

סוג הבחינה: גמר לבתי-ספר לטכנאים ולהנדסאים

מועד הבחינה: אביב תשע"ו, 2016

סמל השאלון: 733911

נספחים: א. נספח א' לשאלה 4

ב. נספח ב' לשאלה 8

ג. נוסחאון במערכות הספק לכיתה י"ג

ד. נוסחאון במכונות חשמל והינע לכיתה י"ג

ה. מילון מונחים

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, ושאלה אחת לפחות מן הפרק השני. לכל שאלה – 25 נקודות, סך-הכול – 100 נקודות.

ג. חומר עזר מותר לשימוש: מחשבון.

ד. הוראות מיוחדות:

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

2. התחל כל תשובה לשאלה חדשה בעמוד חדש.

3. רשום את כל תשובותיך אך ורק בעט.

4. הקפד לנסח את תשובותיך כהלכה ולסרטט את תרשימיך בבהירות.

5. כתוב את תשובותיך בכתב-יד ברור, כדי לאפשר הערכה נאותה של תשובותיך.

6. אם לדעתך חסרים נתונים הדרושים לפתרון שאלה, אתה רשאי להוסיף אותם, בתנאי שתנמק מדוע הוספת אותם.

7. בכתיבת פתרונות חישוביים, קבלת מִרְב הנקודות מותנית בהשלמת כל המהלכים שלהלן, בסדר שבו הם רשומים:

* רישום הנוסחה המתאימה.

* הצבה של כל הערכים ביחידות המתאימות.

* חישוב (אפשר באמצעות מחשבון).

* רישום התוצאה המתקבלת, יחד עם יחידות המידה המתאימות.

* ליווי הפתרון החישובי בהסבר קצר.

8. לנוחותך, לשאלון זה מצורף מילון מונחים בשפות עברית, אנגלית, רוסית וערבית. תוכל להיעזר בו בעת הצורך.

בשאלון זה 7 עמודים ו-42 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'

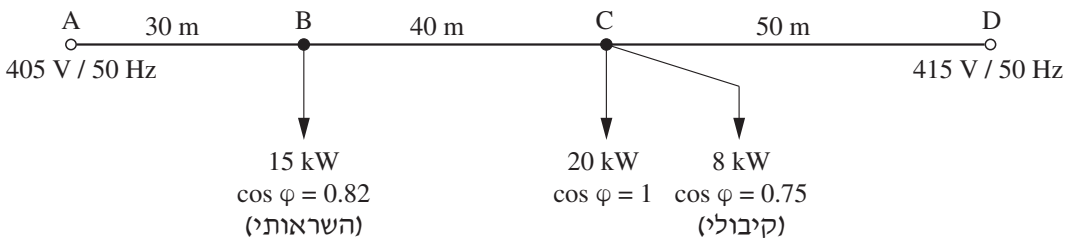
ענה על שאלה אחת לפחות מבין השאלות 1-4 (לכל שאלה – 25 נקודות).

שאלה 1

באיור לשאלה 1 נתונה רשת תלת-מופעית. הרשת מוזנת משני כיוונים במתחים שונים, בעלי מופעים זהים: בנקודה A הרשת מוזנת במתח של $405 \text{ V} / 50 \text{ Hz}$, ובנקודה D הרשת מוזנת במתח של $415 \text{ V} / 50 \text{ Hz}$.

נתונים:

- מוליכי הרשת עשויים אלומיניום $\left(\gamma = 35 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2} \right)$.
- ההיגב ההשראותי של מוליכי הרשת זניח.
- שטח החתך של מוליכי הרשת הוא אחיד וערכו שווה ל- 10 mm^2 .

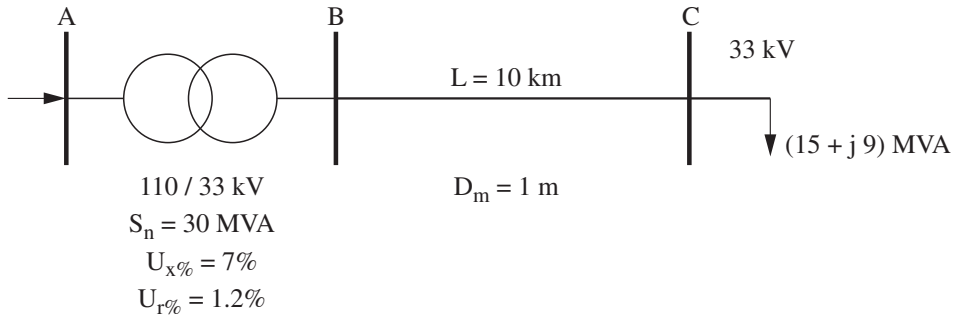


איור לשאלה 1

- חשב את הזרם בכל אחד ממקטעי הרשת (AB, BC, CD). רשום את תשובתך בהצגה מרוכבת.
הערה: חשב את הזרמים הנקובים של הצרכנים במתח נקוב של 400 V .
- חשב את מפל המתח המרבי ברשת.
- כיצד ישפיע ניתוק הצרכן בעל האופי הקיבולי המחובר לרשת בנקודה C על מפל המתח ברשת? נמק את תשובתך ללא חישובים.

שאלה 2

באיור לשאלה 2 נתונה רשת עילית תלת־מופעית המוזנת בפס־צבירה A. הרשת עשויה ממוליכי חמרן פלדה (Al-Fe) ותדרה 50 Hz.



איור לשאלה 2

- א. חשב את זרם הקצר התלת־מופעי בפס־הצבירה C.
- ב. חשב את זרם ההלם בפס־הצבירה C.
- ג. נתון כי זווית מתח ההזנה במופע T, ברגע התרחשות הקצר היא 0° . חשב את הרכיב המחזורי של זרם הקצר התלת־מופעי במופע S, ברגע התרחשות הקצר בפס צבירה C.

שאלה 3

מפעל תעשייתי מוזן מרשת תלת־מופעית בעלת מתח נקוב של 400 V/50 Hz. בשיא העומס נמדד מקדם הספק של 0.82 השראותי. לצורך שיפור מקדם ההספק ל-0.92 בשיא העומס, הרכיבו בלוח הראשי 7 סוללות קבלים, שההספק של כל אחת מהן הוא 20 kVAr. הקבלים בסוללה מחוברים בחיבור משולש.

- א. חשב את הזרם הנצרך על־ידי המפעל בשיא העומס:
 1. לפני שיפור מקדם ההספק.
 2. אחרי שיפור מקדם ההספק.
- ב. חשב את גודל נגדי הפריקה הנדרשים כדי להבטיח פריקת סוללת קבלים אחת ל-12.5% מהמתח הנקוב בתוך 60 שניות.
- ג. כיצד ישתנו מפלי המתח והפסדי ההספק במעגלים הסופיים של המפעל, עקב שיפור מקדם ההספק? נמק את תשובתך.

