

- נספחים:  
1. נספח א' לשאלה 2  
2. נספח ב' לשאלה 2  
3. נוסחאון במערכות פיקוד ובקרה

## 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:

1. ענה על מספר השאלות הנדרש בשאלון. המעריך יקרא ויעריך את מספר השאלות הנדרש בלבד, לפי סדר כתיבתן במחברתך, ולא יתייחס לתשובות נוספות.
2. התחל כל תשובה לשאלה חדשה בעמוד חדש.
3. הקפד לרשום את כל תשובותיך אך ורק בעט.
4. הקפד לנסח את תשובותיך כהלכה ולסרטט את תרשימיך בבהירות.
5. כתוב את תשובותיך בכתב-יד ברור, כדי לאפשר הערכה נאותה שלהן.
6. אם לדעתך חסרים נתונים הדרושים לפתרון שאלה, אתה רשאי להוסיף אותם, בתנאי שתנמק מדוע הוספת אותם.
7. בכתבת פתרונות חישוביים, קבלת מרב הנקודות מותנית בהשלמת כל המהלכים שלהלן, בסדר הזה:
  - \* 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.

כתוב במחברת הבחינה בלבד, בעמודים נפרדים, כל מה שברצונך לכתוב כטיוטה (ראשי פרקים, חישובים וכדומה).

רשום "טיוטה" בראש כל עמוד טיוטה. רישום טיוטות כלשהן על דפים שמחוץ למחברת הבחינה עלול לגרום לפסילת הבחינה!

בשאלון זה 7 עמודים ו-11 עמודי נספחים.

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

בהצלחה!

המשך מעבר לדף

## השאלות

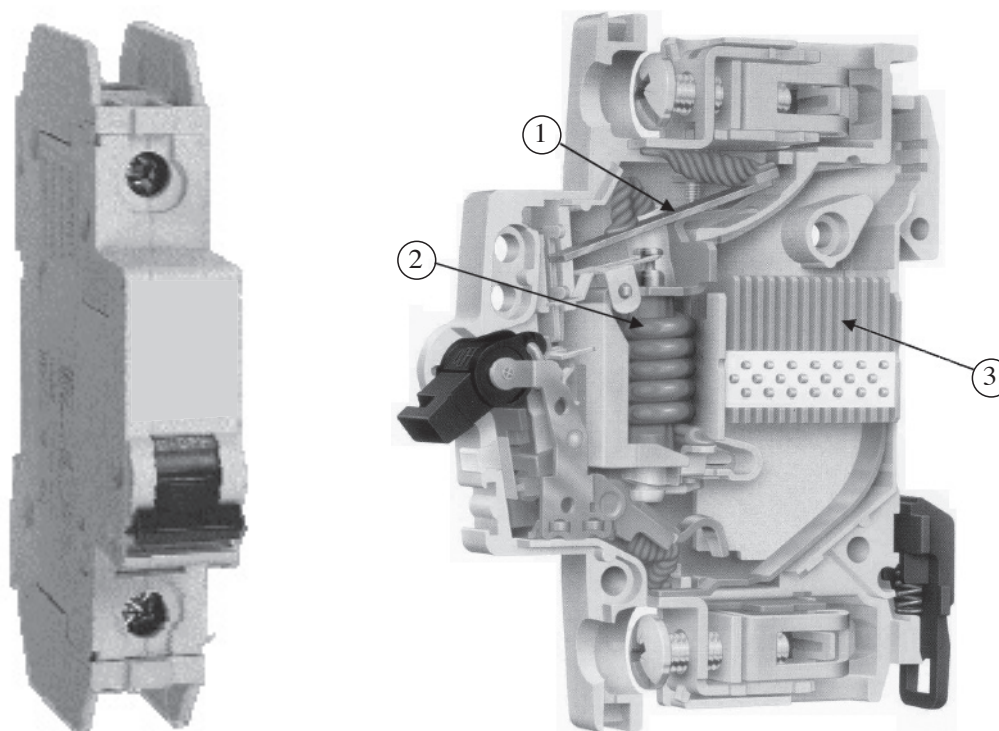
בשאלון זה שלושה פרקים, ובהם שמונה שאלות. יש לענות על ארבע שאלות בלבד:  
שאלה אחת לפחות מן הפרק הראשון ושאלה אחת לפחות מן הפרק השני  
(לכל שאלה – 25 נקודות, סך-הכל – 100 נקודות).

