

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 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 מרב 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, ולצידן – יחידות המדידה המתאימות.
 - * ליווי הפתרון החישובי בהסבר קצר, לפי הצורך.

בשאלון זה 5 עמודים ו-9 עמודי נוסחאון.

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. ציין את המרכיבים העיקריים של מאמ"ת.

ב. נתוניו הנקובים של מנוע השראה תלת-מופעי הם:

$$P = 4 \text{ kW} ; U = 400 \text{ V} ; \cos \varphi = 0.85 ; \eta = 0.8$$

המנוע מופעל בהתנעה ישירה לרשת, והמבטח שלו כולל הגנה תרמית והגנה מגנטית מתכילות.

1. קבע לאיזה ערך של זרם יש לכייל את ההגנה התרמית.

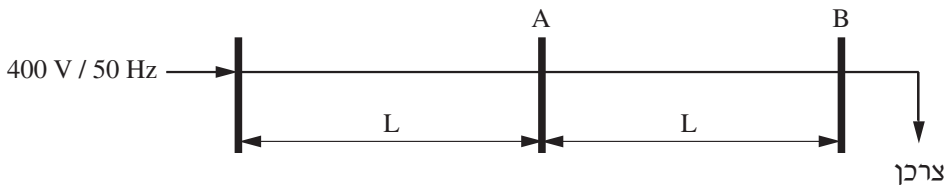
2. קבע לאיזה ערך של זרם יש לכייל את ההגנה המגנטית, אם זרם ההתנעה של המנוע גדול פי 5 מהזרם הנקוב.

שאלה 2

- להלן חמישה היגדים המסומנים בספרות 1+5. העתק למחברתך את מספריהם של **ארבעה** היגדים, ולצד כל אחד מהם רשום האם ההיגד **נכון** או **שגוי**. נמק את קביעותיך.
- שטח־החתך של המוליכים ברשת עילית נקבע אך ורק משיקולים מכניים.
 - גודל המבודד ברשת עילית תלוי במתח הרשת.
 - גובה עמודי החשמל ברשת עילית נקבע בהתאם לזרם במוליכים.
 - תפקידם של מדפים מתכתיים ברשת תת־קרקעית הוא לאפשר קירור של הכבלים.
 - ברשת תת־קרקעית אין מוליכים – אלא רק כבלים.

שאלה 3

- א.** במוצא של מפסק פחת חד־מופעי יכול להתרחש קצר בין מוליך המופע למוליך האפס, או בין מוליך המופע למוליך ההארקה. איזה מבין שני הקצרים יגרום להפעלת מפסק הפחת? נמק את קביעתך.
- ב.** באיור לשאלה 3 נתון קו מתח נמוך המזין צרכן. קצר תלת־מופעי יכול להתרחש בנקודה A או בנקודה B. באיזה מקרה זרם הקצר יהיה גדול יותר? נמק את קביעתך.



איור לשאלה 3

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:

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 5

א. סרטט אופיין של מנוע השראה תלת-מופעי, המתאר את מומנט המנוע כפונקציה של מהירות הרוטור. ציין על האופיין את הנקודות הבאות:

- מומנט ההתנעה (M_{st})
 - המומנט המתקבל על ציר המנוע בחליקה קריטית (M_k)
- ב. סליליו של מנוע השראה תלת-מופעי מחוברים בחיבור כוכב. זרם ההתנעה שלו בהתנעה ישירה הוא 30 A. מה יהיה ערכו של זרם ההתנעה, אם הסלילים יחוברו בחיבור משולש?

שאלה 6

נתוניו הנקובים של מנוע השראה תלת-מופעי הם: 50 kW , 400 V / 50 Hz , 1420 rpm .

- א. חשב את המהירות הזוויתית של המנוע.
- ב. חשב את מקדם החליקה בעומס הנקוב.
- ג. חשב את המומנט הנקוב.

פרק שלישי: בקרה ומערכות ממוחשבות

(לכל שאלה – 25 נקודות).

שאלה 7

במבואת מבנה מותקנת מערכת תאורה הכוללת גוף תאורה, נורה, וחיישן אינפרא־אדום. החיישן משמש לזיהוי אדם בטווח הקטן מ־4 מטרים. כאשר החיישן מזהה אדם בתוך הטווח, מופעלת הנורה לפרק־זמן של שתי דקות.

