

מכונאות ימית ט'

מתקני אניות, חשמל, אלקטרוניקה ובקרה

(לטכנאי מכונאות ימית)

הוראות לנבחן

א. משך הבחינה: ארבע שעות.

ב. מבנה השאלון ומפתח ההערכה: בשאלון זה שני פרקים ובהם שמונה שאלות.

עליך לענות על השאלה שבפרק הראשון (שאלת חובה) ועל

ארבע שאלות מן הפרק השני.

בסך-הכול עליך לענות על חמש שאלות.

לכל שאלה – 20 נקודות (סך-הכול – 100 נקודות).

ג. חומר עזר מותר לשימוש: מחשבון בעל תצוגה של שורה אחת, לשימוש אישי בלבד.

בשאלון זה 7 עמודים ונוסחאון.

ההנחיות בשאלון זה מנוסחות בלשון זכר,

אך מכוונות לנבחנות ולנבחנים כאחד.

בהצלחה!

השאלות

פרק ראשון: מערכות חשמל ואוטומציה ימיות

ענה על שאלה 1 – שאלת חובה (20 נקודות).

שאלה 1

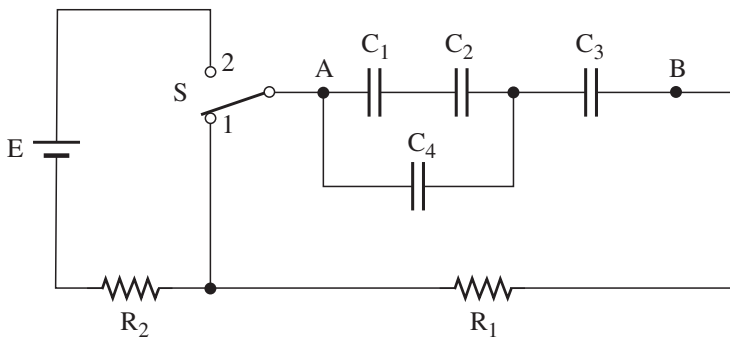
- א.** בלוח החשמל הראשי באנייה מותקן בורר שבעזרתו ניתן לשלוט על אספקת הדלק למחולל (גנרטור). איזו פעולה נדרש לבצע באמצעות בורר זה לפני שילוב מחולל נוסף לרשת החשמל ואיזו פעולה נדרש לבצע באמצעותו לאחר שילוב המחולל הנוסף? הסבר על מה משפיעה כל אחת משתי הפעולות.
- ב.** תאר את הפעולות שיש לבצע בלוח החשמל הראשי כאשר פורצת שריפה באחד מצדדיו של הלוח.

פרק שני: תורת החשמל, המרת אנרגיה, אוטומציה, מכשור ובקרה, אלקטרוניקה

ענה על ארבע מבין השאלות 2-8 (לכל שאלה – 20 נקודות).

שאלה 2

באיור לשאלה 2 נתון תרשים של מעגל חשמלי. במעגל מחוברים: סוללה E, מפסק S, שני נגדים R_1 ו- R_2 וארבעה קבלים בלתי טעונים: C_1, C_2, C_3 ו- C_4 .



איור לשאלה 2

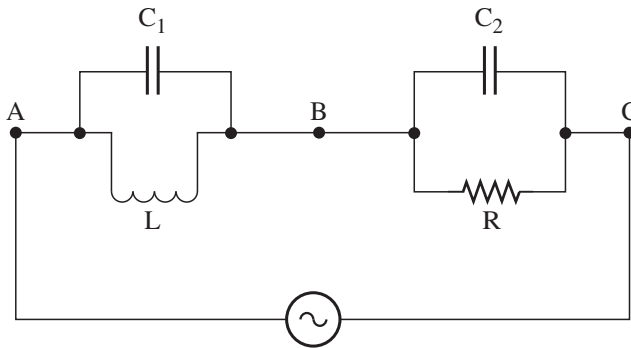
נתונים:

