

מערכות הספק ומכונות חשמל והינע ט'

למתמחים במערכות הספק, פיקוד ובקרה במגמת הנדסת חשמל, בקרה ואנרגיה

(כיתה י"ג)

הוראות לנבחנים

א. משך הבחינה: ארבע שעות ו-45 דקות.

ב. מבנה השאלון ומפתח ההערכה: בשאלון זה תשע שאלות.

עליכם להשיב על ארבע שאלות בלבד.

לכל שאלה - 25 נקודות, סך-הכול - 100 נקודות.

ג. חומר עזר מותר בשימוש:

1. מותר להשתמש בכל חומר הכתוב (בכתב יד או בהדפסה) על שלושה דפי A4, הכתובים משני הצדדים.

2. מחשבון.

ד. הוראות מיוחדות:

1. ענו על מספר השאלות הנדרש בשאלון. המעריך יקרא ויעריך את מספר התשובות הנדרש בלבד, לפי סדר כתיבתן במחברת, ולא יתייחס לתשובות נוספות.

2. התחילו כל תשובה לשאלה חדשה בעמוד חדש.

3. כתבו את כל התשובות אך ורק בעט.

4. הקפידו לנסח את התשובות כהלכה ולסרטט את התרשימים בבהירות.

5. כתבו את התשובות בכתב-יד ברור, כדי לאפשר הערכה נאותה שלהן.

6. בכל שאלה ניתנו הנתונים לפתרונה. אם לדעתכם חסר נתון, הוסיפו אותו על-פי שיקול דעתכם ופתרו בעזרתו את השאלה. כתבו בתשובה את הנתון שהוספתם.

7. בכתבת פתרונות חישוביים, קבלת מֶרֶב הנקודות מותנית בהשלמת כל המהלכים שלהן, בסדר שבו הם כתובים:

* כתיבת הנוסחה המתאימה.

* הצבה של כל הערכים ביחידות המתאימות.

* חישוב (אפשר באמצעות מחשבון).

* כתיבת התוצאה המתקבלת, יחד עם יחידות המידה המתאימות.

* ליווי הפתרון החישובי בהסבר קצר.

8. בנספח ד' לשאלון מובא מילון מונחים בשפות עברית, אנגלית, רוסית וערבית. תוכלו להיעזר בו בעת הצורך.

9. צרפו את שלושת דפי ה-A4 למחברת הבחינה.

הוראות למשגיחים: יש לוודא כי הנבחנים צירפו את דפי ה-A4 ואת נספח א' למחברת הבחינה.

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

כתבו "טייטה" בראש כל עמוד טייטה. כתיבת טייטות כלשהן על דפים שמחוץ למחברת הבחינה עלולה לגרום לפסילת הבחינה!

בשאלון זה 8 עמודים ו-34 עמודי נספחים.

השאלות בשאלון זה מנוסחות בלשון רבים,

אף על פי כן על כל תלמידה וכל תלמיד להשיב עליהן באופן אישי.

בהצלחה!

המשך מעבר לדף

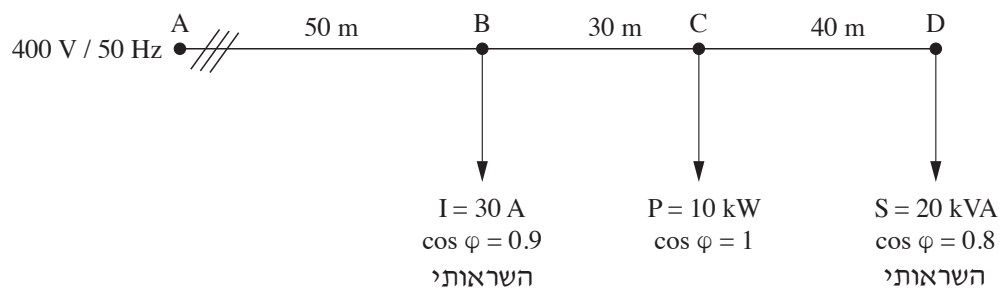
השאלות

ענו על ארבע מבין השאלות 1-9 (לכל שאלה – 25 נקודות).

מערכות הספק א'

שאלה 1

באיור לשאלה 1 מתוארת רשת תלת-מופעית $400\text{ V} / 50\text{ Hz}$ המוזנת בנקודה A. מוליכי הרשת עשויים מנחושת $\left[\frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2} \right]$ $\gamma = 57$, וההיגב ההשראותי ליחידת אורך זניח.



איור לשאלה 1

- א. (8 נק') חשבו את הזרם הזורם בכל אחד מקטעי הרשת. כתבו את התשובה בהצגה מרוכבת.
- הערה: זרמי הצרכנים יחושבו לפי מתח נקוב של 400 V .
- ב. (5 נק') חשבו את ההספק המדומה, S , המסופק לרשת.
- ג. (7 נק') חשבו את שטח החתך האחיד של הרשת, כך שמפל המתח לא יעלה על 2% .
- ד. (5 נק') חשבו את המתח בנקודה D.

שאלה 2

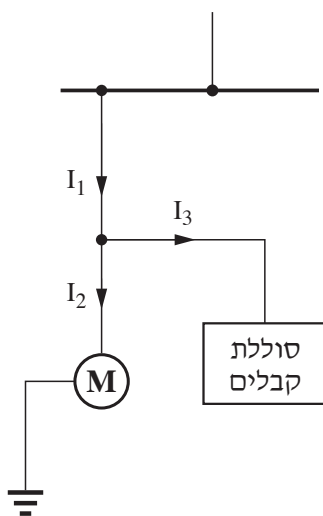
להלן נתוניו של מנוע השראה אסינכרוני תלת-מופעי:

$$P = 100 \text{ HP} \ (1 \text{ HP} = 736 \text{ W}) ; U = 400 \text{ V} ; f = 50 \text{ Hz} ; \cos \varphi = 0.8 ; \eta = 0.85$$

(10 נק') א. חשבו את ההספק הנדרש של סוללת הקבלים כדי לשפר את מקדם ההספק לערך הנדרש על-ידי חברת החשמל.

(10 נק') ב. חשבו את ערכו של כל קבל כאשר הסוללה מחוברת במשולש.

חיברו את סוללת הקבלים שאת ההספק שלה חישבתם בתשובה לסעיף א', כפי שמתואר באיור לשאלה 2.

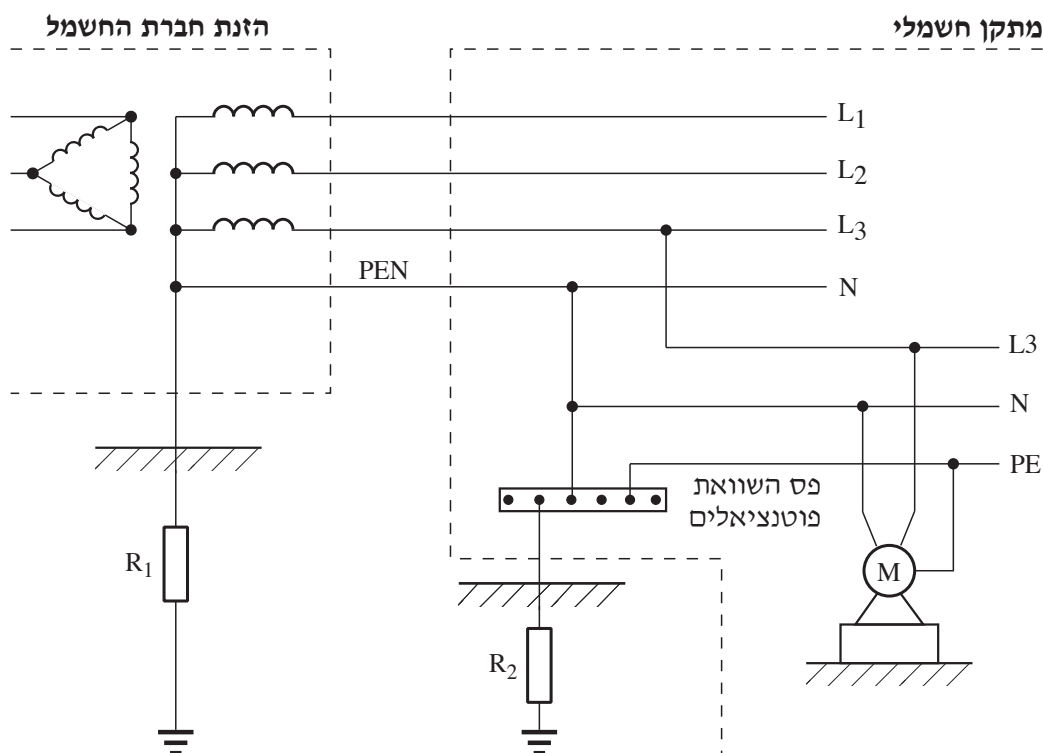


איור לשאלה 2

(5 נק') ג. חשבו את הזרמים I_1 , I_2 ו- I_3 .

שאלה 3

באיור לשאלה 3 נתונה מערכת הזנה למתקן חשמלי.

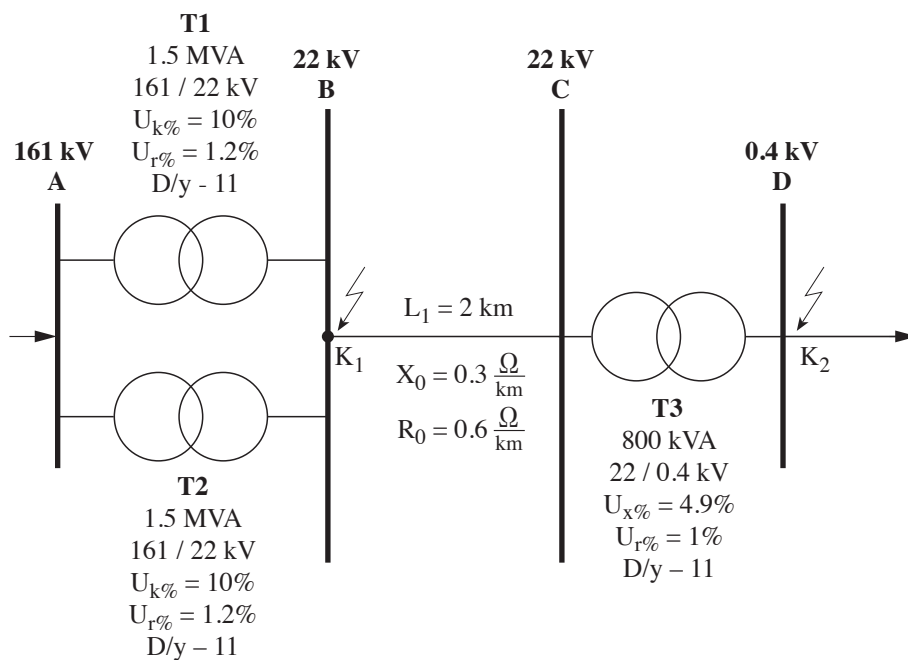


איור לשאלה 3

- א. (4 נק') מהי שיטת ההגנה המתוארת באיור? נמקו את התשובה.
- ב. (8 נק') מתרחש קצר בין המופע L_3 ובין גוף המנוע החשמלי. סרטטו על-גבי האיור שבנספח א' את מסלול לולאת התקלה.
- ג. (8 נק') ציינו מה מייצגת כל אחת מן ההתנגדויות R_1 ו- R_2 .
- ד. (5 נק') קו ה-PEN מתנתק עקב תקלה. האם יכולה להתקיים לולאת תקלה במקרה כזה? נמקו את התשובה.

שאלה 4

באיור לשאלה 4 נתונה רשת תלת־מופעית המוזנת בפסי־הצבירה A ממקור הספק קשיח, שהספק הקצר שלו אינסופי.



