

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 ארבע תשובות בלבד, לפי סדר כתיבתן במחברתך, ולא יתייחס לתשובות נוספות.
- התחל כל תשובה בעמוד חדש.
- רשום את תשובותיך אך ורק בעט.
- הקפד לנסח את תשובותיך כראוי ולסרטט את תרשימיך בבהירות.
- כתוב את תשובותיך בכתב-יד ברור, כדי לאפשר הערכה נאותה.
- אם לדעתך חסרים נתונים הדרושים לפתרון השאלה, אתה רשאי להוסיף אותם, בתנאי שתנמק מדוע הוספת אותם.
- בכתיבת פתרונות חישוביים, קבלת מִצָּב הנקודות מותנית בהשלמת כל המהלכים שלהלן, בסדר שבו הם רשומים:
 - * רישום הנוסחה המתאימה.
 - * הצבה של כל הערכים ביחידות המתאימות.
 - * חישוב (אפשר באמצעות מחשבון).
 - * רישום התוצאות המתקבלות, ולציין — יחידות המדידה המתאימות.
 - * ליווי הפתרון החישובי בהסבר קצר, לפי הצורך.

בשאלון זה 6 עמודים ו-9 עמודי נספח.

ההנחיות בשאלון זה מנוסחות בלשון זכר, אך מכוונות לנבחנות ולנבחנים כאחד.

בהצלחה!

השאלות

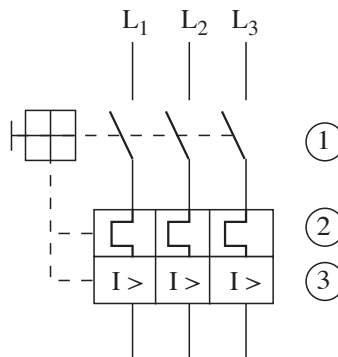
בשאלון זה שלושה פרקים, ובהם שמונה שאלות. יש לענות על ארבע שאלות בלבד:
שאלה אחת לפחות מן הפרק הראשון ושאלה אחת לפחות מן הפרק השני (לכל שאלה
– 25 נקודות, סך-הכול – 100 נקודות).

פרק ראשון: מערכות הספק

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

שאלה 1

א. באיור לשאלה 1 מתואר המבנה העקרוני של מאמ"ת. רשום מה תפקידו של כל אחד מן המרכיבים המסומנים בספרות $\textcircled{1}$ $\div$ $\textcircled{3}$.

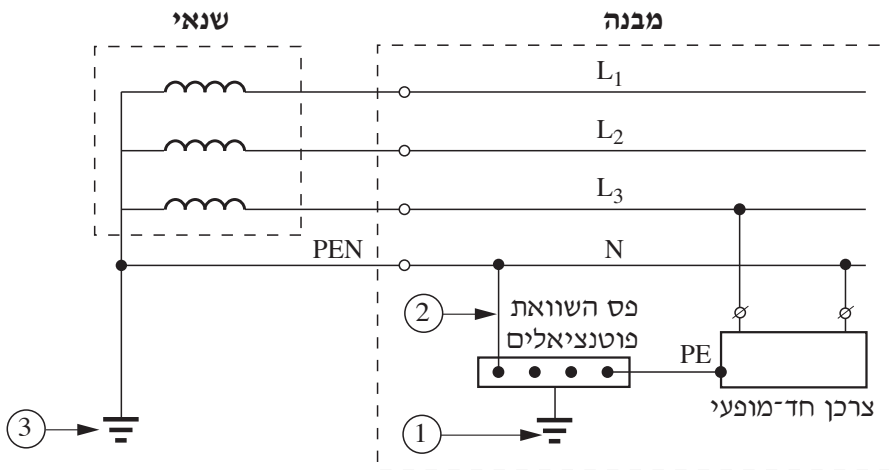


איור לשאלה 1

ב. מזגן חד-מופעי מוגן באמצעות מאמ"ת של 16 A. עקב תקלה, הזרם בקו ההזנה למזגן עלה ל-320 A. איזו הגנה תפעל במאמ"ת כתוצאה מכך? נמק את תשובתך.

שאלה 2

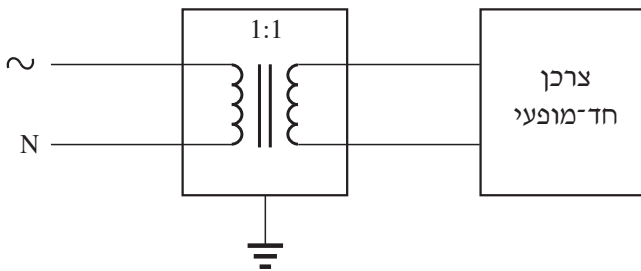
א. באיור א' לשאלה 2 נתון תרשים המתאר הזנה חשמלית למבנה, הכולל הגנה מפני התחשמלות.



