

מערכות פיקוד ובקרה א'

יחידת לימוד אחת

(כיתה י"ב)

הוראות לנבחן

א. משך הבחינה: שעתיים.

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 השאלות 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-10 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

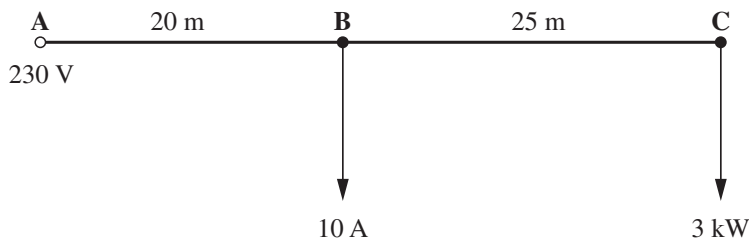
ענה על שאלה אחת לפחות מבין השאלות 1–3 (לכל שאלה – 25 נקודות).

שאלה 1

באיור לשאלה 1 נתונה רשת, המוזנת בנקודה A במתח ישר של 230 V .

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

מפל המתח המרבי המותר ברשת הוא $\Delta U_{(\%)} = 3\%$.



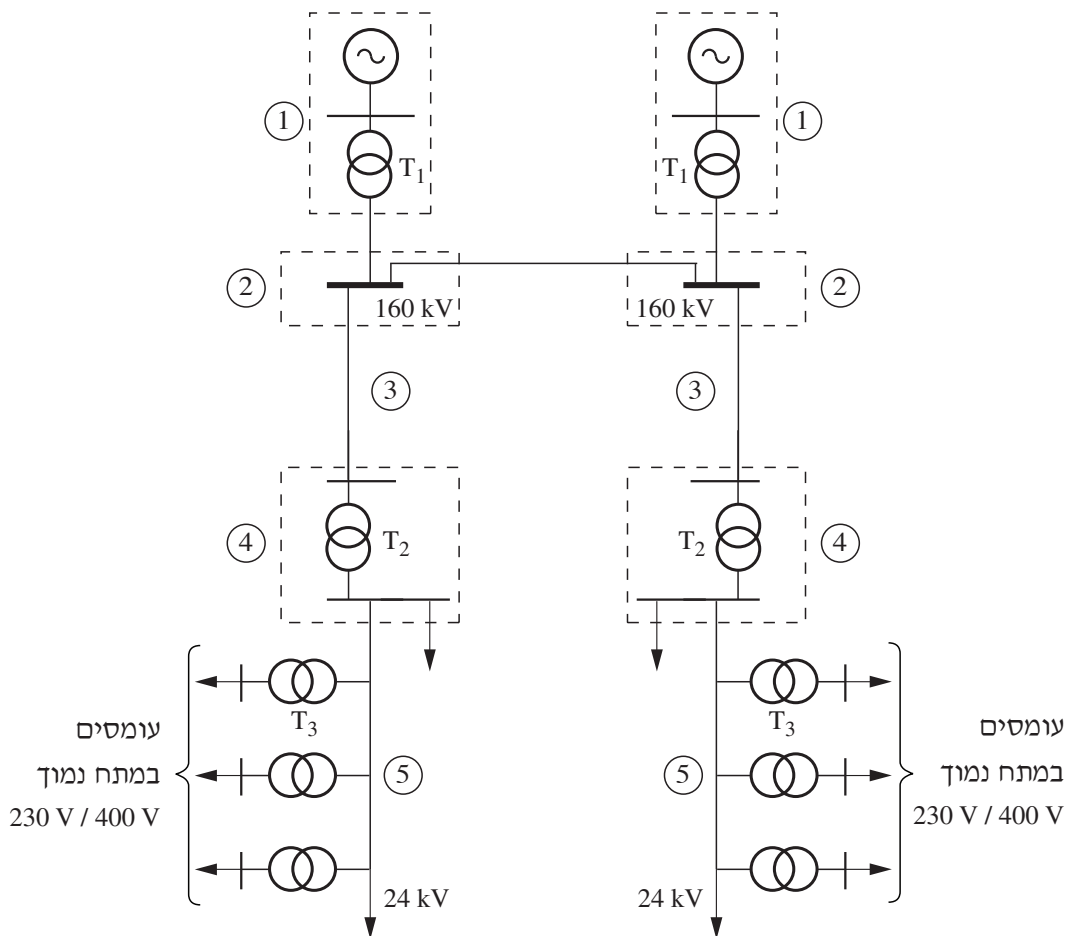
איור לשאלה 1

א. חשב את הזרם בכל אחד מקטעי הרשת.