הערה: הנח כי מתח ההזנה של המפעל נשאר קבוע.

שאלה 4

באיור לשאלה 4 מתואר תרשים של רשת תלת-מופעית המזינה לוח חשמל ראשי במתח של $400 \text{ V}/50 \text{ Hz}$. תנור חימום בעל גוף חימום התנגדתי טהור, מחובר ללוח החשמל כמתואר באיור לשאלה.

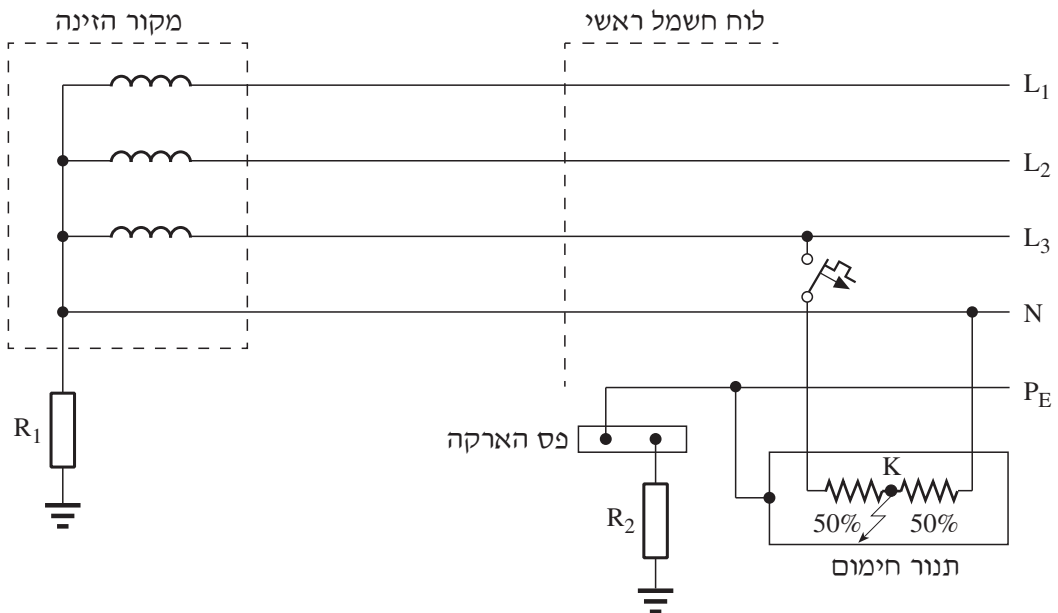
שיטת ההגנה מפני התחשמלות היא הארקת הגנה מסוג TT.

נתוניו של תנור החימום: $U_n = 230 \text{ V}$; $P_n = 6 \text{ kW}$;

התנגדות הארקת השיטה היא: $R_1 = 1 \Omega$.

התנגדות הארקת ההגנה כלפי המסה הכללית של האדמה היא: $R_2 = 1 \Omega$.

הערה: בחישוביך הזנח את עכבת מקור הזינה ואת העכבות של מוליכי הרשת.



איור לשאלה 4

באמצע גוף החימום, בנקודה K, מתרחשת פריצה בין גוף החימום לגוף המתכתי של התנור (הגוף המתכתי מוארק).

א. סרטט על גבי נספח א' לשאלה 4 את לולאת התקלה בזמן הפריצה.

ב. חשב את זרם התקלה העובר דרך הנגד R_2 .

ג. חשב את מתח התקלה בין הגוף המתכתי של התנור ובין המסה הכללית של האדמה.

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

פרק שני: המרת אנרגיה והינע א'

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

שאלה 5

מפעל מוזן על-ידי שנאי תלת-מופעי שנתוניו הנקובים הם:

$$630 \text{ kVA} , 24/0.4 \text{ kV} , Dy5 , 50 \text{ Hz}$$

בניסוי קצר וניסוי ריקם בהיזנה מצד המתח הגבוה של השנאי התקבלו התוצאות האלה:

$$U_k = 1440 \text{ V} ; I_k = 15.16 \text{ A} ; \cos\varphi_k = 0.3$$

$$U_0 = 24 \text{ kV} ; I_0 = 0.3 \text{ A} ; \cos\varphi_0 = 0.2$$

השנאי מועמס בהספק של 400 kW ומקדם הספק של 0.7 השראותי.

א. חשב את המתח המופעי בסליל השניוני של השנאי.

ב. חשב את נצילות השנאי.

ג. חיברו שנאי נוסף במקביל לשנאי הקיים, כדי להגדיל את ההספק המסופק למפעל. נתוניו

הנקובים של השנאי הנוסף הם: $\% U_k = 4.6$, 50 Hz , $Dy5$, $24/0.4 \text{ kV}$, 400 kVA .

האם ניתן להעמיס את שני השנאים, כאשר הם מחוברים במקביל, בהספק כולל של

1,030 kVA ? נמק את קביעתך באמצעות חישובים מתאימים.

שאלה 6

נתוניו הנקובים של מנוע לזרם ישר בעירור נפרד (זר) הם:

$$P = 12.5 \text{ kW} , U = 480 \text{ V} , I = 30 \text{ A} , n = 1500 \text{ rpm}$$

ההתנגדות של סליל הרוטור היא 1.3Ω וההתנגדות של סליל העירור היא 100Ω .

סליל העירור של המנוע מוזן במתח של $U_e = 200 \text{ V}$.

הערה: בחישוביך הזנח את מפל המתח על המברשות.

א. חשב את המומנט על ציר המנוע ואת ההספק האלקטרו-מגנטי בעומס נקוב.

ב. מקטינים את העומס על הציר כך שהזרם ברוטור קטן ל- 24 A .

חשב את נצילות המנוע במקרה זה. הנח בחישוביך שההפסדים המכניים והפסדי הברזל קבועים.

הערה: בנצילות אין להתייחס למעגל העירור.

ג. התנגדות הרוטור עולה עקב התחממות המנוע. האם מהירות המנוע תגדל, תקטן או לא

תשתנה באם העומס על הציר נשאר קבוע (עומס נקוב)? נמק את קביעתך.

שאלה 7

נתוניו הנקובים של מנוע השראה תלת-מופעי **בעל שלושה זוגות קטבים** הם:

$$50 \text{ kW} ; 690 \text{ V} ; 50 \text{ Hz} ; \eta = 0.9 ; \cos\varphi = 0.85$$

התנגדות סלילי הסטטור: $R_1 = 1 \Omega$. סלילי הסטטור מחוברים בחיבור כוכב.

גורם החליקה במומנט נקוב: $S_n = 2\%$

הערה: הזנח בחישובך את ההפסדים המכניים ואת ההפסדים הנוספים.

א. חשב את מהירות הסיבוב של המנוע ואת תדירות זרמי הרוטור בתנאים נקובים.

ב. חשב את הפסדי הברזל, את הפסדי הנחושת ברוטור, ואת הפסדי הנחושת בסטטור בעומס נקוב.