איור לשאלה 4

- א. (10 נק') קצר תלת־מופעית מתרחש בנקודה K_1 . חשבו את זרם הקצר בפסי־הצבירה B.
- ב. (8 נק') קצר תלת־מופעית מתרחש בנקודה K_2 . חשבו את זרם הקצר בפסי־הצבירה D.
- ג. (7 נק') חשבו את זרם ההלם התלת־מופעית בפסי־הצבירה D.

המרת אנרגייה א'

שאלה 5

נתוניו הנקובים של שנאי תלת-מופעי הם:

$$S_n = 630 \text{ kVA} ; U_{1n} = 22 \text{ kV} ; U_{2n} = 400 \text{ V} ; Dy - 11$$

בניסוי בקצר ובניסוי בריקס, שבוצעו בהזנת השנאי מצד המתח הגבוה, התקבלו התוצאות הבאות:

$$U_{Ik\%} = 4.5\% ; I_{Ik} = I_{1n} ; \cos\varphi_k = 0.19 \quad \text{בניסוי בקצר:}$$

$$U_{10} = U_{1n} ; I_{10} = 0.165 \text{ A} ; \cos\varphi_0 = 0.15 \quad \text{בניסוי בריקס:}$$

השנאי מוזן במתח נקוב.

(16 נק') א. חשבו את ערכי פרמטרי הקצר ואת ערכי פרמטרי הריקס של מעגל תמורה מסוג Γ מצד המתח הגבוה.

$$(R_k ; X_k ; R_{fe} ; X_\mu)$$

(9 נק') ב. חשבו את מתח המוצא השלוב בהדקי השנאי כאשר השנאי מועמס בעומס של 400 kVA ובמקדם הספק של

$$\cos\varphi = 0.87 \text{ (השראות).}$$

שאלה 6

נתוניו הנקובים של מנוע לזרם ישר בעירור מקבילי הם:

$$P_n = 14 \text{ kW} ; U_n = 200 \text{ V} ; \eta_n\% = 80\% ; R_a = 0.3 \Omega ; R_e = 80 \Omega ; n_n = 1250 \text{ rpm}$$

המנוע פועל בתחום הליניארי של עקום המגנט. תגובת העוגן ומפל המתח על הפחמים זניחים.

(14 נק') א. חשבו את ההפסדים המכניים והפסדי הברזל יחד.

(11 נק') ב. חשבו את איבודי המומנט בריקס.

שאלה 7

נתוניו הנקובים של מנוע השראה תלת-מופעי הם:

$$P_n = 15 \text{ kW} ; U_n = 400 \text{ V} ; f = 50 \text{ Hz} ; \cos\varphi_n = 0.85 ; \eta_n\% = 91.2\% ; n_n = 1455 \text{ rpm} ; \lambda_{\max} = 2.5 ; \Delta P_{\text{mech}} + \Delta P_{\text{add}} = 400 \text{ W}$$

המנוע פועל בעומס נקוב.

(8 נק') א. חשבו את הפסדי הנחשת הנקובים ברוטור.

(12 נק') ב.

1. חשבו את המומנט הקריטי.

2. חשבו את גורם החליקה במומנט הקריטי.

3. חשבו את מומנט ההתנעה בהתנעה ישירה.

(5 נק') ג. האם ניתן להתניע את המנוע הנתון בהתנעה ישירה בעומס נקוב? נמקו את התשובה.

מערכות פיקוד ממוחשבות ובקרים בני־תכנות

שאלה 8

מערכת להתנעת מנוע בשיטת Y / Δ כוללת לוח הפעלה וחיווי, שמרכיביו הם: לחצן הפעלה (b1), לחצן הפסקה (b2), נורית סימון ירוקה (GL) ונורית סימון כחולה (BL). להלן הפעולות שמבצעת מערכת ההתנעה:

1. הדלקת המנוע בחיבור כוכב.
 2. הדלקת נורית סימון ירוקה למשך 8 שניות.
 3. העברת המנוע להזנה בחיבור משולש, כיבוי נורית הסימון הירוקה והדלקת נורית סימון כחולה.
- (15 נק') א. תארו באמצעות דיאגרמת סולם או באמצעות מגענים את תוכנית הפיקוד להפעלת המערכת. על התוכנית לכלול הגנה תרמית (O.L.) של המנוע.
- (10 נק') ב. סרטטו מעגל כוח להפעלת המנוע בחיבור כוכב / משולש.

שאלה 9

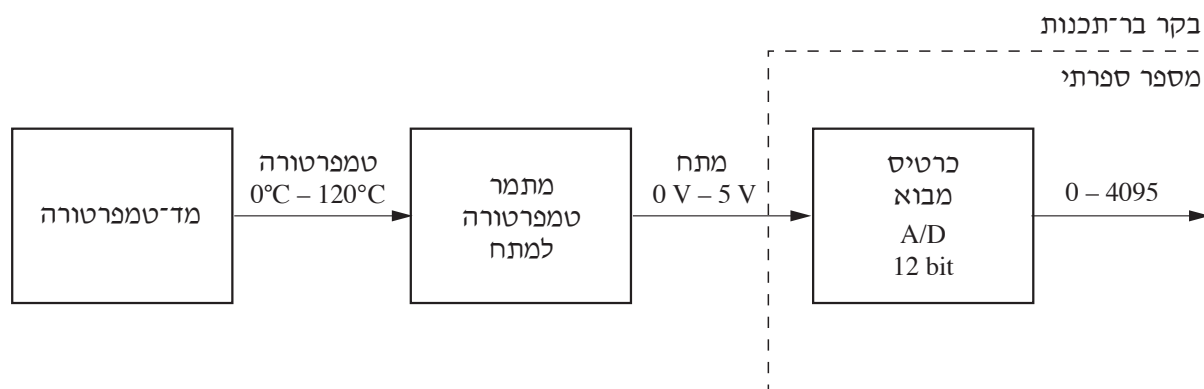
מסור חשמלי מופעל באמצעות שני לחצני הפעלה START1 ו-START2 ומופסק באמצעות לחצן הפסקה STOP. תכננו מערכת פיקוד באמצעות בקר בר־תכנות, שתאפשר את הפעלת המסור כאשר לוחצים על שני לחצני ההפעלה בו זמנית, ואת הפסקתו בעזרת הלחצן STOP. כאשר המסור בפעולה, נורית כתומה דולקת.

(18 נק') א.

6) (נק') 1. הגדירו את המבואות ואת המוצאים של הבקר.

12) (נק') 2. תארו באמצעות דיאגרמת סולם את תוכנית הפיקוד של המערכת. בתוכנית יש לכלול הגנה תרמית (O.L.) של המנוע.

7) (נק') ב. באיור לשאלה 9 מתואר תרשים עקרוני של חיבור מד־טמפרטורה ליניארי למבוא התקבילי של בקר בר־תכנות. מתמר הטמפרטורה, המחובר למד־הטמפרטורה, מפיץ מתח בתחום $5\text{ V} \div 0\text{ V}$ עבור טמפרטורה שנמצאת בטווח $120^\circ\text{C} \div 0^\circ\text{C}$.



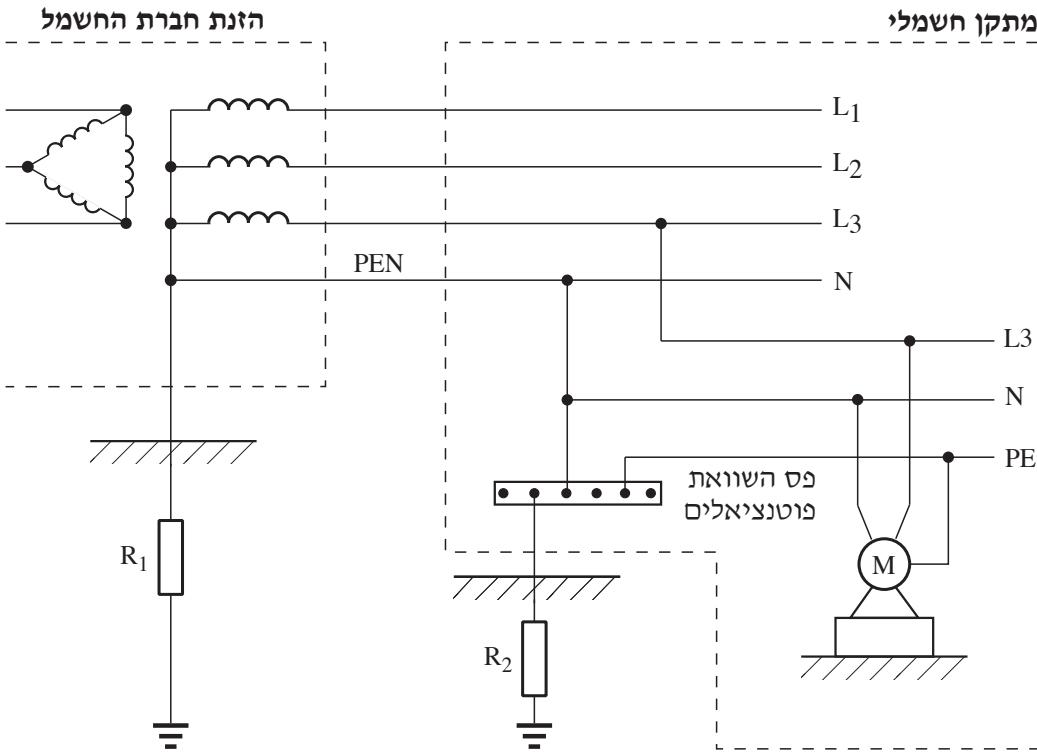
איור לשאלה 9

מד־הטמפרטורה מדד טמפרטורה של 90°C .

3) (נק') 1. חשבו את המתח במוצא המתמר.

4) (נק') 2. חשבו את הערך הספרתי (בייצוג עשרוני) במוצא של יחידת ה-A/D של הבקר.

בהצלחה!



הערה: הדביקו את מדבקת הנבחן במקום המיועד לכך בנספח, והדקו אותו למחברת הבחינה.

