

שיטות טיפול בנקודת האפס ברשתות מתח גבוה ומתח עליון

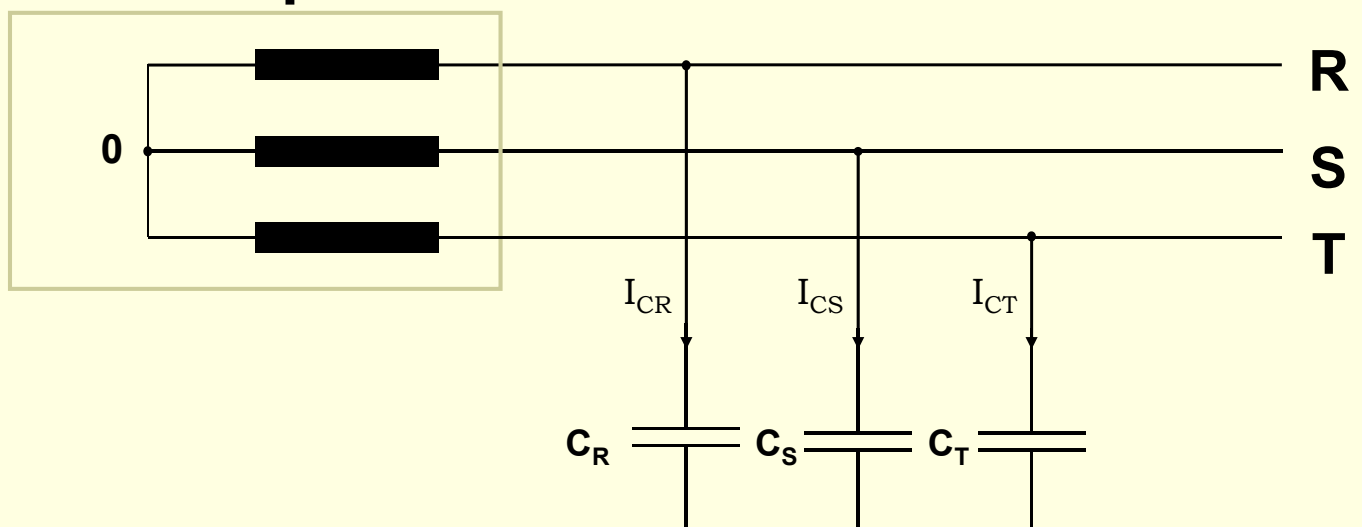


עריכה: סגל אריאל

<http://www.arielsegal.co.il/>

מערכת בעלת נקודת אפס מבודדת במצב עבודה תקין

מקור הזנה



אדמה

קיבול וזרם קיבולי של קוי מתח גבוה ועליון

$$C=0.008 - 0.010 \mu\text{F/km}$$

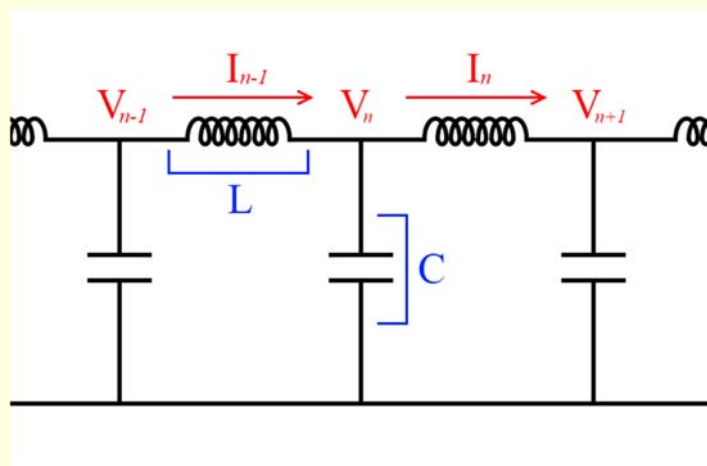
קו עילי במתח גבוה ועליון :

$$C=0.005 - 0.007 \mu\text{F/km}$$

קו עילי במתח על:

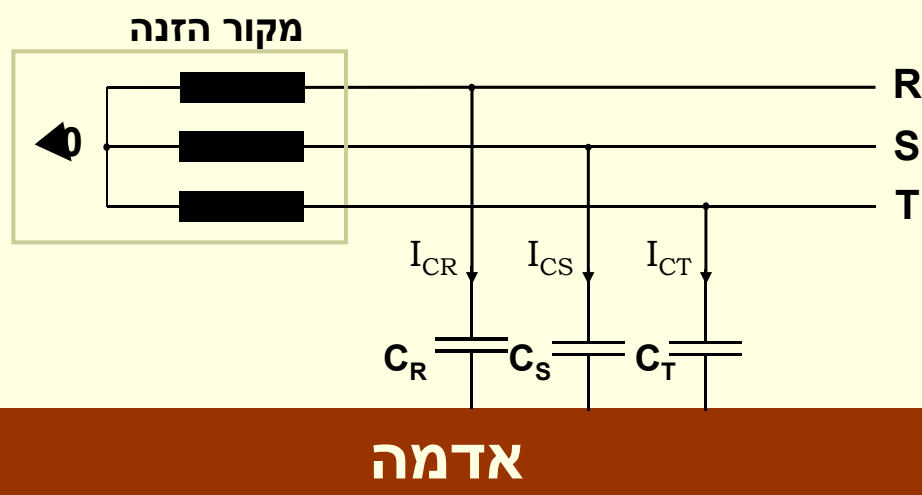
$$C=0.16 - 0.25 \mu\text{F/km}$$

כבלים במתח גבוה ועליון:



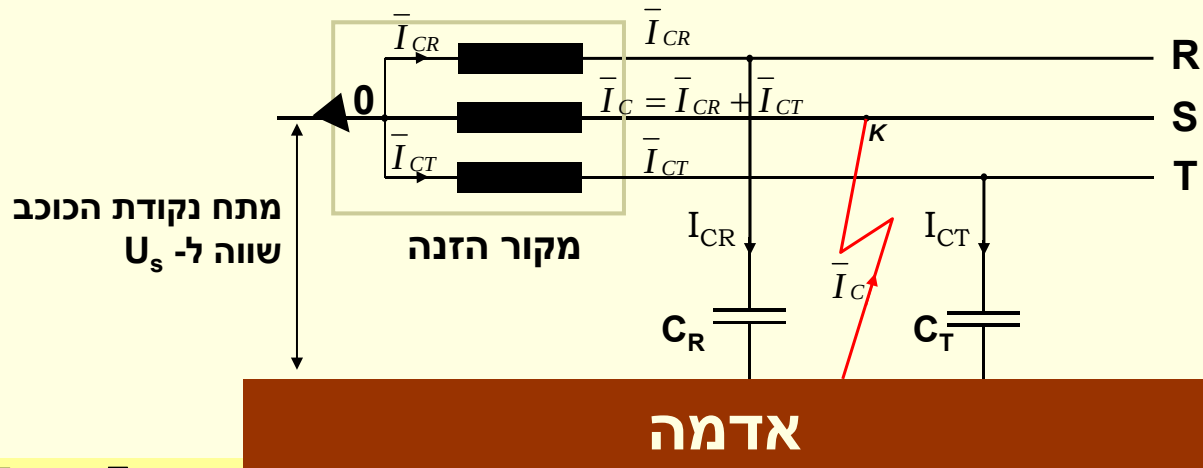
למצגת
פרמטרים של
קוי חשמל

מערכת בעלת נקודת אפס מבודדת במצב עבודה תקין



$$\begin{aligned} |\bar{U}_R| &= |\bar{U}_S| = |\bar{U}_T| \\ C_R &= C_S = C_T \\ \bar{I}_{CR} + \bar{I}_{CS} + \bar{I}_{CT} &= 0 \end{aligned}$$

מערכת בעלת נקודת אפס מבודדת במצב קצר פזי



$$|\overline{U}_{CR}| = |\overline{U}_{CT}| = \sqrt{3}U_{PH}$$

$$\bar{I}_{CR} = \frac{\bar{U}_{CR}}{-jX_{CR}}; \quad \bar{I}_{CT} = \frac{\bar{U}_{CT}}{-jX_{CT}}$$

$$X_{CR} = X_{CT} = X_C = \frac{1}{\omega C}$$

$$I_C = \frac{\overline{U}_{CR} + \overline{U}_{CT}}{-jX_C} = 3 \frac{U_{PH}}{-jX_C} = \frac{3 * U_{PH}}{\frac{1}{j\omega C}}$$

$$I_C = j3U_{PH}\omega C \quad \text{זרם הקצר:}$$

ה-J מצביע על זרם קצר בעל אופי קיבולי המקדים את המתח בזווית בת 90° .

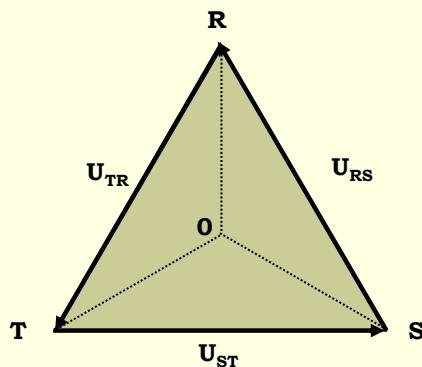
משטח נקיון והאפט

סגל אריאל <http://www.arielsegal.co.il/>

5

מערכת בעלת נקודת אפס מבודדת במצב קצר פזי

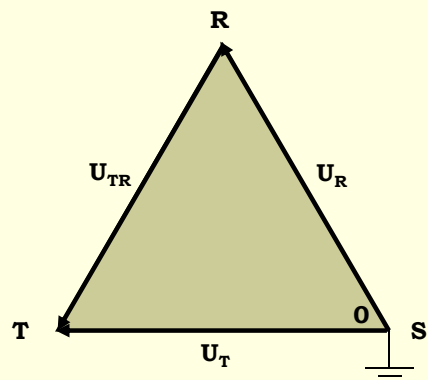
במצב תקין



$$|\overline{U}_R| = |\overline{U}_S| = |\overline{U}_T| = U_{PH}$$

$$|\overline{U}_{RS}| = |\overline{U}_{ST}| = |\overline{U}_{TR}| = \sqrt{3}U_{PH}$$

במצב קצר חד פזי



$$\overline{U}_S = 0$$

$$|\overline{U}_R| = |\overline{U}_T| = |\overline{U}_{TR}| = \sqrt{3}U_{PH}$$

מתחי הפזות התקינות עולים עד לערך מירבי של מתח שלוב

$$|I_C| = 3U_{PH} \omega C$$

משטר נקודת האפס

סגל אריאל <http://www.arielsegal.co.il/>

6

קיבול וזרם קיבולי של קוי מתח גבוה ועליון

ניתן לחשב את זרמי התקלה על פי ערכי הקיבול של קוי מתח גבוה הנתונים:

$$C=0.008 - 0.010 \mu\text{F/km}$$

קו עילי במתח גבוה ועליון :

$$C=0.005 - 0.007 \mu\text{F/km}$$

קו עילי במתח על:

$$C=0.16 - 0.25 \mu\text{F/km}$$

כבלים במתח גבוה ועליון:

דוגמת חישוב:

חשב את גודל זרם הקצר החד פאזי לאדמה בקו מתח גבוה במתח 22kV בעל אורך כולל של 100km וקיבול של 9nF/km.