איור א' לשאלה 2

מהם המרכיבים בהגנה מפני התחשמות, המסומנים באיור על-ידי הספרות $(3) \div (1)$?

ב. רשום מהי שיטת ההגנה מפני התחשמולות המתוארת באיור ב' לשאלה. נמק את תשובתך.



איור ב' לשאלה 2

שאלה 3

נתוניו של מנוע השראה תלת-מופעי הם:

$$18.5 \text{ kW} ; 400 \text{ V} ; \cos \varphi = 0.9 ; \eta = 85\%$$

- א. חשב את הזרם הנקוב של המנוע.
ב. לרשותך ארבעה מבטחים המיועדים להגנה על מנועים. הזרמים הנקובים של המבטחים הם:

$$32 \text{ A} , 40 \text{ A} , 50 \text{ A} , 63 \text{ A}$$

- קבע איזה מבטח מביניהם הוא המתאים ביותר להגנה על המנוע. נמק את קביעתך.
ג. איזה סוג הגנה תבחר להגנה על מנוע : מתכיילת או לא מתכיילת? נמק את בחירתך.

פרק שני: המרת אנרגיה

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

שאלה 4

מספר הכריכות בסליל הראשוני של שנאי חד-מופעי אידיאלי הוא 2100. השנאי צורך מרשת-החשמל זרם של 3 A , ומספק לצרכן זרם של 45 A .

- א. חשב את יחס ההשנאה של השנאי.
ב. חשב את מספר הכריכות בסליל השניוני של השנאי.
ג. חשב את המתח בסליל הראשוני, אם ידוע שהמתח בסליל השניוני הוא 16 V .

שאלה 5

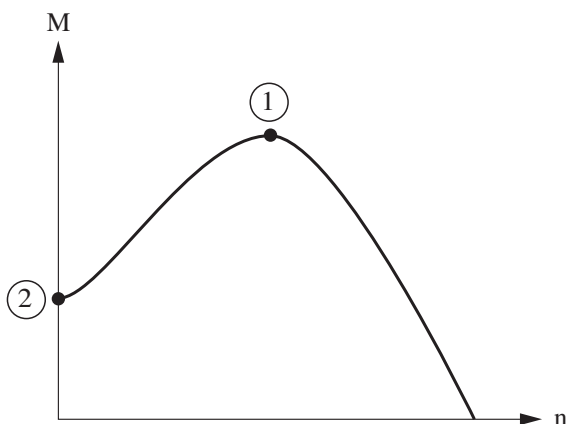
מנוע השראה תלת-מופעי, שסליליו מחוברים במשולש, מוזן מרשת תלת-מופעית 400 V / 50 Hz . נתוני המנוע הם:

$$20 \text{ HP} ; 400 \text{ V} ; 1450 \text{ rpm} ; \cos \varphi = 0.86 ; \eta = 80\%$$

- א. חשב את מספר זוגות הקטבים של המנוע.
ב. חשב את הזרם הנקוב של המנוע.
ג. חשב את המומנט הנקוב של המנוע.

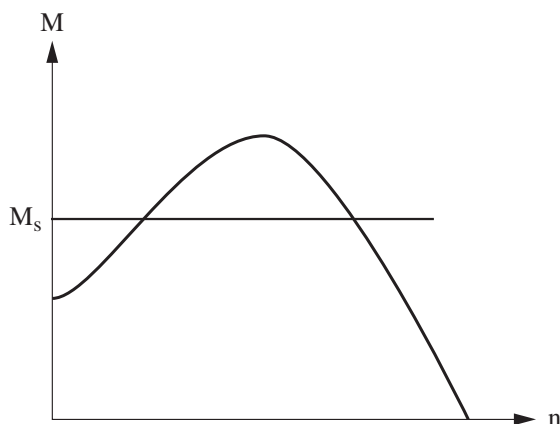
שאלה 6

- א. באיור א' לשאלה 6 נתון האופיין המכני של מנוע השראה תלת-מופעי. על האופיין מסומנות שתי נקודות ① ו-②. רשום את שמות המומנטים בנקודות האלה.



איור א' לשאלה 6

- ב. באיור ב' לשאלה 6 נתון האופיין המכני של מנוע השראה תלת-מופעי והאופיין המכני של עומס המחובר על ציר המנוע (שהמומנט שלו הוא M_s). האם המנוע יתניע כאשר העומס הנתון מחובר אליו? נמק את תשובתך.



איור ב' לשאלה 6

פרק שלישי: בקרה ומערכות ממוחשבות

(לכל שאלה – 25 נקודות).

