

## MCCB – Molded Case Circuit Breaker יצוקה זרם תיבה

(מבוסס על מאמרים טכניים של חברות יצרני המפסקים : Moller ,Siemens ,Schneider electric,ABB,GE)

בתקנות החשמל העמסה והגנה של מוליכים ישנה דרישה הקובעת שכל מעגל חייב להיות מוגן על ידי מבטח בפני זרם קצר וזרם העמסת יתר, או על ידי מבטח נפרד לכל ייעוד.

אחד מאמצעי ההגנה הנפוצים במתח נמוך הוא מפסק זרם מסוג תיבה יצוקה (Molded Case) או כפי שנקרא בפני החשמלאים מאמ"ת ובלועזית ברייקר.



תקן IEC60947-2 מגדיר את הדרישות עבור מפסקי זרם במתח נמוך ליישומי תעשייה, לפי התקן מפסקים אלה נבחרים, מותקנים ומופעלים בידי אנשי מקצוע בלבד.

כיום לכל יצרן יש סדרה שלמה של מפסקי תיבה יצוקה עם יכולות גבוהות מבחינת הולכת הזרם, ניתן למצוא מפסקים עם יחידת יתרת זרם מ- 32 ועד 2500A.

כמו כן כושר הניתוק של זרמי קצר גדול ובסדרות מסוימות של מפסקים ניתן למצוא כושר ניתוק של 150KA ויותר.

בדגמים הנפוצים מספר הקטבים 3P או 4P אך ניתן למצוא גם מפסקים עם 2P או 1P.

בכל סדרה ניתן למצוא מגוון רחב של הגנות : מפסקים עם הגנות תרמו מגנטיות קבועות או ניתנות לכוונון בחלקן, מפסקים עם הגנות אלקטרוניות מתכווננות ובתוספת הגנות נוספות כגון קצר לאדמה וכו'.

למפסקי תיבה יצוקה מגוון רחב של שימושים החל מתעשייה כהגנה על קווים וצרכנים שונים כגון: מנועים, גנראטורים, תאים פוטו-וולטאים וכו', ועד כהגנה בלוחות חשמל של מבנים ציבוריים וחנויות מסחר.

לפי הגדרת התקן IEC60204 מאמ"ת יכול לשמש כמפסק ראשי, לכן במקרים מסוימים ניתן להשתמש בו כמפסק ראשי בצד מתח נמוך של השנאי או הגנרטור, ובחלוקה לרמות של מערך הזנות החשמל ניתן למצוא אותו ברמה השניה והשלישית של הגנה כמפסק ראשי בלוחות משניים או ברמה הרביעית כהגנה על צרכנים.

**מאפיינים כלליים של מפסק זרם :** דוגמה של נתוני מפסק זרם 160A של חברת ABB

**Moulded-case circuit-breaker: SACE Tmax XT ABB חברת Tmax מסדרת יצוקה מסדרת Tmax של חברת ABB**

CIRCUIT-BREAKER TYPE			
Series <b>XT</b>	Size 1 2 3 4	Rated ultimate short-circuit breaking capacity at 415 Vac <b>B</b> = 18 kA (XT1) <b>C</b> = 25 kA (XT1) <b>N</b> = 36 kA <b>S</b> = 50 kA <b>H</b> = 70 kA <b>L</b> = 120 kA (XT2-XT4) <b>V</b> = 150 kA (XT2-XT4)	Size 160 A 250 A

Tmax XT1B 160 Ue=690V AC/500V DC Ui=800V Uimp=8kV S/N:					
Ue (V)	230	415	525	690	250
Icu (kA)	25	18	6	3	18
Ics (% Icu)	100	100	100	100	100
Cat A	~ 50-60Hz				2P in series

U<sub>i</sub> – רמת המתח של החוזק הדיאלקטרי (בידוד) בו המפסק יכול לעמוד מבלי שייגרם לו נזק, בתנאי מבחן מסוימים.

U<sub>imp</sub> – ערך שיא של פולס מתח שהמפסק מסוגל לעמוד בו ללא כשל ובתנאי מבחן מסוימים

עמידה בתקן של הנציבות הבינלאומית לאלקטרו טכניקה IEC60947-2 מפסקי זרם במתח נמוך

עמידה בתקני בטיחות של האיחוד האירופי

Rated insulation voltage **U<sub>i</sub>**; i.e. the maximum r.m.s. value of voltage which the circuit-breaker is capable of withstanding at the supply frequency under specified test conditions.

