

מערכות הספק ומכונות חשמל והינע ט'

למתמחים במערכות הספק פיקוד ובקרה במגמת הנדסת חשמל, בקרה ואנרגיה

(כיתה י"ג)

הוראות לנבחן

א. משך הבחינה: ארבע שעות.

ב. מבנה השאלון ומפתח ההערכה: בשאלון זה שלושה פרקים ובהם תשע שאלות. יש להשיב על ארבע שאלות בלבד: שאלה אחת לפחות מן הפרק הראשון, שאלה אחת לפחות מן הפרק השני. לכל שאלה – 25 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 השאלות הנדרש בלבד, לפי סדר כתיבתן במחברתך, ולא יתייחס לתשובות נוספות.
 - התחל כל תשובה לשאלה חדשה בעמוד חדש.
 - רשום 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 מִרְב 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.
- לנוחותך, לשאלון זה מצורף מילון מונחים בשפות עברית, אנגלית, רוסית וערבית. תוכל להיעזר בו בעת הצורך.

בשאלון זה 12 עמודים ו-40 עמודי נספחים.

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

השאלות

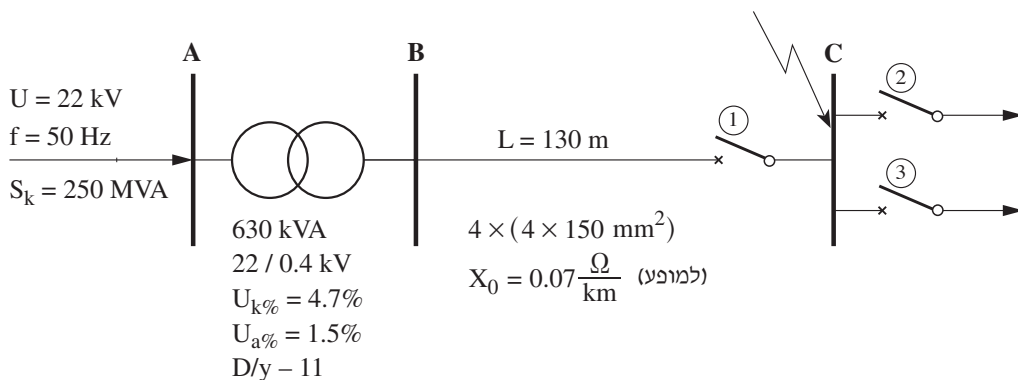
ענה על ארבע מבין השאלות 1-9. עליך לענות על שאלה אחת לפחות מן הפרק הראשון, ועל שאלה אחת לפחות מן הפרק השני.

פרק ראשון: מערכות הספק א'

ענה על שאלה אחת לפחות מבין השאלות 1-4 (לכל שאלה – 25 נקודות).

שאלה 1

באיור א' לשאלה 1 נתונה רשת תלת-מופעית שהתדר שלה הוא $f = 50 \text{ Hz}$, המוזנת בפס-צבירה A. מוליכי הרשת עשויים נחושת.



איור א' לשאלה 1

- א. בפס-צבירה C מתרחש קצר תלת-מופע. חשב את ערכו של זרם הקצר הכולל במופע R כעבור 12 msec מרגע התרחשות הקצר. נתון שזווית המתח במופע R ברגע התרחשות הקצר היא 30° .
- ב. קבע את כושר הניתוק (הפסקה) של המבטחים 1 ו-2 המחוברים לפס-צבירה C.

The diagram shows three identical rectangular blocks arranged horizontally. The first block on the left has a width of 1 cm, indicated by a double-headed arrow above it, and a height of 6 cm, indicated by a double-headed arrow to its left. The blocks are separated by gaps of 7.5 cm each, with dimension lines and arrows below the blocks indicating these distances.

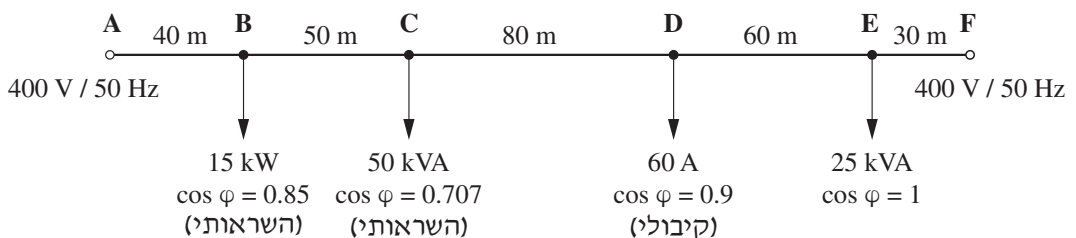
קבע את המרחק המרבי בין כל שני מבדדים סמוכים לאורך פס־הצבירה, כך שהמערכת תהיה עמידה בפני כוחות אלקטרו־דינמיים. נתון כי פס־הצבירה עשויים נחושת, ומאמץ הכפיפה המותר הוא $1,400 \text{ kg / cm}^2$.

שאלה 2

באיור לשאלה 2 נתונה רשת תלת-מופעית. הרשת מוזנת בנקודות A ו-F במתחים זהים של $400 \text{ V} / 50 \text{ Hz}$ בעלי מופעים זהים.

נתונים:

- מוליכי הרשת עשויים נחושת.
- ההיגב ההשראותי למופע (פאזה) ליחידת אורך הוא $X_0 = 0.1 \frac{\Omega}{\text{km}}$.
- שטח החתך של מוליכי הרשת הוא אחיד, וערכו 25 mm^2 .

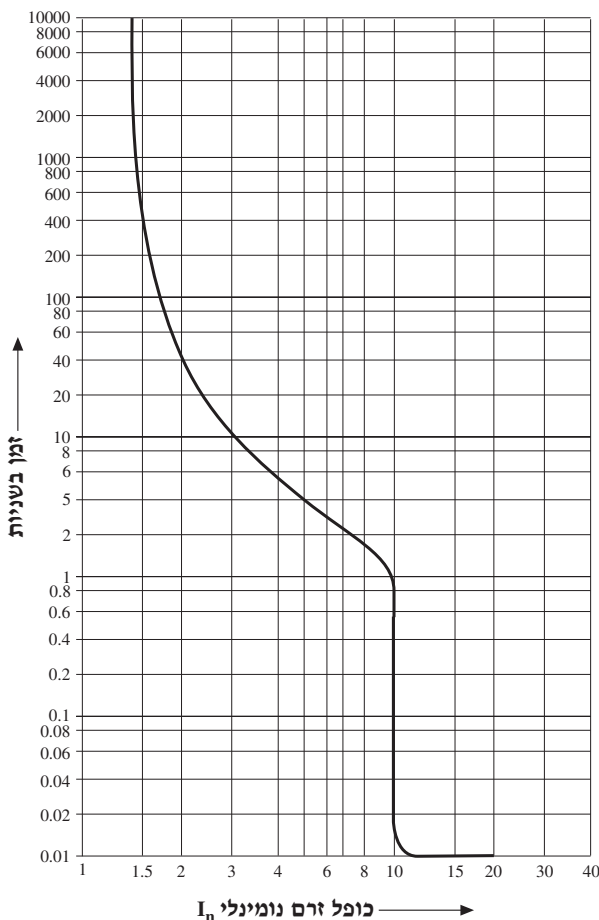


איור לשאלה 2

- א. חשב את הזרם בכל אחד ממקטעי הרשת (AB, BC, CD, DE, EF). רשום את תשובתך בהצגה קרטזית.
- הערה: בחישוב הזרמים של הצרכנים הנח מתח של 400 V .
- ב. קבע באמצעות חישוב באיזו נקודה יתקבל המתח המזערי ברשת. חשב את ערכו של מתח זה.
- ג. חשב את הפסדי ההספק הממשיים ברשת בין הנקודות B ו-E.
- ד. מקטינים את שטח החתך האחיד ברשת ב-30%. האם מפלי המתח ברשת ישתנו באותו שיעור? נמק את תשובתך.

