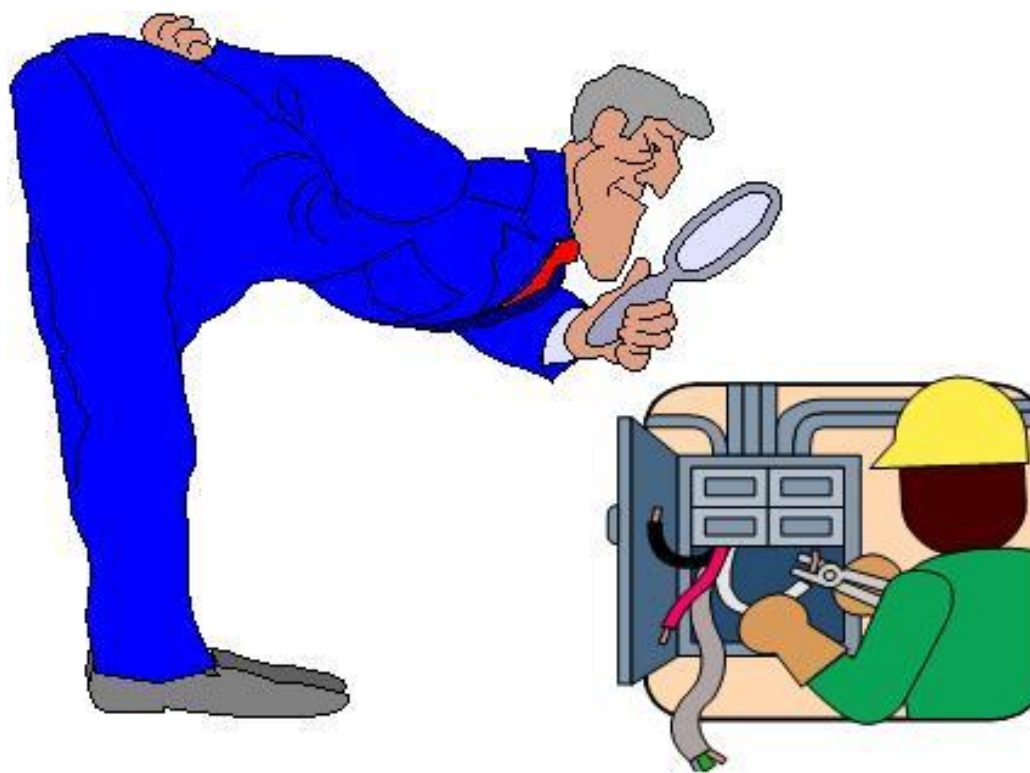


חוברת הכנה לוועדה לרשיונות חשמל



כתב וערך: רועי אפילו

יולי 2011

תמוז תשע"א

תוכן עניינים

מתח נמוך

1. אמצעי הגנה בפני חשמול.
2. העמסה והגנה של מוליכים.
3. מתקן חשמלי ארעי באתר בנייה.
4. עכבת לולאת התקלה.
5. מפסקי זרם והגנות.
6. מערכות אל-פסק.
7. גנראטורים.
8. כבלים.
9. זרמי קצר.
10. מתקני חשמל:
 - מתקן רפואי.
 - מתקן חשמל ציבורי ברב קומות.
 - מתקן חשמלי בבריכה.
 - מתקן חקלאי.
 - מתקני חשמל:
11. הרמוניות.

מתח גבוה

12. טיפול בנקודת האפס.
13. הגנות במתח גבוה.
14. מסדרי מתח גבוה.
15. הגנות במסדרי מתח גבוה.
16. מגני ברק ומתחי יתר.
17. שנאים והגנות שנאים.
18. שנאי זרם ומתח.
19. מפסקים ומנתקים
20. שונות:
 - מניה ומדידה במתח גבוה.
 - הארקות במתח גבוה וצורת חיבור לצרכן.

מקורות ספרותיים

מתח נמוך

אמצעי הגנה בפני חשמול

1. מהי שיטת הארקה צפה IT, מה העקרונות שלה, איפה משתמשים בה?

תשובה: זינה צפה – אמצעי הגנה בפני חשמול המאופיין על ידי העדר הארקה שיטה

וחובת שימוש במשגוח, מאחר ומתח מקור הזינה "צף" לא ייתכן חשמול בעת מגע באחד ממוליכי ההזנה בעת מגע ישיר או בלתי ישיר.

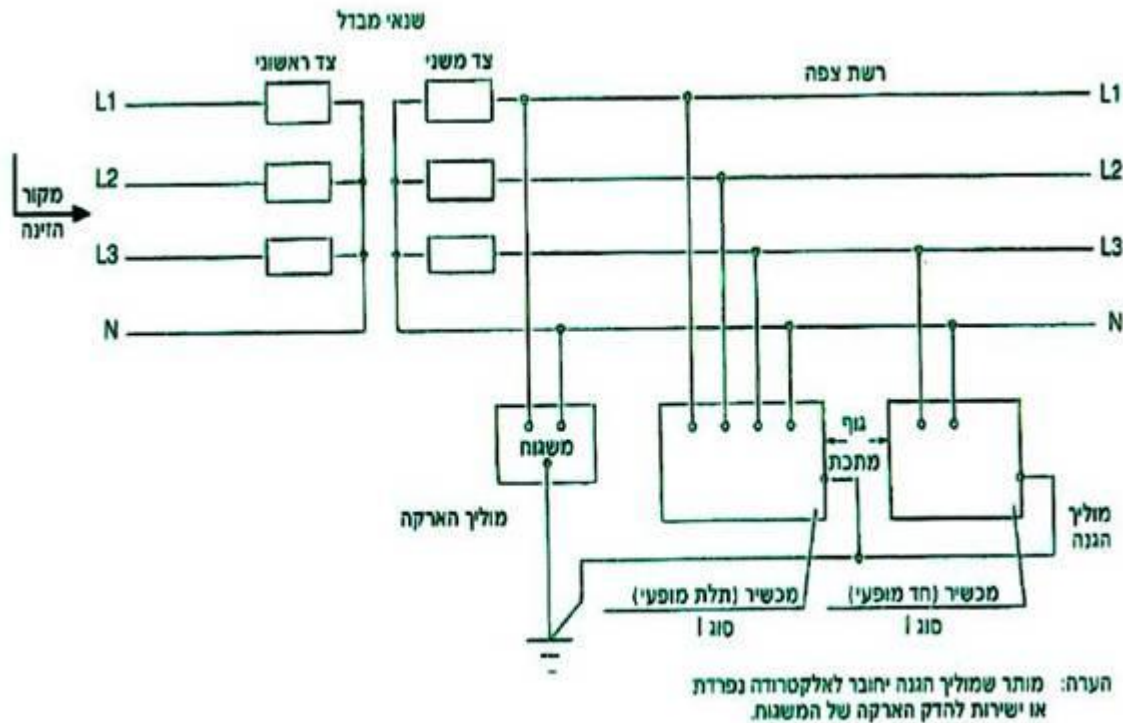
שיטה זו שימושית במקומות שבהם אין אפשרות לבצע הארקה, ובעיקר במתקנים רפואיים שבהם לא רוצים שההפסקה תהיה אוטומטית, כמו כן משתמשים בשיטה זו בספינות, מטוסים, במתקני מתח ישר המזוונים ממצברי מתח נמוך ובהם יש סכנת פיצוץ.

הגופים המתכתיים של ציוד מסוג חייב להיות מחובר לפס הארקות שיוארק.

במקרה של תקלה ראשונה בבידוד אין הפסקה באספקת החשמל אך ניתנת התראה בלבד.

אם מתקבלת התראה ולא מטפלים בתיקון התקלה תוך זמן קצר עלולה להתפתח תקלה שניה שתגרום למצב מסוכן. שיטה זו מחייבת מקור נפרד כמו שנאי מבדל, אופי השיטה מכתוב שטח קטן למתקן, אחרת איתור התקלה מורכב.

דוגמה להגנה בזינה צפה IT



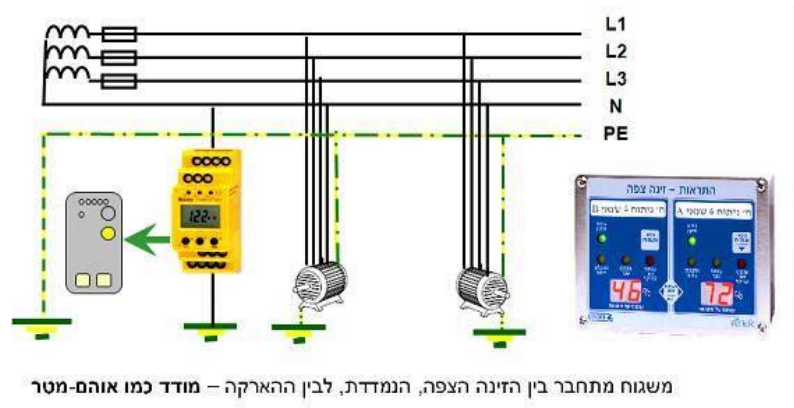
2. מה עיקרון עבודה של משגוח בשיטת הארקה צפה, מה ערך ההתנגדויות להתראה?

תשובה: המשגוח מצוייד במקור מתח אשר במקרה תקלה בבידוד יגרום לזרימת זרם DC דרך מוליכי הרשת לאדמה להתנגדות הארקה ובחזרה למשגוח, בתוך המשגוח ישנו נגד שערכו תלוי בהתנגדות הבידוד, ככל שהתנגדות הבידוד נמוכה יותר כך מפל המתח על הנגד יהיה גדול יותר, תפקיד המשגוח הוא להתריע כאשר ההתנגדות הבידוד יורדת מתחת לערך מסויים, המשגוח רק מתריע ואינו מפסיק את הזינה.

כאשר ההתנגדות בין הארקה למסה הכללית של האדמה קטנה מ- 5Ω לא נקבעו כללים לכיול המשגוח, כאשר התנגדות זו עולה על 5Ω יש לכייל את המשגוח כדי שיתריע על ליקוי בבידוד כאשר התנגדות הבידוד יורדת מתחת ל- $85\Omega/V$ (סף ההתראה הוא לפי - $15 \pm 100\Omega/V$).

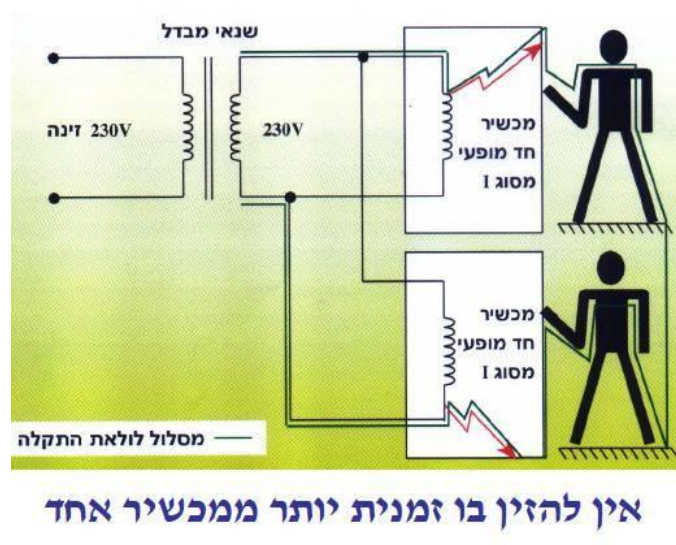
המתח הקובע הוא בין המוליכים במתקן חד פאזי ובין פאזה לאפס במתקן תלת פאזי.

לדוגמה במתח $230V$ המשגוח חייב להתריע כאשר התנגדות הבידוד תרד מתחת ל- $23K\Omega$, במתקנים רפואיים סף ההתראה הוא מתחת ל- $50K\Omega$, משגוח חייב להיות בפיקוח חשמלאי, ויש לבדוק את תקינותו בפרקי זמן סבירים.



3. מה ההבדל בין הפרד מגן לזינה צפה?

תשובה: בשיטת הפרד מגן יש איסור לחיבור של יותר ממכשיר אחד בו זמנית, בנוסף האורך המירבי של המעגל הנו עד 500 מטר והמתח המירבי בין המוליכים הנו $500V$ דרישות אלו אמורות להגביל את זרם החשמול הנוצר בעת תקלה בבידוד, לעומת זינה צפה שבה יש חובת התקנת משגוח.



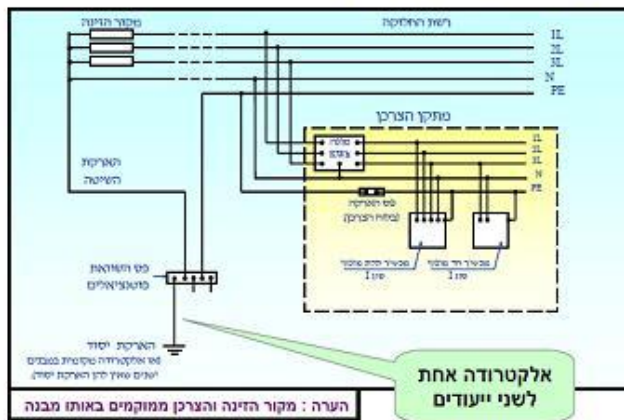
4. מה תכליתה של הארקה איפוס TN-S ואיפה משתמשים בה?

תשובה: תכלית שיטת הארקה TN-S היא שמוליכי הארקה N ו-PE נפרדים לאורך כל הדרך ממקור הזינה, כלומר יוצאים עם 5 גידים. מרבית מדינות העולם משתמשות בשיטה זו, בארץ חברת חשמל אינה רוצה להיות אחראית על מוליך הארקה ולכן אינה משתמשת בשיטה זו. באתרים רפואיים אחת מהשיטות המחוייבות בחוק היא TN-S.

שימושים נוספים: במתקנים ארעיים שנמצאים בשטח, במתקן שמקור הזינה קרוב לצרכן וזהו מתקן קבוע שלא אמור להשתנות.

בקצר לאדמה סגירת לולאת התקלה מתבצעת דרך מוליך PE בלבד, בעבודה רגילה הזרם נסגר דרך מוליך האפס. במפעלים בעלי יותר ממקור זינה אחד יש לוודא איפוס יחיד. קיימת סכנת חשמול בעת ניתוק גיד הארקה, בגלל מתח שנוצר על ציוד בזמן קצר חד פאזי.

איפוס TN-S: קיימת הפרדה מוחלטת בין מוליך האפס (N) למוליך הארקה (PE) ממקור הזינה ועד מכשירי הצריכה.

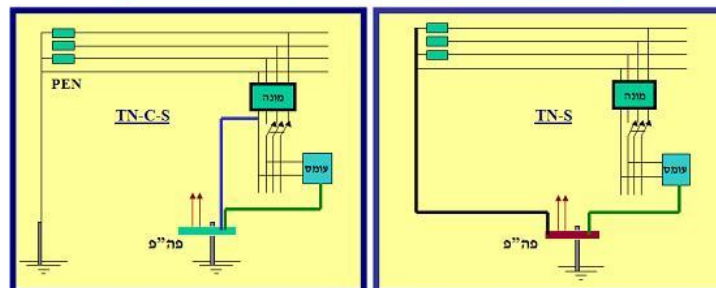


5. הסבר את ההבדל בין שיטות האיפוס TN-S ו-TNC-S?

תשובה: בשיטת הארקה TN-S יוצאים עם 5 מוליכים ממקור הזינה כאשר N ו-PE נפרדים עד לצרכן, סגירת הלולאה מתבצעת דרך מוליך PE בלבד החיסרון הוא שיש צורך להוסיף עוד מוליך (השקעה כספית). ב-TNC-S יוצאים עם 4 מוליכים מקור הזינה כאשר ה-N וה-PE משותפים (כלומר יוצאים עם מוליך אחד PEN) עד לצרכן, סגירת הלולאה מתבצעת דרך מוליך PEN וחלק מהזרם דרך זליגה מהאדמה, חיסרון בולט ב-TNC-S שעכבת לולאת התקלה עולה משעותית בעת נתק במוליך האפס של מקור הזינה (נשארים עם הארקה הגנה בלבד).

השוואה TN-C-S : לעומת TN-S

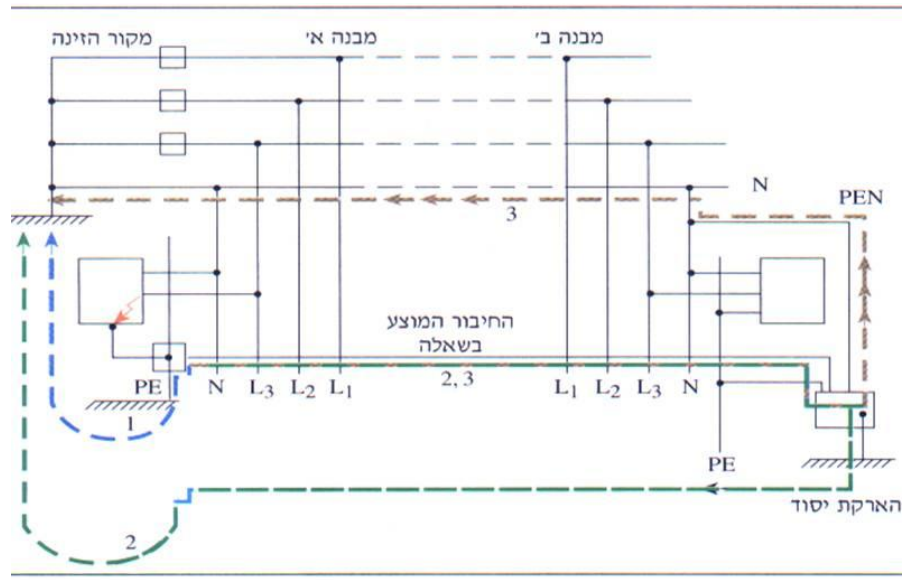
נושא	TN-S	TN-C-S
מיקום השנאי המזין	"קרוב" למתקן הפרטי	אין הגבלה
זרמי עבודה לאדמה (קורוזיה)	לא קיים	קיים
התנגדות לולאה	נמוכה	נמוכה



6. בשני מבנים מבנה ב' מוזן ממבנה א', הארקה של מבנה א' היא איפוס TNC-S ובמבנה ב' הארקה הגנה כמה מוליכים יש להעביר למבנה ב' ואיזה הארקה יש לבצע במבנה ב' ?

תשובה: השאלה מתייחסת לדוגמה כמו בית שמזין מחסן, כשכל מבנה הוא נפרד אין לחבר מוליכי הארקה בין המבנים כיוון שחיבור גלווני בין שני פסי השוואת פוטנציאלים לפס, מביא לזרימת זרמי עבודה במוליך הארקה וזרימת זרמי תקלה במוליך האפס מאחר והם מחוברים במקביל, לכן הזנה למבנה ב' תעשה על ידי 4 מוליכים בהזנה תלת פאזית.

הערה: כאשר במבנה א' יש איפוס והשוואת פוטנציאלים וגם במבנה ב' יש השוואת פוטנציאלים (ללא איפוס) ניתן להעביר גיד הארקה מהסיבה ששני המבנים נמצאים באותו פוטנציאל. לכן יש לשים לב מה השאלה שנשאלת.



להלן דוגמה שנשאלה בוועדת הפירושים:

קיימים 2 מבנים המרוחקים זה מזה מרחק של כ-100 מטר. מבנה א' מוזן ממערכת האספקה של חברת החשמל דרך ארון מדידה ואבטחה, מבנה ב' מוזן ממבנה א'. בשני המבנים קיימת הארקה יסוד. האם בהתאם לתקנות החשמל חייבים/מותר לחבר בין פסי השוואת הפוטנציאלים/פסי הארקות של שני המבנים?

תשובת הוועדה

- כל מבנה מהווה מבנה נפרד בעל הארקה יסוד נפרדת ואספקה נפרדת. העובדה שקו האספקה מגיע אל מבנה ב' דרך פסי הצבירה של הלוח במבנה א', איננה משנה את ההתייחסות ליישום אמצעי ההגנה בפני חשמול הן במבנה א' והן במבנה ב'. חיבור גלווני בין פסי השוואת פוטנציאלים/פסי הארקות:
- שני המבנים המוגנים בפני חשמול באמצעות הארקה הגנה (TT) – מותר.
 - כל אחד מהמבנים מוגן בפני חשמול באיפוס (TN-C-S) – אסור.
 - שני המבנים מוגנים בפני חשמול באיפוס (TN-S), ברשת החלוקה יש מולכים נפרדים לאפס (N) ולהארקה (PE) - מותר ואף רצוי.
 - מבנה אחד מוגן בפני חשמול בהארקה הגנה (TT) ומבנה שני באיפוס (TN-C-S) – אסור.

תשובה נוספת מוועדת הפירושים באותו עניין:

מדינת ישראל
משרד התשתיות הלאומיות



מינהל החשמל

ה' בתשרי התשע"ב
03 באוקטובר 2011

חש_2432_2011

לכבוד
רועי אפללו,

א.ג.

הנדון: תקנות החשמל - פניה 600

לאחר דיון בוועדת הפירושים בשאלתך הוחלט כדלקמן:

1. בהתאם לתקנות החשמל אסור לבצע את החיבור בין פה"פ של מבנה המוגן בפני חשמול באמצעות איפוס TN-C-S לבין מבנה אחר המוגן בפני חשמול באמצעות הארקת הגנה (TT).
ועדת הפירושים התייחסה בעבר לנושא וצרפה הסברים מדוע אסור לבצע את החיבור המתואר בשאלתך, הסיבות העיקריות הן:
- למנוע מצב בו המרכיב העיקרי של זרם הקצר המתרחש במבנה המוגן בהארקת הגנה יזרום דרך האיפוס של המבנה המוגן באמצעות איפוס TN-C-S.
 - למנוע מצב בו במקרה של נתק באפס הזינה של המתקן המוגן בפני חשמול באמצעות איפוס TN-C-S פוטנציאל מערכת ההארקה של המבנה המוגן באמצעות הארקת הגנה יעלה, הדבר בעייתי באופן מיוחד אם במבנה המוגן באמצעות הארקת הגנה אין השוואת פוטנציאלים ראויה.
 - חיבור כאמור מספק מסלולי זרימה נוספים לזרם אי האיזון (זרם האפס) ולכן אם רוצים לצמצם את השדות האלקטרומגנטיים יש להימנע מחיבור כאמור.

בהתייחס לשרטוט שצורף לשאלתך:

הביצוע כמתואר בשרטוט, בו המבנה מוגן בפני חשמול באמצעות הארקת הגנה (TT), בעוד שהמבנה המזין אותו, בו נמצא חדר החשמל מוגן בפני חשמול באמצעות איפוס TN-C-S, מבלי לחבר בין פס ההארקות במבנה הראשון לפה"פ במבנה השני – אינו סותר את הנדרש בתקנות החשמל.

7. בשני מבנים יש הארקה יסוד ומבנה ב' מוזן ממבנה א' והארקה של מבנה א' איפוס

TN-S איך לבצע הארקה בין המבנים?

תשובה: במקרה זה יש מוליכים נפרדים לאפס N ולהארקה PE, לכן ניתן ואף רצוי להתקין מוליך PE בין שני פסי השוואת הפוטנציאלים, דבר שעוזר להשיג ערך נמוך יותר של התנגדות הארקה למסת האדמה.

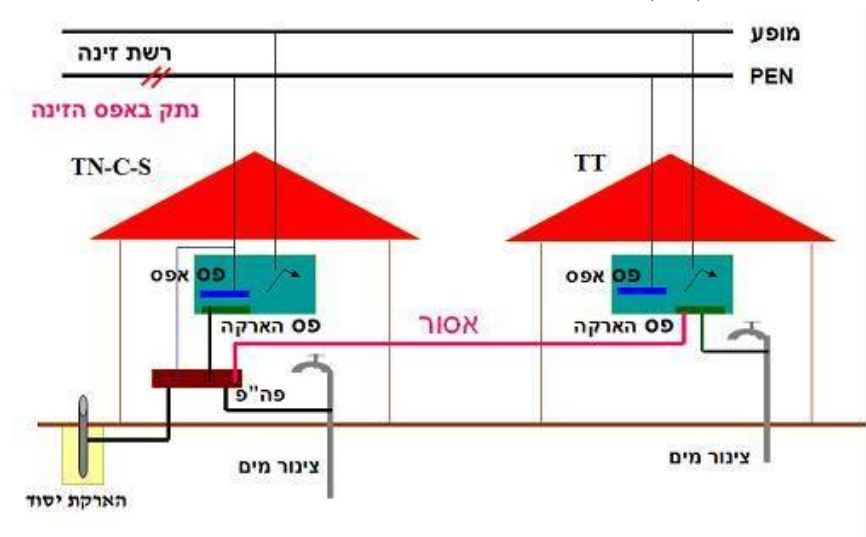
8. מה ההבדל בין שיטת הארקה איפוס לבין שיטת הארקה הגנה TT?

תשובה: בשיטת הגנה TT סגירת לולאת התקלה מתבצע דרך המסה הכללית של האדמה, בנוסף התנגדות המסה הכללית לכדור הארץ לא תעלה על 5Ω , באיפוס סגירת הלולאה ב-TNC-S מתבצע דרך מוליך ה-PEN ודרך האדמה, ובאיפוס TN-S סגירת הלולאה דרך מוליך PE, עוד באיפוס המסה הכללית לכדור הארץ לא תעלה על 20Ω .

באופן כללי השיטה מעודפת היא איפוס כיוון שאם מתנתק מוליך ה-PEN המתקן נשאר עם הארקה הגנה, בנוסף באיפוס עכבת לולאת התקלה קטנה יותר ולכן זרם הקצר גדול יותר ויפיל את המפסק במהירות.

9. מדוע אין להשתמש באיפוס TNC-S ובהארקה הגנה TT באותו מבנה?

תשובה: בגלל תחום ההשפעה של האלקטרודה, בעת נתק במוליך ה-PEN נוצר פוטנציאל של עשרות וולטים על פס השוואת הפוטנציאלים, ובגלל שהיסודות בין ה-TT ל-TNC-S משותפים יופיע מתח על היסודות על צנרת המים ועל כל הצרכנים המתכתיים ב-TT, במבנה המאופס יש השוואת פוטנציאלים ובמבנה TT אין לכן יש סיכוי להתחשמלות.



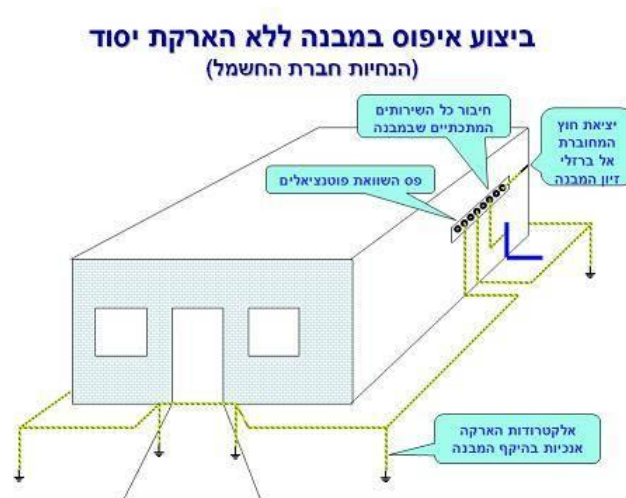
10. מדוע מותר התנגדות כל כך גבוהה 20Ω בשיטת איפוס?

תשובה: אם נתייחס לכל הארקות מוליך ה-PEN ברשת כאלקטרודה אחת שחלקיה מגושרים הרי שההתנגדות זו נמוכה בהרבה, והחשש הוא מפריצת בידוד ליפופי השנאי, בין המתח הגבוה לנמוך, והופעת מתח גבוה בצד המתח הנמוך. לכן העכבה הנמוכה תבטיח ניתוק השנאי מהזינה באמצעות ההגנות הפעולות במ"ג. בנוסף במידה ומוליך ה-PEN מתנתק בבניין, ייוצר זרם מספיק גדול כדי להפיל את ממסר הפחת.

11. מהם התנאים לביצוע איפוס?

תשובה:

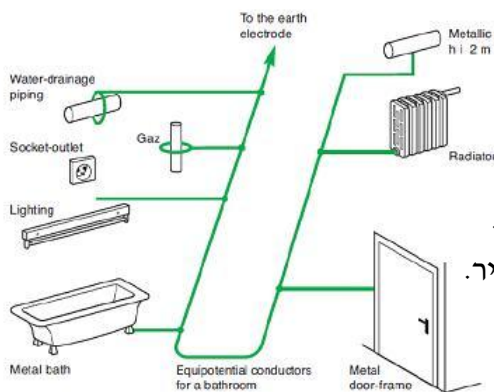
- קבלת אישור מבעל הרשת שממנה יוזן המתקן שהרשת עמדת בדרישות.
- הארקת יסוד או אלקטרודה מקומית וביצוע השוואת פוטנציאלים.
- חתך מתאים של מוליך ה-PEN לפי תקנות 43-44 בפרק אמצעי הגנה בפני חשמול.
- התנגדות בין האלקטרודה לבין המסה הכללית של האדמה לא תעלה על 20Ω .
- העכבה בין נקודת הכוכב של השנאי לבין המסה הכללית של האדמה לא תעלה על 20Ω .
- החיבור בין מוליך האפס והאדמה (איפוס) יעשה פעם אחת בלבד.



12. איזה שירותים מתכתיים מחברים אל פס השוואת פוטנציאלים?

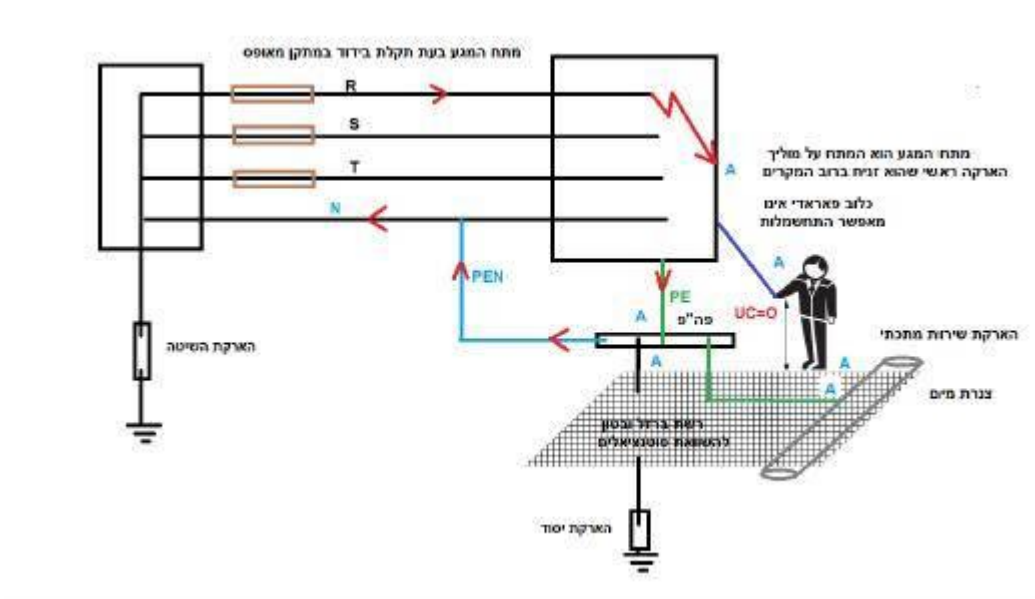
תשובה:

- אלקטרודות הארקת יסוד.
- כניסה ראשית של צנת מים קרים.
- כניסה ראשית של צנת ביוב מתכתית.
- צנת הסקה מרכזית והמים החמים.
- כניסת צנת גז מרכזית.
- צנת לאוויר דחוס.
- הארקת הגנה של גנרטור, שנאי או ממיר.
- הארקת השיטה של גנרטור, שנאי או ממיר.
- מסילות של מעלית.
- תעלות מתכתיות של מיזוג אוויר.
- כל שירות מתכתי אחר במבנה.



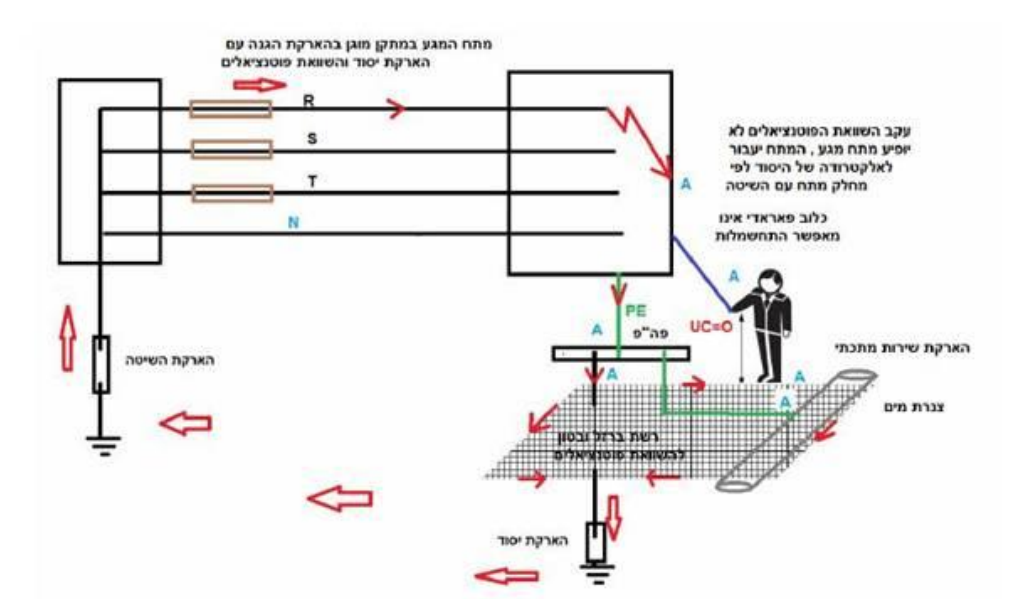
13. 1מהו גודל שטח החתך המוליך לחיבור השירותים המתכתיים בפה"פ?
תשובה: מוליך בשטח חתך של 10 ממ"ר לפחות, במתקן בייתי הוא יכול להיות בחתך 2.5 ממ"ר בהתקנה במובל או 4 ממ"ר ללא מובל.

14. **הסבר מה קורה עם מתח המגע בעת תקלת בידוד במתקן מאופס?**
תשובה: במתקן מאופס יש השוואת פוטנציאלים, כל הצרכנים המתכתיים מאורקים ויוצרים מן כולב פארדי שלא מאפשר התחשמלות, ולכן מתח המגע יהיה זניח.



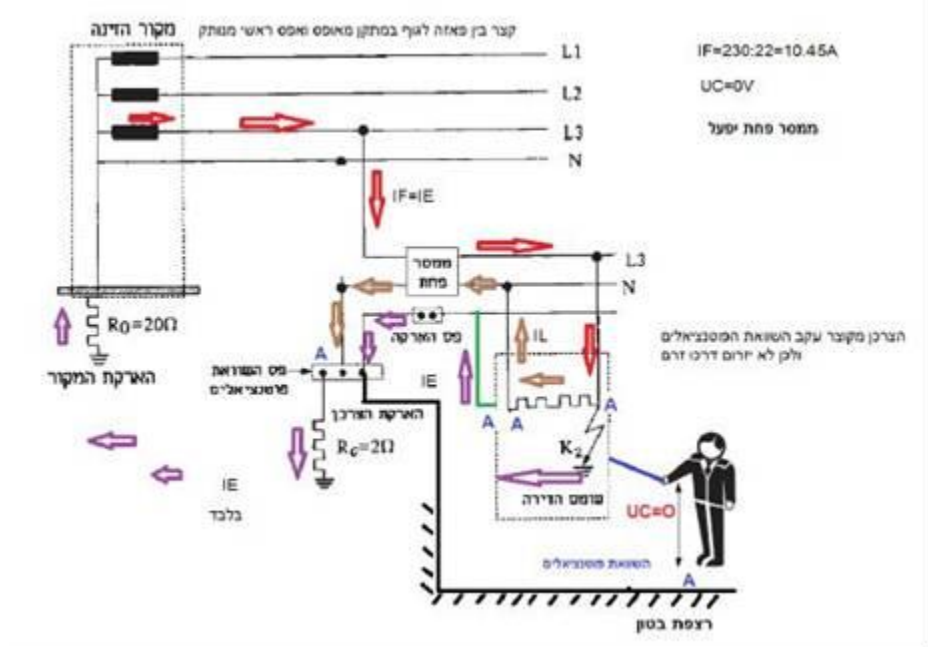
15. **הסבר מה קורה במתקן עם השוואת פוטנציאלים והארקת יסוד אך ההתנגדות של המסה הכללית של האדמה גדולה מ-20Ω?**

תשובה: במקרה כזה אסור לבצע איפוס ולכן שיטת ההגנה היא TT, בכל מקרה יש השוואת פוטנציאלים ולכן מתח המגע יהיה זניח, האדם לא יתחשמל ומסלול התקלה יהיה דרך האדמה.



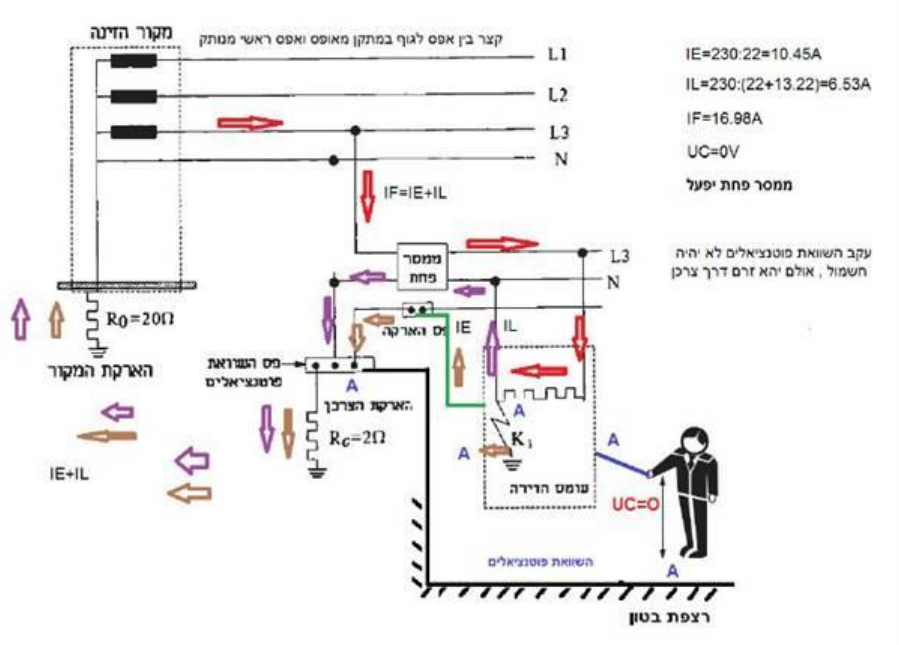
16. תאר מה קורה בעת קצר פאזה לגוף במתקן מאופס והאפס הראשי מנותק?

תשובה: במקרה של ניתוק אפס במתקן מאופס או נשאר עם הארקה הגנה אך עדיין יש השוואת פוטנציאלים ולכן לא יזרום זרם דרך האדם, מסלול התקלה יהיה מהגוף דרך האפס והארקה של הצרכן, האפס יעבור דרך הפחת והארקה לפס הארקות שניהם יגיעו לפה"פ, ובסוף כל הזרם יסגר דרך האדמה.



17. תאר מה קורה בעת קצר אפס לגוף במתקן מאופס והאפס הראשי מנותק?

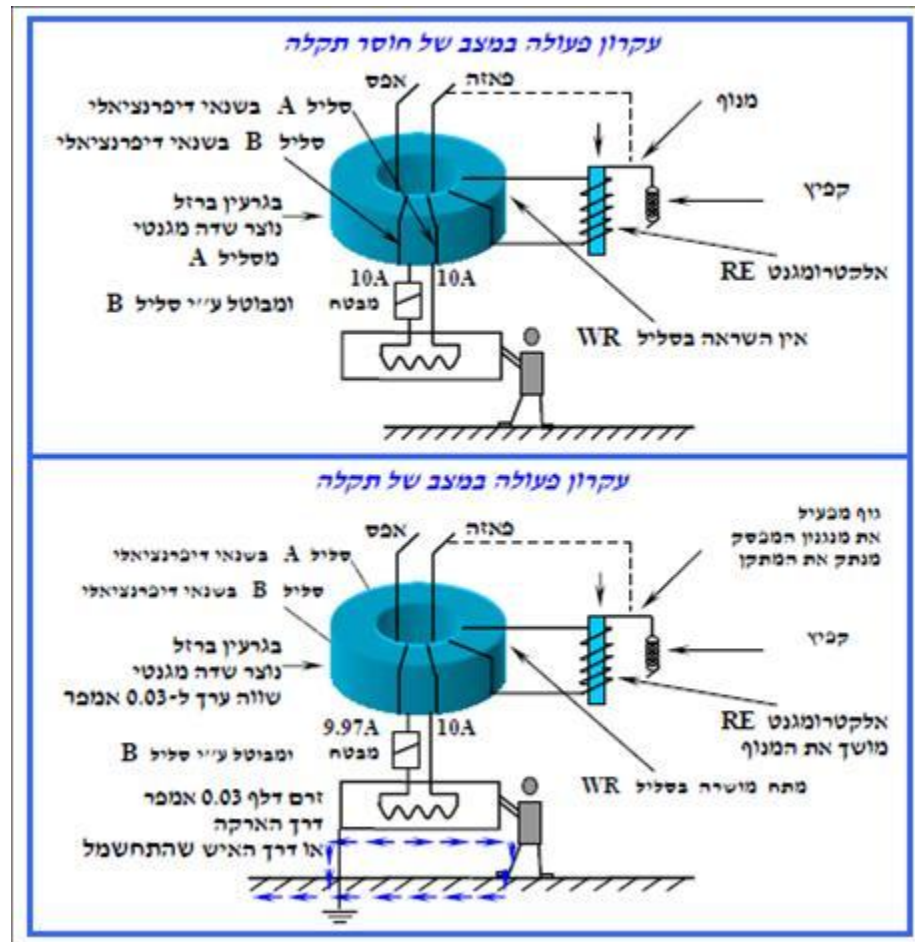
תשובה: שוב מקרה של ניתוק אפס במתקן מאופס או נשאר עם הארקה הגנה אך עדיין יש השוואת פוטנציאלים במקרה זה יזרום זרם דרך האדם אך לא יהיה חשמול, מסלול התקלה יהיה מהגוף דרך האפס והארקה של הצרכן, האפס יעבור דרך הפחת והארקה לפס הארקות שניהם יגיעו לפה"פ, ובסוף כל הזרם יסגר דרך האדמה.



