

מערכות פיקוד ובקרה א'

יחידת לימוד אחת

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 מִרְב 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-9 עמודי נוסחאון.

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

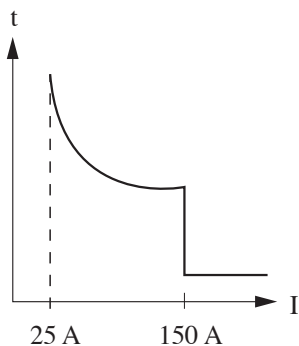
נתוניו של מנוע השראה תלת-מופעי הם:

$$11 \text{ kW} ; 400 \text{ V} ; 50 \text{ Hz} ; \cos \varphi = 0.82 ; \eta = 85\%$$

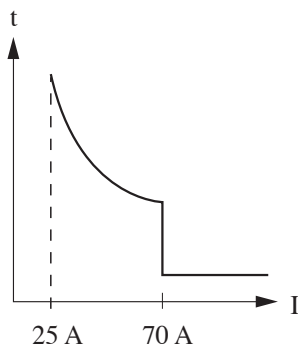
$$I_{\text{start}} = 6 \cdot I_n$$

א. חשב את הזרם הנקוב של המנוע.

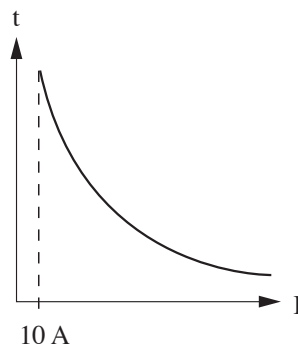
ב. באיור לשאלה 1 נתונים שלושה סוגי מבטחים לקו ההזנה של המנוע. קבע איזה מהם הוא המתאים ביותר להגנה על המנוע. נמק את קביעתך.



③



②

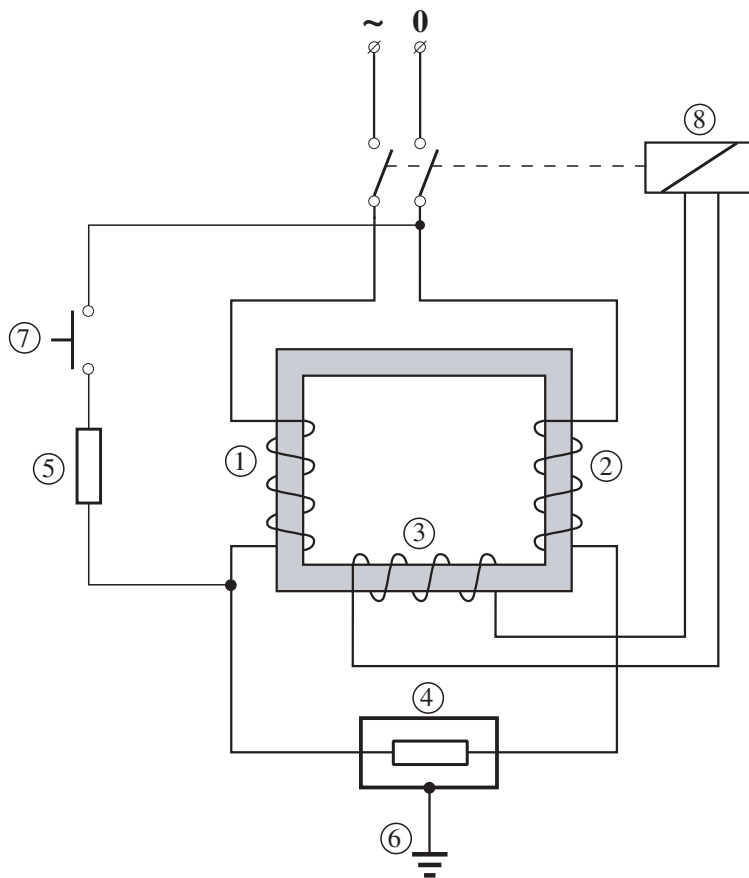


①

איור לשאלה 1

שאלה 2

באיור לשאלה 2 נתון תרשים עקרוני של ממסר פחת.