ב. חשב את שטח־החתך האחיד של מוליכי הרשת על־פי מפל המתח המרבי המותר ברשת.

שאלה 2

באיור לשאלה 2 נתון תרשים עקרוני של מערכת החשמל הארצית.



איור לשאלה 2

- ציין את שמות המרכיבים של המערכת, המסומנים בספרות (1) ÷ (5).
- רשום את התפקיד של כל אחד ממרכיבי המערכת הזו.
- חשב את יחס ההשנאה של כל אחד מן השנאים T₂ ו-T₃.

שאלה 3

- בנספח לשאלה 3 נתון תרשים המתאר חיבור מבנה מגורים לרשת חברת-החשמל.
- א. ציין את שיטת ההגנה נגד התחשמלות שבה משתמשים במבנה המגורים הזה. נמק את תשובתך.
- ב. הוסף לתרשים שבנספח תיאור של מסלול לולאת התקלה, כאשר קיים קצר חד-מופעי לגוף המתכתי של הצרכן.
- הערה: הדבק את מדבקת הנבחן במקום המיועד לכך בנספח, והדק אותו למחברת הבחינה.

פרק שני: המרת אנרגיה

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

שאלה 4

מספר הליפופים בסליל הראשוני של שנאי אידיאלי חד-מופעי הוא 2000, ומספר הליפופים בסליל השניוני שלו הוא 400. המתח בסליל הראשוני של השנאי הוא 22 kV. ההספק הנקוב של השנאי הוא 1600 kVA. תדר הרשת החשמלית המזינה את השנאי הוא 50 Hz.

חשב את:

- א. המתח בסליל השניוני של השנאי.
- ב. 1. הזרם בסליל הראשוני של השנאי.
2. הזרם בסליל השניוני של השנאי.
- ג. ההשראה המגנטית המרבית (השדה המגנטי המרבי) בגרעין השנאי.

שאלה 5

להלן נתונים הנקובים של מנוע לזרם ישר בעירור מקבילי:

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

$$\text{כמורכן נתון: } R_a = 0.2 \text{ W}, \quad R_f = 100 \text{ W}.$$

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

שאלה 6

נתוניו הנקובים של מנוע השראה תלת-מופעי הם:

$$U_n = 440 \text{ V} ; f = 50 \text{ Hz} ; I_n = 25 \text{ A} ; \cos \varphi_n = 0.89 ; \eta = 85\% ; 2p = 6 ; s_n = 4\%$$

חשב את:

א. מהירות הסיבוב הנקובה של הרוטור.

ב. ההספק הנקוב של המנוע.

ג. המומנט הנקוב של המנוע.

פרק שלישי: בקרה ומערכות ממוחשבות

שאלה 7

להלן שתי מערכות בקרה:

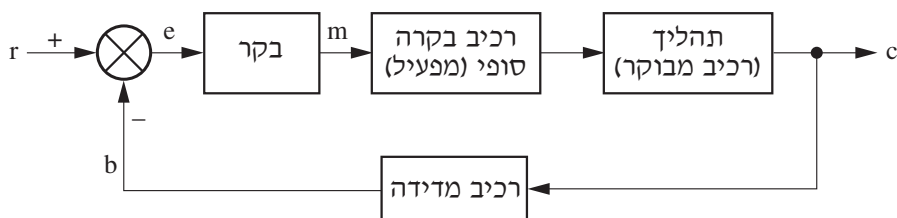
1. תנור לאפיית לחם.
2. מערכת למילוי מים במדיח כלים.

א. בחר **אחת** מהמערכות, וסרטט תרשים מלבנים המתאר את פעולתה.

ב. ציין את המפעילים ואת המבואות במערכת שבחרת.

שאלה 8

באיור לשאלה 8 מתואר תרשים של מערכת בקרה.



איור לשאלה 8

א. האם מערכת הבקרה המתוארת באיור היא מערכת בקרה בחוג פתוח או מערכת בקרה בחוג סגור? נמק את תשובתך.

