

# סלקטיביות ופונקציות מתקדמות במפסקי מתח נמוך

בעידן הנוכחי אנו תלויים באספקת חשמל רציפה ואמינה • ברוב המקרים מספיקות ארבע שיטות הסלקטיביות להגנה על מתקן • אך בשוק קיימים פתרונות גם למצבים מורכבים וספציפיים יותר

שרון כביר

קרובים מאד בערכיהם, או אם ישנם מפסקים בעלי אותו גודל. העקרון המרכזי של השיטה הוא ביצוע השהיית זמן במפסק העליון, כך שמרחיקים את נקודת המפגש בין שני הגרפים ומרחיבים את התחום. פעולת המפסקים תהיה סלקטיבית, כאשר זרם הקצר במפסק הקטן יותר יהיה בתחום המושהה של המפסק מעליו.

השיטה השלישית, סלקטיביות באנרגיה, רלוונטית לערכי זרמי קצר שמעבר לתחום העבודה והכיוון של יחידות ההגנה במפסקים. לכן חובה לעבוד רק עם הטבלאות שהיצרן מפרסם, אשר הן תוצאות של בדיקות מעבדה בתנאים מסויימים כמו טמפרטורה, זרמי קצר מקסימליים, כיוון המפסקים בזמן הבדיקות וכדומה. שיטה זו מבוססת על פתיחה חלקית או מלאה של המגעים ותלויה באנרגיה המצטברת בתאי הכיבוי בזמן פתיחת המגעים.

השיטה הרביעית, סלקטיביות לוגית (ZSI - ZONE SELECTIVE INTERLOCKING) היא בין המתקדמות ביותר כיום. היא מבוצעת בנוסף

## סוגים שונים של סלקטיביות

השיטה הראשונה, סלקטיביות בזרם, היא השיטה הנפוצה והפשוטה ביותר: השימוש בה נעשה בעיקר במעגלי חלוקה סופיים. לשיטה זו יש מגבלה מרכזית, שהיא קבלת סלקטיביות מלאה, רק עד לנקודת הניתוק המגנטי של המפסק במעלה הזרם. כל זרם תקלה בערך גבוה מ- $I_s$  יפעיל את שני המפסקים.

השיטה תלויה באופייני הניתוק של המפסקים, כאשר יש לזכור כי אופיינים אלו הם קבועים. ברוב המקרים זרם הניתוק המגנטי במאזי"ם הוא פי עשרה מהזרם הנקוב. לדוגמא: מא"ז של 10A דגם S201 M C10-ABB יפעל מיידית בזרם תקלה גבוה מ-100A.

השיטה השנייה, סלקטיביות בזמן, גם היא נפוצה ביותר, בעיקר במפסקי זרם שבהם ניתן לכוון את ההשהיית בזרמי קצר. שיטה זו מגדילה את גבול הסלקטיביות ומרחיקה את עוצמת הזרם  $I_s$  ימינה, דבר המאפשר קבלת דיוק רב יותר ותחום רחב יותר. בשיטה זו משתמשים בעיקר כאשר זרמי הקצר הצפויים בין שתי נקודות במעגל

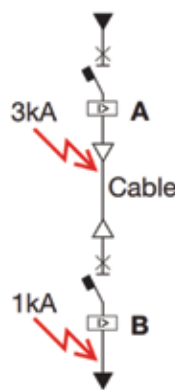
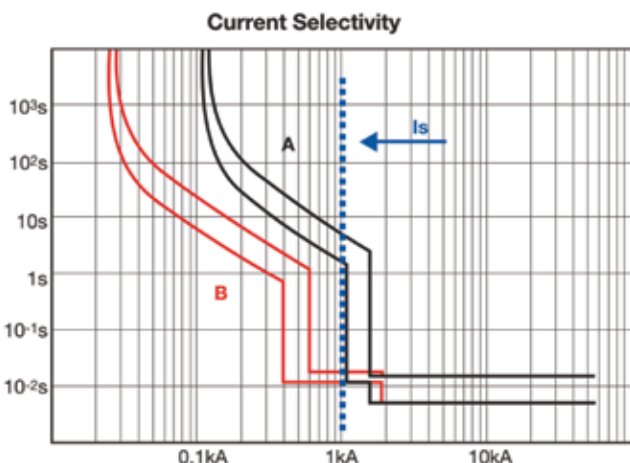
בעידן הנוכחי אנו נעשים תלויים יותר ויותר באספקת חשמל רציפה ואמינה: מקורות מידע רבים נשמרים בשרתים, ומחייבים אמינות גבוהה במערך החשמלי. אחת מהטכניקות להבטחת אמינות אספקה היא ביצוע תאימות וכוון הגנות בין יחידות ההגנה של המפסקים – שיטה המוכרת בשם הנפוץ "סלקטיביות". למעשה, קיימות ארבע שיטות של סלקטיביות העונות על רוב הדרישות במתקן חשמלי:

1. סלקטיביות בזרם
2. סלקטיביות בזמן
3. סלקטיביות באנרגיה
4. סלקטיביות לוגית (ZSI).