$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$	$C_1 = 20 \text{ }\mu\text{F}$
$R_2 = 10 \text{ k}\Omega$	$C_2 = 20 \text{ }\mu\text{F}$
	$C_3 = 10 \text{ }\mu\text{F}$
$E = 10 \text{ V}$	$C_4 = 10 \text{ }\mu\text{F}$

- א. חשב את הקיבול השקול בין הנקודות A ו-B.
- ב. מעבירים את המפסק S ממצב 1 למצב 2, מה יהיה הזרם במעגל מיד לאחר שינוי מצבו של המפסק?
- ג. לאחר זמן רב מחזירים את המפסק S ממצב 2 למצב 1, מה יהיה ערכו של המתח בין הנקודות A ו-B כעבור 0.1 שניות מרגע החזרת המפסק למצב 1?

שאלה 3

באיור לשאלה 3 נתון תרשים של מעגל חשמלי. במעגל מחובר מקור זרם חילופין, שמתח העירור שלו הוא 100 V והתדר שלו הוא 100 Hz. כמו כן מחוברים במעגל ארבעה רכיבים המסומנים ב- L , R , C_1 , C_2 .



איור לשאלה 3

נתונים:

$$R = 10 \Omega \quad C_1 = 20 \mu\text{F}$$

$$L = 15 \text{ mH} \quad C_2 = 20 \mu\text{F}$$

- א. מהו הערך של העכבה Z_1 מהנקודה A לנקודה B, ושל העכבה Z_2 מהנקודה B לנקודה C?
- ב. חשב את העכבה השקולה של המעגל.
- ג. חשב את הזרם במעגל (ערך ומופע).
- ד. חשב את מקדם ההספק של המעגל וקבע מהו אופיו של המעגל. נמק את קביעתך.

שאלה 4

מנוע השראתי תלת-פאזי עם שני זוגות קטבים מחובר לרשת תלת-פאזית של 380 V ו-50 Hz .

א. חשב את מהירות הסיבוב של ציר המנוע בהנחה שהנצילות של המנוע היא 100% והחליקה בו היא 5% .

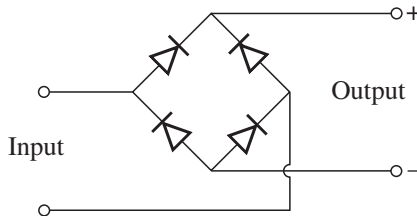
ב. קבע מהו הספק המנוע כאשר הזרם הנצרך על ידו הוא 200 A ומקדם ההספק הוא: $\cos \varphi = 0.8$.

ג. מגדילים את העומס על ציר המנוע. קבע אם כתוצאה מכך:

1. הזרם הנצרך על-ידי המנוע יגדל, יקטן או יישאר ללא שינוי. נמק את תשובתך.
2. מקדם החליקה, s , יגדל, יקטן או יישאר ללא שינוי. נמק את תשובתך.
3. מתח ההזנה של המנוע יגדל, יקטן או יישאר ללא שינוי. נמק את תשובתך.

שאלה 5

באיור לשאלה 5 נתון תרשים של מעגל יישור. המעגל חובר למוצא של שנאי. המתח במבוא המעגל הוא סינוסואידלי וערך השיא של המתח במוצא השנאי הוא 12 V .



איור לשאלה 5

א. תאר במחברתך, באופן גרפי, את המתח במבוא המעגל ואת המתח במוצא המעגל, כפונקציה של הזמן.

ב. מה יהיה הערך היעיל של המתח במוצא המעגל?

ג. במוצא המעגל חובר נגד שהתנגדותו 150Ω . מה יהיה ערכו של הזרם הממוצע שיזרום דרך הנגד?

ד. בין הדקי המוצא של המעגל חובר קבל. תאר במחברתך, באופן גרפי, את אות המתח במוצא המעגל, כפונקציה של הזמן.

שאלה 6

א. נתון המספר 651_8 (בסיס המספר הוא 8).

1. המר את המספר הנתון למספר בבסיס 2, ללא המרה לבסיס 10, והסבר את דרך ההמרה.

