

## מגמת הנדסת חשמל, בקרה ואנרגיה

התמחות: מערכות הספק פיקוד ובקרה

# בטיחות במתקני חשמל

## מדריך למורה

(מהדורה להערות)

גרסה 1.5 (21/12/20)

גרסה 1.6 (07/01/21)

גרסה 1.7 (28/01/21)

חוברת זו מכילה את החומר העיוני של תכנית הלימודים "בטיחות במתקני חשמל" ובאה לעזור למורה המלמד בהכנת מערכי שיעור. חלק נרחב מהנושאים הרשומים בחוברת זו, חופפים לנושאי הלימוד בתכנית הלימודים מתקנים ומערכות הספק. הדגש בחוברת זו, הוא נושא הבטיחות בעבודה בחשמל.

**קריאה והערות:**

אבן-חיים נפתלי  
אלטורי סלים  
בוסקילה יעקב  
גויכמן יגאל  
ישראל צביקה  
ליברמן אירנה  
סופר ראובן  
קעדאן תייסיר  
שץ יאיר  
שרביט יוסי

**כתיבה:**

יורם בן שטרית – פרק 4  
עמי בנישתי – פרקים 8, 9  
רחל רפפורט – פרק 2.4, 7  
אושרי אסולין : פרקים 1, 2  
יאיר שץ – פרקים 3, 5, 6, 10

**עריכה:**

אבן-חיים נפתלי  
אלטורי סלים  
גויכמן יגאל  
ליברמן אירנה  
שץ יאיר

**הערות:**

- ❖ הנושאים המופיעים בחוברת זו בוצעו בשיתוף פעולה עם משרד העבודה, בכדי לאפשר לתלמידי משרד החינוך לקבל תעודת חשמלאי .
- ❖ פרקים אלו יופיעו בבחינת ההתמחות ברמה של 3 יח"ל וברמה של 5 יח"ל, ויהוו תנאי מעבר של בחינת ההתמחות.

## תוכן עניינים

4	תוכנית הלימודים.....
8	פרק 1 מבוא לבטיחות בחשמל.....
10	פרק 2: שריפות חשמל ודרכים למניעתם.....
11	2.1 הגורמים להיווצרות שריפה.....
11	2.2 שריפת חשמל כתוצאה של ליקויים בתקנות החשמל.....
13	2.3 דרכי התמודדות ומניעה שרפות חשמל.....
14	2.4 סיווג שריפות ופעולות נדרשות.....
16	פרק 3 סכנת התחשמלות ואמצעי הגנה מפני חשמול.....
17	3.1 מבוא.....
20	3.2 עקרונות ואמצעי הגנה נגד התחשמלות.....
23	3.3 פירוט השיטות להגנה בפני התחשמלות.....
47	פרק 4: תקנות חשמל וחשיבותם.....
47	4.1 תקנות החשמל בנושא בטיחות.....
48	4.2 סימון צבעי מוליכים תקן חדש לעומת ישן.....
49	פרק 5 – מבטחים - הגנה מפני זרם יתר וזרם קצר.....
50	5.1 מבוא.....
71	פרק 6 - הארקה.....
75	פרק 7: סיכוני חשמל – זיהוי, אפיון ומניעה.....
79	פרק 8 – כללי בטיחות בחשמל.....
82	פרק 9 – ניתוח תאונות חשמל והפקת לקחים.....
85	פרק 10 – עשה ואל תעשה בסביבת נפגע חשמל.....
88	נספח א' - נוהל בטיחות במעבדה/סדנא לחשמל.....

## תוכנית הלימודים

תכנית הלימודים שלהלן מעודכנת לתאריך ההוצאה של חוברת המדריך למורה. באתר האינטרנט של המגמה, ניתן למצוא את תכנית הלימודים המעודכנת.

### **בטיחות במתקני חשמל לימודים עיוניים כיתה יב - 30 שעות**

#### **1 שעות**

#### **פרק 1 : מבוא לבטיחות בחשמל**

##### **יעדים**

בפרק זה יוצגו לתלמיד את החשיבות הרבה של הבטיחות בחשמל, ומתן מספר דוגמאות של אסונות כתוצאה של אי הקפדה על נושא הבטיחות. התלמיד יבחין ויזהה בין עבודה בטיחותית לעבודה שאינה בטיחותית

##### **תכנים**

1. חשיבות נושא "בטיחות בחשמל"
2. דוגמה לעבודה לא בטיחותית שגורמת לתוצאה לא רצויה
3. התלמיד יתאר על בסיס נתונים ותוצאות את המשמעות הנגזרת מעבודה בטוחה

##### **דרכי הוראה מומלצים**

להציג סרט ובו מקרה של התחשמלות וניתוח המקרה

#### **5 שעות**

#### **פרק 2 : שריפות חשמל ודרכים למניעתם**

##### **יעדים**

בפרק זה התלמיד ידע את המשמעות של שריפות חשמל, כיצד הן נגרמות ואיך, תוך הקפדה על נושא הבטיחות, ניתן למנוע אותם. התלמיד יזהה שריפות חשמל ואת הגורם להיווצרותן

##### **תכנים**

1. הגורמים להיווצרות שריפה והדרכים למניעתה – תיאור כללי.
2. הגורמים להיווצרות שריפת חשמל ודרכי ההתמודדות למניעתן.
  - א. עומס יתר והתחממות מוליכים
  - ב. מגעים וחיבורים בלתי תקינים/רופפים
  - ג. ניצוץ וקשת חשמלית.
  - ד. התחממות ושריפה של גופי להט (תנור)
3. ליקויי חשמל כגורמים לשריפה, דרכי מניעת שריפות כתוצאה מליקויי חשמל

## פרק 3 : סכנת התחשמלות והאמצעים למניעתה 7 שעות

### יעדים

בפרק זה התלמיד ידע את משמעות המושג "התחשמלות" עם כל ההשלכות של הנזקים היכולים להיגרם לגוף האדם כתוצאה מהתחשמלות, יקיר את האמצעים השונים הקיימים להגן בפני התחשמלות.

### תכנים

1. התחשמלות מהי? והגורמים לחומרתה
  2. אופיין התנגדות גוף האדם בתלות מתח מגע ומצב העור
  3. הנזקים הנגרמים לגוף האדם בזמן התחשמלות
  4. אמצעי הגנה בפני חשמול
  5. ארבעה עקרונות הגנה בפני התחשמלות
  6. שיטות הגנה נגד התחשמלות:
- הארקת הגנה TT, איפוס מסוג TN-S ומסוג TN-C-S, בידוד כפול, זינה צפה IT, הפרד מגן מפסק מגן (ממסר פחת) הפועל בזרם דלף, מתח נמוך מאוד מפסק מגן בזרם דלף:
7. תפקיד ויעוד, עיקרון פעולה, דרישות התקנה, דגמים נפוצים ותקנים

### הערה:

פרק זה נלמד גם בפרק 5 במקצוע מתקני חשמל ומערכות הספק, בתכנית זו הדגש הוא על נושא הבטיחות.

## פרק 4 : תקנות החשמל וחשיבותם 4 שעות

### יעדים

בפרק זה התלמיד ידע את תקנות החשמל בע"פ בכל הקשור לבטיחות מתקן חשמלי. ובכל מקרה של ספק, התלמיד ידע היכן למצוא את תקנת הבטיחות חוק החשמל. התלמיד יכיר יזהה ויפנים את תקנות החשמל הקשורות לבטיחות במתקן החשמל

### תכנים

1. תקנות החשמל – אמצעי הגנה נגד חשמול
2. תקנות החשמל – הארקות יסוד והארקת שיטה
3. תקנות החשמל – מעגלים סופיים הניזונים במתח של עד 1000 וולט
4. תקנות החשמל – העמסה והגנה של מוליכים, מבודדים, וכבלים במתח של עד 1000 וולט
5. תקנות החשמל – מתקני חשמל בבריכה במתח שאינו עולה על מתח נמוך
6. תקנות החשמל – אתרי בניה
7. צבעי מוליכי החשמל ברשת חד מופעית – תקן ישן מול תקן חדש.
8. צבעי מוליכי החשמל ברשת חד מופעית – תקן ישן מול תקן חדש

## פרק 5 : אמצעי הגנה מפני זרם יתר וזרם קצר 4 שעות

### יעדים

בפרק זה התלמיד יכיר ויתאר את תקנות החשמל בכל הקשור לבטיחות מתקן חשמלי לרבות הגנות.

## תכנים

1. מבטחים, סוגי הגנות, מבנה, ותפקיד
2. מא"ז – מפסק אוטומטי זעיר
3. מאמ"ת – מפסק אוטומטי מגנטי תרמי
4. אופייני "זרם/זמן של מאזי"ם מסוג B-i C אמצעי הגנה נגד חשמול

### הערה:

פרק זה נלמד גם בפרק 4 במקצוע "מתקני חשמל ומערכות הספק", בתכנית לימודים זו הדגש הוא על נושא הבטיחות בהתקנת אמצעי ההגנה בפני זרם יתר וזרם קצר.

## 4 שעות

## פרק 6: הארקה

### יעדים

בפרק זה התלמיד יכיר ויבין את המשמעויות של ביצוע / אי ביצוע הארקה כתיקנה, ויישם את הדרך לבדיקת הארקה במבנה ואת מעגל לולאת התקלה באופן מעשי.

### תכנים

1. שמירה על רציפות מערכת הארקה
2. הארקה יסוד – תפקיד, מבנה, ויתרונות
3. הארקה שיטה - תפקידים, מבנה, באחריות מי?
4. מסלול/לולאת תקלה – תפקיד, מהם המסלולים/הלולאות (גם באיפוס)
5. מדידת התנגדות לולאת התקלה
6. כיצד קובעים את ערכה של התנגדות לולאת התקלה

### דרכי הוראה מומלצים

\*מדידה פיזית של התנגדות לולאת התקלה ע"י LOOP TESTER

### הערה:

פרק זה נלמד גם בפרק 5 במקצוע "מתקני חשמל ומערכות הספק", בשל חשיבות הנושא הבטיחותי הובא נושא פרק זה גם כאן.

## 2 שעות

## פרק 7 : סיכוני חשמל – זיהוי, אפיין ומניעה

### יעדים

בפרק זה תבוצע סקירה של הערכת סיכונים במתקני חשמל, יאפיין אותם ויצג דרכים למניעתם בהתייחסות לתקנות המופיעות בחוק החשמל.

### תכנים

1. הערכת קיימות הסיכונים
2. תכנית הערכות למניעת סיכונים ניהול בטיחות במערכת חשמל כגון:
  - א. תקנה 5 – צו הפסקה
  - ב. תקנה 6 – ביצוע עבודות חשמל
  - ג. תקנה 9 – ביצוע עבודות תיקון ותחזוקה בציד המופעל באנרגיה חשמלית.
  - ד. תקנה 61 – אחזקת מוליכים במיתקן חשמלי

3. נהלים והוראות בטיחות לעבודות חשמל כגון:  
א. נוהל השבתת מכונות וציוד המוכר בשם :  
ב. LOTO – TAG OUT/LOCK OUT

## 1 שעות

## פרק 8 : כללי הבטיחות בחשמל

### יעדים

בפרק זה התלמיד ידע וימנה את סדר הפעולות שיש לבצע, בדגש על בטיחות, לפני ניתוק מתח הזנה ולפני חיבורו מחדש.

### תכנים

1. ניתוק הזנת המתח
2. בדיקת העדר מתח
3. מניעת חיבור חוזר וחובת שילוט
4. חיבור מקצרים והחובה להאריק

## 1 שעות

## פרק 9 : ניתוח תאונות חשמל והפקת לקחים

### יעדים

בפרק זה תבוצע סקירה של מספר תאונות חשמל וכיצד ניתן היה למנוע אותם אם היו שומרים על תקנות החשמל וכללי הבטיחות.

### תכנים

1. חשמול קטלני עקב הארקה לקויה
2. שימוש לקוי בכבל מאריך
3. מניעת נגיעה בחלקים חשמליים חשופים
4. הוצאת תקע מבית תקע
5. דרכים למניעת תאונות חשמל

## 1 שעות

## פרק 10 : עשה ואל תעשה בסביבת נפגע חשמל

### יעדים

בפרק זה התלמיד ייחשף למשמעויות של נפגע חשמל ויפרט את סדר הפעולות שיש לבצע.

### תכנים

1. נפגע תחת מתח
2. אמצעי הצלה ועזרה ראשונה לנפגעי הלם חשמלי
3. הנשמה ישירה מפה לפה ומפה לאף

## פרק 1 מבוא לבטיחות בחשמל

### יעדים

בפרק זה יוצגו לתלמיד את החשיבות הרבה של הבטיחות בחשמל, ומתן מספר דוגמאות של אסונות כתוצאה של אי הקפדה על נושא הבטיחות.

### תכנים

1. חשיבות נושא "בטיחות בחשמל"
2. דוגמה לעבודה לא בטיחותית שגורמת לתוצאה לא רצויה

### מטרות ביצועיות

- א) התלמיד יבחין בין עבודה בטוחה לעבודה לא בטוחה
- ב) התלמיד יציין את התוצאות הצפויות מעבודה לא בטוחה

### דיון כיתתי: מדוע צריך לשים דגש על נושא בטיחות בחשמל?

התלמידים יציגו נקודות שלדעתם מהוות חשיבות רבה לעניין הבטיחות בחשמל והמורה ירשום זאת על גבי הלוח.

ניתן לשלב כלים מתוקשבים כגון mentimeter ובו כל תלמיד יוכל לשלוח את דעתו שתוקרן על גבי המסך

### הסכנות הכרוכות בסביבת עבודה לא בטיחותית:

- התחשמלות.
- שריפה.
- קשת חשמלית.
- נפילה מגובה מהתחשמלות קלה.
- התפוצצות.
- מוות.

### דיון כיתתי: מהן סביבות עבודה בטוחות וסביבות עבודה שאינן בטוחות?

סביבת עבודה בטוחה	סביבת עבודה לא בטוחה
שימוש במכשירים שאינם מוארקים, סביבת עבודה רטובה, הגנות לא תקינות.	שימוש במכשירים מוארקים / בעלי הגנות מתאימות.
ציוד חשמלי בעלי חיבורים חשופים	כיסוי/בידוד חלקים חשופים.
לבוש שאינו תואם את סביבת העבודה	לבוש מתאים ומבודד
חוסר סלקטיביות	סביבה בעלת סלקטיביות נכונה



ציוד שאינו פגום	ציוד פגום ובלוי.
סביבה המתוחזקת ע"י בעל מקצוע בעל רישיון תואם.	סביבה המתוחזקת ע"י אדם שאינו מורשה לכך.
סרטון המחשה: סרטון ראשון, סרטון שני, סרטון שלישי, סרטון רביעי,	סרטון המחשה: סרטון ראשון

**סיכום שיעור:**

לבצע דיון על הסרטונים, למצוא את הליקויים שגרמו להתחשמלות או ליקוי בטיחותי בדגש על המשמעות הכרוכה בכך.

## פרק 2: שריפות חשמל ודרכים למניעתם

### יעדים

בפרק זה התלמיד ידע את המשמעות של שריפות חשמל, כיצד הן נגרמות ואיך, תוך הקפדה על נושא הבטיחות, ניתן למנוע אותם.

### תכנים

1. הגורמים להיווצרות שריפה והדרכים למניעתה – תיאור כללי.
2. הגורמים להיווצרות שריפת חשמל ודרכי ההתמודדות למניעתן.
  - א. עומס יתר והתחממות מוליכים
  - ב. מגעים וחיבורים בלתי תקינים/רופפים
  - ג. ניצוץ וקשת חשמלית.
  - ד. התחממות ושריפה של גופי להט (תנור)
3. ליקויי חשמל כגורמים לשריפה דרכי מניעת שריפות כתוצאה מליקויי חשמל

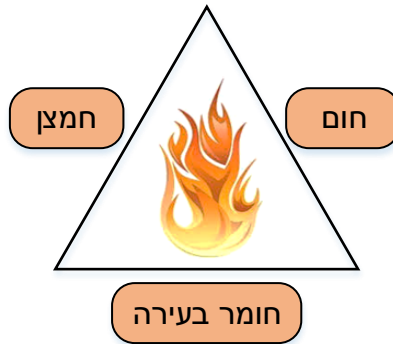
### מטרות ביצועיות

- א. התלמיד ימנה את הגורמים לשריפה
- ב. התלמיד יתאר כיצד זרם חשמלי מייצר חום.
- ג. התלמיד יגדיר מהו זרם יתר ומהו זרם קצר
- ד. התלמיד יציין את המקרים בהם נוצרת שריפה כתוצאה מזרם יתר / זרם קצר.
- ה. התלמיד יציין את המקרים בהם נוצר חום כתוצאה ממגעים וחיבורים רופפים ושריפה.
  - י. התלמיד יבחין בין ניצוץ לקשת חשמלית
  - ז. התלמיד יציין את הגורמים לניצוץ.
  - ח. התלמיד יציין את הגורמים לקשת חשמלית.
  - ט. התלמיד יסביר את התהליך שבו נוצר ניצוץ
  - י. התלמיד יתאר את התהליך שבו נוצרת קשת חשמלית
- יא. התלמיד יציין כיצד למנוע שריפה במשולש האש – כללי
- יב. התלמיד יתאר את הדרכים למניעת שריפה כתוצאה מזרם יתר / זרם קצר.
- יג. התלמיד יתאר את הדרכים למניעת שריפה כתוצאה מחיבורים בלתי תקינים / רופפים
- יד. התלמיד יתאר את הדרכים למניעת שריפה כתוצאה מניצוץ ואו מקשת חשמלית
- יו. התלמיד ימנה ויציין לפחות 5 דרכים למניעת שריפות כתוצאה מליקויי חשמל.

## 2.1 הגורמים להיווצרות שריפה

1. גורמים טבעיים- כגון ברקים, הרי געש.
2. רשלנות- אי הקפדה על כללי הבטיחות, מדורות של כבו כהלכה וכדומה.
3. הצתות מכוונות- הצתות מסיבות שונות.

לכל הגורמים הנ"ל קיימים שלושה משתנים מרכזיים המשנים את התפתחות / דיכוי השריפה:

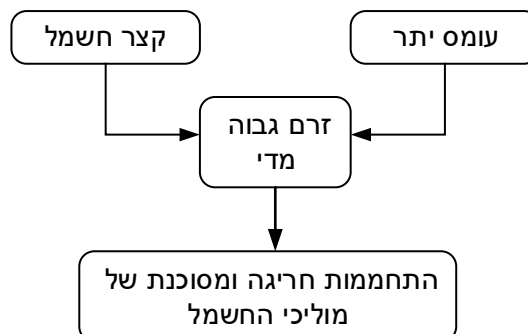


איור 2.1 – התנאים להיווצרות שריפה

## 2.2 שריפת חשמל כתוצאה של ליקויים בתקנות החשמל

### 1. התחממות מוליכים ושריפה כתוצאה מעומס יתר וזרם קצר

למוליך חשמלי קיימת התנגדות חשמלית. על מנת להתגבר על התנגדות זאת יש צורך בהעברת אנרגיה שתתבצע ע"י העברת זרם חשמלי. אנרגיה זאת באה לידי ביטוי באמצעות חום וגורמת להתחממות המוליך. ככל שהזרם גבוה כך גוברת התחממות המוליך. קיימות שתי סיבות מרכזיות לעלייה חריגה בחום המעגל החשמלי: זרם כתוצאה מעומס יתר וזרם כתוצאה של קצר חשמלי



איור 2.2 – הגורמים להתחממות חריגה של מוליכי החשמל

## ההבדל בין עומס יתר לקצר

### **קצר חשמל**

א. נגרם כתוצאה ממגע בין שני פוטנציאלים שונים או יותר ללא צרכן ביניהם.  
ב. ירידה פתאומית של ההתנגדות החשמלית במעגל.  
זרם הקצר חורג מהמאפיין הנקוב של הזרם וחורג גם מגבולות מערכת החשמל.  
זרם הקצר גורם להתחממות המוליכים העלול להוביל לשריפתם.  
זרם הקצר פוגע בתשתית, מופעלים כוחות דינמיים בלוחות החשמל ונגרם הרס הגנות וציוד בלוח החשמל.

### **זרם עומס יתר**

נגרם על ידי ציוד לא תקין, נזקי תאונה, גורמי טבע או פעולה בו זמנית של מספר מכשירי חשמל, שלצורך הפעלתם נדרש זרם חשמלי גדול (זרם יתר). זרם היתר חורג מהמאפיין הנקוב של הזרם אך נשאר בגבולות מערכת החשמל. זרם היתר גורם להתחממות המוליכים העלול להוביל לשריפתם.

### **המשותף לעומס יתר לקצר**

א. במעגל החשמלי עובר זרם גדול מהרגיל.  
ב. התחממות המוליכים כתוצאה מעלייה בעוצמת הזרם במעגל.

## 2. התחממות ושריפה כתוצאה ממגעים וחיבורים בלתי תקינים/רופפים

במעגלים חשמליים קיימות "נקודות תורפה" אלו הם מקומות החיבור בין המוליכים או נקודות המגע בין תקע לבית התקע. מגע רופף משמעותו חיזוק לא נכון/לא מקצועי של המוליכים או חוסר בתחזוקתן.  
עם הזמן החיבורים והידוקי הברגים נוטים להתרופף כתוצאה מהפרשי טמפרטורות, חימצון, רטט ועוד. כתוצאה מכך באזור החיבור עלול להתפתח חום שיגרום לשריפת המוליך. על מנת למנוע זאת יש לבצע תחזוקה תקופתית לחיזוק החיבורים.

## 3. התחממות ושריפה כתוצאה מניצוץ וקשת חשמלית

**ניצוץ** - בזמן חיבור או ניתוק מעגל חשמלי עלול להיווצר ניצוץ (עוצמת זרם קטנה). ניצוץ הוא ביטוי לזרם חשמלי העובר דרך מרווח של אוויר ונוצר כתוצאה מהפרש פוטנציאלים. התפרצות ניצוץ באזור בעל חומרים מסוכנים עלול להוביל לשריפה ולפיצוץ. **סרטון**.  
**קשת חשמלית** - בזמן חיבור או ניתוק מעגל חשמלי עלול להיווצר קשת חשמלית (עוצמת זרם גדולה). קשת חשמלית מתרחשת בד"כ בשעת טיפול במתקנים חשמליים חיים. סרטון קשת חשמלית.  
סכנה גדולה עלולה להתרחש במתקני חשמל בהיווצרות קשת חשמלית הנוצרת במקום התקלה (הקצר) כאשר נוצר מגע בין שני מוליכים. במתקן המיועד לזרם גבוה נוצר חום גבוה וכתוצאה מכך פורצת שריפה.

התחממות ושריפה מתנור (להט) – **סרטון**.

קישור למבדק אינטראקטיבי: [HTTPS://LUDUS.PAGE.LINK/kUwCuWCQTDNUEvPH7](https://ludus.page.link/kUwCuWCQTDNUEvPH7)

### 2.3 דרכי התמודדות ומניעה שרפות חשמל

בעת התפשטות שריפה, ניתן למנוע את התפשטותה באמצעות מספר כללים חשובים אותם הזכרנו במשולש האש ונזכור אותם בקיצור 3 ה- ח': **חום**, **חמצן**, **חומר דליק**  
על מנת למנוע את ההתפשטות ננטרל **לפחות אחד** משלושת ה- ח', ובכך נקטין את התפשטות השריפה.

כיצד נוכל למנוע התחממות ושריפה כתוצאה מעומס יתר, זרם קצר מגעים רופפים, ניצוץ וקשת חשמלית?

1. נדרוש הקפדה על ניקיון סביבת המערכת והרחקת חומרים דליקים.
2. נדרוש שימוש באביזרים המונעים התחממות יתר – מבטח (נתיך / מפסק אוטומטי) והתקנתם בהתאם לגודל המתקן.
3. נדרוש הקפדה על פעולות תחזוקה יעילות ועיתיות בדגש על הידוק חיבורי המגעים ע"י בעל מקצוע בעל רישיון.
4. נדרוש הקפדה על איסור חיבור מתקנים נוספים למערכת קיימת על מנת לא להגיע לעומס יתר.
5. נדרוש שימוש באמצעי הגנה המתאימים למערכת.
6. נדרוש הצבת אמצעי כיבוי מתאימים בקרבת לוחות החשמל מעל 100 אמפר (מטפה).
7. נדרוש ביצוע סלקטיביות בלוחות החשמל באמצעות בעל מקצוע מוסמך.
8. נדרוש הבטחת פיזור החום של המתקן או המכשור החשמלי.
9. מומלץ להתקין הגנה מפני ברקים במערכות חשמל.

## 2.4 סיווג שריפות ופעולות נדרשות

### סוגי השריפות הקיימים:

1. שריפת מוצרים דליקים -  
בסוג שריפה זה נכללים כל החומרים המוצקים שהם דליקים, כגון: עץ, בדים, גומי ועוד....
2. שריפת נוזלים דליקים -  
בסוג זה נכללת כל משפחת הנוזלים הדליקים, כגון: בנזין, סולר, אלכוהול, זפת ועוד....
3. שריפת גז -  
בסוג זה נכללת כל משפחת הגזים הדליקים, כגון: מימן, אצטילן ועוד....
4. שריפת חשמל -  
כל שריפה שמעורב בה חשמל באופן פסיבי או אקטיבי היא בחזקת שריפת חשמל.
5. שריפת מתכות קלות -  
בסוג זה נכללות המתכות מגנזיום, ליתיום ואלומיניום ותרכובותיהם.

### כיבוי שריפות לפי סוגי השריפה:

- ✓ כיבוי שריפה של חומרים מוצקים כגון: עץ, נייר, גומי, חומרי פלסטיק - הכיבוי ייעשה באמצעות מים, צינור גינה, גלגלון, מטפה אבקה רב שימושית
- ✓ כיבוי שריפה שנגרמה על ידי נוזלים כגון: מוצרי נפט, שמנים, כהל, צבע וכו' - הכיבוי ייעשה באמצעות אבקה, גז הלון, קצף, CO<sub>2</sub>.
- ✓ **כיבוי שריפה במערכות חשמל - הכיבוי ייעשה באמצעות גז הלון, אבקה, CO<sub>2</sub>.**  
**אזהרה: סכנת חיים - אסור להשתמש במים או קצף!**
- ✓ כיבוי שריפה של גז בישול אצטילן - הכיבוי ייעשה באמצעות אבקה, גז הלון, CO<sub>2</sub>. יש לסגור את הברז ולקרר את המכלים עם מים.

### שריפת חשמל

- כיבוי הוא נטרול של אחד המרכיבים של משולש האש: חום, חמצן, חומר דליק.  
כל שריפה המתרחשת בתוך מבנה נחשבת שריפת חשמל.  
הסכנות בשריפה בתוך מבנה:
1. שריפת החפצים וכוויות.
  2. פליטת גזים - חנק.
  3. סכנה לנשימה - שאיפת עשן.
  4. התחשמלות.
- שימוש מסוכן במים העלולים לבוא במגע עם מקורות חשמל כמו שקעים, בתי מנורות ומכשירים חשמליים המחוברים להזנה, וע"י כך לגרום להתחשמלות עקיפה.
  - קישור לסרט שמראה נקודות כשל העלולות לגרום לשריפה – לקויי חשמל

<https://youtu.be/Hq8wN-pUaqw>

פעולות לביצוע במקרה של שריפה בתוך מבנה ?