שאלה 3

בלוח חשמל ביתי מותקן מא"ז ראשי חד-מופעי מסוג C בעל זרם נקוב של 40 A. אופיין הניתוק של המא"ז מתואר באיור לשאלה. המתקן הביתי מוגן מפני התחשמלות בשיטת הגנה TN-C-S.



איור לשאלה 3

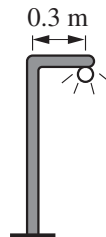
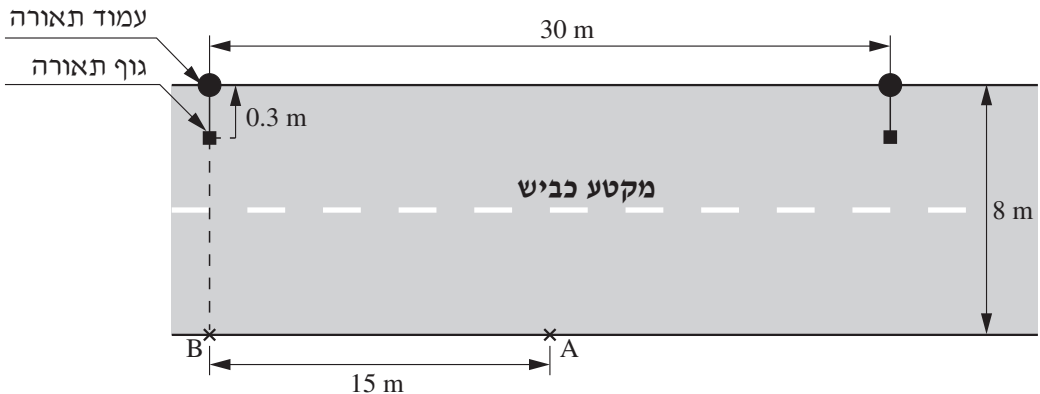
- א. חשב את ההתנגדות המרבית המותרת של לולאת התקלה, כך שהמא"ז יגיב כנדרש כאשר מתרחש קצר חד-מופעי במתקן.
- ב. מוליך PEN מתנתק ביציאה מהשנאי. חשב את ההתנגדות המרבית בין פס השוואת הפוטנציאלים ובין המסה הכללית של האדמה, כך שהמתקן יהיה מוגן מפני התחשמלות. הנח שהתנגדות הארקה השיטה שווה ל- 5Ω . בחישובך הזנח את התנגדות המוליכים.
- ג. הגדר את המושגים **מתח צעד** ו**מתח מגע**.

שאלה 4

באיור א' לשאלה 4 מתואר מבט־על של מקטע כביש הכולל מערכת תאורה וכן עמוד תאורה סכמתי. על כל עמוד תאורה מותקן גוף תאורה אחד; בכל גוף תאורה מותקנת נורת נתרן לחץ גבוה.

נתונים:

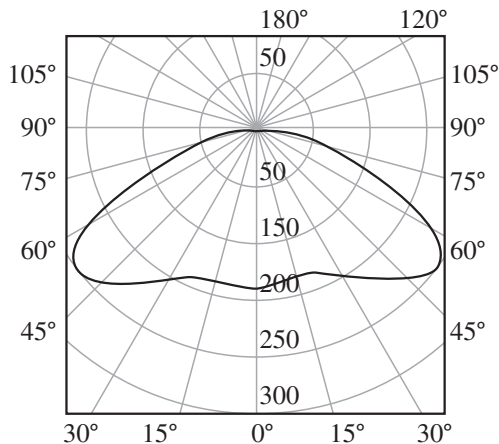
- ההספק של כל נורה: 250 W
- היעילות האורית של כל נורה: 110 lm / W
- המרחק בין כל שני עמודים סמוכים: 30 m
- רוחב הכביש: 8 m



עמוד תאורה סכמתי

איור א' לשאלה 4

העקומה הפולארית של כל גוף תאורה מתוארת באיור ב' לשאלה ונתונה ביחידות של $\text{cd} / 1,000 \text{ lm}$.



איור ב' לשאלה 4

- א. חשב את גובהו של עמוד תאורה, כך שעוצמת ההארה על־פני הכביש, אנכית מתחת לגוף התאורה, תהיה 55 lx . אין להתחשב בתרומת ההארה של עמודי התאורה הסמוכים.
- ב. חשב את עוצמת ההארה על־פני הכביש בנקודה A. כל גוף תאורה מותקן בגובה שחישובת בתשובתך לסעיף א'.
- ג. הנח כי מגדילים את המרחק בין כל שני עמודים סמוכים. באיזו מהנקודות, A או B, תפחת עוצמת ההארה? נמק את תשובתך.

פרק שני: המרת אנרגיה והינע א'

ענה על שאלה אחת לפחות מבין השאלות 5-7 (לכל שאלה – 25 נקודות).

שאלה 5

נתוניו הנקובים של שנאי תלת-מופעי הם:

$$S_n = 400 \text{ kVA} ; U_{1n} = 22 \text{ kV} ; U_{2n} = 400 \text{ V} ; D/y -11$$

בניסוי בקצר ובניסוי בריקם שבוצעו בהזנת השנאי מצד המתח הגבוה, נמדדו הערכים האלה:

$$U_0 = 22 \text{ kV} ; I_0 = 0.126 \text{ A} ; \cos \varphi_0 = 0.134$$

$$U_k = 968 \text{ V} ; P_k = 4.67 \text{ kW} ; \cos \varphi_k = 0.265$$

השנאי מוזן במתח U_{1n} .

א. השנאי מועמס בעומס של 240 kW במקדם הספק 0.8 השראותי. חשב את המתח השלוב בהדקי הסליל השניוני של השנאי.

ב. חשב את נצילות השנאי בתנאי ההעמסה הנתונים בסעיף א'.

ג. כיצד ישתנה מתח ההדקים של השנאי בסליל השניוני אם השנאי יועמס בעומס בעל אופי קיבולי (ולא השראותי)? נמק את תשובתך.

שאלה 6

נתוניו הנקובים של מנוע לזרם ישר בעירור מקבילי הם:

$$P_n = 20 \text{ kW} , U_n = 250 \text{ V} , n_n = 1,800 \text{ RPM} , \eta_n = 0.85$$

$$R_a = 0.25 \Omega , R_e = 100 \Omega , \Delta P_{\text{mech}} = 500 \text{ W}$$

המנוע עובד בתחום הליניארי של עקומת המגנט.

הערה: הזנה בחישובך את תגובת העוגן ואת מפל המתח על הפחמים.

א. חשב את הפסדי הנחושת ואת הפסדי הברזל הנקובים.

ב. חשב את המומנט הנקוב ואת איבודי המומנט בריקם.

ג. חשב את מהירות הסיבוב של המנוע ואת נצילותו כאשר זרם העוגן יקטן ל-80 A.
עקב הקטנת העומס על הציר.

שאלה 7

נתוניו הנקובים של מנוע השראה תלת־מופעי, שסלילי הסטטור שלו מחוברים בחיבור כוכב, הם:

$$P_n = 30 \text{ kW} ; U_n = 400 \text{ V} ; \eta_n = 0.928 ; \cos \varphi_n = 0.85$$

$$f_1 = 50 \text{ Hz} ; n_n = 1,470 \text{ RPM} ; \lambda_{\max} = \frac{M_k}{M_n} = 2.6 ; \Delta P_{\text{mech}_n} = 400 \text{ W} ; \Delta P_{\text{Fe}_n} = 500 \text{ W}$$

הערה: הזנה בחישוביך את ההפסדים הנוספים: $\Delta P_{\text{add}} = 0 \text{ W}$.

א. המנוע מועמס בעומס נקוב. חשב את איבודי הנחשת ברוטור ואת ההתנגדות של סלילי הסטטור.

ב. חשב את גורם החליקה במומנט קריטי ואת מומנט ההתנעה בהתנעה ישירה במתח נקוב.

ג. המנוע מועמס ב־80% מהמומנט הנקוב, פועל במהירות של 1,485 RPM וצורך זרם של 45 A. חשב את נצילות המנוע בתנאים אלה.

