

סוג ההארקה וזרם קצר בלוח כפונקציה בבחירת רכיב להגנת ברקים

מייק גרין- מהנדס חשמל

www.lightning.co.il

מבוא

התפתחות הטכנולוגיה בעשור האחרון של המאה הקודם האיץ תחרות רחבה בתחומים שונים לענות על הדרישות השונות של תהליכי ההייטק המתפתחים. אם נשווה את התקופה הפורייה הזאת בעלת קצב פיתוח מהיר ביותר למרוץ, אז המתכנן זרם חזק היה בעשירית התחתונה בניסיון לסגור את הפער בין דרישות העולם ההייטק ובין והטכנולוגיות הקיימות ברשות המתכנן לחלוקה זרם חזק. לא הייתה הבעיה בכמות האנרגיה אלא באיכות האנרגיה החשמלית. בתקופה ההיא האתגרים של חשמל אל-פסק והפראות הרמוניות שאיראו את צרכני ההייטק ומתכנן החשמל כאחד מגששים בחושך למצוא שיטות לספק אנרגיה חשמלית איכותית לתהליכי העתיד.

מועטים הם המתכננים בשנות השמונים שהכירו תופעות הרמוניות בעבודתם. עד סוף שנות התשעים קשה היה למצוא מהנדס ללא סיפור פיקנטי לספר על הנושא. כך גם בתחום ההגנות מפני מתח יתר, אך בפיגור של עשור. מתכננים היום מתעוררים לבעיות הקשורות למפגש בין פריקה אטמוספרית ובין ציוד וכלים ההולכים ונהיים יותר מתוחכמים בעזרת אלקטרוניקה שהולכת וקטנה ונהיה פגיעה על ידי מתחים נמוכים יותר ויותר. חברות הביטוח רושמים תשלומים רבים יותר בגין פגיעת ברקים כל שנה חולפת, לא מפני שיש יותר ברקים או שהברק יותר חזק כל שנה, אלא מפני שמיקרופרוססורים הולכים ונכנסים ליותר ויותר מקומות והולכים וקטנים יותר ויותר.

על אף העובדות הללו, התכנון הממוצע מתחיל ומסתיי ב"מגן ברק של 100 ק"א". מספר מועט של מתקנים מראים שקיים הבדל בין הטיפול בברק בלוח הראשי לעומת הטיפול בלוחות המשנה, המתבטא בצורת הגל. אי לכך נדיר למצוא תכנון מושלם הלוקח בחשבון את כל הצרכים של המתקן, מבטיחות ההארקה ועד לאמינות ההספקה.

שיקולי התכנון

תכנון נכון לוקח בחשבון את שיקולים הבאים:

(1) האם נכנס ללוח כבל המגיע מבחוץ?

אם קיים מצב זה, והמבנה בנוי בטון מזוין אזי צפוי פגיעה מסוג 10/350. הזרם הצפוי המקובל לתכנון הינו 100kA המתחלק בין המוליכים הנכנסים. אם לא קיים מצב כזה, אזי אנו צפויים למתח יתר כתוצאה מהשראה. צורת הגל הינו 8/20 והאמפליטודה המקובלת לתכנון הינו 20kA לכל מוליך.

(2) האם המתקן תלת פאזי או חד פאזי?

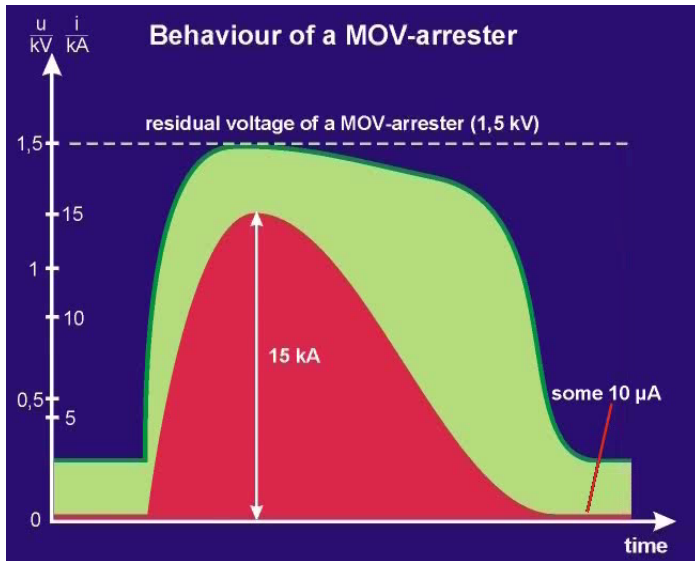
במתקן חד פאזי, הזרם מתחלק בין 2 מוליכים בלבד, ובכך הרכיב חייב לספוג 50kA בכל קוטב.

