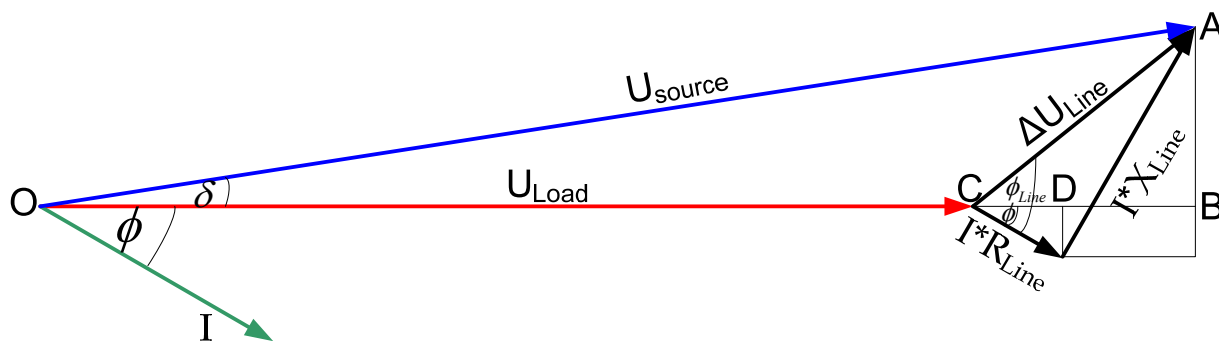


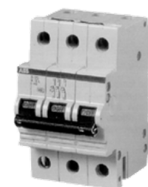
מפלי מתח ברשתות זרם חילופין



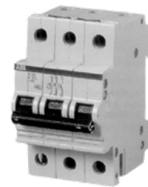
כתיבה ועריכה:

סגל אריאל

מפלי מתח ברשתות זרם חילופין

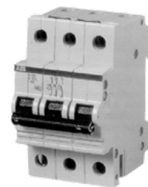


- מוליכי אספקה שמשמשים לאנרגיה בזרם ישר הם בעלי התנגדות פעילה בלבד. בזרם חילופין קיימת גם כן התנגדות זו אך אליה מתווסף היגב השראי.
- ההיגב השראי מקורו בעובדה שמוליך שזורם בו זרם יוצר סביבו שדה מגנטי. כאשר שדה זה קבוע (כתוצאה מזרם ישר), לא נוצר כ"מ נגדי במוליך. אולם כאשר השדה משנה את עוצמתו כתלות בזמן (בשל השתנות עוצמת הזרם), נוצר במוליך כ"מ מושרה נגדי ששואף להזרים זרם בכיוון הפוך. כ"מ זה הוא תגובה לזרם החשמלי במוליך וגורם להפחתת הזרם במוליך בדומה להתנגדות. מתארים את ההפחתה הזו כהיגב השראי כלומר תגובת המוליך לזרם החשמלי דרכו. תגובה זו אינה גורמת לאובדן הספק פעיל אלא למפל מתח המוזז ב-90 מעלות ביחס לזרם במוליך.

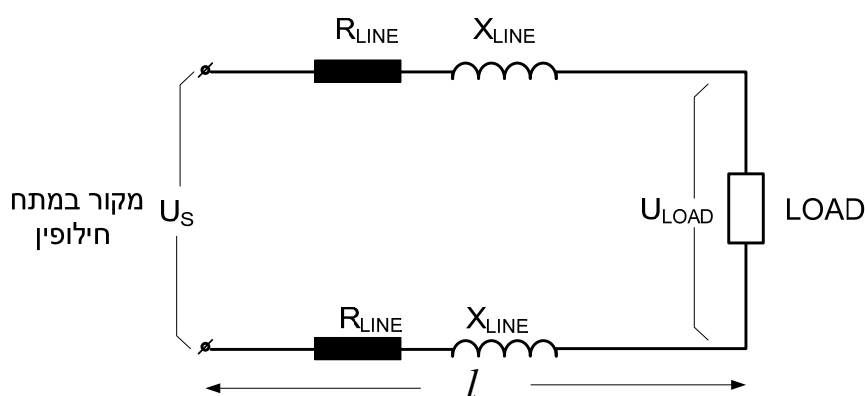


מפלי מתח ברשתות זרם חילופין

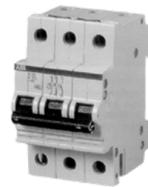
■ מידת ההיגב ההשראי תלויה ביחס ישר בעוצמת השדה המגנטי סביב למוליך כלומר בזרם. במערכת מוליכים (מופע ואפס או מערכת תלת מופעית) יהיה ההיגב ההשראי תלוי בשדה המגנטי השקול של המערכת. לפיכך כאשר המוליכים קרובים זה לזה (באותו כבל, או צמודים במבנה תילתן), יהיה ההיגב ההשראי של המוליכים קטן יחסית, אולם כשהמוליכים מרוחקים זה מזה כפי שקיים בקוי הולכת חשמל עיליים יהיה ההיגב ההשראי גדול בהרבה מהתנגדותם הפעילה.



