

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, עמוד אחד של נספח 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

בנספח א' נתונים שני תרשימים חשמליים (א' ו-ב') של התקנים לבדיקת קצר גוף באנייה.

א. הסבר את אופן הפעולה של כל אחד משני ההתקנים.

ב. איזה התקן מבין השניים עדיף לבדיקת קצר הגוף ומדוע?

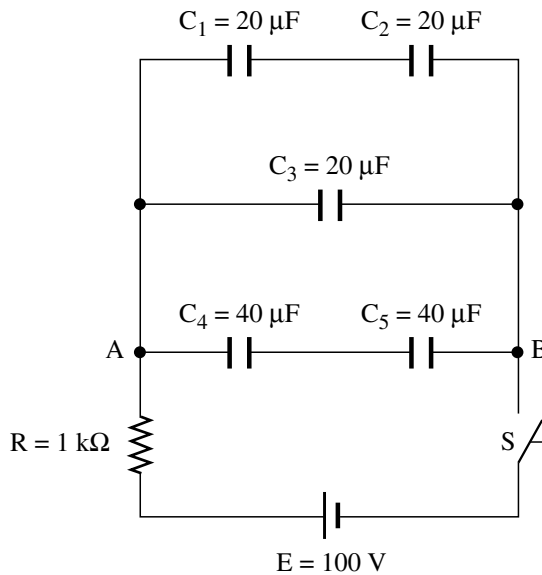
ג. בהתקן א' נלחץ הלחצן S1 וכתוצאה מכך נדלקו הנוריות H12 ו-H13 והן מאירות בעוצמה גבוהה, ואילו הנורית H11 לא נדלקה כלל. היכן מתרחשת התקלה שעליה מצביע החיווי בנוריות?

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.

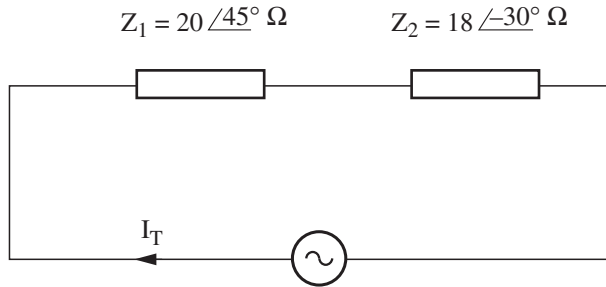


איור לשאלה 2

- א. חשב את הקיבול השקול בין הנקודות A ו-B שבמעגל.
- ב. המפסק S נסגר בזמן $t = 0$. חשב את הזרם הזורם במעגל מיד לאחר סגירת המפסק ואת קבוע הזמן τ .
- ג. חשב את המתח על-פני הנגד R כאשר: $t = 0.06 \text{ sec}$.

שאלה 3

באיור לשאלה 3 נתון תרשים של מעגל חשמלי. במעגל שני רכיבים בעלי עכבות Z_1 ו- Z_2 ומקור מתח חילופין. ההספק היעיל הכולל, P_T , של הרשת המספקת מתח למעגל הוא 119 W.

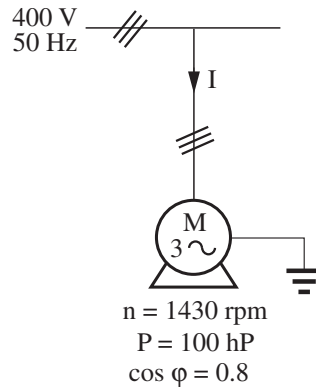


איור לשאלה 3

- א. חשב את ערכו של החלק הממשי ואת ערכו של החלק המדומה בכל אחת מן העכבות Z_1 ו- Z_2 .
- ב. חשב את הזרם השקול, I_T , במעגל.
- ג. חשב את העכבה השקולה של המעגל וקבע, על-פי חישובך, את אופיו של המעגל.

שאלה 4

באיור לשאלה 4 מתואר מנוע השראה תלת-פאזי המחובר לרשת חשמל תלת-פאזית. מהירות הסיבוב של המנוע, הספקו ומקדם ההספק שלו נתונים באיור.

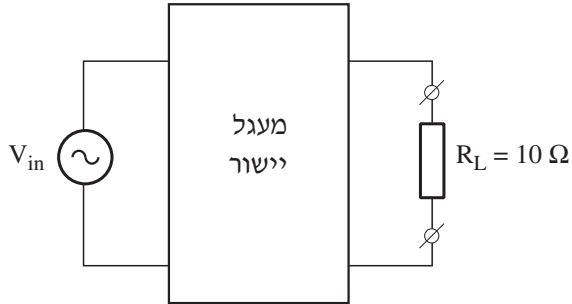


איור לשאלה 4

- א. חשב את מקדם החליקה (s) של המנוע.
- ב. חשב את התדירות של זרם הרוטור במנוע.
- ג. חשב את עוצמת הזרם הנצרך מהרשת.

