

## 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 תשע שאלות.

עליך לענות על שאלה אחת מן הפרק הראשון 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 9 עמודים ונוסחאון.

ההנחיות בשאלון זה מנוסחות בלשון זכר,

אך מכוונות לנבחנות ולנבחנים כאחד.

**בהצלחה!**

## השאלות

### פרק ראשון: מערכות חשמל ואוטומציה ימיות

ענה על אחת מבין השאלות 1-2 (20 נקודות).

#### שאלה 1

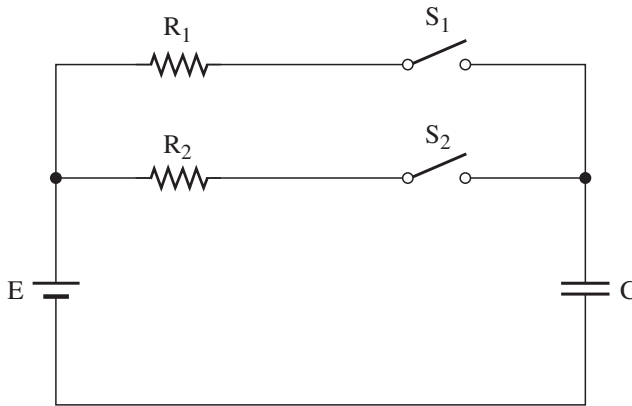
- א. 1. מהם שלושת התנאים לסנכרון גנרטור ללוח חשמל באנייה?
2. לעתים נדרש לחבר לרשת החשמל באנייה גנרטור חדש או כזה שעבר שיפוץ. איזה תנאי אחר, נוסף על התנאים שמנית בסעיף א.1, נדרש כדי לסנכרן את הגנרטור ללוח החשמל באנייה?
- ב. אחת השיטות המקובלות לסנכרון גנרטור ללוח חשמל באנייה באמצעות מערכת של שלוש נורות היא שיטת "האור המסתובב".
1. הצג תרשים המתאר את אופן החיבור של הנורות במערכת בשיטה זו.
2. פרט את השלבים בסנכרון הגנרטור ללוח החשמל בשיטה זו.

#### שאלה 2

- מקובל לבדוק אם קיים קצר־גוף באנייה באמצעות מערכת של שלוש נורות.
- א. הצג תרשים המתאר את אופן החיבור של הנורות במערכת זו.
- ב. תאר את התגובה של כל אחת מהנורות במערכת כאשר מתרחש קצר־גוף באנייה.
- ג. כיצד יש לבדוק את התקינות של המערכת הזאת?

**פרק שני: אלקטרוניקה, המרת אנרגיה, אוטומציה, מכשור ובקרה**ענה על ארבע השאלות 3-9 (לכל שאלה – 20 נקודות).**שאלה 3**

באיור לשאלה 3 נתון תרשים של מעגל חשמלי. במצב ההתחלתי, המפסקים  $S_1$  ו- $S_2$  שבתרשים, פתוחים.

**איור לשאלה 3****נתונים:**

התנגדויות הנגדים:

קיבול הקבל:  $C = 5 \mu\text{F}$  $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$ מתח הסוללה:  $E = 10 \text{ V}$  $R_2 = 50 \text{ k}\Omega$ 

לפתרון כל אחד מן הסעיפים שלהלן הנח שהמתח על פני הדקי הקבל, לפני סגירת המפסקים, היה אפס.

**א.** סוגרים **רק** את המפסק  $S_1$ . חשב את המתח שיתקבל בין הדקי הקבל C כעבור 0.5 sec מרגע סגירת המפסק.

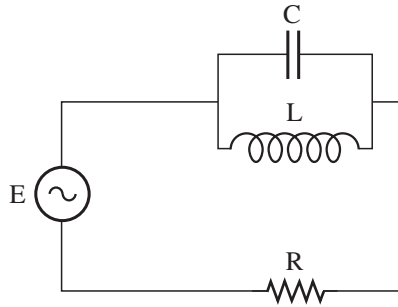
**ב.** סוגרים בעת ובעונה אחת את המפסקים  $S_1$  ו- $S_2$ . האם המתח שיתקבל בין הדקי הקבל C, כעבור 0.4 sec מרגע סגירת המפסקים, יהיה גדול, שווה או קטן מזה שנמדד בסעיף א? נמק את תשובתך.