מפלי מתח ברשתות זרם חילופין



סכימת תמורה של מעגל בזרם חילופין חד מופעי.



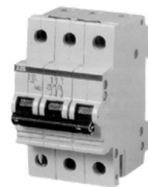
מפלי מתח ברשתות זרם חילופין

- לקו חד מופעי (בעל שני מוליכים) תהיה עכבה כוללת השווה לסכום ההתנגדויות וסכום ההיגבים ההשראיים של המוליכים.
- החלק בעל ההתנגדות הפעילה של הקו יהיה:

$$R_{Line} = \frac{\rho \cdot 2 \cdot l}{A}$$

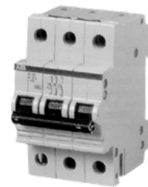
- החלק בעל ההיגב ההשראי של הקו יהיה:

$$X_{Line} = 2 \cdot \omega \cdot L_{Line}$$



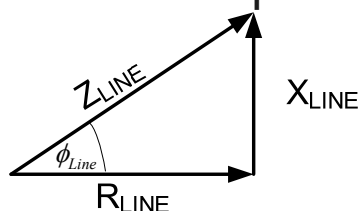
מפלי מתח ברשתות זרם חילופין

- R - התנגדות מוליכי הקו ב- Ω .
- ρ - התנגדות סגולית של חומר המוליכים ב- $\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$.
- l - אורך המוליכים ב- m .
- S - שטח חתך המוליכים ב- mm^2 .
- L - השראות מוליכי הקו ב- $Henry$.
- ω - תדירות זוויתית של מתח המקור ב- Rad/Sec .
- X_L - היגב השראי של מוליכי כל הקו ב- Ω .

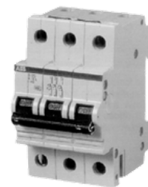
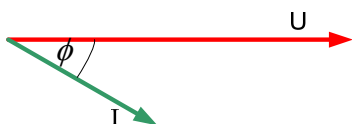


מפלי מתח ברשתות זרם חילופין

- עכבת הקו הינה הערך השקול של התנגדות הקו והיגבו ההשראי. ערך זה מייצג את סך ההתנגדויות של הקו: ההתנגדות הפעילה וההיגב ההשראי בחיבור וקטורי.

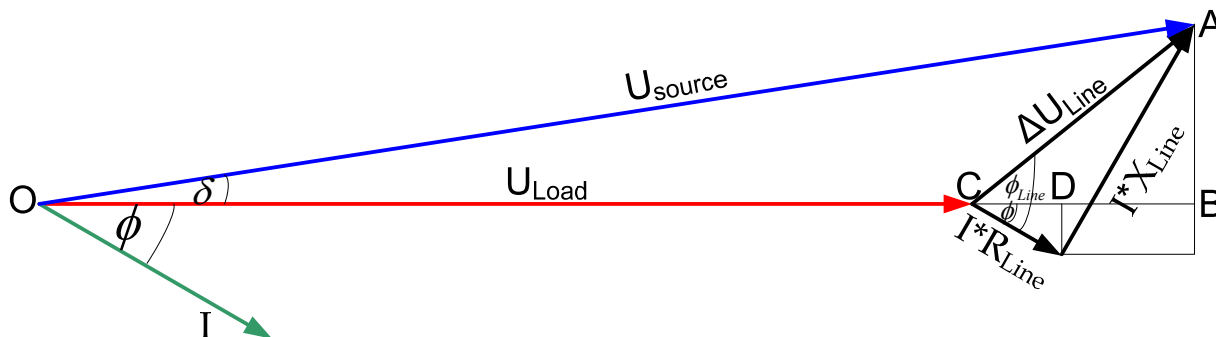


- במתקן בו הזרם מפגר אחר המתח ניתן לתאר את מחוגי המתח והזרם באופן הבא:



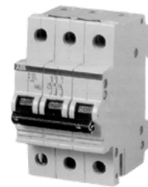
מפלי מתח ברשתות זרם חילופין

תרשים מחוגי של המתחים במעגל



כללית נוכל לרשום כי הסכום המחוגי של מתח הצרכן ומפל המתח שווים למתח המקור.

$$\vec{U}_{Source} = \vec{U}_{Load} + \Delta \vec{U}_{Line}$$



מפלי מתח ברשתות זרם חילופין

כאשר מפלי המתח קטנים ביחס למתח המקור (אחוזים בודדים) ניתן לומר כי אורך הקטע OA שווה בקירוב לאורך הקטע OB. הקטע OB מורכב מ-3 תת קטעים: מתח הצרן (OC), הקטע CD והקטע DB.

$$\overline{OB} = \overline{OC} + \overline{CD} + \overline{DB}$$

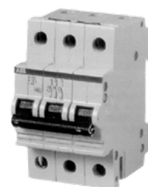
$$\overline{OC} = U_{Load}$$

$$\overline{CD} = I \cdot R_{Line} \cdot \cos\phi$$

$$\overline{DB} = I \cdot X_{Line} \cdot \sin\phi$$

$$\overline{OB} \cong U_{Source}$$

$$U_{Source} \cong U_{Load} + \underbrace{I \cdot R_{Line} \cdot \cos\phi + I \cdot X_{Line} \cdot \sin\phi}_{\Delta U_{Line}}$$



