

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 השאלות הנדרש בלבד, לפי סדר כתיבתן במחברתך, ולא יתייחס לתשובות נוספות.
- התחל כל תשובה לשאלה חדשה בעמוד חדש.
- רשום את 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 השאלה, אתה רשאי להוסיף אותם, בתנאי שתנמק מדוע הוספת אותם.
- בכתיבת פתרונות חישוביים, קבלת מִרְב הנקודות מותנית בהשלמת כל המהלכים הבאים, 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 5 עמודים ונוסחאון.

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

בהצלחה!

השאלות

פרק ראשון: מערכות הספק

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

שאלה 1

- א. הסבר מהי הארקת שיטה, וציין שתי מטרות לשימוש בה.
- ב. עקב תקלה, נוצר קצר בין גוף החימום של תנור ביתי ובין הגוף המתכתי החיצוני שלו. הגוף המתכתי החיצוני של התנור מוארק. במתקן הביתי קיימת שיטת האיפוס. סרטט את לולאת התקלה, ותאר במילים את מסלול התקלה.

שאלה 2

- א. תאר את המבנה העקרוני של מאמ"ת (מא"ז).
- ב. הסבר את שני התפקידים של מאמ"ת.

שאלה 3

- א. הסבר את עקרון הפעולה של מעגל החימום בדוד חשמלי.
- ב. סרטט מעגל חשמלי עקרוני להפעלת גוף חימום בדוד חשמלי. כלול במעגל גם נורת ביקורת.

פרק שני: המרת אנרגיה

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

שאלה 4

- א. מנוע השראה תלת-מופעי מוזן מרשת של 400 V. תדר הרשת הוא 50 Hz. במנוע יש שמונה קטבים. מקדם החליקה של המנוע – 5%.
1. חשב את המהירות הסינכרונית.
 2. חשב את מהירות הרוטור של המנוע.
- ב. הסבר מדוע במנוע השראה מהירות הרוטור קטנה מהמהירות הסינכרונית.

שאלה 5

נתון מנוע השראה תלת-מופעי שנתוניו הנקובים הם:

$$P_n = 20 \text{ kW} ; \quad V_n = 400 \text{ V} ; \quad n_n = 1420 \text{ r.p.m.} ; \quad \cos \varphi = 0.82 ; \quad \eta = 80 \%$$

- א. חשב את מומנט המנוע.
- ב. חשב את הזרם שהמנוע צורך מן הרשת.

שאלה 6

- א. הסבר את מטרת השימוש במתנע מסוג כוכב-משולש להתנעה של מנוע השראה תלת-מופעי.
- ב. הסבר את עקרון הפעולה של מתנע מסוג כוכב-משולש בזמן חיבור מנוע השראה תלת-מופעי לרשת החשמל.

פרק שלישי: בקרה ומערכות ממוחשבות

(לכל שאלה – 25 נקודות).

שאלה 7

בתהליך לעיבוד גומי, מחממים גומי גולמי בדוד חימום לטמפרטורת ההיתוך שלו, ויוצקים את הגומי הנוזלי לתבנית. התבנית עם הגומי הנוזלי מוסעת באמצעות מסוע בתוך מנהרת קירור. בסוף המנהרה מותקנת זרוע רובוטית, הפותחת את התבנית ומוציאה ממנה את המוצר הסופי.

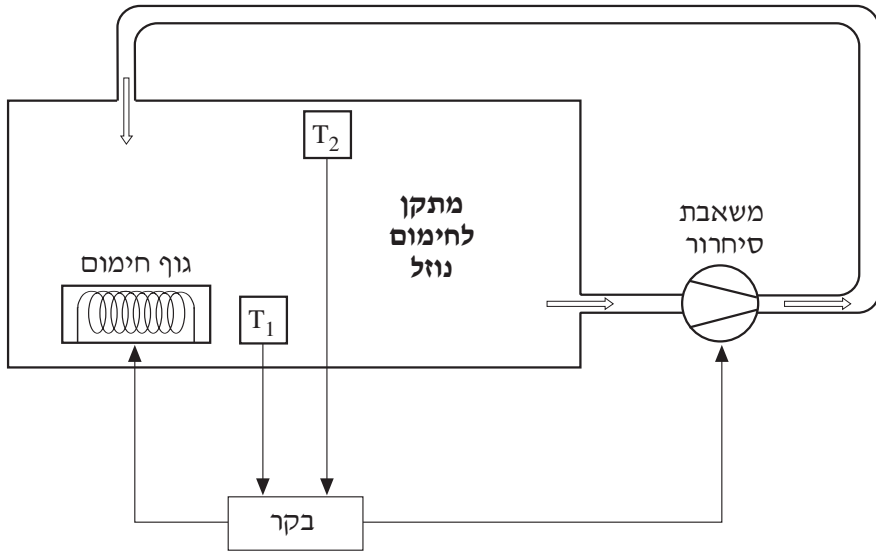
בטבלה שלפניך רשומים שמונה רכיבים של המערכת, המבצעת את התהליך הזה. כל אחד מהרכיבים ממלא **אחד** מארבעה תפקידים: **מפעיל, חיישן, חיווי או יחידת-שליטה**.

