

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 תרשימך 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 מִגְרֵב 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.

כתוב במחברת הבחינה בלבד, בעמודים נפרדים, כל מה שברצונך לכתוב כטייטה (ראשי פרקים, חישובים וכדומה).

רשום "טייטה" בראש כל עמוד טייטה. רישום טייטות כלשהן על דפים שמחוץ למחברת הבחינה עלול לגרום לפסילת הבחינה!

בשאלון זה 9 עמודים ו-17 עמודי נספחים.

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

בהצלחה!

המשך מעבר לדף

השאלות

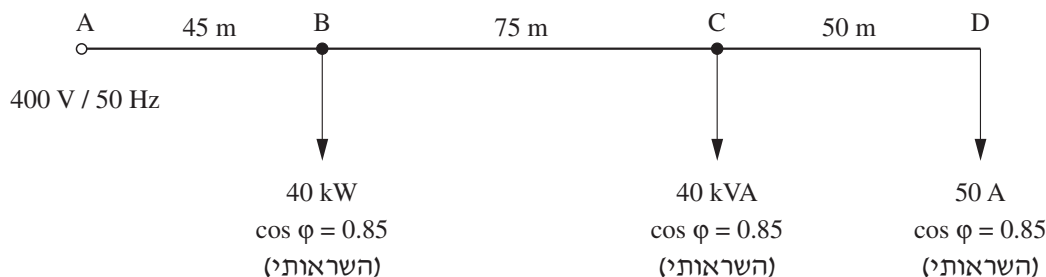
בשאלון זה שלושה פרקים, ובהם תשע שאלות. יש לענות על חמש שאלות בלבד:
שאלה אחת לפחות מן הפרק הראשון ושאלה אחת לפחות מן הפרק השני
(לכל שאלה – 20 נקודות, סך-הכול – 100 נקודות).

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

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

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

שאלה 2

א. (10 נק') גוף תאורה כולל נורה פלואורסצנטית ואביזרי עזר. הנורה, שהספקה 36 W, מוזנת במתח חד-מופעי

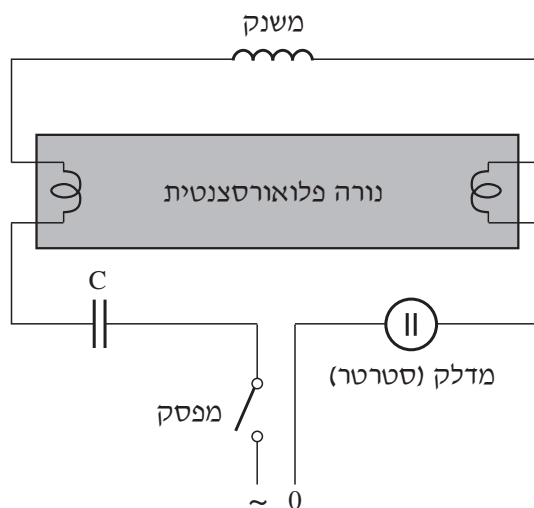
230 V / 50 Hz. מקדם ההספק הוא $\cos \varphi = 0.5$.

על-מנת לשפר את מקדם ההספק ל- $\cos \varphi = 0.95$ מוסיפים קבל C.

חשב את קיבול הקבל הנדרש לשם כך (ב- μF).

ב. (5 נק') 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. (5 נק') לוח חשמל תלת-מופעי מזין מנוע שהספקו הממשי P ומקדם ההספק שלו הוא $\cos \varphi = 0.8$.

מחברים ללוח החשמל, נוסף על המנוע, 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.

- (5 נק') א. מהי שיטת ההגנה המתוארת באיור? נמק את קביעתך.
- (5 נק') ב. סרטט על-גבי האיור שבנספח את מסלול לולאת התקלה כאשר מתרחש קצר בין המופע L_3 ובין גוף המנוע החשמלי.
- (5 נק') ג. ציין מה מייצגת כל אחת מן ההתנגדויות R_1 ו- R_2 .
- (5 נק') 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