מפלי מתח ברשתות זרם חילופין

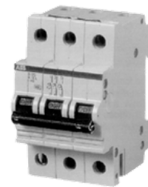
$$\Delta U_{Line} = I \cdot R_{Line} \cdot \cos\phi_{Load} + I \cdot X_{Line} \cdot \sin\phi_{Load}$$

כאשר ההיגב ההשראי (X_{Line}) של הקו זניח (במעגלים בעלי שטח חתך קטן) או כאשר מקדם ההספק של הצרכנים קרוב ל-1 מתנוונת הנוסחה להיות:

$$\Delta U_{Line} = I \cdot R_{Line} \cdot \cos\phi_{Load}$$

הזווית ϕ_{Load} היא זווית המופע של זרם העומס ולא של עכבת הקו.

מחלקים את מפל המתח בקו ל-2 חלקים: מפל מתח האקטיבי שמסומן ב- ΔU_a ומפל מתח ריאקטיבי שמסומן ב- ΔU_r . מפל המתח האקטיבי מתאר את מפל המתח על ההתנגדות הפעילה של הקו, מפל המתח הריאקטיבי מציין את מפל המתח על ההיגב ההשראי של הקו.



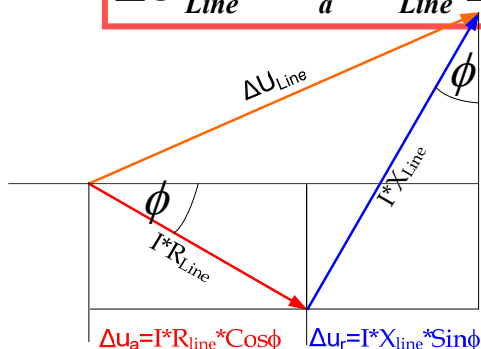
מפלי מתח ברשתות זרם חילופין

$$\Delta U_{Line} = \Delta U_a + \Delta U_r = \underbrace{I \cdot R_{Line} \cdot \cos\phi_{Load}}_{\Delta U_a} + \underbrace{I \cdot X_{Line} \cdot \sin\phi_{Load}}_{\Delta U_r}$$

צורת רישום אחרת של הנוסחה האחרונה היא:

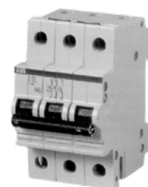
$$\Delta U_{Line} = I \cdot (R_{Line} \cdot \cos\phi_{Load} \pm X_{Line} \cdot \sin\phi_{Load})$$

$$\Delta U_{Line} = I_a \cdot R_{Line} \pm I_r \cdot X_{Line}$$



נוסחה זו ידועה בספרות בשם נוסחת קנפ.

הסיבה ל- \pm נובעת מסוגי עומסים שונים. בעומס השראי (זרם מפגר אחר המתח) יהיה הסימן חיובי (+) ובעומס קיבולי (זרם מקדים את המתח) יהיה סימן שלילי (-)



מפלי מתח ברשתות זרם חילופין

- מפל המתח במעגל חד מופעי מחושב על ידי הקשר:

$$\Delta U = 2 \cdot (R_L \cdot I_a \pm X_L \cdot I_r)$$

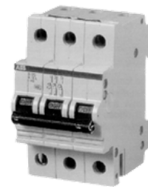
- מפל המתח במעגל תלת מופעי מחושב על ידי הקשר:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot (R_L \cdot I_a \pm X_L \cdot I_r)$$

- מפל המתח ב-% יחושב על ידי:

$$\Delta U_{\%} = \frac{\Delta U}{U_n} \cdot 100$$

- מפל המתח המרבי המותר בין הדקי המונה להדקי הצרכן אסור שיעלה על 3%.



מפלי מתח ברשתות זרם חילופין

- מפל המתח במעגל תלת מופעי הכולל צרכנים חד מופעיים יחושב על ידי הקשר:

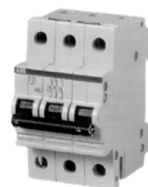
$$\Delta U = 2 \cdot (R_L \cdot I_a \pm X_L \cdot I_r)$$

- מפל המתח במעגל תלת מופעי הכולל צרכנים חד מופעיים כשהזרם באפס זניח, יחושב על ידי הקשר:

$$\Delta U = 1.2 \cdot (R_L \cdot I_a \pm X_L \cdot I_r)$$

- מפל המתח ב-% יחושב על ידי:

$$\Delta U_{\%} = \frac{\Delta U}{U_n} \cdot 100$$



מפלי מתח ברשתות זרם חילופין

תרגיל דוגמא מספר 1

צרכן חד פאזי צורך הספק של 16kW במקדם הספק של 0.6. המתח הנמדד על הדקי הצרכן 220V. התנגדות כוללת של מוליכי הזינה 0.04Ω והיגבם ההשראי 0.2Ω . יש לחשב את מתח המקור.

