

מערכות פיקוד ובקרה ג'

שתי יחידות לימוד (השלמה לחמש יחידות לימוד)
(כיתה י"ב)

הוראות לנבחן

- א. משך הבחינה: שלוש שעות.
- ב. מבנה השאלון ומפתח ההערכה: בשאלון שלושה פרקים, ובהם תשע שאלות.
יש לענות על חמש שאלות בלבד: שאלה אחת לפחות
מן הפרק הראשון ושאלה אחת לפחות מן הפרק השני.
לכל שאלה – 20 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 התשובות 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. בכתבת 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 7 עמודים ו-16 עמודי נספחים.

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

בהצלחה!

השאלות

בשאלון זה שלושה פרקים, ובהם תשע שאלות. יש לענות על חמש שאלות בלבד:
שאלה אחת לפחות מן הפרק הראשון ושאלה אחת לפחות מן הפרק השני
(לכל שאלה – 20 נקודות, סך-הכול – 100 נקודות).

פרק ראשון: מערכות הספק

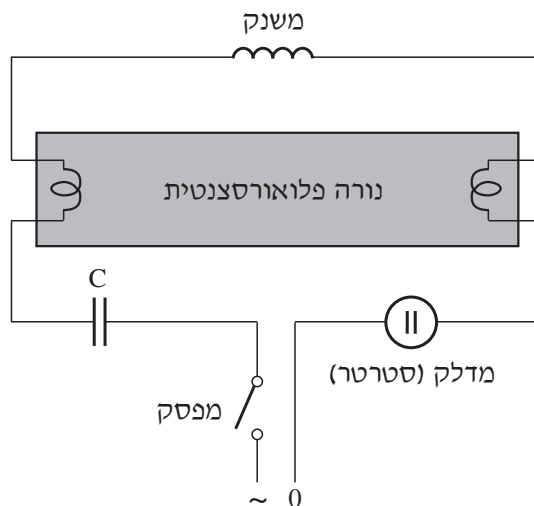
ענה על שאלה אחת לפחות מבין השאלות 1–4 (לכל שאלה – 20 נקודות).

שאלה 1

- א. סרטט את המעגל החשמלי הנדרש להזנה והפעלה של נורה פלואורסצנטית, ורשום את תפקידו של כל אחד מן הרכיבים שבמעגל.
- ב. ציין **שתי** שיטות להצתה של נורה פלואורסצנטית, והסבר את ההבדל ביניהן.
- ג. מה הסיבה לכך שנורות ליבון נשרפות פעמים רבות ברגע הדלקתן?

שאלה 2

- א. גוף תאורה כולל נורה פלואורסצנטית ואביזרי עזר. הנורה, שהספקה 36 W , מוזנת במתח חד-מופעי $230 \text{ V} / 50 \text{ Hz}$. מקדם ההספק הוא $\cos \varphi = 0.5$. על-מנת לשפר את מקדם ההספק ל- $\cos \varphi = 0.95$ מוסיפים קבל C . חשב את קיבול הקבל הנדרש לשם כך (ב- μF).
- ב. חשמלאי חיבר למתח-הזנה גוף תאורה הכולל נורה פלואורסצנטית ואביזרי עזר, כמתואר באיור לשאלה 2. הנורה אינה נדלקת עקב חיבור שגוי שביצע החשמלאי. סרטט במחברתך את התרשים החשמלי הנדרש לפעולה תקינה של הנורה הפלואורסצנטית ואביזריה.



