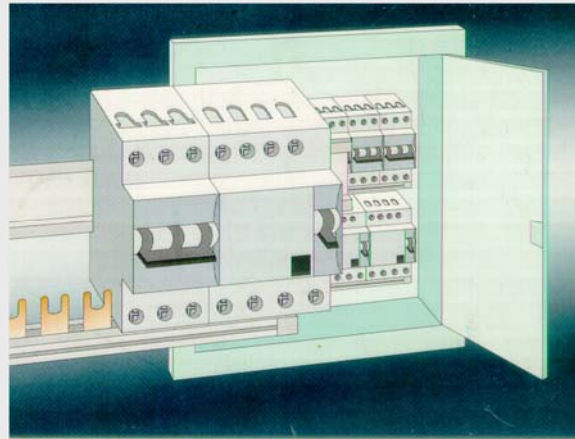


# העמסה והגנה של מוליכים מבודדים וכבלים



פורסם בקובץ התקנות  
4 במרץ 2014.



כתיבה ועריכה  
סגל אריאל

# מבטחים והתקנתם



כללי:

➤ לא יתכנן אדם, לא יתקין, לא יבדוק, לא ישנה כוונון ולא יתקן מבטח אלא אם כן הוא חשמלאי בעל רישיון מתאים לגודל המבטח.

# מבטחים והתקנתם



חובת ההגנה:

- כל מוליך חי, אשר איננו מוליך אפס N, מוליך PEN, או מוליך תווך מוארק, בקו או מעגל סופי חייב להיות מוגן ע"י מבטח המגן בפני זרם קצר והעמסת יתר, או על ידי מבטח נפרד לכל יעוד.
- אין צורך בהגנה מפני זרם העמסת יתר, אם מקור הזינה אינו יכול לגרום לזרם העמסת יתר במוליכים או אם המעגל מזין מיתקני חירום.
- חתך מוליך אפס (N) יהיה כזה שימנע חימום יתר של מוליך זה.

# איסור התקנת מבטח



אין להתקין מבטח במקומות המפורטים להלן:

- במוליך PEN
- במוליך האפס (N) אלא אם כן המבטח מפסיק בו-זמנית גם את שאר מוליכי המופעים;
- במוליך הארקה PE.
- במוליך חיבור לפס השוואת פוטנציאלים;
- במעגל משני של משנה זרם;
- במעגל עירור של גנרטור או מנוע לזרם ישר;
- במעגל המזין התקן התרעה חיוני כגון צופר או מעגל פיקוד שהפסקתו כרוכה בסכנה.



## מבטחים והתקנתם

### מיקום התקנת המבטח וייעודו:

- מבטח להגנה בפני זרם העמסת יתר ומבטח להגנה בפני זרם קצר יותקנו בכל הסתעפות של מעגל שבה חלה הקטנה בכושר ההעמסה של המוליך עקב הקטנת חתכו, שינוי אופן התקנתו או שינוי סוג הבידוד
- קיים במעלה מעגל מבטח בפני זרם קצר, המגן עד לסיום המעגל על המוליכים שבהם חלה הקטנת כושר ההעמסה, אין חובה להתקין הגנה נוספת בפני זרם קצר בלבד.



## מבטחים והתקנתם

### מיקום התקנת המבטח וייעודו:

- בהסתעפות שאורכה אינה עולה על 3 מטרים ושאופן התקנתה מקטין עד לסבירות מזערית היווצרות קצר, אין חובה להתקין הגנה נוספת.
- בהסתעפות יכול שהמבטח בפני זרם העמסת יתר בלבד ימוקם במקום כלשהו במעגל, בתנאי שאין כל הסתעפות בין נקודת ההקטנה של כושר ההעמסה לבין המבטח.



## מבטחים והתקנתם

### מבחינים ב-3 סוגי מבטחים:

1. מבטח להגנה בפני עומס יתר בלבד (Overload Current).
2. מבטח להגנה בפני זרם קצר או מפסק זרם אוטומטי מגביל זרם בלבד (Short Circuit Current).
3. מבטח להגנה בפני זרם יתר (Over Current) (מגן בפני עומס יתר וזרם קצר).



## מבטחים והתקנתם

### סוגי מבטחים:

מחלקים את המבטחים ל-2 קבוצות עיקריות :

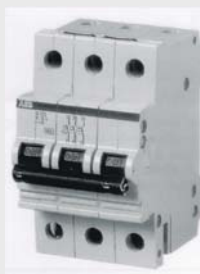
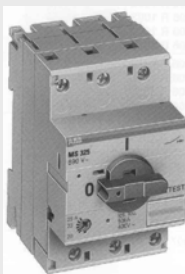
1. נתיכים.
  2. מפסקי זרם אוטומטיים.
- שני הסוגים מיועדים להגן על הציוד החשמלי או המוליכים בפני זרם יתר.
- שניהם בעלי אופיין מסוג Inverse time (זמן הפוך) כלומר, התקצרות זמן הניתוק עם עליית הזרם דרך המבטח.

# מבטחים והתקנתם

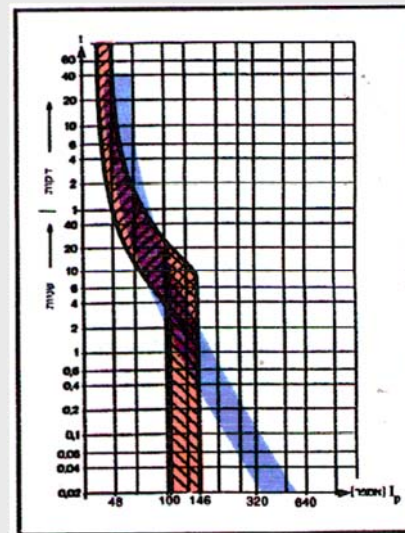


נתיכים

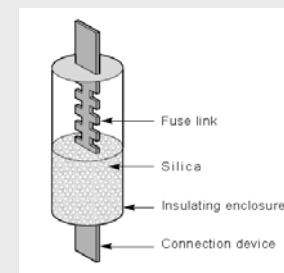
מפסק אוטומטי זעיר ומתנע תרמו-מגנטי



# מבטחים והתקנתם



השוואת אופיין ניתוק של נתיך מול מא"ז בעלי זרם נקוב של 32A



# מבטחים והתקנתם

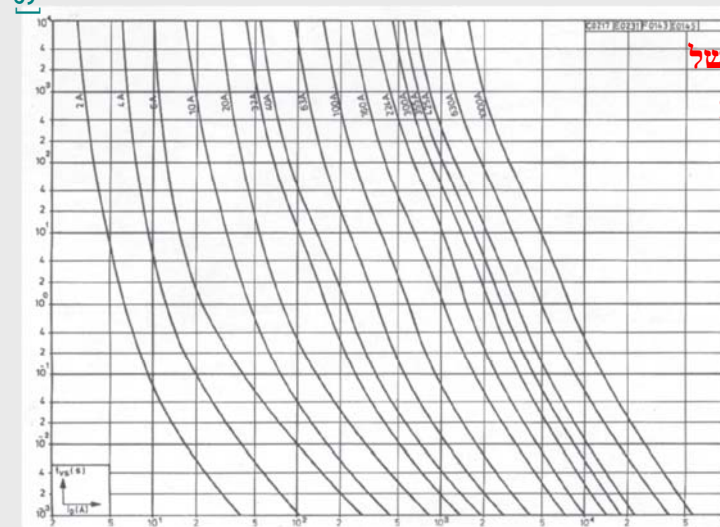


בנתיך עקומת הניתוק רציפה לכל אורכה ואילו עקומת הניתוק של מפסק אוטומטי מחולקת ל- 2 חלקים: חלק עליון מבטא את פעולת המנגנון התרמי, להגנה בפני עומסי יתר. חלק תחתון מבטא את פעולת המנגנון האלקטרוני להגנה בפני קצר.

# מבטחים והתקנתם



זמן [Sec]



אופייני זרם זמן הפוך של נתיכים בעלי אופיין gL

עקום הניתוק של נתיך. עקרון פעולה – תרמי. ניתוק לפי אנרגיית חום:

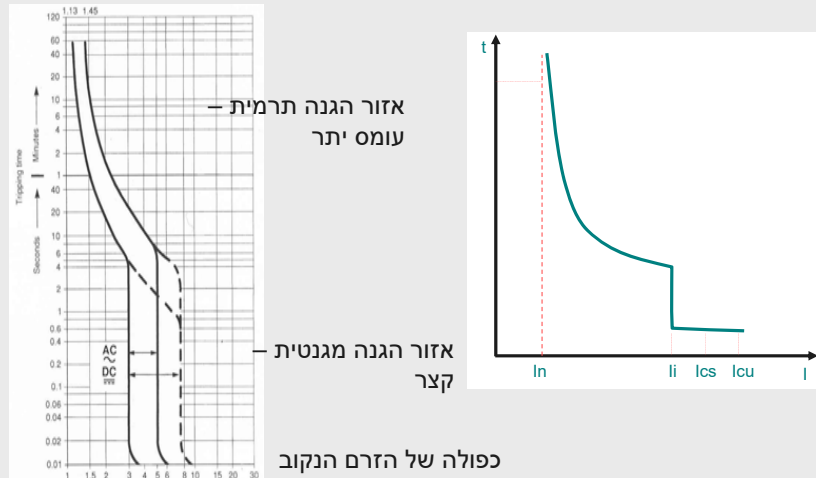
$$I^2 \cdot t$$

זרם [A]

## מבטחים והתקנתם



עקומת הניתוק של מא"ז. עקרון פעולה: חלק עליון – תרמי. חלק תחתון – מגנטי



## מבטחים והתקנתם



### המפסקים האוטומטיים מתחלקים ל- 4 קבוצות:

1. מפסקים אוטומטיים שאינם ניתנים לכוונון (מאז"ים).
2. מפסקים אוטומטיים שמנגנון יתרת הזרם שלהם ניתן לכוונון והמנגנון המגנטי לא ניתן לכוונון (PKZM).
3. ממסרים תרמיים (Overloads) המנתקים זרם יתר על פי רוב באמצעות מגענים.
4. מפסקים אוטומטיים המצוידים במנגנונים תרמיים ואלקטרומגנטיים (או אלקטרוניים) ששניהם ניתנים לכוונון (NZM).

במא"זים האופייניים השכיחים הם B ו- C.  
בנתיכים האופייניים השכיחים הם gL ו- gM.

## מבטחים והתקנתם



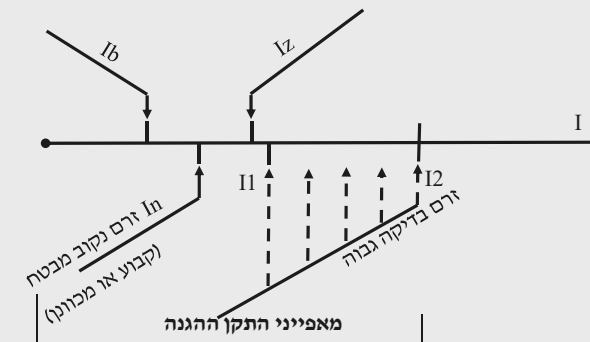
### מגדירים חמישה ערכי זרמים:

- $I_b$  - זרם העבודה הממושך במעגל (זרם הצרכן המרבי בעבודה תקינה).
- $I_n$  - הזרם הנקוב של המבטח או הזרם אליו הוא כוון.
- $I_z$  - הזרם המתמיד המרבי של המוליך (זרם זה מביא לעליית טמפרטורה במוליך עד לטמפ' המרבית המותרת בתנאי סביבה אחידים).
- $I'_z$  - ערך הזרם של מוליך המחושב כמכפלה של  $I_z$  במקדמי התיקון לפי הטבלאות שבתוספת הראשונה;
- $I_2$  - זרם הבדיקה הגבוה של המבטח (זרם השימוש המובטח ע"פ הזמן המוגדר בתקן של המבטח).

