

סוג הבחינה: גמר לבתי-ספר לטכנאים ולהנדסאים

מועד הבחינה: אביב תשע"ה, 2015

סמל השאלון: 733911

נספחים: א. נספח לשאלה 3

ב. נספח 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.  
כל 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 של תשובותיך.
  - אם לדעתך חסרים נתונים הדרושים לפתרון שאלה, אתה רשאי להוסיף אותם, בתנאי שתנמק מדוע הוספת אותם.
  - בכתיבת פתרונות חישוביים, קבלת מֶרֶב הנקודות מותנית בהשלמת כל המהלכים שלהלן, בסדר שבו הם רשומים:
    - \* רישום הנוסחה המתאימה.
    - \* הצבה של כל הערכים ביחידות המתאימות.
    - \* חישוב (אפשר באמצעות מחשבון).
    - \* רישום התוצאה המתקבלת, יחד עם יחידות המידה המתאימות.
    - \* ליווי הפתרון החישובי בהסבר קצר.
  - לנוחותך, לשאלון זה מצורף מילון מונחים בשפות עברית, אנגלית, רוסית וערבית. תוכל להיעזר בו בעת הצורך.
- בשאלון זה 9 עמודים ו-42 עמודי נספחים.

ההנחיות בשאלון זה מנוסחות בלשון זכר,

אך מכוונות הן לנבחנות והן לנבחנים.

**בהצלחה!**

## השאלות

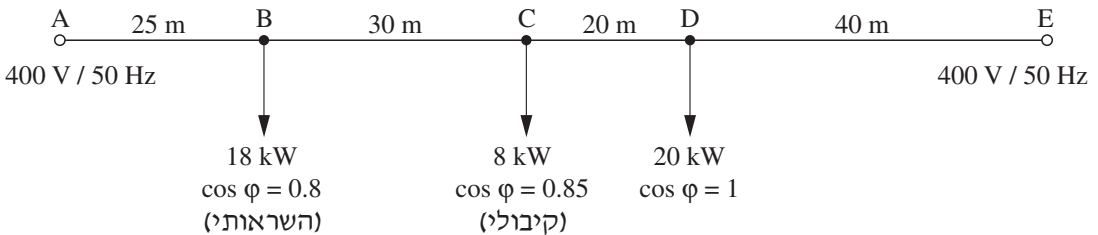
ענה על ארבע מבין השאלות 1-9. עליך לענות על שאלה אחת לפחות מן הפרק הראשון ועל שאלה אחת לפחות מן הפרק השני.

### 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, המוזנת בנקודות A ו-E במתחים שווים,  $400 \text{ V} / 50 \text{ Hz}$ . מוליכי הרשת עשויים מנחושת  $\left[ \gamma = 57 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2} \right]$ , וההיגב ההשראותי שלהם ליחידת אורך הוא:  $X_0 = 0.4 \cdot 10^{-3} \Omega/\text{m}$ .

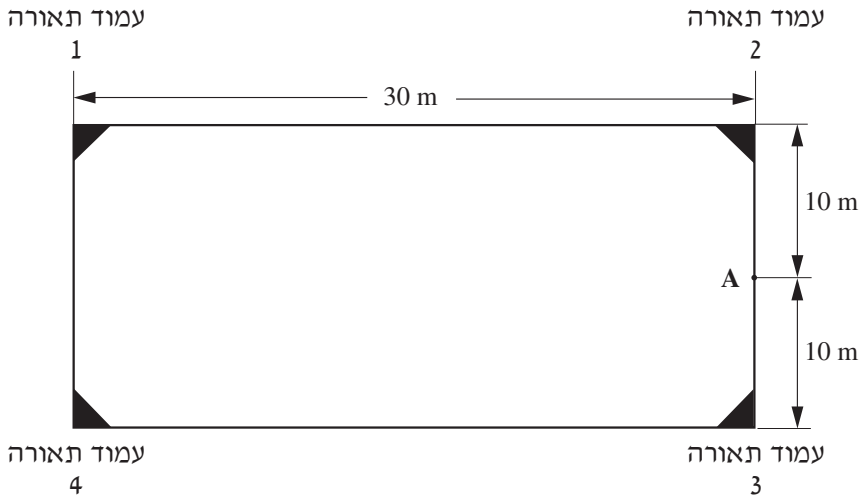


#### איור לשאלה 1

- חשב את הזרם בכל אחד מקטעי הרשת. רשום את תשובותיך בהצגה מרוכבת (בייצוג קרטזי ובייצוג פולארי).
- חשב את שטח-החתך האחיד של מוליכי הרשת, הנדרש כדי שמפל המתח המרבי ברשת לא יעלה על  $12 \text{ V}$ .
- על סמך תשובתך לסעיף ב' – קבע את שטח-החתך התקני (המסחרי) של מוליכי הרשת, וחשב את הפסדי ההספק הממשיים ברשת.

## שאלה 2

באיור לשאלה 2 מתואר מגרש משחקים שממדיו  $30 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ . בכל אחת מפינות המגרש מותקן עמוד תאורה. ארבעת עמודי התאורה זהים: גובהו של כל עמוד 8 m, ומותקן עליו גוף תאורה הכולל שתי נורות כספית (לחץ גבוה) שהספקה של כל אחת מהן הוא 250 W. כל אחד מגופי התאורה מאופיין על-ידי הדיאגרמה הפולארית I, המופיעה בנוסחאון במערכות הספק.



### איור לשאלה 2

- א. חשב את עוצמת ההארה בנקודה A כאשר המגרש מואר באמצעות גופי התאורה של עמודים 2 ו-3 בלבד.
- ב. חשב את עוצמת ההארה בנקודה A כאשר המגרש מואר באמצעות גופי התאורה של ארבעת העמודים.
- ג. מחליפים את גופי התאורה בכל ארבעת העמודים לגופי תאורה אחרים זהים, שכל אחד מהם מאופיין על-ידי הדיאגרמה הפולארית III שבנוסחאון במערכות הספק. האם עוצמת ההארה בנקודה A, שחישבת בתשובתך לסעיף ב', תגדל, תקטן, או לא תשתנה? נמק את תשובתך ללא חישובים.

### שאלה 3

בנספח לשאלה 3 נתון תרשים חד-קווי של לוח חשמל ראשי במפעל, המוזן מרשת תלת-מופעית במתח  $400 \text{ V} / 50 \text{ Hz}$ . בשיא העומס, המפעל צורך זרם של  $680 \text{ A}$  במקדם הספק  $0.85$  השראותי.

א. 1. חשב את ההספק הכולל של סוללות הקבלים, הנדרש כדי לשפר את מקדם ההספק של המפעל בשיא העומס ל- $0.92$ .