ג. נתון כי היחס בין המומנט המרבי למומנט הנקוב הוא 2.5. האם ניתן להתניע את המנוע המוזן במתח נקוב, כאשר המומנט הנגדי על הציר הוא 150 Nm ? נמק את קביעתך באמצעות חישובים מתאימים.

פרק שלישי: מערכות פיקוד ממוחשבות ובקרים בני-תכנות

לכל שאלה – 25 נקודות

שאלה 8

בנספח ב' לשאלה 8 נתון תרשים חשמלי של מערכת פיקוד המשמשת להתנעת מנוע בשיטת כוכב-משולש עם האפשרות להפיכת כיוון הסיבוב של המנוע.

א. השלם בכל אחד מהעיגולים הריקים את שם המגעות בהתאמה, כך שמערכת הפיקוד תבצע את הפעולות האלה:

1. לחיצה על הלחצן st_1 – תגרום להתנעת המנוע בכוכב.

2. לאחר השהיה של t שניות – יעבור המנוע להזנה במשולש.

3. לחיצה על הלחצן st_2 – תגרום להחלפת כיוון הסיבוב של המנוע.

ב. סרטט במחברתך תרשים כוח (תרשים חיווט רב קווי מפורט) של הזנת המנוע והמגענים, כולל הגנת יתרת זרם O.L.

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

שאלה 9

מערכת פיקוד להפעלת מעלית משא באתר בנייה בן שתי קומות כוללת את הרכיבים האלה:

- שני לחצנים מסוג מגע פתוח, N.O. (לחצני קריאה)
- שני מפסקי גבול מסוג מגע פתוח, N.O. (זיהוי קומה)
- לחצן מסוג START
- לחצן מסוג STOP
- מפסק גבול מסוג פתוח, N.O. (דלת מעלית)

בטבלה שלהלן מפורטים הרכיבים הקיימים בכל אחת מן הקומות.

מפסק גבול	לחצן קריאה	קומה
S0	P0	0
S1	P1	1

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

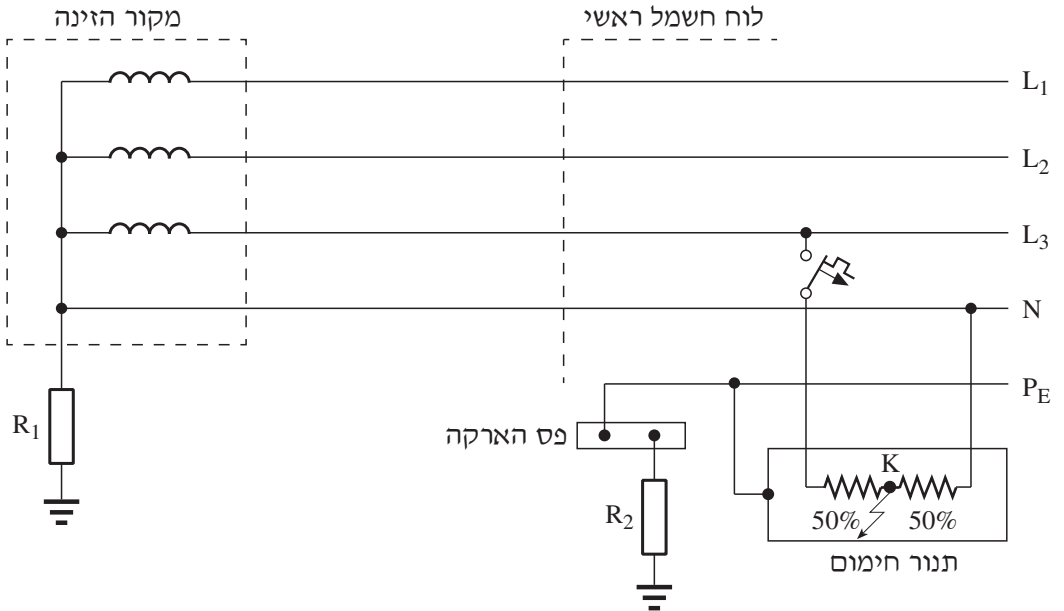
1. לחיצה על לחצן START (b1) – תאפשר את פעולת המעלית.
 2. לחיצה על לחצן STOP (b2), או הפעלת הגנה תרמית (O.L.) על מנוע המעלית, תגרום להפסקת פעולת המעלית.
 3. במצב המתנה, המעלית תימצא בקומה 0.
 4. לחיצה על לחצן קריאה תגרום למעלית לנוע לקומה הנדרשת ולשהות בה T_D שניות, לאחר סגירת הדלת, שלאחריהן תחזור לקומה 0.
 5. מערכת הפיקוד תתייחס ללחיצה על לחצן קריאה אחד בלבד, ללא זיכרון. מערכת הפיקוד לא תבצע כל פעולה במצב של לחיצה על יותר מלחצן אחד בו־זמנית, או כשהדלת פתוחה, והמעלית תישאר במקומה.
 6. כאשר המעלית עולה או יורדת, מערכת הפיקוד מתעלמת מלחיצה על לחצני קריאה.
 7. עם הפעלתה של הגנה תרמית (O.L.), תידלק נורית חיווי.
- א.** הגדר את המבואות ואת המוצאים של הבקר בר־התכנות.
- ב.** סרטט דיאגרמת סולם של תכנית הפיקוד להפעלת המעלית.
- שים לב:** החלפת כיוון הסיבוב של מנוע המעלית תתבצע על־ידי החלפת סדר המופעים למנוע.

בהצלחה!