Rated impulse withstand voltage **U<sub>imp</sub>**; i.e. the peak value of impulse voltage which the circuit-breaker can withstand under specified test conditions.

Serial number  
מספר סידורי

Compliance with the international Standard **IEC 60947-2**: "Low-Voltage switchgear and controlgear-Circuit-breakers".

**CE** marking affixed on ABB circuit-breakers to indicate compliance with the following CE directives: "Low Voltage Directive" (LVD) no. 2006/95/CE "Electromagnetic Compatibility Directive" (EMC) no. 89/336 EEC.

Rated operational voltage **U<sub>e</sub>** מתח עבודה

**I<sub>n</sub>** rated current  
זרם נקוב, הערך המרבי של הזרם שמפסק בעל יחידת יתרת זרם מתוכנן לפעול לזמן אין סופי בטמפרטורת סביבה נתונה על ידי היצרן.

Rated ultimate short-circuit breaking capacity (**I<sub>cu</sub>**) and rated service short-circuit breaking capacity (**I<sub>cs</sub>**) at different voltage values.

According to the international Standard IEC 60947-2, the circuit breakers can be divided into Category **A**, i.e. without a specified short-time withstand current rating, or Category **B**, i.e. with a specified short-time withstand current rating.

לפי תקן IEC60947-2 מגדירים קטגוריה למפסקים, קטגוריה A עבור מפסקים ללא יכולת השהית זרם קצר, קטגוריה B עבור מפסקים עם יכולת השהית זרם קצר I<sub>cw</sub>

I<sub>cu</sub> יכולת הפסקה מרבית של זרם קצר, O-CO

הפסקה-חיבור-הפסקה

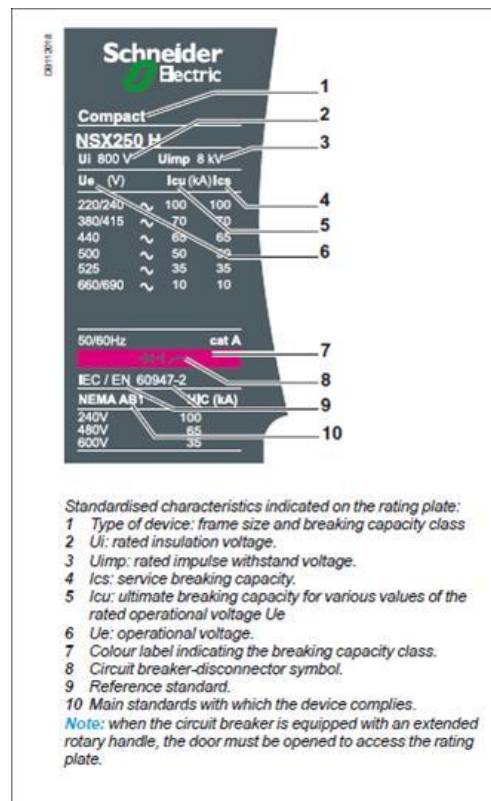
I<sub>cs</sub> יכולת הפסקה מחזורית של זרם קצר O-CO-CO

הפסקה-חיבור/הפסקה-חיבור/הפסקה

מוגדר כאחוזים מ-I<sub>cu</sub> ומהווה מדד ליכולת שרידות המפסק להמשיך לתפקד לאחר קצר

לפי התקן IEC 60947-2

האיור הבא מציג דוגמה נוספת של נתוני מפסק זרם 250A הפעם של חברת שניידר אלקטריק. כפי שניתן לראות הנתונים הכלליים מאוד דומים בשתי הדוגמאות, השינוי מתבטא בגודל יחידת יתרת הזרם של המפסק וביכולת ההפסקה של זרמי קצר.

