

מערכות פיקוד ובקרה ג'

שתי יחידות לימוד (השלמה לחמש יחידות לימוד)

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:

- ענה על מספר השאלות הנדרש בשאלון. המעריך יקרא ויעריך את מספר התשובות הנדרש בלבד, לפי סדר כתיבתן במחברתך, ולא יתייחס לתשובות נוספות.
- התחל כל תשובה לשאלה חדשה בעמוד חדש.
- הקפד לרשום את כל תשובותיך אך ורק בעט.
- הקפד לנסח את תשובותיך כהלכה ולסרטט את תרשימיך בהירות.
- כתוב את תשובותיך בכתב-יד ברור, כדי לאפשר הערכה נאותה שלהן.
- אם לדעתך חסרים נתונים הדרושים לפתרון שאלה, אתה רשאי להוסיף אותם, בתנאי שתנמק מדוע הוספת אותם.
- 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 7 עמודים ו-16 עמודי נספחים.

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

השאלות

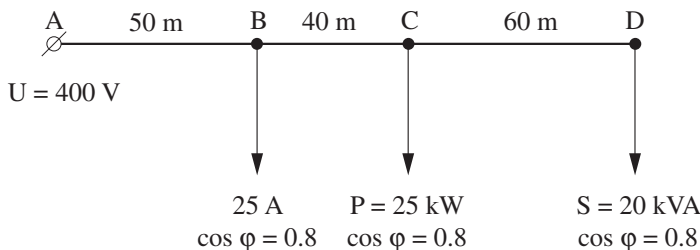
בשאלון זה שלושה פרקים, ובהם תשע שאלות. יש לענות על חמש שאלות בלבד:
שאלה אחת לפחות מן הפרק הראשון ושאלה אחת לפחות מן הפרק השני
(לכל שאלה – 20 נקודות, סך-הכול – 100 נקודות).

פרק ראשון: מערכות הספק

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

שאלה 1

באיור לשאלה 1 נתונה רשת תלת-מופעית, המוזנת בנקודה A במתח $400 \text{ V} / 50 \text{ Hz}$.
מוליכי הרשת עשויים מנחושת $\left(\gamma = 57 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2} \right)$.



איור לשאלה 1

- א. חשב את הזרם בכל אחד מקטעי הרשת.
- ב. חשב את שטח-החתך האחיד של מוליכי הרשת, הנדרש כדי שהפסדי ההספק המרביים ברשת יהיו $\Delta P = 5\%$.
- ג. בחר שטח-חתך תקני למוליכי הרשת, וחשב את המתח בנקודה C.

שאלה 2

בלוח החשמל הראשי של מפעל המוזן במתח של $400\text{ V} / 50\text{ Hz}$, מחוברים העומסים המפורטים בטבלה שלהלן:

מתח $U\text{ [V]}$	מקדם ההספק $\cos \varphi$	הספק $P\text{ [kW]}$	
400	0.8	60	מנוע
230	1	3	תנור
230	0.6	3	תאורה

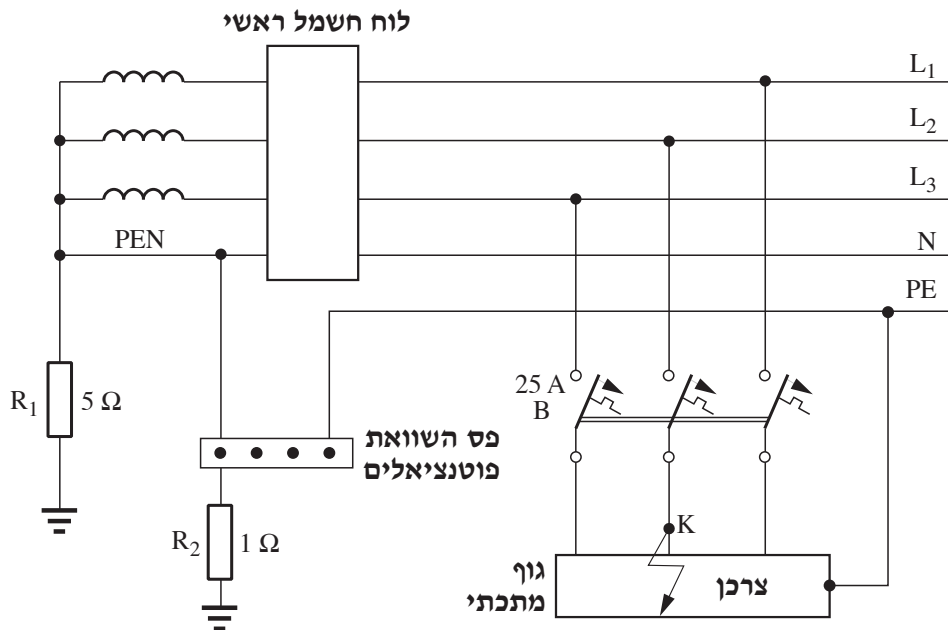
- א. חשב את מקדם ההספק של המפעל.
- ב. חשב את ההספק הריאקטיבי של סוללת הקבלים שיש לחבר בלוח החשמל הראשי, כדי לשפר את מקדם ההספק של המפעל ל-0.92.
- ג. 1. מהי שיטת חיבור הקבלים בסוללה? נמק את תשובתך.
2. חשב את הקיבול (ב- μF) של קבל אחד בסוללת הקבלים.
- ד. חשב את הזרם בלוח החשמל הראשי לאחר שיפור מקדם ההספק.

