

כוונון ההגנה במפסקים אוטומטיים בהשפעת הטמפרטורה האופפת

אחד הפרמטרים החשובים שיש להתחשב בו בעת קביעת הכוונון של ההגנה בפני זרם העמסת יתר במפסקים אוטומטיים, הוא תלות האופיין של פעולת ההגנה בטמפרטורה האופפת שבה נמצא המפסק הכולל את ההגנה הנדונה.

הגנה תרמית ללא קיזוז השפעת הטמפרטורה

הגנה תרמית מהווה חלק מיחידות הגנה תרמו-מגנטיות "ותיקות". הגנה זו מתבססת על מנגנון עם צמד תרמי, שתגובתו למעבר זרם דרכו מושפעת מאוד מטמפרטורת הסביבה האופפת את המפסק.

כאשר מדברים על הטמפרטורה האופפת של הסביבה, אנו מדמיינים לעצמנו מפסק אשר מותקן בלוח וסביבו אוויר. ומה היא ההתייחסות לגבי מפסק אוטומטי זעיר הנמצא בשורה אחת בלוח עם מא"זים אחרים אשר צמודים אליו?

הרי במקרה זה המא"ז מושפע גם מהשכנים ה"חמים" - ולא רק מהטמפרטורה של האוויר בלוח ובחדר שבו נמצא הלוח.

גם עובדה זו לא נעלמה מעורכי הפרסומים הטכניים המתייחסים לנושא.

באירורים 1 ו-2 מובאות דוגמאות של נתונים המופיעים בפרסומים טכניים של שני יצרני מפסקים ידועים.

היצרן הראשון מציג את נתוני ההשפעה של הטמפרטורה על ערך הזרם הנקוב של המפסק I_n - שממנו נגזר אופיין "זרם-זמן" של המפסק - בצורת טבלאות.

היצרן השני מציג את הנתונים בצורה גרפית.

כדאי לשים לב להבדלים שבין המפסקים האוטומטיים המותאמים לעבודה במתקני ביתיים ודומיהם (אירורים 1א', 1ג'), לבין אלה המותאמים להתקנה במתקנים תעשייתיים (אירורים 2א', 2ב'). אם ניקח מפסק בעל זרם נקוב של 20 אמפר, כאשר הוא מותאם לעבודה במתקנים ביתיים ונתקין אותו בלוח חשמל עם טמפרטורה אופפת של 45°C , יהיה ערך הזרם הנקוב המותאם לטמפרטורה זו: $I_n = 18.44\text{A}$ (אירור 1א'). לעומת זאת, אם ניקח מפסק בעל אותו זרם נקוב כאשר הוא מותאם לעבודה במתקנים תעשייתיים, ונתקין אותו בלוח חשמל עם אותה טמפרטורה אופפת (45°C), יהיה ערך הזרם הנקוב "המתוקן": $I_n = 19.41\text{A}$ (אירור 2א').

המשמעות של ההבדל האמור, שבמקרה הראשון נוכל להפעיל במעגל המוגן על-ידי המפסק עומסים בעלי זרם עבודה של $I_{b1} \leq 18.44\text{A}$, ובמקרה השני $I_{b1} \leq 19.42\text{A}$.

השפעת הטמפרטורה האופפת על אופיין "זרם-זמן" של מפסקים אוטומטיים

כידוע, פעולת השימוט (Tripping) של המפסק בזרמים השונים העוברים דרכו, מתוארת באמצעות אופיין "זרם-זמן".

אופיין זה משתנה כתלות בטמפרטורה האופפת שבה נמצא המפסק. כאן חייבים מיד להדגיש, שתלות זאת בטמפרטורה, מאפיינת אך ורק את המנגנון המשמש להגנה בפני זרם העמסת יתר. פעולת המנגנון להגנה נגד זרם קצר איננה תלויה בטמפרטורה האופפת של הסביבה שבה מותקן המפסק.

ברור אפוא, שכל ההסברים המובאים בהמשך המאמר, יתייחסו למנגנון הרלוונטי לדיון על השפעת הטמפרטורה - המנגנון המשמש להגנה בפני זרם העמסת יתר.