18. הסבר את עקרון הפעולה של מפסק מגן (פחת)?

תשובה: מפסק מגן בזרם דלף מפסיק את המתקן המוגן על ידו בצורה אוטומטית במקרה של הופעת זרם דלף במתקן (זליגה לאדמה), עקרון פעולתו הוא מדידת הפרש זרמים במוליכים המחוברים אליו, כשהזרם הנכנס שווה לזרם היוצא יש שיוויון זרמים ואין תקלה. כשקיים הפרש בין הזרם הנכנס לזרם היוצא, הדבר מצביע על כך שחלק מהזרם נסגר דרך האדמה. כלומר קיים פגם בבידוד או שנגרם חשמול. כשאי שיוויון הזרמים גדול מזרם ההפעלה (הרגישות) עבורו תוכנן המפסק, הוא מפסיק את הזנת החשמל למתקן.

אי שיוויון המקובל להגנה בפני חשמול צריך להיות קטן מ-30mA.



19. מהם התנאים להגנה בלעדית על ידי מפסק מגן (פחת)?

תשובה: מתוך חוק החשמל:

מוותר להשתמש במפסק מגן כהגנה בלעדית בפני חישובול במקרים אלה בלבד:

- (1) באתר בניה, בקרון מגורים, במבנה ארעי או במיתקן ארעי אחר;
- (2) במבנה שבו השתמשו בהגנה על ידי הארקה (TT) ומסיבה כלשהי הגנה כאמור אינה ממלאה אחד דרישות תקנות אלה ולא ניתן להשתמש במיתקן כאמור בהגנה על ידי איפוס (TN-S, TN-C-S);
- (3) במבנה שבו קיימת הארקה יסוד כאשר לא ניתן לבצע בו איפוס (TN-C-S), ועקבת לולאת התקלה או ההתנגדות למסה הכללית של אדמה אינן מאפשרות הגנה על ידי הארקה הגנה (TT);
- (4) בגופי תאורה המותקנים על עמודים העשויים מחומר מוליך;
- (5) במיתקנים אחרים שהתיר המנהל ובהתאם לתנאי ההיתר.

20. מהם המתקנים שבהם חובה להתקין מפסק מגן?

תשובה: חשוב לציין שבחוק אין רשימה אחת הכוללת את כל המקומות שחייב להתקין, ולכן צריך לקרוא בכל אחד מהפרקים המוזכרים בחוק.

- באתר בנייה כהגנה נוספת על בתי תקע.
- במתקן דירתי (מתקן שמתגוררים בו).
- אתרים רפואיים – כאשר הזינה בעלת הארקה שיטה (TN-S או TT).
- אתרים חקלאיים.
- במתקנים אחרים שהתיר המנהל ובהתאם לתנאי ההיתר.

הערה לסעיף מתקן דירתי: חשוב להקפיד על הגדרות בחוק - "מיתקן ביתי" - מיתקן דירתי או מיתקן במבנה המיועד למסחר או למשרדים.

"מיתקן דירתי – (Residential Installation) "מיתקן במבנה או בחלק ממנו, המיועד לשמש למגורי אדם או שתנאי השימוש בו דומים לאלה של דירת מגורים; חוק החשמל מגדיר חובת התקנת פחת רק **במתקן דירתי**, שהוא חלק מבייתי, ניתן למצוא את זה בחוק בפרק לוחות. באופן כללי מומלץ להתקין ממסרי פחת גם במתקן בייתי, ואני מאמין שזה יוכנס לחוק בעתיד.

21. מהם הבדיקות לממסר מגן (פחת) לפי התקן?

תשובה: לפי התקן יש לבדוק כל ממסר זליגה בשלושה ערכי זרם כאשר כל בדיקה מתבצעת

פעמיים וזמן התגובה אסור שיעבור את הזמן הנדרש לניתוק:

2 בדיקות $0.5 \times I_n$, 2 בדיקות $1 \times I_n$, 2 בדיקות $5 \times I_n$

22. מהם זמני התגובה לממסר מגן (פחת) לפי התקן?

תשובה: זמני התגובה בממסר פחת רגיל

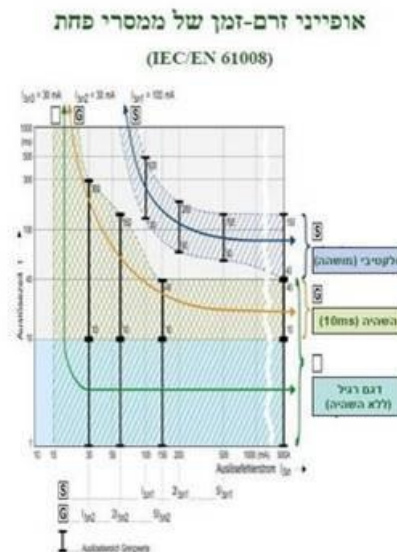
- $0.5I_n$ הפחת לא קופץ.
- $1I_n$ הפחת חייב לקפוץ תוך 300 מילי שניות.
- $2I_n$ הפחת חייב לקפוץ תוך 150 מילי שניות.
- $5I_n$ הפחת חייב לקפוץ תוך 40 מילי שניות.

Type	I_n	$I_{\Delta n}$	Standard values of break times (s) and non-actuating time(s) at a residual current ($I_{\Delta n}$) equal to:			
			$I_{\Delta n}$	$2 I_{\Delta n}$	$5 I_{\Delta n}$	
	A	A				
General	Any value	Any value	300ms	150ms	40ms	Maximum break times
1		10mA	40ms	40ms	40ms	Maximum break times

23. מהם סוגי ממסרי מגן (פחת) המוכרים לך?

תשובה:

- דגם AC רגיש לזרמי תקלה סינוסואודלים, נאסר לשימוש בדירות מגורים.
 - דגם A רגיש לזרמי תקלה סינוסואודלים וגם לזרמי תקלה בהם יש מרכיב DC.
 - דגם B רגיש לזרמי תקלה DC.
- בנוסף ישנו פחת A(S), דגם S בעל פעולה סלקטיבית: כדי להשיג פעולה סלקטיבית בין ממסרי פחת חייבת להיות השהיית זמן בניהם.
- ישנם סוגים נוספים כגון: G,SI,APR,K האותיות מסמלות חברות שונות: הם מתאימים להגנת צרכנים אלקטרוניים שבהם יש מסננים, צרכנים אלה גורמים לזליגה וזה עלול להפעיל את ממסרי הפחת הרגילים, לכן בממסרים אלה יש השהיה לזמן קצר בד"כ 10 מילי שניות.



24. רוצים לחבר מנוע תלת פאזי ולהגן עליו בפני חשמול על ידי מפסק מגן (פחת) כיצד

יש לחבר את הממסר?

תשובה: מחברים ממסר פחת תלת פאזי ללא חיבור האפס, הפחת עובד על מדידת הפרשי זרם, בעת עבודה תקינה סכום הזרמים הנכנסים שווה לסכום הזרמים היוצאים. בעת תקלה יש אי שוויון בזרמים ולכן הפחת יקפוץ. כמו כן כאשר לוחצים על לחצן הבדיקה הפחת לא יקפוץ כי אין אפס מחובר.

25. חלק את אמצעי ההגנה בפני חשמול לפי קבוצות עיקרון ההגנה?

תשובה: 1. הארקת הגנה, איפוס, מפסק מגן – ניתוק גוף מחושמל מהזינה. 2. זינה צפה, הפרד מגן (שנאי מבדל) מניעת סגירתה של לולאת התקלה דרך גוף האדם. 3. מתח נמוך מאוד, בידוד מגן (כפול) - מניעת הופעת מתח מסוכן. (מתח נמוך מאוד – עד 50 V, בידוד מגן – מניעת הופעת מתח מגע על גוף מכשיר בזמן תקלה).

26. כיצד יש לחבר גוף תאורה מחוץ למבנה המוגן בשיטת איפוס?

תשובה: השאלה מתייחסת לבית המוגן באיפוס שמזין עמוד מתכתי לתאורת חוץ, במקרה כזה יש סיכון כאשר מוליך ה-PEN בבית מתנתק יופיע על העמוד מתח מסוכן. ישנם מספר פתרונות אפשריים:

- שימוש בגוף תאורה מבודד.
- שימוש בגוף תאורה בעל בידוד כפול המוזן על ידי כבל ללא חיבור בין גוף העמוד לפס השוואת פוטנציאלים של המבנה המזין.
- הארקת עמוד התאורה באמצעות אלקטרודת הארקה נפרדת.
- ביצוע השוואת פוטנציאלים בין גוף העמוד לבין סביבתו הקרובה על ידי התקנת רשת ברזל בצורת משטח בקוטר 2 מטר סביב העמוד באדמה וחיבורו של משטח זה לבסיס העמוד. דרך נוספת היא לבצע הארקה אופקית להטמין מוליך שזור 35 ממ"ר סביב העמוד ולחברו לעמוד.
- הזנה במתח נמוך מאוד.
- הזנה בשיטת הפרד מגן באמצעות שנאי מבדל

הערה: במקרה הנ"ל לא ניתן להגן באמצעות מפסק מגן כיוון שבעת ניתוק PEN הפחת לא

מנתק, כי הוא מגן על קו מעגל (אחרי ה-PEN) ולא על קו ההזנה למבנה.

27. כיצד יש להתייחס לרמזור המותקן על עמוד תאורה?

תשובה: קיימת בעיה בצורת התקנה זו כיוון שקיימות שתי הזנות המגיעות ממרכזיות שונות לשני מתקנים המותקנים על עמוד תאורה מתכתי אחד, (עמוד התאורה משמש כסמך לרמזור). במקרה של חשמול, שריפה, הצפה או תחזוקה יש צורך לבצע ניתוק מלא של ההזנות לעמוד.

התקנה זו אינה מומלצת אולם אפשר לבצע במידה ויתקיימו הדרישות הבאות:

- 2 המתקנים שייכים לאותה רשות, והרשות.
 - הזנת הרמזור תבוצע באמצעות כבל.
 - הארקת הרמזור תהיה נפרדת מהארקת עמוד התאורה ותיבדק בנפרד.
 - ההזנה לרמזור תהיה מחוץ לעמוד התאורה, על חלקו החיצוני דרך התקן מתכתי המספק הגנה מכנית.
 - העמוד ישולט באופן ברור: זהירות – עמוד זה ניזון משני מקורות זינה (לפי חוק החשמל).
 - מרכזיית הרמזור תשולט באופן ברור: זהירות – המרכזייה מזינה רמזורים המותקנים על עמודי תאורה.
 - מרכזיית התאורה תשולט באופן ברור: זהירות – המרכזייה מזינה עמודים עליהם מותקנים רמזורים.
 - הבעלים של רשת התאורה יחתמו על מסמך המאשר את הסכמתם להתקנה כזו.
- הרשות המתחזקת את הרמזורים ואת מתקן התאורה תחייב להדריך באופן ברור את החשמלאים כיצד לבצע את פעולות התחזוקה בצורה בטיחותית.



1. כיצד יש לבצע הארקה למרכזיית תאורה ולהזנת העמודים לתאורה?

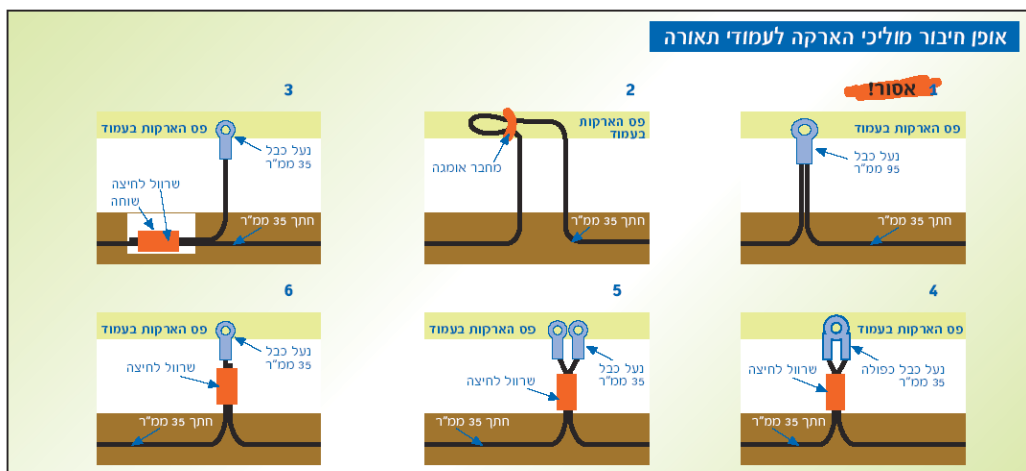
תשובה: המרכזייה תוגן באיפוס ועמודי התאורה יוגנו או בהארקת הגנה TT או באיפוס. הארקת איפוס למרכזייה תתבצע באמצעות מוליך נחושת חשוף, השלם לכל אורכו בעל שטח חתך 35 מ"מ לפחות, המוליך יוטמן בקרקע בעומק המוגדר לפי התקנות, 60 ס"מ קרקע סלעית, 80 ס"מ באדמה או חול, 100 ס"מ מתחת לכביש, המוליך יהיה ברדיוס של מטר מסביב למרכזייה, יש חובה לבצע השוואת פוטנציאלים בסביבת המרכזייה ולחבר את המוליך לפס ההשוואה וכמו כן גם את מוליך ה-PEN של השנאי. כאשר עמודי התאורה מוגנים בהארקת הגנה TT הארקה תתבצע גם כן על ידי מוליך חשוף בעל שטח חתך 35 מ"מ והוא יוטמן באדמה לפי התקנות, והוא יחובר לפס הארקות בין העמודים, בפס הארקות בכל עמוד יחוברו שתי הקצוות על ידי מחבר אומגה או שרוול לחיצה או נעל כבל כפולה, כמתואר באיור. מוליך הארקה זה לא יחובר בין המרכזייה והעמודים בשיטה זו. כאשר עמודי התאורה מוגנים באיפוס הארקה תתבצע גם כן על ידי מוליך חשוף בעל שטח חתך 35 מ"מ בין העמודים והוא יוטמן באדמה לפי התקנות, בנוסף מסביב לכל עמוד יתבצע השוואת פוטנציאלים על ידי הטמנת מוליך 35 מ"מ מסביב לעמוד והוא יחובר לפס הארקות. מוליך הארקה יחובר בין המרכזייה והעמודים לפס השוואת פוטנציאלים.

אמצעי הגנה נוספים:

מתח נמוך מאוד: אמצעי זה אפשרי אך לא מומלץ מכיוון שהוא מחייב השקעה במוליכים בעלי שטח חתך גדול.

מפסק מגן בזרם דלף כהגנה בלעדית: אפשרי אך שיטה זו אינה מומלצת מהסיבות הבאות: המפסק מגן הוא רגיש ועלול להיות מושפע מהרעידות והזעזועים הנגרמים בכביש בגלל כלי רכב. בנוסף יש משמעות בטיחותית שהמפסק מגן יפיל את התאורה. הפרד מגן: יש צורך בשנאי נפרד לכל גוף תאורה, עלות כספית גבוהה.

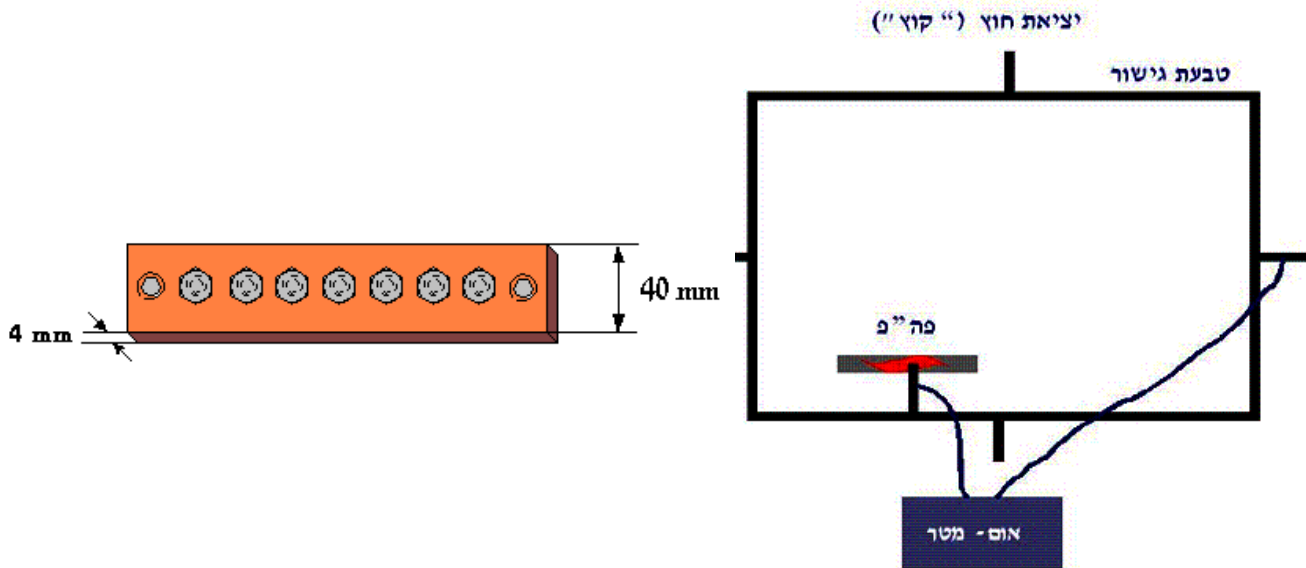
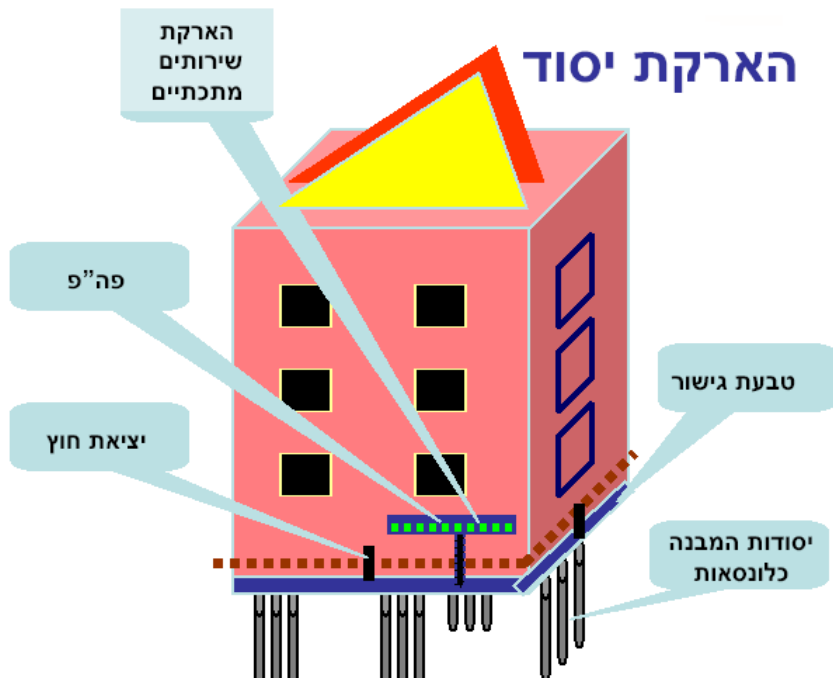
הערה: באחת מהוועדות אף נשאלה שאלה לגבי שנאי על עמוד המזין מרכזייה ואיזה בעיה יכולה להיווצר כתוצאה מכך, התשובה היא זרם הקצר הגבוה שיכול להיווצר במרכזייה עקב קירבה לשנאי, ככלל כל מתקן שקרוב לשנאי זרמי הקצר שיכולים להתפתח במתקן עלולים להיות גבוהים.



2. הסבר איך מבצעים הארקת יסוד?

תשובה: נדרש להתקין הארקת יסוד בכל מבנה שיש לו יסודות באדמה, וגם עם יסודות אלה אינם מבטון, לדוגמה מבנה שנשען על עמודי ברזל. בהיקף המבנה תותקן טבעת גישור, חלקי הטבעת יחוברו בניהם להבטחת רציפות חשמלית, טבעת הגישור צריכה להיות סגורה, ליצירת הטבעת ניתן להשתמש במוטות ברזל בקוטר 10 מ"מ לפחות או בפס ברזל בחתך 100 ממ"ר ובעובי 3.5 מ"מ לפחות, על האף האמור הטבעת יכולה להיות בצורת "ח" וניתן לסגור אותה על ידי מוליך מבודד בחתך 25 ממ"ר טמון באדמה. הבטון אשר בו טמונה טבעת הגישור צריך לענות על הדרישות בתקן " חוקת הבטון" (ת"י 466).

יש להכין בכל צד של המבנה יציאה מטבעת הגישור. יציאה זו תהיה מברזל שזהה במידות מטבעת הגישור.



העמסה והגנה של מוליכים וכבלים

3. תאר את השלבים העיקריים בתכנון מעגלים מהיבט בפני זרם העמסת יתר בלבד?

תשובה: תכנון מעגלים חייב להתבסס על התייחסות משולבת לשלושה מרכיבים: העומס,

המוליכים, והמבטח, לצורך פישוט הנושא אציג שלבים ודוגמאות לחישוב.

שלב א: קביעת זרם העבודה עבורו מתוכנן המעגל (נלקח מתוך נתונים של העומס)

I_b - זרם העבודה הממושך עבורו מתוכנן המעגל, ולפיו נבחר מפסק מתאים.

שלב ב: בחירת המבטח לפי מאפייני הצרכן המועמס כאשר $I_n \geq I_b$ חייב להתקיים

I_n - יתרת הזרם של המפסק הנבחר.

שלב ג: בחירת שיטת ההתקנה של מוליכי המעגל והגדרת תנאי הסביבה.

הפרמטרים העיקריים שיש להגדיר:

- שיטת ההתקנה של מוליכי המעגל: מוליכים בצינור, התקנה סמויה, כבל על סולם וכו'.
 - סוג החומר של המוליך: נחושת או אלומיניום.
 - סוג הבידוד סביב המוליך: $70^{\circ}C$ או בידוד $90^{\circ}C$. הערה לגבי הסעיף: כאשר אנו משתמשים בכבלים מיוחדים עם בידוד בטמפ' שונה יש צורך להשתמש בנתוני יצרן הכבל כיוון שהטבלאות בחוק החשמל מתייחסות רק לבידוד 70 או 90.
 - נתוני הסביבה האופפת את המוליכים: טמפ' אויר או התנגדות וטמפ' קרקע.
- שלב ד: בחירת שטח החתך של המוליכים S בתנאים רגילים או בתנאים חריגים.
בשלב זה נגדיר מספר פרמטרים:
- I_z - הזרם המרבי הזורם במוליך בתנאים רגילים.
 - I'_z - הזרם המרבי הזורם במוליך בתנאים חריגים.
 - $K_1 \dots K_n$ - מקדמי תיקון של תנאי הסביבה.

$$I'_z = I_z \times K_1 \times \dots \times K_n \rightarrow I_z = \frac{I'_z}{K_1 \times \dots \times K_n}$$

נוסחה לחישוב ההתקנה בתנאי סביבה חריגים.

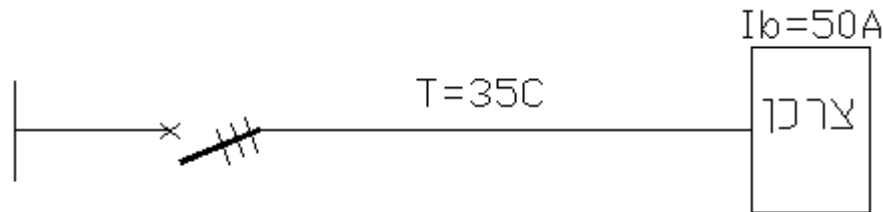
לפי תקנות החשמל (העמסה והגנה של מוליכים מבודדים וכבלים במתח עד 100 וולט) מוליכי המעגל המוגנים בפני זרם העמסת יתר בלבד, צריכים לענות, מבחינת כושר העמסה, לדרישות כפי שניתן לבטא אותם בטבלה הבאה:

התנאי הנדרש לגבי מוליכי המעגל, על בסיס תקנות החשמל		זרם הבדיקה הגבוה I_2	סוג המבטח
$I_z \geq 1.12I_n$	$I_z \geq \frac{I_2}{1.3} \rightarrow \frac{1.45I_n}{1.3}$	$I_2 = 1.45I_n$	מא"ז
$I_z \geq 1.05I_n$	$I_z \geq \frac{I_2}{1.1} \rightarrow \frac{1.15I_n}{1.1}$	$I_2 = 1.15I_n$	מפסק אוטומטי הניתן לכיוונון
$I_z \geq 1.10I_n$	$I_z \geq \frac{I_2}{1.45} \rightarrow \frac{1.60I_n}{1.45}$	$I_2 = 1.60I_n$	נתיך

I_2 זהו זרם הבדיקה הגבוה של המבטח, זה הזרם שמעבירים אותו דרך המבטח במהלך בדיקה, והמבטח חייב לנתק אותו תוך פרק זמן המוגדר בתקן שחל על המבטח. גם ערכו של הזרם I_2 מוגדר בתקן והוא תמיד גבוה יותר מערכו של הזרם הנקוב I_n . ניתן למצוא ערך זה בדפי נתונים של יצרני מבטחים.

כעת נציג דוגמאות מעשיות לתכנון

תכנון בתנאי סביבה רגילים: יש לתכנן מעגל זינה ללוח משנה המותקן במחלקת ייצור במפעל, זרם העבודה הצפוי מהפעלת העומסים הניזונים מהלוח הוא 50 אמפר.



בתוואי של קו ההזנה לא מונחים מעגלים נוספים, הטמפי המרבית של האוויר במתקן 35°C . המפסק הראשי שנלקח הוא מסוג מא"ז.

פתרון:

זרם העבודה המתוכנן במעגל ולא ישתנה בעתיד. $I_b = 50\text{A}$

נבחר מא"ז שהזרם הנקוב שלו מקיים את השוויון הנ"ל. $I_n = I_b = 50\text{A}$

אנו מחליטים לבצע את קו ההזנה באמצעות כבל עם מוליכי נחושת ובידוד 90°C הכבל יחוזק לקירות המבנה שיטת התקנה "ט" בחוק החשמל.

התנאי המתאים למא"ז $I_z'' \geq 1.12I_n = 1.12 \times 50 = 56\text{A}$ הטבלה המתאימה לשיטה "ט" היא

90.3 לפי הטבלה החתך המתאים $S = 10\text{mm}^2$ וכושר העמסה $I_z = 66\text{A}$.

אותו תרגיל רק עם שינוי תנאי הסביבה לתנאים חריגים: טמפי האוויר סביב הכבל מגיעה ל- 40° , תוואי הנחת הכבל הוא בסולם כבלים שעל גביו מונחים בשכבה אחת חמישה כבלים נוספים המזינים עומסים אחרים במפעל.

פתרון:

$$I_b = 50 A \text{ כמו בדוגמה הקודמת.}$$

$$I_n = I_b = 50 A \text{ כמו בדוגמה הקודמת.}$$

כפי שצוין, המעגל יתוכנן באמצעות כבל שיונח על גבי סולם. מספר הכבלים שיימצאו יחד על גבי הסולם יהיה שישה (חמישה קיימים ואליהם יתווסף הכבל המתוכנן). שיטת התקנה של כבל על סולם מסומנת בתקנות כשיטה "יב".

$$I'_z \geq 1.12 I_n = 1.12 \times 50 = 56 A \text{ תחילה נחשב בתנאים רגילים}$$

כעת נשתמש במקדמי התיקון הרשומים בתקנות החשמל:

- מקדם תיקון הנובע מהטמפי החריגה: תקנה 17 בטבלה מסתכלים על טמפי 40° , עבור כבל

$$K_{17} = 0.95 \text{ , מקדם } 90^{\circ} C$$

- מקדם תיקון הנובע מהימצאות כבלים נוספים על יד הכבל המתוכנן (חום נוסף מהכבלים):

$$K_{16} = 0.68 \text{ , מקדם } 1 \text{ סה"כ } 6 \text{ כבלים בשכבה אחת, מקדם}$$

נחשב את הערך הזרם בהתחשבות במקדמים:

$$I_z = \frac{I'_z}{K_{16} \times K_{17n}} = \frac{56}{0.68 \times 0.95} \approx 87 A$$

על פי התקנות הטבלה המתאימה לשיטת התקנה "יב" היא 90.3 כמו בדוגמה הקודמת.

$$I_z = 88 A \text{ , וכושר העמסה } S = 16 mm^2 \text{ את התנאי}$$

חייב להדגיש כי כושר העמסה האמיתי של המוליך הוא למעשה:

$$I'_z = 0.68 \times 0.95 \times 88 \approx 57 A$$

בתרגיל זה התוצאה יצאה מדויקת לתכנון.

לסיכום: כדי לתכנן מתקן בעל תנאי סביבה שונים חובה להתייחס למקדמים ולבצע חישוב בצורה מסודרת.

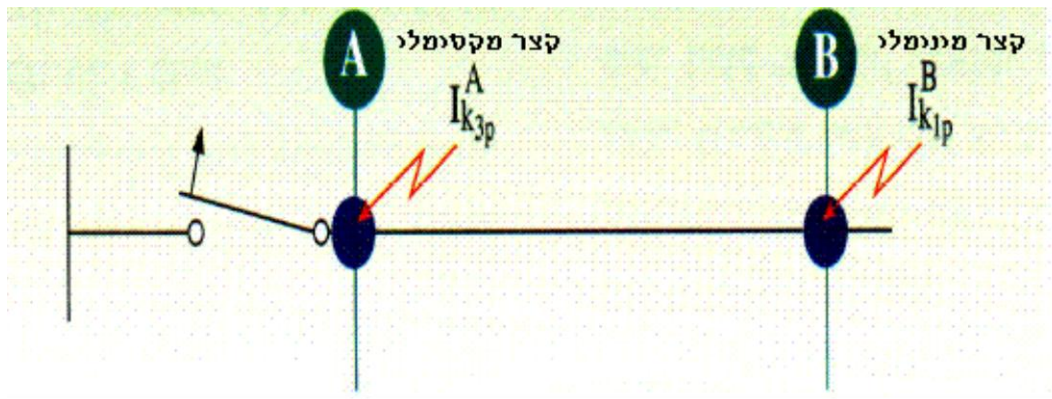
4. תאר את השלבים העיקריים בתכנון מעגלים מהיבט בפני זרם קצר?

תשובה: בהמשך לחישוב הגנה בפני הגנה בפני זרם העמסת יתר, חייבים להתייחס גם להגנת המוליכים בפני זרם קצר. להלן השלבים ובהמשך נציג דוגמאות:

שלב א: תחילה יש לחשב את זרם הקצר המקסימלי (תלת מופעי) $I_{K \max}$ בתחילת המעגל בהדקים של המבטח. זרם הקצר התלת מופעי הוא זרם הקצר הגבוה היכול להיווצר במעגל המוגן על ידי המבטח והמבטח חייב לנתק אותו מבלי שייגרם לו נזק. יכולת לנתק את זרם הקצר נקרא "כושר ניתוק", לפי תקן IEC60947\2 מוגדרים שני נתונים: I_{CU} כושר ניתוק בסיסי נמדד ב-KA מבטא את יכולת המפסק לעמוד בשני מחזורים של ניתוק וחיבור המפסק בזרם קצר.

I_{CS} כושר ניתוק בשירות נמדד ב-% מ- I_{CU} מבטא את יכולת המפסק לעמוד בשלושה מחזורים של ניתוק וחיבור המפסק בזרם קצר, כאשר הוא חייב להיות קטן או שווה לזרם I_{CU} . לדוגמה: על מפסק רשום $I_{CU} - 25 KA$ ו- $I_{CS} = 80\% I_{CU}$ כלומר המפסק יכול לעמוד בשני מחזורים של ניתוק וחיבור ב-25KA, ובשלושה מחזורים ב-20KA.

מכאן נובע כי לאחר חישוב זרם הקצר המקסימלי יש לבחור מפסק המקיים $I_{CU} \geq I_{K \max}$ שלב ב: חישוב זרם הקצר המינימלי (חד מופעי) $I_{K \min}$ בנקודה המרוחקת ביותר של המעגל, זהו זרם הקצר שהמבטח "חייב לדעת לנתק", בשלב זה חייבים לבדוק האם רגישות המבטח מספיקה לנתק את זרם הקצר בתוך פרק הזמן הנדרש בתקנות (פרק זמן שלא יעלה על 5 שניות). שלב ג: חישוב הזמן המרבי t שבמהלכו יכול המוליך הנבחר במעגל לעמוד בזמן הקצר המינימלי



$I_{K \min}$.

שלב ד: בדיקת זמן הניתוק של זרם הקצר $I_{K \min}$ על ידי המבטח שנבחר להגנה על מוליכי המעגל על פי התקנות זמן זה חייב להיות קטן מזמן t מהסעיף הקודם ובכל מקרה קטן מ-5 שניות.

$$t_{br} \leq t$$

על פי הדרישה המופיעה בחוק החשמל בתקנה 7 א' בפרק העמסה והגנה של מוליכים שטח חתך מוליכי המעגל S ומאפייני המבטח יתאימו למצב שבו ניתוק הקצר על ידי המבטח יהיה קטן מן הערך המחושב על פי הנוסחה המתוארת להלן אך לא יותר מ-5 שניות.

$$t = \left(\frac{KS}{I_{K \min}} \right)^2$$

t - משך קיום הקצר, הגורם לעליית טמפי מ- 70°C עד 160°C בבידוד PVC, או לעליית טמפי מ- 90°C עד 250°C בבידוד XLPE.

K - מקדם התלוי בסוג החומר המוליך ובסוג הבידוד של המוליך, ערכים שנתונים בתקנות החשמל.

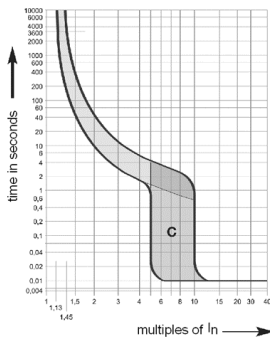
סוג הבידוד		חומר המוליך
"בידוד 90°C "	"בידוד 70°C "	
140	115	נחושת
90	74	אלומיניום

S - חתך המוליך. $I_{K \min}$ - זרם הקצר המינימלי (חד מופעי) הצפוי בנקי מרוחקת.

הנוסחה הנ"ל היא נוסחה מקורבת המתארת את תהליך החימום של המוליך בעת זרם קצר דרכו בפרקי זמן הנמשכים עד 5 שניות.

דוגמה: נתון כבל 2.5 ממ"ר נחושת עם בידוד XLPE 90°C המוגן על ידי מא"ז 16A מסוג C מהו הזמן המקסימלי שבו יעמוד הכבל בזמן קצר?

לפי אופיין מא"ז מסוג C בזרם קצר של $6.6I_n$ על המא"ז לקפוץ תוך פחות מ-5 שניות.



$$I_k = 6.6 \times 16 = 105.6 \text{ A} \quad \text{זרם הקצר, } K = 140 \text{ לפי הטבלה}$$

$$t = \left(\frac{KS}{I_{K \min}} \right)^2 = \left(\frac{140 \times 2.5}{105.6} \right)^2 \approx 11 \text{ sec} \quad \text{נציב בנוסחה:}$$

זהו הזמן שבו הכבל יחזיק מעמד בזרם הקצר הנתון, ומצד שני לפי התקנות $t_{br} = 5 \text{ sec}$ נבדוק האם התנאי מתקיים $t_{br} \leq t$ ואכן הוא מתקיים.

$$t = \left(\frac{KS}{I_{K \min}} \right)^2 = \left(\frac{140 \times 1.5}{105.6} \right)^2 \approx 3.35 \text{ sec} \quad \text{באותה דוגמה נציב בשטח החתך 1.5 ממ"ר } t \text{ וכעת התנאי}$$

של 5 שניות לא מתקיים. מסקנה: **כבל 1.5 ממ"ר אינו מתאים למא"ז 16 אמפר.**

כאשר התוצאה המתקבלת בנוסחה היא פחות מ-0.1 שניה, זה מצביע על יכולת נמוכה יחסית של המוליך "לספוג" את מכת החום ו"לצאת מזה בשלום" ולכן יש להשתמש בתנאי הבא :

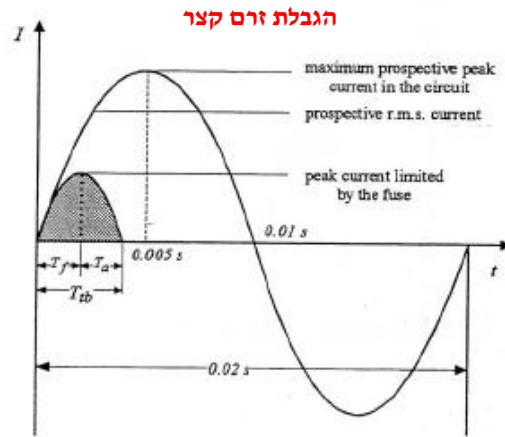
$$\int_0^t I^2 dt < K^2 \cdot S^2$$

השימוש בתנאי זה מאפשר לבחון את קיום ההגנה בפני זרם קצר, בצורה מדויקת יותר. את הלם החום מקבלים מתוך קטלוג היצרן ואותם משווים למכפלה $K^2 S^2$ הלם החום נקרא בספרות גם אנרגיית מעבר Let through energy מושג זה מתאר את תופעת קליטת האנרגיה מהמעגל על ידי המפסק עד לרגע הפסקה. בין זרם הקצר שיכול להתפתח בהדקי הכניסה של הציוד לבין הזרם המרבי שמופיע בתוך הציוד יתכן הבדל גדול בגלל מבנה המפסק וצורת פעולתו, המפסק יכול להשפיע משמעותית על הזרם העובר דרכו. עובדה זו היא הבסיס לאמצעי הגנה הנקרא "מגביל זרם קצר" שתפקידו הפסקת

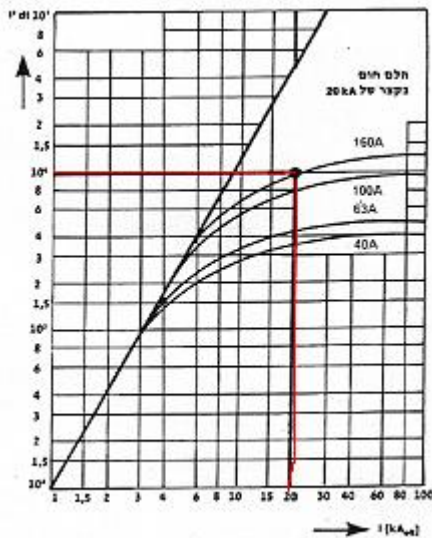
זרם קצר קטן מהזרם שהיה מתפתח במעגל ללא הגבלה.

**הגבלת אנרגיית הקצר
שעוברת לרכיבי המעגל**

T_f : fusing time (pre-arc)
 T_a : arcing time
 T_{ib} : total breaking time



דוגמה : נתון מוליך נחושת, בשטח חתך 70 ממ"ר בעל בידוד PVC 70 מעלות המוגן על ידי מפסק מגביל זרם קצר 160A, האם המוליך יעמוד באנרגיית קצר של 20 KA?



$$K^2 S^2 = 115^2 * 70^2 = 64802500, K = 115$$

בגרף הבא ניתן לראות שבמפסק מגביל זרם קצר 160A

הלם החום בקצר של 20KA יהיה $10^6 \rightarrow 10000000$

$$\int I^2 dt = 10000000 < K^2 * S^2 = 64802500$$

ניתן לראות בברור שהדרישה מתקיימת.

מתקן חשמלי ארעי באתרי בנייה

5. מהן הדרישות לפתילים (כבלים) באתרי בנייה?

תשובה: דרישות כלליות: קו ומעגל סופי באתר בניה יחוברו באמצעות פתיל בלבד. פתיל במקום של סכנה מוגברת יהיה מוגן בצורה נאותה. פתיל יותקן באופן שלא יוכל להיווצר מאמץ מכני על קצותיו. תכונותיו של הפתיל: מוליכי הפתיל יהיו גמישים ושזורים. בידוד המוליכים יהיה מגומי ויתאים למתח של עד 750 וולט לפחות. מעטה הפתיל יהיה מגומי או מנאופרן.

H 0 7 R N – F

•Designation - זיהוי

Harmonized type / National recognized

•Nominal voltage U0/U - נקוב מתח

07 – 450/750V, 05 – 300/500V, 03 – 300/300V

•Insulating material - הבידוד חומר

R – Natural and/or styrene rubber,...

