

# פרק ג' שיטות הגנה מפני חישמול

לדאבוננו, לא קיים בעולם מצב של אפס תאונות, גם לא של תאונות חשמל. תאונות חשמל ותאונות עבודה מתרחשות במקומות העבודה ובמפעלים, גם במדינות "הנאורות" ו"המתקדמות" ביותר, אך אין זה אומר שלא קיימות דרכים ואמצעים להקטנת מספרן של התאונות.

בתקנות החשמל (הארקות ואמצעי הגנה בפני חישמול במתח עד 1000 וולט), התשנ"א-1991, בסעיף 4, מוגדרות שיטות הגנה מפני חישמול: "אמצעי הגנה בפני חישמול מיועדים למעט, ככל הניתן, את הסכנות במקרים של חישמול גופים מתכתיים". ניתן להסיק מכך שחלק משיטות ההגנה אינן מבטיחות הגנה מוחלטת ויש בהן גם נקודות תורפה. ובפרק ב' של התקנות הנ"ל: סוגי ההגנות, סעיף 2(ב), מפורטות 7 שיטות ההגנה בהן מותר להשתמש, או חובה להשתמש, במדינת ישראל:

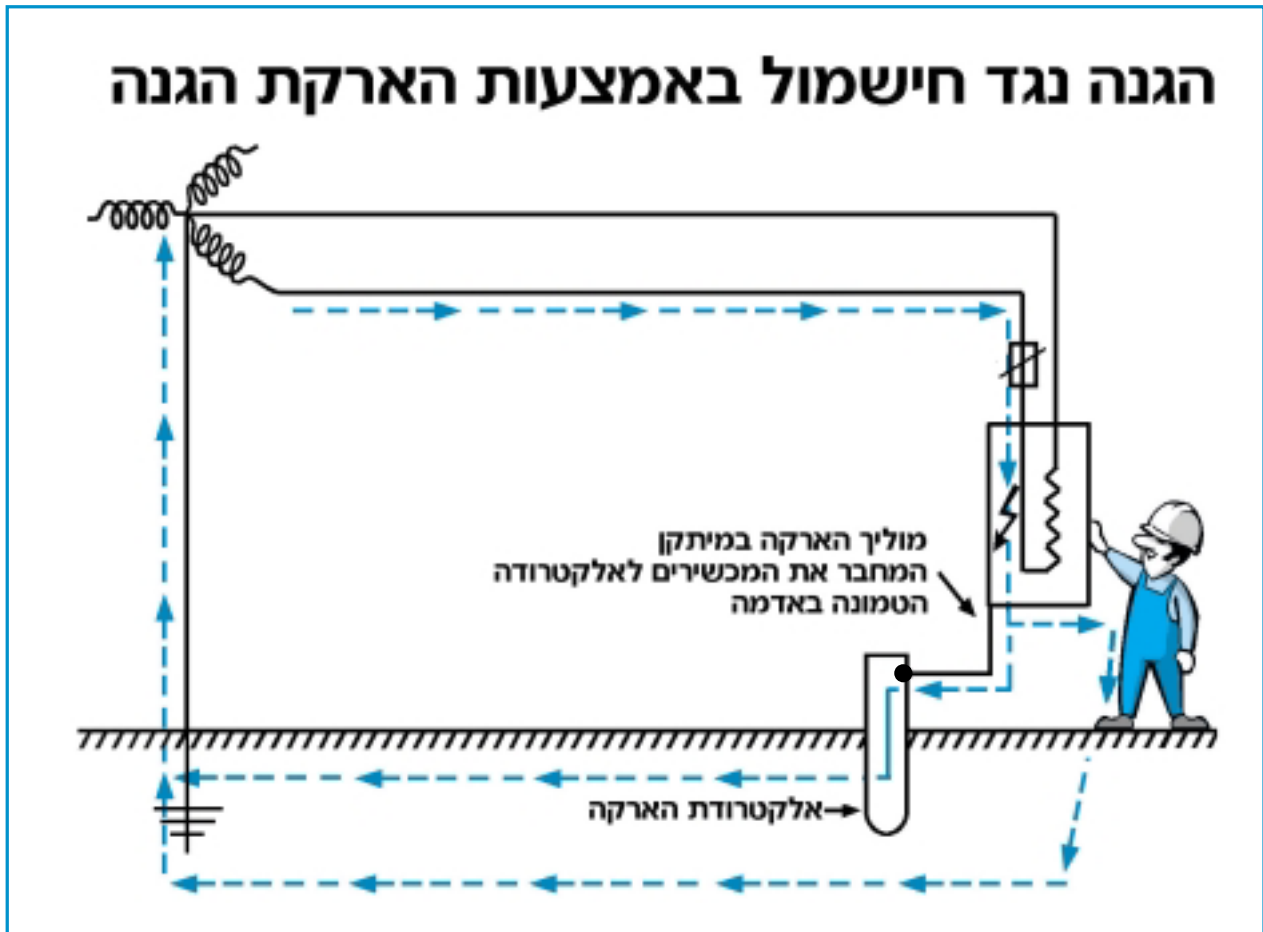
1. איפוס (TN-C-S), (TN-S);
2. הארקת הגנה (TT);
3. זינה צפה.
4. הפרד מגן;
5. מתח נמוך מאד (24/50 וולט);
6. מפסק מגן (מפסק לזרם דלף);
7. בידוד מגן (בידוד כפול);

## הארקת הגנה

באירורים 5-7 (בעמ' 13, 15, 16) תיארנו מקרי חישמול עקב מגע במעטפת מתכתית של מכשיר חשמלי, אשר בידודו נפגם ויצר מגע בין מוליך המופע (פאזה) למעטפת המתכת החיצונית של המכשיר. כיצד ניתן למנוע או לפחות לצמצם את הסכנה כאשר מתרחשת תקלה מסוג זה? התשובה היא: ביצוע "הארקת הגנה" (GROUNDING) שהיא חיבור גלווני (חיבור חשמלי) בין חלקי המתכת הנגישים של הציוד החשמלי ובין אלקטרודה הטמונה באדמה. אלקטרודה היא מוט, פס, או כל חלק מתכתי אחר הטמון באדמה, שתפקידו ליצור מגע טוב ולאורך זמן, בין מערכת הארקה והמסה הכללית של האדמה. ההארקה מתבצעת ע"י חיבור בין כל חלקי המתכת של הציוד ובין האלקטרודה הטמונה באדמה, באמצעות מוליך בצבע צהוב/ירוק (עפ"י תקנות החשמל (התקנת מוליכים), התש"ל-1970, סעיף 11(ב)(1)(ד)).

מוליך ההארקה במכשירים מיטלטלים ובמכשירים נייחים, המוזנים באמצעות תקע ובית תקע – מחובר לפין האמצעי של תקע המכשיר, ובמיתקן החשמל – מוליך ההארקה מחובר למגע האמצעי התחתון בבית התקע.

בהתאם לתקנות החשמל קיים איסור חמור להתקין במיתקן קבוע בית תקע ללא הארקה. מה אמור לקרות אם נוסף "הארקת הגנה" למקרה שתואר באיור מספר 5?



איור 8

גם במקרה המתואר באיור מספר 8 מופיע מתח תקלה על גוף המכשיר, אך כאן, כאמור, הוספנו אלמנט נוסף של "הארקת הגנה". כאשר אדם עומד על רצפה מוליכה ונוגע בגוף של מכשיר אליו הגיע זרם תקלה – קיימות 2 אפשרויות מקבילות (2 התנגדויות מקבילות) לסגירת המעגל:

■ דרך גוף האדם לאדמה ולנקודת האפס בשנאי (טרנספורמטור);

■ דרך מוליך ההארקה לאלקטרודת ההארקה ולנקודת האפס בשנאי.

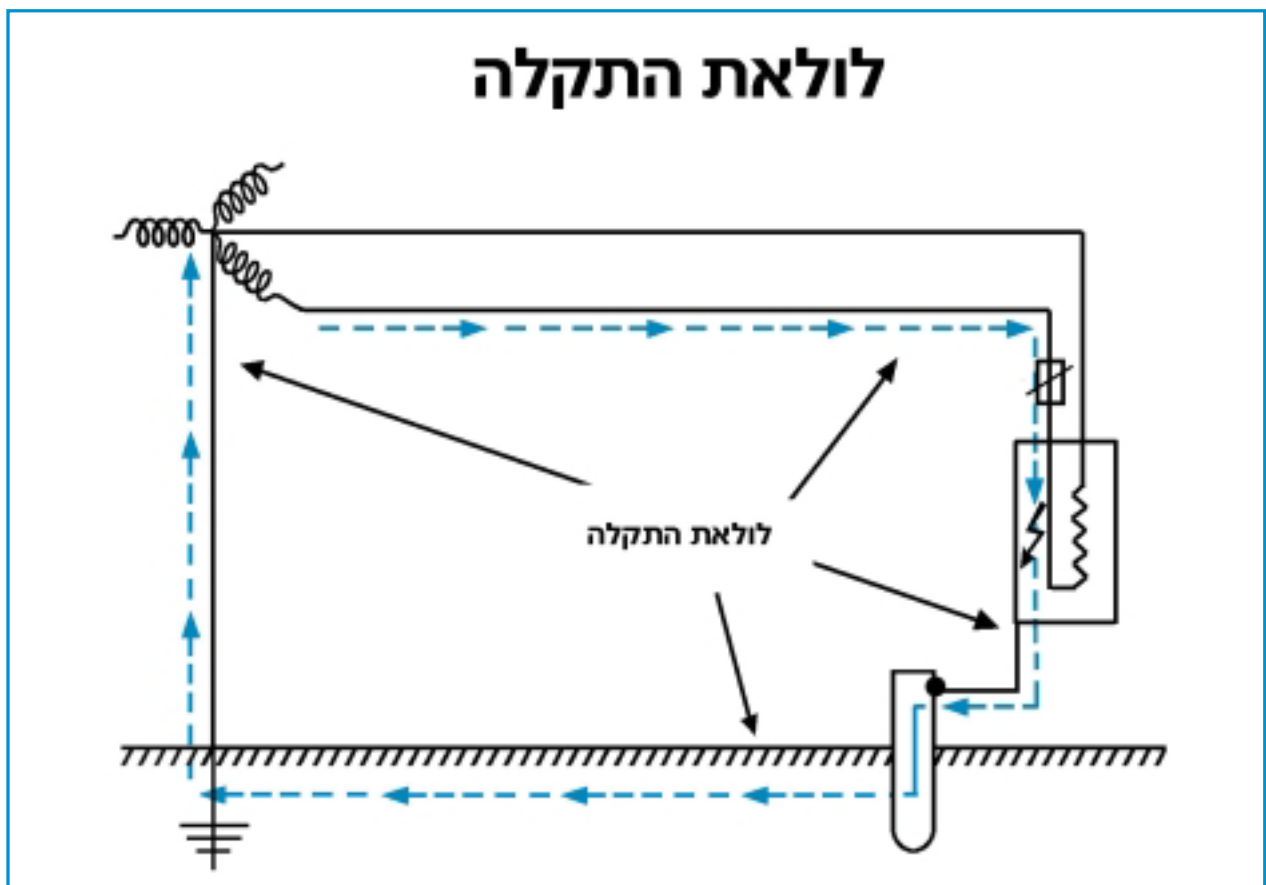
מאחר שהתנגדות לולאת התקלה חייבת להיות נמוכה מאד – בין 0 ל-5 אוהם (עפ"י תקנות החשמל) (הארקות ואמצעי הגנה נגד חישמול במתח עד 1000 וולט, התשנ"א-1991, סעיפים 42 ו-49) – רוב הזרם יעבור דרך מערכת ההארקה. מפל המתח על האלקטרודה יהיה נמוך

וכך יקטן גם מתח המגע. במקרים מסוימים המתח לא יהיה מסוכן גם כאשר הזרם ממשיך לזלוג. בו בזמן מתרחש דבר נוסף שיש לו חשיבות רבה: עוצמת הזרם העובר דרך מערכת ההארקה קרובה או שוות ערך לזרם קצר הנוצר בין מופע (פאזה) לאפס. תופעה זו תגרום לזרם-יתר גבוה במעגל. המבטח יזהה את זרם הקצר ויפסיק את הספקת החשמל למעגל.