שאלה 5

באיור לשאלה 5 נתון תרשים של מעגל חשמלי הכולל מקור מתח חילופין, מעגל יישור ועומס.



איור לשאלה 5

- א.** אות המתח V_{in} הוא סינוסואידלי, והערך היעיל של המתח: $V_{RMS} = 14.14 \text{ V}$.
 חשב את ערכו של המתח השיאי וסרטט את V_{in} כפונקציה של הזמן.
- ב.** נתון כי מעגל היישור הוא חד-מופעי לגל שלם.
1. סרטט במחברתך את צורת המתח (V_L) בין הדקי העומס.
 2. חשב את הערך הממוצע ואת הערך היעיל של המתח.
 3. חשב את ההספק בנגד העומס.

שאלה 6

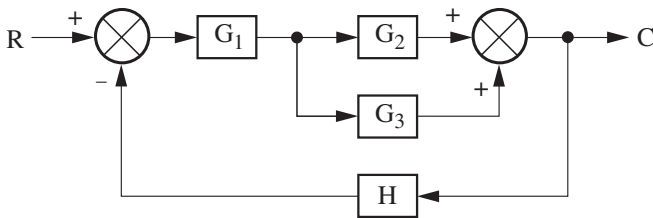
- א.** רשום את המספר 357_8 כסכום של חזקות לפי בסיס 8, ולאחר מכן רשום את אותו המספר לפי בסיס 2.
- ב.** נתונים שני מספרים בינאריים: 1001_2 ו- 1100_2 .
1. חשב את סכום שני המספרים ואת מכפלתם.
 2. חשב את ההפרש:
- $$1100_2 - 1001_2$$

שאלה 7

- א. מהו בקר אינטגרלי (בקר מסוג I)? סרטט סרטוט איכותי של תגובת הבקר לאות שגיאה מסוג מדרגה במבוא שלו. הסבר את סרטוטך.
- ב. מהו בקר גזירה (בקר מסוג D)? סרטט סרטוט איכותי של תגובת הבקר לאות שגיאה מסוג מדרגה במבוא שלו. הסבר את סרטוטך.

שאלה 8

באיור לשאלה 8 נתונה דיאגרמת מלבנים של מערכת בקרה.



איור לשאלה 8

א. מצא את פונקציית התמסורת השקולה, $\frac{C}{R}$, של המערכת והצג את אופן מציאתה.

ב. נתון: $G_1 = 10$

$G_2 = G_3 = 5$

$H = 1$

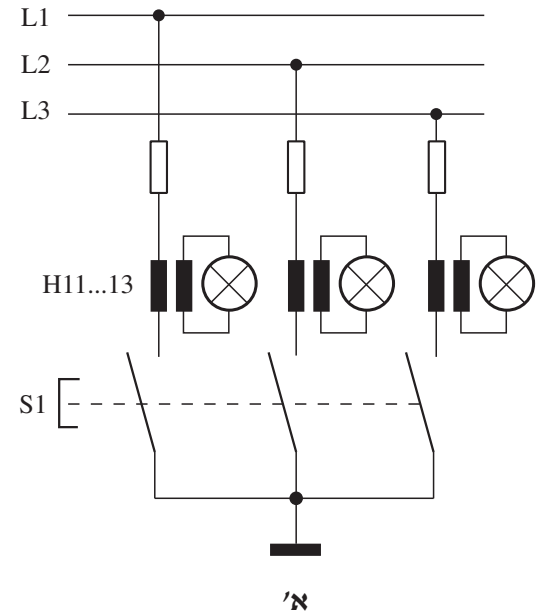
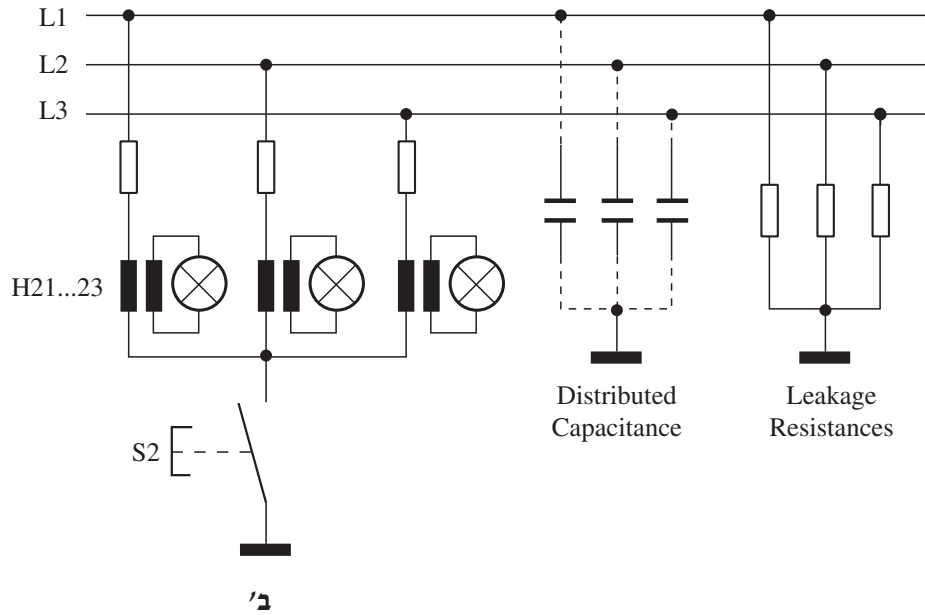
חשב את הערך במוצא של מערכת הבקרה כאשר הערך במבוא שלה הוא: $R = 2.02$.