## מבטחים והתקנתם



### רמות הזרמים בתרשים:





## מבטחים והתקנתם

### הגנה בפני עומס יתר

המבטח חייב להגן על מוליכי המעגל החשמלי בפני נזק העלול להיגרם כתוצאה מעליית טמפרטורה של בידוד המוליכים או מרכיבים אחרים במסלול הזרם (הדקים, נק' חיבור), סביבה אופפת, מוליכים אחרים, מעבר למותר.

דרישת תקנות החשמל: מבטח המגן על מוליך בפני עומס יתר בלבד חייב להתאים לדרישות הבאות:

$$I_b \leq I_n \leq I'_Z \quad .1 \quad \text{חוק הזרם הנומינלי} :$$



## מבטחים והתקנתם

### מבטח להגנה בפני עומס יתר בלבד

$$I_2 \leq 1.45 \cdot I'_Z \quad .2 \quad \text{חוק השימוט (Tripping current rule)} :$$

בזרם הגדול ב-45% מעבר לזרם המתמיד המרבי של המוליך חייב המבטח להפסיק בוודאות בתוך זמן המתאים לסוג המבטח.



## מבטחים והתקנתם

הטבלה הבאה מתארת את ערכי הזרם  $I_2$  הנדרשים לפי התקנה:

$I_2$ [A]	$I_n$ [A]	סוג המבטח
$1.75 I_n$	$10A < I_n \leq 25A$	נתיך
$1.6 I_n$	$I_n > 25A$	
$1.45 I_n$	כל הערכים	מא"ז B או C
$1.3 I_n$	כל הערכים	מפסק זרם אוטומטי הניתן לכוונון



## מבטחים והתקנתם

### עבור מא"זים:

מחוק השימוט נדרש:

$$I_2 \leq 1.45 \cdot I'_Z$$

$$I_2 = 1.45 \cdot I_n$$

$$1.45 \cdot I_n \leq 1.45 \cdot I'_Z$$

זרם הבדיקה  $I_2$  של מא"זים מקיים:

מהצבת  $I_2$  באי שוויון העליון נקבל:

$$I_n \leq I'_Z$$

ערך הזרם הנקוב של המבטח שווה לערך הזרם של מוליך המחושב כמכפלה של  $I_z$  במקדמי התיקון



## בחירת שטח חתך מוליכי המתקן

### דוגמת תכנון מספר 1 – בחירת חתך ו/או זרם נקוב מבטח :

יש לתכנן כבל זינה ללוח משנה תלת מופעי, המותקן במפעל. זרם נקוב של הנתיכים המגנים על המעגל הינו 50 אמפר. תוואי הכבל ללוח ללא מעגלים נוספים. טמפרטורה אופפת 35°C. הכבל XLPE מנחשת ומונה צמוד לקיר.

**פתרון:** מחוק השימוט ומהטבלה עבור נתיכים בזרם 35A ומעלה נקבל:

$$I_2 \leq 1.45 \cdot I'_z \quad I_2 = 1.6 I_n \Rightarrow I'_z = \frac{1.6}{1.45} I_n = 1.1 \cdot I_n$$

$$I'_z = 1.1 \cdot I_n = 1.1 \cdot 50 = 55A$$

מטבלה 90.3 – מתקבל שכבל במעגל תלת מופעי שעונה לדרישה הנ"ל הינו בחתך 10 ממ"ר והזרם המתמיד המרבי בו 63A.



## בחירת שטח חתך מוליכי המתקן

### עבור מפסקים הניתנים לכוונון:

$$I_2 \leq 1.45 \cdot I'_z \quad \text{מחוק השימוט:}$$

$$I_2 = 1.3 \cdot I_n \quad \text{זרם הבדיקה של המפסקים מקיים:}$$

$$1.3 \cdot I_n \leq 1.45 \cdot I'_z \quad \text{מהצבת } I_2 \text{ באי שוויון העליון נקבל:}$$

$$I'_z \geq \frac{1.3}{1.45} \cdot I_n = 0.896 \cdot I_n \approx 0.9 \cdot I_n$$

לא הגיוני

לפי פסיקת ועדת הפירושים 10-13 אין להתייחס לתנאי זה.



## בחירת שטח חתך מוליכי המתקן

### הנתונים בטבלאות שבתקנים חושבו על פי הנחות אלו:

- הטמפרטורה המרבית המותרת בזרם  $I'_z$  היא 70°C בבידוד PVC
- הטמפרטורה המרבית המותרת בזרם  $I'_z$  היא 90°C בבידוד XLPE
- או סוגים של בידוד נטול הלוגנים המתאימים לטמפ' זו.
- הטמפרטורה האופפת היא 35°C באוויר או 30°C באדמה.
- ההתנגדות התרמית הסגולית של האדמה היא 2.5 K·m/W.
- בתנאים השונים מאלה יחושב הזרם המתמיד המרבי המתוקן של המוליך  $I'_z$  כמכפלה של מקדמי התיקון כמפורט בתוספת הראשונה.
- כאשר מוליך מותקן בשיטות שונות יש להתחשב בשיטה הנותנת תוצאות גרועות יותר.



## בחירת שטח חתך מוליכי המתקן

- מתכנן בעל רישיון חשמלאי מהנדס רשאי לסטות מהערכים המתקבלים מהנוסחאות שבתקנה זו, בתנאי שהוא מבסס את חישוביו על תנאי ההתקנה וההעמסה של המעגל או הקו.
- בכל מקרה, מוליך בעל בידוד 70°C בחתך 1.5 ממ"ר, יוגן באמצעות מבטח בעל זרם נקוב שאינו עולה על 10 אמפר, ומוליך בעל בידוד 70°C בחתך 2.5 ממ"ר, יוגן באמצעות מבטח בעל זרם נקוב שאינו עולה על 16 אמפר.
- מבטח מפני זרם העמסת יתר יכול שיותקן במקום כלשהו במעגל המוגן על ידו, בתנאי שאין לפניו הסתעפות במעלה המעגל או שזרם העבודה הממושך המרבי בהסתעפות נלקח בחשבון בעת בחירת המבטח.
- ליד כל מבטח או עליו, יימצא סימון ברור ובר-קיימא המציין את הזרם הנקוב שלו; לגבי מפסק אוטומטי הניתן לכוונון יסומן כאמור זרם הכוונון; לגבי נתיכים יסומן הזרם הנקוב של הנתיכים.



## בחירת שטח חתך מוליכי המתקן

**מתוך התוספת הראשונה טבלה 1:** מקדמי תיקון לחישוב  $I'_z$  בעבור ערכים שונים של טמפרטורה אופפת של אויר.

טמפרטורה אופפת של האויר [°C]														מקדם	
80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15		10
-	-	-	-	0.53	0.6	0.76	0.84	0.93	1.00	1.06	1.13	1.19	1.24	1.30	בידוד 70°C
0.43	0.52	0.60	0.68	0.74	0.79	0.85	0.91	0.95	1.00	1.04	1.08	1.13	1.17	1.20	

טמפ' היחוס של האויר נלקחה כפי שניתן לראות מהטבלה 35°C. בכל טמפ' שונה מזו יש להתחשב במקדם התיקון המתאים



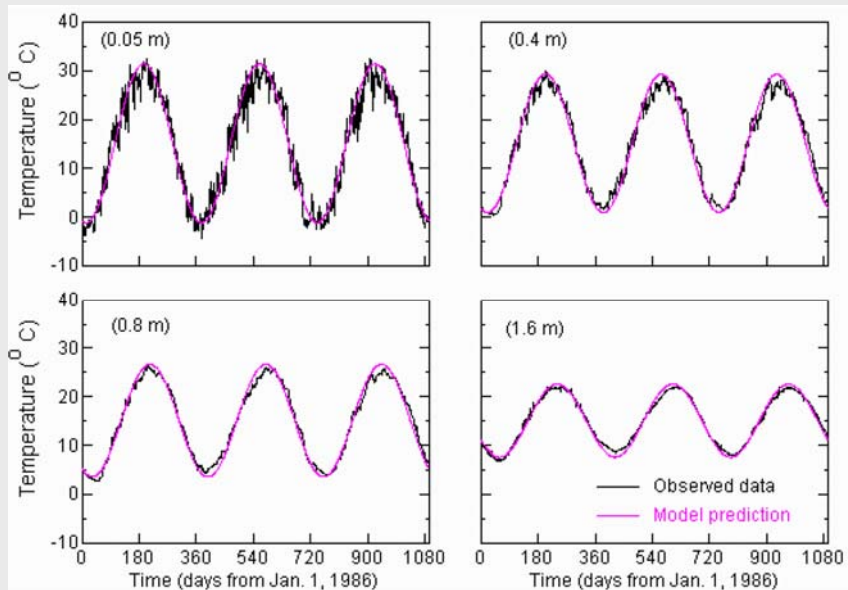
## בחירת שטח חתך מוליכי המתקן

**מתוך התוספת הראשונה טבלה 2:** מקדמי תיקון לחישוב  $I'_z$  בעבור ערכים שונים של טמפרטורה אופפת של הקרקע.

טמפרטורה אופפת של האדמה [°C]														מקדם	
80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15		10
-	-	-	-	0.51	0.62	0.71	0.80	0.87	0.94	1.00	1.07	1.12	1.18	1.24	בידוד 70°C
0.41	0.49	0.57	0.65	0.70	0.76	0.82	0.86	0.91	0.96	1.00	1.03	1.08	1.12	1.15	

טמפ' היחוס של הקרקע נלקחה כפי שניתן לראות מהטבלה 30°C. בכל טמפ' שונה מזו יש להתחשב במקדם התיקון המתאים

## השתנות טמפרטורת הקרקע כתלות בעומק



## בחירת שטח חתך מוליכי המתקן

**מתוך התוספת הראשונה טבלה 3:** מקדמי תיקון לחישוב  $I'_z$  בעבור ערכים שונים של התנגדות תרמית סגולית של הקרקע.

3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	$\left[ \frac{Km}{Watt} \right]$	התנגדות תרמית סגולית
0.96	1.00	1.05	1.10	1.18		מקדם התיקון

Nature of soil	k3
Very wet soil (saturated)	1.21
Wet soil	1.13
Damp soil	1.05
Dry soil	1.00
Very dry soil (sunbaked)	0.86



# בחירת שטח חתך מוליכי המתקן

דוגמאות להתנגדויות תרמיות סגוליות של קרקעות שונות שנמדדו בישראל בעומק 80-100 ס"מ בטמפרטורת קרקע של 25°C-35°C.

התנגדות תרמית סגולית °Ccm/Watt	סוג הקרקע
70-100	חול ים עדין
100-150	אדמה חומה
70-100	אדמת גיר או סלע גיר
400-500	אדמת מילוי עם אבנים גדולות (קוטר מעל 10 ס"מ)
150-200	אדמת מילוי עם אבנים קטנות (קוטר עד 5 ס"מ)
120-200	אדמה חומה עם סלע
120-200	אדמה חוורת אפורה יבשה (עמק הירדן)
80-120	אדמה שחורה
100-120	אדמת לס
120-250	אדמת מילוי לס ואבנים.



# התנגדות תרמית סגולית של הקרקע

התכונות התרמיות של הקרקע נגזרות מסוג האדמה. הנתון של התנגדות תרמית סגולית משמש בתחומי ההנדסה, קלימטולוגיה וחקלאות. נתון זה קשור להעברת החום בקרקע, על ידי קרינה, הולכה והסעה.