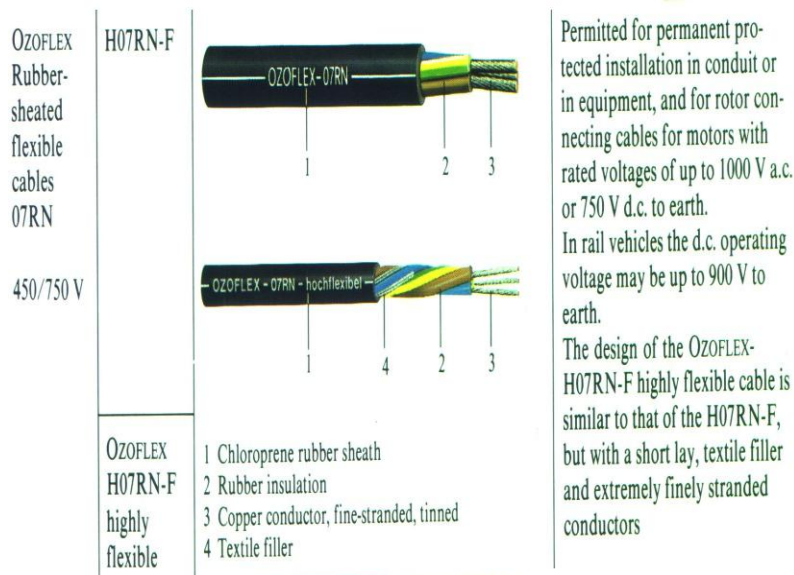
•Sheathing materials - המעטה חומר

N – Polychloroprene,

•Conductors - מוליכים

-F – Flexible (class 5 of IEC 228) for flexible cables,

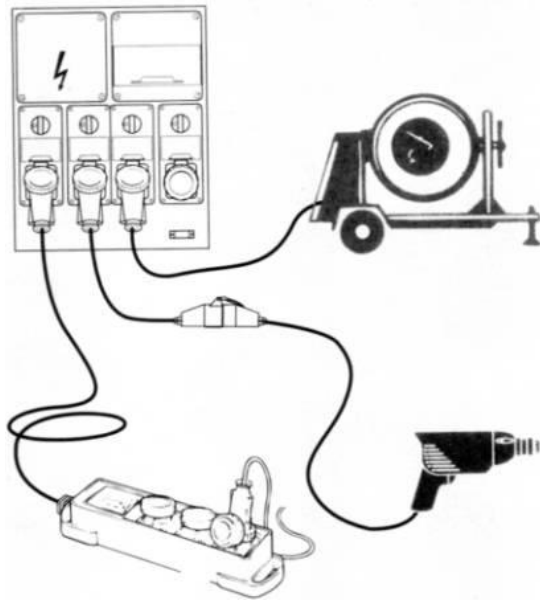
דוגמא: פתיל H07RN-F 3G2.5 הינו כבל גמיש בעל מעטה כבד של פוליכלורופרן בעל שלושה גידים בחתך 2.5 מ"מ (אחד מהם צהוב/ירוק).



6. מהן הדרישות ללוח חשמל באתרי בנייה?

תשובה: מתקן חשמל ארעי באתר בניה יצויד בלוח ראשי אחד בלבד. לוח באתר בניה יתאים לדרישות תקן 1419 (IEC439-4) (לוח ראשי המותקן במבנה קבוע יכול להיות בהתאם לנדרש בתקנות החשמל (התקנת לוחות במתח עד 1000 וולט). הכניסה ללוח תבוצע באמצעות מפסק ראשי לכל סוג אספקה (המפסק יהיה ניתן לנעילה במצב "מופסק" בלבד). כל היציאות מלוח ראשי או לוח משנה יהיו באמצעות בתי תקע (מותר להתקין בית תקע משוקע בדופן הלוח).

חיבור מכשירים באתר בנייה: פתיל יחובר לזינה מהלוח באמצעות תקע



לוח באתר בנייה



בית תקע תעשייתי לפי תקן 1109

מפסק הניתן לנעילה במצב מופסק בלבד



קוד צבעים של תקעים ובתי תקע בהתאם לת"י 9100	
קוד צבעים	מתח נומינלי בתדר 50-60Hz
סגול	20-25V
לבן	40-50V
צהוב	100-130V
כחול	200-250V
אדום	380-480V
שחור	500-690V

הערה: בתדרים שמעל 60 הרץ עד 500 הרץ ועד בכלל, ניתן להשתמש בצבע ירוק, ובמידת הצורך, לצרף את הצבעים הכתומים למתח הנומינלי.

7. אילו שיטות הגנה בפני חשמוול ניתן ליישם באתרי בנייה והאם שיטת האיפוס היא טובה לאתר בניה?

תשובה: כל מתקן ארעי באתר בנייה צריך להיות מוגן בפני חשמוול באמצעות אחד מאמצעי ההגנה בפני חשמוול המותרים בחוק החשמל, בנוסף צריך כל בית תקע (שקעים) במתקן להיות מוגן באחד מאמצעי ההגנה בפני חשמוול הבאים: מפסק מגן (פחת), מתח נמוך מאוד, הפרד מגן.

להלן שאלה מועדת הפרושים: במיתקן ארעי באתר בנייה נבחרה כאמצעי ההגנה בפני חישמוול הארקת הגנה (TT), אולם עכבת לולאת התקלה אינה מתאימה לנדרש. אי לכך, אמצעי ההגנה בפני חישמוול במיתקן הוסב להגנה באמצעות מפסק מגן המשמש כהגנה בלעדית בפני חשמוול. מפסק המגן שנבחר הוא כזה שזרם ההפעלה שלו אינו עולה על 0.5 אמפר, והוא הותקן לאחר המפסק הראשי של המיתקן. בתי תקע חד-מופעיי לזרם עד 32 אמפר הוגנו בנוסף באמצעות מפסקי מגן עם זרם הפעלה של 0.030 אמפר. בתי תקע גדולים (125 אמפר וכו') לא הוגנו באמצעות מפסקי מגן בנוסף על מפסק המגן הראשי (זה המשמש כהגנה בלעדית). לדעתי, כוונת תקנה 9 בתקנות החשמל (מתקן ארעי באתר בנייה) היא להבטיח שבתי תקע יוגנו באמצעות מפסקי מגן. במקרה הנדון, כל בתי התקע מוגנים באמצעות מפסקי מגן, ולכן עונים על דרישות התקנה ואין צורך בהגנה נוספת. האם התקנה כמתואר לעיל עונה על הדרישות הקבועות בתקנות החשמל הרלוונטיות? ההגנה הראשית בפני חשמוול של כל מיתקן חשמל צריכה להתבצע בהתאם לנדרש בתקנות החשמל (הארקות ואמצעי הגנה בפני חשמוול במתח עד 1,000 וולט). תקנות החשמל (מיתקן חשמלי ארעי באתר בנייה במתח שאינו עולה על מתח נמוך) מחייבות להגן על בתי תקע בהגנה נוספת בפני חשמוול (ראו תקנה 9). כלומר, יש להגן בפני חשמוול על בתי תקע בהגנה נוספת על ההגנה בפני חשמוול של המיתקן בשלמותו.

להלן שתי דוגמאות ליישום נכון של שתי הדרישות הללו:

1. הארקת הגנה - הגנה בפני חישמוול של המיתקן הארעי באתר בנייה בשלמותו באמצעות הארקת הגנה (TT). הגנה נוספת על בתי התקע באמצעות מפסקי מגן בעלי זרם הפעלה נומינלי התואם את הנדרש בתקנות החשמל (מיתקן חשמלי ארעי באתר בנייה במתח שאינו עולה על מתח נמוך).

2. מפסק מגן כהגנה בלעדית - הגנה בפני חשמוול של המיתקן הארעי באתר בנייה בשלמותו באמצעות מפסק מגן כאמצעי הגנה בלעדי בפני חשמוול. הגנה נוספת על בתי התקע באמצעות מפסקי מגן בעלי זרם הפעלה נומינלי התואם את הנדרש בתקנות החשמל (מיתקן חשמלי ארעי באתר בנייה במתח שאינו עולה על מתח נמוך). לאור האמור לעיל, שימוש באותו מפסק מגן גם כאמצעי הגנה בלעדי בפני חשמוול המגן על המיתקן בשלמותו וגם כהגנה נוספת בפני חשמוול על בתי תקע אינו עומד בנדרש בתקנות החשמל.

בדיקות - עכבת לולאת התקלה

1. מה ערך עכבת הלולאה L.T הנדרש עבור זירה עם חיבור 40 אמפר ?

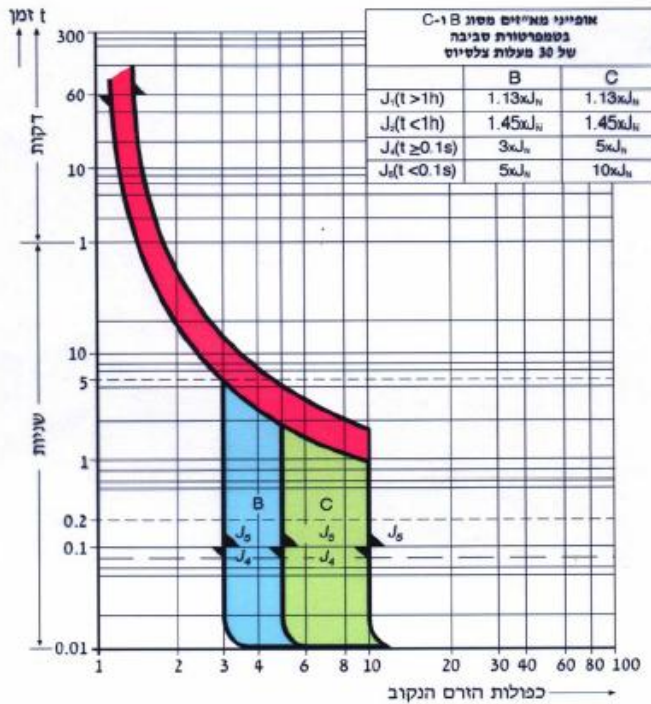
תשובה: הערך המרבי של עכבת לולאת התקלה תלוי בסוג הלוח: לוח מסוג פלסטיק או בידוד מוגבר – הערך המרבי יקבע בהתאם למא"ז של המעגל הסופי הגדול ביותר בלוח. ערך זה ניתן לקבל לפי אופיין המא"ז, לפי החוק, המא"ז צריך לקפוץ תוך פחות מ-5 שניות לדוגמה, אם מא"ז מסוג B (אופיין B) של המעגל הסופי הגדול ביותר הוא 20 אמפר אזי ערך

$$R_{L.T} = \frac{U}{5 \times I_n} = \frac{230}{5 \times 20} = 2.3 \Omega$$

העכבה המרבי לפי חוק אוהם

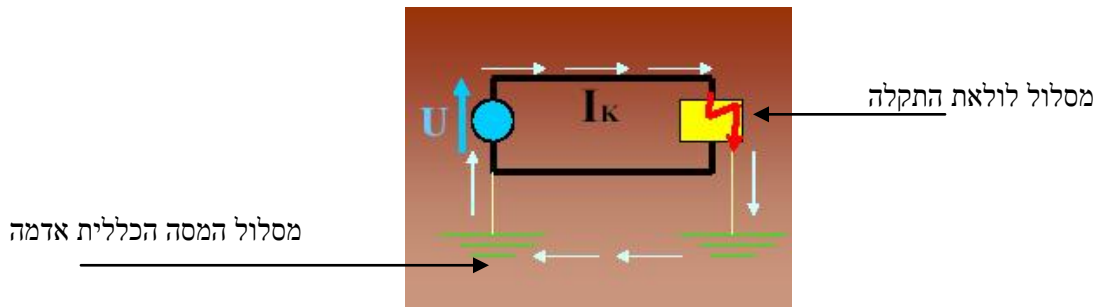
בלוח מתכת – הערך המרבי יקבע בהתאם למבטח (נתיך) חברת החשמל המותקן במעלה הזינה.

לפי האופיין הנ"ל: מא"ז מסוג B ב- $3 \cdot I_n$ אסור לקפוץ ב- $5 \cdot I_n$ חייב לקפוץ. מא"ז מסוג C ב- $5 \cdot I_n$ אסור לקפוץ ב- $10 \cdot I_n$ חייב לקפוץ מייד, ב- $6.6 \cdot I_n$ המא"ז יקפוץ תוך פחות מ-5 שניות.



2. איזה מסלול גדול יותר לולאת התקלה או המסה הכללית לאדמה ?

תשובה: המסה הכללית זהו חלק מלולאת התקלה לכן מסלול לולאת התקלה גדול יותר



3. לפי הדרישה עכבת לולאת התקלה צריכה להיות נמוכה מספיק, על מנת לאפשר במקרה של

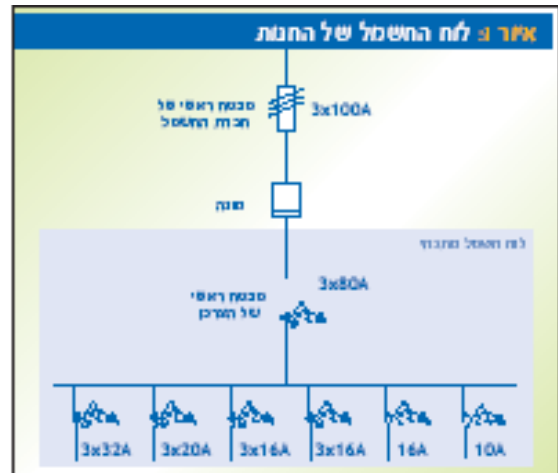
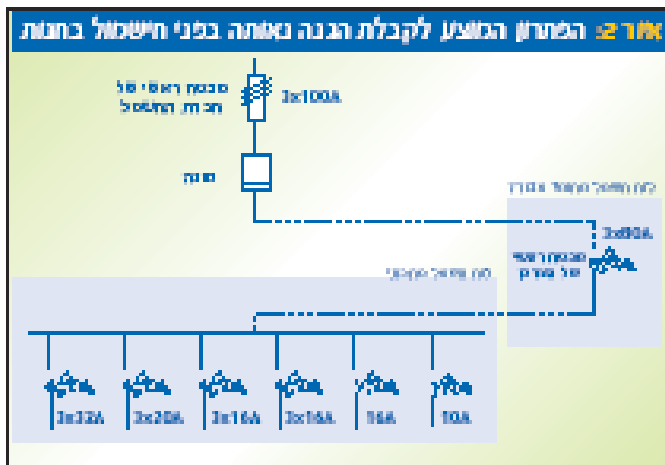
קצר, ניתוק הזינה תוך פחות מ-5 שניות, מדוע דווקא 5 שניות ?

תשובה: זהו הזמן שיאפשר שמירת בידוד המוליך מחום עקב זרם קצר, בנוסף זהו הזמן שבו אדם יכול להימצא תחת מתח (חילופין) 50 וולט בלא שייגרמו לו תופעות פיזיקליות קשות.

4. תאר שיטה להתמודדות עם ערכי עכבה גבוהים של לולאת התקלה.

תשובה:

- בחנות מסוימת המוגנת בשיטת הארקה TT- ביקשו לבצע הגדלה לחיבור של 3x80 אמפר, הלוח הראשי הוא מתכתי, לולאת התקלה שנמדדה חושבה לפי הנתוך של חברת חשמל 3x100 אמפר, ונמצאה גבוהה. אחד הפתרונות באפשריים במקרה זה הוא להוציא את המפסק הראשי של הצרכן אל מחוץ ללוח הקיים ולהתקינו בלוח אחר מבודד.



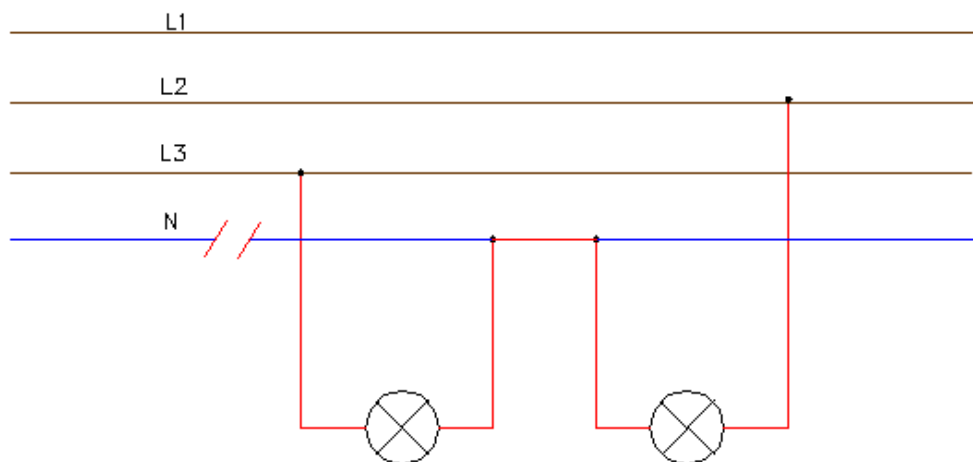
פתרון אפשרי נוסף במקרה זה הוא להשתמש בממסר פחת כהגנה בלעדית בפני חשמול, ובלבד שיותקן שלט זהירות-התנגדות הארקה גבוהה אין להפעיל את המתקן ללא ממסר פחת הערך המרבי במקרה זה יחושב באמצעות הנוסחה:

$$R_{L.T} = \frac{230}{(10 \times I_d)}$$

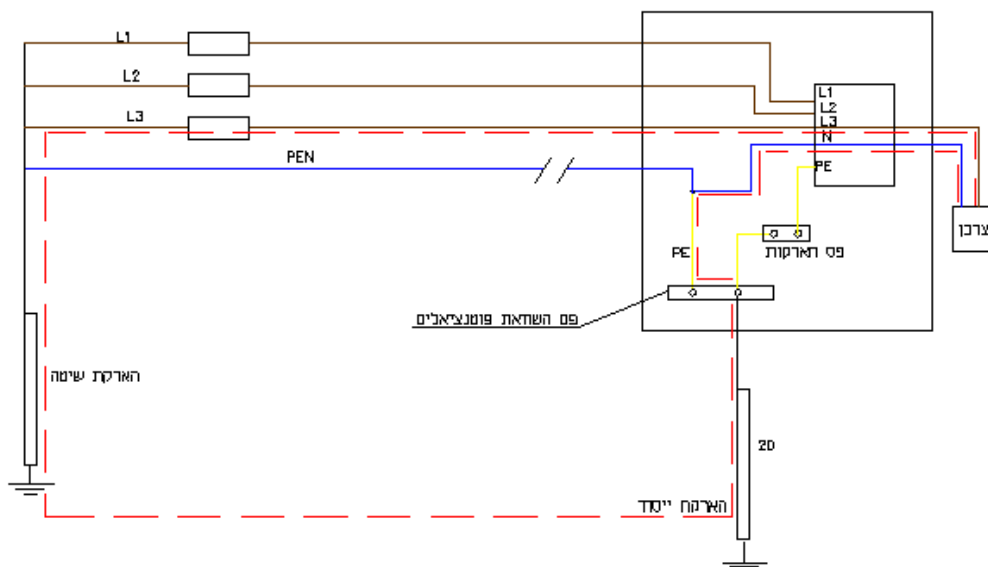
5. הסבר מה יקרה למכשיר חשמלי בעת ניתוק מוליך ה"אפס"?

תשובה: כאשר המתקן מוגן בשיטת איפוס TNC-S, אז תלוי היכן המוליך מתנתק: אם מוליך ה-PEN יתנתק מכיוון השנאי, למכשיר החשמלי לא יגרם נזק כיוון שהמעגל ייסגר דרך האדמה להארקת השיטה של השנאי. באופן כללי בעת ניתוק מוליך האפס בקו הצרכן משתנה הפוטנציאל של נקודת הכוּכב כתוצאה מכך המתחים הפאזיים משתנים בצורה משמעותית, וחלה עליית מתח ניכרת על צרכנים בעלי הספקים קטנים ולכן מצב כזה נחשב למסוכן מבחינת תקינות המכשירים.

ניקה לצורך שתי מנורות שמחוברות בטור לפי המעגל הבא:



במצב זה רואים שהמתח הנופל על שתי הנורות לא יהיה סימטרי ויעמוד על 400 וולט, באופן תיאורטי ישנו כביכול זרם שיעבור דרך הנורה הראשונה אל הנורה השנייה, וסכום הזרמים יתבר, בפועל בגלל ניתוק האפס אין סגירת מעגל ומה שמשתנה זה רק הפוטנציאלים של שלושת הפאזות. בשרטוט הבא ניתן לראות שבאיפוס כאשר מוליך ה-PEN מתנתק הצרכן ימשיך לעבוד וייסגר דרך האדמה.



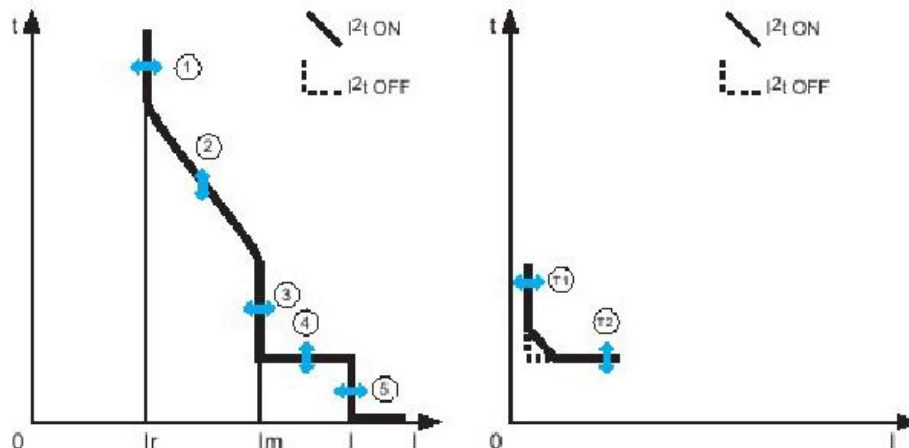
הערה: באופן כללי בניתוק אפס גם כאשר השיטה היא TT הפוטנציאל יעלה ומכשירים יינזקו.

מפסקי זרם והגנות

1. שרטט והסבר את תחומי אופיין של מפסק זרם בעל הגנה אלקטרונית?

תשובה:

- Ir – (1) ערך סף יתרת הזרם של המפסק, ערך הכוונון המקסימלי של מנגנון ההגנה בפני זרם העמסת יתר אופיין זמן הפוך, זמן תגובה הוא ארוך (long)
- Tr – (2) השהיית זמן מנגנון יתרת זרם, במפסקים מסוימים זמן זה מתייחס לזרם של $6xI_n$, הזמנים הם בד"כ: 3sec, 6sec, 9sec, 18sec.
- Isd (Im) – (3) ערך פעולת מנגנון מגנטי (קצר) (S) מיועד לסלקטיביות בינו לבין מפסקים במורד הדרך בד"כ מכוון לערך שאינו עולה על הקצר המחושב ב-LT (לולאת התקלה).
- Tsd – (4) השהיית פעולת מנגנון זמן קצר. במפסקים מסוימים מתייחס לזרם של $8xI_n$, כדי ליצור פער בין עקומות של מפסקים שונים ביחס לציר הזמן. בדרך כלל דרגות של מילי שניות בין מפסק למפסק.
- Ii – (5) ערך פעולת מנגנון מגנטי מיידי (I) חייב להיות מכוון מעל לערך של Isd



overcurrent settings

- 1 : LT setting I_r (long time)
- 2 : LT time delay t_r (long time)
- 3 : ST pick-up I_m (short time)
- 4 : ST time delay t_m (short time)
- 5 : INST pick-up I (instantaneous)

earth fault protection settings

- T1 : earth fault pick-up I_h
- T2 : earth fault time delay t_h

הגרף הנוסף מתייחס לאפשרות כוונון הגנת יתרת זרם פחת לאדמה על ידי I^2t , פונקציה זו נועדה להפסקת המתקן תוך פרק זמן בעת זליגה בין מופע לאדמה.

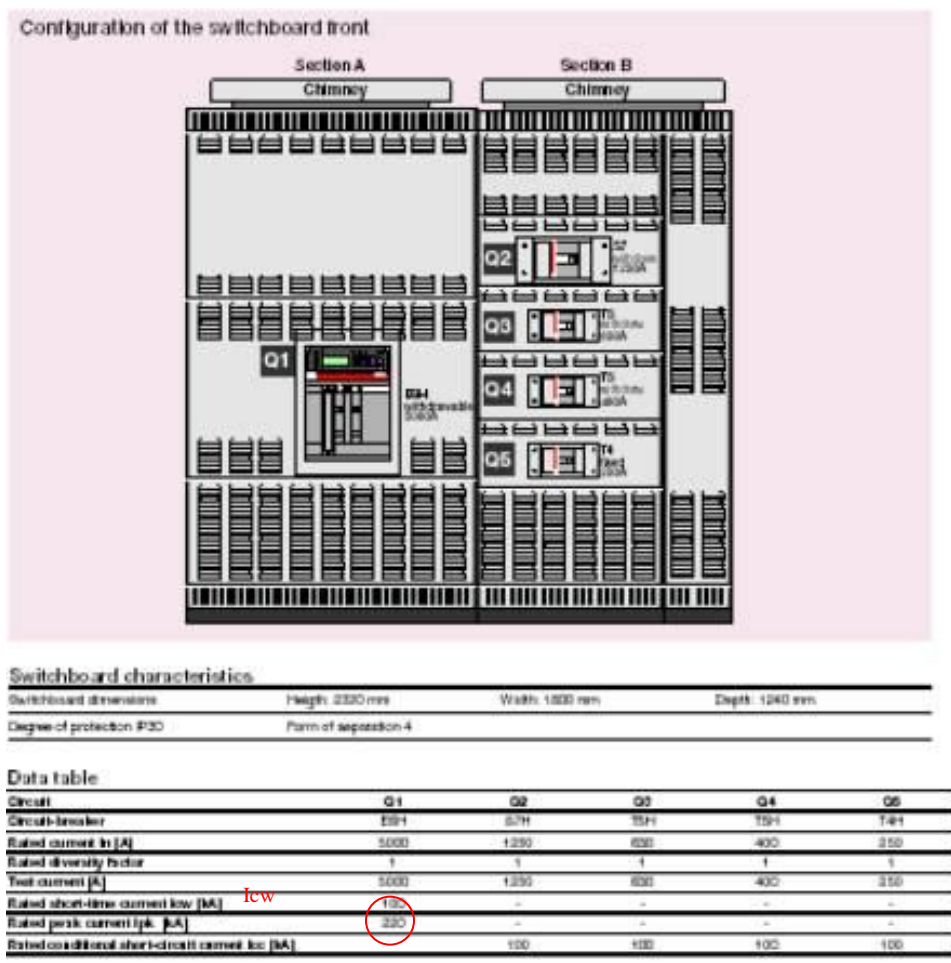
2. באילו הגנות משתמשים במפסקי זרם במתקני חשמל ?

תשובה: מבדילים ב-2 סוגי הגנות: אלקטרו מכניות ואלקטרוניות, ההגנות האלקטרו מכניות מבוססות על מנגנון תרמי ומנגנון מגנטי. במפסקי זרם גדולים נהוג להשתמש בהגנות אלקטרוניות, הגנות אלה מדויקות יותר ומאפשרות הגדרת פרמטרים רבים. להלן סוגי אופיינים:

- L I – תרמי עם השהיה ומגנטי מיידי
- LSI – תרמי ומגנטי עם השהיה + מגנטי מיידי
- LSIG – תרמי ומגנטי עם השהיה + מגנטי מיידי + קצר לאדמה עם השהיה
- LSIV – תרמי ומגנטי עם השהיה + מגנטי מיידי + זליגה לאדמה עם השהיה

3. הסבר את ההבדל בין מפסקי אויר מקטגוריה A למפסקי תיבה יצוקה ?

תשובה: רוב מפסקי תיבה יצוקה – molded case הם מקטגוריה A כלומר ללא השהיה ואין להם יכולת עמידה בקצר Icw מפסקים אלה הם לזרמים של עד 1600 אמפר ויש להם ידית הפעלה. מפסקי אויר הם לזרמים גבוהים עד 4000 אמפר, יש להם יכולת השהיה כלומר עמידה בקצר Icw בנוסף רוב המפסקים הם נשלפים, וההפעלה היא על ידי כפתור וידית דריכה. דוגמה למתקן:



בדוגמה הבאה Q1 הוא מפסק ראשי אויר מקטגוריה B עם הגנות אלקטרוניות ויכולת עמידה Icw שאר המפסקים הם מפסקי תיבה יצוקה מסוג A

4. נתונות שתי תמונות של מפסקים, הסבר על כל מפסק מאיזה קטגוריה הוא?



זהו מפסק אוויר מקטגוריה B עם
השהייה, ויכולת עמידה בקצר Icw



זהו מפסק קופסא יצוקה מקטגוריה A

5. הסבר מהו I^2t ולמה אנו צריכים אותו?

תשובה: כפי שהוצג בפרק העמסה והגנה של מוליכים I^2t מבטא את כמות החום הנפלטת במוליך בעת מעבר זרם I לכל אוהם של התנגדות המוליך. נוהגים להניח שכל החום הנפלט בעת מעבר זרם הקצר במוליך "מתורגם" לעליית הטמפרטורה של המוליך לכן משתמשים

$$I^2t = K^2 S^2$$

משוויון זה נגזרת הדרישה מחוק החשמל שעל פיה חתך מוליכי המעגל S ומאפייני המבטח

ותאימו למצב שבו זמן ניתוק הקצר על ידי המבטח יהיה קטן מן הערך המחושב על פי

$$t_{BR} \leq t = \left(\frac{KS}{I_{Kmin}} \right)^2 \cdot t_{BR}$$

ניקח לדוגמה מא"ז 10A מסוג B לפי האופיין ב- 5In המבטח חייב לנתק את המעגל תוך

פחות מ-5 שניות. מגדירים את זמן הניתוק כ- t_{BR} . החישוב של t לפי חוק החשמל מתאר לנו

את הזמן של עמידות הכבל המקסימלי בזמן קצר, כלומר לפי הדוגמה שלנו זמן העמידות

המקסימלית של כבל XLPE בחתך 1.5mm יחזיק מעמד בזרם קצר של

$$I_k = 5 \times 10 = 50 A$$

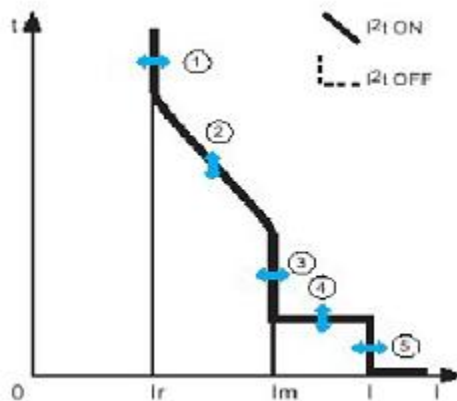
$$t_{BR} \leq 5s \quad t = \left(\frac{KS}{I_{Kmin}} \right)^2 = \left(\frac{140 \times 1.5}{50} \right)^2 \approx 17.64 \text{sec}$$

בפועל לפי אופיין זמן הניתוק של המבטח, הוא ינתק אותו תוך פחות מ-5 שניות בלבד

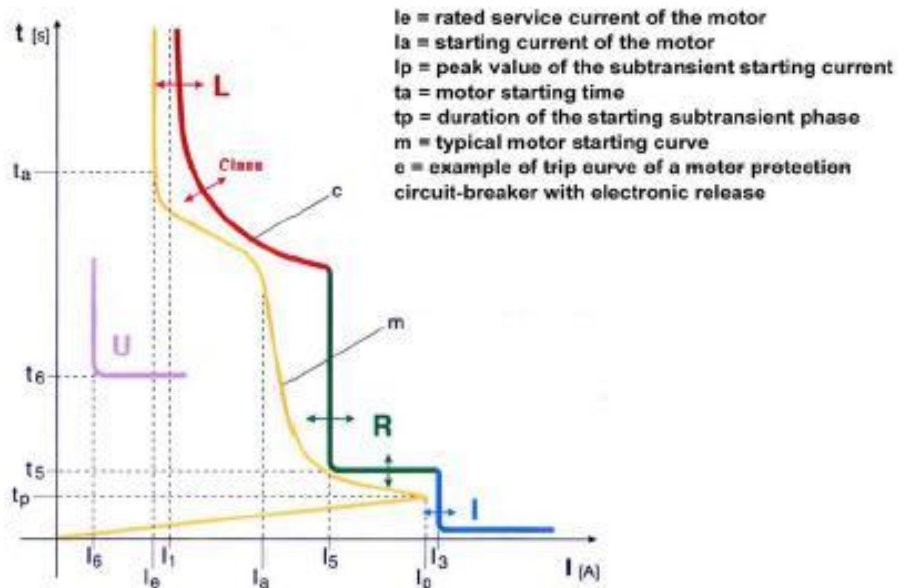
שהתנאי מתקיים ובמקרה זה הוא מתקיים. $t_{BR} \leq t$

6. כיצד יש להתייחס ל- I^2t במפסקי זרם ?

תשובה: במבטחים רגילים כאשר בודקים את כושר העמידה של המוליכים, צריך לחשב את זרמי הקצר המקסימליים בנק' הרחוקה ובנוסף את זרמי הקצר המינימליים בנק' הקרובה כדי להיות בטוחים שהכבל מחזיק לכל אורך הדרך. במפסקי זרם אלקטרוניים I^2t קבוע $I^2t = const$ ולכן מספיק לבדוק זרם קצר בנק' אחת באופיין כדי לראות שהמוליך מחזיק מעמד. בנוסף במפסקי זרם אלקטרוניים יש אפשרות $I^2t - ON$ או $I^2t - OFF$ ניתן לראות זאת באופיין זמן מוחלט definite time, אפשרות זו ישנה כדי ליצור פער בין עקומות של מפסקים שונים או נתיכים ביחס לציר הזמן, כדי ליצור סלקטיביות.



העקומה הבאה מתארת מפסק זרם המצויד בממסר אלקטרוני ומיועד להתנעת מנועים, השימוש במפסק זרם כזה מאפשר תכנון אופטימלי של עקומות הניתוק תוך שימת לב לזרם הרגעי המרבי בהתנעה, זרם ההתנעה, זמן ההתנעה, זרם התמידי המרבי של המנוע.



7. כיצד יש לכוון תחום תרמי ותחום מגנטי במפסק זרם?

תשובה: את Ir (L) מכווננים לפי היחס בין זרם הצרכן לזרם הנקוב של ההגנה במפסק.

$$settingL = I_r = \frac{I_B}{I_n}$$

את Im (I) מכווננים לפי היחס בין זרם הקצר המינימלי Iscmin לזרם הנקוב של ההגנה במפסק.

$$settingI = I_{sm} = \frac{I_{sc \min}}{I_n}$$

את Iscmin קובעים על ידי מדידת לולאת התקלה או באמצעות חישוב

8. נתון מפסק זרם In=400A עם יחידת זרם 400-4000A זרם הצרכן Ib=340A, עכבת לולאת התקלה המרבית שנמדדה במעגל הייתה 0.76Ω, נדרש לכוון את ההגנה במפסק? תשובה: כיוון יתרת זרם תרמי Ir (L)

$$settingL = I_r = \frac{I_B}{I_n} = \frac{340}{400} = 0.85$$

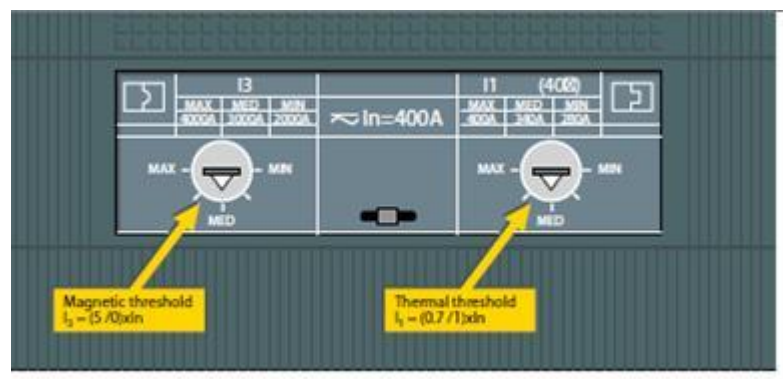


$$settingI = I_m = \frac{I_{sc}}{I_n} = \frac{3000}{400} = 7.5$$



$$I_{sc} = \frac{U_{ph}}{Z_t} = \frac{230}{0.76} = 3000A$$

כיוון יתרת זרם קצר Im (I)

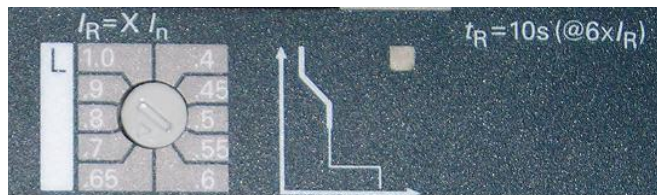
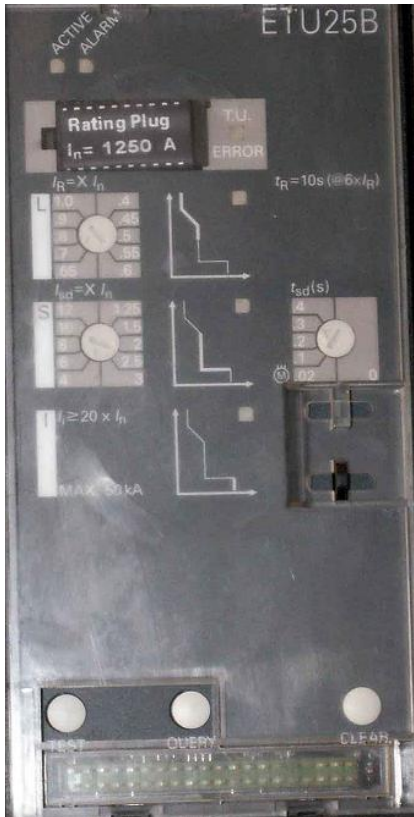


דוגמה נוספת לכיול של מפסק מסוג Siemens, המפסק הנ"ל מדגם In=1250A ETU25 עם יחידת יתרת זרם 0.4-1In, המפסק הנ"ל הוא מפסק ראשי מתח נמוך של שנאי 630KVA, זרם הקצר המינימלי במתקן 5000A, נדרש לכוונן את המפסק.

פתרון:

$$I_b = \frac{S}{\sqrt{3} \times U} = \frac{630 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400} = 909 \text{ A} : L \text{ פונקציה}$$

$$\text{setting } L = I_r = \frac{I_b}{I_n} = \frac{909}{1250} = 0.72$$



נבחר ערך כונוון נמוך מעט ממה שיצא בחישוב.

למפסק זה יש אנרגיית מעבר קבועה בכל ערך של זרם יתר, מכפלתו בריבוע כפול הזמן מפיקה ערך קבוע.

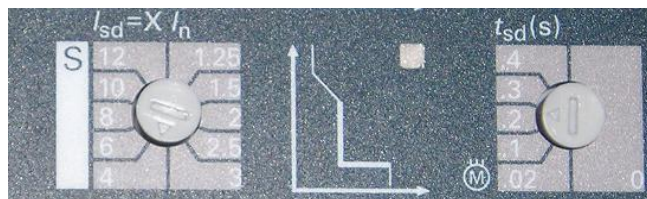
המפסק מגיב תוך 10 שניות בזרם של $6 \times I_n$ אנרגיית מעבר תהיה:

$$(6 \times 909)^2 \times 10 = 297461160$$

בדרך זו ניתן לחשב את זמן תגובת המפסק בכל ערך של זרם.

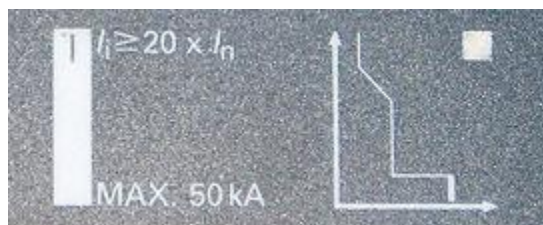
כונוון זרם הקצר פונקציה S:

$$\text{setting } I = I_m = \frac{I_{sc}}{I_n} = \frac{5000}{1250} = 4$$





לפונקציה S במפסק זה יש אפשרות הגנה מושהית בזרם קצר וזאת על מנת ליצר סלקטיביות בין מפסקים במורד הזרם.

פונקציה I זרם קצר מייד: בפונקציה זו כאשר זרם הקצר גדול מ- $20I_n$ המפסק יקפוץ מייד, ובמקסימום זרם קצר של 50KA.



9. נתון לוחית זיהוי של מפסק, הסבר את כל הפרמטרים הרשומים, מאיזה סוג המפסק הנ"ל?

SACE X1 N16	In=1600A Ue=690V Icw=42kAx1s					IEC 60947-
Ue (V)	230	415	440	525	690	 Made in Italy by ABB SACE 
Icu (kA)	65	65	65	50	50	
Ics (kA)	50	50	50	42	42	
CAT.B	~ 50-60 Hz					

- תשובה:** זהו מפסק אוויר מקטגוריה B (cat B) כלומר עם השהייה.
- ✧ Ue-מתח נקוב, מתח שאליו תוכנן המפסק לפעול.
 - ✧ In-זרם נקוב, הערך המרבי של זרם שמפסק בעל יחידת יתרת זרם מתוכנן לפעול לזמן אין סופי בטמפרטורת סביבה נתונה על ידי היצרן.
 - ✧ Icu- יכולת מרבית של הפסקת זרם קצר פעמים.
 - ✧ Ics- יכולת מחזורית של הפסקת זרם קצר שלוש פעמים.
 - ✧ Icw- יכולת עמידה נקובה בקצר (מחובר ללא נזק), במקרה הנ"ל למשך 1 שנייה.

10. מהם ההבדלים בין המפסקים השונים: מא"ז FAZ הגנת מנוע PKZM ומפסק NZM?