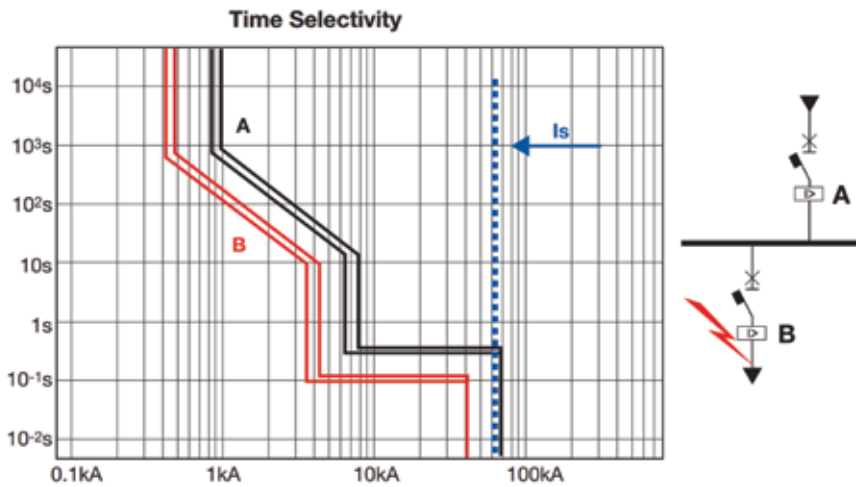
במאמר זה נציג פתרונות חדשים הקיימים במפסקי אויר למתח נמוך המשלימים את ההגנה על המתקן: פונקציות הגנה מתקדמות נועדו לתת מענה למצבים שבהם אין אפשרות לבצע את אחת מהשיטות שהוזכרו לעיל, או לחילופין על מנת לשפר ולשדרג את מערך ההגנה על המתקן. נסביר באופן כללי את השיטות שהוזכרו לעיל ולאחר מכן נציג את הפונקציות המתקדמות.

## סלקטיביות באנרגיה

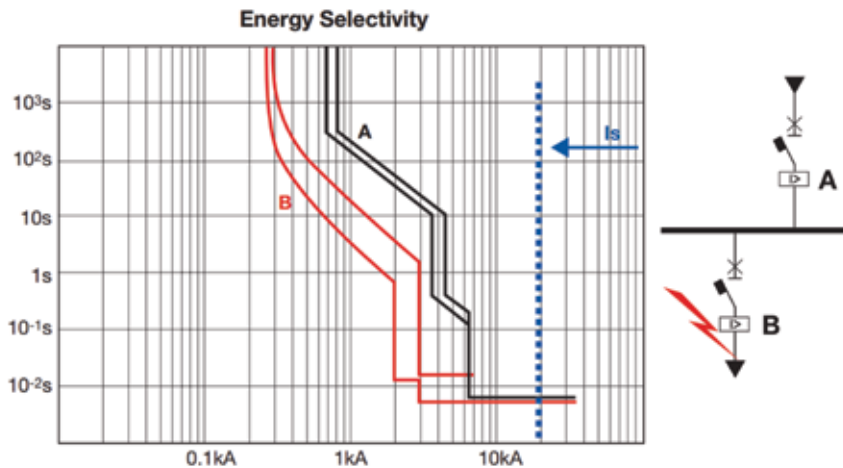
סלקטיביות בזרמי קצר גבוהים



סלקטיביות בזמן  
שיטה נפוצה עם תחום רחב יותר



סלקטיביות בזרם  
תחום מוגבל מאוד



שה לבצע סלקטיביות בין מפסקי זרם זעירים (מא"ז) בשל מבנהו הקבוע וזמן תגובתו המהיר - כיום ניתן להשתמש במא"ז סלקטיבי ייעודי

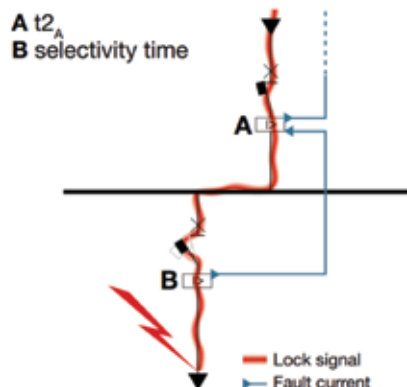
הוראת "LOCK" מהמפסק שמתחתיו, כאשר המפסק שלא קיבל הוראת "LOCK" הוא המפסק הקרוב ביותר לתקלה. במקרה זה המפסק הקרוב לתקלה מפעיל את ההגנה המיידית בזמן tsel. כל מפסק שמקבל הוראת "LOCK" מעביר את

לסלקטיביות בזמן ומגיעה כסטנדרט במפסקי אור.