ב. העתק למחברתך את התרשים, ורשום עליו במקומות המתאימים את המרכיבים שלהלן:

1. הערך הרצוי של המשתנה המבוקר

2. הערך המצוי של המשתנה המבוקר

3. אות השגיאה

4. אות המשוב

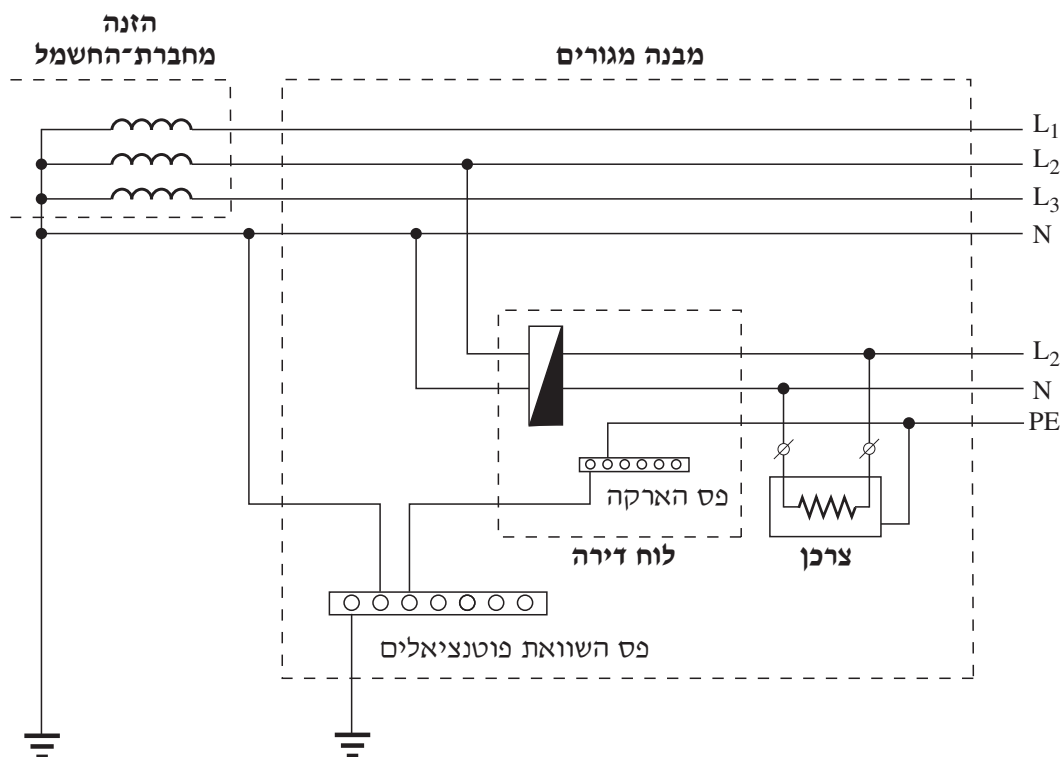
5. אות התיקון מהבקר

6. יחידת ההשוואה

ג. באיזה מלבן מבין ארבעת המלבנים שבתרשים יש לשבץ את החיישן של מערכת הבקרה הזו?

ד. האם עמעם תאורה יכול לשמש כאות משוב במערכת בקרה בחוג סגור? נמק את תשובתך.

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

Φ [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	-	ω	$\left[\frac{rad}{sec} \right]$	
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	-	a		
מקבילים ברוטור				
מומנט אלקטרומגנטי	-	M_{em}	$[N \cdot m]$	$M_{em} = C_m \Phi I_a$
שטף	-	Φ	$[Wb]$	
זרם הרוטור	-	I_a	$[A]$	$P_{em} = EI_a$
הספק אלקטרומגנטי	-	P_{em}	$[W]$	
				$\frac{C_e}{C_m} = 0.1047$

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

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 / m²] ; [T]

שטח החתך של הגרעין - A [m²]

יחס השנאה - α

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	-	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

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

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

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

$$f_2 = s f_1$$

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

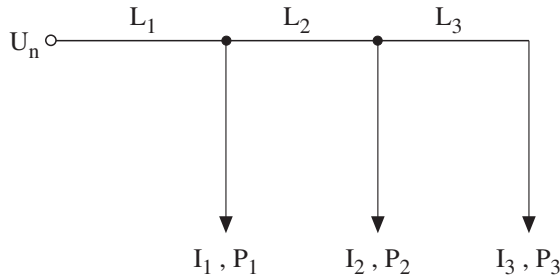
$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} U \cdot \cos \varphi \cdot \eta}$$

ב. מערכות הספק

1. מוליכות סגולית של מוליכים

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

2. מפלי מתח והפסדי הספק במתח ישר



מפל המתח – ΔU [V]

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

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]

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

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

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

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

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	-	φ [°]	$Q = S \sin \varphi$
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	-	φ_1 [°]	
זווית אחרי השיפור	-	φ_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