2. המר את המספר הנתון למספר בבסיס 16, ללא המרה לבסיס 10, והסבר את דרך ההמרה.

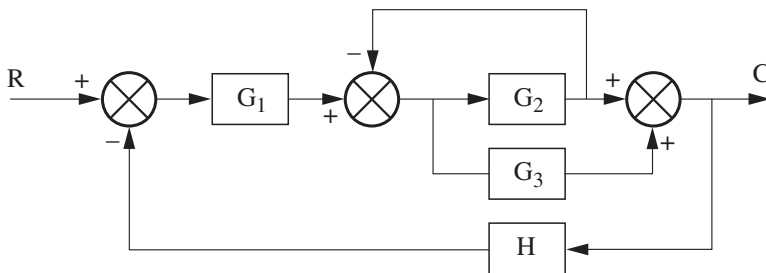
ב. נתון בקר ממוחשב שהגברו 2. הבקר מקבל במבוא את הערך העשרוני 100 ומפיק את הערך העשרוני 200.

1. מהו מספר הסיביות (ספרות בינריות) המינימלי הנדרש כדי לייצג ערכים עשרוניים אלו? נמק את תשובתך.

2. רשום את הערכים שבמבוא הבקר ובמוצאו, בבסיס 2.

שאלה 7

באיור לשאלה 7 מתוארת דיאגרמת מלבנים של מערכת בקרה.



איור לשאלה 7

א. רשום את פונקציית התמסורת $\frac{C}{R}$ של המערכת.

ב. נתונים:

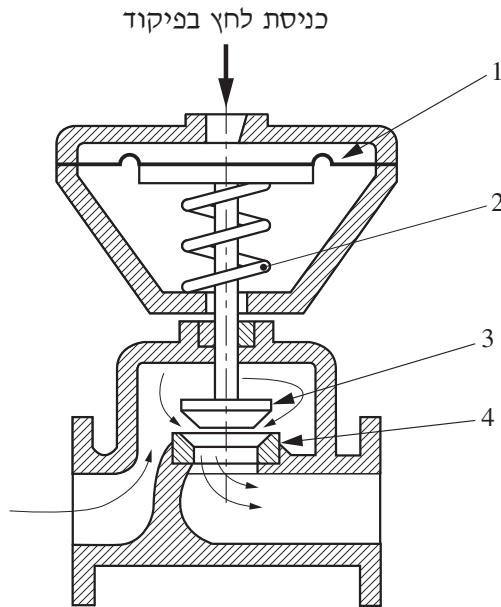
$$G_3 = 20 \quad G_1 = 10$$

$$H = 2 \quad G_2 = 5$$

מה יהיה ערכו של C במוצא המערכת אם $R = 1$?

שאלה 8

באיור לשאלה 8 מתואר מנגנון בקרה סופי.



איור לשאלה 8

- א. מהם שמות הרכיבים 1, 2, 3 ו-4 ומה תפקידו של כל אחד מהם במנגנון זה?
- ב. קבע אם מנגנון זה הוא מסוג "אוויר פותח" או מסוג "אוויר סוגר" ונמק את תשובתך.
- ג. נתון שהשסתום פועל בתחום הלחצים שבין 3 psi ל-15 psi. קבע מה צריך להיות לחץ הפיקוד כדי שהשסתום יהיה פתוח 1/4 משיעור הפתיחה המרבי שלו.

בהצלחה!

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

נספח: נוסחאון (10 עמודים)

לשאלונים 710941, 710943, אביב תשס"ט

תורת החשמל

כל הגדלים נתונים ביחידות SI

1. אלקטרוסטטיקה

1.1 חוק קולון

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2} = \frac{k}{\epsilon_r} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$k = \frac{1}{4\pi \times \epsilon_0} = 9 \times 10^9 \left[\frac{\text{m}}{\text{F}} \right]$$

1.2 שדה חשמלי

$$E = \frac{F}{q}$$

1.3 קבוע דיאלקטרי

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$$

$$\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi \times 10^9} = 8.85 \times 10^{-12} \left[\frac{\text{F}}{\text{m}} \right]$$