מפלי מתח ברשתות זרם חילופין



פתרון תרגיל דוגמא מספר 1

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos\phi} = \frac{16,000}{220 \cdot 0.6} = 121.2A$$

$$\Delta U = \Delta U_a + \Delta U_r = I \cdot R_L \cdot \cos\phi + I \cdot X_L \cdot \sin\phi$$

$$\Delta U = 121.2 \cdot 0.04 \cdot 0.6 + 121.2 \cdot 0.2 \cdot 0.8$$

$$\Delta U = 2.91 + 19.39 = 22.3V$$

$$U_s = 220 + 22.3 = 242.3V$$

מפלי מתח ברשתות זרם חילופין

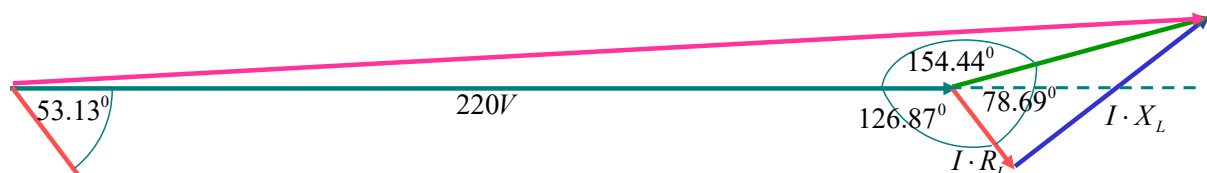


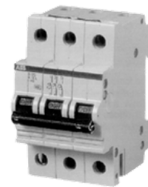
פתרון תרגיל דוגמא מספר 1 (בדרך מדויקת יותר)

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos\phi} = \frac{16,000}{220 \cdot 0.6} = 121.2A$$

$$\left. \begin{array}{l} I \cdot R_L = 121.2 \cdot 0.04 = 4.848V \\ I \cdot X_L = 121.2 \cdot 0.2 = 24.24V \end{array} \right\} I \cdot Z = \sqrt{(I \cdot R_L)^2 + (I \cdot X_L)^2} = 24.68V$$

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{24.24}{4.84} = 5 \Rightarrow \alpha = 78.69^\circ$$





מפלי מתח ברשתות זרם חילופין

המשך פתרון תרגיל דוגמא מספר 1 (בדרך מדויקת יותר)

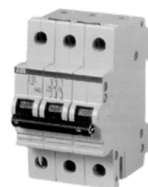
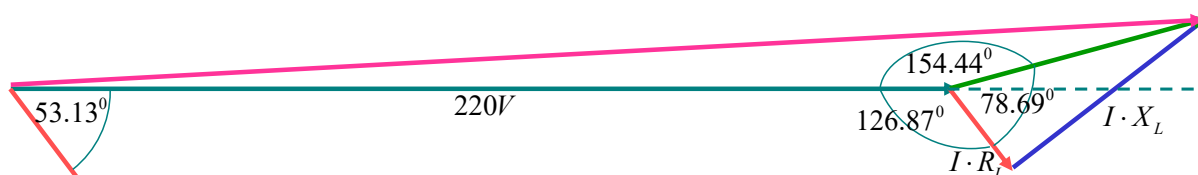
$$180^\circ - 154.44^\circ = 25.56^\circ$$

$$24.68 \cdot \cos 25.56^\circ = 22.264V$$

$$24.68 \cdot \sin 25.56^\circ = 10.648V$$

$$U_s = \sqrt{(220 + 22.264)^2 + 10.64^2} = 242.498V$$

כפי שניתן לראות הפרש המתחים בין שתי הדרכים קטן מ- 0.2V.



מפלי מתח ברשתות זרם חילופין

תרגיל דוגמא מספר 2

גוף תאורה במתח 230V, בהספק של 2000W במקדם הספק 0.8, מותקן על עמוד במרחק 200 מטר מהלוח מזין. מוליכי הכבל המזין מנחושת ובידוד XLPE.

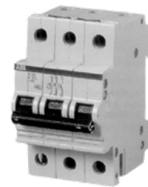
בהזנחת ההיגב ההשראי של כבל הזינה:

א. בחר מבטח מתאים להגנה על גוף התאורה מתוך הנחה שזרם ההדלקה יכול להיות פי 7 מהזרם הנקוב.

ב. בחר את שטח החתך של גידי הכבל כדי לענות על מפל המתח על פי דרישות תקנות החשמל.

ג. חשב את זרם הקצר המינימלי בסוף המעגל.

ד. בדוק את התאמת המבטח שבחרת לזרם הקצר (בין פאזה לאפס) בסוף הקו בהתאם לדרישות תקנות החשמל.