בהצלחה!

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

נספח א' (לשאלה 1)

לשאלון 710941, אביב תשס"ח



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 השדה החשמלי

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

1.3 הקבוע הדיאלקטרי

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

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

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 — $Q [\text{C}]$

המרחק בין המטענים
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 — ϵ_r

שטח במ"ר — $A [\text{m}^2]$

קיבול בפרד — $C [\text{F}]$

אנרגיה בג'אול — $W [\text{J}]$

מרחק בין לוחות הקבל
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



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

$$|X_L| = \omega L$$



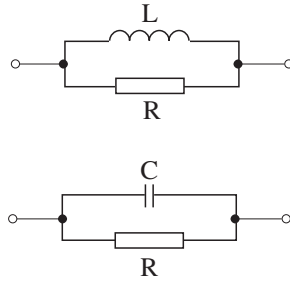
$$Z_{RC} = R - j X_C$$

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

- מהירות זוויתית — $\omega \left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$
ברדיאן לשנייה
- 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 המתח בוולט — $U_m, U_{\max} [V]$
- ערך רגעי של המתח בוולט — $u [V]$
- ערך שיא של הזרם 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 הזרם באמפר — $I, I_{\text{eff}} [A]$
- ערך יעיל של המתח בוולט — $U, U_{\text{eff}} [V]$
- התנגדות באום — $R [\Omega]$
- השראות בהנרי המשך בעמוד 3 — $L [H]$

2.3 מעגלים מקביליים

- עכבה באום — $Z [\Omega]$
- היגב השראתי באום — $X_L [\Omega]$
- היגב קיבולי באום — $X_C [\Omega]$
- מתירות ב-1 חלקי אום — $Y \left[\frac{1}{\Omega} \right]$
- הספק מדומה בולט-אמפר — $S [VA]$
- הספק היגבי (עיור) בולט-אמפר ריאקטיבי — $Q [VAR]$
- הספק ממשי בואט — $P [W]$



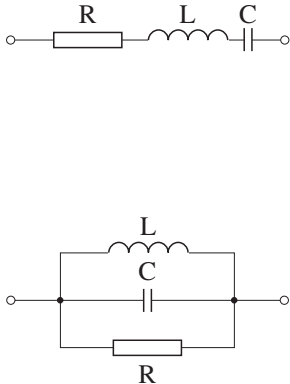
$$Y = \frac{1}{Z}$$

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

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

2.4 הספקים

- גורם הספק — $\cos \varphi$
- זווית מופע קיימת — φ_1
- זווית מופע משופרת — φ_2
- עכבת המעגל בתהודה, באום — Z_o
- מתירות המעגל בתהודה, ב-1 חלקי אום — Y_o
- תדר תהודה בהרץ — f_o



$$S = P + jQ$$

$$S = UI$$

$$P = UI \cos \varphi$$

$$Q = UI \sin \varphi$$

2.5 שיפור מקדם ההספק

$$C = \frac{P}{\epsilon U^2} [\text{tg} \varphi_1 - \text{tg} \varphi_2]$$

2.6 תהודה

תהודת מתח

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

$$X_L = X_C$$

$$Z_o = R$$

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

תהודת זרם

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

$$X_L = X_C$$

$$Y_o = \frac{1}{R} \Rightarrow Z_o = R$$

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

.3 מערכות תלת-מופעיות

3.1 עומס סימטרי בחיבור Y

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

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

$$I_L = I_{ph}$$

3.2 עומס סימטרי בחיבור Δ

$$U_L = U_{ph}$$

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

3.3 הספק ממשי כולל

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

.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

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

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

- מתח רגעי על הקבל בוולט — $u_c [V]$
- זרם רגעי דרך הסליל באמפר — $i_L [A]$
- מתח מקור (מתח ישר) בוולט — $U [V]$
- התנגדות המעגל באום — $R [\Omega]$
- קבוע הזמן בשנייה — $\tau [sec]$