העתק את הטבלה למחברתך, וכתוב בה את התפקיד שממלא כל אחד מן הרכיבים.

הרכיב	התפקיד
מנוע חשמלי	
מפסק גבול	
ברז חשמלי	
לחצני Start / Stop	
גוף חימום	
נורת תקלה	
תרמוסטט	
מד גובה בדוד החימום	

שאלה 8

באיור לשאלה 8 מוצג תיאור סכמתי של מתקן לחימום נוזל, הכולל גוף חימום, שני חיישני טמפרטורה ומשאבת סיחרור. חיישן טמפרטורה T_1 מותקן בתחתית המִכָּל, 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 8

- 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.

בהצלחה!

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

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

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

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

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

1.2 מומנטים

מומנט נקוב	—	M	$[N \cdot m]$	$M = \frac{P}{\omega}$
הספק	—	P	$[W]$	
מהירות זוויתית	—	ω	$\left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$	$\omega = 2 \pi \frac{n}{60}$
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

				$n = \frac{U - I_a R_a}{C_e \Phi}$	במנוע:
מתח זינה	—	U	$[V]$		
התנגדות סליל הרוטור	—	R_a	$[\Omega]$	$n = \frac{U + I_a R_a}{C_e \Phi}$	במנוע:

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]

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

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

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

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

גורם העמסה	—	β
הספק מדומה	—	$S \quad [VA]$
הספק מדומה נקוב	—	$S_n \quad [VA]$
נצילות השנאי	—	η
הספק המוצא	—	$P_2 \quad [W]$
הפסדי נחושת	—	$\Delta P_{Cu} [W]$
הפסדי ברזל	—	$\Delta P_{Fe} [W]$
הפסדי נחושת בזרם נקוב	—	$\Delta P_{Cu_n} [W]$

3. מנוע השראתי

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

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

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

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

$$f_2 = s f_1$$

מומנט נקוב	—	$M_n \quad [N \cdot m]$
הספק נקוב	—	$P_n \quad [W]$
מהירות זוויתית נקובה	—	$\omega_n \quad \left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$
מהירות הרוטור	—	$n_n \quad [\text{r.p.m}]$

מהירות סינכרונית	—	$n_s \quad [\text{r.p.m}]$
מספר זוגות קטבים	—	p
מקדם החליקה	—	s

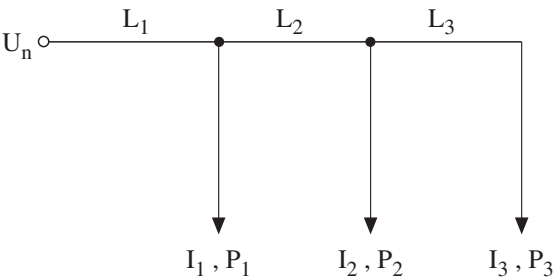
תדירות הרשת	—	$f_1 \quad [Hz]$
תדירות זרמי הרוטור	—	$f_2 \quad [Hz]$

ב. מערכות הספק

1. מוליכות סגולית של מוליכים

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

2. מפלי מתח והפסדי הספק



במתח ישר

מפל המתח	–	ΔU [V]	$\Delta U = \frac{2}{\gamma A} \left[L_1 (I_1 + I_2 + I_3) + L_2 (I_2 + I_3) + L_3 I_3 \right]$ $= \frac{2}{\gamma A} \left[I_1 L_1 + I_2 (L_1 + L_2) + I_3 (L_1 + L_2 + L_3) \right]$
מוליכות סגולית	–	γ [m / Ω mm ²]	
שטח חתך המוליך	–	A [mm ²]	
הפסדי הספק	–	ΔP [W]	$\Delta P = \frac{2}{\gamma A} \left[L_1 (I_1 + I_2 + I_3)^2 + L_2 (I_2 + I_3)^2 + L_3 I_3^2 \right]$
זרם של צרכן n	–	I_n [A]	
מתח נומינלי של הרשת	–	U_n [V]	$I_n = \frac{P_n}{U_n}$