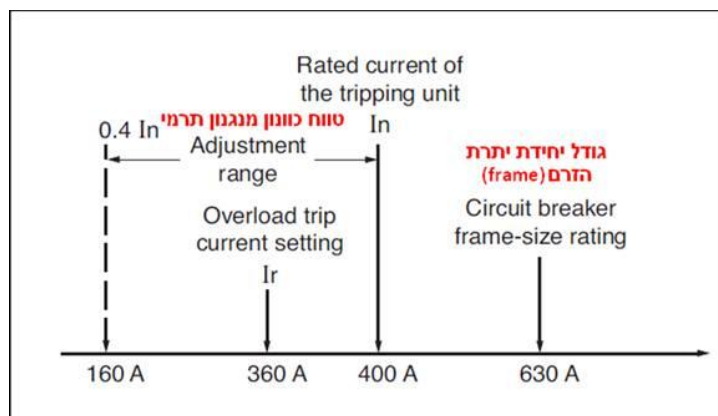


**מאפיינים נוספים:**

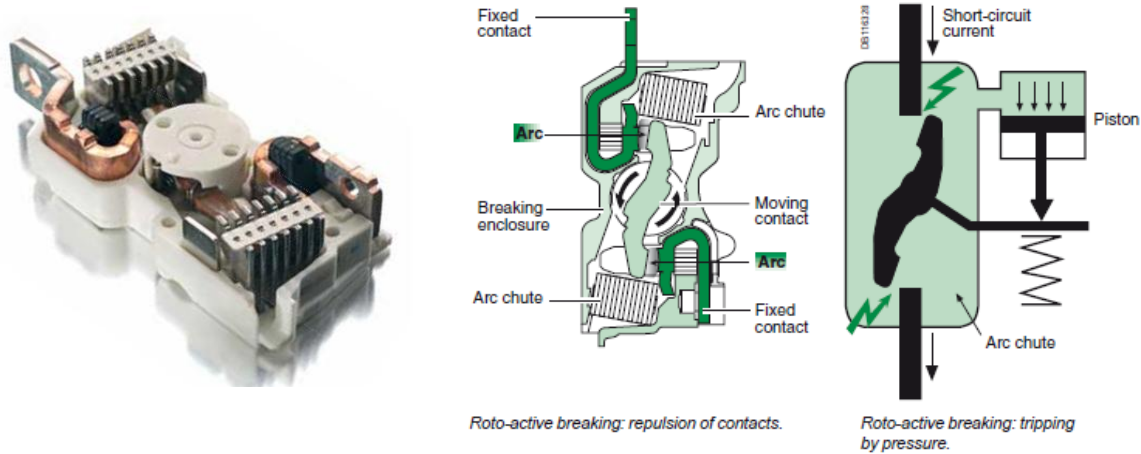
**Frame size rating** – מפסקי זרם יכולים להכיל יחידות יתרת זרם שונות, בעלות ערכים שונים. המושג frame משמש לציין את ערך הכונון הגדול ביותר של יחידת יתרת הזרם הניתנת לשילוב במפסק.

**Ir\Irth** - ערך הכונון של יחידת יתרת הזרם במפסק. במפסק עם הגנות תרמו מגנטיות הכונון יהיה בד"כ  $0.7-1I_n$  ובהגנות אלקטרוניות  $0.4-1I_n$ .

דוגמה: נתון מפסק זרם של חברת שניידר אלקטריק דגם NSX630 המצויד ביחידת זרם אלקטרונית לזרם 400A, היחידה האלקטרונית מכווננת לערך של 0.9 מהטווח כלומר:  $I_r=400 \times 0.9=360A$



**הגבלת זרם קצר:** למפסקי תיבה יצוקה יש תכונה של הגבלת זרם קצר. הבסיס להגבלת זרם הקצר הוא במבנה המגעים של המפסק הבנויים כך שבעת עליית זרם יש דחייה בין המגעים (כתוצאה ממומנט) ומתחילה פתיחה מכאנית איטית, באותה פתיחה נוצרת קשת חשמלית המתנגדת לזרם הקצר ובכך מגבילה אותו.



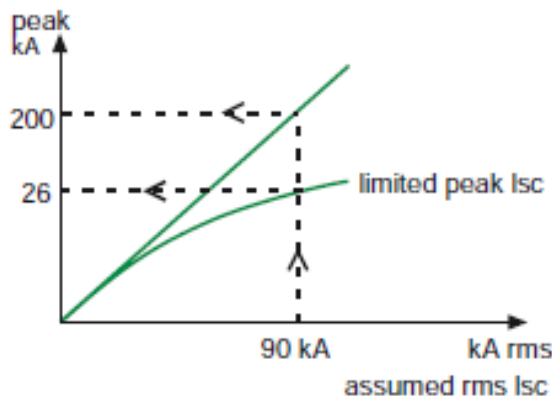
כושר הניתוק של זרמי קצר שמפסק הזרם נדרש לעמוד בו, נקבע על ידי ערך זרם הקצר היכול להתפתח בהדקי הכניסה של המפסק כלומר ללא השפעת מיקום הקצר.