2. בלוח החשמל הראשי מתקינים ארבע סוללות קבלים זהות. בחר את ההספק התקני של כל אחת מארבע סוללות הקבלים הזוהות, מבין הערכים שלהלן:

$15 \text{ kVAr}$  ;  $20 \text{ kVAr}$  ;  $25 \text{ kVAr}$  ;  $30 \text{ kVAr}$

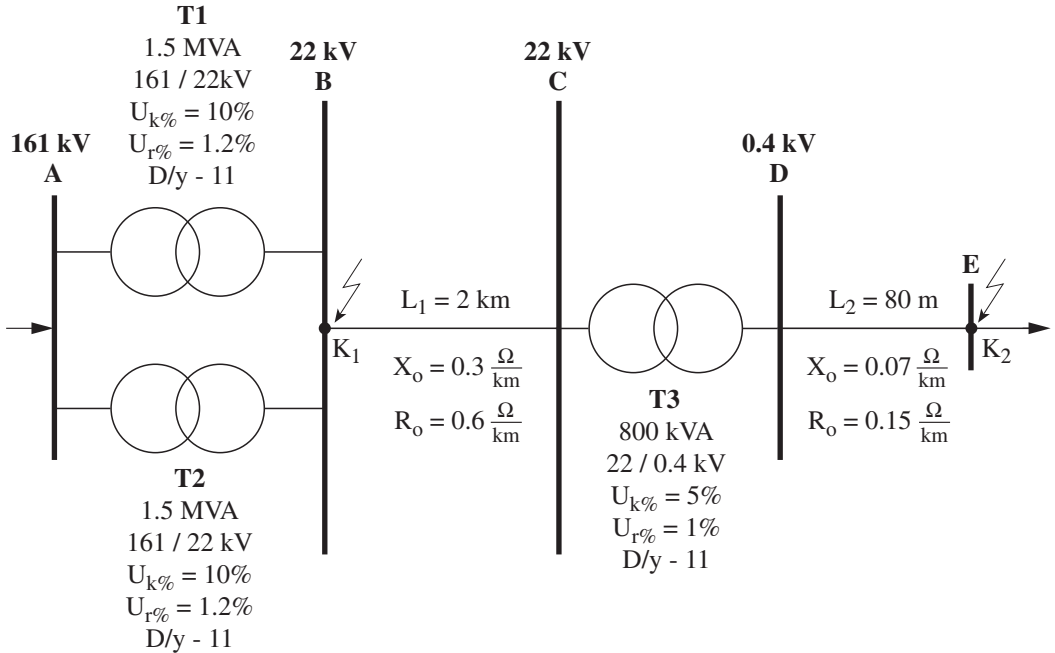
ב. מהו תפקידו של ההתקן CT ברשת המתוארת בנספח?

ג. השלם בתרשים החד-קווי (שבנספח לשאלה) את חיבורי בקר מקדם ההספק בלוח החשמל הראשי. כלול בסרטוטך את אמצעי ההגנה הנדרשים לשם כך.

**הערה: הדבק את מדבקת הנבחן שלך במקום המיועד לכך בנספח, וצרף את הנספח למחברתך.**

## שאלה 4

באיור לשאלה 4 נתונה רשת תלת־מופעית המוזנת בפסי־הצבירה A.



### איור לשאלה 4

- א. קצר תלת־מופעי מתרחש בנקודה  $K_1$ . חשב את הספק הקצר בפסי־הצבירה B.
- ב. קצר תלת־מופעי מתרחש בנקודה  $K_2$ . חשב את זרם ההלם התלת־מופעי בפסי־הצבירה E.
- ג. חשב את הזרם בסליל הראשוני של השנאי  $T_1$ , כאשר הקצר התלת־מופעי מתרחש בנקודה  $K_2$ .

## פרק שני: המרת אנרגיה והינע א'

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

### שאלה 5

להלן נתוניו של שנאי תלת-מופעי:

$$S_n = 3 \text{ kVA} ; U_{n1} = 400 \text{ V} ; D/y - 11 ; a = 20 ; R_1 = R'_2 = 5 \Omega ; X_1 = X'_2 = 10 \Omega$$

הזרם בקו-ההזנה של השנאי הוא  $I = 3 \text{ A}$ . מחברים לשנאי עומס הפועל במקדם הספק של 0.75 השראותי.

א. חשב את הזרם המופעי בסליל השניוני של השנאי.

ב. הנח כי ערכו של מקדם ההעמסה של השנאי ( $\beta$ ) הוא בקירוב 0.7. חשב את המתח המופעי בהדקי הסליל השניוני של השנאי.

ג. חשב את ערכו של מקדם ההעמסה של השנאי, כאשר הוא מוגדר כיחס  $\beta = \frac{S_2}{S_n}$ .

### שאלה 6

נתוניו הנקובים של מנוע לזרם ישר בעירור מקבילי הם:

$$P_n = 45 \text{ kW} ; U_n = 400 \text{ V} ; n_n = 2200 \text{ rpm}$$

כמו-כן נתון:

$$R_a = 0.11 \Omega ; I_a = 120 \text{ A} ; I_e = 10 \text{ A}$$

המנוע עובד בתחום הליניארי של עקום המיגנוט. תגובת העוגן ומפל-המתח על הפחמים – זניחים.

א. חשב את מהירות הסיבוב של המנוע כאשר הזרם בעוגן הוא 0 (סיבוב ריקם אידיאלי).

ב. חשב את:

1. הפסדי הנחשת בעומס נקוב.

2. סכום הפסדי הברזל והפסדי החיכוך בעומס נקוב.

3. המומנט האלקטרו-מגנטי הנקוב של המנוע.

ג. טמפרטורת המנוע עלתה, ועקב כך עלתה ההתנגדות של סליל העוגן.

האם כתוצאה מכך מהירות-הסיבוב של המנוע בהעמסה נקובה תגדל או תקטן?

נמק את תשובתך.

## שאלה 7

נתוניו של מנוע השראה תלת-מופעי הם:

$$P_n = 100 \text{ kW} \quad ; \quad U_n = 400 \text{ V} \quad ; \quad I_n = 180 \text{ A} \quad ; \quad \cos \varphi_n = 0.85 \quad ; \\ f = 50 \text{ Hz} \quad ; \quad s_n = 0.025 \quad ; \quad s_k = 0.16 \quad ; \quad p = 2$$

חשב:

- א. את מהירות-הסיבוב הנקובה של המנוע ואת התדר של הזרם ברוטור.
- ב. 1. את המומנט הקריטי.  
2. את המומנט על ציר המנוע, כאשר גורם החליקה של המנוע הוא 0.02.
- ג. את ההפסדים בסטטור (הפסדי נחושת + הפסדי ברזל), כאשר המנוע מועמס בעומס נקוב.  
הערה: בחישוביך הנח:  $\Delta P_{\text{mech}} + \Delta P_{\text{add}} = 0$ .

## פרק שלישי: מערכות פיקוד ממוחשבות ובקרים בני-תכנות

(לכל שאלה – 25 נקודות).

## שאלה 8

בנספח לשאלה 8 נתון תרשים חשמלי של מערכת פיקוד למתנע כוכב-משולש אוטומטי.

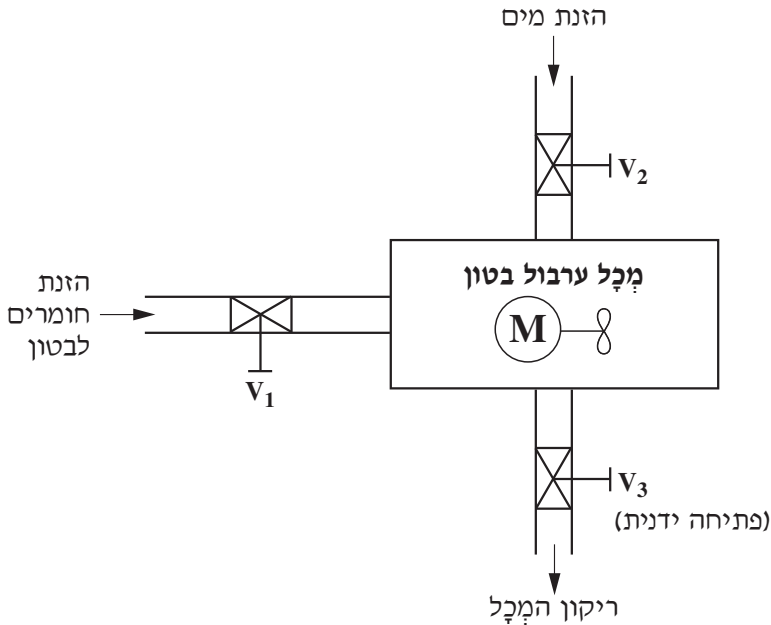
- א. מתכנן מערכת הפיקוד ביצע טעות אחת בתכנון המערכת. תקן את התרשים שבנספח כך שמערכת הפיקוד תפעל באופן תקין.

