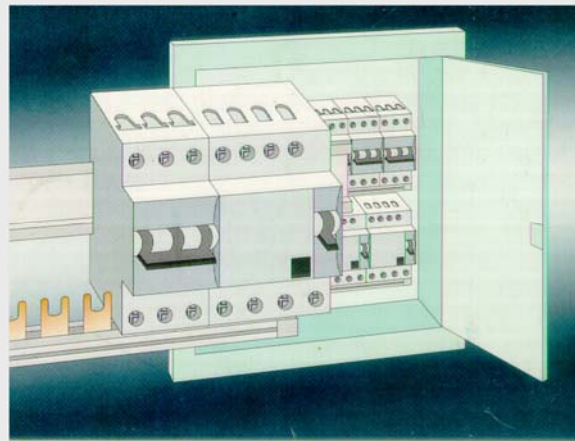


העמסה והגנה של מוליכים מבודדים וכבלים



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 :

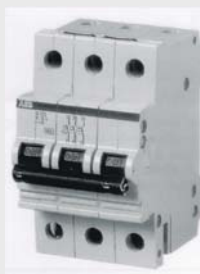
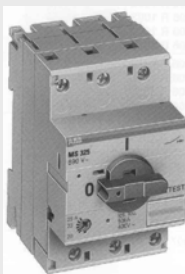
1. נתיכים.
 2. מפסקי זרם אוטומטיים.
- שני הסוגים מיועדים להגן על הציוד החשמלי או המוליכים בפני זרם יתר.
- שניהם בעלי אופיין מסוג Inverse time (זמן הפוך) כלומר, התקצרות זמן הניתוק עם עליית הזרם דרך המבטח.