איור לשאלה 2

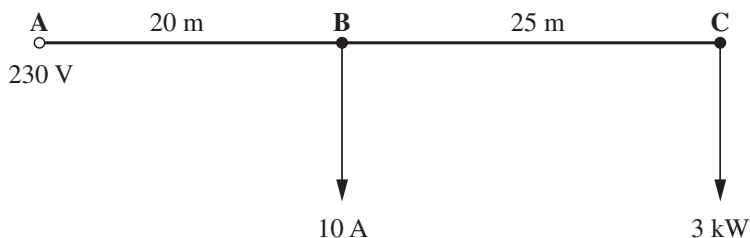
- א. מהו תפקידו של ממסר פחת במתקן חשמלי?
- ב. רשום את שמות הרכיבים המסומנים באיור בספרות $(8) \div (1)$.

שאלה 3

באיור לשאלה 3 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 3

- א. חשב את הזרם בכל אחד מקטעי הרשת.
ב. חשב את שטח-החתך האחיד של מוליכי הרשת על-פי מפל המתח המרבי המותר ברשת.

פרק שני: המרת אנרגיה

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

שאלה 4

נתוניו הנקובים של מנוע השראה תלת-מופעי בעל שישה קטבים הם:

$$s = 4\% \quad (\text{מקדם החליקה}), \quad \cos \varphi = 0.84, \quad \eta = 82\%, \quad 50 \text{ Hz}, \quad 400 \text{ V}, \quad 20 \text{ kW}$$

- א. חשב את הזרם הנצרך על-ידי המנוע.
ב. חשב את המהירות של השדה המגנטי המסתובב (המהירות הסינכרונית) במנוע.
ג. חשב את מהירות הסיבוב של הרוטור בנתונים הנקובים.
ד. חשב את המומנט הנקוב על ציר המנוע.

שאלה 5

נתוניו של שנאי חד-מופעי אידיאלי הם:

660 V	– המתח בצד הראשוני של השנאי –
120 V	– המתח בצד השניוני של השנאי –
30	– מספר הכריכות בסליל השניוני –
0.02 m^2	– שטח-החתך האחיד של גרעין השנאי –
50 Hz	– תדר הרשת שמזינה את השנאי –

- א. חשב את יחס ההשנאה של השנאי.
- ב. חשב את מספר הכריכות בסליל הראשוני.
- ג. חשב את ההשראה המגנטית המרבית (השדה המגנטי המרבי) בגרעין השנאי.

שאלה 6

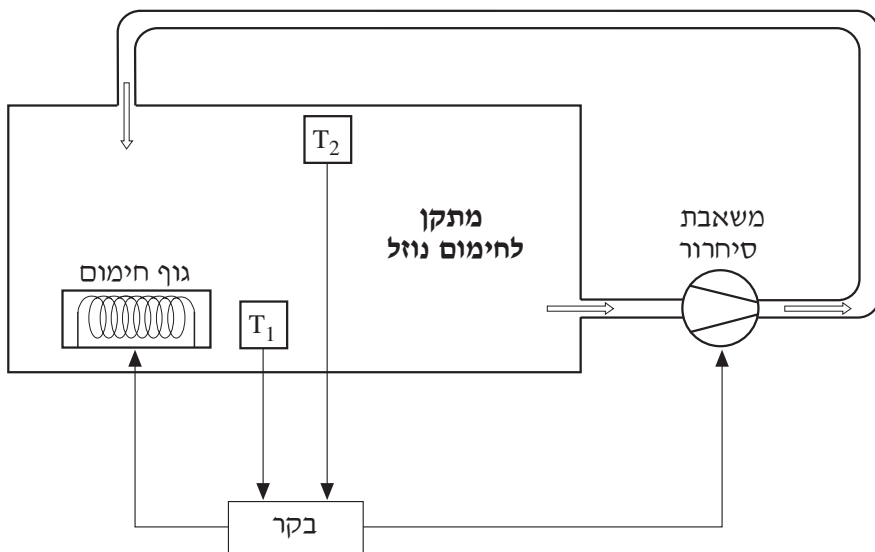
- א. סרטט אופיין של מנוע השראה תלת-מופעי, המתאר את מומנט המנוע כפונקציה של מהירות הסיבוב של הרוטור. ציין על האופיין את הנקודות האלו:
 - מומנט ההתנעה (M_{st})
 - המומנט המתקבל על ציר המנוע בחליקה קריטית (M_k)
 - המומנט המתקבל על ציר המנוע במהירות סיבוב נקובה (M_n)
- ב. סרטט אופיין של מנוע השראה תלת-מופעי, המתאר את הזרם כפונקציה של מהירות הסיבוב של המנוע. ציין על האופיין את זרם ההתנעה ואת הזרם הנקוב, כאשר נתון: $\frac{I_{st}}{I_n} = 7$.
- ג. ציין שתי שיטות להתנעת מנוע השראה תלת-מופעי.