במתקן תלת פאזי, הזרם מתחלק בין 4 מוליכים, ובכך די ב-25kA לכל קוטב.

3) מה זרם קצר המחושב על פסי צבירה של הלוח?

כל מגן מפני מתח יתר מוריד את המתח לאדמה על ידי קצר זמני בין הפזה ובין האדמה. דרך קצר

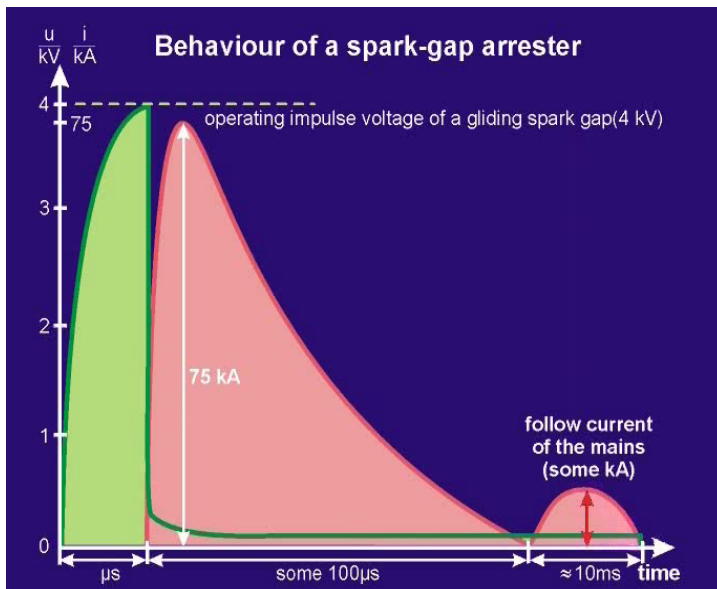
זה זורם גם זרם קצר RMS המלא של המערכת. אם רכיב ההגנה הינו מסוג וריסטור, הזרם זורם לאדמה-של הברק ושל המערכת- רק כל עוד שמתח היתר נמצא מעל מתח הנומינלי של הווריסטור. איור מס' 1 מראה את הליניאריות בין מתח זרם. ככל שהמתח עולה, המוליכות עולה, והזרם יותר חזק. זרימת הזרם משחרר את המתח ובכך הזרם קטן ומפסיק איך שהמתח יורד. ובכך הזרם RMS מפסיק עם מעבר הברק לאחר 1-2ms. חשוב לשים לב שעל אף המנגנון היעיל הזה, המייצר מוליד "עבה"



איור 1: התנהגות של וריסטור למתח יתר

וחזק אל האדמה, ה"מוליד" בכל זאת בעל יכולות מוגבלות להולכת זרם גבוה יחסי למפרץ. אי לכך, היכולת להוריד זרם כתוצאה מברק מוגבל ומסומן ברכיבים טיפוסים להיות בין 20-40 ק"א. אומנם זמן הפעולה של רכיב כזה לא עולה על מלי-שניות בודדות, סביר להניח שאורך חיי רכיב כזה יהיה אחרת בלוחות חשמל בעלי זרם קצר של 50 ק"א לעומת אלה בעלי מחצית זרם קצר זה.