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

נוסחאון במערכות הספק לכיתה י"ג

(15 עמודים)

1. מפלי מתח

מתח ישר

ΔU [V]	–	מפל מתח מרבי
γ [m/ Ω mm ²]	–	מוליכות סגולית של המוליכים
A [mm ²]	–	שטח חתך של המוליכים
I_k [A]	–	זרם בקטע k
L_k [m]	–	אורך של קטע k
ΔP [W]	–	הפסדי הספק מרביים

$$\Delta U = \frac{2}{\gamma A} \sum_{k=1}^{k=n} (I_k L_k)$$
$$\Delta P = \frac{2}{\gamma A} \sum_{k=1}^{k=n} (I_k^2 L_k)$$

מתח חילופין חד-מופעי

ΔU [V]	–	מפל מתח מרבי
ΔU_a [V]	–	מפל מתח מרבי ממשי
ΔU_r [V]	–	מפל מתח מרבי היגבי
X_o [Ω /m]	–	היגב הקו ליחידת אורך עבור מוליך אחד
I_k [A]	–	זרם בקטע k
L_k [m]	–	אורך של קטע k
φ_k	–	הזווית בין מתח לזרם בקטע k
c [m/ Ω mm ²]	–	מוליכות סגולית של המוליכים
A [mm ²]	–	שטח חתך של המוליכים
ΔP [W]	–	הפסדי הספק מרביים
I_a [A]	–	זרם ממשי בקטע k
I_r [A]	–	זרם היגבי בקטע k

$$\Delta U = \Delta U_a + \Delta U_r$$
$$\Delta U_r = 2 X_o \sum_{k=1}^{k=n} I_k L_k \sin \varphi_k$$
$$\Delta U_a = \frac{2}{\gamma A} \sum_{k=1}^{k=n} (I_k L_k \cos \varphi_k)$$
$$\Delta P = \frac{2}{\gamma A} \sum_{k=1}^{k=n} (I_k^2 L_k) =$$
$$= \frac{2}{\gamma A} \sum_{k=1}^{k=n} (I_a^2 + I_r^2)_k \cdot L_k$$
$$I_a = I \cos \varphi$$
$$I_r = I \sin \varphi$$
$$I = \sqrt{I_a^2 + I_r^2}$$
$$\bar{I} = I_a + jI_r = I \angle \varphi_k$$

מתח חילופין תלת-מופעי

ΔU [V]	-	מפל מתח מרבי
ΔU_a [V]	-	מפל מתח מרבי ממשי
ΔU_r [V]	-	מפל מתח מרבי היגבי
X_o [Ω/m]	-	היגב הקו ליחידת אורך עבור מוליך אחד
I_k [A]	-	זרם בקטע k
L_k [m]	-	אורך של קטע k
φ_k	-	הזווית בין מתח לזרם בקטע k
γ [$m/\Omega mm^2$]	-	מוליכות סגולית של המוליכים
A [mm^2]	-	שטח חתך של המוליכים
ΔP [W]	-	הפסדי הספק מרביים
I_a [A]	-	זרם ממשי בקטע k
I_r [A]	-	זרם היגבי בקטע k

$\Delta U = \Delta U_a + \Delta U_r$
$\Delta U_r = \sqrt{3} X_o \sum_{k=1}^{k=n} (I_k L_k \sin \varphi_k)$
$\Delta U_a = \frac{\sqrt{3}}{\gamma A} \sum_{k=1}^{k=n} (I_k L_k \cos \varphi_k)$
$\Delta P = \frac{3}{\gamma A} \sum_{k=1}^{k=n} (I_k^2 L_k) =$ $= \frac{3}{\gamma A} \sum_{k=1}^{k=n} (I_a^2 + I_r^2)_k \cdot L_k$
$I_a = I \cos \varphi$ $I_r = I \sin \varphi$
$I = \sqrt{I_a^2 + I_r^2}$
$\bar{I} = I_a + jI_r = I \angle \varphi_k$

חומרים		
חומר	נחשת	
γ	57	35
g	8.9	2.7

γ [$m/\Omega mm^2$]	-	המוליכות הסגולית
g [g/cm^3]	-	המשקל הסגולי

2. התחממות של מוליכים וכבלים

$$I'_{T1} = I_{T1} \sqrt{\frac{T_2 - T'_1}{T_2 - T_1}}$$

T_1 [$^{\circ}C$]	-	טמפרטורת הסביבה בטבלת ההעמסה
T'_1 [$^{\circ}C$]	-	טמפרטורת הסביבה האמיתית
T_2 [$^{\circ}C$]	-	הטמפרטורה המרבית המותרת
I_{T1} [A]	-	הזרם המותר למוליך בטמפרטורת הסביבה על-פי הטבלה
I'_{T1} [A]	-	הזרם המותר למוליך בטמפרטורת הסביבה האמיתית
c	-	מקדם תיקון לעבודה מחזורית (זמן המחזור עד 10 דקות)
I_n [A]	-	הזרם המותר בעבודה קבועה
I [A]	-	הזרם המותר בעבודה מחזורית
t_w [min]	-	זמן עבודה
t [min]	-	זמן המחזור

$I = c \cdot I_n$
$c = \frac{0.875}{\sqrt{\frac{t}{t_w}}}$

2.1 כבלים מותקנים בתעלה רחבה, על מגש מחורר או צמודים לקיר – בידוד 90°C
במעגל תלת־מופעי

מוליכים מאלומיניום		מוליכים מנחושת	
זרם מתמיד מרבי I_z (אמפר)	חתך S (ממ"ר)	זרם מתמיד מרבי I_z (אמפר)	חתך S (ממ"ר)
		20	1.5
		28	2.5
		36	4
		41	6
36	6	66	10
50	10	88	16
68	16	118	25
92	25	145	35
113	35	175	50
137	50	223	70
174	70	270	95
211	95	313	120
244	120		

טמפרטורה אופפת של הסביבה: 35°C

2.1.1 מקדם תיקון עבור טמפרטורה אופפת שונה של הסביבה

טמפרטורה אופפת של הסביבה (°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

2.1.2 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

2.2 כבלים טמונים במישרין באדמה עם כיסוי מגן – בידוד 90°C

כבל רב־גידי במעגל תלת־מופעי

מוליכים מאלומיניום		מוליכים מנחושת	
זרם מתמיד I_z (אמפר)	חתך S (ממ"ר)	זרם מתמיד מרבי I_z (אמפר)	חתך S (ממ"ר)
		28	1.5
		36	2.5
		44	4
43	6	56	6
59	10	76	10
76	16	97	16
94	25	124	25
115	35	148	35
138	50	179	50
171	70	220	70
206	95	265	95
235	120	303	120
263	150	339	150
298	185	382	185
345	240	442	240

טמפרטורה אופפת של האדמה: 30°C

2.2.1 מקדם תיקון עבור טמפרטורה אופפת שונה של האדמה

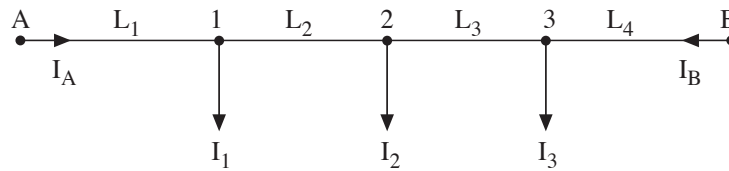
טמפרטורה אופפת של האדמה (°C)									
55	50	45	40	35	30	25	20	15	10
0.77	0.82	0.87	0.91	0.96	1.00	1.04	1.08	1.12	1.15

2.2.2 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	

3. חישובים ברשתות

רשת בעלת זינה משני כיוונים במתחים זהים, ושטח חתך אחיד של המוליכים



$$I_A = \frac{I_1(L_2 + L_3 + L_4) + I_2(L_3 + L_4) + I_3 \cdot L_4}{L_1 + L_2 + L_3 + L_4}$$

$$I_B = \frac{I_1 \cdot L_1 + I_2(L_1 + L_2) + I_3(L_1 + L_2 + L_3)}{L_1 + L_2 + L_3 + L_4}$$

רשת בעלת זינה משני כיוונים בעלי מופעים זהים, ושטח חתך אחיד של המוליכים

זרם ישר או זרם חילופין חד-מופעי:	$M = \frac{\Delta U \cdot \gamma \cdot A}{2}$	M [Am] - מומנט ההשוואה
זרם חילופין תלת-מופעי:	$M = \frac{\Delta U \cdot \gamma \cdot A}{\sqrt{3}}$	M [m/Ωmm ²] - מוליכות סגולית
		A [mm ²] - שטח חתך של מוליכי הרשת
		ΔU [V] - הפרש המתחים בין שני מקורות המתח

$$I_A = \frac{I_1(L_2 + L_3 + L_4) + I_2(L_3 + L_4) + I_3 L_4 \pm M}{L_1 + L_2 + L_3 + L_4}$$

$$I_B = \frac{I_1 L_1 + I_2(L_1 + L_2) + I_3(L_1 + L_2 + L_3) \pm M}{L_1 + L_2 + L_3 + L_4}$$

4. שיפור מקדם ההספק

$Q_c = P(\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2)$
$Q_{c1} = \frac{Q_c}{3}$
$C = \frac{Q_{c1} \cdot 10^9}{U_c^2 \omega}$
$\omega = 2 \pi f$

ההספק ההיגבי של סוללת הקבלים התלת-מופעיים הנדרשת לשיפור מקדם ההספק	-	Q_c	[kVAr]
הספק אקטיבי הנצרך מהרשת	-	P	[kW]
הזווית לפני השיפור	-	φ_1	[°]
הזווית אחרי השיפור	-	φ_2	[°]
קיבול הקבל הנדרש	-	C	[μF]
ההספק ההיגבי של הקבל במופע אחד	-	Q_{c1}	[kVAr]
המתח על-פני הקבל הנדרש	-	U_c	[V]
התדר הזוויתי של הרשת	-	ω	[rad/sec]
תדר הרשת	-	f	[Hz]

הערה: מקדם ההספק הנדרש על-ידי חברת החשמל הוא: 0.92 .

התנגדות נגד הפריקה	-	R	[Ω]
קיבול הקבל	-	C	[F]
המתח בתחילת הפריקה	-	U_o	[V]
המתח על-פני הקבל כעבור זמן t	-	U_c	[V]
זמן הפריקה	-	t	[sec]

$$R = \frac{t}{C \cdot \ln \frac{U_o}{U_c}}$$

5. זרמי הקצר

זרם קצר תלת-מופעי סימטרי	I_k	[A]
עכבת מעגל הקצר (מהמקור למקום הקצר) למופע אחד	Z	[Ω]
הספק מדומה של שנאי	S_T	[VA]
הספק מדומה של גנרטור	S_G	[VA]
היגב של גנרטור למופע אחד	X_G	[Ω]
היגב מערכת אספקה במתח גבוה	X_S	[Ω]
הספק הקצר של המערכת	S_k	[VA]
התנגדות של שנאי למופע אחד	R_T	[Ω]
היגב של שנאי למופע אחד	X_T	[Ω]
סכום ההתנגדויות במעגל הקצר למופע אחד	ΣR	[Ω]
סכום ההיגבים במעגל הקצר למופע אחד	ΣX	[Ω]
המתח שבו התרחש הקצר	U	[V]
מתח הקצר באחוזים	$U_{k\%}$	[%]
הרכיב הממשי של מתח הקצר באחוזים	$U_{r\%}$	[%]
הרכיב ההיגבי של מתח הקצר באחוזים	$U_{x\%}$	[%]
התנגדות הקו ליחידת אורך	R_o	[Ω/km]
התנגדות הקו	R_L	[Ω]
היגב הקו ליחידת אורך	X_o	[Ω/km]
היגב הקו	X_L	[Ω]
אורך הקו	L	[km]
המתח המופעי שבו נתונים ההתנגדות R_1 וההיגב X_1	U_{1ph}	[V]
המתח השלוב שבו נתונים ההתנגדות R_1 וההיגב X_1	U_{1L}	[V]
המתח המופעי שאליו רוצים לשקף את ההתנגדות R_1 ואת ההיגב X_1	U_{2ph}	[V]
המתח השלוב שאליו רוצים לשקף את ההתנגדות R_1 ואת ההיגב X_1	U_{2L}	[V]
ההתנגדות R_1 וההיגב X_1 אשר הועברו למתח U_2	R'_1, X'_1	[Ω]
מקדם ההמרה	K	

$I_k = \frac{1.1 \cdot U}{\sqrt{3} Z}$
$X_G = \frac{U_{x\%} U^2}{100 S_G}$
$X_S = \frac{U^2}{S_k}$
$R_T = \frac{U_{r\%} U^2}{100 S_T}$
$X_T = \frac{U_{x\%} U^2}{100 S_T}$
$U_{k\%} = \sqrt{U_{r\%}^2 + U_{x\%}^2}$
$Z = \sqrt{(\Sigma X)^2 + (\Sigma R)^2}$
$R_L = R_o \cdot L$
$X_L = X_o \cdot L$
$R'_1 = R_1 \cdot K^2$
$X'_1 = X_1 \cdot K^2$
$K = \frac{U_{2ph}}{U_{1ph}} = \frac{U_{2L}}{U_{1L}}$