מפלי מתח ברשתות זרם חילופין

פתרון תרגיל דוגמא מספר 2

א. זרם הנורה:

$$P = 2000W, \quad S = \frac{P}{\cos\phi} = \frac{2,000}{0.8} = 2500VA$$

$$I = \frac{S}{U} = \frac{2500}{230} = 10.87A$$

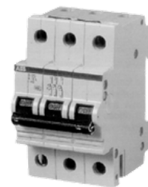
נבחר מא"ז לזרם נקוב של 16A מסוג C שימנע הפסקה בעת התנעה של הנורה:

$$I_{Start} = 76A; \quad I_{15Sec_B} = 5 \cdot 16 = 80A$$

מא"ז B אינו מתאים:

$$I_{15Sec_C} = 6.6 \cdot 16 = 106A$$

מא"ז C מתאים:



מפלי מתח ברשתות זרם חילופין

פתרון תרגיל דוגמא מספר 2

$$\Delta U = 3\% ; \Delta U = 6.9V$$

ב. מפל המתח:

$$R = \frac{\Delta U}{I \cdot \cos\phi} = \frac{6.9}{10.87 \cdot 0.8} = 0.793\Omega$$

$$S = \frac{\rho \cdot l \cdot 2}{R} = \frac{0.0175 \cdot 200 \cdot 2}{0.793} = 8.82mm^2$$

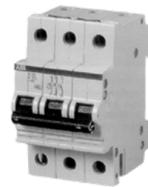
נבחר כבל ששטח חתך כל גיד 10 ממ"ר.

$$R_{Ph} = R_N = \frac{\rho \cdot l}{S} = \frac{0.0175 \cdot 200}{10} = 0.35\Omega$$

ג. חישוב זרם קצר מזערי:

$$I_{SC_{min}} = \frac{0.8 \cdot U_{ph}}{1.5 \cdot (R_{Ph} + R_N)} = \frac{0.8 \cdot 230}{1.5 \cdot (0.35 + 0.35)} = 175A$$

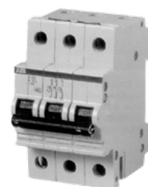
ד. זרם הקצר המזערי גדול פי 11 כמעט מהזרם הנקוב של המבטח, עובדה זו מבטיחה הפסקה מיידית במקרה של קצר מופע ואפס.



מפלי מתח ברשתות זרם חילופין

תרגיל דוגמא מספר 3

צרכן תלת פאזי בעל מקדם הספק 0.8 צורך זרם של 70A, מרשת בעלת מתח של 400V. מרחק מקור הזינה מהצרכן 175 מטר. הצרכן מוזן באמצעות כבל מנחושת בעל בידוד PVC, המונח ישירות באדמה עם כיסוי מגן על ידי לוחות בטון. ההיגב ההשראי של מוליכי הכבל $0.15\Omega/\text{km}$. חשב את שטח החתך המזערי המותר בהתחשב שמפל המתח אסור שיעלה על 3%. בחר שטח חתך תקני מתאים.



מפלי מתח ברשתות זרם חילופין

פתרון תרגיל דוגמא מספר 3

$$\Delta U = 0.03 \cdot 400 = 12V$$

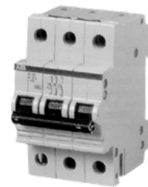
$$\Delta U_r = \sqrt{3} \cdot I \cdot X \cdot \sin\phi = \sqrt{3} \cdot 70 \cdot \frac{0.15}{1000} \cdot 175 \cdot 0.6 = 1.91V$$

$$\Delta U_a = \Delta U - \Delta U_r = 12 - 1.91 = 10.09V$$

$$\Delta U_a = \sqrt{3} \cdot I \cdot R \cdot \cos\phi \Rightarrow R = \frac{\Delta U_a}{\sqrt{3} \cdot I \cdot \cos\phi} = \frac{10.09}{\sqrt{3} \cdot 70 \cdot 0.8} = 0.104\Omega$$

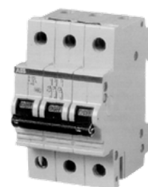
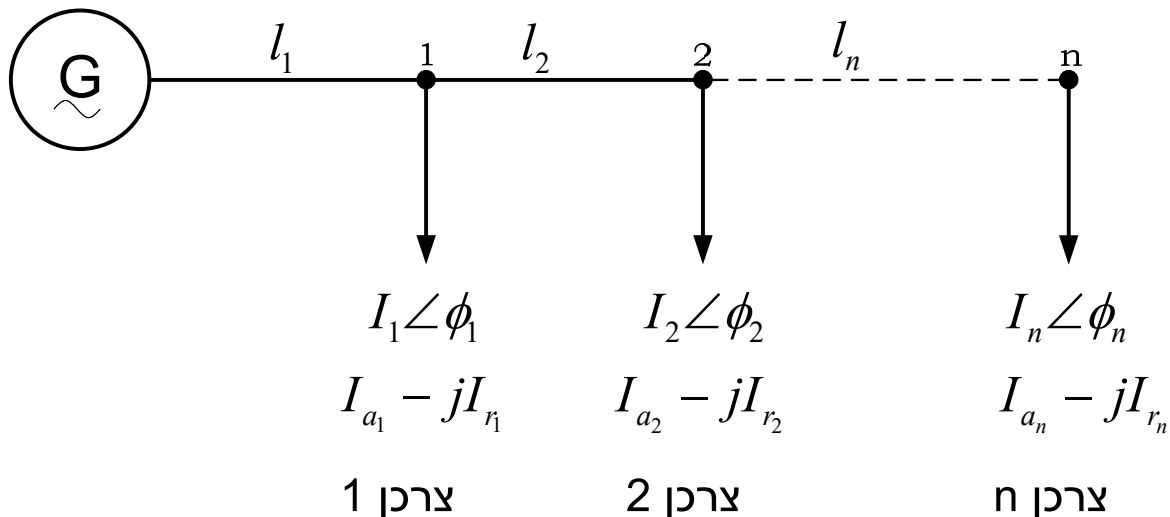
$$S = \frac{\rho \cdot l}{R} = \frac{0.0175 \cdot 175}{0.104} = 29.44\text{mm}^2$$

