

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 6 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

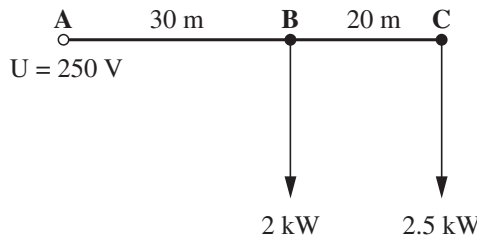
ענה על שאלה אחת לפחות מבין השאלות 1–3 (לכל שאלה – 25 נקודות).

שאלה 1

באיור לשאלה 1 נתונה רשת, המוזנת בנקודה A במתח ישר של 250 V .

מוליכי הרשת עשויים מנחושת $\left(\gamma = 57 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2} \right)$.

הפסדי ההספק המרביים המותרים ברשת הם $\Delta P_{(\%)} = 4\%$.



איור לשאלה 1

א. חשב את הזרם בכל אחד מקטעי הרשת.

ב. חשב את שטח־החתך האחיד של מוליכי הרשת, בהתאם להפסדי ההספק המרביים המותרים ברשת.

ג. 1. בחר שטח־חתך תקני למוליכי הרשת מבין הערכים: 2.5 mm^2 , 4 mm^2 , 6 mm^2 , 10 mm^2 .

2. חשב את מפל המתח ברשת.

שאלה 2

בנספח לשאלה 2 נתון תרשים חיבורים של נורת פלואורסצנט.

א. ציין את שמות המרכיבים המסומנים בנספח בספרות (4) ÷ (1) .

ב. הנורה מוזנת במתח חד-מופעי $230 \text{ V} / 50 \text{ Hz}$. ההספק של הנורה הוא 58 W , ומקדם ההספק שלה הוא 0.5 .

1. נדרש לשפר את מקדם ההספק של הנורה ל- 0.92 על-ידי הוספת קבל. חשב את קיבולו.

2. הוסף לתרשים שבנספח את הקבל לשיפור מקדם ההספק.

ג. סרטט בתרשים שבנספח את מסלול הזרם בזמן הצתת הנורה.

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

שאלה 3

מנוע תלת-מופעי מוזן מרשת $400 \text{ V} / 50 \text{ Hz}$ של חברת החשמל, כמתואר בנספח לשאלה 3.

א. מהי שיטת ההגנה מפני ההתחשמלות המתוארת בנספח?

ב. ציין את שמות הרכיבים בנספח המסומנים ב- R_0 וב- R_G .

ג. סרטט בנספח את מסלול לולאת התקלה כאשר מתרחש קצר בין אחד המופעים ובין גוף המנוע.

הערה: הדבק את מדבקת הנבחן במקום המיועד לכך בנספח לשאלה 3, והדק אותו למחברת הבחינה.

ד. נתון כי $R_G = 1 \Omega$ ו- $R_0 = 5 \Omega$. חשב את מתח המגע במקרה של קצר בנקודה K .

פרק שני: המרת אנרגיה

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

שאלה 4

- א.** סרטט אופייני של מנוע השראה תלת־מופעי, המתאר את מומנט המנוע כפונקציה של מקדם החליקה.
- ציין על האופייני את המומנט המרבי, את מומנט ההתנעה ואת המומנט הנקוב. עבור כל אחד מן המומנטים ציין על האופייני את מקדם החליקה המתאים לו.
- ב.** נתוניו הנקובים של מנוע השראה תלת־מופעי הם:
- $$U_n = 400 \text{ V} ; f = 50 \text{ Hz} ; I_n = 53 \text{ A} ; n_n = 1447 \text{ r.p.m.} ; \cos \varphi_n = 0.8 ; \eta = 85\%$$
1. חשב את ההספק שהמנוע צורך מן הרשת.
 2. חשב את המומנט הנקוב של המנוע.
 3. מה ההפרש בין ההספק שצורך המנוע מן הרשת ובין ההספק על הציר שלו, ומהם הגורמים להפרש הזה?