- סגרו דלתות ומעברים במידת האפשר.
  - נתקו את זרם החשמל, שכן, כל שריפה במבנה נחשבת כשריפת חשמל משום שהשריפה יכולה לעבור בתוך מערכת החשמל ( דרך צינורות המוליכים והמוליכים עצמם )
  - בשריפת חשמל אסור להשתמש במים, כי מים מוליכים חשמל.
  - בשריפת חשמל לא משנה מה נשרף - קודם כל מטפלים בשריפת החשמל ומנתקים את החשמל, ורק אחר כך אפשר לעבור ולטפל בשריפה לפי הסוג שלה- מוצק, נוזל או גז.
- יש לזכור: **"את השריפה מכבים עם הראש"**

לסיכום:

שלושת הפעולות שיש לבצע בזמן שריפה, צריכות להתבצע במקביל:

1. ניתוק זרם החשמל,
2. דיווח לסביבה (כיבוי אש) על שריפה, קריאה לעזרה מאנשים קרובים למקום האירוע.
3. פינוי אנשים מהמבנה דרך מדרגות חרום ולא באמצעות מעלית.

התמודדות עם השריפה רק במידה וניתן על פי העקרונות שלמדנו.

## פרק 3 סכנת התחשמלות ואמצעי הגנה מפני חשמול

### יעדים

בפרק זה התלמיד ידע את משמעות המושג "התחשמלות" ו-"חשמול" עם כל ההשלכות של הנזקים היכולים להיגרם לגוף האדם כתוצאה מהתחשמלות, יקיר את האמצעים השונים הקיימים להגן בפני התחשמלות.

### תכנים

- א. מהו חשמול? ומהי התחשמלות? והגורמים לחומרתה
- ב. אופיין התנגדות גוף האדם בתלות מתח מגע ומצב העור
- ג. הנזקים הנגרמים לגוף האדם בזמן התחשמלות
- ד. אמצעי הגנה בפני חשמול
- ה. ארבעה עקרונות הגנה בפני התחשמלות
- ו. שיטות נגד התחשמלות:
- הארקת TN-C-S, T.T איפוס, הארקת שיטה, זינה צפה, הפרד מגן, מפסק מגן הפועל בזרם דלף, בידוד כפול, מתח נמוך מאוד
- ז. מפסק מגן בזרם דלף: תפקידו ועוד, עיקרון פעולה, דרישות התקנה, דגמים נפוצים ותקנים

### מטרות ביצועיות

- א. התלמיד יגדיר את המושגים: "חשמול", "התחשמלות"
- ב. התלמיד ימנה את הגורמים המשפיעים על חומרת ההתחשמלות
- ג. התלמיד יסביר כיצד הגורמים משפיעים על חומרת ההתחשמלות
- ד. התלמיד יסביר את הקשר בין התנגדות גוף האדם לפרמטרים של: מתח מגע, ומצב העור בדגש לרטיבות
- ה. התלמיד יקשר בין גודל ההתנגדות החשמלית של גוף האדם, לזרם החשמלי דרך גוף האדם
- ו. התלמיד יסביר את הקשר בין עוצמת הזרם דרך גוף האדם לנזקים והסכנות לאדם המתחשמל
- ז. התלמיד יציין את קוד הלבוש, והנעלה בעבודה בחשמל.
- ח. התלמיד יתאר את סביבת העבודה הבטוחה בעבודה בחשמל
- ט. התלמיד יסביר את החשיבות של עבודה בחשמל בכלי עבודה ייעודיים ותקניים.
- י. התלמיד ימנה את 4 העקרונות נגד התחשמלות
- יא. התלמיד יסביר את 4 העקרונות נגד התחשמלות
- יב. התלמיד יציין את 7 השיטות נגד התחשמלות.
- יג. התלמיד ישייך כול שיטה לעיקרון שלו.
- יד. התלמיד יסביר את עקרון הפעולה של כל שיטה
- טו. התלמיד יציין את הייעוד של כל שיטה.
- טז. התלמיד יתאר את המבנה של כל שיטה



### 3.1 מבוא

#### נהוג להבחין בין שני מושגים חשובים בפרק זה:

**חשמול** – הופעת מתח חשמלי על גוף מתכתי עקב תקלה.

**התחשמלות** – זהו מצב בו זרם חשמלי חיצוני, זורם דרך גוף האדם או בעל חיים.

#### מתח תקלה:

מתח אשר מופיע על גוף מתכת עקב תקלה נקרא מתח תקלה. כאשר ישנו פגם או ליקוי בבידוד שבין גוף המחושמל לבין אלקטרודה מקומית הנועדה לביצוע הארקה, נוצר הפרש פוטנציאלים בין שתי נקודות. במקרה של קצר בין מוליך המופע לגוף המתכתי (קצר חד מופעי) מתח התקלה יהיה כמעט שווה למתח המופע.

#### הגורמים המשפיעים על עוצמת הזרם העובר דרך גוף האדם וקובעים את עוצמת ההתחשמלות

לפי חוק אום

$$I = \frac{U}{R} = \frac{\text{מתח המגע}}{\text{התנגדות גוף האדם}}$$

#### מתח מגע U:

בעיקרון, מתח מגע הוא המתח ששורר בין נקודת הכניסה של הזרם בגוף האדם לנקודת היציאה של הזרם מגוף האדם. כלומר "זהו המתח השורר בין הגוף המחשמל ובין הארקה." מהו גודל "מתח המגע U"? גודל מתח המגע שונה בשתי מקרים.

#### מקרה א – "הארקה מחוברת לגוף המחשמל":

מתח המגע, תלוי בזרם התקלה בהתנגדות האדם והתנגדות מסלול התקלה. ככל שהתנגדות מסלול התקלה תהיה גבוה יותר כך יהיה מתח המגע גבוה יותר ויכול לגרום למות האדם המתחשמל.

#### מקרה ב – "הארקה לא מחוברת לגוף המחשמל":

במצב זה, במקרה התחשמלות רק ממסר פחת יכול לנתק את מתח הזינה מהמכשיר המחשמל  
מתח המגע = מתח פאזי

#### התנגדות האדם:

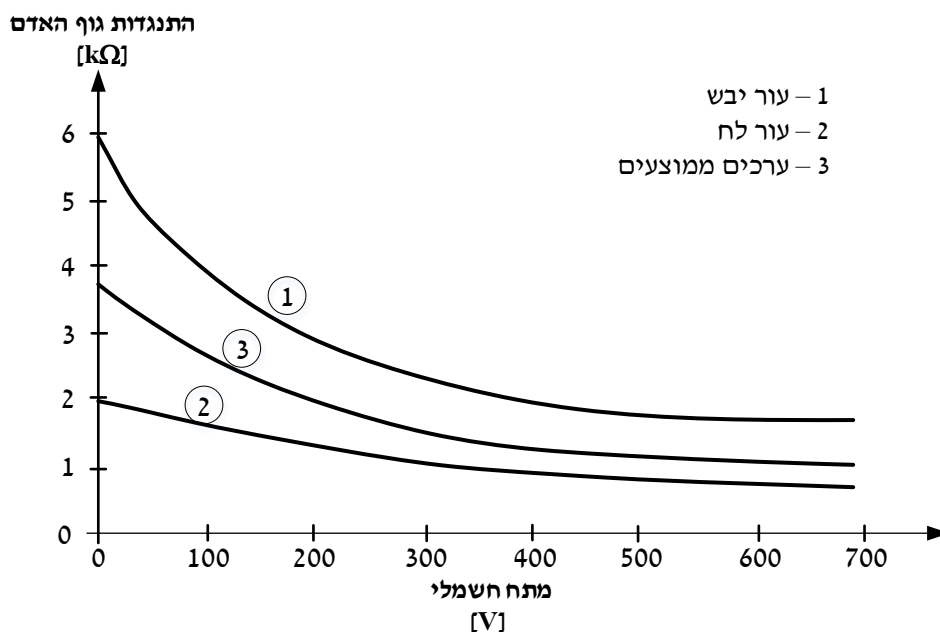
לבני האדם יש התנגדות חשמלית כמו לכל חומר בטבע. התנגדות החשמלית של גוף האדם, שונה במקצת בין בני האדם.

התנגדות החשמלית תלויה במספר גורמים:

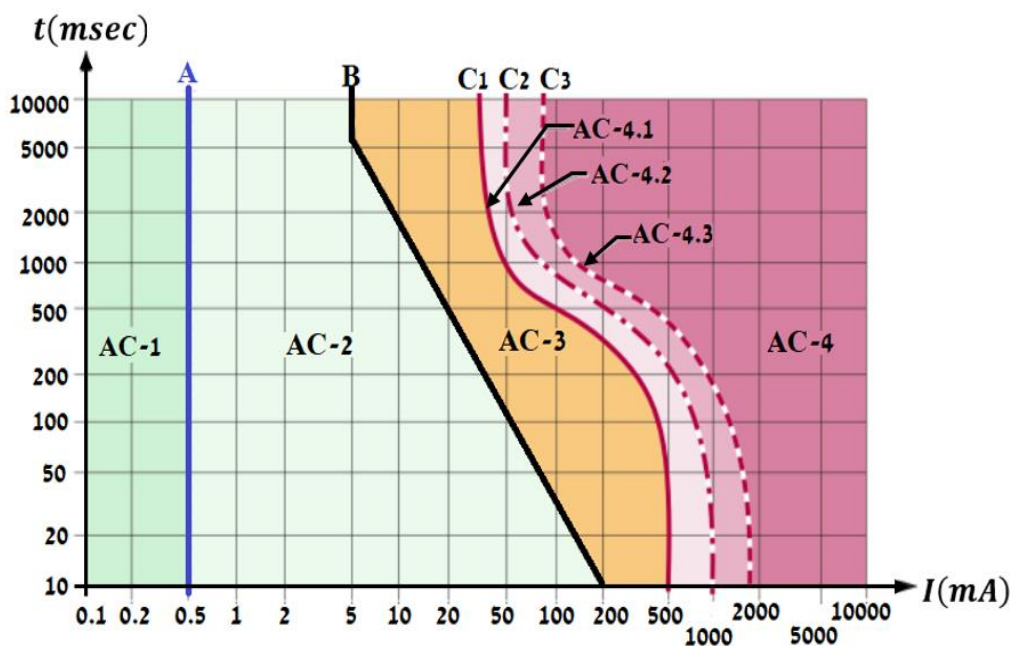
- א. לחות העור ככול שלחות העור גדלה ההתנגדות החשמלית של האדם קטנה
- ב. עובי העור במגע – ככול שעובי העור עבה יותר התנגדות החשמלית של האדם גדלה.
- ג. התנגדות המגע – תלויה בשטח המגע ככול ששטח המגע גדול יותר ההתנגדות החשמלית של האדם קטנה

ד. מסלול מעבר הזרם בגוף האדם – ככול שמסלול הזרם בגוף האדם קצר יותר – התנגדות החשמלית של האדם קטנה יותר

באיור 3.1-א' מתוארת התנגדות גוף האדם כתלות במתח ההתחשמלות ולחות העור ובאיור 3.1-ב' מתואר גרף המתאר את השפעת זרם חילופין על גוף האדם במעבר מהיד לרגליים בתלות בעצמת הזרם ומשך זמן ההתחשמלות.



איור 3.1: התנגדות גוף האדם כתלות במתח ההתחשמלות ולחות העור



איור 3.1: גרף זמן/זרם - השפעת זרם חילופין על גוף האדם במעבר מהיד לרגליים

מקור: [https://www.electrical-installation.org/enwiki/File:DB422220\\_EN.svg](https://www.electrical-installation.org/enwiki/File:DB422220_EN.svg)

**כאשר:**

$t$  (msec) - משך זמן החשמול.

$I$  (mA) - עוצמת זרם החשמול.

אזור (1 - AC) - אין צפי לתגובות פיזיקליות או תגובות שליליות כלשהן.

אזור (2 - AC) - אזור מורגש, התכווצות קלה.

אזור (3 - AC) - התכווצות שרירים, קושי בנשימה.

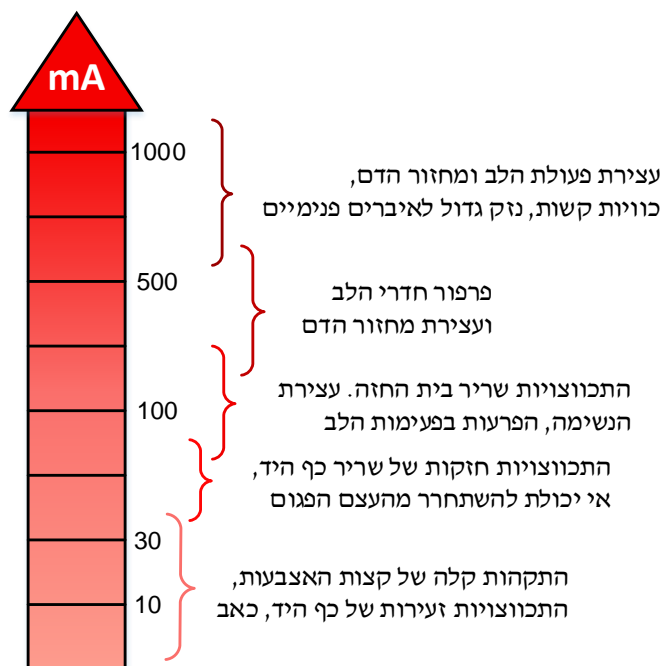
אזור (4 - AC) - אפשרות של תופעות בלתי הפיכות, פרפור הלב, כוויות ומוות.

אזור (4.1 - AC) - הסתברות עד 5% של פרפור הלב.

אזור (4.2 - AC) - הסתברות עד 50% של הפרעות בלב.

אזור (4.3 - AC) - הסתברות יותר מ 50% של פרפור הלב.

איור 3.2 מציג את הנזקים הנגרמים לגוף האדם בתלות בזרם המחשמל העובר דרכו מתח של 230V, תדירות 50Hz במסלול יד ליד, למשך שניות בודדות



איור 3.2 : הנזקים הנגרמים לגוף האדם בתלות בזרם המחשמל העובר דרכו

מאיור 3.2 ניתן להסיק ש :

(א) ככול שהזרם דרך גוף האדם גדל כך הנזקים והסכנה גדלה.

(ב) בזרם של 30 mA מתחילות התכווצויות חזקות של שריר היד, שנסגרת "ונתפסת" על החלק המחשמל והאדם לא מסוגל לנתק את עצמו ולהציל את חייו. כלומר, נשקפת סכנה לאדם גם בזרם נמוך יחסית ואסור לזלזל בכך.

### הגורמים המשפיעים על חומרת ההתחשמלות

- (א) משך זמן התרחשות החשמול - ככל שזמן ממושך יותר האדם עובר התחשמלות הנזקים גדולים יותר
- (ב) התנגדות המגע, "בצד הראשון". (בכניסה של הזרם – במגע בין האדם לגוף המחשמל) – עור רטוב/יבש, עובי העור, שטח המגע.
- (ג) התנגדות המגע "בצד השני". (ביציאה של הזרם – במגע בין האדם לרצפה).
1. מאיזה חומר הרצפה עליה עומד האדם ? בטון, מתכת, עץ, P.V.C.
  2. מה נועל המחושמל ? אדם יחף, איזה סוג נעל נועל האדם (סוליה)
  3. מה מצב הרצפה ? רצפה יבשה, רצפה רטובה
- (ד) סוג הזרם ותדירותו
- סוג הזרם : זרם חילופין מסוכן יותר מזרם ישר.
- דוגמה : פגיעה והפסקת פעולת הלב מתרחשת בזרם של 100 מילי אמפר בזרם חילופין, ואילו בזרם ישר נדרש זרם של 300 מילי אמפר כדי שהלב יפגע ויפסיק את פעולת הלב.
- תדירות הזרם : ככול שתדר הזרם גדל יש סכנה גדולה יותר
- (ה) גודל הזרם - ככל שזרם ההתחשמלות גבוה יותר, האדם נמצא בסכנה גדולה יותר.
- (ו) מסלול מעבר הזרם בגוף האדם : מסלול יד – יד, מסלול יד – רגל, מסלול רגל- רגל

## 3.2 עקרונות ואמצעי הגנה נגד התחשמלות

ישנם 4 עקרונות בהגנה מפני התחשמלות ו-7 שיטות להגנה מפני התחשמלות את העקרונות והשיטות ניתן לראות בצורה ויזואלית באיור 3.3

### עקרון I – "ניתוק הגוף המחשמל (הצרכן המחשמל) מהזינה"

הסבר ועקרון פעולה:

כאשר מוליך המופע (פאזה) נוגע במעטפת מכשיר העשויה ממתכת, גוף המכשיר מחשמל, אדם הנוגע בגוף המכשיר יתחשמל, עוצמת ההתחשמלות תהיה תלויה בשאלה האם המכשיר מוארק כנדרש והאם מסלול לולאת התקלה בעל התחשמלות נמוכה כמצויין בחוק החשמל.

עיקרון זה לא מונע את המגע בין מוליך המופע לגוף המכשיר אלא מבטיח שאם יש מגע כזה בין הפאזה לגוף המכשיר, ההתנגדות הנמוכה תגרום לזרם גבוה שיפעיל את ההגנה המותקנת בקו המזין את המכשיר. ההגנה תנתק את ההזנה וכאשר האדם יגע בצרכן הוא לא יתחשמל באופן חמור משום שההגנה תנתק את ההזנה. יש לציין שלא תמיד הזרם שמתפתח גבוה דיו לנתק את ההגנה מאחר והתנגדות לולאת התקלה בשיטה זאת אינה נמוכה מספיק. אך גם במקרה כזה מאחר ונוצר מעגל מקבילי בעל התנגדות נמוכה משמעותית מהתנגדות גוף האדם, מתח המגע יהיה נמוך והזרם דרך גוף האדם יהיה נמוך.

השיטות להגנה מפני התחשמלות לעיקרון זה:

ממסר פחת, הארקת הגנה, הארקת איפוס

הערה: בהמשך יוצג פירוט נרחב יותר על השיטות

## עקרון II – "מניעת הופעת מתח העולה על 50 וולט"

**הסבר ועקרון פעולה:**

מתח נמוך מוגדר עד 50 V.

לפי חוק אום מתח זה חלקי התנגדות גוף האדם, כ- 1.6 kΩ, מתקבל זרם קטן מ- 30 mA.

עד לזרם זה אין סכנה לחייו של האדם.

כלומר: אם מורידים את המתח לצרכן שמתאים לכך עד 50 וולט אין שום סכנה להתחשמלות לאדם דוגמאות לשימוש במתח נמוך מאוד:

(1) תאורה באוהל בצבא פועל על מתח של 24 וולט ומורידים את המתח מ-230 וולט ל-24 וולט

באמצעות שנאי או הפעלה באמצעות מצברים וסוללות

(2) בסביבות מקומות לחים ורטובים כגון בריכת שחיה

**השיטה להגנה מפני התחשמלות לעיקרון זה:**

הפעלת צרכנים במתח של עד 50 וולט ומניעת כניסת מתח מעל ל-50 וולט מרשת אחרת למערכת

מתח נמוך מאוד

## עקרון III – "מניעת סגירת לולאת התקלה, דרך גוף האדם"

**הסבר ועקרון פעולה:**

העיקרון השלישי פועל כך שההזנה של הצרכן לא נעשית ישירות מרשת חברת החשמל אלא

באמצעות שנאי מיוחד שנפרט בהמשך. לכן האדם הנוגע במכשיר המחשמל לא מחובר ישירות לרשת

החשמל וכך האדם לא סוגר מעגל עם האדמה. העיקרון מתבסס על כך שזרם שיוצא ממקור מתח,

חוזר לאותו מקור מתח אם יש רציפות חשמלית בין המקור לצרכן.

במקרה זה המתח יוצא מהשנאי המיוחד ולכן אין לו קשר להארקה ולחברת החשמל ולכן הזרם לא

יעבור דרך גוף האדם.

דוגמאות בשימוש: בבתי חולים- זינה צפה, בעבודה על מטוסים – שנאי מבדל

**השיטות להגנה מפני התחשמלות לעיקרון זה:**

שנאי מבדל, זינה צפה

הערה: בהמשך יוצג פירוט נרחב יותר על השיטות

## עקרון IV – "מניעת הופעת מתח מגע על גוף המכשיר גם בזמן תקלה"

**הסבר ועקרון פעולה:**

העיקרון הרביעי שלכל מכשיר יש 2 חיפויים כשהחיפוי החיצוני עשוי מחומר מבודד (לרוב פלסטיק

קשיח) וכן אין שום חלק מתכתי של המכשיר הבולט מחוץ למכשיר שיש לו קשר גלוי (מתכתי) עם

החלקים הפנימיים וכך נמנע התחשמלות של האדם שנוגע בחלק המתכתי שבולט משום שאין לו

קשר למתח החשמלי.

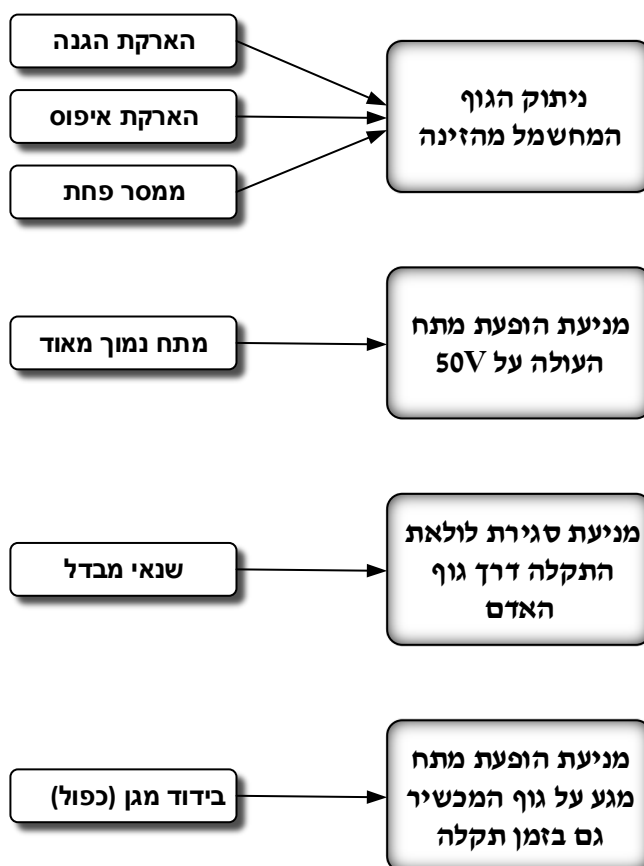
העיקרון הרביעי מתבסס על כך שמגדילים מאוד מאוד ההתנגדות החשמלית בין החלקים

המחוברים למתח החשמל למעטפת החיצונית בו האדם נוגע באמצעות בידוד נוסף

דוגמה לשימוש: מקדחה חשמלית

**השיטה להגנה מפני התחשמלות לעיקרון זה:**

בידוד כפול



איור 3.3: אמצעי הגנה בפני התחשמלות

### 3.3 פירוט השיטות להגנה בפני התחשמלות

#### כללי: הארקות

- א. בטיחות חשמלית – מניעת עליית מתחי מגע והפרש פוטנציאלים בין חלקים מתכתיים מעל הערכים הבטיחותיים בזמן תקלה.
- ב. הגנה בפני זרם יתר – יצירת מסלול לזרמי קצר (לולאת התקלה) עם התנגדות נמוכה כדי להבטיח ניתוק אוטומטי של מעגל שיש בו תקלה על-ידי המבטח.
- ג. הגנה בפני ברקים – ביצוע מעגל לזרם הברק עם מוליכות טובה בין קולטי ברקים לבין מערכת הארקה.
- ד. הגנה על ציוד אלקטרוני רגיש – חיבור להארקה של סיכוך מעגלים רגישים לשדות אלקטרומגנטיים והתקנת פסי הארקה מיוחדים בתוך הציוד המהווים נקודת ייחוס בעלת פוטנציאל קבוע.
- ה. להגן על האדם מפני התחשמלות ע"י כך שמאפשר לאמצעי הגנה לפעול ולנתק את מתח הזינה למכשיר/ למיתקן ובכך למנוע התחשמלו, וכן להקטין את מתח המגע.

#### כללי: מבנה הארקת שיטה

הארקת שיטה נעשית בשנאי חברת החשמל עצמו (ניתן לזהות את השנאי השכונתי המותקן על עמוד פלדה או נמצא במבנה סגור). השנאי מוריד ממתח גבוה למתח נמוך וסליליו מחוברים בצד הראשוני בחיבור משולש ובצד המשני בחיבור כוכב.

**בחיבור כוכב נוצרת נקודת אפס, נקודה זאת מחוברת על ידי חברת החשמל לאדמה.**

אחריות ביצוע הארקת שיטה : **חברת החשמל**

להארקת שיטה שני תפקידים :

1. לאפשר את מסלול התקלה של זרם הקָצֵר. כלומר, לאפשר " ניתוק הגוף המחשמל מהזינה" ולסגור את "מסלול התקלה"
2. כאשר העומסים במתקן אינן סימטריים בין הפאזות השונות, קיימת תזוזה בנקודת האפס במתקן, כך שנוצר מצב בו המתחים בין הפאזות לבין האפס במתקן אינו נשמר ותפקיד הארקת השיטה לדאוג לייצוב המתח במתקן.