### פרק ראשון: מערכות הספק

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

#### שאלה 1

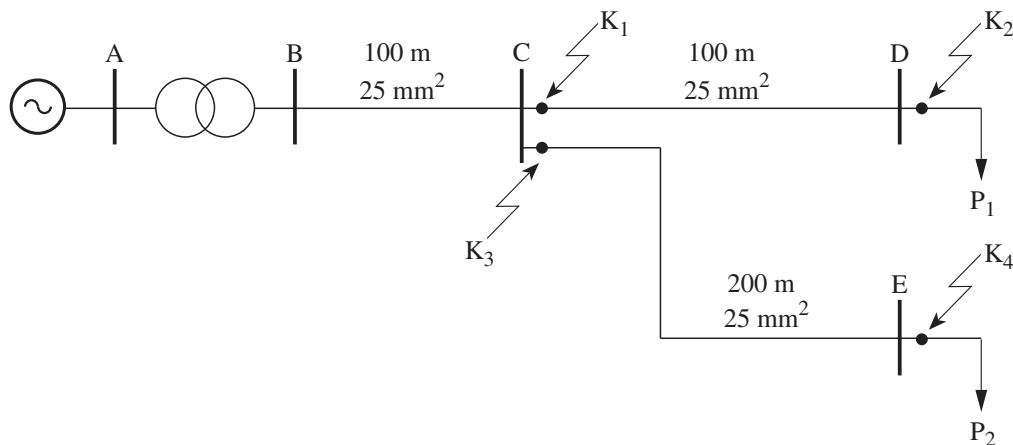
10 נק') א. בציוד השמאלי של איור א' לשאלה 1 נתון מא"ז (מאמ"ת), ובציוד הימני של האיור נתון החתך שלו.



איור א' לשאלה 1

רשום את שמו ואת תפקידו של כל אחד ממרכיבי המא"ז המסומנים בספרות ①, ② ו-③.

ב. באיור ב' לשאלה נתון תרשים חשמלי חד־קווי של רשת הזנה עם מקור יחיד.



איור ב' לשאלה 1

1. (8 נק') כאשר מתרחש קצר בנקודה  $K_1$  או בנקודה  $K_3$  – האם יש הבדל בערכו של זרם הקצר בין שתי הנקודות? נמק את תשובתך.
2. (7 נק') כאשר מתרחש קצר בנקודה  $K_2$  או בנקודה  $K_4$  – באיזו נקודה ערך זרם הקצר גדול יותר? נמק את תשובתך.

## שאלה 2

- א. (10 נק') בנספח א' לשאלה 2 נתונה טבלה, ובה חמש שיטות הגנה מפני התחשמלות ושלושה עקרונות הגנה. סמן בטבלה ב-X את עקרונות ההגנה המתקיימים בכל אחת משיטות ההגנה מפני התחשמלות.
- ב. (15 נק') בנספח ב' לשאלה נתון איור המתאר את המבנה העקרוני של ממסר פחת חד־מופעלי. הוסף לאיור את יחידת הבדיקה (לחצן ונגד־הבדיקה).

