

## מערכות פיקוד ובקרה א'

יחידת לימוד אחת

(כיתה י"ב)

### הוראות לנבחן

א. משך הבחינה: שעותיים.

ב. מבנה השאלון ומפתח ההערכה: בשאלון שלושה פרקים, ובהם שמונה שאלות. יש לענות על ארבע שאלות בלבד: שאלה אחת לפחות מן הפרק הראשון ושאלה אחת לפחות מן הפרק השני. לכל שאלה – 25 נקודות. סך-הכול – 100 נקודות.

ג. חומר עזר מותר לשימוש: מחשבון.

ד. הוראות מיוחדות:

- ענה על מספר השאלות הנדרש בשאלון. המעריך יקרא ויעריך את מספר התשובות הנדרש בלבד, לפי סדר כתיבתן במחברתך, ולא יתייחס לתשובות נוספות.
- התחל כל תשובה לשאלה חדשה בעמוד חדש.
- הקפד לרשום את כל תשובותיך אך ורק בעט.
- הקפד לנסח את תשובותיך כהלכה ולסרטט את תרשימיך בבהירות.
- כתוב את תשובותיך בכתב-יד ברור, כדי לאפשר הערכה נאותה שלהן.
- אם לדעתך חסרים נתונים הדרושים לפתרון שאלה, אתה רשאי להוסיף אותם, בתנאי שתנמק מדוע הוספת אותם.
- בכתיבת פתרונות חישוביים, קבלת מֶרֶב הנקודות מותנית בהשלמת כל המהלכים שלהלן, בסדר שבו הם רשומים:
  - \* רישום הנוסחה המתאימה.
  - \* הצבה של כל הערכים ביחידות המתאימות.
  - \* חישוב (אפשר באמצעות מחשבון).
  - \* רישום התוצאה המתקבלת, יחד עם יחידות המידה המתאימות.
  - \* ליווי הפתרון החישובי בהסבר קצר.

בשאלון זה 7 עמודים ו-11 עמודי נספחים.

ההנחיות בשאלון זה מנוסחות בלשון זכר, אך מכוונות הן לנבחנות והן לנבחנים.

## השאלות

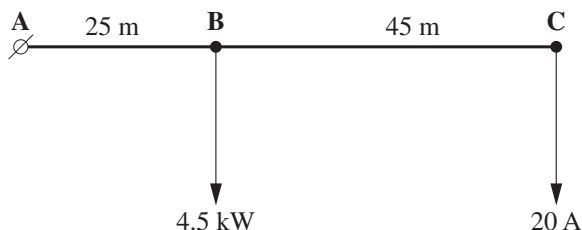
בשאלון זה שלושה פרקים, ובהם שמונה שאלות. יש לענות על ארבע שאלות בלבד:  
שאלה אחת לפחות מן הפרק הראשון ושאלה אחת לפחות מן הפרק השני  
(לכל שאלה – 25 נקודות, סך-הכל – 100 נקודות).

### פרק ראשון: מערכות הספק

ענה על שאלה אחת לפחות מבין השאלות 1–3 (לכל שאלה – 25 נקודות).

#### שאלה 1

באיור לשאלה 1 נתונה רשת, המוזנת בנקודה A במתח ישר של 240 V. מוליכי הרשת עשויים חמרן  $\left(\gamma = 35 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}\right)$ . מפל המתח המרבי המותר ברשת הוא  $\Delta U_{\%} = 3\%$ .



#### איור לשאלה 1

- א. חשב את הזרם בכל אחד ממקטעי הרשת AB ו-BC.
- ב. חשב את שטח החתך האחיד של מוליכי הרשת בהתאם למפל המתח המרבי המותר ברשת.
- ג. 1. בחר שטח חתך תקני למוליכי הרשת מבין הערכים האלה:  
 $25 \text{ mm}^2, 16 \text{ mm}^2, 10 \text{ mm}^2, 6 \text{ mm}^2, 4 \text{ mm}^2, 2.5 \text{ mm}^2, 1.5 \text{ mm}^2$
2. חשב את הפסדי ההספק ברשת.

## שאלה 2

בנספח לשאלה 2 מתואר קטע מלוח חשמל דירתי, חד-מופעי, המוזן מרשת תלת-מופעית במתח של  $U = 400/231 \text{ V}$ . תנור חימום מחובר ללוח החשמל כמתואר באיור שבנספח.