מבטחים והתקנתם

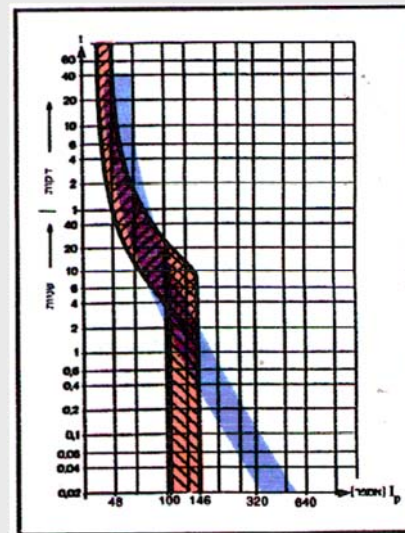


נתיכים

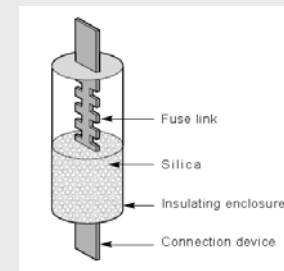
מפסק אוטומטי זעיר ומתנע תרמו-מגנטי



מבטחים והתקנתם



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



מבטחים והתקנתם

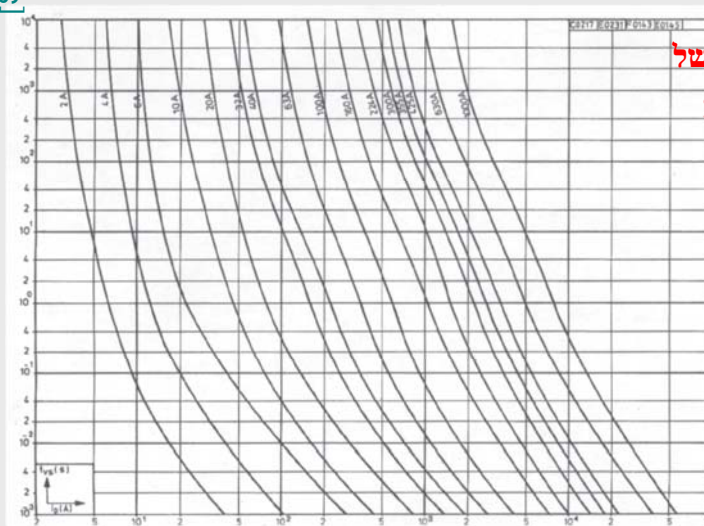


בנתיך עקומת הניתוק רציפה לכל אורכה ואילו עקומת הניתוק של מפסק אוטומטי מחולקת ל- 2 חלקים: חלק עליון מבטא את פעולת המנגנון התרמי, להגנה בפני עומסי יתר. חלק תחתון מבטא את פעולת המנגנון האלקטרוני להגנה בפני קצר.

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

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. מסרים 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

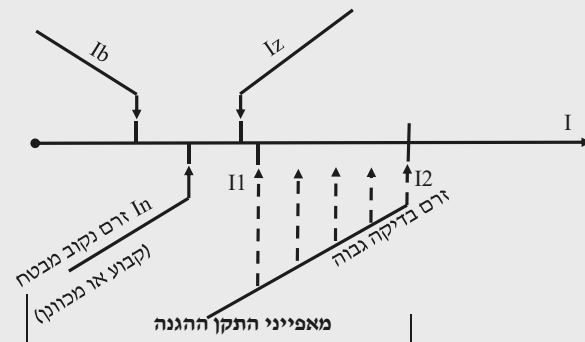
מגדירים חמישה ערכי זרמים:

- I_b - זרם העבודה הממושך במעגל (זרם הצרכן המרבי בעבודה תקינה).
- I_n - הזרם הנקוב של המבטח או הזרם אליו הוא כוונן.
- 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 השימוט 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:

$$I_b \leq I_n \leq I'_z$$

1. חוק הזרם הנומינלי :

מבטחים והתקנתם



מבטח להגנה בפני עומס יתר בלבד

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

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
$1.75I_n$	$10A < I_n \leq 25A$	נתיך
$1.6I_n$	$I_n > 25A$	
$1.45I_n$	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: $I_2 \leq 1.45 \cdot I'_Z$

זרם הבדיקה I_2 של מא"זים מקיים: $I_2 = 1.45 \cdot I_n$

מהצבת I_2 באי שוויון העליון נקבל: $1.45 \cdot I_n \leq 1.45 \cdot I'_Z$

ערך הזרם הנקוב של המבטח שווה לערך הזרם של מוליך המחושב כמכפלה של I_n במקדמי התיקון: $I_n \leq I'_Z$

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 $35^{\circ}C$. הכבל XLPE מנחשת ומונח צמוד לקיר.

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

$$I_2 \leq 1.45 \cdot I'_Z \quad I_2 = 1.6I_n \Rightarrow I'_Z = 1.6 / 1.45 I_n = 1.1 \cdot I_n$$

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

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



בחירת שטח חתך מוליכי המתקן

עבור מפסקים הניתנים לכוונון:

מחוק השימוש: $I_2 \leq 1.45 \cdot I'_z$

זרם הבדיקה של המפסקים מקיים: $I_2 = 1.3 \cdot I_n$

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

$I'_z \geq \frac{1.3}{1.45} \cdot I_n = 0.896 \cdot I_n \approx 0.9 \cdot I_n$ **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 מ"מ, יוגן באמצעות מבטח בעל זרם נקוב שאינו עולה על 10 אמפר, ומוליך בעל בידוד 70°C בחתך 2.5 מ"מ, 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	בידוד 90°C