שאלה 7

- א.** סרטט תרשים מלבנים עקרוני של מגהץ חשמלי (ללא אדים וללא קיטור).
ב. רשום את סוג חוג הבקרה (חוג סגור או חוג פתוח) של המגהץ. נמק את תשובתך.

שאלה 8

- א.** מערכת לבקרת תהליך כוללת חיישן השראתי. להלן ארבעה גופים הנמצאים בקרבת החיישן:
1. קובייה העשויה מעץ
 2. מסמר העשוי מברזל
 3. צינור העשוי מגומי
 4. גליל העשוי מחמרן
- ציין אילו גופים מבין הארבעה יזוהו על-ידי החיישן ההשראתי. נמק את תשובתך.
- ב.** הנורות בגוף תאורת-רחוב מפקדות על-ידי מתג וחישן-אור. כאשר החיישן מזהה אור ברמת אור יום – המתג נפתח. כאשר החיישן מזהה חושך – המתג נסגר והנורות נדלקות. קבע מהו סוג הבקרה (בקרה בחוג פתוח או בקרה בחוג סגור) במערכת תאורת-הרחוב הזו. נמק את קביעתך.

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

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

א. המרת אנרגיה

1. מכונות לזרם ישר

1.1 מתח מושרה

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

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

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

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

זרם סליל העירור — I_f [A]

זרם סליל הרוטור — I_a [A]

$$I = I_a + I_f$$

במנוע:

$$I_a = I + I_f$$

בגנרטור:

2. שנאי חד-מופעי

2.1 מתח מושרה בסליל

כא"מ מושרה בסליל הראשוני — E_1 [V]

כא"מ מושרה בסליל השניוני — E_2 [V]

שטף מרבי בגרעין — $\Phi_{\max}$ [Wb]

מספר הכריכות בסליל הראשוני — N_1

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 — a

מתח בסליל הראשוני — U_1 [V]

מתח בסליל השניוני — U_2 [V]

זרם בסליל הראשוני — I_1 [A]

זרם בסליל השניוני — I_2 [A]

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

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

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

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

2.2 נצילות השנאי

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

גורם העמסה	—	β
הספק מדומה	—	S [VA]
הספק מדומה נקוב	—	S_n [VA]

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

נצילות השנאי	—	η
הספק המוצא	—	P_2 [W]
הפסדי נחושת	—	ΔP_{Cu} [W]

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

הפסדי ברזל	—	ΔP_{Fe} [W]
הפסדי נחושת בזרם נקוב	—	ΔP_{Cu_n} [W]

3. מנוע השראתי

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

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

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
-------------	---	-----

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

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

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]
-----------------	---	---------

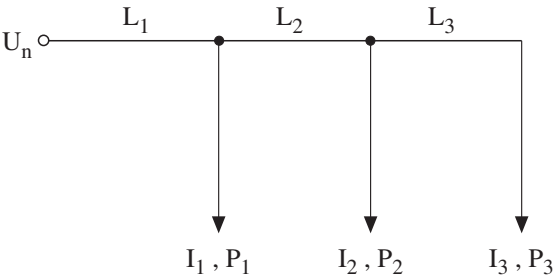
$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3}U \cdot \cos \varphi \cdot \eta}$$

ב. מערכות הספק

1. מוליכות סגולית של מוליכים

חמרון	נחשת	
34 – 37	55 – 57	γ – מוליכות סגולית $[m / \Omega mm^2]$

2. מפלי מתח והפסדי הספק במתח ישר



מפל המתח	—	ΔU [V]
מוליכות סגולית	—	γ $[m / \Omega mm^2]$
שטח חתך המוליך	—	A $[mm^2]$
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.

$$P = S \cos \varphi$$

— P [kW] הספק אקטיבי של הצרכן

$$Q = S \sin \varphi$$

— S [kVA] הספק מדומה של הצרכן

— φ [°] זווית בין זרם ומתח של הצרכן

$$Q = P \tan \varphi$$

— Q [kVAr] הספק ריאקטיבי של הצרכן

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

— Q_c [kVAr] הספק ריאקטיבי של סוללת

קבלים, הנדרשת לשיפור
מקדם ההספק

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

— φ_1 [°] זווית לפני השיפור

— φ_2 [°] זווית אחרי השיפור

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

— Q_{c1} [kVAr] הספק הקבל במופע אחד

— C [μF] קיבול הקבל הנדרש (במופע

אחד)