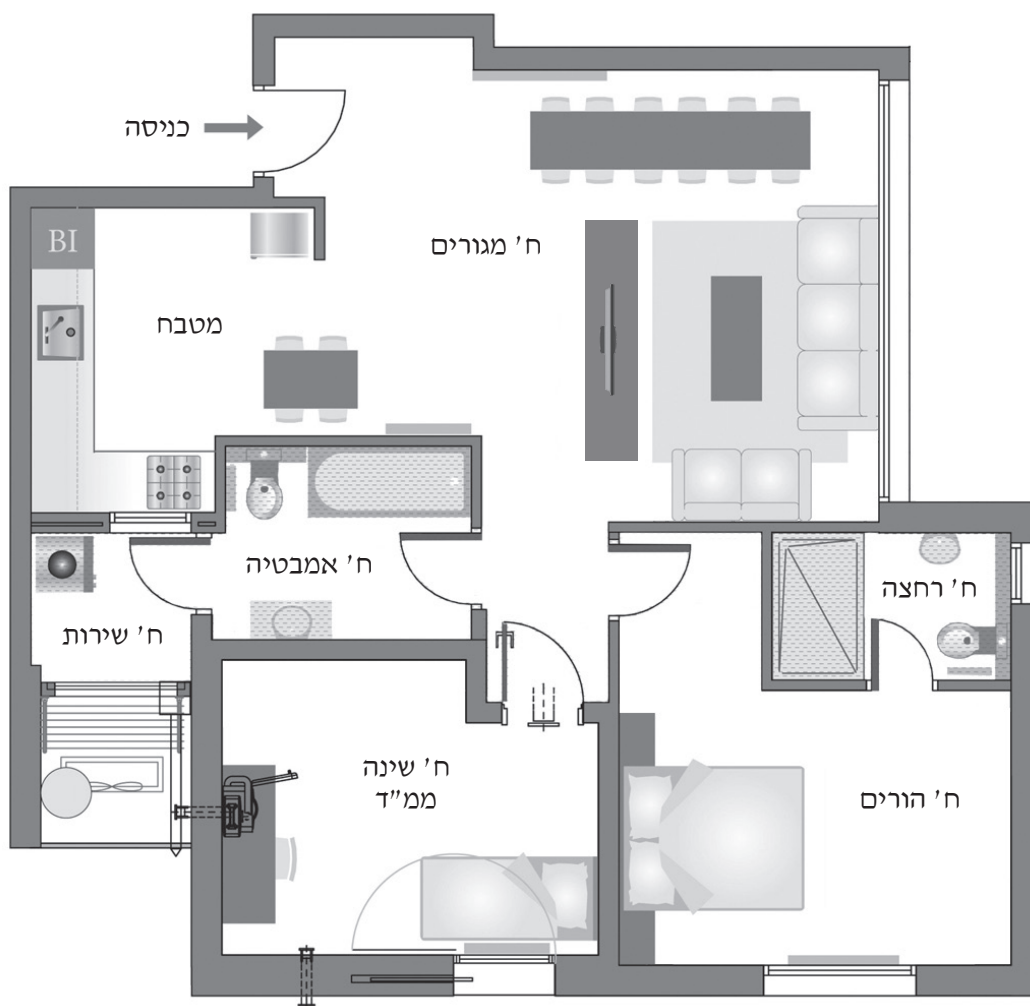
איור לשאלה 2

- ג. לוח חשמל תלת-מופעי מזין מנוע שהספקו הממשי P ומקדם ההספק שלו הוא $\cos \varphi = 0.8$. מחברים ללוח החשמל, בנוסף למנוע, תנור חשמלי תלת-מופעי שהספקו הממשי P (זוהה להספק המנוע). חשב את מקדם ההספק הכולל של לוח החשמל, לאחר חיבור התנור.

שאלה 3

באיור לשאלה 3 נתונה תכנית אדריכלית של דירת שלושה חדרים בעלת שטח כולל של 90 מ"ר.
לוח החשמל שבדירה מוזן במתח של 230 V / 50 Hz ומחוברים אליו הצרכנים האלה:

- דוד חימום בעל הספק של 2 kW
- מכונת כביסה בעלת הספק של 2.5 kW
- מזגן מרכזי בעל הספק של 3.5 kW
- תנור אפייה בעל הספק של 3 kW



איור לשאלה 3

- א. קבע את המספר המזערי של המעגלים הסופיים (לרבות המעגלים המיוחדים) הנדרש עבור דירה זו.
- ב. סרטט במחברתך תרשים חד-קווי של לוח החשמל החד-מופעי של דירה זו. בסרטוט עליך לכלול את כל הרכיבים שיש להתקין בלוח חשמל דירתך.
- ג. נתון כי בלוח החשמל שסרטטת מותקנים מא"זים (מפסקים אוטומטיים זעירים) מסוג B ו-C, שזרמיהם הנקובים האפשריים הם:
 $10\text{ A}, 16\text{ A}, 20\text{ A}, 25\text{ A}, 32\text{ A}, 40\text{ A}, 50\text{ A}, 63\text{ A}$
 ציין על-גבי התרשים שסרטטת, את הזרמים הנקובים של המא"זים (מבין הערכים הנתונים לעיל). כמורכן, ציין את שטח החתך של קווי ההזנה במעגלים הסופיים.