- א.** האם החיישן האינפרא־אדום הוא חיישן מגע או חיישן קירבה? נמק את תשובתך.
- ב.** קבע האם בקרת מערכת התאורה פועלת בחוג סגור או בחוג פתוח. נמק את קביעתך.

שאלה 8

בחממה לגידול פרחים מבצעים בקרה בחוג סגור על המשתנים האלה: טמפרטורה, לחות ואור. תאר את המבנה העקרוני של מערכת הבקרה בחממה באמצעות דיאגרמת מלבנים.

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

$$I \quad [A] \quad - \quad \text{הזרם הנצרך/המסופק}$$

$$I_f \quad [A] \quad - \quad \text{זרם סליל העירור}$$

$$I_a \quad [A] \quad - \quad \text{זרם סליל הרוטור}$$

$$I = I_a + I_f \quad \text{במנוע:}$$

$$I_a = I + I_f \quad \text{בגנרטור:}$$

2. שנאי חד-מופעי

2.1 מתח מושרה בסליל

$$E_1 \quad [V] \quad - \quad \text{כא"מ מושרה בסליל}$$

הראשוני

$$E_2 \quad [V] \quad - \quad \text{כא"מ מושרה בסליל}$$

השניוני

$$\Phi_{\max} [Wb] \quad - \quad \text{שטף מרבי בגרעין}$$

$$N_1 \quad - \quad \text{מספר הכריכות בסליל}$$

הראשוני

$$N_2 \quad - \quad \text{מספר הכריכות בסליל}$$

השניוני

$$f \quad [Hz] \quad - \quad \text{תדירות}$$

$$B_{\max} [Wb / m^2] ; [T] \quad - \quad \text{השראה מגנטית מרבית}$$

$$A \quad [m^2] \quad - \quad \text{שטח החתך של הגרעין}$$

$$a \quad - \quad \text{יחס השנאה}$$

$$U_1 \quad [V] \quad - \quad \text{מתח בסליל הראשוני}$$

$$U_2 \quad [V] \quad - \quad \text{מתח בסליל השניוני}$$

$$I_1 \quad [A] \quad - \quad \text{זרם בסליל הראשוני}$$

$$I_2 \quad [A] \quad - \quad \text{זרם בסליל השניוני}$$

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

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

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

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

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]

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

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

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

3.3 מנוע השראתי

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]

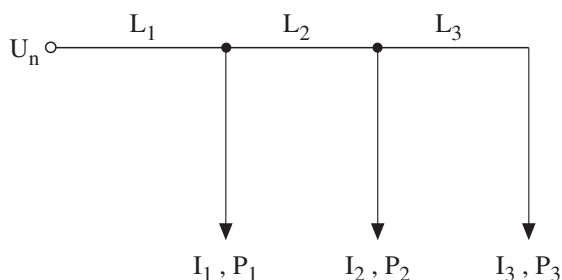
$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3}U \cdot \cos \varphi \cdot \eta}$$

ב. מערכות הספק

1. מוליכות סגולית של מוליכים

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

2. מפלי מתח והפסדי הספק במתח ישר



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

3. שיפור מקדם ההספק ($\cos \varphi$)

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

$$P = S \cos \varphi$$

$$Q = S \sin \varphi$$

$$Q = P \tan \varphi$$

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

- הספק ריאקטיבי של סוללת קבלים, הנדרשת לשיפור מקדם ההספק - Q_c [kVar]
- זווית לפני השיפור - φ_1 [°]
- זווית אחרי השיפור - φ_2 [°]

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

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

- הספק הקבל במופע אחד - Q_{c1} [kVar]
- קיבול הקבל הנדרש (במופע אחד) - C [μF]
- מתח על הקבל - U [V]

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

$$\omega = 2\pi f$$

- תדירות הרשת - f [Hz]

