

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 ו**שאלה 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 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 שלהן, 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 נוסחאון.

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

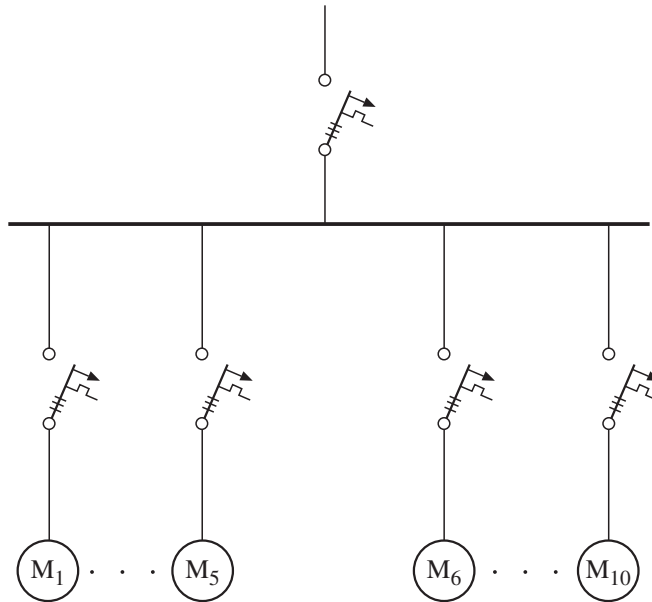
- א. סרטט את המעגל החשמלי הנדרש להזנה והפעלה של נורה פלואורסצנטית, ורשום את תפקידו של כל אחד מן הרכיבים שבמעגל.
- ב. ציין **שתי** שיטות להצתה של נורה פלואורסצנטית, והסבר את ההבדל ביניהן.
- ג. מה הסיבה לכך שנוורות ליבון נשרפות פעמים רבות ברגע הדלקתן?

שאלה 2

במפעל, המוזן במתח של 400 V / 50 Hz, משתמשים בשני סוגים של מנועים תלת־מופעיים. מאפייני המנועים מפורטים בטבלה שלהלן:

המנועים	ההספק של כל מנוע	הנצילות	מקדם ההספק	מקדם הביקוש (הבו־זמניות)
	P [kW]	η [%]	$\cos \varphi$	K
$M_1 \div M_5$	7.5	85	0.84	0.8
$M_6 \div M_{10}$	4	82	0.8	0.6

באיור לשאלה 2 מתואר לוח משנה, המזין את עשרת המנועים.



איור לשאלה 2

הזנת המנועים נעשית באמצעות כבלים, המותקנים על-גבי מגש מחורר. מוליכי הכבלים עשויים מנחושת עם בידוד XLPE (90 °C).

א. לרשותך מפסקים עם כיוול תרמי ומגנטי, שזרמיהם הנקובים הם:

10A , 16A , 25A , 40A , 63A , 100A , 160A

העתק את האיור למחברתך, ורשום בו את הזרמים הנקובים של מפסקי המנועים $M_1 \div M_{10}$, ואת שטחי-החתך של קווי ההזנה של המנועים.

ב. קבע את הזרם הנקוב של המפסק הראשי ואת שטח-החתך של כבל ההזנה הראשי.

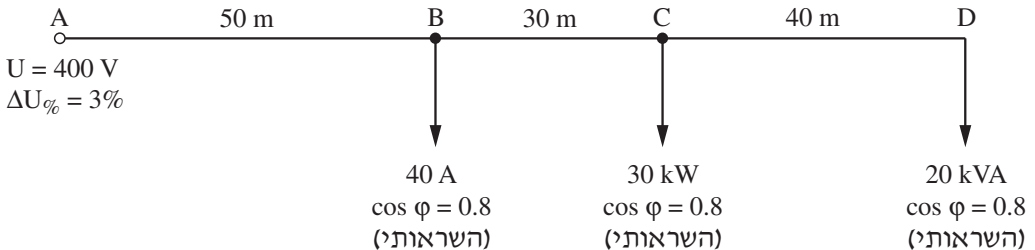
ג. סרטט, במערכת צירים אחת, תיאור עקרוני של עקומות הניתוק (עקומות זרם-זמן) של כל אחד מסוגי המפסקים שבלוח ההזנה, כך שתתקיים סלקטיביות בלוח המשנה.