שאלה 3

- 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 שנוורות ליבון נשרפות פעמים רבות ברגע הדלקתן?

שאלה 4

באיור לשאלה 4 נתון תרשים חשמלי של מתקן, הכולל הזנה $400 \text{ V} / 50 \text{ Hz}$ וצרכן תלת-מופעי. הצרכן מוגן על-ידי מבטח 25 A מדגם B.



איור לשאלה 4

- א. מהי שיטת ההגנה מפני התחשמלות במתקן הזה? נמק את תשובתך.
- ב. רשום מה מייצגים הנגדים R_1 ו- R_2 שבאיור.
- ג. בנקודה K מתרחש קצר חד-מופעי אל הגוף המתכתי של הצרכן. זרם הקצר הוא 110 A .
 1. חשב את עכבת לולאת התקלה של המתקן.
 2. האם העכבה שחישבת בסעיף ג'1 מבטיחה הגנה מפני התחשמלות כאשר מתרחש הקצר? נמק את תשובתך.

פרק שני: המרת אנרגיה

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

שאלה 5

נתונים הנקובים של שנאי תלת-מופעי הם: Δ/Y , $22 / 0.4 \text{ kV}$, 630 kVA .

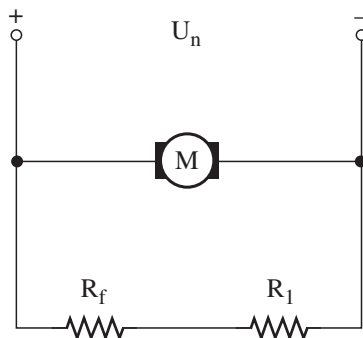
מספר הכריכות בצד השניוני הוא $N_2 = 200$.

- חשב את מספר הכריכות בצד הראשוני של השנאי.
- חשב את המתח המופעי בצד הראשוני של השנאי ואת המתח המופעי בצד השניוני שלו.
- חשב את הזרם הקווי ואת הזרם המופעי בעומס נקוב, בצד הראשוני ובצד השניוני.

שאלה 6

באיור לשאלה 6 מתואר מנוע לזרם ישר בעירור מקבילי. המנוע מוזן במתח של 240 V , וצורך זרם של 30 A .

התנגדות סליל הרוטור במנוע היא $R_a = 0.8 \Omega$. בטור לסליל העירור מחובר נגד R_f . הפסדי הנחושת במעגל העירור הם 400 W . ההפסדים הקבועים (הפסדי ברזל והפסדי חיכוך) הם 300 W .

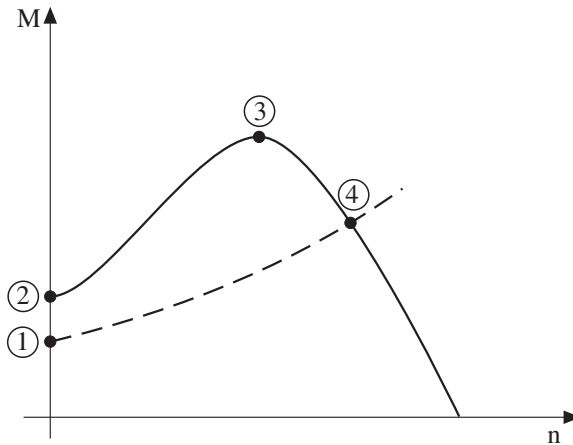


איור לשאלה 6

- חשב את הזרם בסליל הרוטור בעומס נקוב.
- חשב את נצילות המנוע בעומס נקוב.
- מקצרים את הנגד הטורי R_l במעגל העירור. קבע מה יקרה למהירות המנוע ולהספק על הציר אם המומנט נותר נקוב. נמק את קביעותיך.