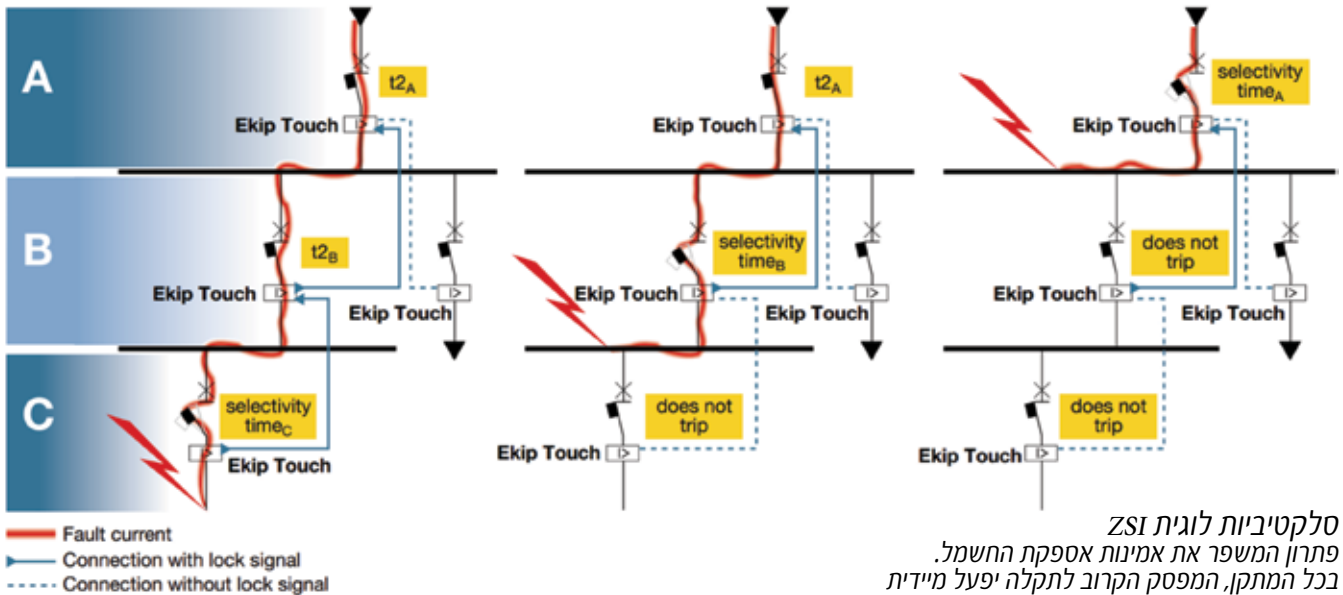
שיטה זו פועלת במהירויות תגובה מהירות בהרבה ועל כן מקטינה נזקים בלוח החשמל, בכבלים, בצידוד וכדומה. בשיטה זו משתמשים כאשר זרמי הקצר גבוהים במיוחד, כאשר ישנה חשיבות עליונה לניתוק לא רצוי של צרכנים וכאשר זרמי הקצר קרובים בערכיהם. היא מתאימה כאשר רוצים לבצע סלקטיביות בין רשתות מתח נמוך למתח גבוה ובין רשתות המכילות גנרטורים.

עקרון הפעולה של שיטה זו מתבסס על חיבור כבל תקשורת בסיסי בין המפסקים. בכל מפסק מכוונים שני זמני ניתוק:

- t2 - סלקטיביות בזמן (מאות מילישניות)
  - tsel - סלקטיביות לוגית (עשרות מילישניות).
- בזמן הופעת זרם קצר בודק כל מפסק, ממקום התקלה לכיוון מעלה הזרם, האם התקבלה



ההשהיה ממצב tsel למצב "הגנה מושהית", t2, וכך מובטח כי המפסק הקרוב ביותר לקצר ינתק את התקלה בזמן קצר מאוד. אם לאחר זמן tsel שהוגדר לא נותקה התקלה - יפעל המפסק שמעל בזמן t2. באיור ניתן לראות כי בכל מקום בלוח החשמל שבו יתרחש קצר - יפעל המפסק הקרוב ביותר בזמן הקצר ביותר.