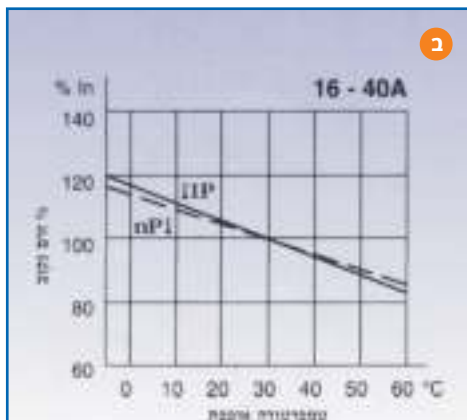
הזרם הנקוב של מפסק אוטומטי ואופיין "זרם-זמן" הנגזרים ממנו, מתייחסים לערכים הבאים של הטמפרטורה האופפת:

א. 30°C - לגבי מפסקים אוטומטיים זעירים (מא"זים) לשימוש במתקנים ביתיים ודומיהם, לפי תקן ישראלי ת"י 745, המתבסס על תקן הנציבות הבינלאומית לחשמל IEC 898.

ב. 40°C - לגבי מפסקים אוטומטיים זעירים ומפסקים אוטומטיים הניתנים לכוונון לשימוש במתקנים תעשייתיים, לפי ת"י 1026 חלק 1, המתבסס על תקן IEC 947.2.

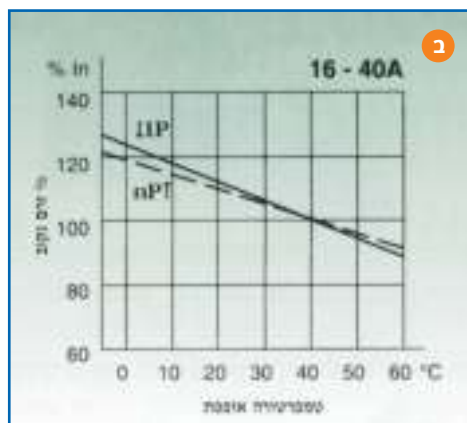
כפי שנסביר בהמשך, מידת ההשפעה של הטמפרטורה האופפת על אופיין הפעולה של מנגנון ההגנה בפני זרם העמסת יתר, תלויה מאוד בטכנולוגיה שעל פיה נבנה המנגנון. מכיוון שלהשפעת הטמפרטורה יכולות להיות השלכות ניכרות על פעולת ההגנות, מצווים יצרני המפסקים האוטומטיים להציג מידע מפורט בפרסומיהם הטכניים על השפעות אלו. דרישה מפורשת זו, מופיעה בתקנים הנ"ל, החלים על המפסקים האוטומטיים.

טמפרטורה אופפת



זרם נקוב (A)	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C	45°C	50°C	55°C	60°C
16	16.82	16.42	16.00	15.57	15.13	14.68	14.22	13.73	13.23
20	20.98	20.49	20.00	19.49	18.97	18.44	17.89	17.32	16.73
25	26.42	25.63	25.00	24.35	23.69	23.01	22.30	21.58	20.82
32	33.56	32.79	32.00	31.19	30.36	29.50	28.62	27.71	26.77
40	42.01	41.02	40.00	38.96	37.88	36.78	35.64	34.46	33.24
50	52.59	51.31	50.00	48.65	47.27	45.84	44.36	42.84	41.26
63	66.56	64.81	63.00	61.14	59.22	57.24	55.19	53.06	50.84

אירור 1: דוגמאות של נתונים של שני יצרנים שונים על השפעת הטמפרטורה האופפת על פעולת המנגנון התרמי של מפסקים אוטומטיים זעירים המתאימים לשימוש במתקנים ביתיים ודומיהם (הנתונים לפי תקן IEC 898 ת"י 745).