פתרון:

ערך מוחלט של זרם הקצר החד פאזי לאדמה על פי הנוסחה שפותחה:

$$|I_C| = 3 \cdot U_{PH} \cdot \omega \cdot C = 3 \cdot \frac{22000}{\sqrt{3}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 9 \cdot 10^{-9} \cdot 100 = 10.77 A$$

מערכת בעלת נקודת אפס מבודדת

יתרונות:

זרם קצר נמוך שאינו גורם למאמצי יתר בצידוד, כוחות אלקטרודינמיים וחימום. 

זרם קצר נמוך בדרך כלל מהערך הנקוב של המעגלים. 

המתחים השלובים אינם משתנים בעת תקלה. לפיכך, ניתן להמשיך את אספקת החשמל לצרכנים גם בזמן התקלה. 

חסרונות:

המתח הפזי בפזות התקינות עולה לערך של מתח שלוב, עובדה זו מחייבת השקעה בבידוד שאם לא כן יהפך הקצר לדו פזי.



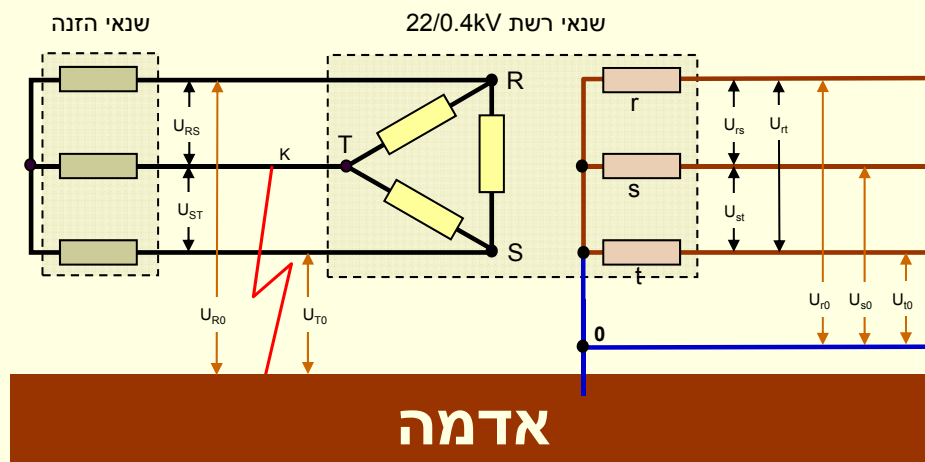
קשה ליישם שיטות הגנה חד משמעיות כאשר זרמי הקצר נמוכים מהזרמים הנומינלים במעגל. שיטות ההגנה עבור שיטה זו הן יקרות ומסובכות.



במעגל הקצר ישנם רכיבים ראקטיביים, השראות הקו השנאי וקיבוליות. עובדה זו גורמת לקשת מתנדנדת בנק' הקצר, ולהצתות חוזרות של הקשת. ההצתות החוזרות מאופיינות בקפיצות מתח של עד פי 3 או 4 מהמתח הנקוב.



קצר חד פאזי במערכת בעלת נקודת אפס מבודדת

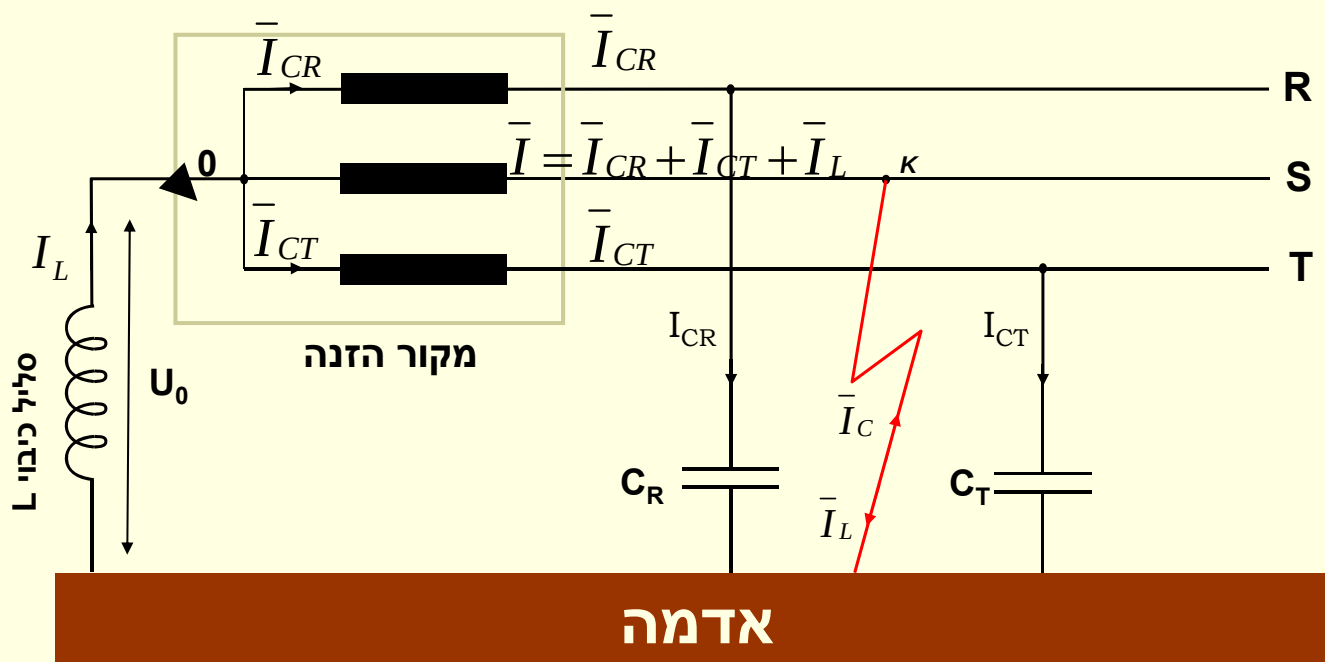


מצב המתחים בצד המתח הגבוה	
מתחים פאזיים	מתחים שלובים
$U_{R0}=22\text{kV}$	$U_{RS}=22\text{kV}$
$U_{S0}=0$	$U_{ST}=22\text{kV}$
$U_{T0}=22\text{kV}$	$U_{TR}=22\text{kV}$

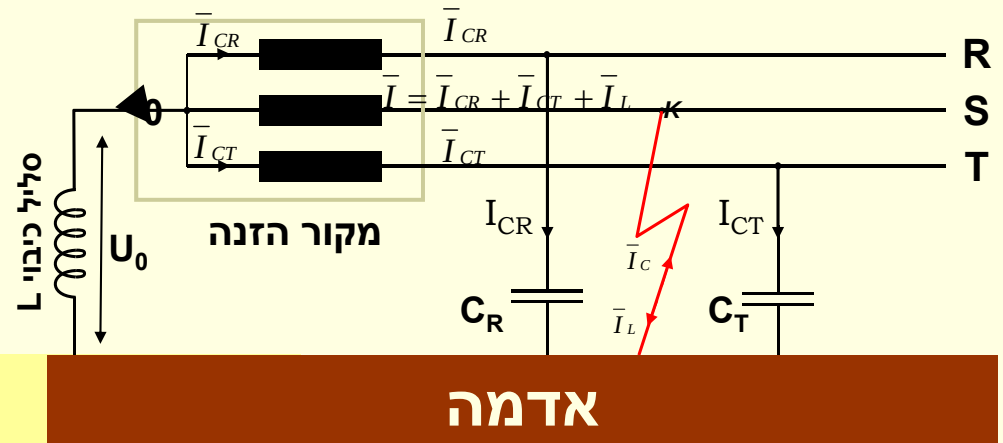
מצב המתחים בצד המתח הנמוך	
מתחים פאזיים	מתחים שלובים
$U_{r0}=0.23\text{kV}$	$U_{rs}=0.4\text{kV}$
$U_{s0}=0.23\text{kV}$	$U_{st}=0.4\text{kV}$
$U_{t0}=0.23\text{kV}$	$U_{tr}=0.4\text{kV}$

המתחים בצד מתח נמוך של השנאי נותרים ללא שינוי

מערכת בעלת נקודת אפס מוארקת דרך סליל במצב קצר פזי



מערכת בעלת נקודת אפס מוארקת דרך סליל במצב קצר פזי



$$|\bar{U}_{CR}| = |\bar{U}_{CT}| = \sqrt{3}U_{PH}$$

$$\bar{I}_{CR} = \frac{\bar{U}_{CR}}{-jX_{CR}}; \quad \bar{I}_{CT} = \frac{\bar{U}_{CT}}{-jX_{CT}}$$

$$X_{CR} = X_{CT} = X_C = \frac{1}{\omega C}$$

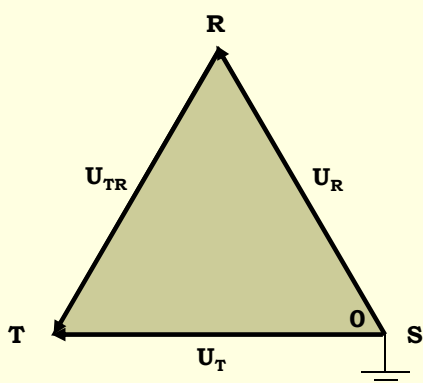
$$\bar{I}_C = \frac{\bar{U}_{CR} + \bar{U}_{CT}}{-jX_C} = 3 \frac{\bar{U}_{PH}}{-jX_C} = 3 \cdot \frac{\bar{U}_{PH}}{\frac{1}{j\omega C}} = 3jU_{PH}\omega C$$

$$\bar{I}_L = \frac{\bar{U}_{PH}}{jX_L} = -j \frac{\bar{U}_{PH}}{\omega L}$$

$$\bar{I} = jU_{PH} \left(3\omega C - \frac{1}{\omega L} \right)$$

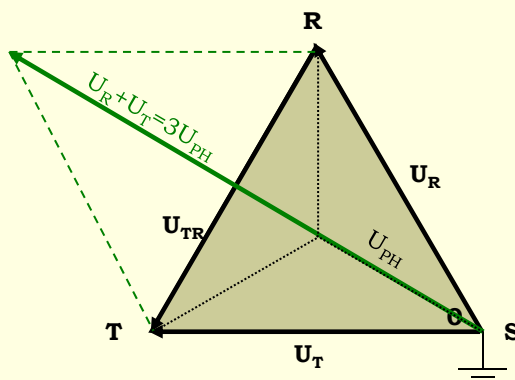
מערכת בעלת נקודת אפס מוארכת דרך סליל כיבוי