הערה: הדבק את מדבקת הנבחן שלך במקום המיועד לכך בנספח, וצרף את הנספח למחברתך.

- ב. האם ניתן להפעיל את המתנע שנית, בלי להפסיק את פעולתו תחילה על-ידי לחיצה על מפסק "0"? נמק את תשובתך.
- ג. האם מותר להעביר את המגענים c3 ו-c5 בזמנית, ללא השהיה, מחיבור כוכב לחיבור משולש? נמק את תשובתך.

## שאלה 9

באיור לשאלה 9 נתון תרשים עקרוני של מערכת לערבול בטון.



### איור לשאלה 9

תהליך הערבול מבוקר באמצעות בקר בר־תכנות באופן שלהלן:

1. התחלת התהליך על־ידי לחיצה על הלחצן  $b_1$  (START).
2. פתיחת השסתומים  $V_1$  ו־ $V_2$  בו־זמנית למשך 10 דקות כדי להזין לִמְכָל חומרים לבטון (מלט, חול, חצץ) ומים. לאחר מכן, השסתומים  $V_1$  ו־ $V_2$  ייסגרו בו־זמנית.
3. הפעלת המנוע M במשך חמישה מחזורים. בכל מחזור הוא יסתובב תחילה בכיוון השעון במשך 3 דקות, ולאחר מכן הוא יסתובב נגד כיוון השעון במשך 3 דקות.
4. בתום הפעולה שבסעיף 3 נדלקת נורית כחולה לסימון סיום פעולת הסיבוב של המנוע.
5. הפסקת התהליך על־ידי לחיצה על הלחצן  $b_2$  (STOP) או על־ידי פעולת הגנה תרמית (O.L.).



המערכת כוללת שלוש נוריות חיווי:

- נורית ירוקה (GL) - הדולקת כאשר המנוע M פועל.
  - נורית אדומה (RL) - הדולקת במצב של פעולת הגנה תרמית.
  - נורית כחולה (BL) - הדולקת בסיום פעולת הסיבוב של המנוע.
- א.** הגדר את המבואות ואת המוצאים של הבקר בריהתכנות.
- ב.** תאר באמצעות דיאגרמת סולם את תכנית הפיקוד להפעלת המערכת.

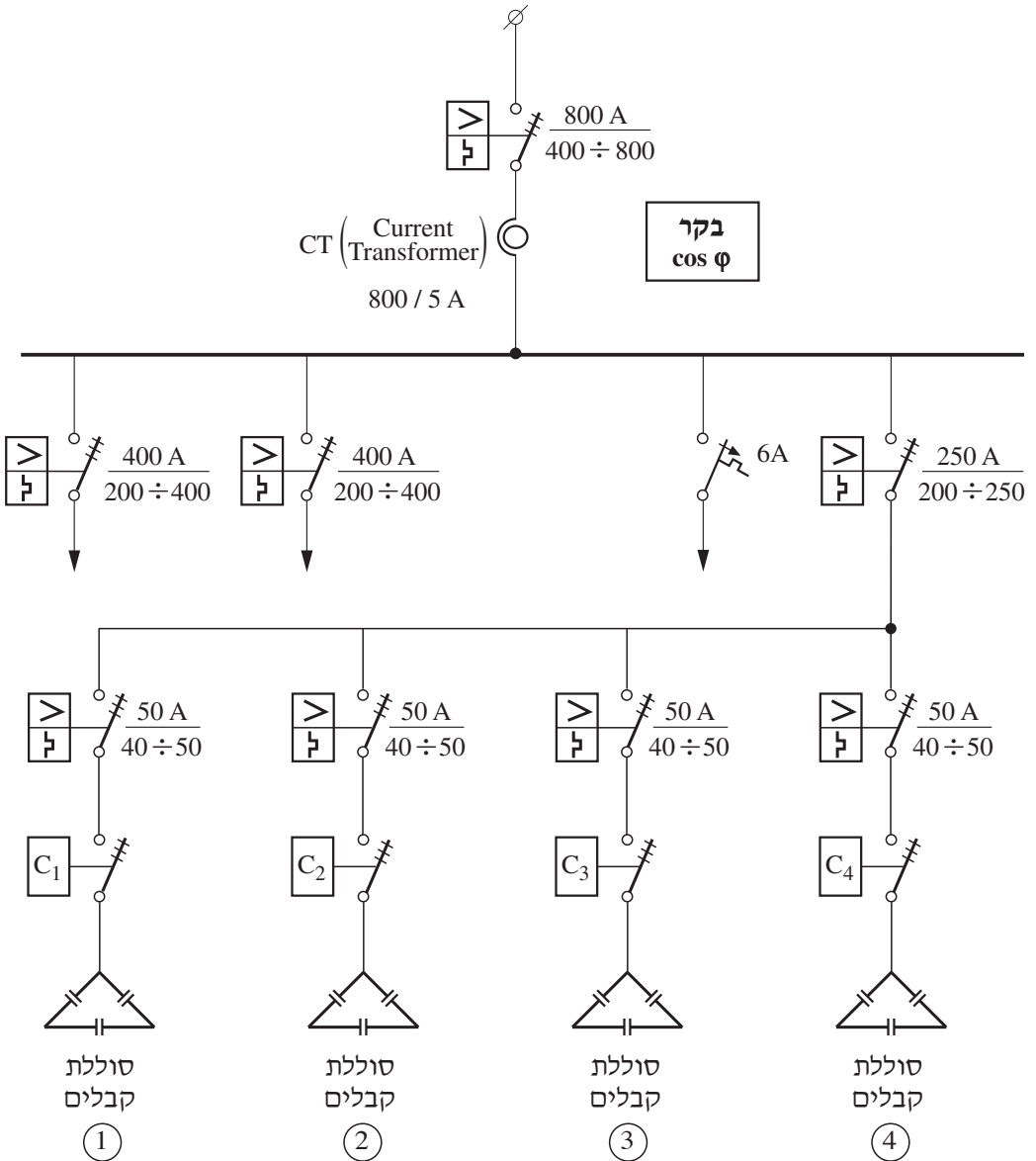
### **בהצלחה!**

זכות היוצרים שמורה למדינת ישראל.  
אין להעתיק או לפרסם אלא ברשות משרד החינוך.