המבטח מנוצל כאן למשימה חשובה, נוספת - הגנה מפני חישמול בשימוש בציוד חשמלי בעל עטיפה מתכתית מוארקת. המסקנה: **סילוף המבטח מגביר את הסכנה לשריפה וגם עלול לבטל, במקרים מסוימים, את ההגנה מפני חישמול.**

ההגנה מפני חישמול באמצעות "הארקת הגנה" היא השיטה הזולה והנפוצה עד היום, בארץ ובעולם. רוב מיתקני החשמל בארץ מוגנים בשיטה זו.

המעגל שנוצר בזמן התקלה - מהמופע (פאזה) בשנאי, דרך מוליך המופע (פאזה) ברשת ההספקה, אל המיתקן הפרטי, מקום התקלה, דרך מערכת הארקת הגנה, אל המסה של האדמה ומשם אל הארקת השיטה והאפס בשנאי ההספקה נקרא: "לולאת התקלה".



איור 9

בתקנות החשמל נדרש, שרמת ההתנגדות החשמלית של "לולאת התקלה" תהיה נמוכה מספיק, כדי שבמצב של קצר להארקה, יתפתח זרם מספיק גבוה, אשר יהיה מסוגל להפעיל את ההגנה (המבטח) וינתק את הזרם למיתקן תוך פחות מ-5 שניות.

## חסרונות שיטת "הארקת ההגנה":

■ השיטה פגיעה – אין התראה כאשר ניתק מוליך ההארקה במיתקן או במכשיר, כך שכאשר נוצרת תקלה, המצב הופך למסוכן והמשתמש לא יהיה מוגן.

■ דרושה אלקטרודה – עד לפני מספר שנים מילאו צינורות המתכת של הספקת המים את תפקיד האלקטרודה, להארקת מיתקני חשמל במבנים ברחבי הארץ. הצינורות הטמונים באדמה יוצרים מגע טוב, לאורך זמן, עם המסה הכללית של האדמה. לפני מספר שנים החלו הרשויות המקומיות להשתמש בצנרת אל-מתכתית למערכות המים. כתוצאה מכך נערכו שינויים בתקנות החשמל, וכיום חל איסור להשתמש בצנרת המים כאלקטרודה, פרט למקרים חריגים (המפורטים בתקנות).

■ קיימים מצבים בהם השיטה איננה נותנת הגנה – השיטה מגינה מפני חישמול רק ממכשירים בעלי מעטפת מתכתית מוארקת, ורק במקרה של קצר מלא בין המופע (פאזה) למערכת ההארקה. כאשר קיים פגם בבידוד המופע (פאזה) ונוצר "קצר חלקי" ולא מלא, השיטה עלולה שלא לפעול או לפעול מאוחר מדי, מכיוון שמהירות תגובת המבטח קשורה ישירות לגודל זרם הקצר.

הפתרון החליפי לשיטת הארקת המיתקן באמצעות הצנרת הוא שימוש באלקטרודה מסוג חדש המוגדרת כ"הארקת יסוד". כאן נעשה שימוש בזיון הברזל של יסודות המבנה, הקבורים בתוך האדמה כ"אלקטרודה". על פי תקנות החשמל (הארקות ואמצעי הגנה בפני חישמול במתח עד 1000 וולט), התשנ"ג-1992, פרק ד': מבנה אלקטרודה והתקנתה, חל כיום איסור להשתמש בצנרת המים כ"אלקטרודה" למיתקן חשמל המוצב במבנה חדש. בהתאם לתקנות אלה, החשמלאי איננו מוסמך להחליט איזה סוג אלקטרודה הוא יתקין במבנה חדש המבוסס על יסודות באדמה. הוא חייב להתקין אלקטרודה מסוג "הארקת יסוד" ולבצע השוואת פוטנציאלים במבנה.

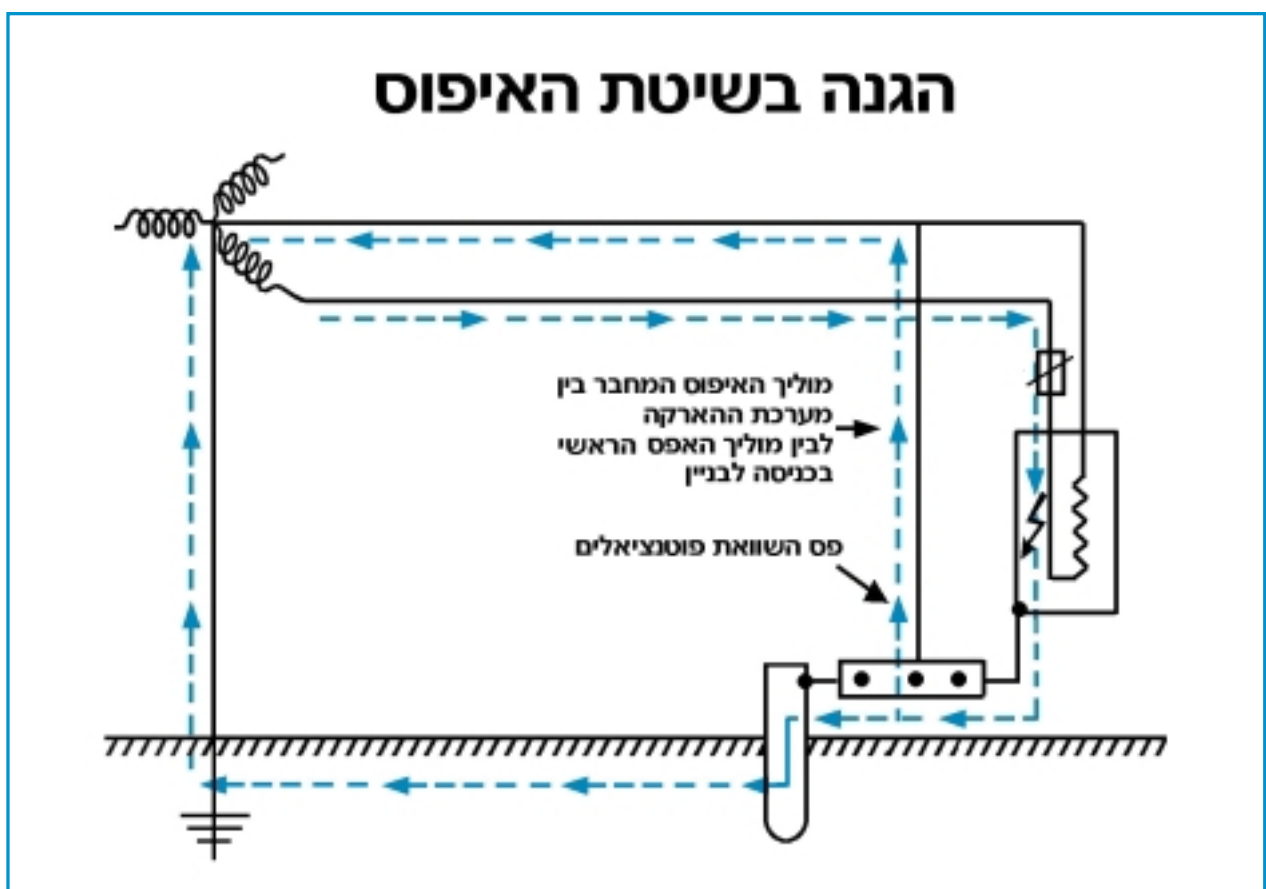
דרישות התקנות, בנוגע לגודל זרם הקצר אשר חייב להתפתח בלולאת התקלה, הוחמרו במשך השנים. התקנות כיום קובעות שהתנגדות לולאת התקלה תאפשר פיתוח זרם בגודל פי 4-7 מהזרם הנקוב של המבטח באותו מעגל. זהו ערך שלא ניתן להשיגו בחיבורים עם מעגלים בעלי עוצמת זרם גבוהה. לדוגמה: ההתנגדות הכללית של "לולאת התקלה" במיתקן או במעגל חשמלי המצויים במפעל שגודל המבטח שלו 800 אמפר – חייבת להיות נמוכה מ-0.0034 אוהם. זאת כדי שזרם הקצר יהיה גבוה מספיק לגרום להפעלת המבטח תוך 5 שניות.

לחלק מהבעיות יש פתרון בשיטת הגנה אחרת – שיטת ה"איפוס".

## איפוס

האיסור להשתמש בצנרת המים כאלקטרודה, והדרישות המחמירות לגבי ההתנגדות המירבית המותרת של לולאת התקלה, גורמות לכך שלא תמיד ניתן להגיע להתנגדות נמוכה מספיק, במיוחד כיום – כשהשימוש בחשמל נרחב וערכי הזרם והגודל הנקוב של המבטחים גדולים מאוד.

נוצר צורך למצוא דרך פשוטה למזער את התנגדות לולאת התקלה במחיר סביר. איור מספר 9 מראה שבזמן תקלה המטרה שלנו היא לסגור מעגל אל נקודת האפס שבשנאי. והשאלה היא האם חייבים לעשות זאת דווקא דרך האדמה, והאם אין דרך יעילה, קצרה ומוצלחת יותר. הפתרון הוא פשוט, לכאורה: את מערכת ההארקה מחברים, ישירות, גם למוליך האפס של החיבור הראשי במבנה. כך שבמקרה של תקלה המעגל ייסגר אל נקודת האפס שבשנאי גם דרך מוליך האפס של רשת החשמל (שהתנגדותו קטנה). זרם הקצר יהיה גבוה, מכיוון שרובו יזרום דרך הלולאה הזאת במקום דרך האלקטרודה והאדמה, והמבטח של המעגל יפעל, בכל מקרה, במהירות – גם כאשר התנגדות של לולאת התקלה דרך האדמה היא גבוהה. לשיטה זו, של חיבור מערכת ההארקה אל מוליך האפס הראשי של המבנה, ושימוש במוליך האפס הזה כתוספת למערכת ההארקה, קוראים: "הגנה בשיטת האיפוס".



