

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 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 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 8 עמודים ו-17 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).

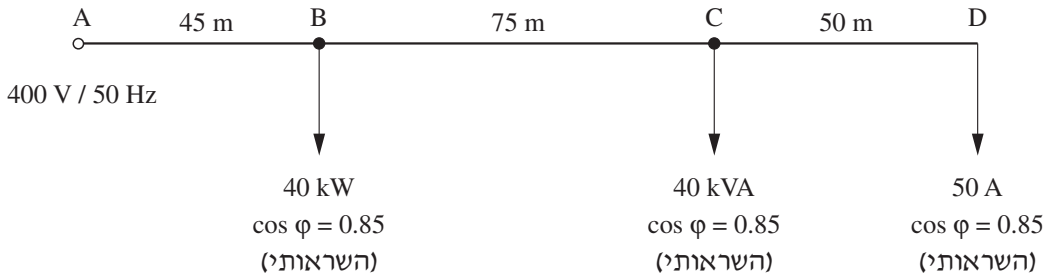
פרק ראשון: מערכות הספק

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

שאלה 1

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

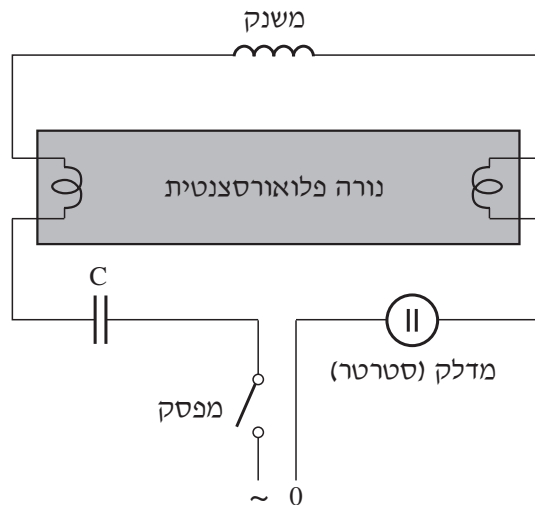
א. חשב את שטח-החתך האחיד של מוליכי הרשת, הנדרש כדי שהפסדי ההספק המרביים ברשת לא יעלו על 5%.

ב. בחר שטח-חתך תקני למוליכי הרשת, וחשב את המתח בנקודה C.

שאלה 2

א. גוף תאורה כולל נורה פלואורסצנטית ואביזרי עזר. הנורה, שהספקה 36 W, מוזנת במתח חד-מופעי 230 V / 50 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 (זהה להספק המנוע). חשב את מקדם ההספק הכולל של לוח החשמל, לאחר חיבור התנור.

שאלה 3

באיור שבנספח לשאלה 3 נתונה מערכת הזנה למתקן חשמלי.

- א. מהי שיטת ההגנה המתוארת באיור? נמק את קביעתך.
- ב. סרטט על-גבי האיור שבנספח את מסלול לולאת התקלה כאשר מתרחש קצר בין המופע L_3 ובין גוף המנוע החשמלי.
- ג. ציין מה מייצגת כל אחת מן ההתנגדויות R_1 ו- R_2 .
- ד. קו ה- PEN מתנתק עקב תקלה. האם יכולה להתקיים לולאת תקלה במקרה כזה? נמק את תשובתך.

הערה: הדבק מדבקת נבחן במקום המיועד לכך בנספח, וצרף אותו למחברתך.

שאלה 4

א. להלן נתונים הנקובים של ארבעה מנועי השראה תלת-מופעיים:

1. 230 / 400 V , 20 kW , 50 Hz

2. 400 / 230 V , 20 kW , 50 Hz

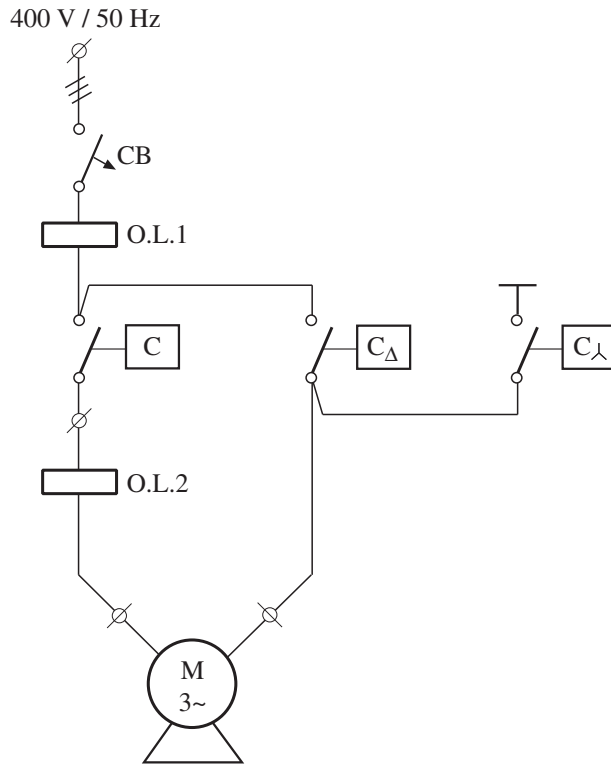
3. 400 / 690 V , 20 kW , 50 Hz

4. 690 / 400 V , 20 kW , 50 Hz

איזה מנוע מביניהם מתאים להתנעת כוכב/משולש בהזנה מרשת 400 V / 50 Hz ? נמק את קביעתך.

ב. באיור לשאלה 4 מתואר תרשים חיבורים חשמלי חד-קווי של מנוע השראה תלת-מופעית לרשת 400 V / 50 Hz באמצעות מתנע כוכב-משולש.

נתוני הנקובים של המנוע הם: $\eta = 86\%$, $\cos \varphi = 0.85$, 50 Hz , 20 kW



איור לשאלה 4

1. חשב את הזרם הנקוב של המנוע.
2. קבע את גודל המבטח CB הנדרש להגנה על המנוע (היעזר בטבלה שבסעיף 4.3 בנוסחאון).
3. באיור מתוארות שתי אפשרויות למיקום הגנות ליתרת זרם, O.L.1 ו-O.L.2. קבע את ערך הזרם שיש לכייל אליו כל אחת מן ההגנות האלה עבור המנוע הנתון.

פרק שני: המרת אנרגיה

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

שאלה 5

להלן התוצאות שהתקבלו בניסויים בשנאי חד-מופעי אידיאלי בתנאים נקובים:

$$\text{בניסוי ריקם: } I_o = 0.5 \text{ A} \quad ; \quad P_o = 225 \text{ W} \quad ; \quad V_o = 1500 \text{ V}$$

$$\text{בניסוי קצר: } \cos \varphi_k = 0.85 \quad ; \quad I_k = 10 \text{ A} \quad ; \quad V_k = 50 \text{ V}$$

א. חשב את ההספק המדומה הנקוב של השנאי (S_n).

ב. חשב את נצילות השנאי כאשר הוא מועמס ב־80% מההספק המדומה הנקוב ובמקדם הספק של 0.85.

ג. 1. חשב את הפרמטרים X_μ , R_{Fe} , X_k ו־ R_k של השנאי.

2. סרטט תרשים תמורה מסוג T של השנאי, וציין בו את ערכי הפרמטרים שחישבת בסעיף ג'1.

$$\text{הנח כי: } R_1 = R_2' = \frac{R_k}{2} \quad ; \quad X_1 = X_2' = \frac{X_k}{2}$$

שאלה 6

המהירות הנקובה של מחולל לזרם ישר בעירור מקבילי היא 1200 rpm.

ההתנגדות של סליל הרוטור היא $R_a = 0.16 \Omega$, והתנגדות סליל העירור היא $R_e = 60 \Omega$.

המחולל, העובד בתנאים נקובים, מזין עומס התנגדוטי במתח של 120 V וזרם של 50 A.

א. חשב את הכא"מ של המחולל.

ב. חשב את ההספק האלקטרו־מגנטי ואת המומנט האלקטרו־מגנטי של המחולל.