תשובה:

- למא"ז אין הגנות מתכווננות כלל אלא שתיהן (תרמי ומגנטי) הגנות קבועות.
 - למפסק כדוגמת NZM יש את שתי ההגנות עם כוונן.
- לצרכן רגיל שאין בו צורך להגנה צמודה מבחינת ערך הזרם ניתן להשתמש בהגנת מא"ז עד 63A, למנועים יש צורך בהגנה תרמית מדויקת ולכן בוחרים ביחידה עם הגנה תרמית מתכווננת כדוגמת PKZM לפי תחומים, כאשר מדובר בערכים גבוהים יותר ניתן לבחור NZM שהוא עד 1600A. בנוסף בוחרים ב-NZM גם כאשר נדרשת הגנה מגנטית מתכווננת – במקרה של דרישה לסלקטיביות, או במקרה של הארקה לא טובה, או כשיש צורך באביזרים נוספים כדוגמת מפסק ממונע או מפסק עם זליגה וכו'.

11. תאר סוגי נתיכים, לאיזה סוגי מעגלים הוא מגן?

תשובה: קיימים נתיכים ליישומים שונים. GL מיועד להגנה כללית, דהיינו הגנה תרמית ומגנטית של הכבל המחובר אליו, הנתיך השימושי ביותר הינו Gg האות G מציינת את המילה GENERAL, ישנם נתיכים המיועדים להגנת מנועים, "aM" להגנת שנאים "gTr" וכן להגנת חצאי מוליכים "aR". ישנם נתיכי סכין דהיינו, ישנה פחית נחושת מחורצת בתוך מבנה חרסינה הממולא בחול כאשר החלק הבולט של הפחית משני צידי החרסינה הינו דמוי סכין.

12. מתי משתמשים בנתיך ומתי משתמשים במא"ז מבחינה חשמלית?

תשובה: אין כללים מתי לבחור מה. היתרונות של נתיכים: כושר ניתוק גבוה, ניתוק גלווני כששולפים את הנתיך, מחיר זול. חסרונות: לאחר תקלה יש צורך בהחלפה (דורש מלאי וזמן), יש אפשרות לטעות באם החלפנו נתיך בנתיך בעל ערך שונה, אין אפשרות לכיול ולכן לא מתאים עומס יתר בערכי זרם שאינם קיימים בתחומם. קיימת תכונה של הזדקנות (ageing) דהיינו הנתיך יכול להינתק באופן אקראי.

13. מה הכללים לקביעת דרגות הסלקטיביות בין הנתיכים לבין מא"זים?

תשובה: סלקטיביות בין הגנות קיימת כאשר במקרה של תקלת עומס-יתר או תקלת קצר, ההגנה הקרובה ביותר לתקלה תגיב ראשונה, ורק אם היא נכשלה תגיב זו שמעליה. קל להשיג סלקטיביות במקרה של עומס יתר, די שהפרש בין ההגנות יהיה בכפולות של 1.6 לערך. הבעיה היא בזרמי קצר אשר לעיתים מגיעים לערכים גבוהים מאוד ואז הרבה מההגנות הטוריות נמצאות בטווח הקצר ומגיבות בו זמנית. ניתן להשיג סלקטיביות גם שמדובר בזרמי קצר, בעזרת הגנות מגנטיות מושהות הקיימות במפסקים אלקטרוניים, או בטכנולוגיות דומות כאשר יש תקשורת בין המפסקים והם קובעים מי ינתק ראשון (zone selectivity).

אין כללים שונים לצרכנים שונים, מה שקובע זהו ערך זרם התקלה. לעיתים מסתפקים בסלקטיביות חלקית, דהיינו שעד זרם מסוים יש סלקטיביות מלאה, ומעל לאותו זרם אין סלקטיביות, במקרה זה לוקחים בחשבון שסטטיסטית רוב הקצרים נוצרים בקרבת העומסים ושם הערכים בדרך כלל נמוכים בהרבה מאשר במעלה הקו או בלוח המזין את העומסים. זה נכון להשתמש בדרך זו ברוב המקרים, ובכך לפשט את הלוח והציוד המותקן בו.

14. הסבר איזה סוגי סלקטיביות אתה מכיר, פרט ונמק על כל סוג?

תשובה: קיימים 4 סוגי סלקטיביות:

- סלקטיביות בזרם- הזרם הנקוב של מבטח חייב היות קטן מהזרם הנקוב של מבטח המותקן לפניו (בכיוון מקור ההזנה).
- סלקטיביות בזמן- פעולת המפסקים תהיה סלקטיבית כאשר תגובת המבטח המותקן בכיוון מקור ההזנה צריכה להיות מושהית, כלומר מפסק הזרם יהיה מסוג B בעל יחידת השהיית זמן ויכולת עמידה בקצר Icw.
- סלקטיביות באנרגיה- מתבססת על האנרגיה המתפתחת במפסקים בעת הופעת זרם קצר בעוצמות גבוהות מאוד, האנרגיה במפסק קובעת את מהירות ההפסקה של המגעים
- סלקטיביות לוגית- מתבססת על מנגנון הפסקה אלקטרונית בין מפסקי הזרם במעלה ובמורד הזרם, כאשר יש תקשורת בין המפסקים והם קובעים מי ינתק ראשון (zone selectivity)

מערכות אל-פסק

1. מהם שיטות חיבור מערכות אל פסק, ומה ההבדל בניהם?

תשובה: ישנם 2 סוגי UPS:

- UPS מסוג online: אספקת המתח לצרכן מתבצעת באופן קבוע ע"י סוללות וממיר DC ל-AC. וכאשר יש הפרעה במתח האספקה הצרכן אינו מרגיש הפרעה זו. (רוב המערכות המותקנות הם מסוג זה)
- UPS מסוג offline: ההזנה הקבועה לצרכן באה ישירות ממתח AC, וכאשר המערכת מבחינה בתקלה המפסקים הסטטיים מחברים את ההזנה DC של הסוללות והצרכן מוזן ממיר המתח הישר למתח החילופין, החלפה זו מתרחשת תוך מספר מילי שניות.

2. סווג את סוגי מערכות אל פסק?

תשובה: מסווגים את מערכות האל-פסק למספר סוגים:

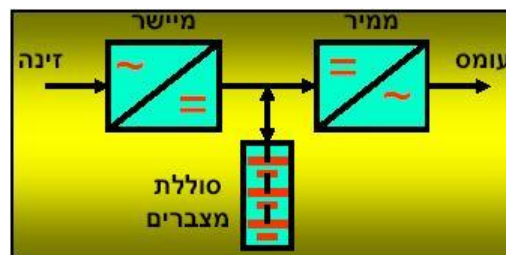
1. לפי אופן החיבור לזינה:
 - א. חיבור קבוע באמצעות מפסק.
 - ב. חיבור באמצעות תקע ובית תקע (מוגבל ל-16A).
2. בשתי השיטות הנ"ל קיים חיבור בין מוליך האפס של מקור הזינה והמוצא.
3. לפי החיבור בין מוליך האפס במבוא לבין מוליך האפס במוצא (קיים או לא).
3. מעקף התפעולי- האם קיים מעקף תפעולי או לא.
4. מעקף לתחזוקה- האם קיים מעקף לתחזוקה או לא.

3. בהמשך לשאלה 2 הסבר את הדרישות לאמצעי הבטיחות במערכות אל פסק?

תשובה: נגדיר לפי החוק את אמצעי הבטיחות לפי סווג המערכת:

- במערכת אל פסק המוזנת בחיבור קבוע באמצעות מפסק וגם קיים בה חיבור גלווני בין האפס במבוא ובמוצא, ישמש חיבור זה כהארקת שיטה של המערכת ויקוימו התנאים הבאים:

1. לא יותקן חיבור הארקה נוסף למוליך האפס N.
2. לא תופסק רציפות מוליכי האפס N מרשת הזינה ועד למערכת האמורה, לרבות מעקף תפעולי אם ישנו.
3. בזינה תלת פאזית יהיה מפסק תלת קוטבי בלבד, בזינה חד פאזי יהיה מפסק חד קוטבי בלבד.
4. ליד פס האפס בכל לוח במסלול הזינה של המערכת יותקן שילוט: "זהירות – מוליך האפס משמש גם להארקת השיטה של מערכת אל פסק ואין להפסיק את רציפותו".



- במערכת אל פסק שבה קיימת הפרדה גלוונית בין האפס במבוא לאפס במוצא מותר להשתמש במוצא באחד מאמצעי ההגנה הבאים :
 1. הארקת שיטה אשר תחובר לאלקטרודה מקומית או לפס השוואת פוטנציאלים.
 2. הפרד מגן – חיבור מכשיר צריכה אחד.
 3. זינה צפה IT – עם משגוח שניתן לוותר עליו במידה וחישוב או ניסוי מראים שבמקרה קצר לגוף לא יופיע מתח עד 50V למשך יותר מ-5 שניות.
- במערכת אל פסק הניזונה באמצעות תקע ובית תקע עם חיבור גלווני יקוימו התנאים הבאים :
 1. אין להשתמש בהגנה על ידי הפרד מגן או זינה צפה.
 2. כאשר התקע המזין במצב "שלוף" : חישוב או ניסוי יוכיחו שבמקרה של קצר, מפל המתח על מוליכי הארקה או מוליכי ההגנה, לא יעלו על 50V למשך 5 שניות, בנוסף יובטח שבמידה ויופיע מתח העולה על 50V בין פין הארקה לבין פין האפס של התקע, תופסק המערכת באופן אוטומטי ללא השהיה.
- מניעת מתח חוזר מסוכן – מערכת אל פסק ואופן התקנתה יבטיחו שכאשר נפסקת הזינה או התקע המזין נשלף, לא יופיע מתח חוזר העולה על 50V בין שני הדקים כלשהם של המבוא לרבות הדק הארקה למשך זמן של יותר מ-5 שניות.
- אמצעי בטיחות בזמן קצר – במערכת אל פסק יקוימו הדרישות הבאות כאשר נוצר קצר לגוף בצידוד מסוג 1 :
 1. כשהמוצא מוזן מרשת אספקה באמצעות מעקף כלשהו ינותק המעגל המזין תוך 5 שניות.
 2. כשהמוצא מוזן על ידי הממיר של המערכת – לא יופיע מתח מגע העולה על 50V.
- שילוט ואזהרה – במערכת אל פסק תצויד בשלט במקום בולט לעין :

"זהירות – מערכת אל פסק, קיים גם מתח לאחר הפסקת הזינה!"

ליד בתי תקע ומפסקים המוזונים ממערכת אל פסק ייקבע שלט :
"מוזן ממערכת אל פסק."
- בדיקות – מתקן המוזן ממערכת אל פסק ייבדק לפני הפעלתו הראשונה, הארקת השיטה של המערכת תיבדק אחת ל-5 שנים.

גנרטורים

1. הסבר כיצד יש להתקין גנרטור לפי החוק במתקן חשמלי?

תשובה: הוראות החוק מתייחסות לגנרטור תלת פאזי או חד פאזי בהספק כלשהו

במתח נמוך (מעל 50V ועד 1000V) ובתדירות 50Hz.

מפסק ראשי – כל גנרטור חייב במפסק ראשי הניתן לנעילה במצב מופסק בלבד.

חלקים מסתובבים בגנרטור – חייבים להיות מוגנים בפני נגיעה מקרית.

לוחות זיהוי – יש לשמור על לוחות הזיהוי של הגנרטור הכוללת את כל הפרטים שלוו, הלוחית

צריכה להיות במקום נוח לקריאה, בלוח ראשי במתקן יש להתקין שילוט כי קיים גנרטור.

כיוון זרימה של האוויר – כאשר המנוע והמקרן בגנרטור מורכבים על בסיס משותף, צריך

המאוורר לדאוג לזרימת אוויר מכיוון המנוע אל המקרן.

מניעת מטרדים – אסור לגנרטור והמנוע שלו לגרום לרעש או רעידות אשר יהוו מטרד.

מפסק מחלף – מבנה מפסק המחלף חייב להבטיח שהמתקן החשמלי המיועד לקבל את אספקת

הזרם מהגנרטור ינותק מרשת ח"ח לפני שהוא מחובר לגנרטור והפוך. יש לחברת את המפסק

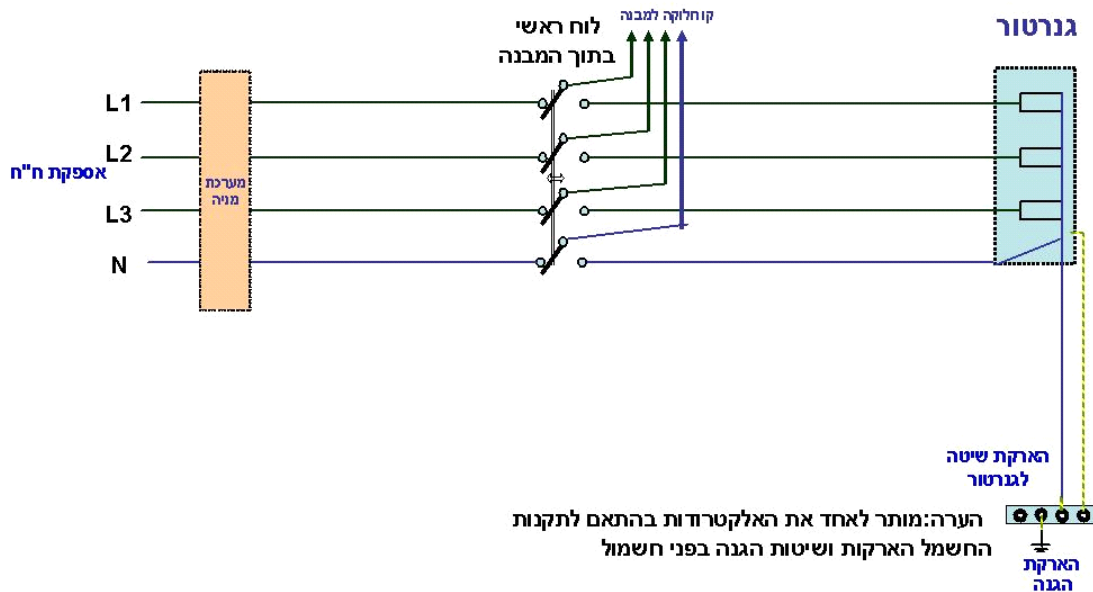
המחלף בטור למפסק הזרם כאשר הגנרטור משמש להזנת מתקן בשלמותו.

מספר הקטבים במפסק מחלף – במתקן חד מופעי מפסק מחלף יהיה תמיד דו קוטבי, במתקן תלת

מופעי מותר תמיד להתקין מפסק מחלף 4 קוטבי.

הגנה בפני חישמול במתקן המוגן בהארקת הגנה

מפסק מחלף ארבע קוטבי

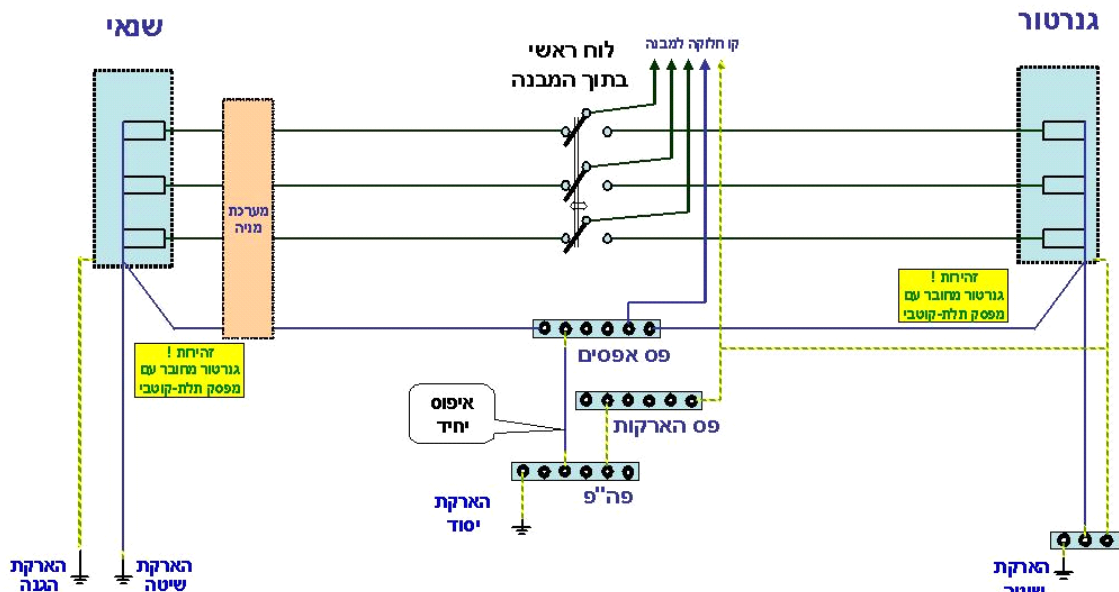


מקרים בהם ניתן להתקין מפסק מחלף תלת מופעי:

א. מתקן המוגן על ידי איפוס – החיבור בין מוליך האפס של קו הזינה מהרשת למבנה לבין פס השוואת פוטנציאלים, נעשה בלוח הראשי או צמוד אליו, נקודת האפס של הגנרטור מחוברת באופן קבוע לפס בלוח הראשי.

הגנה בפני חישמול בשיטת האיפוס (TN-C-S)

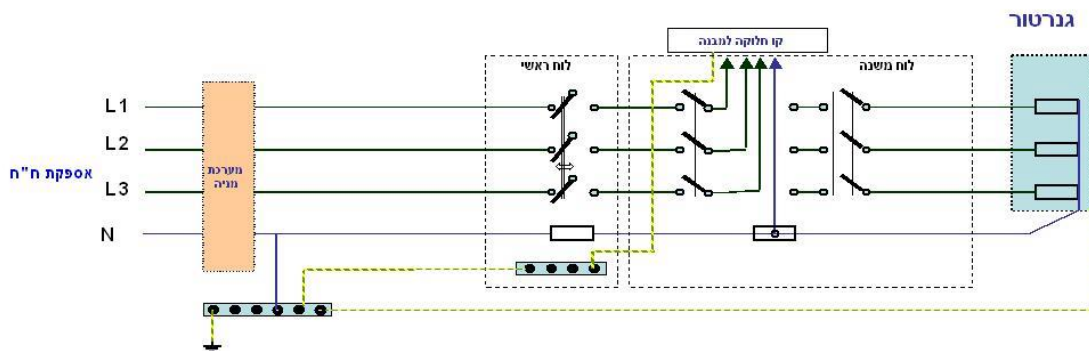
מפסק מחלף תלת קוטבי



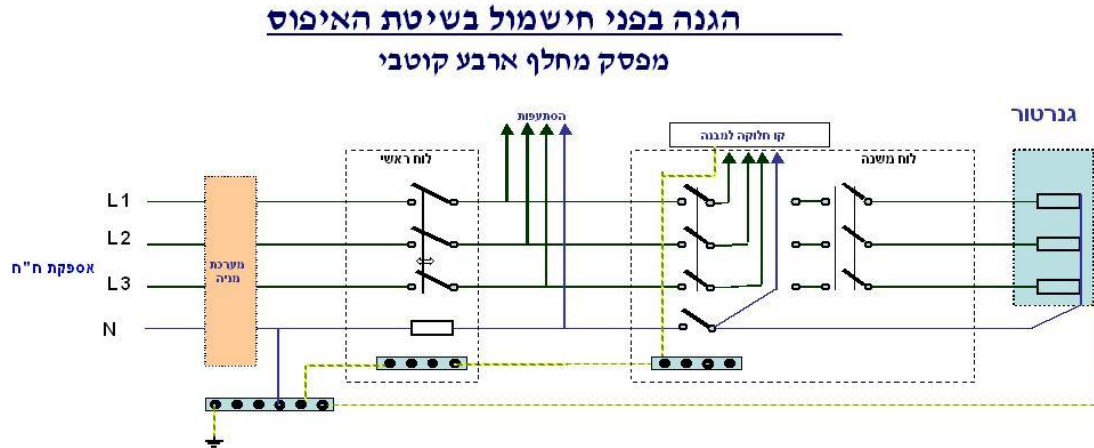
ב. מתקן המוגן על ידי איפוס – המפסק מחלף נמצא בלוח משנה, הלוח הראשי והלוח המשנה באותו מבנה וקיים קו הארקה מיוחד מהלוח הראשי ללוח המשנה ובקו זה אין חיבור בלוח אחר או הסתעפות.

הגנה בפני חישמול בשיטת האיפוס

מפסק מחלף תלת קוטבי



אם מפסק מחלף מותקן בלוח משנה ואחד התנאים שפורטו אינו מתקיים, יש להתקין לחיבור הגנרטור מפסק מחלף ארבע קוטבי.



ג. מתקן המוגן על ידי הארקת הגנה – ועומד בכל הדרישות המפורטות:

- השנאי המזין הוא בלעדי למתקן.
- חתך מוליך הארקת השיטה של הגנרטור לא יהיה קטן מחתך מוליך הארקת השיטה של השנאי.
- אורכם המרבי של כל אחד ממוליכי הארקת השיטה של השנאי או גנרטור לא יעלה על 50 מטר.
- חתך של מוליך האפס של הגנרטור יהיה כחתך מוליך האפס של השנאי.
- מוליכי הארקת השיטה של השנאי והגנרטור יהיה נפרדים עד למקום חיבורם לפס השוואת פוטנציאלים או אלקטרודת הארקה ובתנאי שכל חיבור יהיה בהדק נפרד.
- במוליכי האפס של השנאי והגנרטור לפני ההסתעפות הראשונה, יותקן אבזר המאפשר ניתוק האפס באמצעות כלים בלבד, מיקום האבזר יאפשר גישה נוחה אליו.

סינכרון גנרטורים

2. הסבר מהן הדרישות של חברת חשמל לחיבור גנרטור פרטי בסנכרון?

תשובה: להלן דרישות טכניות המוטלות על המבקש להתחבר עם גנרטור סנכרון לרשת ח"ח:

- יש להתאים את מערכות ההגנה, הפיקוד והבקרה של הגנרטור לסוג הרשת אליה הוא מיועד להתחבר בהתאם לתנאי הרשיון שניתנו לו על פי חוק משק החשמל.
- מפסק הזרם הראשי בנקודת החיבור לרשת, יצויד בהגנות הבאות, כולם או חלקם, לפי העניין: הגנת יתרת זרם, הגנת זרם קצר, הגנה וואט מטריה, הגנת הספק חוזר לרשת והגנת חוסר מתח ברשת. כמו כן, יש להתקין מערכת בקרה כללית, מערכת לסינכרון אוטומטי ומערכת בקרה לסינכרון הרמוני. מערכות הבקרה והסינכרון יבטיחו את ניתוק המפסק הראשי בנקודת החיבור לרשת או את ניתוק הגנרטור במקרה של הפסקת חשמל מצד הרשת של חח"י.
- סינכרון הגנרטור לרשת יתבצע כאשר מתח הרשת יהיה יציב במשך 3 דקות בגבולות מתח נומינלי $\pm 10\%$.
- מערכת ויסות המתח ימנעו שינוי במתח העולה על 3% ממתח הרשת, או שינוי מתח גדול מ-6% ממתח הרשת, כאשר השינוי יהיה איטי ויימשך 5 דקות לפחות.
- מערכת ההגנה תנתק את הגנרטור מהרשת בהשעיית זמן של שנייה אחת, כאשר התדר ברשת חח"י יוצא מתחום התדר של 47-52.5 הרץ.
- רגישותה של מערכת ויסות הגנרטור לשינוי עומס כתוצאה משינוי תדר תהיה בגבולות של עד 4% כולל. היצרן הפרטי יבטיח שהגנרטורים שלו לא ייגרמו לעיוותים במתח הרשת ושהזרמים ההרמוניים בנקודת החיבור לא יחרגו מהערכים בטבלה הבאה:

$h < 11$	$11 < h < 17$	$17 < h < 23$	$23 < h < 35$	$35 < h$	סדרת ההרמוניות
4.0	2.0	1.5	0.6	0.4	אחוז הזרם ההרמוני
ההרמוניות הזוגיות מוגבלות ל-25% מהערכים לעיל					

- הזרם ההרמוני נמדד כאחוז מהזרם הנומינלי של מתקן החשמל או מהזרם הנומינלי של הגנרטור הפרטי (הגבוה מבין שניהם).
- סה"כ רמת ההרמוניות בזרם בנק' החיבור לרשת לא תחרוג מ-5% TDD, ורמת ההרמוניות במתח בנק' החיבור לרשת לא תחרוג מ-8% THD.
- שקיעות מתח והפרעות חולפות יתאימו לתקן האירופי EN-50160.
- מקדם ההספק בנק' החיבור של היצרן הפרטי יקבע על ידי חח"י לאחר בדיקה פרטנית, אך לא יהיה קטן מ-0.9.

- הגנרטור יסונכרן לרשת החשמל הארצית, כאשר המתח שלו יהיה בגבולות המתח הנקוב של הרשת $\pm 10\%$, תדר נקוב של הרשת $\pm 1\%$, וזווית חשמלית $\pm 10\%$.
- מתקן חשמלי של יצרן פרטי ייבדק לפני הפעלתו הראשונה בבדיקה שגרתית, ובנוסף יבדקו מערכות ההגנה והבקרה בנקודות החיבור של הגנרטור לרשת וכן מערכת הסנכרון.
- ממסרי ההגנה כגון: זרם קצר, סטיות מתח, סטיות תדר, הספק חוזר וכו' יבדקו בנפרד. ההגנות יופעלו על מפסק הזרם המנתק את המתקן מהרשת.
- מערכת הסנכרון תיבדק על ידי מכשיר סנכרון מכויל במעבדה מוסמכת, אשר יוכיח שהמפסק מקבל פקודת סגירה בתנאי הסנכרון שפורטו לעיל.

3. הסבר את תהליך העברה השקטה בגנרטור סנכרון ועל איזה בעיות צריך להתגבר?

תשובה: הסבר תהליך מערכת העברה שקטה –

א. בהפסקת חשמל רגילה כאשר הד"ג במצב STAND BY – הפעלת הד"ג, ניתוק המפסק מצד חברת החשמל, הכנסת מפסק הזרם מצד הגנרטור לאחר יציבות מתח ותדר. בחזרת הרשת – השהייה ניתנת לכיוון לאימות תקינות הרשת. הכנסת מפסק ח"ח בסינכרון לגנרטור, הורדת העומס בצורה מודרגת מהגנרטור, ניתוק מפסק הזרם של הגנרטור והדממת הדיזל לאחר השהיית קירור.

ב. הפעלה מאולצת:

הפעלת הדיזל גנרטור, סינכרון הד"ג לרשת, העמסתו בצורה מודרגת ומבוקרת הן אקטיבית (KW) והן ריאקטיבי (KVAR, COSØ), ניתוק מפסק ח"ח כאשר השאיפה לנתקו כאשר העומס עליו מינימלי.

במידה ומעוניינים לעבוד במקביל לרשת ללא ניתוק, יש להוסיף ממסר LOM.

2. הבעיות הטכניות שיש להתגבר עליהן:

א. לאלץ את הדיזל גנרטור להגיע למצב של סינכרון –

אילוץ תדר

אילוץ זווית

אילוץ מתח

ב. שליטה בזרמים האקטיביים (KW).

ג. שליטה בזרמים הריאקטיביים (KVAR).

שליטה בזרמים האקטיביים מתבצעת ע"י פעולה על ווסת המהירות. שליטה בזרמים הריאקטיביים מתבצעת ע"י פעולה

על ווסת המתח, כלומר, התנאים המוקדמים לביצועים:

- ווסת מהירות אלקטרוני אשר יש לו אפשרות לקבל פקודות ממקור חיצוני.

- ווסת מתח כנ"ל.

- בקר KW מותאם לסעיף א.

- בקר KVAR מותאם לסעיף ב.

כבלים

1. פרט את סוגי הכבלים המשתמשים למתח נמוך.

תשובה: מסווגים את סוגי הכבלים לפי סוג הבידוד שלהם.
 סוגי בידוד: חומרים פלסטיים כדוגמת XLPE פוליאיתילן מוצלב, ו-PVC פולי ויניל כלוריד.
 סוג נוסף של בידוד נייר רווי שמן, ובידוד EPR גומי אתילן-פרופילן-ראבר.
 לפי התקן הישראלי קיימים כבלים חסיני אש מהסוגים הבאים: כבל "כבה מאליו" כבל "מעכב אש, כבל "נטול הלוגן", וכבל "חסין אש ונטול הלוגן".

2. הסבר את המושג N2XY.

תשובה: לפי התקן הגרמני N – הכבל לפי סימון תקן VDE, 2X – מגדיר בידוד פוליאיתילן מוצלב, Y – מגדיר בידוד PVC

זרמי קצר

1. איך אפשר לחשב את זרם הקצר בנקודה כלשהי במתקן?

תשובה: ישנם מספר שלבים בחישוב זרם הקצר:

- הצגת רשת החשמל על ידי מעגל התמורה עם סימון נקודת הקצר.
- חישוב עכבות של כל רכיבי המעגל (כבלים וכו') בד"כ נתונים של רכיבי לוקחים מדפי יצרן.
- חישוב זרם הקצר בנק' הקצר על ידי הנוסחה הבאה:

$$I_K = \frac{1.1 \times U_n}{\sqrt{3} \times Z_K}$$

2. נתון שנאי בהספק 630kVA, מתח הקצר באחוזים שווה 6%, חשב את זרם הקצר התלת

פאזי על הדקו?

תשובה: הנוסחה לחישוב זרם קצר בהדקי השנאי היא:

$$I_K = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times U} \times \frac{100}{U_{K\%}} = I_n \times \frac{100}{U_{K\%}}$$

נציב בנוסחה ונקבל תוצאה:

$$I_K = \frac{630 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400} \times \frac{100}{6} = 15.15 \text{ KA}$$

3. הסבר לאיזו מטרה מחשבים את זרם ההלם במתקן?

תשובה: חישוב זרם ההלם משמש לקביעת עמידות דינמית של הציוד החשמלי, בעיקר עבור פסי צבירה שבהם יש לחשב כוחות אלקטרו דינמיים הפועלים בין הפסים, בנוסף מחשבים זרם הלם עבור מפסקים בעלי השהייה כדי לבדוק את יכולת העמידה שלהם בזרם הלם.

תכנון מתקני חשמל

מתקן רפואי

1. תאר תכנון של מערכת חשמל במתקן רפואי.

תשובה: אתר רפואי יסווג לקבוצות לפי השימוש הנעשה בו, כמפורט להלן:

קבוצה 0 - אתר שנתקיים בו אחד מאלה: אין בו שימוש במכשיר רפואי חשמלי

מטופל אינו יכול לבוא במגע עם מכשיר רפואי חשמלי לכשיר הרפואי החשמלי שהמטופל בא במגע איתו יש מקור זינה עצמי, כגון סוללה או מצבר.

קבוצה 1 – אתר שמופעלים בו מכשירים רפואיים חשמליים הניזונים מרשת אספקה ושמטופל

יכול לבוא במגע איתם בעת בדיקה או טיפול, והפסקת הפעולה של מכשיר כאמור מכל סיבה שהיא או חזרה בלתי מבוקרת של הזינה אינן עלולות לסכן את המטופל.

קבוצה 2 – אתר שמופעל בו מכשיר רפואי חשמלי החיוני למטופל בעת ניתוח, החייאה, הנשמה וכדומה, החייב להמשיך בפעולה, גם במקרה של קצר ראשון לגוף המכשיר או לחדש את פעולתו לאחר כשל בזינה הרגילה תוך זמן מוגדר.

סיווג השימוש בכל אתר רפואי ייקבע באחריות הארגון המפעיל את האתר.

הזנת אתרים רפואיים:

רשת החלוקה באתרים רפואיים תהיה בעלת 5 מוליכים, 3 פאזות, אפס והארקה. מוליך הארקה יחובר אל פס השוואת פוטנציאלים בכל מבנה ואינו חייב להיות כלול בכבל האספקה.

אתרים רפואיים יוזנו בשיטות הבאות בלבד:

- זינה בעלת הארקה שיטה TT או TN-S.

- זינה צפה IT.

הערה: באספקה מסוג TN-S יחובר מוליך הארקה לפס האפס בלוח הראשי בלבד.

לוח לזינת אתר רפואי:

- כל לוח לאתר רפואי ימוקם מחוץ לאתר אך בקרבתו.

- לוח יכול להזין כמה אתרים רפואיים מקבוצה 0,1 ואתר שאינו רפואי בתנאי:

1. שתקלה באתר לא רפואי או בשדה שלו בלוח, לא תגרום להפסקת הזינה באתר רפואי אחר.

2. שתקלה באתר רפואי או בשדה שלו בלוח, לא תגרום להפסקת הזינה באתר רפואי אחר.

- מיקום הלוח יאפשר גישה נוחה לגורמים המוסמכים, לרבות הצוות הרפואי, לשם תפעולו.
- בנוסף הלוח יהיה מובטח בפני אנשים שאינם מוסמכים לכך.

- לוחות ושדות לאתרים רפואיים יסומנו בצורה בולטת לעין בהתאם לייעודם ושייכותם.

לוח לזינת קבוצה 2:

- אתר מקבוצה 2 יוזן מלוח בלעדי עבורו או משדה נפרד בלוח אחר.

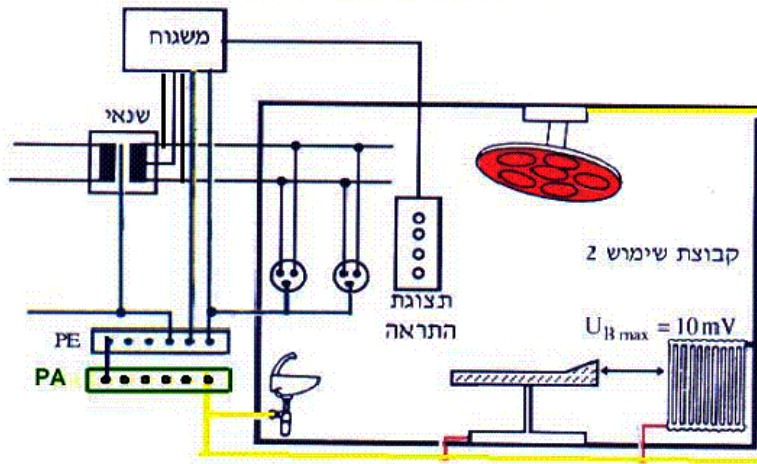
- בין השדות יותקנו מחיצות, כיסויי הפרדה וכו'.

- לוח לקבוצה 2 יוזן מהלוח הראשי של המבנה או מלוח משנה המזין רק אתרים רפואיים

בתנאי: שתקלה באתר מקבוצה 0 או 1, לא תגרום להפסקת הזינה באתר מקבוצה 2.

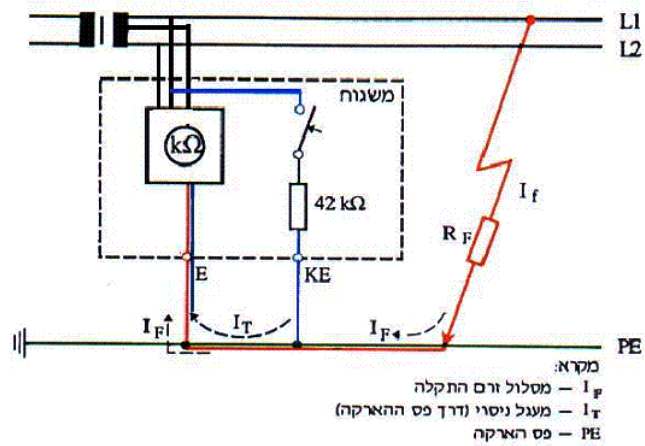
- בכל לוח או שדה כאמור יותקן פס הארקה ופס השוואת פוטנציאלים מקומי PA משלו.

תרשים עקרוני לחיבור הארקות והשוואת פוטנציאלים מקומית



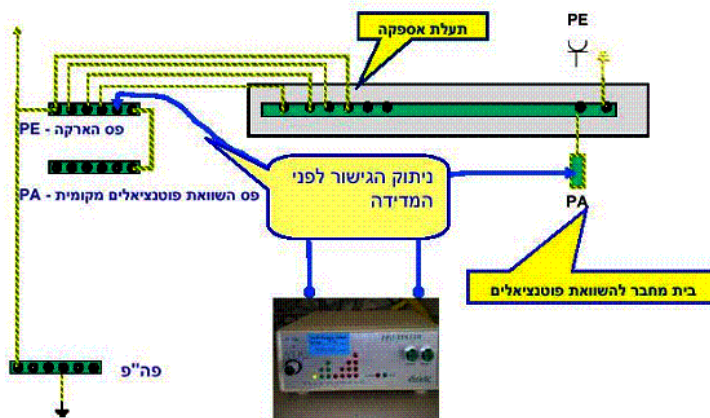
מקרא:
 PE – פס הארקה
 PA – פס השוואת פוטנציאלים מקומית

תרשים דוגמא – תפקוד המשגוח בעת ליקוי בבידוד



מקרא:
 I_f – מסלול זרם התקלה
 I_T – מעגל ניסוי (דרך פס הארקה)
 PE – פס הארקה

בדיקת מעגל הארקה

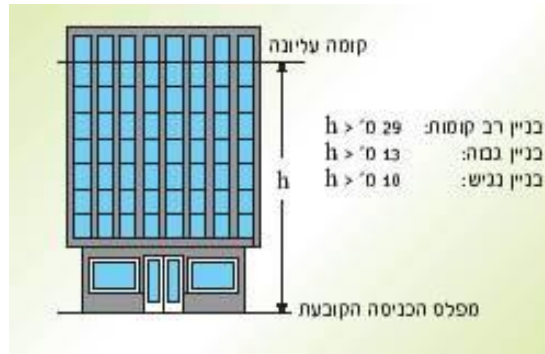


מתקן חשמל ציבורי בבניין רב קומות**2. מהן הדרישות למתקן חשמל ציבורי בבניין רב קומות?**

תשובה: נגדיר רב קומות בהתאם לחוק התכנון והבניה:

בניין גבוה: בניין אשר גובה המפלס של רצפת קומתו העליונה מעל מפלס הכניסה הקובעת לבניין עולה על 13 מטרים.

בניין רב קומות: בניין אשר גובה המפלס של רצפת קומתו העליונה מעל מפלס הכניסה הקובעת לבניין עולה על 29 מטרים.



חדרי חשמל: חדרי חשמל בבנייני רב קומות סווגו לפי ייעודם לחמישה סוגים כאשר כל סוג

ישמש לצורכי המטרה שהוגדרה עבורו.

הסוגים השונים של חדרי החשמל:

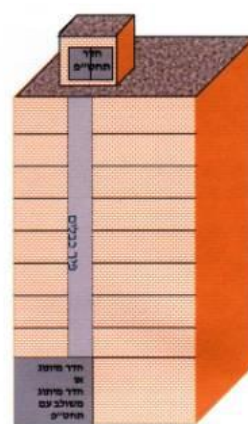
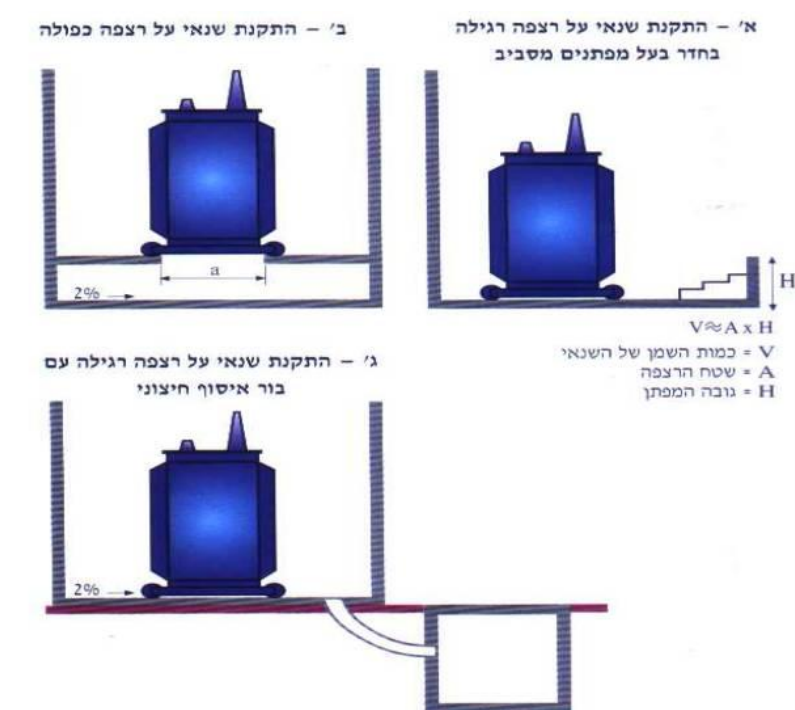
- חדר המיועד להתקנת לוח חלוקה למתח גבוה ו/או למתח נמוך.
- חדר המיועד להתקנת לוח חלוקה למתקן חירום.
- חדר המיועד להתקנת שנאי עם לוחותיו או בלעדיהם.
- חדר המיועד להתקנת ערכת גנרטור והלוח שלה.
- חדר המיועד להתקנת מצבר מרכזי.