איור 10

הפתרון הנ"ל פשוט רק לכאורה, מכיוון שטמונות בו מספר סכנות: במוליך האפס של רשת החשמל קיים, בדרך כלל, זרם מסוים הנובע מעומס לא מאוזן בין שלוש הפאזות שברשת. הזרם הזה גורם למפל מתח על מוליך האפס, ולכן קיים מתח מסוים גם בין ה"אפס" למסה של האדמה.

ההארקה אמורה להיות מחוברת למוליך האפס, ולכן יופיע מתח גם במערכת ההארקה וגם בכל הציוד והמיכשור המוארקים שבמבנה. המתח הזה, בדרך כלל, נמוך מ-24 וולט ואיננו

מסוכן. אך המצב עלול להחמיר ולהפוך למסוכן, אם וכאשר נקרע מוליך האפס שברשת ההספקה. רוב רשתות החשמל בארץ הן "רשתות אוויריות", ולכן התופעה נפוצה, בעיקר בזמן סופות החורף. אז, כאשר נקרע מוליך האפס ברשת, עלול להופיע מתח מסוכן בין מערכת ההארקה המאופסת ובין האדמה, גם אם אין תקלה במיתקן החשמל הפרטי, מכיוון שזרם העבודה במיתקן, אשר היה אמור לסגור מעגל דרך מוליך האפס ברשת, יסגור את המעגל דרך מערכת ההארקה והאלקטרודה של המבנה. מצב שיגרום למפל מתח על אלקטרודת ההארקה. מפל המתח הזה עלול להיות גבוה ומסוכן.

מסקנה: שיטת האיפוס היא שיטה טובה, אך מותנית באפשרות להבטיח את רציפותו של מוליך האפס ברשת ההספקה, לאורך כל הזמן וללא תקלות.

למרות שאין שום אפשרות מעשית לקיים מצב של חוסר תקלות במוליך האפס ברשת – שיטה האיפוס, נמצאת בשימוש במקומות שונים בעולם וגם אצלנו. הפתרון לסיכונים הטמונים בשיטה הוא הגבלת השימוש בשיטת האיפוס למקומות שבהם מתקיימים כל התנאים הבאים:

1. האלקטרודה במבנה היא מסוג "הארקת יסוד";

2. קיימת השוואת פוטנציאלים בתוך המבנה;

3. התנגדות האלקטרודה כלפי המסה של האדמה איננה גבוהה מ-20 אוהם;

4. היישום אושר ע"י הבעלים של רשת החשמל (בד"כ חברת החשמל).

ארבעת תנאי ההיתר לביצוע האיפוס, חלים רק על מבנים חדשים.

ההיתר לביצוע "איפוס" במבנים ישנים איננו כולל את הסעיף הראשון (הארקת יסוד), ויש בו הגבלות נוספות, אחרות.

שיטת האיפוס מבטיחה שבמקרה של תקלה בצידוד המוארק (קצר בין מופע (פאזה) להארקה), יזרום רוב זרם התקלה דרך מערכת האיפוס (דרך מוליך האפס שהתנגדותו נמוכה) בחזרה אל השנאי, ותמיד (בתנאי שמוליך האפס שלם!) יתפתח זרם קצר גבוה שיפעיל את המבטח בזמן הנדרש, ויפסיק את הספקת הזרם למעגל ו/או למכשיר הפגום.

במקרה של פגיעה במוליך האפס של רשת החשמל, תימנע השוואת הפוטנציאלים במבנה את היווצרותם של מפלי מתח בתוך המבנה, והופעה של מתח בין הצידוד החשמלי המוארק לבין חלקי המתכת של המבנה או של הריצפה.

מומלץ לבצע השוואת פוטנציאלים בכל מבנה. השוואת הפוטנציאלים מקטינה את סכנת החישמול בין גופים מוארקים לבין הריצפה, כאשר זיון הברזל של המבנה מחובר לפס השוואת פוטנציאלים, ובעיקר כאשר קיים "קצר חלקי" (זרם דלף לאדמה הנמוך מהזרם הנקוב של המבטח).

"השוואת פוטנציאלים" מגינה רק על הנמצאים בתוך המבנה. מיתקני חשמל (כגון עמודי תאורה ממתכת הממוקמים בחוץ), הניזונים מהחשמל וממערכת ההארקה המרכזית של מבנה המוגן בשיטת האיפוס – עלולים להוות סיכון במצב של תקלה ב"אפס" של הרשת.

קיימות מספר אפשרויות למניעת הסיכון הזה ולהגנה מפני חישמול:

- להשתמש בצידוד מסוג "בידוד כפול". במקרה זה אסור לחבר את הצידוד להארקה!;
- להאריק את עמודי התאורה לאלקטרודה נפרדת ולא לחבר אותם להארקה הבניין;
- לחבר את עמוד התאורה להארקה הבניין ולבצע בסביבת העמוד "השוואת פוטנציאלים" ע"י הטמנת רשת ברזל בתוך האדמה, ברדיוס של כ-1.5 מטרים מסביב לעמוד, וריתוך הרשת לעמוד. כך ייווצר מצב של "השוואת פוטנציאלים" מסביב לעמוד.

**שיטות "הארקה הגנה" או "איפוס" מגינות רק כאשר קיים קצר מלא בין המופע (פאזה) להארקה. אם קיימת דליפה היוצרת "קצר חלקי" – ערך זרם התקלה עלול להיות נמוך מדי לצורך הפעלה מהירה של המבטח, ואפילו נמוך רק לצורך הפעלתו. התוצאה עלולה להיות חישמול ו/או שריפה.**

## הגנה בלעדית ע"י מפסק מגן לזרם דלף\*

שיטה נוספת להגנה מפני חישמול, שגם היא מבוססת על הרעיון של הפסקת זרם החשמל בזמן סכנה, היא "ההגנה הבלעדית" ע"י "מפסק מגן לזרם דלף".

שמו הרשמי של ההתקן, המופיע בתקנות, הוא "מפסק מגן", אך הוא מוכר בשוק גם בשמות אחרים שונים: "מפסק לזרם דלף", "מפסק פחת", "מפסק דיפרנציאלי" או "מכשיר נגד התחשמלות".

### מהי ההגנה הבלעדית

בדרך כלל, מותר להתקין מפסק מגן לזרם דלף ורצוי מאוד להתקין מפסק כזה בכל מקרה שהדבר אפשרי, זאת מאחר שהמפסק לזרם דלף מגדיל את רמת הבטיחות של מיתקן החשמל בתחומים הבאים:

- הגנה מפני שריפות – אשר עלולות להתרחש בזמן תקלה בבידוד בין המופע (פאזה) להארקה, בעיקר במעגלי חשמל עם זרמים גבוהים, כאשר זרם הדלף לאדמה נמוך מהגודל הנקוב של המבטח באותו מעגל;
- הגנה מפני חישמול ומניעת פעולה של מכשיר חשמלי כאשר, בטעות, הוחלפו החיבורים של מוליכי האפס וההארקה של תקע המכשיר או המיתקן – הגנה זו טובה ובטוחה בעיקר כאשר משתמשים במפסק בעל רגישות של 0.03 אמפר (30 מיליאמפר), או מפסק בעל רגישות גדולה יותר (סף פעולה נמוך מ-0.03 אמפר);
- הגנה גם מפני התחשמלות ממגע ישיר במופע (פאזה) או הגנה ממכשיר מחושמל, כאשר מערכת ההארקה שלו מנותקת – בתנאי שהמיתקן מוגן ע"י מפסק מגן בעל רגישות של 0.03 אמפר או רגישות גדולה יותר.

\* פרק ז' בחוברת מוקדש כולו למפסק המגן לזרם דלף. הוא כולל הסבר על מבנה המכשיר, סוגי המפסקים הקיימים בשוק, צורת החיבור למיתקן, חובת ההתקנה, חובת הבדיקה התקופתית ואופן הבדיקה, רגישות לזיהומי רשת ועוד.

**עפ"י תקנות החשמל (התקנת לוחות במתח עד 1000 וולט), התשנ"א-1991, סעיף 29(ד),** נדרשת התקנה של מפסקים לזרם דלף בכל לוח ראשי של מיתקן חשמל דירתי. התקנה של מפסקים מסוג זה במקומות אחרים היא, ברוב המקרים, התקנה וולונטרית של בעל המיתקן. כלומר: התקנת מפסק לזרם דלף כאשר הארקת ההגנה או שיטת האיפוס (המותקנת) במיתקן מקיימות את דרישת התקנות, והן מסוגלות להפעיל את המבטח בזמן קצר, כנדרש.

המשמעות של התקנת מפסק לזרם דלף כ"הגנה בלעדית" היא אחרת: שימוש ב"מפסק מגן לזרם דלף" כהגנה נוספת, המיועדת לתת גיבוי לחסרונותיה של הארקת הגנה, אשר איננה מספקת במצבים מסוימים (כאשר ההתנגדות הגבוהה של לולאת התקלה איננה מאפשרת בכל מקרה פיתוח זרם קצר גבוה מספיק שיפעיל את מבטח המעגל, או שיפעילו בתוך פרק הזמן הנדרש).

התקנות מתירות את השימוש בשיטה זו רק במקרים מסוימים ולא כשיטה שהחשמלאי יכול לבחור בה באופן חופשי. השימוש בשיטה זו מותר רק כאשר לא ניתן לבצע במקום "איפוס". רק במקומות שבהם לא ניתן למלא את התנאים הדרושים לביצוע "איפוס" (המחוקק נותן במקרה זה זכות קדימה לשיטת האיפוס) – רק אז, ומחוסר ברירה, המחוקק מאפשר להשתמש בשיטה זו. ההגבלה לא חלה על אתרי בנייה, קרונות מגורים, מיתקנים זמניים או ארעיים וכדומה.

בכל המקומות בהם משתמשים בהגנה בלעדית ע"י מפסק לזרם דלף – חייבת להיות מערכת הארקה המחוברת לאלקטרודה.

עיקרון הפעולה של "מפסק לזרם דלף" הוא מדידת הזרם המגיע למיתקן דרך מוליך המופע (פאזה), ומדידת הזרם החוזר דרך מוליך האפס (או להיפך), או מדידת הזרם העובר בין הפאזות. כאשר שני הזרמים זהים – אין דליפת זרם במיתקן. אך, אם עוצמת הזרם המגיע למיתקן איננה זהה לזרם החוזר ממנו – זהו סימן שחלק מהזרם סגר מעגל דרך האדמה ודרך הארקת השיטה אל נקודת האפס שבשנאי, כלומר: דרך פגם בבידוד, ישירות לאדמה, או דרך גופו של אדם שנגע ישירות במופע (פאזה) ו/או במכשיר מחושמל.