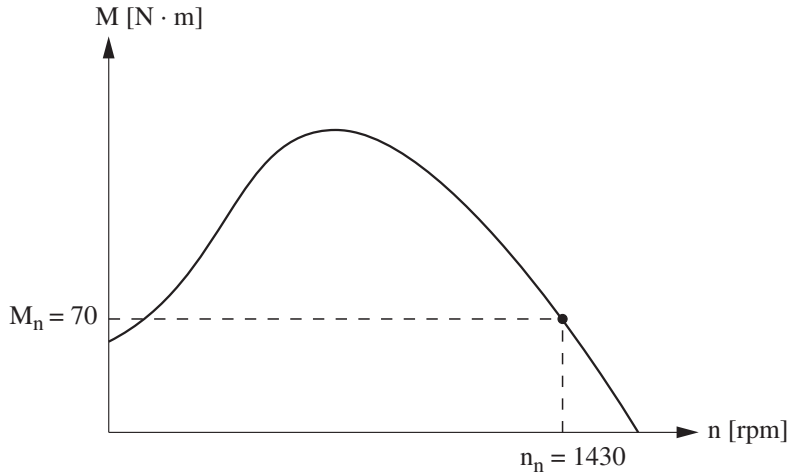
ג. חשב את השטף במחולל, אם נתון כי $C_m = 3.2$.

ד. סרטט את האופיין החשמלי, $U = f(I)$, של המחולל לזרם ישר בעירור מקבילי, וציין עליו

את הנקודות בריקם וזרם נקוב.

שאלה 7

באיור לשאלה 7 נתון אופיין מכני $M = f(n)$ של מנוע השראה תלת-מופעי, המוזן מרשת
. 400 V / 50 Hz



איור לשאלה 7

- א. חשב את מקדם ההחלקה של המנוע.
- ב. חשב את ההספק הנקוב על ציר המנוע.
- ג. נתון כי $\frac{M_k}{M_n} = 2.5$. חשב את מקדם ההחלקה הקריטי של המנוע.

שאלה 8

נתוניו הנקובים של מנוע לזרם ישר בעירור טורי הם:

$$30 \text{ kW} , 500 \text{ V} , 750 \text{ rpm} , \eta = 85\%$$

התנגדות סלילי העוגן היא: $R_a = 0.15 \Omega$, והתנגדות סלילי העירור היא: $R_f = 0.05 \Omega$.

- א. חשב את זרם ההזנה למנוע בתנאים נקובים.
- ב. חשב את הכא"מ הנגדי המתפתח במנוע בעומס נקוב.
- ג. חשב את המומנט האלקטרו-מגנטי הנקוב של המנוע.

פרק שלישי: בקרה ומערכות ממוחשבות

(לשאלה – 20 נקודות).