דרישות כלליות לחדרי החשמל:

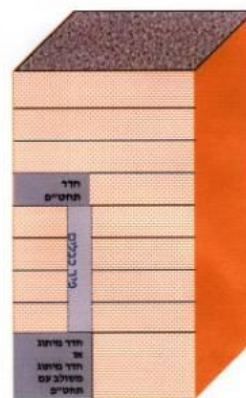
- גובהו יהיה 2 מטרים לפחות; מעבר שירות ותחזוקה יהיה בגובה של 1.80 מטרים לפחות.
- יהיה בו אוורור מספיק למניעת הצטברות גזים הנפלטים ממצברים ולסילוק החום הנוצר עקב פעולת הציוד המותקן בו.
- לא יותקנו בו מערכות כגון צנרות, מובלים וכבלים שאינם משמשים אותו.
- תהיה לו דרך מילוט שאורכה, עד ליציאה כלשהי מהחדר, לא תעלה על 40 מטר.
- ניתן יהיה להגיע אליו בכל עת, בקלות ובבטחה, ישירות מחוץ למבנה או דרך שטח ציבורי סמוך או תא ביניים, אך לא תהיה גישה ישירה לחדר חשמל מחדר מדרגות המיועד לשמש כדרך מילוט.
- הקיר, הרצפה והתקרה של חדר חשמל יהיו מחומר בלתי דליק, עמיד אש למשך 120 דקות לפחות (ת"י 755).
- דלת חדר חשמל תהיה עמידת אש למשך 30 דקות לפחות.
- הדלת תיסגר אוטומטית כך שפתיחתה מבחוץ תחייב שימוש במפתח ואילו פתיחתה מבפנים תהיה חופשית.

דרישות נוספות לחדר המשמש שנאי: בחדר חשמל בו מותקן שנאי המכיל נוזל בידוד וקירור, יהיה גובה מפלס רצפת החדר מתחת למפלס הגישה לרכב כיבוי אש (עד 4 מטרים). כניסת אויר חיצון לחדר החשמל בו מותקן השנאי תהיה דרך פתחים או חלונות או תעלת אויר בלעדית לחדר, פליטת אויר מהחדר אל מחוץ לבניין תהיה ישירות דרך פתחים או חלונות או באמצעות תעלה בלעדית. הפתחים החלונות או התעלה לא יעבירו אש ועשן לחללים אחרים בבניין, פתחי אוורור וחלונות יוגנו באמצעות רשתות/רפפות כדי למנוע חדירת גופים זרים או כניסת אנשים.

בחדר החשמל כאמור, תהיה אפשרות בטוחה לקליטת כל כמות נוזלי הבידוד והקירור אשר מכילים השנאים. בחדר שנאים לא יותקנו יותר מ-3 שנאים וזאת בגלל מטען האש אשר יכול להתפתח בעת שריפה. הגישה מתוך המבנה לחדר החשמל תהיה דרך מסדרונות ותאי ביניים.



A
תחסי"פ על הגג



B
תחסי"פ בקומה גבוהה

איור מס' 1

דוגמא של חדר תחסי"פ וחדר מיתוג בבניין רב קומות

לאחרונה התחילו להקים תחסי"פ בקומות הגבוהות של בנייני רב קומות, הדרישות להרמת ציוד הן: מנוף חסיי מחוץ לבנין (נדרש שטח מינימאלי לעמדת המנוף, להרמת הציוד עד 100 מ' ומשקל 4ט"י).

מתקן הרמה פנימי (פיר הרמה ייעודי שמידותיו לפחות 2.5 X 1.4 מ' באישור משרד התמי"ת מתקן הרמה חיצוני קבוע (מאושר ע"י משרד התמי"ת).

מעלית משא מתאימה למשקל השנאי ומידות מינימאליות 2.5 X 1.4 מ'.

תיול במתקן ציבורי: פירים ותעלות המיועדים לכבלי חשמל, כולל מחסומי האש שלהם, יהיו מחומרים בהתאם לנדרש בתקן הישראלי ת"י 921 בדבר עמידותם בתנאי שריפה. מעבר תיול דרך קיר או תקרה, יצויד, בתחום המעבר, במחסום אש אשר יחסום גם רווחים בין גידים וכבלים, מחסום אש כאמור יהיה עמיד באש לפחות בהתאם לנדרש לגבי הקיר או התקרה אותם הוא חוצה, אך לא פחות מ-90 דקות. כבל בהתקנה סמויה בקיר יותקן במובל בלבד.

מתקן חירום: מערכות החירום יוזנו באמצעות לוח חירום שיותקן בחדר חשמל מתאים, לוח החירום יזון ישירות מהאספקה הראשית של הבניין ויוזן באספקה חלופית ישירות מגנרטור. מתקן חירום צריך לתפקד גם בזמן שריפה, קיימות מערכות שחייבות לתפקד בזמן שריפה למשך 90 דקות לפחות.

מתקן חירום – צרכנים המחוברים ללוח חירום:

- הגברת לחץ מי כיבוי.
- אוורור לחדרי מדרגות.
- סילוק עשן וחום.
- מעליות המיועדות לפינוי ו/או שימוש הכבאים לרבות הפיר וחדר המכונות שלהן.
- גילוי אש.
- כריזה.
- דלת אוטומטית.
- משאבת דלק לגנרטורים.
- תאורת חירום.
- סימון תאורה למניעת מכשולי טיסה מעל הבניין.

מתקן חירום – תפקוד בשריפה:

- מערכות גילוי אש, כריזה, דלת אוטומטית, תאורת חירום, משאבות דלק לגנרטורים, מערכת סימון ותאורה למניעת מכשולי טיסה מעל הבניין רב קומות שבו מיתקן החירום - 30 דקות לפחות.
 - מערכות הגברת לחץ מי כיבוי, אוורור לחדרי מדרגות, סילוק עשן וחום, מעליות המיועדות לפינוי אדם או לשימוש הכבאים, לרבות הפיר וחדר המכונות שלהן והחיבור בין הגנרטור לבין לוח החירום - 90 דקות לפחות.
- תאורה באזור ציבורי של בניין רב קומות:** תאורה כללית באזור ציבורי של הבניין, כולל בדרכי המילוט, תוזן משני מעגלים לפחות, כך שהפסקת אחת מהם לא תגרום לעלטה בקטע כלשהו בבניין. מנורה בדרך מילוט תוגן בפני נגיעה מקרית ותהיה בדרגת הגנה IP3X3 לפחות.
- תאורת התמצאות (חירום) באזורים ציבוריים של הבניין תוזן מלוח חירום ללא חיבור מפסק מגן במעגל המזין. כאשר מתרחש כשל באספקה מלוח חירום תופעל אוטומטית תאורת ההתמצאות. מנורות תאורת ההתמצאות יהיו בהתאם לתקן הישראלי ת"י 20 חלק 2.22.

מתקן חשמל בבריכה

3. מהן הדרישות למתקן חשמלי בבריכה?

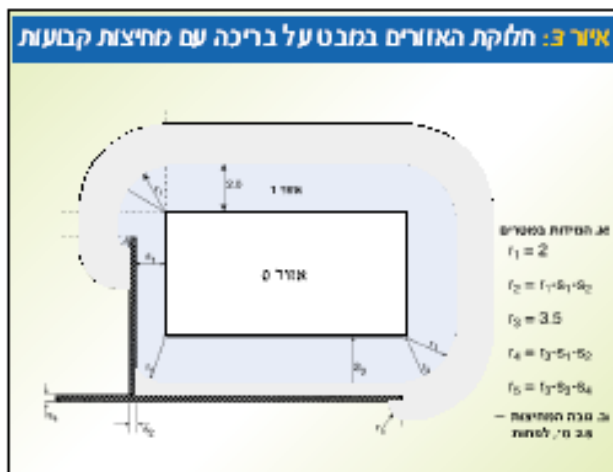
תשובה: להלן הדרישות העיקריות כפי שמופיעות בחוק החשמל:

הגדרות/פרושים:

אזור 0 – חלל פנים הבריכה, לרבות דופןותיה, עד לגובה שפת הבריכה שממנו גולשים המים החוצה.

אזור 1 – החלל בגובה 2.5 מעל: אזור 0, רצועת שטח ברוחב 2.5 מטר סביב שפת הבריכה, מקפצות מגלשות לרבות שטח ברוחב 1.5 מטרים מסביב להם, הגובה יימדד מהמפלס שבו עשויים להימצא בני אדם.

אזור 2 – החלל בגובה 2.5 מעל לרצועת שטח ברוחב 1.5 מטרים מגבול אזור 1. (ראה דוגמאות באיורים הבאים):



אחראי – אחראי על תפעול הבריכה.

בריכה – בריכת שחיה, בריכת נוי, מזרקה, בריכת מרפא וכיוצא בזה.

מזרקה – בריכת מים המיועדת למרות נוי.

מפעיל – אדם שהודרך על ידי האחראי בדבר הוראות הבטיחות ותפעול הבריכה.

מתח בטיחות נמוך מאוד – SELV-Safety Extra Low Voltage – מתח השורר בין שני מוליכים

באותה שיטת אספקה, שאינו עולה על: 12 וולט זרם חילופין, 30 וולט בזרם ישר.

מתח נמוך – מתח העולה על 50 וולט בזרם חילופין או 120 וולט בזרם ישר ואינו עולה על 1000

וולט בזרם חילופין או 1500 וולט בזרם ישר בין שני מוליכים כלשהם באותה שיטת אספקה.

פס השוואת פוטנציאלים – פס שאליו מתחברים מוליכי הארקה ומוליכי חיבור, פס זה יכול

לשמש גם כפס הארקה.

פס השוואת פוטנציאלים ראשי – פס השוואת פוטנציאלים שמחובר ישירות להארקת יסוד.

ציוד ייעודי – ציוד השייך למתקני בריכה, כגון: משאבות פילטרים וכו'.

הגנה בפני חשמול:

הגנה בפני חשמול במתקני חשמל בבריכות, מתקבלת על ידי התאמה בין מיקומו של הציוד החשמלי לבין אמצעי ההגנה בפני חשמול המתאים ליישום בכל אחד מהאזורים (אזור 0, אזור 1, אזור 2):

באזור 0 ובאזור 1:

- א. מתח בטיחות נמוך מאוד Selv, את מקור הזינה יש למקם מחוץ לאזורים האמורים.
- ב. יש להגן על הציוד בהתאם לאחת הדרישות הנ"ל: הגנה בפני מגע בחלק חי באמצעות כיסויים בעלי דרגות הגנה IPX2X, בידוד הציוד נבדק ועומד במתח של 500 וולט בזרם חילופין, למשך 60 שניות.

באזור 2:

- א. מתח בטיחות נמוך מאוד Selv.
 - ב. מפסק מגן הפועל בזרם דלף 0.03 אמפר, להגנה על כל אחד מהמעגלים הסופיים.
 - ג. הפרד מגן, להגנה על מכשיר אחד, השימוש בציוד המוגן בשיטה זו מותר רק שאין **אנשים** בבריכה.
- הערה: את מקור הזינה למתח נמוך מאוד או הפרד מגן יש למקם מחוץ לכל האזורים 0,1,2.

השוואת פוטנציאלים:

- בבריכה העשויה בטון מזוין או מתכת, יש לבצע הארקה יסוד ולצייד אותה בפס השוואת פוטנציאלים.
- במשטחים מחומר מוליך או בטון הנמצאים באזור 1, יש להתקין רשת מתכתית אשר תחובר לפס השוואת פוטנציאלים.
- יש לחבר באופן גלוי למערכת השוואת פוטנציאלים כל חלק מתכתי נגיש של הבריכה ושל המתקן הנמצא באזורים 0,1,2.

דוכן משקאות או מאכלים

- אסור למקם דוכן משקאות או דוכן למאכלים הכולל ציוד באזור 0 או 1.
- באזור 2 מותר למקם דוכן משקאות/מאכלים הכולל ציוד בתנאי שציוד זה ימצא במרחק העולה על 2 מטרים מהקו החיצוני של הדלפק אליו יש גישה לקהל.

מובל במתקן:

- מובל באזור 0 או באזור 1:** אסור להתקין מובל המשמש לתיוול חשמלי באזורים 0 או 1, אלה אם הוא מזין ציוד הנמצא באותו אזור או שהוא מותקן בקיר שמעליו שכבת בטון בעובי 5 ס"מ לפחות.
- מובל מתכתי:** יש לחבר באופן גלוי לפס השוואת פוטנציאלים, כל מובל מתכתי המותקן בכל האזורים 0,1,2, אלה אם מעל המובל יש שכבת בטון בעובי 5 ס"מ לפחות.
- קופסת הסתעפות:** אסור להתקין קופסאות הסתעפות באזור 0, מותר להתקין קופסת הסתעפות באזור 1 בתנאי שהיא משמשת מעגל במתח בטיחות נמוך מאוד Selv הממוקם באזור 0 או אזור 1.

מתקן חשמלי באתרים חקלאים

4. מהן הדרישות למתקן חשמלי באתרים חקלאים?

תשובה: להלן הדרישות העיקריות כפי שמופיעות בחוק החשמל:

תחילה ישנו הסבר ממשרד התשתיות לגבי הסיכון באתר חקלאי

באתרים חקלאים קיימות סכנות מיוחדות:

- בעלי חיים ההולכים על ארבע רגישים יותר לחשמול (בגלל מתח צעד).
- בעלי חיים זעירים כגון: עופות בלולים, תלויים במיוחד בפעולתם התקינה של מערכות שונות החיוניות לקיומן כגון: מערכות אוורור ומערכות לשמירה על טמפרטורה.
- קיימת בדרך כלל סכנת חשמול מוגברת לבני אדם ובעלי חיים בגלל התנאים הסביבתיים כגון: לחות יתר, אדים כימיים אגרסיביים, חומצות ומלח, דשנים ואבק כמו כן קיימת סכנה מוגברת של שריפה עקב הימצאות חומרים דליקים כגון: קש, תערובת מזון יבשה.
- מכל הסיבות הללו יש צורך בהחמרה בתנאי התקנתם של מתקני חשמל.

הגנה בפני חשמול:

1. אספקת החשמל במתקן חקלאי תהיה בשיטת TNC-S או TT או במתח נמוך מאוד. כאשר המתקן מוגן בשיטת TNC-S או TT יוגן בכניסת הזינה גם על ידי מפסק מגן אחד לפחות, זרם ההפעלה הנומינלי של המפסק מגן לא יעלה על 0.5 אמפר ויבטיח קיום של אחד התנאים הבאים לפחות:

- התנגדות לולאת התקלה תאפשר פיתוח זרם תקלה של פי 10 לפחות מזרם ההפעלה

$$R_{L,T} = \frac{230}{(10 \times I_d)} \cdot \text{הנומינלי של המפסק}$$

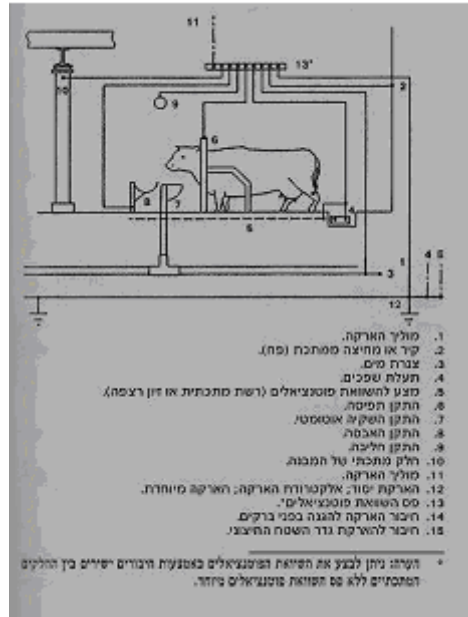
- התנגדות האלקטרודה המקומית למסה הכללית של האדמה R_e לא תעלה על הערך

$$R_e = \frac{24V}{I_f}, \text{ זהו זרם ההפעלה הנומינלי של המפסק.}$$

2. במתקן קבוע המוגן באמצעי הגנה TNC-S או TT יותקן מוליך הארקה גם אם כל המכשירים הם מסוג 2:

- א. כשנמצאים בעלי חיים בחצרים החקלאים תותקן מערכת להשוואת פוטנציאלים של כל הגופים המתכתיים ותעלות נוזלים כמתואר באיור בהמשך.
- ב. הוראות תקנה זו יוחלו גם על מבני מגורים או מבנים אחרים הצמודים למבנים חקלאים אם קיימת אפשרות של העברת מתח בניהם כגון על ידי צנרת או חלקי מבנה.

השוואת פוטנציאלים



התקנת מוליכי המתקן

מתקן קבוע: במתקן קבוע למעט לוחות חשמל יש להשתמש בכבלים בלבד. הכבלים יהיו מסוג "טנט" או "חטנט" לפחות כמשמעותם בתקן ישראלי ת"י 473 והמעטה החיצוני יהיה מחומר פלסטי.

הכבלים המובילים יותקנו כך שלא תהיה גישה אליהם לבעלי חיים או שיוגנו מכנית בפני בעלי חיים.

בחצרים חקלאים עבירים לכלי רכב יותקן כבל באדמה או באוויר בגובה על 5 מטרים מפני הקרקע וזאת לאחר שקיעתו בטמפרטורה 60 מעלות צלסיוס, אין להתקין הסתעפות מכבל אווירי בין שתי נקודות חיזוק שלו.

הערה לסעיף: התקנה הנ"ל נכתבה בשנת 1991 ולכן השיטה היא להשתמש בכבלים מהסוג הנ"ל, בנוסף בחוק החשמל כנראה ישנה טעות והכוונה היא ל-"חטנט" ולא "טחנט" כפי שרשום בחוק. אני מאמין שברוויזיה הבאה לחוק הסעיף ישתנה.

זינת ציוד נייד או מיטלטל: זינת ציוד נייד או מיטלטל תהיה בפתיל בעל תכונות אלה:

- מעטה מגומי או מנאופרן.
 - בידוד גומי בין המוליכים, למתח עד 750 וולט לפחות.
 - מוליכים שזורים גמישים.
- במקומות בהם קיימים תנאים מכניים או כימיים מסוכנים במיוחד יש להשתמש בפתילים מתאימים או פתילים עם הגנה מתאימה.

מיתוג והגנה על מוליכי המתקן: המתקן יתוכנן ויותקן כך שניתן יהיה למתג: את המתקן בשלמותו, כל מבנה בנפרד בשלמותו, חלקי מבנה מוגדרים, בשלמותם לפי הצורך. המיתוג יחול על כל מוליכי המופעים ויבוצע באמצעות מפסק שהגישה אליו תהיה נוחה ומצבו "מחובר" או "מופסק" יהיה ברור חזותית.

מיתוג מכשיר לשימוש עונתי: מכשיר המשמש לצרכים עונתיים בלבד כגון: משאבות לבריכה, או מכונה לאריזת תוצרת חקלאית, המחובר דרך קבע, ימותג באמצעות מפסק המיועד לצורך זה בלבד שיסומן בהתאם.

מניעת התנעה בלתי מבוקרת: מכשיר שהתנעתו הבלתי מבוקרת עלולה לגרום לסכנה, יצויד בהתקן המבטיח את ניתוקו במקרה של העדר מתח ויחייב פעולה ידנית להפעלתו המחודשת.

הגנה מפני זרם יתר: ההגנה בפני זרם יתר תותקן תמיד בתחילתו של המעגל בלוח. מעגלים עד 50 אמפר יוגנו באמצעות מפסקים אוטומטיים זעירים. מעגלים המשמשים לתאורה בלבד במתח נמוך יתוכננו ויותקנו לזרמים שלא יעלו על 16 אמפר.

דרגות הגנה של ציוד חשמלי: לוחות, שנאים ותיבות חיבורים וסעף יהיו בעלי דרגת הגנה IP54X לפחות או שיוגנו על ידי מיקומם בתיבות מתאימות או בחלל מופרד כגון חדרון. מכונות חקלאיות תהיינה בעלות דרגות הגנה של IP44X לפחות אולם תיבות חיבורים, בקרה ופיקוד הממוקמים על המכונות כאמור יהיו בעלי דרגת הגנה של IP54X לפחות.

תקעים ובתי תקע: לא יותקנו בתי תקע בקרבת חומרים דליקים. במקומות של סכנה מכנית מוגברת יותקנו בתי תקע המתאימים לת"י 1109 (בתי תקע תעשייתיים) במקומות של סכנת פיצוץ יותקנו בתי תקע מוגני פיצוץ המתאימים לת"י 786. באותם חצרים חקלאיים תשמר חליפות בין תקעים ובתי תקע המיועדים לאותו מתח.

מנורות: במקומות שבהם קיימת אפשרות של נגיעה במנורות תוך כדי תהליך העבודה החקלאית הן תהיינה מסוג 2, ובמקומות של סכנה מוגברת כגון: לחות או התזת מים הן תהיינה בדרגת הגנה IP54X לפחות.

מכשירי חימום: מכשירי חימום קורנים יותקנו במרחק מתאים מחומר דליק או מבעלי חיים, בהתאם להוראות היצרן, במרחק שלא יפחת מ-0.5 מטר. במקומות בהן מצויים קני קש או נסורת אין להשתמש במכשירי חימום קורנים. במתקנים לחימום רצפות או קרקע יותקנו הרחק מחלקי מבנה דליקים, מתקנים כאמור יהיו: מסוג 2 שגם המוליכים מבידוד כפול או מוזנים ממקור זינה נפרד במתח שאינו עולה על 24 וולט.

גדר חשמלית: מכשיר המזין גדר חשמלית וכן מוליכי החיבור המגיעים אליו לא יותקנו במקומות עם סכנת התלקחות. ביציאה של מוליכי החיבור ממבנה יותקן מחוץ למבנה התקן הגנה בפני מתחי יתר וברקים, ההתקן יותקן על גבי חומר בלתי דליק או כבה מאליו.

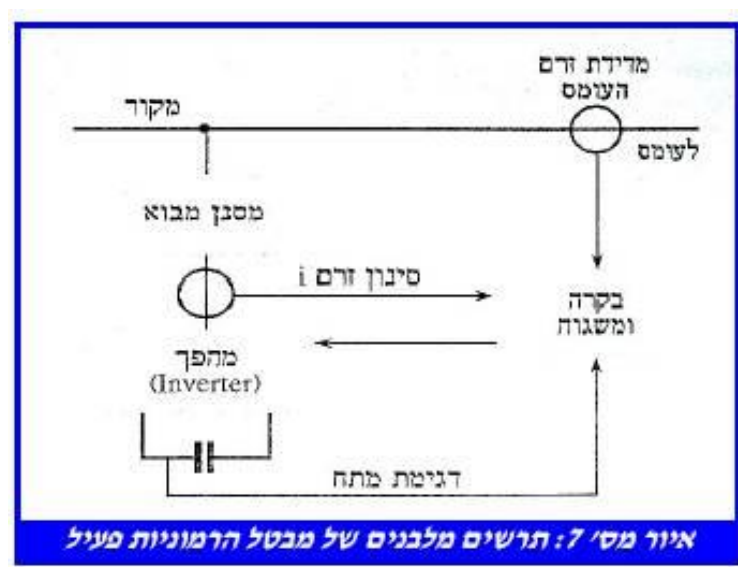
מערכת אוורור חיונית: אספקת החשמל למערכת אוורור חיונית במבנים לגידול בעלי חיים תבטיח פעולה תקינה של המערכת, ובמקרה תקלה תינתן התראה בלתי תלויה במתח הזינה של המערכת או תופעל מערכת חלופית. אם קיימים מספר מאוררים הם יוזנו ממעגלים שונים ויוגנו עם ממפסקי מגן שונים.

הרמוניות

1. הסבר מהן הרמוניות, ואיך ניתן לבטל אותן?

תשובה: הרמוניות הן עיוות של צורת גל המתח והזרם כתוצאה של חיבור עומסים לא ליניאריים לרשת החשמל. הגנרטורים המספקים אנרגיה לרשת החשמל מייצרים גל סינוס נקי במוצא שלהם. כל סטייה או שינוי מגל זה מוגדר כעיוות. עיוות הגל נוצר כתוצאה של עומסים לא ליניאריים לרשת החשמל. זרמים לא סינוסיאידלים הנוצרים על ידי עומס לא ליניארי גורמים גם לשינויים בגל הסינוסיאידלי של המתח, כלומר העומס הלא ליניארי מזריק למעשה זרם לא סינוסיאידלי הנופל על קווי אספקת החשמל. כתוצאה מכך משתנה גל המתח הבסיסי מגל סינוסיאידלי לגל מעוות. העיוות של גל המתח והזרם הסינוסיאידלי הבסיסי מכונה עיוות הרמוני. מקורות הרמוניים:

- שנאים.
- אלקטרוניקת הספק – וסתי מהירות, UPS, ציוד ריתוך, מיישרים, מערכות ממוחשבות. האמצעי לפתרון בעיית ההרמוניות הוא מבטל הרמוניות פעיל, הוא פותח על סמך ניסיון שהצטבר במשך שנים בבניית מערכות אל – פסק (UPS). מבטל הרמוניות פעיל כולל שני מרכיבים עיקריים
- כוח – מסנן מבוא, מהפך (inverter) דו כיווני ואמצעי לאגירת אנרגיה (קבל DC).
- בקרה – מעבד מרכזי (CPU) ומעבר אות DSP בקרי U/I ובקר מהפך. מתח האספקה המזין את מבטל ההרמוניות הפעיל מסונן, מיושר ומסופק למערכת אגירת אנרגיה (קבלי DC). לולאת משוב המורכבת משנאי זרם דוגמת בזמן אמת את זרם העומס, אות המשוב מעובר למעבד אות, הממיר אותו לאות דיגיטלי ומבצע עליו התמרת פורייה. על סמך הניתוח הספקטרי של האות, מועברים אותות פיקוד למהפך לשם יצור זרם הרמוני במופע הפוך לזה של זרם העומס מאנרגיית ה-DC האגורה בקבלים.



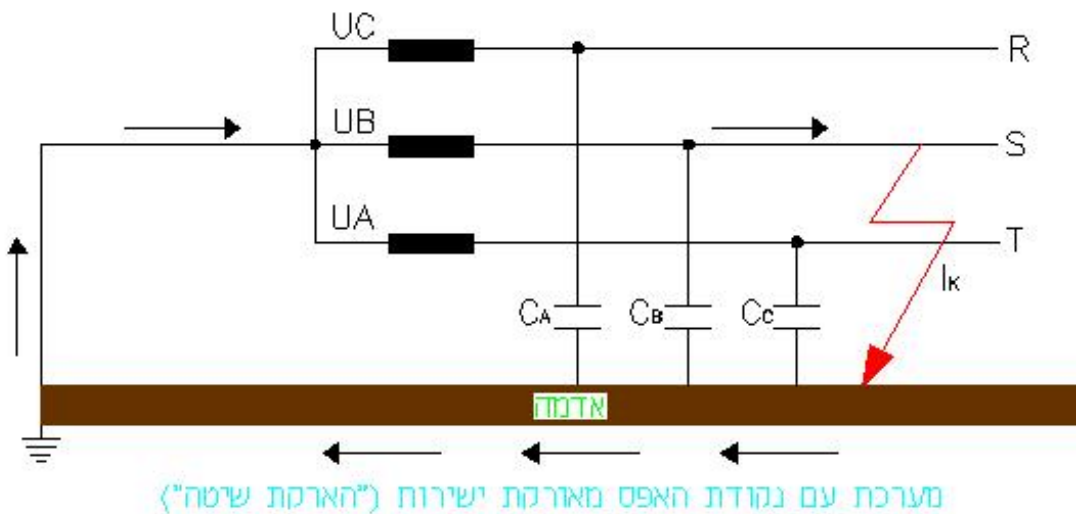
מתח גבוה

משטר טיפול בנקודת האפס

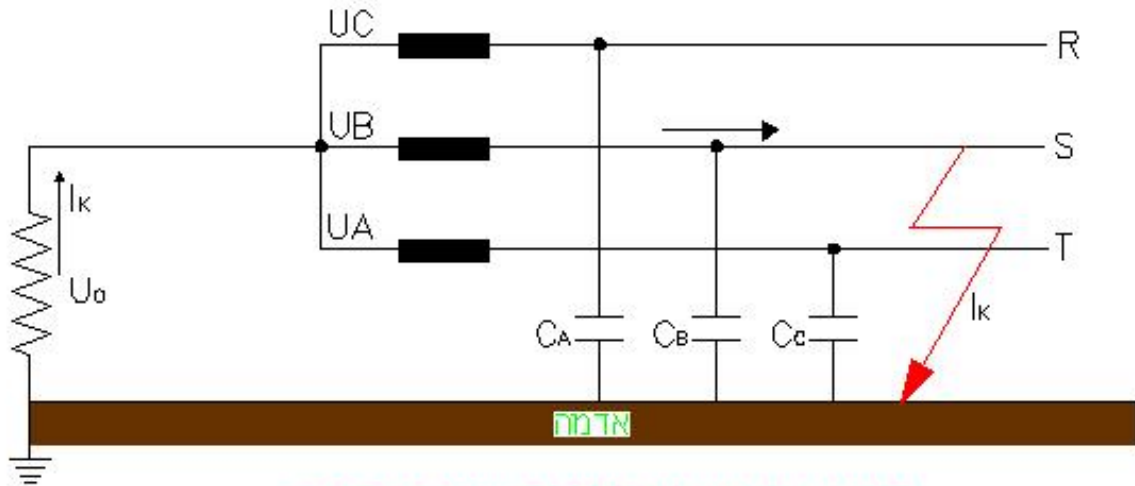
1. תאר שיטות טיפול בנק' האפס ?

תשובה:

מערכת בעלת נק' אפס מוארקת ישירות ("הארקת שיטה"): במצב תקין של הרשת המתחים בין מוליכי הקו לאדמה שווים למתחה הפאזי של הרשת. בזמן קצר חד פאזי לאדמה נוצר "מעגל לולאת התקלה" בעל עכבה נמוכה הנסגר דרך האדמה. במעגל מתפתח זרם קצר גבוה הגורם לניתוק אוטומטי של הרשת על ידי אמצעי ההגנה (נתיך, מפסק זרם). **יתרונות:** ניתוק מהיר של הקצר, ואיתור מיידית של התקלה. **חסרונות:** נזקים עקב זרם קצר גבוה ועליית המתח בפאזות התקינות בזמן הקצר. בשיטה זו משתמשים ברשתות למתח נמוך ולמתח גבוה עד $12.6V$.

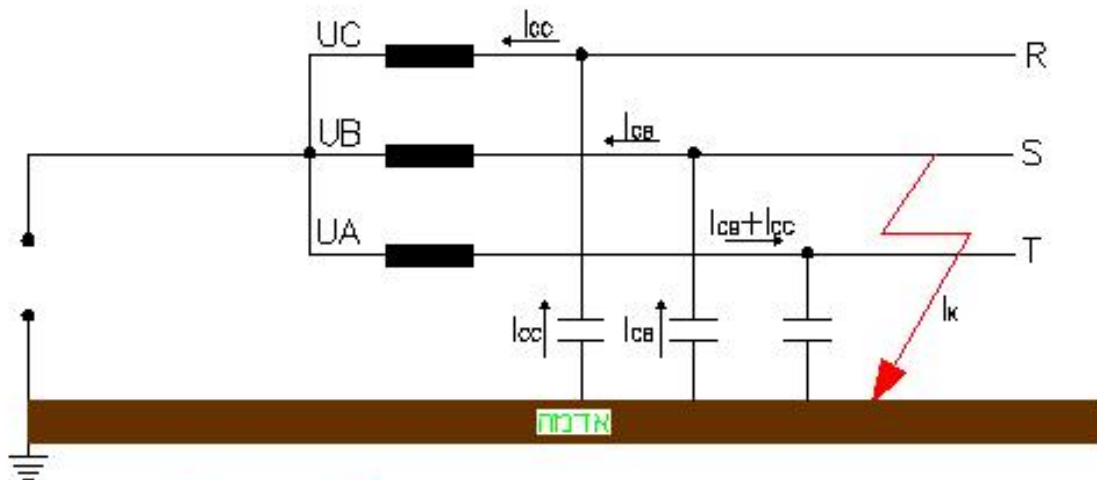


מערכת בעלת נק' אפס מוארקת דרך נגד: בשיטה זו, נקודת הכוכב של השנאי מוארקת באמצעות נגד בעל ערך נמוך שתפקידו להגדיל את עכבת לולאת התקלה ולהגביל את זרמי הקצר לאדמה. באופן כללי הנגד מקטין את זרם הקצר החד פאזי למחצית מערכו המרבי המתפתח במערכת המוארקת ישירות, ובכך מגביל גם את פוטנציאל נק' האפס. **יתרונות:** מתחי יתר נמוכים יחסית, שיטות הגנה פשוטות, זרמי קצר מוגבלים, זול יחסית. **חסרונות:** כיבוי עצמי בלתי אפשרי, הפסקה של הצרכנים במקרה קצר חד פאזי. שימוש עיקרי לרשתות תת קרקעיות.



מערכת עם נקודת האפס מאורקת דרך נגד

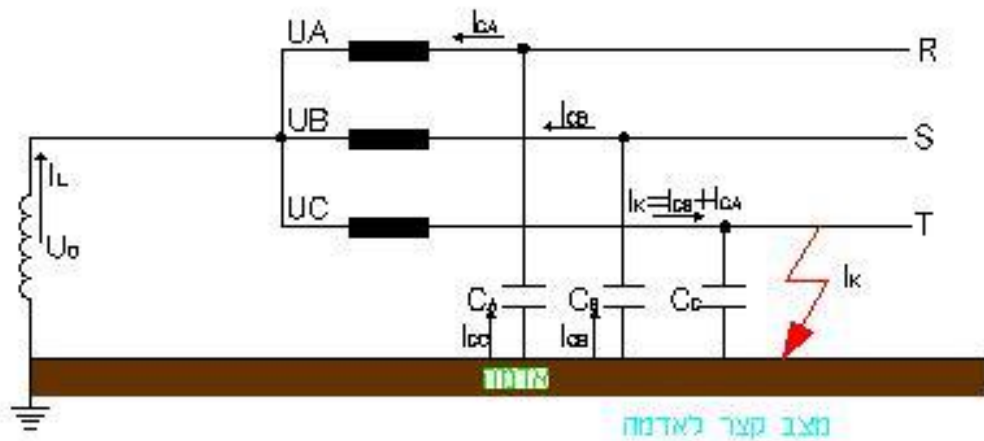
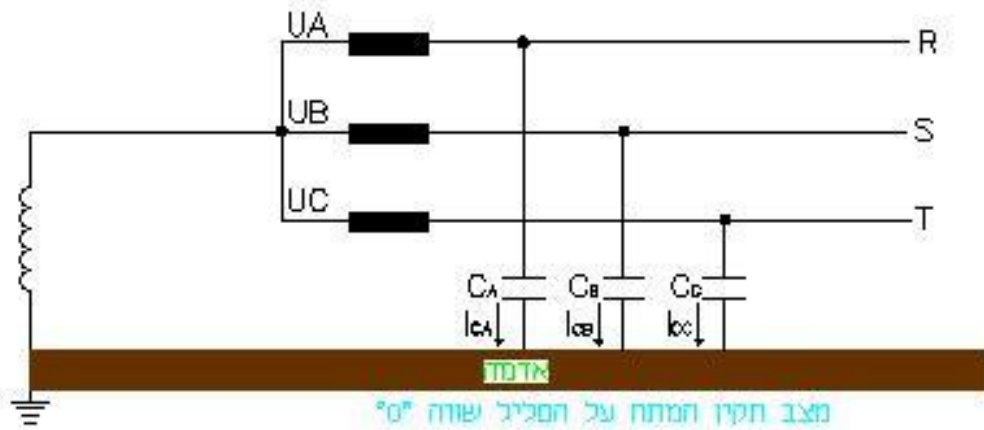
מערכת בעלת נק' אפס מבודדת מהאדמה: בשיטה זו, בזמן קצר לאדמה לא נוצר מסלול לולאת תקלה זורם הקצר אינו זורם, אך נוצר זרם קיבולי קטן יחסית, ומתחי הפאזות התקינות עולים עד לערך מרבי של מתח שלוב. **יתרונות:** במצב קצר חד פאזי לאדמה הרשת יכולה להמשיך לפעול, זרם הקצר נמוך ומתח המגע אינו מגיע לערכים מסוכנים. **חסרונות:** נדרשות שיטות מיוחדות לאיתור וניתוק התקלה, עליית מתח בפאזות התקינות בזמן הקצר וכתוצאה מכך אפשרות להתפתחות קצר דו פאזי נדרש השקעה בבידוד, ישנה הצתות חוזרות של הקשת עקב רכיבים ראקטיביים בקו.



מערכת עם נקודת האפס מבודדת מהאדמה * (רשת צפח")

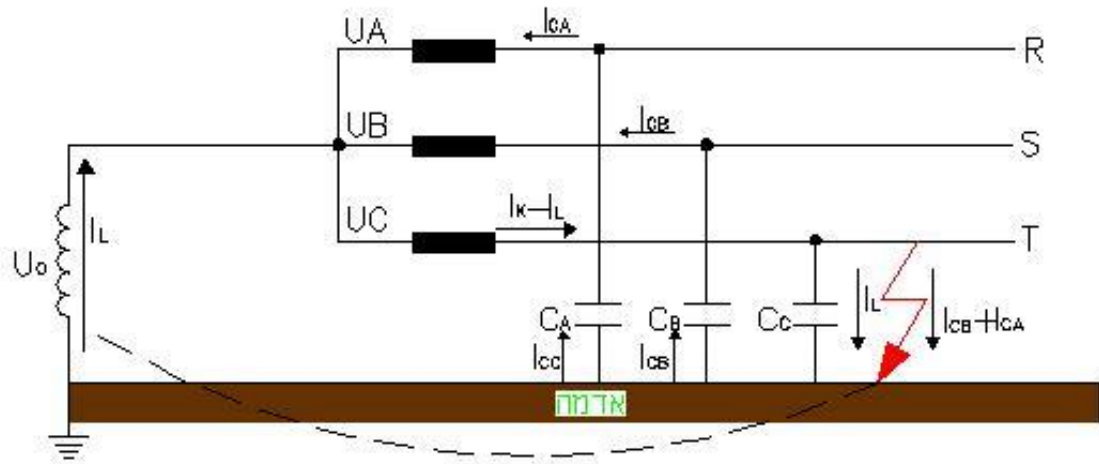
מערכת בעלת נק' אפס מוארקת דרך סליל כיבוי ("סליל פטרסון"): בזמן קצר חד פאזי לאדמה נוצרים זרמים קיבוליים, סליל פטרסון מכווון בתהודה עם קיבול הרשת יוצר זרם השראי הגורם לקיזוז זרם קיבולי זה וכתוצאה מכך, זרם הקצר לאדמה קטן, מכאן השם סליל כיבוי. באופן כללי בין מוליכי הרשת העילית לאדמה קיים קיבול C התלוי באורך הרשת וגובה המוליך מעל האדמה. עקב כך זורמים זרמי זליגה קיבוליים I_c מהרשת לאדמה ובחזרה למקור ההזנה. במצב תקין סכום שלושת הזרמים הנ"ל שווה 0 וגם המתח על הסליל שווה 0.

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



בעת קצר חד פאזי לאדמה, מופיע על הסליל מתח U_0 השווה למתח הפאזי של הרשת ונקי הכוכב מקבלת את אותו פוטנציאל ביחס לאדמה. המתחים בין הפאזות התקינות לאדמה גדלים עד לערכו הקווי של מתח הרשת, ערכי הזרמים I_{cb} - I_{ca} גדלים גם כן פי $\sqrt{3}$. המתח על הקיבול C_c בפאזה המקוצרת שווה ל-0 ולכן $I_{cc}=0$ סכוםם של שתי הזרמים I_{cb} - I_{ca} מהווה זרם הקצר החד פאזי לאדמה, אשר גדול פי 3 מהזרם הפאזי הקיבולי במצב תקין.

מצרבת עם נקודת האפס מאורקת דרך סליל כיבוי ("סליל פטרסון")

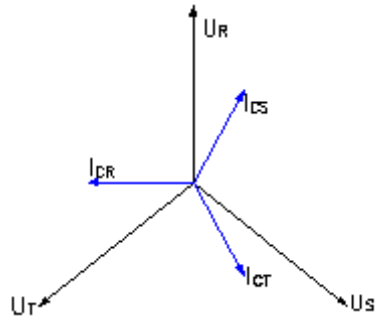


מתח U_0 המופיע על הסליל ואופיו ההשראי של הסליל גורמים לזרם השראי I_L שיזרום דרך הסליל, משם למוליך הפאזה המקוצרת עד למקום הקצר ובחזרה דרך האדמה. זרם השראי זה מקזז את זרם הקצר הקיבולי בנקודת הקצר. את היגב הסליל X_L בוחרים כך ש- $I_L = I_K$ אזי סכום הזרמים בנקודת הקצר שווה לאפס. יתרונות: ניצול המתח המתפתח על הסליל לשם זיהוי קיום תקלה בעזרת הגנות מתאימות (הגנה וואט מטריית, בעת התהוות קצר לאדמה מופיע בהדקי המשולש הפתוח של משני הזרם מתח, מתח סדרת אפס אשר גורם להפעלת ההגנה). הקטנת זרם הקצר גורם לכיבוי הקשת החשמלי ואינו גורם למאמצי יתר בצידוד. המתחים השלובים אינם משתנים בזמן התקלה, לפיכך ניתן להמשיך את האספקה לצרכנים בתנאי שהצרכן מוזן משנאי בחיבור משולש בכיוון בו נוצרת התקלה. רציפות בהזנת הצרכנים בקצרים חולפים. חסרונות: קשיים באיתור התקלה עקב זרם נמוך, שינויים בתצורת הקווים מצריך שינויים בכיול הסליל, גם מזג האוויר משפיע על כיול הסליל. המתח בפאזות התקינות עולה לערך של מתח שלוב עובדה זו מחייבת השקעה בבידוד אם לא יהפוך הקצר לדו פאזי.