שאלה 4

תחנת שאיבה כוללת **ארבע** משאבות תלת-מופעיות זהות. הנתונים של כל אחת מהמשאבות הם:

$$P = 10\text{ kW} ; U = 400\text{ V} ; f = 50\text{ Hz} ; \cos \varphi = 0.8 ; \eta = 82\%$$

- המשאבות מוזנות על-ידי ארבעה כבלים הטמונים באדמה עם כיסוי מגן וצמודים זה לזה. מוליכי הכבלים עשויים מנחושת (בידוד 90°C), והטמפרטורה האופפת של האדמה היא 30°C .
- א. להגנה על המשאבות משתמשים במפסקים חצי אוטומטיים זעירים מדגם C. גם המפסק הראשי הוא מאותו סוג.
 1. רשום את הזרם הנקוב של כל אחד מן המפסקים.
 2. סרטט עקומת ניתוק (עקומת זרם-זמן) עקרונית של כל אחד מהמפסקים, כך שתתקיים ביניהם סלקטיביות.
 - ב. קבע את שטח-החתך של כל אחד מהכבלים המזינים את המשאבות.
 - ג. קבע את שטח-החתך של קו ההזנה ללוח החשמל הראשי המזין את ארבע המשאבות.
- הערה: בקביעת שטח-החתך של קו ההזנה ללוח החשמל הראשי אין להתחשב במקדמי תיקון.**

פרק שני: המרת אנרגיה

ענה על שאלה אחת לפחות מבין השאלות 5–8 (לכל שאלה – 20 נקודות).

שאלה 5

נתוניו של מחולל לזרם ישר בעירור מקבילי הם:

$$U = 200 \text{ V} ; I = 220 \text{ A} ; R_a = 0.05 \Omega ; R_f = 20 \Omega$$

כמו־כן נתון כי הפסדי הברזל של המחולל הם 2.2 kW והפסדי החיכוך הם 920 W .

א. חשב את נצילות המחולל.

ב. חשב את הכא"מ של המחולל.

ג. האם ההספק הנקוב של המחולל הוא הספק חשמלי או הספק מכני? נמק את תשובתך.

שאלה 6

להלן נתוניו של מנוע לזרם ישר בעירור מקבילי:

$$U = 200 \text{ V} ; I_a = 50 \text{ A} ; n = 1,000 \text{ RPM} ; R_a = 0.6 \Omega ; I_f = 2 \text{ A}$$

א. חשב את הכא"מ המתפתח בסלילי הרוטור.

ב. חשב את ההספק שהמנוע צורך מהרשת.

ג. חשב את המומנט האלקטרו־מגנטי של המנוע.

שאלה 7

נתוניו הנקובים של שנאי חד־מופעי הם: 50 Hz , 400 / 231 V , 10 kVA .

השנאי מועמס ב־80% מהעומס הנקוב ובמקדם הספק השראותי של 0.85 .

בניסוי קָצֶר בזרם נמדדו: $U_k = 32 \text{ V}$, $\Delta P_{Cu} = 640 \text{ W}$.

א. חשב את התנגדות הקצר של השנאי.

ב. חשב את מפל המתח באחוזים בעומס הנתון.

ג. חשב את המתח בהדקי הסליל השניוני בעומס הנתון.

ד. חשב את נצילות השנאי בעומס הנתון, כאשר הפסדי הברזל בשנאי – זניחים.

שאלה 8

נתוניו הנקובים של מנוע לזרם ישר בעירור מקבילי הם: $\eta = 85\%$, 1200 r.p.m. , 250 V , 10 kW . התנגדות סליל הרוטור היא $R_a = 0.25 \Omega$, והתנגדות סליל העירור היא $R_e = 100 \Omega$. המנוע עובד בתנאים נקובים.

- א. חשב את הכ.א.מ. בסליל הרוטור.
- ב. חשב את ההספק האלקטרו-מגנטי של המנוע.
- ג. חשב את הפסדי הנחושת בסליל הרוטור ואת הפסדי הנחושת בסליל העירור.
- ד. חשב את הפסדי ההספק הקבועים (הפסדי ברזל והפסדי חיכוך).
- ה. סרטט את האופיין המכני של מנוע לזרם ישר בעירור מקבילי, $n = f(M)$.

פרק שלישי: בקרה ומערכות ממוחשבות

(לשאלה – 20 נקודות).

שאלה 9

נדרש לתכנן מערכת פיקוד למנוע השראה תלת-מופעי באמצעות בקר בר-תכנות.