לעומת הווריסטור, איור מס' 2 מראה צורת העבודה של מגן מסוג מפרץ (spark gap). אין כאן ליניאריות. עד שהמתח לא מגיע לנקודת ההצתה של המפרץ, אין זרם. כאשר המתח עובר את נקודת ההצתה, המפרץ פורץ ויוצר קשת חשמלית המובילה זרם הברק אל האדמה. יחד עם זרם הברק, זרם RMS זורם דרך הקשת. הקשת קיימת כל עוד שמתח קיים בין האלקטרודות, כלומר, עד שהמתח RMS יורד ל 0V. ובכך, על אף שזרם הברק פוסק לאחר 1-2ms



איור 2: התנהגות של מפרץ למתח יתר

הזרם קצר RMS לא יפסוק עד שגל הסינוסודאלי יורד ל 0s לאחר כעד 10ms. לכן, הרכיב חייב לעמוד תחת הזרם קצר RMS של הלוח ללא להיפגע.

4) מהם דרישות הלקוח לאמינות ההספקה? ומה הגודל של מפסקונתיך הראשי? כפי שהוסבר בסעיף הקודם, מפרץ בלוח חשמל מעביר זרם קצר RMS של המערכת לאדמה לתקופה של חצי מחזור, כ-10mS. זמן זה אמור להפעיל נתיך או מפסק אוטומטי. מפרצים שונים מסוגלים להגביל את זרם הקצר RMS ברמות הצלחה שונות. הזולים ביותר לא מגבילים כמעט בכלל, ולפיכך המתקין רכיב כזה צריך להודיע ללקוחותיו המשתמשים במתקן זה שבעת פגיעת ברק סביר להניח שיהיה צורך לבוא להרים את המפסק. רוב הלקוחות לא יסכימו לזה ולכן יש צורך להתאים את היכולת של הרכיב להגביל זרם קצר RMS לזרם קצר המחושב על פסי הצבירה (סעיף קודם) וגודל המבטח הראשי של הלוח. ישנם מקרים רבים שבהם המבטח הראשי מתאים לזרם נומינלי של 32A וזרם קצר מחושב של 50kA RMS. במצב כזה, הרכיב חייב להגביל זרם קצר של 50kA לרמה של כ-1700A על מנת להבטיח אמינות ההספקה. נתון זה הינו המאפיין המשפיע ביותר על עלות הרכיב לצרכן. הזרם RMS העובר נקרא Mains Follow Current. הערך חייב להיות מיוחס לזרם קצר.

5) מהי רמת מתח המרבי המותר בלוח?

רמת מתח מרבי המותר בלוח נקרא מתח השיורי ומסומן Up-Voltage Protection. ללוחות תעשייתיים קיימות תקנים המגדירים חסינות הציוד המותקן בלוח. לרוב, מקובל שציוד לשימוש בלוח ראשי תעשייתי חייב להיות חסין מפני מתח יתר של 4kV. לוחות משניים חסינים מפני מתח יתר של עד 2kV. בשנים האחרונות התקן CE הנפוץ והקליל גרם לכך שחסינות מקובלת לכל מוצר ביתי הינו 1.5kV. אי לכך יש צורך להבין מי הם הצרכנים הניזונים מהלוח החלוקה. אם הלוח הראשי המקבל הזנה מבחוץ מזין לוחות משנה בלבד, ללא מעגלים בודדים המזינים משרדים או פיקוד, אזי אפשר להסתפק ב Up=4kV, בלוחות המשנה מתקינים מנחיתי מתח יתר להמשיך ולהוריד את המתח ל-1.5kV. אבל אם בלוח זה יש ציוד עדין או ציוד בקרה, ואז מעגלים בודדים המזינים משרדיים, אזי חייבים להוריד את המתח השיורי לפחות בשדות אלה ל-1.5kV וזה על ידי השקעה ברכיב יקר יותר המוריד את המתח לרמה הרצויה בכל הלוח, או להתקין על השדה המזין צרכנים שאינם תעשייתיים מנחית מתח יתר מסוג II. במצב זה, יש צורך לתאם עכבות בין המנחית מתח יתר והמנחית ברק על מנת למנוע פיצוץ המנחית מתח יתר לפני שיופעל המנחית ברק. הרי המנחית ברק הינו מסוג מפרץ ולא יופעל עד מתח היתר יעלה מעל מתח ההצתה שלו מתי שהמנחית מתח יתר הינו וריסטור השומר על מתח הרבה פחות ממתח ההצתה של המפרץ. אי לכך, יש צורך להוסיף עכבה בטור לוריסטור לעזור להפיל מתח הצתה על המפרץ.

