

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 ו**שאלה 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. 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-10 עמודי נספחים.

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

בהצלחה!

השאלות

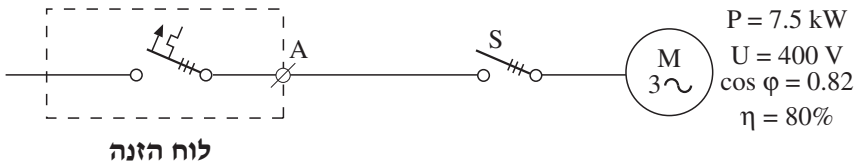
בשאלון זה שלושה פרקים, ובהם שמונה שאלות. יש לענות על ארבע שאלות בלבד:
שאלה אחת לפחות מן הפרק הראשון ושאלה אחת לפחות מן הפרק השני
(לכל שאלה – 25 נקודות, סך-הכול – 100 נקודות).

פרק ראשון: מערכות הספק

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

שאלה 1

באיור לשאלה 1 נתון מעגל חשמלי, הכולל מנוע השראה המופעל בהתנעה ישירה.



איור לשאלה 1

א. חשב את הזרם הנקוב של המנוע.

ב. לרשותך מאמתיים המתאימים להגנה על מנועים, שערכיהם הנקובים הם:

6 A , 10 A , 16 A , 20 A , 25 A , 32 A

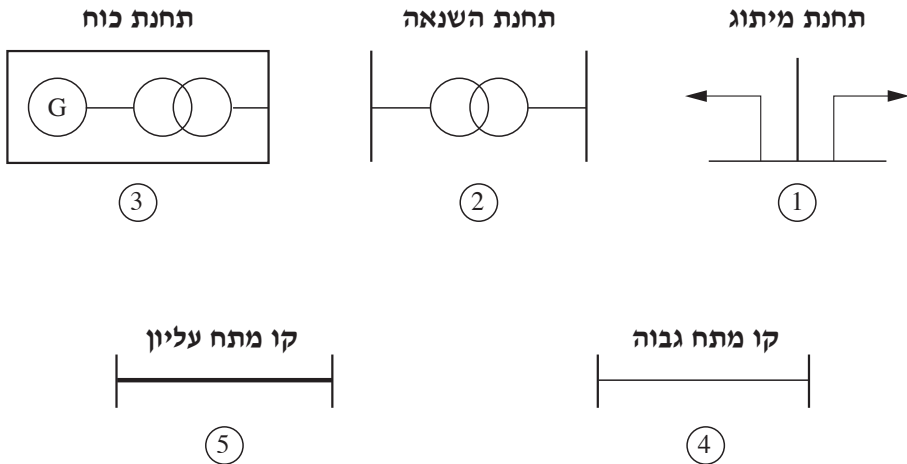
קבע את ערך הזרם של המאמ"ת המתאים ביותר להגנה על המנוע הנתון. נמק את קביעתך.

ג. כמה מוליכים מגיעים אל המנוע מהנקודה A, אם ידוע שסלילי המנוע מחוברים בכוכב?
נמק את תשובתך.

ד. מה תפקידו של המפסק S ?

שאלה 2

א. באיור לשאלה 2 מתוארים חמישה מרכיבים של מערכת החשמל הארצית.



איור לשאלה 2

השתמש בחמשת המרכיבים האלה כדי לסרטט תרשים המתאר את מערכת החשמל הארצית, מתחנת הכוח ועד לרשת החלוקה של המתח הגבוה.
הערה: מותר להשתמש בכל אחד מן המרכיבים יותר מפעם אחת.

ב. רשום את המרכיבים של רשת עילית.

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

נתוניו של שנאי חד-מופעי אידיאלי הם:

$$S_n = 1.5 \text{ kVA} , \quad I_2 = 30 \text{ A} , \quad U_1 = 300 \text{ V} , \quad f = 50 \text{ Hz} , \quad N_1 = 100$$

- א. חשב את המתח בסליל השניוני של השנאי.
- ב. חשב את יחס ההשנאה של השנאי.
- ג. חשב את הזרם הנקוב בסליל הראשוני של השנאי.
- ד. חשב את השטף המגנטי המרבי בגרעין השנאי.
- ה. משנים את המתח בסליל הראשוני של השנאי ל-280 V. חשב את המתח בסליל השניוני של השנאי.