ה"מפסק לזרם דלף" מזהה את אי השוויון בין הזרמים. כאשר אי השוויון גדול מזרם ההפעלה (הרגישות) עברו תוכנן המפסק – הוא מפסיק את הספקת החשמל למיתקן. "מפסק לזרם דלף" יכול לזהות הפרשי זרימה קטנים מאוד, לדוגמה: 0.03 אמפר, ומסוגל, במקרים מסוימים, למנוע חישמול של אדם הנוגע ישירות במוליך המופע (פאזה) ולהציל את חייו.

תפקידו של "מפסק לזרם דלף" כ"הגנה בלעדית" הוא השלמת ההגנה של הארקה כאשר התנגדותה גבוהה. הוא איננו מיועד להגנה מפני מגע ישיר במופע (פאזה), אלא רק להגן מפני התחשמלות ממכשירים מוארקים ע"י מניעת הופעת מתח, העולה על מתח נמוך מאוד (מנ"מ).

לפיכך, התנאים הנדרשים בהגנה מסוג זה הם:

מתח התקלה בין מערכת הארקה ו/או המכשירים המוארקים ובין האדמה, לפני שהמפסק הפסיק את הספקת הזרם, לא יהווה סיכון לאדם (לא יעלה על מתח נמוך מאד – 50 וולט בתנאי סביבה רגילים ו-24 וולט במקרים של סביבה עם סכנה מוגברת). כדי להגיע למצב זה,



דורשות התקנות שמפל המתח אשר יופיע על האלקטרודה של מערכת ההארקה, באותו מבנה, לא יעלה על 50 וולט / 24 וולט. במילים אחרות: תוצאת המכפלה של התנגדות האלקטרודה בערך של זרם הפעלת מפסק המגן לא תהיה גבוהה ממתח נמוך מאד:

$$R_x \leq 24V \text{ או } R_x \leq 50V$$

כאשר:  $R$  = התנגדות האלקטרודה כלפי המסה של האדמה;  
 $\xi$  = זרם ההפעלה של מפסק הדלף, באמפרים.

## אמינות ההספקה

בתחום הספקת החשמל קיימת בעיה שרובנו לא נותנים עליה את הדעת והיא "אמינות ההספקה". פירוש האמינות הוא צמצום, עד למינימום, של הפסקות בהספקת החשמל. המצב הרצוי הוא, כמובן, זרם חשמל זמין לאורך 24 שעות ביממה, עם אפס הפרעות והפסקות, גם כאשר הסיבה להפסקת ההספקה היא בטיחותית.

בשיטות ההגנה מחישמול שהזכרנו עד כה ("הארקת הגנה", "איפוס" ו"מפסק לזרם דלף כהגנה בלעדית"), מיושם עיקרון פעולה פשוט והגיוני: **זרם החשמל הפך לסיכון – יש להפסיקו מיד.** בשיטות "הארקת הגנה" או "איפוס" – המבטח מפסיק את הזרם רק במעגל החשמלי הלקוי, בשיטת "מפסק לזרם דלף כהגנה בלעדית" המפסק מפסיק את ההספקה לכל מיתקן החשמל אליו הוא מחובר. בשיטות ההגנה האלה (המגינות מפני התחשמלות רק מצידו מוארק), יש פגיעה משמעותית באמינות ההספקה. בשלוש השיטות עלול להופיע מתח תקלה לזמן קצר, ובכולן אמורה הספקת החשמל להיות מופסקת תוך זמן סביר, כדי למנוע תאונה קטלנית.

בהגנה ע"י "מפסק לזרם דלף כהגנה בלעדית" משתמשים, בדרך כלל, במפסק דלף אחד לכל המיתקן. לכן, הפסקת הספקת החשמל תהיה בכל המיתקן ולא רק במעגל הלקוי (בהגנה ע"י המבטח מופסק הזרם רק למעגל הלקוי). ניתוק כל המיתקן מהחשמל עלול לגרום לנזקים רציניים. לדוגמה: במקום שבו מופעלים מקררים תגרום הפסקת פעולתם לקלקול התכולה; לסיכון חיי אדם בתהליך כימי שיש להפסיקו באופן מבוקר, או בחדרי ניתוח בבתי חולים. התקנות אוסרות שימוש במפסק דלף להגנה על מיתקן חשמל בחדר ניתוח.

כדי להגן מפני התחשמלות במקומות כגון אלה, בהן נדרשת מערכת בעלת אמינות הספקה גבוהה – משתמשים בשיטת הגנה מסוג "זינה צפה". הבחירה בין שיטות ההגנה השונות והבחירה ברגישותו של מפסק הדלף צריכה להיות סלקטיבית, ובהתאם –

■ ליעודיו של המיתקן החשמלי במקום ולמגבלותיו;

■ לרמת הבטיחות הדרושה;

■ לדרגת אמינות הספקת הזרם הדרושה במקום.

תקנות החשמל (הארקות ואמצעי הגנה בפני חישמול במתח עד 1000 וולט), מגדירות (פרק ב': סוגי ההגנות, תקנה 4) את "תכלית הגנה בפני חישמול" של שיטות ההגנה השונות:

“אמצעי הגנה בפני חשמול מיועדים למעט ככל הניתן, את הסכנות במקרים של חישמול גופים מתכתיים”. מכאן ניתן להסיק שחלק משיטות ההגנה אינן מבטיחות הגנה מוחלטת ויש בהן נקודות תורפה שונות.

שיטות ההגנה בהן נדון בהמשך אינן מיועדות למיתקנים גדולים וחלקן מיועדות למכשיר בודד, או למיכשור הפועל במתח נמוך מאוד, אך לכולן יש מספר יתרונות חשובים:

- אמינות הספקה גבוהה (אין הפסקות חשמל);
- הגנה נגד חישמול;
- בחלק מן המקרים אין חישמול גם כאשר נוגעים במוליך חשוף חי (מחובר למתח החשמל)
- אין קצר ואין שריפה בעקבות מגע בין מוליך לאדמה.

## הפרד מגן

“הפרד מגן” היא שיטה להגנה מפני חישמול המבוססת על קיומם של 4 תנאים:

1. זוהי שיטה ייחודית ללא הארקה שיטה;
  2. אסור לבצע בה הארקה הגנה;
  3. אסור לחבר לשיטה זו יותר ממכשיר אחד, או לחילופין – מותר להתקין בה רק בית תקע אחד שאליו יחובר רק מכשיר אחד בו זמנית.
  4. על אף האמור בסעיף 3 – מותר לחבר יותר ממכשיר אחד – כאשר מערכת של מכונה מכילה מספר רכיבים כגון: מנועים, גופי חימום וכו’, וכל הרכיבים הנ”ל מורכבים על מסד מתכתי אחד, או כלולים במעטה מתכתי רציף אחד, וכאשר כל הרכיבים שיש להם מעטפת מתכתית מחוברים ביניהם באופן גלווני (חשמלי), כך שמתקיימת בהם השוואת פוטנציאלים.
- הספקת החשמל מגיעה, בדרך כלל, דרך רשת של חברת החשמל, שבה קיימת הארקה שיטה. כדי למנוע סגירת מעגל דרך גוף האדם אל האדמה וממנה אל הארקה השיטה, צריך למצוא דרך שתאפשר להמשיך לקבל את האנרגיה מרשת חברת החשמל, בעוד שמקור ההספקה מופרד גלווני מהרשת, המוארקה ב”הארקה שיטה”.
- הפתרון הוא שימוש ב”שנאי מבדל”. לדוגמה: כאשר הציווד המחובר מיועד למתח של 230 וולט, יהיה יחס הליפופים בשנאי 1:1 (בכניסה וביציאה של השנאי קיים מתח זהה, 230 וולט בדוגמה שלנו).

### מהו שנאי ומה זה שנאי מבדל?

שנאי הוא מכשיר חשמלי, המורכב (בדרך כלל) מ- 2 סלילים המלופפים על גרעין ברזל משותף, מבלי שיהיה ביניהם קשר גלווני (קשר חשמלי). יוצא מכלל זה: שנאי חד ליפופי (auto-transformer). הסליל המחובר למקור הזינה נקרא “סליל ראשוני” או “ליפוף ראשוני”. הסליל השני, שבו מושרה המתח המבוקש ואשר אליו מחברים את הציווד, נקרא “סליל משני”.

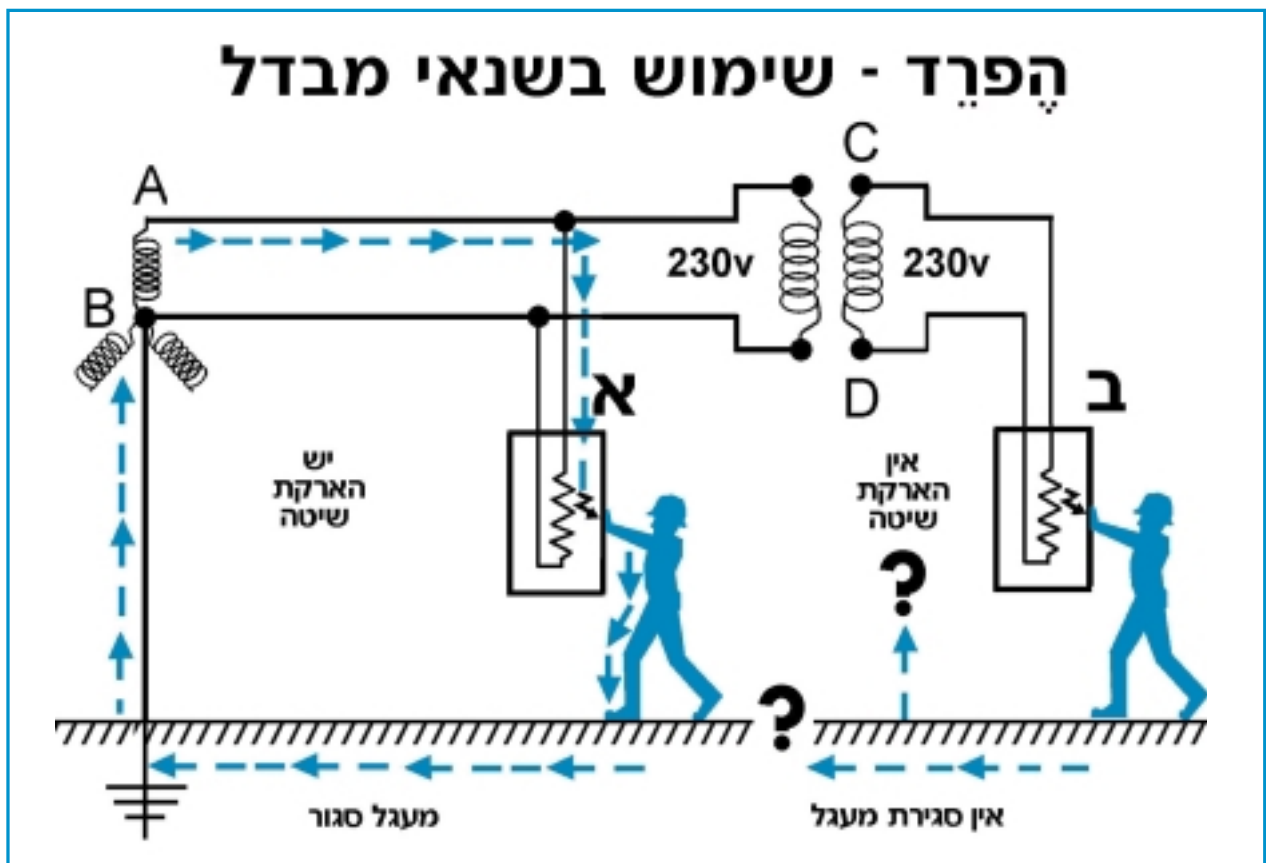
בשימוש רגיל, תפקידו של שנאי הוא הקטנה או הגדלה של מתח המקור. "שנאי מבדל", כמו כל שנאי, יכול להוריד מתח או להגבירו, אך ב"שיטת הפרד" הוא מיועד בעיקר למטרות אחרות:

■ **יצירת בידוד גלווני בטוח ומוחלט בין 2 הסלילים של השנאי**, כך שבשום מקרה לא תתהווה תקלה בבידוד, אשר תגרור פריצת מתח מהסליל הראשוני (המחובר לרשת ההספקה) אל הסליל המשני. מטרה זו מושגת הודות למבנה מיוחד של השנאי ובהתקנת בידוד מוגבר בין 2 הסלילים בשנאי. זהו ההבדל המבני בין שנאי רגיל לבין "שנאי מבדל";

■ **יצירת מקור מתח עצמאי ללא הארקה שיטה. אסור להתקין הארקה שיטה לסליל המישני של השנאי! ואסור להתקין הארקה הגנה למיתקן!**

היעדרה של "הארקה שיטה" יוצר "מערכת צפה", המונעת סגירת מעגל חשמלי בזמן נגיעה במוליך חי;

כאשר מדובר במכשירים המיועדים למתח רגיל של הרשת – מתח הכניסה ומתח היציאה של השנאי יהיו זהים. ולצורך זה אנו משתמשים בשנאי בעל יחס ליפופים של 1:1, שבו מתח היציאה זהה למתח הכניסה.



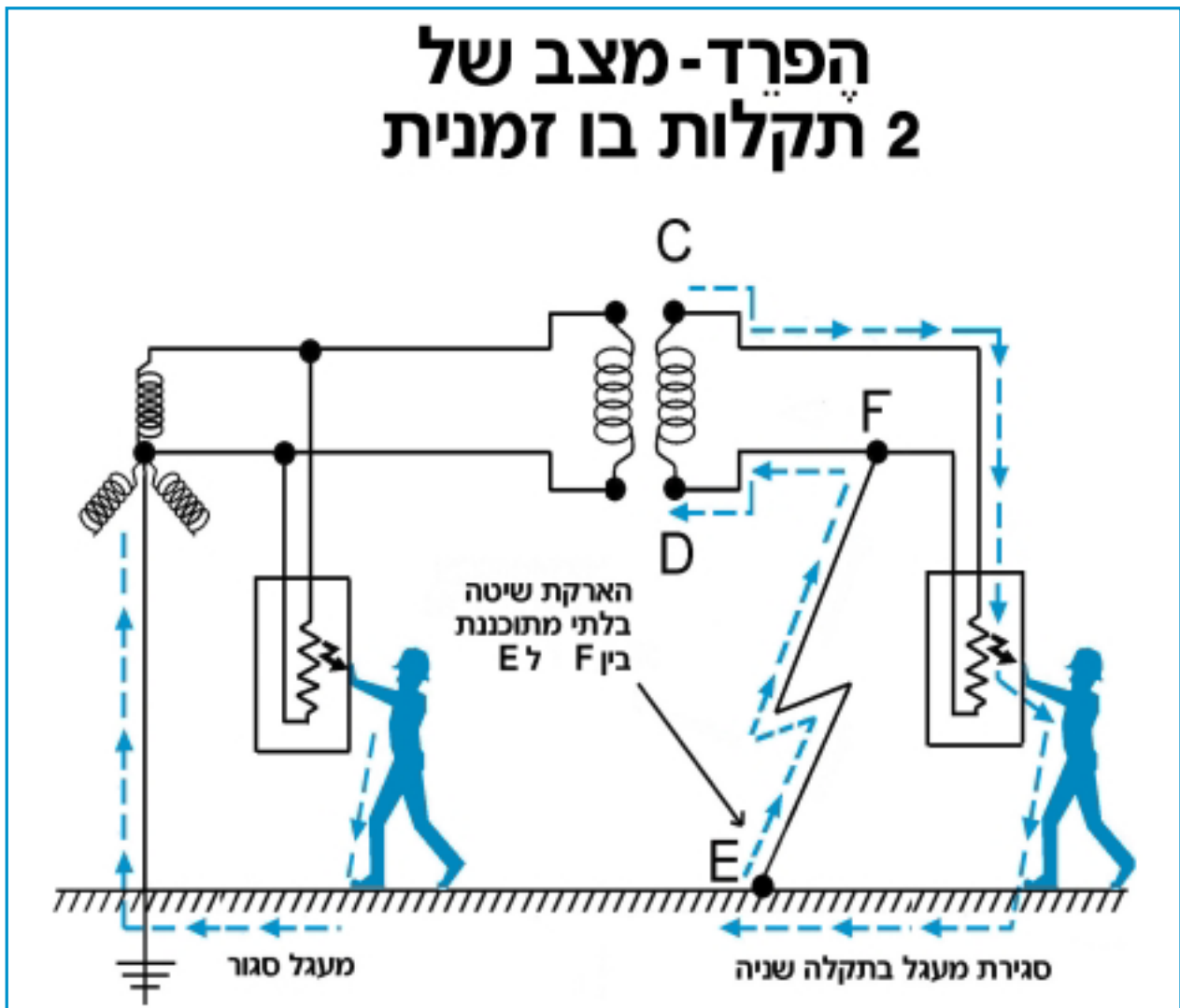
איור 11

באיור 11 אנו רואים שבמקרה א', האדם הנוגע במוליך A סוגר מעגל חשמלי דרך גופו אל האדמה ומשם – אל הארקה השיטה של שנאי ההספקה של חברת החשמל, וממנו אל נקודת האפס B בשנאי. במקרה ב' אסור להתקין הארקה שיטה! במקרה זה האדם הנוגע בגופו

במוליך C, לא יסגור מעגל חשמלי בנקודה B, מכיוון שזה איננו מקור המתח שלו; הוא גם לא יסגור מעגל בנקודה D אשר אליה הזרם שואף להגיע, מאחר שאין הארקה שיטה אל הנקודה הזאת. התוצאה: אין סגירת מעגל חשמלי, אין חימום וגם אין הפסקה בהספקת החשמל. מצב זה יתקיים גם כאשר אדם נוגע ישירות במוליך חי (מוליך אחד בלבד).

כל זה טוב ויפה כאשר מתרחשת תקלה ראשונה. אך מה יקרה כאשר תתרחש תקלה שניה והתקלה הראשונה עדיין לא טופלה? הרי אז תתקיימנה 2 תקלות בו-זמנית!

במקרה זה, בתקלה הראשונה לא ייסגר מעגל חשמלי בין נקודה F לנקודה E באדמה ונקודה C. אם תתרחש תקלה נוספת לפני שטופלה התקלה הראשונה – הזרם יעבור מנקודה C לגופו של האדם וממנו לאדמה. מהאדמה ייסגר מעגל דרך נקודה E לנקודה F – ומשם לקצהו השני של מקור המתח (D) והאדם יתחשמל. לפיכך, שיטת "הפּרֵד מֶגֶן" מעניקה הגנה רק כאשר קיימת תקלה אחת בלבד. כדי למנוע אפשרות למצב בו תתקיימנה 2 תקלות בו-זמנית, מותר – על פי התקנות – לחבר לשיטה זו מכשיר אחד בלבד בו-זמנית.



איור 12

## זינה צפה (שיטה בלתי מוארקת)

שיטת ה"הפרד" שהזכרנו מספקת הגנה מפני התחשמלות אך ורק כאשר לא מתקיימות בה 2 תקלות בו זמנית. ברגע שמתרחשת תקלה ראשונה בבידוד של אחד המוליכים, ונוצר מגע בין המוליך לבין האדמה, השיטה הופכת להיות "מוארקת" ללא כוונה ובלי ידיעתו של המשתמש בצידוד. במצב זה – אם תתרחש תקלה נוספת במוליך השני – היא עלולה לגרום לחישמול, בדיוק כמו בשיטה מוארקת רגילה (הארקת שיטה).

אחד היתרונות הגדולים של שיטת "הפרד המגן", כפי שכבר הסברנו, היא אמינות הספקת הזרם (הספקה ללא הפסקות). בנוסף, אין סגירת מעגל חשמלי ולפיכך – אין חישמול. כדי שההגנה אכן תתקיים יש להשתמש רק במכשיר חשמלי אחד.

שיטת "הפרד המגן", הודות ליתרונותיה (הגנה מפני חישמול ואמינות הספקה גבוהה), היתה יכולה לפתור בעיות בטיחות והספקה, ולשמש אותנו במקומות שיש בהם סכנה מוגברת ובמקומות בהם אסור להפסיק את הספקת החשמל, כגון: בחדרי ניתוח בבית החולים, לדוגמה, או בתהליכים כימיים אשר אסור לקטוע אותם באופן לא מבוקר, או בכל תהליך אחר שהפסקה לא מבוקרת שלו עלולה לגרום לנזק וסכנה לחיי אדם. אבל מה עושים כאשר רוצים ביתרונות אך לא מעונינים להתקין שנאי מבדל לכל מכשיר בנפרד? הפתרון הוא שימוש בשיטת "זינה צפה".

"זינה צפה", היא שיטה המיועדת להעניק למשתמש את יתרונות "שיטת הפרד" ללא המגבלה של שימוש במכשיר אחד בלבד. בשיטה זו ההגבלה איננה במספר המכשירים אלא רק הגבלת עומס, בהתאם להספק של השנאי. כאשר מקור ההספקה הוא רשת חברת החשמל (רשת עם הארקת שיטה), יש צורך בשנאי מבדל (כמו ב"שיטת הפרד"). כאשר משתמשים בצידוד המיועד למתח של 230 וולט, נדרש שנאי עם יחס ליפופים 1:1, כלומר: מתח היציאה זהה למתח הכניסה (230 וולט בדרך כלל).