א. ציין את שמה של שיטת ההגנה מפני התחשמלות המתוארת באיור שבנספח.

ב. ציין את שמות הרכיבים המסומנים באיור שבנספח בספרות (1) ÷ (5).

ג. מתרחש קצר בין מוליך הפאזה לגוף המתכתי של התנור (הגוף המתכתי מוארק). סרטט על-גבי הנספח את מסלול לולאת התקלה בזמן הקצר.

ד. ערכו של זרם הקצר שהתרחש בין מוליך הפאזה לגוף המתכתי של התנור הוא  $110 \text{ A}$ .

קבע את הזמן המרבי לניתוק המפסק המגן על הצרכן.

**הערה: הדבק את מדבקת הנבחן שלך במקום המיועד לכך בנספח לשאלה 2, והדק אותו למחברת הבחינה.**

## שאלה 3

בבית ספר מסוים מותקנים מזגן חד-פאזי ומזגן תלת-פאזי. המזגנים מחוברים ללוח חשמל המוזן במתח של  $400/231 \text{ V}$  ובתדר של  $50 \text{ Hz}$ . הנתונים הנקובים על המזגנים הם זהים ולהלן ערכיהם:

$$P = 3 \text{ kW} ; \cos \varphi = 0.8 ; \eta = 0.85$$

א. חשב את הזרם בקו ההזנה עבור:

1. המזגן החד-פאזי

2. המזגן התלת-פאזי

ב. נדרש לשפר את מקדם ההספק של המזגן החד-פאזי ל-0.92 על-ידי הוספת קבל.

1. חשב את ההספק של הקבל הדרוש.

2. חשב את קיבולו של הקבל הדרוש.

### פרק שני: המרת אנרגיה

ענה על שאלה אחת לפחות מבין השאלות 4-6 (לכל שאלה – 25 נקודות).

#### שאלה 4

הספקו של שנאי חד-מופעי אידיאלי הוא 4.64 kVA .  
מספר הכריכות בסליל הראשוני של השנאי הוא 400 , ומספר הכריכות בסליל השניוני שלו הוא 100 .

מחברים את הסליל הראשוני של השנאי למקור מתח של 230 V / 50 Hz .

א. חשב את המתח בסליל השניוני של השנאי.

ב. מחברים עומס של 4.64 kVA לסליל השניוני.

חשב את הזרם בסליל הראשוני ובסליל השניוני של השנאי.

ג. הקטינו את מספר הכריכות בסליל השניוני מ-100 כריכות ל-50 כריכות.

1. חשב את המתח בסליל השניוני.

2. האם השנאי יוכל לספק הספק של 4.64 kVA לאורך זמן במצב זה? נמק את תשובתך.

#### שאלה 5

נתוניו הנקובים של מנוע השראה תלת-מופעי הם:

$$M_n = 150 \text{ N} \cdot \text{m} ; U_n = 400 \text{ V} ; f = 50 \text{ Hz} ; n_n = 950 \text{ RPM} ; \eta = 85\% ; \cos \varphi = 0.8$$

א. חשב את ההספק הנקוב של המנוע (ההספק בציר המנוע).

ב. חשב את ההספק החשמלי שהמנוע צורך מהרשת.

ג. חשב את הזרם שהמנוע צורך מהרשת.

ד. מתניעים את המנוע בשיטת כוכב-משולש. הסבר מהי הסיבה להתנעה בשיטה זו.

## שאלה 6

נתוניו הנקובים של מנוע השראה תלת-מופעי בעל **שני זוגות קטבים** הם:

$$P = 10 \text{ kW} ; U = 400 \text{ V} ; f = 50 \text{ Hz}$$

גורם החליקה במומנט נקוב:  $S_n = 0.02$

- א. חשב את המומנט הנומינלי של המנוע.
- ב. סרטט במחברתך אופיין של מנוע השראה תלת-מופעי, המתאר את מומנט המנוע כפונקצייה של מהירות הרוטור.  
ציין על-גבי האופיין את מומנט ההתנעה ( $M_{st}$ ) ואת המומנט המרבי ( $M_K$ ).