שטח חתך תקני מתאים הוא 35 ממ"ר שטח חתך זה אכן מתאים להולכת זרם כנ"ל (מאפשר זרם מתמיד מרבי של עד 121A) גם בהתחשב במקדמים המתאימים בין הזרם המתמיד המרבי וגודל המבטח.



מפלי מתח ברשתות זרם חילופין

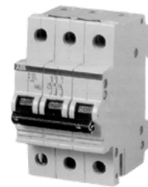
חישוב מפל המתח עבור קו המזין צרכנים רבים בעל שטח חתך אחד



מפלי מתח ברשתות זרם חילופין

חישוב מפל המתח עבור קו חד ותלת מופעי המזין צרכנים רבים

סוג רשת	נתונים	מפל מתח הגבי ב %	ערך שטח חתך אחד ברשת [mm ²]
חד מופעית	זרמי הקטעים	$\Delta U_{r\%} = \frac{X_0}{10 \cdot U_n} \sum_{i=1}^n I_{r_{ii}} \cdot l_i$	$A = \frac{200 \cdot \rho}{\Delta U_{a\%} \cdot U_n} \sum_{i=1}^n I_{a_{ii}} \cdot l_i$
	הספקי הקטעים	$\Delta U_{r\%} = \frac{X_0}{10 \cdot U_n^2} \sum_{i=1}^n Q_{ii} \cdot l_i$	$A = \frac{200 \cdot \rho}{\Delta U_{a\%} \cdot U_n^2} \sum_{i=1}^n P_{ii} \cdot l_i$
תלת מופעית	זרמי הקטעים	$\Delta U_{r\%} = \frac{\sqrt{3} \cdot X_0}{10 \cdot U_n} \sum_{i=1}^n I_{r_{ii}} \cdot l_i$	$A = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot \rho}{\Delta U_{a\%} \cdot U_n} \sum_{i=1}^n I_{a_{ii}} \cdot l_i$
	הספקי הקטעים	$\Delta U_{r\%} = \frac{X_0}{10 \cdot U_n^2} \sum_{i=1}^n Q_{ii} \cdot l_i$	$A = \frac{100 \cdot \rho}{\Delta U_{a\%} \cdot U_n^2} \sum_{i=1}^n P_{ii} \cdot l_i$



מפלי מתח ברשתות זרם חילופין

חישוב מפל המתח עבור קו חד ותלת מופעי המזין צרכנים רבים

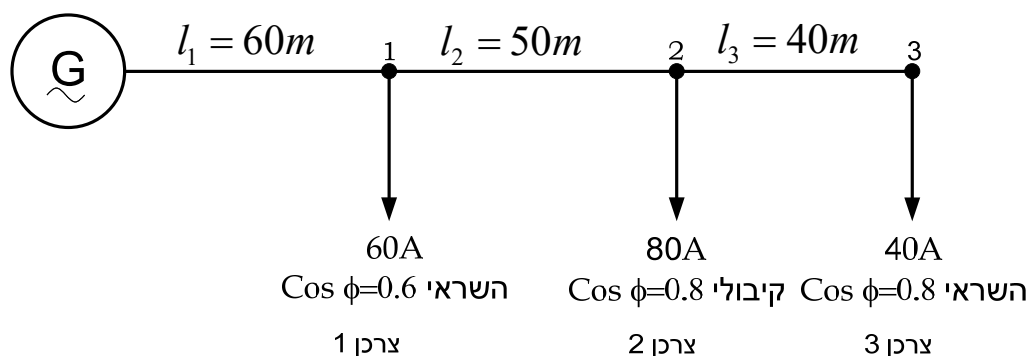
מפל המתח על הרכיב ההגבי של הקו [V].	$\Delta U_{r\%}$
מפל המתח על הרכיב הפעיל של הקו [V].	$\Delta U_{a\%}$
ההיגב ההשראי של מוליכי הקו [Ω/km].	X_0
מתח נקוב של הרשת [V].	U_n
זרם ריאקטיבי בקטע קו i [A].	$I_{r_{i_i}}$
זרם פעיל בקטע קו i [A].	$I_{a_{i_i}}$
אורך קטע הקו i [m].	l_i
הספק עוור בקטע קו i [VAR].	Q_{l_i}
הספק פעיל בקטע קו i [Watt].	P_{l_i}
שטח חתך מוליכי הרשת [mm^2].	A
התנגדות סגולית של מוליכי הקו [$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$].	ρ

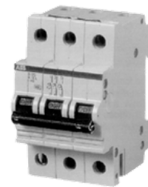


מפלי מתח ברשתות זרם חילופין

תרגיל דוגמא מספר 3

נתונה רשת עלית חד מופעית במתח 230V מוליכים מנחושת והיגב השראי של $0.4\Omega/\text{km}$. נתוני הצרכנים מתוארים באיור. בחר שטח חתך אחיד תקני אם ידוע שמפל המתח המרבי המותר הוא 3%.





