

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, ובסך-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 חשמל של אנייה מותקן ממסר להספק חוזר (Reverse Power Relay) .

1. מהו תפקידו של הממסר במערכת החשמל של האנייה?

2. מהו המספר המזערי (מינימלי) של גנרטורים ברשת המצריך שימוש בממסר כזה?

ב. מנוע חשמלי מוזן מרשת דו־פאזית באנייה.

1. תאר, באמצעות תרשים, כיצד יש לחבר אמפרמטר המיועד למדוד את הזרם שצורך המנוע.

2. תאר, באמצעות תרשים, כיצד יש לחבר וולטמטר המיועד למדוד את מתח ההזנה של המנוע.

3. תאר את תגובת הרשת ואת תגובת המנוע אם נחבר אמפרמטר במקום הוולטמטר.

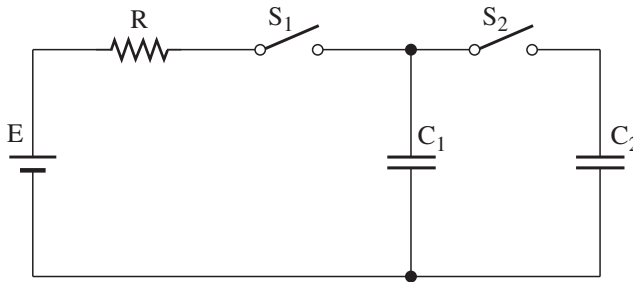
4. תאר את תגובת הרשת ואת תגובת המנוע אם נחבר וולטמטר במקום האמפרמטר.

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

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

שאלה 2

באיור לשאלה 2 נתון תרשים של מעגל חשמלי. במצב ההתחלתי המפסקים S_1 ו- S_2 פתוחים.



איור לשאלה 2

נתונים:

$$C_1 = 5 \mu\text{F}$$

$$R = 100 \text{ k}\Omega$$

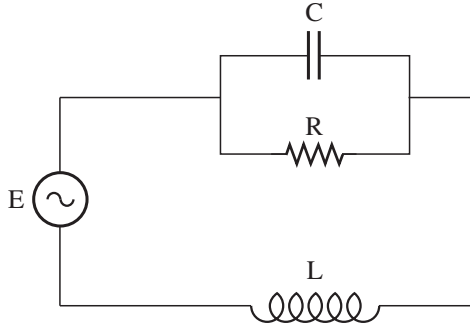
$$E = 10 \text{ V}$$

לפני פתרון כל אחד מהסעיפים שלהלן הנח כי המעגל נמצא במצב ההתחלתי, כל הקבלים פרוקים והמתח בין הדקיו של כל קבל הוא 0 V.

- א.** סוגרים את המפסק S_1 . חשב את המתח בין הדקי הקבל C_1 כעבור 0.4 sec מרגע סגירת המפסק.
- ב.** סוגרים בזימנית את המפסקים S_1 ו- S_2 . האם אחרי 0.4 sec מסגירת המפסקים יהיה המתח שיימדד בין הדקי הקבל C_1 גדול מזה שנמדד בסעיף א', שווה לו או קטן ממנו? נמק את תשובתך.
- ג.** סוגרים בזימנית את שני המפסקים S_1 ו- S_2 . מה צריך להיות ערכו של הקבל C_2 כדי שהמתח בין הדקיו יהיה 5 V, כעבור 0.7 sec מסגירת המפסקים?

שאלה 3

באיור לשאלה 3 נתון תרשים של מעגל חשמלי.



איור לשאלה 3

נתונים:

$$C = 20 \mu\text{F}$$

$$R = 100 \Omega$$

$$L = 25 \text{ mH}$$

מתח העירור הוא: $E = 50 \text{ V}$ והתדר שלו 400 Hz .

- מהו הערך של העכבה השקולה Z , של הקבל והנגד?
- חשב את העכבה השקולה של כל המעגל.
- חשב את הזרם הכולל במעגל.
- חשב את מקדם ההספק של המעגל.
- קבע אם אופיו של המעגל הוא קיבולי או השראותי ונמק את קביעתך.

שאלה 4

- לפניך ארבעה היגדים. רשום במחברתך, לגבי כל אחד מהם, **נכון** או **לא נכון** ונמק את קביעתך.
- השדה המסתובב במנוע תלת־מופעי נוצר עקב סיבוב הרוטור של המנוע.
 - מהירות השדה המסתובב במנוע נשארת קבועה למרות שינויים במומנט הפועל על ציר המנוע.
 - המהירות של רוטור המנוע נשארת קבועה אם משנים רק את המומנט הפועל על ציר המנוע.
 - כאשר מספקים מתח למנוע והרוטור אינו מסתובב, צריכת הזרם גבוהה מאוד ביחס לצריכת הזרם בזמן שהרוטור מסתובב ומניע מערכת כלשהי.