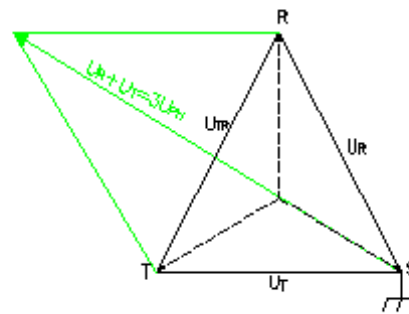
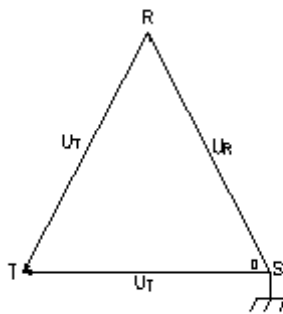
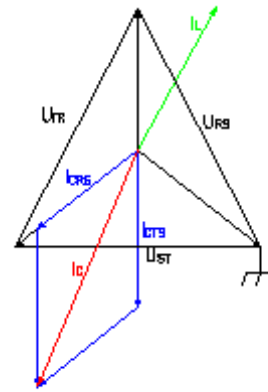
אחת מהדרישות בוועדה היא לצייר תיאור ווקטורי של מערכת נקודת האפס כאשר היא מוארקת דרך סליל במצב קצר, להלן השרטוט:

משטר נקודת האפס עם סכיל פטרסון

זרמים קיבוליים ברשת מתח גבוה במשטר עבודה תקין



זרמים קיבוליים ברשת מתח גבוה בעת קצר חד פאזי לאדמה על מופע S



שיטות חיבור נקודת האפס המומלצות בתעשייה

- עבור מערכות עד 1000 וולט מקובל חיבור הניוטרל ישירות לאדמה.
- עבור מערכות המוזנות במתח 2.4 וולט – 13.8 קילו-וולט מקובל ברוב המקרים חיבור ניוטרל להארקה דרך נגד.
- עבור מערכות מ-22 קילו-וולט ומעלה מקובל חיבור ניוטרל דרך סליל פטרסון.

הגנות במתח גבוה

1. תאר והסבר מהן ההגנות הקיימות במתח גבוה?

תשובה:

הגנה בפני יתרת זרם: הגנה זו מיושמת על ידי שימוש ב-3 ממסרים ליתרת זרם המפקחים כל אחד על פאזה אחרת, על עוצמת הזרם במעגל המבוקר. הממסר מתוכנן לפעול אם הזרם במוליכי הפאזות יעלה על ערך הכיול. מצב זה יכול לקרות באחד משני מקרים:

- העומס הנדרש על ידי הצרכנים המוזנים ממעגל זה גבוה מן המתוכנן (המעגל עצמו תקין).

- קיים קצר במעגל, בין הפאזות או קצר לאדמה.

כל אחד מהממסרים הנ"ל מצויד ב-2 יחידות הפעלה:

יחידה מושהית – בעלת אופיין "זמן הפוך" (Inverse Time) לפי אופיין זה, מופעלת היחידה לאחר השהיית זמן מסוימת העומדת ביחס הפוך לגודל הזרם כלומר, ככל שהזרם במעגל גבוה מן הזרם הנקוב, השהיית הזמן תהיה קצרה יותר.

לדוגמה, בעליית זרם במעגל ב-30% מעל הזרם המותר תופעל היחידה לאחר השהיית זמן של 1

שניה. בח"ח נהוג להשתמש בזרם נומינלי של 5אמפר ובעקומות של 0.5, 1.0, 1.5.

בעליית זרם ב-100% מעל המותר תהיה ההשהיה 0.2 שניות בלבד.

הקריטריונים להפעלת היחידה המושהית:

- הזרם המכויל צריך להיות מספיק גבוה על מנת להימנע מהפסקות במצבי העמסה גבוהה של

המעגל, אך עדיין בתחום המותר. +

- הזרם המכויל יהיה מספיק נמוך כדי לשמור על רגישות הממסר בזמן הפרעות.

יחידה מיידיית – מתוכננת להפסקה מהירה של המעגל כאשר הזרם עובר במאות אחוזים את הערך המותר. יחידה זו מיועדת לפעול במקרים של קצרים בין פאזיים כאשר נקודת האפס של

שנאי ההספק מחוברת ישירות או דרך נגד לאדמה בח"ח בד"כ 4In.

הגנה לזרם פחת: הגנה זו מהווה הגנה עיקרית בפני קצרים לאדמה, כאשר נקודת האפס של

השנאי מוארקות ישירות או דרך נגד.

גם הגנה זו מיושמת באמצעות שלושה משני זרם (אחד בכל פאזה).

בדומה לממסרי יתרת הזרם מצויד גם הממסר לזרם הפחת ב-2 יחידות:

• יחידה מושהית

• יחידה מיידיית

היחידה המושהית היא בעלת אופיין זמן הפוך בעל שיפוע חד יותר מאשר ממסרי יתרת זרם פאזיים ולכן תפעל מהר יותר.

יחידה זו מכוילת גם לערך נמוך בהרבה עובדה המקנה לה רגישות גבוהה בפני קצרים לאדמה.

הסבר על תהליך ההגנה הואט מטריית: כעבור 2-2.5 שניות מהתרחשות התקלה ואם הסליל לא גרם בפרק זמן זה לכיבוי הקשת, נסגר מגען C_1 ומתחבר נגד של 2.5 אוהם, לליפוף המשני L_1

שמפיק מתח של 500 וולט, מתח זה יגרום לזרם פעיל $I = \frac{500}{2.5} = 200A$ וכתוצאה מכך

$$P = U \times I = 500 \times 200 = 100KW$$

יתפתח הספק פעיל של $P = U \times I = 500 \times 200 = 100KW$.
ערך הזרם שיעבור דרך מעגל התקלה $I_w = \frac{500}{\frac{22000}{\sqrt{3}}} = 7.87 A$ זרם זה מגיע לשנאי הזרם

המורכב על כל אחת מהפאזות וממנו להגנה הוואט מטריית.

$$I_s = 7.87 \times 0.0125 = 0.1A$$

עבור שנאי זרם ביחס 400/5 נקבל $I_s = 7.87 \times 0.0125 = 0.1A$
ההספק החשמלי שיתפתח בממסר הואט מטרי יהיה $P_0 = U_0 \times I_0 = 110 \times 0.1 = 11W$
הממסר מכויל לפעול בגילוי של 0.5W עד 1W ולכן יפעל ויפסיק את המעגל הפגוע.

היחס בין זרם הסליל לבין הזרם הקיבולי של הרשת נקרא, מקדם כונון הסליל $q = \frac{I_L}{I_C}$

ואילו מקדם אי כונון הסליל הוא $v = 1 - q$. כונון הסליל נדרש עקב שינויים ברשת החשמל (הוספת קווים אשר גורמת לשינוי קיבוליות הרשת).
שינוי זרם הסליל מתבצע על ידי שינוי חלחלות החומר במעגל, קרי שינוי מרווח בגרעין.

באופן כללי מבחינים בשלושה משטרי כונון של סליל פטרסון כדלקמן:

- כונון עם תת קיזוז $v > 0, I_L < I_C$.
- כונון תהודה – הזרם שנוצר בסליל שווה בערכו הווקטורי לזרם הקיבולי וברשת מתקיימת תהודה של זרמים $v = 0, I_L = I_C$.
- כונון על קיזוז $v < 0, I_L > I_C$.

בחירת הספק של סליל פטרסון: הספק של סליל פטרסון נבחר בהתחשב בכונון על קיזוז (כ-5% יותר) ובהתחשבות הרשת בעתיד.

$$S_n = q \cdot k \cdot U_{ph} \cdot I_c$$

S_n הספק הסליל, q מקדם כונון הסליל ערכו 1.1, k מקדם המביא בחשבון את התפתחות הרשת ערכו 1.2.

את סליל פטרסון מחברים לנקודת האפס של גנרטור או שנאי. אם מחברים את סליל פטרסון לשנאי בעל סכמת חיבור כוכב- כוכב אז לצורך הקטנת ההשפעה בוחרים את הספק השנאי

כדלקמן: $S_t, S_t \geq 5 \cdot S_n$ הספק השנאי.

אם נקודת האפס של שנאי ההספק אינה נגישה לחיבור אז בכדי ליצור נקודת אפס מתקינים שנאי הארקה (במקרים בהם דרוש נקודת אפס לצורך חיבור הארקה משתמשים בשנאי המחובר בצידו

הראשוני במשולש ובמוצא זיגזג) הספק שנאי הארקה נבחר כך: $S_t \geq \sqrt{S_n^2 + S^2}$

שנאי הארקה חיבור מערכת להארקה דרך שנאי "זיג-זג"

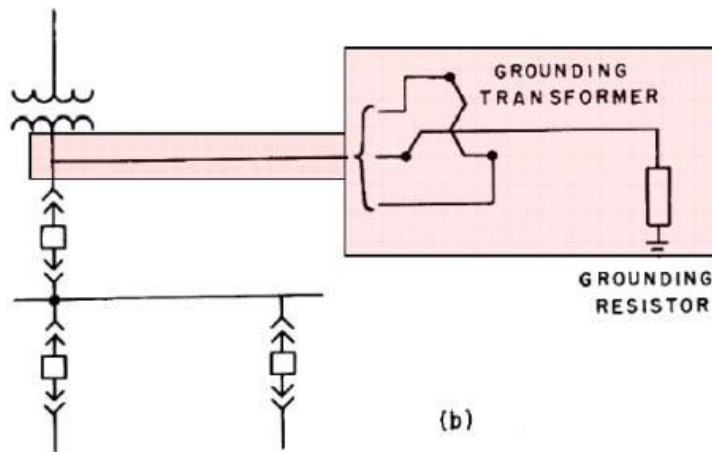


FIG. 6.9 Methods of connecting grounding transformer to system.

חיבור מערכת להארקה דרך שנאי "זיג-זג"

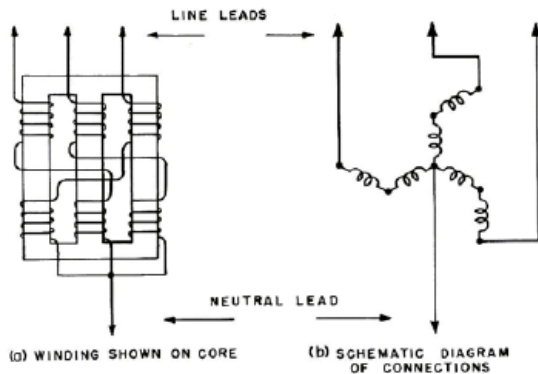


FIG. 6.7 Zigzag three-phase grounding transformer.

ליצירת ניוטרל מלאכותי לעתים קרובות משתמשים בשנאי הארקה "זיג-זג" (zig-zag grounding transformer) שאינו בעל ליפוף משני.

האימפדנס של השנאי לזרם תלת מופעי גבוה מאד וגורם לכך שבמערכת תקינה דרך השנאי יזרום זרם מיגנוט בלבד.

במקרה של תקלה, האימפדנס לזרם לכיוון האדמה הינו קטן מאוד ומאפשר זרימה של זרם גבוה לאדמה.

הגנה משען: ישנם מקרים בהם תקלה במעגל מתח גבוה מפעילה את ההגנה האמורה להפסיק את המעגל, זו פועלת כשורה ונותנת אות להפסקת מפסק הזרם של אותו מעגל אך זה לא נפסק או מאחר בהפסקתו. שתי סיבות עיקריות עלולות לגרום לאי הפסקת מפסק הזרם:

- תקלה מכנית במנגנון המפסק או במעגלים משניים.
 - אי יכולת תאי כיבוי לכבות את הקשת או למנוע הצתה חוזרת, במקרה זה חייבים להפסיק מייד את כל מקורות ההזנה המזינים את פסי הצבירה אליהם מחובר אותו מפסק.
- מקורות הזנה אפשריים: השנאי המזין את פסי הצבירה, שנאי שני בתחנה אם הוא מחובר במקביל, טורבינת גז.
- עקרון הפעולה של הגנת המשען: כאשר במעגל מתח גבוה מתרחשת תקלה המפעילה את הממסר ליתרת זרם שלו, מופעל במקביל ממסר זמן נוסף המכויל לפעול בהשהיה של כ-0.5-0.8 שניות מרגע מסירת האות להפסקת מפסק הזרם. מרגע זה יתכן:
2. מפסק הזרם של המעגל פועל כשורה ונפסק תוך 100מילי-שניות. עקב כך נפסקה ההזנה לממסר הזמן והגנת המשען לא פועלת.
 3. המפסק לא נפסק או נפסק באיחור, ממסר הזמן מודד את הזמן המכויל ומוסר את הפסקת כל המקורות המזינים את פס הצבירה. ההפסקה מתבצעת משני צידי השנאי, כאשר מפסיקי הזרם מתח גבוה ומתח עליון מקבלים פיקוד להפסקה בו זמנית, ישירות ולא דרך ממסרי הנעילה של השנאי.

לסיכום ההגנות במתח גבוה

בקווי מתח גבוה 13KV מערך ההגנות כולל:

- א. שניים או שלושה ממסרי יתרת זרם.
- ב. ממסר לזרם פחת.
- ג. לא מיושם חיבור חוזר.

בקווי מ"ג 36KV מערך ההגנות כולל:

- א. שלושה ממסרי יתרת זרם.
- ב. ממסר לזרם פחת.
- ג. מיושם חיבור חוזר לשני חיבורים.

במסדרי מ"ג 36KV, 24KV:

בנוסף לשלושה ממסרי יתרת זרם מיושם ממסר הגנה ואט-מטרית, וממסר לזרם פחת כגיבוי ומיושם חיבור חוזר לשני חיבורים.

מסדרי מתח גבוה

1. תאר תכולת תא בתוך מסדר בגז SF-6, הסבר את המבנה?

תשובה: ניקח לדוגמה מסדר SM6 של חברת merlin gerin –

זהו מסדר קומפקטי אטום לחלוטין, בגז SF6 לחלוקה משנית, המסדר מסופק ב-10 תצורות שונות המכילות: מנתקים, מנתקי נתיכים, מפסקי זרם לרמות מתחים 12 ו-24kV, ניתן להרחיבו ולשלב בו יחידות מודולריות המסדר מוגדר כ-ללא תחזוקה. אתרי התקנה: תחנות חלוקה משניות, מפעלי תעשייה, בתי מלון, מרכזי עסקים וכו'. אפשרויות שונות: גמישות תכנונית-אפשרות לשימוש במפסק או נתיכים, אפשרויות הרחבה ושידרוג, קומפקטי-מיקום מועט, התקנה מהירה, תפעול פשוט, תחזוקה מעטה – היצרן מצהיר על free-maintenance. תכונות נוספות: אטימות מוחלטת, מיכל עשוי פלדת אל חלד, חומרים הניתנים למחזור, כיבוי הקשת במרבית המקרים בריק.

2. ציין אילו מסדרים משוריינים קיימים במתקני מתח גבוה.

תשובה: מיון מסדרים נעשה על פי 3 קריטריונים:

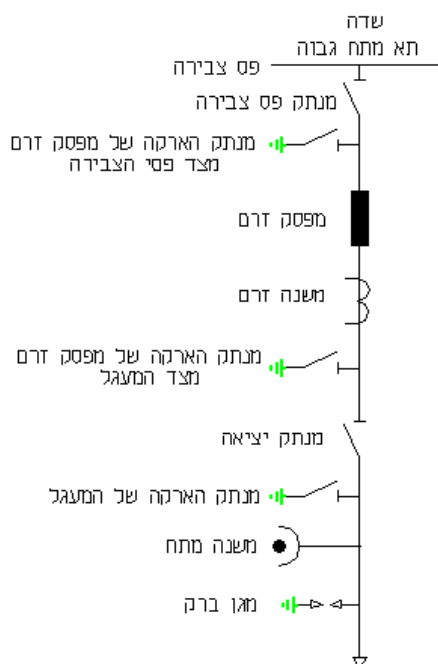
- מתח (12,24,33,110,160,400 קילו וולט וכו').

- מבנה המסדר:

- מסדר פתוח – כל הציוד החשמלי נמצא תחת כיפת השמיים.
- מסדר משוריין – כל הציוד החשמלי נמצא בתוך תאים סגורים, מסדר זה נקרא גם מסדר חלוקה וכל שדה נקרא תא.
- מסדר סגור – כל הציוד החשמלי נמצא במבנה סגור ואטום במכלים מתכתיים ממולא בגז SF6.

- סכמה חשמלית (פס צבירה יחיד, שני פסי צבירה וכו')

3. שרטט עקרונית סכימה של מסדר מתח גבוה.



הגנות במסדרי מתח גבוה

1. הסבר מהי הגנת SEPAM?

תשובה: מערכת Sepam של חברת merlin gerin.

מערכת Sepam – היא מערכת הגנה אלקטרונית המשמשת להגנות על ציוד במ"ג מפני זרמי העמסת יתר הנובעים מקצר או מזרמי יתר. היא משמשת להגנה על תחנות טרנספורמציה, שנאים, מנועים, פסי צבירה, גנרטור, סוללות קבלים וכו' (בהתאם לדגם של ה-Sepam) למערכת תצוגה דיגיטלית של מדידת זרם ומתח, יציאת תקשורת להפעלה מרחוק. יתרון המערכת מתבטא ביכולת לאיתור תקלות, המערכת מציגה את ערך הזרם שגרם לתקלה, וכן קיימת גמישות גדולה בהגדרת אופיין התגובה של ההגנה. באופן כללי היא המערכת כוללת את ההגנות הבאות:

זרם מגנטי (Overcurrent) – הגנה לציוד נגד העמסת יתר וקצרים בין פאזות, כאשר לתחנות משנה ושנאים ישנו יישום מיוחד.

הגנה זו כוללת שתי יחידות:

- יחידת השהייה IDMT או זמן מוגדר, תחומי כיול $0.1-8In$, בזמנים $90sec-100msec \geq t$.
 - יחידה מיידי, זמן מוגדר, מיידי או מושהה, תחומי כיול $1-24In$, $2sec-25msec \geq t$.
- זליגת אפס (Earth-Fault) – הגנת חיבורים וציוד בפני זליגה.
- הגנה זו כוללת גם כן שתי יחידות:
- יחידת השהייה IDMT או זמן מוגדר, תחומי כיול $0.05-2In$, בזמנים $90sec-100msec \geq t$.
 - יחידה מיידי, זמן מוגדר, מיידי או מושהה, תחומי כיול $0.05-10In$, $2sec-25msec \geq t$.
- עומס תרמי (Overload) – הגנת הציוד בפני נזק תרמי הנגרם על ידי העומס.
- תחומי כיול $0.4-1.3In$, בזמנים $5min-120min = T1$.
- הפעולה כוללת: קביעת TRIP הניתן לשינוי, קביעת אישור הפעלה חוזרת הניתנת לשינוי. בנוסף ישנן מערכות Sepam הכוללות אפשרות להגנה ואט מטריה, (כלומר זיהוי הספק המתפתח על סליל פטרסון בעת קצר לאדמה ומפעילה את ההגנות המתאימות).



מגני ברק ומתחי יתר

1. הסבר מהן מתחי יתר/נחשולי מתח והסיבות להופעתן?

תשובה: אחת התקלות הנפוצות ביותר במתקנים במתח גבוה הם מתחי היתר. מתחי יתר אלו הם מתחים גבוהים מהמתחים הנומינליים שבגללם עשויה המערכת לצאת מכלל פעולה, אפשר לתכנן מערכת שתהיה מוגנת בפני כל התופעות של מתחי יתר שעלולים לקרוא אבל אז המערכת לא תהיה כדאית מבחינה כלכלית לכן מגינים על המערכת בפני מתחי יתר שההסתברות שהם יופיעו יהיו הגדולים ביותר.

ניתן לחלק מתחי יתר לשלושה סוגים עיקריים:

a. מתחי יתר חולפים.

b. מתחי יתר הנובעים כתוצאה מפעולת מיתוג.

c. מתחי יתר שמקורם בפגיעות ברק.

מתחי יתר חולפים נובעים משתי סיבות: קצרים ותקלות לאדמה, ותופעות תהודה.

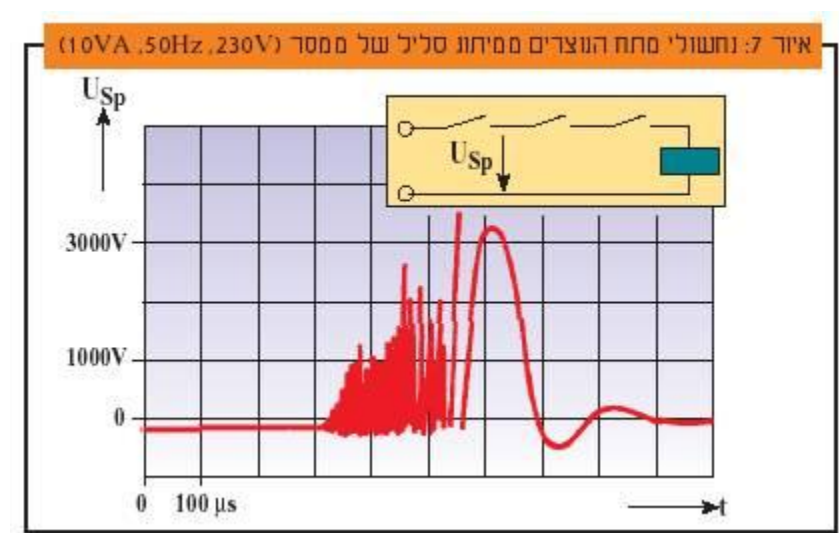
בקצרים לאדמה מתי היתר תלוי בשיטת הארקה של נקי האפס, מתח זה נע בין חלקי שניות למספר שניות, תדירותו שווה לתדירות הרשת, וערכו המרבי יכול להגיע למתח שלוב.

מתחי יתר מפעולות מיתוג נובעים גם כן משתי סיבות:

- חיבור או הפסקה של מעגלים בעלי אופי השראתי (במיוחד שנאים בריקם) שדרכם זורמים זרמים בעוצמות נמוכות.

- חיבור או הפסקה של מעגלים בעלי אופי קיבולי בעיקר בעת פעולת ניתוק של סוללת קבלים וקווי מתח בריקם (במיוחד כבלים).

ערכים אופייניים של מתחי יתר אלה הם בתחום פי 2.5 עד פי 6 מערך המתח הנקוב של הרשת. משך הזמן של מתחי יתר אלה הוא כ- 60 מילי-שניות.



מתחי יתר שמקורם בפגיעות ברק:

כאשר ברק פוגע בקו, המתח בנקודת הפגיעה עולה במהירות רבה. גל המתח הנוצר מתקדם לשני כיוונים ועלול לסכן את הציוד שעל הקו.

קיימים מספר אמצעי הגנה בפני מתחי יתר של ברק:

- קולט ברק אנכי/אופקי
- קרני פריקה.
- מגן ברק.

מצ"ב איורים של מצבים שונים בפגיעות ברק:



איור 5: נחשולי מתח מושרה ברמת החשמל עקב פגיעת ברק בקרבה



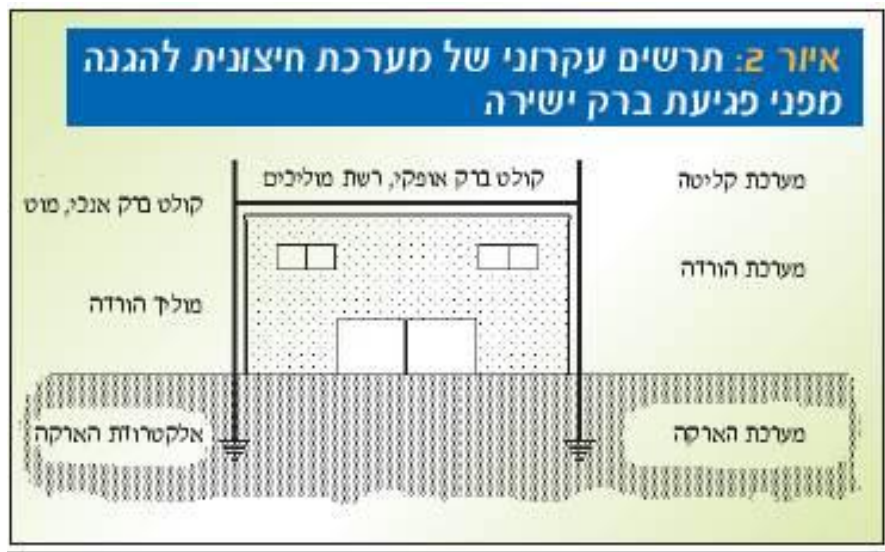
איור 4: נחשולי מתח כתוצאה מהשראה.



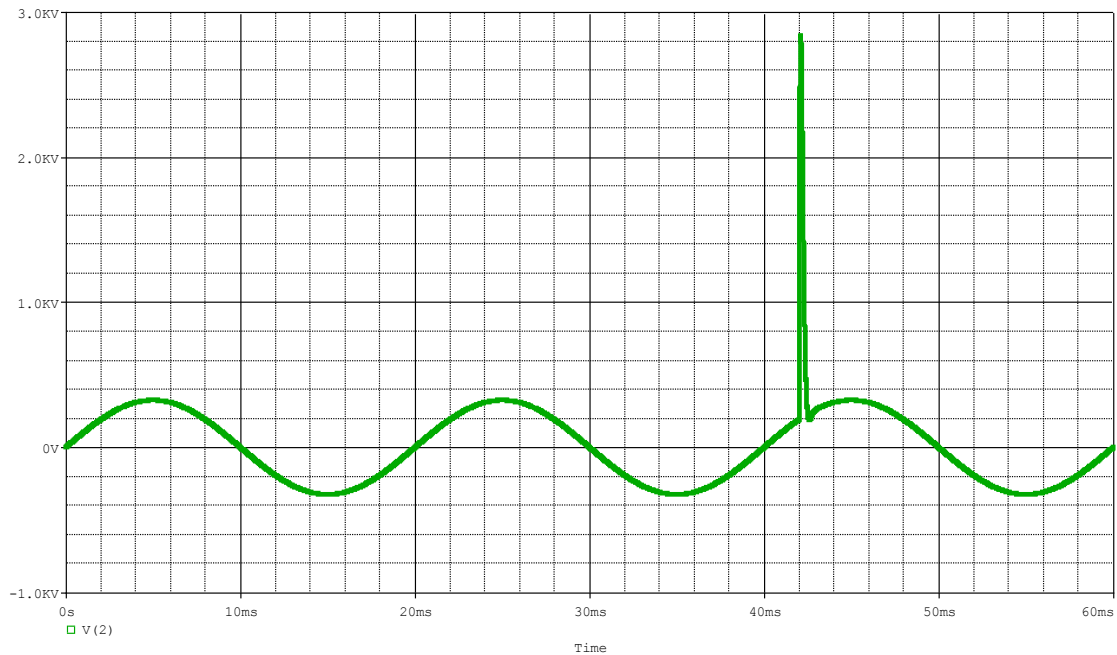
2. תאר מערכת להגנה בפני ברקים במבנים?

תשובה: במערכת הגנה בפני ברק במבנים ובמתקנים שלוש תת מערכות:

- מערכת קליטה - המותקנת על חלקו העליון של המבנה/המתקן.
- מערכת הארקה – הטמונה באדמה ומטרתה להבטיח מגע חשמלי טוב ועמיד לאורך זמן עם המסה הכללית של כדור הארץ.
- מערכת הורדה – מחברת חשמלית את מערכת הקליטה עם מערכת הארקה.



נחשול המתח כתוצאה מפגיעת ברק:

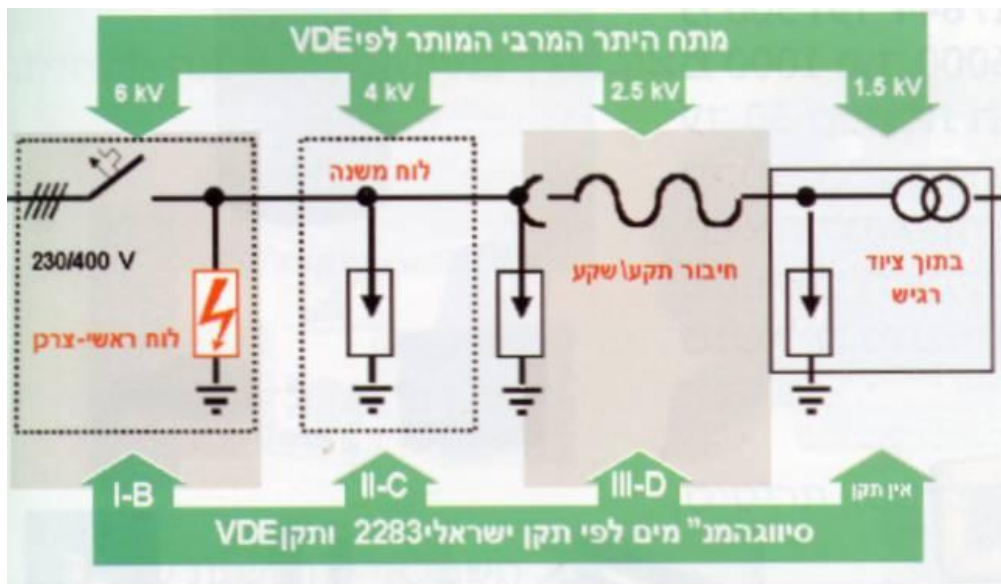


3. תאר את השיטות לטיפול בנחשולי מתח במתקן פרטי של הצרכן?

תשובה: ניתן לחלק את התקני נחשולי המתח לשני סוגים על פי אופי החיבור שלהם למתקן, טורי ומקבילי:

התקני הגנה טוריים – המתחברים בטור לקווי אספקת המתח של המערכות שעליהן הם מגנים התקנים כגון: שנאים, מסננים, מייצבי רשת, ויחידות מיוחדות של אל-פסק.

התקני הגנה מקביליים – המותאמים למערכת שעליהן הם מגנים ומחוברים במקביל אליהן. אלה התקנים פשוטים המתחברים למכשיר חשמלי, והם הנפוצים והשימושיים ביותר.

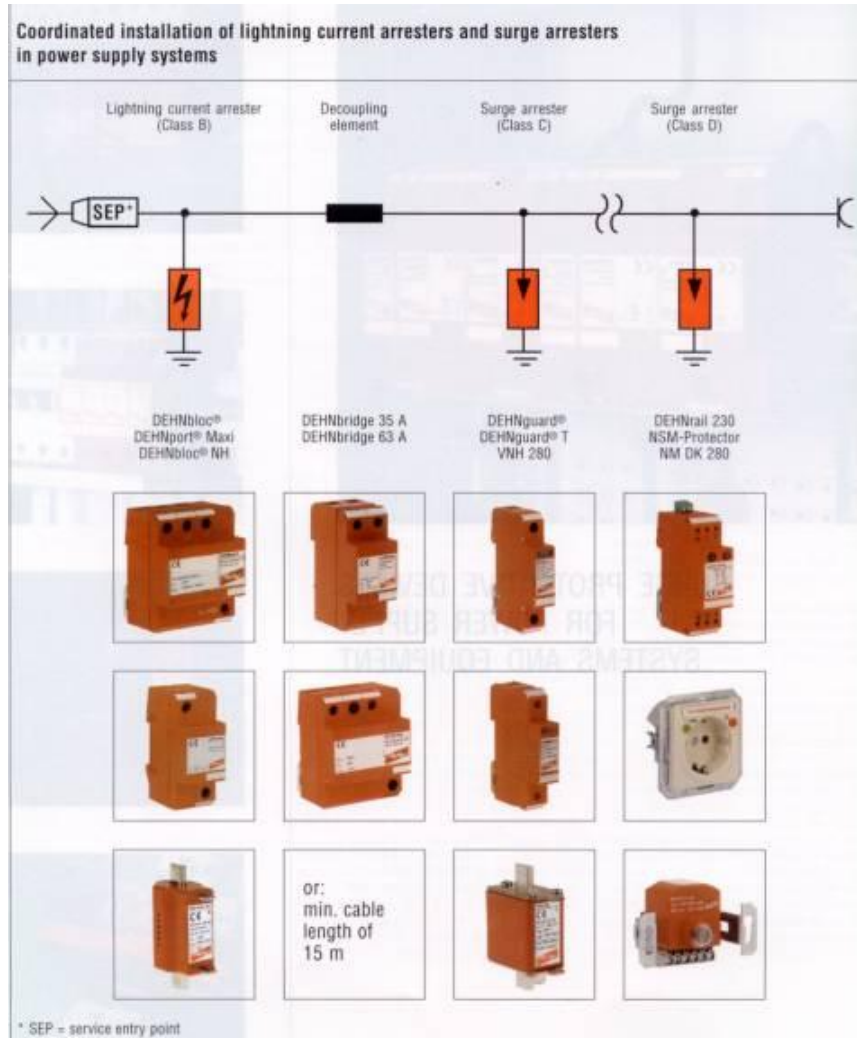


דרגה I חיונית בכניסה לבנין כאשר הזינה לבנין היא בקו אוירי. זאת הגנה ראשונית לנחשולי מתח הנובעים מפריקות באטמוספירה. דרגה זו בעלת יכולת גבוהה לספיקת אנרגיה אך אינה מגבילה בצורה טובה את המתחים. המתחים האופייניים הם בגבולות $4 \div 1.5$ kV דרגה II מהווה הגנה נוספת והיא מורכבת ממגביל מתח המבוסס על וריסטור

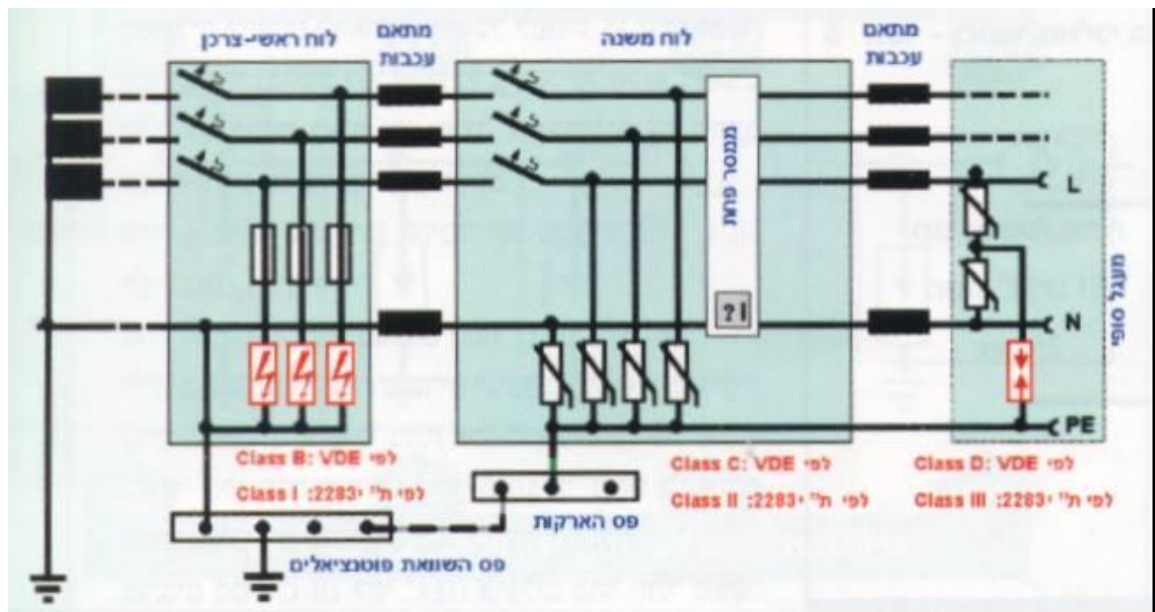
ZnO מסוג Varistor. היתרון של הגנה זו היא מהירות העבודה. וריסטור במצב רגיל מהווה התנגדות גבוהה מאוד של כ- 1000 MW ואינה משפיעה על המעגל. כאשר המתח עולה, התנגדות יורדת בצורה דרסטית ויכולה להגיע עד 0.01 W. החסרון של וריסטור היא הזדקנותם המתבטאת בשינוי אופי עבודתם אחרי שזרם דרכם זרם גבוה. התנגדות החשמלית עולה עם טמפרטורה וחימום יתר. לרוב הגנות אלה מחוברות עם נתיחים הדורשים בדיקה תקופתית.

הגנה זו מגבילה את המתח לרמות של $2 \div 1$ kV

דרגה III היא הגנה מדויקת יותר וממומשת ע"י דיודות זנר הנפרצת כאשר מתח עליה עולה מעל מתח מסוים. בזמן פריצה הדיודה מהווה התנגדות נמוכה וסופגת את הזרם. לדיודות אלה מתח פריצה מדויק בגבולות $500 \div 7$ V. בעיה העיקרית של דיודות זנר היא ספיקת אנרגיה נמוכה. זמן תגובה של דיודות זנר מסוג זה קצר מאוד (מספר psec).



אופן חיבור מגני מתחי יתר במבנים :



4. הסבר מהו מגן ברק ועיקרון פעולתו ?

תשובה: מגן ברק הוא התקן חשמלי המיועד להגביל לערכים נמוכים ובטוחים את כל סוגי מתחי היתר העלולים להופיע במערכות חשמל.

מגן ברק צריך ל"חתוך" את מתחי היתר לרמות נמוכות מיכולת העמידה של הציוד

במתחי יתר שמקורם בברקים. יכולת זו נקראת רמת בידוד בסיסית BIL

(Basic Impulse Level), (ראה שאלה נפרדת לגבי רמת בידוד בסיסית)

בעת פעולת מגן ברק עובר דרכו זרם גדול הנקרא זרם פריקה זרם זה גורם למפל מתח בין הדקי הפאזה והארקה.

מתח זה מוגדר כמתח השיורי של מגן הברק (Residual Voltage) מתח זה נשאר בין הקו

והאדמה במקום חיבור מגן הברק לפרק זמן של כ-20 מיקרו שניות בממוצע.

בהתייחס לאופן הפעולה ולמבנה, מסווגים מגני ברק ל-3 סוגים :

- מגני ברק מדגם מרווחי פריצה (Gap or Valve Arresters).
- מגני ברק מדגם מטאל אוקסיד (Metal Oxide Arresters).
- מגני ברק מדגם ואריגאפ (Varigap Arresters).

מגני ברק מדגם מרווחי פריצה (Gap or Valve Arresters) :

החלק הפעיל של מגני הברק מסוג זה מורכב ממרווחי פריצה הנמצאים בטור עם נגדי הפריקה. כל מרווח פריצה מחובר במקביל עם נגד חלוקה לא ליניארי. נגד חלוקה זה מאפשר חלוקת המתח הנקוב של מגן הברק על פני מרווחי הפריצה וגם יוצר תנאים המתאימים לפריצה מדויקת של מגן הברק ללא השהיה. נגדי החלוקה עוטפים את מרווחי הפריצה ומגינים עליהם מפני הפרעות חיצוניות. נגדי הפריקה עשויים מגרגרי (Silicon Carbide) והם החלק של מגן הברק אשר תפקידו ל"חתוך" את מתחי היתר לערכים קטנים של המתח השיורי (U_{RD}). מאחר ואופיין $U_{(I)}$ של נגד הפריקה הוא לא ליניארי, נגדים אלה מהווים התנגדות נמוכה כאשר עובר דרכם זרם פריקה (I_f) גדול, וכך הם מגבילים את המתח בין הדקי מגן הברק. נגדי הפריקה מהווים התנגדות גדולה עבור מתח נקוב, וכך הם מגדילים את המשרעת (Amplitude) של הזרם הנלווה. כאשר דרך מגן הברק זורם זרם פריקה גדול עלול להיווצר בתוכו לחץ יתר ואז הממברנה המשמשת לשחרור גזים חמים נפתחת והגזים החמים פורצים החוצה דרך חריץ מתאים. מבנה זה מונע את ניפוץ של מגן הברק. תוך כדי פריצת הגזים החמים החוצה פיסה פלסטית צהובה המשמשת מחוון עולה. פעולה זו מאפשרת להבחין שמגן הברק פעל והוא כעט פגום. הבחנה זו נעשית מבלי להפסיק את הקו. חשוב לציין שמגן ברק ללא פיסה פלסטית צהובה הוא מגן ברק שיש להחליפו.

מגני ברק מדגם מטאל אוקסיד (Metal Oxide Arresters):

עקרון הפעולה של מגני הברק מדגם זה מתבסס על התכונות של נגד לא ליניארי הנקרא וריאסטור העשוי מתחמוצת מתכתית (Metal Oxide). נגד זה משנה את התנגדותו הפנימית תחת השפעת המתח המופעל עליו. מגן ברק זה מורכב ממודול העשוי סיבי זכוכית הכולל וריאסטורים בצורת דסקיות. המעטה של מגן הברק עשוי מחרסינה או מחומר פולימרי. היתרונות של מעטה פולימרי בהשוואה למעטה עשוי מחרסינה הם :

- משקל נמוך יותר .
- שביר פחות .
- לא מתרסק בזמן חימום יתר .