מפלי מתח ברשתות זרם חילופין

פתרון תרגיל דוגמא מספר 3

שלב הראשון הצגת הזרמים בצורה קרטזית על מנת לחשב את הזרמים בקטעי הרשת:

$$I_1 = I_1 \cdot \cos\phi_1 - jI_1 \cdot \sin\phi_1 = 60 \cdot 0.6 - j60 \cdot 0.8 = 36 - j48 [A]$$

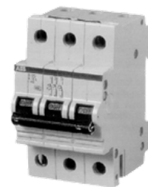
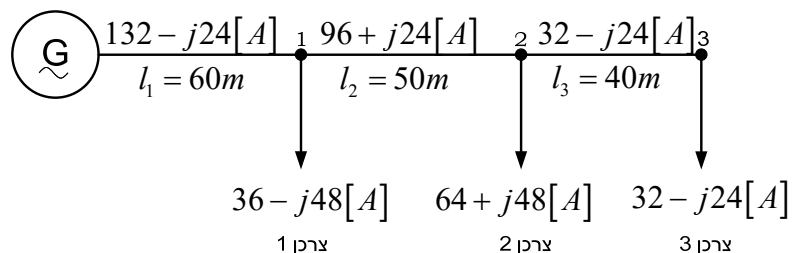
$$I_2 = I_2 \cdot \cos\phi_2 + jI_2 \cdot \sin\phi_2 = 80 \cdot 0.8 + j80 \cdot 0.6 = 64 + j48 [A]$$

$$I_3 = I_3 \cdot \cos\phi_3 - jI_3 \cdot \sin\phi_3 = 40 \cdot 0.8 - j40 \cdot 0.6 = 32 - j24 [A]$$

$$I_{l_3} = 32 - j24 A : l_3 \text{ הזרם בקטע}$$

$$I_{l_2} = 96 + j24 A : l_2 \text{ הזרם בקטע}$$

$$I_{l_1} = 132 - j24 A : l_1 \text{ הזרם בקטע}$$



מפלי מתח ברשתות זרם חילופין

המשך פתרון תרגיל דוגמא מספר 3

$$\Delta U_{r\%} = \frac{X_0}{10 \cdot U_n} \sum_{i=1}^n I_{r_i} \cdot l_i =$$

$$\Delta U_{r\%} = \frac{0.4}{10 \cdot 230} \cdot [24 \cdot 60 - 24 \cdot 50 + 24 \cdot 40] = 0.209\%$$

הספק השראי מגדיל את מפל המתח
הספק קיבולי מקטין את מפל המתח

$$\Delta U_{a\%} = \Delta U_{v\%} - \Delta U_{r\%} = 3 - 0.209 = 2.791\%$$

$$A = \frac{200 \cdot \rho}{\Delta U_{a\%} \cdot U_n} \cdot \sum_{i=1}^n I_{a_i} \cdot l_i = \frac{200 \cdot 0.018}{2.791 \cdot 230} \cdot [132 \cdot 60 + 96 \cdot 50 + 32 \cdot 40] = 78.5 mm^2$$

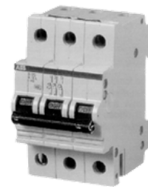
שטח חתך תקני המבטיח מפל מתח קטן מהנדרש הינו: 95 ממ"ר.

$$I = \sqrt{132^2 + 24^2} = 134 A$$

הזרם בכניסה שווה ל:

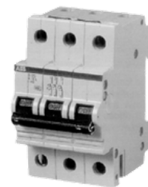
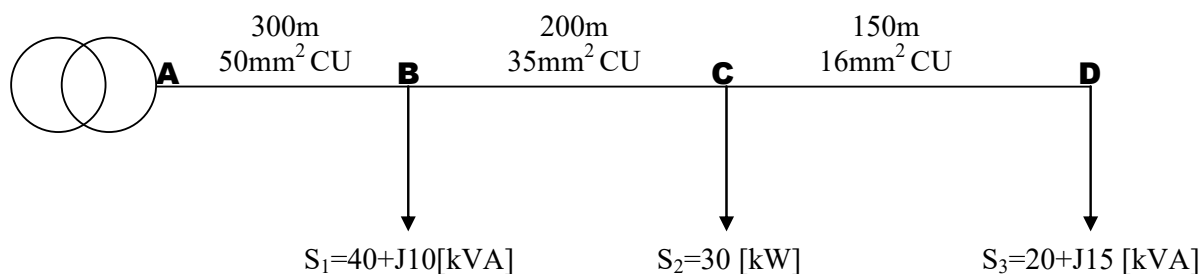
כבל בשטח חתך זה יכול להוליך 200A ויותר (תלוי בשיטת ההתקנה).