#### **השיטת להגנה בפני התחשמלות הן :**

- שיטה 1 : "הארקת הגנה-TT" – "ניתוק הגוף המחשמל מהזינה" / "הקטנת מתח המגע"
- שיטה 2 : "שיטת האיפוס TN-C-S" - "ניתוק הגוף המחשמל מהזינה" / " הקטנת מתח המגע"
- שיטה 3 : " ממסר פחת/ מפק מגן" – "ניתוק הגוף המחשמל מהזינה"
- שיטה 4 : " מתח נמוך מאוד" –"מניעת הופעת מתח העולה על 50 V.
- שיטה 5 : " שנאי מבדל/הפרד מגן" –" מניעת סגירת לולאת התקלה דרך גוף האדם "
- שיטה 6 : " זינה צפה -IT" – " מניעת סגירת לולאת התקלה דרך גוף האדם"
- שיטה 7 : " בידוד מגן/ בידוד כפול " " מניעת הופעת מתח מגע על גוף המכשיר גם בזמן תקלה "

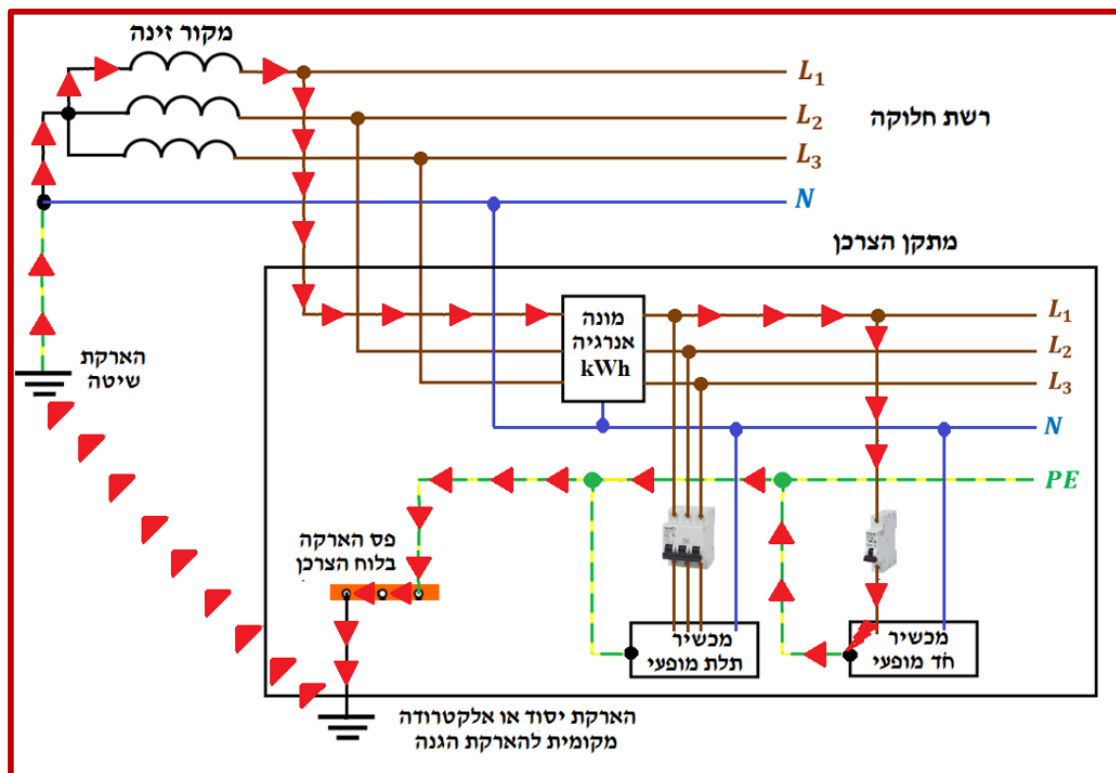
**שיטה 1: הארקת הגנה – "ניתוק הגוף המחשמל מהזינה" / "הקטנת מתח המגע"**

כללי :

א. הארקת הגנה מיועדת ליצור מסלול חילופי לזרם שאמור לעבור דרך גוף האדם, ע"י כך שהמסלול החלופי יהיה בעל התנגדות נמוכה בהרבה מהתנגדות גוף האדם רוב הזרם שיופיע במעטפת הצרכן עקב קצר של מוליך הפאזה, לגוף המכשיר והאדם שיבוא במגע עם המעטפת המחושמלת לא יתחשמל משום שרוב הזרם יעבור דרך הארקת הגנה לאדמה ולא דרך האדם, ומתח המגע יהיה נמוך.

בגלל הבדלי התנגדויות, התנגדות האדם כ-  $1.6\text{ k}\Omega$  מול התנגדות לולאת התקלה בהארקת הגנה של אומים אחדים.

ב. להתנגדות הנמוכה של של לולאת התקלה חשיבות נוספת במניעת התחשמלות של האדם כך שההגנות יפעלו במהירות במקרה של קצר בין פאזה לגוף כתוצאה מהזרם הגבוה שיעבור במסלול התקלה ההגנה תופעל ותנתק את הזינה מהמכשיר המחשמל ( עיקרון ראשון) הבעיה היא שגם אם ההתנגדות תהיה נמוכה מאוד הזרם שיתפתח, לא יפעיל הגנות בעלי זרם גבוה, וזה אחד החסרונות הגדולים של שיטה זו.



איור 3.4 : לולאת התקלה בהארקת הגנה T-T

באיור 3.4 מתוארת לולאת התקלה בהארקת הגנה עבור צרכן חד מופעי וצרכן תלת מופעי, שבו ניתן לראות:

- א. חיבור בין נקודת הכוכב בשניוני של שנאי חברת החשמל עם כבל הארקה לאדמה.
- ב. חיבור במבנה את כל נקודות הארקה של המכשירים (במעטפת המתכתית), ובשקעים לפס הארקות שבלוח החשמל באמצעות מוליך בצבע צהוב/ירוק.



ג. חיבור פס הארקות לאדמה באחת משלושת הדרכים הבאות:

1. לצינור מים מתכתי, המושקע בתוך האדמה.
  2. לאלקטרודה מתכתית שתוקעים אותה לאדמה.
  3. ליסודות המתכתיים של הביניין (שגם מוסיפים "פס השוואת פוטנציאליים")  
הערה: נרחיב בהמשך על שלושת הדרכים לחיבור פס הארקות שבלוח החשמל לאדמה, ההבדלים ביניהם, ויתרונות וחסרונות של כל דרך.
- ד. באיור ניתן להבחין בשני צרכנים- צרכן אחד חד פאזי עם הגנה חד פאזית (מוליך בצבע חום) שמצד אחד מתחבר לצרכן החד פאזי, ומצד שני הוא מיתחבר לקו L1 ומשם ממשיך דרך מונה אנרגיה ועד לשנאי חברת החשמל לקצה הסליל ומצד שני של הסליל מחוברת הארקה שיטה, כמו כן מחובר לצרכן מוליך האפס (צבע המוליך – כחול) והקצה השני מחובר לנקודה המשותפת של שלושת הסלילים של המישנה של השנאי, באותה נקודה שמחוברת "הארקה שיטה".  
באותו אופן מחובר הצרכן התלת פזי באמצעות 3 פאזות חומות הגנה תלת פאזית המחברים לשנאי חברת החשמל. כמו כן מחובר לצרכן מוליך האפס (צבע המוליך – כחול) והקצה השני מחובר לנקודה המשותפת של שלושת הסלילים של המישנה של השנאי, באותה נקודה שמחוברת "הארקה שיטה"

### כיצד פעולת שיטת "הארקה הגנה"

ההסבר מתבסס על המכשיר החד פאזי

- א. נניח ויש קצר בין הפאזה למעטפת המתכתית של המכשיר והארקה **לא** מחוברת למעטפת האדם, שהיה נוגע במעטפת המחשמלת, היה מתחשמל, משום שכל הזרם היה עובר דרכו לאדמה עליה הוא עומד, וכך דרך האדמה והארקה שיטה המעגל החשמלי היה נסגר.
- ב. כעת נניח שיש קצר בין הפאזה למעטפת המתכתית של המכשיר והארקה **כן** מחוברת למעטפת. האדם שהיה נוגע במעטפת המחשמלת היה מתחשמל אך לזמן קצר ובמתח מגע נמוך.

### הסבר:

ברגע שקרתה התקלה, והפאזה נגעה במעטפת, זרם זרם קצר  $I_k$  גדול מאוד, שמפעיל את ההגנה שמחוברת למכשיר ומנתקת אותו. לאחר שמתח הזינה מנותק, אין מתח על פני המעטפת המתכתית של המכשיר, וכך לא נישקפת סכנה לאדם שנוגע במעטפת המכשיר. במידה וזרם הקצר שמתפתח נמוך מזה שמפעיל את ההגנה, מתח המגע יהיה נמוך.

**התנאים הנדרשים כדי ששיטת ההגנה תתפקד כנדרש ותנתק את הזינה מהמכשיר המחשמל:**

1. שיתקיים " מסלול התקלה" – מסלול סגור.  
" מסלול התקלה" – מוגדר כמסלול הזרם כאשר מתרחשת תקלת קצר בין הפאזה למעטפת המתכתית של הצרכן. באיור 3.4 ניתן לראות את מסלול התקלה בצרכן החד-מופעי – מסומן באדום מקווקו.  
תיאור מסלול התקלה במילים:  
" מסלול התקלה" מתחיל בקצה הסליל השניוני של שנאי חברת החשמל דרך פאזה  $L_1$ ,

המוליך ממשיך עד להגנה (מא"ז או מאמ"ת) וממנה מגיע למכשיר. בממעטפת המכשיר קרתה התקלה. נניח והמוליך השתפשף והגיד המרכזי נוגע במתכת של המעטפת של המכשיר והזרם זורם מהמעטפת למוליך הארקה המחובר "לפס הארקות" ומפס הארקות הזרם ממשיך על מוליך הארקה שמוכנס לאדמה המחובר לצינור מים מתכתי או אלקטרודה או ליסודות הבניין כפי שמתואר בפרק 6 – הארקות. משם הזרם ממשיך דרך האדמה עד שהוא מגיע לעמוד בו השנאי מחובר ודרך הארקה שיטה הזרם עולה ומגיע לנקודה המשותפת של השנאי וכך נסגר מסלול/לולאת התקלה.

2. עכבת (התנגדות) לולאת התקלה כולל התנגדות בין האלקטרודות והמסה הכללית של האדמה (הנמוכה מ- $5 \Omega$ ) נמוכה מספיק שתבטיח את ניתוק הזינה מהמכשיר המחשמל

### חסרונות הארקה הגנה

1. קשה להשיג לולאת תקלה בעלת התנגדות נמוכה מאוד (המסלול בנוי בחלקו מהתנגדות האדמה). גם אם נניח התנגדות תקלה של  $5 \Omega$ , קיים חשש שהזרם שיתפתח לא יפעיל את מערכת ההגנה תוך 5 שניות.
2. אינה מגינה בפני התחשמלות ישירה.
3. בעבר השתמשו בצנרת המים כאלקטרודת הארקה, וברגע שהחליפו לצנרת מים מפלסטיק ההתנגדות הפכה לגבוהה.

### שיטה 3: שיטת "האיפוס TN-C-S" - "ניתוק הגוף המחשמל מהזינה"/"הקטנת

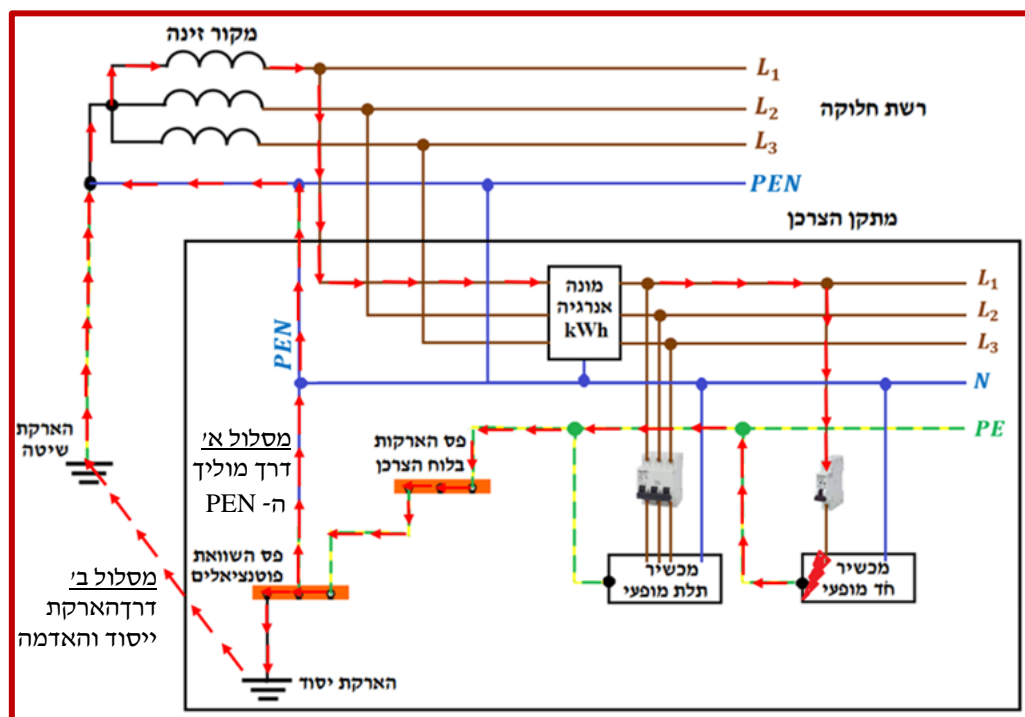
#### מתח המגע"

כללי:

כדי להתגבר על החיסרונות של שיטת "הארקת הגנה" משתמשים בשיטה המבטיחה מסלול לולאת תקלה שאינו עובר דרך האדמה אלא דרך מוליך וכך נוצרת רציפות גלוונית לאורך כל המסלול. באיור 3.5 ניתן לראות את מבנה שיטת האיפוס ומסלולי לולאת התקלה

שיטת האיפוס, דומה להארקת הגנה והארקת יסוד אך בתוספת של מוליך PEN את מוליך ה-PEN מחברים בין פס השואת פוטנציאלים למוליך האפס לפני הלוח הזירתי (כדי שממסר פחת לא יפעל שלא לצורך).

את מוליך ה-PEN מחברים לאפס באמצעות "חיבור קנדי" מיוחד כדי להבטיח רציפות חשמלית ושלא יתנתק בקלות משום שזו סכנה גדולה – ניתוק מוליך האפס יכול לגרום להעלאת מתח במתקן ובנוסף המסלול בעל ההתנגדות הנמוכה מתנתק. ובכך בעצם מנצלים את מוליך האפס שישמש כאפס וגם חלק ממסלול/לולאת התקלה.



איור 3.5 – לולאת התקלה בהארקת איפוס TN-C-S

#### משמעות האותיות על פי תקן IEC 60364

- |   |  |                    |
|---|--|--------------------|
| T | - מציינת חיבור להארקה                    | (אדמה – Terre)     |
| I | - מציינת מערכת מבודדת, ללא הארקה         | (מבודד – Isolated) |
| N | - מציינת מוליך אפס ברשת החלוקה           | (Natural)          |
| C | - מציינת שימוש במוליך משותף לאפס ולהארקה | (משותף – Combined) |
| S | - מציינת מוליך אפס ומוליך הארקה נפרדים   | (Separated)        |

הסבר "מסלול/לולאת התקלה":

הפאזה יוצאת מקצה הסליל של השנאי של חברת החשמל L1, משם דרך שעון מודד אנרגיה ועד להגנה (מא"ז או מאמ"ת), ומההגנה למכשיר. (כזכור מוליך הארקה מחובר למעטפת המתכתית של הצרכן) כאשר נוצר קצר בין מוליך הפאזה למעטפת הזרם זורם מהארקה לפס הארקות ומישם יש לזרם שני מסלולים.

**א. המסלול החשוב והעיקרי הוא המסלול הגליוני (מתכתי).**

מחברים "בפס השואת פוטנציאלים" מוליך הניקרא מוליך PEN בצבע כחול ובקצוות שרוול בצבע צהוב/ירוק שמקשר בין פס השואת פוטנציאלים למוליך האפס (בצבע כחול N), של חברת החשמל לפני הלוח החשמלי הדירתי ודרך

מוליך האפס חוזר לשנאי של חברת החשמל לקצה השני של הסליל ממנו יצאה הפאזה.

בזמן קצר, הזרם מגיע "לפס השואת פוטנציאלים" ומשם דרך מוליך ה-PEN למוליך האפס של חברת החשמל (לפני לוח החשמל) ודרך מוליך האפס חזרה לשנאי חברת החשמל, לקצה השני של הסליל ממנו יצאה ההזנה – הפאזה ובכך לולאת/ מסלול התקלה ניסגר וזרם הקצר הגבוה יגרום להפעלת ההגנה ולניתוק מתח ההזנה למכשיר והאם שיגיע במעטפת לא יתחשמל.

**ב. המסלול האחר הוא דרך האדמה כפי שלמדנו בשיטת "הארקת הגנה"**

יתרון שיטת האיפוס על פני שיטת "הארקת הגנה"

1) מסלול התקלה של "שיטת האיפוס" הוא גליוני (מתכתי), וכך נמנעים מתלות בסוג הקרקע או לחות הקרקע. פרמטרים שלא תלויים בנו ומשתנים במשך עונות השנה כלומר: ההתנגדות של לולאת התקלה קבועה!

2) במידה ויש תקלה בשיטת האיפוס ההגנה מפני התחשמלות ממשיכה דרך האדמה באמצעות "הארקת הגנה" דרך יסודות הבניין והאדמה

חיסרון השיטה:

אנו משתמשים במוליך האפס של חברת החשמל ואנו לא יכולים לפקח ולהשגיח על הקטע הזה במסלול ולא נדע שנחשפנו לסכנות של התחשמלות, כלומר, אם לדוגמה נקרע מוליך האפס של חברת החשמל אנו לא יכולים לדעת שיש תקלה במערכת האיפוס.

**מה קובע החוק לפני התקנת "שיטת איפוס" ובזמן השימוש בשיטה**

1) לא ישתמש אדם באיפוס לשם הגנה בפני חישמול אלא לאחר קבלת אישור מבעל הרשת שממנה יוזן המתקן כי הרשת עומדת בדרישות תקנות 43, 44, ו-45 (תקנה 36 א') בעת ביצוע כל שינוי יסודי ברשת קיימת תותאם הרשת לדרישות תקנות אלה למטרת איפוס (תקנה 36 ב')

לא ישתמש אדם בהגנה על-ידי איפוס ברשת שאינה שייכת לחברת חשמל, אלא בהסכמתה של חברת חשמל בעלת הזיכיון באותו שטח כאשר במבנה או בחצרים נמצאות רשתות חשמל במתח עד 1000 וולט השייכות לחברה האמורה. (תקנה 36 ג').

- (2) לא ישתמש אדם במבנה אחד בהגנה על-ידי איפוס ובהגנה על-ידי הארקת הגנה (תקנה 37)
- (3) מותר להשתמש בהגנות האמורות בתקנה 37 במבנים נפרדים הניזונים על ידי אותה רשת חלוקה (תקנה 38)
- (4) לא ישתמש אדם באיפוס במבנה אשר אין בו הארקת יסוד בהתאם לתקנות הארקות יסוד (תקנה 39א)
- מותר להשתמש באיפוס במבנה אשר אין בו הארקת יסוד, אם יש לו אלקטרודת הארקה מקומית וקיימת במבנה השוואת הפוטנציאלים כנדרש בתקנות הארקות יסוד, למעט חובת חיבור לזיון המבנה; קיימים במבנה צרכנים נוספים המוגנים בשיטת הארקת הגנה (TT) תוסב ההגנה אצלם להגנה בשיטת האיפוס (תקנה 39 ב')
- לא ישתמש אדם באיפוס במבנה שבו ההתנגדות בין הארקת היסוד או האלקטרודה המקומית, לבין המסה הכללית של האדמה עולה על  $20 \Omega$  (תקנה 39 ג')

#### נקודות חשובות

- (1) התנגדות המותרת בין המבנה למסה הכללית של האדמה היא עד  $20 \Omega$ .
- את התנגדות של הבניין כלפי המסה הכללית של האדמה מודדים באמצעות מד הארקה
- (2) כמו בשיטת הארקת הגנה גם בשיטת האיפוס - כדי ליגרום להגנה לפעול ולנתק את מתח ההזנה מהמכשיר, על לולאת התקלה להיות בעלת התנגדות בהתאם לטבלת עכבת לולאת תקלה, אך יש לזכור שהתנגדות לולאת התקלה תלויה בזרם הנקוב של ההגנה אליה ההגנה מחוברת.
- (3) את התנגדות לולאת התקלה מודדים באמצעות מכשיר הניקרא "LOOP TESTER"

#### **מה מחברים אל פס השוואת הפוטנציאלים ?**

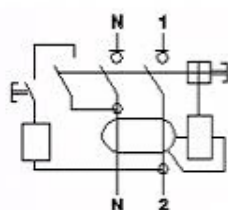
אל פס השוואת הפוטנציאלים יש לחבר באמצעות מוליכי חיבור נפרדים השירותים המתכתיים הבאים הנמצאים בתוך המבנה:

- אלקטרודת הארקת יסוד
- כניסה ראשית של צנרת מים קרים
- צנרת הסקה מרכזית והמים החמים
- כניסת צנרת גז מרכזית
- צנרת לאוויר דחוס
- הארקת הגנה של גנרטור, שנאי או ממיר
- הארקת שיטה של גנרטור, שנאי או ממיר
- מסילות של מעליות
- תעלות מתכתיות של מיזוג אוויר מרכזי
- כלי שירות אחר מתכתי בבניין

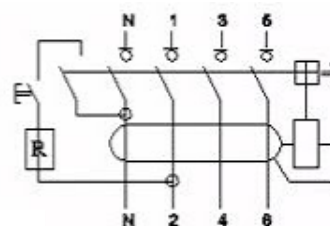
**שיטה 4: "ממסר פחת/ מפסק מגן" – "ניתוק הגוף המחשמל מהזינה"**

הגדרה:

- ✓ ממסר פחת הינו מפסק המנתק את המתקן החשמלי ממקור הזינה בצורה אוטומטית במקרה של זרם דלף לאדמה(במקרה של הופעת זרם דלף במתקן). מטרתו של המפסק לשפר את רמת ההגנה בפני התחשמלות וכן למנוע את הסכנה להתפתחות שריפה במתקן החשמלי.
- ✓ שיטה זו מחייבת קיום **מערכת הארקה במתקן** המוגן ובמקור הזינה. (קיימים מספר מקרים שמותר כהגנה יחידה –ראה עמ' 34-35)



סימול של ממסר פחת חד-מופע



סימול של ממסר פחת תלת מופעי

**תיאור כללי ועקרון פעולה:**

- ✓ מדידת הפרש הזרמים במוליכים המחוברים אליו. כשהזרמים שווים, אין דליפת זרם במתקן. הפרש בזרמים, מצביע על כך שחלק מהזרם סגר מעגל דרך האדמה, בשל פגם בבידוד או חשמול.
- ✓ כאשר אי שוויון הזרמים גדול מזרם ההפעלה (הרגישות) שאליו תוכנן המפסק, הוא מפסיק את הזנת החשמל למתקן.
- ✓ במתקן ביתי, אי השיוויון המקובל להגנה על חיי אדם צריך להיות נמוך מ- 30 mA
- ✓ ממסר הפחת אינו מקטין את הזרם העובר דרך ה"קורבן" המחושמל, אלא רק מגביל את משך הזמן לכדי 10-30 מילישניות.
- ✓ השימוש בממסר פחת נועד כדי להקנות הגנה טובה יותר מפני מכת חשמל העשויה להיגרם בעת שימוש במכשיר חשמלי פגום, או בגלל חוסר זהירות.
- ✓ חובת התקנה: לוח דירתי, הגנה בלעדית, אתרים רפואיים, מכשירי חשמל מיטלטלים, מתקני חשמל ארעיים, אתרי בניה וחקלאות.
- ✓ יש לזכור כי ממסר פחת זרם אינו מגן מפני התחשמלות במקרים שבהם האדם נוגע בו זמנית בשני ההדקים של המעגל החשמלי



תפקיד כל חלק במנגנון של ממסר הפחת:

- א. **מגעי הזנה** – תפקידם לחבר ולנתק את ההזנה ללוח החשמל הערה: המגעים מחוברים לציר(ה) ונפתחים יחד כאשר הקפיץ מושך שמאלה, ונסגרים כאשר דורכים ( מפעילים ) את ממסר הפחת ע"י הרמת המנוף,
- ב. **טבעת מגנטית** – עשויה חומר פרו מגנטי (שמוליכה היטב שטף מגנטי כמו: ברזל) ותפקידה להעביר את השטף המגנטי שנוצר בזמן שיש זרם דלף לסליל האיזון שקולט את השטף.
- ג. **סליל האיזון** – סליל האיזון קולט את השטף המגנטי שנוצר כאשר יש תקלה של זרם דלף והופך את השטף למתח מושרה ומעביר את המתח לאלקטרומגנט הניתוק.
- ד. **אלקטרומגנט הניתוק** – תפקידו לפתוח את הנעילה של הצירים (ה) ברגע שהוא מקבל מתח מסליל האיזון ובכך מאפשר פתיחת מגעי ההזנה של הפזה והאפס (א) + (ב) להמשך המעגל
- ה. **ציר + ציר + נעילה + קפיץ**  
תפקידם לפתוח את הנעילה, לסגור את הנעילה, להרחיק ולנתק את מגעי ההזנה קפיץ – תפקידו למשוך את הציר שמאלה יחד עם מגעי ההזנה כאשר הנעילה נפתחת. נעילה – תפקידו לנעול את שתי הצירים יחד כל עוד אין זרם דלף
- ו. **סליל הפאזה** – תפקידו ליצור שטף מגנטי לכיוון אחד המייצג את הזרם שזורם דרכו.
- ז. **סליל האפס** – תפקידו ליצור שטף מגנטי לכיוון השני המייצג את הזרם שזורם דרכו הערה: הליפופים של סליל הפזה וסליל הזרם הפוכים זה לזה ולכן אם הזרמים בשניהם שווים (במצב שאין זרם זליגה) אז גם השטפים שלהם שווים אך הפוכים זה לזה ומבטלים אחד את השני.
- ח. **נגד בדיקה** – תפקידו לגרום לזרם דלף בעוצמה של  $30mA$  לשם בדיקת ממסר הפחת, ולגרום לו לפעול ולנתק את הזינה מהמשך המעגל כאשר לוחצים על לחצן בדיקה (ט)
- ט. לחצן בדיקה – תפקידו לחבר את נגד הבדיקה ולגרום לזרם דלף לצורך בדיקה בלבד.

מבנה ממסר פחת תלת – פאזי

- ✓ לכל פאזה יש סליל אחד סה"כ לפאזות 3 סלילים.
- ✓ לאפס יש סליל אחד
- ✓ וסליל האיזון

**סה"כ בממסר פחת יש 5 סלילים**

עיקרון הפעולה- ממסר פחת חד פאזי:

**כדי להבין את עיקרון הפעולה של ממסר הפחת יש להסביר מהו זרם דלף?**

זרם דלף הוא זרם בדרך כלל קטן שזורם במסלול שלא תוכנן. להלן דוגמאות:

- א. מהפזה לגוף האדם ומשם דרך הארקה לאדמה.
- ב. מהפזה ישירות לאדמה דרך הארקה.
- ג. מהאפס לאדמה דרך הארקה.

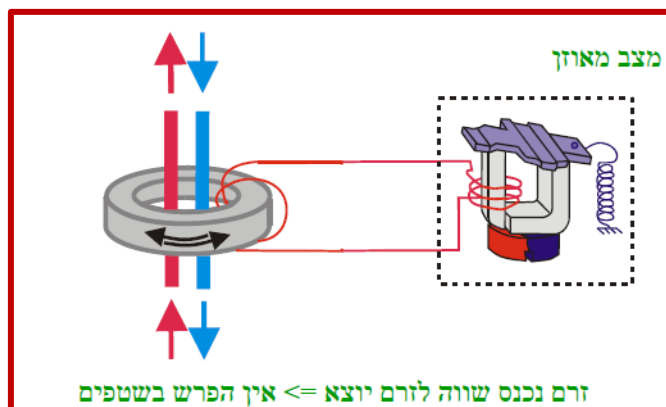
❖ זרם דלף לא נחשב קצר!!!