## פרק שלישי: בקרה במערכות ממוחשבות

### לכל שאלה – 25 נקודות

## שאלה 7

יש לתכנן מערכת פיקוד להדלקה של נורה, בהתאם לתנאים האלה:

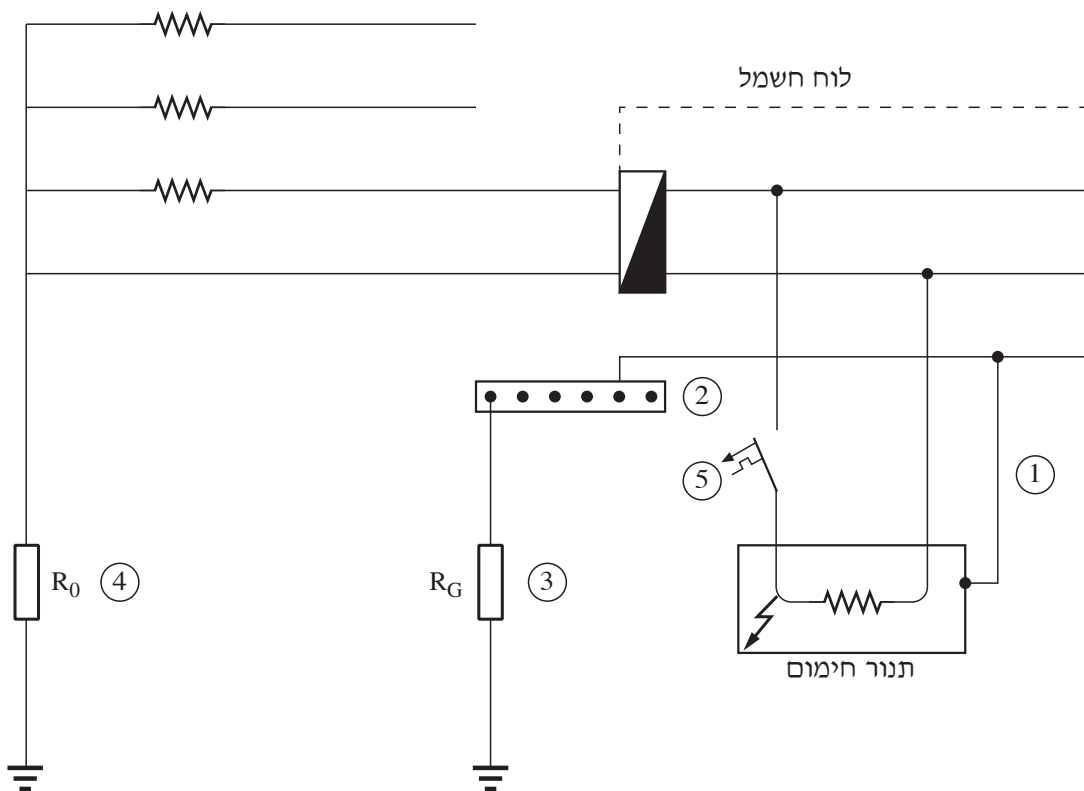
1. לחיצה על הלחצן START תדליק את הנורה למשך 5 שניות.
  2. כעבור 5 שניות הנורה תכבה למשך 3 שניות.
  3. כעבור 3 שניות הנורה תדלוק באופן קבוע.
  4. לחיצה על הלחצן STOP תגרום לכיבוי הנורה בכל שלב.
- א. הגדר את המבואות ואת המפעילים של מערכת הפיקוד.
- ב. סרטט במחברתך דיאגרמת סולם המתארת את פעולת מערכת הפיקוד בהתאם לתנאים שהוגדרו.

## שאלה 8

עליך לתכנן מערכת פיקוד להפעלת מנוע ולהפסקת פעולתו בעזרת ארבעה לחצנים. כלול במערכת הפיקוד את המרכיבים שלהלן:

- שני לחצני הפעלה:  $PB_1$  ,  $PB_2$
  - שני לחצני הפסקה:  $PB_3$  ,  $PB_4$
  - הגנה תרמית (O.L.) למנוע
  - שתי נוריות סימון: נורית ירוקה ונורית אדומה
- א.** הגדר את המבואות ואת המפעילים של מערכת הפיקוד.
- ב.** סרטט במחברתך דיאגרמת סולם המתארת את פעולת מערכת הפיקוד בהתאם לתנאים שלהלן:
- לחיצה על הלחצן  $PB_1$  או על הלחצן  $PB_2$  מפעילה את המנוע.
  - הפסקת פעולת המנוע תתבצע על-ידי:
    - I. לחיצה על הלחצן  $PB_3$  או על הלחצן  $PB_4$  .
    - או
    - II. הפעלתה של ההגנה התרמית.
  - בזמן פעולה תקינה של המנוע הנורית הירוקה דולקת.
  - במקרה של תקלה הנורית האדומה דולקת.