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



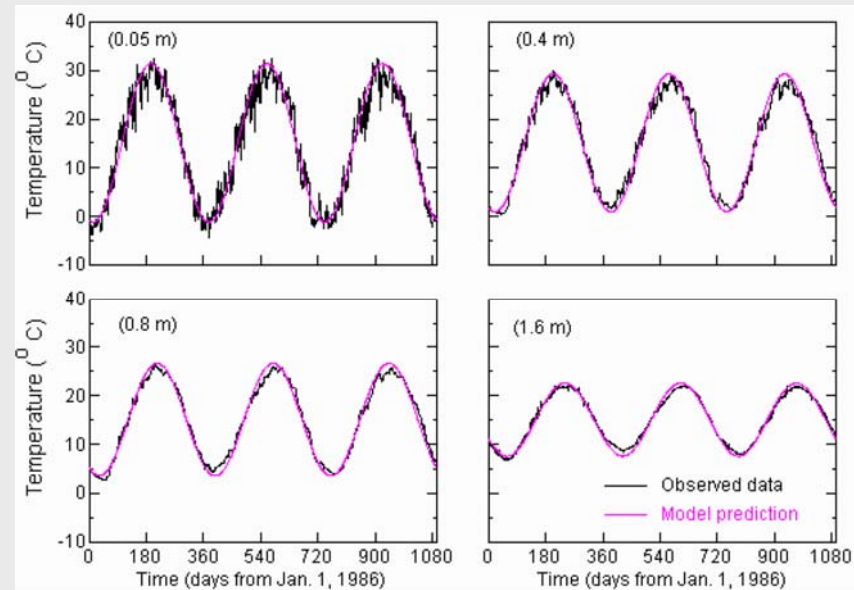
בחירת שטח חתך מוליכי המתקן

מתוך התוספת הראשונה טבלה 2: מקדמי תיקון לחישוב I_z^2 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	בידוד 90°C

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^2 בעבור ערכים שונים של התנגדות תרמית סגולית של הקרקע.

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

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.

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

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	בהתקנות אלה אין להתקין יותר מ-9 מעגלים או כבלים רב-גידיים											
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			

לפי פסיקת ועדת הפירושים 10-10 המקדם נשאר ללא שינוי גם עבור יותר מ-9 מעגלים.

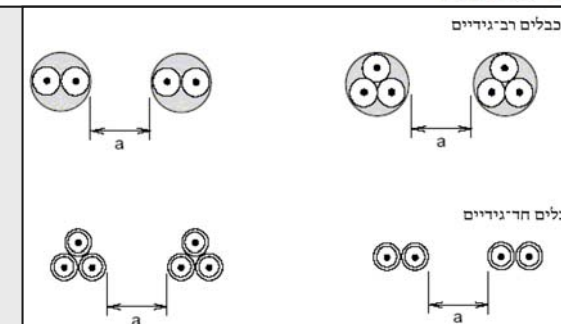
1. מקדמי התיקון מתייחסים לקבוצות כבלים המועמסים באופן דומה.
2. אם המרחק האופקי בין הכבלים הסמוכים עולה על פי שניים מקוטרו החיצוני, אין להתחשב במקדמי התיקון לפי הטבלה.
3. מקדמי התיקון מתייחסים לקבוצות של 2 או 3 כבלים חרי-גידיים ולקבוצות של כבלים רב-גידיים.

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



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

De - קוטר חיצוני של הכבל

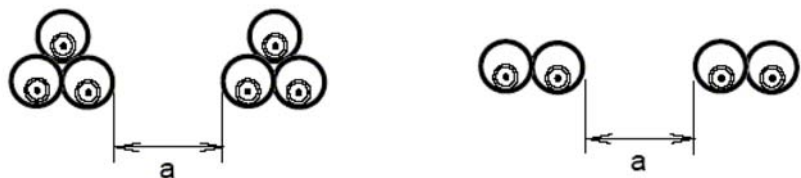


טבלה 6 - מקדמי תיקון לחישוב I'z בעבור קבוצות של כבלים חד-גידיים בתוך צינורות המונחים ישירות באדמה - כל כבל בצינור נפרד.