יחידות ההתנגדות התרמית הסגולית בתקנות החשמל עודכנו וכעת מתייחסות התקנות ל: **Km/Watt**. נתון זה מבטא את עלית הטמפרטורה לכל וואט פיזור לאורך 1 מטר.

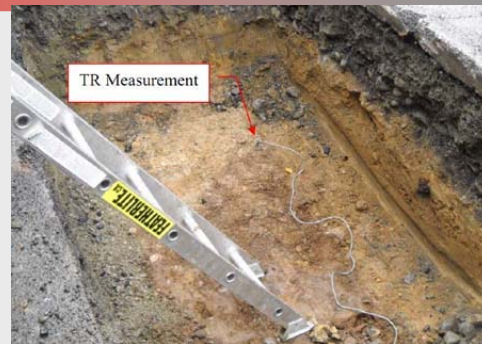
מרבית קטלוגי יצרני כבלים משתמשים **Km/Watt**.

הערכת ההתנגדות התרמית של האדמה צריכה להיות חלק מהתקנת כבלים בקרקע. מידע יקר ערך זה עוזר לקבוע את שטחי הכבלים המתאימים, היכולת להתקין מערכי כבלים, ולזהות את חומר המילוי המתאים.



# התנגדות תרמית סגולית של הקרקע

דגימות קרקע נלקחות למעבדה, המפיקה דו"ח מלא על תכונות הקרקע וחומר המילוי הנדרש.



לוקחים מספר דגימות קרקע מייצגות מהאתר המיועד להתקנה.



# טבלה 4 - מקדמי תיקון לחישוב I'z לכבלים המותקנים בקבוצות בלא רווח ביניהן

מס' סידורי	אופן התקנת הכבלים	מספר מעגלים או מספר כבלים רב־גידיים											
		20	16	12	9	8	7	6	5	4	3	2	1
1	מקבץ כבלים על גבי משטח, בהתקנה סמויה או חשיפה	0.38	0.41	0.45	0.50	0.52	0.54	0.57	0.60	0.65	0.70	0.80	1.00
2	כבלים בשכבה אחת על קיר, רצפה או על מגש לא מחורר				0.70	0.71	0.72	0.72	0.73	0.75	0.79	0.85	1.00
3	כבלים בשכבה אחת מותקנים בצמוד לתקרה				0.61	0.62	0.63	0.64	0.66	0.68	0.72	0.81	0.95
4	כבלים בשכבה אחת מותקנים על מגש מחורר אופקי או אנכי				0.72	0.72	0.73	0.73	0.75	0.77	0.82	0.88	1.00
5	כבלים בשכבה אחת מותקנים על סולם או באמצעות חבקים וכיוצא באלה				0.78	0.78	0.79	0.79	0.80	0.80	0.82	0.87	1.00

1. מקדמי התיקון מתייחסים לקבוצות כבלים המועמסים באופן דומה.
2. אם המרחק האופקי בין הכבלים הסמוכים עולה על פי שניים מקוטרו החיצוני, אין להתחשב במקדמי התיקון לפי הטבלה.
3. מקדמי התיקון מתייחסים לקבוצות של 2 או 3 כבלים חד־גידיים ולקבוצות של כבלים רב־גידיים.

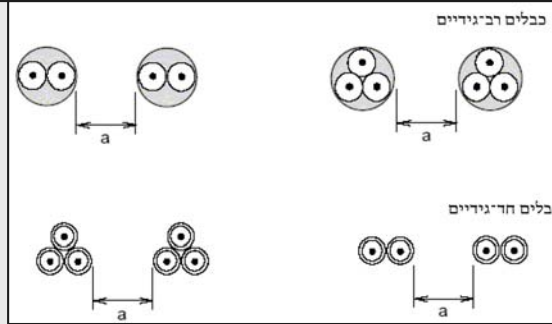


טבלה 5 - מקדמי תיקון לחישוב I' עבור מעגלים מכבלים חד - גידיים צמודים או מכבלים רב - גידיים המונחים ישירות באדמה כתלות במרחק ביניהם.



מרחק בין המעגלים (a) בסנטימטרים					מספר המעגלים
a=50	a = 25	a =12.5	a = De	a=0 (צמודים)	
0.90	0.90	0.85	0.80	0.75	2
0.85	0.80	0.75	0.70	0.65	3
0.80	0.75	0.70	0.60	0.60	4
0.80	0.70	0.65	0.55	0.55	5
0.80	0.70	0.60	0.55	0.50	6

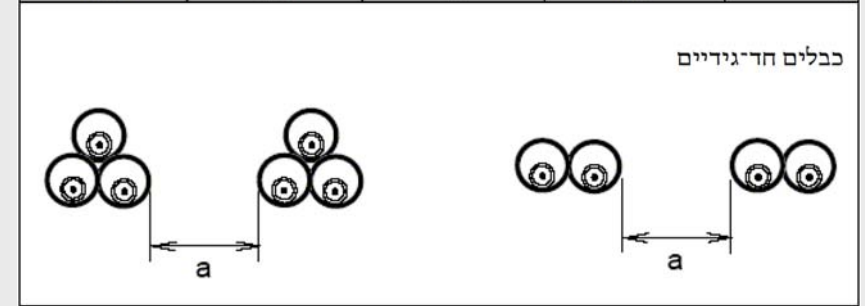
De - קוטר חיצוני של הכבל



טבלה 6 - מקדמי תיקון לחישוב I' בעבור קבוצות של כבלים חד-גידיים בתוך צינורות המונחים ישירות באדמה - כל כבל בצינור נפרד.



מרחק בין הקבוצות של הצינורות (a) בסנטימטרים				מספר קבוצות של צינורות
a = 100	a = 50	a = 25	a = 0 (צמודים)	
0.95	0.90	0.90	0.80	2
0.90	0.85	0.80	0.70	3
0.90	0.80	0.75	0.65	4
0.90	0.80	0.70	0.60	5
0.90	0.80	0.70	0.60	6

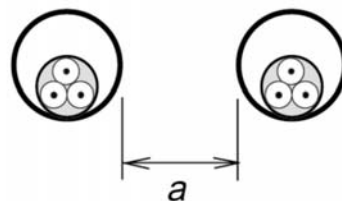


טבלה 7 - מקדמי תיקון לחישוב I' בעבור קבוצות של כבלים רב-גידיים בתוך צינורות המונחים ישירות באדמה - כל כבל בצינור נפרד.



מרחק בין הקבוצות של הצינורות (a) בסנטימטרים				מספר קבוצות של צינורות
a = 100	a = 50	a = 25	a = 0 (צמודים)	
0.95	0.95	0.90	0.85	2
0.95	0.90	0.85	0.75	3
0.90	0.85	0.80	0.70	4
0.90	0.85	0.80	0.65	5
0.90	0.80	0.80	0.60	6

כבלים רב-גידיים



## בחירת שטח חתך מוליכי המתקן



**שלבי קביעת חתך המוליכים והמבטחים כאשר ידוע הזרם I<sub>b</sub>**

א- חישוב מקדם התיקון הכללי K<sub>t</sub>.  $K_t = K_1 * K_2 * K_3 * K_4 * K_5 * K_6 * K_7$

ב- בחירת מפסק זרם מתאים (סוג וערך)  $I_n \geq I_b$

ג- הכפלת ערך הזרם הנקוב של המפסק במקדם המתאים כדי לקבל את ערכו של הזרם I'<sub>Z</sub>. ערך זה יהיה גודל הזרם המתמיד המרבי שהמוליך יעביר בתנאי ההתקנה המפורטים בטבלאות.



## בחירת שטח חתך מוליכי המתקן

**-ד** קביעת גודל הזרם  $I_z$ :  $I'_z = I_z \cdot K_T$      $I_z = I'_z / K_T$

**-ה** קביעת חתך המוליך מהטבלה המתאימה לסוג המוליך ושטח התקנתו. בוחרים את הערך של  $I_z$  הקרוב ביותר לערך המחושב והגדול ממנו.

**-ו** במידה וההתקנה דורשת שימוש במספר כבלים במקביל יש לחזור על החישוב ולהתחשב בהשפעת הכבלים הצמודים.

שים לב!!! תכנון זה אינו מביא בחשבון את מפל המתח. על פי חוק החשמל נדרש כי מפל המתח בין לוח החשמל לצרכן לא יעלה על 3%. בסוף מצגת זו מוצגת שיטת חישוב מפלי המתח.



## שיטות התקנה של מוליכים וכבלים

סימון השיטה	תיאור גרפי של השיטה	תיאור מילולי של שיטת ההתקנה	טבלת ערכי הזרם $I_z$ בתוספת השנייה
א		מוליכים מבודדים או כבלים חד-גידיים בצינור שבקיר, עם בידוד תרמי <sup>(1)</sup>	70.1 90.1
ב		כבלים רב-גידיים בצינור שבקיר, עם בידוד תרמי <sup>(1)</sup>	70.2 90.2
ג		מוליכים מבודדים או כבלים חד-גידיים במוביל שעל גבי קיר, או בהתקנה באמצעות חבקים. המרחק מהקיר יהיה עד 0.3 כפול קוטר הכבל	70.3 90.3
ד		כבלים רב-גידיים במוביל שעל גבי קיר, או בהתקנה באמצעות חבקים.	70.4 90.4



## שיטות התקנה של מוליכים וכבלים

סימון השיטה	תיאור גרפי של השיטה	תיאור מילולי של שיטת ההתקנה	טבלת ערכי הזרם $I_z$ בתוספת השנייה
ה		מוליכים מבודדים או כבלים חד-גידיים בתוך תעלה על גבי קיר	70.3 90.3
ו		כבלים רב-גידיים בתוך תעלה על גבי קיר	70.4 90.4
ז		מוליכים מבודדים או כבלים חד-גידיים בתוך תעלה תלויה	70.3 90.3
ח		כבלים רב-גידיים בתוך תעלה תלויה	70.4 90.4
ט		מוליכים מבודדים או כבלים חד-גידיים בתוך תעלה חשיפה המשמשת גם שירותים אחרים	70.3 90.3



## שיטות התקנה של מוליכים וכבלים

סימון השיטה	תיאור גרפי של השיטה	תיאור מילולי של שיטת ההתקנה	טבלת ערכי הזרם $I_z$ בתוספת 2
י		כבלים רב-גידיים בתעלה חשיפה המשמשת גם שירותים אחרים	70.4 90.4
י"א		כבלים חד-גידיים או רב-גידיים בתוך משקוף של דלת או חלון	70.1 90.1
י"ב		כבלים חד-גידיים או רב-גידיים בצמוד לקיר או לתקרה	70.5 90.5
י"ג		כבלים חד-גידיים או רב-גידיים על גבי מגש לא מחורר	70.5 90.5
י"ד		כבלים רב-גידיים על גבי מגש מחורר או מגש רשת	70.7 90.7
ט"ו		כבלים חד-גידיים על גבי מגש מחורר או מגש רשת	70.8 90.8



## שיטות התקנה של מוליכים וכבלים

טבלת ערכי הזרם Iz בתוספת 2	תיאור מילולי של שיטת ההתקנה	תיאור גרפי של השיטה	סימון השיטה
70.7 90.7	כבלים רב-גידיים על גבי סולם כבלים		ט"ז
70.8 90.8	כבלים חד-גידיים על גבי סולם כבלים		י"ז
70.4 90.4 70.3 90.3	כבלים חד-גידיים או רב-גידיים בחלל בנוי בתוך מבנה: (א) כאשר $De \leq V < 5De1.5$ (ב) כאשר $De \leq V \leq 50De5$		י"ח
70.4 90.4 70.3 90.3	כבלים חד-גידיים או רב-גידיים בתקרה כפולה או ברצפה כפולה ("צפה"): (א) כאשר $De \leq V < 5De1.5$ (ב) כאשר $De \leq V \leq 50De5$		י"ט