## סלקטיביות לוגית ZSI

פתרון המשפר את אמינות אספקת החשמל בכל המתקן, המפסק הקרוב לתקלה יפעל מיידית

## פונקציות מתקדמות

- 1. Dual setting - סט כפול של ערכי כיוון.
- 2. Double G - הגנה כפולה מפני זרמי קצר לאדמה בהזנה למפסק וביציאה מהמפסק.
- 3. במקרה של קצר בהזנה למפסק תתאפשר סלקטיביות מול מתח גבוה (הפסקת מפסק מ.ג.).
- 4. Directional Protection - הגנה כיוונית המאפשרת ביצוע כיוול הגנות בהתאם לכיוון זרימת האנרגיה, ותתאפשר הגנה על קווי שנאים המחוברים במקביל.
- 5. EFDP - יחידת הגנה למפסקים יצוקים, עם יכולות זיהוי זרמי קצר ותגובה במיקרו שניות.

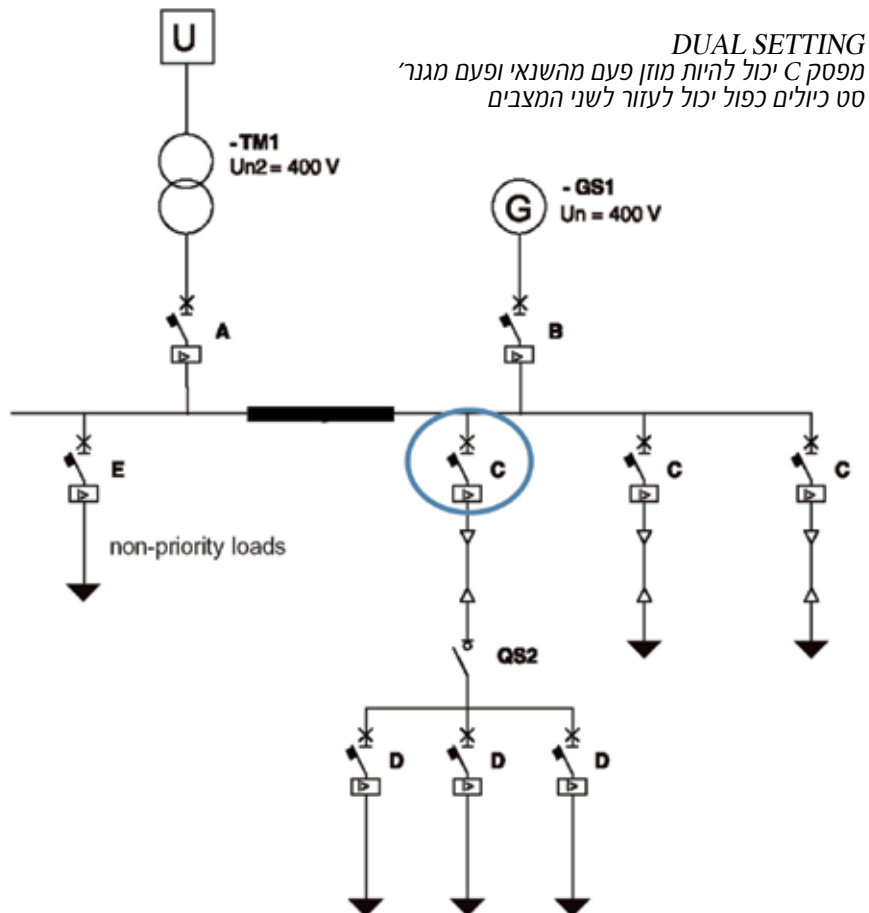
- 1. Dual setting - סט כפול של ערכי כיוון.
- 2. Double G - הגנה כפולה מפני זרמי קצר לאדמה בהזנה למפסק וביציאה מהמפסק.
- 3. במקרה של קצר בהזנה למפסק תתאפשר סלקטיביות מול מתח גבוה (הפסקת מפסק מ.ג.).
- 4. Directional Protection - הגנה כיוונית המאפשרת ביצוע כיוול הגנות בהתאם לכיוון זרימת האנרגיה, ותתאפשר הגנה על קווי שנאים המחוברים במקביל.
- 5. EFDP - יחידת הגנה למפסקים יצוקים, עם יכולות זיהוי זרמי קצר ותגובה במיקרו שניות.

**2** מקרה שבו צרכן מחובר לשני מקורות אספקה המזינים אותו ממקומות שונים נוצר קושי ביצירת סלקטיביות בין מפסקים, כיוון שהמפסק עשוי להיות מוזן מכיוונים שונים

- 6. IEC61850 - פרוטוקול חדש במפסקי מתח נמוך המאפשר חיבור לרשת מערך מ.ג.
- 7. S750 - מא"ז לביצוע סלקטיביות בזרמים נמוכים.