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

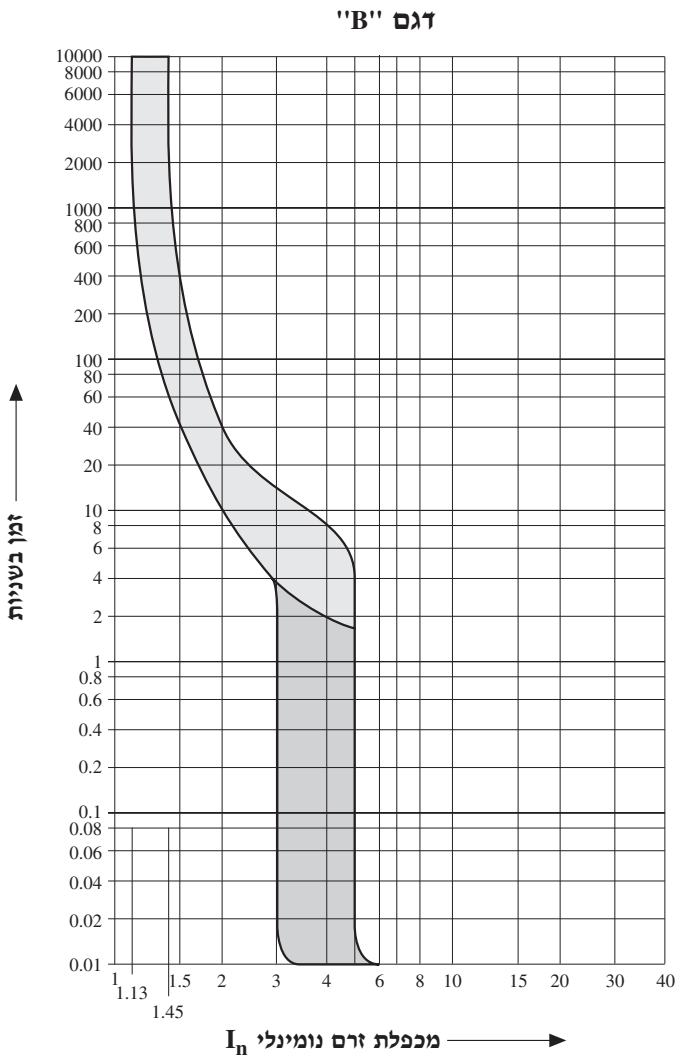
I_n [A] — הזרם הנומינלי של המבטח
או הזרם שאליו הוא כוון

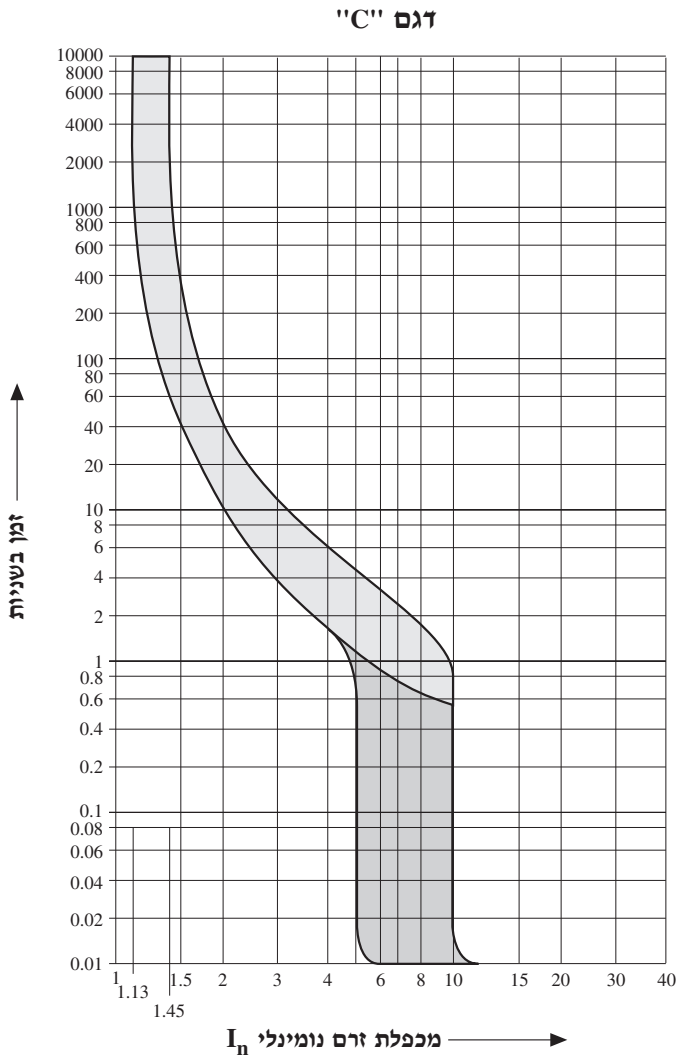
I_z [A] — הזרם המתמיד המרבי של
המוליך

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

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!