שאלה 3

- לוח חשמל ראשי של מפעל תעשייתי מוזן במתח תלת-מופעי $400 \text{ V} / 50 \text{ Hz}$.
מחברים בלוח-החשמל סוללת קבלים בעלת הספק של 20 kVAr , על-מנת לשפר את
מקדם ההספק של המפעל מ- 0.8 ל- 0.92 .
א. חשב את ההספק הפעיל של המפעל.
ב. חשב את זרם ההזנה ללוח החשמל הראשי לפני חיבור סוללת הקבלים ולאחר חיבורה.
ג. הצג בעזרת משולש ההספקים את השינוי שחל בהספק המדומה כתוצאה מחיבור סוללת
הקבלים.
ד. איך צריך לחבר את הקבלים בסוללה, בחיבור כוכב או בחיבור משולש? נמק את תשובתך.

שאלה 4

- באיור לשאלה 4 נתונה רשת תלת-מופעית, המוזנת בצידה האחד במתח $400 \text{ V} / 50 \text{ Hz}$.
מוליכי הרשת עשויים מנחושת $\left(\gamma = 57 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2} \right)$. מפל המתח המרבי המותר ברשת הוא 3% .



איור לשאלה 4

- א. חשב את הזרם בכל אחד מקטעי הרשת.
ב. חשב את שטח-החתך האחיד של מוליכי הרשת, בהתאם למפל המתח המרבי המותר בה.
ג. קבע את שטח-החתך התקני של מוליכי הרשת, וחשב את הפסדי ההספק בקטע BD.

פרק שני: המרת אנרגיה

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

שאלה 5

נתוניו הנקובים של שנאי תלת-מופעי הם:

$$400 \text{ kVA} , 6.3 / 0.4 \text{ kV} , 50 \text{ Hz} , Y/\Delta , \eta = 92\%$$

- א. סרטט את תרשים החיבורים של סלילי השנאי.
- ב. חשב את הזרם בסליל השניוני ואת הזרם בסליל הראשוני בעומס נקוב, אם מקדם ההספק בצד הראשוני של השנאי הוא $\cos \varphi_1 = 0.9$ ובצד השניוני שלו הוא $\cos \varphi_2 = 0.92$.
- ג. חשב את מספר הכריכות בצד השניוני, אם $N_1 = 1000$.

שאלה 6

נתוניו הנקובים של מנוע השראה תלת-מופעי הם:

$$50 \text{ kW} , 400 \text{ V} , 50 \text{ Hz} , \Delta , 1420 \text{ r.p.m.} , \cos \varphi = 0.85 , \eta = 92\%$$

- א. חשב את המומנט הנקוב על ציר המנוע.
- ב. חשב את החליקה של המנוע בעומס נקוב.
- ג. חשב את תדירות זרמי הרוטור בעומס נקוב.
- ד. חשב את הזרם הנצרך מהרשת על-ידי המנוע בעומס נקוב.

שאלה 7

נתוניו הנקובים של שנאי חד-מופעי הם: $10 \text{ kVA} , 400 / 231 \text{ V} , 50 \text{ Hz}$.
השנאי מועמס ב-80% מהעומס הנקוב ובמקדם הספק השראותי של 0.85.
בניסוי קצר בזרם נקוב נמדדו: $\Delta P_{Cu} = 640 \text{ W} , U_k = 32 \text{ V}$.