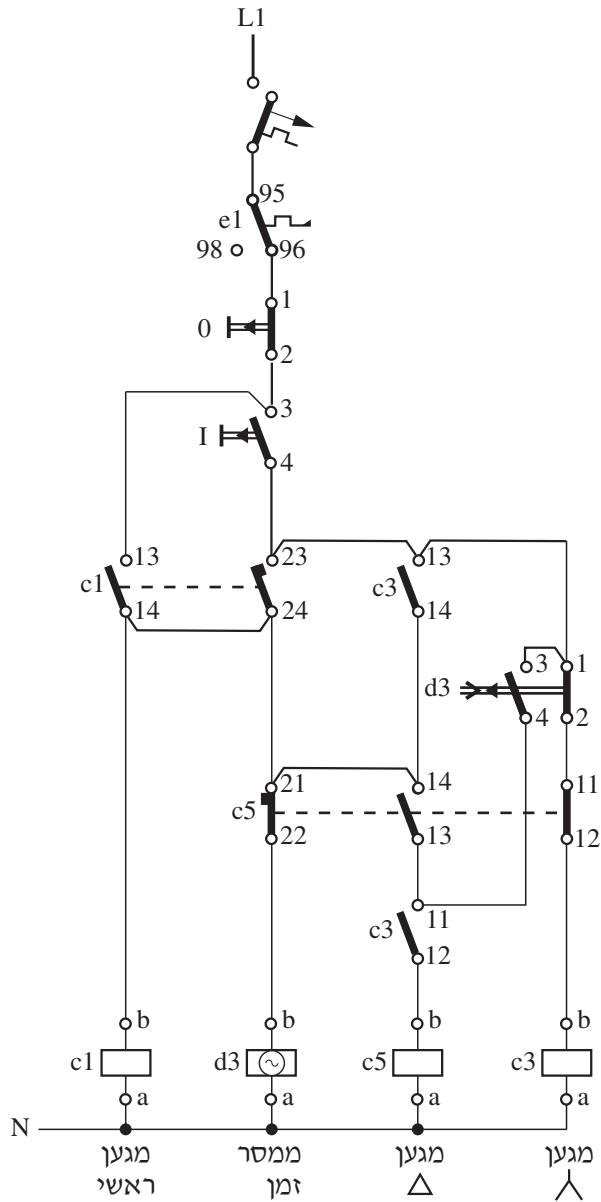
# נספח לשאלה 3

לשאלון 733911, אביב תשע"ה

מקום למציאת נהון



מקום למציאת נהון



אין להעביר את הנוסחאון  
לנבחן אחר

מקום לנספח בקרת נבחן

## נוסחאון במערכות הספק לכיתה י"ג

(16 עמודים)

### 1. מפלי מתח

מתח ישר

$\Delta U$ [V]	-	מפל מתח מרבי
$\gamma$ [m/ $\Omega$ mm <sup>2</sup> ]	-	מוליכות סגולית של המוליכים
A [mm <sup>2</sup> ]	-	שטח חתך של המוליכים
$I_k$ [A]	-	זרם בקטע k
$L_k$ [m]	-	אורך של קטע k
$\Delta P$ [W]	-	הפסדי הספק מרביים

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

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

מתח חילופין חד-מופעי

$\Delta U$ [V]	-	מפל מתח מרבי
$\Delta U_a$ [V]	-	מפל מתח מרבי ממשי
$\Delta U_r$ [V]	-	מפל מתח מרבי היגבי
$X_o$ [ $\Omega$ /m]	-	היגב הקו ליחידת אורך עבור מוליך אחד
$I_k$ [A]	-	זרם בקטע k
$L_k$ [m]	-	אורך של קטע k
$\varphi_k$	-	הזווית בין מתח לזרם בקטע k
$\gamma$ [m/ $\Omega$ mm <sup>2</sup> ]	-	מוליכות סגולית של המוליכים
A [mm <sup>2</sup> ]	-	שטח חתך של המוליכים
$\Delta P$ [W]	-	הפסדי הספק מרביים
$I_a$ [A]	-	זרם ממשי בקטע k
$I_r$ [A]	-	זרם היגבי בקטע k

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

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

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

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

$$I_a = I \cos \varphi$$

$$I_r = I \sin \varphi$$

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

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

מתח חילופין תלת-מופע

מפל מתח מרבי	-	$\Delta U$	[V]
מפל מתח מרבי ממשי	-	$\Delta U_a$	[V]
מפל מתח מרבי היגבי	-	$\Delta U_r$	[V]
היגב הקו ליחידת אורך עבור מוליך אחד	-	$X_o$	[ $\Omega/m$ ]
זרם בקטע k	-	$I_k$	[A]
אורך של קטע k	-	$L_k$	[m]
הזווית בין מתח לזרם בקטע k	-	$\varphi_k$	
מוליכות סגולית של המוליכים	-	$\gamma$	[ $m/\Omega mm^2$ ]
שטח חתך של המוליכים	-	A	[ $mm^2$ ]
הפסדי הספק מרביים	-	$\Delta P$	[W]
זרם ממשי בקטע k	-	$I_a$	[A]
זרם היגבי בקטע k	-	$I_r$	[A]

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

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

חומרים		
חמרון	נחשת	
35	57	$\gamma$
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	<b>30</b>	25	20	15	10
0.77	0.82	0.87	0.91	0.96	<b>1.00</b>	1.04	1.08	1.12	1.15

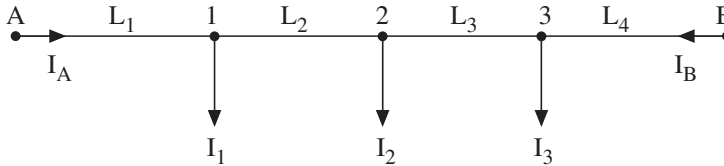
**2.2.2 מקדם תיקון עבור התקנת כבלים אחדים באדמה**

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

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

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

**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 -  $\varphi_1$  [°]
- הזווית אחרי השיפור -  $\varphi_2$  [°]
- 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 -  $\omega$  [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 -  $U_0$  [V]
- המתח על-פני הקבל כעבור זמן  $t$  -  $U_c$  [V]
- זמן הפריקה -  $t$  [sec]

$$R = \frac{t}{C \cdot \ln \frac{U_0}{U_c}}$$

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	-	$\Sigma R$	[Ω]
סכום ההיגבים במעגל הקצר למופע אחד	-	$\Sigma X$	[Ω]
המתח שבו התרחש הקצר	-	U	[V]
מתח הקצר באחוזים	-	$U_{k\%}$	[%]
הרכיב הממשי של מתח הקצר באחוזים	-	$U_{r\%}$	[%]
הרכיב ההיגבי של מתח הקצר באחוזים	-	$U_{x\%}$	[%]
התנגדות הקו ליחידת אורך	-	$R_o$	[Ω/km]
התנגדות הקו	-	$R_L$	[Ω]
היגב הקו ליחידת אורך	-	$X_o$	[Ω/km]
היגב הקו	-	$X_L$	[Ω]
אורך הקו	-	L	[km]
המתח המופעי שבו נתונים ההתנגדות $R_1$ וההיגב $X_1$	-	$U_{1ph}$	[V]
המתח השלוב שבו נתונים ההתנגדות $R_1$ וההיגב $X_1$	-	$U_{1L}$	[V]
המתח המופעי שאליו רוצים לשקף את ההתנגדות $R_1$ ואת ההיגב $X_1$	-	$U_{2ph}$	[V]
המתח השלוב שאליו רוצים לשקף את ההתנגדות $R_1$ ואת ההיגב $X_1$	-	$U_{2L}$	[V]
ההתנגדות $R_1$ וההיגב $X_1$ אשר הועברו למתח $U_2$	-	$R'_1, X'_1$	[Ω]
מקדם ההמרה	-	K	

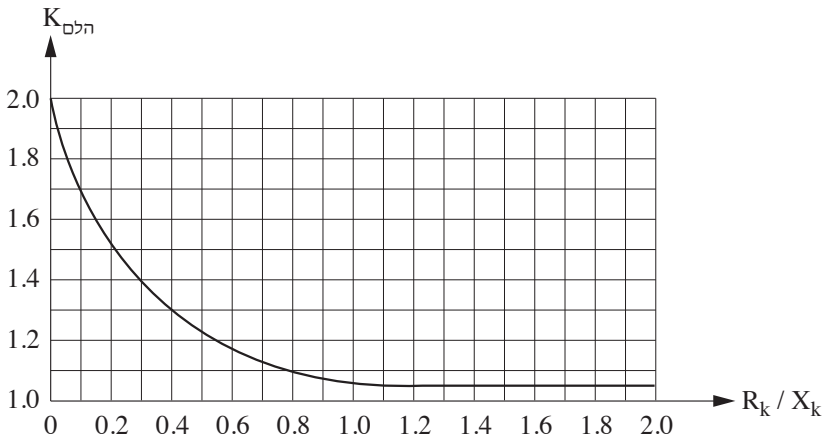
$I_k = \frac{1.1 \cdot U}{\sqrt{3} Z}$
$X_G = \frac{U_{x\%} U^2}{100 S_G}$
$X_S = \frac{U^2}{S_k}$
$R_T = \frac{U_{r\%} U^2}{100 S_T}$
$X_T = \frac{U_{x\%} U^2}{100 S_T}$
$U_{k\%} = \sqrt{U_{r\%}^2 + U_{x\%}^2}$
$Z = \sqrt{(\Sigma X)^2 + (\Sigma R)^2}$
$R_L = R_o \cdot L$
$X_L = X_o \cdot L$
$R'_1 =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