המערכת תבצע את הפעולות הבאות:

1. התנעת המנוע בחיבור כוכב.
2. העברת המנוע להזנה בחיבור משולש לאחר 30 שניות מרגע ההתנעה.
3. ניתן להחזיר את המנוע להזנה בחיבור כוכב לאחר 60 שניות לפחות מרגע ההתנעה, על-ידי לחיצה על לחצן b_1 .
4. התחלה/עצירה של פעולת מנוע ההשראה באמצעות לחצן STOP/START .

- א. הגדר את המבואות ואת המוצאים של מערכת הפיקוד הזו.
- ב. סרטט דיאגרמת סולם המתארת את פעולת מערכת הפיקוד, ושלב בה הגנה תרמית (O.L.) למנוע.

בהצלחה!

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

נוסחאון במערכות פיקוד ובקרה

(16 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	$\frac{rad}{sec}$	$\omega = 2\pi \frac{n}{60}$
מהירות סיבוב	-	n	$[r.p.m]$	$C_m = \frac{Np}{2\pi a}$
מקדם	-	C_m		
מספר מוליכים ברוטור	-	N		$M_{em} = C_m \Phi I_a$
מספר זוגות קטבים	-	p		
מספר זוגות ענפים	-	a		$P_{em} = EI_a$
מקבילים ברוטור				
מומנט אלקטרומגנטי	-	M_{em}	$[N \cdot m]$	
שטף	-	Φ	$[Wb]$	$\frac{C_e}{C_m} = 0.1047$
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]

$$I = I_a + I_f \quad \text{במנוע:}$$

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 - E₁ [V]

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

כא"מ מושרה בסליל השניוני - E₂ [V]

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

שטף מרבי בגרעין - Φ_{max} [Wb]

מספר הכריכות בסליל הראשוני - N₁

מספר הכריכות בסליל השניוני - N₂

תדירות - f [Hz]

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

השראה מגנטית מרבית - B_{max} [Wb / m²] ; [T]

שטח החתך של הגרעין - A [m²]

יחס השנאה - α

מתח בסליל הראשוני - U₁ [V]

מתח בסליל השניוני - U₂ [V]

זרם בסליל הראשוני - I₁ [A]

זרם בסליל השניוני - I₂ [A]

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

2.2 ניסוי קצר

יחס השנאה	-	α	$R'_2 = R_2 \alpha^2$
התנגדות הסליל השניוני	-	$R_2 \quad [\Omega]$	
התנגדות הסליל השניוני משוקפת לראשוני	-	$R'_2 \quad [\Omega]$	$X'_2 = X_2 \alpha^2$
היגב השראותי של הסליל השניוני	-	$X_2 \quad [\Omega]$	$R_k = R_1 + R'$
היגב השראותי של הסליל השניוני משוקף לראשוני	-	$X'_2 \quad [\Omega]$	$X_k = X_1 + X'_2$
התנגדות הקצר	-	$R_k \quad [\Omega]$	$Z_k = \frac{U_k}{I_k}$
היגב הקצר של השנאי	-	$X_k \quad [\Omega]$	
עכבת הקצר של השנאי	-	$Z_k \quad [\Omega]$	$Z_k = \sqrt{R_k^2 + X_k^2}$
מתח הקצר של השנאי	-	$U_k \quad [V]$	
זרם הקצר של השנאי	-	$I_k \quad [A]$	$R_k = \frac{P_k}{I_k^2}$
הספק הקצר של השנאי	-	$P_k \quad [W]$	

2.3 ניסוי ריקם (במתח נקוב)

זרם הפסדי הברזל	-	$I_{Fe} \quad [A]$	$I_{Fe} = \frac{P_o}{U_n}$
הספק הריקם	-	$P_o \quad [W]$	
מתח נקוב	-	$U_n \quad [V]$	$I_\mu = \sqrt{I_o^2 - I_{Fe}^2}$
זרם המיגנוט	-	$I_\mu \quad [A]$	
זרם הריקם	-	$I_o \quad [A]$	$R_{Fe} = \frac{U_n}{I_{Fe}}$
התנגדות המייצגת את הפסדי הברזל	-	$R_{Fe} \quad [\Omega]$	
היגב המשרן היוצר את מגנוט גרעין השנאי	-	$X_\mu \quad [\Omega]$	$X_\mu = \frac{U_n}{I_\mu}$