6) איזה סוג הארקה יש למבנה?

כל מבנה משנת 1985 אמור להיות בעל טבעת גישור והארקת יסודות על פי חוק. זה מאפשר איפוס על ידי חברת החשמל, המקנה למבנה הארקה מסוג TNCS (Terra Neutral Common (then) Separate) (אדמה - Terra). אך טעות היא לצאת מתוך ההנחה שלכל מבנה שנבנה מאז בעל שיטת הארקה זו. יוצר מצב "חברתי" בארץ שרק חברת החשמל מאפס הארקות, חשמלאים פרטיים לא רגילים לאפס הארקה באופן עצמאי. לכן, סביר להניח שאין שיטת TNCS בכל מבנה אשר אין לה חיבור ח"ח משלה. אם המבנה מקבל הזנה

TNCS אלה שיטת הארקה הנקראת TT (Terra Terra) . לשנאי המזין יש את ההארקה שלו ולמבנה המוזן את האדמה שלו.

אמינות ההספקה בלוחות קטנים

מהשיקולים הנ"ל יוצא שעל מנת לקבל אמינות ההספקה בעת פגיעת ברק יש חשיבות רבה להתאמת רכיב המגן לזרם קצר של הלוח בכל מתקן אשר כבל הזנה שלו מגיע מבחוץ. יש שני פנים לעמידה מפני זרם קצר:

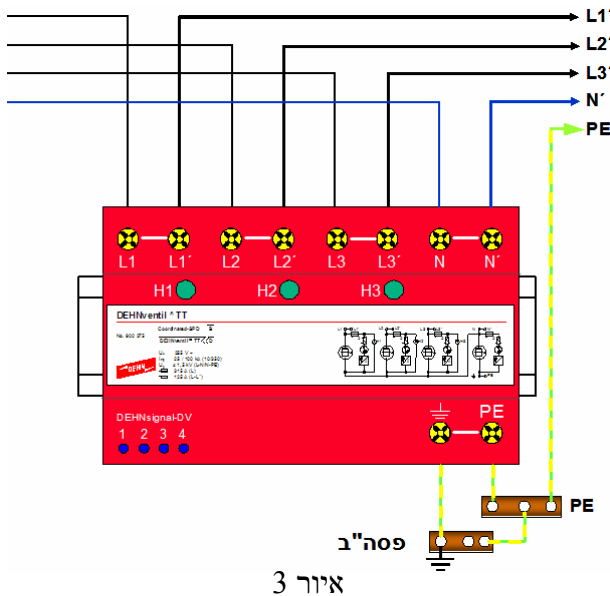
- היכולת להעביר את זרם קצר המלא של הלוח ללא להיפגע.
- היכולת להגביל זרם קצר של הלוח למימדים שלו ייגרם נזק לרכיב וגם לא יופעל המאבטח של הלוח.

ניתן לספק את הסעיף הראשון על ידי התקנת נתיך המומלץ על ידי היצרן. אך אצל רב היצרנים נתון זה גם מבטיח שבזרם קצר מרבי המוגדר, כל מבטח קטן מערך הנתון המומלץ יופעל. הסעיף השני הינו נתון נפרד המכונה Mains Follow Current- I_f לפעמים מכונה Quenching ולא נמצא אצל מרבית ההגנות בשוק היום. משמעות הנתון הינה שהרכיב מגביל זרם קצר מרבי המוגדר I_k לרמה של זרם המוגדר I_f . לדוגמא: בלוח חשמל בעל מפסק ראשי של 32A עם זרם קצר של 50kA, הרכיב יהיה חייב להגביל זרם קצר של 50kA לרמה של קצר אשר לא יפעיל את המפסק 32A תוך מחזור אחד לפחות.