**שני מצבי הפעולה של ממסר פחת:**

**(1) מצב בו אין זרם זליגה לאדמה**

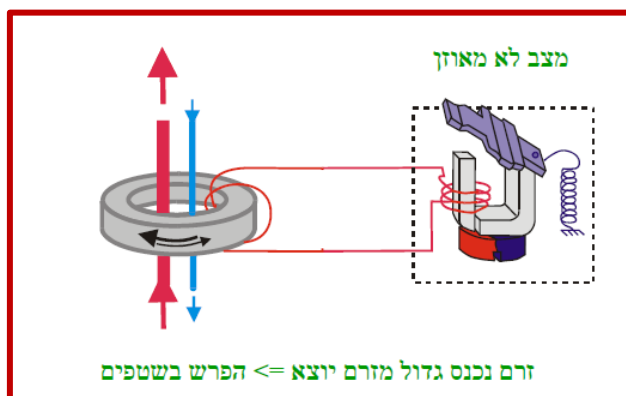
מזיינים את ממסר הפחת בפזה ובאפס (ללא הארקה). הזרם עובר באותה עוצמה בשתי הסלילים – סליל הפאזה וסליל האפס. הזרם שזורם בסלילי הפזה והאפס יוצרים שטף מגנטי שווה. ומשום שהסלילים מלופפים בכיוונים הפוכים זה לזה והשטפים שווים אז השטף של האחד של האחד מבטל את השטף של השני. מגעי ההזנה (א) נשארים מחוברים וההזנה של המתח עוברת הלאה ליתר לוח החשמל



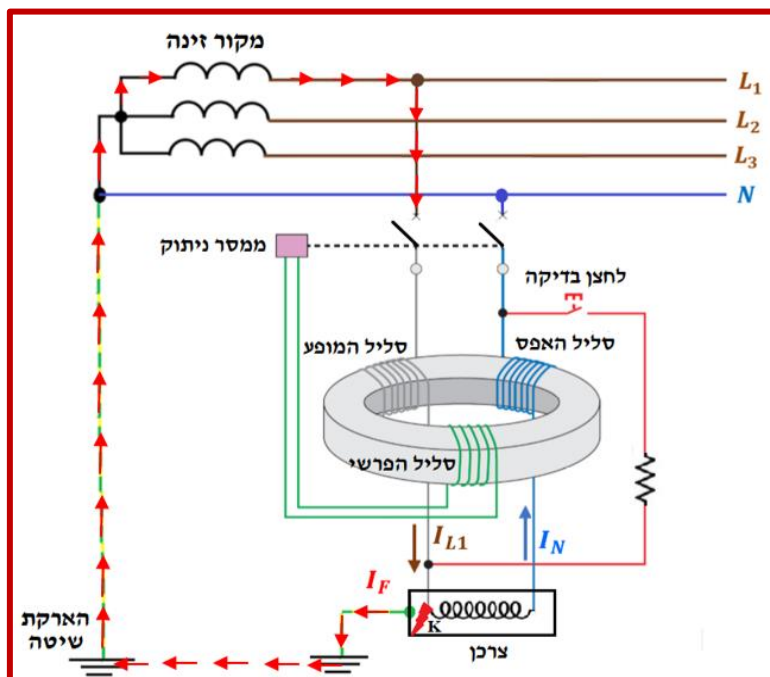
איור 3.8 – מפסק מגן ללא זרם זליגה

**(2) מצב בו יש זרם זליגה (מצב של תקלה)**

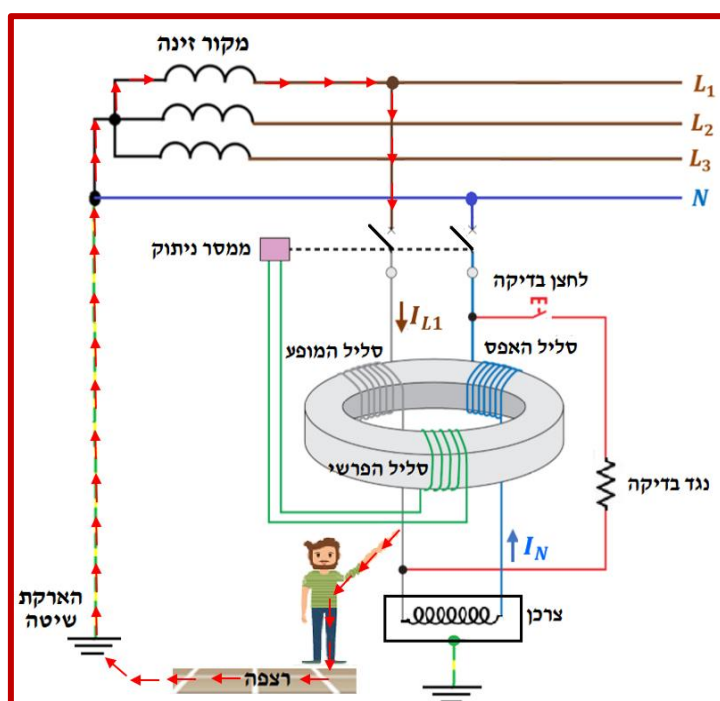
במצב שיש זרם זליגה לאדמה הזרם בסליל הפזה ובסליל האפס לא שווים, ולכן השטפים לא מבטלים לחלוטין אחד את השני ונוצר שטף בגרעין המגנטי. השטף שבגרעין המגנטי "שוטף" את סליל האיזון ונוצר עליו מתח מושרה. המתח המושרה מועבר לאלקטרומוגנט הניתוק וזה יוצר כוח אלקטרומוגנטי ומושך את הציר הימני ופותח את מנגנון הנעילה. ברגע שמנגנון הנעילה נפתח הציר השמאלי נימשך ע"י הקפיץ שמאלה בכוח  $F_k$ , ואתו נפתחים מגעי ההזנה (משום שהם מחוברים פיזית לציר השמאלי ונעים שמאלה יחד עם הציר), וכך נותקה ההזנה של המתח ללוח החשמל בגלל זרם הדלף



איור 3.9 א' – מפסק מגן עם זרם זליגה – מנתק את ההזנה



איור 3.9 ב' – מפסק מגן עם זרם זליגה – גוף המכשיר נוגע בפאזה



איור 3.9 ג' – מפסק מגן עם זרם זליגה – התחשמלות

### נקודות חשובות לגבי מפסק מגן:

1. תפקידו העיקרי של מפסק מגן **לפני שהאדם נוגע במעטפת המכשיר** - הוא למנוע התחשמלות ולהתריע על תקלה במכשיר או מעגל זינה הגורמת לזרמי זליגה בעוצמה של מעל ל- 30 mA, על ידי ניתוק המעגל מהזינה .  
**ברגע שהאדם נוגע במעטפת המכשיר** - מפסק מגן אינו מקטין את הזרם העובר דרך גוף מחושמל אלא רק מגביל את פרק הזמן בו זרם זורם דרך הגוף כך שלא יגרם נזק גופני בלתי הפיך לגוף האדם המחושמל פרק הזמן נע בין 30mS ל- 10mS מרגע הופעת זרם דלף ועד לניתוק של מתח ההזנה .

2. מפסק מגן אינו מבטל את החובה בהתקנת מבטח ראשי בלוח משום שאינו מנתק את הזינה למעגל כאשר זרם בו זרם יתר. (ברוב הדגמים בשימוש ) וכן אינו מבטל את החובה בהתקנת הארקה למיתקן חשמל .

3. ייעוד השימוש במפסק מגן  
מפסק מגן יכול לשמש כאמצעי הגנה בפני חשמול באופן בלעדי במקרים מאוד מיוחדים כמפורט בסעיף הבא, או כאמצעי הגנה בפני חשמול כאמצעי נוסף .

4. כאמצעי הגנה בלעדי -  
יישום כזה מותר רק במקרים הבאים :  
✓ באתר בניה, בקרון מגורים, במבנה ארעי או במתקן ארעי .  
✓ במבנה בו השתמשו בהארקת הגנה שמסיבה כלשהי לא ממלאה אחר הדרישות בתקנות ולא ניתן להשתמש באותו מבנה בשיטת האיפוס .  
✓ במבנה בו קיימת הארקת יסוד כאשר לא ניתן להשתמש בו בהגנה בשיטת האיפוס וההתנגדות בין ההארקה למסה הכללית של האדמה או עכבת לולאת התקלה אינן מאפשרות הגנה על ידי הארקת הגנה. (ערכים גדולים מ- 5Ω)


#### **מותר להשתמש במפסק מגן כהגנה בלעדית במקרים הבאים:**


- ✓ באתר בניה, קרון מגורים, מבנה ארעי וכדומה או כהגנה על פנסי תאורה המותקנים על עמודים מחומר מוליך.
- ✓ במבנה שבו השתמשו בהגנה על ידי הארקה (TT) , כשהתנגדות לולאת התקלה אינה מאפשרת התפתחות של זרם מספיק גבוה שיפעיל את המבטח של המתקן בהתאם לתקנות ובמקום לא ניתן לבצע איפוס.
- ✓ במבנה שקיימת בו הארקת יסוד ולא ניתן לבצע בו איפוס (TN-C-S) ועכבת לולאת התקלה, או ההתנגדות למסה הכללית של האדמה אינן מאפשרות הגנה ע"י הארקת הגנה (TT).
- ✓ בהיתר מיוחד ע"י המנהל ובהתאם לתנאי ההיתר.

5. כאמצעי הגנה נוסף -


בתיקון לתקנות החשמל (התקנת לוחות במתח עד 1000 וולט) נקבע כי במתקני חשמל דירתיים (מתקני חשמל בדירות מגורים - לפי ועדת הפירושים), יש להתקין מפסק מגן המיועד לשמש כאמצעי הגנה נוסף בפני חשמול.

סוגים שונים של ממסרי פחת

**סוג AC** - רגיש לזרמי תקלה סינוסואידלים בלבד, אינו בשימוש. 


**סוג A** - רגיש לזרמי תקלה סינוסואידלים וכן לזרם פועם המכיל רכיב של זרם ישר. 

**זה הסוג המותר לשימוש כיום בישראל**

**סוג APR - A** - מכיל את כל התכונות של מפסק מגן מסוג A וכן בעל חסינות גבוהה נגד הפרעות בלתי רצויות כמו ניתוקים, הרמוניות, שינויים פתאומיים במתח ועוד. 

APR


**סוג F** - מכיל את כל התכונות של מפסק מגן מסוג APR - A וכן בעל תגובה לזרמים בעלי תדירות גבוהה

העולה על 1kHz. 

**סוג B** - מכיל את כל התכונות של מפסק מגן מסוג F וכן מתאים במיוחד להגנת מעגלי זרם ישר וזרם ישר

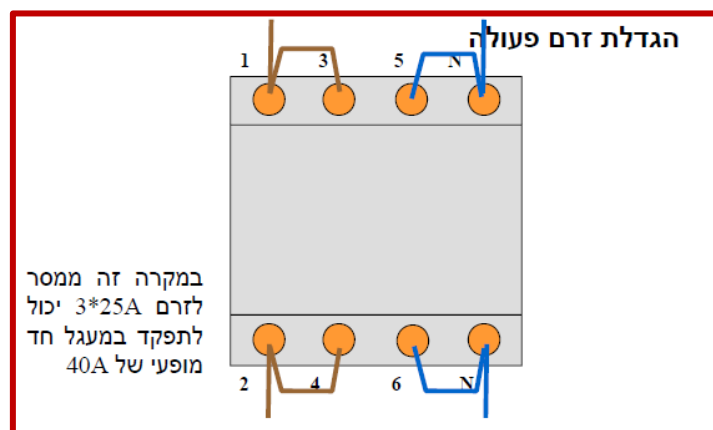
בעל פולסים. 

**סוג B +** - מכיל את כל התכונות של מפסק מגן מסוג B וכן בעל תגובה לזרמים בעלי תדירות גבוהה העולה על

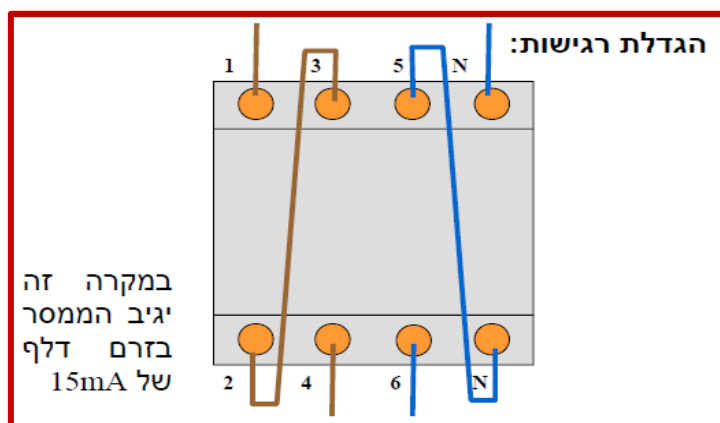
20kHz. 

הערות חשובות:

במתקני חשמל דירתיים חדשים אסור להתקין מפסקי מגן מדגם AC. במתקנים הישנים הקיימים, מפסקי מגן מדגם AC מספקים הגנה טובה ברוב המקרים יחד עם זאת, במקרים מיוחדים, כאשר במתקנים קיים ציוד חשמלי הממותג באמצעים אלקטרוניים כגון: מחשבים אישיים, מערכות אל - פסק סטטיות, עמעמים ומשנקים לתאורה, וכיו כדאי להחליף את המפסק מדגם AC במפסק מדגם A



איור 3.10 - שימוש במפסק מגן תלת מופעי במתקן חד מופעי - הגדלת זרם פעולה



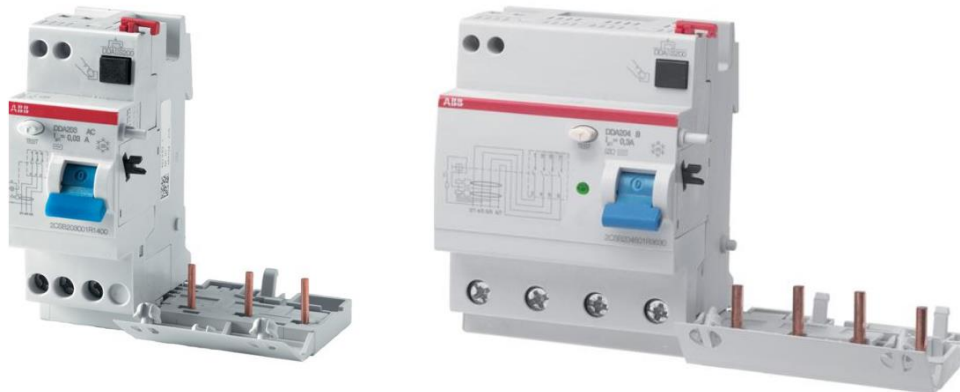
איור 3.10 – שימוש במפסק מגן תלת מופעי במתקן חד מופעי – הגדלת רגישות



איור 3.11 א' - מפסקים מפני זרם דלף מקבוצת *RCCB*



איור 3.11 ב' - מפסקים מפני זרם דלף מקבוצת *RCBO*



איור 3.11 ג' - מפסקים מפני זרם דלף מקבוצת *RCD blocks*

\* המפסקים המתוארים באיורים 3.11 א'-ג', נלקחו לדוגמה מאתר חברת *ABB*.

### שיטה 5: "מתח נמוך מאוד" – "מניעת הופעת מתח העולה על 50V

מתח נמוך מאוד – עד 50V הוא מתח לא מסוכן, בהנחה שהתנגדות גוף האדם המינימלית היא  $1.7\text{ K } \Omega$  מתקבל זרם הנמוך מ- 30 mA המוגדר כזרם עזיבה.

שימושים:

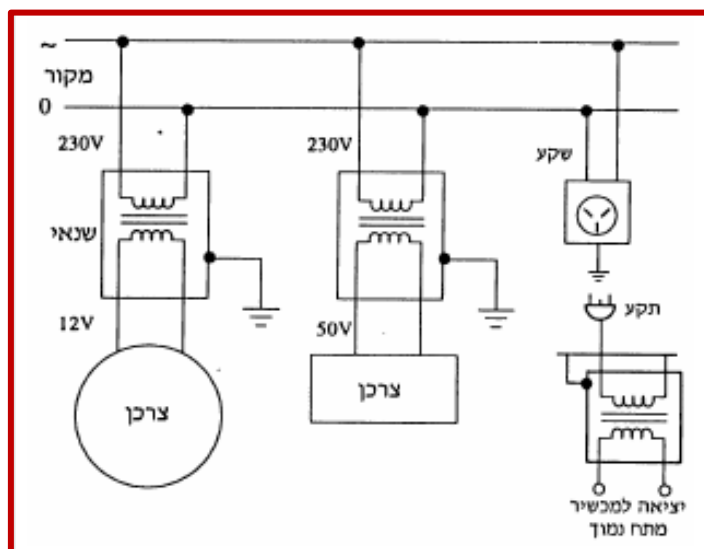
מקומות בעלי סכנת התחשמלות גבוהה, כגון: חדרי קירור והקפאה, משחקי ילדים.

חסרונות:

דורש מקור מתח נפרד, צרכנים במתחים שונים, וצריכת זרם גבוהה של אותם צרכנים.

כללים:

- אין להאריק מתקן במתח נמוך מאוד.
- חייבת להיות הפרדה מוחלטת בין רשת האספקה הרגילה, לבין המערכת המוזנת במתח נמוך מאוד (שנאי מבדל). לפיכך, אין להשתמש בשנאי עצמי כמקור מתח נמוך מאוד. השנאי יהיה מסוג II. המתח הראשוני של השנאי אסור שיעלה על 250V כלפי האדמה.
- כל האביזרים, כולל המוליכים, במתקן הניזון במתח העולה על 24V צריכים להיות מבודדים למתח של 250V לפחות.
- במעגלים למתח נמוך מאוד צריך להשתמש רק בתקעים ובבתי תקע מיוחדים, בלתי חליפים לתקעים ובתי תקע למתחים אחרים במתקן.



איור 3.12 – צרכנים במתח נמוך מאוד

## שיטה 6: "שנאי מבדל/הפרד מגן" – מניעת סגירת לולאת התקלה דרך גוף האדם

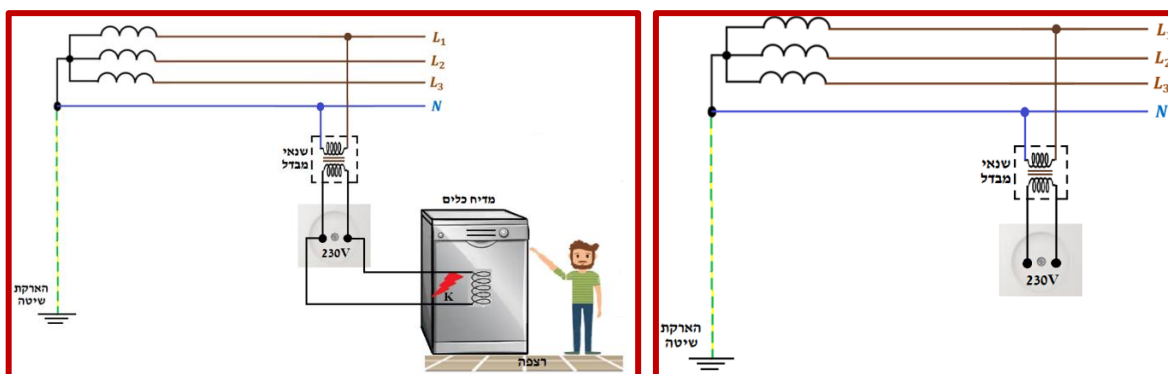
העיקרון בשיטה זו למנוע אפשרות של סגירת מעגל תקלה דרך האדמה ע"י הפרדת הצרכן מהארקת השיטה!!!

כלומר: אין קשר חשמלי (גלווני) בין מתח המקור לצרכן אלא הקשר הוא מגנטי ולכן אין סגירת מעגל ביו האדם הנוגע בפזה לאדמה משום שהארקת השיטה לא מחוברת!

הפרד מגן מותר לשימוש רק במתקן שבו הזרם הקיבולי כלפי האדמה ו/או כלפי מקור הזינה יהיה קטן כדי שהקיבוליות של המעגל לא תעלה על המותר מטעמי בטיחות. בכל מקרה לא יעלה אורך המעגל המופרד על 500 מטרים. דרישות אלה אמורות להגביל קיבולת בין מוליכי הרשת לאדמה ואת זרם החישמול הקיבולי הנוצר עקב כך, בעת ליקוי הבידוד. קיום תנאים אלה מגביל זרם החישמול לרמות לא מסוכנות לבני אדם.

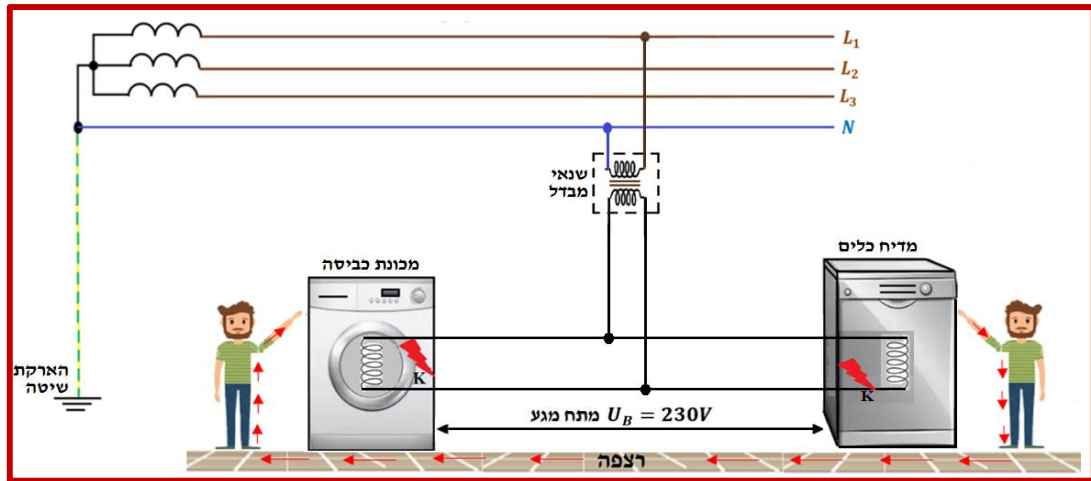
התנאים בשימוש בשיטה זו:

- (א) שימוש בשנאי מבדל כאשר המתח בצד הראשוני לא יעלה על מתח נמוך.
- (ב) אין לבצע הארקת הגנה ושיטה במוצא השנאי.
- (ג) בשימוש בשיטה זו **אסור** שהשנאי מבדל יזין יותר ממכשיר אחד אחרת יתכן מצב שבזמן תקלה בשני המכשירים ייווצר מתח של 230 וולט בין שתי המעטפות המתכתיות של המכשירים.
- (ד) מתח בין מוליכי הציוד המוגן דרך שנאי לא יעלה על 500 וולט.
- (ה) שנאי מיטלטל יהיה מסוג II.
- (ו) בציוד לא יותקן מוליך הארקה כולל בכבל.
- (ז) פתיל זינה של הציוד יצויד במוליך הארקה בתנאי שמכשיר הוא סוג I. פתיל זינה זה לא יחובר להארקה במתקן המופרד על ידי שנאי מבדל.
- (ח) מערך הזנת ציוד דרך הפרד מגן לא יותקן יותר מבית-תקע אחד (איור 4



איור 3.13 – שימוש בשנאי מבדל – צרכן יחיד





איור 3.14 – חיבור אסור - שימוש בשנאי מבדל – שני צרכנים

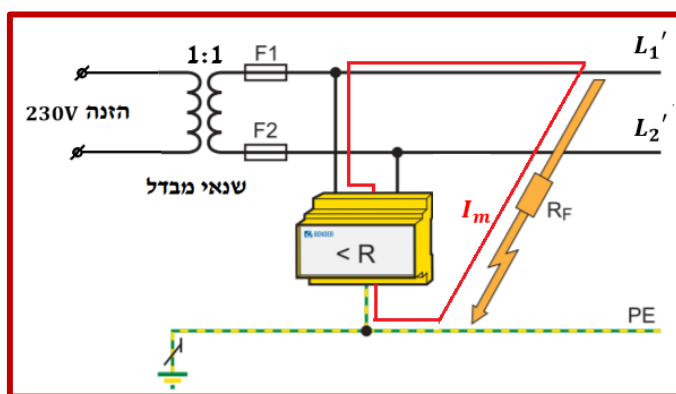
### שיטה 7: "זינה צפה" IT – "מניעת סגירת לולאת התקלה דרך גוף האדם"

עקרון השיטה כמו שנאי מבדל שמבוססת על כך שהארקה שיטה והארקת הגנה לא מחוברים וכך אין אפשרות להתחשמל משום שאין קשר חשמלי בין הצרכנים למקור המתח אלא קשר מגנטי בלבד. המיוחד בשיטה זו שמוסיפים מכשיר הנקרא "משגוח" שתפקידו להתריע על בידוד לקוי של הפזה ובמקרה זה עוד לפני שתרחש תקלה חמורה המשגוח מצפצף ומתריע התנאים לשימוש בשיטת "הזנה צפה" המחובר למספר צרכנים בו זמנית הם:

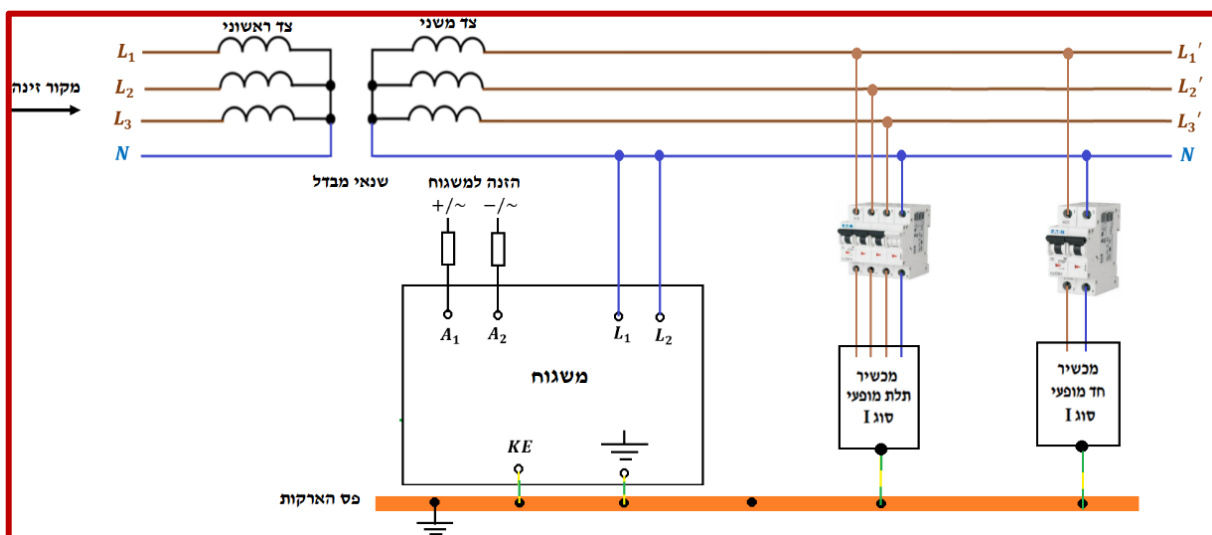
- (1) חיבור משגוח למערכת
- (2) נוכחות מתמדת של חשמלאי מוסמך
- (3) השנאי מבדל מתאים לעומסי הצרכנים

שיטה שימושית:

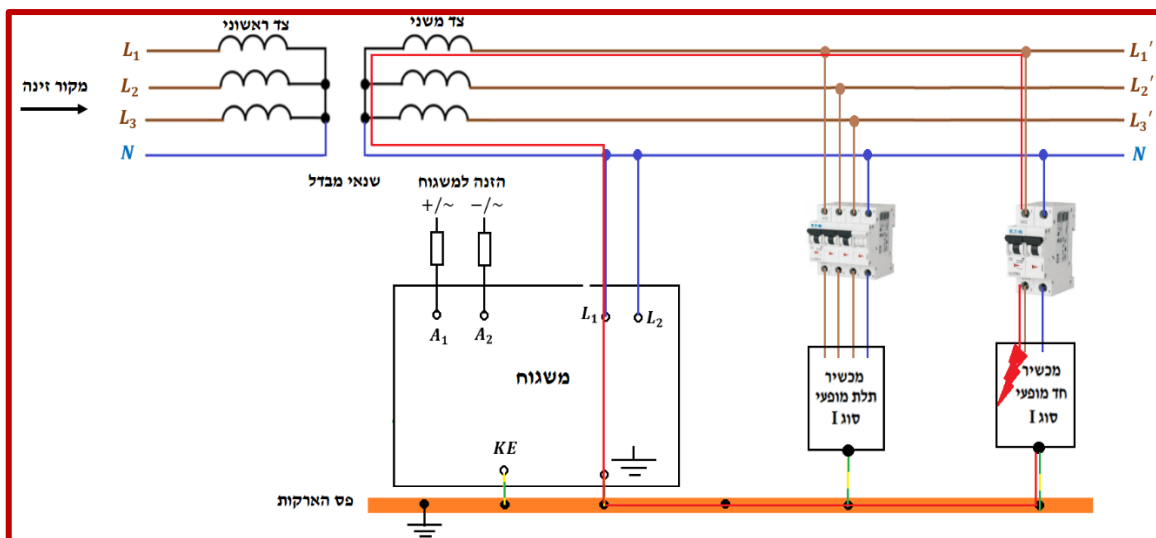
בבית חולים בחדרי ניתוח וטיפול נמרץ



איור 3.15 – חיבור משגוח – חד פאזי



איור 3.16 – זינה צפה – תרשים חיבורים עקרוני



איור 3.16 – זינה צפה – מצב תקלה

**שיטה 8: " בידוד מגן/ בידוד כפול " מניעת הופעת מתח מגע על גוף המכשיר גם**

**בזמן תקלה "**

מטרת השיטה למנוע הופעת מתח על חלק מוליך (מתכתי) שיכול לבוא במגע עם האדם, גם אם תתרחש תקלה של קצר או מסיבה אחרת  
שימושי : בכלי עבודה מטלטל – כמו מקדחת יד



אסור להאריק ציוד בעל בידוד מגן (בידוד כפול) וגם כבל ההזנה חייב להיות דו פניי בלבד.  
הבידוד של מכשיר מסוג II הינו האמצעי היחיד להגנת המשתמש. אי לכך אסור להשתמש במכשיר  
כזה אם בידודו נפגע מכנית, עקב רטיבות, אבק או כל סיבה אחרת

סימול:

יתרונות השיטה :

מבטיחה הגנה טובה על המשתמש כאשר הציוד תקין.  
אינה מתנגשת עם שיטה אחרת.