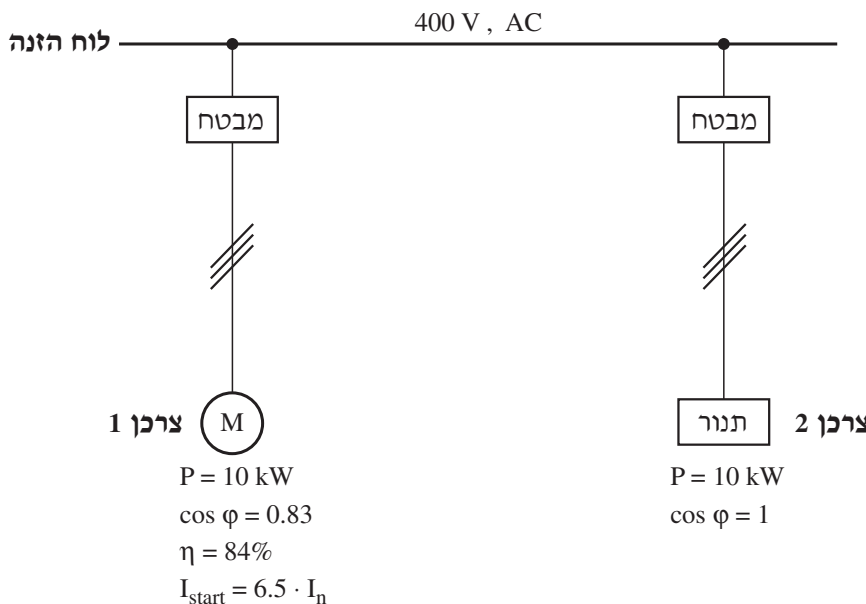
הערה: נספח א' ונספח ב' מופיעים בשני צידי דף אחד. הדבק על דף הנספחים את מדבקת הנבחן שלך, והדק אותו למחברת־הבחינה.

### שאלה 3

באיור א' לשאלה 3 מתואר חיבור של שני צרכנים ללוח הזנה:

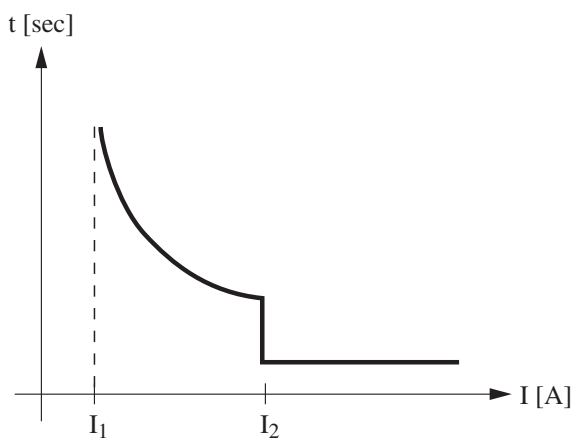
**צרכן 1** – מנוע השראה תלת-מופעי.

**צרכן 2** – תנור חימום תלת-מופעי.



### איור א' לשאלה 3

- א. (10 נק')** לרשותך שני סוגי מבטחים (הגנות): מא"ז ומאמ"ת מתכייל. קבע איזו הגנה מתאימה לכל אחד מן הצרכנים. נמק את קביעותיך.
- ב. (10 נק')** לרשותך מבטחים, שזרמיהם הנקובים הם:  
 $6 \text{ A}$  ,  $10 \text{ A}$  ,  $16 \text{ A}$  ,  $20 \text{ A}$  ,  $25 \text{ A}$  ,  $32 \text{ A}$   
 קבע עבור כל אחד משני הצרכנים את ערך הזרם הנקוב של המבטח המתאים לו.
- ג. (5 נק')** באיור ב' לשאלה נתון אופיין זרם-זמן של המאמ"ת המתכייל, הנדרש להגנה על הצרכן שקבעת בסעיף א'. קבע את ערכי הזרמים  $I_1$  ו- $I_2$  המצוינים באיור.



איור ב' לשאלה 3

## פרק שני: המרת אנרגייה

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

### שאלה 4

נתוניו של שנאי חד-מופעי אידיאלי הם:

$$S_n = 5 \text{ kVA} , \quad f = 60 \text{ Hz} , \quad U_2 = 100 \text{ V} , \quad a = 2.5$$

- 10 נק' א. חשב את המתח בסליל הראשוני של השנאי.  
5 נק' ב. חשב את הזרם הנקוב בסליל המשני של השנאי.  
10 נק' ג. מה מספר הכריכות הנדרש בסליל הראשוני של השנאי, על-מנת לקבל שטף מגנטי מרבי של  $1.877 \text{ mWb}$  בגרעין השנאי?