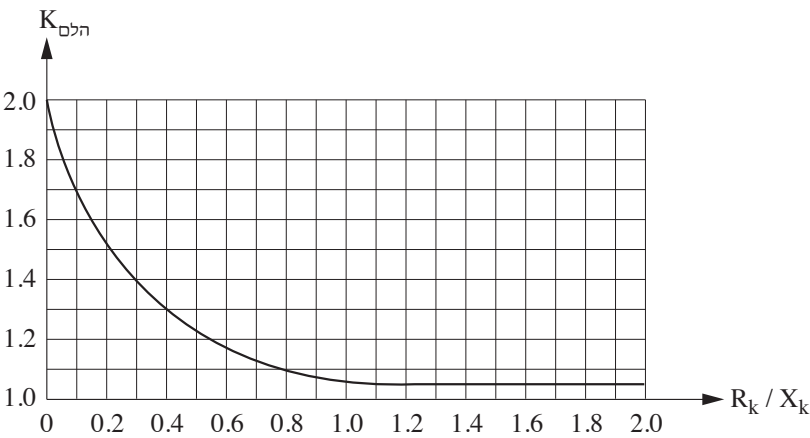
5.1 נוסחאות לחישוב זרם קצר תלת-מופעי זרם הלם

i_k	[A]	-	רכיב מחזורי של זרם קצר
i_a	[A]	-	רכיב זרם ישר (רכיב אקספוננציאלי)
α	[rad]	-	זווית המתח ברגע הופעת הקצר ($t = 0$)
φ_k	[rad]	-	זווית המופע של עכבת הקצר
σ	[sec]	-	קבוע זמן של מעגל הקצר
$I_{\text{הלם}}$	[A]	-	ערך השיא של זרם הקצר
$K_{\text{הלם}}$		-	מקדם ההלם

$i = i_k + i_a$
$i_k = \sqrt{2} I_k \sin(\omega t + \alpha - \varphi_k)$
$i_a = -\sqrt{2} I_k \sin(\alpha - \varphi_k) e^{-\frac{t}{\sigma}}$
$\sigma = \frac{L}{R}$
$I_{\text{הלם}} = \sqrt{2} \cdot I_K \cdot K_{\text{הלם}}$

5.2 ערכי מקדם ההלם

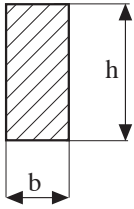
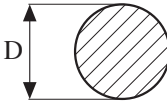
0	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	≥ 1.2	R_k / X_k
2	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.08	1.06	1.04	$K_{\text{הלם}}$

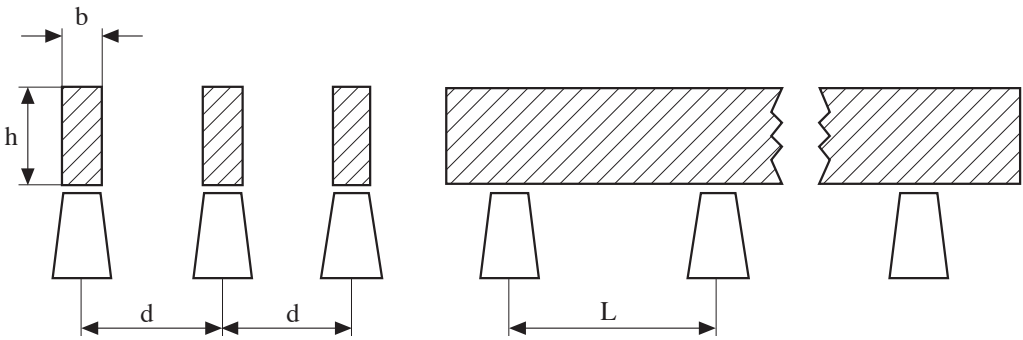


6. פסי הצבירה

- F [kg/m] - הכוח הפועל על פס באורך 1m
- $I_{\text{הלם}}$ [kA] - ערך השיא של זרם הקצר
- d [cm] - המרחק בין המרכזים של פסי הצבירה
- σ [kg/cm²] - מאמץ הכפיפה
- P [kg] - הכוח הפועל על הפס בקטע בין שני מבדדים
- L [cm] - אורך הפס בין שני מבדדים
- W [cm³] - מומנט ההתנגדות (מודול החתך)
- E [kg/cm²] - מקדם האלסטיות
- J [cm⁴] - מומנט ההתמדה (אינרציה)
- G [kg] - המשקל של פס באורך 1 cm
- f [Hz] - תדירות התהודה העצמית
- b [cm] - רוחב הפס
- h [cm] - גובה הפס
- D [cm] - קוטר הפס
- g [kg/cm³] - המשקל הסגולי

$$F = 1.76 \frac{I_{\text{הלם}}^2}{d}$$
$$P = F \frac{L}{100}$$
$$\sigma = \frac{P \cdot L}{12 W}$$
$$f = \frac{112}{L^2} \sqrt{\frac{E \cdot J}{G}}$$

חתך	J	W	G
	$\frac{b^3 h}{12}$	$\frac{b^2 h}{6}$	$b \cdot h \cdot g$
	$0.05 D^4$	$0.1 D^3$	$\frac{\pi D^2}{4} \cdot g$



נתונים של מוליכי Al – Fe שזורים וגלויים בטמפרטורת סביבה 20 °C

I	D _m [cm]									R ₀	קוטר	שטח חתך
	56	100	200	300	400	500	600	700	1000			
	X ₀ [Ω/km]											
[A]										[Ω/km]	[mm]	[mm ²]
90	0.351	0.386	0.429	0.455	0.473	0.487	0.498	0.508	0.530	1.875	5.4	16/2.5
125	0.336	0.371	0.415	0.440	0.458	0.472	0.484	0.493	0.515	1.205	6.8	25/4
145	0.325	0.361	0.404	0.429	0.447	0.461	0.473	0.482	0.505	0.837	8.1	35/6
170	0.315	0.350	0.393	0.419	0.437	0.451	0.462	0.472	0.494	0.594	9.6	50/8
235	0.303	0.338	0.381	0.407	0.425	0.439	0.450	0.460	0.482	0.434	11.6	70/12
290	0.294	0.329	0.372	0.398	0.416	0.430	0.441	0.451	0.473	0.319	13.4	95/15
345	0.284	0.319	0.362	0.388	0.406	0.420	0.431	0.441	0.463	0.234	15.7	120/21
355	0.282	0.318	0.361	0.386	0.404	0.418	0.430	0.439	0.462	0.233	16.1	125/29
400	0.278	0.313	0.356	0.382	0.400	0.414	0.425	0.435	0.457	0.194	17.3	150/25
440	0.272	0.308	0.351	0.376	0.394	0.408	0.420	0.429	0.452	0.169	18.9	170/40
455	0.271	0.307	0.350	0.375	0.393	0.407	0.419	0.428	0.451	0.156	19.2	185/32
490	0.267	0.302	0.346	0.371	0.389	0.403	0.415	0.424	0.446	0.137	20.5	210/36
505	0.266	0.301	0.344	0.370	0.388	0.402	0.413	0.423	0.445	0.137	21.0	210/50
530	0.263	0.299	0.342	0.368	0.386	0.400	0.411	0.421	0.443	0.121	21.7	240/40
615	0.257	0.292	0.335	0.361	0.379	0.393	0.404	0.414	0.436	0.097	24.2	300/50
630	0.251	0.286	0.330	0.355	0.373	0.387	0.398	0.408	0.430	0.095	26.6	310/100
680	0.247	0.283	0.326	0.351	0.369	0.383	0.395	0.404	0.427	0.085	28.1	340/110

נתונים של מוליכי חמרן ונחושת שזורים וגלויים בטמפרטורת סביבה 20 °C

Al		Cu		D _m [cm]										קוטר	שטח חתך
I	R ₀	I	R ₀	56	100	200	300	400	500	600	700	1000			
[A]	[Ω/km]	[A]	[Ω/km]	X ₀ [Ω/km]											
—	—	70	1.786	0.368	0.403	0.446	0.472	0.490	0.504	0.515	0.525	0.547	4.1	10	
92	1.805	115	1.123	0.354	0.389	0.433	0.458	0.476	0.490	0.502	0.511	0.533	5.1	16	
121	1.185	151	0.738	0.341	0.376	0.420	0.445	0.463	0.477	0.488	0.498	0.520	6.3	25	
149	0.845	174	0.525	0.330	0.365	0.409	0.434	0.452	0.466	0.477	0.487	0.509	7.5	35	
187	0.587	234	0.364	0.319	0.354	0.397	0.423	0.441	0.455	0.466	0.476	0.498	9.0	50	
226	0.435	282	0.271	0.309	0.344	0.388	0.413	0.431	0.445	0.456	0.466	0.488	10.5	70	
282	0.309	357	0.192	0.298	0.333	0.377	0.402	0.420	0.434	0.445	0.455	0.477	12.5	95	
329	0.245	411	0.153	0.291	0.326	0.370	0.395	0.413	0.427	0.438	0.448	0.470	14.0	120	
382	0.196	477	0.122	0.283	0.319	0.362	0.387	0.405	0.419	0.431	0.440	0.463	15.8	150	
435	0.158	544	0.098	0.277	0.312	0.356	0.381	0.399	0.413	0.424	0.434	0.456	17.5	185	
502	0.126	630	0.078	0.270	0.305	0.349	0.374	0.392	0.406	0.417	0.427	0.449	19.6	240	
513	0.118	641	0.074	0.268	0.303	0.346	0.372	0.390	0.404	0.415	0.425	0.447	20.3	240	
598	0.096	747	0.060	0.261	0.297	0.340	0.365	0.383	0.397	0.409	0.418	0.441	22.5	300	

צפיפות הזרם החד-שנייתית ב-[A/mm²]

טמפרטורת המוליך לפני הקצר [°C]	טמפרטורה גבולית [°C] – Cu				טמפרטורה גבולית [°C] – Al			
	130	150	170	200	130	150	170	200
	130	150	170	200	130	150	170	200
5	144	153	161	173	96	102	108	114
10	141	150	158	170	94	100	106	113
15	137	146	155	167	91	98	104	111
20	133	143	152	164	89	95	102	109
25	130	140	149	161	87	93	99	107
30	126	136	145	158	84	91	97	105
35	122	135	142	155	82	89	95	103
40	118	129	139	152	80	87	93	102
45	114	125	135	149	77	85	91	100
50	110	122	132	146	75	82	89	97
55	106	118	129	143	72	80	87	95
60	103	115	126	140	69	77	85	93
65	—	111	122	137	67	75	82	91
70	—	108	119	134	64	72	80	89
75	—	104	116	131	61	70	78	87
80	—	110	112	128	58	67	76	85
85	—	96	109	125	55	65	73	83
90	—	92	105	122	51	62	71	81
95	—	88	102	119	48	59	68	79
100	—	84	98	115	44	56	65	75

7. 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

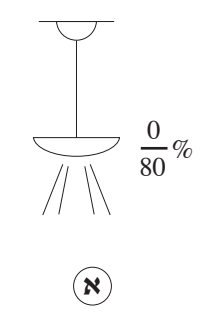
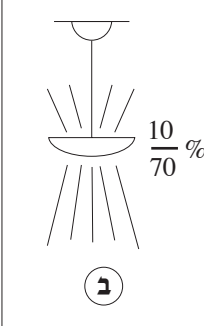
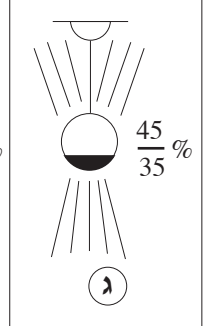
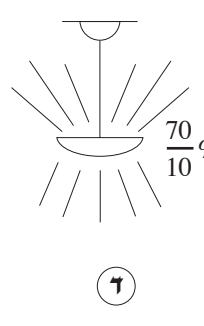
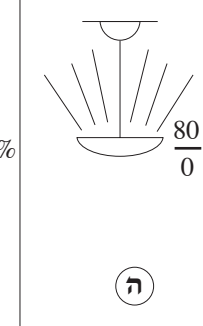
8. תאורה

