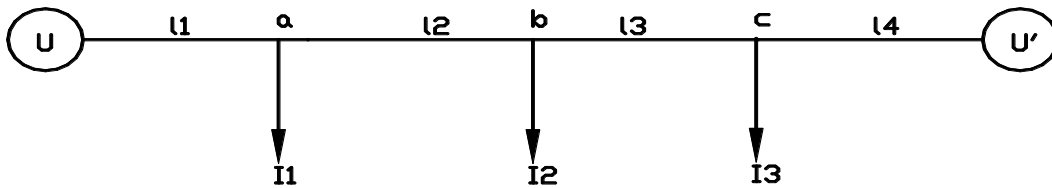
$$\Delta Umax(ae) = \frac{2\rho}{A(ae)} * \sum(I(ae) * l(ae))$$

קובעים את שטח החתך האחיד בהתאם מפל המתח הקטן מביניהם.

רשת טבעתית או רשת עם 2 מקורות שווים



שלב ראשון- יש לפתוח את הרשת הטבעתית כמו רשת בעלת 2 מקורות שווים. סימון כיווני הזרמים-הקטעים הקיצוניים מסמנים את כיוון הזרם לתוך הרשת, כיוון יתר הזרמים יתבררו במהלך החישובים בהתאם לערך הוקטורי שלהם.



שלב שני- לחשב את הזרם (או הספק מדומה) שיוצא מכל מקור עבור כל קטע בהתאם החלק היחסי של אורך הקווים בקטעים השונים עבור שטח חתך אחיד בהתאם לנוסחת מומנט הזרמים כלפי נקודת U או U':

$$I_u = \frac{\vec{I}_1 * (l_2 + l_3 + l_4) + \vec{I}_2 * (l_3 + l_4) + \vec{I}_3 * l_4}{l_1 + l_2 + l_3 + l_4}$$

או

$$I_{u'} = \frac{\vec{I}_1 * l_1 + \vec{I}_2 * (l_1 + l_2) + \vec{I}_3 * (l_1 + l_2 + l_3)}{l_1 + l_2 + l_3 + l_4}$$

שלב שלישי- חישוב זרמי הקטעים השונים (או הספקי הקטעים) עלפי קירכהוף. זרם שסימנו שלילי יש לשנות את כיוונו.

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

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

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

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

נוסחאות במערכות הספק ומתקני השמל-הנדסאי השמל

חישוב שטח חתך המוליכים לפי שיקול הפסדי הספק:

$$\Delta P = I^2 * R \Rightarrow R = \frac{\rho}{A} * l \Rightarrow \Delta P = \frac{I^2 * \rho * l}{A}$$

שלב החישוב:

- א. הצגת זרמי הקטעים או ההספקים ברשת בצורה קרטזית או פולארית.
 ב. חישוב שטח אחיד של מוליכי הרשת.

שטח חתך אחיד ברשת (mm ²)	הצגת הרשת	סוג הרשת
$A = \frac{200\rho}{\Delta P\% * P_{l1}} \sum_{i=1}^n I_{li}^2 * l$	זרמי קטעים	רשת חד מופעית
$A = \frac{200\rho}{\Delta P\% * P_{l1} * Un^2} \sum_{i=1}^n S_{li}^2 * l$	הספקי קטעים	
$A = \frac{300\rho}{\Delta P\% * P_{l1}} \sum_{i=1}^n I_{li}^2 * l$	זרמי קטעים	רשת תלת מופעית
$A = \frac{100\rho}{\Delta P\% * P_{l1} * Un^2} \sum_{i=1}^n S_{li}^2 * l$	הספקי קטעים	

שטח חתך אחיד ברשת (mm ²)	הצגת הרשת	סוג הרשת
$\Delta P = \frac{2\rho}{A} \sum_{i=1}^n I_{li}^2 * l$	זרמי קטעים	רשת חד מופעית
$\Delta P = \frac{2\rho}{A * Un^2} \sum_{i=1}^n S_{li}^2 * l$	הספקי קטעים	
$\Delta P = \frac{3\rho}{A} \sum_{i=1}^n I_{li}^2 * l$	זרמי קטעים	רשת תלת מופעית
$\Delta P = \frac{\rho}{A * Un^2} \sum_{i=1}^n S_{li}^2 * l$	הספקי קטעים	

חישוב שטח חתך המוליכים לפי שיקול העמסה מותרת:

$$I_b \leq I_N \leq I_z$$

$$I_z' = I_z * k$$

$$I_b = \frac{P_1}{\sqrt{3} * Un * \cos \varphi} = \frac{P_2}{\sqrt{3} * Un * \cos \varphi * \eta}$$

נוסחאות במערכות הספק ומתקני השמל-הנדסאי השמל

חישוב שטח חתך המוליכים לפי שיקול מינימום חומר:

$$k_I = \frac{A_{li}}{\sqrt{I_{ali}}} ; \quad k_P = \frac{A_{li}}{\sqrt{P_{li}}}$$

שלבי חישוב

- א. הצגת זרמי הקטעים או ההספקים ברשת, בצורה קרטזית.
- ב. חישוב מפל המתח הראקטיבי $\Delta U_r\%$.
- ג. חישוב מפל המתח האקטיבי המותר $\Delta U_a\%$.
- ד. חישוב מקדם הרשת k_I או k_P .
- ה. חישוב שטחי החתך של קטעי הרשת.