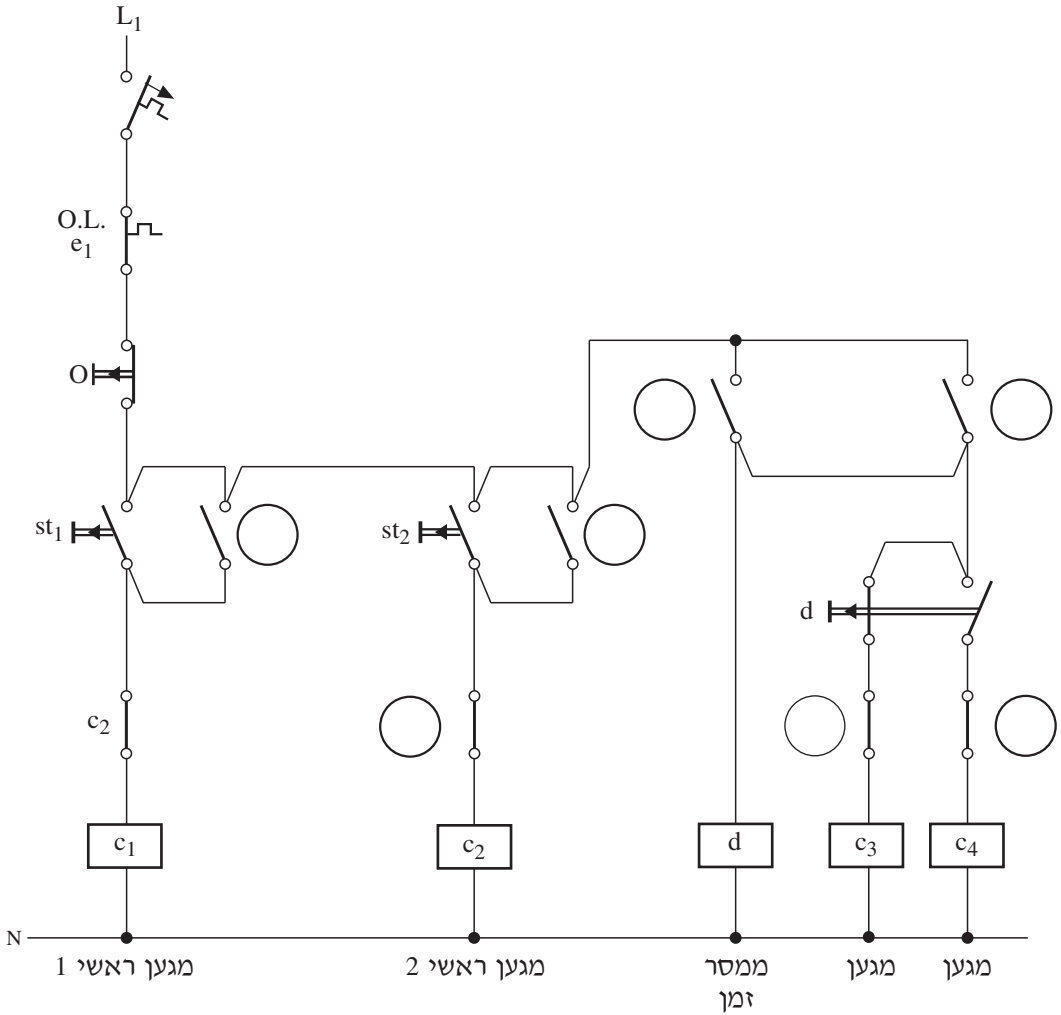
נספח א' לשאלה 4

לשאלון 733911, אביב תשע"ו

מקום נדבקות נבחן



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



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

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

מקום לנספח בקת נבחן

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-מופע

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]

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

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

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

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

$$I_a = I \cos \varphi$$

$$I_r = I \sin \varphi$$

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

$$\bar{I} = I_a + jI_r = I / \angle \varphi_k$$

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 [$m/\Omega mm^2$]
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]

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

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

חומרים		
חמרון	נחשת	
35	57	γ
2.7	8.9	g

2. התחממות של מוליכים וכבלים

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

- T_1 [°C] טמפרטורת הסביבה בטבלת ההעמסה
- T'_1 [°C] טמפרטורת הסביבה האמיתית
- T_2 [°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
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 (°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

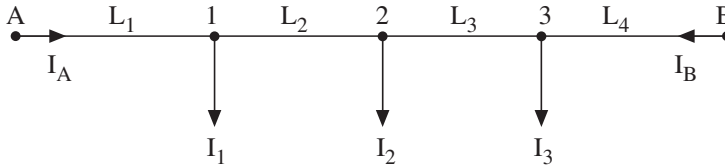
טמפרטורה אופפת של האדמה (°C)									
55	50	45	40	35	30	25	20	15	10
0.77	0.82	0.87	0.91	0.96	1.00	1.04	1.08	1.12	1.15

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 במתחים שונים בעלי מופעים זהים, ושטח חתך אחיד

של המוליכים

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

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

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

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 וההיגב 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	

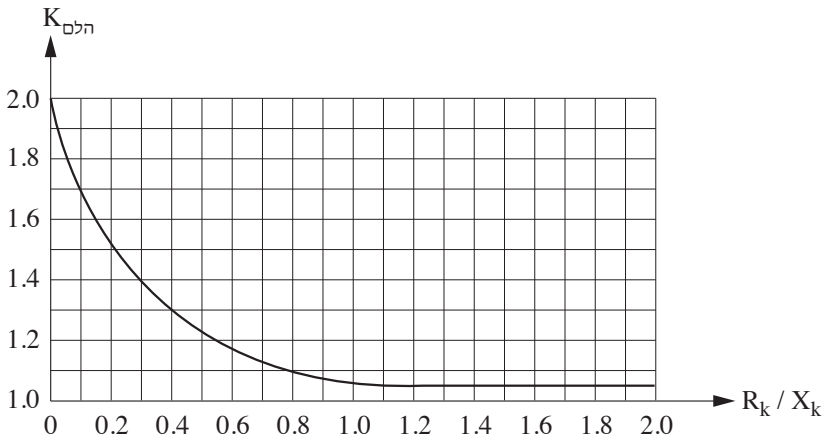
$I_k = \frac{1.1 \cdot U}{\sqrt{3} Z}$
$X_G = \frac{U_{x\%} U^2}{100 S_G}$
$X_S = \frac{U^2}{S_k}$
$R_T = \frac{U_{r\%} U^2}{100 S_T}$
$X_T = \frac{U_{x\%} U^2}{100 S_T}$
$U_{k\%} = \sqrt{U_{r\%}^2 + U_{x\%}^2}$
$Z = \sqrt{(\Sigma X)^2 + (\Sigma R)^2}$
$R_L = R_o \cdot L$
$X_L = X_o \cdot L$
$R'_1 =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

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	$K_{\text{הלם}}$

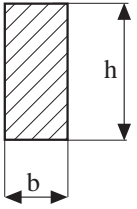
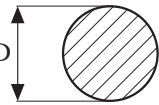


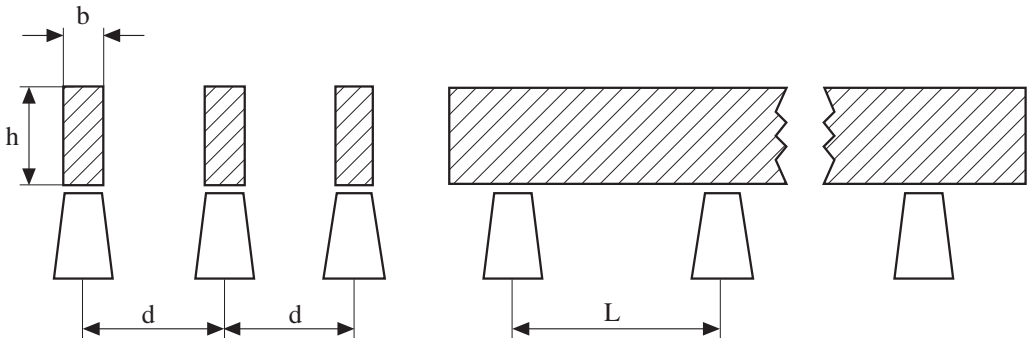
6. פסי הצבירה

- הכוח הפועל על פס באורך l_m - F [kg/m]
- ערך השיא של זרם הקצר $I_{הלם}$ [kA] -
- המרחק בין המרכזים של פסי הצבירה d [cm] -
- מאמץ הכפיפה σ [kg/cm²] -
- הכוח הפועל על הפס בקטע בין שני מבודדים P [kg] -
- אורך הפס בין שני מבודדים L [cm] -
- מומנט ההתנגדות (מודול החתך) W [cm³] -