בדוק תמיד האם שטח החתך מספק מבחינת הולכת הזרם!!!



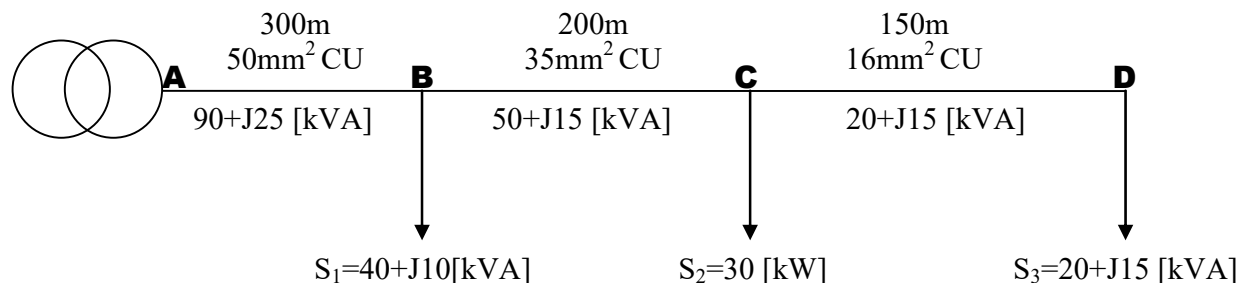
מפלי מתח ברשתות זרם חילופין

- תרגיל מפל מתח במעגל בעל שטח חתך לא אחיד.
- מעגל רדיאלי תלת מופעי ביציאת שנאי, מזין צרכנים כמתואר בתרשים. המתח הנקוב של השנאי, $400V$. המוליכים עשויים מנחושת והיגבם ההשראי $0.1\Omega/km$.
- חשב את מפל המתח המרבי ברשת.
 - נדרש שהמתח בהדקי המונה של הצרכנים לא ירד מתחת ל- 7% מהמתח הנקוב. מה עליך לעשות כדי לקיים את הדרישה? (הערה: נדרשת תוצאה חישובית)
 - ציין פתרונות אפשריים נוספים להקטנת מפל המתח בקו.



מפלי מתח ברשתות זרם חילופין

חישוב הספקי הקטעים:

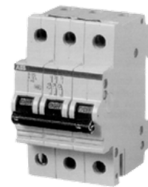


א. חישוב מפל המתח הראקטיבי והאקטיבי בצרכן האחרון:

$$\Delta U_{r\%} = \frac{X_0}{10 \cdot U_n^2} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} Q_{li} \cdot l_i = \frac{0.1}{10 \cdot 400^2} \cdot [(25 \cdot 300) + (15 \cdot 200) + (15 \cdot 150)] \cdot 1000 = 0.77\%$$

$$\Delta U_{a\%} = \frac{100 \cdot \rho}{U_n^2} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} \frac{P_{li} \cdot l_i}{A_{li}} = \frac{100 \cdot 0.018}{400^2} \cdot \left[\left(\frac{90 \cdot 300}{50} \right) + \left(\frac{50 \cdot 200}{35} \right) + \left(\frac{20 \cdot 150}{16} \right) \right] \cdot 1000 = 11.4\%$$

$$\Delta U = \Delta U_{r\%} + \Delta U_{a\%} = 0.77 + 11.4 = 12.7\% > 7\%$$



מפלי מתח ברשתות זרם חילופין

כדי להפחית את מפל המתח לפחות מ-7% נדרש להפחית את מפל המתח האקטיבי לפחות מ-6.3%. לכן: הביטוי בסוגריים המרובעים [X] שווה ל:

$$X = 1013.2$$

$$\Delta U_{a\%} = \frac{100 \cdot \rho}{U_n^2} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} \frac{P_{li} \cdot l_i}{A_{li}} = \frac{100 \cdot 0.018}{400^2} \cdot [X'] \cdot 1000 = 6.3\%$$

$$X' = 560$$

נדרש שערכו של הביטוי בסוגריים יהיה: נדרש איפה להקטין את הביטוי בסוגריים ל-55% מערכו. הדבר ניתן לביצוע על ידי הכפלת שטחי החתך של כל אחד מחלקי המעגל.

$$\Delta U_{a\%} = \frac{100 \cdot \rho}{U_n^2} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} \frac{P_{li} \cdot l_i}{A_{li}} = \frac{100 \cdot 0.018}{400^2} \cdot \left[\left(\frac{90 \cdot 300}{95} \right) + \left(\frac{50 \cdot 200}{70} \right) + \left(\frac{20 \cdot 150}{35} \right) \right] \cdot 1000 = 4.8\%$$

$$\Delta U = \Delta U_{r\%} + \Delta U_{a\%} = 0.77 + 4.8 = 5.57\% < 7\%$$

עקרונית ניתן להסתפק בענף האחרון בשטח חתך מוליכים של 25 מ"ר.

ג. ניתן לשפר את מקדם ההספק ולהפחית את מפל המתח הריאקטיבי.