## שיטות התקנה של מוליכים וכבלים

טבלת ערכי הזרם Iz בתוספת 2	תיאור מילולי של שיטת ההתקנה	תיאור גרפי של השיטה	סימון השיטה
70.3 90.3	כבל חד-גידי בתוך תעלה משוקעת ברצפה; המכסה הוא בלא פתחי אורור		כ'
70.4 90.4	כבלים רב-גידיים בתוך תעלה משוקעת ברצפה; המכסה הוא בלא פתחי אורור		כ"א
70.3 90.3	כבלים חד-גידיים בתעלה משוקעת בתוך קיר; המכסה הוא בלא פתחי אורור		כ"ב
70.4 90.4	כבלים רב-גידיים בתעלה משוקעת בתוך קיר; המכסה הוא בלא פתחי אורור		כ"ג
70.4 90.4 70.3 90.3	מוליכים מבודדים בתוך צינור הנמצא בתעלה בלא אורור, בהתקנה אופקית בלבד: (א) כאשר $De \leq V < 20De1.5$ (ב) כאשר $V \geq 20De$		כ"ד



## שיטות התקנה של מוליכים וכבלים

טבלת ערכי הזרם Iz בתוספת 2	תיאור מילולי של שיטת ההתקנה	תיאור גרפי של השיטה	סימון השיטה
70.3 90.3	מוליכים מבודדים בצינור בתעלת כבלים ברצפה, כאשר התעלה פתוחה או מכוסה במכסה עם פתחי אורור <sup>(2)</sup>		כ"ה
70.4 90.4	כבלים רב-גידיים בצינור בתעלת כבלים ברצפה, כאשר התעלה פתוחה או מכוסה במכסה עם פתחי אורור <sup>(2)</sup>		כ"ו
70.3 90.3	כבלים חד-גידיים או רב-גידיים בתעלת כבלים במישור אופקי או אנכי, כאשר התעלה פתוחה או מכוסה במכסה עם פתחי אורור <sup>(2)</sup>		כ"ז
70.3 90.3	מוליכים מבודדים או כבלים חד-גידיים בצינור בתוך קיר <sup>(3)</sup>		כ"ח



## שיטות התקנה של מוליכים וכבלים

טבלת ערכי הזרם Iz בתוספת 2	תיאור מילולי של שיטת ההתקנה	תיאור גרפי של השיטה	סימון השיטה
70.4 90.4	כבלים רב-גידיים בצינור בתוך קיר <sup>(3)</sup>		כ"ט
70.6 90.6	כבלים חד-גידיים או רב-גידיים בצינור או בתעלה בנויה בתוך האדמה		ל'
70.6 90.6	כבלים חד-גידיים או רב-גידיים טמונים באדמה במישור עם או בלי כיסוי מגן <sup>(4)</sup>		ל"א

- מתייחס לשכבת בידוד תרמי, שבתוך הקיר, בעל מוליכות תרמית של  $10 \text{ w/m}^2 \cdot \text{K}$  לפחות.
- מומלץ ששיטת התקנה זו תיושם רק באזורים שהכניסה אליהם מותרת לאנשים מורשים בלבד, כדי למנוע הצטברות של לכלוך וחומרים דליקים בתעלה.
- התנגדות תרמית סגולית של חומר הבניה תהיה  $2 \text{ K} \cdot \text{m/W}$  לכל היותר.
- טבלאות ההעמסה (Iz לשיטת התקנה של כבלים במישור באדמה, מתייחסות להתנגדות תרמית סגולית של הקרקע 2.5  $\text{K} \cdot \text{m/W}$ ; אם המרחב מצויים נתונים על התנגדות תרמית סגולית של קרקע נמוכה יותר, ניתן לנצל את רמת ההעמסה של הכבל בהתאם למקדמי התיקון שבטבלאות של התוספת הראשונה; מקדמי התיקון האמורים אינם חלים על שיטת התקנה "ל"א.



## הערות ונקודות חשובות

- כשמוליך בחתך אחיד עובר כמה קטעים שבהם שוררים תנאים שונים, יחושב הזרם המרבי המתוקן לכל אחד מהקטעים ויבחר הערך הגבוה ביותר של הזרם המרבי המתוקן.
- מתכנן בעל רישיון חשמלאי מהנדס רשאי לסטות מהערכים המתקבלים מהנוסחאות שבתקנה זו, בתנאי שהוא מבסס את חישוביו על תנאי ההתקנה וההעמסה של המעגל או הקו.
- על אף האמור בסעיף הקודם, מוליך בעל בידוד  $70^{\circ}\text{C}$  בחתך  $1.5$  ממ"ר, יוגן באמצעות מבטח בעל זרם נקוב שאינו עולה על  $10$  אמפר, ומוליך בעל בידוד  $70^{\circ}\text{C}$  בחתך  $2.5$  ממ"ר, יוגן באמצעות מבטח בעל זרם נקוב שאינו עולה על  $16$  אמפר.
- מבטח מפני זרם העמסת יתר יכול שיותקן במקום כלשהו במעגל המוגן על ידו, בתנאי שאין לפניו הסתעפות במעלה המעגל או שזרם העבודה הממושך המרבי בהסתעפות נלקח בחשבון בעת בחירת המבטח.



## בחירת שטח חתך מוליכי המתקן

### דוגמה 2 – בחירת שטח חתך כבל ומבטח בתנאים שונים מערכי הטבלאות

יש לתכנן מעגל זינה ללוח משנה המותקן במפעל. זרם העבודה הצפוי מהפעלת הצרכנים הינו  $50$  אמפר. כבל ההזנה מנחושת עם בידוד PVC מונח על סולם כבלים בנוסף לחמישה כבלים קיימים המונחים בשכבה אחת. טמפרטורה אופפת  $40$  מעלות צלסיוס.



## בחירת שטח חתך מוליכי המתקן

### פתרון דוגמה 2 :

מקדם תיקון טמפרטורה  $40^{\circ}\text{C}$ :  $K_1 = 0.93$

מקדם תיקון: 6 כבלים בשכבה אחת:  $K_4 = 0.79$

מקדם תיקון כולל:  $K_t = K_1 \cdot K_4 = 0.93 \cdot 0.79 = 0.7347$

להגנת הצרכן נבחר מא"ז בעל ערך נקוב של  $50\text{A}$

$$I'_z \geq 1 \cdot In = 1 \cdot 50 = 50\text{A}$$

חישוב זרם מרבי מותר למוליך בשל התנאים החריגים:

$$I_z = \frac{I'_z}{K_t} = \frac{50}{0.7347} = 68.05\text{A}$$

בשיטת ההתקנה ט"ז ההפניה היא לטבלה  $70.7$  – יש לבחור כבל בחתך  $16\text{mm}^2$  המתאים לזרם מרבי של  $75\text{A}$ .



## בחירת שטח חתך מוליכי המתקן

### דוגמה 3:

צרכן תלת מופעי צורך זרם של  $70$  אמפר מוזן בכבל תלת מופעי בעל מוליכי אלומיניום ובידוד XLPE. הכבל מונח על מגש רשת בשכבה אחת יחד עם  $5$  כבלים אחרים. טמפרטורת סביבה (אופפת)  $40$  מעלות צלסיוס.

יש לקבוע:

א- את הזרם הנומינלי של מא"ז סטנדרטי המגן על מעגל זה.

ב- את חתך הכבל הנדרש.



## בחירת שטח חתך מוליכי המתקן

### פתרון דוגמה 3 בהנחת הגנה באמצעות מא"ז:

נתון:  $I_b = 70A$ , שיטת ההתקנה : י"ב

**שלב א'** מקדם תיקון טמפ' אופפת שונה מ- $35^{\circ}C$ :  $K_1 = 0.95$

מקדם תיקון ל- 6 כבלים בשכבה:  $K_4 = 0.73$

מקדם תיקון כולל:  $K_T = K_1 \cdot K_4 = 0.95 \cdot 0.73 = 0.6935$

**שלב ב'** בחירת מפסק זרם סטנדרטי (מא"ז):  $I_n = I_z = 80A > I_b$

**שלב ד'** זרם מרבי מתוקן  $I_z = \frac{I'_z}{K_T} = \frac{80}{0.6935} = 115.4A$

**שלב ה'** בחירת שטח חתך הכבל על פי הזרם המתמיד המרבי בטבלה - הערך הקרוב בטבלה - 90.7 הינו 115A, המתאים גבולית לשטח חתך של 35 ממ"ר.



## בחירת שטח חתך מוליכי המתקן

### פתרון דוגמה 3 בהנחת מפסק זרם מתכוונן:

נתון:  $I_b = 70A$ , שיטת ההתקנה : י"ב

**שלב א'** מקדם תיקון טמפ' אופפת שונה מ- $35^{\circ}C$ :  $K_1 = 0.95$

מקדם תיקון ל- 6 כבלים בשכבה:  $K_4 = 0.73$

מקדם תיקון כולל:  $K_T = K_1 \cdot K_4 = 0.95 \cdot 0.73 = 0.6935$

**שלב ב'** נכוון את המפסק לזרם הצרכן:  $I_n = 70A = I_b$

**שלב ג'**  $I'_z = 1 \cdot I_n = 1 \cdot 70 = 70A$

**שלב ד'** זרם מרבי מתוקן  $I_z = \frac{I'_z}{K_T} = \frac{70}{0.6935} \cong 101A$

**שלב ה'** בחירת שטח חתך הכבל על פי הזרם המתמיד המרבי בטבלה - הערך הקרוב בטבלה - 90.7 הינו 115A, המתאים לשטח חתך של 35 ממ"ר.

לעיתים בזכות השימוש במפסק אוטומטי מופחת שטח חתך הכבל! לא במקרה זה!



## בחירת שטח חתך מוליכי המתקן

### דוגמא 4:

צרכן תלת מופעי צורך זרם של 155 אמפר באמצעות כבלים חד גידיים מאלומיניום עם בידוד XLPE. הכבלים מותקנים במישרין באדמה במשולש עם עוד 3 כבלים חד גידיים. המעגלים צמודים. טמפ' אדמה אופפת - 35 מעלות צלסיוס.

1. בחר מפסק אוטומטי תקני מתאים.

2. קבע את שטח חתך מוליכי הכבל הנדרש כשהמפסק מכוון לערך הזרם המרבי (הזרם הנקוב שלו).



## בחירת שטח חתך מוליכי המתקן

### פתרון דוגמה 4:

נתון:  $I_b = 155A$ , שיטת ההתקנה : ל"א

**שלב א'** מקדם תיקון טמפ' אדמה שווה ל- $35^{\circ}C$ :  $K_2 = 0.96$

מקדם תיקון ל- 2 מעגלים צמודים:  $K_5 = 0.75$

מקדם תיקון כולל:  $K_T = K_2 \cdot K_5 = 0.96 \cdot 0.75 = 0.7125$

**שלב ב'** נבחר מפסק לזרם נקוב של 160A:  $I_n = 160A > I_b$

**שלב ג'**  $I'_z = 1 \cdot I_n = 1 \cdot 160 = 160A$

**שלב ד'** זרם מרבי מתוקן  $I_z = \frac{I'_z}{K_T} = \frac{160}{0.7125} = 224.6A$

**שלב ה'** בחירת שטח חתך הכבל על פי הזרם המתמיד המרבי בטבלה 90.6 הערך הקרוב הינו 253A, המתאים לשטח חתך של 240 ממ"ר.



## בחירת שטח חתך מוליכי המתקן

### דוגמא 5:

לוח חשמל מוזן באמצעות כבל תלת מופעי רב גידי מנחושת, בידוד פוליאיטילן מוצלב הכבל מונח יחד עם שלושה כבלים רב גידיים אחרים בתעלת כבלים מכוסה במכסה עם פתחי אוורור. טמפרטורת סביבה בתעלה – 45 מעלות צלסיוס.