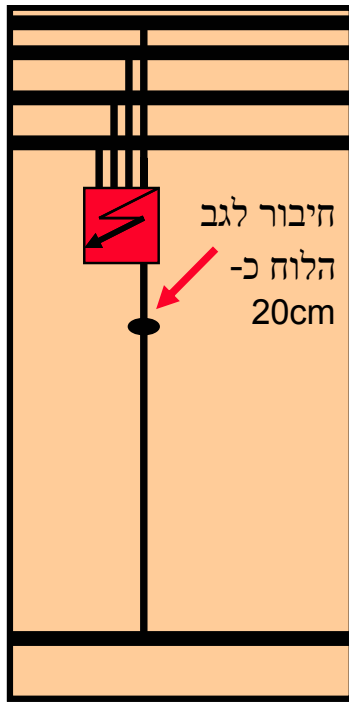
יחד עם זאת יש חשיבות לאותו רכיב להיות בעל יכולת להוריד את מתח השיורי בלוח לרמה מקובלת לצידוד הניזון מלוח זה. לכן רכיב מומלץ להשיג אמינות ההספקה גם יהיה בעל יכולת להוריד מתח שיורי בלוח לרמה של לא יותר מ 1500V איך שזורם דרכו 50KArms.

משמעות של זרם ברק גבוה

מפני שזרם הברק מגיע למימדים גבוהים כתוצאה מניסיון להשוות פוטנציאלים בין האדמה המקומית לאדמה הזרה הנגררת לתוך הלוח על ידי הכבל המגיע מבחוץ, ישנו מפל מתח יחסי לעכבה של מסלול הזרם. בלקחת בחשבון את התנגדות האוהמית של הנחושת יחד עם עכבה של כמיקרו-המרי למטר, מתברר שהמתח השיורי שרצינו מתקלקל עם כל סנטימטר של חוט. אי לכך יש חשיבות לדאוג לכך שאורך חוט נושא זרם ברק אל הרכיב ומחוצו יהיה פחות מחצי מטר. בלוח ראשי בגובה של 2.05 מטר, קשה לממש דרישה זו. הפתרון נמצא על ידי השימוש



בחיבור טורי של הפאזות בלוח דרך ברגים כפולים לכל אחד מהפאזות. חיבור דומה לזה שבאיור 3 מאפשר לחוט לוח למקם את מגן הברק בצורה אופטימאלית עם חצי מטר מוליך בין מפסק



איור 4

חשוב לעגן היטב את מוליך ההארקה אל גב הלוח בכל מקרה ולא רק במטרות של השוואת פוטנציאלים. החשיבות לפעולה זו נובעת מכוחות האלקטרו-מכאניות של זרם הברק וזרם הקצר יחד אשר פועלות להוציא את המוליכים ממהדקי הרכיב.