1.4 מתח חשמלי

$$U = \frac{E}{r}$$

1.5 קיבול של קבל

$$C = \frac{\epsilon A}{d}; C = \frac{Q}{U}$$

1.6 אנרגיה אגורה בקבל

$$W_C = \frac{1}{2} CU^2$$

עוצמת השדה החשמלי
בניוטון לקולון

$$- E \left[\frac{\text{N}}{\text{C}} \right]$$

כוח בניוטון

$$- F [\text{N}]$$

מטען בקולון

$$- q [\text{C}]$$

כמות המטען בקולון

$$- Q [\text{C}]$$

מרחק בין מטענים במטר

$$- r [\text{m}]$$

קבוע דיאלקטרי
בפרד למטר

$$- \epsilon \left[\frac{\text{F}}{\text{m}} \right]$$

קבוע דיאלקטרי של ריק
בפרד למטר

$$- \epsilon_0 \left[\frac{\text{F}}{\text{m}} \right]$$

קבוע דיאלקטרי יחסי

$$- \epsilon_r$$

שטח במ"ר

$$- A [\text{m}^2]$$

קיבול בפרד

$$- C [\text{F}]$$

אנרגיה בג'אול

$$- W [\text{J}]$$

מרחק בין לוחות של קבל
במטר

$$- d [\text{m}]$$

מתח או הפרש

$$- U [\text{V}]$$

פוטנציאלים בוולט

קיבול שקול בפרד

$$- C_T [\text{F}]$$

1.7 חיבור קבלים:

חיבור מקבילי

$$C_T = \sum_1^m C_m$$

חיבור טורי

$$\frac{1}{C_T} = \sum_1^m \frac{1}{C_m}$$

2. המעגל החשמלי בזרם חילופין

2.1 נוסחאות בסיסיות

$$\omega = 2\pi t$$

$$T = \frac{1}{f}$$

$$i = I_{\max} \sin(\omega t \pm \phi)$$

$$u = U_{\max} \sin(\omega t \pm \phi)$$

$$I_{AV} = \frac{2}{\pi} I_{\max}$$

$$U_{AV} = \frac{2}{\pi} U_{\max}$$

$$I_{\text{eff}} = I = \frac{1}{\sqrt{2}} I_{\max}$$

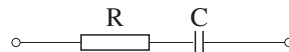
$$U_{\text{eff}} = U = \frac{1}{\sqrt{2}} U_{\max}$$

2.2 מעגלים טוריים



$$Z_{RL} = R + j X_L$$

$$|X_L| = \omega L$$



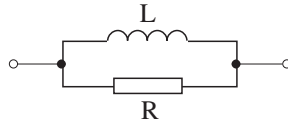
$$Z_{RC} = R - j X_C$$

$$|X_C| = \frac{1}{\omega C}$$

- מהירות זוויתית
ברדיאן לשנייה - $\omega \left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$
- זמן מחזור בשנייה - $T [\text{sec}]$
- תדר (תדירות)
בהרץ - $f \left[\text{Hz}, \frac{1}{\text{sec}} \right]$
- ערך רגעי של זרם
באמפר - $i [A]$
- ערך שיא של מתח
בוולט - $U_m, U_{\max} [V]$
- ערך רגעי של מתח
בוולט - $u [V]$
- ערך שיא של זרם
באמפר - $I_m, I_{\max} [A]$
- ערך ממוצע של
הזרם באמפר - $I_{AV} [A]$
- ערך ממוצע של
המתח בוולט - $U_{AV} [V]$
- ערך יעיל של זרם
באמפר - $I, I_{\text{eff}} [A]$
- ערך יעיל של מתח
בוולט - $U, U_{\text{eff}} [V]$
- התנגדות באום - $R [\Omega]$
- השראות בהנרי - $L [H]$