2.4 מפלי מתח ומתחי עבודה

מפל מתח התנגדותי באחוזים	- $\Delta U_{R\%}$	$\Delta U_{R\%} = \frac{\Delta P_{Cu}}{S_n} \cdot 100$
הפסדי נחושת	- $\Delta P_{Cu} \quad [W]$	
הספק מדומה נקוב	- $S_n \quad [VA]$	$\Delta U_{R\%} = \frac{I_{ln} R_k}{U_{ln}} \cdot 100$
מתח נקוב בראשוני	- $U_{ln} \quad [V]$	
מפל מתח השראותי באחוזים	- $\Delta U_{X\%}$	$\Delta U_{X\%} = \sqrt{(U_{k\%})^2 - (\Delta U_{R\%})^2}$
		$\Delta U_{X\%} = \frac{I_{ln} X_k}{U_{ln}} \cdot 100$
מתח קצר באחוזים	- $U_{k\%}$	$U_{k\%} = \frac{U_k}{U_{ln}} \cdot 100$
מפל מתח באחוזים	- $\Delta U_{\%}$	
מקדם ההספק של הצרכן המחובר לסליל השניוני	- $\cos \varphi_2$	$\Delta U_{\%} = \beta (\Delta U_{R\%} \cos \varphi_2 + \Delta U_{X\%} \sin \varphi_2)$
גורם העמסה	- β	$U_2 = U_{2n} \left(1 - \frac{\Delta U_{\%}}{100} \right)$
מתח בסליל השניוני	- $U_2 \quad [V]$	
מתח ריקם בסליל השניוני	- $U_{2n} \quad [V]$	

2.5 נצילות השנאי

הספק מדומה	- $S \quad [VA]$	$\beta = \frac{S}{S_n}$
נצילות השנאי	- η	
הספק המוצא	- $P_2 \quad [W]$	$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P_{Cu} + \Delta P_{Fe}}$
הפסדי נחושת	- $\Delta P_{Cu} \quad [W]$	
הפסדי ברזל	- $\Delta P_{Fe} \quad [W]$	
הפסדי נחושת בזרם נקוב	- $\Delta P_{Cu_n} \quad [W]$	$\eta = \frac{\beta \cdot S_n \cos \varphi_2}{\beta S_n \cos \varphi_2 + \beta^2 \Delta P_{Cu_n} + \Delta P_{Fe}}$

3. מנוע השראתי

מומנט נקוב – M_n [N · m]

הספק נקוב – P_n [W]

מהירות זוויתית נקובה – ω_n $\frac{\text{rad}}{\text{sec}}$

מהירות הרוטור – n_n [r.p.m]

מהירות סינכרונית – n_s [r.p.m]

מספר זוגות קטבים – p

מקדם החלקה – s

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

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

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

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

מומנט – M [N · m]

מומנט קריטי – M_k [N · m]

מקדם החלקה קריטי – s_k

מקדם החלקה במומנט נקוב – s_n

היחס בין המומנט המרבי למומנט הנקוב של המנוע – $\lambda_{\max}$

$$M = \frac{2 M_k}{\frac{s_k}{s} + \frac{s}{s_k}}$$

נוסחת קלוס
(נוסחה מקורבת):

$$\lambda_{\max} = \frac{M_k}{M_n} = \left(\frac{s_k}{s_n} + \frac{s_n}{s_k} \right) \cdot \frac{1}{2}$$

$$s_k = s_n \left[\lambda_{\max} \pm \sqrt{\lambda_{\max}^2 - 1} \right]$$

התנגדות סלילי הסטטור (למופע) – R_1 [Ω]

התנגדות סלילי הרוטור, המשוקפת לסטטור (למופע) – R'_2 [Ω]

היגב השראותי כללי (למופע) – X_T [Ω]

היגב השראותי של סלילי הסטטור (למופע) – X_1 [Ω]

היגב השראותי של סלילי הרוטור, המשוקף לסטטור (למופע) – X'_2 [Ω]

$$s_k = \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X_T^2}} \approx \frac{R'_2}{X_T}$$

$$X_T = X_1 + X'_2$$

מומנט קריטי	-	M_k [N · m]
מתח מופעי	-	U_{ph} [V]
מקדם החלקה	-	s
תדירות הרשת	-	f_1 [Hz]
תדירות זרמי הרוטור	-	f_2 [Hz]
הספק מכני	-	P_{mech} [W]
הספק אלקטרומגנטי	-	P_{em} [W]
הפסדי נחושת ברוטור	-	ΔP_{Cu_2} [W]
הספק ריקם	-	P_o [W]
מתח הקו (בין מופעים)	-	U_L [V]
זרם ריקם	-	I_{oL} [A]
מקדם הספק בריקם	-	$\cos \varphi_o$
זרם התנעה קווי בחיבור כוכב, בהתנעה ישירה	-	I_Y [A]
זרם התנעה קווי בחיבור משולש, בהתנעה ישירה	-	$I_{L\Delta}$ [A]