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

$$E = \frac{Z_p n \phi}{60 a}$$

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

כאשר השטף קבוע:

$$E = K_e \phi n$$

$$C_e = K_e \phi$$

$$E = C_e \cdot n$$

1.2 מומנטים

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

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

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

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

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

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

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 הרוטור באמפר

I_f [A] – זרם שדה מקבילי

M_{em} [N · m] – מומנט אלקטרומגנטי

בניוטון-מטר

M [N · m] – מומנט בניוטון-מטר

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

כאשר השטף קבוע:

$$C_m = K_m \cdot \phi$$

$$M_{em} = C_m I_a$$

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

1.3 המהירות

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 הרוטור באום — R_a

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

2. מנוע זרם ישר בעירור טורי

מקדמים — K_m^*, K_e^*

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

התנגדות סליל עירור — $R_f [\Omega]$

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

(שדה) באום

הערה: נוסחת n עבור ברזל לא רווי.

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 ההדקים של המחולל בוולט — U

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

זרם המחולל המועמס באמפר — I

הפסדי נחושת בוואט — ΔP_{Cu}

הפסדי ברזל בוואט — ΔP_{Fe}

הפסדים מכניים בוואט — ΔP_{mech}

אביב תשס"ח

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 — E_1 [V]

הראשוני בוולט

מתח מושרה בסליל — E_2 [V]

השניוני בוולט

שטף מרבי בגרעין בוובר — ϕ_{\max} [Wb]

מספר הכריכות בסליל — N_1

הראשוני

מספר הכריכות בסליל — N_2

השניוני

תדירות בהרץ — f [Hz]

השראה מגנטית — B_{\max} [Wb / m²]

מרבית בוובר למ"ר

שטח החתך של — S [m²]

הגרעין במ"ר

4.2 יחס השנאה אידיאלי

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

יחס השנאה — k

מתח הדקים ראשוני — U_1

בוולט

מתח הדקים שניוני — U_2

בוולט

זרם דרך הסליל — I_1

הראשוני באמפר

זרם דרך הסליל — I_2

השניוני באמפר

5. מנוע השראתי

מקדם חליקה	—	s
הפסדי נחושת ברוטור בוואט	—	$\Delta P_{Cu} [W]$
מהירות זוויתית נקובה ברדיאן לשנייה	—	$\omega_n \left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$
הספק אלקטרומגנטי בוואט	—	$P_{em} [W]$
הספק ריק בוואט	—	$P_o [W]$
זרם ריק באמפר	—	$I_o [A]$
גורם הספק בריק	—	$\cos\phi_o$
מהירות נקובה בסל"ד	—	$n_n [\text{rpm}]$
מהירות סינכרונית בסל"ד	—	$n_s [\text{rpm}]$
מתח קו בוולט	—	$U_L [V]$
מומנט נקוב בניוטון-מטר	—	$M_a [N \cdot m]$
תדירות הרשת	—	f [Hz]
תדירות זרם הרוטור	—	$f_r [\text{Hz}]$
מתח בין הדקי המכונה	—	$U_i, U' [V]$
הגב סינכרוני	—	$X_s [\Omega]$
זרם העוגן	—	$I_a [A]$
התנגדות העוגן	—	$R_a [\Omega]$

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

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

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

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

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

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

$$f_r = f \cdot s$$

מכונה סינכרונית:

$$U' = \sqrt{(U \cos \phi + I_a R_a)^2 + (U \sin \phi + I_a X_s)^2}$$

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 זה-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

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

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

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

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

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

הערך המרבי של המתח – V_m [V]

הערך היעיל של המתח – V_{RMS} [V]

הערך הממוצע של המתח – V_{AV} [V]

הערך הממוצע של הזרם – I_{AV} [A]

הערך היעיל של הזרם – I_{RMS} [A]

התנגדות העומס – R [Ω]

הספק על העומס – 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:

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

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

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 הברז – $h_1 [m]$

עומד אחרי הברז – $h_2 [m]$

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

בהצלחה!