**5.1 נוסחאות לחישוב זרם קצר תלת-מופעי זרם הלם**

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 ( $t = 0$ )	-	$\alpha$	[rad]	$i_a = -\sqrt{2} I_k \sin(\alpha - \varphi_k) e^{-\frac{t}{\sigma}}$
זווית המופע של עכבת הקצר	-	$\varphi_k$	[rad]	$\sigma = \frac{L}{R}$
קבוע זמן של מעגל הקצר	-	$\sigma$	[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	$\geq 1.2$	$R_k / X_k$
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

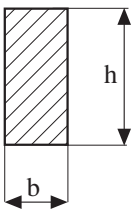
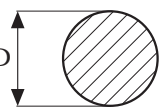
- הכוח הפועל על פס באורך 1m - F [kg/m]
- ערך השיא של זרם הקצר -  $I_{הסמ}$  [kA]
- המרחק בין המרכזים של פסי הצבירה - d [cm]
- מאמץ הכפיפה -  $\sigma$  [kg/cm<sup>2</sup>]
- הכוח הפועל על הפס בקטע בין שני מבדדים - P [kg]
- אורך הפס בין שני מבדדים - L [cm]
- מומנט ההתנגדות (מודול החתך) - W [cm<sup>3</sup>]

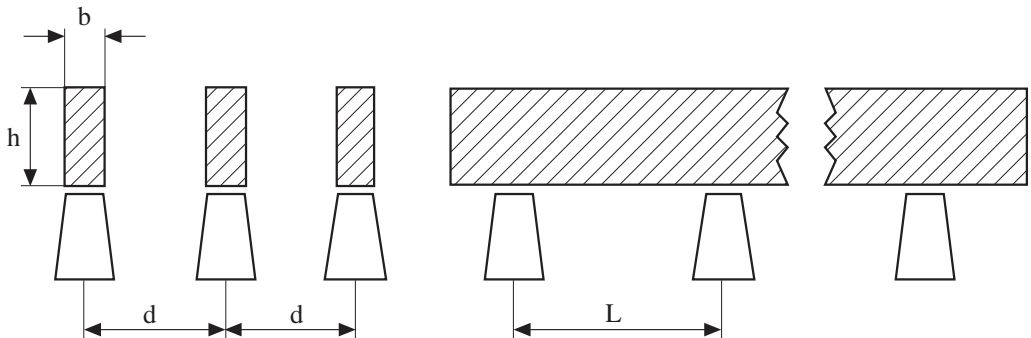
$$F = 1.76 \frac{I_{הסמ}^2}{d}$$

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

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

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

	חתיך	J	W	G
מקדם האלסטיות - E [kg/cm <sup>2</sup> ]				
מומנט ההתמדה (אינרציה) - J [cm <sup>4</sup> ]		$\frac{b^3 h}{12}$	$\frac{b^2 h}{6}$	$b \cdot h \cdot g$
המשקל של פס באורך 1 cm - G [kg]				
תדירות התהודה העצמית - f [Hz]				
רוחב הפס - b [cm]		$0.05 D^4$	$0.1 D^3$	$\frac{\pi D^2}{4} \cdot g$
גובה הפס - h [cm]				
קוטר הפס - D [cm]				
המשקל הסגולי - g [kg/cm <sup>3</sup> ]				



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

I	D <sub>m</sub> [cm]									R <sub>0</sub>	קוטר	שטח חתך
	56	100	200	300	400	500	600	700	1000			
[A]	X <sub>0</sub> [Ω/km]									[Ω/km]	[mm]	[mm <sup>2</sup> ]
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 <sub>m</sub> [cm]									קוטר	שטח חתך
I	R <sub>0</sub>	I	R <sub>0</sub>	56	100	200	300	400	500	600	700	1000		
[A]	[Ω/km]	[A]	[Ω/km]	X <sub>0</sub> [Ω/km]									[mm]	[mm <sup>2</sup> ]
—	—	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/mm<sup>2</sup>]**

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

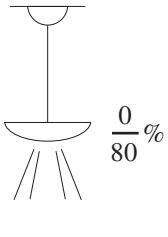
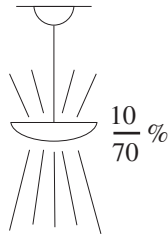
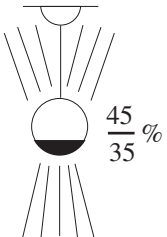

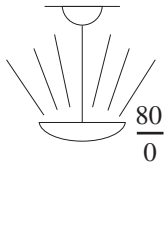
<u>נצילות [lm/W]</u>	<u>שטף אור [lm]</u>	<u>נורות להט (220V)</u>
9.2	230	25 W
10.7	430	40 W
12.2	730	60 W
13.8	1380	100 W
15.7	3140	200 W
16.7	5000	300 W
16.8	8400	500 W
<b><u>נורות להט (עם תוספת יוד)</u></b>		
22.0	22000	1000 W
<b><u>נורות פלורסנטיות</u></b>		
57	2950	40 W לבן בהיר
46	2300	כנ"ל לבן 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
<b><u>נורות כספית (לחץ גבוה)</u></b>		
39	3400	80 W
41	5600	125 W
45	12000	250 W
49	21000	400 W
<b><u>נורות תערובת (כספית + להט)</u></b>		
18	2900	160 W
21	5200	250 W
25	12500	500 W
<b><u>נורות נתון</u></b>		
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.

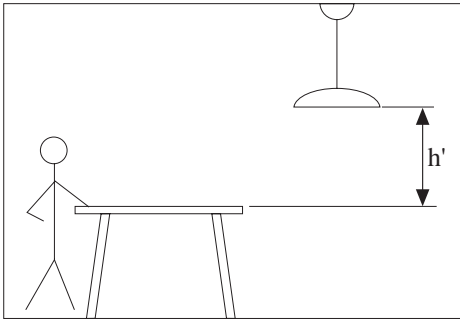
2. הנצילות מחושבת גם על-פי ההפסדים בציווד העזר.



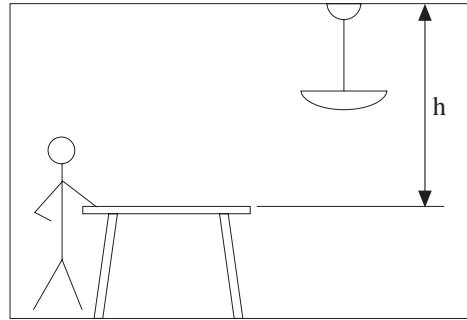
**חישוב תאורה כללית**

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

תאורה ישירה



תאורה בלתי ישירה



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

- $R_K$  מקדם האולם
- $a$  [m] רוחב האולם
- $b$  [m] אורך האולם
- $h$  [m] המרחק האנכי בין התקרה ומשטח העבודה
- $h'$  [m] המרחק האנכי של גוף התאורה ממשטח העבודה
- $\phi$  [lm] שטף האור הנדרש
- $E$  [lx] עוצמת המאור הנדרשת
- $A$  [m<sup>2</sup>] שטח האולם
- $k$  מקדם ההפחתה
- $\eta$  [%] נצילות התאורה