שאלה 9

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

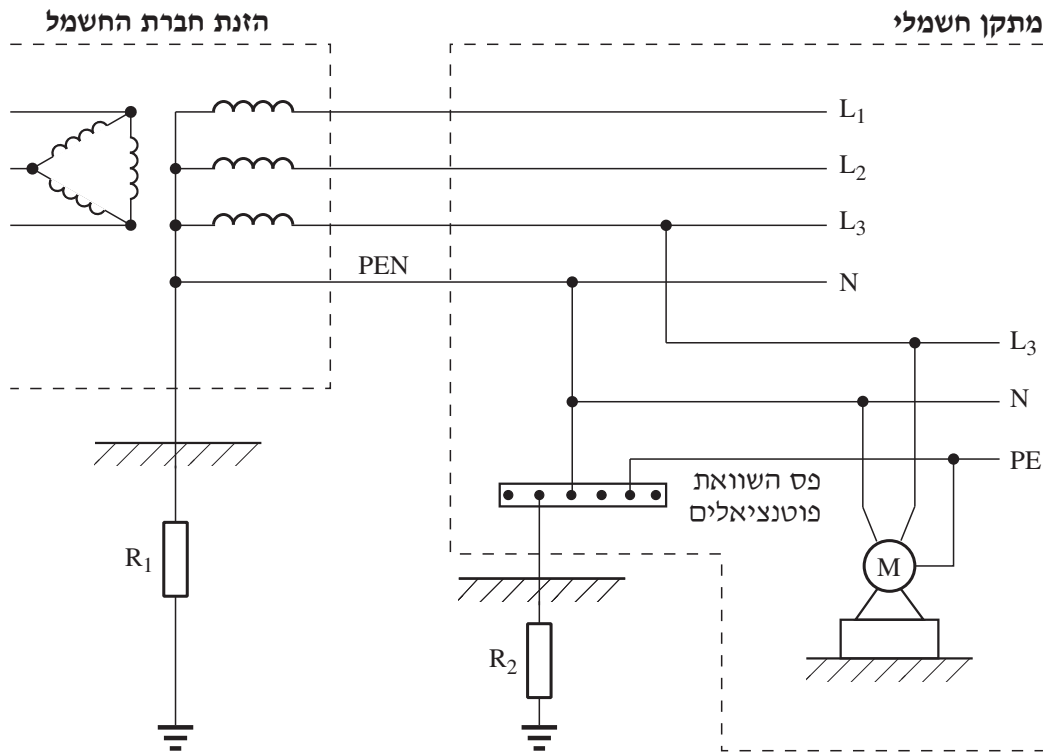
המערכת תבצע את הפעולות הבאות:

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

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

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

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

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	$\left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$	$C_m = \frac{Np}{2\pi a}$
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	$[\Omega]$
התנגדות הסליל השניוני משוקפת לראשוני	-	R'_2	$[\Omega]$
היגב השראותי של הסליל השניוני	-	X_2	$[\Omega]$
היגב השראותי של הסליל השניוני משוקף לראשוני	-	X'_2	$[\Omega]$
התנגדות הקצר	-	R_k	$[\Omega]$
היגב הקצר של השנאי	-	X_k	$[\Omega]$
עכבת הקצר של השנאי	-	Z_k	$[\Omega]$
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}	$[\Omega]$
היגב המשרן היוצר את מגנוט גרעין השנאי	-	X_μ	$[\Omega]$

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

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

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

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

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

3. מנוע השראתי

3.

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]

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

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

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

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

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

נוסחת קלוס
(נוסחה מקורבת):

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

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

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

$$X_T = X_1 + X'_2$$

מומנט 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_{Cu2} [W]
הספק ריקם	-	P_o [W]
מתח הקו (בין מופעים)	-	U_L [V]
זרם ריקם	-	I_{oL} [A]
מקדם הספק בריקם	-	$\cos \varphi_o$

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

$$f_2 = s f_1$$

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

$$\Delta P_{Cu2} = s P_{em}$$

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

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

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

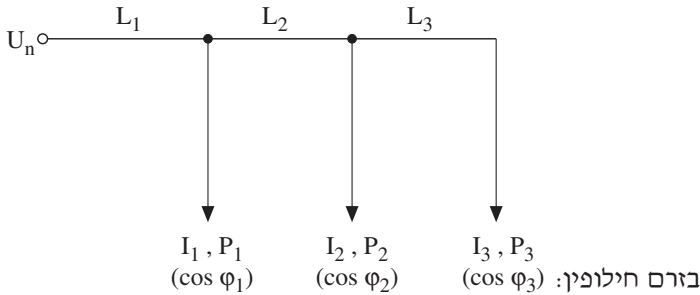
**התנעה
בכוכב-משולש:**

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]