2.3 מעגלים מקביליים

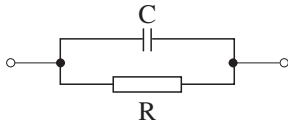
עכבה באום - $Z [\Omega]$
 היגב השראתי באום - $X_L [\Omega]$



$$Y = \frac{1}{Z}$$

$$Y_{RL} = \frac{1}{R} - j \frac{1}{X_L}$$

היגב קיבולי באום - $X_C [\Omega]$



$$Y_{RC} = \frac{1}{R} - j \frac{1}{X_C}$$

2.4 הספקים

מתירות - $Y \left[\frac{1}{\Omega} \right]$
 ב-1 חלקי אום

$$S = P + jQ$$

הספק מדומה - $S [VA]$
 בוולט-אמפר

$$S = UI$$

$$P = UI \cos \phi$$

הספק היגבי (עיוור) - $Q [VAR]$
 בוולט-אמפר ריאקטיבי

$$Q = UI \sin \phi$$

2.5 שיפור מקדם ההספק

הספק ממשי - $P [W]$
 בוואט

$$C = \frac{P}{\epsilon U^2} [\text{tg} \phi_1 - \text{tg} \phi_2]$$

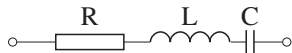
גורם הספק - $\cos \phi$

2.6 תהודה

זווית מופע קיימת - ϕ_1

תהודת מתח

זווית מופע משופרת - ϕ_2



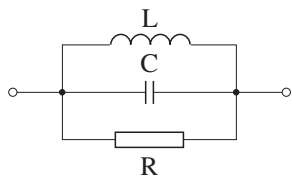
$$Z = R + j(X_L - X_C)$$

$$X_L = X_C$$

$$Z_0 = R$$

עכבה של מעגל בתהודה, באום - Z_0

מתירות בתהודה, - Y_0



$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

תהודת זרם

ב-1 חלקי אום תדר תהודה בהרץ - f_0

$$Y = \frac{1}{R} + j \left(\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L} \right)$$

$$X_L = X_C$$

$$Y_0 = \frac{1}{R} \Rightarrow Z_0 = R$$

$$U_L = \sqrt{3}U_{Ph}$$

.3 מערכות תלת-מופעיות

3.1 עומס סימטרי בחיבור Y

$$U_L = \sqrt{3} U_{Ph}$$

$$I_L = I_{Ph}$$

3.2 עומס סימטרי בחיבור Δ

$$U_L = U_{Ph}$$

$$I_L = \sqrt{3} I_{Ph}$$

3.3 הספק ממשי כולל

$$P = \sqrt{3} U_L I_L \cos \varphi$$

- U_L [V] מתח קו בוולט
- X_{ph} [V] מתח מופע בוולט
- I_L [A] זרם קו באמפר
- I_{ph} [A] זרם מופע באמפר
- P [W] הספק בוואט

.4 תופעות מעבר

4.1 מעגל RC

בטעינה

$$u_c = U \left(1 - e^{-t/\tau}\right)$$

בפריקה

$$u_c = U e^{-t/\tau}$$

$$\tau = RC$$

4.2 מעגל RL

עליית הזרם במעגל

$$i_L = \frac{U}{R} \left(1 - e^{-t/\tau}\right)$$

דעיכת הזרם במעגל

$$i_L = \frac{U}{R} e^{-t/\tau}$$

$$\tau = \frac{L}{R}$$

- u_c [V] מתח רגעי על קבל בוולט
- i_L [A] זרם רגעי דרך סליל באמפר
- U [V] מתח מקור (מתח ישר) בוולט
- R [Ω] התנגדות מעגל באום
- τ [sec] קבוע הזמן בשנייה

המרת אנרגיה

כל הגדלים נתונים ביחידות SI/M.K.S.