שטח חתך של כל קטע ברשת (mm^2)	מקדם הרשת	סוג הרשת	הצגת הרשת
$A_{li} = k_I * \sqrt{I_{ali}}$	$k_I = \frac{200\rho}{\Delta U_a\% * Un} \sum_{i=1}^n \sqrt{I_{ali}} * l_i$	חד מופעית	זרמי קטעים
	$k_I = \frac{\sqrt{3} * 100\rho}{\Delta U_a\% * Un} \sum_{i=1}^n \sqrt{I_{ali}} * l_i$	תלת מופעית	
$A_{li} = k_P * \sqrt{P_{li}}$	$k_P = \frac{200\rho}{\Delta U_a\% * Un^2} \sum_{i=1}^n \sqrt{P_{li}} * l_i$	חד מופעית	הספקי קטעים
	$k_P = \frac{100\rho}{\Delta U_a\% * Un^2} \sum_{i=1}^n \sqrt{P_{li}} * l_i$	תלת מופעית	

חישוב שטח חתך המוליכים לפי שיקול כדאיות כלכלית (חוק קלווין):

לפי כלל קלווין, שטח החתך הכדאי ביותר של מוליכי הרשת הינו חתך שבו העלות השנתית של הפסדי האנרגיה ברשת שווה לעלות השנתית של הריבית והפחת.

$$C_w = C_k$$

א. עלות הפסדי אנרגיה שנתית במוליכי הקו C_w :

מרכיב זה תלוי באיבודי ההספק בקו ובתעריף של האנרגיה החשמלית:

$$C_w = \Delta W * M$$

$$\Delta W = 3 * I_{max}^2 * R_L * \frac{T_{max}}{1000}$$

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

$$C_w = 3 * I_{max}^2 * \rho * \frac{l}{A} * \frac{T_{max}}{1000} * M$$

ב. עלות השנתית של ריבית והפחת C_k :

$$C_k = \frac{K\%}{100} * B = \frac{K\%}{100} * x * A * l$$

$K\%$ ריבית ופחת שנתיים (%).

B - עלות הרשת (₪). $B = b * l$

$b = x * A$ - מחיר סגולי של הרשת בתלות בשטח החתך $\left(\frac{₪}{m}\right)$.

A - שטח החתך של מוליכי הרשת (mm^2).

l - אורך מוליכי הרשת (m).

נוסחאות במערכות הספק ומתקני השמל-הנדסאי השמל

שיקול צפיפות זרם כלכלית:

$$j = \frac{I}{A} \left[\frac{A}{mm^2} \right]$$

כאשר:

I - זרם בקו [A].

A - שטח חתך הקו [mm²].

j_{ec} - תעריף האנרגיה החשמלית $\left[\frac{A}{mm^2} \right]$.

הערך של צפיפות זרם הכלכלית תלוי בזמן השימוש בהספק המרבי T_{max} ובסוג הרשת והוא נתון הטבלה הבאה:

זמן שימוש בהספק מרבי T_{max} [h]	צפיפות זרם כלכלית A/mm^2			
	רשת תת-קרקעית		רשת עלית	
	Cu	Al	Cu	Al/Fe
1000-3000	2.65	1.65	2.5	1.5
3000-5000	2.25	1.5	1.75	1
5000-8760	2	1.3	1.25	0.75

$$Un_{ec} = \frac{\sqrt{3} * j_{ec} * \rho * l}{\Delta P\% * \cos \varphi} * 100 [kV]$$

כאשר:

Un_{ec} - המתח הנקוב המומלץ [kV].

l - אורך הקו [km].

$\Delta P\%$ - הפסדי ההספק המרביים בקו [%].

צפיפות זרם אחידה:

$$j = \frac{I_{l1}}{A_{l1}} = \frac{I_{l2}}{A_{l2}} = \dots = \frac{I_{ln}}{A_{ln}}$$

שלב: חישוב

א. הצגת זרמי הקטעים הרשת בצורה קרטזית ובצורה פולארית.