## **סיכום – אמצעים נגד התחשמלות**

- עקב ליקוי בבידוד בין גופים נגישים בו זמנית ומגע אדם נוצר מתח מגע אשר עוקף את האפס וזרם התקלה מוצא את דרכו דרך גוף האדם לאדמה. זרם זה העובר בגוף האדם מחולל בו שינויים פיזיים, כימים וכמובן ביולוגיים (הלם חשמלי), תוצאות אלו תלויות:
- א. בעוצמת הזרם וסוג הזרם (ישר/חליפין).
  - ב. משך זמן המגע.
  - ג. מסלול הזרימה בגוף האדם.
  - ד. מצבו של האדם (יבש, מזיע, סוג נעליים וכו').

קיים מצב שבו יופיע מתח תקלה בין גוף מחושמל לאדמה או בין שני גופים שקיים בניהם הפרש פוטנציאלי, למשל גופי מכשירים הניזונים ממופעים שונים של הרשת.

### **ישנם מס' אמצעי הגנה בפני חישמול:**

#### **1. הארקת הגנה – TT + שיטה**

הגנה בפני חישמול ע"י חיבור גופים מתכתיים של ציוד חשמלי אל המסה הכללית של האדמה דרך מוליך הארקה המחובר לאלקטרודת הארקת היסוד הטמונה ביסוד המבנה (או צינור מים מתכתי או אלקטרודה מקומית) ועשויה בדרך כלל מחלקי זיון הפלדה של המבנה המחוברים בניהם באמצעות טבעת גישור.

התנגדות מינימלית בין ברזלי הבניין למסה הכללית של האדמה פחות מ-  $5\Omega$ . התנגדות מינימלית של לולאת התקלה ניקבע לפי גודל ההגנה של הצרכן, כלומר- זרם נקוב של ההגנה  $I_n$  יש להעזר בטבלה.

#### **חסרונות**

1. קשה להשיג לולאת תקלה בעלת התנגדות נמוכה מאוד (המסלול בנוי בחלקו מהתנגדות האדמה). גם אם נניח התנגדות תקלה של  $5\Omega$ , קיים חשש שהזרם שיתפתח לא יפעיל את מערכת ההגנה תוך 5 שניות.
2. אינה מגינה בפני התחשמלות ישירה.
3. בעבר השתמשו בצנרת המים כאלקטרודת הארקה, וברגע שהחליפו את לצנרת מים מפלסטיק ההתנגדות הפכה לגבוהה.

#### **2. איפוס TN-CS + שיטה**

חיבור בין מוליך הארקה של המתקן לבין מוליך האפס של רשת הזינה בכניסה למבנה. במקרה זה מוליך האפס ישמש בו זמנית כמוליך הארקה ויקרא " מוליך פן (PEN) " מוליך ה- PEN מתחבר מצד אחד לפס השוואת פוטנציאלים ומצד השני למוליך האפס של חברת החשמל לפני לוח החשמל. יתרון השיטה שמסלול התקלה הוא גלווני (מתכתני) ולא תלוי באדמה. התנגדות מינימלית בין ברזלי הבניין למסה הכללית של האדמה פחות מ-  $20\Omega$ . התנגדות מינימלית של לולאת התקלה ניקבע לפי גודל ההגנה של הצרכן כלומר- זרם נקוב של ההגנה  $I_n$  יש להעזר בטבלה.

### **3. זינה צפה – IT**

אמצעי הגנה בפני חישמול המאופיין ע"י העדר הארקה וחובת שימוש  
"במשגוח" המיועד לפקח על תקינות הבידוד של החלקים החיים במתקן.  
אסור לחבר הארקה הגנה והארקה שיטה!!  
חובה הימצאות חשמלאי מוסמך!

### **4. הפרד מגן**

אמצעי הגנה בפני חישמול המאופיין ע"י העדר הארקה השיטה וזינה  
בו זמנית של מכשיר אחד בלבד.  
אסור לחבר הארקה הגנה והארקה שיטה!!!

### **5. מתח נמוך "מאוד"**

מתח שאינו עולה על 50 V בין שני מוליכים משום שעד מתח זה אין סכנת חיים  
אסור לחבר הארקה הגנה והארקה שיטה!!

### **6. מפסק מגן/ממסר פחת**

מפסק המיועד לנתק אוטומטית ממקור הזינה את המיתקן המוגן על ידו  
במקרה של הופעת זרם דלף לאדמה במתקן .  
קיימים ממסרי פחת בעלי רגישות שונה, החוק מחייב שימוש בממסר פחת הפועל בזרם דלף  
מעל ל-30 mA.

### **7. בידוד מגן/בידוד כפול**

הגנה בפני חישמול ע"י שימוש בציוד המיועד לזינה במתח נמוך (עד-1000 V) שחלקיו החיים  
מבודדים בבידוד כפול או בידוד מוגבר.  
אסור לחבר הארקה הגנה והארקה שיטה!!



סימול:

## **פרק 4: תקנות חשמל וחשיבותם**

### **יעדים**

בפרק זה התלמיד יכיר היטב את תקנות החשמל בכל הקשור לבטיחות מתקן חשמלי. ובכל מקרה של ספק, התלמיד ידע היכן למצוא את תקנת הבטיחות חוק החשמל.

### **תכנים**

1. תקנות החשמל – אמצעי הגנה נגד חשמול
2. תקנות החשמל – הארקות יסוד
3. תקנות החשמל – מעגלים סופיים הניזונים במתח של עד 1000 וולט
4. תקנות החשמל – העמסה והגנה של מוליכים, מבודדים, וכבלים במתח של עד 1000 וולט
5. תקנות החשמל – מתקני חשמל בבריכה במתח שאינו עולה על מתח נמוך
6. תקנות החשמל – אתרי בניה
7. צבעי מוליכי החשמל ברשת חד מופעית – תקן ישן מול תקן חדש.
8. צבעי מוליכי החשמל ברשת חד מופעית – תקן ישן מול תקן חדש

### **מטרות ביצועיות**

- א) התלמיד יאתר את התקנות המפורטות בסעיף 8 בתוכנית בספר "חוק החשמל"
- ב) התלמיד יסביר את התקנות העיקריות שבסעיף א
- ג) התלמיד יציין את הצבעים של המוליכים לפי התקן הישן
- ד) התלמיד יציין את הצבעים של המוליכים לפי התקן החדש

### **4.1 תקנות החשמל בנושא בטיחות**

את התקנות המפורטות מטה יש ללמד את התלמידים כיצד לאתר בספר - "חוק החשמל" או "מדריך לחשמלאי" וכן להסביר את התקנות לאחר שקראו את התקנה (לא ללמוד בעל – פה) רשימת התקנות הנדרשות הן:

תקנות החשמל – אמצעי הגנה נגד חשמול

תקנות החשמל – הארקות יסוד

תקנות החשמל – מעגלים סופיים הניזונים במתח של עד 1000 וולט

תקנות החשמל – העמסה והגנה של מוליכים, מבודדים, וכבלים במתח של עד 1000 וולט

תקנות החשמל – מתקני חשמל בבריכה במתח שאינו עולה על מתח נמוך

תקנות החשמל – אתרי בניה

כתובת לאתר המכיל את תקנות החשמל הנדרשות – [קישור](#)

## 4.2 סימון צבעי מוליכים תקן חדש לעומת ישן

\* יש ללמד את התלמידים את הצבעים של המוליכים בתקן ישן ותקן חדש.

### צבעי מוליכים חד פאזי

צבע / מוליך	תקן ישן	תקן חדש
פאזה	חום (אדום)	חום
אפס	שחור	כחול
הארקה	לבן	ירוק צהוב

### צבעי מוליכים - תלת פאזי

צבע / מוליך	תקן ישן	תקן חדש
פאזה	חום	חום
פאזה	סגול	חום שחור
פאזה	כחול	חום כתום
אפס	שחור	כחול
הארקה	לבן	צהוב ירוק



## פרק 5 – מבטחים - הגנה מפני זרם יתר וזרם קצר

### יעדים

בפרק זה התלמיד ידע את תקנות החשמל בע"פ בכל הקשור לבטיחות מתקן חשמלי.

### תכנים

1. מבטחים סוגי הגנות, מבנה, ותפקיד
2. מא"ז – מפסק אוטומטי זעיר
3. מאמ"ת – מפסק אוטומטי מגנטי תרמי
4. אופייני "זרם/זמן של מאזי"ם מסוג B ו-C אמצעי הגנה נגד חשמול

### מטרות ביצועיות

- א) התלמיד יגדיר את ההתקן "מבטח"
- ב) התלמיד ימנה את שלושת סוגי "המבטח"
- ג) התלמיד יציין את התפקידים של המא"ז, והמאמת.
- ג) התלמיד יציין את סוגי ההגנות שבמא"ז ובמאמת.
- ד) התלמיד יסביר את עקרון הפעולה של, האלמנט התרמי והמגנטי
- ה) התלמיד יתאר כיצד המבטח מגן מפני שרפות, וניתוק הזינה מהמכשיר המחשמל.
- ה) התלמיד יצייר אופיין של מא"ז.
- ו) התלמיד יסביר את האזורים השונים באופיין.
- ז) התלמיד יבחין בהבדלים ובמשותף בין אופיין B ואופיין C.
- ח) התלמיד יחשב תוך שימוש באופיין את זמן הפעלה ואיזו סוג הגנה תפעל

## 5.1 מבוא

ייעודם של המבטחים במעגל חשמלי הוא להגן על מוליכי המעגל מפני זרם יתר. זרם יתר יכול להיווצר כתוצאה מקצר או כתוצאה מעומס יתר. על פי חוק החשמל, המבטח מוגדר כ"אביזר הגנה להפסקה אוטומטית של זרם יתר במעגל או קו. מבטח יכול להיות נתיך או מפסק אוטומטי".

## 5.2 זרם יתר במתקן חשמלי

זרם יתר זהו זרם העולה מסיבה כלשהי על הזרם הנומינלי. הסיבות הנפוצות לזרם יתר הוא עומס יתר וקצר חשמלי. כאשר במוליך עולה ערכו של הזרם מעל לזרם הנומינלי, הדבר יכול לפגוע במוליך ובסביבה שבה הוא נמצא.

ישנן שני סוגי זרמים אשר עלולים לגרום נזק למוליכי המעגל (התחממות ופגיעה בבידוד):

1. **זרם העמסת יתר** - זהו זרם במעגל שאין בו תקלה. זרם זה נגרם כתוצאה מעומס יתר, ערך של זרם זה עולה מעל לערך שאליו תוכננה המערכת. ישנן מספר סיבות הגורמות לזרם העמסת יתר:
    - א. חיבור מספר רב של צרכנים מבחינת כמות הזרם שהמעגל יכול לספק.
    - ב. תקלה במכשיר הגורמת לצריכת יתר של הזרם (ציר מנוע תפוס).
    - ג. חוסר מופע או היעדר איזון מתחים - תקלה זו מתרחשת כאשר אחד ממופעי המקור מופסק בשל תקלה ברשת ההולכה או החלוקה. לתקלה זו יש השלכה על מכשירים תלת מופעיים, כאשר אחת הפאזות לא קיימת ישנו עומס על הפאזות התקינות.
  2. **זרם קצר** - זהו זרם יתר הנוצר כתוצאה מקצר במעגל. זרם קצר מתאפיין בעוצמות גבוהות ביחס לזרם עבודה ( $I_b$ ) ומהווה סכנה לבידוד של המוליכים עקב הופעתם של הכוחות האלקטרודינמיים והן עקב הופעת חום גבוה.
- קצר חשמלי** נוצר בעת מגע בין שני מוליכים שבמצב תקין קיים ביניהם הפרש פוטנציאלים. בעת קצר, עכבה בנקודת התקלה מאוד נמוכה ואף זניחה.

## 5.3 מבטחים ויעודם

### 5.3.1 כללי:

לא יתכנן אדם, לא יתקין, לא יבדוק, לא ישנה כוונון ולא יתקן מבטח אלא אם כן הוא חשמלאי בעל רישיון מתאים לגודל המבטח.

### 5.3.2 חובת הגנה:

- א. כל מוליך חי, בקו או מעגל סופי, אשר איננו מוליך אפס N, מוליך PEN, או מוליך תווך מוארק, יוגן על ידי מבטח המגן הן מפני זרם קצר והן מפני זרם העמסת יתר, או על ידי מבטח נפרד לכל יעוד.
- ב. על אף אמור בתקנת משנה (א) אין צורך הגנה מפני זרם העמסת יתר, אם מקור הזינה אינו יכול לגרום לזרם העמסת יתר במוליכים או אם המעגל מזין מתקני חירום.
- ג. חתך מוליך אפס (N) יהיה כזה שימנע חימום יתר של מוליך זה.

#### 5.4 מיקום התקנתו של המבטח

- א. מבטח להגנה בפני זרם העמסת יתר ומבטח להגנה בפני זרם קצר יותקנו בכל הסתעפות של מעגל שבה חלה הקטנה בכשר ההעמסה של מוליך עקב הקטנת חתכו, שינוי אופן התקנתו או שינוי סוג הבידוד.
- ב. קיים במעלה מעגל מבטח בפני זרם קצר, המגן עד לסיום המעגל על המוליכים שבהם חלה הקטנת כושר ההעמסה, אין חובה להתקין הגנה נוספת בפני זרם קצר בלבד.
- ג. בהסתעפות שאורכה אינה עולה על 3 מטרים ושארפן התקנתה מקטין עד לסבירות מזערית היווצרות קצר, אין חובה להתקין הגנה נוספת.
- ד. בהסתעפות יכול שהמבטח בפני זרם העמסת יתר בלבד ימוקם במקום כלשהו במעגל, בתנאי שאין כל הסתעפות בין נקודות ההקטנה של כושר העמסה לבין המבטח.

#### 5.5 איסור התקנת המבטח

- על פי חוק ותקנות בנושא החשמל, אין להתקין את המבטח ב:
1. מוליך PEN.
  2. מוליך האפס (N) אלא אם כן המבטח מפסיק בו זמנית גם את שאר מוליכי המופעים.
  3. מוליך הארקה PE.
  4. מוליך המתחבר לפס השוואת פוטנציאלים.
  5. מעגל משני של משנה זרם.
  6. מעגל עירור של גנרטור או של מנוע לזרם ישר.
  7. מעגל המזין התקן התרעה חיוני כגון צופר או מעגל פיקוד שהפסקתו כרוכה בסכנה.

#### 5.6 ייעודו של המבטח

1. הגנה בפני זרם העמסת יתר בלבד (*Overload Current*).
  2. הגנה בפני זרם קצר בלבד (*Short Circuit Current*).
  3. הגנה בפני זרם יתר (זרם העמסת יתר וזרם קצר - *Over Current*).
- \* בפרק שלנו אנו נתייחס למבטחי הגנה בפני זרם יתר (זרם העמסת יתר וזרם קצר).

## 5.7 סוגי מבטחים המיועדים להגנה בפני זרם יתר

קיימים מספר סוגים של מבטחים המיועדים להגן על ציוד חשמלי ומוליכי המעגל מפני זרם יתר (זרם העמסת יתר וזרם קצר):

1. נתיך (*Fuse*).
2. מא"ז- מפסק אוטומטי זעיר, *MCB* (*Miniature Circuit Breaker*).
3. מתנע תרמו- מגנטי.
4. מפסקי זרם *Breakers*.

### 5.7.1 נתיך (*Fuse*)

זהו מבטח שתפקידו להפסיק את זרם המעגל אשר עולה מעל לזרם שנקבע מראש במשך זמן מספיק ארוך. עלייתו של זרם במעגל יכול להיווצר כתוצאה מעומס יתר או קצר. הנתיך מפסיק את זרם המעגל על ידי התכת אלמנט שתוכנן במיוחד למטרה זו.

**הנתיכים מתחלקים לשלוש קבוצות על פי סוגי התרמיל:**

**א. נתיכים מתוברגים-** אלו נתיכים אשר מורכבים מבסיס נתיך, תרמיל נתיך ונושא התרמיל. תרמילי הנתיכים הם מתוברגים ובצורת בקבוק אשר משמשים כהגנה על מתקנים ביתיים ומתקנים תעשייתיים.

סוגי התרמילים הנפוצים הם: *D* (*Diazed*) ו *D<sub>0</sub>* (*Neozed*).



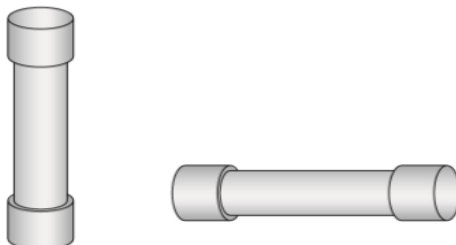
איור 5.1 : תרמיל ונושא תרמיל של נתיך מתוברג מדגם *D* (*Diazed*).



איור 5.2 : מספר אפשרויות של תרמילים ונושאי תרמיל של נתיך מתוברג מדגם *D<sub>0</sub>* (*Neozed*).

\*איורים 5.1, 5.2 ניתנו באדיבותו והסכמתו של מר אריאל סגל.

ב. נתיכים גליליים (Cylindrical) - אלו נתיכים אשר משמשים בעיקר כהגנה על ציוד אלקטרוני מדידה ובקרה. נתיכים אלו מיוצרים בגודל עד 100A.



איור 5.3 : תרמילים של נתיכים גליליים Cylindrical של חברת שניידר.

ג. נתיכי שליפה (סכין) - אלו נתיכי שליפה בעלי כושר ניתוק גבוה (HRC) עד 120kA. נתיכים אלו בעלי יכולת כיבוי גבוהה של קשת החשמלית. שימוש בנתיכים אלו נעשה במקומות שבהם צפויים להיות זרמי קצר גבוהים כמו לוחות ראשיים או ציוד המחובר ישירות לפסי צבירה. תחום הזרמים של נתיכים אלו הוא בין 10 – 1250A.

נתיך מדגם aM



נתיך מדגם gG



איור 5.4 : נתיכי שליפה HRC מדגם aM ו gG של חברת שניידר.



איור 5.5 : סוגים שונים של מנתקים נתיכי סכין של חברת שניידר.

**פרמטרים של מנתקי נתיך:**

באיור 5.6 ניתן לראות שילוט טכני של מנתק נתיכי סכין מדגם ISFT160 של חברת שניידר.

**כאשר:**


$U_i$  - מתח בידוד נקוב.

$U_{imp}$  - יכולת עמידה בפולס מתח.

$U_e$  - מתח נקוב מירבי של הנתיך.

$I_e$  - זרם נקוב מירבי של הנתיך.

$I_{th}$  - זרם תרמי בתלות בטמפרטורה.

<b>Fupact ISFT160</b>		<b>I<sub>th</sub> 160A 40°C</b>	
<b>U<sub>i</sub> 1000V</b>	<b>U<sub>imp</sub> 8kV</b>		
<b>IEC 60947-3</b>	<b>50/60 Hz</b>		
<b>U<sub>e</sub> (V) / I<sub>e</sub> (A)</b>	<b>AC21B</b>	<b>AC22B</b>	<b>AC23B</b>
380/415V	160	160	-
500V	160	160	-
690V	160	-	-
	<b>DC21B</b>	<b>DC22B</b>	
220V / nb pole	160/3	160/3	-
440V / nb pole	125/3	-	-
	<b>Max(A) 160</b>	<b>Max(W) 12</b>	
<b>HD 60269-2</b>	<b>DIN 43620-1</b>		

איור 5.6 : שילוט טכני של מנתק נתיכי סכין מדגם ISFT160 של חברת שניידר

\*איורים 5.3 – 5.6 ניתנו באדיבותה והסכמתה של חברת שניידר.

**אופייניים של נתיכים:**

לכל נתיך יש את היעוד שלו. בהתאם ליעודו, מאופיין הנתיך על ידי אופיין זרם-זמן שונה. לפעמים תרמילי הנתיכים יכולים להיות זהים מבחינה חיצונית אך בפועל הם בעלי אופייני זרם- זמן שונים וזאת בהתאם ליעודו של כל נתיך ותכנונו. אופייני הנתיכים מסומנים על ידי שתי אותיות כאשר אות ראשונה מציינת את פעולת התרמיל ( $a$  או  $g$ ) ואילו האות השנייה מציינת את סוג העומס שעליו מיועד התרמיל להגן ( $G, L, M, R, T_r$ ).

**תרמיל g** - משמש להגנה בפני זרם עומס וזרם קצר.

**תרמיל a** - משמש להגנה בפני זרם קצר, אינו מגיב לזרמי יתר נמוכים.

**סוגי אופיינים הקיימים על פי סוגי התרמילים הם:**

**gG** - תרמיל לשימוש כללי והגנה בפני זרם קצר ועומס יתר.

**gL** - תרמיל להגנה על כבלים ותילים בפני זרם קצר ועומס יתר.

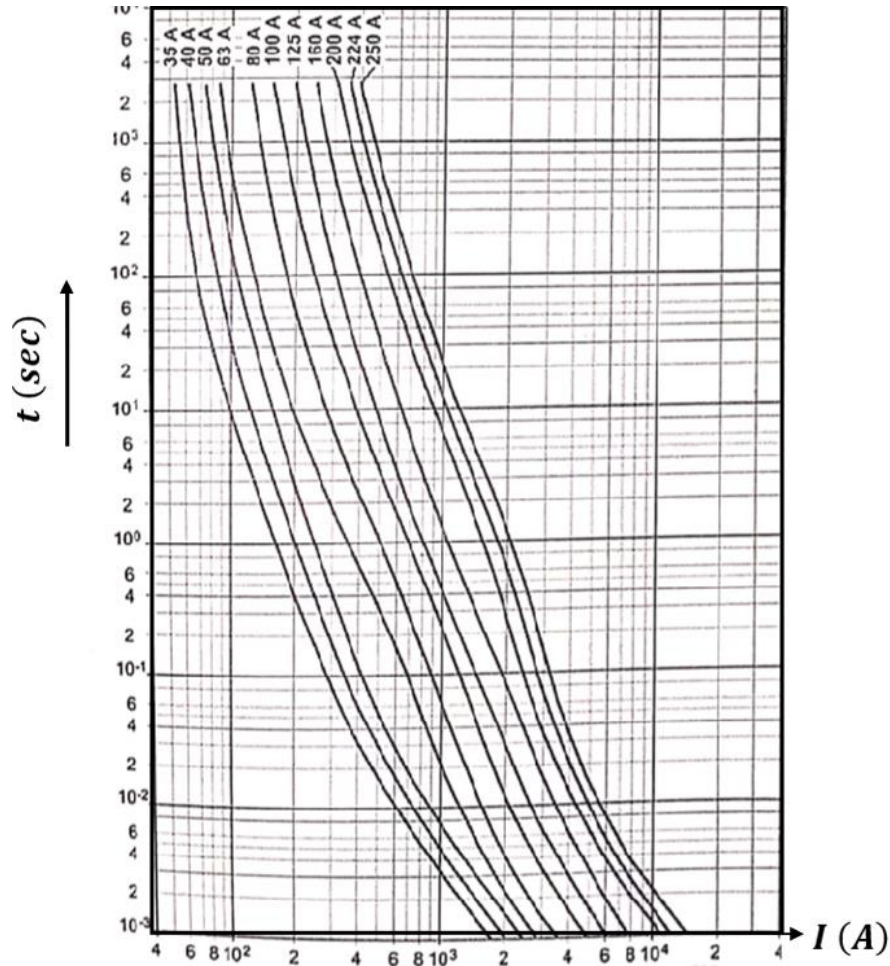
**gM** - תרמיל להגנה על מנועים בפני זרם קצר ועומס יתר.