### שאלה 5

להלן נתוניו הנקובים של מנוע לזרם ישר בעירור מקבילי:

$$P_n = 5 \text{ kW} , \quad U_n = 200 \text{ V} , \quad I_n = 32 \text{ A}$$

$$\text{כמורכב נתון: } R_a = 0.2 \Omega , \quad R_f = 100 \Omega$$

- 10 נק' א. חשב את הזרם בסליל העירור ואת הזרם בסליל הרוטור.  
5 נק' ב. חשב את ההספק האלקטרומגנטי הנקוב של המנוע.  
10 נק' ג. חשב את נצילות המנוע כאשר הפסדי הברזל וההפסדים המכניים זניחים.

### שאלה 6

נתוניו הנקובים של מנוע השראה תלת-מופעי הם:

$$P_n = 10 \text{ kW} , \quad U_n = 400 \text{ V} , \quad \cos \varphi = 0.87 , \quad \eta = 80\%$$

זרם ההתנעה של המנוע גדול פי 6 מהזרם הנקוב שלו.

- 10 נק' א. חשב את זרם ההתנעה של המנוע כאשר מחברים אותו לרשת בחיבור ישיר.  
5 נק' ב. הסבר את מטרת השימוש במתנע כוכב-משולש להתנעת מנוע השראה תלת-מופעי.  
10 נק' ג. חשב את זרם ההתנעה של המנוע כאשר מחברים אותו לרשת באמצעות מתנע כוכב-משולש.

## פרק שלישי: בקרה ומערכות ממוחשבות

(לכל שאלה – 25 נקודות).

### שאלה 7

מערכת פיקוד להפעלת מנוע חשמלי כוללת את המרכיבים שלהלן:

- לחצן הפעלה  $PB_1$
- לחצן הפסקה  $PB_2$
- מגען  $KM_1$
- הגנה תרמית (O.L.) למנוע
- שתי נוריות סימון: נורית ירוקה ונורית אדומה.

**(15 נק')** א. הגדר את המבואות ואת המוצאים של מערכת פיקוד זו.

**(10 נק')** ב. סרטט דיאגרמת סולם המתארת את פעולת מערכת הפיקוד בהתאם לתנאים שלהלן:

- לחיצה על הלחצן  $PB_1$  מפעילה את המנוע לאחר השהיה של שלוש שניות.
- לחיצה על הלחצן  $PB_2$  גורמת להפסקת פעולת המנוע.
- בזמן פעולה תקינה של המנוע הנורית הירוקה דולקת.
- במקרה של עומס־יתר מופסקת פעולת המנוע, והנורית האדומה דולקת.

### שאלה 8

לדוד מים חמים שתי מערכות בקרה:

1. מערכת למילוי מים
2. מערכת לחימום מים

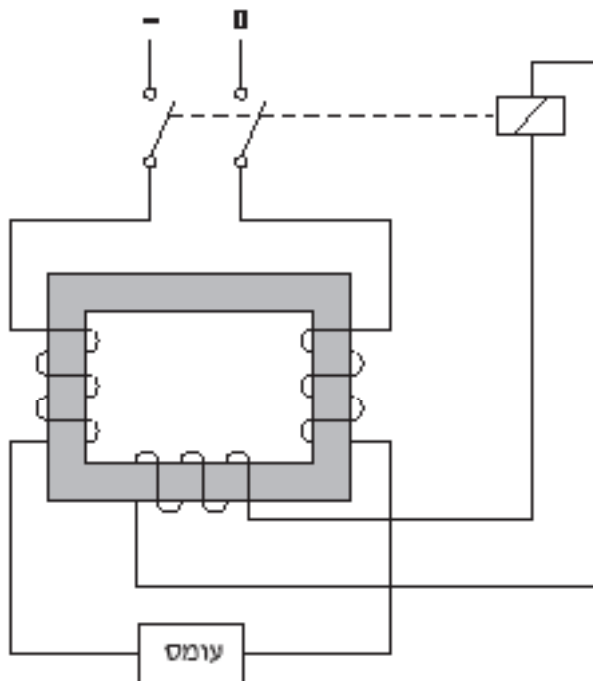
**(15 נק')** א. בחר אחת מהמערכות, וסרטט תרשים מלבנים המתאר את פעולתה.