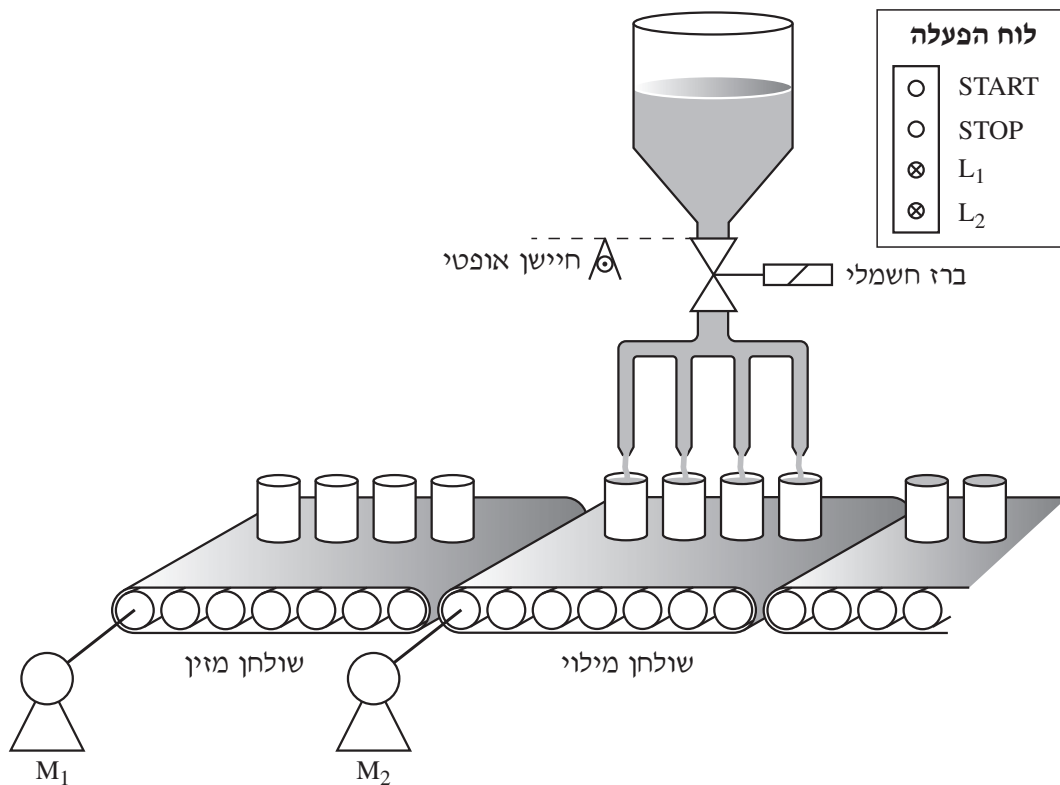
הנח בחישובך לסעיף ג' שההפסדים המכניים אינם משתנים ושהמנוע מוזן במתח נקוב.

פרק שלישי: מערכות פיקוד ממוחשבות ובקרים בני־תכנות

(לכל שאלה – 25 נקודות).

שאלה 8

באיור לשאלה 8 מתואר מתקן אוטומטי למילוי קופסאות. המתקן כולל שני מנועים חשמליים, ברז חשמלי, חיישן אופטי ולוח הפעלה.



איור לשאלה 8

לוח ההפעלה כולל את הרכיבים האלה:

1. לחצן START

2. לחצן STOP

3. נורית ירוקה L_1

4. נורית אדומה L_2

מערכת הפיקוד נדרשת לבצע באמצעות בקר בר־תכנות את הפעולות האלה:

- לחיצה על הלחצן START תפעיל את המנוע M_2 .
- כעבור 5 שניות יופעל המנוע M_1 .
- החיישן האופטי מזהה את הקופסאות המועברות מהשולחן המזין לשולחן המילוי.
- לאחר שארבע קופסאות עוברות מהשולחן המזין לשולחן המילוי, המנועים M_1 ו- M_2 מפסיקים לפעול והברז החשמלי נפתח לפרק זמן של 10 שניות למילוי הקופסאות.
- לאחר סגירת הברז החשמלי, התהליך חוזר על עצמו שש פעמים ואז מופסק.
- הנורית הירוקה L_1 דולקת כל עוד המנועים M_1 ו- M_2 פועלים.
- הנורית האדומה L_2 דולקת אם המנוע M_1 מופעל והחיישן האופטי אינו סופר אף קופסה במשך 15 שניות. במצב זה תהליך מילוי הקופסאות מופסק.
- הלחצן STOP עוצר את התהליך בכל שלב.
- א.** סרטט במחברתך תרשים זמנים להפעלת המנועים והברז החשמלי לאורך מחזור אחד.
- ב.** תאר, באמצעות דיאגרמת סולם, את תוכנית הפיקוד למילוי הקופסאות.

שאלה 9

בתהליך כימי המבוקר על-ידי בקר בר־תכנות, נמדדת טמפרטורה בתוך דוד בתחום של $25^{\circ}\text{C} - 75^{\circ}\text{C}$. הטמפרטורה נמדדת באמצעות חיישן טמפרטורה התנגדותי PT100 ומשדר, הממיר את התנגדות החיישן בטווח $0^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}$ לזרם של $4\text{mA} - 20\text{mA}$. יחידת מבוא תקבילית בבקר, בעלת 12 סיביות, קוראת את ערכי הטמפרטורה.

הערה: הערך הספרתי של 0mA הוא 0 בייצוג העשרוני.

- א. חשב את הערך הספרתי (בייצוג עשרוני) במוצא יחידת ה- A/D של הבקר לתחום הטמפרטורה הנמדדת, אם נתון שטווח ההמרה הוא $0^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}$.
- ב. חשב את תחום זרמי המשדר המתאימים לתחום שינויי הטמפרטורה בתהליך.
- ג. סרטט במחברתך דיאגרמת סולם להפעלת שתי נוריות סימון הפועלות באופן הזה:
 1. אם הטמפרטורה הנמדדת היא בטווח של $25^{\circ}\text{C} - 75^{\circ}\text{C}$, תידלק נורית ירוקה ברציפות.
 2. אם הטמפרטורה הנמדדת היא מחוץ לטווח של $25^{\circ}\text{C} - 75^{\circ}\text{C}$, תידלק נורית סימון אדומה למשך 2 שניות ותִקְבֶּה למשך 3 שניות, לסירוגין.

בהצלחה!

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

מקום לנחיתת נחל

נוסחאון במערכות הספק לכיתה י"ג

(16 עמודים)

1. מפלי מתח

מתח ישר

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

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

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

מתח חילופין חד-מופעי

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

$$\Delta U = \Delta U_a + \Delta U_r$$

$$\Delta U_r = 2 X_o \sum_{k=1}^{k=n} I_k L_k \sin \varphi_k$$

$$\Delta U_a = \frac{2}{\gamma A} \sum_{k=1}^{k=n} (I_k L_k \cos \varphi_k)$$

$$\Delta P = \frac{2}{\gamma A} \sum_{k=1}^{k=n} (I_k^2 L_k) = \frac{2}{\gamma A} \sum_{k=1}^{k=n} (I_a^2 + I_r^2)_k \cdot L_k$$

$$I_a = I \cos \varphi$$

$$I_r = I \sin \varphi$$

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_r^2}$$

$$\bar{I} = I_a + j I_r = I \angle \varphi_k$$

מתח חילופין תלת-מופעי

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

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

המוליכות הסגולית	-	γ	[m/ Ωmm^2]
המשקל הסגולי	-	g	[g/cm ³]

חומרים		
חמרן	נחושת	
35	57	γ
2.7	8.9	g

2. התחממות של מוליכים וכבלים

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

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

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

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

מוליכים מנחושת		מוליכים מאלומיניום	
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
36	6	41	6
50	10	66	10
68	16	88	16
92	25	118	25
113	35	145	35
137	50	175	50
174	70	223	70
211	95	270	95
244	120	313	120