בין זרם הקצר שיכול להתפתח בהדקי הכניסה של המפסק לבין הזרם המרבי שעובר בתוך המפסק יתכן הבדל גדול התלוי במבנה המפסק ובאופן פעולתו. מבנה המפסק יכול להשפיע משמעותית על גודל הזרם העובר דרכו.

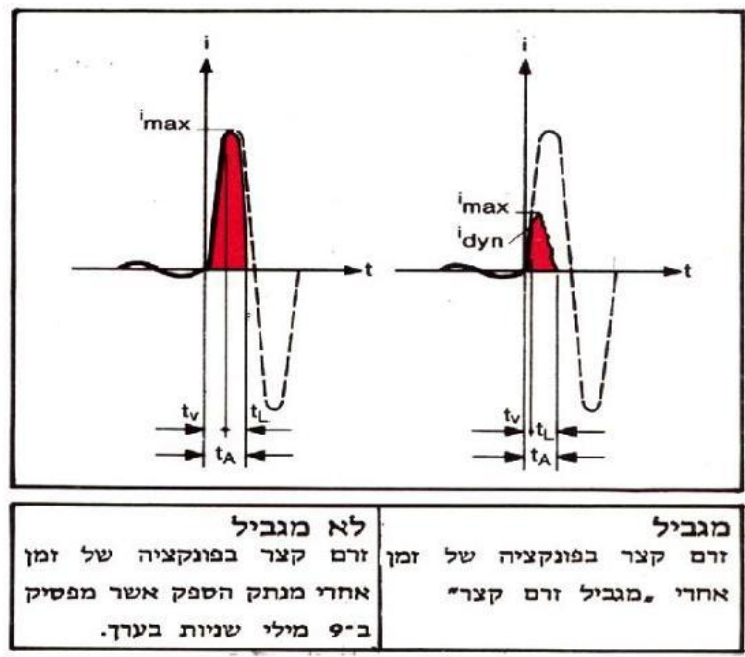
עובדה זו הינה הבסיס לאמצעי הגנה הנקראים "מגבילי זרם קצר". באופן מעשי מתבצעת הפסקת זרם קצר קטן מהזרם שהיה מתפתח במעגל ללא ההגבלה.

יצרני המפסקים מספקים עקומת זרם קצר מקסימאלי כפונקציה של זרם קצר אפקטיבי RMS, בעקומה זו ניתן לחשב באיזה מידה המפסק יגביל את זרם הקצר שיעבור דרכו.

לדוגמה: נתונה עקומה כפי שניתן לראות זרם הקצר הוא 90KA RMS, ללא ההגבלה זרם הקצר שיתפתח הוא 200KA, אבל בפועל לאחר הגבלת זרם קצר המפסק יפסיק את המעגל ב-26KA.

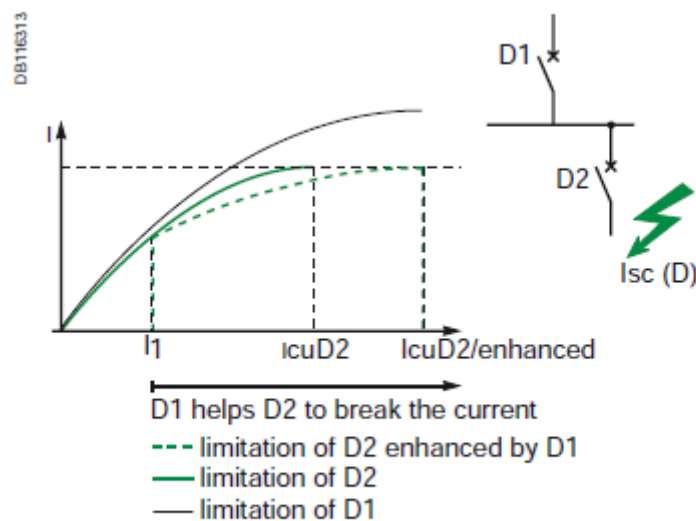


באיור הבא מוצג גרף של זרם קצר עם מגביל זרם קצר וללא מגביל.