שאלה 5

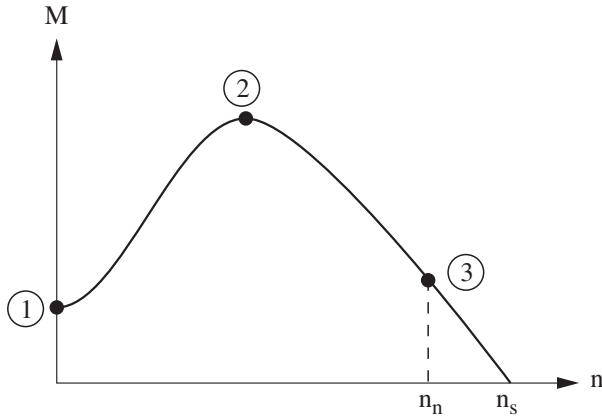
נתוניו הנקובים של מנוע השראה תלת-מופעי בעל שישה קטבים הם:

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

- 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.

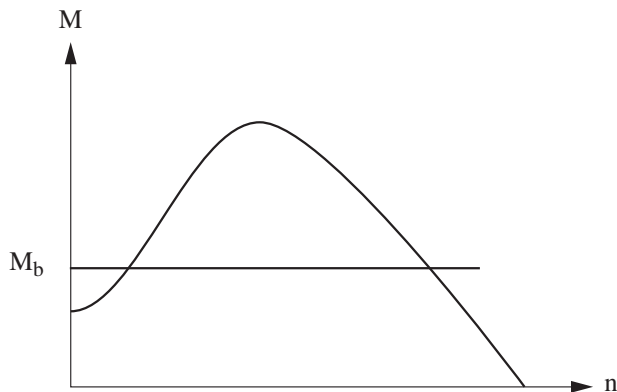
שאלה 6

א. באיור א' לשאלה 6 נתון אופייין מכני של מנוע השראה תלת-מופעי. על האופייין מסומנות הנקודות $(1) \div (3)$. רשום את שמו של המומנט בכל אחת מן הנקודות האלה.



איור א' לשאלה 6

ב. באיור ב' לשאלה 6 נתון אופייין מכני של מנוע השראה תלת-מופעי ואופייין מסומן של העומס המופעל על-ידי המנוע (מומנט העומס מסומן ב- M_b).



איור ב' לשאלה 6

האם המנוע יתניע כאשר העומס הנתון מחובר אליו? נמק את תשובתך.

פרק שלישי: בקרה ומערכות ממוחשבות

(לכל שאלה – 25 נקודות).

שאלה 7

המתקן החשמלי של עגורן כולל שלושה מנועים:

– מנוע M_1 – להזיז העגורן לאורך (קדימה ואחורה)

– מנוע M_2 – להזיז העגורן לרוחב (הצידה)

– מנוע M_3 – מנוע הרמה

מערכת השליטה של העגורן כוללת לחצנים להפעלת שלושת המנועים ולחצן עצירה.

בכל אחד מכיווני ההזזה קיימים מפסקי-גבול (מפסקי סוף מסלול).

א. תאר באמצעות דיאגרמת מלבנים את תהליך השליטה והבקרה של המנוע M_1 .

ב. רשום את המפעילים של המתקן החשמלי.

שאלה 8

להלן חמש מערכות הקיימות בבית מגורים:

1. מערכת לחימום מים בדוד חשמלי

2. גוף חימום בתנור אפייה

3. מערכת להעלאת והורדת תריס באמצעות מנוע חשמלי

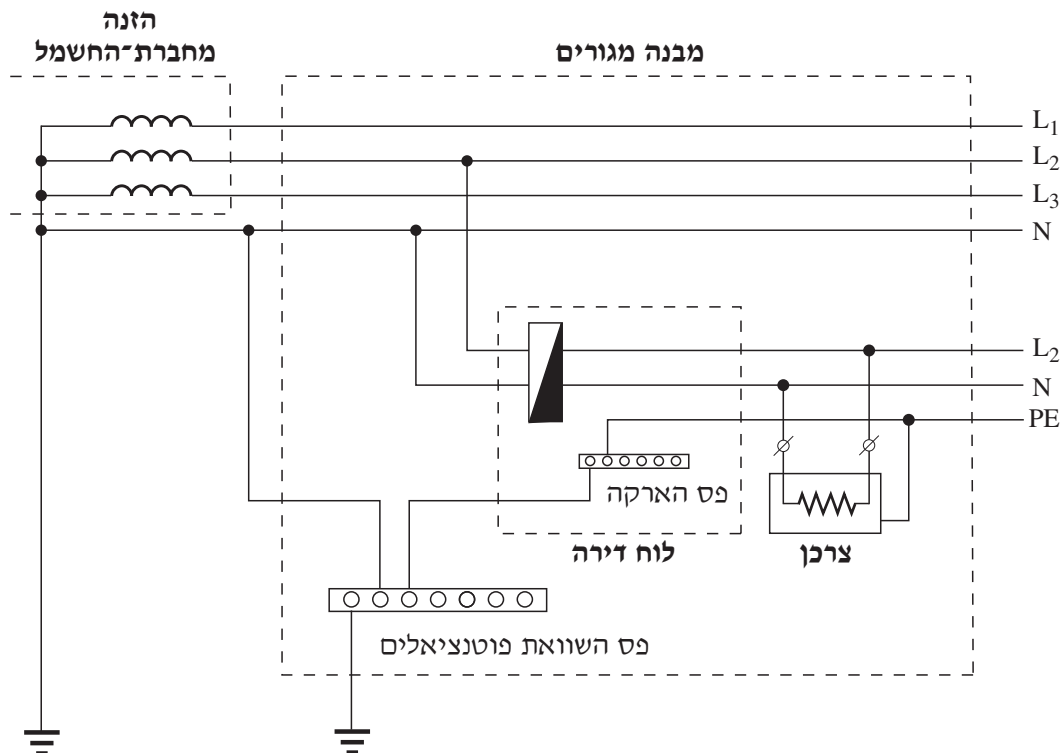
4. מערכת למילוי מים במִכָּל הדחה

5. מערכת להפעלת תאורה באמצעות עמעם-אורות

א. אילו מהמערכות פועלות בחוג פתוח ואילו מהן פועלות בחוג סגור? נמק את תשובתך.

ב. ציין אם קיים חיישן בכל אחת מן המערכות $1 \div 5$. במערכות שקיים בהן חיישן – רשום את סוג החיישן.

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

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

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

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

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	$\left[\frac{rad}{sec} \right]$	$C_m = \frac{N_p}{2\pi a}$
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

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

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]

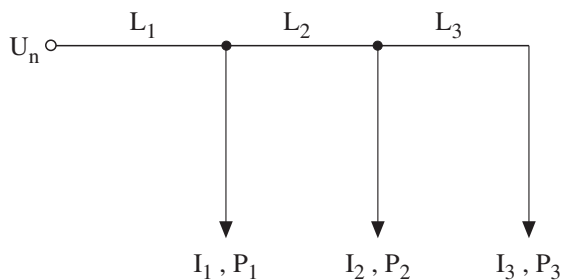
$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3}U \cdot \cos \varphi \cdot \eta}$$

ב. מערכות הספק

1. מוליכות סגולית של מוליכים

חומר	נחושת	
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]

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

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

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

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

3. שיפור מקדם ההספק ($\cos \varphi$)

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

$$P = S \cos \varphi$$

$$Q = S \sin \varphi$$

$$Q = P \tan \varphi$$

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

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

$$\varphi_1$$
 [°] זווית לפני השיפור

$$\varphi_2$$
 [°] זווית אחרי השיפור

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

- 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

12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	מספר הדירות 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 הדירות 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