(10 נק') 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

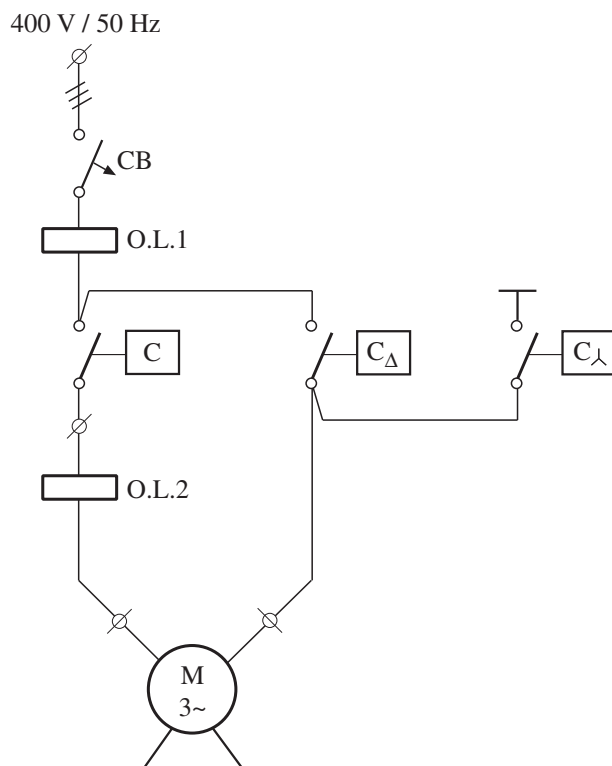
3. 400 / 690 V , 20 kW , 50 Hz

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

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

(10 נק') ב. באיור לשאלה 4 מתואר תרשים חיבורים חשמלי חד-קווי של מנוע השראה תלת-מופע לרשת 400 V / 50 Hz באמצעות מתנע כוכב-משולש.

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



איור לשאלה 4

1. (3 נק') חשב את הזרם הנקוב של המנוע.
2. (3 נק') קבע את גודל המבטח CB הנדרש להגנה על המנוע (היעזר בטבלה שבסעיף 4.3 בנוסחאון).
3. (4 נק') 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

נתוניו של שנאי חד-מופעי הם: 50 Hz , $200 / 50 \text{ V}$, 10 kVA .
להלן התוצאות שהתקבלו בניסויי ריקם וקצר שנערכו לשנאי הזה:

$$U_o = 200 \text{ V}, \quad I_o = 2.5 \text{ A}, \quad \cos \varphi_o = 0.2$$

$$U_{k\%} = 8\%, \quad I_k = 50 \text{ A}, \quad \cos \varphi_k = 0.3$$

- 10 נק' א. חשב את נצילות השנאי כאשר הוא מועמס בעומס של 7.5 kVA ובמקדם הספק של 0.8 .
10 נק' ב. חשב את הפרמטרים R_k ו- X_k של השנאי בקצר ואת הפרמטרים R_{Fe} ו- X_{Π} של השנאי בריקם.

שאלה 6

- 10 נק' א. מחולל לזרם ישר בעירור זר מפתח כא"מ של 300 V כאשר מהירות הסיבוב של צירו היא 1500 rpm .
המחולל עובד בתחום הליניארי של עקומת המיגנוט. חשב את הכא"מ שמפתח המחולל כאשר מהירות הסיבוב של צירו היא 1200 rpm .
5 נק' ב. מחולל אחר לזרם ישר בעירור זר מספק מתח של 200 V לצרכן שהתנגדותו 5Ω . מהירות הסיבוב של ציר המחולל היא 900 rpm והתנגדות סלילי הרוטור היא 0.5Ω . חשב את הכא"מ שמפתח המחולל כאשר מהירות הסיבוב של צירו יורדת ל- 700 rpm , אם ידוע שהוא עובד בתחום הליניארי של עקומת המיגנוט.
5 נק' ג. ציין שלוש סיבות לכישלון העירור העצמי בהפעלת מחולל לזרם ישר בעירור מקבילי.

שאלה 7

להלן נתוניו של מנוע לזרם ישר בעירור מקבילי:

$$U = 250 \text{ V} \quad ; \quad I_a = 50 \text{ A} \quad ; \quad n = 1100 \text{ rpm} \quad ; \quad R_a = 0.6 \Omega \quad ; \quad I_f = 2 \text{ A}$$

- (5 נק') א. חשב את הכא"מ המתפתח בסלילי הרוטור.
(5 נק') ב. חשב את ההספק החשמלי שצורך המנוע מהרשת.
(5 נק') ג. חשב את המומנט האלקטרומוגנטי של המנוע.
(5 נק') ד. חשב את הזרם ברוטור ברגע ההתנעה (לפני שציר המנוע מספיק להסתובב), כאשר למנוע לא חוברו נגדי התנעה.