$$M_k \approx \frac{9.55 \cdot 3 U_{ph}^2}{2 n_s X_T}$$

$$f_2 = s f_1$$

$$P_{mech} = (1 - s) P_{em}$$

$$\Delta P_{Cu_2} = s P_{em}$$

$$P_o = \sqrt{3} U_L I_{oL} \cos \varphi_o$$

$$I_Y = \frac{I_{L\Delta}}{3}$$

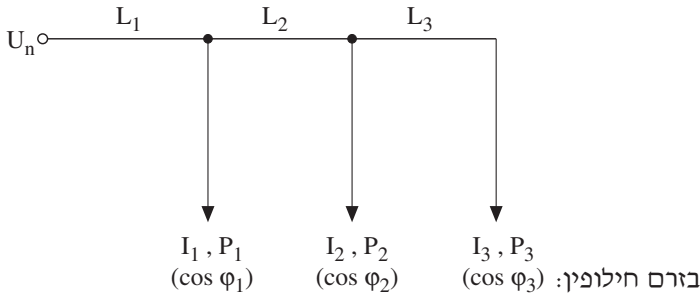
**התנעה
בכוכב-משולש:**

ב. מערכות הספק

1. מוליכות סגולית של מוליכים

חומר	נחשת	
34 – 37	55 – 57	γ – מוליכות סגולית $[\text{m} / \Omega \text{ mm}^2]$

2. מפלי מתח והפסדי הספק



2.1 במתח ישר

מפל המתח – ΔU [V]

מוליכות סגולית – γ $[\text{m} / \Omega \text{ mm}^2]$

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]

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

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

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

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

2.2 במתח חילופין חד-מופעי

$$\Delta U = \frac{2}{\gamma A} [I_1 L_1 \cos \varphi_1 + I_2 (L_1 + L_2) \cos \varphi_2 + I_3 (L_1 + L_2 + L_3) \cos \varphi_3]$$

מפל המתח - ΔU [V]

מוליכות - γ [m / Ω mm²]

סגולית

שטח חתך המוליך - A [mm²]

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

כאשר: $\cos \varphi_1 = \cos \varphi_2 = \cos \varphi_3$

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

הפסדי הספק - ΔP [W]

פאזור הזרם של צרכן n - $\tilde{I}_n$ [A]

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

זרם של צרכן n - I_n [A]

מתח נומינלי של הרשת - U_n [V]

מקדם ההספק של צרכן n - $\cos \varphi_n$

2.3 במתח חילופין תלת-מופעי

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3}}{\gamma A} [I_1 L_1 \cos \varphi_1 + I_2 (L_1 + L_2) \cos \varphi_2 + I_3 (L_1 + L_2 + L_3) \cos \varphi_3]$$

$$\Delta P = \frac{3}{\gamma A} [L_1 |\tilde{I}_1 + \tilde{I}_2 + \tilde{I}_3|^2 + L_2 |\tilde{I}_2 + \tilde{I}_3|^2 + L_3 |\tilde{I}_3|^2]$$

כאשר: $\cos \varphi_1 = \cos \varphi_2 = \cos \varphi_3$

$$\Delta P = \frac{3}{\gamma A} [L_1 (I_1 + I_2 + I_3)^2 + L_2 (I_2 + I_3)^2 + L_3 I_3^2]$$

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} U_n \cos \varphi_n}$$

3. שיפור מקדם ההספק

הספק ריאקטיבי של הצרכן - Q [kVar]

$$Q = P \operatorname{tg} \varphi$$

הספק אקטיבי של הצרכן - P [kW]

זווית בין הזרם והמתח של הצרכן - φ [°]

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

הספק מדומה של הצרכן - S [kVA]

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

$$Q_c = P (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2)$$

זווית לפני השיפור - φ_1 [°]

זווית אחרי השיפור - φ_2 [°]

הספק הקבל במופע אחד - Q_{c1} [kVar]

קיבול הקבל הנדרש (במופע אחד) - C [μF]

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

מתח על הקבל - U [V]

מהירות זוויתית - ω $\frac{\text{rad}}{\text{sec}}$

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

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 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

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

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

I_z [A] – הזרם המתמיד המרבי של
המוליך

מעגל חד־מופעי	מעגל תלת־מופעי
$I_b = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi \cdot \eta}$	$I_b = \frac{P}{\sqrt{3} U \cdot \cos \varphi \cdot \eta}$
$U = 230 \text{ V}$	$U = 400 \text{ V}$