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

- 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] -

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			
[A]	X ₀ [Ω/km]									[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]									[mm]	[mm ²]
—	—	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
	5	144	153	161	173	96	102	108
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-קצר מזערי I_k [A]	עכבה מרבית Z_1 [Ω]	זרם נקוב I_n [A]
26	8.85	6
47	4.89	10
72	3.19	16
90	2.55	20
120	1.91	25
164	1.40	32
183	1.25	35
205	1.12	40
250	0.92	50
360	0.63	63
450	0.51	80
580	0.39	100

8. תאורה

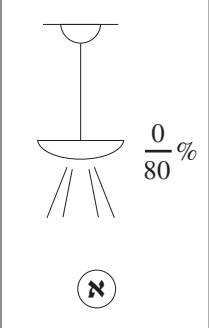
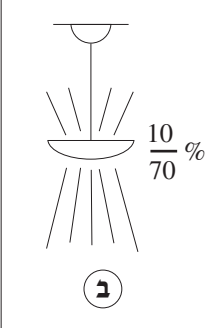
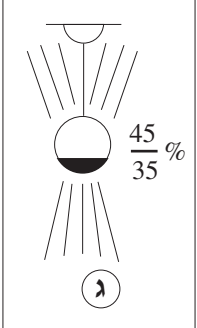
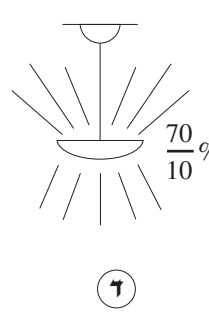
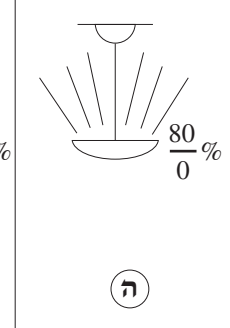
שטף אור ונצילות של מקורות אור שונים

<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

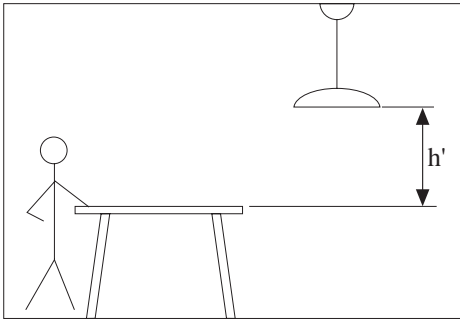
1. הערות: בנורות פריקה - ההספק נתון עבור הנורה בלבד.

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

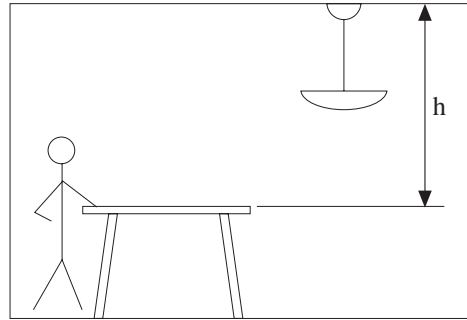
חישוב תאורה כללית

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

תאורה ישירה



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 [%]