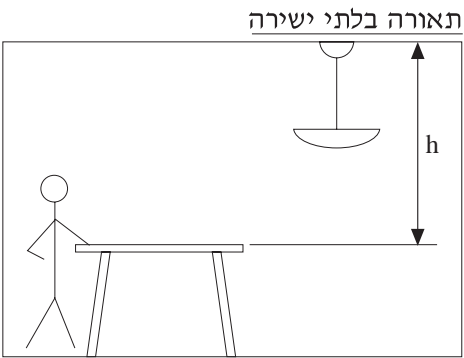
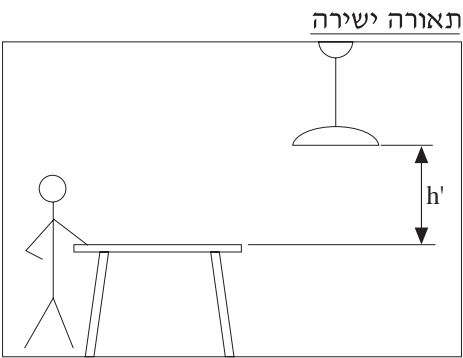
שטף אור ונצילות של מקורות אור שונים

נצילות [lm/W]	שטף אור [lm]	נורות להט (220V)
9.2	230	25 W
10.7	430	40 W
12.2	730	60 W
13.8	1380	100 W
15.7	3140	200 W
16.7	5000	300 W
16.8	8400	500 W
נורות להט (עם תוספת יוד)		
22.0	22000	1000 W
נורות פלורסנטיות		
57	2950	40 W לבן בהיר
46	2300	כנ"ל לבן אוניברסלי
38	1900	כנ"ל לבן חמים
61	4750	65 W לבן בהיר
46	3600	כנ"ל לבן אוניברסלי
40	3150	כנ"ל לבן חמים
נורות כספית (לחץ גבוה)		
39	3400	80 W
41	5600	125 W
45	12000	250 W
49	21000	400 W
נורות תערובת (כספית + להט)		
18	2900	160 W
21	5200	250 W
25	12500	500 W
נורות נתרן		
72	4400	40 W
91	7400	60 W
90	12500	100 W
108	20500	150 W
125	30000	200 W

- הערות: 1. בנורות פריקה – ההספק נתון עבור הנורה בלבד.
2. הנצילות מחושבת גם על-פי ההפסדים בציוד העזר.

חישוב תאורה כללית

				
א	ב	ג	ד	ה
תאורה ישירה	תאורה כמעט ישירה	תאורה שווה	תאורה בלתי ישירה ברובה	תאורה בלתי ישירה



$$R_K = \frac{2a+b}{6h'}$$

מקדם האולם - R_K

רוחב האולם - a [m]

אורך האולם - b [m]

המרחק האנכי בין התקרה - h [m]

ומשטח העבודה

המרחק האנכי של גוף התאורה ממשטח - h' [m]

העבודה

שטף האור הנדרש - ϕ [lm]

עוצמת המאור הנדרשת - E [lx]

שטח האולם - A [m²]

מקדם ההפחתה - k

נצילות התאורה - η [%]

$$R_K = \frac{2a+b}{4h}$$

$$\phi = \frac{E \cdot A \cdot 100}{k \cdot \eta}$$

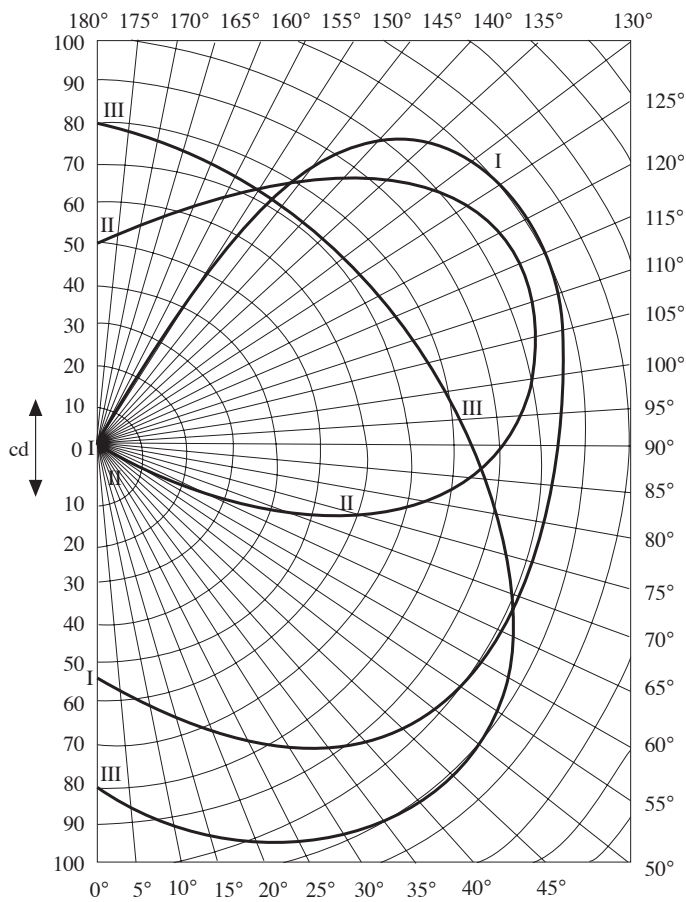
מקדמי הפחתה k

סוג גופי התאורה		סוג התאורה	תאורה ליבון		תאורה כספית		תאורה פלורסנטית	
		מצב האבק	מועט	מרובה	מועט	מרובה	מועט	מרובה
גופים לתאורה ישירה גופים לתאורה שווה גופים לתאורה בלתי־ישירה			0.85	0.6	0.8	0.6	0.75	0.55
			0.75	0.4	0.7	0.4	0.7	0.37
			0.7	0.35	0.65	0.35	0.6	0.3

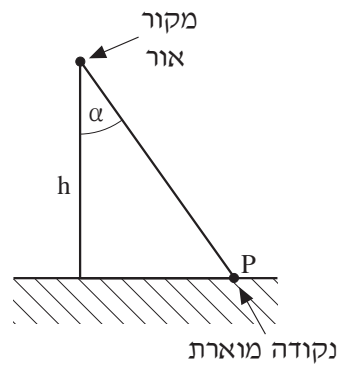
נצילות התאורה η

סוג גוף התאורה	R _K	החזרה מהתקרה (%) ←		75			50			30	
		החזרה מהקירות (%) ←		10	30	50	10	30	50	10	30
א	0.6			31	34	39	31	34	38	31	34
	0.8			42	44	47	42	44	46	41	43
	1.0			47	48	51	47	48	50	46	47
	1.5			52	55	58	52	55	56	52	53
	2.0			57	59	61	57	59	60	58	58
	3.0			62	65	68	62	65	66	62	63
	5.0			67	69	71	67	69	69	65	67
	5.0			67	69	71	67	69	69	65	67
ב	0.6			23	27	32	23	27	32	23	25
	0.8			31	35	40	31	35	39	30	34
	1.0			36	39	44	36	39	43	35	36
	1.5			43	47	52	43	47	50	42	45
	2.0			48	52	57	48	52	55	47	50
	3.0			54	59	65	54	59	62	56	57
	5.0			62	66	71	62	66	67	60	61
	5.0			62	66	71	62	66	67	60	61
ג	0.6			17	21	24	19	21	21	18	18
	0.8			26	27	30	26	27	26	22	22
	1.0			29	30	32	29	30	29	25	25
	1.5			33	35	38	33	35	32	29	28
	2.0			36	38	40	36	38	35	32	31
	3.0			40	42	45	40	42	39	35	33
	5.0			44	46	48	44	46	41	38	35
	5.0			44	46	48	44	46	41	38	35
ד	0.6			7	14	18	12	14	11	9	8
	0.8			17	19	22	17	19	17	13	10
	1.0			19	22	26	19	22	20	15	12
	1.5			25	28	32	25	28	24	19	15
	2.0			29	32	35	29	32	27	24	17
	3.0			35	38	42	35	38	31	27	20
	5.0			42	44	48	42	44	36	33	23
	5.0			42	44	48	42	44	36	33	23
ה	0.6			3	11	15	10	11	9	6	4
	0.8			13	15	19	13	15	12	9	6
	1.0			16	19	22	16	19	14	10	7
	1.5			21	24	28	21	24	19	14	9
	2.0			25	28	32	25	28	21	17	11
	3.0			31	34	38	31	34	25	22	13
	5.0			38	41	43	38	41	29	25	16
	5.0			38	41	43	38	41	29	25	16

דיאגרמה פולארית של מקור אור בעל שטף של 1000 lm



- צפיפות ההארה לכל I_α [cd]
 α מכיוון 1000 lm
- עוצמת ההארה לכל E_α [lx]
 α מכיוון 1000 lm
- גובה מעל משטח ההארה h [m]



$$E_\alpha = \frac{I_\alpha}{h^2} \cos^3 \alpha$$

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

נוסחאון במכונות חשמל והינע לכיתה י"ג

(17 עמודים)

1. מבוא למערכות תלת-מופעיות

כוכב סימטרי

זרם קווי	-	I_L	[A]
זרם מופעי	-	I_{ph}	[A]
מתח שלוב (קווי)	-	U_L	[V]
מתח מופעי	-	U_{ph}	[V]

$$I_L = I_{ph}$$

$$U_{ph} = \frac{U_L}{\sqrt{3}}$$

משולש סימטרי

$$U_L = U_{ph}$$

$$I_{ph} = \frac{I_L}{\sqrt{3}}$$

הספק תלת-מופעי

הספק מדומה תלת-מופעי	-	S	[VA]
הספק פעיל תלת-מופעי	-	P	[W]
הספק היגבי תלת-מופעי	-	Q	[VAr]

$$S = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L$$

$$Q = S \cdot \sin \varphi$$

$$P = S \cdot \cos \varphi$$

חישוב זרמים:

$$I_L = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_L}$$

$$I_{ph} = \frac{S}{3 \cdot U_{ph}}$$

2. שנאים

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 / m ²]
שטח החתך של הגרעין	-	A	[m ²]

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

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

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

שנאי חד-מופעי:

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

שנאי תלת-מופעי:

$$a = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_{1ph}}{U_{2ph}} \approx \frac{I_{2ph}}{I_{1ph}}$$

2.2 ניסוי קצר

יחס השנאה	-	a	
התנגדות הסליל השניוני	-	R_2	[Ω]
התנגדות הסליל השניוני	-	R_2'	[Ω]
משוקפת לראשוני			
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]
מתח הקצר, באחוזים מהמתח הנקוב	-	$U_{k\%}$	

$$R_2' = R_2 a^2$$

$$X_2' = X_2 a^2$$

$$R_k = R_1 + R_2'$$

$$X_k = X_1 + X_2'$$

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

$$R_k = Z_k \cdot \cos \varphi_k$$

$$X_k = Z_k \cdot \sin \varphi_k$$

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

2.3 פעולת השנאי בקצר ובריקם

שנאי חד-מופעי בקצר: שנאי תלת-מופעי בקצר:

$z_k = \frac{U_k}{I_k}$	$Z_k = \frac{U_{kph}}{I_{kph}}$	$P_k = I_k^2 \cdot R_k$	$P_k = 3 \cdot I_{kph}^2 \cdot R_k$	$P_k = U_k I_k \cos \varphi_k$	$P_k = \sqrt{3} \cdot U_k I_k \cos \varphi_k$
$\Delta U_{R\%} = \frac{I_n R_k}{U_n} \cdot 100$	$\Delta U_{R\%} = \frac{I_{nph} \cdot R_k}{U_{nph}} \cdot 100$	$\Delta U_{X\%} = \frac{I_n X_k}{U_n} \cdot 100$	$\Delta U_{X\%} = \frac{I_{nph} \cdot X_k}{U_{nph}} \cdot 100$		

P_k [W]	-	הספק הקצר
I_k [A]	-	זרם הקצר
R_k [Ω]	-	התנגדות הקצר
X_k [Ω]	-	היגב הקצר
Z_k [Ω]	-	עכבת הקצר
$\Delta U_{R\%} / \Delta U_{X\%}$	-	מפל מתח היגבי / התנגדותי באחוזים

שנאי חד-מופעי בריקם: שנאי תלת-מופעי בריקם:

$I_{o\%} = \frac{I_o}{I_n} \cdot 100$	$I_{o\%} = \frac{I_{oph}}{I_{nph}} \cdot 100 = \frac{I_o}{I_n} \cdot 100$	$I_{Fe} = \frac{P_o}{U_n}$	$I_{Feph} = \frac{P_o}{3 \cdot U_{nph}}$	$I_\mu = \sqrt{I_o^2 - I_{Fe}^2}$	$I_{\mu ph} = \sqrt{I_{oph}^2 - I_{Feph}^2}$
$R_{Fe} = \frac{U_n}{I_{Fe}}$	$R_{Fe} = \frac{U_{nph}}{I_{Feph}}$	$X_\mu = \frac{U_n}{I_\mu}$	$X_\mu = \frac{U_{nph}}{I_{\mu ph}}$	$P_o = U_n \cdot I_o \cdot \cos \varphi_o$	$P_o = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_o \cdot \cos \varphi_o$

$I_{o\%}$	-	זרם ריקם באחוזים
I_o [A]	-	זרם ריקם
I_{Fe} [A]	-	זרם הפסדי ברזל
I_μ [A]	-	זרם המגנוט
R_{Fe} [Ω]	-	התנגדות מותאמת להפסדי ברזל
X_μ [Ω]	-	היגב המגנוט
P_o [W]	-	הספק בריקם

2.4 מפלי מתח ומתחי עבודה

מפל מתח באחוזים	-	$\Delta U_{\%}$
מפל מתח התנגדותי באחוזים	-	$\Delta U_{R\%}$
מפל מתח היגבי באחוזים	-	$\Delta U_{X\%}$
גורם הספק של העומס	-	$\cos \varphi_2$
מקדם העמסה של השנאי	-	β
הספק מדומה של העומס	-	S_2 [VA]
הספק נקוב של השנאי	-	S_n [VA]
מתח שניוני נקוב	-	U_{2n} [V]
מתח שניוני	-	U_2 [V]
מתח ראשוני נקוב	-	U_{1n} [V]
מתח ראשוני	-	U_1 [V]
נצילות השנאי	-	η
גורם העמסה המותאם לנצילות מרבית	-	$\beta_{\eta_{\max}}$
הפסדי ברזל	-	ΔP_{Fe} [W]
הפסדי נחושת נקובים	-	ΔP_{Cu_n} [W]

$$\beta = \frac{S}{S_n}$$

$$\Delta U_{\%} = \beta (\Delta U_{R\%} \cos \varphi_2 \pm \Delta U_{X\%} \sin \varphi_2)$$

$$\Delta U_{R\%} = \frac{\Delta P_{Cu_n}}{S_n} \cdot 100$$

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

$$U_2 = U_{2n} \left(1 - \frac{\Delta U_{\%}}{100} \right)$$

$$U_1 = U_{1n} \left(1 + \frac{\Delta U_{\%}}{100} \right)$$

2.5 נצילות השנאי

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

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

התנאי לקבלת נצילות מרבית:

$$\beta_{\eta_{\max}} = \sqrt{\frac{\Delta P_{Fe}}{\Delta P_{Cu_n}}}$$

2.6 עבודת שנאים במקביל

בהפעלת שני שנאים במקביל:

$$\frac{S_I}{S_{II}} = \frac{S_{n_I} \cdot U_{K\%II}}{S_{n_{II}} \cdot U_{K\%I}}$$

$$\frac{S_I}{S_{II}} = \frac{Z_{kII}}{Z_{kI}}$$

$$S_I + S_{II} = S_L$$

בהפעלת מספר שנאים במקביל:

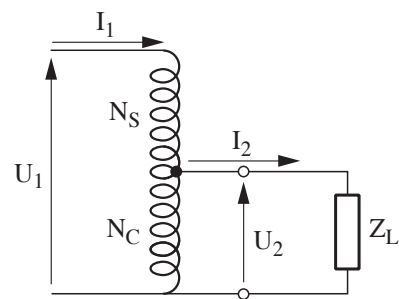
$$S_m = \frac{S_T}{\sum_{i=1}^n \frac{S_{n_i}}{U_{k\%_i}}} \cdot \frac{S_{n_m}}{U_{k\%_m}}$$

$$S_{T_{max}} = \sum_{i=1}^n \frac{S_{n_i}}{U_{k\%_i}} \cdot U_{k\%_{min}}$$

- S_I – הספק מדומה בפועל של שנאי (1)
- S_{II} – הספק מדומה בפועל של שנאי (2)
- S_m – הספק מדומה בפועל של שנאי (m)
- S_L – הספק מדומה של הצרכן
- S_T – הספק מדומה של העומס
- $S_{T_{max}}$ – הספק מדומה של העומס (המרבי המותר)
- S_{n_I} – הספק מדומה נקוב של שנאי (1)
- $S_{n_{II}}$ – הספק מדומה נקוב של שנאי (2)
- Z_{kI} – עכבת קצר של שנאי (1)
- Z_{kII} – עכבת קצר של שנאי (2)
- $U_{k\%I}$ – מתח קצר באחוזים של שנאי (1)
- $U_{k\%II}$ – מתח קצר באחוזים של שנאי (2)
- $U_{k\%_m}$ – מתח קצר באחוזים של שנאי (m)
- $U_{k\%_{min}}$ – מתח קצר באחוזים, הנמוך ביותר מבין מתחי הקצר של שנאים הפועלים יחד במקביל
- m – שנאי כלשהו מבין השנאים
- n – מספר השנאים

2.7 שְנאי עצמי

- N_S [T] – מספר הכריכות בחלק הלא משותף של הסליל
- N_C [T] – מספר הכריכות בחלק המשותף של הסליל
- f [Hz] – תדירות
- Φ_{max} [Wb] – שטף מגנטי מרבי
- E [V] – כוח אלקטרו־מניע
- U [V] – מתח
- I [A] – זרם
- a – יחס השנאה
- I_C [A] – הזרם בחלק המשותף של הסליל



$$E_S = 4.44 \cdot N_S \cdot f \cdot \Phi_{max}$$

$$E_C = 4.44 \cdot N_C \cdot f \cdot \Phi_{max}$$

$$\vec{E}_1 = \vec{E}_S + \vec{E}_C$$

$$\vec{E}_2 = \vec{E}_C$$

$$a = \frac{U_1}{U_2} = \left| \frac{E_1}{E_2} \right| = \frac{N_S + N_C}{N_C}$$

$$\left| \frac{I_1}{I_2} \right| = \frac{U_2}{U_1}$$

$$\vec{I}_C = \vec{I}_2 + \vec{I}_1$$

$$I_C \approx I_2 - I_1$$

3. מכונה לזרם ישר

3.1 כוח אלקטרו־מניע

E	[V]	-	כא"מ מושרה ברוטור	$E = K_e \cdot \Phi \cdot n$
Z		-	מספר מוליכים ברוטור	$K_e = \frac{Z \cdot p}{60 \cdot a}$
p		-	מספר זוגות קטבים	
n	[r.p.m]	-	מהירות סיבוב	
a		-	מספר זוגות ענפים מקבילים ברוטור	
Φ	[Wb]	-	שטף	
K_e		-	מקדם הכא"מ	

E	[V]	-	כוח אלקטרו־מניע (כא"מ)	<u>במחולל לזרם ישר:</u>
U	[V]	-	המתח בין הדקי המחולל / המתח המסופק למנוע	(עירור מקבילי) $E = U + I_a \cdot R_a + \Delta U_b$
R_a	[Ω]	-	התנגדות העוגן	(עירור זר) $E = U + I \cdot R_a + \Delta U_b$
R_{es}	[Ω]	-	התנגדות סליל העירור הטורי	(עירור טורי) $E = U + I(R_a + R_{es}) - \Delta U_b$

ΔU_b	[V]	-	מפל המתח על המברשות	<u>במנוע לזרם ישר:</u>
I_a	[A]	-	הזרם בעוגן	(עירור מקבילי) $E = U - I_a \cdot R_a - \Delta U_b$
I	[A]	-	זרם הצרכן במחולל / זרם המקור במנוע	(עירור זר) $E = U - I \cdot R_a - \Delta U_b$
				(עירור טורי) $E = U - I(R_a + R_{es}) - \Delta U_b$

3.2 זרמים במחולל

I [A] - הזרם המסופק לצרכן על־ידי המחולל

$I = I_a$	$I_e = \frac{U_e}{R_e}$	עירור זר
$I = I_a - I_e$	$I_e = \frac{U}{R_e}$	עירור מקבילי
$I = I_a = I_e$		עירור טורי

3.3 זרמים במנוע

הזרם הנצרך על-ידי המנוע	-	I	[A]
הזרם בעוגן (ברוטור)	-	I_a	[A]
הזרם בסליל העירור	-	I_e	[A]
מתח העירור	-	U_e	[V]
התנגדות סליל העירור	-	R_e	[Ω]
זרם ההתנעה בעוגן	-	$I_{a_{st}}$	[A]
התנגדות המתנע	-	R_{st}	[Ω]