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

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

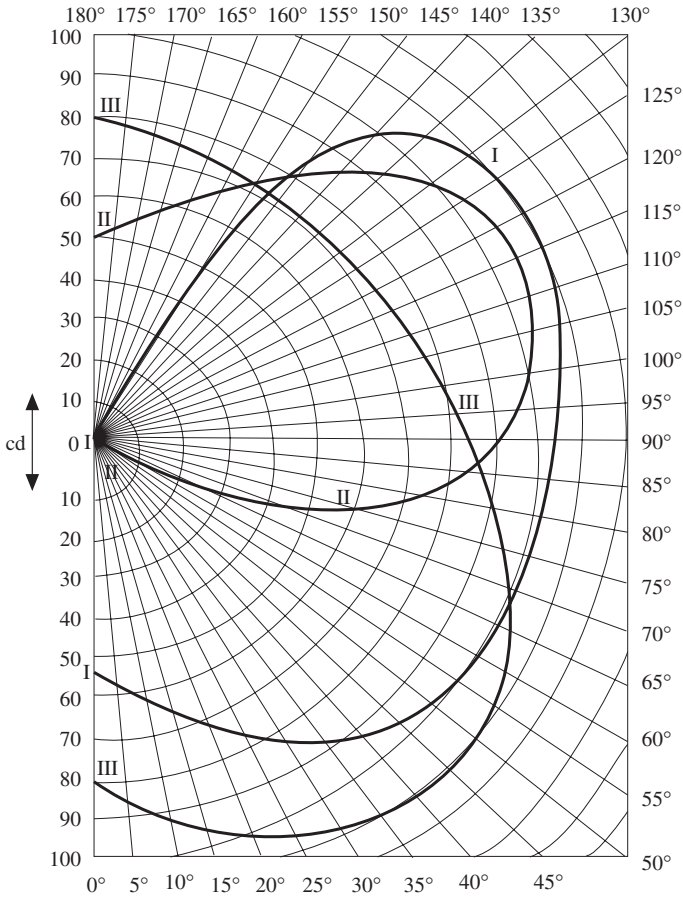
**מקדמי הפחתה k**

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		

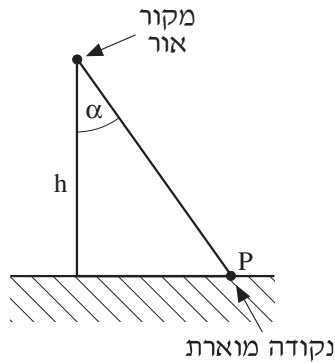
**נצילות התאורה η**

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

**דיאגרמה פולארית של מקור אור בעל שטף של 1000 lm**



- צפיפות ההארה לכל  $\alpha$  מכיוון 1000 lm -  $I_\alpha$  [cd]
- עוצמת ההארה לכל  $\alpha$  מכיוון 1000 lm -  $E_\alpha$  [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 נחון

## נוסחאון במכונות חשמל והינע לכיתה י"ג

(22 עמודים)

### 1. מבוא למערכות תלת-מופעיות

כוכב סימטרי

$$I_L = I_{ph}$$

זרם קווי -  $I_L$  [A]

זרם מופעי -  $I_{ph}$  [A]

מתח שלוב (קווי) -  $U_L$  [V]

מתח מופעי -  $U_{ph}$  [V]

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

משולש סימטרי

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

הספק תלת-מופע

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

הספק מדומה תלת-מופע -  $S$  [VA]

הספק פעיל תלת-מופע -  $P$  [W]

הספק היגבי תלת-מופע -  $Q$  [VAR]

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

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

חישוב זרמים:

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

## 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 / m<sup>2</sup>] - השראה מגנטית מרבית
- $A$  [m<sup>2</sup>] - 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:

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

- $a$  - 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

שנאי תלת-מופעלי:

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

2.2 ניסוי קצר

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

2.3 פעולת השנאי בקצר ובריקם

שנאי תלת-מופעי בקצר:

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

היגבי / התנגדוטי באחוזים

שנאי חד-מופעי בקצר:

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

שנאי תלת-מופעי בריקם:

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

שנאי חד-מופעי בריקם:

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

**2.4 מפלי מתח ומתחי עבודה**

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

מפל מתח באחוזים -  $\Delta U_{\%}$

מפל מתח התנגדותי באחוזים -  $\Delta U_{R\%}$

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

מפל מתח היגבי באחוזים -  $\Delta U_{X\%}$

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

גורם הספק של העומס -  $\cos \varphi_2$

מקדם העמסה של השנאי -  $\beta$

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 -  $\eta$

גורם העמסה המותאם לנצילות מרבית -  $\beta_{\eta_{max}}$

**2.5 נצילות השנאי**

הפסדי ברזל -  $\Delta P_{Fe}$  [W]

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

הפסדי נחושת נקובים -  $\Delta P_{Cu_n}$  [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:

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

$$\frac{S_I}{S_{II}} = \frac{Z_{k_{II}}}{Z_{k_I}}$$

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

- $S_I$  - 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)
- $S_{n_I}$  - הספק מדומה נקוב של שנאי (1)
- $S_{n_{II}}$  - הספק מדומה נקוב של שנאי (2)
- $Z_{k_I}$  - עכבת קצר של שנאי (1)
- $Z_{k_{II}}$  - 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

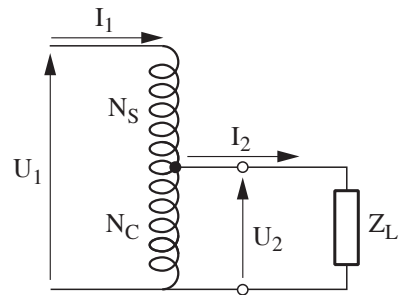
בהפעלת מספר שנאים במקביל:

$$S_m = \frac{S_T}{\sum_{i=1}^n \left( \frac{S_{n_i}}{U_{k\%i}} \right)} \cdot \frac{S_{n_m}}{U_{k\%m}}$$

$$S_{T_{max}} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{S_{n_i}}{U_{k\%i}} \right) \cdot U_{k\%min}$$

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 -  $\Phi_{max}$  [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	-	$Z$		
מספר זוגות קטבים	-	$p$		$K_e = \frac{Z \cdot p}{60 \cdot a}$
מהירות סיבוב	-	$n$	[r.p.m]	
מספר זוגות ענפים	-	$a$		
מקבילים ברוטור				
שטף	-	$\Phi$	[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	-	$R_a$	[Ω]	(עירור זר) $E = U + I \cdot R_a + \Delta U_b$
התנגדות סליל העירור הטורי	-	$R_{es}$	[Ω]	(עירור טורי) $E = U + I(R_a + R_{es}) - \Delta U_b$
מפל המתח על המברשות	-	$\Delta U_b$	[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

<p>הזרם המסופק לצרכן על-ידי המחולל</p> <p><math>I</math> [A]</p>	$I = I_a$	$I_e = \frac{U_e}{R_e}$	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

<p>הזרם הנצרך על-ידי המנוע</p> <p><math>I</math> [A]</p>	$I = I_a$	$I_e = \frac{U_e}{R_e}$	עירור זר	
	<p>הזרם בעוגן (ברוטור)</p> <p><math>I_a</math> [A]</p>	$I = I_a + I_e$	$I_e = \frac{U}{R_e}$	עירור מקבילי
	$I = I_a = I_e$		עירור טורי	

<p>הזרם בסליל העירור</p> <p><math>I_e</math> [A]</p>	$I = I_a = I_e$
<p>מתח העירור</p> <p><math>U_e</math> [V]</p>	
<p>התנגדות סליל העירור</p> <p><math>R_e</math> [<math>\Omega</math>]</p>	
<p>זרם ההתנעה בעוגן</p> <p><math>I_{ast}</math> [A]</p>	$I_{ast} = \frac{U}{R_a + R_{st}}$
<p>התנגדות המתנע</p> <p><math>R_{st}</math> [<math>\Omega</math>]</p>	