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

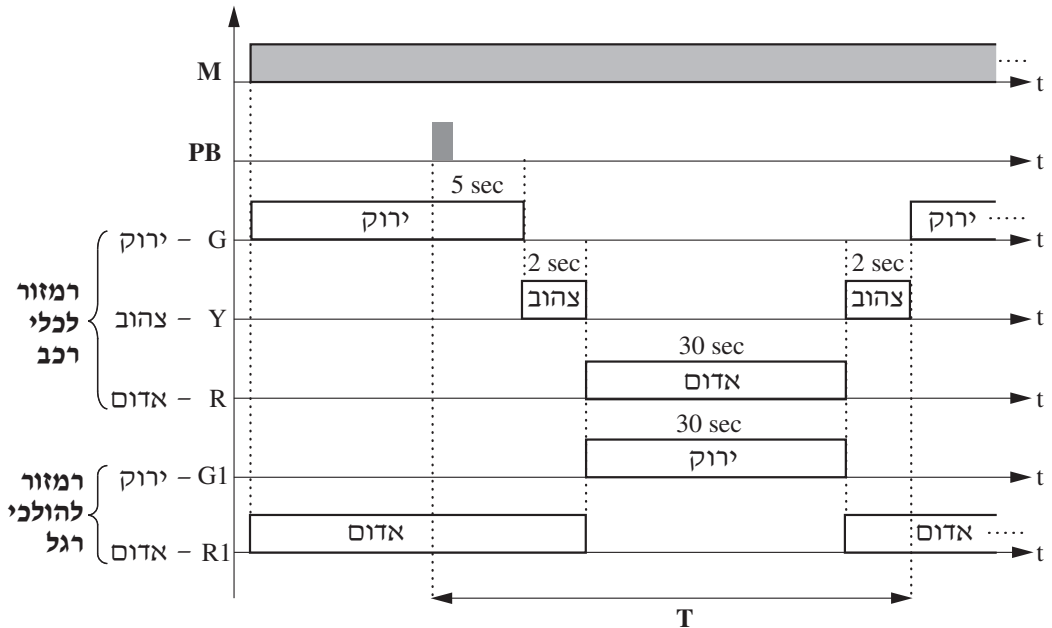
פרק שלישי: בקרה ומערכות ממוחשבות

(לשאלה – 20 נקודות).

שאלה 9

- מערכת רמזורים ממוקמת בסמוך למעבר חצייה ברחוב חד־סיטרי, וכוללת שני רמזורים:
- רמזור לכלי רכב בעל שלושה מצבים: R , Y , G (אור אדום, Y – אור צהוב, G – אור ירוק)
 - רמזור להולכי רגל בעל שני מצבים: $R1$, $G1$ (אור אדום, $G1$ – אור ירוק)
- להלן סדר הפעולות של מערכת הרמזורים:
- כאשר המפסק הראשי M נסגר – מופעל אור ירוק לכלי הרכב ואור אדום להולכי הרגל.
 - כאשר הולך רגל מגיע למעבר החצייה ורוצה לחצות את הכביש – הוא צריך ללחוץ על לחצן PB .
 - כעבור חמש שניות מרגע הלחיצה מתחלף הרמזור של כלי הרכב מירוק לצהוב.
 - לאחר שתי שניות נוספות, הרמזור של כלי הרכב מתחלף מצהוב לאדום, והרמזור להולכי הרגל מתחלף מאדום לירוק, לפרק זמן של 30 שניות.
 - לאחר מכן מתחלף הרמזור של כלי הרכב מאדום לצהוב, והרמזור של הולכי הרגל מתחלף מירוק לאדום. לאחר שתי שניות נוספות מתחלף הרמזור של כלי הרכב מצהוב לירוק.

באיור לשאלה 9 מתוארת דיאגרמת זמנים של פעולת מערכת הרמזורים:



איור לשאלה 9

- א. הגדר את המבואות ואת המוצאים של מערכת הרמזורים הזו.
- ב. סרטט דיאגרמת סולם המתארת את פעולת מערכת הרמזורים בפרק הזמן T, המוגדר בדיאגרמת הזמנים שבאיור.

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

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

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

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

1.2 מומנטים

מומנט נקוב	-	M	$[N \cdot m]$	$M = \frac{P}{\omega}$
הספק	-	P	$[W]$	$\omega = 2\pi \frac{n}{60}$
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		$P_{em} = EI_a$
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]

$$I = I_a + I_f \quad \text{במנוע:}$$

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

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]

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

שטח החתך של הגרעין - A [m²]

יחס השנאה - a

מתח בסליל הראשוני - U₁ [V]

מתח בסליל השניוני - U₂ [V]

זרם בסליל הראשוני - I₁ [A]

זרם בסליל השניוני - I₂ [A]

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

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

2.2 ניסוי קצר

יחס השנאה	-	a
התנגדות הסליל השניוני	-	R_2 [Ω]
התנגדות הסליל השניוני משוקפת לראשוני	-	R'_2 [Ω]
היגב השראותי של הסליל השניוני	-	X_2 [Ω]
היגב השראותי של הסליל השניוני משוקף לראשוני	-	X'_2 [Ω]
התנגדות הקצר	-	R_k [Ω]
היגב הקצר של השנאי	-	X_k [Ω]
עכבת הקצר של השנאי	-	Z_k [Ω]
מתח הקצר של השנאי	-	U_k [V]
זרם הקצר של השנאי	-	I_k [A]
הספק הקצר של השנאי	-	P_k [W]

$$R'_2 = R_2 a^2$$

$$X'_2 = X_2 a^2$$

$$R_k = R_1 + R'_2$$

$$X_k = X_1 + X'_2$$

$$Z_k = \frac{U_k}{I_k}$$

$$Z_k = \sqrt{R_k^2 + X_k^2}$$

$$R_k = \frac{P_k}{I_k^2}$$

2.3 ניסוי ריקם (במתח נקוב)