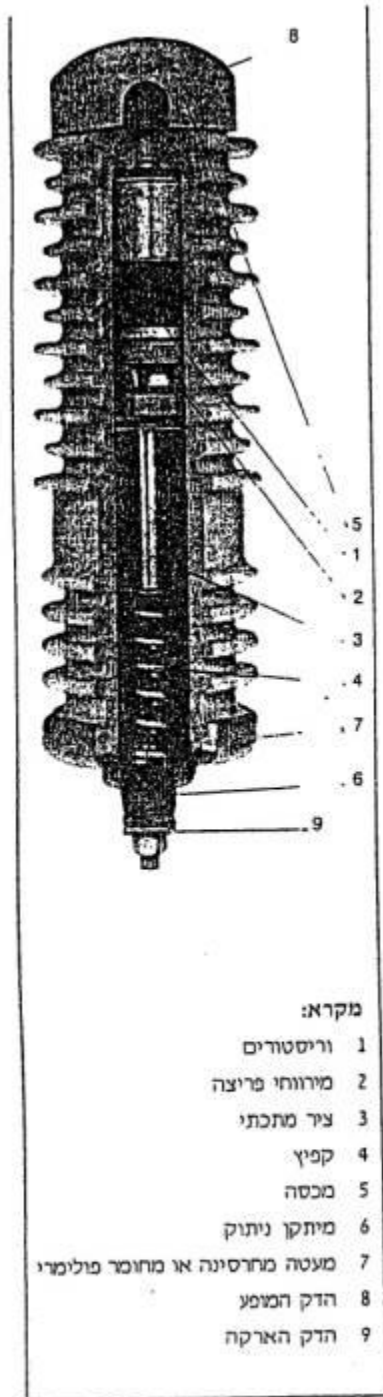
הזרוע התומכת של מגן הברק עשויה מחומר פולימרי בעל חוזק מכני גדול. מכסה מגן הברק נועד להגנה בפני ציפורים למניעת קצרים בקו. מתקן הניתוק משמש אמצעי הגנה בפני זרימת יתר של אנרגיית הברק. בעת זרימה של אנרגיית יתר דרך מתקן הניתוק, החומר הנמצא בתוכו מתחמם ומתפוצץ וגורם לניתוק המתקן מגוף מגן הברק. כתוצאה מכך, המתקן נשאר תלוי על קצה חוט ההארקה. פעולת ניתור זו מאפשרת להבחין בכך שמגן הברק פגום מבלי להפסיק את הקו. עבור מגן מדגם מטאל אוקסיד חשוב להקפיד שמתח העבודה הרציף שלו יהיה גדול מהמתח המרבי העשוי להופיע בין הדקיו בעבודה רגילה במקום התקנתו ברשת .

מגני ברק מדגם ואריגאפ (Varigap Arresters) :

מגני ברק אלה הם פרי פיתוח חדש ביותר בתחום מגני הברק. הדגם הראשון הופיע לפני כ - 3 שנים וטרם הצטבר ניסיון מספיק כדי להסיק מסקנות מעשיות לגביהם. עקרון הפעולה של מגני הברק מדגם ואריגאפ משלב בתוכו את שתי הטכניקות הקודמות, כלומר מרווחי פריצה ווריאסטורים באותו מעטה. שילוב זה נותן מגן ברק המנצל את יתרונות מגני הברק מדגם מרווח פריצה ושל מגני הברק מדגם מטאל אוקסיד. היות שמגני ברק אלה הם שילוב בין מגני ברק מדגם מרווחי פריצה ומגני ברק מדגם מטאל אוקסיד, בחירת האופייניים שלהם תהיה כדלקמן :

- מתח עבודה רציף (U_C) ומתח נקוב (U_R) יהיו כמו במקרה של מגני ברק מדגם מטאל אוקסיד .
- ערכי זרם הפריקה הנקוב (I_R) הם 5 ק"א או 10 ק"א .
- רמת ההגנה היא כמו במקרה של מגני ברק מדגם פריצה או מדגם מטאל אוקסיד
- (תלוי בנתונים הטכניים ובהמלצות של היצרן).

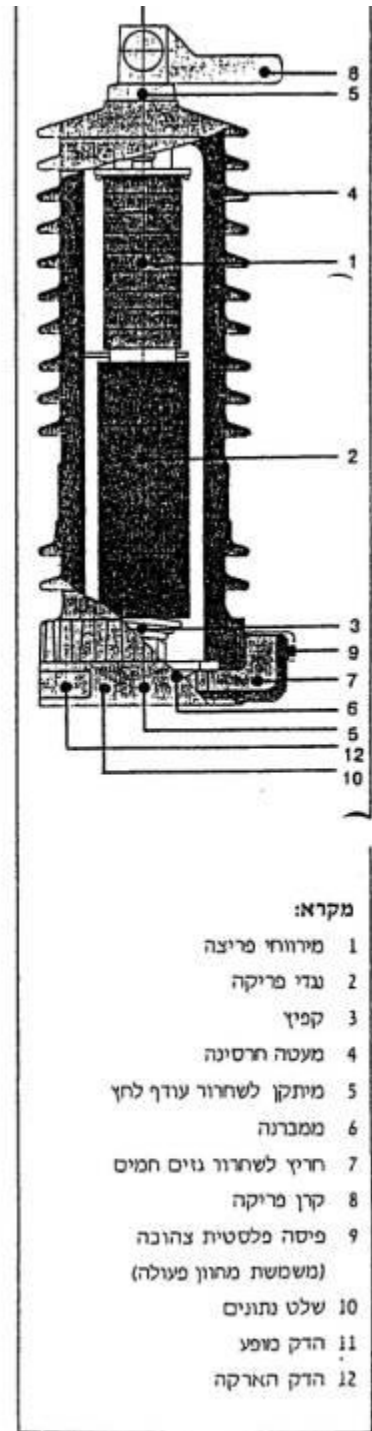
מצ"ב איור של שלושת מגני הברק:



מגן ברק מדגם ואריגאפ



מגן ברק מדגם מטאל אוקסייד



מבנה מגן ברק מדגם מירווחי פריצה

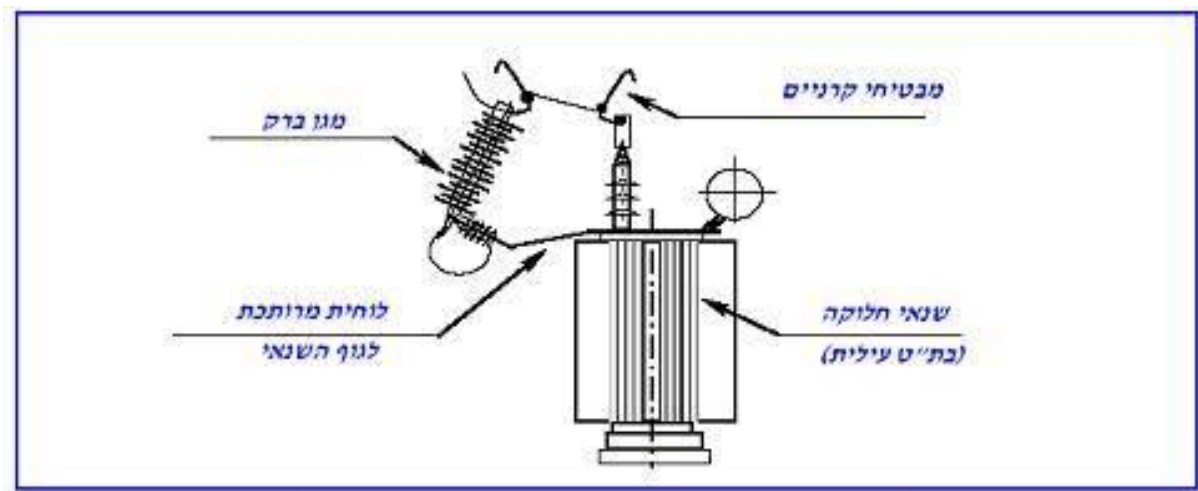
5. הסבר היכן חובת התקנת מגן ברק בקווים ובתחנות השנאה ?

תשובה: באופן כללי חובת התקנה של מגני ברק להגנה על תחנות השנאה תלויה בשני גורמים: הספק השנאי, והמיקום הגיאוגרפי (דרגה קראונית של האזור).

שנאים המותקנים בחברת חשמל שהספקם שווה או מעל 100 קו"א חייבים בקרני פריקה. בשנאים גדולים מעל 100 קו"א ההגנה בקרני פריקה או מגני ברק כתלות בגודל השנאי ובדרגה הקראונית באזור. שנאים מ-630 קו"א ומעלה מוגנים בכל מקרה באמצעות מגני ברק.

מבחינים ב-4 קבוצות של תחנות השנאה:

1. תחנות השנאה המחוברות לקטעים עיליים של קווי חלוקה ישירות או דרך כבלים תת קרקעיים.
2. תחנות השנאה המחוברות דרך כבלים תת קרקעיים לתחנת השנאה מקבוצה 1.
3. תחנות השנאה סופיות. כלומר, תחנות המוזנות על ידי כבל תת קרקעי יחיד (ללא כבל יוצא), כאשר בין התחנה ובין קו (קטע) עילי יש לפחות עוד שתי תחנות השנאה.
4. תחנות השנאה מוזנת ברשת תת קרקעית שאינה שייכת לאחת הקבוצות המפורטות.



התקנת מגן ברק בשילוב עם מרווח קרניים על שנאי חלוקה

6. הסבר מהי רמת הבידוד של ציוד ?

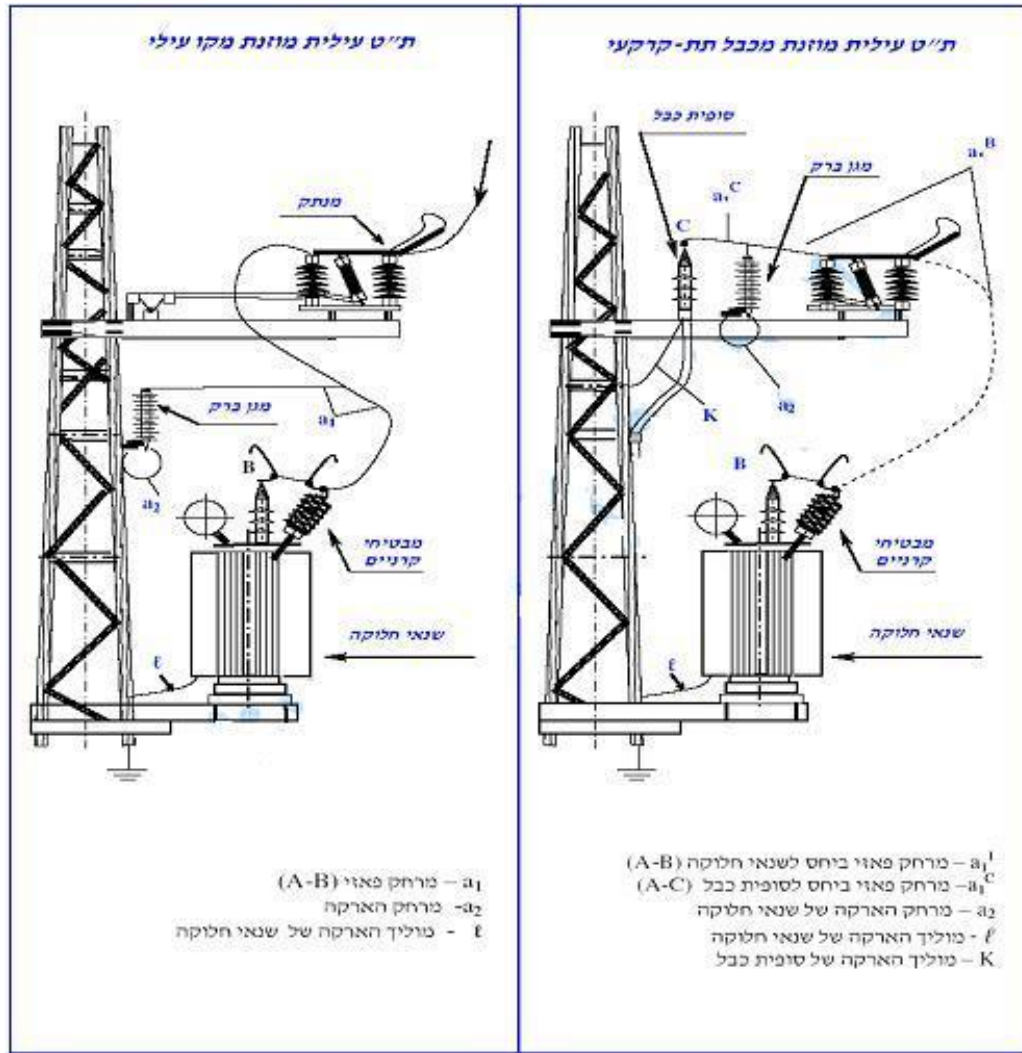
תשובה: Insulation Level – רמת מתח יתר שהבידוד עומד בו ללא פריצתו.

ככל שזמן פעולת מתח יתר קצר יותר, יכולת עמידת הבידוד גבוהה יותר.

מבחינים ב-3 סוגים של רמות בידוד:

- BIL – יכולת עמידת הציוד במתח יתר שמקורו בברקים.
- BSL - יכולת עמידת הציוד במתח יתר שמקורו במיתוגים.
- VVV - יכולת עמידת הציוד במתחי יתר חולפים.

דוגמאות להתקנת מגן ברק בתחנת טרנספורמציה חיצונית



שנאים

1. פרט את סוגי שנאי החלוקה המוכרים לך, מה ההבדלים בין השנאים?

תשובה: במונח שנאי חלוקה אנו מתכוונים בד"כ לשנאים בהספק בין 50 ל-1250 קו"א אשר ממוקמים לאורך קווי החלוקה במתח גבוה (6.3, 12.6, 22, 33 ק"ו) ומשמשים לחיבור צרכנים במתח נמוך (0.4 ק"ו). שנאי החלוקה משמשים לחלוקת הספק ולכן שייכים לקבוצה רחבה יותר של שנאים הידועים בספרות המקצועית כשנאי הספק.

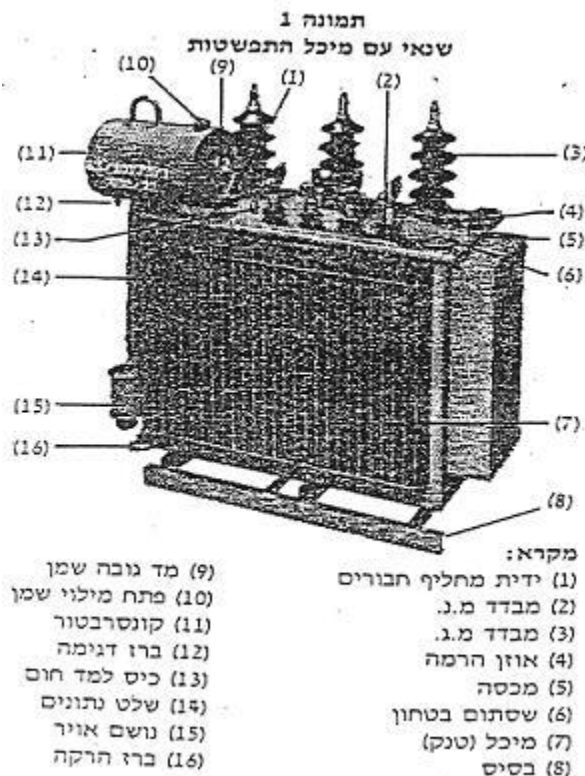
סוגים של שנאי חלוקה

קיימים מספר סוגים עיקריים של שנאי חלוקה:

- שנאי טבול בשמן עם קונסרבטור.
- שנאי אטום (טבול בשמן בלי קונסרבטור).
- שנאי יבש.

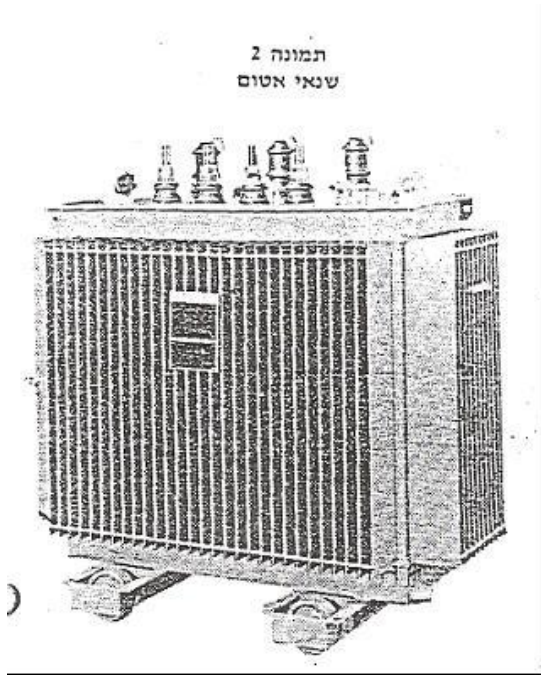
שנאי טבול בשמן עם קונסרבטור: בסוג זה – השנאי עצמו, כלומר הגרעין והליפופים המורכבים עליו, מוכנסים לתוך מיכל מלא שמן. כאשר השמן מתחמם הוא מתחיל לזרום בתוך המיכל ומקרר את השנאי על ידי זרימה טבעית זו. קשיי הקירור של השנאי גדלים ככל שעולה הספקו ולכן מתקינים לכל שנאי מיכל בהתאם להספקו.

בתמונה ניתן לראות דוגמה של שנאי עם תא התפשטות המקובל בייצור כיום – מיכל עם צלעות קירור. ניתן לראות שעל מכסה המכל מורכבים חלקים חשובים כגון המבדדים למתח גבוה ומתח נמוך, תא התפשטות השמן (קונסרבטור), שסתום בטחון, ידית מחליף דרגות, כיס למד חום.



שנאי אטום

בתמונה ניתן לראות שנאי אטום, כפי שרואים המבנה החיצוני פשוט יותר: אין קונסרבטור ואין נושם אויר.
 בחברת חשמל מנסים כיום את פעולתם של שנאים אלה ואם הניסיון יצליח, תיתכן מגמה להרחיב את השימוש בהם, כיון שאינם דורשים כמעט תחזוקה.

**שנאי יבש**

להבדיל מהשנאי הטבול בנוזל, כאן הסלילים דבוקים באפוקסי (שרף) המשמש כחומר בידוד. איורור מתאים מובטח בין השאר על ידי מרווחי האויר בין סלילי המתח הגבוה והנמוך ובתוך סלילי המח הנמוך עצמם (ראה תמונה 3).
 אפוקסי בו משתמשים נדלק בקושי רב והוא בעל מכונת כיבוי עצמי. מכאן, השנאי היבש מתאים במיוחד להתקנה במקומות שבהם נדרשת בטיחות גבוהה מפני שריפה.
 המבנה הפתוח של השנאי והעובדה שהאפוקסי מתיישן בקרני השמש ומאבד את תכונותיו, מחייבים התקנה פנימית.
 הייצרנים טוענים שהשנאי היבש אינו דורש אחזקה, מאידך טוענים המתנגדים שיש להקפיד על ניקיון מתמיד למניעת זליגה ופריצה על פני הסלילים.
 בפועל כמעט ולא מתבצעת אחזקה.
 בארץ לא מייצרים עדיין את הסלילים וכל היצרנים מייבאים את הסלילים מחו"ל ומרכיבים אותם בארץ.

2. מהם התנאים לחיבור שנאים במקביל?

תשובה: תנאים לחיבור שנאים במקביל:

- מתחים נקובים זהים בצד הראשוני ובצד המשני.
- קבוצת חיבורים זהה.

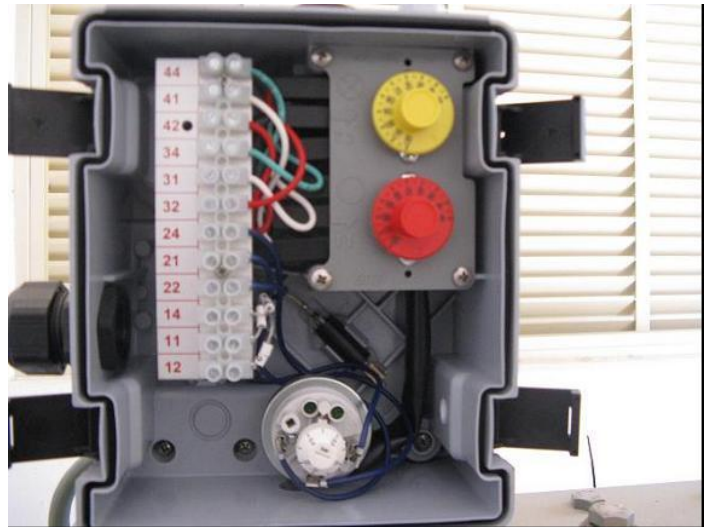
$$\frac{S_{1n}}{S_{2n}} < 3$$

- יחס בין ההספקים הנקובים קטן מ-3
- מתח קצר באחוזים שווה (בתחום של $\pm 10\%$).

3. הסבר איזה הגנות שנאים קיימות, תאר את עקרון פעולתם?

תשובה: בשנאים קטנים של כמה מאות VA משתמשים בדרך כלל בהגנת DGPT שמתריע על

רמת שמן, רמת ופליטת גזים, לחץ יתר בתוך השנאי, טמפי' יתר של השנאי ושל השמן, הגנת זרם יתר ומשטרי עבודה חריגים.



בשנאים גדולים ניתן לחלק את מערך ההגנות לתקלות פנימיות, ותקלות חיצוניות.

הגנות בפני אירועים פנימיים:

- הגנות בפני עליית טמפרטורה.
- הגנה ליתרת זרם (בצד מתח ההזנה).
- הגנת גזים (ממסר בוכהולץ).
- הגנת לחץ (בשנאים ללא מיכל התפשטות).
- הגנה דיפרנציאלית.
- הגנה דיפרנציאלית בזרם פחת.

הגנות בפני אירועים חיצוניים:

- הגנה מושהית בפני עומס יתר.

- הגנות ליתרת זרם במחליף הדרגות (נעילה).

- הגנת משען בפני כישלון מפסק הזרם (בצד היציאה).

הגנת טמפרטורה: בתנאי עבודה של עומס יתר טמפרטורת השנאי עולה מעבר לטמפרטורת

העבודה בעומס נקוב. כמו כן השנאי מגיע לחימום יתר כאשר:

- טמפרטורת הסביבה גבוהה במיוחד.

- יש תקלות במערכות הקירור.

- יש תופעות של רווית הליבה.

התחממות יתר עלולה לגרום:

- החלשת הבידוד.

- התפשטות רכיבים, במיוחד מתכתיים.

- התרופפות מגעים.

מדידה ישירה של טמפרטורת הליפופים מורכבת מאוד ולכן נמדדת הטמפ' בנקודה החמה ביותר בשנאי, בשילוב של הדמיה תרמית.

מד הטמפ' ממוקם בתוך שרוול מלא שמן בחלק העליון של מכל השנאי. בתוך השרוול נמצא גם גוף חימום המוזן בזרם יחסי לזרם העומס, עליית הטמפ' בשרוול היא יחסית לעליית הטמפ' בשנאי ובעל אותו קבוע זמן.

מד הטמפ' מצויד במגעים להפעלת המאווררים ב- 80 מעלות ולהפסיקם ב-55- מעלות, ב-100 מעלות מופעלת התראת טמפ' המשודרת לפיקוח הארצי על המערכת.

כגיבוי נמצא מד טמפ' נוסף במכל השמן של מחליף הדרגות בשנאים עם מחליף דרגות בעומס. גם ממסר זה מצויד בממסר התראה בפני חימום יתר העלול להיווצר כתוצאה ממגעים רופפים או קשתות במחליף הדרגות.

הגנת ליתרת זרם: ההגנה בפני זרמי יתר מורכבת בצד ההזנה כלומר בצד מתח עליון ולה שתי דרגות הפעלה:

א. דרגה מהירה המיועדת לפעול במקרים של קצרים פנימיים בשנאי. דרגה זו מכוילת לערך גבוה, מאות אחוזים מעל הזרם הנקוב. תחום ההפעלה של דרגה זו הוא לכל היותר 80% מעכבת השנאי. ההגבלה נקבעת מטעמי סלקטיביות כלפי הגנות מעגלי מתח-גבוה.

ב. דרגה מושהית הבאה להפסיק את השנאי במקרה של היוצרות עומס יתר חיצוני, כלומר מצד הרשת. פעולת ההפסקה מתבצעת בעזרת ממסרים ליתרת זרם מושהים וישנם שני סוגים של ממסרים כאלה:

- ממסרים בעלי אופיין הפעלה "זמן קבוע" הפועלים לפני שהיית זמן קבועה.

- ממסרים בעלי אופיין הפעלה "זמן הפוך" שצורת פעולתם כבר הכרנו. רוב השנאים

בתחמ"שים מצוידים בממסרים מסוג זה.

בנוסף לממסר יתרת זרם המורכב בצד מתח עליון של השנאי, מורכב בכל השנאים בעלי שתי יציאות מתח גבוה ממסר נוסף ליתרת זרם, צד המתח הגבוה.

הגנת גזים (בוכהולץ): כאשר יש בעיות בבידוד בתוך השנאי הדבר עלול לגרום לקצרים בין כריכות בעלות פוטנציאל שונה. בעקבות כך עלולה להתפתח קשת חשמלית אשר תהרוס את הבידוד ואת השמן. הפירוק הכימי של חומרי הבידוד מלווה בהיווצרות גזים, קיום גזים בכמות מסוימת בתוך מיכל השנאי יכול להצביע על תקלה פנימית בשנאי, שיטה לאבחון ומדידת כמות הגזים בתוך מיכל השנאי לבין מיכל ההתפשטות. היות והגזים הם בעלי משקל סגולי נמוך מאשר השמן, עם הופעתם הם עולים לחלק העליון של מיכל השנאי, ומכאן לכיוון הקונסרבטור דרך ממסר הגזים [1].

בתוך הממסר ישנם שני מצופים עם מגעי כספית :

א. מצוף עליון להפעלת מעגל התראה

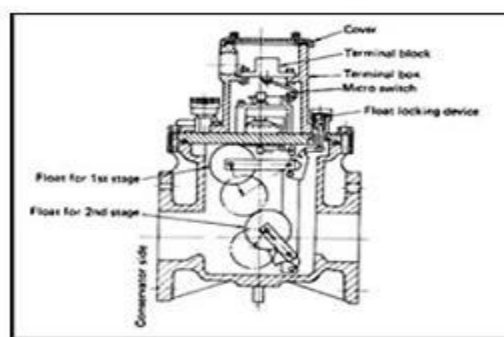
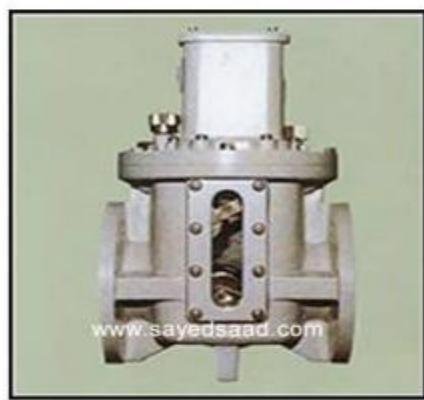
ב. מצוף תחתון להפעלת מעגל הפסקה

בעבודה רגילה של השנאי כאשר רמת השמן תקינה, המצופים מחזיקים את מגעי הכספית במצב פתוח, במצב זה אין בועות גזים או שמן בין מיכל השנאי לבין הקונסרבטור. במקרה של קשת חשמלית חלשה בתוך השנאי, כמות הגזים התקינה נמוכה או מספיקה, כדי לגרום להפעלת המצוף העליון של ממסר הגזים למסירת אות או התראה בלבד. כאשר כמות הגזים היא גדולה עקב קשתות חזקות הלחץ שלהם יהיה מספיק גבוה כדי לגרום גם להפעלת המצוף התחתון, הדבר גורם להפעלת מעגל ההפסקה של השנאי.

ממסר הגזים יכול לפעול גם במצבים הבאים :

א. תנודות השמן בתוך מיכל השנאי (בזמן רעידות אדמה) במקרים כאלה זורמים כמויות גדולות של שמן בין המיכל לקונסרבטור. ממסר הגזים עלול להיות מושפע ע"י זרימה זו ולפעול ללא צורך להפסקת השנאי.

ב. הצטברות בועות אוויר בתוך השמן, האוויר עלול לחדור לתוך השמן בזמן עבודות אחזקה, עקב אטימה לקויה או בזמן מילוי המיכל.



הגנת לחץ: כאשר השנאי בנוי ללא מיכל התפשטות, אין אפשרות להרכיב ממסר גזים ולכן מציינים אותם בממסר לחץ. עקרון הפעולה מבוסס על כך שהגזים המצטברים בעת תקלות פנימיות אינם יכולים לצאת מן המכל ויוצרים לחץ על דפנותיו. ממסר הלחץ מורכב על הדפנות במקום הרגיש ביותר.

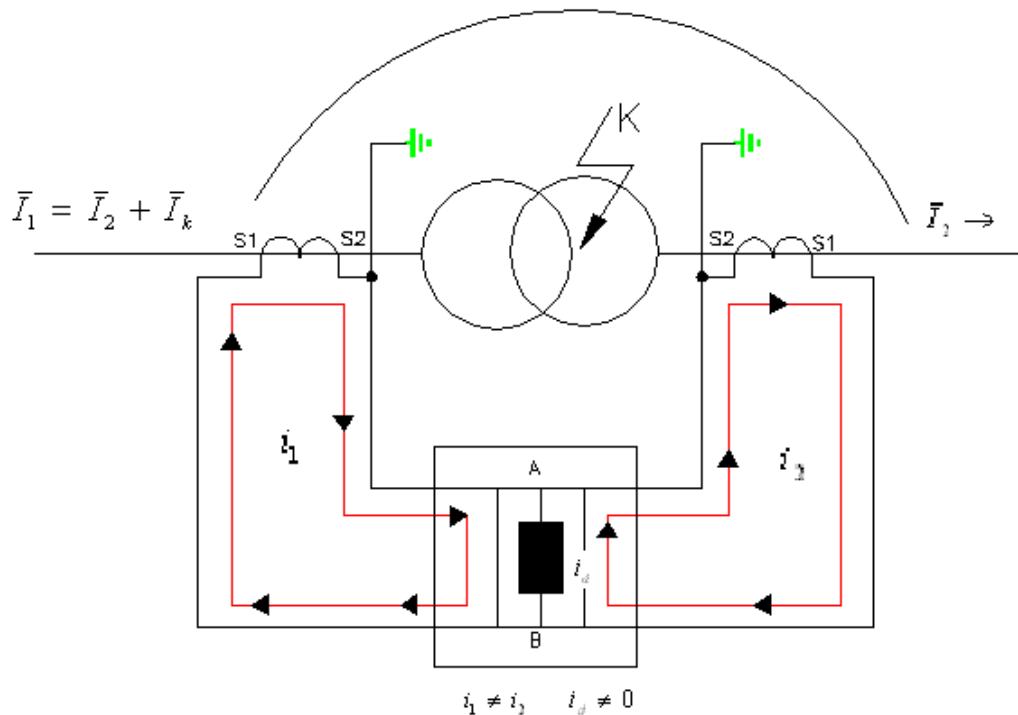
יש לציין שמלבד תקלות פנימיות הגורמות לעליית לחץ במכל השמן של השנאי וכתוצאה מכך להפעלת ממסר הלחץ, יכולים גם קצרים קרובים ברשת החיצונית לגרום להפעלתו. הסיבה לכך נעוצה בכך שזרמי קצר גבוהים מאוד מפתחים כוחות אלקטרו דינמיים גבוהים בתוך השנאי ואלה בתורם גורמים לזעזועים של הליבה. הליבה שקועה בשמן וגורמת להיווצרות "גלים" בשמן.

הגנת דיפרנציאלית: עקרון הפעולה של ההגנה הדיפרנציאלית מבוסס על כך שהזרם המשני הזורם בליפוף המשני של השנאי נקבע על ידי העומס המחובר אליו. זרם זה קובע את גודלו של הזרם הראשוני אשר חייב להיות שווה לו בעקרון ולמעשה קצת יותר גבוה על מנת לכסות על האיבודים, נחשת וברזל כאחד. (כמובן שיש לקחת בחשבון את מקדם ההשנאה).

השוואה וקטורית של שני זרמים תגלה תקלה אשר תתבטא באי-שיוויון בין שניהם, כלומר $I_1 \neq I_2$. הזרמים למדידה מתקבלים ממשני זרם המורכבים משני צידי השנאי ותוחמים את גבולות התחום המוגן על ידי ההגנה הדיפרנציאלית. יש להדגיש: התחום המוגן על ידי ההגנה הדיפרנציאלית אינה מצביעה בהכרח על תקלה בתוך השנאי. בשרטוט לעיל מתואר עקרון פעולה של הגנה זו:

כל עוד מדובר בעבודה רגילה או תקלה מחוץ לתחום המוגן, הממסר הדיפרנציאלי לא יופעל משום שהסכום הוקטורי של שני הזרמים העוברים דרכו שווה לאפס. $I_1 + I_2 = 0$

דוגמה לחיבור של שנאי בהגנה דיפרנציאלית אזור ההגנה



במקרה קצר בשנאי מתווסף לזרם העומס I_2 זרם הקצר I_k ולכן $I_1 = I_2 + I_k$ אי שיווין שני הזרמים העוברים דרך הממסר הדיפרנציאלי יפעיל אותו. ההגנה הדיפרנציאלית פועלת להפסקת השנאי בו זמנית משני צדדיו.

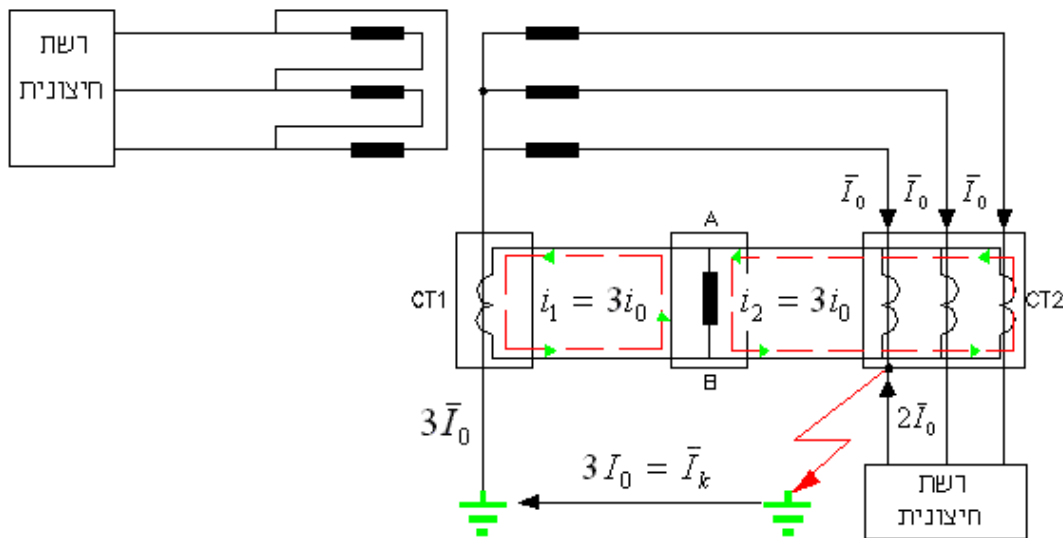
ההגנה הדיפרנציאלית עלולה לפעול לעיתים בעת חיבור שנאי בריקם, כאשר מפסק הזרם מצד מ"ג מופסק. הסיבה לכך היא זרמי מגנוט של השנאי.

חיבור מחדש של שנאי שהופסק על ידי הגנה דיפרנציאלית יעשה באישור גורם תפעול מוסמך ולאחר בדיקה חזותית של הציוד שנמצא בתחום המוגן.

הגנת דיפרנציאלית בזרם פחת: בדומה להגנת פחת במעגלי מתח גבוה, גם כן רק כשנק' האפס של השנאי מוארקת ישירות או דרך נגד). כמו בהגנת הפחת במעגלים, גם כאן מוסיפים משנה זרם בין נקודת האפס של הליפוף לבין הארקה, בשרטוט הבא מתואר מקרה בו הקצר מחוץ לתחום המוגן, התחום המוגן הוא התחום הכלול בין משני הזרם הפאזיים, CT2, דרך ליפוף הכוכב של השנאי הראשי עד למשני זרם CT1.

אם הקצר הוא בנק' K בשרטוט, כלומר מחוץ לתחום המוגן, הממסר לא יפעל משום שלגביו

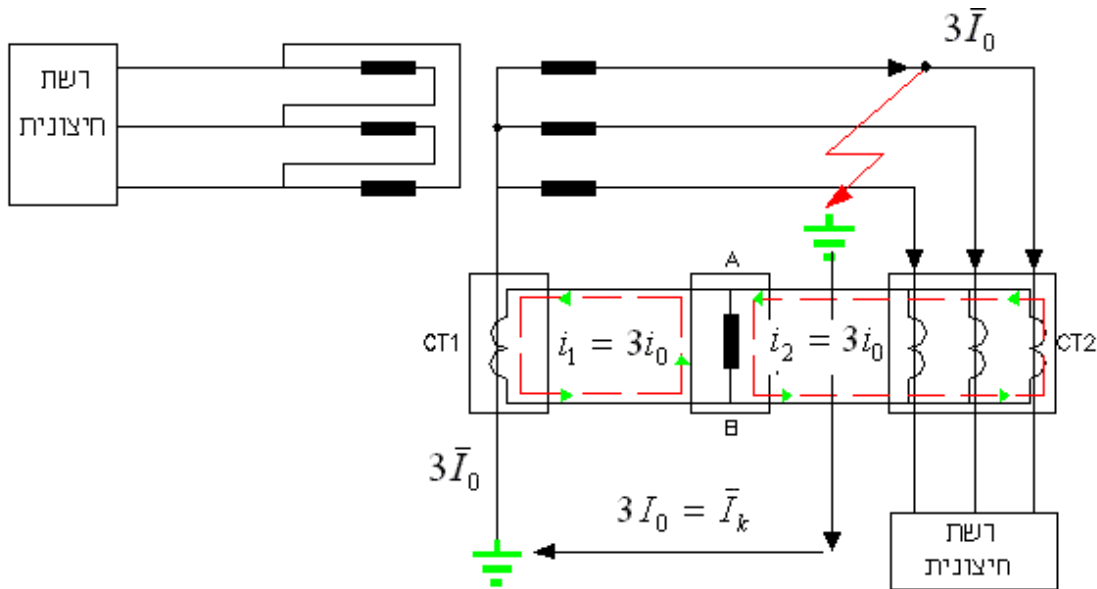
$$i_1 = 3i_0 = i_2 \quad \text{נשמר השוויון:}$$



המקרה השני כאשר נקודת הקצר K נמצאת בתחום המוגן. מתואר בשרטוט בהמשך, מבחינים בשתי אפשרויות: א. כאשר השנאי בריקם, כלומר מפסק זרם מ"ג מופסק. ב. כאשר מפסק המתח מחובר והשנאי עמוס. השרטוט הראשון מתייחס לאפשרות שהשנאי נמצא בריקם. במקרה כזה

דרך תילי הפאזות לא זורם ואילו זרם הקצר I_k , נסגר דרך משנה הזרם CT1 וגורם

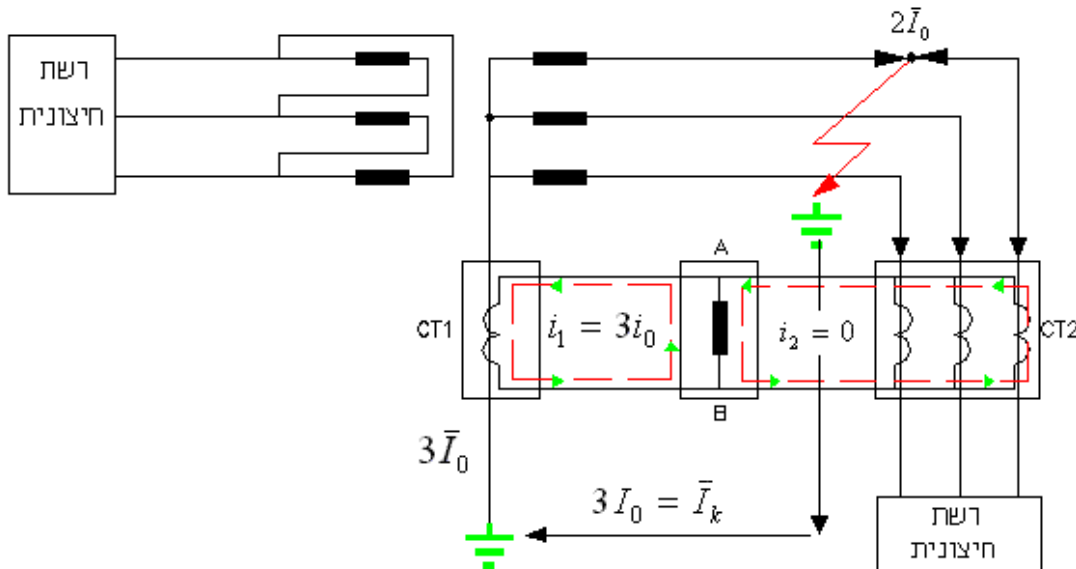
$$\text{להפעלת הממסר מכיוון: } i_1 \neq i_2, i_2 = 0, i_1 = 3i_0, I_k = 3I_0$$



אפשרות נוספת היא שהשנאי עמוס, כלומר מפסק זרם מ"ג מחובר.

במקרה זה יזרום זרם דרך תילי הפאזות אך $i_2 = 0$ משום שהסכום הוקטורי של הזרמים העוברים דרך CT2 הוא אפס, משום שהזרם העובר דרך משנה הזרם של הפאזה המקוצרת זורם בכיוון הפוך לזרם ב-2 הפאזות האחרות ושווה לסכומם.

זרם הקצר I_k הנסגר דרך האדמה ודרך הליפוף הראשוני של CT1 גורם לזרימת זרם $i_1 = 3i_0$ וכתוצאה מכך הממסר יפעל.



שנאי זרם מתח

1. הסבר מהו שנאי זרם?

תשובה: במתקנים גדולים עלולים לזרום זרמים גדולים עד עשרות אלפי אמפר). מדידה ישירה של ערכים בסדר גודל כזה הנה בלתי אפשרית. לכן משתמשים באמצעי "שיקוף" ערך הזרם והורדתו לערכים הניתנים למדידה ישירה אמצעי כזה הוא שנאי זרם. הצד הראשוני של שנאי הזרם מחובר ישירות למתקן בו נמדד הזרם בעוד שהצד המשני מחובר לציוד המדידה או להגנות. קיים יחס קבוע בין הצד הראשוני לצד המשני. על פי הרוב בנויים שנאי הזרם להורדת ערך זרם ראשוני מרבי לערך קבוע של 1A, 2A, 5A, וזאת כדי לאפשר אחידות של מכשירי מדידה, הגנות, מנייה ובקרה.