גם במקרה זה (בשיטת "הזינה הצפה") אסור לבצע הארקת שיטה. המוליכים של הסליל המשני מחוברים דרך "משגוח" (מוניטור/גשש) לאלקטרודה, שהתנגדותה לכיוון המסה של האדמה יכולה להיות גבוהה. כל המכשירים בעלי עטיפה מתכתית חייבים להיות מחוברים ביניהם ואל האלקטרודה הזאת באמצעות מוליך הגנה (לא מוליך הארקה!). המשגוח מפקח כל הזמן על תקינות הבידוד של המיתקן ומתריע (התרעה קולית וויזואלית) כבר בתקלה הראשונה, כדי שהמיתקן יתוקן בהקדם – לפני שתתרחש תקלה שניה, אשר עלולה כבר ליצור סכנה (ראה איור מספר 14).

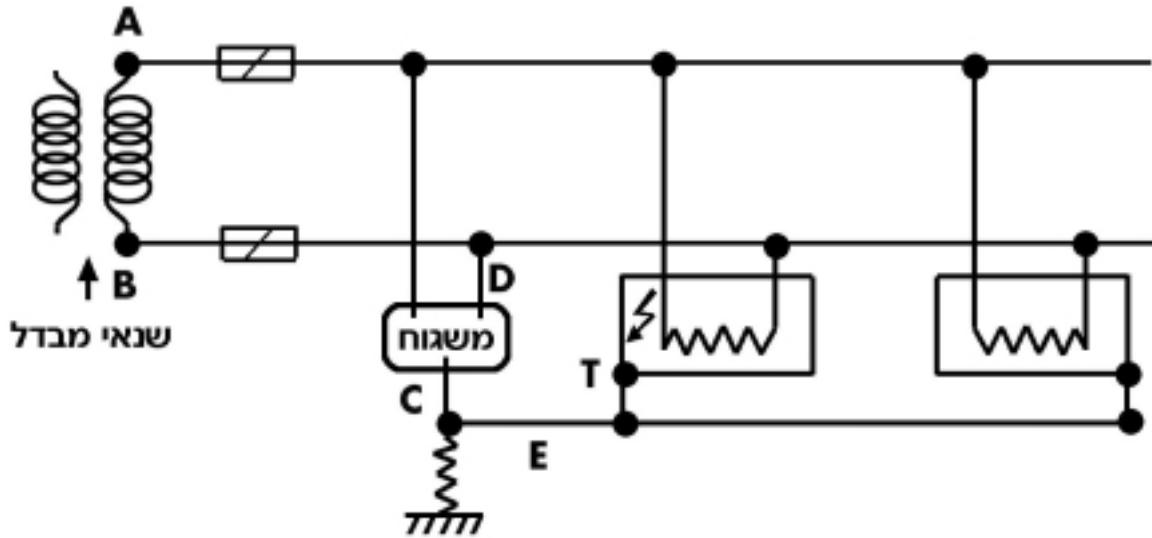
כאשר מתרחשת תקלה בנקודה T של המכשיר, הזרם מגיע אליה מקוטב A של הסליל המשני שבשנאי המבדל, משם דרך מעטפת המכשיר למוליך ההגנה E, ממנו – דרך נקודות C ו-D של המשגוח וסוגר מעגל חשמלי בקוטב B של הסליל המשני בשנאי.

המשגוח בנוי כך שבמעגל שתואר, עוברים או יכולים לעבור רק מיליאמפרים בודדים. זהו זרם קטן, לא מסוכן, שאותו ניתן לזהות ע"י המשגוח אשר מפעיל מערכת התרעה (קולית וויזואלית), המתריעה על קיומה של תקלה ראשונה בבידוד. התקלה צריכה להיות מטופלת בהקדם ע"י חשמלאי. איור 13 מתאר תקלה ראשונה במכשיר.

כאשר אדם נוגע במוליך חי הוא לא ירגיש בתקלה (הזרם נמוך מאוד). מעבר החשמל דרך הגוף והספקת החשמל לא ייפסקו אך תופעל התרעה (ראה איור 14).

## זינה צפה ד.ו.

מצב של תקלה ראשונה במכשיר

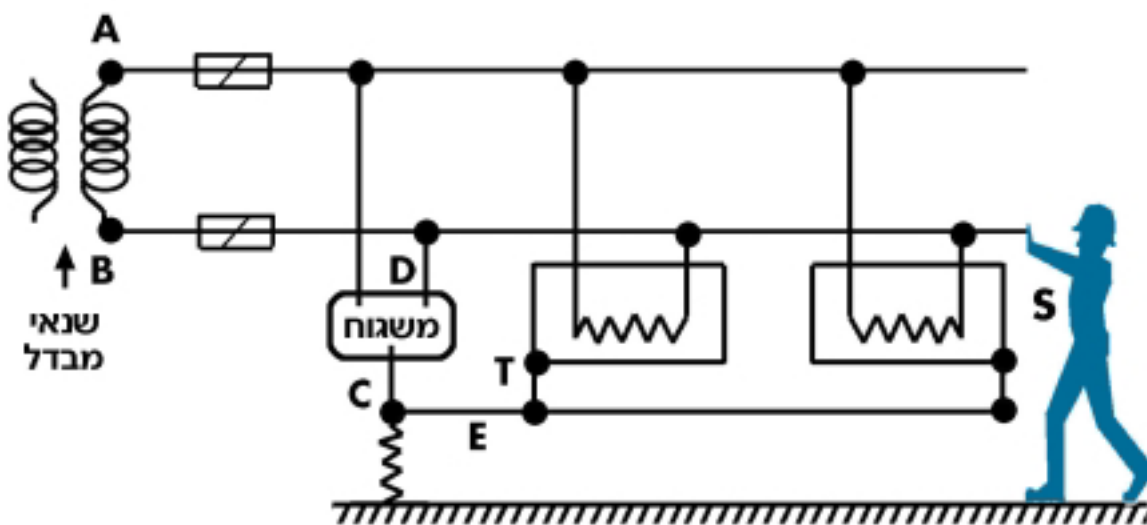


מופעלת התרעה - אין הפסקת חשמל

איור 13

## זינה צפה ד.ו.

מצב של תקלה ראשונה - מגע של אדם



מופעלת התרעה - אין הפסקת חשמל - אין חישמול

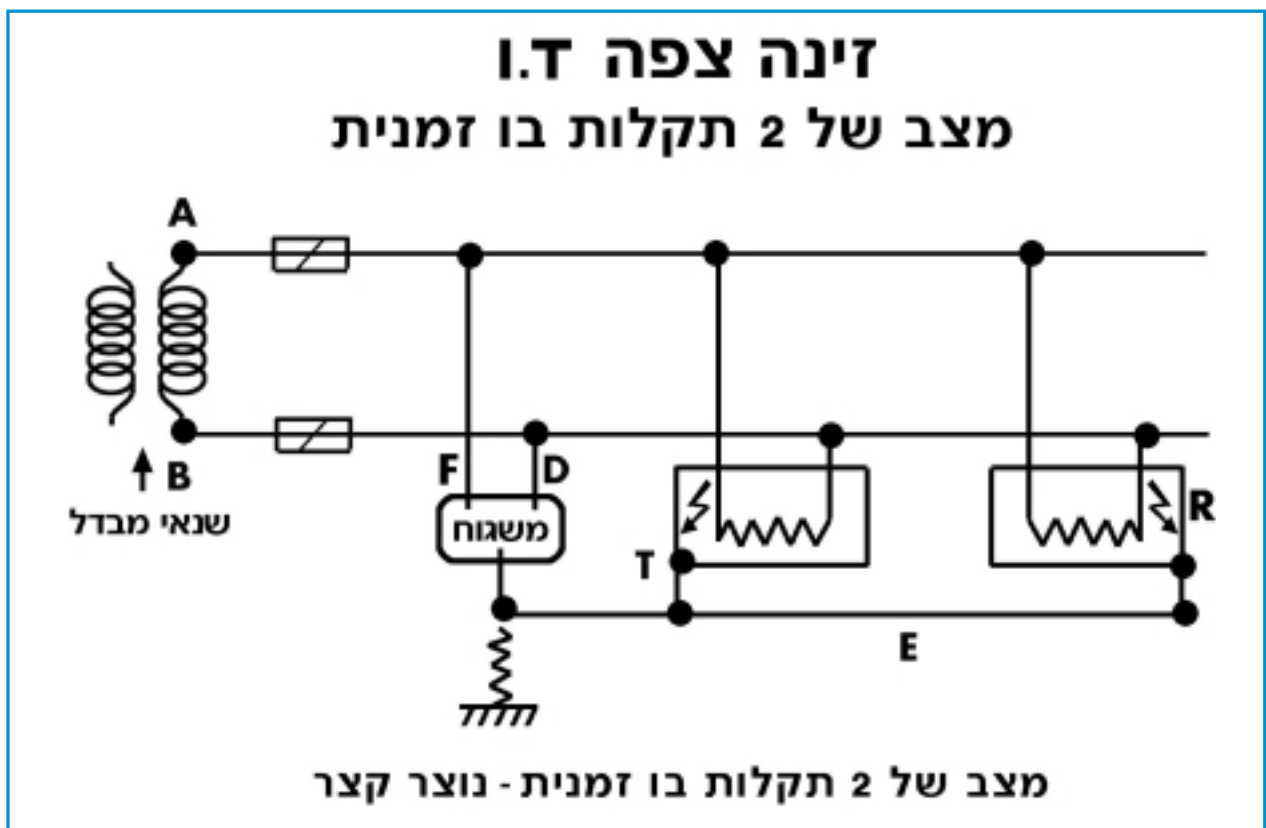
איור 14

כאשר אדם עומד על הקרקע ונוגע במוליך חי בנקודה S – הזרם מגיע מקוטב B של הסליל המשני בשנאי המבדל אל נקודה S אשר בה נוגע האדם, עובר דרך גוף האדם לאדמה ומשם סוגר את המעגל החשמלי דרך האלקטרודה של המכשיר, נקודות C ו-F של המשגוח ונקודה A, שהיא הקוטב השני של מקור המתח.

לשיטת "זינה צפה" יש מספר יתרונות:

- זרם התקלה בתקלה ראשונה הוא נמוך ולא מסוכן – אין תאונה ואין חישמול;
- האנרגיה של זרם התקלה קטנה, ולא תגרום לשריפה;
- אמינות ההספקה גבוהה (אין הפסקות חשמל);
- מותר לחבר יותר ממכשיר אחד (שלא כמו בשיטת הפרד המגן).