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

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

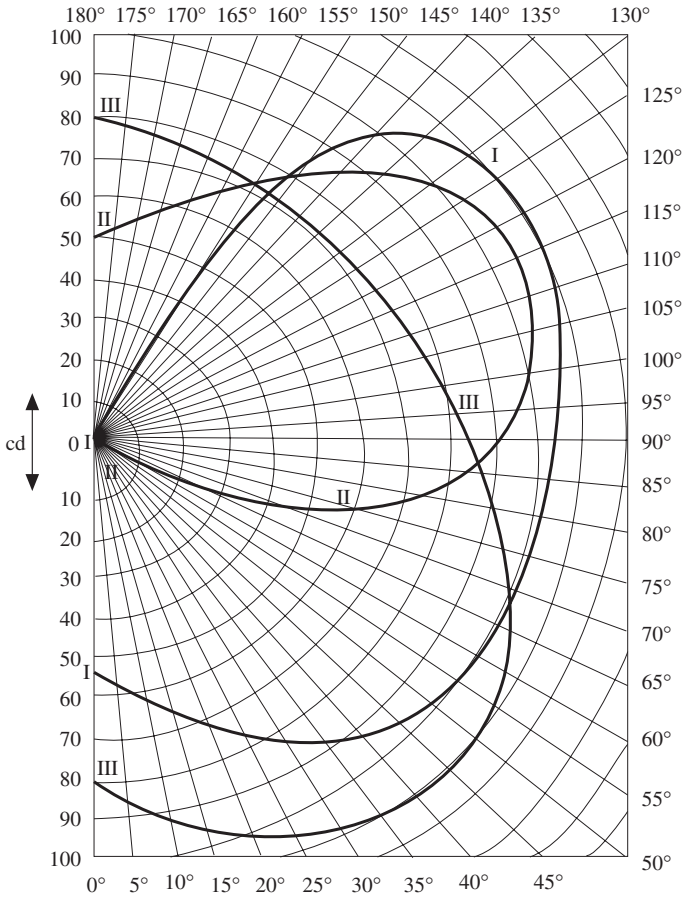
מקדמי הפחתה k

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

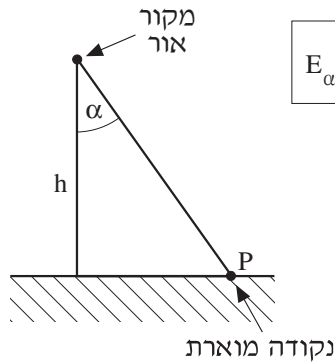
נצילות התאורה η

30		50			75			← החזרה מהתקרה (%) ← החזרה מהקירות (%)	R _K	סוג גוף התאורה
10	30	10	30	50	10	30	50			
31	34	31	34	38	31	34	39	0.6 0.8 1.0 1.5 2.0 3.0 5.0	א	
40	42	41	43	46	42	44	47			
45	47	46	47	50	47	48	51			
51	52	52	53	56	52	55	58			
55	57	58	58	60	57	59	61			
61	62	62	63	66	62	65	68			
64	66	65	67	69	67	69	71	0.6 0.8 1.0 1.5 2.0 3.0 5.0	ב	
23	25	23	26	32	23	27	32			
30	34	30	34	39	31	35	40			
35	36	35	39	43	36	39	44			
42	45	42	46	50	43	47	52			
46	50	47	51	55	48	52	57			
53	56	54	57	62	54	59	65	0.6 0.8 1.0 1.5 2.0 3.0 5.0	ג	
60	61	60	63	67	62	66	71			
17	18	18	19	21	19	21	24			
21	22	23	24	26	26	27	30			
24	25	25	27	29	29	30	32			
27	28	29	31	32	33	35	38			
29	31	32	34	35	36	38	40	0.6 0.8 1.0 1.5 2.0 3.0 5.0	ד	
32	33	35	37	39	40	42	45			
34	35	38	39	41	44	46	48			
7	8	9	11	14	12	14	18			
9	10	13	15	17	17	19	22			
11	12	15	17	20	19	22	26			
14	15	19	21	24	25	28	32	0.6 0.8 1.0 1.5 2.0 3.0 5.0	ה	
15	17	24	24	27	29	32	35			
19	20	27	28	31	35	38	42			
22	23	31	33	36	42	44	48			
3	4	6	8	9	10	11	15			
4	6	9	10	12	13	15	19			
5	7	10	12	14	16	19	22			
8	9	14	16	19	21	24	28	0.6 0.8 1.0 1.5 2.0 3.0 5.0	ה	
10	11	17	18	21	25	28	32			
12	13	21	22	25	31	34	38			
15	16	25	27	29	38	41	43			

דיאגרמה פולארית של מקור אור בעל שטף של 1000 lm



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



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

בהצלחה!

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

מקום לנחיקת נבחן

נוסחאון במכונות חשמל והינע לכיתה י"ג

(22 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

$$U_L = U_{ph} \quad I_{ph} = \frac{I_L}{\sqrt{3}}$$

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

- E_1 [V] - כא"מ מושרה בסליל הראשוני
- E_2 [V] - כא"מ מושרה בסליל השניוני
- Φ_{\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-מופעלי:

- a - יחס השנאה
- U_1 [V] - מתח בסליל הראשוני

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

- U_2 [V] - מתח בסליל השניוני

שנאי תלת-מופעלי:

- I_1 [A] - זרם בסליל הראשוני

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

- I_2 [A] - זרם בסליל השניוני

2.2 ניסוי קצר

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

2.3 פעולת השנאי בקצר ובריקם

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

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

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

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

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]	
מתח שניוני נקוב	-	U_{2n}	[V]	$U_2 = U_{2n} \left(1 - \frac{\Delta U_{\%}}{100} \right)$
מתח שניוני	-	U_2	[V]	
מתח ראשוני נקוב	-	U_{1n}	[V]	$U_1 = U_{1n} \left(1 + \frac{\Delta U_{\%}}{100} \right)$
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
(המרבית 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

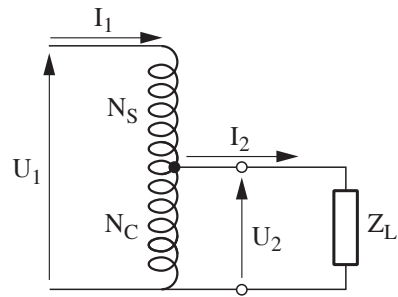
בהפעלת מספר שנאים במקביל:

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

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

2.7 שניאי עצמי

- 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 - Φ_{\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 העוגן	-	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 בעוגן	-	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

[A] I - 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

[A] I - הזרם הנצרך
על-ידי המנוע

[A] I_a - הזרם בעוגן
(ברוטור)

[A] I_e - הזרם בסליל
העירור

[V] U_e - מתח העירור

[Ω] R_e - התנגדות סליל
העירור

[A] $I_{a, st}$ - זרם ההתנעה
בעוגן

[Ω] R_{st} - התנגדות המתנע

$I = I_a$	$I_e = \frac{U_e}{R_e}$	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

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

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

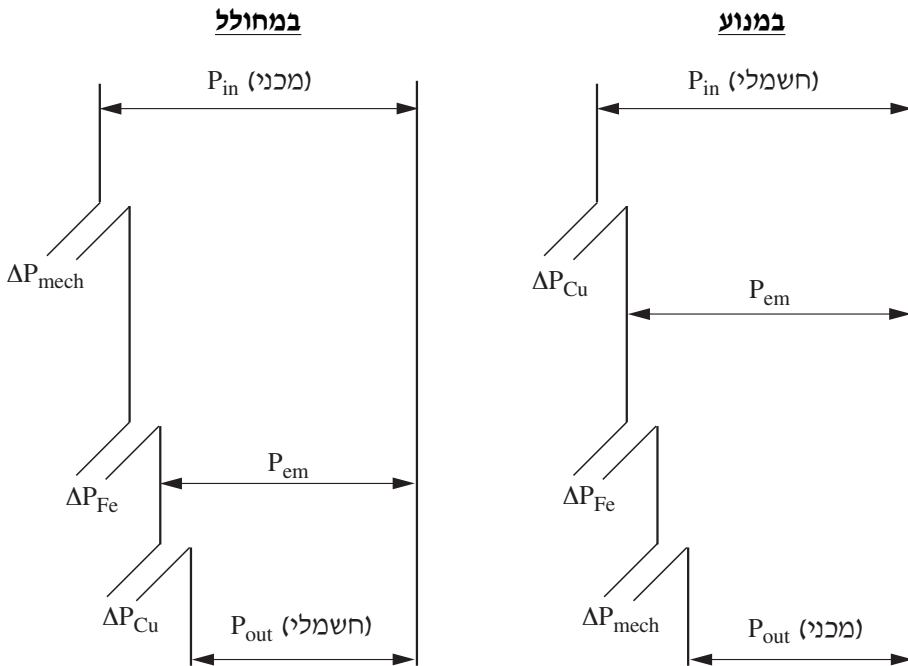
$$\Delta P_{Cu_a} = I_a^2 \cdot R_a$$

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

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

$$P_{חשמלי} = U \cdot I$$

$$P_{מכני} = M \cdot \omega$$



3.5 מומנטים

מומנט נקוב	-	M_n [N · m]	$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = 9.55 \frac{P_n}{n_n}$
הספק נקוב	-	P_n [W]	$\omega_n = \frac{2\pi n_n}{60}$
מהירות זוויתית נקובה	-	ω_n $\left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$	$M_{em} = K_m \cdot \Phi \cdot I_a$
מהירות סיבוב נקובה	-	n_n [r.p.m]	$K_m = \frac{Z \cdot p}{2 \cdot \pi \cdot a}$
מקדם המומנט	-	K_m	$\frac{K_e}{K_m} = \frac{2\pi}{60} = 0.1047$
מספר מוליכים ברוטור	-	Z	$\Delta M_0 = M_{em_n} - M_n$
מספר זוגות קטבים	-	p	
מספר זוגות ענפים	-	a	
מקבילים בעוגן			
מומנט אלקטרומגנטי	-	M_{em} [N · m]	
שטף מגנטי	-	Φ [Wb]	
זרם העוגן	-	I_a [A]	
איבודי מומנט בריקם	-	ΔM_0 [N · m]	