הספק צרכני הלוח: 65kW, מקדם הספק – 0.85, מתח נקוב 400V.  
א. מצא את הזרם הנקוב של המפסק המתאים להגנת הצרכן.  
ב. מצא את חתך הכבל המתאים להזנת הלוח הנתון כשהמפסק מכוון לזרם הנקוב שלו.



## בחירת שטח חתך מוליכי המתקן

### פתרון דוגמא 5:

זרם עבודה ממושך של הצרכנים:  $I_b = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\phi} = \frac{65,000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.85} = 110.5A$   
נתקין מפסק לזרם נקוב של 125A.

מקדמי התיקון עבור מקבץ כבלים (4) על פני משטח בהתקנה סמויה או חשיפה והשפעת הטמפרטורה:  $K_4 = 0.65$   $K_1 = 0.91$   $K_T = 0.5915$

חישוב הזרם תוך התחשבות במקדמי תיקון:  $I_z \geq \frac{I'_z}{K_i} = \frac{125}{0.5915} = 211.3A$

שיטת ההתקנה כ"ז מפנה לטבלה 90.3. יש לבחור כבל בשטח חתך  $70mm^2$  שמסוגל להעביר זרם מתמיד מרבי בשיעור של 213A.



## מבטחים והתקנתם

### דוגמא 6

נדרש לתכנן כבלי הזנה משנאי בהספק של 630kVA. השנאי מזין לוח ראשי באמצעות כבלים חד גידיים מנחושת בעלי בידוד XLPE בשטח חתך של 240 מ"ר המונחים צמודים זה לזה על מגש מחורר. השנאי מוגן באמצעות נתיכים תקינים.

יש לקבוע את מספר הכבלים ואת שטח החתך שלהם. טמפרטורת הסביבה  $45^{\circ}C$ .

שים לב!!! למרות שמדובר בקטע כבל המחבר בין השנאי לנתיכים, שמיקום הנתיכים הוא אחריו, יש להתחשב בנתיכים המותקנים, היות והם יכתיבו את הזרם המותר בכבל.



## בחירת שטח חתך מוליכי המתקן

### פתרון דוגמא 6

זרם השנאי:  $I_b = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 0.4} = 910A$   
הנתיכים המתאימים להגנת שנאי זה הם בערך של 1000A.  
מקדם התיקון בגין נתיכים לזרם העולה על 25A הוא:

$$I_2 = 1.6 \cdot I_n \quad I_2 = 1.45 \cdot I'_z$$

$$\Rightarrow I'_z = 1.1 \cdot I_n = 1.1 \cdot 1000 = 1100A$$

כבלים חד גידיים במעגל תלת מופעי מופיעים בטבלה 90.8. כבלים בעלי שטח חתך  $240mm^2$ . יכולים להוליך זרם מתמיד מרבי של 583A. לכן, יש צורך בלפחות 2 כבלים במקביל בכל מופע ו-2 כבלים במקביל עבור מוליך האפס. סה"כ 8 כבלים המונחים בשכבה אחת.



# בחירת שטח חתך מוליכי המתקן

## המשך פתרון דוגמא 6

מקדם התיקון עבור 8 כבלים מבודדים המהווים 2 מעגלים, ללא רווח

$$K_4 = 0.88 \quad \text{בניהם המונחים בשכבה אחת על מגש מחורר:}$$

$$K_1 = 0.91 \quad \text{מקדם התיקון בגין הטמפרטורה:}$$

$$K_T = K_4 \cdot K_1 = 0.88 \cdot 0.91 = 0.8 \quad \text{מקדם התיקון הכללי:}$$

$$I_Z = \frac{I'_Z}{K_T} = \frac{1100}{0.8} = 1375A \quad \text{נדרש לתקן את הבחירה ל-3 כבלים במקביל:}$$

מקדם התיקון בשל 3 כבלים בשכבה אחת במקרה זה:

$$K_4 = 0.82 \quad K_T = K_4 \cdot K_1 = 0.82 \cdot 0.91 = 0.7462$$

$$I_Z = \frac{I'_Z}{K_T} = \frac{1100}{0.7462} = 1474A \quad n = \frac{I_Z}{I_1} = \frac{1474}{583} = 2.53 \quad \text{3 כבלים מתאימים}$$



# בחירת שטח חתך מוליכי המתקן

## פתרון דוגמא 6 בשימוש בקטלוג יצרן

נשווה את בחירת שטח חתך הכבל לבחירה מתוך קטלוג יצרן. נתבונן בקטלוג כבלים של חברת סינרג'י ונבחר כבלים מנחושת חד גידיים. שים לב!!! הזרם הנתון בטבלאות מתייחס לטמפ' אופפת של 30°C ולא 35°C כבתקנות החשמל.



# בחירת שטח חתך מוליכי המתקן

Catalog Number	No. and Nominal cross sectional area of conductors	Nominal insulation thickness	Nominal sheath thickness	Approximate outer diameter	Approximate cable weight	Minimum bending radius	Max. conductor resistance at 20 °C	Short circuit rating (1 sec) (1)	Current rating (2)		Voltage Drop (5)	
									In Air (3)	Buried (4)	Single Phase AC	Three Phase AC
	No. x mm²	mm	mm	mm	kg/km	mm	Ω/km	kA	A	A	mV/A/m	mV/A/m
181001	1 x 10	0.7	1.8	9	180	135	1.83	1.4	77	90	4.7	4.0
1810027	1 x 16	0.7	1.8	10	210	150	1.15	2.3	102	115	2.9	2.5
1810037	1 x 25	0.9	1.8	13	310	195	0.727	3.6	139	149	1.85	1.60
1810047	1 x 35	0.9	1.8	14	410	210	0.524	5.0	170	178	1.35	1.15
1810057	1 x 50	1.0	1.8	15	530	225	0.387	7.2	208	211	1.00	0.87
1810067	1 x 70	1.1	1.8	18	750	270	0.268	10.0	265	259	0.71	0.61
1810087	1 x 95	1.1	1.8	19	970	285	0.193	13.6	326	310	0.52	0.45
181009	1 x 120	1.2	1.8	22	1270	330	0.153	17.2	381	352	0.43	0.37
181010	1 x 150	1.4	1.8	24	1550	360	0.124	21.5	438	396	0.36	0.31
1810111	1 x 185	1.6	1.8	27	1950	405	0.0991	26.5	507	449	0.30	0.26
1810121N	1 x 240	1.7	1.8	30	2560	450	0.0754	34.3	606	521	0.25	0.22
181014	1 x 300	1.8	1.8	32	3050	480	0.0601	42.9	697	587	0.22	0.195
1810151	1 x 400	2.0	2.0	33.5	3950	503	0.0470	57.2	816	669	0.20	0.175

- Short circuit rating is based on an initial conductor temperature of 90 °C and a final temperature of 250 °C.
- Current rating based upon operation at 90 °C conductor, three-phase a.c. load. According to VDE 0298.
- Cable laid in trefoil touching in freely circulating air at 30 °C, protected against direct thermal radiation due to sun, etc.
- Cable directly buried in trefoil touching at 0.7 m deep in soil at 20 °C, with 1 K . m/W thermal resistivity. Load factor 0.7.
- Voltage drop according to BS 7671:1992.3 assuming that the conductor temperature is 90 °C, the load is balanced and the phase angle of the cable equals that of the load. Single-phase (two cables) touching or three-phase in trefoil touching.

TEMPERATURE RATING FACTORS (Protection against short-circuit only). According to BS 7671:1992.3

Ambient Temperature °C	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
Correction factor air	1.08	1.04	1.00	0.96	0.91	0.87	0.82	0.76	0.71	0.65
Correction factor ground	1.00	0.96	0.93	0.89	0.85	0.80	0.76	-	-	-



# בחירת שטח חתך מוליכי המתקן

## המשך פתרון דוגמא 6 בשימוש בקטלוג יצרן

מקדם התיקון הכללי בהנחת 8 כבלים

$$K_T = K_{temp} \cdot K_4 = 0.87 \cdot 0.88 = 0.7656 \quad \text{(2 מעגלים) בשכבה אחת:}$$

$$I_Z = \frac{I'_Z}{K_T} = \frac{1100}{0.7645} = 1439A \quad \text{מספר הכבלים במקביל הנדרש במקרה זה:}$$

$$n = \frac{I_Z}{I_{Z1}} = \frac{1439}{606} = 2.38 \quad \text{יש צורך לשנות את מקדם התיקון בגין}$$

$$K_T = K_{temp} \cdot K_4 = 0.87 \cdot 0.82 = 0.7134 \quad \text{מספר הכבלים ל-0.82}$$

$$I_Z = \frac{I'_Z}{K_T} = \frac{1100}{0.7134} = 1542A$$

$$n = \frac{I_Z}{I_{Z1}} = \frac{1542}{606} = 2.54 \quad \text{דומה לחישוב קודם ושוב נדרשים 3 כבלים בשטח חתך 240 מ"מ"ר במקביל בכל מופע 3-כבלים עבור מוליכי אפס.}$$



## מבטחים והתקנתם

כמשתמשים במבטח משותף להגנת כמה מוליכים המחוברים במקביל בפני זרם העמסת יתר, יתקיימו במוליכים כל התנאים שלהלן:

1. הם יהיו מאותו חומר;
  2. הם יהיו בחתך שווה;
  3. הם יהיו בעלי אורך שווה;
  4. אבזרי החיבור שלהם ואופן התקנתם יהיו זהים;
  5. זרם ההעמסה יתאים לסוג הבידוד העומד בטמפרטורה הנמוכה ביותר.
- כשמוסיפים מוליך במיתקן במקביל למוליך קיים, לא יחולו הוראות תקנה זו, אם יובטח שזרם העבודה בכל מוליך לא יעלה על זרם שלו.



## מבטחים והתקנתם

**בעת התכנון יש לוודא בדיקת עמידת המבטחים והמוליכים בזרמי קצר.**

הגנת המתקן בפני זרם קצר קשורה בהיבטים הבאים:

- א כושר הניתוק של המבטחים.
- ב הגנה בפני התחממות יתרה של המוליך בזרם קצר.
- ג עמידה בהלם חום בזרם קצר.



## מבטחים והתקנתם

### א. כושר ניתוק:

מוגדר זרם קצר (או הספק קצר) מרבי אותו יכול המבטח להפסיק ללא נזק לו ולסביבתו (כגון: התפרקותו/התפוצצותו).

- נדרש לבדוק שהמבטחים מסוגלים להפסיק את זרם הקצר המרבי העלול להתרחש במקום התקנתם.
- נתיכים מצטיינים על פי רוב בכושר ניתוק גבוה מ- 80kA ועד 120kA.
- במפסקי זרם מצוין כושר הניתוק של זרם קצר ע"י I<sub>CU</sub>. נתון זה מופיע על שלט מפסק הזרם ומציין את עוצמת זרם הקצר שמפסק הזרם מסוגל להפסיק פעמיים.
- כושר הניתוק של מא"זים הינו בדרך כלל 6kA עד 10kA.
- קיימים מא"זים בעלי כושר ניתוק של 20kA ויותר. במתקני חשמל ביתיים משתמשים בדרך כלל במא"זים בעלי כושר ניתוק של 6kA. מאחר ואין על פי רוב חשש שזרם הקצר יעלה על ערך זה. במתקנים תעשייתיים ובצרכנים גדולים יש חשש שהמא"ז לא יעמוד בזרם הקצר המרבי ויש לחשב את ערכו.