שאלה 5

- מספר הליפופים בסליל השניוני של שנאי חד־מופעי אידיאלי הוא 200. המתח בסליל הראשוני של השנאי הוא 250 V, והמתח בסליל השניוני שלו הוא 125 V. התדר של רשת החשמל המזינה את השנאי הוא 60 Hz.
- א.** חשב את יחס ההשנאה של השנאי.
- ב.** 1. חשב את השטף המגנטי המרבי בגרעין השנאי.
2. האם יש צורך לציין לאיזה סליל בשנאי מתייחס השטף הזה? נמק את תשובתך.
- ג.** חשב את מספר הליפופים בסליל הראשוני של השנאי.

שאלה 6

- מנוע השראה תלת-מופעי מוזן במתח $400 \text{ V} / 50 \text{ Hz}$. מהירות הסיבוב של המנוע היא 970 r.p.m. .
- קבע את מספר זוגות הקטבים בסטטור של המנוע.
 - חשב את מקדם החליקה של המנוע.
 - חשב את התדר של זרם הרוטור במנוע.
 - האם ייתכן מצב שבו מקדם החליקה במנוע השראה תלת-מופעי יהיה 0? נמק את תשובתך.

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.
- הגדר את המבואות ואת המוצאים של מערכת הפיקוד הזו.
 - 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.

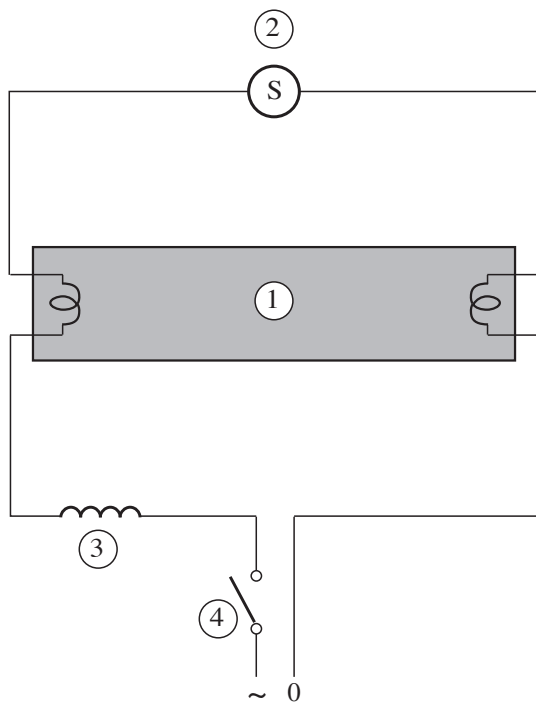
שאלה 8

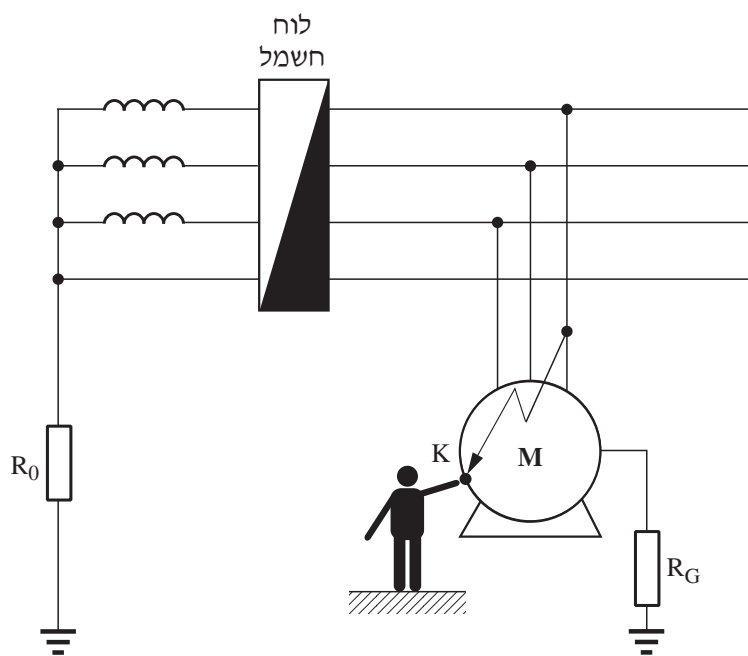
לדוד מים חמים שתי מערכות בקרה:

1. מערכת למילוי מים
 2. מערכת לחימום מים
- א. בחר אחת מהמערכות, וסרטט תרשים מלבנים המתאר את פעולתה.
- ב. ציין את המפעילים ואת המבואות במערכת שבחרת.