במצב קצר חד פזי



$$\bar{U}_S = 0$$

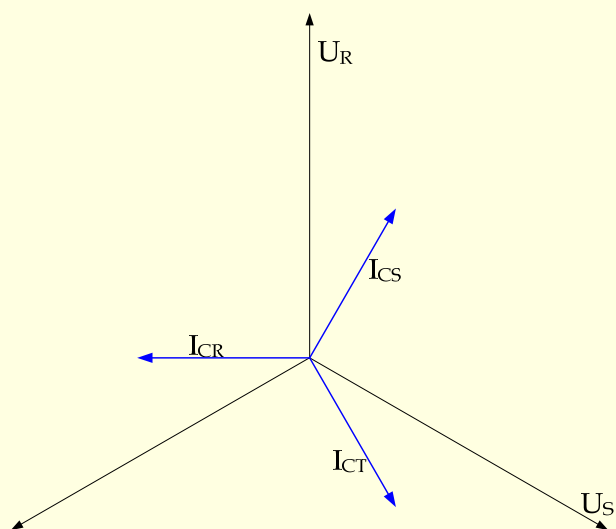
$$|\bar{U}_R| = |\bar{U}_T| = |\bar{U}_{TR}| = \sqrt{3}U_{PH}$$



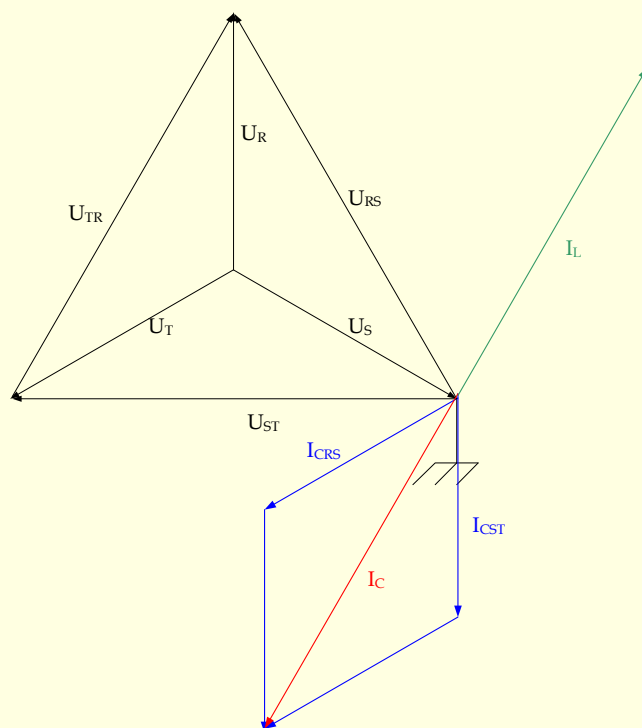
$$\bar{U}_R + \bar{U}_T = 3 \cdot U_{PH}$$

זרמים קיבוליים ברשת מ"ג במצב תקין ובמצב תקלה

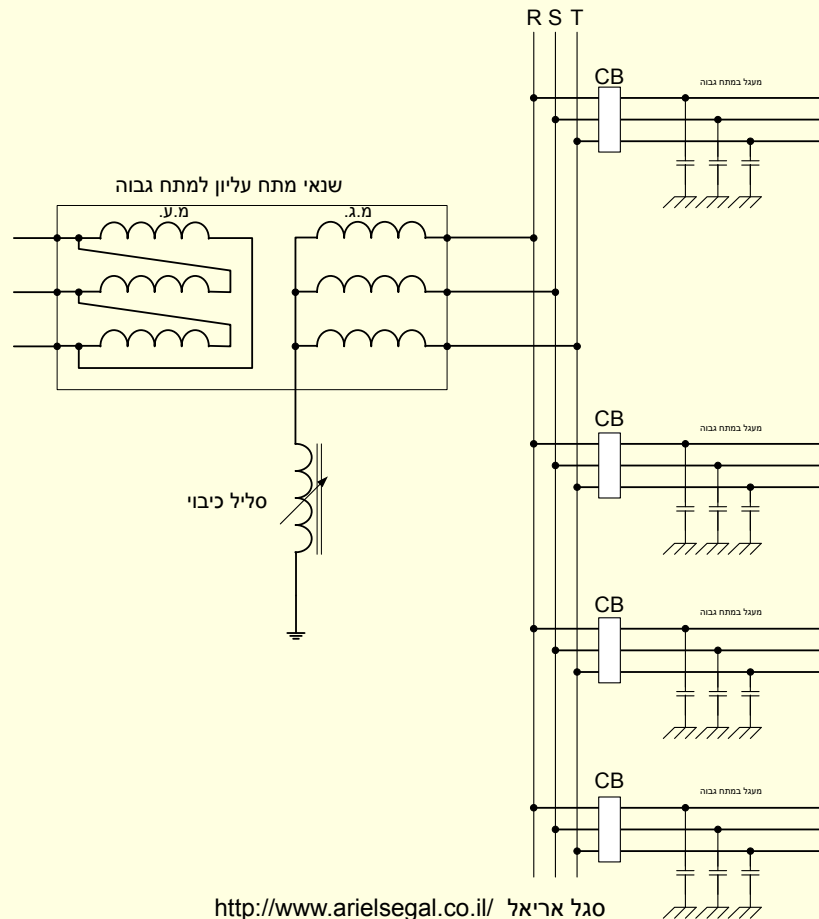
זרמים קיבוליים ברשת מתח גבוה במשטר תקין



הזרמים ברשת מתח גבוה בעת קצר חד פאזי לאדמה של מופע S כולל השפעת הסליל



רשת מתח גבוה מוזנת משנאי משולש/כוכב

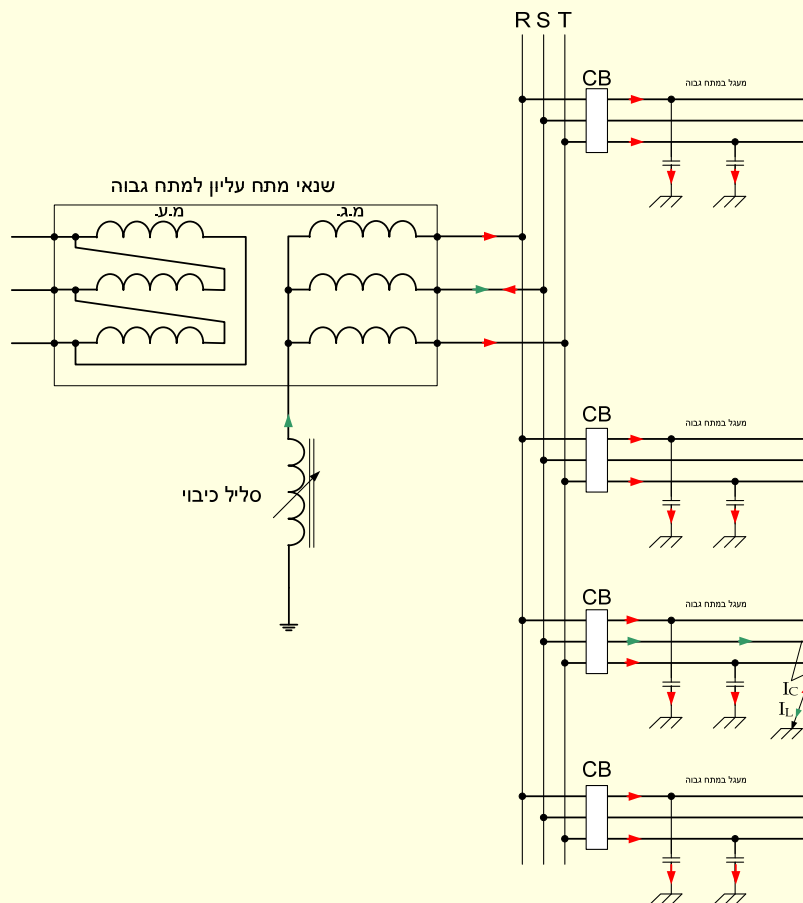


משטר נקודת האפס

סגל אריאל <http://www.arielsegal.co.il/>

15

רשת מתח גבוה מוזנת משנאי משולש/כוכב בעת קצר חד פאזי



משטר נקודת האפס

סגל אריאל <http://www.arielsegal.co.il/>

16

יתרונות:

הקטנת הזרם החשמלי מתחת לערך סף מורידה את רמת האנרגיה בקשת ומביאה לכיבוייה. 

ע"י ניצול המתח המתפתח על הסליל ניתן בעזרת הגנות מתאימות לזהות את קיום התקלה (הגנה וואטמרית). 

זרם קצר נמוך שאינו גורם למאמצי יתר בצידוד, כוחות אלקטרודינמיים חימום. 

המתחים השלובים אינם משתנים בעת תקלה. לפיכך ניתן להמשיך את האספקה לצרכנים גם בזמן תקלה זאת בתנאי שהצרכן מוזן משנאי בעל קבוצת חיבורי משולש בכוון המתח בו קיימת התקלה. לפיכך מובטחת רציפות בהזנת הצרכנים בקצרים חולפים. 

חסרונות:

המתח הפזי בפזות התקינות עולה לערך של מתח שלוב, (עכבת הסליל גבוהה מאוד עד מאות אום) עובדה זו מחייבת השקעה בבידוד שאם לא כן יהפך הקצר לדו פזי (ב-70% - 60% מהמקרים הופך הקצר לדו פזי בפרק זמן של כ- 5 דקות). 

השקעה בצידוד הרשת (מגיני ברק, שנאי מתח וכד') לעמידה במתח שלוב. 

שינויים בתצורת הקווים מצריכים שינויים בכיוול סלילי הכיבוי (גם מזג האוויר משפיע על קיבול הקווים). 

קשיים באיתור מקום התקלה. 