## כושר ניתוק



<b>Tmax T2L 160</b>	I <sub>u</sub> =160A U <sub>e</sub> =690V U <sub>i</sub> =800V U <sub>imp</sub> =8kV						IEC 60947-2	
U <sub>e</sub> (V)	230	400/415	440	500	690	250	500	Made in Italy by ABB SACE
I <sub>cu</sub> (kA)	150	85	75	50	10	85	85	
I <sub>cs</sub> (% I <sub>cu</sub> )	75	75	75	75	75	75	75	
Cat A	~ 50-60Hz					2 P = 3 P in series		CE





## כושר ניתוק



### א. כושר ניתוק:

מוגדר כזרם קצר (או הספק קצר) מרבי אותו יכול המבטח להפסיק ללא נזק לו ולסביבתו (כגון: התפרקותו/התפוצצותו).

- נדרש לבדוק שהמבטחים מסוגלים להפסיק את זרם הקצר המרבי העלול להתרחש במקום התקנתם.
- נתיכים מצטיינים על פי רוב בכושר ניתוק גבוה מ- 80kA ועד 120kA.
- במפסקי זרם מצוין כושר הניתוק של זרם קצר ע"י  $I_{CU}$ . נתון זה מופיע על שלט מפסק הזרם ומציין את עוצמת זרם הקצר שמפסק הזרם מסוגל להפסיק פעמיים.
- כושר הניתוק של מא"זים הינו בדרך כלל 6kA עד 10kA.
- קיימים מא"זים בעלי כושר ניתוק של 20kA ויותר. במתקני חשמל ביתיים משתמשים בדרך כלל במא"זים בעלי כושר ניתוק של 6kA. מאחר ואין על פי רוב חשש שזרם הקצר יעלה על ערך זה. במתקנים תעשייתיים ובצרכנים גדולים יש חשש שהמא"ז לא יעמוד בזרם הקצר המירבי ויש לחשב את ערכו.

## כושר ניתוק



<b>Tmax T2L 160</b>	$I_u=160A$	$U_e=690V$	$U_i=800V$	$U_{imp}=8kV$	IEC 60947-2	
$U_e$ (V)	230	400/415	440	500	690	250 500
$I_{cu}$ (kA)	150	85	75	50	10	85 85
$I_{cs}$ (% $I_{cu}$ )	75	75	75	75	75	75 75
Cat A	~ 50-60Hz			2 P 3 P in series		CE



120kA



85kA



## הגנה בפני התחממות יתרה של המוליך בזרם קצר



### ב. הגנה בפני התחממות יתרה של המוליך בזרם קצר.

המבטח חייב לענות על 2 תכונות חשובות:

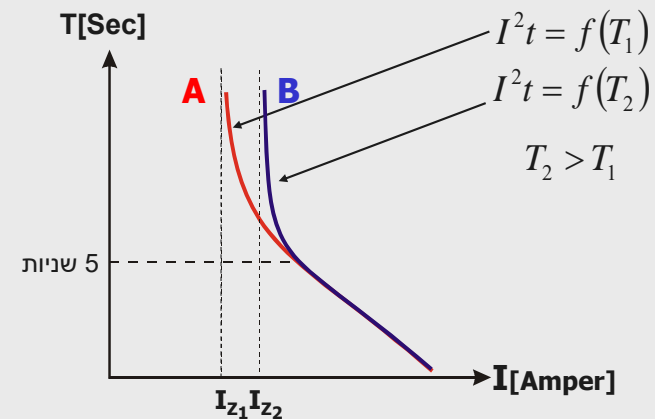
- הפסקת המעגל במצבי קצר בזמן קצר מהזמן המרבי המותר  $t$  שבו בזרם נתון נשמרת עדיין שלמות הבידוד. אך לא יותר מ- 5 שניות. הקשר המתמטי נתון ע"י:  $I^2t \leq K^2 S^2$
- לאפשר פעולה לזמן בלתי מוגבל של זרם  $I_b$  – הזרם הנקוב של המעגל.

התחממות  
אדיאבטית

## הגנה בפני התחממות יתרה של המוליך בזרם קצר



אופיין  $I^2t$  של מוליך מבודד, ב-2 ערכים שונים של טמ'א אופפת:



## הגנה בפני התחממות יתרה של המוליך בזרם קצר



הגרף מתאר אופיין  $I^2t$  של מוליך מבודד. ערך זה מבטא למעשה, את כמות החום הנפלטת מהמוליך בעת מעבר זרם  $I$  דרכו לכל אוהם של התנגדות המוליך עד הפסקת הזרם באמצעות המבטח.

החלק העליון של האופיין מתייחס למעבר זרם דרך המוליך במשך זמן העולה 5 שניות. קטע זה של האופיין תלוי במידה רבה בטמפרטורת הסביבה.

אופין A בטמפ' סביבה  $T_1$ .

אופין B בטמפ' סביבה  $T_2$ .

טמפרטורת הסביבה  $T_1$  גדולה מהטמפ'  $T_2$ . לכן, הזרם המרבי שניתן להזרים במוליך קטן יותר.

## הגנה בפני התחממות יתרה של המוליך בזרם קצר



החלק התחתון באופיין מתייחס לפרק זמן קטן מ-5 שניות. מתוך הנחה שבמהלך 5 השניות אין חילופי חום עם הסביבה (התחממות אדיאבטית) האופיין בתחום זמנים זה הוא בקירוב קו ישר.  $I^2t = K^2S^2$  מחילוץ  $t$  יתקבל פרק הזמן שבו מוליך בעל שטח חתך  $S$  יגיע לטמפרטורה של  $160^\circ\text{C}$  עבור בידוד P.V.C ו-  $250^\circ\text{C}$  עבור בידוד XLPE (בהתאם למקדם  $K$ ).

$$t = \frac{K^2 S^2}{I^2} = \left[ \frac{KS}{I_{K \min}} \right]^2$$

## הגנה בפני התחממות יתרה של המוליך בזרם קצר



חתך מוליכי המעגל והמבטח חייבים להתאים כך שזרם קצר יופסק ע"י המבטח תוך מספר שניות אך לא יותר מאשר 5 שניות.

$$t_{TH} = \frac{k^2 s^2}{I_{k \min}^2} = \left[ \frac{ks}{i_{k \min}} \right]^2 \geq t_{br} \leq 5 \text{Sec}$$

$t_{TH}$  משך קיום הקצר בשניות שבו מגיעה טמפרטורת המוליך לערך:  $160^\circ\text{C}$  לבידוד  $70^\circ\text{C}$  (PVC) כשהטמפרטורה ההתחלתית היא  $70^\circ\text{C}$   $250^\circ\text{C}$  לבידוד  $90^\circ\text{C}$  (XLPE) כשהטמפרטורה ההתחלתית היא  $90^\circ\text{C}$  התכנון חייב להבטיח שפרק זמן זה ארוך מזמן תגובת המבטח  $t_{br}$ .  
S – שטח חתך המוליך בממ"ר.

$I_{k \min}$  – זרם קצר חד פאזי הצפוי בנקודה המרוחקת ביותר של המעגל.  
k – מקדם התלוי בסוג המוליך ובידודו וניתן בטבלה:

# הגנה בפני התחממות יתרה של המוליך בזרם קצר



ערך המקדם k

k	טמפ' מירבית		סוג המוליך	
	מתמדת	בקצר	חומר	בידוד
115	70	160	נחושת	P.V.C
74	70	160	אלומיניום	
140	90	250	נחושת	X.L.P.E
90	90	250	אלומיניום	

# שטח חתך מוליך הארקת שנאים



Transformer rating in kVA (230/400 V output)	Conductor material	Bare conductors			PVC-insulated conductors			XLPE-insulated conductors		
		Copper (t/s)			Aluminium (t/s)			Aluminium (t/s)		
		0.2	0.5	-	0.2	0.5	-	0.2	0.5	-
≤ 100	c.s.a. of PE conductors SPE (mm <sup>2</sup> )	25	25	25	25	25	25	25	25	25
160		25	25	35	25	25	50	25	25	35
200		25	35	50	25	35	50	25	25	50
250		25	35	70	35	50	70	25	35	50
315		35	50	70	35	50	95	35	50	70
400		50	70	95	50	70	95	35	50	95
500		50	70	120	70	95	120	50	70	95
630		70	95	150	70	95	150	70	95	120
800		70	120	150	95	120	185	70	95	150
1,000		95	120	185	95	120	185	70	120	150
1,250		95	150	185	120	150	240	95	120	185

Fig. G61: Recommended c.s.a. of PE conductor between the MV/LV transformer and the MGDB, as a function of transformer ratings and fault-clearance times.

# שטח חתך מוליך הארקת שנאים



- The table indicates the c.s.a. of the conductors in mm<sup>2</sup> according to:
  - The nominal rating of the MV/LV transformer(s) in kVA
  - The fault-current clearance time by the MV protective devices, in seconds
  - The kinds of insulation and conductor materials
  - If the MV protection is by fuses, then use the 0.2 seconds columns.
- In IT schemes, if an overvoltage protection device is installed (between the transformer neutral point and earth) the conductors for connection of the device should also be dimensioned in the same way as that described above for PE conductors.

# מבטחים והתקנתם



לאחר קביעת ההגנה בפני העמסת יתר, יש לבדוק אם המבטח יכול להפסיק את המעגל תוך 5 שניות לכל היותר גם בזרם קצר מזערי. על פי תקן IEC-364-5 ניתן לחשב את זרם הקצר החד פאזי המזערי לאדמה בנקודה המרוחקת ביותר ובירידת מתח הרשת ל-0.8U. למתקן המוגן בשיטת האיפוס ע"י:

$$I_{K \min} = \frac{0.8 \cdot U_L}{\sqrt{3} \cdot 1.5 \cdot (R_{ph} + R_N)}$$

כאשר:

- U<sub>L</sub> – מתח שלוב ברשת.
- 0.8 – מקדם ירידת המתח בתנאי קצר במערכת.
- 1.5 – מקדם הגדלת התנגדות המוליכים בגלל התחממותם בתנאי קצר.
- R<sub>ph</sub> – התנגדות מוליך הפאזה.
- R<sub>N</sub> – התנגדות מוליך האפס.

הערה: עדיף להתחשב בנתון עכבת לולאת התקלה במקום סכום ההתנגדויות



## מבטחים והתקנתם

### תרגיל דוגמה:

א. חשב את זרם הקצר בקצה מעגל ששטח חתך המוליכים 16 ממ"ר מאלומיניום, המבטח המגן על המעגל 63A. אורך המעגל 80 מטר.  
 ב. בהנחה שהמתקן מאופס וכבל הזינה מכיל מוליך הארקה שווה בשיטחו לשטח מוליך האפס. האם המעגל מוגן כנדרש בתקנות במקרה של קצר פאזה הארקה?

$$R_{ph} = R_N = \frac{\rho \cdot l}{S} = \frac{0.028 \cdot 80}{16} = 0.14 \Omega$$

$$I_{K_{min}} = \frac{0.8 \cdot U_L}{\sqrt{3} \cdot 1.5 \cdot (R_{ph} + R_N)} = \frac{0.8 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 1.5 \cdot (0.14 + 0.14)} = 440A$$

$$I_{5Sec} = 6.6 \cdot I_n = 415.8A$$

ב. המעגל מוגן בצורה גבולית.