## בהצלחה!



אין להעביר את הנוסחאון  
לנבחן אחר

## נוסחאון במערכות פיקוד ובקרה

(9 עמודים)

### הגדלים בנוסחאון מופיעים ביחידות SI

$$1 [\text{N} \cdot \text{m}] = \frac{1}{9.81} [\text{kgf} \cdot \text{m}]$$

### א. המרת אנרגיה

1. מכונות לזרם ישר

1.1 מתח מושרה

$E$  [V] – כא"מ מושרה ברוטור

$N$  – מספר מוליכים ברוטור

$p$  – מספר זוגות קטבים

$n$  [r.p.m] – מהירות סיבוב

$a$  – מספר זוגות ענפים מקבילים

ברוטור

$\Phi$  [Wb] – שטף

$C_e$  – מקדם

$$E = \frac{Npn\Phi}{60a}$$

$$C_e = \frac{Np}{60a}$$

$$E = C_e \cdot \Phi \cdot n$$



## 1.2 מומנטים

|                     |   |          |                                |
|---------------------|---|----------|--------------------------------|
| מומנט נקוב          | - | $M$      | $[N \cdot m]$                  |
| הספק                | - | $P$      | $[W]$                          |
| מהירות זוויתית      | - | $\omega$ | $\left[\frac{rad}{sec}\right]$ |
| מהירות סיבוב        | - | $n$      | $[r.p.m]$                      |
| מקדם                | - | $C_m$    |                                |
| מספר מוליכים ברוטור | - | $N$      |                                |
| מספר זוגות קטבים    | - | $p$      |                                |
| מספר זוגות ענפים    | - | $a$      |                                |
| מקבילים ברוטור      |   |          |                                |
| מומנט אלקטרומגנטי   | - | $M_{em}$ | $[N \cdot m]$                  |
| שטף                 | - | $\Phi$   | $[Wb]$                         |
| זרם הרוטור          | - | $I_a$    | $[A]$                          |
| הספק אלקטרומגנטי    | - | $P_{em}$ | $[W]$                          |

$$M = \frac{P}{\omega}$$

$$\omega = 2\pi \frac{n}{60}$$

$$C_m = \frac{Np}{2\pi a}$$

$$M_{em} = C_m \Phi I_a$$

$$P_{em} = EI_a$$

$$\frac{C_e}{C_m} = 0.1047$$

## 1.3 מהירות סיבוב

|                     |   |       |            |
|---------------------|---|-------|------------|
| מתח זינה            | - | $U$   | $[V]$      |
| התנגדות סליל הרוטור | - | $R_a$ | $[\Omega]$ |

$$n = \frac{U - I_a R_a}{C_e \Phi}$$

**במנוע:**

$$n = \frac{U + I_a R_a}{C_e \Phi}$$

**בגנרטור:**

## 1.4 מכונה לזרם ישר בעירור מקבילי

הזרם הנצרך/המסופק -  $I$  [A]

$$I = I_a + I_f \quad \text{במנוע:}$$

זרם סליל העירור -  $I_f$  [A]

זרם סליל הרוטור -  $I_a$  [A]

$$I_a = I + I_f \quad \text{בגנרטור:}$$

## 2. שנאי חד-מופעי

### 2.1 מתח מושרה בסליל

כא"מ מושרה בסליל הראשוני -  $E_1$  [V]

$$E_1 = 4.44 f \Phi_{\max} N_1$$

כא"מ מושרה בסליל השניוני -  $E_2$  [V]

$$E_2 = 4.44 f \Phi_{\max} N_2$$

שטף מרבי בגרעין -  $\Phi_{\max}$  [Wb]

מספר הכריכות בסליל הראשוני -  $N_1$

$$\Phi_{\max} = B_{\max} A$$

מספר הכריכות בסליל השניוני -  $N_2$

תדירות -  $f$  [Hz]

השראה מגנטית מרבית -  $B_{\max}$  [Wb / m<sup>2</sup>] ; [T]