טמפרטורה אופפת

זרם נקוב (A)	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C	45°C	50°C	55°C	60°C
16	17.82	17.39	16.94	16.47	16.00	15.51	15.01	14.48	13.94
20	22.20	21.67	21.13	20.57	20.00	19.41	18.80	18.17	17.52
25	27.82	27.14	26.45	25.73	25.00	24.24	23.46	22.66	21.82
32	35.41	34.59	33.75	32.89	32.00	31.09	30.15	29.18	28.18
40	44.51	43.42	42.31	41.17	40.00	38.79	37.54	36.25	34.91
50	55.45	54.14	52.80	51.42	50.00	48.54	47.04	45.49	43.88
63	71.00	69.09	67.12	65.09	63.00	60.83	58.59	56.25	53.82

איור 2: דוגמאות של נתונים של היצרנים שהוצגו באיור 1, על השפעת הטמפרטורה האופפת על פעולת המנגנון התרמי של מפסקים אוטומטיים זעירים המתאימים לשימוש במתקנים תעשייתיים (הנתונים לפי תקן IEC 947.2 ת"י 1206 חלק ו).

את המתקן ולכוון את ההגנות (כאשר מדובר במפסקים הניתנים לכוונון) ללא התחשבות בהשפעת הטמפרטורה.

מפרסומים טכניים בנושא עולה, כי קיימים גם מא"זים הכוללים הגנות עם קיזוז כאמור, אך הם אינם נפוצים במיוחד. לעומת זאת, מפסקים אוטומטיים הניתנים לכוונון מצוידים, בדרך כלל, במנגנון הקיזוז.

מפסקים אוטומטיים עם מנגנון הקיזוז כאמור, אינם מושפעים משינוי טמפרטורה בתחום שבין -5°C עד $+40^{\circ}\text{C}$. יחד עם זאת, יצרנים של מפסקים אלה חייבים לפרסם את מקדמי התיקון לטמפרטורה הגבוהה מ- $+40^{\circ}\text{C}$.

באיור 4 מובאת דוגמה של פרסום כאמור.

כפי שכבר ציינו קודם, לא רק הטמפרטורה האופפת בלוח יכולה להשפיע על אופייני פעולת המפסק, אלא גם קרבה של מפסקים אחרים כאשר הם מועמסים בו-זמנית עם המפסק הנדון בזרמי העבודה המתוכננים.

באיור 3 מובאים נתונים מפרסומים של יצרן מפסקים ידוע, המתייחסים להשפעת החימום ההדדי של מפסקים אוטומטיים זעירים, המותקנים באותה שורה, כאשר הם מועמסים בו-זמנית.

מאיור 3 ניתן ללמוד, שכאשר מא"ז נמצא בתוך שורה הכוללת יחד עימו 4 יחידות ומעלה, מקדם התיקון הוא 0.8 לערך. כמו כן ניתן לראות מן האיור כי הרחקת המא"זים אחד מן השני, מקטינה את ההשפעה ההדדית.

הגנה תרמית עם קיזוז השפעת הטמפרטורה

קיזוז השפעת הטמפרטורה ביחידות הגנה תרמיות נעשה, בדרך כלל, באמצעות פס דו-מתכתי מיוחד. מנגנוני הגנה כאלה מאפשרים לתכנן