סליל כיבוי



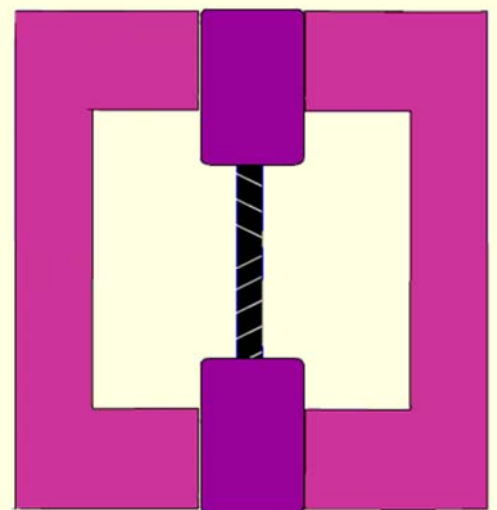
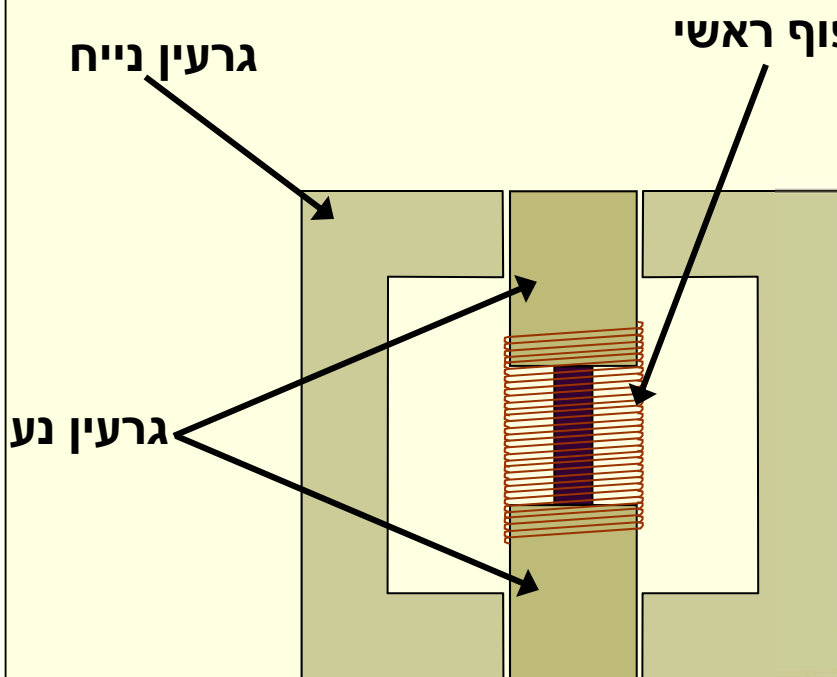
משטר נקודת האפס

<http://www.arielsegal.co.il/> סגל אריאל



19

סליל כיבוי

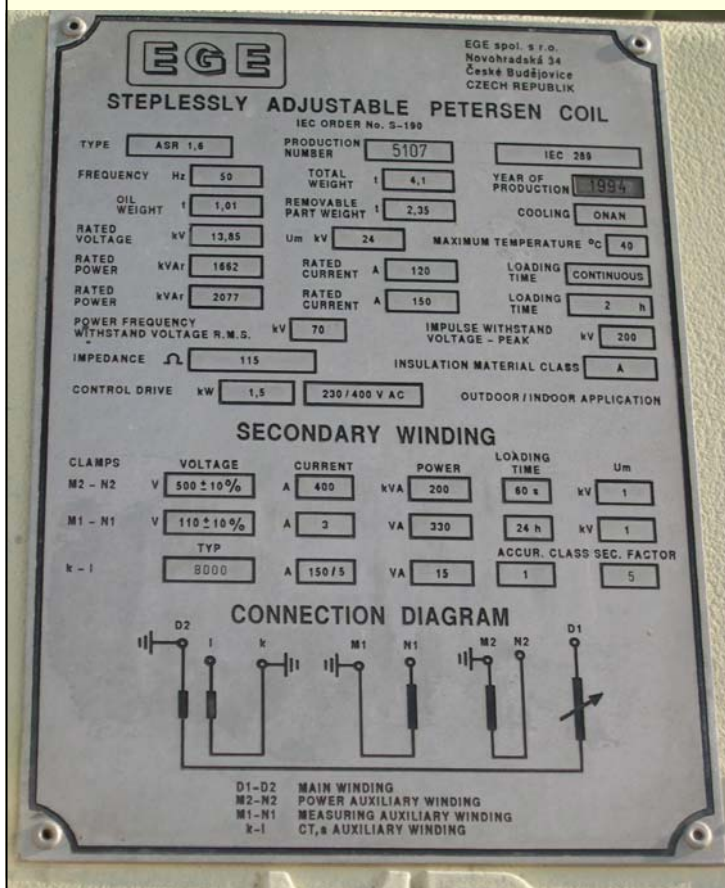


משטר נקודת האפס

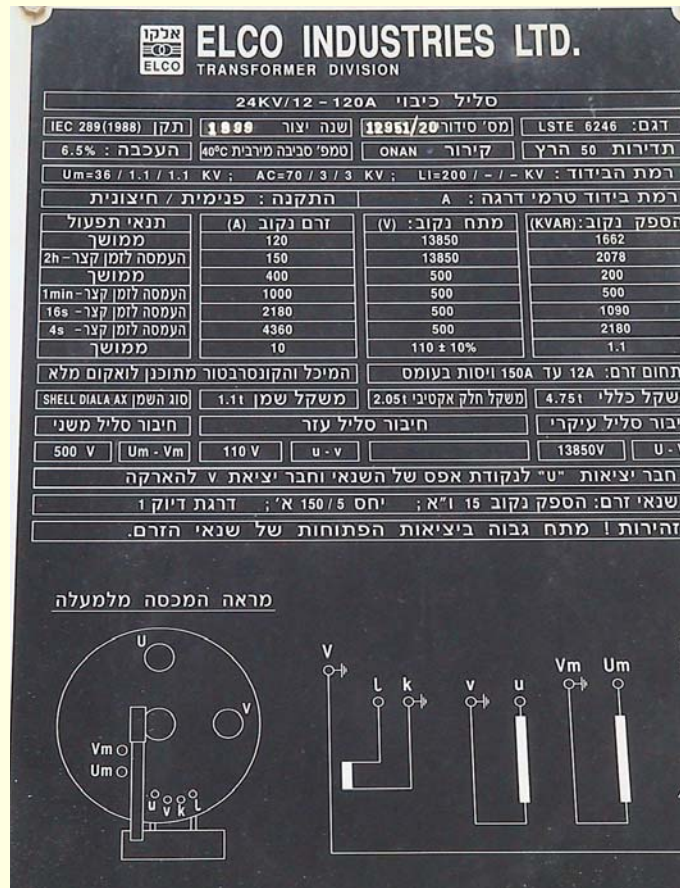
<http://www.arielsegal.co.il/> סגל אריאל

20

שלט סליל כיבוי



משטר נקודת האפס



מראה המכסה מלמעלה

A diagram of a circular disk with a vertical rod passing through its center. The rod has a rectangular base. Several points are labeled with letters: 'u' at the top of the disk, 'v' on the right side, 'Vm' and 'Um' on the left side of the rod, and 'u', 'v', 'k', and 'l' near the base of the rod.

סגל אריאל <http://www.arielsegal.co.il/>

21

פעולות תפעוליות לאיתור איזור תקלה ברשת מתח גבוה

במקרה והקצר מתרחש דרך קשת חשמלית, יגרום ברוב המקרים סליל הכיבוי לסילוק מהיר של התקלה.

במקרה וסליל הכיבוי לא מביא לסילוקה מופעלת ההגנה הוואטמטרית להפסקת המעגל הפגוע.

כאשר הרשת ממשיכה לפעול למרות קיום הקצר ברשת מתח גבוה
מהסיבות:

א. מיקום התקלה בתחום מסדר מתח גבוה, לפני משני הזרם של מעגל היציאה כמו בפסי צבירה וציווד המחובר אליהם ישירות, כריכות מ.ג. של השנאי ושנאי הארקה (במידה וישנו)

ב. רגישות בלתי מספקת של הממסר הוואטמטרי.

פעולות תפעוליות לאיתור איזור תקלה ברשת מתח גבוה

במקרים אלה מתקבלת התראה במרכז הפיקוח ויש צורך לבצע פעולות תפעוליות יזומות לאיתור אזור התקלה.

סדר הפעולות:

א. בדיקת ערכי המתחים של פסי הצבירה במתח גבוה, בדומה לבדיקה לקראת כיוול הסליל ואת מתח סליל הפיקוד, מתח הגדול מ-30V מצביע על הפרעה.

ב. בדיקה חזותית של המסדר לאיתור מבודדים סדוקים, תיילים קרועים וכד'.

ג. הפסקת כל המעגלים המוזנים באמצעות המסדר הרלוונטי.

פעולות תפעוליות לאיתור איזור תקלה ברשת מתח גבוה

דרך שניה הינה הפסקה וחיבור לסרוגין של מעגלי מ.ג. במידה ומקום התקלה הוא באחד המעגלים, תחזור המערכת למצב תקין מייד עם הפסקת מעגל זה.

דרך שלישית כרוכה בשינוי שיטת ההארקה של נקודת האפס, ממצב "סליל" למצב הארקה ישירה. הדבר נעשה ע"י סגירת מנתק הארקה אשר במסדר ה"אפס" של השנאי. סגירת המנתק גורמת לקיצור סליל הכיבוי ולהתפתחות זרם גבוה. בעקבות כך תפעלנה ההגנות המתאימות להפסקת ההזנה למקום התקלה.

