

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:

- 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 בבהירות.
- 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-17 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).

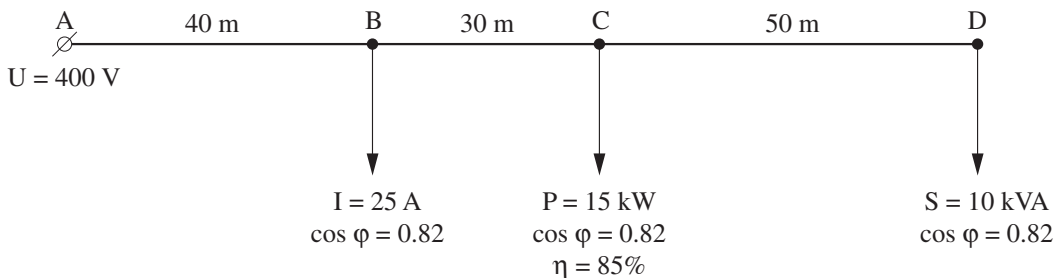
פרק ראשון: מערכות הספק

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 מחמורן $\left(\gamma = 35 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2} \right)$.



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 4%.
- ג. קבע את שטח החתך התקני (המסחרי) של מוליכי הרשת, וחשב את המתח בנקודה C.

שאלה 2

א. בנספח לשאלה 2 נתון תרשים הזנה **חלקי** למתקן הכולל צרכן חד-מופעי ומנוע תלת-מופעי. השלם את תרשים ההזנה, כך שהמתקן יהיה מוגן מפני התחשמלות בשיטת האיפוס TN-C-S. ציין בתרשים את שמות המרכיבים שהוספת.

הערה: הדבק את מדבקת הנבחן במקום המיועד לכך בנספח, והדק אותו למחברת הבחינה.

- ב. בלוח חשמל דירתי מותקן מפסק חצי אוטומטי זעיר $1 \times 40 \text{ A}$ בעל אופיין מדגם B.
1. קבע את עכבת לולאת התקלה, הנדרשת כדי שהמא"ז יגיב כנדרש כאשר מתרחש קצר חד-מופעי בלוח החשמל.
 2. היעזר באופיין של המא"ז, הנתון בנוסחאון, וקבע תוך כמה זמן המא"ז ינתק את המעגל החשמלי כאשר מתרחש הקצר.

שאלה 3

בלוח חשמל תלת-מופעי של מתקן תעשייתי נמדדו הערכים שלהלן:

$$P = 25 \text{ kW} ; U = 400 \text{ V} ; I = 50 \text{ A} ; f = 50 \text{ Hz}$$

- א. חשב את ההספק של סוללת הקבלים שיש לחבר בלוח החשמל, כדי לשפר את מקדם ההספק של המתקן לערך הנדרש על-ידי חברת החשמל.
- ב. לאחר שיפור מקדם ההספק הוחלט לחבר עומס התנגדותי נוסף (תנור) שהספקו 6 kW . חשב את מקדם ההספק של המתקן לאחר חיבור התנור.
- ג. הצג באמצעות משולש ההספקים את השינוי שחל בהספק המדומה של המתקן:
1. לאחר חיבור סוללת הקבלים.
 2. לאחר חיבור התנור.

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

א. נתוניו של מנוע השראה **תלת־מופעי**, המוזן מרשת $400 \text{ V} / 50 \text{ Hz}$ הם:

$$P_n = 50 \text{ kW} ; \quad n_s = 1000 \text{ r.p.m.} ; \quad 2p = 6 ; \quad s = 0.02$$

ההפסדים המכניים במנוע הם $P_{\text{mech}} = 2 \text{ kW}$.

1. חשב את המהירות הזוויתית של השדה המגנטי המסתובב.
 2. חשב את המומנט על ציר המנוע.
 3. חשב את ההספק הכולל של המנוע.
- ב. האם במנוע השראה **חד־מופעי** נוצר שדה מגנטי מסתובב? נמק את תשובתך.
2. ציין שתי שיטות להתנעת מנוע השראה חד־מופעי.
 3. ציין יתרון אחד וחיסרון אחד של מנוע השראה חד־מופעי לעומת מנוע השראה תלת־מופעי.