בהצלחה!

מקור מזהקת נבחן





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

$$E = \frac{N_p n \Phi}{60 a}$$

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

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

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

Φ [Wb] – שטף

C_e – מקדם

1.2 מומנטים

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

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

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

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

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

$$I = I_a + I_f$$

במנוע:

$$I_a = I + I_f$$

בגנרטור:

2. שנאי חד-מופעי

2.1 מתח מושרה בסליל

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

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

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

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

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

$$a \quad - \quad \text{יחס השנאה}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

2.2 נצילות השנאי

גורם העמסה	-	β
הספק מדומה	-	S [VA]
הספק מדומה נקוב	-	S_n [VA]
נצילות השנאי	-	η
הספק המוצא	-	P_2 [W]
הפסדי נחושת	-	ΔP_{Cu} [W]
הפסדי ברזל	-	ΔP_{Fe} [W]
הפסדי נחושת בזרם נקוב	-	ΔP_{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	-	ω_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

$$\omega_n = \frac{2\pi n_n}{60}$$

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n}$$

$$s = \frac{n_s - n_n}{n_s}$$

$$n_s = \frac{60 f}{p}$$

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

$$f_2 = s f_1$$

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

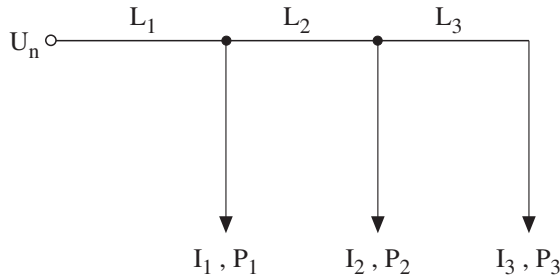
$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} U \cdot \cos \varphi \cdot \eta}$$

ב. מערכות הספק

1. מוליכות סגולית של מוליכים

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

2. מפלי מתח והפסדי הספק במתח ישר



מפל המתח – ΔU [V]

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

שטח חתך המוליך – A $[\text{mm}^2]$

הפסדי הספק – ΔP [W]

זרם של צרכן n – I_n [A]

מתח נומינלי של הרשת – U_n [V]

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

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

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

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

שיפור מקדם ההספק ($\cos \varphi$)

3.

- הספק אקטיבי של הצרכן - P [kW]
- הספק מדומה של הצרכן - S [kVA]
- זווית בין זרם ומתח של הצרכן - φ [°]
- הספק ריאקטיבי של הצרכן - Q [kVAr]

$$P = S \cos \varphi$$

$$Q = S \sin \varphi$$

$$Q = P \tan \varphi$$

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

- הספק ריאקטיבי של סוללת קבלים, הנדרשת לשיפור מקדם ההספק - Q_c [kVAr]

$$\varphi_1 \text{ [°]} - \text{זווית לפני השיפור}$$

$$\varphi_2 \text{ [°]} - \text{זווית אחרי השיפור}$$

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

- הספק הקבל במופע אחד - Q_{c1} [kVAr]
- קיבול הקבל הנדרש (במופע אחד) - C [μF]