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

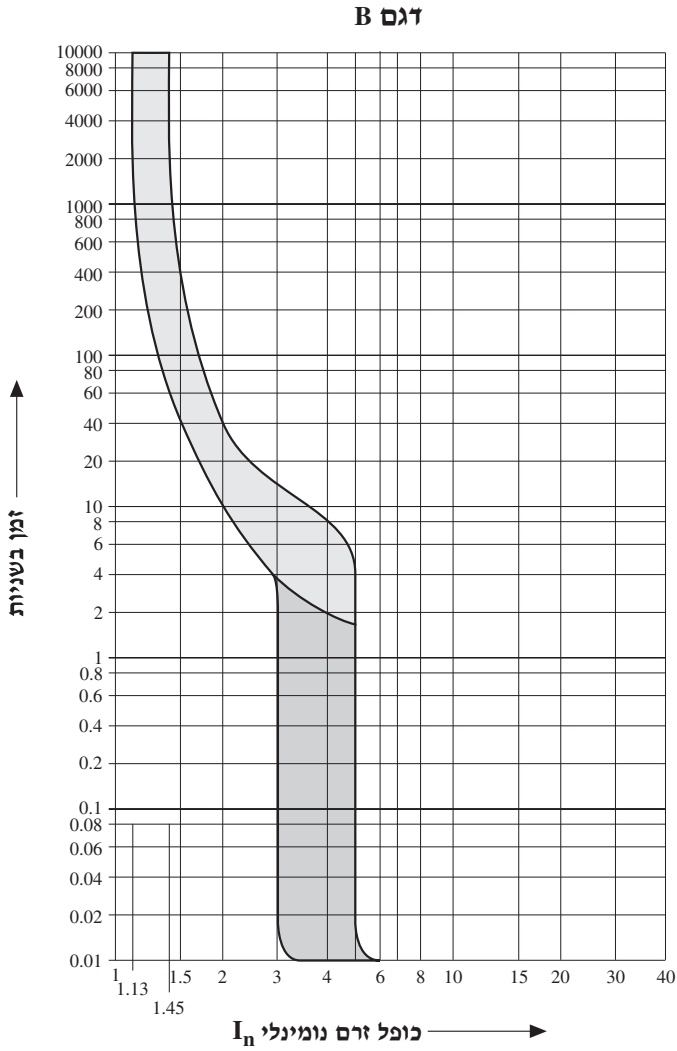
I_n [A] – הזרם הנומינלי של המבטח
או הזרם שאליו הוא מכוון

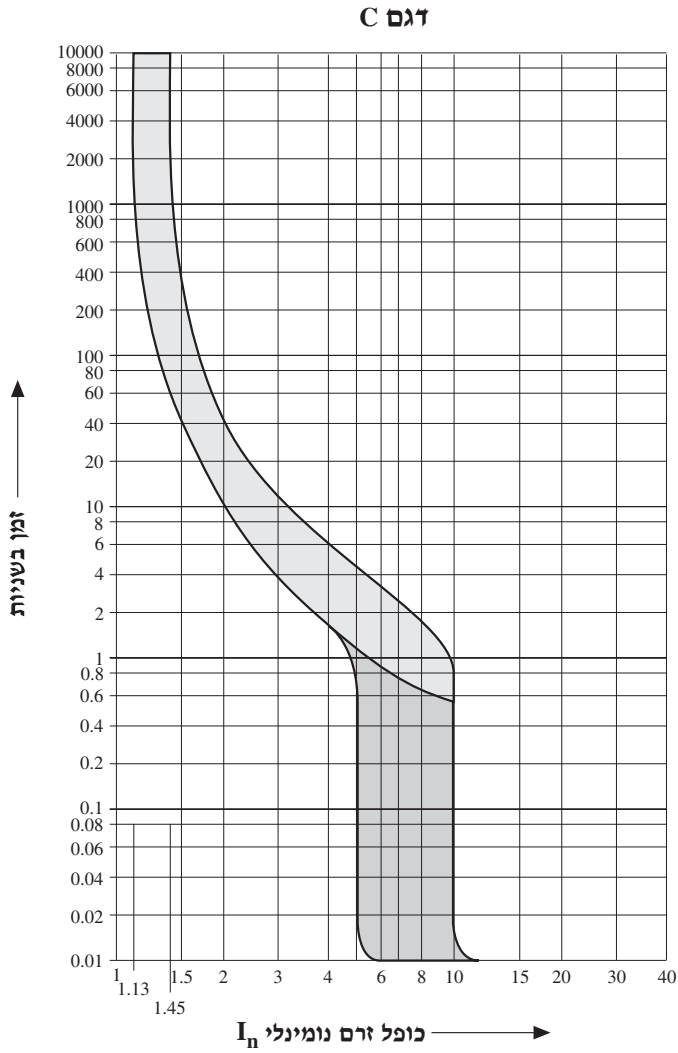
I_z [A] – הזרם המתמיד המרבי של
המוליך

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

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!