פרק שלישי: בקרה ומערכות ממוחשבות

(לכל שאלה – 25 נקודות).

שאלה 7

באיור לשאלה 7 מוצג תיאור סכמתי של מתקן לחימום נוזל, הכולל גוף חימום, שני חיישני טמפרטורה ומשאבת סיחרור.
חיישן טמפרטורה T_1 מותקן בתחתית המִקְל, וחיישן טמפרטורה T_2 מותקן בחלקו העליון של המכל. כאשר הפרש הטמפרטורות בין החיישן T_1 ובין החיישן T_2 גדול מ- 20°C , משאבת הסיחרור מופעלת לפרק זמן של שתי דקות.



איור לשאלה 7

- א. ציין מהו סוג הבקרה (בקרה בחוג פתוח, בקרה בחוג סגור) בתהליך המתואר. נמק את תשובתך.
- ב. ציין איזה סוג של ניהול בקרה (בקרה רציפה, בקרה בדידה) מופעל בתהליך המתואר. נמק את תשובתך.

שאלה 8

מערכת תעשייתית לשטיפת כלים כוללת רכיבים חשמליים ואלקטרו מכניים, המפורטים בטבלה שלהלן. העתק את הטבלה למחברתך ורשום ליד כל רכיב את תפקידו (מפעיל, חיישן, חיווי, יחידת-שליטה).

הרכיב	התפקיד
מנוע להפעלת מסוע	
ברז כניסת מים	
ברז כניסת חומרי ניקוי	
גוף חימום	
משאבה להוצאת מים	
מפסק בורר של פעולות המדיח	
תרמוסטט	
מד מפלס מים	
נורית סימון פעולה	
נורית סימון תקלה	
לחצן START-STOP	

בהצלחה!

זכות היוצרים שמורה למדינת ישראל.
אין להעתיק או לפרסם אלא ברשות משרד החינוך.

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]

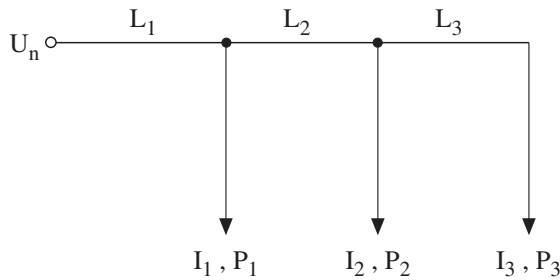
$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} U \cdot \cos \varphi \cdot \eta}$$