שאלה 7

- א. באיור לשאלה 7 נתונים שני אופייניים המתארים את המומנט של מנוע השראה תלת-מופעי ואת המומנט הנגדי (של העומס המחובר על ציר המנוע), בתלות במהירות הסיבוב. על-פני האופייניים באיור מסומנים ארבעה מומנטים, $(1) \div (4)$. ציין את שמו של כל אחד מארבעת המומנטים.



איור לשאלה 7

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

$$\frac{M_{\max}}{M_a} = 2, P_n = 2.8 \text{ kW}, n_n = 1420 \text{ r.p.m.}, \eta = 83.5\%, f = 50 \text{ Hz}$$

- קבע את המהירות הסינכרונית וחשב את מספר זוגות הקטבים במנוע הנתון.
- חשב את מקדם ההחלקה של המנוע הנתון, כאשר הוא עובד בעומס נקוב.
- חשב את מקדם ההחלקה הקריטי של המנוע הנתון.

שאלה 8

- מחולל לזרם ישר בעירור זר מזין צרכן במתח של 250 V ובזרם של 20 A .
- סליל העירור מוזן במתח של 200 V .
- ההתנגדות של סליל העוגן היא $0.2\ \Omega$. ההתנגדות של סליל העירור היא $500\ \Omega$.
- א. חשב את הכא"מ של המחולל.
- ב. חשב את הפסדי הנחושת הכוללים במחולל בהעמסה הנתונה.
- ג. המומנט האלקטרו-מגנטי של המחולל בהעמסה הנתונה הוא $30\text{ N}\cdot\text{m}$. חשב את מהירות הסיבוב של ציר המחולל.

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 START / לחצן STOP.
- 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	- ΔP_{Cu} [W]	
הספק מדומה נקוב	- S_n [VA]	$\Delta U_{R\%} = \frac{I_{ln} R_k}{U_{ln}} \cdot 100$
מתח נקוב בראשוני	- U_{ln} [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 [V]	
מתח ריקם בסליל השניוני	- U_{2n} [V]	

2.5 נצילות השנאי

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

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

$$f_2 = s f_1$$

הספק מכני	-	P_{mech} [W]
הספק אלקטרומגנטי	-	P_{em} [W]
הפסדי נחושת ברוטור	-	ΔP_{Cu_2} [W]

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

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

הספק ריקם	-	P_o [W]
מתח הקו (בין מופעים)	-	U_L [V]
זרם ריקם	-	I_{oL} [A]
מקדם הספק בריקם	-	$\cos \varphi_o$

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

זרם התנעה קווי בחיבור כוכב, בהתנעה ישירה	-	I_Y [A]
זרם התנעה קווי בחיבור משולש, בהתנעה ישירה	-	$I_{L\Delta}$ [A]

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

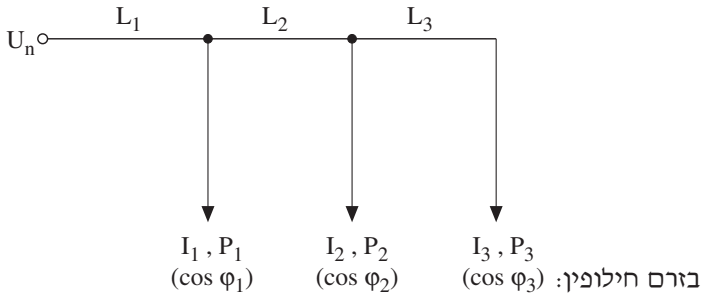
**התנעה
בכוכב-משולש:**

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] -

הפסדי הספק ΔP [W] -

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

זרם של צרכן n I_n [A] -

מתח נומינלי של הרשת U_n [V] -

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

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

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

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

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

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 $\left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$