**$gR$**  - תרמיל להגנה על מוליכים למחצה בפני זרם קצר ועומס יתר.

**$gT_r$**  - תרמיל להגנה על שנאים בפני זרם קצר ועומס יתר.

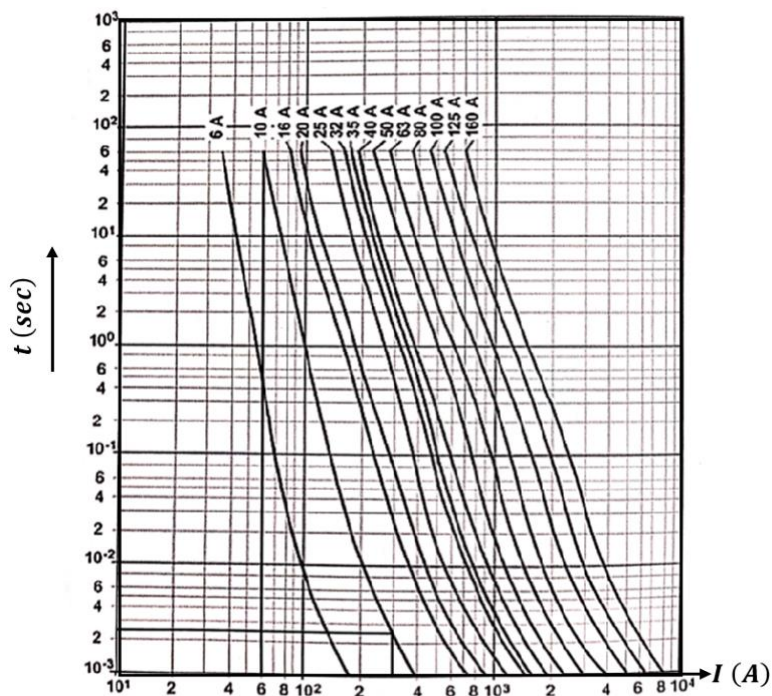
**$aM$**  - תרמיל להגנה על מנועים בפני קצר.

**$aR$**  - תרמיל להגנה על מוליכים למחצה בפני זרם קצר.



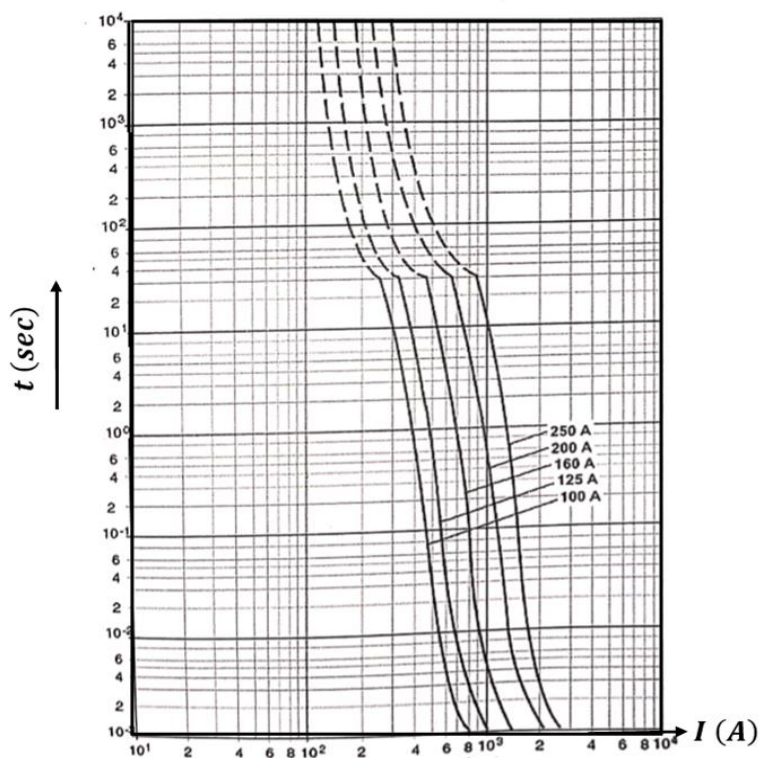
איור 5.7 : אופיין  $gG$  של נתיכי  $HRC$  בטווח זרמים של 35 – 250A.

איור זה ניתן באדיבותו והסכמתו של מר אריאל סגל.



איור 5.8: אופיין  $aM$  של נתיכי HRC בטווח זרמים של 6A – 160A.

איור זה ניתן באדיבותו והסכמתו של מר אריאל סגל.



איור 5.9: אופיין  $aR$  של נתיכי HRC בטווח זרמים של 100 – 250A.

איור זה ניתן באדיבותו והסכמתו של מר אריאל סגל.



## 5.7.2. מא"ז - מפסק אוטומטי זעיר, MCB (Miniature Circuit Breaker).

מפסקים אלו משמשים במתקנים ביתיים ותעשייתיים במעגלי מאור וכוח ומעגלים סופיים. באמצעות מפסקים אלו ניתן לחבר, להפסיק ולהגן על מעגל חשמלי. באמצעות מפסק זה ניתן לבצע הפסקה יזומה של מעגל חשמלי על ידי המשתמש או בצורה אוטומטית על ידי מנגנוני הגנה הנמצאים בתוך המפסק (מנגנון תרמי ומגנטי). במקרה של עומס יתר יגיב מנגנון התרמי ובמקרה של זרם קצר יגיב מנגנון המגנטי. מפסקים אלו מאפשרים חידוש פעולת המעגל על ידי הרמת ידית תפעול ללא צורך בהחלפתו (לעומת הנתיד).

מפסקים אלו מיוצרים עד  $125A$  ובעלי כושר ניתוק עד  $15kA$ . כיום ישנם מפסקים חכמים שניתן לשלוט עליהם מרחוק.

\* חשוב לציין כי תחום הזרמים הנפוץ ומקובל הוא  $6A - 63A$  וכושר הניתוק  $6/10/15kA$ .

\* מא"זים עד  $4A$  יכולים להגיע לכושר ניתוק של  $100kA$ .

### קיימים מספר הרכבים של מא"זים:

1. מא"ז יחיד - משמש למעגלים חד מופעיים.
2. זוג מא"זים צמודים - משמשים לניתוק מופע ואפס בו זמנית וכן למעגלי זרם ישר.
3. מא"ז תלת קוטבי - משמש למעגלים תלת מופעיים.
4. מא"ז ארבע קטבים - משמש למעגלים תלת מופעיים עם מוליך האפס.
5. יחידה משולבת - מא"ז עם ממסר פחת.

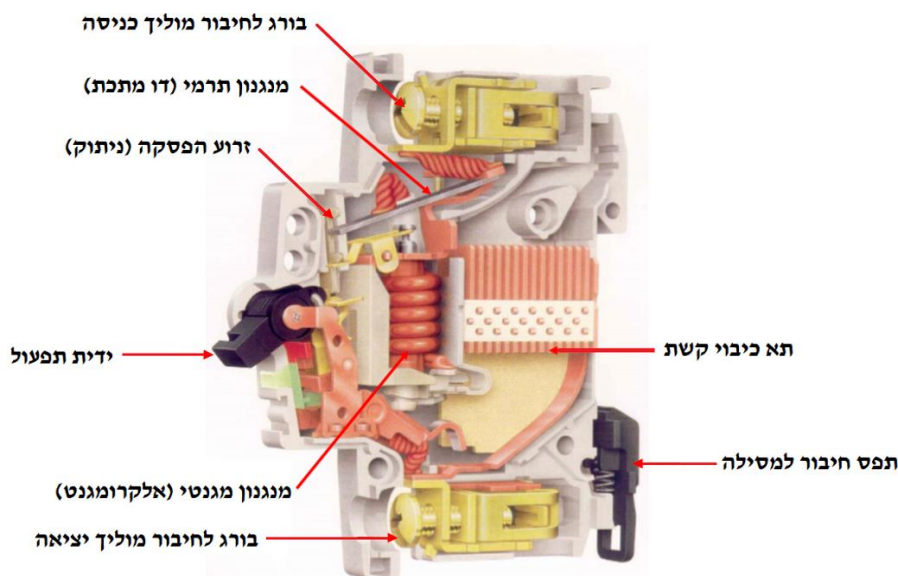


איור 5.10 : הרכבים שונים של מא"זים.

איור זה ניתן באדיבותה והסכמתה של חברת שניידר.

### מבנה פנימי של מא"ז

באיור 5.11 מתואר מבנה של מא"ז ובהמשך מופיע פירוט חלקיו השונים.



איור 5.11: מבנה פנימי של מא"ז.

איור זה ניתן באדיבותו והסכמתו של מר אריאל סגל.

### מנגנון תרמי:

זהו מנגנון הגנה בפני עומס יתר המבוסס על דו מתכת (*bimetals*). שתי המתכות צמודות ובעלי מקדם התפשטות שונה. כאשר ערכו של זרם החשמלי גבוה מזרם הנקוב של המא"ז, אחת המתכות מתחממת מהר יותר מהשנייה, נוצר כיפוף לכיוון זרוע הניתוק, הזרוע מוסט ישנו שימוט של ידית וכתוצאה מכך מופסק הזרם על ידי המא"ז.

### מנגנון מגנטי:

זהו מנגנון הגנה בפני זרם קצר המתבצע באמצעות אלקטרומגנט. אלקטרומגנט בנוי מליבת ברזל שסביבה מלופף מוליך שדרכו עובר זרם חשמלי. כאשר הזרם מגיע לערכים גבוהים, נוצר שדה מגנטי אשר גורם להסטת הזרוע, ישנו שימוט של ידית וכתוצאה מכך מופסק הזרם על ידי המא"ז. מנגנון זה פועל באופן מידי וזאת בכדי לנתק את זרם הקצר אשר יכול לגרום נזק בלתי הפיך לציוד החשמלי כמו מוליכים, פסי צבירה ואביזרים נוספים.

### תא כיבוי קשת:

בעת ניתוק הזרם באמצעות המפסק, נוצרת קשת חשמלית בין מגעי המפסק. קשת חשמלית זו היא בעצם המשך זרימתו של הזרם בין המגעים דרך האוויר. קשת חשמלית זו מאופיינת באור חזק וחום מאוד גבוה אשר יכול להרוס את מגעיו ותפקודו של המפסק. לכן המפסקים, מצוידים בתא כיבוי קשת שיועד לספוג קשת החשמלית זו, לשבור אותה, לקרר ולהביא לכיבוייה.

### אופיין זרם של מא"ז:

אופיין זרם זמן מתאר את זמן ניתוק של המא"ז ביחס לכפולות של זרם הנקוב. ציר ה- $x$  מציין את כפולות זרם הנקוב ואילו ציר ה- $y$  מציין זמן ניתוק. ככל שכפולה של זרם הנקוב (זרם תקלה) גדולה

יותר כך זמן התגובה קצר יותר, מכאן ניתן שם נוסף לאופיין זה "אופיין זמן הפוך". האופיין מתחלק לשני חלקים, כאשר חלק הראשון מתאר את תגובתו של מנגנון התרמי וחלק השני את תגובתו של חלק המגנטי.

#### איור 5.12: אופיין זרם זמן של מא"ז.

איור זה ניתן באדיבותה והסכמתה של חברת שניידר.

#### כאשר:

$I_1$  – זרם בדיקה של מא"ז, מתחת לערך זה המא"ז לא יגיב.

$I_2$  – זרם בדיקה מרבי של מא"ז. זרם הפסקה המובטח תוך זמן המתאים לסוג המבטח. כלומר בזרם הגדול ב-45% מהזרם הנומינלי של המבטח ( $I_n$ ), מא"ז חייב להפסיק בוודאות תוך זמן המתאים לסוג המבטח.

$I_3$  – תחום פעולה של מנגנון תרמי.

$I_4$  – גבול תחתון של מנגנון המגנטי. מתחת לערך זה מנגנון המגנטי אינו יפעל.

$I_5$  – גבול עליון של מנגנון המגנטי. ערך ודאי של פעולת מנגנון המגנטי.

$I_6$  – תחום פעולה של מנגנון מגנטי.

#### סדרות של מא"זים:

נהוג לחלק את המא"זים לשתי סדרות:

1. סדרה בעל אופייניים  $B, C, D$ .

2. סדרה בעל אופייניים  $K, Z$ .

\* בכל סדרה ישנם אופייניים המתארים את תגובתו של המא"ז לזרם חילופין ( $AC$ )

ולזרם ישר ( $DC$ ).

#### סדרה בעל אופייניים $B, C, D$ .

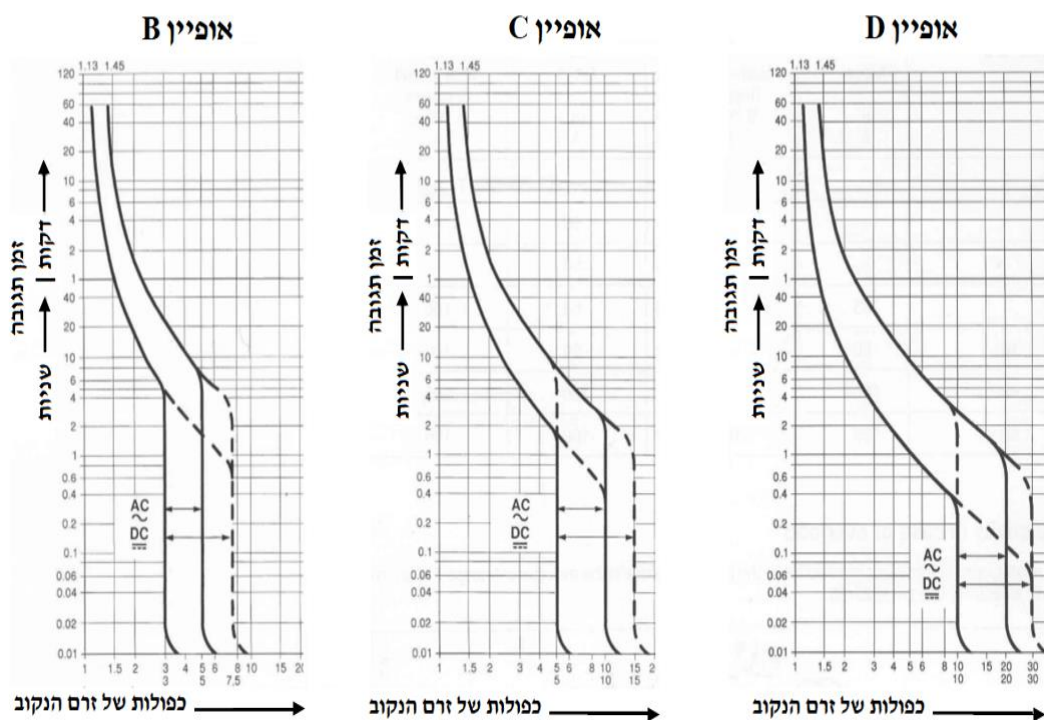
שלושת אופייניים אלו מתארים את זמן תגובתו של המא"ז בתלות כפולות של זרם הנקוב ( $I_n$ ). האופייניים מתארים את התחום התרמי והמגנטי של המא"ז. תחום התרמי של האופייניים זהה, אך תחום המגנטי שונה.

**אופיין B** – בעל תחום המגנטי של ( $3I_n - 5I_n$ ). כלומר ההגנה המגנטית מגיבה לזרמים הגדולים פי 3-5 מהזרם הנקוב. מא"ז זה הוא הכי רגיש בסדרה ולכן שימושו העיקרי הוא במעגלים שאין בהם זרם התנעה גבוה כמו מעגלי מאור, גופי חימום, מכשירים ביתיים, ציוד שלא צפוי בו זרמי יתר גבוהים ומעגלים אחרים שאינם כוללים מנועים.

**אופיין C** – בעל תחום המגנטי של ( $5I_n - 10I_n$ ). כלומר ההגנה המגנטית מגיבה לזרמים הגדולים פי 5-10 מהזרם הנקוב. שימושו העיקרי של מא"ז זה הוא במעגלים שבהם זרם התנעה גבוה כמו משאבות או מעגלים הכוללים מנוע.

**אופיין D** – באופיין זה תחום המגנטי הוא  $(10I_n - 20I_n)$ . כלומר ההגנה המגנטית מגיבה לזרמים הגדולים פי 10-20 מהזרם הנקוב. שימושו העיקרי של מא"ז זה הוא במעגלים תעשייתיים הכוללים מנועים גדולים שבהם זרם התנעה גבוה מאוד.

- \* תחום מגנטי של המא"ז משתנה בהתאם לתגובתו של המא"ז לזרם חילופין או לזרם ישר.
- \* גבולות תחום מגנטי של המא"ז עבור זרם חילופין צרות יותר לעומת זרם ישר וזאת משום שבזרם חילופין ערכו של זרם הקצר וקצב עלייתו מאוד גבוה ביחס לזרם ישר.



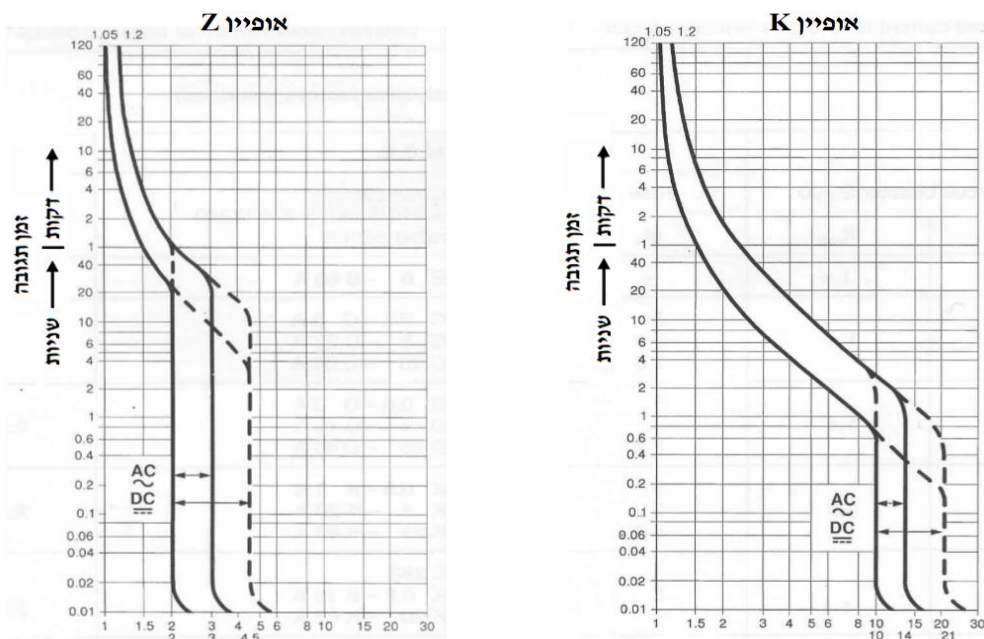
איור 5.13: אופייני מא"ז מסדרת B, C, D ותגובתם לזרם חילופין (AC) ולזרם ישר (DC).

איור זה ניתן באדיבותו והסכמתו של מר אריאל סגל.

### סדרה בעל אופייניים Z, K

**אופיין Z** – מא"ז בעל אופיין זה נועד להגן על ציוד אלקטרוני ומעגלי מוליכים למחצה. תחום מגנטי של אופיין זה הוא  $(2I_n - 3I_n)$  עבור זרם חילופין ו  $(2I_n - 4.8I_n)$  עבור זרם ישר.

**אופיין K** – מא"ז בעל אופיין זה נועד להגן על צרכנים בעלי זרם התנעה גבוה כמו מנועים, כבלים ונורות פריקה. תחום מגנטי של אופיין זה הוא  $(10I_n - 14I_n)$  עבור זרם חילופין ו  $(10I_n - 21I_n)$  עבור זרם ישר.



איור 5.14: אופייני מא"ז מסדרת Z, K ותגובתם לזרם חילופין (AC) וזרם ישר (DC).

איור זה ניתן באדיבותו והסכמתו של מר אריאל סגל.

\* יש לציין כי אופייניים אלו הם לפי טמפרטורת סביבה של  $30^{\circ}\text{C}$ , בטמפרטורות אחרות האופייניים משתנים בהתאם.

### 5.7.3. הגנה על המנוע ומוליכיו

על פי חוק ותקנות בנושא החשמל (פרק של מעגלים סופיים הניזונים עד 1000V) נכתב כי: "מנוע שהספקו עולה על 0.5kW יוגן בפני עומס יתר על ידי מבטח המיועד לו בלבד, המפסיק אוטומטית זרם העלול לגרום נזק למנוע בשל התחממות יתרה".

- כאשר המנוע עובד בעומס יתר לאורך זמן, הדבר גורם להתחממות יתר אשר יכולה לגרום נזק לסלילים של המנוע וכן למוליכי ההזנה שלו. בכדי למנוע זאת נציינ שתי שיטות נפוצות לכך:
1. הגנה על סלילי המנוע באמצעות ממסר עומס יתר תרמי או אלקטרוני (O.L) והגנה על מוליכי ההזנה של המנוע באמצעות מא"ז.
  2. הגנה על המנוע ומוליכי המעגל באמצעות מתנע תרמו-מגנטי.

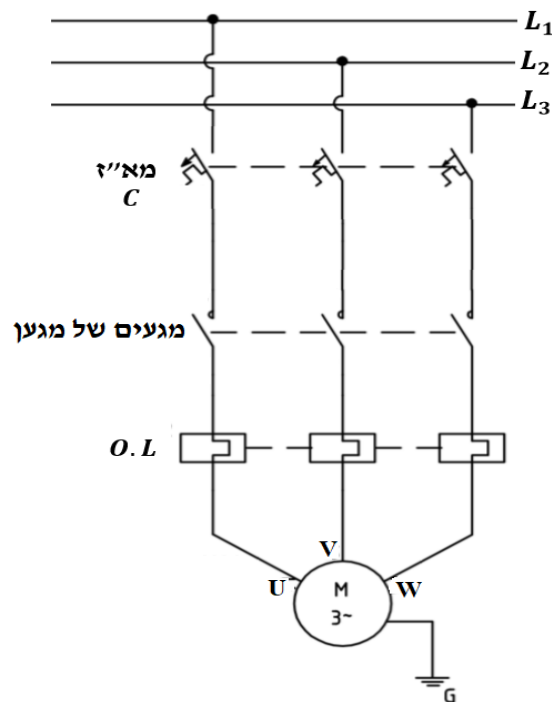
### הגנה על סלילי המנוע באמצעות ממסר עומס יתר תרמי או אלקטרוני (O.L) והגנה על מוליכי

#### ההזנה שלו באמצעות מא"ז.

במצב עבודה רגיל דרך ממסר עומס יתר עובר זרם עבודה של המנוע. במקרה שדרך הממסר יעבור זרם יתר, מגיעי עזר של הממסר אשר מחוברים למגען משנים את מצבם והמגען יפסיק את פעולת המנוע. עקרון פעולה של הממסר זהה לעקרון מנגנון התרמי של המא"ז, ההבדל הוא שמנגנון תרמי בממסר ניתן לכווון ולהגדיר את זרם הפעולה ואילו במא"ז לא. ממסר עומס יתר אלקטרוני זהה בעקרון פעולתו לממסר עומס יתר תרמי, רק שבו מנגנון התרמי הוא אלקטרוני ולא דו-מתכת כפי שבממסר עומס יתר תרמי.



איור 5.15: משמאל לימין: מגען, ממסר עומס יתר אלקטרוני וממסר עומס יתר תרמי.  
איור זה ניתן באדיבותה והסכמתה של חברת שניידר.



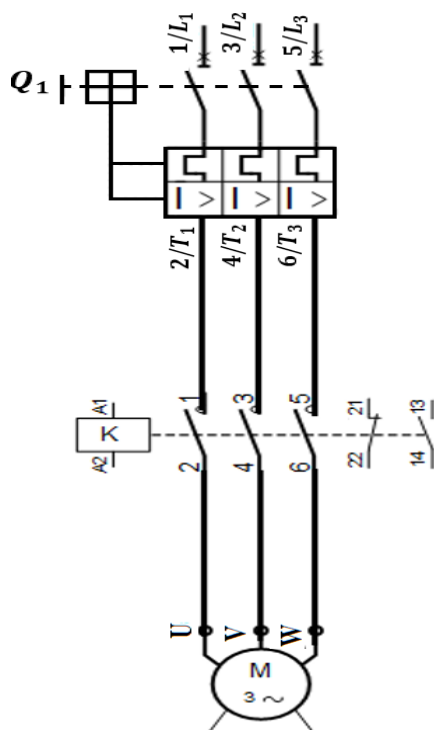
איור 5.16: תרשים לתיאור הגנה על המוליכים באמצעות מא"ז והגנה על מוליכי המנוע באמצעות ממסר עומס יתר.

**הגנה על המנוע ומוליכי המעגל באמצעות מתנע תרמו-מגנטי.**

מתנע תרמו מגנטי זהו רכיב אשר משלב בתוכו הגנה תרמו מגנטית מתכווננת והגנה מגנטית שלא מתכווננת. רכיב זה משלב בתוכו את עקרון פעולה של המא"ז וממסר עומס יתר תרמי. שילוב עקרון פעולה של שני רכיבים ברכיב אחד מקנה פחות רכיבים בלוח, פחות חוטים, עלות יותר זולה וכושר ניתוק גבוה (עד  $100kA$ ). תחום המגנטי שלו  $I_m = (10 - 14) \times I_n$  מה שמאפשר להתנתע מנוע ללא חשש.



איור 5.17: מתנע תרמו-מגנטי המופעל על ידי לחצנים ומתנע תרמו-מגנטי המופעל על ידי ידית סיבוב. איור זה ניתן באדיבותה והסכמתה של חברת שניידר.



איור 5.18: תרשים חיבורים להגנה על המנוע ומוליכי המעגל באמצעות מתנע תרמו-מגנטי.

#### 5.7.4. מפסקי זרם (Breakers).

בחירתו של סוג המפסק נעשה על פי מקום התקנתו בהזנת מתקן חשמלי. בחירתו של המפסק צריכה לקיים את הדברים הבאים:

1. עמידות המפסק בזרם נקוב וזרמי יתר.
2. הקטנת השלכות התקלה לערך מזערי ביותר תוך הבטחת רציפות אספקה.
3. בטיחות מירבית למתקן, ציוד ומשתמשים.
4. מחיר כלכלי.

#### ישנם שני סוגים מפסקי זרם עיקריים:

1. מפסקי זרם באוויר (Air circuit breakers).
2. מפסקי זרם מסוג תיבה יצוקה, MCCB (Moulded Case Circuit Breaker).

#### 1. מפסקי זרם באוויר (Air circuit breakers):

אלה מפסקים הנמצאים באזור הזנה הראשי של מתקן חשמלי אשר מוזן מהשנאים ובו ישנו מקשר בין פסי צבירה, במקום זה יכולים להתפתח זרמי קצר גבוהים עקב קירבה לשנאים. עקב כך, על מפסקים אלו להיות בעלי כושר הפסקה גבוה, עמידים לכוחות אלקטרו דינמיים ותרמיים, יכולת כיבוי קשת חשמלית בצורה מהירה ויעילה ביותר. זרם נקוב של מפסקים אלה מגיע ל-4000A וכושר הפסקה עד-150kA. מפסקים אלה מצוידים ביחידות הגנה חכמות. את המפסקים יש לתכנן כך שתהיה אמינות ורציפות של הזנת המתקן תוך כדי קיום ברירות (סלקטיביות) עם המפסקים הנמצאים במורדו של המעגל.



איור 5.19: מפסקי זרם באוויר של חברת שניידר.

איור זה ניתן באדיבותה והסכמתה של חברת שניידר.