מאריק סליל כיבוי

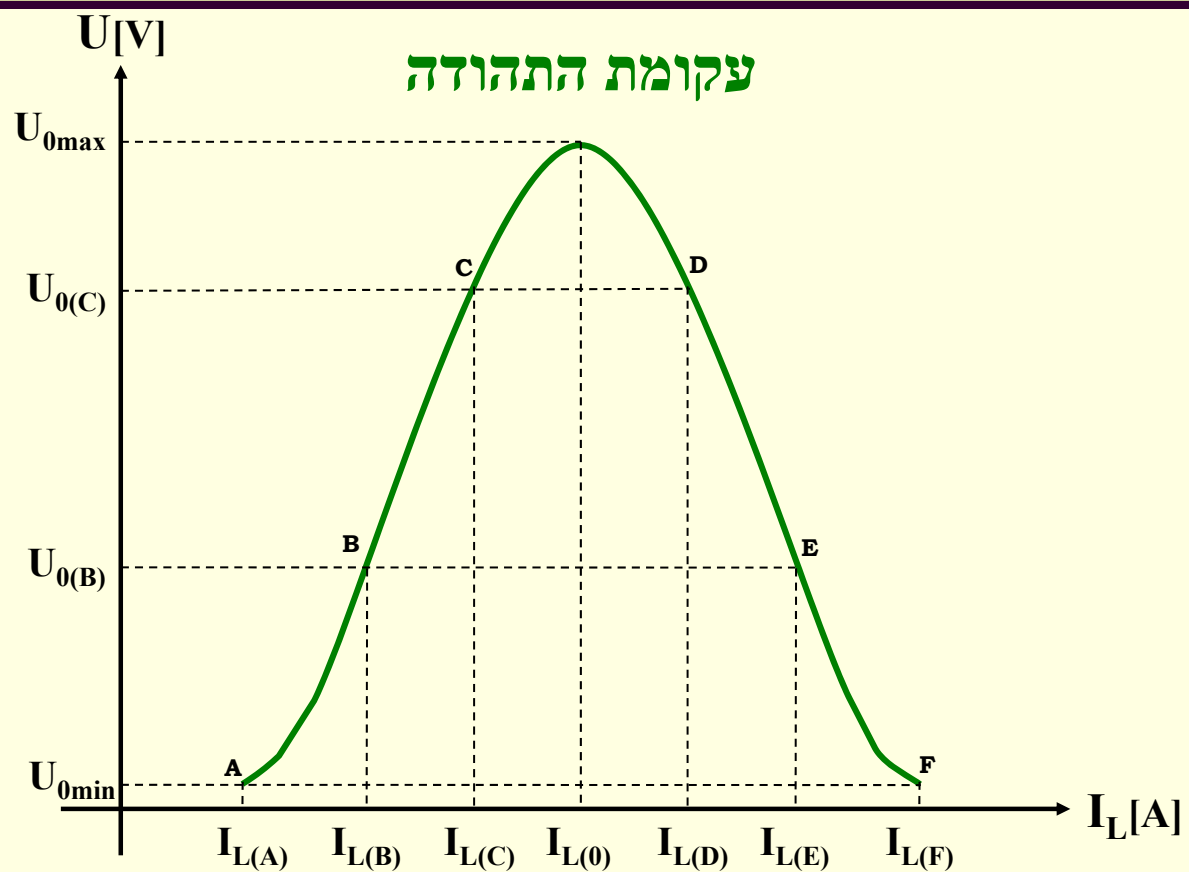


משטר נקודת האפס

<http://www.arielsegal.co.il/> סגל אריאל

25

מערכת בעלת נקודת אפס מוארכת דרך סליל כיבוי



משטר נקודת האפס

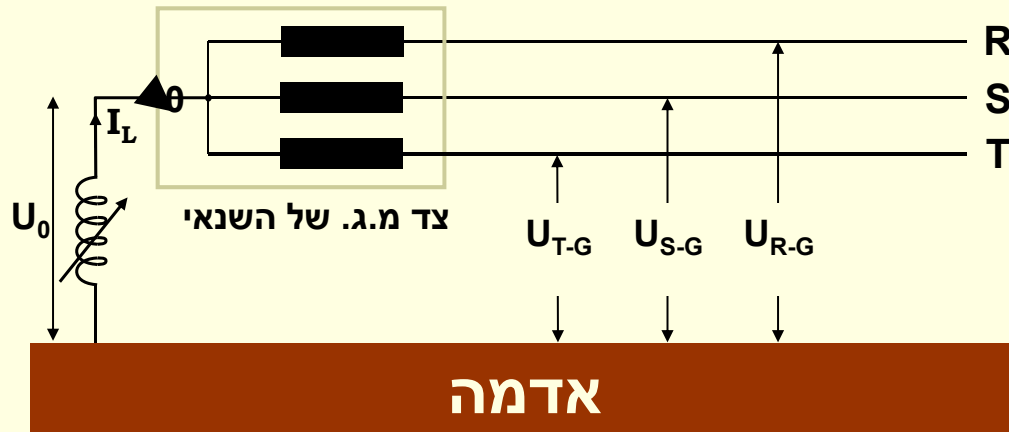
<http://www.arielsegal.co.il/> סגל אריאל

26

עקומת התהודה:

עקומת התהודה של סליל הכיבוי מבטאת את שינוי הפוטנציאל U_0 בנקודת האפס של מקור הזינה בצד המתח הגבוה $U_0=f(I_L)$.

U_0 משקף את אי האיזון בין המתחים U_{T-G} U_{S-G} U_{R-G} כלפי האדמה של מופעי הרשת.



עקומת התהודה:

על פי העקומה נקבעת נקודת הכיול הרצויה של הסליל.

בנית עקומת התהודה כרוכה בקביעת מספר נקודות על גרף הפונקציה, $U_0=f(I_L)$ בעזרת 2 מכשירים המורכבים בלוח הפיקוד של סליל הכיבוי.

א- מראה דרגות המצביע על הזרם המירבי בסליל הכיבוי.

ב- מד מתח המוזן מליפוף משני L_2 של סליל הכיבוי ומראה את ערך המתח על הדקי הסליל.

בניית עקומת התהודה במתח מלא: (*)

מפסיקים ומנתקים שדה מתח גבוה במסדר.



מוציאים מניצול את ההגנה הוואט-מטרית של שדה זה.



מקצרים לאדמה את אחד ממופעי המעגל.



מחברים חזרה את מפסק הזרם של השדה המקוצר.



מפעילים את מנגנון הויסות של הסליל, לכוון ירידה (למשל) עד שקריאת מד המתח תהיה מזערית. U_{0min} , במצב זה נקבעת נקודה A בעקומה.



(*) מתח מלא – בעת קצר חד פאזי לאדמה.

בניית עקומת התהודה במתח מלא :

מפעילים את מנגנון הויסות של הסליל, לכוון עליה וקוראים ערכים שונים של המתח U_0 , בהתייחס למצב מראה הדרגות. כל אחד מהמצבים, מהווה נקודה נוספת בעקום התהודה. הקריאה בעלת הערך המירבי צריכה להיות: $U_{0max} = 110V$. U_{0max} מצביע על נקודת התהודה, בין השראות סליל הכיבוי וקיבוליות הרשת (השקולה). מתח זה מצביע על קים מתח פאזי של הרשת על הצד הראשוני של סליל הכיבוי. הקריאה I_{L0} של מראה הדרגות מצביעה על הזרם בסליל (השווה כמובן לזרם הקיבולי של הרשת בתצורה הנתונה). הנקודה U_{0max} , I_{L0} מהווה את נקודת השיא של עקומת התהודה.



ממשיכים בהפעלת מנגנון הויסות בכוון "עליה" תוך רישום הקורדינטות של נקודות נוספות בעקומה.



הערה: ישום שיטה זו לבניית עקומת תהודה של סליל כיבוי מתבצע רק במצבים מיוחדים כגון: הכנסה לניצול, בדיקת הגנות, שינוי משמעותי במבנה הקו וכד'

בניית עקומת התהודה במתח חלקי

כיוול הסליל במקרה הקודם התבסס על מצב של אי איזון מירבי בין נקודת האפס להארכה. תנאי זה נוצר בעת חיבור מתכתי לאדמה של אחד המופעים.



ניתן לבנות עקומת תהודה גם על סמך מתחים חלקיים הקיימים בנק' האפס עקב אי איזון של הרשת. במקרה זה מתח השיא נמוך משמעותי מהמתח הפאזי $U_0 < U_{0max} = U_{ph}$.



בתנאים רגילים עשוי ערך המתח בנקודת הכוכב (בצד המשני של הסליל) להגיע לערכים של עד כ- 20V.



בניית עקומות התהודה במתחים חלקיים כרוכה בביצוע סדרת פעולות דומה למקרה של מתח מלא למעט ישום הקצר החד פאזי. שיטה זו מהווה את האמצעי העיקרי לכיוול שוטף של סליל הכיבוי.



כיוול סליל הכיבוי

דרישות:

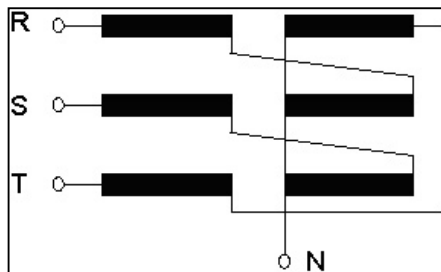
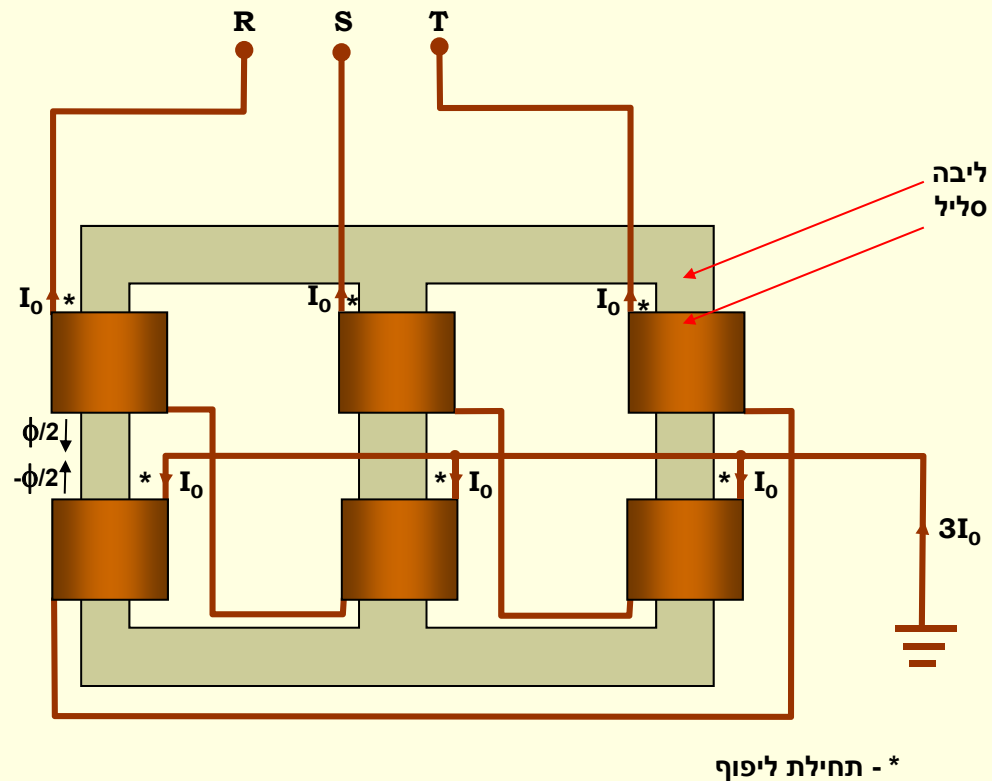
הקטנת הזרם הקיבולי מתחת לערך ה"סף" על מנת לכבות בהצלחה את הקשת.



הזרם ההשראי של סליל הכיבוי צריך להיות גבוה ב- 10-15% מהזרם הקיבולי של הרשת, למניעת מצב תהודה חשמלית המלווה בתופעות מעבר מסוכנות.



שנאי הארקה



שנאי הארקה

■ שנאי הארקה מיצר נקודת כוכב, ברשתות תלת מופעיות בהן זו אינה קיימת. לנקודה זו יחוברו סליל כיבוי, נגד או הארקה ישירה.

■ השנאי מכיל ליפוף יחד בחיבור זיג זג. עכבת חיבור זה לסדרת האפס היא נמוכה יחסית.