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

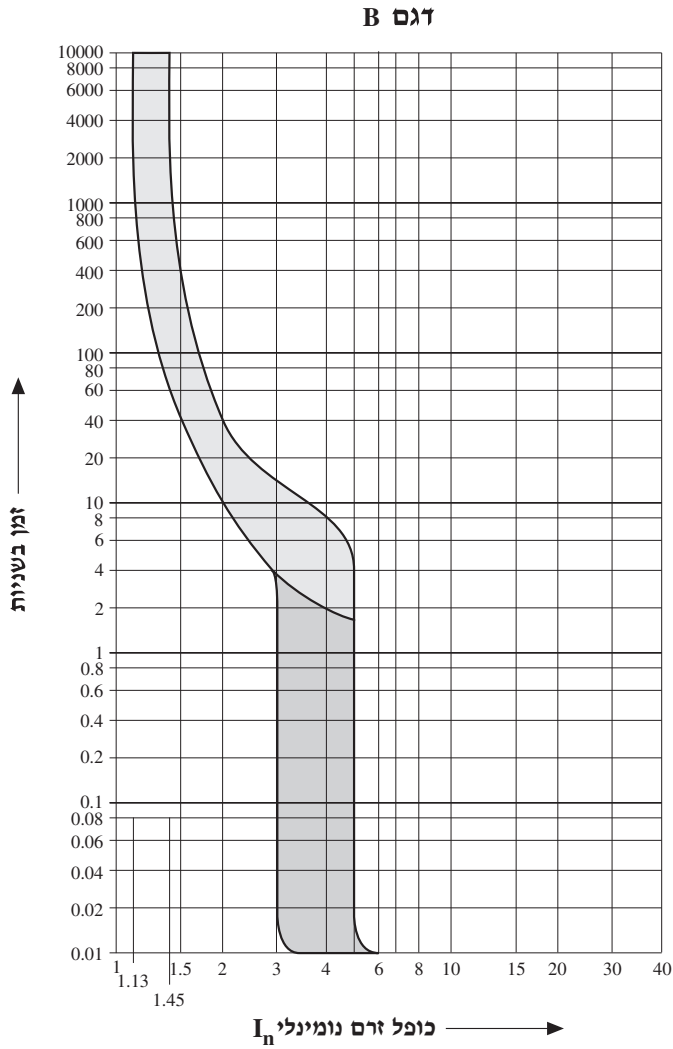
I_n [A] – הזרם הנומינלי של המבטח
או הזרם שאליו הוא מכוון

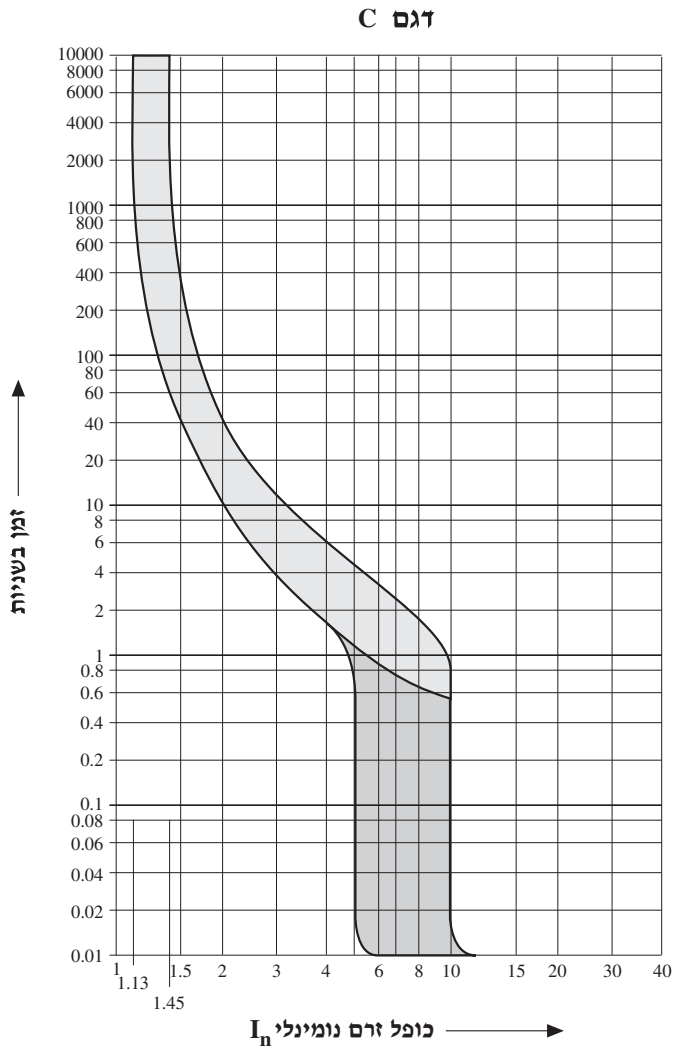
I_z [A] – הזרם המתמיד המרבי של
המוליך

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

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!