#### 2. מפסקי זרם מסוג תיבה יצוקה, MCCB (Moulded Case Circuit Breaker).

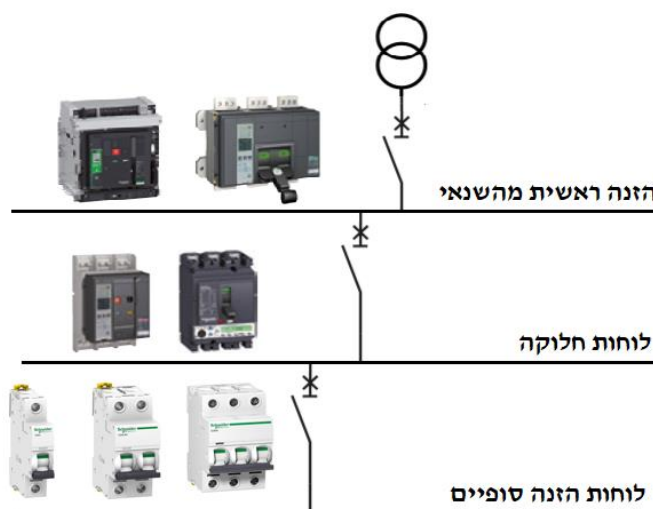
אלו מפסקים המשמשים במתקנים תעשייתיים, מותקנים בלוחות חלוקה ולוחות משניים. מפסקים אלו בעלי מנגנון תרמי מתכווץ וישנם כאלה גם בעלי מנגנון מגנטי הניתן לכוונון. כמו כן ישנם מפסקים בעלי הגנות אלקטרוניות. מקום התקנתם של המפסקים מצריך מהם להיות בעלי כושר ניתוק גבוה והפסקה מהירה ככל האפשר של זרמי קצר גבוהים וזאת בכדי למנוע פגיעה בציוד



ובעומס. זרם נקוב של מפסקים אלה מגיע ל- 1600A וכושר הפסקה עד- 100kA. את המפסקים יש לתכנן כך שתהיה אמינות ורציפות של הזנת המתקן תוך כדי קיום ברירות (סלקטיביות) עם המפסקים הנמצאים במעלה ובמורדו של המעגל.



איור 5.20: מפסק זרם תיבה יצוקה בהפעלה ידנית ומפסק זרם תיבה יצוקה בהפעלה ממונעת. איור זה ניתן באדיבותה והסכמתה של חברת שניידר.



איור 5.21: מבנה היררכי של מפסקים במתקן חשמלי. איור זה ניתן באדיבותה והסכמתה של חברת שניידר.

### 5.7.5. ברירות (סלקטיביות)

אחד השיקולים בבחירת מפסקים ומקום התקנתם היא בדיקת ברירות (סלקטיביות) עם המספקים במעלה ובמורד המעגל לצורך הבטחת רציפות ואמינות באספקת החשמל.

#### סלקטיביות בין מפסקים מוגדרת כאשר:

1. במקרה של תקלה (זרם יתר, זרם קצר) יפעל רק מפסק זרם הקרוב ביותר למקום התקלה מבלי להפסיק את פעולתם של שאר חלקי המתקן.
2. זרמי מעבר לא יגרמו לניתוק של המעגל.
3. במידה והמבטח הקרוב לתקלה לא יפעל, על המבטח המותקן במעלה המעגל לפעול ולנתק את המעגל.

\* בשביל לקיים הבחנה (סלקטיביות) מוחלטת בין מבטחים, יש לבדוק כי אין נקודת מפגש בין האופייניים ושהם אינם חוצים זה את זה.

ישנן שני סוגי הבחנות (סלקטיביות) עיקריות:

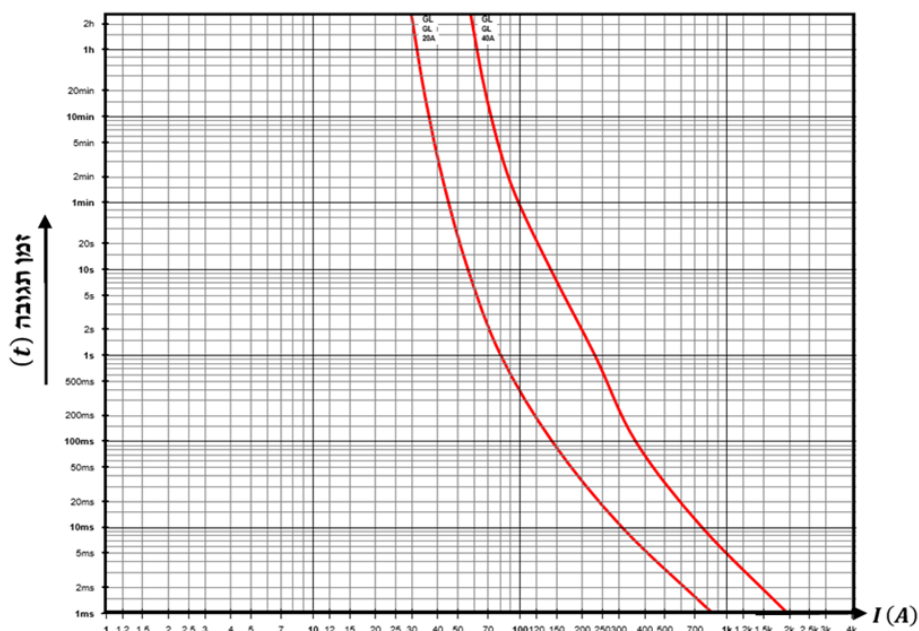
1. הבחנה בזרם.
2. הבחנה בזמן.

### 1. הבחנה בזרם

בהבחנת זרם, זרם הנקוב של המבטח חייב להיות קטן יותר מזרם הנקוב של המבטח המתקן מעליו (במעלה המעגל לכיוון מקור הזנה).

### הבחנה בין שני נתיכים

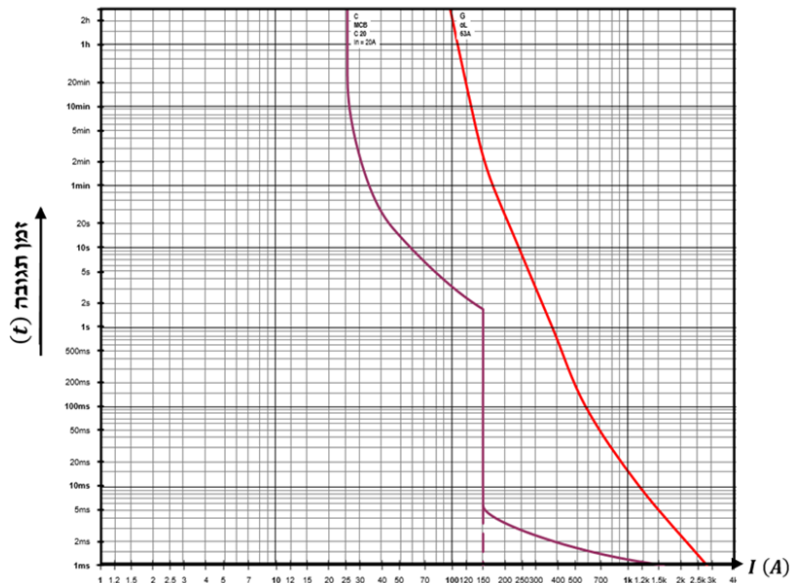
כאשר הנתיכים בעלי אותו סוג של אופיין, מתקיימת הבחנה (סלקטיביות) מוחלטת ביניהם. נתיך בעל זרם קטן יותר יגיב מהר יותר לזרם תקלה.



איור 5.22: הבחנה מוחלטת בין נתיך בעל אופיין  $gL$  בעל זרם נקוב של 40A לבין נתיך בעל אופיין  $gL$  בעל זרם נקוב של 20A.

**הבחנה בין נתיך ומא"ז**

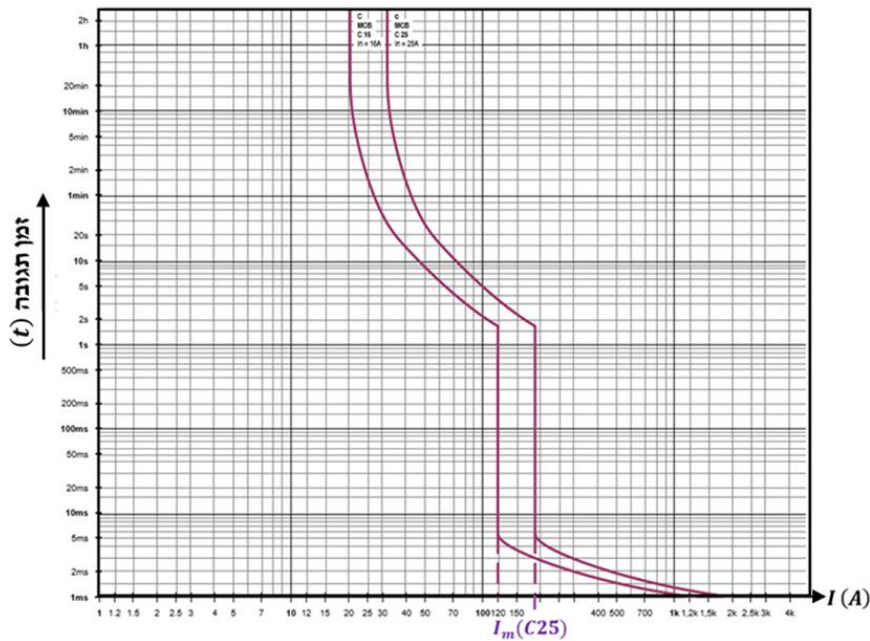
כאשר ישנם שני מבטחים בעלי אופיינים שונים, יש לבדוק בעזרת האופיינים את ההבחנה (סלקטיביות) המוחלטת ביניהם.



איור 5.23: הבחנה מוחלטת בין נתיך בעל אופיין  $gL$  בעל זרם נקוב של 63A לבין מא"ז בעל אופיין  $C$  בעל זרם נקוב של 20A.

**הבחנה בין שני מא"זים בעלי אופיינים שונים**

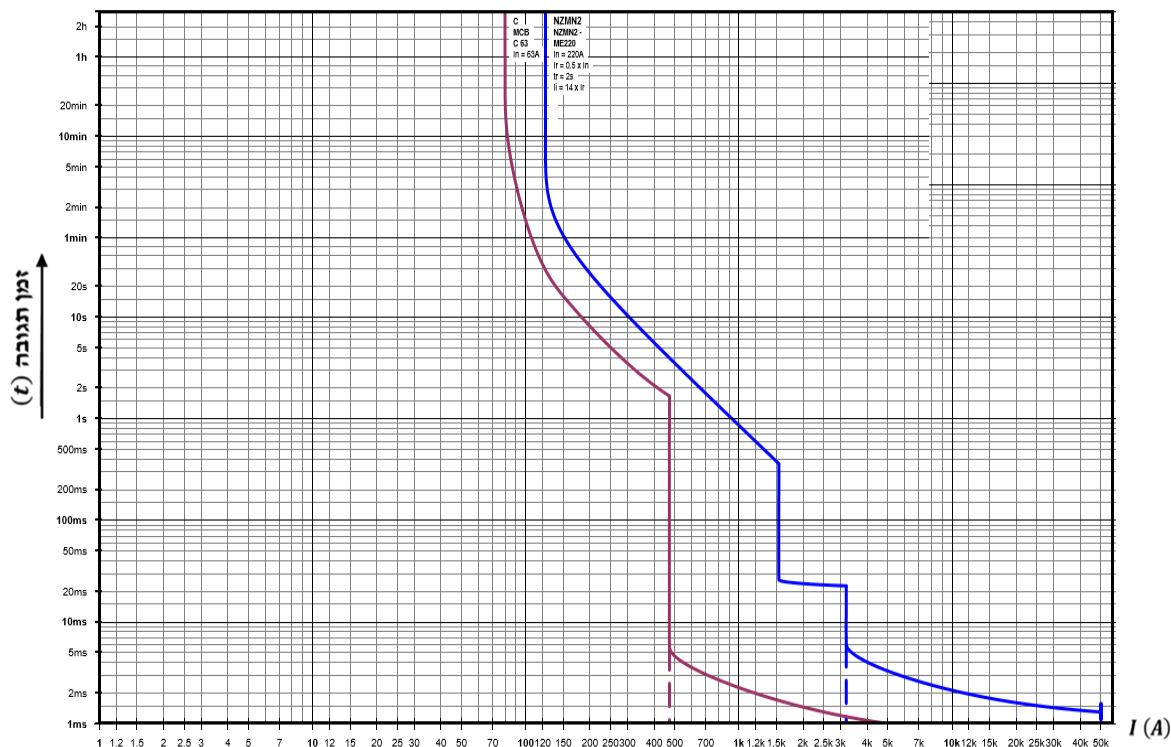
הבחנה בין שני מא"זים תהיה עד גבול שבו מתחילה לעבוד הגנה מגנטית של המא"ז המותקן במעלה המעגל. מרגע זה שני המא"זים פועלים בתחום המגנטי ויגיבו יחד במיידית.



איור 5.24: הבחנה מוחלטת בין מא"ז מדגם  $C$  (זרם נקוב 25A) לבין מא"ז מדגם  $C$  (זרם נקוב 16A).

### הבחנה בין מפסק זרם מדגם תיבה יצוקה לבין מא"ז

כאשר מפסק מדגם תיבה יצוקה נמצא במעלה המעגל, קל ליצור הבחנה מוחלטת בין המפסקים וזאת עקב תגובתו האיטית יותר של מפסק מדגם תיבה יצוקה לעומת המא"ז.



איור 5.25: הבחנה בין מפסק זרם מדגם תיבה יצוקה, זרם נקוב 220A לבין מא"ז מדגם C, זרם נקוב 63A.

כיום במתקנים רגישים שבהם ישנה חשיבות גבוהה מאוד להבחנה מוחלטת בין המפסקים, משתמשים בהבחנה לוגית. הבחנה זו דורשת תקשורת טורית בין המבטחים אשר גורמת לאי פעולתו של המבטח במעלה המעגל לפני פעולתו של המבטח הקרוב ביותר למקום התקלה. שיטה זו מבטיחה סלקטיביות מלאה אך השיטה מאוד יקרה ודורשת הרבה מיומנות ביישומה.

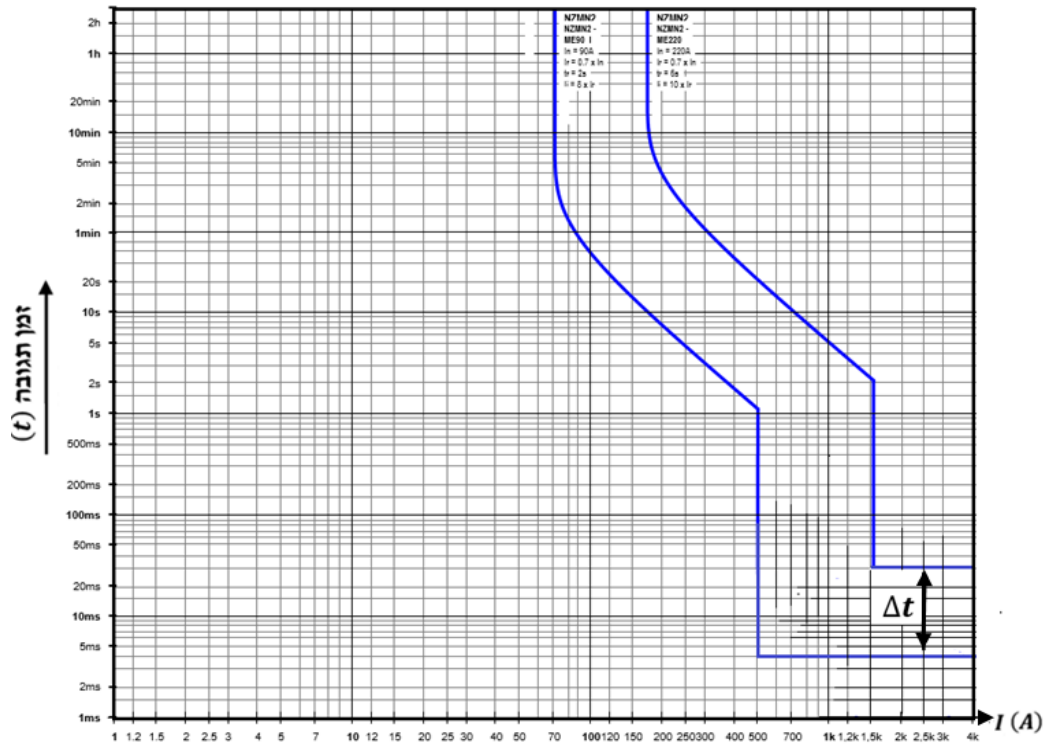
### הגנה עורפית (Cascading)

ניתן להשתמש במפסק בעל כושר הפסקה (ניתוק) נמוך יותר מהנדרש, כאשר במעלה המעגל מותקן מפסק בעל כושר הפסקה גבוה יותר המותאם למקום התקנתו. מפסק הנמצא במעלה המעגל יגיב ראשון לזרם התקלה וישמש כהגנה עורפית למפסק במורד המעגל.

### 2. הבחנה (סלקטיביות) בזמן

הבחנה בזמן קיימת בין מפסקים בעליי השהייה. אלו מפסקים בעלי אפשרות כונון של מנגנון המגנטי. מפסק הנמצא במעלה המעגל צריך להיות מושהה בזמן לעומת מפסק הנמצא קרוב יותר לתקלה, כלומר תגובתו צריכה להיות איטית יותר ביחס למפסק הנמצא בקרבת התקלה. זרם קצר הצפוי במקום שבו נמצא המפסק הקטן מבין השניים צריך להיות בתחום ההשהיה של מפסק הגדול ביותר (זה שנמצא במעלה המעגל).





איור 5.26: הבחנה בזמן בין שני מפסק זרם מדגם תיבה יצוקה.

## פרק 6 - הארקה

### יעדים

בפרק זה התלמיד ידע את המשמעויות של ביצוע / אי ביצוע הארקה, הדרך לבדיקת הארקה במבנה ובדיקת לולאת תקלה באופן מעשי.

### תכנים

1. שמירה על רציפות מערכת הארקה
2. הארקה יסוד – תפקיד, מבנה, ויתרונות
3. הארקה שיטה - תפקידים, מבנה, באחריות מי?
4. מסלול/לולאת תקלה – תפקיד, מהם המסלולים/הלולאות (גם באיפוס)
5. מדידת התנגדות לולאת התקלה
6. כיצד קובעים את ערכה של התנגדות לולאת התקלה

\*\* חלק מהמושגים המופיעים בפרק זה נמצאים גם בפרק 3.3 – שיטות להגנה בפני חשמול

### כללי: הארקות

- א. בטיחות חשמלית – הגנה מפני עליית מתחים בין גופי מתכת של המבנה ושל המכונות לבין האדמה, מעבר לערכים בטוחים (מתח נמוך מאוד).
- ב. הגנה בפני זרם יתר – יצירת מסלול לזרמי קצר (לולאת התקלה) עם התנגדות נמוכה כדי להבטיח ניתוק אוטומטי של מעגל שיש בו תקלה על-ידי המבטח.
- ג. הגנה בפני ברקים – ביצוע מעגל לזרם הברק עם מוליכות טובה בין קולטי ברקים לבין מערכת הארקה.
- ד. הגנה על ציוד אלקטרוני רגיש – חיבור להארקה של סיכוך מעגלים רגישים לשדות אלקטרומגנטיים והתקנת פסי הארקה מיוחדים בתוך הציוד המהווים נקודת ייחוס בעלת פוטנציאל קבוע.
- ה. להגן על האדם מפני התחשמלות ע"י כך שמאפשר לאמצעי הגנה לפעול ולנתק את מתח הזינה למכשיר/ למיתקן ובכך למנוע התחשמלות

### הארקת שיטה

#### מבנה הארקת שיטה :

הארקת שיטה נעשית ונבנת בשנאי חברת החשמל עצמו (ניתן לזהות את השנאי השכונתי המותקן על עמוד ברזל).

השנאי הוא מסוג חיבור משולש / כוכב (הראשוני משולש והמשני כוכב) מחברים את הנקודה המשותפת של הסלילים המשניים שבצורת כוכב ומחברים אותה באמצעות מוליך לתוך האדמה באמצעות אלקטרודות ומכסים בבטון ואדמה אחריות ביצוע הארקת שיטה : **חברת החשמל**

תפקידיה של הארקת שיטה :

1. ייצוב מתח השיטה (הרשת) כלפי האדמה.
2. הגנה מפני עליית מתח הרשת כתוצאה מפריצת מתח שמחוץ לשיטה, כלומר אם ישנה פריצה של מתח גבוה למתח נמוך, תופעל הגנה מתאימה לצורך פתרון בעיה.
3. הפעלת הגנה של השיטה (הרשת) במקרה מגע של אחד ממוליכי הרשת עם אדמה (לאדמה קצר).

### **מיבנה הארקת הגנה**

#### **א) צינור מים מתכתי ואו אלקטרודה מקומית**

חיבור כל גופי מתכת שאדם יכול לבוא איתם במגע לאלקטרודה אחת או יותר אשר טמונה באדמה או לברזל הזיון של המבנה מותר להשתמש בצנורות מתכת של רשת לאספקת מים כאלקטרודה במקרים הבאים :

1. כאשר לרשות שבעלותה רשת צינורות מים ניתן היתר לשימוש בצינורות מים כאלקטרודה במתקן.
2. כאשר הצנרת נמצאת בבעלותו של בעל המתקן ורציפות חשמלית של הצינורות נמצאת תחת השגחתו של חשמלאי (מפעל גדול), קיבוץ, מושב.

\* הצנרת חייבת להיות שלמה ובעלת רציפות חשמלית. כל פגיעה בה תתוקן מיידית.

#### **ב) יסודות הבניין**

**כאשר בונים לבניין " הארקת יסוד " חובה להתקין בתוך המיבנה "פס השוואת פוטנציאליים"** מחברים את הצרכנים המתכתיים של המבנה לפס הארקות שבלוח החשמל, מחברים את פס הארקות לפס השוואת פוטנציאליים מפס השוואת פוטנציאליים מחברים ליסודות הבניין. הארקת יסוד בונים כך שמכניסים לכלונסאות את ברזלי הזיון של הבטון ומחברים בין כל היסודות באמצעות טבעת גישור. מטבעת הגישור מחברים לפס השוואת פוטנציאליים .

#### **❖ פס השוואת הפוטנציאליים :**

**פס נחושת שאליו מתחברים כל מוליכי הארקה הראשיים של מתקני חשמל במבנה וכל מוליכי החיבור. לפס מתחבר מוליך הארקה היורד ליסוד המבנה אל טבעת הגישור.** הארקת יסוד בנויה משלושה חלקים עיקריים :

- 1) **אלקטרודת הארקת יסוד** – גופי ברזל הזיון של הבטון הטמונים ביסוד המבנה. יש לחבר בין גופי ברזל אלו על מנת ליצור מהם אלקטרודה אחת בעלת רציפות חשמלית טובה.
- 2) **טבעת גישור** – טבעת מתכתית המחברת בין חלקי אלקטרודת הארקת יסוד ובין ברזלי הבניין ריתוך וגישור, תפקידה להקטין את ההתנגדות של לולאת התקלה משום שכול הקלונסאות מחוברות במקביל ותפקיד נוסף שאליו מחברים יציאות לצורך בדיקת ההארקות ולצורך הוספת אלקטרודות במידה ויש בעיה ובתנאי ש :  
א. על הקונסאות להיות במרחקים שפחותים, מ- 10 מטר.



ב. מטבעת הגישור יש להוציא 5 יציאות 1-4 לארבעת כיווני השמים של הבניין לצורך מדידות ולצורך הוספת אלקטרודות נוספות. ויציאה חמישית לכיוון פס השואת פוטנציאלית

3) פס השואת פוטנציאלים – (ראה הסבר בעמוד קודם)  
חשיבות השואת הפוטנציאלים :

א. לא יהייה מצב שיש הפרש פוטנציאלים בין שתי חלקי מתכת ובכך למנוע ניצוץ שעלול לגרום לשריפה או פיצוץ הפרש.

ב. לחבר את כול חלקי המתכות לפוטנציאל הארקה ובכך למנוע התחשמלות במידה ופאזה תיגע במיקרה באחת מחלקי המתכות

### נקודות חשובות:

- א. בגדול ניתן לקבוע שההתנגדות המותרת בין המבנה למסה הכללית של האדמה היא עד-  $5\Omega$ . את התנגדות של הבניין כלפי המסה הכללית של האדמה מודדים באמצעות מד הארקה.
- ב. במדוייק, כדי לגרום להגנה לפעול ולנתק את מתח ההזנה מהמכשיר, גודל התנגדות לולאת התקלה תלויה בזרם הנקוב של ההגנה אליה ההגנה מחוברת וסוג ההגנה.
- ג. חיסרונות שיטת "הארקת הגנה":  
מוליכות האדמה (התנגדות האדמה) תלויה :

✓ בסוג האדמה

✓ אדמה רטובה (נניח מגשם) או יבש

חלק מלולאת התקלה היא דרך האדמה ולא בצורה גלבנית (מתכתי באמצעות מוליך)

\*את התנגדות "לולאת/מסלול התקלה" מודדים באמצעות LOOP TESTER

מתח מגע (V)	התנגדות הגוף ( $\Omega$ )	זרם חשמול (mA)	משך זמן החשמול (sec)
25	3250	7.69	$\leq 5$
50	2500	20	$\leq 5$
75	2000	37.5	0.6
100	1725	58	0.45
125	1550	80	0.36
150	1475	102	0.27
175	1325	132	0.23
200	1275	157	0.2
225	1225	183	0.17
350	1369	256	0.08
500	1360	368	0.08

טבלה 1: משך זמן החישמול המותר כפונקציה של מתח המגע

### מדוע 5 שניות ו-50V:

- ✓ התנגדות גוף האדם משתנה כתלות במתח המגע.
- ✓ ערך מוסכם ע"פ IEC של התנגדות גוף אדם בעת התחשמלות במתח של 230V נע בין  $775\Omega$  ל- $1900\Omega$  ובמוצע  $1225\Omega$ .
- ✓ במתח 50V שווה התנגדות גוף אדם ממוצע ל- $2500\Omega$  לכן זרם ההתחשמלות הצפוי במקרה זה הינו כ-20mA.
- ✓ זרם בעוצמה זו הזורם דרך גוף אדם במשך פחות מ-5 שניות לא צפוי לגרום מוות. לכן התיר החוק מתח מגע שאינו עולה על 50V ופרק זמן הפסקה שאינו עולה על 5 שניות.

### לסיכום: חשוב לזכור!!!

1. החוק מחייב שבזמן קצר ההגנה תיפעל ותנתק את מתח הזינה מהמכשיר המחשמל תוך 5 שניות מרגע התרחשות הקצר!

2. זמן ההפעלת של ההגנה תלוי ב:

- בתנגדות "לולאת / מסלול התקלה"



- שתלוי בשטח החתך של המוליך



- שתלוי בגודל ההגנה



שתלוי בזרם הנומינלי של הצרכן / צרכנים המחוברים להגנה

## פרק 7: סיכוני חשמל – זיהוי, אפיון ומניעה

### יעדים

בפרק זה תבוצע סקירה של הערכת סיכונים במתקני חשמל, יאפיין אותם ויצג דרכים למניעתם בהתייחסות לתקנות המופיעות בחוק החשמל.