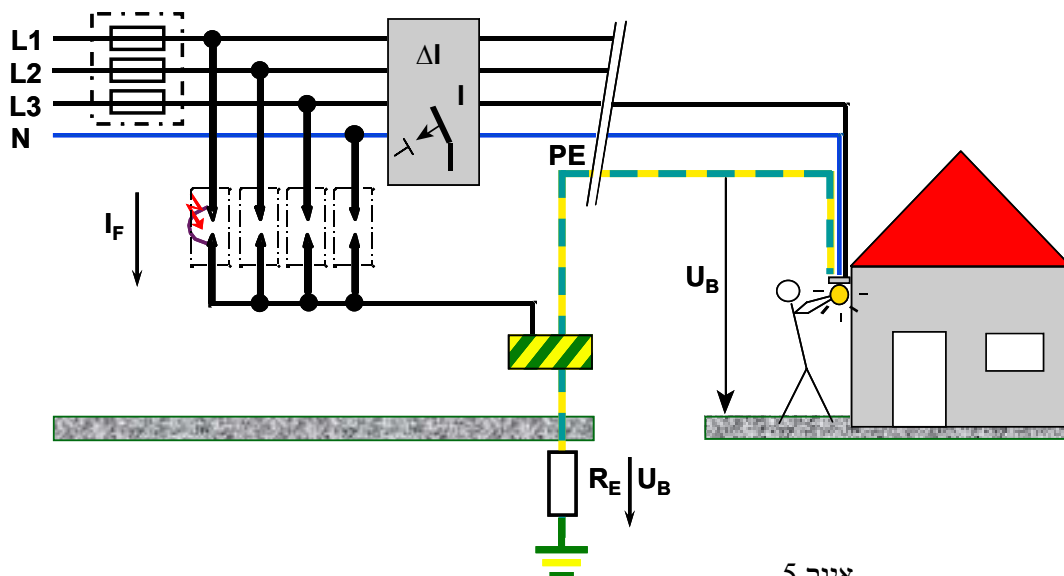
משמעות חיבור רכיב להארקת TT

על אף העובדה שרוב המכריע של מתקני חשמל אכן בעלי סוג הארקה של TNCS, יש מגמה אצל יצרני המגנים מפני ברק למכור רכיב אחד- מסוג TT- להתקנה במתקנים בעלי הארקה מסוגים TNCS ו-TNS.

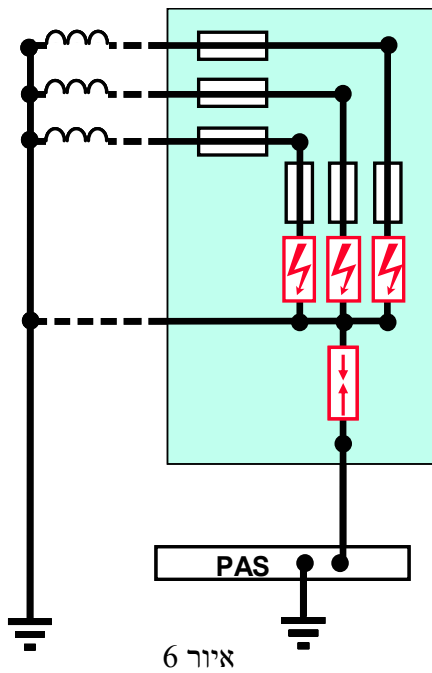
מגמה שיווקי זאת מבוסס על כמה עקרונות חשובים, חלקם בטיחותיים וחלקם מקצועיים.

כפי שטענתי לעיל, אין בטחון שמתקן חדש יהיה בעל הארקה מסוג TNCS. מהנדס המאפיין מתקן חשמל לרוב מתכנן על נייר לפני בניית המתקן. יש מקרים שתוכניות יוצאות לביצוע על ידי חשמלאי בעל רישיון מתאים לתכנון גודל החיבור וניתק הקשר עם המתכנן. איפוס או אי-איפוס המתקן, בצורה ארעית או לתמיד בידיים המורשים שלו.

איור 5 מדגים את המצב של TT הטיפוסי. הבעיה המודגשת הינו של רכיב מגן מתח יתר המתיישן או מתקלקל חלקית ומעביר זליגה של כמה אמפרים. יכול להיות מצב של עשרות אמפרים זורמים לאדמה במצב המודגש, והמאבטח הראשי לא יופעל. מצב זה משאיר מתח פאזי על פסה"ב. כל כלי מתכתי מוארק במתקן נמצא עם פוטנציאל של מתח פאזי בין הגוף ובין האדמה, ומחכה לאדם לבוא לסגור פוטנציאל דרכו.



איור 5



איור 6

הדרך לטפל בבעיה זו הינו לדאוג לשיטת חיבור אשר לא יאפשר מצב מסוכן זה להתקיים. לעומת החיבור המוכר של מגני ברק לשיטה TNCS על ידי 4 רכיבים דומים המחוברים כל אחד בין מוליך פעיל ובין ההארקה, איור 6 מראה את אופן החיבור המתאים לסוג הארקה TT.