זרם הפסדי הברזל	-	I_{Fe} [A]
הספק הריקים	-	P_o [W]
מתח נקוב	-	U_n [V]
זרם המיגנוט	-	I_μ [A]
זרם הריקים	-	I_o [A]
התנגדות המייצגת את הפסדי הברזל	-	R_{Fe} [Ω]
היגב המשרן היוצר את מגנוט גרעין השנאי	-	X_μ [Ω]

$$I_{Fe} = \frac{P_o}{U_n}$$

$$I_\mu = \sqrt{I_o^2 - I_{Fe}^2}$$

$$R_{Fe} = \frac{U_n}{I_{Fe}}$$

$$X_\mu = \frac{U_n}{I_\mu}$$

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]

מתח נקוב בראשוני - U_{In} [V]

$$\Delta U_{R\%} = \frac{I_{In} R_k}{U_{In}} \cdot 100$$

$$\Delta U_{X\%} = \sqrt{(U_{k\%})^2 - (\Delta U_{R\%})^2}$$

מפל מתח השראותי
באחוזים - $\Delta U_{X\%}$

$$\Delta U_{X\%} = \frac{I_{In} X_k}{U_{In}} \cdot 100$$

מתח קצר באחוזים - $U_{k\%}$

$$U_{k\%} = \frac{U_k}{U_{In}} \cdot 100$$

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]

הפסדי נחושת - ΔP_{Cu} [W]

הפסדי ברזל - ΔP_{Fe} [W]

הפסדי נחושת בזרם נקוב - ΔP_{Cu_n} [W]

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

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

מנוע השראתי

3.

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

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

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

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

נוסחת קלוס

(נוסחה מקורבת):

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

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

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

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

$$X_T = X_1 + X'_2$$

מומנט 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 החלקה - 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 - $\lambda_{\max}$

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]

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	-	$\cos \varphi_o$

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

$$f_2 = s f_1$$

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

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

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

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

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

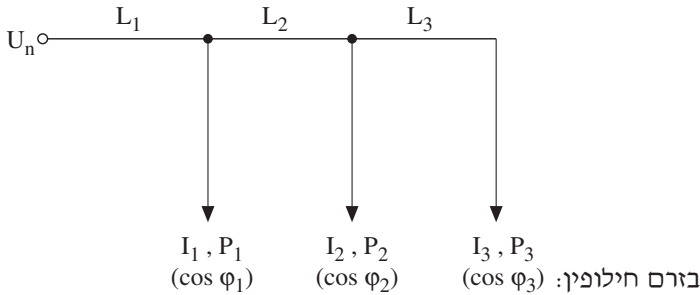
**התנעה
בכוכב-משולש:**

ב. מערכות הספק

1. מוליכות סגולית של מוליכים

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

2. מפלי מתח והפסדי הספק



2.1 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]

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

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

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

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

2.2 במתח חילופין חד-מופעי

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

מפל המתח - ΔU [V]

מוליכות - γ [m / Ω mm²]

סגולית

שטח חתך - A [mm²]

המוליך

הפסדי הספק - ΔP [W]

פאזור הזרם של - $\bar{I}_n$ [A]

צרכן n

זרם של צרכן n - I_n [A]

מתח נומינלי - U_n [V]

של הרשת

מקדם ההספק - $\cos \varphi_n$

של צרכן n

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

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

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

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

2.3 במתח חילופין תלת-מופעי

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

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

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

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

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

3. שיפור מקדם ההספק

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

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

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

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

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

- הספק הקבל במופע אחד - Q_{c1} [kVAr]
- קיבול הקבל הנדרש (במופע אחד) - C [μF]
- מתח על הקבל - U [V]
- מהירות זוויתית - ω $\left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$
- תדירות הרשת - f [Hz]