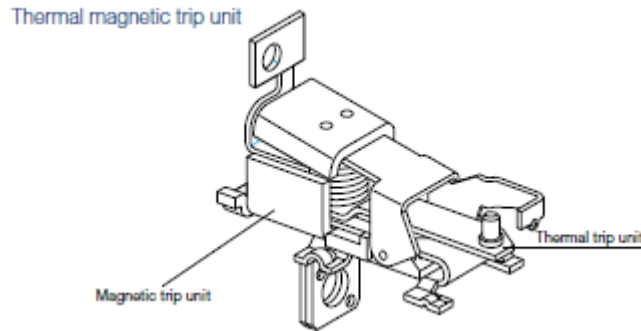
**יתרונות בשימוש מגביל זרם קצר:** הפחתת מאמצים וכוחות אלקטרו דינמיים על הציוד וביתר המפסקים במתקן, הפחתת ההשפעה התרמית של זרם הקצר על המוליכים, הכבלים, מהדקים וכל ציוד אחר במתקן.

בנוסף מכיוון שזמן התגובה של מפסק תיבה יצוקה הוא איטי יותר, בהגנה עורפית הוא עוזר למפסקים במורד הזרם להתמודד עם זרם הקצר לדוגמה: נתונים שני מפסקים D1 ו-D2 כאשר יש קצר במורד הזרם ב-D2, מפסק D1 מתחיל להיפתח פתיחה איטית ולא עד הסוף, בזמן פתיחה זו (סדר גודל של 2 מילי שניות) נוצרת קשת המתנגדת לזרם הקצר ובכך מגבילה אותו, ובפעל הזרם קצר שיווצר ב-D2 קטן בהרבה כפי שנתון בעקומה.



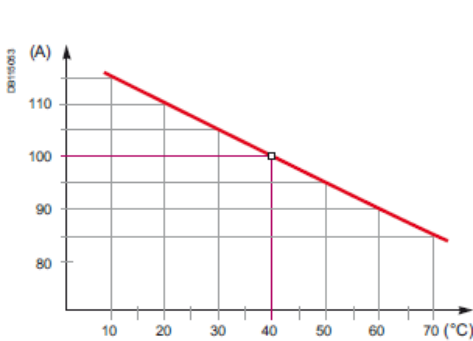
מבחינים בשני סוגים של הגנות במפסקי זרם מסוג תיבה יצוקה :

1. מפסק זרם עם הגנות אלקטרו-מכניות המבוססות על מנגנון צמד תרמי להגנה בפני העמסת יתר, מנגנון זה פועל על עיקרון חימום הגורם להתכוופות דו מתכת (Bimetal). ומנגנון מגנטי להגנה בפני זרם קצר, הפועל על עיקרון של אלקטרומגנט וזרוע הנמשכת בעת קצר.



המנגנון התרמי מכוון בד"כ לטמפ' של 40 מעלות צלסיוס, תגובת המנגנון למעבר זרם דרכו מושפעת מאוד מטמפרטורת הסביבה האופפת את המפסק וקרבתו למפסקים אחרים המועמסים בו זמנית עם אותו מפסק בזרמי העבודה המתוכננים.

ניקח דוגמה מפסק מסדרת NSX של חברת שניידר אלקטריק. יתרת הזרם של המפסק In=100A ב-40 מעלות צלסיוס, כפי שניתן לראות בטבלה כאשר הטמפרטורה בסביבת המפסק תעלה ל-60 מעלות הזרם הנקוב שהמפסק יתמודד איתו יהיה 60A, לעומת זאת כאשר הטמפרטורה בסביבת המפסק תהיה 25 מעלות, הזרם הנקוב יהיה 108A מעל לערך של יתרת הזרם של המפסק. כפי שניתן לראות בגרף היחס בין הטמפ' לזרם הוא ליניארי.



Temperature derating curve for Compact NSX100.

Rat. Temperature (°C)	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
16	18.4	18.7	18	18	17	16.6	16	15.6	15.2	14.8	14.5	14	13.8
25	28.8	28	27.5	27	26.3	25.6	25	24.5	24	23.5	23	22	21
32	36.8	36	35.2	34.4	33.6	32.8	32	31.3	30.5	30	29.5	29	28.5
40	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34
50	57.5	56	55	54	52.5	51	50	49	48	47	46	45	44
63	72	71	69	68	66	65	63	61.5	60	58	57	55	54
80	92	90	88	86	84	82	80	78	76	74	72	70	68
100	115	113	110	108	105	103	100	97.5	95	92.5	90	87.5	85
125	144	141	138	134	131	128	125	122	119	116	113	109	106
160	184	180	176	172	168	164	160	156	152	148	144	140	136
200	230	225	220	215	210	205	200	195	190	185	180	175	170
250	288	281	277	269	263	256	250	244	238	231	225	219	213