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 בריקס	-	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]	

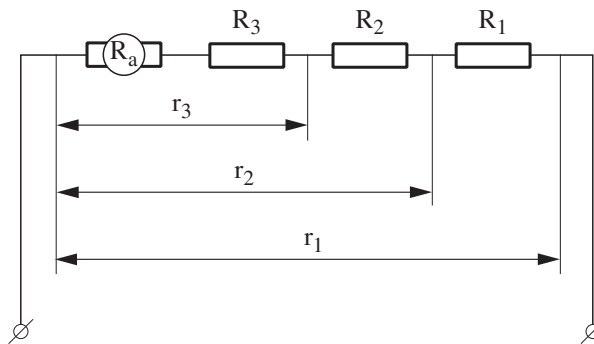
ב. במנוע לזרם ישר בעירור טורי

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

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]

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

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

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

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

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

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

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

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

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 ריקים)

זרם פאזורי מופעי - $I_{ph1(st)}$ [A]
בסטטור, בהתנעה

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

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

4.4 מהירות וגורם החליקה

מהירות סינכרונית - n_s [r.p.m]

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

תדירות הרשת - f_1 [Hz]

מס' זוגות קטבים - p

$$f_2 = f_1 \cdot s$$

תדירות הזרם ברוטור - f_2 [Hz]

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

גורם החליקה - s

מהירות קריטית - n_k [r.p.m]

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

היחס בין המומנט המרבי למומנט הנקוב של המנוע - λ_{max}

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

מומנט מרבי (קריטי) - M_k [N · m]

מומנט נקוב - M_n [N · m]

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

גורם החליקה במומנט קריטי - s_k

גורם החליקה במומנט נקוב - s_n

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 נחשת בסטטור	-	ΔP_{Cu_1}	[W]
איבודי נחשת ברוטור	-	ΔP_{Cu_2}	[W]
איבודי ברזל בסטטור	-	ΔP_{Fe}	[W]
איבודי חיכוך ואיורור	-	ΔP_{mech}	[W]
איבודים נוספים	-	ΔP_{add}	[W]
הספק המנוע בריקים	-	P_o	[W]
גורם החליקה	-	s	

$$\Delta P_{Cu_1} = 3 \cdot I_{ph1}^2 \cdot R_1$$

$$\Delta P_{Cu_2} = 3 \cdot I_{ph2}^2 \cdot R_2 = 3 \cdot I_{ph1}^2 \cdot R_2'$$

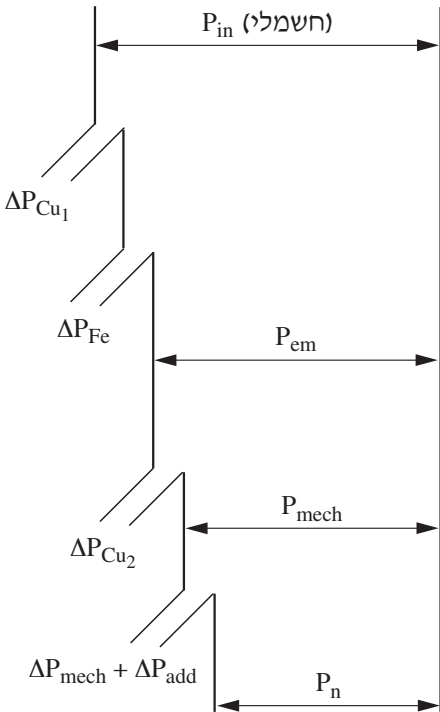
$$\Delta P_{Cu_2} = P_{em} \cdot s = P_{mech} \cdot \left(\frac{s}{1-s} \right)$$

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

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

$$\Delta P_{סטטור} \cong \Delta P_{Cu_1} + \Delta P_{Fe}$$

$$\Delta P_{רוטור} \cong \Delta P_{Cu_2} + \Delta P_{mech} + \Delta P_{add}$$



4.6 מומנטים

המהירות הזוויתית של הרוטור	-	ω_n	$\left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$	$\omega_n = \frac{2\pi \cdot n_n}{60}$
המהירות הזוויתית של השדה המסתובב	-	ω_s	$\left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$	$\omega_s = \frac{2\pi \cdot n_s}{60}$
מהירות סיבוב (סינכרונית) של השדה	-	n_n	[r.p.m]	
הספק נקוב המופק על-ידי המנוע	-	P_n	[W]	$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = 9.55 \cdot \frac{P_n}{n_n}$
הספק אלקטרומגנטי	-	P_{em}	[W]	$M_{em} = \frac{P_{em}}{\omega_s} = 9.55 \frac{P_{em}}{n_s}$
מומנט אלקטרומגנטי בהתנעה	-	$M_{em\text{start}}$	[N · m]	$M_{em} = \frac{3 \cdot 9.55 \cdot U_{ph}^2 \cdot \frac{R_2'}{s}}{n_s \cdot \left[\left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + X_T^2 \right]}$
מומנט אלקטרומגנטי	-	M_{em}	[N · m]	
מומנט מרבי (קריטי) גורם החליקה	-	M_k	[N · m]	$M_{em\text{start}} = \frac{3 \cdot 9.55 \cdot U_{ph}^2 \cdot R_2'}{n_s \cdot \left[(R_1 + R_2')^2 + X_T^2 \right]}$
גורם החליקה	-	s		$M_k \cong \frac{3 \cdot 9.55 \cdot U_{ph}^2}{2 \cdot n_s \cdot X_T}$
גורם החליקה במומנט קריטי	-	s_k		$M = \frac{2 \cdot M_k}{\frac{s_k}{s} + \frac{s}{s_k}}$
				$\frac{M_I}{M_{II}} = \left(\frac{U_I}{U_{II}} \right)^2$
				$\frac{M_{\text{start}}(\Delta)}{M_{\text{start}}(Y)} = 3$

4.7 נגד נוסף במעגל הרוטור

כאשר המנוע מועמס במומנט נקוב:

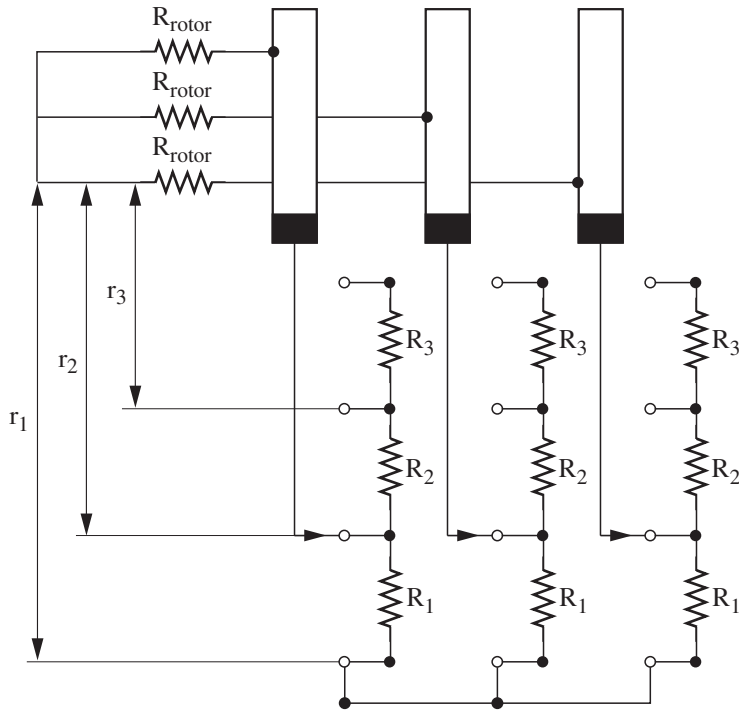
$$R_x = R_2 \left(\frac{s_x}{s_n} - 1 \right)$$

כאשר המנוע מועמס במומנט כלשהו M_x :

<p>התנגדות נגד טורי נוסף לסליל הרוטור</p> <p>התנגדות סליל הרוטור</p> <p>חליקה נקובה</p> <p>חליקה מותאמת למהירות n_x</p>	<p>- R_x [Ω]</p> <p>- R_2 [Ω]</p> <p>- s_n</p> <p>- s_x</p>	$R_x = R_2 \left(\frac{M_n \cdot s_x}{M_x \cdot s_n} - 1 \right)$
--	---	--

4.8 תכנון מתנע הדרגתי למנוע השראתי בעל רוטור מלופף

<p>היחס בין מומנט מרבי למומנט נקוב</p> <p>מספר דרגות התנעה</p> <p>התנגדות מרבית של מעגל הרוטור ברגע ההתנעה</p> <p>התנגדות מעגל הרוטור לפאזה</p> <p>מומנט מרבי בהתנעה</p> <p>מומנט נומינלי</p> <p>התנגדות כוללת עד הדרגה ה-n</p> <p>התנגדות הדרגה n</p>	<p>- λ</p> <p>- m</p> <p>- r_1 [Ω / ph]</p> <p>- R_2 [Ω / ph]</p> <p>- M_{max} [N · m]</p> <p>- M_n [N · m]</p> <p>- r_n [Ω / ph]</p> <p>- R_n [Ω / ph]</p>	$r_1 = R_2 \cdot \frac{M_n}{M_{max} \cdot s_n}$ $\lambda = \frac{M_{max}}{M_n}$ $m = \frac{r_1 \ln \frac{r_1}{R_2}}{\ln \lambda}$ $r_2 = \frac{r_1}{\lambda}$ $r_n = \frac{r_1}{\lambda^{n-1}}$ $R_n = r_n - r_{n+1}$
--	---	---



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 · s² / m], [kg]

מהירות - v [m / s]

תאוצה - a [m / s²]

5.2 תנועה סיבובית

מומנט סיבובי - M [N · m]

$$M = M_s + M_d$$

מומנט סטטי (נגדי) - M_s [N · m]

$$M_d = J \frac{d\omega}{dt}$$

מומנט דינמי - M_d [N · m]

מומנט התמדה (אינרציה) - J [kgf · m · s²]

$$M - M_s = \frac{GD^2}{38.2} \frac{dn}{dt}$$

תאוצה זוויתית - $\frac{d\omega}{dt}$ $\left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$

$$GD^2 = 4gJ$$

מומנט תנופה - GD^2 [kgf · m²]

מהירות סיבוב - n [r.p.m]

6. העברת מומנטים

תנועה סיבובית

העברת מומנט סטטי:

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

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

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

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

העברת מומנטי תנופה לציר המנוע:

- GD_N^2 [kgf · m²] מומנט תנופה של המנוע
- GD_i^2 [kgf · m²] מומנט תנופה של גלגל התמסורת ה- i או העומס הנגדי ה- i
- n [r.p.m] מהירות סיבוב ציר המנוע
- n_i [r.p.m] מהירות סיבוב הציר המשני של התמסורת 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 · 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 זמן 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!

תרגום המונח			מספר השאלה שבה מופיע המונח	המונח
אנגלית	רוסית	ערבית		
programmable controller	Программируемый контроллер	وحدة تحكم مُبرمجة	9	בקר בר־תכנות
slip factor	Коэффициент скольжения	معامل الانزلاق	7	מקדם חליקה
polar diagram	Векторная диаграмма	الرسم القطبي	2	דיאגרמה פולארית
ladder diagram	Лестничная диаграмма	مخطط السلم	9	דיאגרמת סולם
short circuit power	Мощность короткого замыкания	قدرة القصر	4	הספק קצר
standard power	Стандартная мощность	قدرة معيارية	3	הספק תקני
core losses	Потери в железе	خسائر الحديد	6	הפסדי ברזל
active power losses	Потери активной мощности	خسائر القدرة الحقيقية	1	הפסדי הספק ממשיים
friction losses	Потери при трении	خسائر الاحتكاك	6	הפסדי חיכוך
load losses	Потери в меди	خسائر النحاس	6	הפסדי נחושת
three-phase shock current	Величина порождающего трёх фазного тока	دافع التيار ثلاثي الأطوار	4	זרם ההלם התלת־מופעי
contactors	Контакты	مفاتيح التلامس	8	מגענים
nominal rotational speed	Номинальная скорость вращения	سرعة الدوران الاسمية	7	מהירות־סיבוב נקובה
electromagnetic torque	Электромагнитный момент	عزم كهرومغناطيسي	6	מומנט אלקטרו־מגנטי

תרגום המונח			מספר השאלה שבה מופיע המונח	המונח
אנגלית	רוסית	ערבית		
critical torque	Критический момент	عزم حاسم	7	מומנט קריטי
control system	Система управления	نظام التحكم	8	מערכת פיקוד
maximum voltage drop	Максимальное падение напряжения	هبوط الجهد الأقصى	1	מפל-מתח מרבי
power factor	Коэффициент мощности	معامل القدرة	5, 3	מקדם הספק
loading factor	Коэффициент нагрузки	معامل التحميل	5	מקדם העמסה
star-delta starter	Пускатель звезда-треугольник	مُبَدِيءٌ نجوم-مُثَلَّث	8	מתנע כוכב-משולש
capacitor battery	Конденсаторная батарея	بطارية مكثفات	3	סוללת קבלים
illuminance	Уровень освещённости	شدة الاشعاع	2	עוצמת הארה
three-phase short circuit	Трёх фазное короткое замыкание	قصر ثلاثي الأطوار	4	קצר תלת-מופעי
uniform cross-sectional area	Однородное сечение	مساحة مقطع عرضي موحد	1	שטח-חתך אחיד
standard cross-sectional area	Стандартное сечение	مساحة مقطع عرضي نصابي	1	שטח-חתך תקני