$$1 \text{ hp} = 735.5 \text{ W}$$

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

1. מכונות לזרם ישר

1.1 מתח מושרה

$$E = \frac{Zp\phi}{60a}$$

$$K_e = \frac{Zp}{60a}$$

כאשר השטף קבוע:

$$E = K_e \phi n$$

$$C_e = K_e \phi$$

$$E = C_e \cdot n$$

1.2 מומנטים

$$M = \frac{P_n}{\omega}$$

$$M = 9.55 \times 10^6 \frac{P_n}{n_n}$$

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

$$M_{em} = \frac{Zp}{2\pi a} \phi I_a$$

$$M_{em} = K_m \phi I_a$$

$$K_m = \frac{Zp}{2\pi a}$$

E [V] - מתח מושרה ברוטור בוולט

Z - מספר מוליכים ברוטור

p - מספר זוגות של קטבים

n [rpm] - מהירות סיבוב בסל"ד

a - מספר זוגות של ענפים מקבילים

ϕ [Wb] - שטף בובר

P_n [W] - הספק נקוב בוואט

K_e, C_e, K_m, C_m - מקדמים

n_n [rpm] - מהירות סיבוב נקובה בסל"ד

I_a [A] - זרם רוטור באמפר

I_f [A] - זרם שדה מקבילי

M_{em} [N · m] - מומנט אלקטרומגנטי

בניוטון-מטר

M [N · m] - מומנט בניוטון-מטר

$\omega \left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$ - מהירות זוויתית ברדיאן לשנייה

כאשר השטף קבוע:

$$C_m = K_m \cdot \phi$$

$$M_{em} = C_m I_a$$

$$\frac{K_e}{K_m} = \frac{\frac{Z_p}{60a}}{\frac{Z_p}{2\pi a}} = \frac{\pi}{30} = 0.1047$$

1.3 מהירות סיבוב

מתח זינה בוולט - $U [V]$

$$n = \frac{U - I_a R_a}{K_m \phi}$$

מומנט התנעה - $M_s [N \cdot m]$

1.4 התנעה בלי מתנע

בניוטון-מטר

$$U = \frac{M_s R_a}{K_m \phi}$$

התנגדות רוטור באום - R_a

$$U = \frac{0.1047 M_s R_a}{K_c \phi}$$

מקדמים - K_m^*, K_e^*

.2 מנוע זרם ישר בעירור טורי

התנגדות של סליל עירור - $R_f [\Omega]$

$$M = K_m^* I_a^2$$

(שדה) באום

$$n = \frac{U - I_a (R_a + R_f)}{K_e^* I_a}$$

הערה: נוסחת n עבור ברזל לא רוי.

.3 נצילות המכונה לזרם ישר

נצילות - η

הספק מכני במוצא של מנוע בוואט - P_{out}

$$\eta_{מנוע} = \frac{P_{out}}{P_{out} + \Delta P_{Cu} + \Delta P_{Fe} + \Delta P_{mech}}$$

מתח הדקים של מחולל בוולט - U

$$\eta_{מחולל} = \frac{UI}{UI + \Delta P_{Cu} + \Delta P_{Fe} + \Delta P_{mech}}$$

זרם מחולל מועמס באמפר - I

הפסדי נחושת בוואט - ΔP_{Cu}

הפסדי ברזל בוואט - ΔP_{Fe}

הפסדים מכניים בוואט - ΔP_{mech}

אביב תשס"ט

4. שנאי חד-מופעי

4.1 מתח מושרה בסליל

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

$$E_2 = 4.44 f B_{\max} S N_2$$

מתח מושרה בסליל ראשוני בוולט	-	E_1 [V]
מתח מושרה בסליל שניוני בוולט	-	E_2 [V]
שטף מרבי בגרעין בוובר	-	ϕ_{\max} [Wb]
מספר כריכות בסליל ראשוני	-	N_1
מספר כריכות בסליל שניוני	-	N_2
תדירות בהרץ	-	f [Hz]
השראה מגנטית מרבית בוובר למ"ר	-	B_{\max} [Wb / m ²]
שטח חתך של גרעין במ"ר	-	S [m ²]

4.2 יחס השנאה אידיאלי

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

יחס השנאה	-	k
מתח הדקים ראשוני בוולט	-	U_1
מתח הדקים שניוני בוולט	-	U_2
זרם דרך סליל ראשוני באמפר	-	I_1
זרם דרך סליל שניוני באמפר	-	I_2