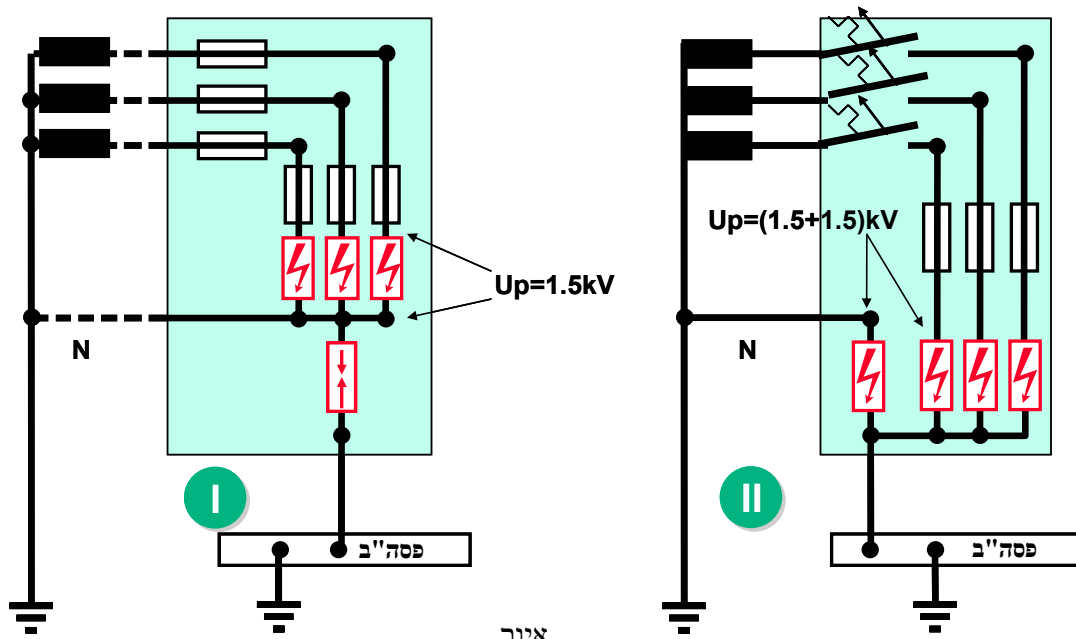
כל אחד משלושת הפאזות מתחבר אל רכיב הגנה. את רכיבי ההגנה מחברים בצידם השני בכוכב אל האפס. בין האפס ובין ההארקה מחברים רכיב מסוג מפרץ. אין זה משנה איזה רכיבים מחוברים אל הפאזות, אך השימוש דווקא במפרץ בין נקודת הכוכב ובין ההארקה הכרחי. עכשיו ניתן לראות שמצב של רכיב מוליך חלקי לא ייגרם למתח פאזי על הפסה"ב.

אומנם החשש להתקנת רכיב מסוג TNCS במתקן בעל מערכת הארקה מסוג TT הינו סיבה מוצדקת לאפיין רכיבי

TT בכל מתקן, קיימת יתרון נוסף להרכב של מפרצים מסוג TT על הרכב המקובל לTNCS.

יתרון זה מתייחס ליכולת של הרכב TT לתת פתרון הולם למתח יתר כתוצאה ממיתוגים. מתח יתר ממיתוג הינו בין פאזה ואפס. אם מחברים שני וריסטורים גב לגב בדומה לצורת החבור באיור II7, סך המתח השיורי (Up) למיתוג הינו $3kV$ - ערך גבוה מדי. באיור I7 המתח השיורי בין פאזה לאפס הינו $1.5kV$ בלבד.

אי לכך ובהתאם לעובדה שרכיבים איכותיים נותנים פתרון של סוג I+II או C+B ללוח חשמל על ידי הרכב של מפרצים ווריסטורים באותו רכיב, כדי לאפיין סוג TT לשלושת הסוגים של הארקה הגנה: TT, TNCS, וTNS.



איור