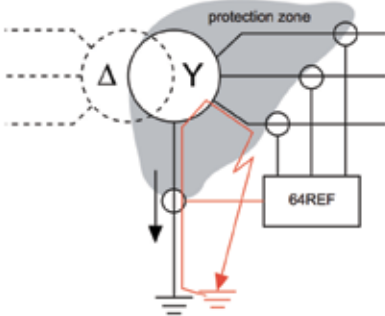
## Dual setting - סט כיוונים כפול

במתקנים שבהם מחובר גנרטור גיבוי או UPS ייתכן מצב שבו המפסק הראשי (ראש קבוצה) יהיה מחובר לחח"י ובמצב חירום דרך גנרטור. ברשת קשיחה ערכי הזרם קצר גבוהים מערכי הזרם קצר בחיבור לגנרטור ומצב זה יכול להיות בעייתי מבחינת כיוון ההגנות במפסק; בזמן חיבור דרך גנרטור ייתכן מצב שבתקלת זרם קצר המפסק לא יפסיק בזמן. במקרה זה ניתן להשתמש בפונקציה



**DUAL SETTING**  
מפסק C יכול להיות מוזן פעם מהשנאי ופעם מגנר סט כיוולים כפול יכול לעזור לשני המצבים

## קצר בהזנה למפסק מ.ג.



המחשה לאיזור לא מוגן

### הגנה כיוונית

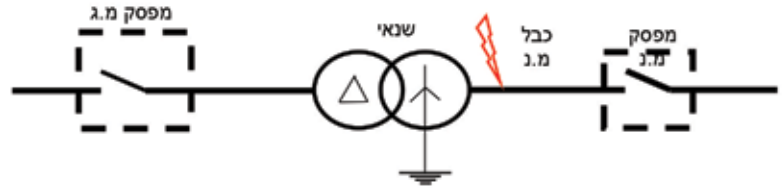
במקרה של שני מקורות אספקה זהים לאותו פס צבירה שני המפסקים, QF1 ו-QF2, מכוונים לאותם ערכים של זרם ומגן. במקרה של קצר בהזנה לאחד המפסקים, שני המפסקים יפעלו וכל המתקן יושבת. על מנת להתגבר על תופעה זו ניתן להשתמש בהגנה כיוונית במפסקי מתח נמוך.

ביחידות ההגנה המתקדמות ניתן לפתור בעיה זו על ידי הגדרת כיוון זרימת האנרגיה: ניתן לכונן את אותו ערך של זרם הקצר עם זמנים שונים בהתאם לכיוון זרימת זרם התקלה:

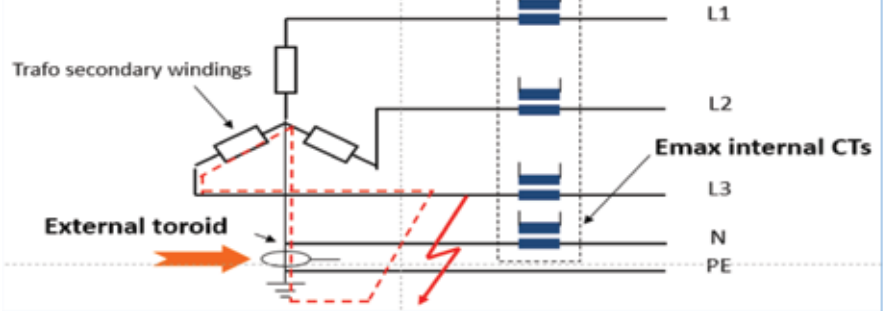
FW - כיוון זרימה = מעלה מטה; BW - כיוון זרימה = מטה - מעלה.

### EFD

במקרה שבו צרכן מחובר לשני מקורות אספקה המזינים אותו ממקומות שונים, כמו שקורה לא פעם במנהרות, בבניינים רבי קומות, באוניות ויוצא באלה, נוצר קושי ביצירת סלקטיביות



### זיהוי קצר בהזנה למפסק מ.ג.



ערך נמוך. במקרה זה ניתן להשתמש בפונקציה Double G כאשר ביחידות ההגנה המתקדמות קיימת אפשרות לחיבור שני משנ"ז ישירות ליחידת ההגנה:

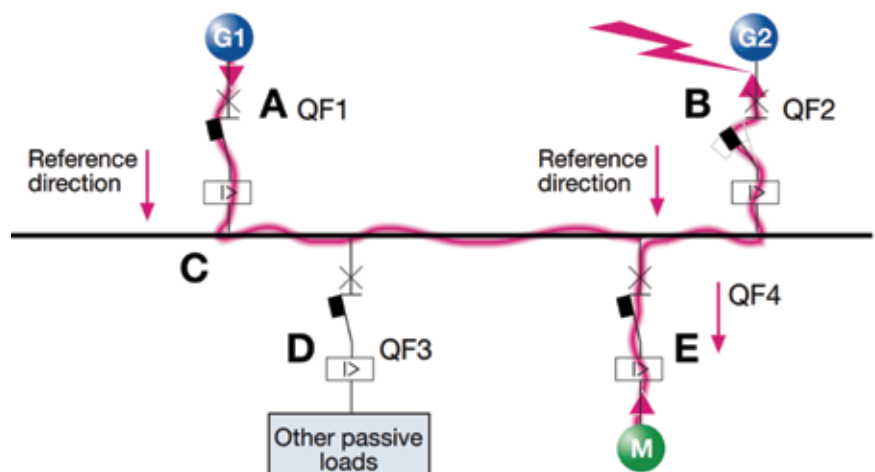
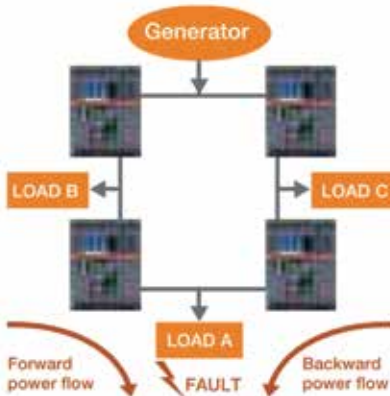
1. בנקודת הכוכב של השנאי - External toroid
  2. קיים בתוך המפסק - Internal toroid.
- במצב של תקלת זרם קצר לאדמה ביציאה מהשנאי (בהזנה למפסק מ.ג.) המשנ"ז המחובר בנקודת הכוכב של השנאי יזהה את התקלה ופונקציה G external תפעל בהתאם לכיוונים ביחידת ההגנה. פקודת הפסקה תישלח ממפסק מ.ג. למפסק מ.ג. זרם החשמל יופסק לנקודת התקלה.

Dual setting - סט כיולים כפול, ולבצע כיוונים בנפרד עבור מצב חח"י ועבור מצב גנרטור. המעבר בין קבוצות הכיוונים יכול להתבצע במספר דרכים (מגע יבש, תקשורת וכדומה).

### Double G - הגנה כפולה זרם קצר לאדמה

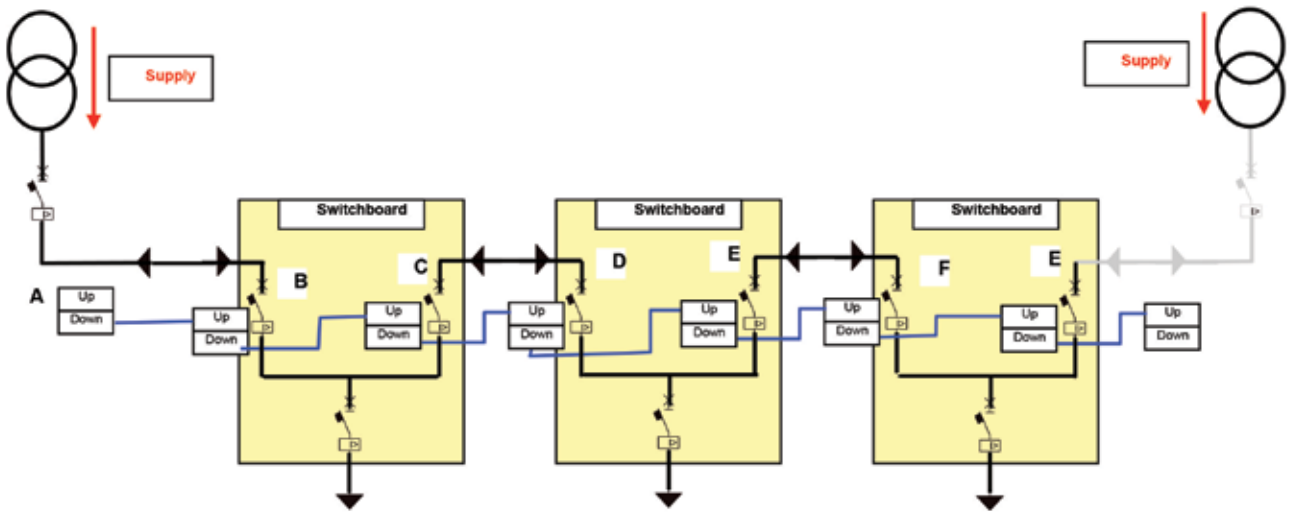
כבלים היוצאים מהצד המשני של השנאי עד ללוח (מפסק) הראשי אינם מוגנים מפני זרם קצר לאדמה ותינתן תקלה שתגרום לזרמי קצר נמוכים, העלולים לגרום לשריפה או זרמי קצר גבוהים. אין קשר גלויני בין צד מתח נמוך לבין צד מתח גבוה וההגנות בצד מתח גבוה עלולות לא להגיב לתקלה - במיוחד בזרמי קצר בעלי