$I = I_a$	$I_e = \frac{U_e}{R_e}$	עירור זר
$I = I_a + I_e$	$I_e = \frac{U}{R_e}$	עירור מקבילי
$I = I_a = I_e$		עירור טורי

$$I_{a_{st}} = \frac{U}{R_a + R_{st}}$$

3.4 הספקים והפסדי הספק

הספק אלקטרומגנטי	-	P_{em}	[W]
הפסדי נחושת	-	ΔP_{Cu}	[W]
הפסדי נחושת בעוגן (רוטור)	-	ΔP_{Cu_a}	[W]
הפסדי נחושת בסליל העירור	-	ΔP_{Cu_e}	[W]
הפסדי הספק	-	ΔP	[W]
הפסדי ברזל	-	ΔP_{Fe}	[W]
הפסדי הספק מכני	-	ΔP_{mech}	[W]
הספק מבוא	-	P_{in}	[W]
הספק מוצא	-	P_{out}	[W]
הספק חשמלי	-	$P_{חשמלי}$	[W]
הספק מכני	-	$P_{מכני}$	[W]

$$P_{em} = E \cdot I_a$$

$$\Delta P_{Cu_a} = I_a^2 \cdot R_a$$

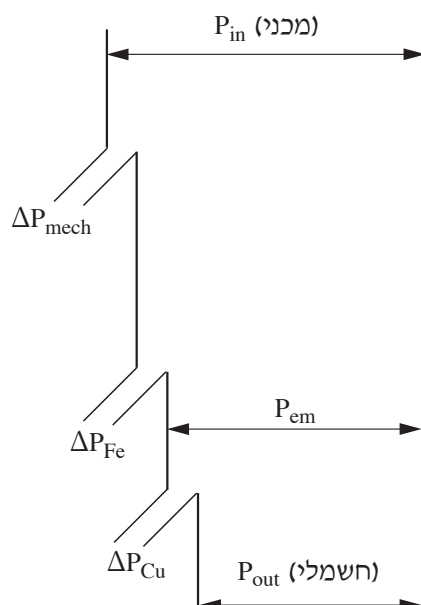
$$\Delta P_{Cu_e} = I_e^2 \cdot R_e$$

$$\Delta P = \Delta P_{Cu} + \Delta P_{Fe} + \Delta P_{mech}$$

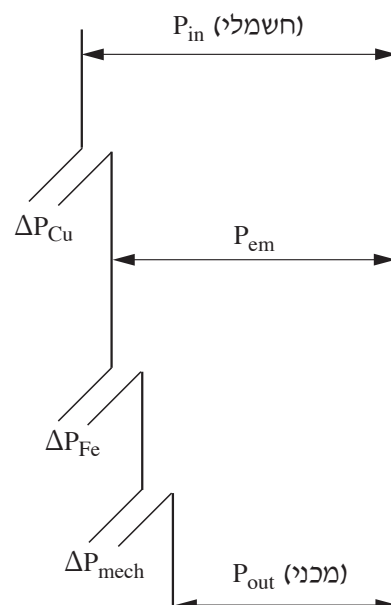
$$P_{חשמלי} = U \cdot I$$

$$P_{מכני} = M \cdot \omega$$

במחולל



במנוע



3.5 מומנטים

מומנט נקוב	-	M_n	[N · m]
הספק נקוב	-	P_n	[W]
מהירות זוויתית נקובה	-	ω_n	$\left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$
מהירות סיבוב נקובה	-	n_n	[r.p.m]
מקדם המומנט	-	K_m	
מספר מוליכים ברוטור	-	Z	
מספר זוגות קטבים	-	p	
מספר זוגות ענפים מקבילים בעוגן	-	a	
מומנט אלקטרומגנטי	-	M_{em}	[N · m]
שטף מגנטי	-	Φ	[Wb]
זרם העוגן	-	I_a	[A]
איבודי מומנט בריקם	-	ΔM_0	[N · m]

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = 9.55 \frac{P_n}{n_n}$$

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

$$M_{em} = K_m \cdot \Phi \cdot I_a$$

$$K_m = \frac{Z \cdot p}{2 \cdot \pi \cdot a}$$

$$\frac{K_e}{K_m} = \frac{2\pi}{60} = 0.1047$$

$$\Delta M_0 = M_{em_n} - M_n$$

3.6 מהירות במנוע

א. במנוע לזרם ישר בעירור מקבילי

מקדם הכא"מ	-	K_e	
שטף מגנטי	-	Φ	[Wb]
מהירות המנוע	-	n	[r.p.m]
מהירות המנוע בריקם	-	n_o	[r.p.m]
זרם בעוגן	-	I_a	[A]
זרם כללי (הנצרך מהמקור)	-	I	[A]
זרם העירור	-	I_e	[A]
מומנט אלקטרומגנטי	-	M_{em}	[N · m]
מתח	-	U	[V]
התנגדות העוגן	-	R_a	[Ω]
התנגדות סליל העירור	-	R_e	[Ω]
התנגדות נוספת במעגל העוגן	-	R_x	[Ω]

$$n_o = \frac{U}{K_e \Phi}$$

$$n = n_o - \Delta n$$

$$n = \frac{U - I_a (R_a + R_x)}{K_e \Phi}$$

$$n = \frac{U}{K_e \Phi} - M_{em} \frac{R_a + R_x}{K_e \Phi \cdot K_m \Phi}$$

$$n = \frac{U}{K_e \Phi} - M_{em} \frac{R_a + R_x}{9.55 \cdot (K_e \Phi)^2}$$

ב. במנוע לזרם ישר בעירור טורי

$$n = \frac{U - I (R_a + R_e + R_x)}{K_e \Phi}$$

3.7 תכנון מתנע דרגתי למנוע לזרם ישר בעירור מקבילי

- מספר דרגות - m
- התנגדות מרבית של מעגל העוון ברגע ההתנעה
($n = 0, E = 0$) - r_1 [Ω]
- התנגדות הרוטור - R_a [Ω]
- זרם התנעה מרבי בעוון - $I_{a \max}$ [A]
- זרם מזערי בעוון - $I_{a \min}$ [A]
- התנגדות הדרגה ה- n - R_n [Ω]
- התנגדות כוללת עד הדרגה ה- n - r_n [Ω]
- מהירות המנוע שבה נדרש לקצר את הנגד R_i ,
כאשר הזרם בעוון הוא מזערי ($I_{a \min}$) - n_i

$$m = \frac{\ln \frac{r_1}{R_a}}{\ln \lambda}$$

$$r_1 = \frac{U}{I_{a \max}}$$

$$\lambda = \frac{I_{a \max}}{I_{a \min}}$$

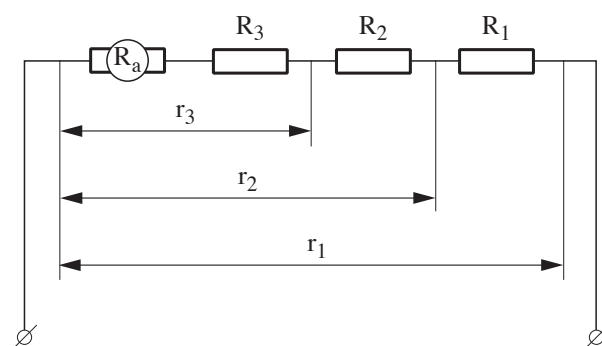
$$r_n = \frac{r_1}{\lambda^{n-1}}$$

$$r_2 = \frac{r_1}{\lambda}$$

$$R_n = r_n - r_{n+1}$$

$$n_i = \frac{U - I_{a \min} \cdot r_i}{K_e \Phi}$$

מתנע בעל שלוש דרגות



4. מנוע השראתי תלת-מופעי

4.1 חישוב זרמים

(בהזנחת זרם ריקם)

זרם נקוב קווי	-	I_{n1}	[A]
הספק נקוב המופק על-ידי המנוע	-	P_n	[W]
גורם הספק	-	$\cos \varphi$	
נצילות	-	η	
זרם מופעי בסטטור	-	I_{ph1}	[A]
זרם מופעי ברוטור, המשוקף לסטטור	-	I_{ph2}	[A]
התנגדות סליל אחד בסטטור	-	R_1	[Ω]
התנגדות סליל אחד בעוגן	-	R_2	[Ω]
התנגדות סליל העוגן המשוקף לסטטור	-	R'_2	[Ω]
היגב מופעי ברוטור ניח	-	$X_{2(0)}$	[Ω]
ההיגב הכולל של המנוע	-	X_T	[Ω]
יחס תמסורת בין ערכים מופעיים	-	a_{ph}	
מספר כריכות בסליל	-	N	
מקדם ליפוף של הסליל	-	K_N	
גורם החליקה	-	s	
כא"מ מופעי מושרה ברוטור ניח ופתוח	-	$E_{ph2(0)}$	[V]

$$I_{n1} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi \cdot \eta}$$

$$I_{ph1} \approx I'_{ph2} = \frac{U_{ph1}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + X_T^2}}$$

$$I_{ph2} = \frac{E_{ph2(0)}}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{s}\right)^2 + X_{2(0)}^2}}$$

$$I_{ph2} \approx I_{ph1} \cdot a_{ph}$$

$$a_{ph} = \frac{N_1 \cdot K_{N1}}{N_2 \cdot K_{N2}} = \frac{U_{ph1}}{E_{ph2(0)}} \approx \frac{I_{ph2}}{I_{ph1}}$$

$$X_T = X_1 + X'_{2(0)}$$

$$X'_{2(0)} = X_{2(0)} \cdot a_{ph}^2$$

$$R'_2 = R_2 \cdot a_{ph}^2$$

4.2 חישוב פאזורי של זרמים

$$\vec{I}_{ph1} = \vec{I}'_{ph2} + \vec{I}_{ph0}$$

$$\vec{I}'_{ph2} = \frac{\vec{U}_{ph1}}{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right) + jX_T}$$

4.3 זרם התנעה

(בהזנחת זרם ריקם)

זרם פאזורי מופעי בסטטור, בהתנעה	-	$I_{ph1(st)}$	[A]
זרם פאזורי מופעי ברוטור, משוקף לסטטור, בהתנעה	-	$I'_{ph2(st)}$	[A]

$$I'_{ph2(st)} \approx I_{ph1(st)} = \frac{U_{ph1}}{\sqrt{(R_1 + R'_2)^2 + X_T^2}}$$

4.4 מהירות וגורם החליקה

מהירות סינכרונית	n_s	[r.p.m]
תדירות הרשת	f_1	[Hz]
מס' זוגות קטבים	p	
תדירות הזרם ברוטור	f_2	[Hz]
גורם החליקה	s	
מהירות קריטית	n_k	[r.p.m]
היחס בין המומנט המרבי למומנט הנקוב של המנוע	$\lambda_{\max}$	
מומנט מרבי (קריטי)	M_k	[N · m]
מומנט נקוב	M_n	[N · m]
גורם החליקה במומנט קריטי	s_k	
גורם החליקה במומנט נקוב	s_n	

$$n_s = \frac{60 \cdot f_1}{p}$$

$$f_2 = f_1 \cdot s$$

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

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

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

$$s_k = \frac{R_2'}{\sqrt{R_1'^2 + X_T'^2}} \approx \frac{R_2'}{X_T'}$$

4.5 הספקים ואיבודי הספק

הספק (ממשי) מושקע	P_{in}	[W]
הספק המופק על-ידי המנוע	P_n	[W]
הספק אלקטרומגנטי	P_{em}	[W]
הספק מכני	P_{mech}	[W]
איבודי נחושת בסטטור	ΔP_{Cu1}	[W]
איבודי נחושת ברוטור	ΔP_{Cu2}	[W]
איבודי ברזל בסטטור	ΔP_{Fe}	[W]
איבודי חיכוך ואוורור	ΔP_{mech}	[W]
איבודים נוספים	ΔP_{add}	[W]
הספק המנוע בריקם	P_o	[W]
גורם החליקה	s	

$$\Delta P_{Cu1} = 3 \cdot I_{ph1}^2 \cdot R_1$$

$$\Delta P_{Cu2} = 3 \cdot I_{ph2}^2 \cdot R_2 = 3 \cdot I_{ph2}'^2 \cdot R_2'$$

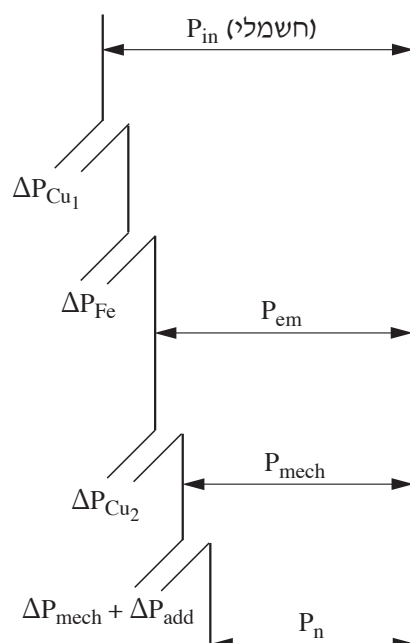
$$\Delta P_{Cu2} = P_{em} \cdot s = P_{mech} \cdot \left(\frac{s}{1-s} \right)$$

$$P_{em} = \frac{P_{mech}}{1-s}$$

$$P_o \cong \Delta P_{Fe} + \Delta P_{mech}$$

$$\Delta P_{\text{סטטור}} \cong \Delta P_{Cu1} + \Delta P_{Fe}$$

$$\Delta P_{\text{רוטור}} \cong \Delta P_{Cu2} + \Delta P_{mech} + \Delta P_{add}$$