■ בעת שימוש בסליל כיבוי, הזרם הנקוב של הסליל ומשך זמן פעולתו מכתיבים את נתוני השנאי ההארקה שיבחר.

■ כשהרשת תקינה זורם דרך השנאי זרם מגנוט (קטן)

■ השנאי נבנה על פי רוב במיכל מלא בשמן. בזרמי קצר קצרים לאדמה אין צורך לדאוג לעלית הטמפ', בזמנים ארוכים יש לוודא שטמפ' השמן לא תעלה על 140°C .

שנאי הארקה יבש בחיבור זיג זג

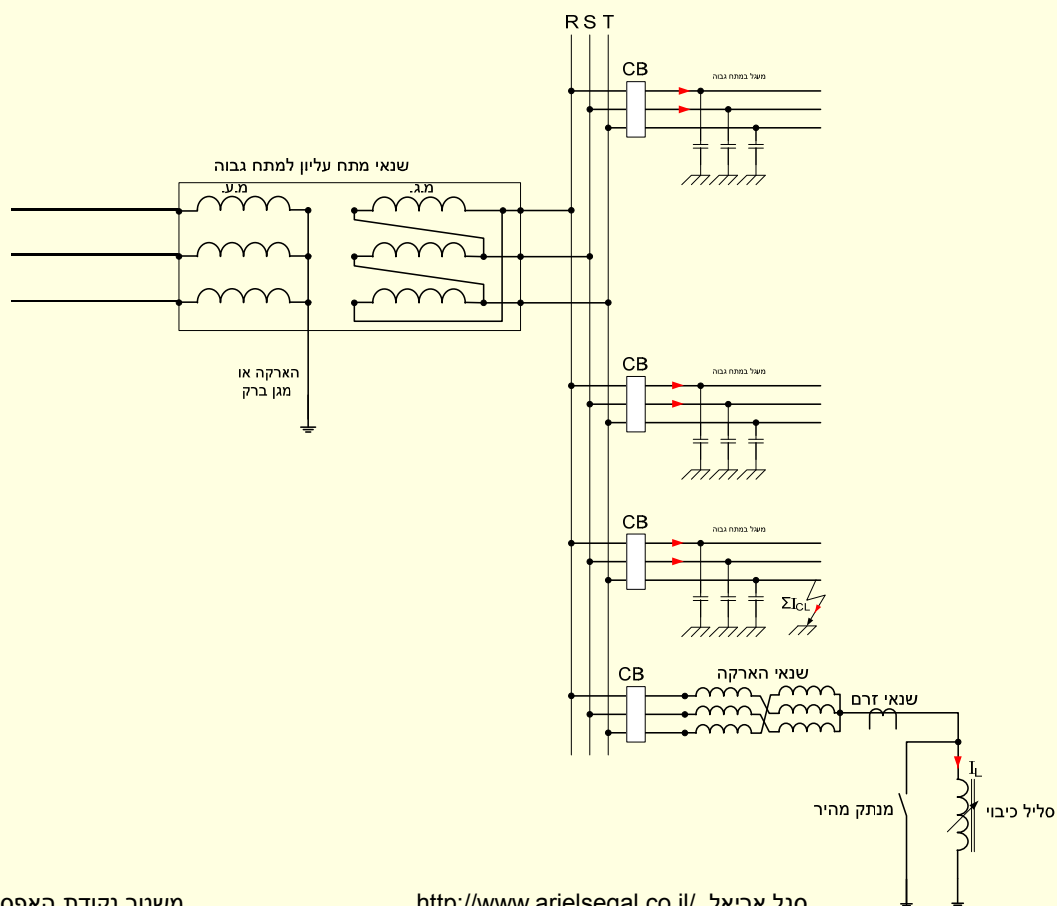


משטר נקודת האפס

סגל אריאל / <http://www.arielsegal.co.il/>

35

רשת מ"ג מוזנת משנאי בחיבור כוכב משולש



משטר נקודת האפס

סגל אריאל / <http://www.arielsegal.co.il/>

36

שנאי הארקה



משטר נקודת האפס

<http://www.arielsegal.co.il/> סגל אריאל

37

שנאי הארקה מחובר ישירות למשני בשנאי



משטר נקודת האפס

<http://www.arielsegal.co.il/> סגל אריאל

38

שנאי הארקה וסליל כיבוי

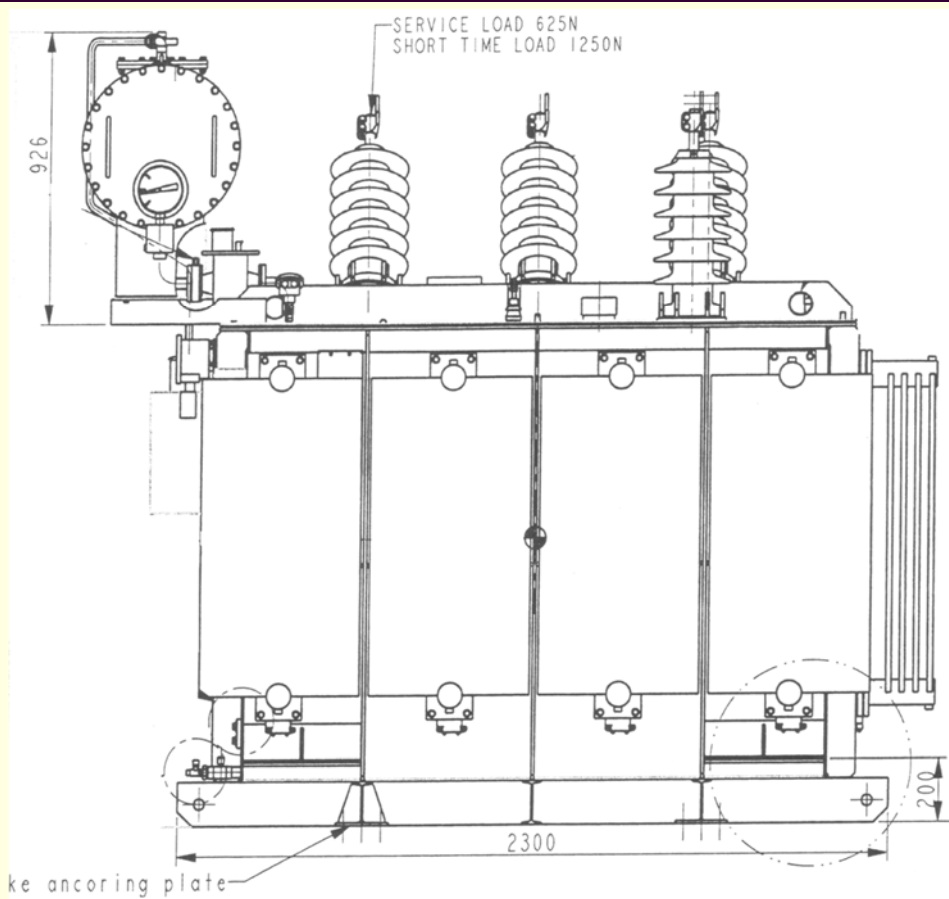


משטר נקודת האפס

<http://www.arielsegal.co.il/> גל אריאל

39

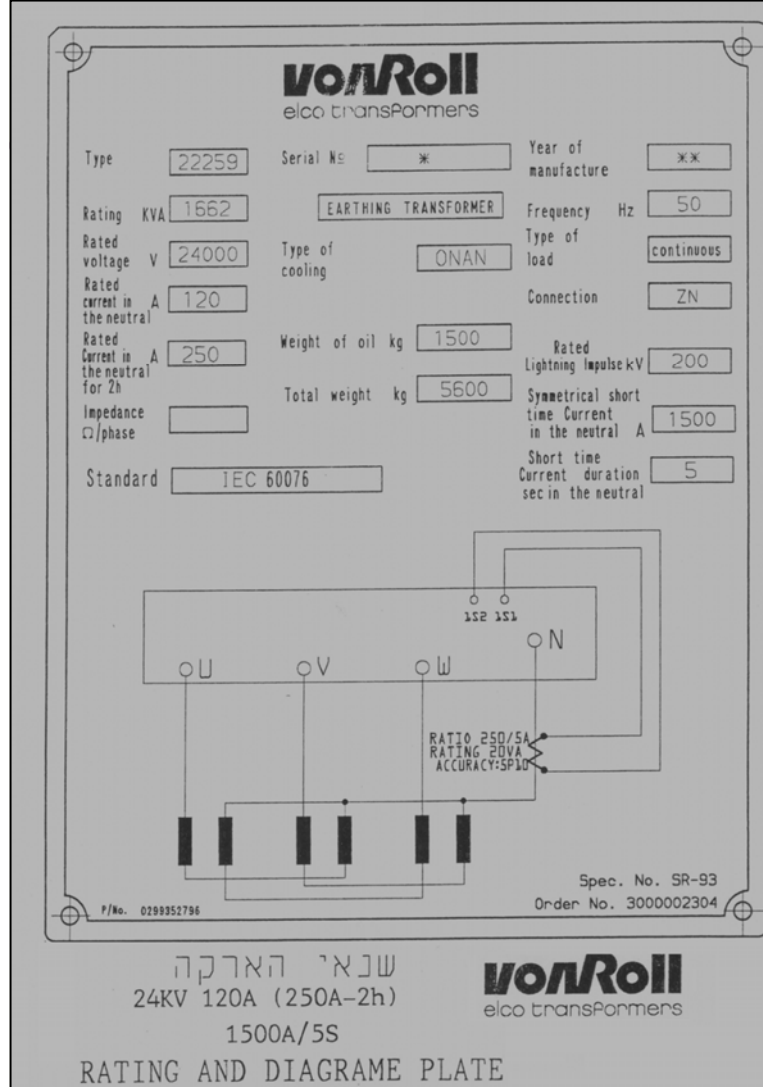
שלט של שנאי הארקה מתוצרת Vonrol (אלקו)