ב. חישוב מפל המתח הראקטיבי $Ur\%$.

ג. חישוב מפל מתח אקטיבי מותר $Ua\%$.

ד. חישוב צפיפות זרם אחידה j .

ה. חישוב שטחי חתך של הרשת.

שטח חתך של כל קטע (mm ²)	צפיפות זרם אחידה	סוג הרשת	הצגת הרשת
$A_{l1} = \frac{I_{l1}}{j}$	$j = \frac{\Delta U_a\% * Un}{200 * \rho * \sum_{i=1}^n li * \cos \varphi_{li}}$	חד-מופעית	זרמי קטעים
	$j = \frac{\Delta U_a\% * Un}{\sqrt{3} * 100\rho * \sum_{i=1}^n li * \cos \varphi_{li}}$	תלת-מופעית	

זרמי קצר

ערך הרגעי של זרם הקצר:

ברגע ההתחלתי של הופעת הקצר קיימים 2 רכיבים של זרם הקצר:

א. רכיב מחזורי (סינוסואדלי) - i_k - רכיב זה קיים כל הזמן מרגע התחלת הקצר ועד לניתוקו-

$$i_k = I_k * \sqrt{2} * \sin(\omega t + a - \varphi_k)$$

ב. רכיב זרם ישר (אקספוננציאלי) - i_a - והוא הזרם שמקורו בתהליך מעבר ברשת. גודלו מרבי הרגע הראשון של הופעת הקצר והוא הולך ודועך במשך 2-3 מחזורים-

$$i_a = -\sqrt{2} * I_k * \sin(a - \varphi_k) * e^{-\frac{t}{\tau}}$$

הערך הרגעי של זרם הקצר מוגדר-

$$i = i_k + i_a$$

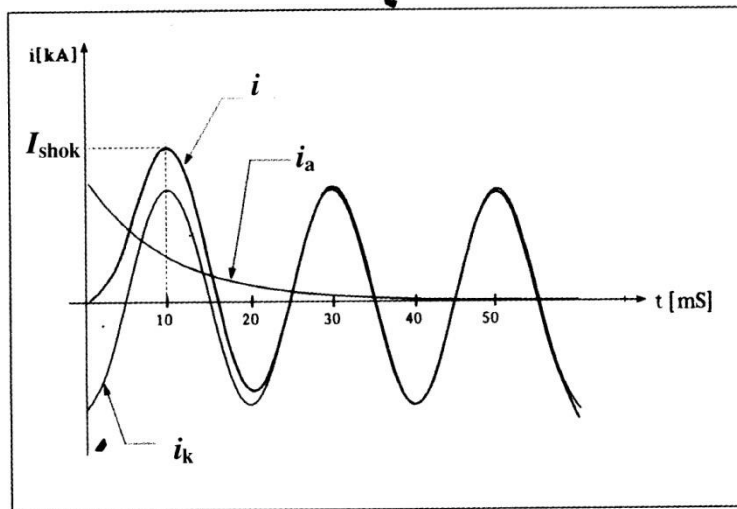
$$i = \sqrt{2} * I_k \left[\sin(\omega t + a - \varphi_k) - \sin(a - \varphi_k) e^{-\frac{t}{\tau}} \right]$$

$$Z_k = R_k + jX_k$$

$$\varphi_k = \varphi_U - \varphi_{I_k}$$

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{X_k}{\omega R_k}$$

$$\omega = 2\pi f$$



ערך המתמיד של זרם הקצר:

$$I_k = \frac{1.1 * U_n}{\sqrt{3} * Z_k}$$

$$S_k = \sqrt{3} * I_k * U_n$$

זרם ההלם:

$$I_{shok} = \sqrt{2} * I_k * k_{shok}$$

חישוב עכבת הקצר Z_k

$$Z_k = \sum Z$$

א. שנאי מוצג על ידי העכבה-

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

$$R_{TR} = \frac{\Delta P_{cu} * Un^2}{Sn^2}$$

$$R_{TR} = \frac{U_r \% * Un^2}{100Sn}$$

$$X_{TR} = \frac{U_x \% * Un^2}{100Sn}$$

$$Z_{TR} = \frac{U_k \% * Un^2}{100Sn}$$

$$X_{TR} = \sqrt{Z_{TR}^2 - R_{TR}^2}$$

ב. קו מוצג ע"י העכבה-

$$Z_L = R_L + jX_L$$

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

אם קו נמצא במתח נקוב אחר מהמתח הנקוב בנקודת הקצר, יש לייחס את עכבת הקו למתח בנקודת הקצר.

$$Z_k' = Z_k \left(\frac{Un'}{Un} \right)^2$$

העמסה והגנה על מוליכים

עבור נתיכים $10A < In < 25A$:

תנאי ראשון: $Ib \leq In \leq Iz'$

תנאי שני: $1.2In \leq Iz'$

עבור נתיכים $In > 25A$:

תנאי ראשון: $Ib \leq In \leq Iz'$

תנאי שני: $1.1In \leq Iz'$

עבור מא"זים:

תנאי ראשון: $Ib \leq In \leq Iz'$

תנאי שני: $1In \leq Iz'$

עבור מאמ"תים:

תנאי ראשון: $Ib \leq In \leq Iz'$

תנאי שני: $0.9In \leq Iz'$

לחישוב זמן מרבי של זרם הקצר במוליך:

$$t = \left(\frac{k * S}{I_{k(\min)}} \right)^2$$

כאשר:

k - מקדם הנתון בתקנות ערכו תלוי בסוג החומר המוליך וסוג הבידוד $\left[\frac{A * S^2}{mm^2} \right]$

סוג הבידוד		
בידוד 90°C	בידוד 70°C	חומר המוליך
143	115	נחושת
94	76	אלומיניום

S - שטח חתך המוליך (mm²).

שיפור גורם ההספק

חישוב הספק וקיבול סוללת הקבלים:

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

בחיבור קבלים משולש-

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

בחיבור קבלים בכוכב-

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

תכנון קו הזנה לסוללת הקבלים:

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

$$I_n \geq 1.43 * I_c$$

נגדי פריקה:

$$U_c = U_{max_0} * \left(e^{-\frac{t}{RC}} \right)$$

$$R = \frac{t}{-\ln \left(\frac{U_c}{U_{max_0}} \right) * C}$$

חישוב פרק זמן להחזרת השקעה בהתקנת סוללת קבלים:

$$C_{W_n} = C_{Q_n}$$

$$C_{Q_n} = b * Q_c \left(1 + \frac{K\%}{100} * n \right).$$

$$C_{W_n} = \Delta W * M * n.$$

$$\Delta W = (\Delta P_1 - \Delta P_2) * t$$

ציוד בלוח חשמל

חישוב פסי צבירה בלוח

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

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

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

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

:

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

$$G = g_0 * h * b$$

מערכות הספק למתח גבוה ועליון

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.

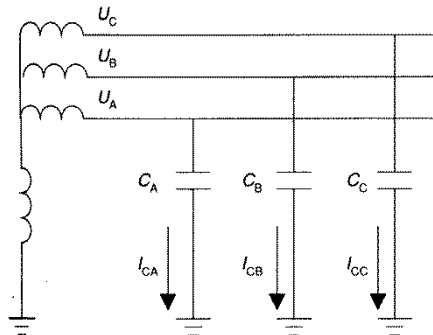
C_0 -קיבולית סגולית $\mu F / Km$.

$$G = \frac{\Delta P_{cor}}{3 * U_{ph}^2}$$

כאשר: G מוליכות האומית של הקו ב- Sm.

ΔP_{cor} -איבודי קורונה Kw / Km .

מערכת עם נקודת האפס מוארקת דרך סליל כיבוי (סליל פטרסון):

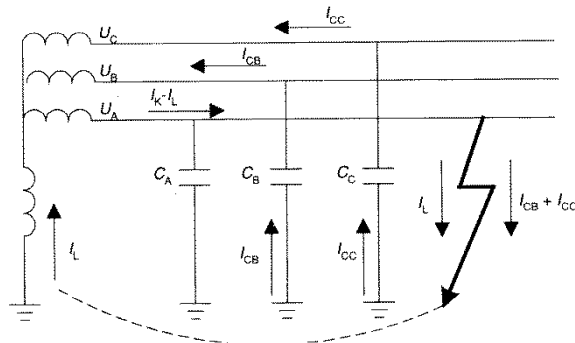


במצב תקין הסכום הוקטורי של 3 הזרמים המופעים הללו שווה ל-0.

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

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

בעת קצר לאדמה במופע A (לדוגמא):



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

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

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

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

$$\vec{I}_C + \vec{I}_L = 0A$$

השפעת ההספק האקטיבי והראקטיבי על תדירות ומתח הרשת:
תדירות הזרם ברשת

$$f = \frac{n * p}{60}$$

עמידות תרמית

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

עמידות דינמית

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

תאורה

שטף אור-לומן

$$\phi = P * \eta E [lm]$$

נצילות אורית-

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

רמת הארה-

$$E = \frac{\phi}{A} [lux]$$

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

עוצמת האור-קנדלה

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

בהיקות –קנדלה למ"ר

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

תאורת חוץ:

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

$$E = \sum_{i=1}^n E_i [lux]$$

תאורת פנים:

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

$$n = \frac{E * A * 100}{k * CU * \phi}$$