### הגנה כיוונית קצר בנקודה B יפסיק את שני המפסקים



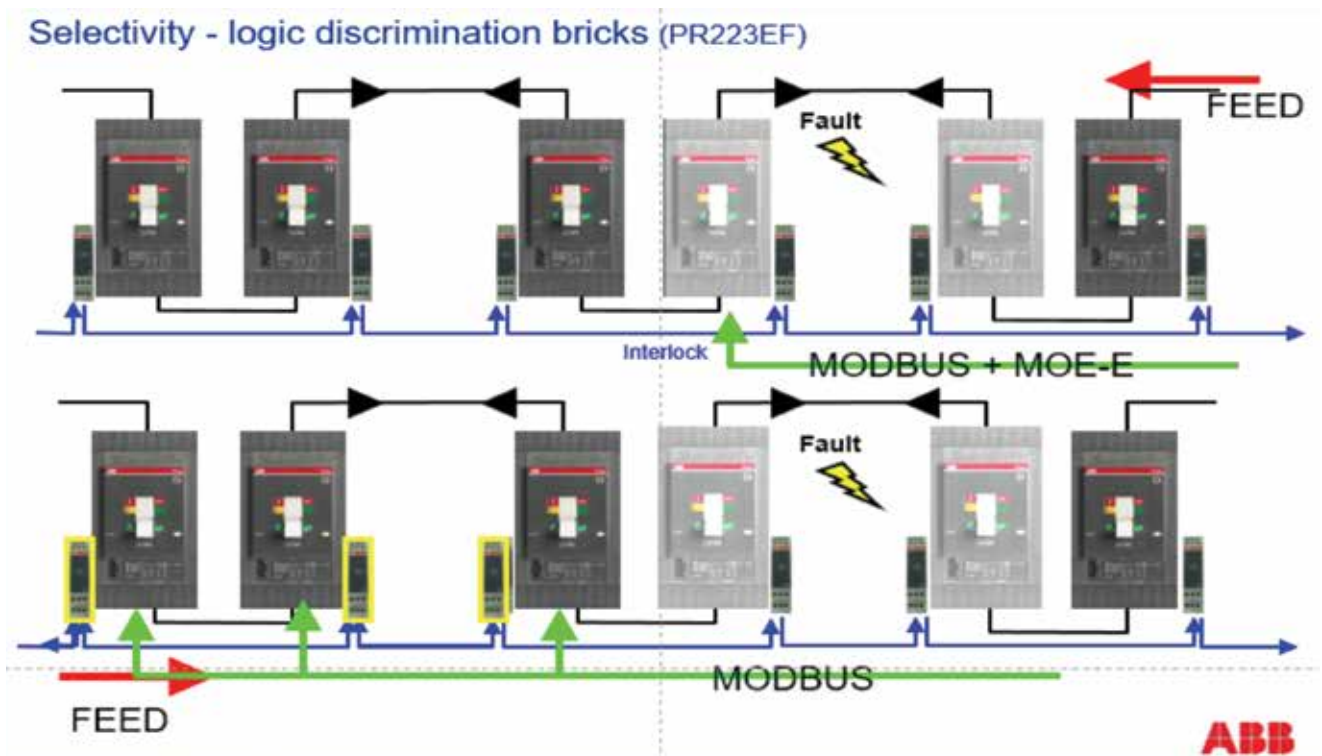


## ביצוע כיוונים להגנות ללא תלות בכיוון ההזנה



בין מפסקים, כיוון שהצרכן עשוי להיות מוזן מכיוונים שונים. היות וזרמי הקצר מושפעים מאורך הכבלים עלול להיווצר מצב שערכי הכיוון במפסק לא תואמים לזרם קצר הצפוי. במקרה זה מתאימה שיטה EFDP – יחידת הגנה למפסקים יצוקים: יחידות הגנה מיוחדות ומתאמי תקשורת ניטרלו רק את האיזור התקול ויאפשרו הזנה לכל המתקן משני הכיוונים (למעט האיזור התקול).