מרחק בין הקבוצות של הצינורות (a) בסנטימטרים				מספר קבוצות של צינורות
a = 100	a = 50	a = 25	(צמודים) a = 0	
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

כבלים חד-גידיים

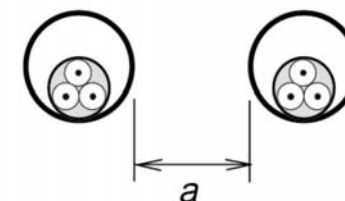


טבלה 7 - מקדמי תיקון לחישוב I'z בעבור קבוצות של כבלים רב-גידיים בתוך צינורות המונחים ישירות באדמה - כל כבל בצינור נפרד.



מרחק בין הקבוצות של הצינורות (a) בסנטימטרים				מספר קבוצות של צינורות
a = 100	a = 50	a = 25	(צמודים) a = 0	
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_b

א- חישוב מקדם התיקון הכללי K_t. $K_t = K_1 * K_2 * K_3 * K_4 * K_5 * K_6 * K_7$

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'z. 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 ושיטת 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

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



שיטות התקנה של מוליכים וכבלים

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



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 בתעלה חשיפה המשמשת גם שירותים אחרים		י
70.1 90.1	כבלים חד-גידיים או רב-גידיים בתוך משקוף של דלת או חלון		י"א
70.5 90.5	כבלים חד-גידיים או רב-גידיים בצמוד לקיר או לתקרה		י"ב
70.5 90.5	כבלים חד-גידיים או רב-גידיים על גבי מגש לא מחורר		י"ג
70.7 90.7	כבלים רב-גידיים על גבי מגש מחורר או מגש רשת		י"ד
70.8 90.8	כבלים חד-גידיים על גבי מגש מחורר או מגש רשת		ט"ו



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	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	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 אוורור		כ'
70.4 90.4	כבלים רב-גידיים בתוך תעלה משוקעת ברצפה; המכסה הוא בלא פתחי אוורור		כ"א
70.3 90.3	כבלים חד-גידיים בתעלה משוקעת בתוך קיר; המכסה הוא בלא פתחי אוורור		כ"ב
70.4 90.4	כבלים רב-גידיים בתעלה משוקעת בתוך קיר; המכסה הוא בלא פתחי אוורור		כ"ג
70.4 90.4 70.3 90.3	מוליכים מבודדים בתוך צינור הנמצא בתעלה בלא אוורור, בהתקנה אופקית בלבד: (א) כאשר $De \leq V < 20De$ (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 אוורור ⁽²⁾		כ"ה
70.4 90.4	כבלים רב-גידיים בצינור בתעלת כבלים ברצפה, כאשר התעלה פתוחה או מכוסה במכסה עם פתחי אוורור ⁽²⁾		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 אוורור ⁽²⁾		כ"ז
70.3 90.3	מוליכים מבודדים או כבלים חד-גידיים בצינור בתוך קיר ⁽³⁾		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 ⁽³⁾		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 ⁽⁴⁾		ל"א

1. מתייחס לשכבת בידוד תרמי, שבתוך הקיר, בעל מוליכות תרמית של $10 \text{ w/m}^2 \cdot \text{K}$ לפחות.

2. מומלץ ששיטת התקנה זו תישם רק באזורים שהכניסה אליהם מותרת לאנשים מורשים בלבד, כדי למנוע הצטברות של לכלוך וחומרים דליקים בתעלה.

3. התנגדות תרמית סגולית של חומר הבניה תהיה $2 \text{ K} \cdot \text{m/W}$ לכל היותר.

4. טבלאות ההעמסה (Iz) לשיטת התקנה של כבלים במישור באדמה, מתייחסות להתנגדות תרמית סגולית של הקרקע $2.5 \text{ K} \cdot \text{m/W}$ אם בידי המתכנן 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 וייבחר 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°C בחתך 1.5 ממ^2 , יוגן באמצעות מבטח בעל זרם נקוב שאינו עולה על 10 אמפר , ומוליך בעל בידוד 70°C בחתך 2.5 ממ^2 , 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.