### תכנים

1. הערכת קיימות הסיכונים
2. תכנית הערכות למניעת סיכונים ניהול בטיחות במערכת חשמל כגון:
  - א. תקנה 5 – צו הפסקה
  - ב. תקנה 6 – ביצוע עבודות חשמל
  - ג. תקנה 9 – ביצוע עבודות תיקון ותחזוקה בציוד המופעל באנרגיה חשמלית.
  - ד. תקנה 61 – אחזקת מוליכים במיתקן חשמלי
3. נהלים והוראות בטיחות לעבודות חשמל כגון:
  - א. נוהל השבתת מכונות וציוד המוכר בשם: LOTO – TAG OUT/LOCK OUT
  - ב.

### מטרות ביצועיות

- א) התלמיד ידע מהי תוכנית הערכת סיכונים במפעל או בארגון.
- ב) התלמיד יסביר את התקנות שבסעיף 9
- ג) התלמיד יסביר את הנהלים שבסעיף 9

### שלבים בניהול סיכונים:

שלב א-זיהוי הסיכונים והגדרתם, לשם כך נדרשת היכרות מעמיקה מאוד של הארגון וסביבתו. שלב ב'-הערכת הסיכונים להתממשות הסיכונים ומידת הנזק באם יתרחשו. שלב ג'-תוכנית הערכות להימנעות מסיכון, כגון ריענון הדרכות לעובדים, בקרת ציוד מגן והוספת תקני בטיחות. שלב ד'-בקרת סיכונים. לצמצום נזקים. הנוהל בתחום החשמל יקבע בשיתוף צוות החשמל ומטרתו לקבוע כללי ביצוע עבודות במתקן או בציוד לצורך תחזוקה או תפעול. הנוהל חייב להבטיח ביצוע עבודות גם לאנשים שאינם מתחום החשמל, כולל מי רשאי לבצע, מי האחראי, תהליכי דיווח סימון ושימוש בכלי עבודה וציוד מגן מתאים. הנהלים נדרשים לביצוע עבודות בתנאי קיום מתח חשמלי, אווירה נפיצה, עבודה בגובה, בדיקת ציוד ומתקנים, מצבי חרום.

### דרישות ב"חוק החשמל", התשי"ד - 1954: תקנה 5 "צו הפסקה"

"צו הפסקה" - רשאי מנהל, מטעמי בטיחות לאדם ולרכוש, להורות, בצו חתום בידו, על הפסקת הפעלתו של מתקן חשמלי או השימוש בו, או להתנות את המשך הפעלה או השימוש בקיום תנאים שפורטו בצו.

תקנה 6 "ביצוע עבודות חשמל"

לא יעסוק אדם בביצוע עבודת חשמל, אלא אם יש בידו רישיון מאת המנהל\* המתיר לו ביצוע עבודה מסוג זה ובהתאם לתנאי הרישיון; תקופת תקפו של הרישיון תיקבע בו

תקנה 9 "ביצוע עבודות תיקון ותחזוקה בציוד אשר מופעל באנרגיה חשמלית"

בכל מקרה של עבודת תיקון ותחזוקה ינותק ציוד ממקור אנרגיה חשמלית; הניתוק יתבצע באמצעות מפסק של הציוד באופן גלוי לעין ויישמר על ידי התקן נעילה אמין אשר בשליטת מבצע עבודות התיקון או התחזוקה; המפסק יסומן בשלט נראה לעין שבו ייאמר "אין להפעיל - המכונה בטיפול"

תקנה 61 "אחזקת מוליכים במתקן חשמל"

"מוליכים, תיבות ואבזריהם המותקנים במתקן חשמלי, יוחזקו במצב תקין ומתאים לפעולה" "התגלה ליקוי או פגם במוליך, בתיבה או באבזר של מתקן חשמלי, והליקוי או הפגם מהווה סכנה לנפש או לרכוש, ינותק המתקן החשמלי כולו או חלקו הלקוי ממקור הזנתו על ידי המשתמש במתקן החשמלי ולא יופעל מחדש אלא לאחר שתוקן ונבדק על ידי חשמלאי בעל רישיון מסוג מתאים לעבודה המבוצעת ונמצא כשיר להפעלה.

נושא: "נעילה"

הקדמה

להכיר את סוגי האנרגיות המסוכנות בסביבת העבודה.  
ללמוד כיצד ניתן לשלוט באנרגיות מסוכנות.  
ללמוד את נהלי הנעילה \ תיוג.  
להכין עובדים לקראת עבודה במערכות עם אנרגיות מסוכנות.

מהי אנרגיה מסוכנת?

כל צורה של אנרגיה במצב בלתי מבוקר ובלתי יציב אשר מהווה פוטנציאל לפגיעה או נזק בבני אדם, ציוד או מערכות.

סוגי אנרגיות מסוכנות נפוצות-הגדרות

**חשמלית** - מתח לסוגיו, זרם

**כימית** - אש, התפוצצות, ראקציות שונות

**מכנית** - תנועה, נפילה, הרמה, הדיפה

**טרמית** - חמה מ 60 מעלות צלסיוס (140 מעלות פרנהייט), קרה מ 0 מעלות צלסיוס (32 מעלות פרנהייט)

**אנרגיה פוטנציאלית או אצורה** - קבלים, סוללות, קפיצים

"נעילה"- הנחת רישיון פיזי על מתקן מבודד אנרגיה

מבטיח שלא ניתן יהיה להפעיל את הציוד.

מבטיח שלא תוכל להשתחרר אנרגיה אצורה.  
תיוג-הנחת תג/ שילוט התרעה על מתקן מבודד אנרגיה  
מציין שאין להפעיל את הציוד.

מזהה את האדם אשר שיוזם את הנעילה / התג וכיצד ניתן להתקשר עמו.

#### עובד מושפע (Affected Person)

\* אדם המפעיל או מתחזק ציוד שעשוי להינעל \ לתייג

\* אדם העובד באזור בו נמצא הציוד

#### **עובד מורשה - (Authorized Person)**

\* אדם הנועל \ מתייג מכונות או ציוד כדי לבצע עבודות שירות או תחזוקה

#### **אזור סכנה - (Danger Zone)**

\* האזור או סביבת העבודה שבה אם תשתחרר אנרגיה מסוכנת בצורה בלתי מרוסנת, היא

עלולה לגרום לנזק באדם או ברכוש

#### מצבים הדורשים נוהל נעילה/ תיוג

1) שירות, תחזוקה או תיקון ציוד במקום בו יש אנרגיות מסוכנות (חלקים נעים הם גם אנרגיה מסוכנת)

2) רק עובדים מורשים לבצע נעילה ותיוג של הציוד ויש לבצע הערכה לגבי אנרגיה פוטנציאלית מסוכנת

3) עבודה בקווים הנושאים כימיקלים מסוכנים בצורה של גז ונוזל, שהם בלחץ גבוה, רעילים, מעכלים וכד'

4) עבודה על מעגלים ומערכות חשמל על מנת למנוע את הסיכון למכות חשמל, פיצוץ או הבזק חשמלי

5) עבודה ליד אנרגיות מסוכנות אחרות העלולות, בשחרור לא מכוון של אנרגיה אצורה, לגרום לנזק לאדם או לרכוש.

#### נהלי נעילה/תיוג

קרא והבן את הנהלים הספציפיים לציוד.

הכן את יחידת הנעילה \ תיוג.

הודע ל"עובד מושפע" - (affected employees)

אתר את נקודות בקרת האנרגיה עבור כל אנרגיה מסוכנת.

הפסק ו/או סגור את הציוד.

בודד את הציוד מכל מקורות האנרגיות המסוכנות.

#### נוהל בקשה לנעילה/תיוג

התקן את אביזר הנעילה \ תיוג על נקודת בקרת האנרגיה כאשר היא במצב סגור (off).

התקן את המנעול על אביזר הנעילה \ תיוג.

הצמד את התג למנעול.

שחרר ונקז בבטיחות כל אנרגיה אצורה.

וודא כי כל מקורות האנרגיה בודדו.

נסה להפעיל מחדש.

בדוק עם מכשירי מדידה, מונים וכו'.

#### הכנות להחזרת (חיבור) מקור אנרגיה

בדוק את אזור העבודה על מנת להסיר פריטים לא חיוניים.

(1) ודא כי כל בקרות הבטיחות הוחזרו למקומם (ברזים, כיסויים, מבודדים, מנעולים, מכסים).

(2) הודע ל"עובד מושפע"

(3) וודא הוצאת כל כלי העבודה ואביזרי בטיחות זמניים (מקצרים וכד')

מהציוד \ מערכות.

(4) וודא כי הצוות במקום בטוח.

(5) הסרת מנעולים ותגים :

(6) הסר מחסומים

(7) הפעל מחדש את הציוד / המערכות

(8) הודע לכול הצוות שהציוד הופעל מחדש

## פרק 8 – כללי בטיחות בחשמל

### יעדים

בפרק זה התלמיד ידע וימנה את סדר הפעולות שיש לבצע, בדגש על בטיחות, לפני ניתוק מתח הזנה ולפני חיבורו מחדש.

### תכנים

1. ניתוק מקור הזנת מתח
2. בדיקת העדר מתח
3. מניעת חיבור חוזר וחובת שילוט
4. חיבור מקצרים והחובה להאריק

### מטרות ביצועיות

- א) התלמיד יציין את הסכנות הכרוכות בעבודה בחשמל וחיבור לא רצוני של מתח ההזנה.
- ב) התלמיד יציין את סדר הפעולות לפני ניתוק מתח הזנה
- ג) התלמיד יציין את סדר הפעולות בזמן ניתוק מתח הזנה
- ד) התלמיד יציין את סדר הפעולות לפני חיבור מתח הזנה

### 1. ניתוק/חיבור מתקן חשמלי במתח נמוך

- א. ניתוק או חיבור מתקן חשמלי יבוצעו אך ורק בידיעתו ובהסכמתו של מנהל היחידה או האחראי על האחזקה במקום.
- ב. בכל מקרה של עבודות תיקון ותחזוקה בציוד או מתקן חשמלי יש לנתקו תחילה ממקור האנרגיה לפי התקנות.
- ג. סדר ניתוק מתח המזין מיתקן/מכשיר:
  1. כיבוי מכשיר / מיתקן.
  2. הורדת הגנות בלוח החשמל.
  3. ניתוק כבל מאריך.
- ד. סדר חיבור מתח המזין מיתקן/מכשיר
  - 1) ודא שהמיתקן/מכשיר כבוי
  - 2) ודא שהגנות בלוח החשמל מורד
  - 3) חבר כבל מאריך
  - 4) הרם הגנות בלוח החשמל
  - 5) הפעל מכשיר / מיתקן
- ה. הסכנות לביצוע עבודה ללא ניתוק החשמל יגרמו להתחשמלות של העובד, וגרימה לפציעה קשה או למוות.

## **2. בדיקת העדר מתח**

יש לוודא את הניתוק באמצעות בדיקת היעדר מתח.

1. בדיקת המתח על המתקן באמצעות מכשיר מדידה.
  2. לוודא שהנורות בלוח החשמל כבויים.
  3. לוודא שמכשיר המדידה על הלוח מראה מתח של אפס וולט ( במקרה וישנו המכשיר).
  4. ניתוק כבל הזנה ממקור הזינה.
- הסכנה בביצוע עבודה ללא ניתוק החשמל יגרום להתחשמלות של העובד, וגרימה לפציעה קשה או למוות.

## **3. מניעת חיבור חוזר וחובת שילוט**

1. לנעול את המפסק ע"י התקן נעילה אמין אשר יהיה בשליטת מבצע העבודה.
2. לסמן זאת בשלט אזהרה נראה לעין "אסור להפעיל", "אין להפעיל – המכונה בטיפול", ולציין את שם החשמלאי, התאריך והשעה.

## **4. חיבור מקצרים והחובה להאריק**

(עבודות במתקן חשמלי משוחרר ממתח-גבוה)

1. עבודות במתקן מתח-גבוה משוחרר ממתח יש לבצע בהתאם לחוק החשמל ותקנותיו ובהתאם לתקנות הבטיחות בעבודה (חשמל)
2. עבודות חשמל במתח-גבוה משוחרר ממתח מותרות לבעלי רישיון חשמלאי מהסוגים שפורטו בתקנות החשמל (רישיונות).
3. פעולות מתוכננות של ניתוק מיתקן חשמלי, בדיקת העדר מתח, התקנת מקצרים וחיבורו מחדש למתח חייבות להיעשות לפי כתב הרשאה מאת אחראי מורשה שהינו חשמלאי בעל רישיון מתאים לסוג העבודה ותחת פיקוחו, עפ"י "הרשאה לניתוק/חיבור מתקן במתח גבוה" כמפורט בתקנות החשמל .

### **חיבור מקצרים :**

ביצוע קצרים – מקצרים להארקה יש תמיד להתקין לפני מקום הטיפול בכיוון מקום הספקת הזרם (בלוחות GIS לא תמיד יש אפשרות להתקנת הארקה ויש לנקוט באמצעי בטיחות נוספים, כמו נעילה, בידוד נוסף, הורדת נתיכים וכד' ויש לקבל הוראות מיצרן על כך). הצבת מקצרים מבצעים שני חשמלאים אחרי בדיקת העדר מתח ובשימוש בכפפות ומשקפי מגן.

ראשית חבר היטב לפס או לנקודת הארקה את הקצה המשותף של מערכת המקצרים.

לאחר מכן חבר מהדק לפסי הצבירה של פאזה ראשונה בעזרת מוט מבודד הנועל את המהדק, וכך המשך לפאזה שנייה ושלישית ולאחר מכן את מוליך האפס.



**פירוק המקצרים** - חייב להיות בכיוון הפוך: נתק מהדקי הפאזות ואפס מפס הצבירה בעזרת מוט מבודד ורק לאחר מכן נתק את הקצה המשותף של מערכת המקצרים מנקודות הארקה. העבודה במתקני מתח גבוה תבוצע ע"י שני חשמלאים לפחות, כאשר אחד מהם ישמש כמשגיח. חיבור מחדש של מתח למיתקן החשמלי יבוצע בידי חשמלאי ורק לאחר קבלת הודעה, בכתב, מהאחראי המורשה, שכל העובדים עזבו את מקום העבודה, רוכזו במקום מוסכם או שוחררו ושאפשר לחבר מתח.

## פרק 9 – ניתוח תאונות חשמל והפקת לקחים

### יעדים

בפרק זה תבוצע סקירה של מספר תאונות חשמל וכיצד ניתן היה למנוע אותם אם היו שומרים על תקנות החשמל וכללי הבטיחות.

### תכנים

1. חשמול קטלני עקב הארקה לקויה
2. שימוש לקוי בכבל מאריך
3. מניעת נגיעה בחלקים חשמליים חשופים
4. הוצאת תקע מבית תקע
5. דרכים למניעת תאונות חשמל

### מטרות ביצועיות

- א) התלמיד יציין את הסכנה הכרוכה בהארקה לקויה או חוסר בהארקה
- ב) התלמיד יסביר את הסכנה בהתחשמלות מנגיעה לא רצונית במגעים וחלקים חשופים (לא מבודדים)
- ג) התלמיד יציין את סדר ניתוק שקע מהתקע
- ד) התלמיד יציין את ההיגיון בסדר הוצאת התקע מהשקע

### 1. חשמל קטלני עקב הארקה לקויה הארקה

הארקה היא חיבור בין מכשירי החשמל המצויים בבית לאדמה, באמצעות מוליך שמאפשר סגירת מעגל חשמלי לאדמה במקרה של תקלה באחד המכשירים. הארקה חיונית מאוד כאמצעי בטיחות בשילוב עם ממסר פחת שתפקידו לגרום ניתוק אספקת הזרם למכשיר חשמלי כאשר גוף המכשיר מחושמל עקב תקלה. את תקינות ההארקה ניתן לבדוק אך ורק על ידי **חשמלאי מוסמך**.

#### האם חייב שתהייה ההארקה?

החוק מחייב המצאות מערכת הארקה בכל בית. אם מערכת הארקה התנתקה מסיבה כלשהי ישנה סכנת חיים ולכן צריך להזמין **חשמלאי מוסמך** היודע לבצע **עבודות חשמל**. ברוב הבתים בישראל יש הארקות. בבתים הישנים ישנו סיכוי כי הארקה איננה פועלת או לא הותקנה מלכתחילה. התחשמלות היא אחת מהסיכונים המלווים לחשמל. בכדי למנוע נזקים גופניים מומלץ להזמין חשמלאי אשר כל התמחותו היא תיקון חשמל.

#### מטרות מערכת הארקה הן:

1. בטיחות חשמלית. מניעת עליית מתחי מגע, מתחי צעד והפרשי פוטנציאלים בין חלקים מתכתיים בזמן קצר, מעל הערכים הבטיחותיים.
2. הגנה בפני זרמי יתר. יצירת מסלול בעל התנגדות נמוכה לזרמי הקצר (לולאת התקלה) כדי להבטיח ניתוק אוטומטי על ידי מבטח של מעגל שיש בו תקלה.

3. הגנה בפני ברקים. ביצוע מעגל לזרם הברק עם מוליכות טובה בין מערכת קולטי ברקים לבין מערכת הארקה.

4. הגנה על ציוד אלקטרוני רגיש. חיבור סיכוך מעגלים רגישים לשדות אלקטרומגנטיים להארקה והתקנת פסי הארקה מיוחדים בתוך הציוד המהווים נקודת יחוס בעלת פוטנציאל קבוע.

#### בדיקת תקינות הארקה ראשית

על פי חוק יש לבצע בדיקת הארקה אחת ל-10 שנים, ובבתים ישנים אחת ל-5 שנים מחשש לבלאי בחיבורי מערכת ההארקה. במעבר לדירה חדשה או שכורה, כמו גם במבנים תעשייתיים, חשוב לפנות לחשמלאי מומחה לבדיקת תקינות ההארקה. בעת עבודות שיפוץ ואינסטלציה (כמו בהחלפת צנרת המים ממתכת לפלסטיק) במרחב הבייתי או התעשייתי חשוב מאוד לוודא כי ההארקה לא תנותק, או לכל היותר תישאר מחוברת בסיום העבודות.

מקרה אמתי – "כביסה מחשמלת" – דוגמה להתחשמלות כתוצאה מניתוק כבל הארקה.

<https://www.iec.co.il/ElectricityProfessionals/DocLib15/E0001.pdf>

#### זכרו, הארקה לקויה עלולה לסכן חיים!

### 2. שימוש לקוי בכבל מאריך

1. שימוש בכבל מאריך מותר רק לשם ביצוע עבודה מסוימת ולתקופה קצרה ומוגבלת. בתום יום העבודה יש לנתקו.
2. כבל מאריך ופתיל זינה למכשיר חשמלי, הנמצאים במקומות בהם קיימת סכנה מוגברת, יהיה בעל מעטה גומי או נאופרן (בד"כ צבע המעטה הוא כתום או שחור).
3. כבלים מאריכים יונחו במקומות מתאימים, כך שלא יהוו סכנה או מכשול.
4. כבל מאריך הכרוך על גלגלת יכול מפקס מגן לזרם דלף – מפקס פחת. לפני השימוש בכבל יש לפרוס אותו לכל אורכו, ולבדוק את תקינותו ע"י לחיצה על לחצן Test המותקן בו.

### 3. מניעת נגיעה בחלקים חשמליים חשופים

שימוש במכשירים חשמליים ובציוד חשמלי חייב להיעשות על פי תקנות הבטיחות בחשמל. המכשירים החשמליים והציוד החשמלי מגיע עם תו תקן מתאים על פי תקנות החשמל, כגון : בידוד מתאים, כסויים מתאימים של המכשור, כדי למנוע נגיעה מקרית ועוד. כתוצאה משימוש קבוע במכשירי החשמל ובאביזרי החשמל, חלקי הבידוד יכולים להינזק ולגרום לחשיפה של החלקים החשמליים, ולמוליכים להיחשף, מצב זה עלול לחשוף אותנו לתאונה בחשמל.

**כללי בטיחות שיש לשים לב אליהם :**

1. אין להשתמש במכשירי חשמל ובאביזרי חשמל פגומים.
2. יש לדאוג להחלפת חלקי בידוד שניזוקו, העדר כיסוי על חלקים חיים של אביזרי חשמל או בידוד לקוי מסוכן מאוד, ועלול לגרום לתאונה.
3. טיפול במכשירי חשמל או באביזרי החשמל יעשה על ידי אדם מקצועי בלבד.
4. יש להגן על הציוד והכבלים מפני פגיעות מכניות.

**4. הוצאת תקע מבית שקע**

במהלך היום אנחנו מחברים מכשירים מיטלטלים להספקת החשמל. זה נעשה באמצעות חיבור התקע של המכשיר לבית התקע (שקע).

חיבור המכשיר וניתוקו צריכים להיות על פי כללי בטיחות חשובים :

1. לפני חיבור המכשיר יש לבדוק שהתקע שלם (לא שבור).  
עדיף להשתמש בתקעים יצוקים.
2. יש לשים לב שאין גידים של הכבל בולטים מחוץ לשקע.
3. יש לבדוק שהתקע מתאים על פי תו התקן.
4. ניתוק התקע יעשה בדרך הבאה : מחזיקים ביד אחת את התקע וביד השנייה את בית התקע. בדרך זו מונעים מבית התקע להישלף מהקיר במקרה והוא לא מחובר מספיק חזק לקיר.
5. בשום פנים ואופן אין לנתק את התקע על ידי משיכה של הכבל. משיכה כזו יכולה לגרום לניתוק המוליכים מהתקע, מצב זה יכול לגרום לתאונות לא רצויות כתוצאה מכך.

**5. דרכים למניעת תאונות חשמל**

1. ביצוע עבודות חשמל על ידי אנשים מורשים. (רשיון חשמל בתוקף)
2. שימוש בציוד תקין ותקני בלבד.
3. שימוש בציוד תקני, צריך להיות מותאם לסוג העבודה שבה נדרשת הגנה בפני רטיבות, פגיעות מכניות, חומרים כימיים, סכנת אש, סיכונים התפוצצות וכדו'.
4. ביצוע עבודות חשמל על פי בהתאם לתקנות החשמל.
5. שימוש בציוד תקני במקומות העבודה בהתאם לתקנות הבטיחות בעבודה בחשמל.
6. תחזוקה נאותה.
7. אסור לנתק צנרת מים המשמשת חלק ממערכת הארקה.

במדינת ישראל קיימים תקנות ותקנים המסדירים את נושא האיכות והבטיחות בעיסוק במתקני חשמל ובשימוש בציוד חשמלי. לפיכך שימוש בחומרים שאיכותם בדוקה וביצוע העבודות רק על ידי חשמלאים מורשים ובהתאם לתקנות, ישפרו באופן משמעותי את הבטיחות בנושא.

## פרק 10 – עשה ואל תעשה בסביבת נפגע חשמל

### יעדים

בפרק זה התלמיד ידע את המשמעות של נפגע חשמל ומהו סדר הפעולות שיש לבצע.

### תכנים

1. נפגע תחת מתח
2. אמצעי הצלה ועזרה ראשונה לנפגעי הלם חשמלי
3. הנשמה ישירה מפה לפה ומפה לאף

### מטרות ביצועיות

- א) התלמיד יציין את השלבים בעזרה ראשונה לנפגע התחשמלות
- ב) התלמיד יציין את סדר הפעולות שיש לבצע לאדם מחושמל תחת מתח.

תאונות חשמל בחלקן קטלניות ופגיעתן מיידי. ולכן יש לדעת ולהכיר היטב כיצד לטפל באדם שנפגע מהתחשמלות.

ישנן מס מצבים בהם אדם נדרש בעזרה, והן:

- א) מצב בו אדם נפגע מהתחשמלות ומשחרר ממתח הזנה.
- ב) מצב בו אדם נפגע מהתחשמלות ונמצא תחת מתח הזנה.
- ג) מצב בו אדם נפגע מקשת חשמלית.

פירוט:

א) מצב בו אדם נפגע מהתחשמלות ומשחרר ממתח הזנה.

יש לפעול לפי ABC – עזרה ראשונה אחרי שחרור ממתח ההזנה (החייאה)

**Airway** - בדיקת הנפגע – פתיחת נתיבי אוויר.

**Breathing** – בדיקת קיום נשימה.

**Circulation** – בדיקת דופק

ביצוע החייאה והזמנת סיוע רפואי.

ב) מצב בו אדם נפגע מהתחשמלות ונמצא תחת מתח הזנה

הבעיה בטיפול באדם שפגוע מהתחשמלות ועדיין תחת מתח הזנה היא הנטייה הטבעית שלנו להזדרז ולטפל בנפגע בניגוד לפעולה הנכונה הנדרשת שזה לנתק תחילה את מתח ההזנה ורק לאחר מכן לטפל בנפגע.

הסכנה היא שבמצב זה מגיש העזרה עלול להיפגע בעצמו ואף לגרום להרעת מצבו של הנפגע. יש

לפעול על פי סדר פעולות הבא:

1) ניתוק הזינה מהגוף המחשמל עי ניתוק המכשיר מהשקע ואם לא מתאפשר לנתק את הזינה מלוח החשמל (ע"י ניתוק מבטח ראשי או ממסר פחת) ואם לא מתאפשר יש לדחוף את המוליכים או האדם המחושמל באמצעות חפץ העשוי חומר מבודד כמו מוט עץ יבש (מקל מטאטא, מקל מגב וכו') מוט PVC, או כפפות, בגדים ישנים ללא אביזרי מתכת, יריעות גומי או פלסטיק 2) לאחר ניתוק האדם המחושמל ממקור הזינה יש לטפל בנפגע כמו בסעיף א

ג) מצב בו אדם נפגע מקשת חשמלית.

פגיעה מקשת חשמלית גורמת לתופעות שליליות:

- 1) לשריפה בסביבה ו/או של האדם
- 2) להתחשמלות של האדם
- 3) כוויות בעור ובחלקים הפנימיים של הגוף
- 4) פגיעה בעניים – נזקי קרינה וכוויה בעין.

פעולות נדרשות:

- 1) הפסקת הקשת החשמלית ע"י הפסקת מקור המתח.
  - 2) כיבוי האדם הבוער ע"י גלגולו ברצפה או באמצעות "שמיכת כיבוי" או מעיל /שמיכה
  - 3) קירור המקום בו יש כביה באמצעות מים קרים זורמים במשך 10 – 15 דקות
  - 4) להוריד בגדים מעל הגוף במקומות שרופים (לא במקומות שהבגד דבוק)
  - 5) אם הנפגע מחוסר הכרה אסור להשקות אותו במים.
  - 6) אם יש צורך בהחייאה פעל לפי סעיף א
- \* במקרה של פגיעה בעין להניח בד נקי ורטוב במים על העין הפגועה

## ביבליוגרפיה

- 1-בטיחות חשמל-דר' אלכס טוריצקי-המוסד לבטיחות וגיהות
- 2-בטיחות ושימוש ובעבודות חשמל-אנג' הליהו ברזלי.

## **נספח א' - נוהל בטיחות במעבדה/סדנא לחשמל**

כל בית ספר ילמד את נוהל הבטיחות הבית ספרי ועל התלמידים לדעת ולהבין אותו  
ולעבוד על - פיו