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

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		

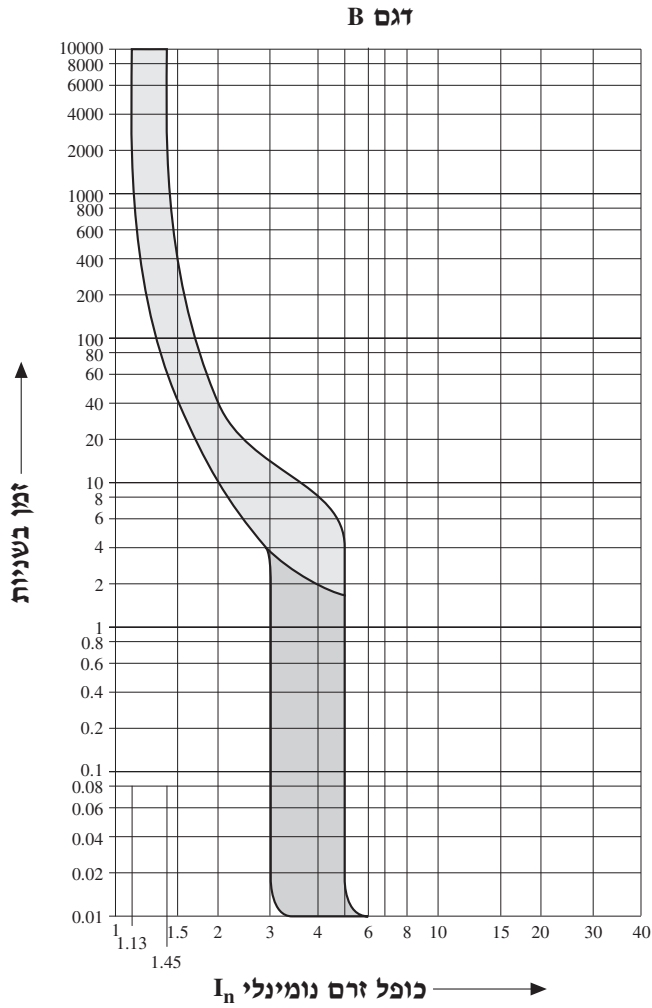
המשך בעמוד 14

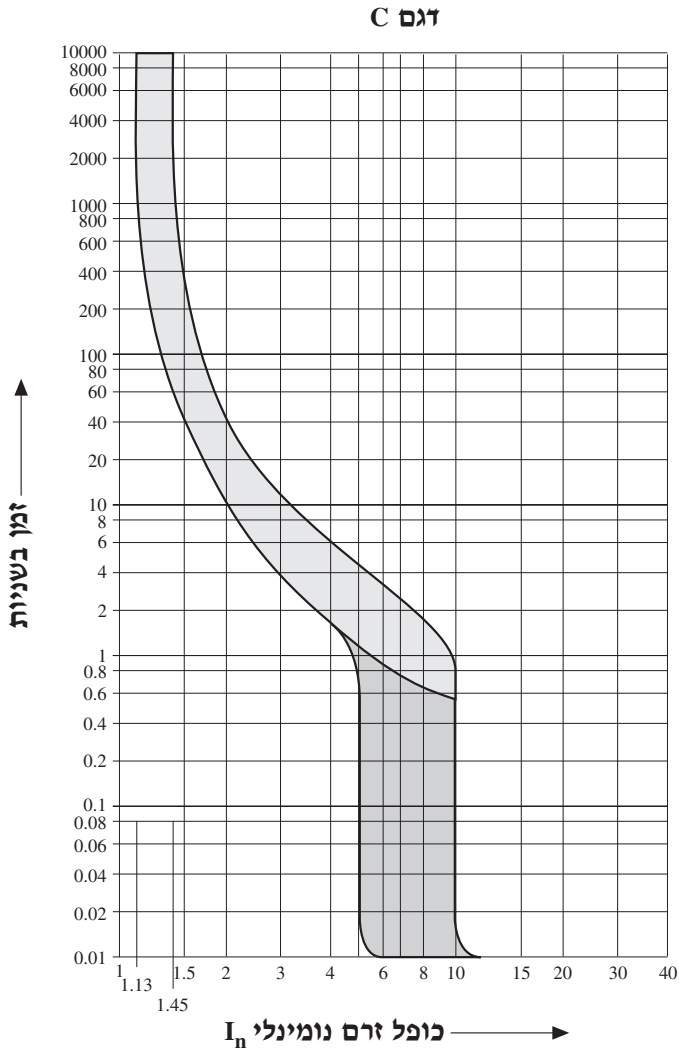
5. הגנה נגד התחשמלות בשיטת האיפוס

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!