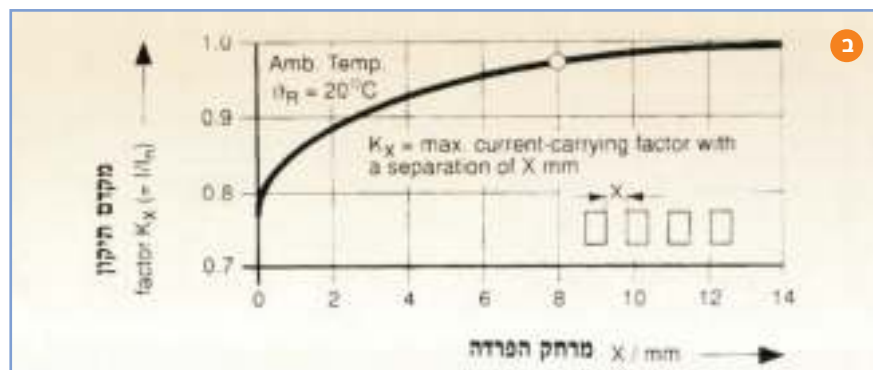
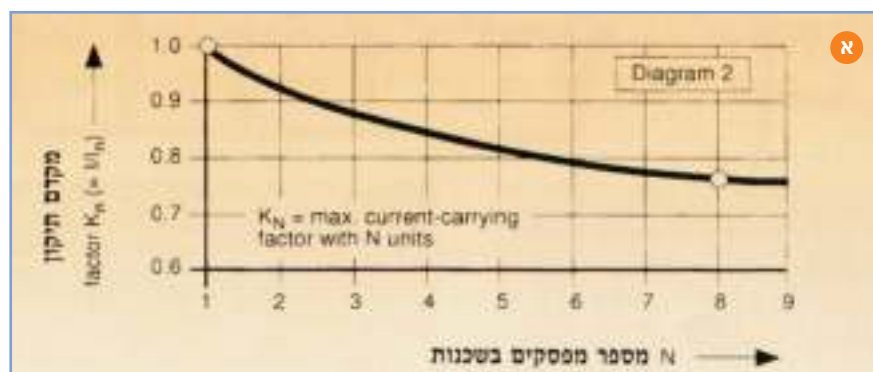
יחידות הגנה אלקטרוניות

אחד היתרונות החשובים ביותר של יחידות הגנה אלקטרוניות הוא יציבות התפקוד של ההגנה, למרות השינויים של הטמפרטורה האופפת בתחום רחב, יחסית.

באיור 5 מובאים נתונים של שני מפסקים אוטומטיים עם יחידת הגנה אלקטרונית, של יצרן אירופאי ידוע. מפסק ראשון (CB1) הוא בעל זרם נקוב $I_n = 250\text{A}$ ומפסק שני (CB2) הוא בעל זרם נקוב $I_n = 400\text{A}$.

אנו רואים שנתוני הרגישות של המפסק לשינויי הטמפרטורה האופפת, מתייחסים רק לתחום שמעל 50°C . עוד עולה מהשוואת הנתונים, כי המפסק הראשון רגיש יותר לעליית הטמפרטורה מאשר המפסק השני.

ערך $I_r \text{ max}$ מצביע על ערך הכיוונון המקסימלי של מנגנון ההגנה בפני זרם העמסת יתר בטמפרטורה אופפת נתונה.



איור 3: השפעה תרמית הדדית בין מפסקים אוטומטיים המותקנים בשורה כאשר הם מועמסים בו-זמנית. א'-במקרה של מא"זים המותקנים ללא רווח ביניהם. ב'-במקרה של 8 מא"זים בשורה, כתלות במרחק ביניהם.

במקרה הנדון: $I_2 = 1.45 \times 24.35 = 35.31A$
מכאן שהמוליכים צריכים לקיים את התנאי:
 $I_2 \geq 35.31 / 1.3 = 27.16A$
העמסת מוליכים טבלה 70.1, המוליך בעל שטח
החתך הקטן ביותר העונה על התנאי הנ"ל, הוא
מוליך $S = 6mm^2$ ($I_2 = 33A$).

דוגמה שנייה:

כעת נניח שאנו נדרשים לתכנן מתקן, שנתוניו זהים
לאלה המתוארים בדוגמה הראשונה לעיל, בהבדל
אחד ויחיד: הטמפרטורה האופפת שבה נמצאים
הן המא"ז והן מוליכי המעגל היא $T = 40^\circ C$.

הפתרון:

א. נבחר במא"ז זהה $I_n = 25A$. על-פי נתוני
הטבלה שבאיור 1, הזרם הנקוב
בפועל: $I'_n = 23.69A$.

ב. בגלל הטמפרטורה האופפת הגבוהה, יחסית,
יש להשתמש במקדמי תיקון המאפשרים לחשב
את הזרם המתמיד המרבי של המוליכים
בתנאים הנתונים. על-פי התקנות, מקדם התיקון
הוא $K = 0.91$.

במקרה זה צריך להתקיים התנאי: $I'_2 \geq I_2 / 1.3$ (3)

כאשר: I'_2 = הזרם המתמיד המירבי של המוליך
בתנאים חריגים ($I'_2 = I_2 \times K$).