טמפרטורה אופפת של הסביבה: 35°C

2.1.1 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

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

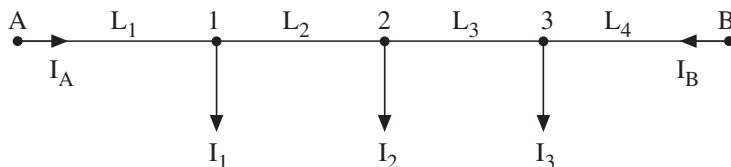
טמפרטורה אופפת של האדמה ($^{\circ}\text{C}$)									
55	50	45	40	35	30	25	20	15	10
0.77	0.82	0.87	0.91	0.96	1.00	1.04	1.08	1.12	1.15

2.2.2 מקדם תיקון עבור התקנת כבלים אחדים באדמה

מספר המעגלים			אופן התקנת המעגלים
4	3	2	
0.59	0.66	0.78	
0.67	0.72	0.83	מעגלים צמודים
			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 במתחים שונים בעלי מופעים זהים, ושטח חתך אחיד של המוליכים

מומנט ההשוואה	-	M	[Am]	
הפרש המתחים בין שני מקורות המתח	-	ΔU	[V]	
מוליכות סגולית	-	γ	[m/Ωmm ²]	
שטח חתך של מוליכי הרשת	-	A	[mm ²]	

$$M = \frac{\Delta U \cdot \gamma \cdot A}{2}$$

$$M = \frac{\Delta U \cdot \gamma \cdot A}{\sqrt{3}}$$

זרם ישר או זרם חילופין חד-מופע:

זרם חילופין תלת-מופע:

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

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

4. שיפור מקדם ההספק

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]

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

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 וההיגב X_1	-	U_{2L}	[V]
ההתנגדות R_1 וההיגב X_1 אשר הועברו למתח U_2	-	R'_1, X'_1	[Ω]
מקדם ההמרה	-	K	

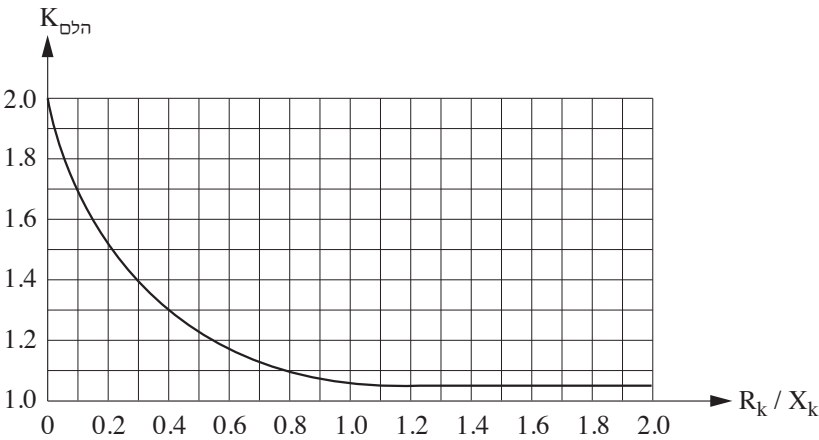
$I_k = \frac{1.1 \cdot U}{\sqrt{3} Z}$
$X_G = \frac{U_{x\%} U^2}{100 S_G}$
$X_S = \frac{U^2}{S_k}$
$R_T = \frac{U_{r\%} U^2}{100 S_T}$
$X_T = \frac{U_{x\%} U^2}{100 S_T}$
$U_{k\%} = \sqrt{U_{r\%}^2 + U_{x\%}^2}$
$Z = \sqrt{(\Sigma X)^2 + (\Sigma R)^2}$
$R_L = R_o \cdot L$
$X_L = X_o \cdot L$
$R'_1 =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

5.1 נוסחאות לחישוב זרם קצר תלת־מופעי זרם הלם

רכיב מחזורי של זרם קצר	i_k	[A]	$i = i_k + i_a$
רכיב זרם ישר (רכיב אקספוננציאלי)	i_a	[A]	$i_k = \sqrt{2} I_k \sin(\omega t + \alpha - \varphi_k)$
זווית המתח ברגע הופעת הקצר ($t = 0$)	α	[rad]	$i_a = -\sqrt{2} I_k \sin(\alpha - \varphi_k) e^{-\frac{t}{\sigma}}$
זווית המופע של עכבת הקצר	φ_k	[rad]	$\sigma = \frac{L}{R}$
קבוע זמן של מעגל הקצר	σ	[sec]	$I_{\text{הלם}} = \sqrt{2} \cdot I_K \cdot K_{\text{הלם}}$
ערך השיא של זרם הקצר	$I_{\text{הלם}}$	[A]	
מקדם ההלם	$K_{\text{הלם}}$		

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

הכוח הפועל על פס באורך l m - F [kg/m]

ערך השיא של זרם הקצר - $I_{\text{הלם}}$ [kA]

המרחק בין המרכזים של פסי הצבירה - d [cm]

מאמץ הכפיפה - σ [kg/cm²]

הכוח הפועל על הפס בקטע בין שני מבדדים - P [kg]

אורך הפס בין שני מבדדים - L [cm]

מומנט ההתנגדות (מודול החתך) - W [cm³]

מקדם האלסטיות - E [kg/cm²]

מומנט ההתמדה (אינרציה) - J [cm⁴]

המשקל של פס באורך 1 cm - G [kg]

תדירות התהודה העצמית - f [Hz]

רוחב הפס - b [cm]

גובה הפס - h [cm]

קוטר הפס - D [cm]

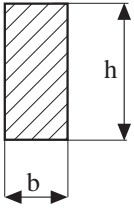
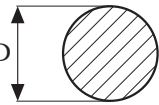
המשקל הסגולי - g [kg/cm³]

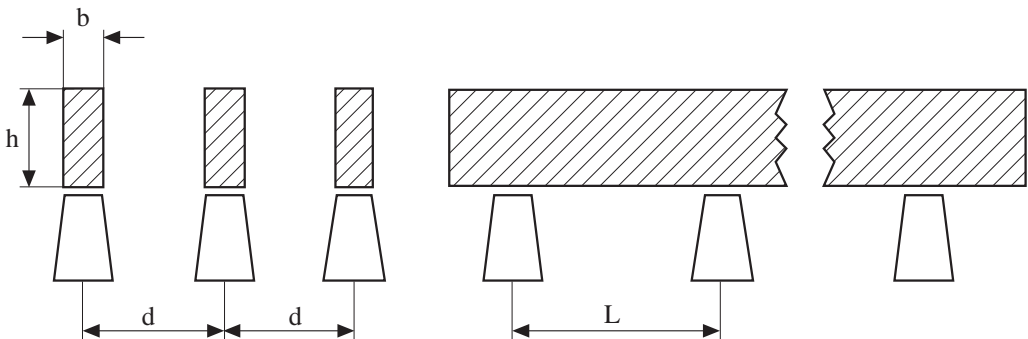
$$F = 1.76 \frac{I_{\text{הלם}}^2}{d}$$

$$P = F \frac{L}{100}$$

$$\sigma = \frac{P \cdot L}{12 W}$$

$$f = \frac{112}{L^2} \sqrt{\frac{E \cdot J}{G}}$$

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 חמרון 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 Cu – [°C]				טמפרטורה גבולית Al – [°C]			
	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 I_n 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

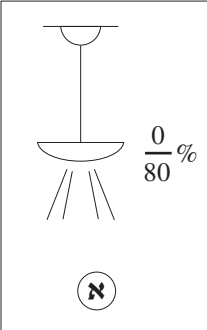
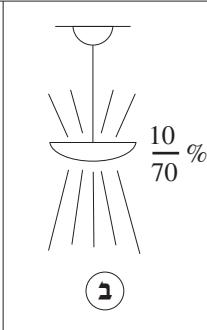
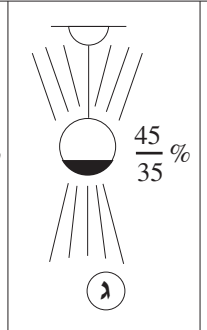
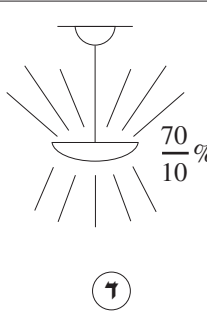
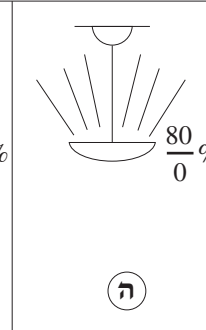
שטף אור ונצילות של מקורות אור שונים