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

$$U \text{ [V]} - \text{מתח על הקבל}$$

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

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

$$\omega = 2\pi f$$

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

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

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

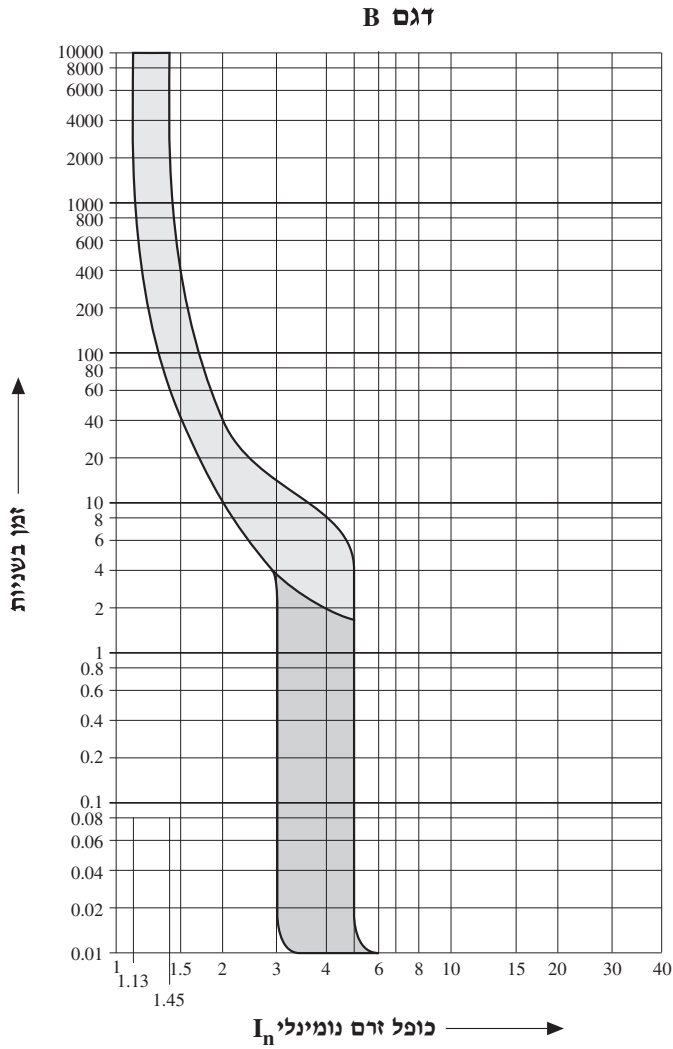
4.2 מבטח להגנה בפני זרם העמסת-יתר בלבד

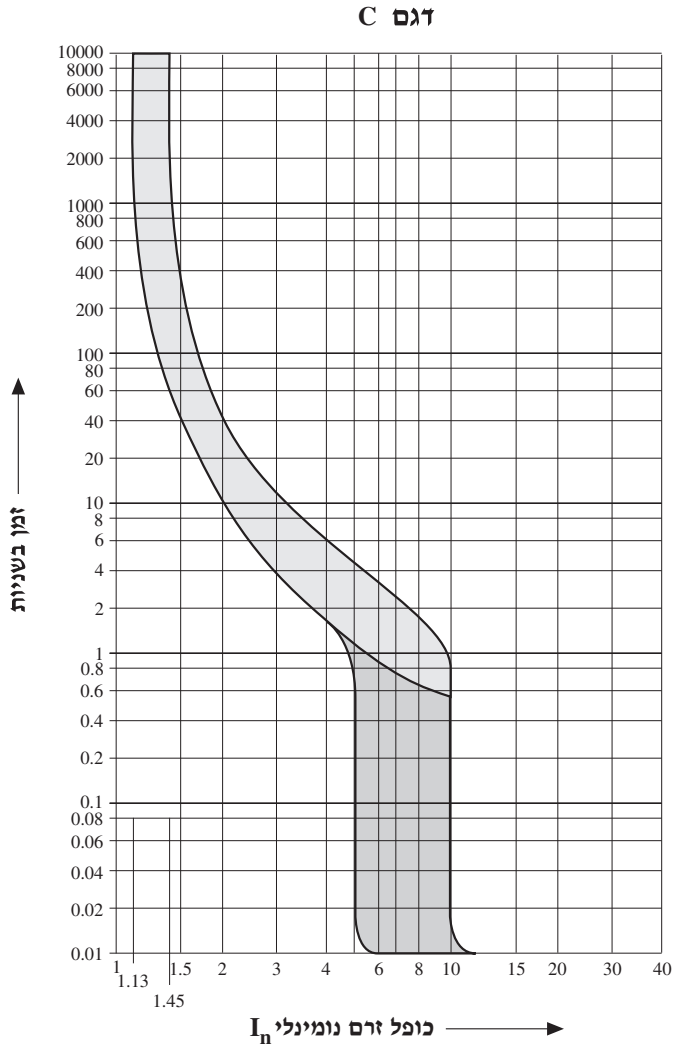
- I_b [A] – זרם העבודה הממושך במעגל
 I_n [A] – הזרם הנומינלי של המבטח או הזרם שאליו הוא מכוון
 I_z [A] – הזרם המתמיד המרבי של המוליך

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

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

5. אופיינים של מפסקים חצי-אוטומטיים זעירים





בהצלחה!