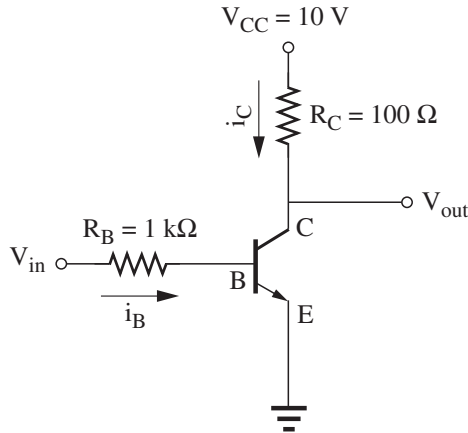
שאלה 5

באיור לשאלה 5 נתון תרשים של מעגל חשמלי הכולל טרנזיסטור.

נתונים:

מתח הכניסה: $V_{in} = 1.5 \text{ V}$

$\beta_{\text{טרנזיסטור}} = 50$



איור לשאלה 5

- א. באיזו תצורה מחובר הטרנזיסטור?
- ב. מה צריך להיות גודלו של המתח בצומת בסיס-פולט כדי שהטרנזיסטור יוליך זרם?
- ג. מהו גודלו של הזרם i_B שנכנס לבסיס?
- ד. מה ערכו של מתח המוצא, V_{out} ?
- ה. העתק למחברתך את תרשים המעגל, והוסף בו את הנגדים הדרושים כדי להבטיח שהטרנזיסטור יהיה כל העת במצב הולכה.

שאלה 6

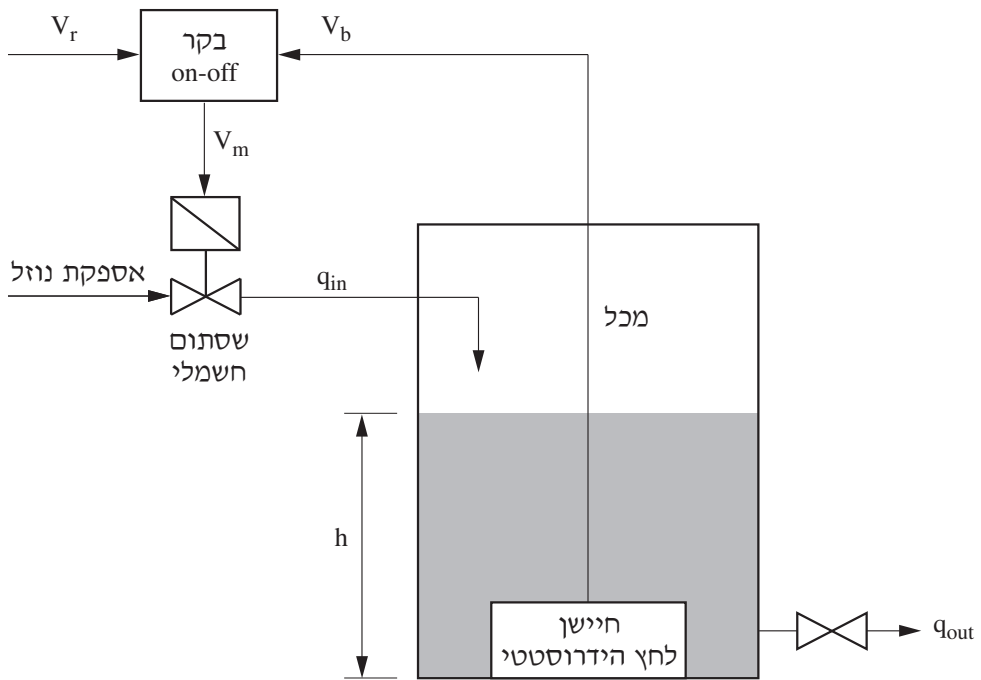
באיור לשאלה 6 מתוארת מערכת לבקרת מפלס של נוזל במכל. המערכת כוללת בקר מסוג on-off עם תחום מת אשר שולט על שסתום חשמלי, חיישן של לחץ הידרוסטטי ומכל המכיל את הנוזל.

החיישן מפיק מתח, V_b , יחסי למפלס הנוזל, h .

הבקר מוזן במתח המוצא של החיישן ובמתח, V_r , המייצג את הערך הרצוי, והוא מפיק

מתח, V_m .

שסתום הבקרה החשמלי מוזן במתח, V_m , ומווסת את ספיקת הנוזל, q_{in} .