3.4 הספקים והפסדי הספק

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

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

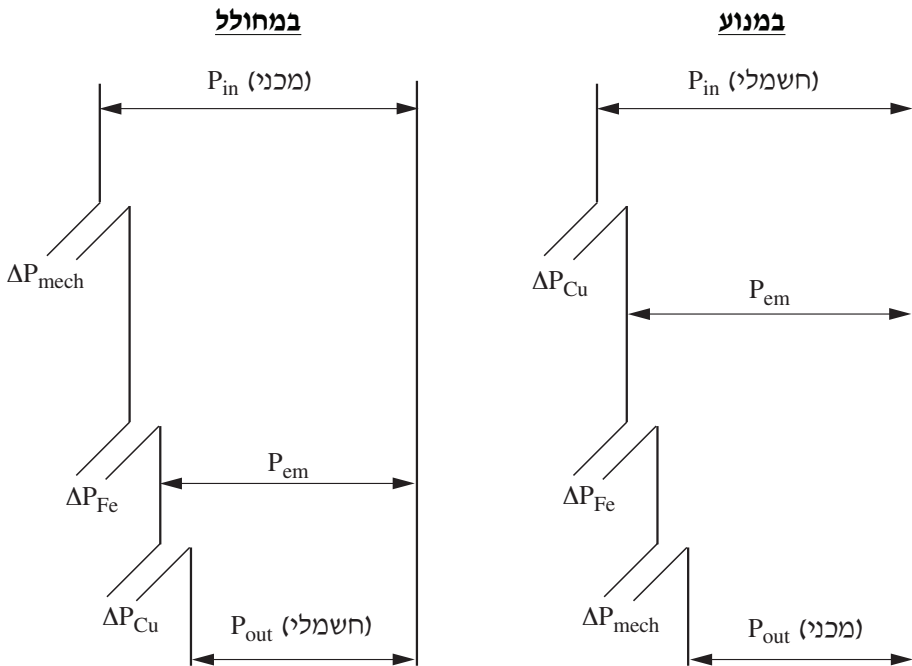
$$\Delta P_{Cu_a} = I_a^2 \cdot R_a$$

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

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

$$P_{חשמלי} = U \cdot I$$

$$P_{מכני} = M \cdot \omega$$



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

3.6 מהירות במנוע

א. במנוע לזרם ישר בעירור מקבילי

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

מקדם הכא"מ -  $K_e$

שטף מגנטי  $\Phi$  [Wb]

$$n = n_o - \Delta n$$

מהירות המנוע  $n$  [r.p.m]

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  $R_a$  [ $\Omega$ ]

התנגדות סליל העירור  $R_e$  [ $\Omega$ ]

התנגדות נוספת  $R_x$  [ $\Omega$ ]

במעגל העוגן

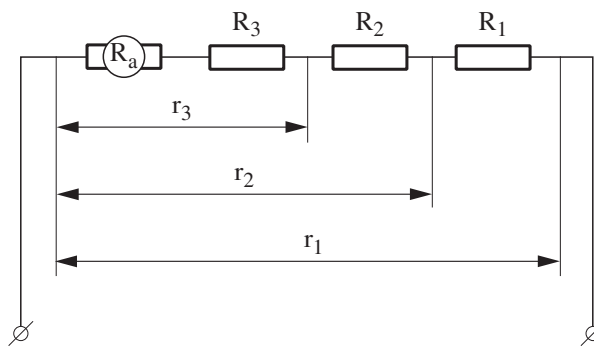
ב. במנוע לזרם ישר בעירור טורי

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

3.7 תכנון מתנע דרגתי למנוע לזרם ישר בעירור מקבילי

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

מתנע בעל שלוש דרגות





## 4. מנוע השראתי תלת-מופעי

### 4.1 חישוב זרמים

(בהזנחת זרם ריקם)

זרם נקוב קווי	-	$I_{n1}$ [A]
הספק נקוב המופק על-ידי המנוע	-	$P_n$ [W]
גורם הספק	-	$\cos \varphi$
נצילות	-	$\eta$
זרם מופעי בסטטור	-	$I_{ph1}$ [A]
זרם מופעי ברוטור, המשוקף לסטטור	-	$I_{ph2}$ [A]
התנגדות סליל אחד בסטטור	-	$R_1$ [ $\Omega$ ]
התנגדות סליל אחד בעוגן	-	$R_2$ [ $\Omega$ ]
התנגדות סליל העוגן המשוקף לסטטור	-	$R'_2$ [ $\Omega$ ]
היגב מופעי ברוטור ניח	-	$X_{2(0)}$ [ $\Omega$ ]
ההיגב הכולל של המנוע	-	$X_T$ [ $\Omega$ ]
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 ריקים)

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

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

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

**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]

גורם החליקה -  $s$

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

מהירות קריטית -  $n_k$  [r.p.m]

היחס בין המומנט המרבי למומנט הנקוב של המנוע -  $\lambda_{max}$

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

מומנט מרבי (קריטי) -  $M_k$  [N · m]

מומנט נקוב -  $M_n$  [N · m]

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

גורם החליקה במומנט קריטי -  $s_k$

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

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 נחושת בסטטור	-	$\Delta P_{Cu_1}$	[W]
איבודי נחושת ברוטור	-	$\Delta P_{Cu_2}$	[W]
איבודי ברזל בסטטור	-	$\Delta P_{Fe}$	[W]
איבודי חיכוך ואיורור	-	$\Delta P_{mech}$	[W]
איבודים נוספים	-	$\Delta P_{add}$	[W]
הספק המנוע בריקים	-	$P_o$	[W]
גורם החליקה	-	$s$	

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

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

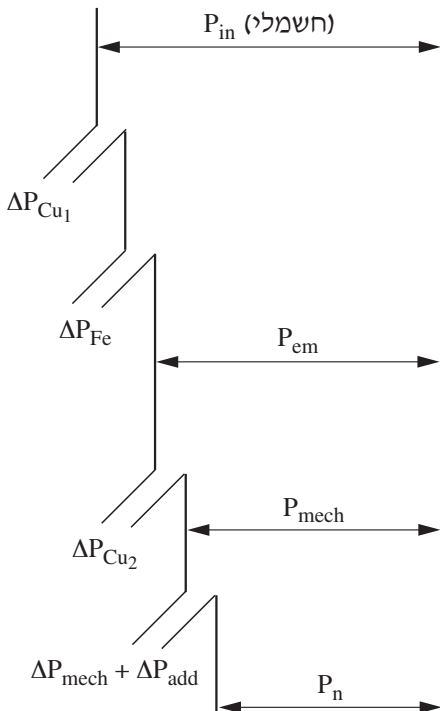
$$\Delta P_{Cu_2} = P_{em} \cdot s = P_{mech} \cdot \left( \frac{s}{1-s} \right)$$