שאלה 8

להלן נתוניו של מנוע השראה תלת-מופעי:

$$P_n = 30 \text{ kW} \quad ; \quad U = 400 \text{ V} \quad ; \quad n_n = 1450 \text{ rpm} \quad ; \quad f = 50 \text{ Hz} \quad ; \quad s_k = 0.16$$

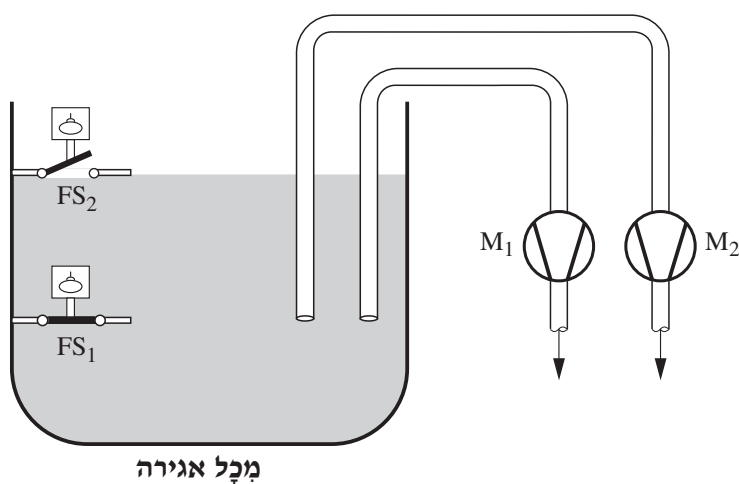
- (5 נק') א. חשב את המומנט הנקוב של המנוע.
(5 נק') ב. חשב את מקדם ההחלקה של המנוע.
(5 נק') ג. חשב את המומנט המרבי של המנוע.
(5 נק') ד. ציין שתי שיטות לשינוי מהירות הסיבוב של מנוע השראה תלת-מופעי.

פרק שלישי: בקרה ומערכות ממוחשבות

(לשאלה – 20 נקודות).

שאלה 9

באיור לשאלה 9 מתואר מְכָל לאגירת מי-גשמים, הניתן לריקון באמצעות שתי משאבות, M_1 ו- M_2 . הפעלת המשאבות מתבצעת בהתאם למצב המפסקים FS_1 (מפסק תחתון) ו- FS_2 (מפסק עליון).



איור לשאלה 9

מתקן השאיבה כולל גם:

- לחצן הפעלה (START) ולחצן עצירה (STOP).
- הגנה תרמית (O.L.) לכל אחת משתי המשאבות.
- חמש נוריות סימון:
- L_1 – דולקת כאשר משאבה M_1 בפעולה.
- L_2 – דולקת כאשר משאבה M_2 בפעולה.
- L_3 – דולקת כאשר מתקן השאיבה פועל.
- L_4 – דולקת כאשר יש תקלה במשאבה M_1 .
- L_5 – דולקת כאשר יש תקלה במשאבה M_2 .

שאיבת המים מהמכל מתבצעת באופן הבא:

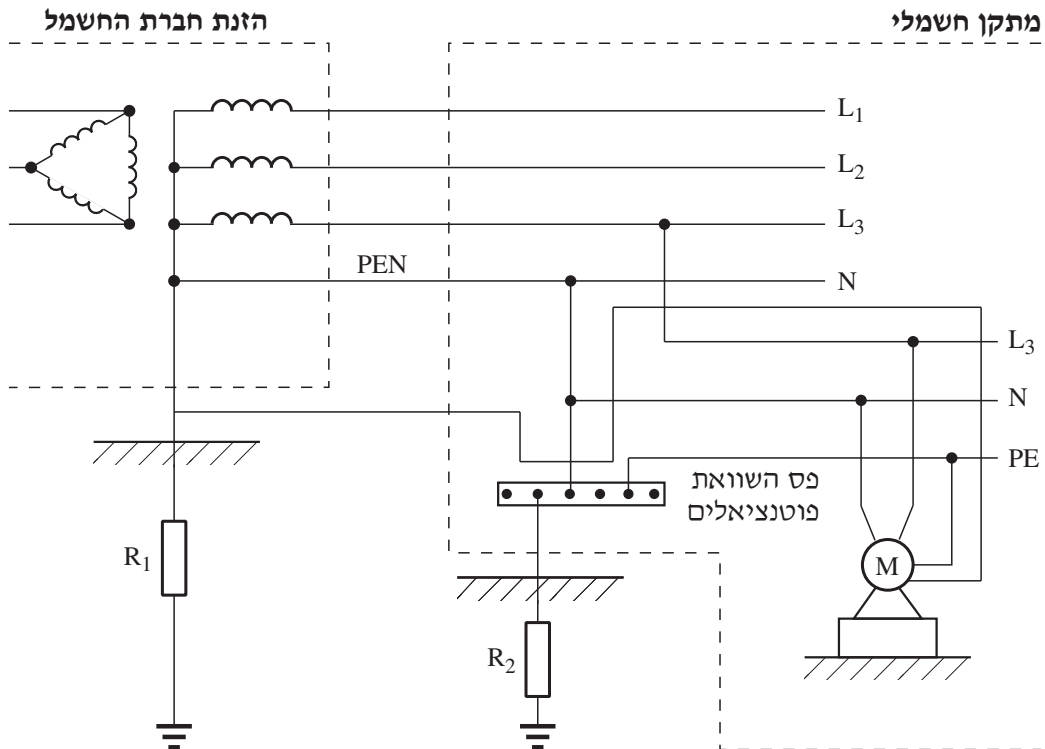
1. כאשר מפלס המים עולה מעל המפסק FS_2 – מופעלת המשאבה M_1 .
2. אם המפסק FS_2 לא נפתח במהלך חמש הדקות שלאחר הפעלת המשאבה M_1 – מופעלת גם המשאבה M_2 .

הפסקת פעולת המשאבות יכולה להתבצע בשלושה אופנים:

- I. שלוש דקות לאחר שמפלס המים ירד מתחת למפסק FS_1 .
- II. על-ידי כל אחת מההגנות התרמיות של המשאבות.
- III. על-ידי לחצן העצירה.

- (5 נק') א. הגדר את המבואות ואת המפעילים של מתקן השאיבה.
- (15 נק') ב. סרטט דיאגרמת סולם המתארת את פעולת שאיבת המים מהמכל.

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 אנרגייה

1. מכונות לזרם ישר

1.1 מתח מושרה

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

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

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

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	$[W]$	
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 מקבילים ברוטור	-	a		$P_{em} = EI_a$
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]

זרם סליל העירור - I_f [A]

זרם סליל הרוטור - I_a [A]

במנוע: $I = I_a + I_f$

בגנרטור: $I_a = I + I_f$

2. שנאי חד-מופעי

2.1 מתח מושרה בסליל

כא"מ מושרה בסליל הראשוני - E_1 [V]

כא"מ מושרה בסליל השניוני - E_2 [V]

שטף מרבי בגרעין - $\Phi_{\max}$ [Wb]

מספר הכריכות בסליל הראשוני - N_1

מספר הכריכות בסליל השניוני - N_2

תדירות - f [Hz]

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

שטח החתך של הגרעין - A [m²]

יחס השנאה - α

מתח בסליל הראשוני - U_1 [V]

מתח בסליל השניוני - U_2 [V]

זרם בסליל הראשוני - I_1 [A]

זרם בסליל השניוני - I_2 [A]

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

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

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

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

2.2 ניסוי קצר

יחס השנאה	- α
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]

$$R'_2 = R_2 \alpha^2$$

$$X'_2 = X_2 \alpha^2$$

$$R_k = R_1 + R'$$

$$X_k = X_1 + X'_2$$

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

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

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

2.3 ניסוי ריקם (במתח נקוב)

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

2.5 נצילות השנאי

הספק מדומה	-	$S \quad [VA]$	$\beta = \frac{S}{S_n}$
נצילות השנאי	-	η	
הספק המוצא	-	$P_2 \quad [W]$	
הפסדי נחושת	-	$\Delta P_{Cu} \quad [W]$	$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P_{Cu} + \Delta P_{Fe}}$
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	$[N \cdot m]$
הספק נקוב	-	P_n	$[W]$
מהירות זוויתית נקובה	-	ω_n	$\frac{rad}{sec}$
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	$[N \cdot m]$
מומנט קריטי	-	M_k	$[N \cdot m]$
מקדם החלקה קריטי	-	s_k	
מקדם החלקה במומנט נקוב	-	s_n	
היחס בין המומנט המרבי למומנט הנקוב של המנוע	-	λ_{max}	