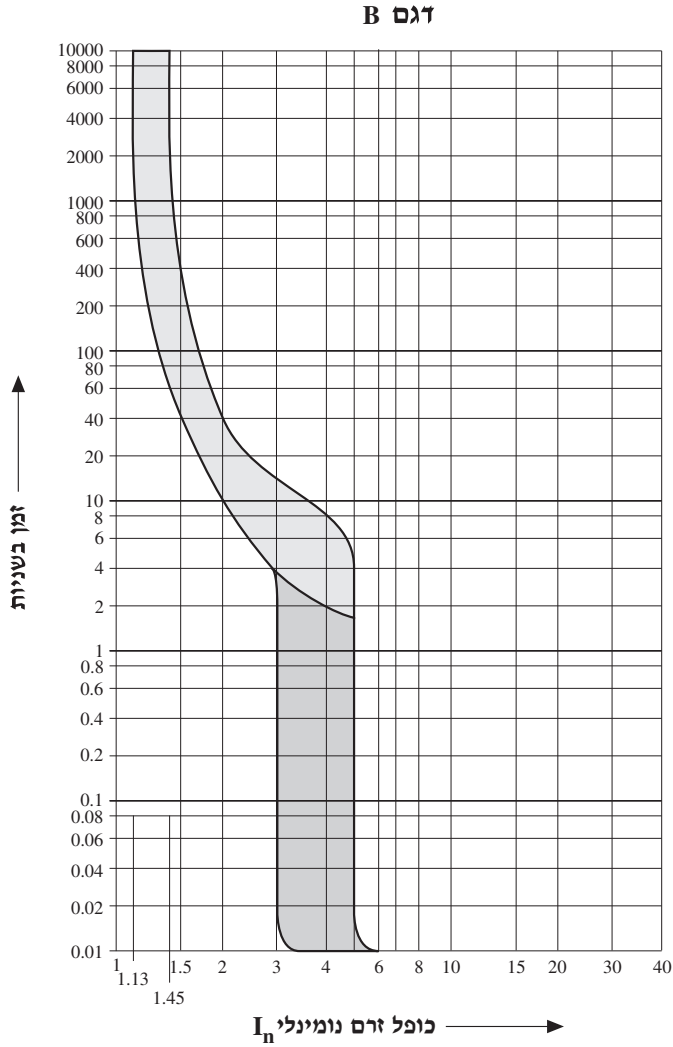
4.2 מבטח להגנה בפני זרם העמסת-יתר בלבד

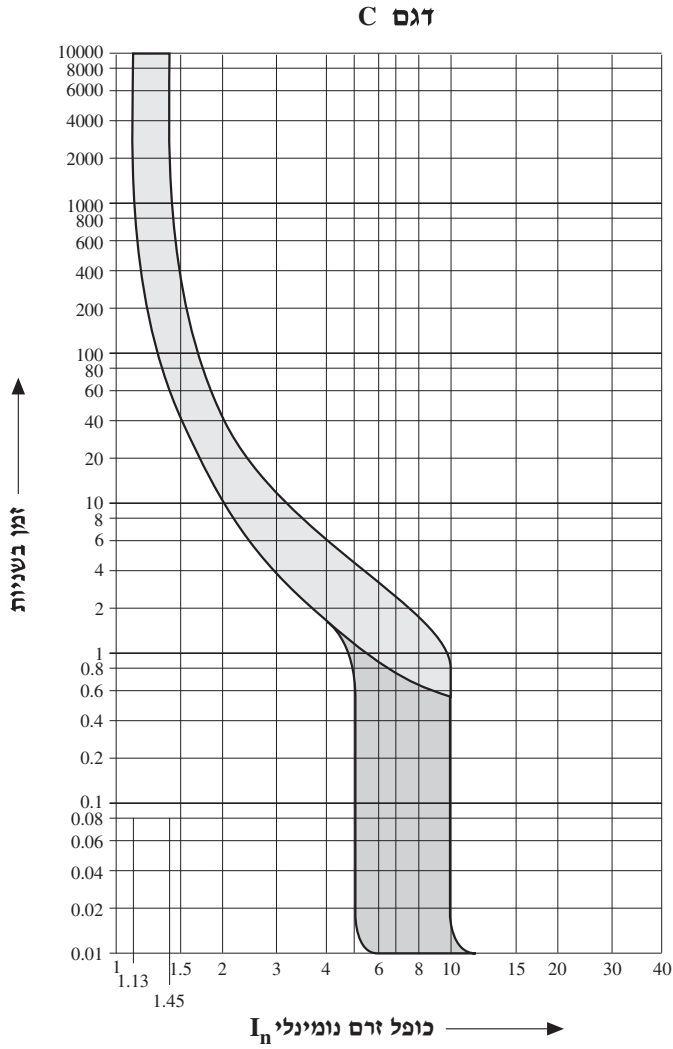
- I_b [A] – זרם העבודה הממושך במעגל
 I_n [A] – הזרם הנומינלי של המבטח או הזרם שאליו הוא מכוון
 I_z [A] – הזרם המתמיד המרבי של המוליך

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

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!