## ניטרול האיזור התקול באמצעות תקשורת והזנה משני כיוונים



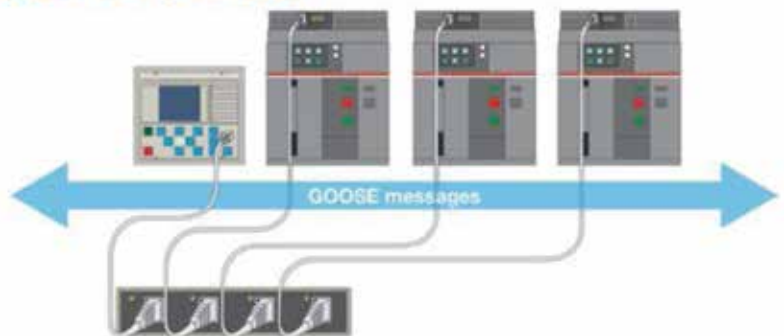
## S750 - סלקטיביות בזרמים נמוכים

ואחרון - קשה לבצע סלקטיביות בין מפסקי זרם זעירים (מא"ז) בשל מבנהו הקבוע של המא"ז וזמן תגובתו המהיר. על מנת לבצע סלקטיביות בזרמים נמוכים ניתן כיום להשתמש במא"ז סלקטיבי ייעודי, S750 - מא"ז לביצוע סלקטיביות בזרמים נמוכים: המבנה המיוחד של מא"ז זה מבטיח כי רק המפסקים במורד הזרם המחוברים תחתיו יפעלו בזמן קצר, ומורכב בו מעגל עקיפה מיוחד המקטין את זרמי הקצר ומשהה את פעולתו, כך שיש זמן למפסקים מתחתיו לפעול. השימוש במא"ז מסוג זה נפוץ מאוד בחדרי מחשבים, שרתים, רכבות, בתי חולים, מתקנים לא מאוישים ועוד.

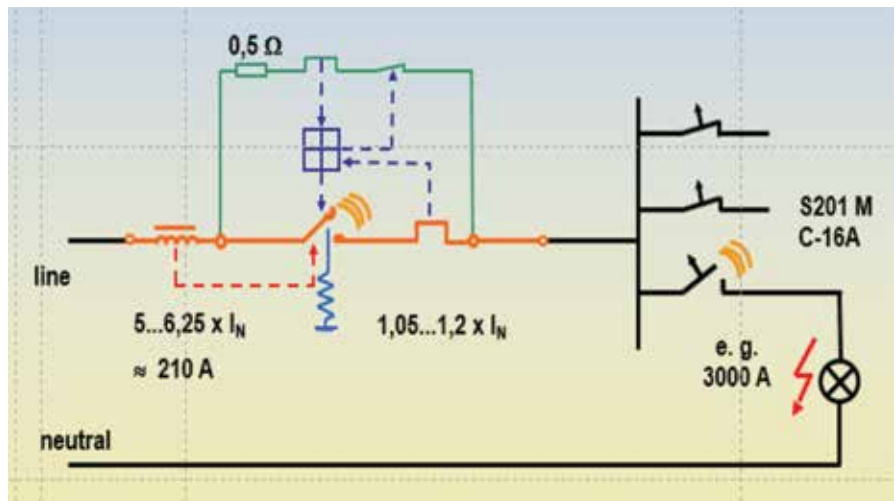
## סיכום

ניתן לראות כי העולם המתפתח של פתרונות למצבים שונים אשר שיטות הסלקטיביות הרגילות המוכרות לא מסייעים בהם - מציע מגוון רחב של אפשרויות פעולה בסיטואציות מורכבות שדורשות טיפול ייחודי ומדויק. מאמר זה סקר הן את השיטות המוכרות והרבה את שלל המצבים שבהן שיטות אלה מתאימות פחות - ואת האמצעים שהשוק מציע כיום להתמודדות עם מצבים אלה.

**30% FASTER**



IEC61850 - הפרוטוקול המתקדם ביותר בעולם עם זמן דגימה 1 מילישנייה



S750 - בעל מעגל עקיפה ייחודי הנותן "זמן" למפסקים במורד הזרם להפסיק את התקלה

## IEC61850

למפסק המתח גבוה במעלה הזרם אל השנאי מתח נמוך/גבוה שלא ייפתח. בעזרת Ekip COM ACTUATOR מתאפשרות פעולות הפתיחה של EMAX 2 מרחוק והשגחה של אנשי המקצוע במפעל דרך מערכת ה-SCADA. בפונקציית IEC61850 קצב השידור גבוה (ללא המרת פרוטוקולים), כך שעיצוב מערכת התקשורת יעיל יותר. בנוסף, הודעות GOOSE מהירות ב-30% לפחות יותר מכל פתרון דומה אחר: למערכת שעון זמן אמת וקצב דגימה של 1 מילישנייה.

מודול תקשורת מיוחד IEC 61850 Ekip COM זמין למפסקי EMAX 2 כך שהמידע יכול לעבור בין המפסקים ומערכות ה-SCADA של מתח גבוה לבין אביזרי הגנות אחרים בצד LV MV. כך ניתן לשלב בין המפסקים במסדרי מתח גבוה ומפסקי האוויר בלוחות מתח נמוך ובמקרה של תקלה בצד המתח הנמוך, צד המתח הגבוה לא יושפע. מפסק EMAX 2 עם יחידת הגנה מסוג Ekip COM HI-TOUCH IEC 61850 יכול לזהות תקלה ולשלוח הודעת GOOSE



**שרון כביר** הוא מנהל הטכני בחטיבת מתח נמוך בקבוצת שלמה כהנא, ובעל ניסיון של 25 שנה בתחום החשמל. עבר הכשרות מקצועיות במפעלי היצרנים השונים בחו"ל ונושא תעודות הסמכה מיוחדות.