5. מנוע השראתי

מקדם חליקה	- s
הפסדי נחשת ברוטור	- ΔP_{Cu} [W]
בוואט	
מהירות זוויתית נקובה	- $\omega_n \left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$
ברדיאן לשנייה	
הספק אלקטרומגנטי	- P_{em} [W]
בוואט	
הספק ריק בוואט	- P_o [W]
זרם ריק באמפר	- I_o [A]
גורם הספק בריק	- $\cos\phi_o$
מהירות נקובה בסל"ד	- n_n [rpm]
מהירות סינכרונית	- n_s [rpm]
בסל"ד	
מתח קו בוולט	- U_L [V]
מומנט נקוב בניוטון-מטר	- M_a [N · m]
תדירות רשת	- f [Hz]
תדירות זרם הרוטור	- f_r [Hz]
מספר זוגות הקטבים	- N

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

$$P_{mech} = (1 - s) P_{em}$$

$$\Delta P_{Cu} = s P_{em}$$

$$P_o = \sqrt{3} U_L I_o \cos\phi_o$$

$$M_a = \frac{P_a}{\Omega_a}$$

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

$$f_r = f \cdot s$$

$$n_s = \frac{60 f}{N}$$

מכונה סינכרונית:

מתח בין הדקי מכונה	- U_i, U' [V]	$U' = \sqrt{(U \cos \phi + I_a R_a)^2 + (U \sin \phi + I_a X_s)^2}$
היגב סינכרוני	- X_s [Ω]	
זרם העוגן	- I_a [A]	
התנגדות העוגן	- R_a [Ω]	

מיתוג ומערכות ספרתיות

כללי האלגברה הבוליאנית:

$$(A + B)(A + C) = A + BC$$

$$AB + AC = A(B+C)$$

$$A + AB = A$$

$$A(A + B) = A$$

$$A + \bar{A}B = A + B$$

$$A(\bar{A} + B) = AB$$

כללי דה-מורגן:

$$\overline{A + B} = \bar{A} \cdot \bar{B}$$

$$\overline{A \cdot B} = \bar{A} + \bar{B}$$

אלקטרוניקה

יישור חד-מופעי – חצי גל בעומס אומי

$$V_{AV} = \frac{V_m}{\pi}$$

$$V_{RMS} = \frac{V_m}{2}$$

$$I_{AV} = \frac{V_{AV}}{R}$$

$$I_{RMS} = \frac{V_{RMS}}{R}$$

$$P = \frac{V_{RMS}^2}{R}$$

ערך מרבי של מתח – V_m [V]

ערך יעיל של מתח – V_{RMS} [V]

ערך ממוצע של מתח – V_{AV} [V]

ערך ממוצע של זרם – I_{AV} [A]

ערך יעיל של זרם – I_{RMS} [A]

התנגדות עומס – R [Ω]

הספק על עומס – P [W]

יישור חד-מופעי – גל שלם בעומס אומי

$$V_{AV} = \frac{2V_m}{\pi}$$

$$V_{RMS} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

$$I_{AV} = \frac{V_{AV}}{R}$$

$$I_{RMS} = \frac{V_{RMS}}{R}$$

$$P = \frac{V_{RMS}^2}{R}$$

אוטומציה, מכשור ובקרה

תהליכי לחץ פנימטיים:

זרימת גז דרך ברז:

$$q = \frac{P_1 - P_2}{R_p}$$

ספיקה - $q \left[\frac{m^3}{min} \right]$

לחץ - $P_1 ; P_2 [at] = 10^5 \left[\frac{N}{m^2} \right]$

התנגדות פנימטית - $R_p \left[\frac{N \cdot min}{m^5} \right]$

תהליכים הידרוליים:

מילוי מכל בעל ברז ביציאה:

$$q = \frac{h_1 - h_2}{R_h}$$

עומד לפני ברז - $h_1 [m]$

עומד אחרי ברז - $h_2 [m]$

התנגדות הידרולית - $R_h \left[\frac{min}{m^2} \right]$

בהצלחה!