**(10 נק')** ב. ציין את המפעילים ואת המבואות במערכת שבחרת.

### בהצלחה!

| עקרון<br>ההגנה              | מניעת/הקטנת<br>מתח-מגע מסוכן | הגבלת זרם התקלה | ניתוק מהיר של<br>אמצעי ההגנה |
|-----------------------------|------------------------------|-----------------|------------------------------|
| שיטת ההגנה<br>מפני התחשמלות |                              |                 |                              |
| בידוד כפול                  |                              |                 |                              |
| ממסר פחת                    |                              |                 |                              |
| איפוס                       |                              |                 |                              |
| הארקת הגנה                  |                              |                 |                              |
| מתח בטיחות                  |                              |                 |                              |





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                      | - | $M$      | $[N \cdot m]$                    | $M = \frac{P}{\omega}$       |
| הספק                            | - | $P$      | $[W]$                            |                              |
| מהירות זוויתית                  | - | $\omega$ | $\left[ \frac{rad}{sec} \right]$ |                              |
| מהירות סיבוב                    | - | $n$      | $[r.p.m]$                        | $\omega = 2\pi \frac{n}{60}$ |
| מקדם                            | - | $C_m$    |                                  |                              |
| מספר מוליכים ברוטור             | - | $N$      |                                  |                              |
| מספר זוגות קטבים                | - | $p$      |                                  | $C_m = \frac{Np}{2\pi a}$    |
| מספר זוגות ענפים מקבילים ברוטור | - | $a$      |                                  |                              |
| מומנט אלקטרומגנטי               | - | $M_{em}$ | $[N \cdot m]$                    | $M_{em} = C_m \Phi I_a$      |
| שטף                             | - | $\Phi$   | $[Wb]$                           |                              |
| זרם הרוטור                      | - | $I_a$    | $[A]$                            |                              |
| הספק אלקטרומגנטי                | - | $P_{em}$ | $[W]$                            | $P_{em} = EI_a$              |
|                                 |   |          |                                  | $\frac{C_e}{C_m} = 0.1047$   |

## 1.3 מהירות סיבוב

|                     |   |       |            |                                    |          |
|---------------------|---|-------|------------|------------------------------------|----------|
| מתח זינה            | - | $U$   | $[V]$      | $n = \frac{U - I_a R_a}{C_e \Phi}$ | במנוע:   |
| התנגדות סליל הרוטור | - | $R_a$ | $[\Omega]$ |                                    |          |
|                     |   |       |            | $n = \frac{U + I_a R_a}{C_e \Phi}$ | בגנרטור: |