שטח החתך של הגרעין -  $A$  [m<sup>2</sup>]

יחס השנאה -  $\alpha$

מתח בסליל הראשוני -  $U_1$  [V]

מתח בסליל השניוני -  $U_2$  [V]

זרם בסליל הראשוני -  $I_1$  [A]

זרם בסליל השניוני -  $I_2$  [A]

$$a = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

## 2.2 נצילות השנאי

|                       |   |                       |
|-----------------------|---|-----------------------|
| גורם העמסה            | - | $\beta$               |
| הספק מדומה            | - | $S$ [VA]              |
| הספק מדומה נקוב       | - | $S_n$ [VA]            |
| נצילות השנאי          | - | $\eta$                |
| הספק המוצא            | - | $P_2$ [W]             |
| הפסדי נחושת           | - | $\Delta P_{Cu}$ [W]   |
| הפסדי ברזל            | - | $\Delta P_{Fe}$ [W]   |
| הפסדי נחושת בזרם נקוב | - | $\Delta P_{Cu_n}$ [W] |

$$\beta = \frac{S}{S_n}$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P_{Cu} + \Delta P_{Fe}}$$

$$\eta = \frac{\beta \cdot S_n \cos \varphi_2}{\beta S_n \cos \varphi_2 + \beta^2 \Delta P_{Cu_n} + \Delta P_{Fe}}$$

## 3. מנוע השראה

|                      |   |                                                           |
|----------------------|---|-----------------------------------------------------------|
| מומנט נקוב           | - | $M_n$ [N · m]                                             |
| הספק נקוב            | - | $P_n$ [W]                                                 |
| מהירות זוויתית נקובה | - | $\omega_n$ $\left[ \frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$ |
| מהירות הרוטור        | - | $n_n$ [r.p.m]                                             |
| מהירות סינכרונית     | - | $n_s$ [r.p.m]                                             |
| מספר זוגות קטבים     | - | $p$                                                       |
| מקדם החליקה          | - | $s$                                                       |

$$\omega_n = \frac{2\pi n_n}{60} ; \quad M_n = \frac{P_n}{\omega_n}$$

$$s = \frac{n_s - n_n}{n_s} ; \quad n_s = \frac{60f}{p}$$

|                    |   |            |
|--------------------|---|------------|
| תדירות הרשת        | - | $f_1$ [Hz] |
| תדירות זרמי הרוטור | - | $f_2$ [Hz] |

$$f_2 = s f_1$$

|                     |   |                |
|---------------------|---|----------------|
| זרם נקוב            | - | $I_n$ [A]      |
| נצילות המנוע        | - | $\eta$         |
| מקדם ההספק של המנוע | - | $\cos \varphi$ |
| מתח ההזנה הקווי     | - | $U$ [V]        |

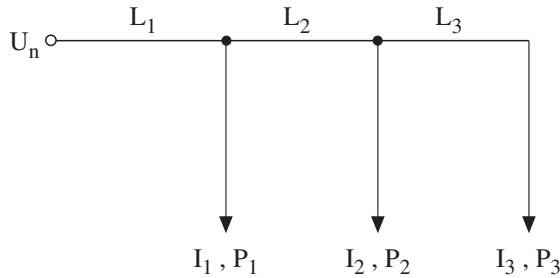
$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} U \cdot \cos \varphi \cdot \eta}$$

## ב. מערכות הספק

### 1. מוליכות סגולית של מוליכים

| חומר    | נחשת    |                                                       |
|---------|---------|-------------------------------------------------------|
| 34 – 37 | 55 – 57 | $\gamma$ – מוליכות סגולית $[m / \Omega \text{ mm}^2]$ |

### 2. מפלי מתח והפסדי הספק במתח ישר



מפל המתח –  $\Delta U$  [V]

מוליכות סגולית –  $\gamma$   $[m / \Omega \text{ mm}^2]$

שטח חתך המוליך –  $A$   $[\text{mm}^2]$

הפסדי הספק –  $\Delta P$  [W]

זרם של צרכן n –  $I_n$  [A]