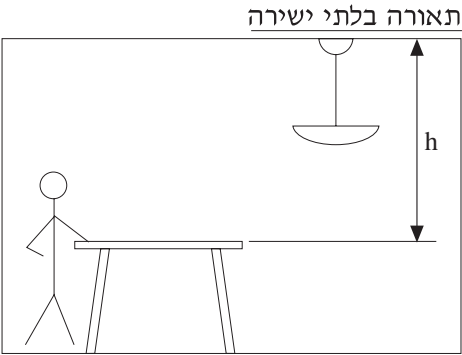
<u>נצילות [lm/W]</u>	<u>שטף אור [lm]</u>	<u>נורות להט (220V)</u>
9.2	230	25 W
10.7	430	40 W
12.2	730	60 W
13.8	1380	100 W
15.7	3140	200 W
16.7	5000	300 W
16.8	8400	500 W
<u>נורות להט (עם תוספת יוד)</u>		
22.0	22000	1000 W
<u>נורות פלורסנטיות</u>		
57	2950	40 W לבן בהיר
46	2300	כנ"ל לבן אוניברסלי
38	1900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

1. הערות: בנוורות פריקה – ההספק נתון עבור הנורה בלבד.

2. הנצילות מחושבת גם על-פי ההפסדים בציוד העזר.

חישוב תאורה כללית

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

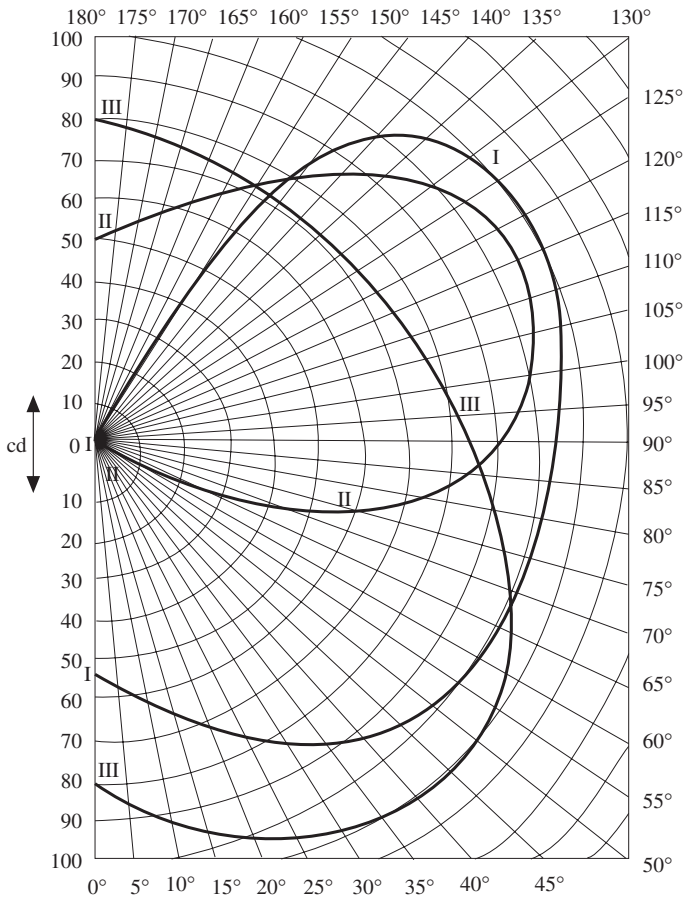
סוג גופי התאורה		סוג התאורה		תאורת ליבון		תאורת כספית		תאורה פלורסנטית	
מרב		מועט		מרב		מועט		מרב	
0.55	0.75	0.6	0.8	0.6	0.85	0.6	0.8	0.55	0.75
0.37	0.7	0.4	0.7	0.4	0.75	0.4	0.7	0.37	0.7
0.3	0.6	0.35	0.65	0.35	0.7	0.35	0.65	0.3	0.6

גופים לתאורה ישירה
גופים לתאורה שווה
גופים לתאורה בלתי ישירה

נצילות התאורה η

סוג גוף התאורה	R _K	החזרה מהתקרה (%)		החזרה מהקירות (%)		75			50			30	
		←		←		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	42	44
	1.0					47	48	51	47	48	50	47	48
	1.5					52	55	58	52	55	56	52	55
	2.0					57	59	61	57	59	58	57	59
	3.0					62	65	68	62	65	66	62	65
	5.0					67	69	71	67	69	69	67	69
	5.0					67	69	71	67	69	69	67	69
ב	0.6					23	27	32	23	27	32	23	27
	0.8					31	35	40	31	35	39	31	35
	1.0					36	39	44	36	39	43	36	39
	1.5					43	47	52	43	47	50	43	47
	2.0					48	52	57	48	52	55	48	52
	3.0					54	59	65	54	59	57	54	59
	5.0					62	66	71	62	66	67	62	66
	5.0					62	66	71	62	66	67	62	66
ג	0.6					17	21	24	17	21	21	17	21
	0.8					22	27	30	22	27	26	22	27
	1.0					25	30	32	25	30	29	25	30
	1.5					28	35	38	28	35	32	28	35
	2.0					31	38	40	31	38	35	31	38
	3.0					33	42	45	33	42	39	33	42
	5.0					35	46	48	35	46	41	35	46
	5.0					35	46	48	35	46	41	35	46
ד	0.6					7	14	18	7	14	11	7	14
	0.8					10	19	22	10	19	15	10	19
	1.0					12	22	26	12	22	17	12	22
	1.5					15	28	32	15	28	20	15	28
	2.0					17	32	35	17	32	24	17	32
	3.0					20	38	42	20	38	27	20	38
	5.0					23	44	48	23	44	33	23	44
	5.0					23	44	48	23	44	33	23	44
ה	0.6					3	11	15	3	11	9	3	11
	0.8					4	15	19	4	15	12	4	15
	1.0					5	19	22	5	19	14	5	19
	1.5					8	24	28	8	24	16	8	24
	2.0					10	28	32	10	28	18	10	28
	3.0					12	34	38	12	34	21	12	34
	5.0					13	38	43	13	38	22	13	38
	5.0					13	38	43	13	38	22	13	38

דיאגרמה פולארית של מקור אור בעל שטף של 1000 lm



צפיפות ההארה לכל I_α [cd]

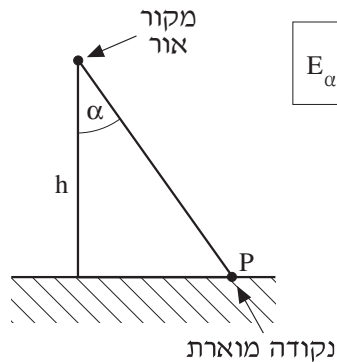
α מכיוון 1000 lm

עוצמת ההארה לכל E_α [lx]

α מכיוון 1000 lm

גובה מעל משטח h [m]

ההארה



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

בהצלחה!