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

נוסחת קלוס
(נוסחה מקורבת):

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

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

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

התנגדות סלילי הסטטור (למופע)	-	R_1	$[\Omega]$
התנגדות סלילי הרוטור, המשוקפת לסטטור (למופע)	-	R'_2	$[\Omega]$
היגב השראותי כללי (למופע)	-	X_T	$[\Omega]$
היגב השראותי של סלילי הסטטור (למופע)	-	X_1	$[\Omega]$
היגב השראותי של סלילי הרוטור, המשוקף לסטטור (למופע)	-	X'_2	$[\Omega]$

$$X_T = X_1 + X'_2$$

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	-	$\cos \varphi_o$

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

$$f_2 = s f_1$$

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

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

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

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

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

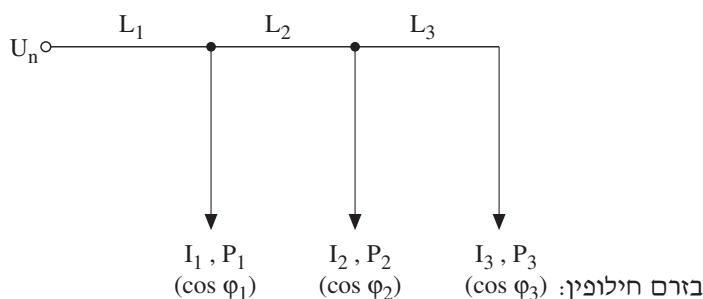
**התנעה
בכוכב-משולש:**

ב. מערכות הספק

1. מוליכות סגולית של מוליכים

חמרון	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

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

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

$$\cos \varphi_1 = \cos \varphi_2 = \cos \varphi_3 : \text{כאשר}$$

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

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

- מפל המתח - ΔU [V]
- מוליכות סגולית - γ [m / Ω mm²]
- 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 - $\cos \varphi_n$

2.3 במתח חילופין תלת-מופעי

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

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

$$\cos \varphi_1 = \cos \varphi_2 = \cos \varphi_3 : \text{כאשר}$$

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

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

3. שיפור מקדם ההספק

הספק ריאקטיבי של הצרכן	-	Q	[kVAr]	$Q = P \operatorname{tg} \varphi$
הספק אקטיבי של הצרכן	-	P	[kW]	$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$
זווית בין הזרם והמתח של הצרכן	-	φ	[°]	
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]	$Q_{c1} = \frac{Q_c}{3}$
קיבול הקבל הנדרש (במופע אחד)	-	C	[μF]	
מתח על הקבל	-	U	[V]	$C = \frac{Q_{c1} \cdot 10^9}{U^2 \omega}$
מהירות זוויתית	-	ω	$\frac{\text{rad}}{\text{sec}}$	
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_n [A] - הזרם הנומינלי של המבטח או הזרם שאליו הוא כוונן
 I_z [A] - הזרם המתמיד המרבי של המוליך

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

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

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

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

(1) התקנה בשכבה אחת:

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

(2) התקנה בשכבות אחדות או במקובץ:

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

4.6 כבלים טמונים במישרין באדמה עם כיסוי מגן

מוליכים מנחשת – בידוד 90°C

כבל רב-גידוי במעגל חד-מופעי			כבל רב-גידוי 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 (°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