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

— U [V] מתח על הקבל

$$\omega = 2\pi f$$

— f [Hz] תדירות הרשת

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

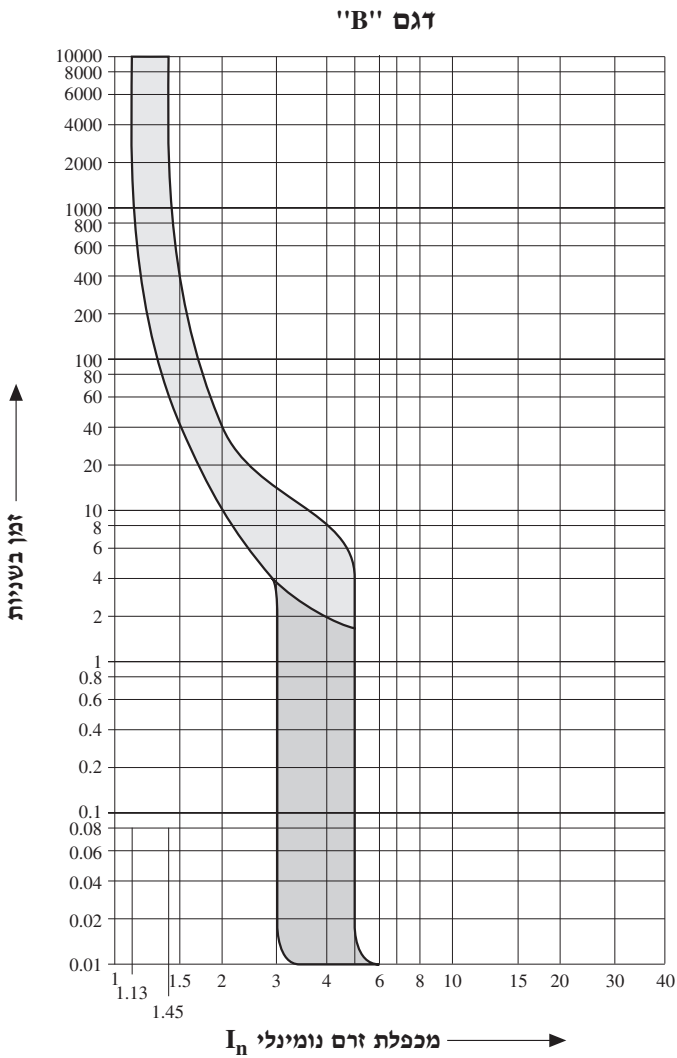
I_n [A] — הזרם הנומינלי של המבטח
או הזרם שאליו הוא כוון

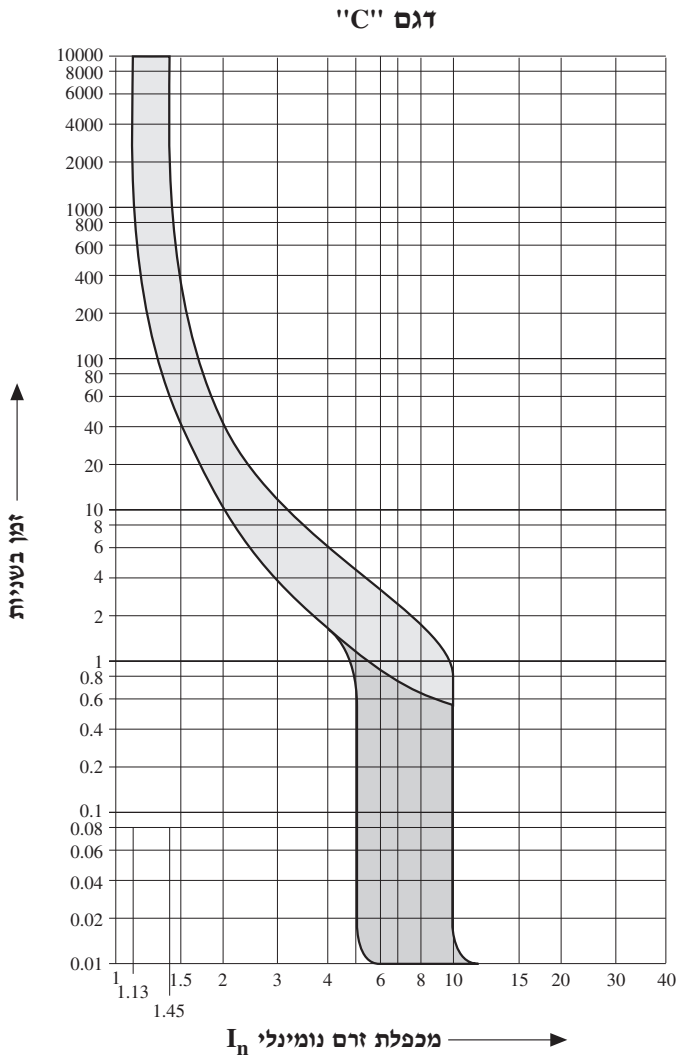
I_z [A] — הזרם המתמיד המרבי של
המוליך

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

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!