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

מקום לנחשת נבחן

נוסחאון במכונות חשמל והינע לכיתה י"ג

(22 עמודים)

1. מבוא למערכות תלת-מופעיות

כוכב סימטרי

I_L [A] - זרם קווי

$$I_L = I_{ph}$$

I_{ph} [A] - זרם מופעי

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

U_L [V] - מתח שלוב (קווי)

U_{ph} [V] - מתח מופעי

משולש סימטרי

$$U_L = U_{ph}$$

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

הספק תלת-מופעי

S [VA] - הספק מדומה תלת-מופעי

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

P [W] - הספק פעיל תלת-מופעי

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

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

Q [VAR] - הספק היגבי תלת-מופעי

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

- E_1 [V] – כא"מ מושרה בסליל הראשוני
- E_2 [V] – כא"מ מושרה בסליל השניוני
- $\Phi_{\max}$ [Wb] – שטף מרבי בגרעין
- N_1 – מספר הכריכות בסליל הראשוני
- N_2 – מספר הכריכות בסליל השניוני
- f [Hz] – תדירות
- $B_{\max}$ [Wb / m²] – השראה מגנטית מרבית
- A [m²] – שטח החתך של הגרעין

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

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

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

שנאי חד-מופעי:

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

שנאי תלת-מופעי:

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

- a – יחס השנאה
- U_1 [V] – מתח בסליל הראשוני
- U_2 [V] – מתח בסליל השניוני
- I_1 [A] – זרם בסליל הראשוני
- I_2 [A] – זרם בסליל השניוני

2.2 ניסוי קצר

יחס השנאה	-	a	$R_2' = R_2 a^2$
התנגדות הסליל השניוני	-	$R_2 \quad [\Omega]$	$X_2' = X_2 a^2$
התנגדות הסליל השניוני	-	$R_2' \quad [\Omega]$	$R_k = R_1 + R_2'$
משוקפת לראשוני			$X_k = X_1 + X_2'$
היגב השראותי של הסליל השניוני	-	$X_2 \quad [\Omega]$	$Z_k = \sqrt{R_k^2 + X_k^2}$
היגב השראותי של הסליל השניוני משוקף לראשוני	-	$X_2' \quad [\Omega]$	$R_k = Z_k \cdot \cos \varphi_k$
התנגדות הקצר	-	$R_k \quad [\Omega]$	$X_k = Z_k \cdot \sin \varphi_k$
היגב הקצר של השנאי	-	$X_k \quad [\Omega]$	$U_{k\%} = \frac{U_k}{U_n} \cdot 100$
עכבת הקצר של השנאי	-	$Z_k \quad [\Omega]$	
מתח הקצר של השנאי	-	$U_k \quad [V]$	
זרם הקצר של השנאי	-	$I_k \quad [A]$	
מתח הקצר, באחוזים	-	$U_{k\%}$	
מהמתח הנקוב			

2.3 פעולת השנאי בקצר ובריקם

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

	$Z_k = \frac{U_{kph}}{I_{kph}}$	$Z_k = \frac{U_k}{I_k}$
הספק הקצר – P_k [W]		
זרם הקצר – I_k [A]		
התנגדות – R_k [Ω]	$P_k = 3 \cdot I_{kph}^2 \cdot R_k$	$P_k = I_k^2 \cdot R_k$
הקצר	$P_k = \sqrt{3} \cdot U_k I_k \cos \varphi_k$	$P_k = U_k I_k \cos \varphi_k$
היגב – X_k [Ω]		
הקצר	$\Delta U_{R\%} = \frac{I_{nph} \cdot R_k}{U_{nph}} \cdot 100$	$\Delta U_{R\%} = \frac{I_n R_k}{U_n} \cdot 100$
עכבת – Z_k [Ω]		
הקצר	$\Delta U_{X\%} = \frac{I_{nph} \cdot X_k}{U_{nph}} \cdot 100$	$\Delta U_{X\%} = \frac{I_n X_k}{U_n} \cdot 100$
מפל מתח – $\Delta U_{R\%} / \Delta U_{X\%}$		
היגבי / התנגדויות באחוזים		

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

זרם ריקם – $I_{o\%}$	$I_{o\%} = \frac{I_{oph}}{I_{nph}} \cdot 100 = \frac{I_o}{I_n} \cdot 100$	$I_{o\%} = \frac{I_o}{I_n} \cdot 100$
באחוזים		
זרם ריקם – I_o [A]		
זרם הפסדי ברזל – I_{Fe} [A]	$I_{Feph} = \frac{P_o}{3 \cdot U_{nph}}$	$I_{Fe} = \frac{P_o}{U_n}$
זרם המגנט – I_μ [A]	$I_{\mu ph} = \sqrt{I_{oph}^2 - I_{Feph}^2}$	$I_\mu = \sqrt{I_o^2 - I_{Fe}^2}$
התנגדות מותאמת להפסדי ברזל – R_{Fe} [Ω]	$R_{Fe} = \frac{U_{nph}}{I_{Feph}}$	$R_{Fe} = \frac{U_n}{I_{Fe}}$
היגב המגנט – X_μ [Ω]	$X_\mu = \frac{U_{nph}}{I_{\mu ph}}$	$X_\mu = \frac{U_n}{I_\mu}$
הספק בריקם – P_o [W]	$P_o = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_o \cdot \cos \varphi_o$	$P_o = U_n \cdot I_o \cdot \cos \varphi_o$

2.4 מפלי מתח ומתחי עבודה

מפל מתח באחוזים	-	$\Delta U_{\%}$	$\beta = \frac{S}{S_n}$
מפל מתח התנגדותי באחוזים	-	$\Delta U_{R\%}$	
מפל מתח היגבי באחוזים	-	$\Delta U_{X\%}$	$\Delta U_{\%} = \beta (\Delta U_{R\%} \cos \varphi_2 \pm \Delta U_{X\%} \sin \varphi_2)$
גורם הספק של העומס	-	$\cos \varphi_2$	$\Delta U_{R\%} = \frac{\Delta P_{Cu_n}}{S_n} \cdot 100$
מקדם העמסה של השנאי	-	β	
הספק מדומה של העומס	-	S_2 [VA]	$\Delta U_{X\%} = \sqrt{(U_{k\%})^2 - (\Delta U_{R\%})^2}$
הספק נקוב של השנאי	-	S_n [VA]	$U_2 = U_{2n} \left(1 - \frac{\Delta U_{\%}}{100} \right)$
מתח שניוני נקוב	-	U_{2n} [V]	
מתח שניוני	-	U_2 [V]	$U_1 = U_{1n} \left(1 + \frac{\Delta U_{\%}}{100} \right)$
מתח ראשוני נקוב	-	U_{1n} [V]	
מתח ראשוני	-	U_1 [V]	
נצילות השנאי	-	η	

2.5 נצילות השנאי

גורם העמסה המותאם לנצילות מרבית	-	$\beta \eta_{\max}$	$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P_{Cu} + \Delta P_{Fe}}$
הפסדי ברזל	-	ΔP_{Fe} [W]	
הפסדי נחושת נקובים	-	ΔP_{Cu_n} [W]	$\eta = \frac{\beta \cdot S_n \cos \varphi_2}{\beta S_n \cos \varphi_2 + \beta^2 \Delta P_{Cu_n} + \Delta P_{Fe}}$

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:

$$\frac{S_I}{S_{II}} = \frac{S_{nI} \cdot U_{K\%II}}{S_{nII} \cdot U_{K\%I}}$$

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

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

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_{nI} - הספק מדומה נקוב של
שנאי (1)

S_{nII} - 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

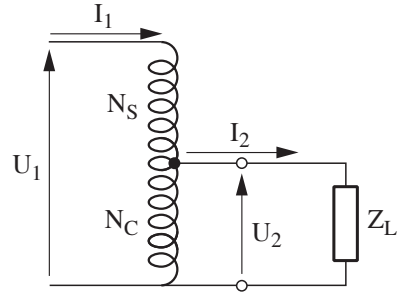
בהפעלת מספר שנאים במקביל:

$$S_m = \frac{S_T}{\sum_{i=1}^n \frac{S_{n_i}}{U_{K\%i}}} \cdot \frac{S_{n_m}}{U_{K\%m}}$$