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

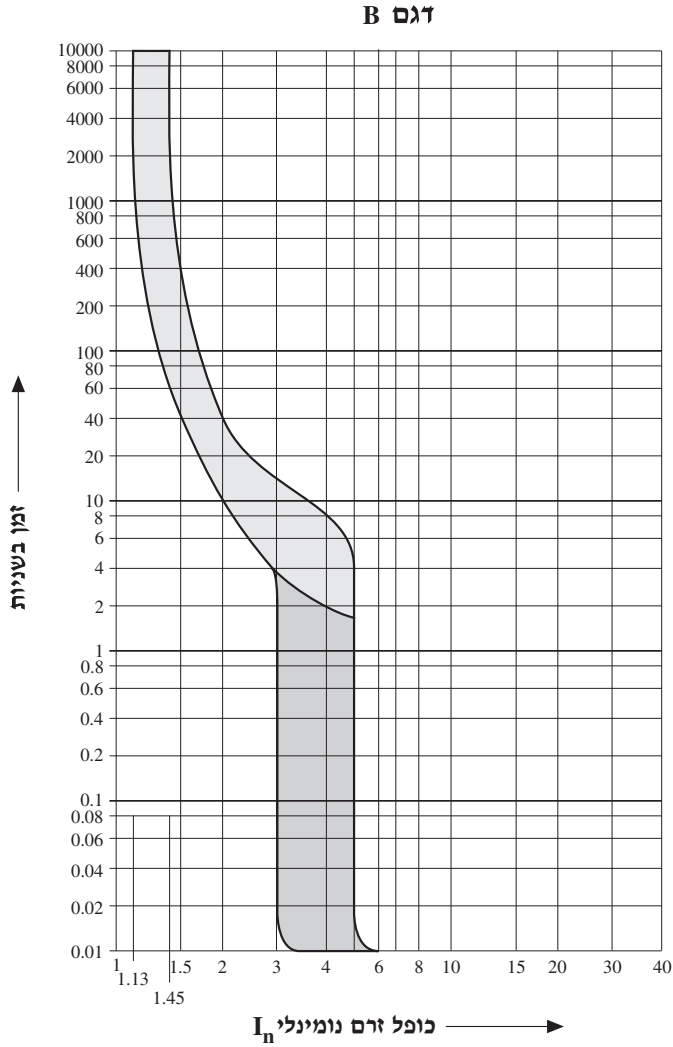
I_n [A] – הזרם הנומינלי של המבטח
או הזרם שאליו הוא מכוון

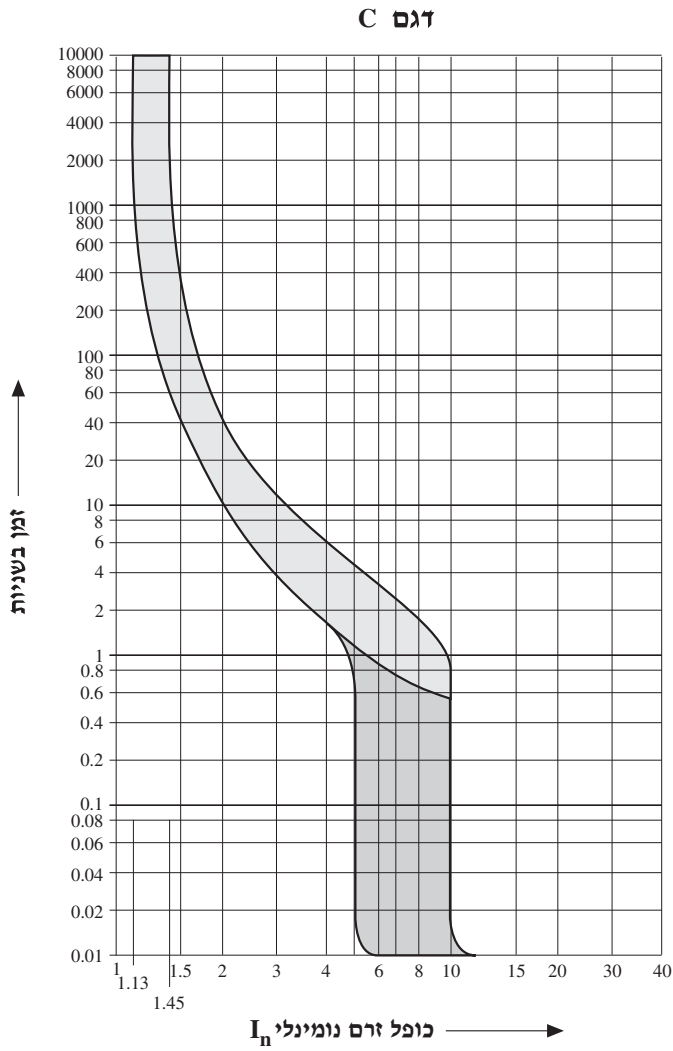
I_z [A] – הזרם המתמיד המרבי של
המוליך

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

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!