מתח נומינלי של הרשת –  $U_n$  [V]

$$\Delta U = \frac{2}{\gamma A} [L_1 (I_1 + I_2 + I_3) + L_2 (I_2 + I_3) + L_3 I_3]$$

$$= \frac{2}{\gamma A} [I_1 L_1 + I_2 (L_1 + L_2) + I_3 (L_1 + L_2 + L_3)]$$

$$\Delta P = \frac{2}{\gamma A} [L_1 (I_1 + I_2 + I_3)^2 + L_2 (I_2 + I_3)^2 + L_3 I_3^2]$$

$$I_n = \frac{P_n}{U_n}$$

### 3. שיפור מקדם ההספק ( $\cos \varphi$ )

|                             |   |               |                      |
|-----------------------------|---|---------------|----------------------|
| הספק אקטיבי של הצרכן        | - | P [kW]        | $P = S \cos \varphi$ |
| הספק מדומה של הצרכן         | - | S [kVA]       |                      |
| זווית בין זרם ומתח של הצרכן | - | $\varphi$ [°] | $Q = S \sin \varphi$ |
| הספק ריאקטיבי של הצרכן      | - | Q [kVAr]      | $Q = P \tan \varphi$ |

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

|                                                        |   |                 |                                             |
|--------------------------------------------------------|---|-----------------|---------------------------------------------|
| הספק ריאקטיבי של סוללת קבלים, הנדרשת לשיפור מקדם ההספק | - | $Q_c$ [kVAr]    | $Q_c = P (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$ |
| זווית לפני השיפור                                      | - | $\varphi_1$ [°] |                                             |
| זווית אחרי השיפור                                      | - | $\varphi_2$ [°] |                                             |

|                              |   |                 |                                            |
|------------------------------|---|-----------------|--------------------------------------------|
| הספק הקבל במופע אחד          | - | $Q_{c1}$ [kVAr] | $Q_{c1} = \frac{Q_c}{3}$                   |
| קיבול הקבל הנדרש (במופע אחד) | - | C [μF]          | $C = \frac{Q_{c1} \cdot 10^9}{U^2 \omega}$ |
| מתח על הקבל                  | - | U [V]           |                                            |

|             |   |        |                   |
|-------------|---|--------|-------------------|
| תדירות הרשת | - | f [Hz] | $\omega = 2\pi f$ |
|-------------|---|--------|-------------------|

מקדם ההספק הנדרש על-ידי  
חברת החשמל: 0.92

4. תכנון מתקן חשמל

4.1 מקדם הביקוש

$P_m$  [kW] – ההספק המותקן במתקן

$P_f$  [kW] – צריכת ההספק הצפויה  
בפועל

$k$  – מקדם הביקוש

$$P_f = P_m \cdot k$$

מקדם הביקוש של בניין לפי מספר הדירות שבו

|                   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| מספר דירות בבניין | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
| מקדם הביקוש       | 0.95 | 0.90 | 0.87 | 0.81 | 0.75 | 0.72 | 0.70 | 0.68 | 0.65 | 0.64 | 0.63 |

|                   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| מספר דירות בבניין | 13   | 14   | 15   | 18   | 20   | 25   | 30   | 35   | 40   | 45   | 50   |
| מקדם הביקוש       | 0.62 | 0.61 | 0.60 | 0.59 | 0.58 | 0.57 | 0.56 | 0.55 | 0.54 | 0.53 | 0.52 |