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

2.7 שְׁנָאֵי עֲצֵמִי

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



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

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

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

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

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

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

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

$$I_C \approx I_2 - I_1$$

3. מכונה לזרם ישר

3.1 כוח אלקטרו-מניע

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

כוח אלקטרו-מניע (כא"מ)	-	E	[V]	במחולל לזרם ישר:
המתח בין הדקי המחולל / המתח המסופק למנוע	-	U	[V]	(עירור מקבילי) $E = U + I_a \cdot R_a + \Delta U_b$
התנגדות העוון	-	R_a	[W]	(עירור זר) $E = U + I \cdot R_a + \Delta U_b$
התנגדות סליל העירור הטורי	-	R_{es}	[W]	(עירור טורי) $E = U + I(R_a + R_{es}) - \Delta U_b$
מפל המתח על המברשות	-	ΔU_b	[V]	במנוע לזרם ישר:
הזרם בעוון	-	I_a	[A]	(עירור מקבילי) $E = U - I_a \cdot R_a - \Delta U_b$
זרם הצרכן במחולל / זרם המקור במנוע	-	I	[A]	(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

הזרם המסופק לצרכן על-ידי המחולל	I [A]	-	$I = I_a$	$I_e = \frac{U_e}{R_e}$	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]	-	$I = I_a$	$I_e = \frac{U_e}{R_e}$	עירור זר
			I_a [A]	$I_e = \frac{U}{R_e}$	עירור מקבילי
			$I = I_a = I_e$		עירור טורי
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_{ast} [A]	-			
התנגדות המתנע	R_{st} [Ω]	-			

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

3.4 הספקים והפסדי הספק

הספק אלקטרו מגנטי	-	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]

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

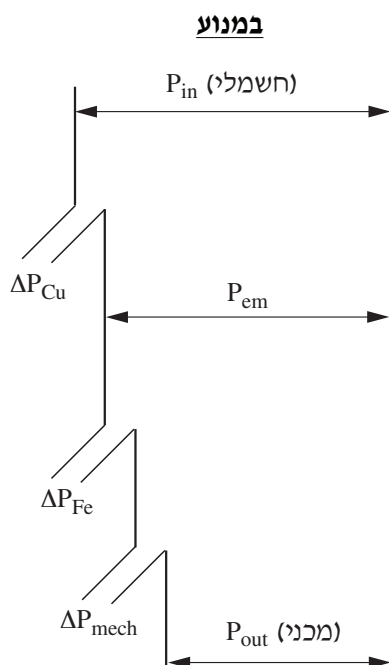
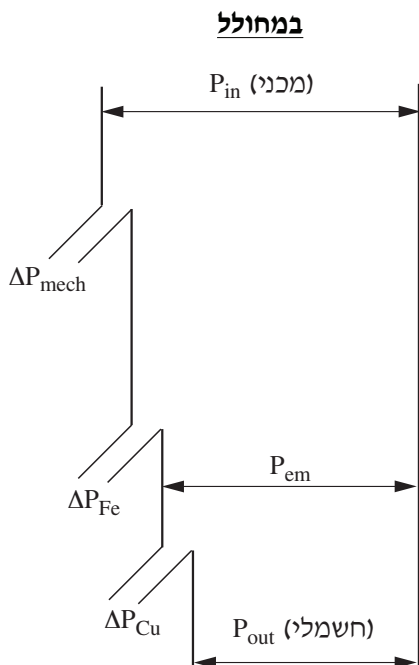
$$\Delta P_{Cu_a} = I_a^2 \cdot R_a$$

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

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

$$P_{חשמלי} = U \cdot I$$

$$P_{מכני} = M \cdot \omega$$



3.5 מומנטים

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

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

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

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

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

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

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

3.6 מהירות במנוע

א. במנוע לזרם ישר בעירור מקבילי

מקדם הכא"מ	-	K_e	$n_o = \frac{U}{K_e \Phi}$
שטף מגנטי	-	Φ [Wb]	
מהירות המנוע	-	n [r.p.m]	$n = n_o - \Delta n$
מהירות המנוע בריקם	-	n_o [r.p.m]	$n = \frac{U - I_a (R_a + R_x)}{K_e \Phi}$
זרם בעוגן	-	I_a [A]	
זרם כללי (הנצרך מהמקור)	-	I [A]	$n = \frac{U}{K_e \Phi} - M_{em} \frac{R_a + R_x}{K_e \Phi \cdot K_m \Phi}$
זרם העירור	-	I_e [A]	
מומנט אלקטרומגנטי	-	M_{em} [N · m]	$n = \frac{U}{K_e \Phi} - M_{em} \frac{R_a + R_x}{9.55 \cdot (K_e \Phi)^2}$
מתח	-	U [V]	
התנגדות העוגן	-	R_a [Ω]	
התנגדות סליל העירור	-	R_e [Ω]	
התנגדות נוספת במעגל העוגן	-	R_x [Ω]	

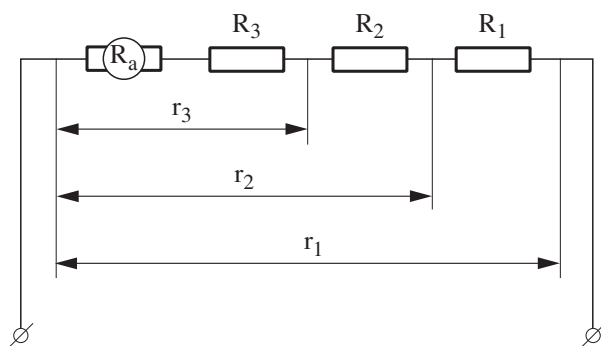
ב. במנוע לזרם ישר בעירור טורי

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

3.7 תכנון מתנע דרגתי למנוע לזרם ישר בעירור מקבילי

מספר דרגות	-	m	$m = \frac{\ln \frac{r_1}{R_a}}{\ln \lambda}$
התנגדות מרבית של מעגל העוגן ברגע ההתנעה ($n = 0, E = 0$)	-	$r_1 \quad [\Omega]$	$r_1 = \frac{U}{I_{a \max}}$
התנגדות הרוטור	-	$R_a \quad [\Omega]$	$\lambda = \frac{I_{a \max}}{I_{a \min}}$
זרם התנעה מרבי בעוגן	-	$I_{a \max} \quad [A]$	$r_n = \frac{r_1}{\lambda^{n-1}}$
זרם מזערי בעוגן	-	$I_{a \min} \quad [A]$	$r_2 = \frac{r_1}{\lambda}$
התנגדות הדרגה ה- n	-	$R_n \quad [\Omega]$	$R_n = r_n - r_{n+1}$
התנגדות כוללת עד הדרגה ה- n	-	$r_n \quad [\Omega]$	$n_i = \frac{U - I_{a \min} \cdot r_i}{K_e \Phi}$
מהירות המנוע שבה נדרש לקצר את הנגד R_i , כאשר הזרם בעוגן הוא מזערי ($I_{a \min}$)	-	n_i	

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]

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 - λ_{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
- המשך בעמוד 16

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

$$f_2 = f_1 \cdot s$$

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

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

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

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

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 ואיורור	-	ΔP_{mech}	[W]
איבודים נוספים	-	ΔP_{add}	[W]
הספק המנוע בריקם	-	P_o	[W]
גורם החליקה	-	s	

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

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

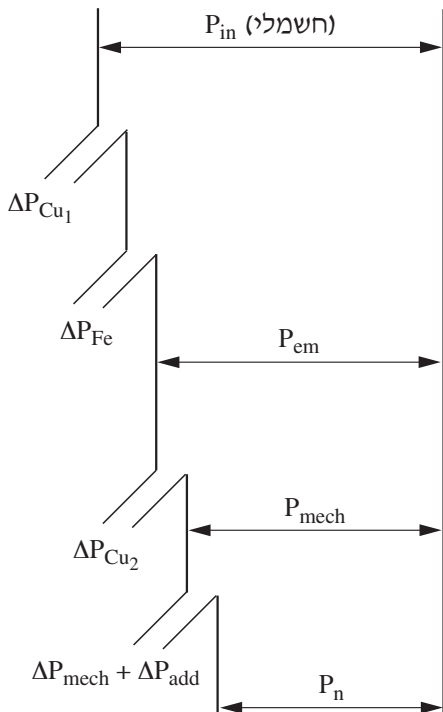
$$\Delta P_{Cu2} = P_{em} \cdot s = P_{mech} \cdot \left(\frac{s}{1-s} \right)$$