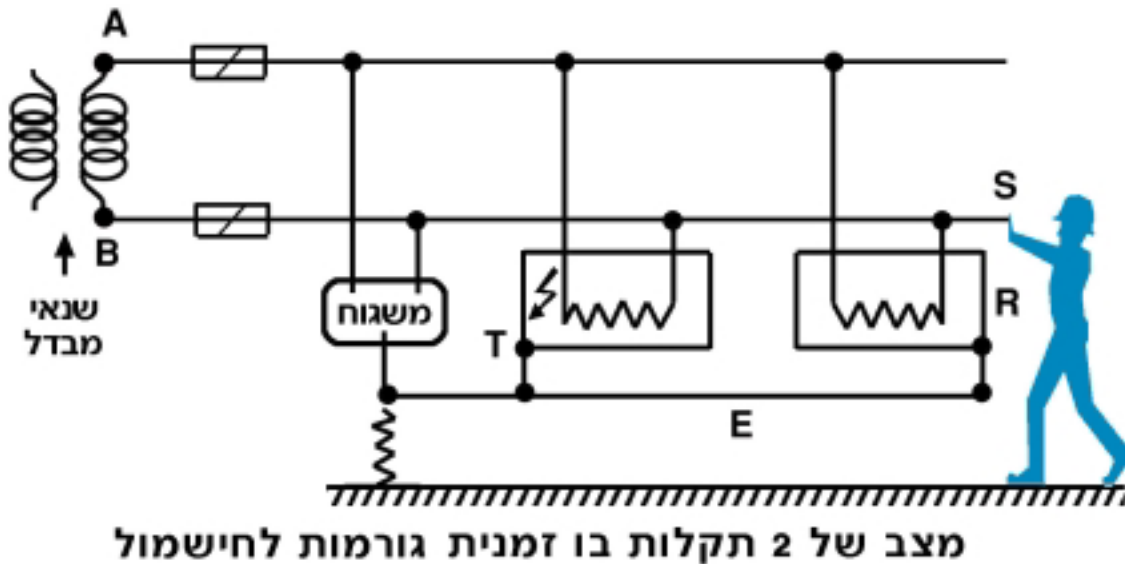
הבעיה שמתעוררת היא מה יקרה אם תקלה T במיתקן לא תטופל ע"י חשמלאי, כנדרש, מיד אחרי ההתראה הראשונה, ותתרחש תקלה שניה בבידוד של המוליך השני בנקודה R. האם המצב הופך בהכרח למסוכן? מצב זה מתואר באיור 15.



איור 15

כאשר מתרחשת תקלה שניה בנקודה R, הזרם מגיע אליה מקוטב A של הסליל המשני בשנאי המבדל, ממנו אל נקודה T של המכשיר ומשם אל מעטפת המכשיר, אל מוליך ההגנה E וממנו – דרך נקודה R – סוגר מעגל חשמלי בקוטב B של הסליל המשני בשנאי. במקרה זה ייווצר קצר מלא בין A ו-B והמבטח של המעגל יופעל תוך הפסקת הספקת הזרם למיתקן. במקרה המתואר באיור אמנם תהיה פגיעה באמינות ההספקה אך לא יהיה חישמול.

## זינה צפה I.O. מצב של 2 תקלות בו זמנית



איור 16

אך לא תמיד המצב הוא כזה. באיור מספר 16, התקלה השניה איננה מתרחשת בנקודה R אלא מנגיעה ישירה של האדם במוליך חי, כשאדם העומד על הקרקע נוגע במוליך בנקודה S. הזרם מגיע מקוטב B של הסליל המשני בשנאי המבדל אל נקודה S אשר בה נוגע האדם. הזרם יעבור דרך גופו לאדמה ומשם, דרך האלקטרודה של המכשיר, אל מוליך ההגנה E, אל מעטפת המכשיר ונקודת התקלה T, ומשם הזרם יסגור את המעגל החשמלי אל נקודה A. הסכנה להתחשמלות במקרה זה היא רק במקרה שהיתה תקלה ראשונה והיא לא טופלה.

"זינה צפה" היא שיטת הגנה יקרה, מכיוון שיש צורך במשגוח לפיקוח על תקינות הבידוד, וגם "שנאי מבדל" – שגודלו תלוי בעומס שעליו הוא מגן. כמו כן נדרש איתור מדויק של מקום התקלה. לפיכך, השיטה מתאימה לשימוש במיתקנים מוגבלים ומיוחדים (כגון חדרי ניתוח). במקום בו נעשה שימוש ב"זינה צפה" נדרשת נוכחות של אדם (בדרך כלל חשמלאי) שתפקידו להגיב לאחר כל התרעה ע"י ניתוק הציוד הלקוי מהספקת הזרם, ו/או ביצוע התיקון הדרוש בהקדם.

השיטה רגישה לזיהומי רשת הנובעים מהפעלת מיכשור חשמלי עם מיתוג אלקטרוני. "זיהומי הרשת" עלולים לגרום להפעלת התרעת שווא, כאשר המיתקן עצמו תקין. אמנם קיים ציוד משוכלל, המיועד להתגבר על חלק מהבעיות הללו, אך התקנתו מייקרת עוד יותר את השימוש בשיטה.

**ולסיכום:** שיטת "הזינה הצפה" היא אמנם שיטת הגנה יקרה, אך היא הפיתרון היעיל ביותר בכל מקום שבו קיימת סכנה מוגברת לחישמול ו/או בכל מקום בו יש חשיבות עליונה לאמינות ההספקה.



השיטה טובה, ומותרת לשימוש, במקומות בהם משתמשים בגנרטור ארעי המזין מיתקן ארעי שאליו מחוברים מספר מכשירים (יותר ממכשיר אחד). במקרה כזה יש קושי להתקין אלקטרודות לצורך "הארקת שיטה" ו"הארקת הגנה", אשר תעמודנה בדרישת התקנות. התקנה של אלקטרודות כאלה איננה מעשית וגם לא כלכלית. לפיכך, בנסיבות כאלה, שיטת ה"זינה הצפה" מוכרת ומותרת לשימוש כאחת משיטות ההגנה מפני חישמול.

## מתח נמוך מאוד ( מ.ג.מ )

לפני ההסבר על שיטת ההגנה הזאת חשוב לדעת מהם סדרי הגודל של המתחים החשמליים השונים, כפי שהם מוגדרים בתקנות החשמל (ההארקות ואמצעי הגנה בפני חישמול במתח עד 1000 וולט), התשנ"א-1991, סעיף 1, הגדרות:

*"מתח גבוה (מ.ג.) – מתח העולה על 1000 וולט, בין שני מוליכים כלשהם באותה שיטת אספקה;*

*מתח נמוך (מ.נ.) – מתח העולה על 50 וולט ואינו עולה על 1000 וולט, בין שני מוליכים כלשהם באותה שיטת אספקה;*

*מתח נמוך מאד (מ.ג.מ.) – מתח שאינו עולה על 50 וולט, בין שני מוליכים כלשהם באותה שיטת אספקה;"*

המ.ג.מ (מתח נמוך מאוד) הוא מתח שאינו עולה על 50 וולט במקרים רגילים ולא עולה על 24 וולט במקום של סכנה מוגברת. לדוגמה: "אתרים חקלאיים" ו/או "אתרי בנייה" מוגדרים בתקנות החשמל כמקום של "סכנה מוגברת". במקרים אלה, כאשר מופיעה בתקנות הללו דרישה ל-מ.ג.מ – הכוונה היא למתח של 24 וולט.

בהתאם לתקנות החשמל הנ"ל, "מתח נמוך מאד יכול לשמש, לכשעצמו, כאמצעי הגנה מפני חישמול".

ההנחה היא, שבתנאים רגילים – כאשר אדם נוגע ישירות במוליך חי, במתח של עד 50 וולט, או בתנאים של סכנה מוגברת כשהאדם נוגע במתח של עד 24 וולט – האדם אומנם סוגר בגופו את המעגל החשמלי (אם במקור הזינה יש "הארקת שיטה"), אך בשני המקרים התנגדותו של גוף האדם תהיה בדרך כלל מספיק גבוהה כדי למנוע מעבר של זרם בעוצמה גבוהה ומסוכנת דרך הגוף, כך שלא תהיה סכנת חיים.

התקנות מתנות את השימוש ב-מ.ג.מ כאמצעי בטיחות, בקיום מספר תנאים נוספים:

- השיטה לא תהיה מוארקת (כמו בשיטת הפרד המגן);
- לא תותקן הארקת הגנה (כמו בשיטת הפרד המגן);
- אם מקור הזינה כולל הארקת שיטה, כגון רשת החשמל של ח"ח, יש להשתמש ב-"שנאי מבדל" כמו בשיטת הפרד המגן, כשהמתח בסליל המשני של השנאי לא יעלה על מ.ג.מ;

■ שלא כמו בשיטת הפרד המגן – בשימוש במ.מ. מותר לחבר יותר ממכשיר אחד. זאת, מתוך הנחה שגם אם יהיו 2 תקלות בו זמנית, ודרך גופו של האדם ייסגר מעגל חשמלי – עוצמת הזרם שתעבור דרכו לא תהיה מסוכנת.

שנאי "מיטלטל" צריך להיות מסוג "בידוד כפול" גם ב-מ.מ. וגם בשיטת הפרד המגן.

## בידוד מגן ("בידוד כפול")

תפקידה של שיכבת הבידוד הוא למנוע מעבר זרם מהחלק החשמלי של המכשיר לחלקים חיצוניים נגישים או למעטפת המתכתית הנגישה למגע. כלומר: הבידוד הבסיסי של הציוד מיועד למנוע התחשמלות. בציוד חשמלי רגיל מותקנת רק שיכבת בידוד אחת, אשר יכולה להיות הבידוד הבסיסי של המכשיר, ציפוי לכה על המוליכים של ליפופי המנוע, בידוד פלסטי וכדומה. אך, במקרה של כשל בבידוד הבסיסי הזה, עלול מתח התקלה להופיע על המעטפת הנגישה של המכשיר ומי שיחזיק במכשיר או ייגע במעטפת – יסגור מעגל דרך האדמה ויתחשמל.

הסכנה הגדולה בזמן החישמול, היא כאשר שרירי כף היד המחזיקה במכשיר מתכווצים סביבו והאדם לא מסוגל להשתחרר מהציוד המחושמל. סכנה כזאת קיימת, במיוחד, בכל מכשירי העבודה החשמליים המיטלטלים, המוחזקים ביד בשעת העבודה, כגון: מקדחות, מלטשות ועוד. כדי למנוע התחשמלות, היתה ועדיין קיימת (במכשירים שאינם "בידוד כפול"), החובה להתקין "הארקת הגנה" כנדרש בתקנות לגבי כל ציוד בעל עטיפה מתכתית.