4.2 מבטח להגנה בפני זרם העמסת-יתר בלבד

$I_b$  [A] – זרם העבודה הממושך  
במעגל

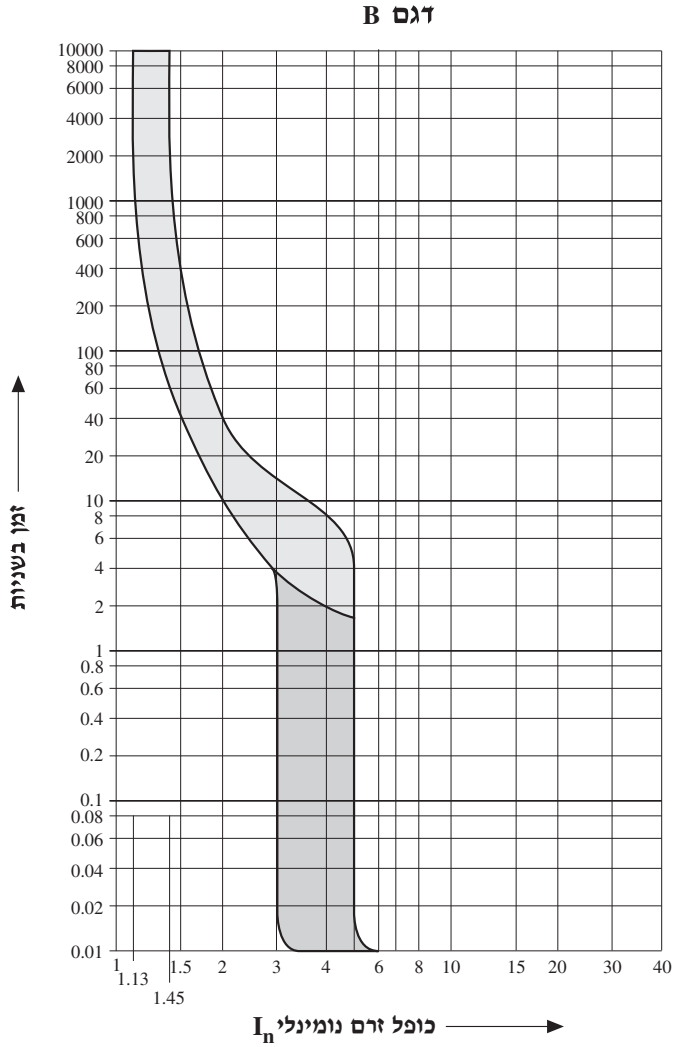
$I_n$  [A] – הזרם הנומינלי של המבטח  
או הזרם שאליו הוא מכוון

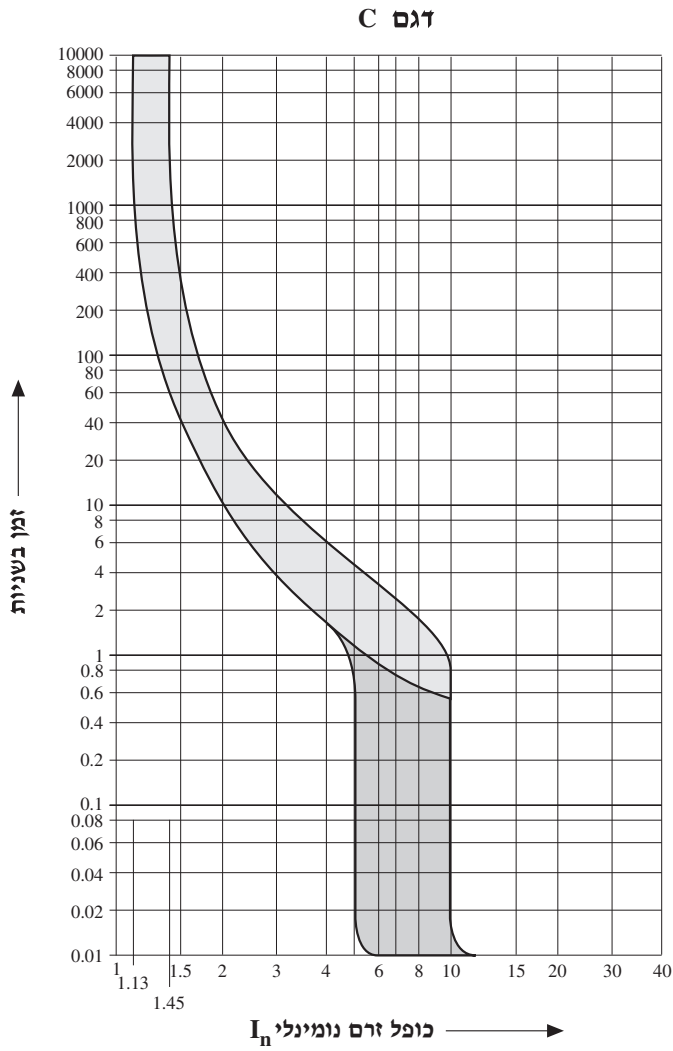
$I_z$  [A] – הזרם המתמיד המרבי של  
המוליך

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

| מעגל חד-מופעי                                                            | מעגל תלת-מופעי                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| $I_b = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi \cdot \eta}$<br>$U = 230 \text{ V}$ | $I_b = \frac{P}{\sqrt{3} U \cdot \cos \varphi \cdot \eta}$<br>$U = 400 \text{ V}$ |

5. אופיינים של מפסקים חצי-אוטומטיים זעירים





**בהצלחה!**