4.6 מומנטים

המהירות הזוויתית של הרוטור	-	ω_n	$\left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$
מהירות סיבוב נומינלית	-	n_n	[r.p.m]
המהירות הזוויתית של השדה המסתובב	-	ω_s	$\left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$
מהירות סיבוב (סנכרונית) של השדה	-	n_s	[r.p.m]
הספק נקוב המופק על-ידי המנוע	-	P_n	[W]
הספק אלקטרומגנטי	-	P_{em}	[W]
מומנט אלקטרומגנטי בהתנעה	-	M_{em_start}	[N · m]
מומנט אלקטרומגנטי	-	M_{em}	[N · m]
מומנט מרבי (קריטי)	-	M_k	[N · m]
גורם החליקה	-	s	
גורם החליקה במומנט קריטי	-	s_k	

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

$$\omega_s = \frac{2\pi \cdot n_s}{60}$$

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = 9.55 \cdot \frac{P_n}{n_n}$$

$$M_{em} = \frac{P_{em}}{\omega_s} = 9.55 \cdot \frac{P_{em}}{n_s}$$

$$M_{em} = \frac{3 \cdot 9.55 \cdot U_{ph}^2 \cdot \frac{R_2'}{s}}{n_s \cdot \left[\left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + X_T^2 \right]}$$

$$M_{em_start} = \frac{3 \cdot 9.55 \cdot U_{ph}^2 \cdot R_2'}{n_s \cdot \left[(R_1 + R_2')^2 + X_T^2 \right]}$$

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

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

$$\frac{M_I}{M_{II}} = \left(\frac{U_I}{U_{II}} \right)^2$$

$$\frac{M_{start}(\Delta)}{M_{start}(Y)} = 3$$

4.7 נגד נוסף במעגל הרוטור

כאשר המנוע מועמס במומנט נקוב:

$$R_x = R_2 \left(\frac{s_x}{s_n} - 1 \right)$$

כאשר המנוע מועמס במומנט כלשהו M_x :

$$R_x = R_2 \left(\frac{M_n \cdot s_x}{M_x \cdot s_n} - 1 \right)$$

- R_x $[\Omega]$ התנגדות נגד טורי נוסף לסליל הרוטור
- R_2 $[\Omega]$ התנגדות סליל הרוטור
- s_n חליקה נקובה
- s_x חליקה מותאמת למהירות n_x

4.8 תכנון מתנע הדרגתי למנוע השראתי בעל רוטור מלופף

- λ היחס בין מומנט מרבי למומנט נקוב
- m מספר דרגות התנעה
- r_1 $[\Omega / \text{ph}]$ התנגדות מרבית של מעגל הרוטור ברגע ההתנעה
- R_2 $[\Omega / \text{ph}]$ התנגדות מעגל הרוטור
- $M_{\max}$ $[\text{N} \cdot \text{m}]$ מומנט מרבי בהתנעה
- M_n $[\text{N} \cdot \text{m}]$ מומנט נומינלי
- r_n $[\Omega / \text{ph}]$ התנגדות כוללת עד הדרגה ה- n
- R_n $[\Omega / \text{ph}]$ התנגדות הדרגה n

$$r_1 = R_2 \cdot \frac{M_n}{M_{\max} \cdot s_n}$$

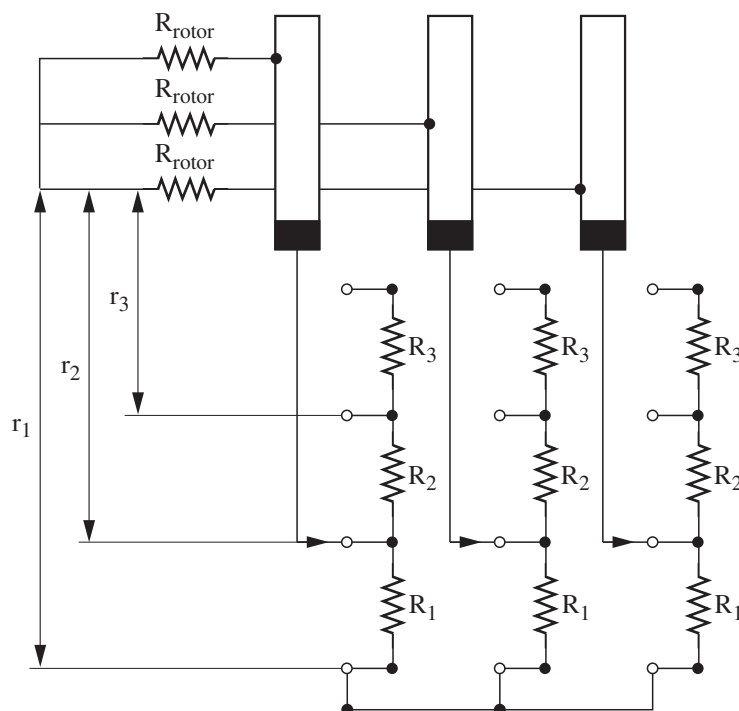
$$\lambda = \frac{M_{\max}}{M_n}$$

$$m = \frac{\ln \frac{r_1}{R_2}}{\ln \lambda}$$

$$r_2 = \frac{r_1}{\lambda}$$

$$r_n = \frac{r_1}{\lambda^{n-1}}$$

$$R_n = r_n - r_{n+1}$$



5. כוחות ומומנטים במערכות הינע

5.1 תנועה קווית

כוח מניע	-	F	$[N]$	$F = F_s + F_d$
כוח דינמי	-	F_d	$[N]$	$F_d = m \frac{dv}{dt} = ma$
כוח נגדי	-	F_s	$[N]$	
מסת הגוף	-	m	$[kgf \cdot sec^2 / m], [kg]$	
מהירות	-	v	$[m / sec]$	
תאוצה	-	a	$[m / sec^2]$	

5.2 תנועה סיבובית

מומנט סיבובי	-	M	$[N \cdot m]$	$M = M_s + M_d$
מומנט סטטי (נגדי)	-	M_s	$[N \cdot m]$	$M_d = J \frac{d\omega}{dt}$
מומנט דינמי	-	M_d	$[N \cdot m]$	$M - M_s = \frac{GD^2}{38.2} \frac{dn}{dt}$
מומנט התמדה (אינרציה)	-	J	$[kgf \cdot m \cdot sec^2]$	$GD^2 = 4gJ$
תאוצה זוויתית	-	$\frac{d\omega}{dt}$	$\left[\frac{rad}{sec^2} \right]$	
מומנט תנופה	-	GD^2	$[kgf \cdot m^2]$	
מהירות סיבוב	-	n	$[r.p.m]$	

6. העברת מומנטים

תנועה סיבובית

העברת מומנט סטטי:

- מומנט סטטי (נגדי) של המנגנון – $M_{sm} \text{ [kgf} \cdot \text{m]}$
- מומנט סטטי (נגדי) המועבר לציר המנוע – $M_s \text{ [kgf} \cdot \text{m]}$
- מהירות סיבוב ציר המנוע – $n \text{ [r.p.m]}$
- מהירות סיבוב ציר המנגנון – $n_m \text{ [r.p.m]}$
- נצילות התמסורת – η

$$M_s = \frac{M_{sm}}{K \cdot \eta} \quad \text{מומנט על ציר מנוע}$$

$$K = \frac{n}{n_m} \quad \text{תמסורת גלגלי השיניים}$$

$$M_s = M_{sm} \cdot \frac{1}{K_1 K_2 \dots K_i \eta_1 \eta_2 \dots \eta_i} \quad \text{עבור תמסורת של } i \text{ גלגלי שיניים}$$

העברת מומנטי תנופה לציר המנוע:

- מומנט תנופה של המנוע – $GD_N^2 \text{ [kgf} \cdot \text{m}^2]$
- מומנט תנופה של גלגל התמסורת ה- i – $GD_i^2 \text{ [kgf} \cdot \text{m}^2]$
או העומס הנגדי ה- i
- מהירות סיבוב ציר המנוע – $n \text{ [r.p.m]}$
- מהירות סיבוב הציר המשני של התמסורת – $n_i \text{ [r.p.m]}$
או של העומס הנגדי

$$GD^2 = GD_N^2 + \sum_{i=1}^m GD_i^2 \frac{1}{K_i^2}$$

$$K_i = \frac{n}{n_i}$$

$$1 \text{ kgf} = 9.81 \text{ N}$$

העברת מסות ומומנטים מתנועה קווית לתנועה סיבובית

העברת כוח סטטי למומנט סיבובי על ציר המנוע:

המומנט הסטטי המועבר לציר המנוע	-	M_s	$[N \cdot m]$	$M_s = 9.55 \frac{F_{sm} \cdot v}{n \cdot \eta}$
הכוח הנגדי של העומס (או של המטען)	-	F_{sm}	$[N]$	
המהירות הקווית של המטען	-	v	$[m / sec]$	$v = \frac{\pi D n}{60}$
מהירות הסיבוב של ציר המנוע	-	n	$[r.p.m]$	
נצילות התמסורת	-	η		
קוטר התוף	-	D	$[m]$	

העברת מסות למומנט תנופה:

משקל הגוף	-	G	$[kgf]$	$GD^2 = 365 \cdot G \cdot \left(\frac{v}{n}\right)^2$
-----------	---	-----	---------	---

זמן התנעה וזמן עצירה

(בהנחה שהמומנט הדינמי ו- GD^2 קבועים)

מומנט תנופה	-	GD^2	$[kgf \cdot m^2]$	בהתנעה:	$t = \frac{GD^2}{38.2} \frac{n_2 - n_1}{M - M_s}$
מהירות סיבוב התחלתית	-	n_1	$[r.p.m]$		
מהירות סיבוב סופית	-	n_2	$[r.p.m]$	בבלימה:	$t = \frac{GD^2}{38.2} \frac{n_1 - n_2}{M + M_s}$
מומנט סיבובי	-	M	$[N \cdot m]$		
מומנט סטטי (נגדי)	-	M_s	$[N \cdot m]$		

נספח ד': מילון מונחים
לשאלון 733911, אביב תשפ"ד

המונח	תרגום המונח		
	ערבית	רוסית	אנגלית
בקר בר־תכנות	وحدة تحكم مُبرمجة	Программируемый контроллер	programmable controller
דיאגרמה פולארית	الرسم القطبي	Векторная диаграмма	polar diagram
דיאגרמת סולם	مخطط السلم	Лестничная диаграмма	ladder diagram
הספק קצר	قدرة القصر	Мощность короткого замыкания	short circuit power
הפסדי ברזל	خسائر الحديد	Потери в железе	core losses
הפסדי נחושת	خسائر النحاس	Потери в меди	load losses
מגענים	مفاتيح التلامس	Контакты	contactors
מהירות־סיבוב נקובה	سرعة الدوران الاسميّة	Номинальная скорость вращения	nominal rotational speed
מערכת פיקוד	نظام التحكم	Система управления	control system
מפל מתח מרבי	هبوط الجهد الأقصى	Максимальное падение напряжения	maximum voltage drop
עוצמת הארה	شدة الإضاءة	Уровень освещённости	illuminance
קצר תלת־מופע	قصر ثلاثي الأطوار	Трёх фазное короткое замыкание	three-phase short circuit
שטח חתך אחיד	مساحة مقطع عرضي موحد	Однородное сечение	uniform cross-sectional area
שטח חתך תקני	مساحة مقطع عرضي معياري	Стандартное сечение	standard cross-sectional area