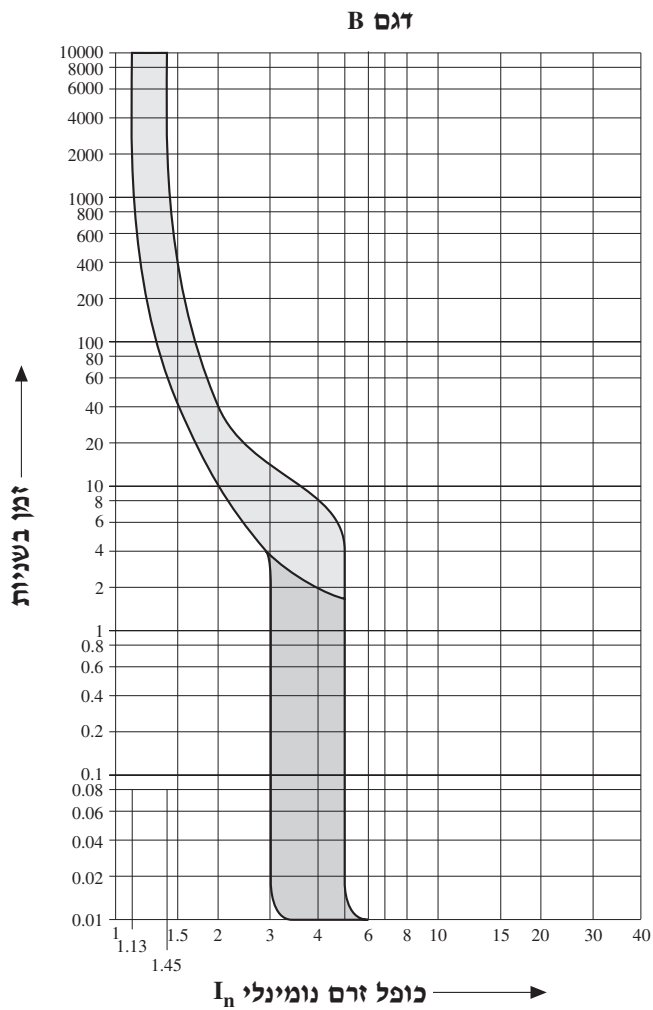
מספר המעגלים			מקדם תיקון
4	3	2	
0.59	0.66	0.78	מעגלים צמודים
0.67	0.72	0.83	מעגלים שהמרחק המזערי בין המעטים שלהם 7 ס"מ

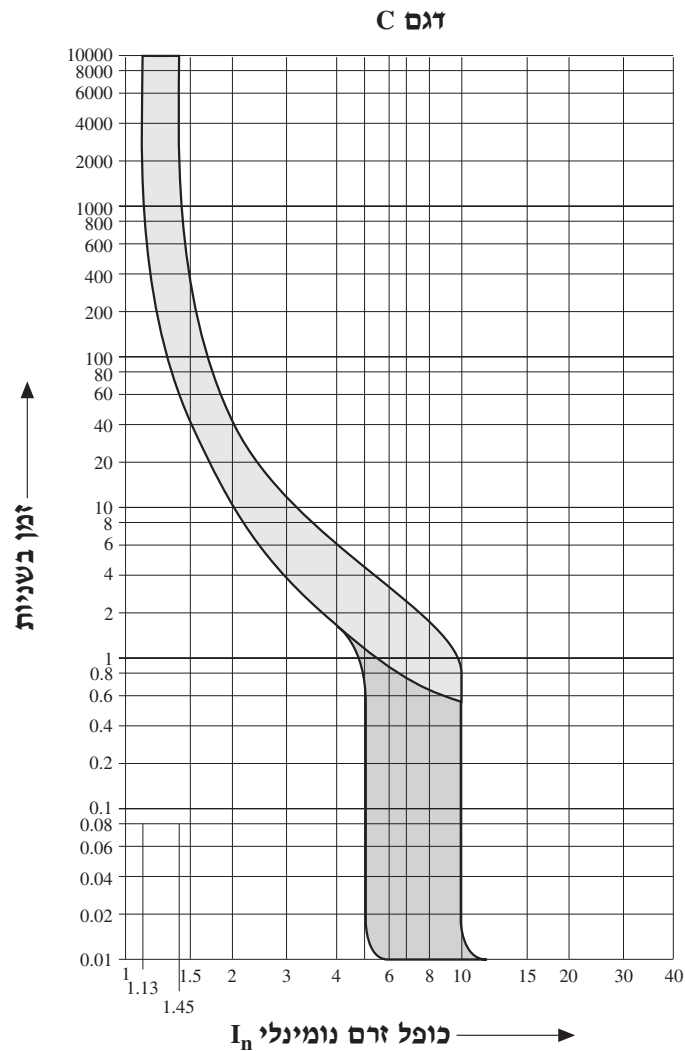
5. הגנה נגד התחשמלות בשיטת האיפוס

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	עכבה מרבית	זרם-קצר מזערי
I_n [A]	Z_1 [Ω]	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!