4.3 כבלים מותקנים בתעלה רחבה, על מגש מחורר או צמודים לקיר

מוליכים מנחושת – בידוד 90°C

מעגל חד-מופעי			מעגל תלת-מופעי		
מבטח B או C	זרם מתמיד מרבי	חתך	מבטח B או C	זרם מתמיד מרבי	חתך
I_n	I_z	A	I_n	I_z	A
[A]	[A]	(ממ"ר)	[A]	[A]	(ממ"ר)
16	23	1.5	13	20	1.5
20	30	2.5	20	28	2.5
25	40	4	25	36	4
40	53	6	32	41	6
63	73	10	50	66	10
80	99	16	63	88	16
100	130	25	100	118	25
125	160	35	125	145	35
160	196	50	160	175	50
200	248	70	200	223	70
250	300	95	250	270	95
300	348	120	300	313	120

טמפרטורה אופפת: 35°C

4.4 מקדם תיקון עבור טמפרטורה אופפת שונה של הסביבה

טמפרטורה אופפת של הסביבה ($^{\circ}\text{C}$)									
55	50	45	40	35	30	25	20	15	10
0.80	0.85	0.90	0.95	1.00	1.04	1.09	1.13	1.17	1.21
המקדם – בידוד 90°C									

4.5 מקדם תיקון עבור התקנת כבלים רב-גידיים ללא רווח ביניהם

(1) התקנה בשכבה אחת:

9	6	4	3	2	מספר הכבלים
0.66	0.68	0.70	0.73	0.80	המקדם

(2) התקנה בשכבות אחדות או במקובץ:

12	10	8	6	5	4	3	2	מספר הכבלים
0.45	0.48	0.52	0.57	0.60	0.65	0.70	0.80	המקדם

4.6 כבלים טמונים במישרין באדמה עם כיסוי מגן

מוליכים מנחשת – בידוד 90°C

כבל רב-גידי במעגל חד-מופעי			כבל רב-גידי במעגל תלת-מופעי		
מבטח B או C	זרם מתמיד מרבי	חתך	מבטח B או C	זרם מתמיד מרבי	חתך
I_n	I_z	A	I_n	I_z	A
[A]	[A]	(ממ"ר)	[A]	[A]	(ממ"ר)
16	31	1.5	20	28	1.5
25	40	2.5	25	36	2.5
32	50	4	32	44	4
40	64	6	40	56	6
63	87	10	63	76	10
80	111	16	80	97	16
10	142	25	100	124	25
160	171	35	125	148	35
160	202	50	160	179	50
225	249	70	200	220	70
250	303	95	225	265	95
900	345	120	250	303	120
	–	–	300	339	150
	–	–	355	382	185
	–	–	400	442	240

טמפרטורה אופפת של האדמה: 30°C

4.7 מקדם תיקון עבור טמפרטורה אופפת שונה של האדמה

טמפרטורה אופפת של האדמה ($^{\circ}\text{C}$)									
55	50	45	40	35	30	25	20	15	10
0.77	0.82	0.87	0.91	0.96	1.00	1.04	1.08	1.12	1.15
המקדם – בידוד 90°C									

4.8 מקדם תיקון עבור התקנת כבלים אחדים באדמה

מספר המעגלים			אופן התקנת המעגלים	מעגלים צמודים מעגלים שהמרחק המזערי בין המעטים שלהם 7 ס"מ
4	3	2		
0.59	0.66	0.78		
0.67	0.72	0.83		