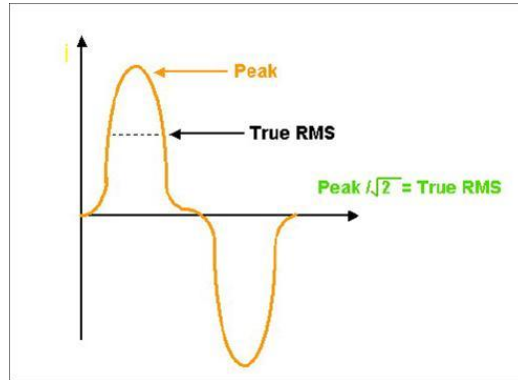
להשפעת הטמפ' יכולות להיות השלכות ניכרות על פעולת ההגנות, ולכן בתקנים למפסקי זרם יש דרישה מפורטת ליצרני המפסקים להציג מידע מפורט לגבי השפעות אלו.

כאן המקום לציין שתלות בטמפרטורה מאפיינת אך ורק את המנגנון התרמי, המנגנון המגנטי אינו מושפע מהטמפרטורה.

בסוגים אלה של הגנות ניתן לבחור מפסקים בתצורות שונות שבהם ניתן לבחור הגנה קבועה (מגנטית ותרמית) או הגנה שבה המנגנון התרמי קבוע ומנגנון מגנטי ניתן לכוונון.

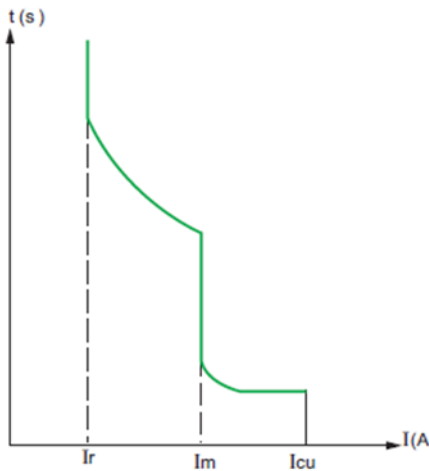
2. מפסק זרם עם הגנות אלקטרוניות המבוססות על מעבד (Microprocessor) השימוש במעבד מאפשר מגוון רחב של הגנה ודיוק פעולה

עיקרון הפעולה של המעבד כפי שמתואר באיור הבא הוא ניטור של ערך הזרם RMS הנוכחי וביצוע סימולציה לחישוב ערכי שיא של הזרם.

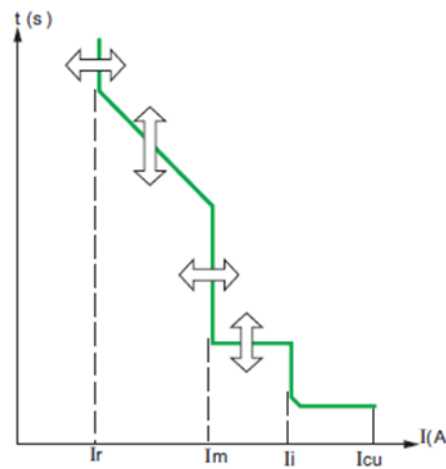


יתרון חשוב ביחידות הגנה אלקטרוניות לעומת ההגנה התרמו מגנטית הוא יציבות התפקוד של ההגנה, למרות השינויים של הטמפרטורה האופפת בתחום רחב יחסית.

פעולת השימוש (Tripping) של המפסק בזרמים שונים העוברים דרכו מתוארת באמצעות אופיין "זרם-זמן", האופיין מתאר תוך כמה זמן יתנתק המפסק בהתאם לזרם אשר יזרום בו.