שאלה 7

נתוניו הנקובים של מנוע לזרם ישר בעירור טורי הם:

$$P = 10 \text{ kW} ; \quad U = 300 \text{ V} ; \quad n = 1500 \text{ r.p.m.} ; \quad \eta = 82\%$$

ההתנגדות הכוללת של סליל הרוטור וסליל העירור היא 0.5Ω .

- א. חשב את הזרם במנוע.
- ב. חשב את המומנט הנקוב של המנוע.
- ג. נתון כי הזרם במנוע הוא 30 A .
1. חשב את הכא"מ המושרה ברוטור במקרה הזה.
 2. הנח כי אופיין המיגנוט של המנוע הוא ליניארי, וחשב את מהירות הסיבוב של המנוע במקרה הזה.

שאלה 8

נתונים הנקובים של שנאי חד-מופעי הם:

$$4 \text{ kVA} ; 400 / 230 \text{ V} ; \Delta P_{\text{Fe}} = 30 \text{ W} ; \eta = 94\%$$

א. חשב את הפסדי הנחשת בשנאי כאשר הוא מועמס בהספק של 4 kVA במקדם הספק של 0.8 (השראותי).

ב. השנאי מועמס בעומס התנגדותי וגורם ההעמסה שלו הוא 0.6. חשב את נצילות השנאי במקרה הזה.

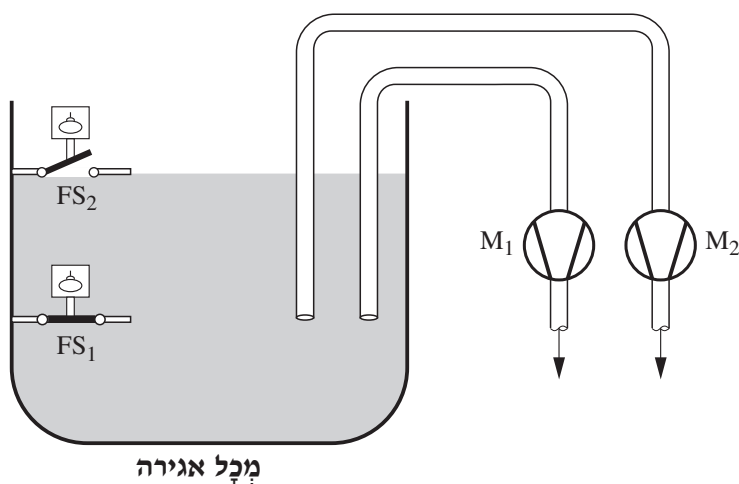
ג. מדוע אין לחבר את הסליל הראשוני של השנאי למתח הגבוה מהמתח הנקוב?

פרק שלישי: בקרה ומערכות ממוחשבות

(לשאלה – 20 נקודות).

שאלה 9

באיור לשאלה 9 מתואר מִקְּל 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 בנוסף:

- 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 בנוסף גם המשאבה M_2 .

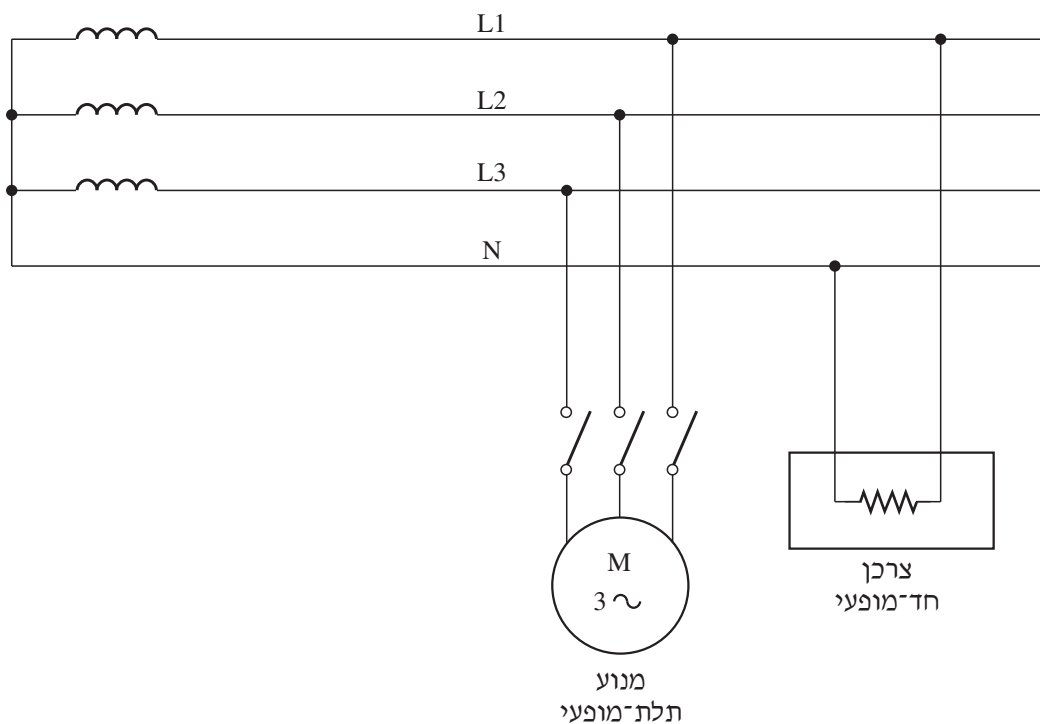
הפסקת פעולת המשאבות יכולה להתבצע בשלושה אופנים:

- 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.

א. הגדר את המבואות ואת המפעילים של מתקן השאיבה.

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 אנרגיה

1. מכונות לזרם ישר

1.1 מתח מושרה

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

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

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

– 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	$[W]$	$\omega = 2\pi \frac{n}{60}$
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

- [A] I - הזרם הנצרך/המסופק
[A] I_f - זרם סליל העירור
[A] I_a - זרם סליל הרוטור

$$I = I_a + I_f \quad \text{במנוע:}$$

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

2. שנאי חד-מופעי

2.1 מתח מושרה בסליל

- [V] E₁ - כא"מ מושרה בסליל הראשוני

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

- [V] E₂ - כא"מ מושרה בסליל השניוני

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

- [Wb] Φ_{max} - שטף מרבי בגרעין

- N₁ - מספר הכריכות בסליל הראשוני

- N₂ - מספר הכריכות בסליל השניוני

- [Hz] f - תדירות

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

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

- [m²] A - שטח החתך של הגרעין

- a - יחס השנאה

- [V] U₁ - מתח בסליל הראשוני

- [V] U₂ - מתח בסליל השניוני

- [A] I₁ - זרם בסליל הראשוני

- [A] I₂ - זרם בסליל השניוני

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

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]

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]

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

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

3. 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]

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

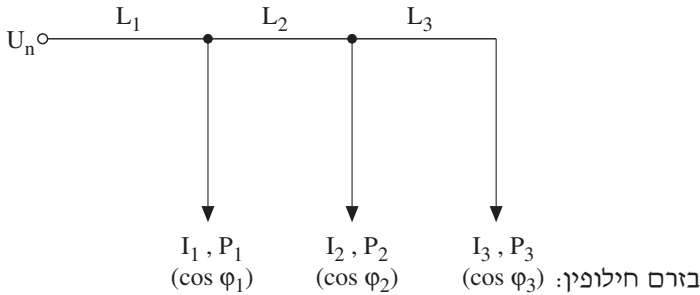
**התנעה
בכוכב-משולש:**

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 $[m / \Omega mm^2]$	$\Delta U = \frac{2}{\gamma A} [L_1 (I_1 + I_2 + I_3) + L_2 (I_2 + I_3) + L_3 I_3]$ $= \frac{2}{\gamma A} [I_1 L_1 + I_2 (L_1 + L_2) + I_3 (L_1 + L_2 + L_3)]$
שטח חתך המוליך	– A $[mm^2]$	
הפסדי הספק	– ΔP [W]	$\Delta P = \frac{2}{\gamma A} [L_1 (I_1 + I_2 + I_3)^2 + L_2 (I_2 + I_3)^2 + L_3 I_3^2]$
זרם של צרכן n	– I_n [A]	
מתח נומינלי של הרשת	– U_n [V]	$I_n = \frac{P_n}{U_n}$

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 צרכן n - $\bar{I}_n$ [A]