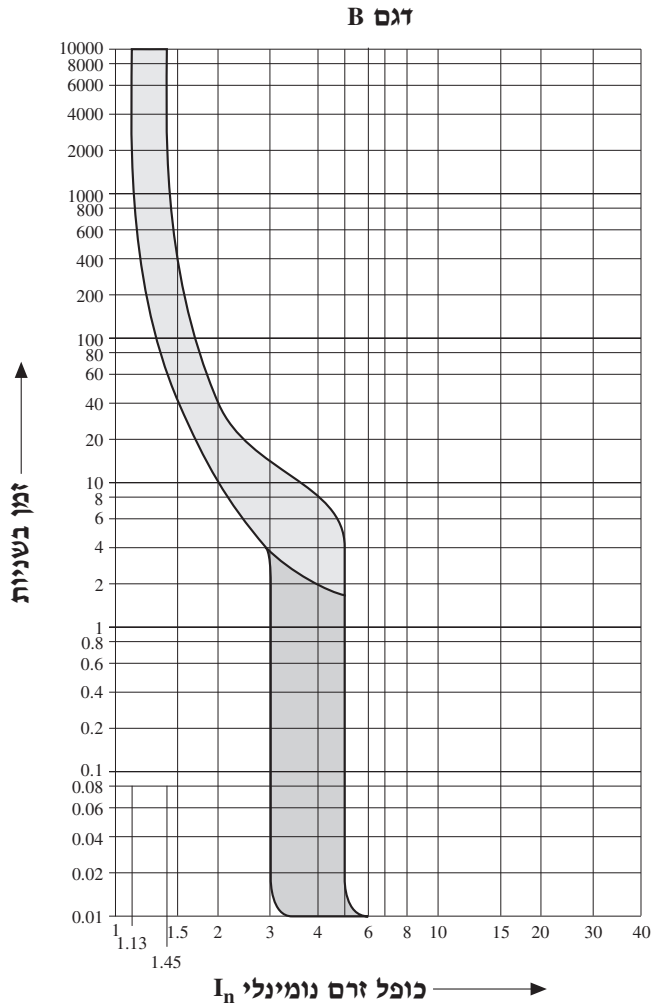
המשך בעמוד 14

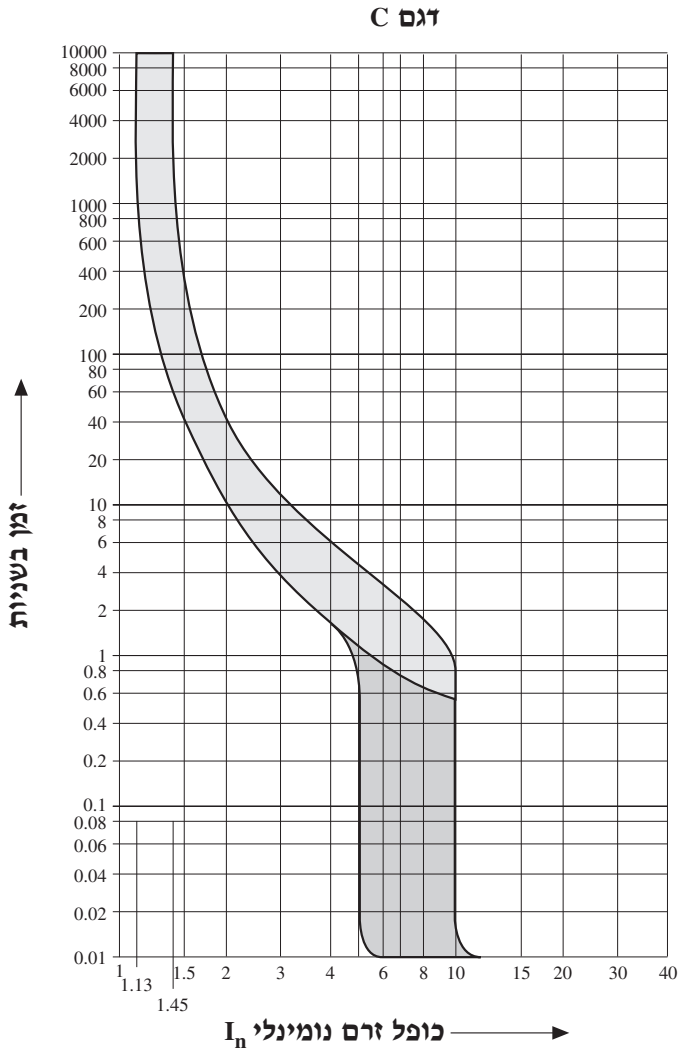
5. הגנה נגד התחשמלות בשיטת האיפוס

עכבת לולאת תקלה למתקנים בעלי מתח נומינלי של 230 V לאדמה, המוגנים על-ידי
נתיכים בעלי אופיין g_L או מפסקים אוטומטיים זעירים בעלי אופיין מדגם B

זרם נקוב I_n [A]	עכבה מרבית Z_1 [Ω]	זרם-קצר מזערי I_k [A]
6	8.85	26
10	4.89	47
16	3.19	72
20	2.55	90
25	1.91	120
32	1.40	164
35	1.25	183
40	1.12	205
50	0.92	250
63	0.63	360
80	0.51	450
100	0.39	580

6. אופיינים של מפסקים חצי-אוטומטיים זעירים





בהצלחה!