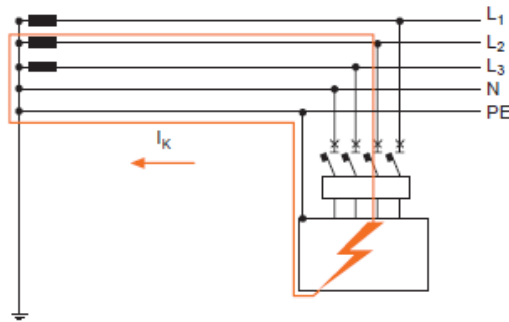
אופיין זרם/זמן של מפסק עם הגנות תרמו מגנטיות



אופיין זרם/זמן של מפסק עם הגנות אלקטרוניות

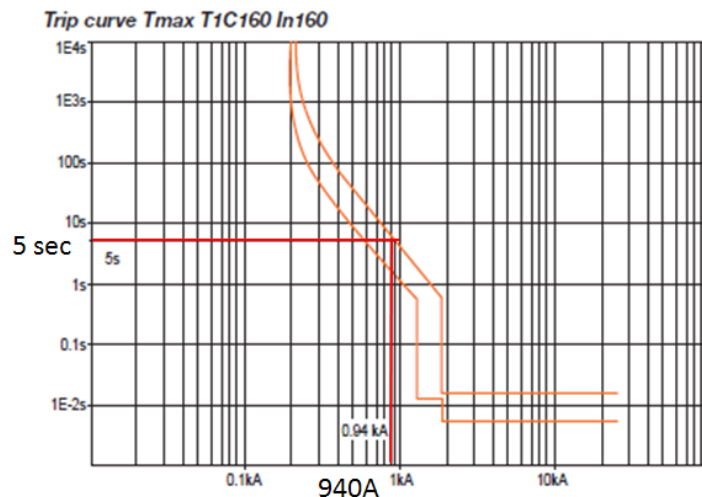
האופייניים הבאים מתארים פעולת מפסק זרם האחד עם הגנות תרמו מגנטיות והשני עם הגנות אלקטרוניות.

כדי להבין את ההבדל בין שתי סוגי ההגנות ניקח לדוגמה מעגל המוגן במקרה זה בשיטת איפוס TN-S, יתרת הזרם במעגל 160A.



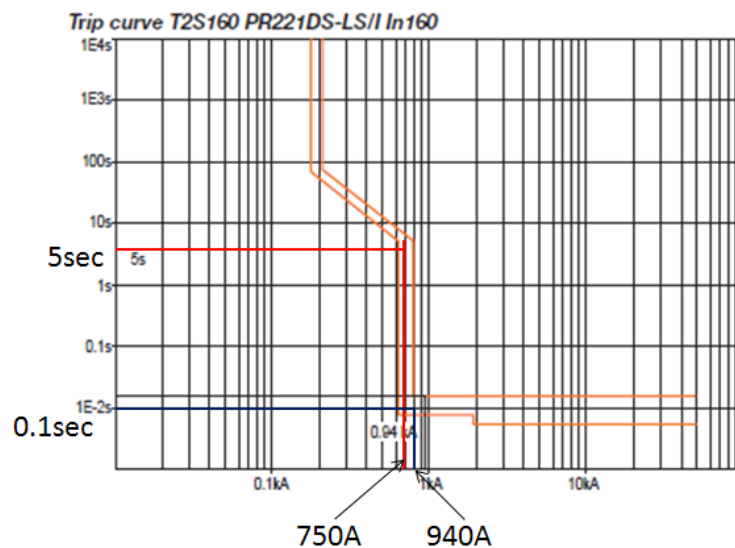
נבחר שני מפסקים האחד עם הגנות תרמו מגנטיות והשני עם הגנות אלקטרוניות, ונבדוק כיצד כל אחד מהם יגן על המעגל בעת קצר.

האופיין הבא מתאר את מפסק הזרם עם הגנות תרמו מגנטיות מסדרת Tmax דגם T1C160 של חברת ABB.



לפי חוק החשמל על המפסק להפסיק את המעגל תוך פחות מ-5 שניות, כפי שניתן לראות באופיין צריך להתפתח זרם קצר של 940A כדי שהמפסק יפסיק את המעגל ב-5 שניות.

כעת נציג את האופיין של מפסק הזרם עם ההגנות האלקטרוניות גם כן מסדרת Tmax דגם T2S160 של חברת ABB.



כפי שניתן לראות כעת צריך להתפתח זרם קצר של 750A כדי שהמפסק יפסיק את המעגל ב-5 שניות. ואילו בזרם קצר של 940A המפסק יפסיק את המעגל ב-0.1sec כלומר מייד בהגדרה.

מכאן המסקנה היא ששימוש במפסקי זרם עם הגנות אלקטרוניות מאפשר דיוק ומגוון רחב של תחומי הגנה.