## 1.4 מכונה לזרם ישר בעירור מקבילי

$$I = I_a + I_f \quad \text{במנוע:}$$

$$I \quad [A] \quad - \quad \text{הזרם הנצרך/המסופק}$$

$$I_f \quad [A] \quad - \quad \text{זרם סליל העירור}$$

$$I_a \quad [A] \quad - \quad \text{זרם סליל הרוטור}$$

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

## 2. שנאי חד-מופעי

### 2.1 מתח מושרה בסליל

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

$$E_1 \quad [V] \quad - \quad \text{כא"מ מושרה בסליל הראשוני}$$

$$E_2 \quad [V] \quad - \quad \text{כא"מ מושרה בסליל השניוני}$$

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

$$N_1 \quad - \quad \text{מספר הכריכות בסליל הראשוני}$$

$$N_2 \quad - \quad \text{מספר הכריכות בסליל השניוני}$$

$$f \quad [Hz] \quad - \quad \text{תדירות}$$

$$B_{\max} [Wb / m^2] ; [T] \quad - \quad \text{השראה מגנטית מרבית}$$

$$A \quad [m^2] \quad - \quad \text{שטח החתך של הגרעין}$$

$$\alpha \quad - \quad \text{יחס השנאה}$$

$$U_1 \quad [V] \quad - \quad \text{מתח בסליל הראשוני}$$

$$U_2 \quad [V] \quad - \quad \text{מתח בסליל השניוני}$$

$$I_1 \quad [A] \quad - \quad \text{זרם בסליל הראשוני}$$

$$I_2 \quad [A] \quad - \quad \text{זרם בסליל השניוני}$$

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

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

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

## 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]        |

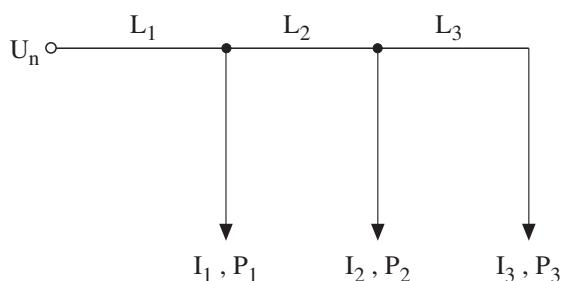
$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} U \cdot \cos \varphi \cdot \eta}$$

## 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



- $\Delta U$  [V] – מפל המתח
- $\gamma$   $[m / \Omega \text{ mm}^2]$  – מוליכות סגולית
- $A$   $[\text{mm}^2]$  – שטח חתך המוליך
- $\Delta P$  [W] – הפסדי הספק
- $I_n$  [A] – זרם של צרכן n
- $U_n$  [V] – מתח נומינלי של הרשת

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

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

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

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

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

– P [kW] הספק אקטיבי של הצרכן

$$P = S \cos \varphi$$

– S [kVA] הספק מדומה של הצרכן

–  $\varphi$  [°] זווית בין זרם ומתח של הצרכן

$$Q = S \sin \varphi$$

– Q [kVAr] הספק ריאקטיבי של הצרכן

$$Q = P \tan \varphi$$

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

–  $Q_c$  [kVAr] הספק ריאקטיבי של סוללת קבלים, הנדרשת לשיפור

מקדם ההספק

–  $\varphi_1$  [°] זווית לפני השיפור

$$Q_c = P (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$$

–  $\varphi_2$  [°] זווית אחרי השיפור

–  $Q_{c1}$  [kVAr] הספק הקבל במופע אחד

– C [μF] קיבול הקבל הנדרש (במופע אחד)