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

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

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

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



4.6 מומנטים

המהירות הזוויתית של הרוטור	-	$\omega_n$	$\left[ \frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$	$\omega_n = \frac{2\pi \cdot n_n}{60}$
המהירות הזוויתית של השדה המסתובב	-	$\omega_s$	$\left[ \frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$	$\omega_s = \frac{2\pi \cdot n_s}{60}$
מהירות סיבוב (סינכרונית) של השדה	-	$n_n$	[r.p.m]	$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = 9.55 \cdot \frac{P_n}{n_n}$
הספק נקוב המופק על-ידי המנוע	-	$P_n$	[W]	$M_{em} = \frac{P_{em}}{\omega_s} = 9.55 \frac{P_{em}}{n_s}$
הספק אלקטרומגנטי	-	$P_{em}$	[W]	
מומנט אלקטרומגנטי בהתנעה	-	$M_{em_{start}}$	[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)	-	$M_k$	[N · m]	
גורם החליקה	-	$s$		$M_{em_{start}} = \frac{3 \cdot 9.55 \cdot U_{ph}^2 \cdot R'_2}{n_s \left[ \left( R_1 + R'_2 \right)^2 + X_T^2 \right]}$
גורם החליקה במומנט קריטי	-	$s_k$		$M_k \cong \frac{3 \cdot 9.55 \cdot U_{ph}^2}{2 \cdot n_s \cdot X_T}$
				$M = \frac{2 \cdot M_k}{\frac{s_k}{s} + \frac{s}{s_k}}$
				$\frac{M_I}{M_{II}} = \left( \frac{U_I}{U_{II}} \right)^2$
				$\frac{M_{start}(\Delta)}{M_{start}(Y)} = 3$

4.7 נגד נוסף במעגל הרוטור

כאשר המנוע מועמס במומנט נקוב:

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

כאשר המנוע מועמס במומנט כלשהו  $M_x$ :

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

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

4.8 תכנון מתנע הדרגתי למנוע השראתי בעל רוטור מלופף

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

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

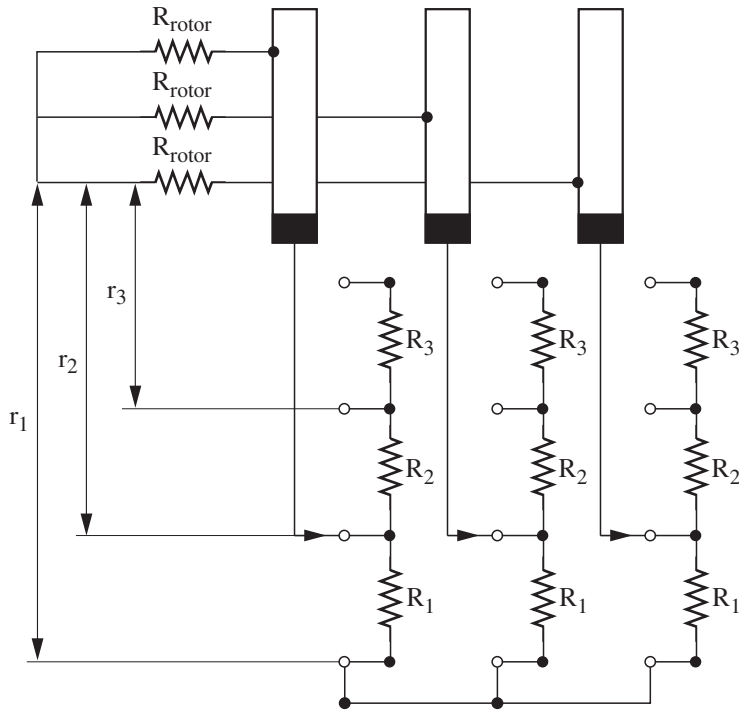
$$\lambda = \frac{M_{max}}{M_n}$$

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

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

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

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



## 5. כוחות ומומנטים במערכות הינע

### 5.1 תנועה קווית

כוח מניע	-	F	[N]
כוח דינמי	-	F <sub>d</sub>	[N]
כוח נגדי	-	F <sub>s</sub>	[N]
מסת הגוף	-	m	[kgf · s <sup>2</sup> / m] , [kg]
מהירות	-	v	[m / s]
תאוצה	-	a	[m / s <sup>2</sup> ]

$$F = F_s + F_d$$

$$F_d = m \frac{dv}{dt} = ma$$

### 5.2 תנועה סיבובית

מומנט סיבובי	-	M	[N · m]
מומנט סטטי (נגדי)	-	M <sub>s</sub>	[N · m]
מומנט דינמי	-	M <sub>d</sub>	[N · m]
מומנט התמדה (אינרציה)	-	J	[kgf · m · s <sup>2</sup> ]
תאוצה זוויתית	-	$\frac{d\omega}{dt}$	$\left[ \frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$
מומנט תנופה	-	GD <sup>2</sup>	[kgf · m <sup>2</sup> ]
מהירות סיבוב	-	n	[r.p.m]

$$M = M_s + M_d$$

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

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

$$GD^2 = 4gJ$$

## 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
- $\eta$  נצילות התמסורת

$$M_s = \frac{M_{sm}}{K \cdot \eta}$$

$$K = \frac{n}{n_m}$$

עבור תמסורת של  $i$  גלגלי שיניים

$$M_s = M_{sm} \cdot \frac{1}{K_1 K_2 \dots K_i \eta_1 \eta_2 \dots \eta_i}$$

העברת מומנטי תנופה לציר המנוע:

- $GD_N^2$  [kgf · m<sup>2</sup>] מומנט תנופה של המנוע
- $GD_i^2$  [kgf · m<sup>2</sup>] 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 -  $\eta$

קוטר התוף -  $D$  [m]

העברת מסות למומנט תנופה:

משקל הגוף -  $G$  [kgf]

$$GD^2 = 365 \cdot G \cdot \left(\frac{v}{n}\right)^2$$

**זמן התנעה וזמן עצירה**

(בהנחה שהמומנט הדינמי ו- $GD^2$  קבועים)

מומנט תנופה -  $GD^2$  [kgf · m<sup>2</sup>]

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

מהירות סיבוב התחלתית -  $n_1$  [r.p.m]

מהירות סיבוב סופית -  $n_2$  [r.p.m]

$$t = \frac{GD^2}{38.2} \frac{n_1 - n_2}{M + M_s} \quad \text{בבלימה:}$$

מומנט סיבובי -  $M$  [N · m]

מומנט סטטי (נגדי) -  $M_s$  [N · m]

**בהצלחה!**

נספח: מילון מונחים (2 עמודים)

לשאלון 733911, אביב תשע"ה

תרגום המונח			המונח
אנגלית	רוסית	ערבית	
programmable controller	Программируемый контроллер	وحدة تحكم مُبرمجة	בקר בר־תכנות
slip factor	Коэффициент скольжения	معامل الانزلاق	מקדם חליקה
polar diagram	Векторная диаграмма	الرسم القطبي	דיאגרמה פולארית
ladder diagram	Лестничная диаграмма	مُخطَّط السلم	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־מופעי
contactors	Контакты	مفاتيح التلامس	מוענים
nominal rotational speed	Номинальная скорость вращения	سرعة الدوران الاسمية	מהירות־סיבוב נקובה
electromagnetic torque	Электромагнитный момент	عزم كهرومغناطيسي	מומנט אלקטרו־מגנטי
critical torque	Критический момент	عزم حاسم	מומנט קריטי

המונח	תרגום המונח		
	ערבית	רוסית	אנגלית
מערכת פיקוד	نظام التحكم	Система управления	control system
מפל-מתח מרבי	هبوط الجهد الأقصى	Максимальное падение напряжения	maximum voltage drop
מקדם הספק	معامل القدرة	Коэффициент мощности	power factor
מקדם העמסה	معامل التحميل	Коэффициент нагрузки	loading factor
מתנע כוכב-משולש	مُبَدِيءُ نُجُوم-مُثَلَّث	Пускатель звезда-треугольник	star-delta starter
סוללת קבלים	بطارية مكثفات	Конденсаторная батарея	capacitor battery
עוצמת הארה	شدة الأشعاع	Уровень освещённости	illuminance
קצר תלת-מופע	قصر ثلاثي الأطوار	Трёх фазное короткое замыкание	three-phase short circuit
שטח-חתך אחיד	مساحة مقطع عرضي موحد	Однородное сечение	uniform cross-sectional area
שטח-חתך תקני	مساحة مقطع عرضي نصابي	Стандартное сечение	standard cross-sectional area