מכאן ש: $I_2 \geq I'_2 / (1.3 \times K)$ (4)

זרם הבדיקה הגבוה של המא"ז: $I_2 = 1.45 \times 23.69 = 34.35A$.

מכאן שהמוליכים צריכים לקיים את התנאי:
 $I_2 \geq 34.35 / (1.3 \times 0.91) = 29A$

על פי התקנות בדבר העמסת מוליכים – טבלה 70.1, המוליך המתאים
גם במקרה זה הוא מוליך עם שטח חתך $S = 6mm^2$.

טמפרטורה אופפת

זרם נקוב (A)	40°C	45°C	50°C	55°C	60°C	65°C	70°C
100	100.0	97.5	95.0	92.5	90.0	87.5	85.0
125	125.0	122.0	119.0	116.0	113.0	109.0	106.0
160	160.0	156.0	152.0	147.2	144.0	140.0	136.0
200	200.0	195.0	190.0	185.0	180.0	175.0	170.0
250	250.0	244.0	238.0	231.0	225.0	219.0	213.0

איור 4: השפעת הטמפרטורה על פעולת מפסק אוטומטי הניתן לכיוונו עם מנגנון הקיזוז בתחום מ-5°C עד +40°C.

טמפרטורה אופפת

זרם נקוב (A)	40°C	45°C	50°C	55°C	60°C	65°C	70°C
CB1 In: 250A	250	250	250	237.5	237.5	225	225
	Ir max	1	1	0.95	0.95	0.90	0.90
CB2 In: 400A	400	400	400	390	380	370	360
	Ir max	1	1	0.98	0.95	0.93	0.90

איור 5: נתונים על השפעת הטמפרטורה על פעולה של יחידות הגנה אלקטרוניות

דוגמאות חישוביות

להלן מספר דוגמאות מעשיות הממחישות את הנאמר עד כה בקשר
להשפעת הטמפרטורה האופפת על אופיין "זרם-זמן" של מפסקים
אוטומטיים, ואת המשמעויות הנובעות מכך לגבי תכנון מתקני חשמל

דוגמה ראשונה:

יש לתכנן מעגל זינה למערכת מיזוג אוויר תלת מופעית עם זרם עבודה
 $I_b = 20A$, למבנה מסחרי הנמצא במישור החוף. הטמפרטורה האופפת
שבה נמצאים המפסק האוטומטי הזעיר שנתוניו מובאים באיור 1 ומוליכי
הזינה של המעגל $T = 35^\circ C$.

הפתרון:

א. נגדיר את הזרם הנקוב של המא"ז המתאים להגנה על המעגל המתוכנן.
* על-פי דרישות התקנות בדבר העמסת מוליכים (1) $I_n \geq I_b$.

ממבט ראשון נראה כי מא"ז $I_n = 20A$ מקיים את התנאי האמור. אך
מעיון בנתוני הטבלה שבאיור 1 רואים בטמפרטורה האופפת הנתונה
($35^\circ C$), הזרם הנקוב בפועל הוא $I'_n = 19.49A$. במלים אחרות, כדי
שהמעגל המתוכנן ימלא את ייעודו ויאפשר הפעלה סדירה של מערכת
מיזוג האוויר, יש לבחור במא"ז $I_n = 25A$, שהזרם הנקוב שלו בפועל
הוא $I'_n = 24.35A$.

ב. נבחר כעת את מוליכי הזינה של המעגל. נחליט לצורך העניין,
שהמעגל יבוצע באמצעות מוליכים עם "בידוד $70^\circ C$ ", המונחים בתוך
צינור ביציקת בטון.

על-פי תקנות החשמל בדבר העמסת מוליכים במקרה זה, חייבים
המוליכים לקיים את התנאי: $I_2 \geq I_2 / 1.3$ (2)

כאשר: I_2 = הזרם המתמיד המירבי של המוליך בתנאי הסביבה הנתונים.
 $I_2 =$ זרם הבדיקה הגבוה של המא"ז ($I_2 = 1.45 \times I_n$).