יחס השנאה של שנאי זרם סטנדרטי

50:5	100:5	150:5	200:5	250:5	300:5	400:5
450:5	500:5	600:5	800:5	900:5	1000:5	3200:5
1500:5	1600:5	2000:5	2400:5	2500:5	3000:5	3200:5
4000:5	5000:5	6000:5				

2. איזה סוגי שנאי זרם קיימים במסדרי מתח גבוה?

תשובה: שני סוגים של שנאי זרם נפוצים במתקני מתח גבוה:

- **מכל- הליבה ממוקמת בחלקו התחתון של המכל בסמוך לקרקע. המוליך הראשוני בצורת U. יתרונות:** מרכז כובד נמוך, עמידות ברעידות אדמה, אין מאמצים בשל המשקל על המבודד, טמפרטורה אחידה. **חסרונות:** תצורה אינה מתאימה לזרמים מעבר ל-3000 אמפר, מוגבל לזרמי קצר מרביים של 60-80 קילו-אמפר בגלל כוחות אלקטרו דינמיים, בידוד ראשוני יקר ומורכב.
- **ליבה עילית – הליבה ממוקמת בחלקו התחתון של שנאי הזרם. המוליך הראשוני בצורת מוט יתרונות:** הפסדים תרמיים קטנים, עמידות טובה בזרמי קצר, זול יותר במיוחד במערכות 170 קילו-וולט. **חסרונות:** מרכז כובד גבוה, מאמצים במבודד בשל משקל הליבות, לא עמיד ברעידות אדמה, קושי לקרר את הליבה כי היא בחלק העליון.

3. הסבר את ההבדל בין שנאי זרם למדידה לשנאי זרם להגנות?

תשובה:

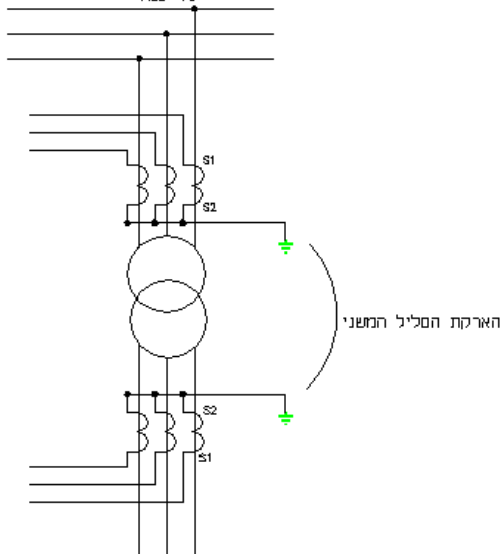
שנאי זרם למדידה: משמש למדידת ערכי זרם במעגל החשמלי. מתוכנן להיכנס לרוויה כאשר הזרם הראשוני עולה מעבר לערך מסוים בד"כ $5In$.
 גרעין המדידה מצוין לפי התקן האירופי ב-FS (Factor security) מקדם זה מצביע על היחס בין הזרם הראשוני $I1$ עבורו נכנס הזרם לרוויה. לזרם הראשוני הנקוב (FS=5) לעיתים מצוין בשלט מקדם זה על ידי האות n.
שנאי זרם להגנה: גרעין ההגנה (P) האות P מציינת את ייעוד הגרעין (Protection), הוא משמש להזנת ממסרי הגנה, תוך שמירה על רמת דיוק מספקת עבור כל גודל זרם צפוי במעגל.
 גרעין ההגנה מצוין על פי התקן האירופי ב-ALF (Accuracy Limit Factor) (או ב-Fn) מקדם זה מצביע על היחס בין הזרם הראשוני $I1$ לזרם הראשוני הנקוב עבורו מבטיח השנאי רמת דיוק כמצוין בלוח הזיהוי (ערך אופייני $ALF=20$).
 דוגמה לדיוק גרעין ההגנה: על גרעין רשום Class 10P ALF30.
 מנתונים אלה ניתן ללמוד כי הגרעין מיועד לחיבור הגנות וכי בזרם הגדול פי 30 מהזרם הנקוב תהיה שגיאת מדידה בגבולות $\pm 10\%$.

שאלה דומה שנשאלה בוועדה:

4. נתון שנאי זרם הסבר את הנתון הרשום עליו 5P10?

תשובה: הגרעין מיועד לחיבור הגנות P (Protection) ובזרם הגדול פי 10 מהזרם הנקוב תהיה שגיאת מדידה בגבולות $\pm 5\%$.

דוגמה לחיבור שנאי זרם בהגנה דיפרנציאלית של שנאי



5. מדוע מאריקים את הצד המשני בשנאי זרם?

תשובה: למניעת היוצרות מתח גבוה מאוד בצד המשני ביחס לאדמה יש להאריק את קצה הסליל המשני בנקודה אחת (S1 או S2). זאת במיוחד בשל חשש מפריצת מתח מהצד הראשוני וחשמול במתח מסוכן של כל הציוד המחובר לשנאי זרם. בליבות שאינן בשימוש יש לקצר את שני קצוות הליפוף המשני ולהאריק.
 מצ"ב שרטוט של שנאי זרם בהגנה דיפרנציאלית בשנאי:

6. הסבר מה ההבדל בין שנאי זרם לשנאי הספק?

תשובה:

שנאי זרם	שנאי הספק	
פתיחת המעגל המשני של שנאי זרם אינה משפיע על גודל הזרם בצד הראשוני. זרם המגנוט, השטף והמתח במשני עולים לערכים גדולים מאוד.	בעת חיבור למתח רשת זרם ריקם בצד הראשוני. בצד המשני מופיע מתח בעל ערך נקוב	פעולה בריקם
קיצור ההדקים של הסליל המשני לא גורם לכל שינוי בערך הזרמים (בראשוני ובמשני)	עבור מתח נומינלי בצד הראשוני, מתפתחים בליפופים זרמים גבוהים ומסוכנים, במצב זה נפסקת ההזנה לשנאי על ידי הגנותיו.	קצר חשמלי בהדקי צד משני
חיבור בטור למעגל	חיבור מקבילי למתח ההזנה	צורת החיבור למעגל
חיבור צרכנים בטור, מביא לעליית ערך עכבת העומס העמסת יתר מביאה לעליית מתח בהדקים המשניים, ויצאה מלינאריות	עליה בצריכה מגדילה את עוצמת הזרם בכריכות ועלולה לגרום לעומס יתר מעל המותר	העמסה
הזרם וני תלוי אך ורק במעגל הנמדד. גודל הזרם בסליל המשני אינו משפיע על ערך הזרם בליפוף הראשוני	עליה בעומס המשני גוררת עליית זרם בסליל המשני וכתוצאה גדל הזרם בצד הראשוני	זרמים בסלילים ראשוני ומשני
לא קיים הפרש פוטנציאלים בין הדקי הצד הראשוני. הגורם להיווצרות זרם המגנוט והשטף המגנטי הינו זרם העומס. בעבודה רגילה יכול זרם זה לקבל ערך מ-0 עד לערך נקוב. (זרם מגנוט ושטף לא קבועים בעבודה רגילה)	הגורם להיווצרות שטף מגנטי וזרם מגנוט הוא מתח הרשת המזינה. לכן במשטר עבודה רגיל השטף המגנטי וזרם המגנוט קבועים	שטף מגנטי וזרם מגנוט

תמונה של שנאי זרם עבור לוח מתח גבוה SM6 מרלן ג'רן



For 630 A units
DMV-A, DMV-D

Transformer ARJP2.N2F

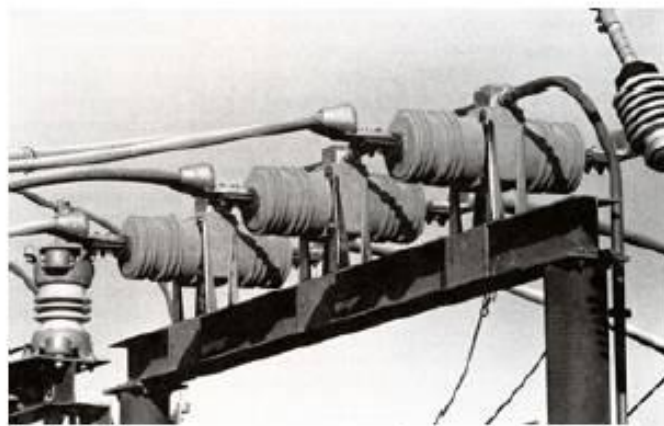
■ single primary winding;

■ double secondary winding for measurement and protection.

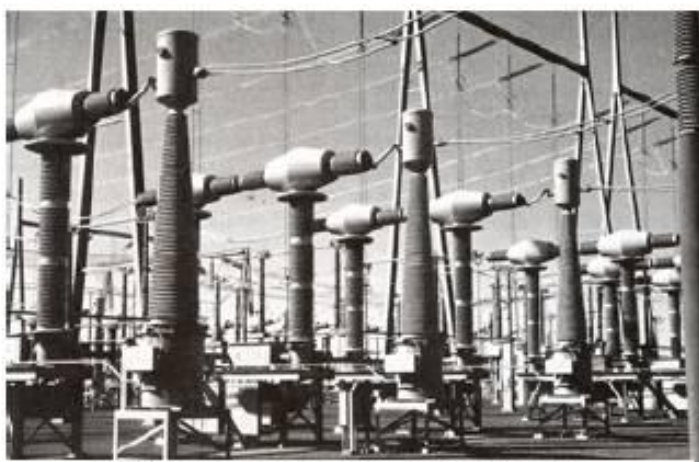
Short-time withstand current I_{th} (kA)

I_n (A)	60	100	200	400	600	
I_{th} (kA)	25					
t (s)	1					
measurement and protection	1 A	10 VA class 0.5	15 VA class 0.5	15 VA class 0.5	15 VA class 0.5	20 VA class 0.5
	1 A	2.5 VA 5P20	2.5 VA 5P20	5 VA 5P20	5 VA 5P20	7.5 VA 5P20
measurement and protection	5 A	10 VA class 0.5	15 VA class 0.5	15 VA class 0.5	15 VA class 0.5	20 VA class 0.5
	5 A	2.5 VA 5P20	2.5 VA 5P20	5 VA 5P20	5 VA 5P20	7.5 VA 5P20

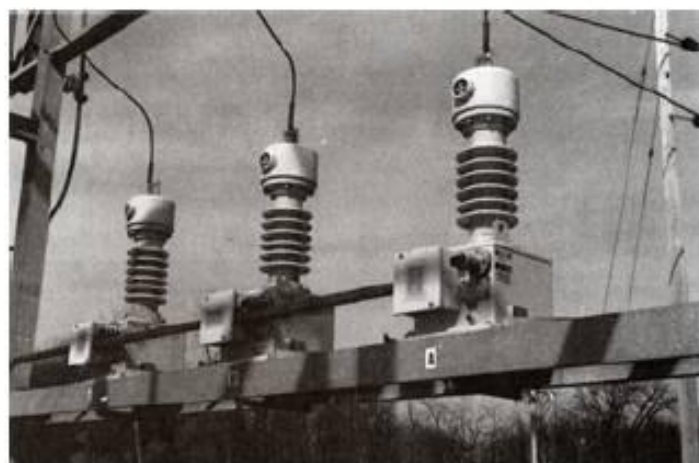
התמונות הבאות מציגות שנאי זרם ושנאי מתח להספקים גדולים.



שלושה שנאי זרם למתח [KV] 15 יחס ההשגאה 2000:5



שלושה שנאי זרם למתח [KV] 400 יחס ההשגאה 700:5

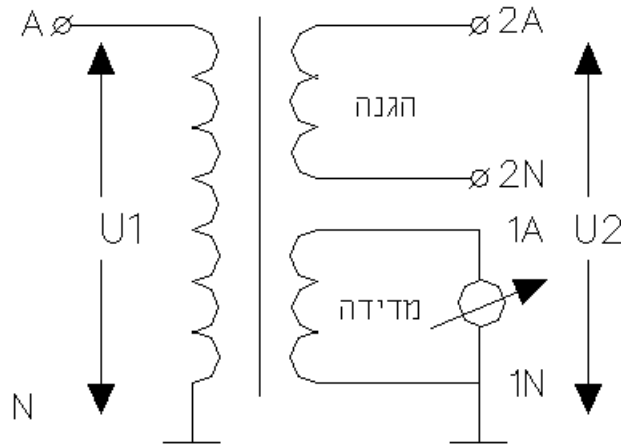


שלושה שנאי מתח למתח 34.5kv יחס ההשגאה 34500:115

7. הסבר תפקידו של שנאי מתח/משנה מתח?

תשובה: במתקני מתח גבוה לא ניתן למדוד את המתחים באופן ישיר ולכן משתמשים במשנה מתח שתפקידו להפריד בין מעגל המתח הגבוה לבין מעגל המדידה.
 באופן כללי ייעודו לבצע מדידת מתח לצורך מנייה וקביעת ההספק וכפרמטר בממסרי ההגנה.
 בד"כ משנה מתח כולל שני ליפופים משניים אחד למדידה ושני לחיבור מערכת ההגנה.
 מתח משני אופייני הוא 100V או 110V .

סכמת משנה מתח



גם במשנה מתח חייב להאריק את הסליל המשני וזאת כדי למנוע הופעת ערכי מתח מסוכנים שעלולים להתפתח בסלילים המשניים כלפי האדמה, במיוחד בשל החשש מפריצת מתח הצד הראשוני לצד המשני. הארקה מתבצעת רק בצד אחד של הסליל המשני

8. הסבר חיבור שנאי מתח במשולש פתוח, למה הוא משמש? איזה ערך צפוי בהדקו בעת

קצר בין מופע לאדמה?

תשובה: כאשר מתחי הרשת תקינים סכום המתחים המתקבלים בהדקי המשולש הפתוח שווה בקירוב לאפס. בעת קצר חד פאזי לאדמה במערכת בעלת נקודת אפס מבודדת או מחוברת לאדמה דרך סליל פטרסון, עולה מתח הפאזות הבריאות כלפי האדמה.
 המתח שמתפתח בהדקי המשולש הפתוח יכול להגיע לערך של $3 \cdot U_{2n}$. במערכות בעלות נקודת אפס מוארקת ישירות מגיע מתח הדקי המשולש ל- U_{2n} .
 במערכות בעלות נקודת אפס מבודדת או מאורקת דרך סליל נהוג להשתמש בשנאי מתח $U_{2n} = 110\sqrt{3}V$.
 במערכות בעלות נקודת אפס מוארקת ישירות נהוג להשתמש בשנאי מתח $U_{2n} = 110V$.

מפסקים ומנתקים

1. הסבר מהו מפסק זרם ואיזה סוגים הנך מכיר?

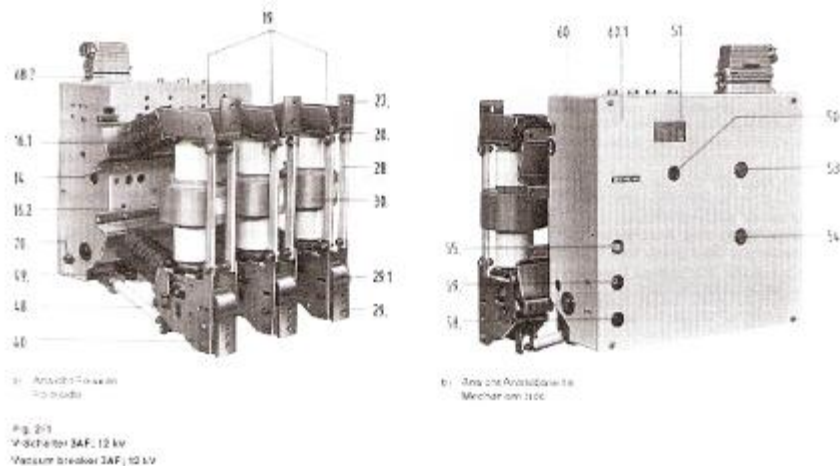
תשובה: מפסקי זרם - ציוד מיתוג שתפקידו להפסיק/לחבר את הזרם במעגל החשמלי (זרם נקוב, זרם יתר/קצר ו/או עומס יתר).

דרישות ממפסקי זרם:

- יכולת הפסקת זרמי קצר.
- מהירות פעולה.
- מוכנות לחיבור חוזר.
- יכולת הפסקת זרמים נמוכים בעלי אופי קיבולי או השראתי.
- פשטות בתפעול ואחזקה.
- אמינות.
- יכולת לבצע מספר רב של פעולות.
- עבודה תקינה במצב מחובר לאורך זמן.
- עמידה בפני השפעות תרמיות ודינמיות כתוצאה מזרם קצר.

סוגי מפסקי זרם:

- מפסקי זרם באוויר (דחוס) - מזב"א: כיבוי הקשת מתבצע על ידי פתיחה מהירה (קפיץ חזק) של המפסיק תוך שחרור לחץ אוויר חזק לתווך בין המגעים ("נשיפה").
- מפסיק זרם דל שמן (מזב"ש): במפסקים אלה כל מגע בנפרד נמצא במיכל קטן של שמן כאשר במגע הנייד מותקנת דיסקית מחוררת. עם פתיחת המגעים עוברים טיפות שמן ההופכים לגז חנקן בזמן קצר ומפעילים לחץ פתיחה נוסף חזק על המגע הנייד שנפתח במהירות ובנוסף "חונק" את הקשת החשמלית.
- מפסיק זרם בוואקום (מזב"ק): במגעים ממוקמים בתא חסר אוויר. עקב כך לא מתקבלת יוניזציה של האוויר



מפסק זרם בוואקום

- **מפסיק זרם בגז (מזב"ג):** המגעים וסביבתם בתוך גז SF6 (סולפור פלואוריד) המכבה את הקשת החשמלית. ככל שלחץ הגז גבוה יותר כן גדל כושר הניתוק



מפסיק זרם בגז



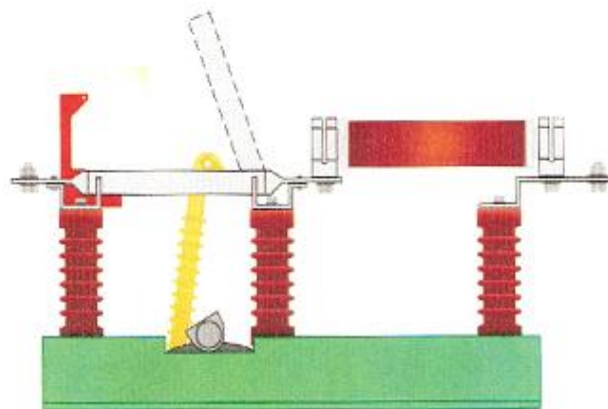
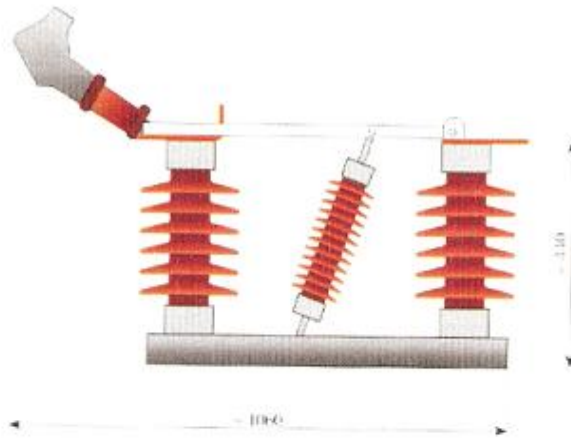
מפסיק זרם בגז מסוג SF1

2. הסבר מהו מנתק ?

תשובה: מנתק: ציוד מיתוג שתפקידו להפריד בין שני קטעים של המערכת/מעגל, תוך אפשרות לביצוע ביקורת חזותית של מגעיו. פעולותיו: פתיחה/ סגירה של מעגל חשמלי. תפקידיו: א. בטיחותית – רואים את הפרדת המגעים (שלא כמו במפסיק זרם). ב. תפעולית – בהתאם למגעיו יודעים מי מחובר ומי לא.

עקרון פעולה: באופן כללי המנתק אמור להיפתח ללא זרם. כלומר, קודם יש להפסיק את הזרם (הפעלת מפסיק זרם) ורק אחר כך פתיחת המנתק. זאת מאחר ואין למנתק אפשרות לכיבוי הקשת החשמלית. במנתקים חדשים (בתאים בד"כ) מותקנים גם אמצעים לכיבוי הקשת החשמלית אך רק בזרמים נקובים ובשום מקרה לא זרם קצר.

השימוש הנפוץ הוא במנתק עומס, ובתחנות פנימיות: מנתק בעומס עם נתיכים. השילוב יוצר מצב בו המנתק מופעל בזרמי עומס והנתיך משמש כהגנה בפני זרם קצר.



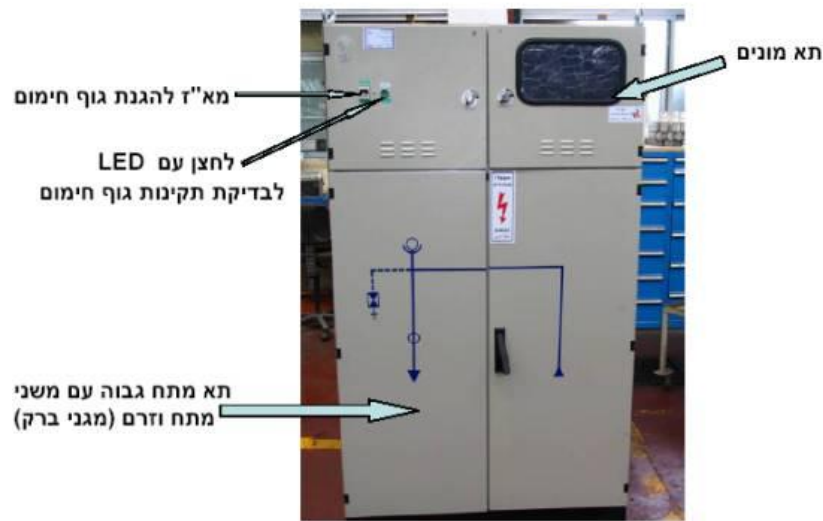
מנתק בעומס

שונות

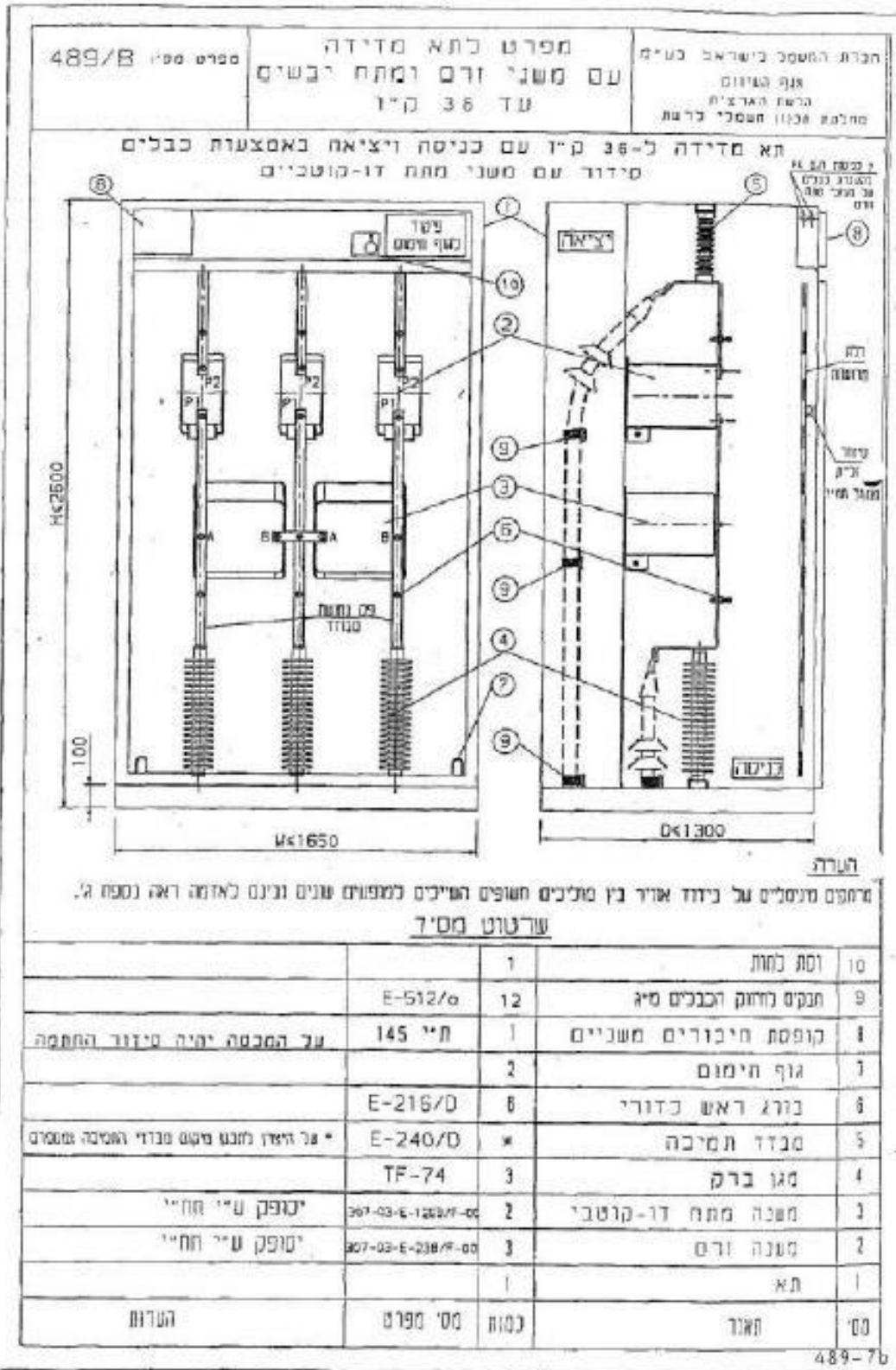
1. הסבר מה מכיל תא מדידה, וכיצד מתבצעת המדידה במתח גבוה?

תשובה: המרכיבים העיקריים בתא מדידה הם: משני זרם יבשים, משני מתח יבשים, מבודדי תמיכה, מגני ברק (לפי דרישות תכנון) בנוסף כל תא יצויד בפס הארקה, מבנה התא צריך להבטיח אוורור טבעי. למניעת עיבוי מים על דפנות המכשירים תא המדידה יצויד בגוף חימום עם ווסת לחות והגנה מתאימה.
כאמור המדידה במתח גבוה מתבצעת על ידי 3 משני זרם ושני משני מתח אשר מחוברים לשלושה מונים: מונה אקטיבי תעוז, מונה אקטיבי, ומונה ראקטיבי.

ארון מדידה ומניה לחיבור במתח גבוה



מפרט לתא עם משני זרם ומתח יבשים עד 36 ק"ו



2. הסבר כיצד מאריקים עמודי מ"ג בחצרי לקוחות?

תשובה: נלקח מתוך נהלי חח"י.

- לכל עמוד מ"ג ברשת העילית הפרטית נדרשת הארקה באמצעות תיל הארקה שיותקן לאורך הקווים.
- כאשר הרשת הפרטית מוזנת ממרכזיה, יש לחבר את תחילת תיל הארקה למערכת הארקה של המרכזיה. לעומת זאת, אם הרשת הפרטית מוזנת מרשת חח"י ללא מרכזיה, יש לחבר את תחילתן של תיל הארקה לתיל הארקה של הרשת המזינה.
- חתך תיל הארקה ומבנהו יהיו בחתך ובמבנה של מוליך המופעים.
- שטח חתך המרבי של מוליך הארקה יהיה 95\15 AllSt ממ"ר בקווים עיליים בעלי תיילים מאלומיניום/פלדה, ו-70 ממ"ר בקווים עיליים בעלי תיילים מנחושת.
- התנגדות הארקה השקולה של כל העמודים במ"ג המחברים גלונית למערכות הארקה של מתקני מ"ג אחרים במתקן הלקוח לא תעלה על 20 אוהם.
- מנתקים, מפסקי זרם, שנאים, כולאי ברק, סופיות כבלים המותקנים על עמוד מ"ג יש להאריק באופן הבא:
 - א. בעמוד מתכתי או בעמוד בטון, הציוד יוארק לבורג הארקה שיימצא בחלקו העליון של העמוד, באמצעות מוליך נחושת גלוי ושזור בחתך 70 ממ"ר לפחות.
 - ב. בעמוד עץ יוארק הציוד לתיל כמתואר לעיל.
 כאשר נמצאים בחצרי הלקוח עמודי מתח גבוה מתכתיים בקרבת מקומות כגון: בריכות שחיה, חדרי אוכל, גני ילדים, מגרשי ספורט, כניסה למבנים תעשייתיים וכו', יש להתקין סביב לעמוד משטח מבודד בר קיימא העשוי משכבת בטון או חצץ מהודק בעובי 10 ס"מ מכוסה בשכבת אספלט בעובי 3 ס"מ. המשטח יעקוף את העמוד במרחק היקפי של מטר אחד לפחות. ניתן גם להתקין מסביב לעמוד טבעת הארקה משווה פוטנציאלים, טמונה באדמה בעומק 0.8 מ'. טבעת הארקה תהיה עשויה ממוליך נחושת גלוי בעל שטח חתך 35 ממ"ר לפחות. הטבעת תחובר לבורג הארקה שיותקן על אחד מרגלי העמוד בגובה 50 ס"מ מעל פני הקרקע.

3. הסבר את שיטות הארקה בתחנות טרנספורמציה?

תשובה: נלקח מתוך נהלי חח"י.

הארקה משותפת או הארקה נפרדת: חשוב להבחין בין "הארקה משותפת" שלפיה מחברים את השיטה בשנאי ואת הגוף המתכתי שלו לאלקטרודה אחת משותפת, לבין "הארקה נפרדת" שלפיה מחברים את השיטה בשנאי ואת הגוף המתכתי שלו לאלקטרודות נפרדות.

ברוב המקרים, הארקה תחנות טרנספורמציה (ת"ט) אצל לקוחות תהיה מסוג "הארקה משותפת". בכל מקרה יש לתאם מול חח"י את שיטת הארקה ת"ט המתאימה לתנאי האספקה במ"ג של חברת חשמל ושל תחנת המשנה המזינה (דרך סליל כיבוי דרך נגד או בקשיחות). בהמשך נציג דוגמאות שונות של הארקה ת"ט חיצוניות ופנימיות הארקה נפרדת או משותפת.

הארקה תחנת טרנספורמציה חיצונית

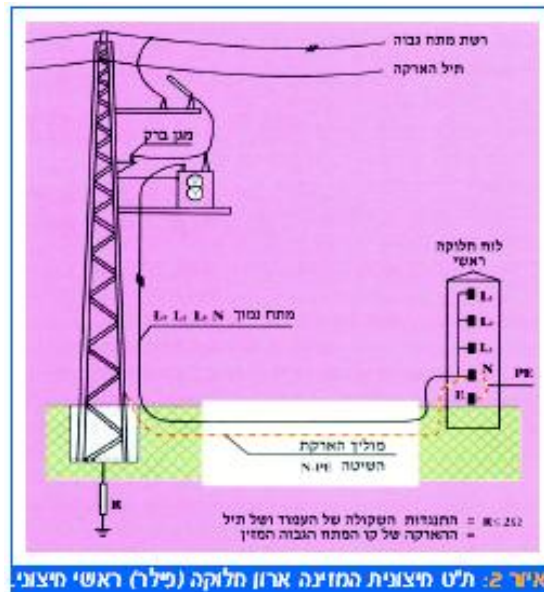
קיימים שלושה סוגים נפוצים של ת"ט חיצוניות:

- ת"ט חיצונית המזינה רשת במתח נמוך: בסוג זה של ת"ט האלקטרודה המשותפת היא עמוד המתכת שעליו מותקן השנאי ומוליך הארקה המשותף המותקן על כל העמודים ברשת העילית. השיטה בשנאי וגוף השנאי מוארקים לעמוד המתכת או למוליך הארקה ברשת במסלול הקצר ביותר. מוליכי הארקה יקבעו כנדרש בתקנות החשמל. התנגדות ההארקה השקולה של הרשת עם מוליך PEN מחובר לא תעלה על 2Ω .
- ת"ט חיצונית המזינה לוח ראשי פנימי במתח נמוך: הארקה השיטה של השנאי תבוצע על ידי חיבור פס האפס N בלוח מתך נמוך לפה"פ של המבנה. מוליך הארקה השיטה (N-PE) יהיה בצבע כחול עם סימון קצוות בצבע צהוב ירוק בעל שטח חתך לפי תקנות החשמל. פה"פ יחובר על ידי מוליך הארקה לרגל העמוד עליו מותקן השנאי. התנגדות הארקה השקולה של יסוד העמוד יחד עם תיל הארקה של הרשת, כאשר מוליך הארקה השיטה מנותק מפס האפס לא תעלה על 20Ω . התנגדות השקולה הנ"ל יחד עם התנגדות הארקה של המבנה לא תעלה על

2Ω .



- ת"ט חיצונית המזינה ארון חלוקה (פילר) ראשי חיצוני: הארקה השיטה תבוצע על ידי חיבור מוליך (N-PE) בין פס האפס של הלוח הראשי לבין בורג הארקה הנמצא לרגלי העמוד השנאי. התנגדות הארקה השקולה של יסוד העמוד יחד עם תיל הארקה של הרשת, תעלה על 2Ω.



הארקת תחנת טרנספורמציה פנימית

- בת"ט פנימית (תחט"פ) יש להגדיר את אלקטרודת הארקה ופס הארקה של התחנה.
- אלקטרודת הארקה של התחנה: כאשר ת"ט מותקנת במבנה שיש בו הארקות יסוד, תשמש הארקה היסוד כאלקטרודת הארקה של התחנה. בהעדר הארקות יסוד במבנה, יש להתקין מערכת אלקטרודות מקומית מחוץ למבנה והיא תשמש כאלקטרודת הארקה של התחנה.
 - פה"פ ופס הארקה של התחנה:

יש להבחין בשלושה מקרים נפוצים:

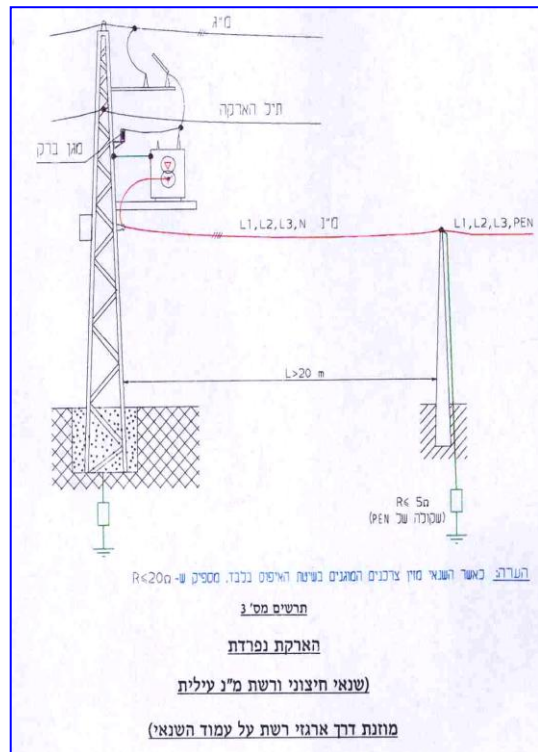
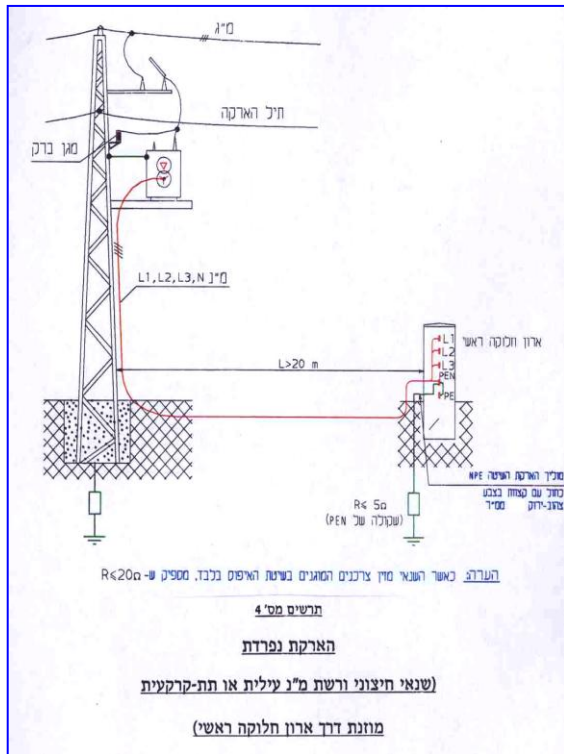
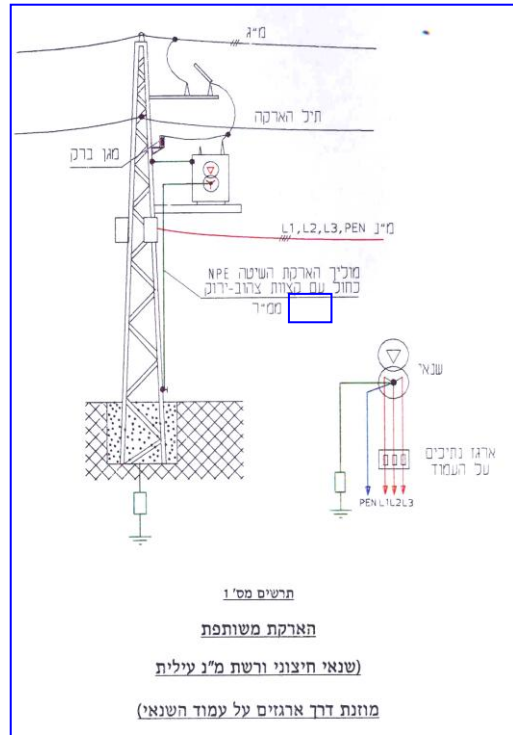
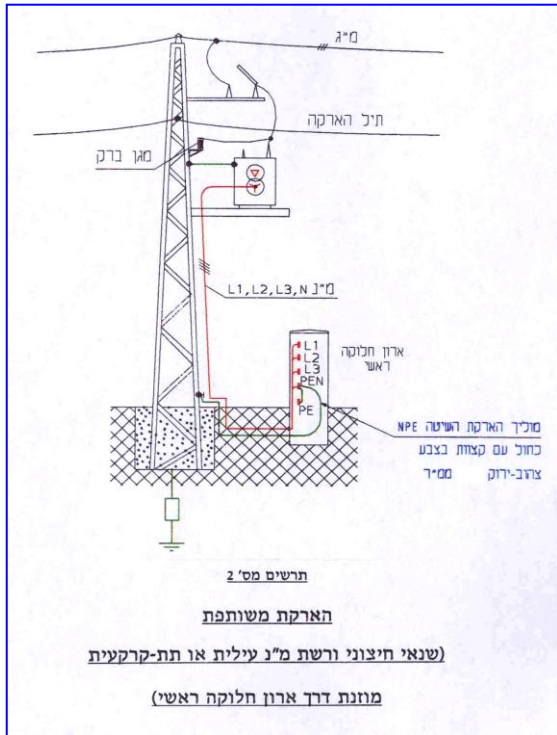
 1. **התחנה ממוקמת במבנה חדש:** כאשר התחנה ממוקמת במבנה חדש יותקן פס השוואת פוטנציאלים (פה"פ) או פס הארקה באחד מחדרי התחנה, בדרך כלל בחדר שבו נמצא הלוח הראשי במתח נמוך.

כאשר התחנה ממוקמת במפלס תחתון של המבנה, קרובה להארקות יסוד, ישמש פה"פ של התחנה כפה"פ ראשי של המבנה כולו.

אם התחנה נמצאת במפלס המבנה, רחוק מעל מפלס הארקות היסוד, יש להתקין פס הארקה אשר יחובר לפה"פ של המבנה.

פס הארקה ישמש כפס משווה פוטנציאלים עבור הארקות השיטה והארקות הגנה של הציוד החשמלי המתח נמוך ובמתח גבוה.

מצ"ב שיטות חיבור לצרכן "הארקה משותפת" והארקה נפרדת"



מקורות ספרותיים

ספרות

1. חוק החשמל ותקנותיו- המוסד לבטיחות וגהות
2. מתקני חשמל ומערכות הספק –אינג' דימה בודנסקי
3. מתקני מתח גבוה - ד"ר אהרון ברונפמן.

קורסים

1. קורס "תכנון מתקני מתח נמוך" – אריאל סגל- לשכת המהנדסים
2. קורס "מתקני מתח גבוה " – אריאל סגל – לשכת המהנדסים
3. קורס "חוק החשמל ותקנותיו " – התאגדות המהנדסים

ירחוני החשמל

1. פאזה אחרת- חברת חשמל
2. חשמל ואנשים – התאגדות המהנדסים
3. התקע המצדיע
4. נקודת כוח

מאמרים

1. קובץ מאמרים – ועדת ההוראות – אייל גבאי
2. קובץ שאלות- ועדת הפרושים

מקורות ברשת

1. שם האתר: israel-electric
תאור האתר : האתר של חברת החשמל לישראל.
קישור: <http://www.israel-electric.co.il/>
2. שם האתר : Schneider-Electric
תאור האתר : האתר של חברת שניידר אלקטריק המתמחה בשיווק ציוד מיתוג.
קישור : www.schneider-electric.co.il
3. שם האתר : ABB
תאור האתר : האתר של חברת ABB המתמחה בשיווק ציוד מיתוג.
קישור : www.abb.com
4. שם האתר : קצנשטיין-אדלר
תאור האתר : האתר של חברת קצנשטיין אדלר המתמחה בשיווק ציוד מיתוג.
קישור : www.k-a.co.il