פתרון:  
א.



## מבטחים והתקנתם

### תרגיל דוגמא:

יש לחשב את האורך המרבי ועמידותו התרמית בקצר של מעגל חשמלי העשוי מכבל בעל בידוד XLPE ומוליכי נחושת בשטח חתך 10 ממ"ר, המעגל מוגן על ידי מא"ז בעל ערך נקוב של 63A. מתח הרשת השלוב 400V, עכבת לולאת התקלה שנמדדה בלוח החשמל ממנו מוזן הכבל היתה 0.3Ω

### פתרון

$$I_{K_{min}} = 6.6 I_n = 6.6 \cdot 63 = 415.8A$$

$$Z_{Loop} \leq \frac{U_{ph}}{I_{K_{min}}} = \frac{230}{415.8} = 0.553 \Omega$$

$$Z_{cable_{max}} = Z_{Loop} - Z_{board} = 0.553 - 0.3 = 0.253 \Omega$$



## מבטחים והתקנתם

### המשך פתרון תרגיל דוגמא:

בהזנחת ההיגב ההשראי של הכבל (בשל שטח החתך הקטן):

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} \Rightarrow l = \frac{R \cdot A}{\rho} = \frac{0.253 \cdot 10}{0.018} \cong 140m$$

האורך המרבי של הכבל יהיה 70 מטר. בפועל על אורך זה להיות קטן יותר בשל עלית התנגדות המוליכים בעת התחממותם, וכן בשל המתח הירוד בעת קצר.

$$t_{TH} = \left[ \frac{K \cdot S}{I_{K_{min}}} \right]^2 = \left[ \frac{140 \cdot 10}{415.8} \right]^2 = 11.3Sec$$

זמן התחממות המוליך לטמפרטורה של 250°C עדין גדול משמעותית ממשך זמן פעולת המא"ז. שימוש בכבל ארוך יותר תסכן את המתקן.



## הערך המרבי של אנרגיית המעבר במוליכים

$10^{-6} \cdot K^2 S^2$  של מוליכים שונים

S (mm <sup>2</sup> )	PVC		XLPE	
	Copper	Aluminium	Copper	Aluminium
1.5	0.0297	0.0130	0.0460	0.0199
2.5	0.0826	0.0361	0.1278	0.0552
4	0.2116	0.0924	0.3272	0.1414
6	0.4761	0.2079	0.7362	0.3181
10	1.3225	0.5776	2.0450	0.8836
16	3.3856	1.4786	5.2350	2.2620
25	8.2656	3.6100	12.7806	5.5225
35	16.2006	7.0756	25.0500	10.8241
50	29.839	13.032	46.133	19.936

Operating current level Im of the instantaneous magnetic tripping element (in A)	c.s.a. (nominal cross-sectional-area) of conductors (in mm <sup>2</sup> )														
	1.5	2.5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	195	240
50	100	167	267	400											
63	79	133	212	317											
80	63	104	167	250	417										
100	50	83	133	200	333										
125	40	67	107	160	267	427									
160	31	52	83	125	208	333									
200	25	42	67	100	167	267	417								
250	20	33	53	80	133	213	333	467							
320	16	26	42	63	104	167	260	365	495						
400	13	21	33	50	83	133	208	292	396						
500	10	17	27	40	67	107	167	233	317						
560	9	15	24	36	60	95	149	208	283	417					
630	8	13	21	32	63	85	132	185	251	370					
700	7	12	19	29	48	76	119	167	226	333	452				
800	6	10	17	25	42	67	104	146	198	292	396				
875	6	10	15	23	38	61	95	133	181	267	362	457			
1000	5	8	13	20	33	53	83	117	158	233	317	400	435		
1120	4	7	12	18	30	48	74	104	141	208	283	357	388	459	
1250	4	7	11	16	27	43	67	93	127	187	253	320	348	411	
1600		5	8	13	21	33	52	73	99	146	198	250	272	321	400
2000		4	7	10	17	27	42	58	79	117	158	200	217	257	320
2500			5	8	13	21	33	47	63	93	127	160	174	206	256
3200			4	6	10	17	26	36	49	73	99	125	136	161	200
4000				5	8	13	21	29	40	58	79	100	109	128	160
5000				4	7	11	17	23	32	47	63	80	87	103	128
6300					5	8	13	19	25	37	50	63	69	82	102
8000					4	7	10	15	20	29	40	50	54	64	80
10000						5	8	12	16	23	32	40	43	51	64
12500						4	7	9	13	19	25	32	35	41	51

## אורך מרבי של המעגל

עורך פעולת מנגנון מייד במפסק הזרם

אורך מרבי במטרים עבור מוליכי נחושת (עבור אלומיניום יש לכפול ב- 0.62)

## מבטחים והתקנתם

כאשר משך קיום הקצר עולה על 5 שניות, יש להתקין להגנה בפני זרם קצר לאדמה, נוסף על המבטח, גם מפסק מגן; מפסק המגן שיותקן כאמור יהיה כזה שלולאת התקלה תאפשר פיתוח זרם תקלה שהוא פי 10 לפחות מזרם ההפעלה של מפסק המגן; מפסק מגן כאמור יהיה בעל כושר הפסקה מזערי של זרם הקצר לאדמה הצפוי בתחילת המעגל; זרם העמידה של מפסק המגן יאפשר להעביר, בלא נזק לעצמו או לסביבתו, את זרם הקצר הצפוי עד להפסקתו על ידי המבטח שבמעלה המעגל.

הערה: שימוש במפסקים אוטומטיים בעלי הגנות דיגיטליות ופונקציית G, מאפשר הגנת המעגל במקרים בהם זרם הקצר לאדמה נע בגבולות בין 30% מהזרם הנקוב של המפסק ועד לזרם הנקוב.

## מבטחים והתקנתם

### ג. עמידה בהלם חום בזרם קצר.

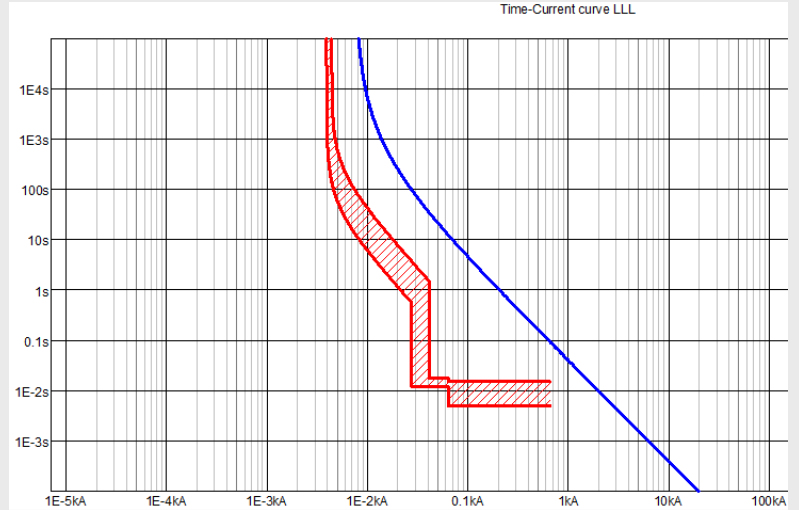
כאשר t קטן מ- 0.1 שנייה או כאשר המבטח מגביל את זרם הקצר, יבחר המבטח אשר בו הלם החום של זרם הקצר (האנרגיה שהמפסק מסוגל לפזר) קטנים ממכפלת k בריבוע ו- S בריבוע.

$$\int I^2 dt < k^2 s^2$$

את הלם החום מקבלים מתוך קטלוגי היצרן ואותם משווים למכפלה: k<sup>2</sup>S<sup>2</sup> הלם החום נקרא בספרות גם אנרגיית מעבר - Let through energy מושג זה מיטיב לתאר את תופעת קליטת האנרגיה מהמעגל ע"י המפסק עד לרגע ההפסקה. הלם החום מופיע תחת הסימול: אינטגרל ג'אול ונמדד ביחידות של A<sup>2</sup>sec

## מבטחים והתקנתם

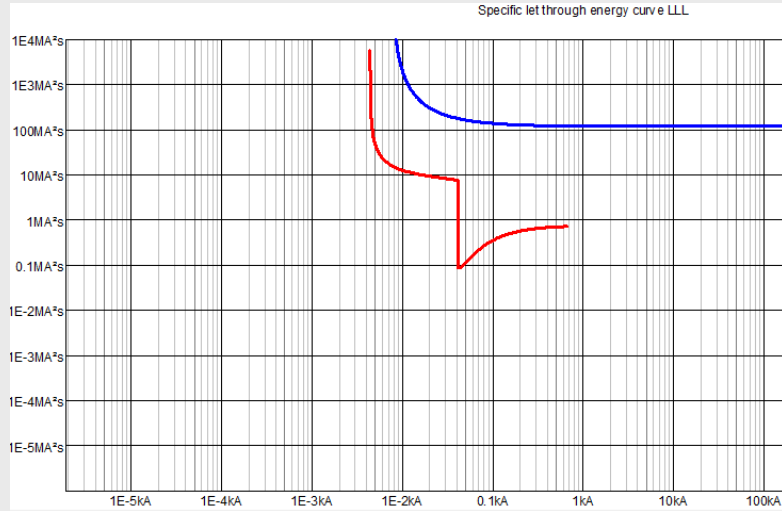
### אופין המפסק לעומת יכולת הספיגה של המוליכים בקצר 3ph סימטרי



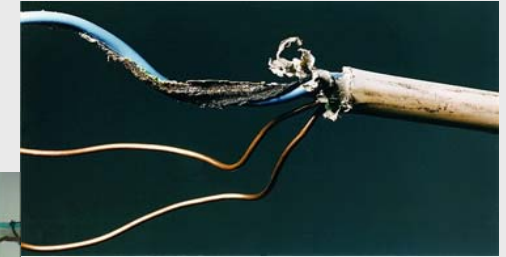
# מבטחים והתקנתם



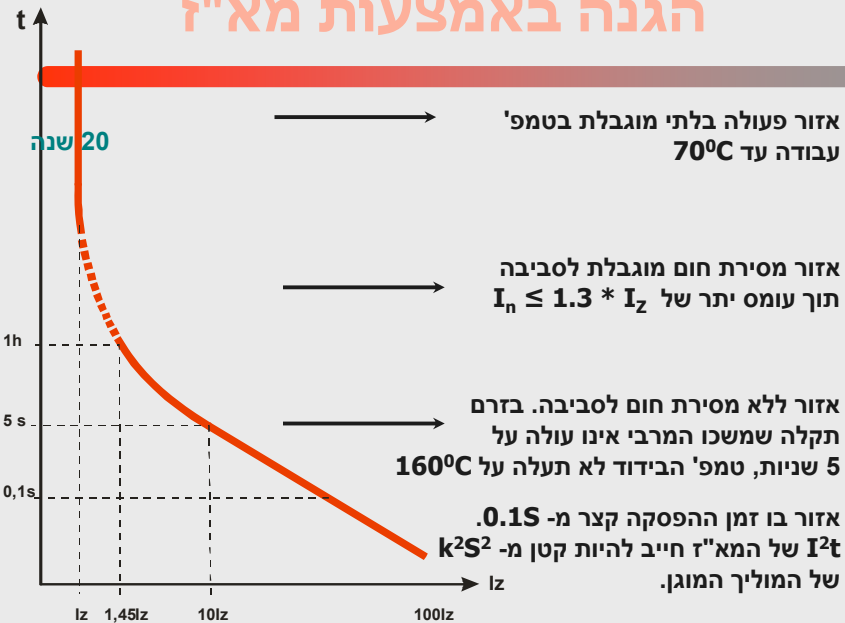
אנרגיית המעבר של המפסק לעומת יכולת הספיגה של המוליכים