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

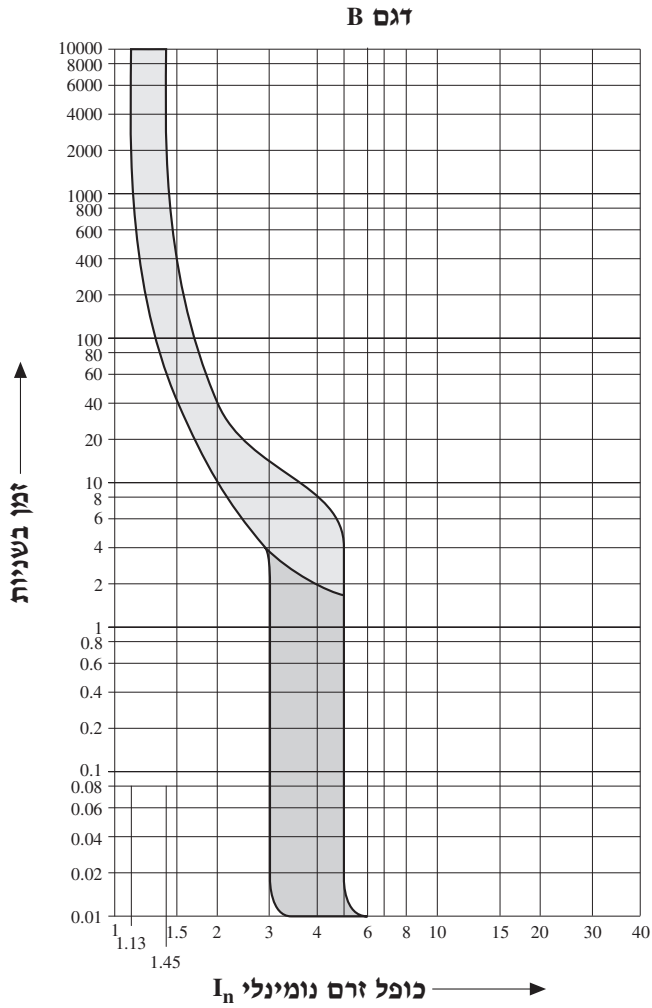
המשך בעמוד 14

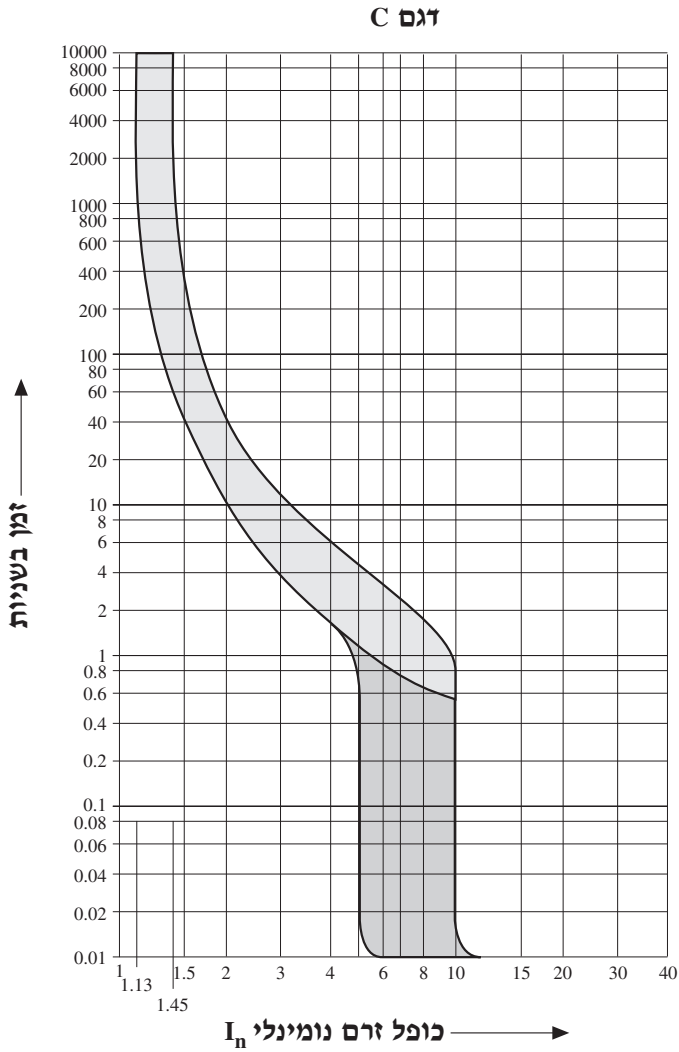
5. הגנה נגד התחשמלות בשיטת האיפוס

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!