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

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

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

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

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	

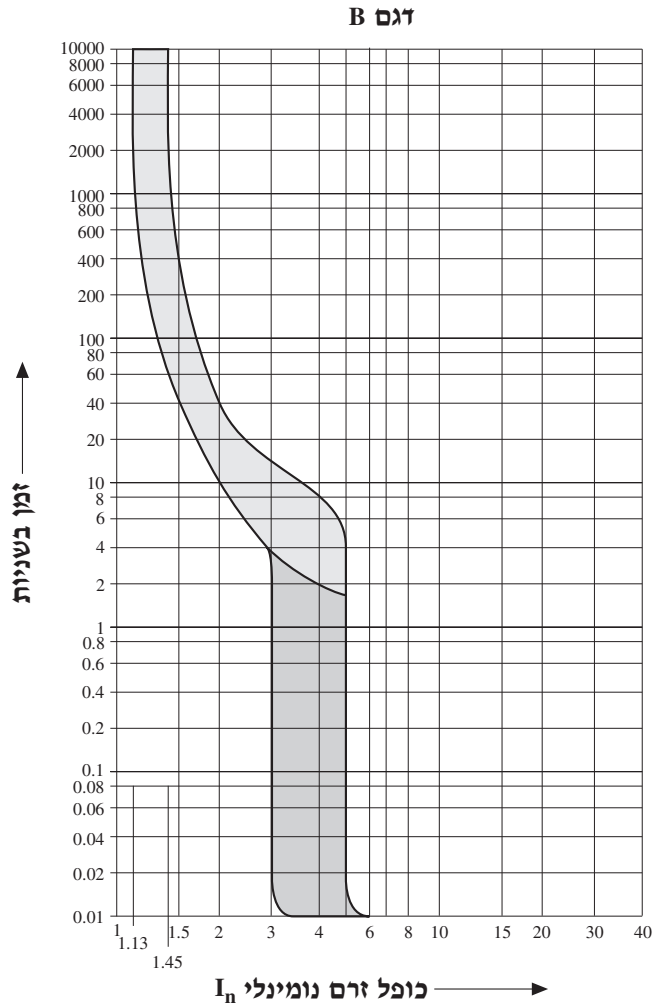
המשך בעמוד 14

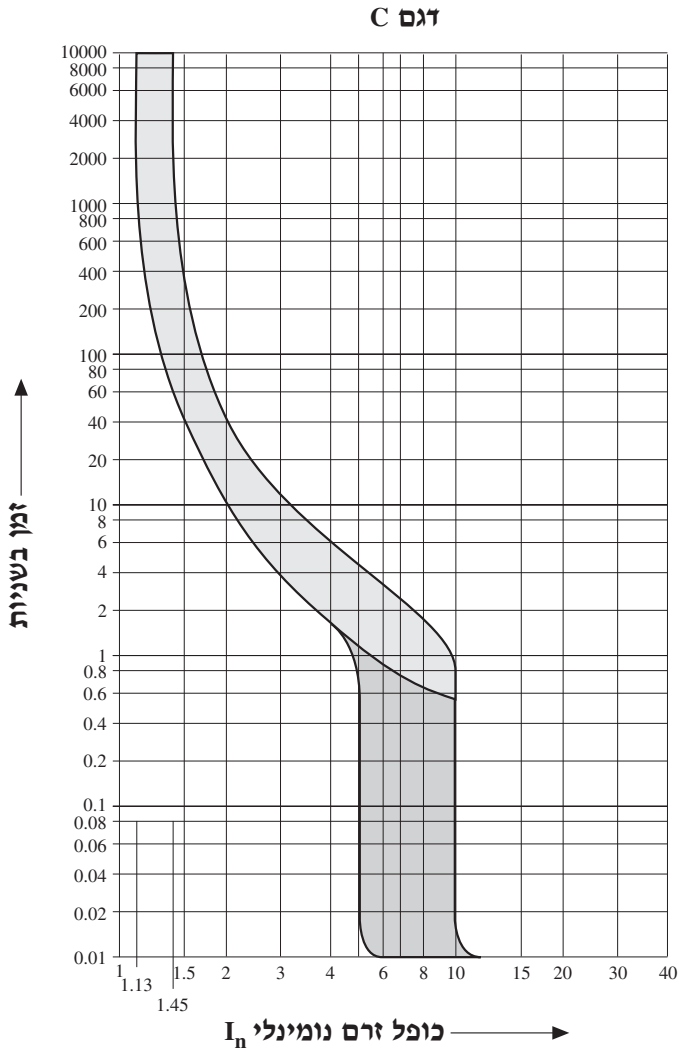
5. הגנה נגד התחשמלות בשיטת האיפוס

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!