$$Q_{c1} = \frac{Q_c}{3}$$

– U [V] מתח על הקבל

$$C = \frac{Q_{c1} \cdot 10^9}{U^2 \omega}$$

– f [Hz] תדירות הרשת

$$\omega = 2\pi f$$

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

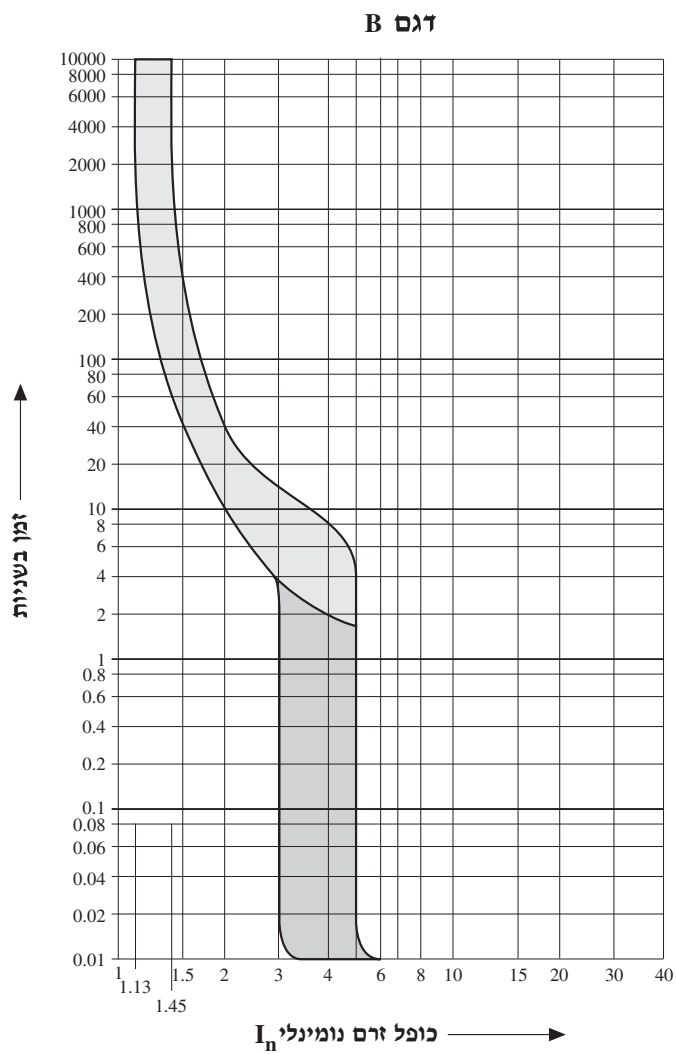
- $I_b$  [A] – זרם העבודה הממושך במעגל  
 $I_n$  [A] – הזרם הנומינלי של המבטח או הזרם שאליו הוא מכוון  
 $I_z$  [A] – הזרם המתמיד המרבי של המוליך

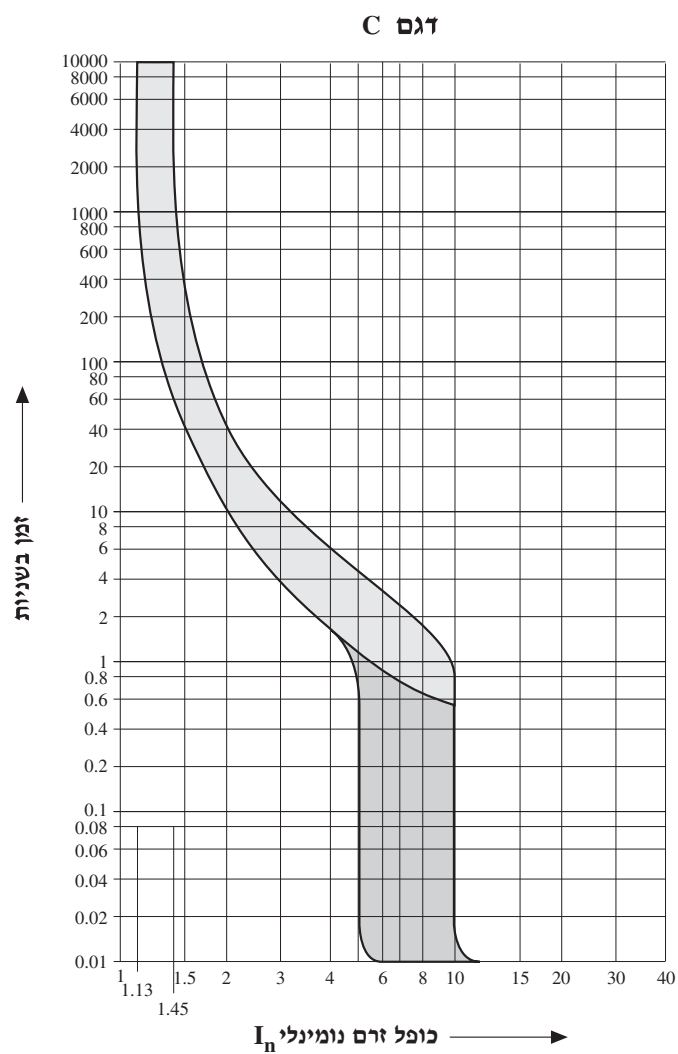
$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

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



## 5. אופיינים של מפסקים חצי-אוטומטיים זעירים





**בהצלחה!**