חקירה ובדיקה של תאונות חשמל עם ציוד מסוג זה העלתה, כי הגורם העיקרי לתאונות קטלניות היה שיטת "הארקת ההגנה" שלא מילאה את ייעודה. ויותר מכך: דווקא מוליך ההארקה אשר היה אמור להגן על האוחז במכשיר המוארק בשעת השימוש, היה במקרים רבים, זה שגרם לתאונות הקטלניות. למצב זה היו מספר סיבות:

■ שימוש בפתילים מאריכים לא תקינים;

■ תחזוקה לא נאותה של הציוד החשמלי או חוסר בתחזוקה;

■ שליפת התקע מבית התקע ע"י משיכה בפתיל וכד'.

אלה גרמו, במקרים רבים, לניתוק מוליך ההארקה בתוך התקע של המכשיר ו/או ניתוק של הפתיל המאריך. הגרוע ביותר היה שמוליך ההארקה, לא רק שנותק מפין ההארקה של התקע והשאיר את המכשיר ללא הארקה – אלא שחלקו החשוף של המוליך אשר נותק, שנמצא בתוך התקע של המכשיר, נגע במקרים רבים בפין המופע (פאזה) שבתקע, העביר זרם של 230 וולט ישירות לגוף המכשיר וגרם לתאונה קטלנית.

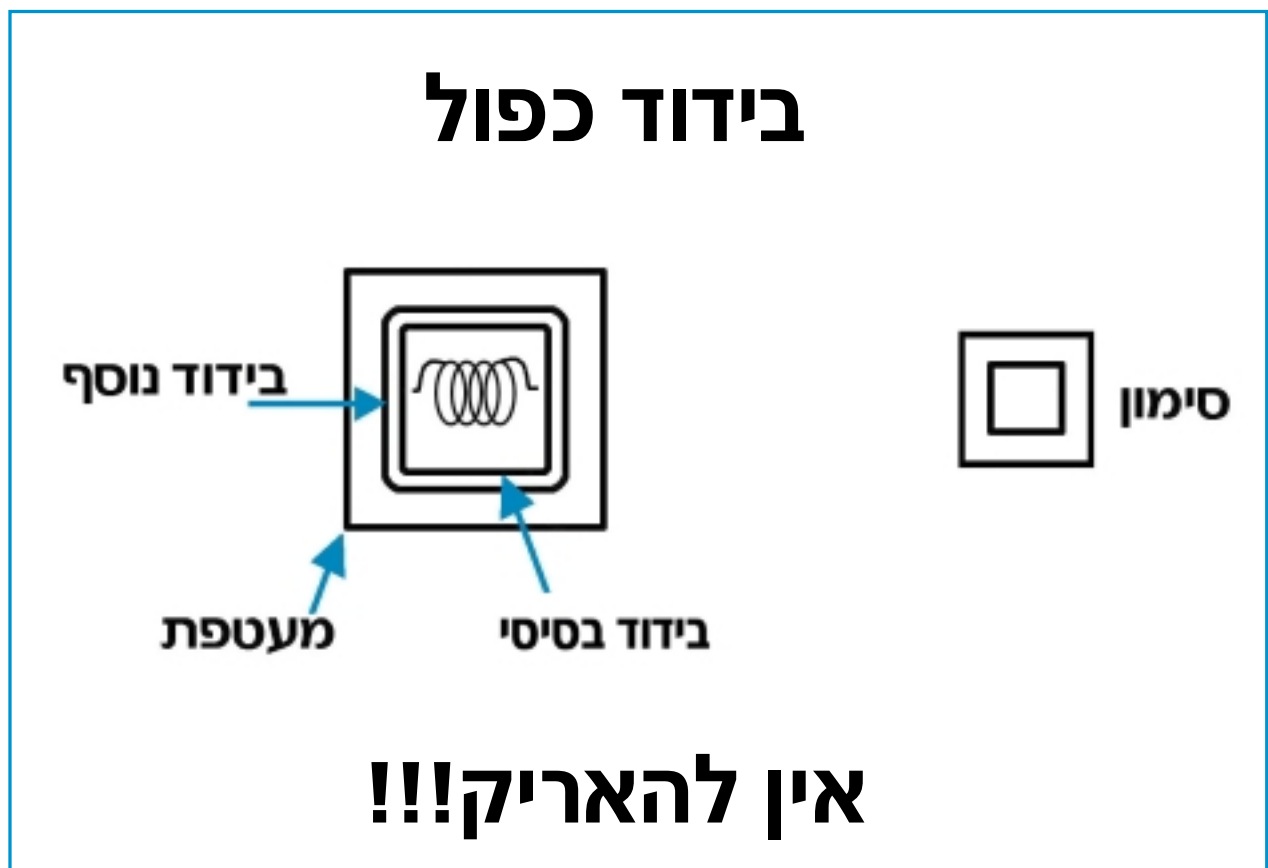
היו גם מקרים בהם המכשיר והתקע היו תקינים, אך ההארקה הראשית במיתקן ו/או במבנה היתה מנותקת. לדוגמה: כאשר שרברב ניתק צינור מים ראשי, או פירק מד מים ללא התקנת גשר הארקה כנדרש (תקנות החשמל (הארקות ואמצעי הגנה בפני חישמול) במתח עד 1000 וולט), (התשנ"א-1991, סעיף 16), גרם מכשיר מקולקל אחד במבנה להופעת מתח מסוכן במערכת ההארקה, והמתח הגיע לכל המכשירים שהיו מחוברים אל מערכת ההארקה במיתקן.

מפסק מגן לזרם דלף, המותקן במיתקן המזין מכשיר חשמלי תקין, איננו מסוגל למנוע תקלה שבה מופיע זרם חשמל במכשיר התקין, המחובר למערכת הארקה משותפת שהושפעה ממצב של תקלה ממכשיר לא תקין של צרכן אחר. מתח כזה, המופיע על מכשיר המוחזק ביד, הופך את המכשיר למלכודת מוות.

הפתרון לבעיה, בעיקר לגבי מכשירים המוחזקים ביד בשעת העבודה (כדוגמת מכשירים חשמליים מיטלטלים שונים – מקדחות, מלטשות, משחזות וכו'), הוא התקנת שתי שכבות בידוד במכשיר: "בידוד בסיסי" בתוספת מערכת נוספת של בידוד. כך שבמקרה של כשל בבידוד הבסיסי – המתח לא יגיע למעטפת המתכתית החיצונית, הנגישה, של הציוד.

כל מכשיר עם בידוד כפול חייב להיות מסומן בסימן הבינלאומי: □ (ריבוע בתוך ריבוע). הסימון חייב להיות מוטבע על גוף המכשיר או להופיע על השלט המוצמד למכשיר. סמל הריבוע הכפול הוא בעצם האישור היחידי לכך שהמכשיר מוגן בשיטת "הבידוד הכפול".

מכשיר עם בידוד כפול מצויד בתקע עם 2 פינים בלבד. אסור לחבר אליו הארקה! זה איננו אומר שכל מכשיר בעל תקע דו-פיני הוא מסוג "בידוד כפול". הדרך היחידה לדעת היא הסימן הבינלאומי שעליו.



היתרון הגדול של "הבידוד הכפול" הוא שההגנה מפני התחשמלות איננה תלויה במיתקן החשמל אלא כלולה במכשיר עצמו. בעל מלאכה המשתמש במכשירים מיטלטלים עם "בידוד כפול" יכול לעבוד בביטחון בכל מקום, מבלי שביטחונו יהיה תלוי במצב המיתקן החשמלי, בשיטת ההגנה במקום, במערכת ההארקה או ברמת התחזוקה של אותו מיתקן. כדי להיות מובטח מפני התחשמלות עליו רק לשמור על שלימות המכשירים שלו, כולל הכבלים והתקעים.

### **אסור להאריק מכשיר עם בידוד כפול, כדי למנוע הופעת מתח תקלה במכשיר כתוצאה ממערכת הארקה פגומה ומחושמלת**

"בידוד כפול" הוא השיטה הטובה ביותר להגנה מפני חישמול בציוד הניזון ממתח של 230 וולט. לכן, מומלץ לבחור לשימוש בבית ו/או לעבודה, רק מכשירים מסוג בידוד כפול (אם קיימים). במקרים מסוימים, השימוש במכשיר עם "בידוד כפול" הוא לא רק המלצה אלא חובה.

החובה להשתמש בהגנה מסוג "בידוד כפול" מופיעה, לדוגמה, בתקנים ובתקנות כחלק מאפשרויות ההגנה מפני חישמול:

■ בישראל קיים תקן ישראלי רשמי, המחייב את כל אזרחי המדינה האומר: "לא י"בא, לא ייצר, לא ימכור ולא ישתמש אדם, במקדחה חשמלית בעלת קוטר מקדח מקסימלי של 16 מ"מ ועד בכלל" (הגדרה למקדחה ביתית) "אלא אם כן, היא מסוג בידוד כפול בלבד."

■ בתקנות הבטיחות בעבודה (חשמל), התש"ן-1990, תקנה מס. 6, קובעת שאדם לא ישתמש במכשיר חשמלי מיטלטל, המוחזק ביד בעת השימוש בו, אשר איננו מוגן נגד התחשמלות באחת מהשיטות הבאות:

- המכשיר יהיה מסוג II (בידוד כפול) או מסוג III (מתח נמוך מאוד);

- "מותר להשתמש במכשיר מיטלטל ידני כבד מסוג I המוחזק ביד (כגון מקדחה שקוטר המקדח שלה מעל ל-16 מ"מ) ובלבד שיוזן דרך מפסק מגן לזרם דלף ברגישות של 0.03 אמפר (30 מיליאמפר) לכל היותר.."

- "או דרך שנאי מבדל" (מכשיר אחד בלבד)."

המעטפת של מיכשור מסוג "בידוד כפול" איננה חייבת להיות עשויה מחומר פלסטי. היא יכולה להיות גם מתכתית - בתנאי שעל המכשיר מופיע הסימן הבינלאומי של "בידוד כפול".

המשמעות של "בידוד כפול" היא שקיים בידוד מסוג זה רק בין חלקי החשמל שבתוך המכשיר לבין המעטפת הנגישה שלו. זה איננו אומר שקיים בידוד כלשהו בין המקדח לידיית האחיזה של הכלי. לנקודה זו יש חשיבות רבה לבטיחות כאשר, לדוגמה, קודחים חור בקיר - המקדח עלול לפגוע במוליך מופע (פאזה) חי המותקן בתוך צינור אשר קבור מתחת לטיח. מי שאוחז או נוגע בידיית האחיזה של המקדחה עלול לקבל מכת חשמל. כדי למנוע תאונות כאלה יש לנקוט באמצעי זהירות נוספים, כגון: איתור מיקום צינורות החשמל באמצעות מיכשור מתאים לפני תחילת הקדיחה, ו/או ניתוק הספקת זרם החשמל לאותם קטעים של המערכת בקיר בו מתכוונים לקדוח וכו'.