משטר נקודת האפס

<http://www.arielsegal.co.il/> גל אריאל

40

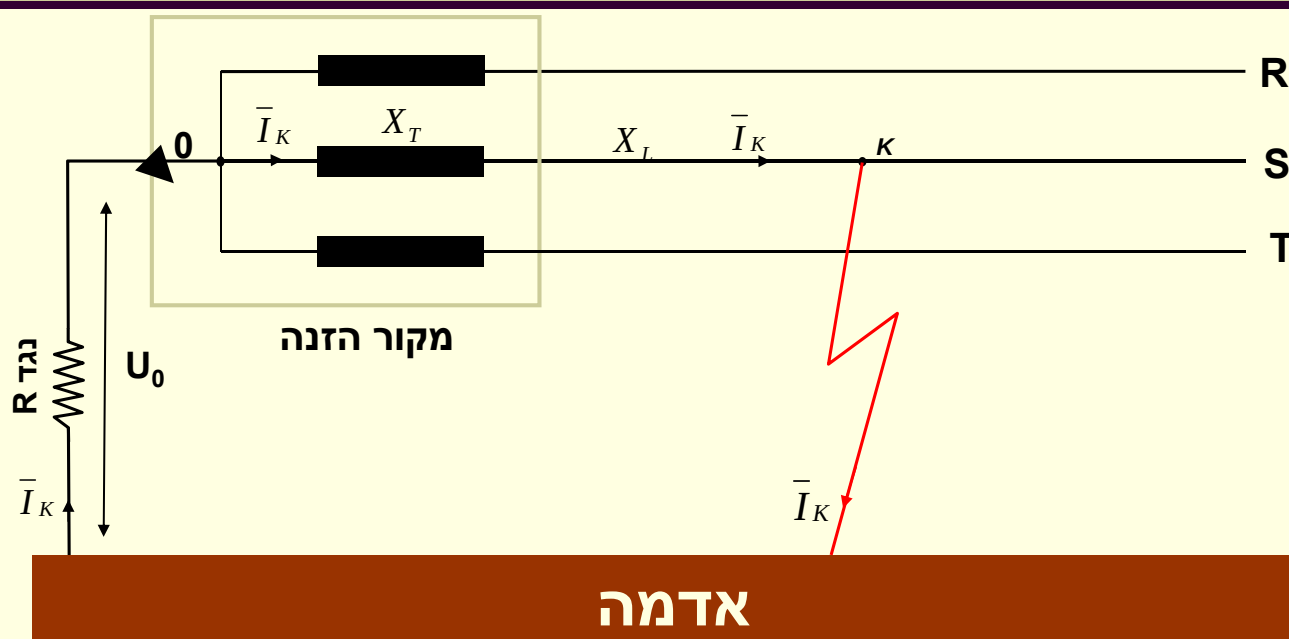


שלט של שנאי הארקה מתוצרת Vonrol (אלקו)

סגל אריאל / co.il

41

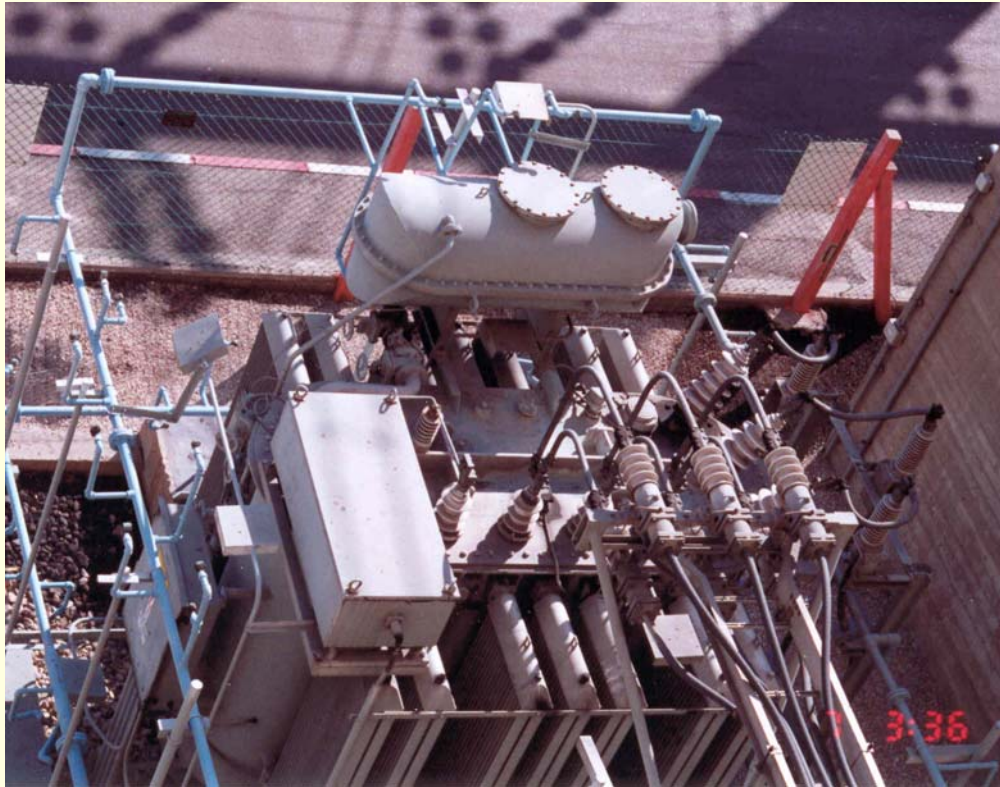
נגד מחובר לנקודת האפס במצב קצר חד פזי



$$I_K = \frac{U_{PH}}{\sqrt{R^2 + X^2}} \quad X = X_T + X_L$$

$$U_0 = I_K * R = I_K \sqrt{\left(\frac{U_{PH}}{I_K}\right)^2 - X^2}$$

נגד מחובר לנקודת האפס במצב קצר חד פזי



קצר חד פזי במערכת מוארקת באמצעות נגד

מפל המתח על פני הנגד R:

משוואה א':

$$U_0 = I_K * R$$

הנוסחה לחישוב זרם הקצר החד פאזי:

משוואה ב':

$$I_K = \frac{U_{PH}}{\sqrt{R^2 + X^2}}$$

נחלק את R מתוך משוואה ב' ונקבל:

משוואה ג':

$$R = \sqrt{\left(\frac{U_{PH}}{I_K}\right)^2 - X^2}$$

מתוך ג' ו-א' ניתן לקבל:

משוואה ד':

$$U_0 = I_K R = I_K \sqrt{\left(\frac{U_{PH}}{I_K}\right)^2 - X^2}$$

קצר חד פזי במערכת מוארקת באמצעות נגד

זרם הקצר החד פאזי במערכות המוארקות ישירות לאדמה :
משוואה ה'

$$I_{K_{\max}} = \frac{U_{PH}}{X}$$

ממשוואה ה' נקבל:

$$X = \frac{U_{PH}}{I_{K_{\max}}}$$

ממשוואה ד' והקשר האחרון נקבל:

$$U_0 = I_K \sqrt{\left(\frac{U_{PH}}{I_K}\right)^2 - \left(\frac{U_{PH}}{I_{K_{\max}}}\right)^2} = I_K U_{PH} \sqrt{\left(\frac{1}{I_K} - \frac{1}{I_{K_{\max}}}\right)}$$

היחס U_0/U_{PH} יהיה אם כן:

$$\frac{U_0}{U_{PH}} = \sqrt{1 - \left(\frac{I_K}{I_{K_{\max}}}\right)^2}$$

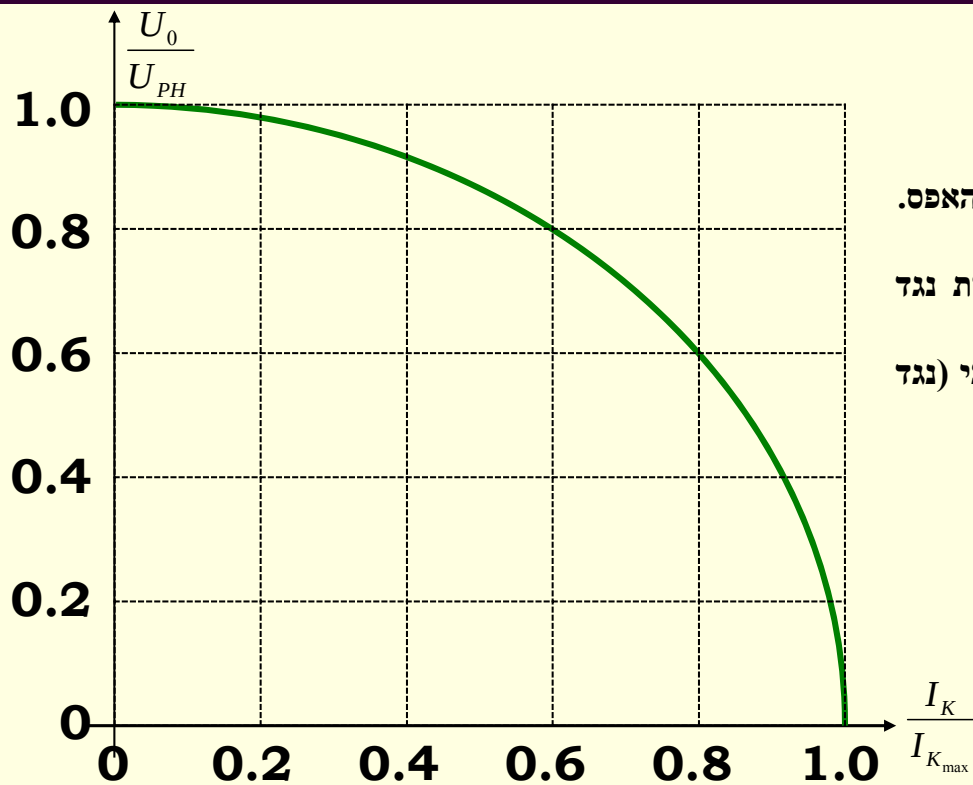
קצר חד פזי במערכת מוארקת באמצעות נגד

$$\frac{U_0}{U_{PH}} = \sqrt{1 - \left(\frac{I_K}{I_{K_{\max}}}\right)^2}$$

ערכה של משוואה זו נע בין 0 כאשר הנגד מקוצר (נקודת האפס מוארקת ישירות) לבין 1 כאשר נקודת האפס מבודדת.

ניתן לומר אם כן כי פוטנציאל נקודת האפס נע בין מתח אפס עבור חיבור ישיר לאדמה ועד למתח פאזי עבור מערכת מבודדת.

שינוי פוטנציאל נקודת האפס כתלות בזרם הקצר במערכת בעלת נקודת אפס מוארכת דרך נגד



דוגמת חישוב פוטנציאל נקודת האפס במערכת בעלת נקודת אפס מוארכת דרך נגד

זרם הקצר החד פאזי במערכת המוארכת ישירות לאדמה הוא: I_{max}

רצוי להקטין למחצית את זרם הקצר החד פאזי.

כתוצאה פוטנציאל נקודת האפס יהיה:

$$U_0 = U_{PH} \sqrt{1 - \left(\frac{I_K}{I_{Kmax}} \right)^2} = U_{PH} \sqrt{1 - \left(\frac{0.5 I_{Kmax}}{I_{Kmax}} \right)^2} = U_{PH} \sqrt{1 - 0.5^2} = 0.866 U_{PH}$$

מסקנה: הקטנת זרם הקצר למחצית מערכו המירבי מגדילה את פוטנציאל נקודת האפס ל- $0.866 U_{PH}$.