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

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

$$\omega = 2\pi f$$

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 כוון

I_z [A] – הזרם המתמיד המרבי של
המוליך

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

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

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

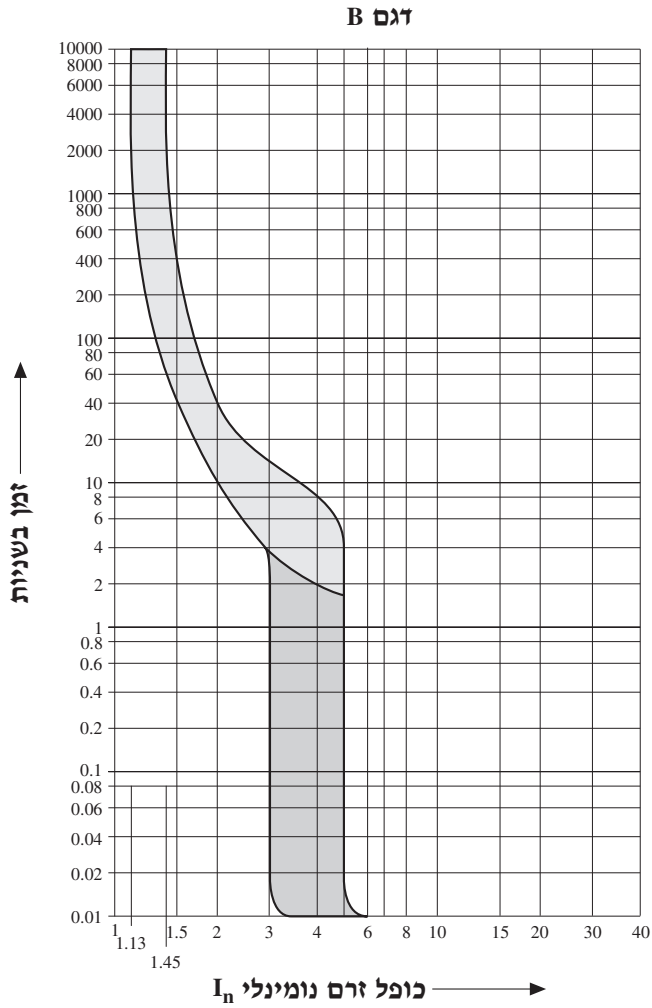
המשך בעמוד 14

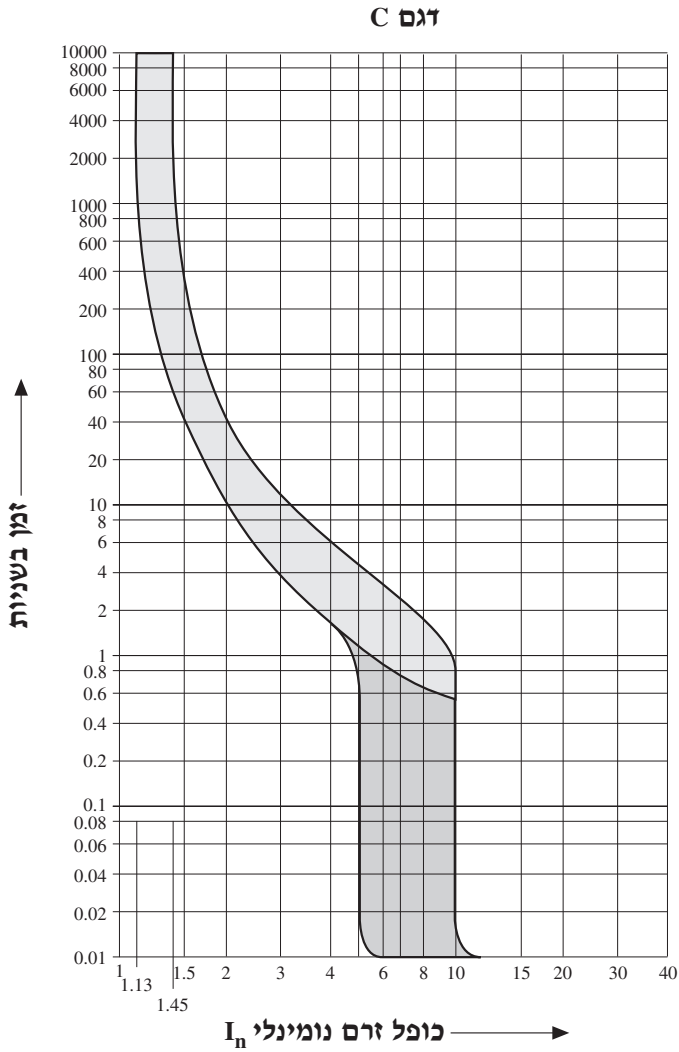
5. הגנה נגד התחשמלות בשיטת האיפוס

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!