איור לשאלה 6

- א. קבע אם המערכת פועלת בחוג סגור או בחוג פתוח ונמק את קביעתך.
- ב. תאר את המערכת בעזרת דיאגרמת מלבנים. מעל לכל מלבן ציין את שם הרכיב שהוא מייצג ומעל לכל חץ – את המשתנה הפיזיקלי שהוא מייצג, עם יחידותיו.
- ג. הסבר מה ההבדל בין שסתום מסוג "רגיל פתוח" לבין שסתום מסוג "רגיל סגור". קבע איזה מהם תבחר להציב במערכת זו ונמק את קביעתך.
- ד. תאר בעזרת גרף איכותי את שינויי המפלס במכל כתלות בזמן.

שאלה 7

חיישן טמפרטורה מודד את טמפרטורת הקיטור במערכת הקיטור באנייה. תחום העבודה של החיישן הוא: $0 \div 500 \text{ }^{\circ}\text{C}$, ואות המוצא שלו הוא אות זרם תקני בתחום: $4 \div 20 \text{ mA}$.

- א. חשב את ההגבר של חיישן הטמפרטורה.
- ב. קבע מהי הטמפרטורה הנמדדת כאשר זרם המוצא של החיישן הוא 13 mA .
- ג. קבע מהו זרם המוצא של החיישן כאשר הטמפרטורה היא $410 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

שאלה 8

א. נתון המספר הבינארי 110010101001.

1. המר את המספר הנתון ישירות למספר בבסיס 8, ללא המרה לבסיס 10, והסבר את דרך ההמרה.
 2. המר את המספר הנתון ישירות למספר בבסיס 16, ללא המרה לבסיס 10, והסבר את דרך ההמרה.
 3. המר את המספר הנתון למספר בבסיס 10? הראה את אופן ההמרה.
- ב. 1. המר את המספר 31 (הנתון בבסיס עשר) למספר בינארי.
 2. המר את המספר 43 (הנתון בבסיס עשר) למספר בינארי.
 3. חבר את שני המספרים הבינאריים שקיבלת בסעיפים ב'1 ו-ב'2, והצג את סכומם כמספר בינארי.

בהצלחה!

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

נספח: נוסחאון (10 עמודים)

לשאלונים 710941, 710943, אביב תש"ע

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	-	ϵ_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 פוטנציאלים בוולט	-	$U [\text{V}]$
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

$$\omega = 2\pi t$$

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

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

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

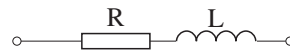
$$I_{AV} = \frac{2}{\pi} I_{\max}$$

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

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

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

2.2 מעגלים טוריים



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

$$|X_L| = \omega L$$



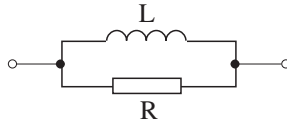
$$Z_{RC} = R - j X_C$$

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

- 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

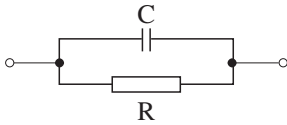
עכבה באום - $Z [\Omega]$
 היגב השראתי באום - $X_L [\Omega]$



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

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

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

$$S = UI$$

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

$$P = UI \cos \phi$$

$$Q = UI \sin \phi$$

2.5 שיפור מקדם ההספק

הספק ממשי - $P [W]$
 בוואט

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

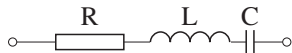
גורם הספק - $\cos \phi$

2.6 תהודה

זווית מופע קיימת - ϕ_1

תהודת מתח

זווית מופע משופרת - ϕ_2



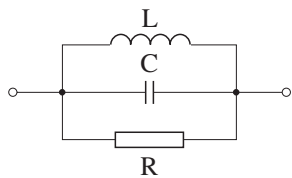
$$Z = R + j(X_L - X_C)$$

$$X_L = X_C$$

$$Z_0 = R$$

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

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

$$I_L = I_{ph}$$

- 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 $P [W]$

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 קבל בוולט $u_c [V]$
- זרם רגעי דרך סליל באמפר $i_L [A]$
- מתח מקור (מתח ישר) בוולט $U [V]$
- התנגדות מעגל 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

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

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

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:

$$C_m = K_m \cdot \phi$$

$$M_{em} = C_m I_a$$

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

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 תש"ע

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 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 רשת	-	f [Hz]
תדירות זרם הרוטור	-	$f_r [\text{Hz}]$
מספר זוגות הקטבים	-	N

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

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

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

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

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

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

$$f_r = f \cdot s$$

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

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	-	$X_s [\Omega]$	
זרם העוגן	-	$I_a [A]$	
התנגדות העוגן	-	$R_a [\Omega]$	

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

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

תהליכים הידרוליים:

מילוי מכל בעל ברז ביציאה:

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

עומד לפני ברז - $h_1 [\text{m}]$

עומד אחרי ברז - $h_2 [\text{m}]$

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

בהצלחה!