יתרונות:

זול יחסית



מתחי יתר נמוכים יחסית (עבור ערכי נגדים קטנים) .



שיטות הגנה פשוטות יחסית (פחת, יתרת זרם).



זרמי קצר חד פאזיים מוגבלים למניעת נזקים בציוז ובכבלים



חסרונות:

כיבוי עצמי בלתי אפשרי.



הפסקת הזנת הצרכנים במקרה של קצר חד פזי.



השפעה מועטה על קוי תקשורת.



חסרונות:

כיבוי עצמי בלתי אפשרי.



הפסקת הזנת הצרכנים במקרה של קצר חד פזי.



השפעה חזקה על קוי תקשורת בעת קצר.



במקרה תקלה עלולים להתפתח מתחי צעד ומתחי מגע מסוכנים בסמוך למקום התקלה.



ישום שיטות להארקת נקודת האפס ברשת החשמל הארצית

מערכת הייצור:

בגנרטור: נקודת האפס צפה. מניע מרכזי מניעת נזקים בגנרטור או הרחבתם במקרה של קצרים לאדמה. השיטה: חיבור סלילי הסטטור בכוכב כשנקודת הכוכב מחוברת לאדמה דרך משנה מתח שעכבתו גבוהה מאד, למעשה נקודת הכוכב צפה. משנה המתח מורכב למטרות הגנה.

שנאי ראשי: הליפופים בצד הראשוני מחוברים במשולש ולמעשה מבודדים מהאדמה. (ליפופי הצד המשני מחוברים בכוכב עם נקודת אפס מוארקת ישירות).

מערכת הייצור:

שנאי הזנת בית: הליפופים בצד ראשוני מחוברים במשולש. בצד המשני מחוברים הליפופים בכוכב שנקודת האפס מחוברת לאדמה דרך נגד. (שהתנגדותו $2-8\Omega$).

[מערכת הזנת בית בתח"כ מוזנת באמצעות כבלים לפיכך הסיכוי לתקלות חולפות קטן ביותר, זו הסיבה לאי שימוש בסליל].

שנאי מתח נמוך: הליפופים בצד ראשוני מחוברים במשולש. בצד המשני מחוברים הליפופים בכוכב שנקודת האפס מחוברת ישירות לאדמה. (במקרים בהם נדרשת אספקת גם במקרה של חיבור לאדמה מבודדת נקודת האפס).

מערכת ההולכה (ההעברה):

מערכת זו מעבירה את האנרגיה מתחנות הכח במתח עליון ועל 110, 160, 400 ק"ו אל תחנות המשנה.

מערכת זו כוללת את הליפוף המשני של שנאי תח"כ את מעגלי המתח העליון, מעגלי מתח על וליפוף ראשוני של השנאים בתחנות המשנה.

שיטת הארקה: הארקה ישירה

שיקולים:

👉 חסכון בבידוד.

👉 איבחון חד ומהיר של הקטע הפגוע.

👉 בטיחות.

👉 מערכת זו הינה טבעתית.

מערכת ההולכה (ההעברה) - המשך:

שנאי ראשי: ליפופי הצד המשני מחוברים בכוכב עם נקודת אפס מוארקת ישירות.

שנאי תחנות משנה: כשהליפופים בצד ראשוני מחוברים בכוכב (בשנאים בהספק 45 מו"א). מוארקת נקודת הכוכב על פי חישובי עכבות הקצר כדי לשמור על תנאי הארקה אפקטיבית.

מערכת החלוקה:

מערכת זו מעבירה את האנרגיה מתחנות המשנה לצרכנים (במתח גבוה). מערכת זו כוללת את הליפוף המשני של שנאי תחנות המשנה את מעגלי המתח הגבוה (13, 22, 33 ק"ו), שנאי החלוקה ורשת מתח נמוך.

שיטות ההארקה: סליל כיבוי, נגד, הארקה ישירה.

סליל כיבוי: ברוב הרשתות בעלות קווים עיליים. היתרון: המשך הזנה תקינה לצרכנים גם בעת חיבורים חד פזיים לאדמה. ברשתות ניתן לעבור להארקה ישירה בהתאם לדרישות התיפעוליות של המערכת.

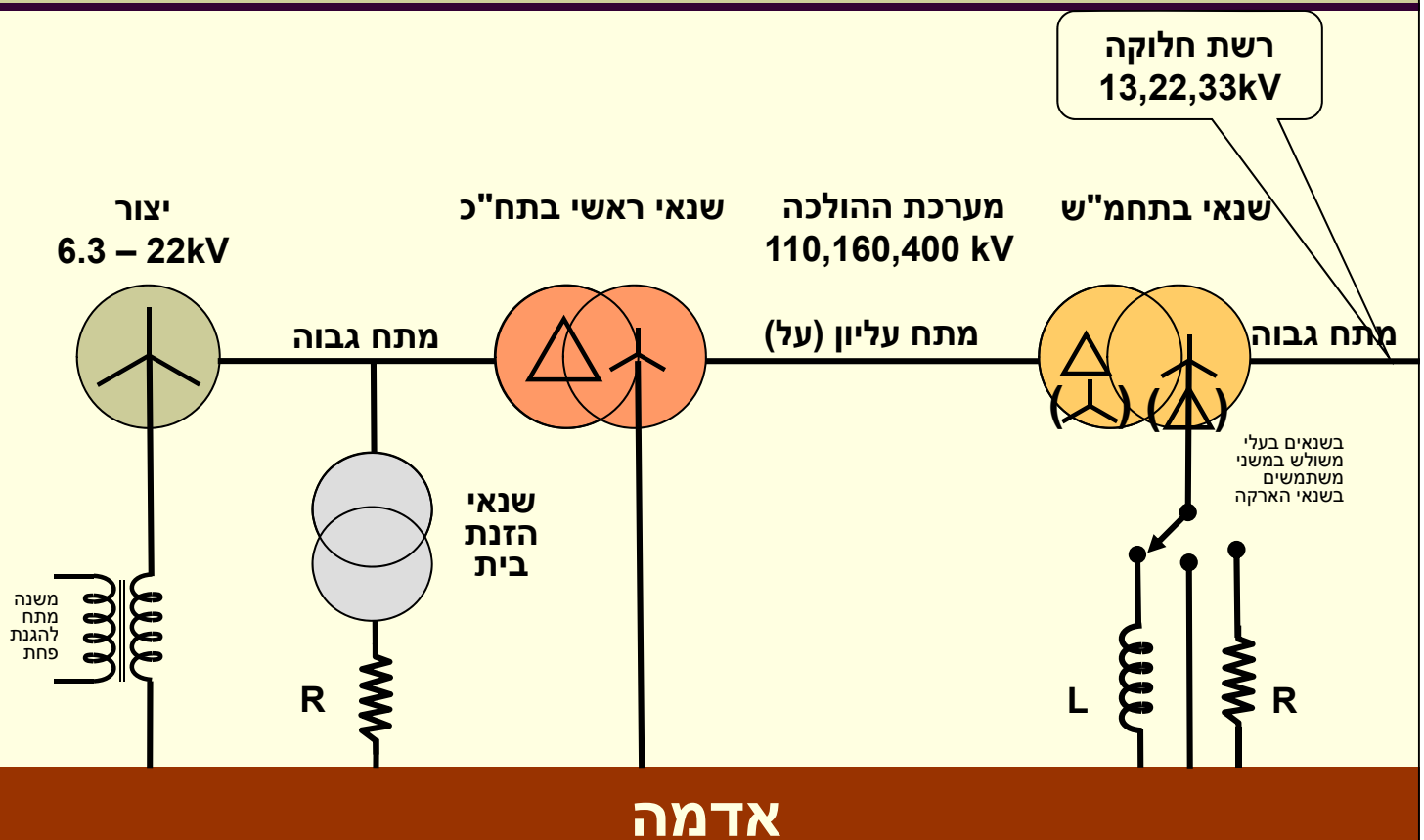
מערכת החלוקה - המשך:

נגד: ברוב הרשתות בעלות כבלים תת קרקעיים. בכבלים תת קרקעיים קצרים חולפים הינם נדירים. הנגד משולב במטרה היא להקטין את זרם הקצר החד פזי, יתרונות השיטה:

שימוש במפסקי זרם בעלי כושר הפסקה קטן יותר.

מאמצים אלקטרו דינמיים קטנים יותר בשנאים, פסי צבירה וכבלים.

הארקה ישירה: בחלק קטן מרשתות מתח גבוה בכבלים תת קרקעיים, בחלק מהרשתות העיליות במתח גבוה באזורי הערבה, הנגב וירושלים וכמעט בכל רשתות מתח נמוך.



השוואת שיטות הטיפול בנקודת האפס

מצב נקודת אפס ביחס לאדמה				
מבודדת	מאורקת דרך סליל	מאורקת ישירות לאדמה	מאורקת דרך נגד	
קצר חד פאזי מלווה בקשת	כיבוי עצמי אפשרי		כיבוי קשת אפשרי ע"י חיבור חוזר אוטומטי	
הצתה חוזרת של הקשת	אפשרי	בלתי אפשרי	אפשרי	אפשרי
חיבור ממושך לאדמה	אפשרי	אפשרי	בלתי אפשרי	בלתי אפשרי
אבחון הקצר לאדמה	שיטות הגנה מיוחדות		שיטות הגנה רגילות	
מתחי יתר ממושכים (פאזי)	עד פי $\sqrt{3}$ בכל הרשת		עד 0.8 מהמתח השלוב	עד מתח שלוב
תופעות לוואי בעת הקצר	תהודה	--	--	--
השפעה על קוי תקשורת (*)	זניחה	זניחה	חזקה למדי	מוגבלת

* תקשורת קווית באמצעות סיבים אופטיים לא מושפעת.

מושגים בשיטות להארקת נקודת האפס

הארקה אפקטיבית: נקודת האפס מוארקת ישירות כך כשבמקרה של קצר חד פאזי לאדמה לא יעלה מתח הפזות התקינות למעל 80% מהמתח השלוב.

רשת טבעתית: הפסקת מעגל אחד אינה מפסיקה את ההזנה לצרכים. רשת ההעברה מתוכננת כרשת טבעתית.

מתח מגע: המתח החשמלי שעלול להופיע על אדם הנוגע בנקודה של המערכת הנמצאת בפוטנציאל עקב תקלה.

מתח צעד: המתח החשמלי שעלול להופיע בזמן פסיעה בין שתי נקודות של המערכת הנמצאת עקב תקלה בפוטנציאלים שונים.

זרם סף: ערך הזרם הקיבולי שעלול לגרום להצתות חוזרות של הקשת החשמלית.

ברשתות בעלות מתח נקוב של עד 24 ק"ו $5A < I_C < 10A$.

ברשתות בעלות מתח נקוב של עד 35 ק"ו $5A < I_C < 30A$.

מתח צעד ומתח מגע