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

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

$$\Delta P_{סטור} \cong \Delta P_{Cu1} + \Delta P_{Fe}$$

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



4.6 מומנטים

$$\omega_n \left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right] - \text{המהירות הזוויתית של הרוטור}$$

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

$$\omega_s \left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right] - \text{המהירות הזוויתית של השדה המסתובב}$$

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

$$n_n \text{ [r.p.m]} - \text{מהירות סיבוב (סינכרונית) של השדה}$$

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

$$P_n \text{ [W]} - \text{הספק נקוב המופק על-ידי המנוע}$$

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

$$P_{em} \text{ [W]} - \text{הספק אלקטרומגנטי}$$

$$M_{em, \text{start}} \text{ [N} \cdot \text{m]} - \text{מומנט אלקטרומגנטי בהתנעה}$$

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

$$M_{em} \text{ [N} \cdot \text{m]} - \text{מומנט אלקטרומגנטי}$$

$$M_k \text{ [N} \cdot \text{m]} - \text{מומנט מרבי (קריטי)}$$

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

$$s - \text{גורם החליקה}$$

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

$$s_k - \text{גורם החליקה במומנט קריטי}$$

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

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

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

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 :

התנגדות נגד טורי נוסף
לסליל הרוטור

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

התנגדות סליל הרוטור

חליקה נקובה

חליקה מותאמת

למהירות n_x

4.8 תכנון מתנע הדרגתי למנוע השראתי בעל רוטור מלופף

היחס בין מומנט מרבי
למומנט נקוב

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

מספר דרגות התנעה

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

התנגדות מרבית של מעגל
הרוטור ברגע ההתנעה

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

התנגדות מעגל הרוטור
לפאזה

מומנט מרבי בהתנעה

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

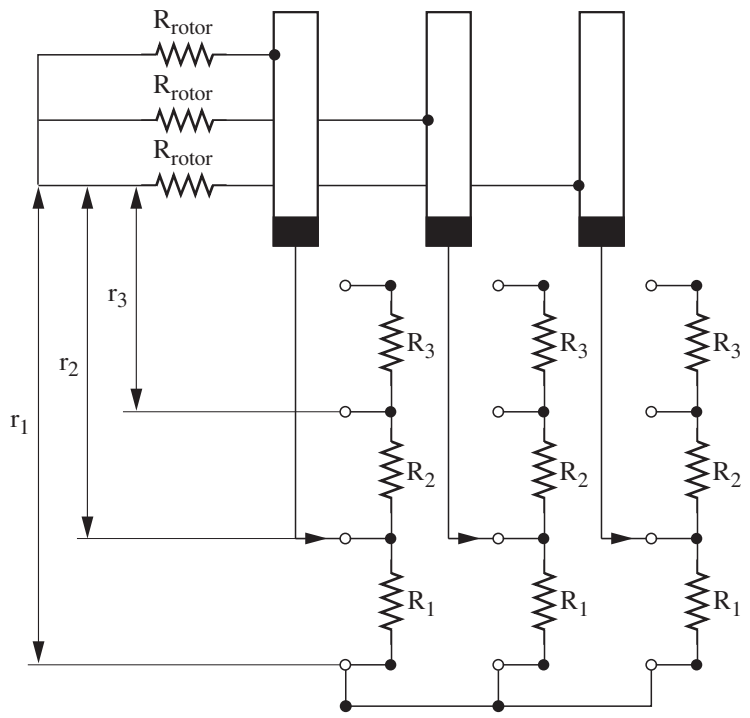
מומנט נומינלי

התנגדות כוללת עד
הדרגה ה- n

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

התנגדות הדרגה n

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



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	$[kgf \cdot s^2 / m], [kg]$	
מהירות	-	v	$[m / s]$	
תאוצה	-	a	$[m / s^2]$	

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	$[kgf \cdot m \cdot s^2]$	$GD^2 = 4gJ$
תאוצה זוויתית	-	$\frac{d\omega}{dt}$	$\left[\frac{rad}{sec} \right]$	
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 או העומס הנגדי ה- i – $GD_i^2 \text{ [kgf} \cdot \text{m}^2]$
- מהירות סיבוב ציר המנוע – $n \text{ [r.p.m]}$
- מהירות סיבוב הציר המשני של התמסורת או של העומס הנגדי – $n_i \text{ [r.p.m]}$

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

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

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

העברת מסות ומומנטים מתנועה קווית לתנועה סיבובית

העברת כוח סטטי למומנט סיבובי על ציר המנוע:

המומנט הסטטי המועבר
 לציר המנוע - M_s [N · m]

$$M_s = 9.55 \frac{F_{sm} \cdot v}{n \cdot \eta}$$

הכוח הנגדי של העומס
 (או של המטען) - F_{sm} [N]

$$v = \frac{\pi D n}{60}$$

המהירות הקווית
 של המטען - v [m / s]

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 התנועה וזמן עצירה

(בהנחה שהמומנט הדינמי ו- GD^2 קבועים)

מומנט תנופה - GD^2 [kgf · m²]

בהתנועה: $t = \frac{GD^2}{38.2} \frac{n_2 - n_1}{M - M_s}$

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 · m]

מומנט סטטי (נגדי) - M_s [N · m]

בהצלחה!

נספח: מילון מונחים (2 עמודים)

לשאלון 733911, אביב תשע"ח

תרגום המונח			המונח
אנגלית	רוסית	ערבית	
programmable controller	Программируемый контроллер	وحدة تحكم مُبرֵמֶجֶة	בקר בר־תכנות
polar diagram	Векторная диаграмма	الرسم القطبي	דיאגרמה פולארית
ladder diagram	Лестничная диаграмма	مُخطَط السَلَم	דיאגרמת סולם
short circuit power	Мощность короткого замыкания	قدرة القصر	הספק קִצֵר
standard power	Стандартная мощность	قدرة معيارية	הספק תקני
core losses	Потери в железе	خسائر الحديد	הפסדי ברזל
active power losses	Потери активной мощности	خسائر القدرة الحقيقية	הפסדי הספק ממשיים
friction losses	Потери при трении	خسائر الاحتكاك	הפסדי חיכוך
load losses	Потери в меди	خسائر النحاس	הפסדי נחושת
three-phase shock current	Величина порождающего трёх фазного тока	دافع التيار ثلاثي الأطوار	זרם ההלם התלת־מופע
contactors	Контакты	مفاتيح التلامس	מגענים
nominal rotational speed	Номинальная скорость вращения	سرعة الدوران الاسمية	מהירות־סיבוב נקובה
electromagnetic torque	Электромагнитный момент	عزم كهرومغناطيسي	מומנט אלקטרומגנטי
critical torque	Критический момент	عزم حاسم	מומנט קריטי
control system	Система управления	نظام التحكم	מערכת פיקוד
maximum voltage drop	Максимальное падение напряжения	هبوط الجهد الأقصى	מפל־מתח מרבי
power factor	Коэффициент мощности	معامل القدرة	מקדם הספק

תרגום המונח			המונח
אנגלית	רוסית	ערבית	
loading factor	Коэффициент нагрузки	معامل التحميل	מקדם העמסה
slip factor	Коэффициент скольжения	معامل الانزلاق	מקדם חליקה
star-delta starter	Пускатель звезда-треугольник	مُبْدِئُ نجوم-مُثَلَّث	מתנע כוכב-משולש
capacitor battery	Конденсаторная батарея	بَطَّارِيَّةٌ مُكثِّفَات	סוללת קבלים
illuminance	Уровень освещённости	شِدَّةُ الاشعاع	עוצמת הארה
three-phase short circuit	Трёх фазное короткое замыкание	قصر ثلاثيِّ الأطوار	קצר תלת-מופע
uniform cross-sectional area	Однородное сечение	مساحة مقطع عرضيٍّ مُوَحَّد	שטח-חתך אחיד
standard cross-sectional area	Стандартное сечение	مساحة مقطع عرضيٍّ نصابيٍّ	שטח-חתך תקני