# מזה נרצה להמנע



# הגנה באמצעות מא"ז



# השפעת הטמפרטורה על מוליכי PVC

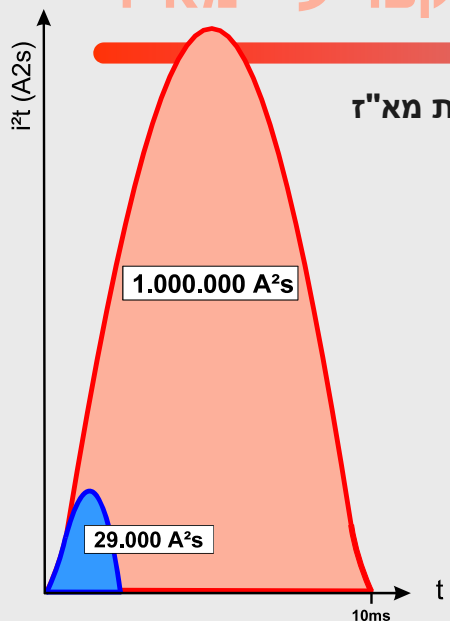


משך חיים בשל השפעת החימום על מוליך יחיד בעל בידוד PVC

טמפרטורה מתמידה של המוליך	שנות חיים
70°C	20,0 years
90°C	2,5 years
100°C	1,0 years



# הגבלת אנרגיית הקצר ע"י מא"ז



הגבלת האנרגיה וזרם הקצר באמצעות מא"ז  
עבור זרם קצר צפוי של 10kA

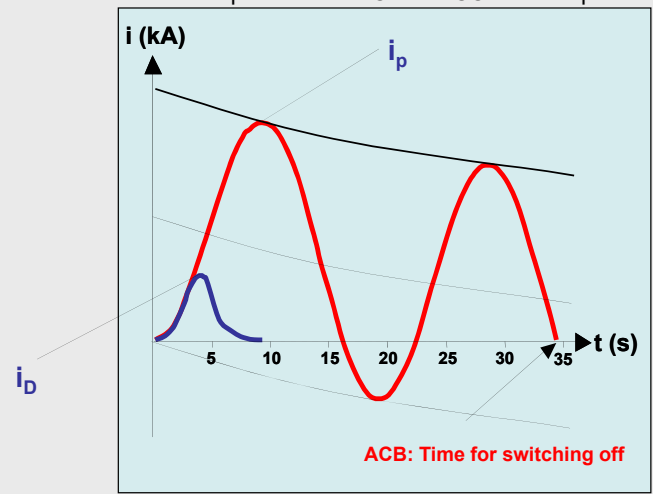
באדום האנרגיה ללא הגבלת זרם

בכחול האנרגיה בשל הגבלת זרם ע"י מבטח מסוג S280



# הגבלת אנרגיית הקצר ע"י מא"ז

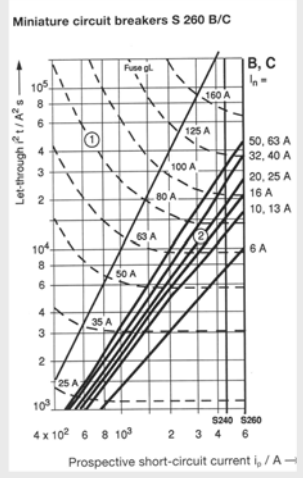
- מפסק אויר או מפסק שאינו מגביל זרם קצר
- מפסקים מסוג MCB או MCCB מגבילי זרם קצר



# מבטחים והתקנתם

## סדרת S260

## ג. עמידה בהלם חום בזרם קצר - דוגמא.



נתון מוליך אלומיניום בשטח חתך 25 מ"מ"ר בעל בידוד PVC המוגן ע"י מא"ז של 63A מתוך הטבלה: k=74

$$k^2 s^2 = 74^2 * 25^2 = 3,422,500$$

מא"ז של 63A בעל אופין C מסדרה S-260 מתוצרת ABB בזרם קצר של 6kA מאפשר העברת אנרגיה של כ-  $4.5 * 10^4$  A²Sec (מתוך הגרף משמאל)

$$\int I^2 dt = 45,000 < k^2 s^2 = 3,422,500$$

ניתן לראות בבירור כי הדרישה מתקיימת.



# ערכים מרביים של I²t

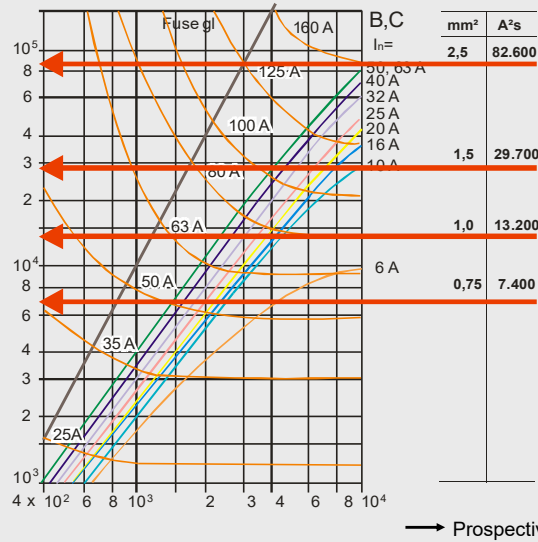
## מוליכים מנחושת בעל בידוד PVC

שטח חתך בממ"ר		I²t
2,50 mm²	○	82.600 A²s
1,50 mm²	○	29.700 A²s
1,00 mm²	○	13.200 A²s
0,75 mm²	○	7.400 A²s
0,14 mm²	○	260 A²s

## אופייני $I^2t$



let-through energy  $I^2t / A^2s$



ערכים מרביים מותרים של  $I^2t$  עבור מוליך מנחושת בעל בידוד PVC

## מבטחים והתקנתם



### עמידת מבטח בזרם התנעה:

לאחר שנקבעו המא"זים, המפסקים או הנתכים לפי הטבלאות והחשובים הקודמים, יש לבדוק את עמידתם ללא ניתוק הזרם, בזרם התנעה של מנועי השראה רוטור כלוב. זרם זה נמשך על פי רוב עד מספר שניות. לכן מומלץ לבדוק את קיום התנאי:

$$I_{5sec} \geq 1.3 I_{st}$$

במידה ותנאי זה אינו מתקיים יש לקבוע מבטח גדול יותר ולהגדיל את חתך המוליכים בהתאמה למבטח.

אין להשתמש במא"ז מסוג B (L) עבור מנועים.

## מבטחים והתקנתם



### הגנת מוליכים באמצעות מפסקי זרם אוטומטיים מתכווננים:

מפסקים אלה מתאפיינים על פי רוב בנתונים הבאים:

- $I_n$  - הזרם הנקוב של המפסק
- $I_{th}$  - זרם הכוונון של הממסר התרמי. זרם זה נע בדרך כלל מ-  $0.6 I_n$  עד ל-  $I_n$ .
- $I_m$  - זרם הכוונון של המנגנון המיידני נע בדרך כלל מ-  $(2-6) I_n$  עד ל-  $12 I_n$ .
- $I_{Kn}$  - כושר הניתוק הנע בדרך כלל מ-  $10kA$  ועד  $100-150 kA$ .
- $\int I^2 dt$  - הلم החום של זרם הקצר. ערכו ביחידות  $A^2S$  שונה מיצרן ליצרן.

## מבטחים והתקנתם



### במפסקים אוטומטיים חייבות להתקיים גם הדרישות הבאות:

- א- שינוי כוונון יהיה רק בעזרת כלים.
- ב- עליו או בצמוד אליו חייב להימצא שלט או סימון ברור שבו יצוין הזרם  $I_n$  המותר במעגל.



## מבטחים והתקנתם



### דרישות ממבטח להגנה בפני זרם קצר בלבד:

א- צריך להפסיק את זרם הקצר.

ב- כושר הניתוק שלו חייב להיות גדול מזרם הקצר המרבי הצפוי לעבור דרכו.

כאשר במעלה המעגל מותקן מבטח אחר בעל כושר ניתוק כנדרש שיפעל לפני מבטח שכושרו קטן והמבטח שכושרו קטן, מסוגל להעביר את זרם הקצר הצפוי, עד להפסקתו ע"י המבטח שבמעלה המעגל, ללא נזק לו ולסביבתו, ניתן לוותר על דרישה זו.

## מפלי מתח ברשתות זרם חילופין



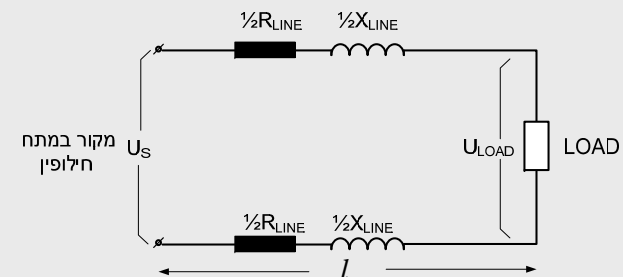
- מוליכי אספקה שמשמשים לאנרגיה בזרם ישר הם בעלי התנגדות פעילה בלבד. בזרם חילופין קיימת גם כן התנגדות זו אך אליה מתווסף היגב השראי.
- ההיגב ההשראי מקורו בעובדה שמוליך שזורם בו זרם יוצר סביבו שדה מגנטי. כאשר שדה זה קבוע (כתוצאה מזרם ישר), לא נוצר כ"מ נגדי במוליך. אולם כאשר השדה משנה את עוצמתו כתלות בזמן (בשל השתנות עוצמת הזרם), נוצר במוליך כ"מ מושרה נגדי ששואף להזרים זרם בכיוון הפוך. כ"מ זה הוא תגובה לזרם החשמלי במוליך וגורם להפחתת הזרם במוליך בדומה להתנגדות. מתארים את ההפחתה הזו כהיגב השראי כלומר תגובת המוליך לזרם החשמלי דרכו. תגובה זו אינה גורמת לאובדן הספק פעיל אלא למפל מתח המוזז ב-90 מעלות ביחס לזרם במוליך.

## מפלי מתח ברשתות זרם חילופין



- מידת ההיגב השראי תלויה ביחס ישיר בעוצמת השדה המגנטי סביב למוליך כלומר בזרם. במערכת מוליכים (מופע ואפס או מערכת תלת מופעית) יהיה ההיגב השראי תלוי בשדה המגנטי השקול של המערכת. לפיכך כאשר המוליכים קרובים זה לזה (באותו כבל, או צמודים במבנה תילתן), יהיה ההיגב השראי של המוליכים קטן יחסית, אולם כשהמוליכים מרוחקים זה מזה כפי שקיים בקוי הולכת חשמל עיליים יהיה ההיגב השראי גדול בהרבה מהתנגדותם הפעילה.

## מפלי מתח ברשתות זרם חילופין



סכימת תמורה של מעגל בזרם חילופין חד מופעי.

## מפלי מתח ברשתות זרם חילופין



- לקו חד מופעי (בעל שני מוליכים) תהיה עכבה כוללת השווה לסכום ההתנגדויות וסכום ההיגבים ההשראיים של המוליכים.
- החלק בעל ההתנגדות הפעילה של הקו יהיה:

$$R_{Line} = \frac{\rho \cdot 2 \cdot l}{A}$$

- החלק בעל ההיגב ההשראי של הקו יהיה:

$$X_{Line} = 2 \cdot \omega \cdot L_{Line}$$