**ג.** מחליפים את הקבל C בקבל אחר וסוגרים **רק** את המפסק  $S_2$ . כעבור 0.5 sec מרגע סגירת המפסק נמדד בין הדקי הקבל מתח של 0.5 V. חשב את ערכו של קיבול הקבל.

המשך בעמוד 4

**שאלה 4**

באיור לשאלה 4 נתון תרשים של מעגל חשמלי.  
מתח ההזנה הוא 50 V והתדר שלו הוא 400 Hz .



איור לשאלה 4

**נתונים:**

קיבול הקבל:  $C = 10 \mu\text{F}$

התנגדות הנגד:  $R = 500 \Omega$

השראות הסליל:  $L = 20 \text{ mH}$

- א. מהו הערך של העכבה השקולה  $Z$  של הקבל והסליל?
- ב. חשב את העכבה השקולה של כל המעגל.
- ג. חשב את הזרם הזורם דרך הנגד.
- ד. מהו מקדם ההספק של המעגל, ומהו אופיו של המעגל? נמק את תשובתך.

**שאלה 5**

מנוע הפועל בזרם חילופין תלת-פאזי מחובר לרשת המספקת מתח שערכו  $380\text{ V}$ . על ציר המנוע לא פועל מומנט חיצוני.

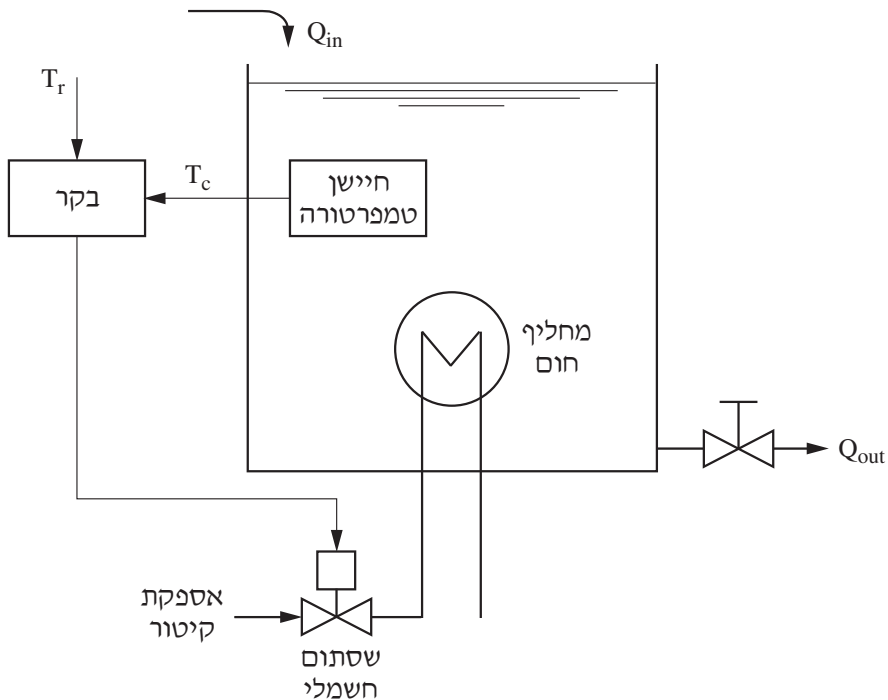
**נתונים:**

- הזרם שצורכת כל פאזה של המנוע:  $2\text{ A}$
- תדר הרשת:  $60\text{ Hz}$
- גורם ההספק:  $0.8$
- מספר זוגות הקטבים של המנוע:  $2$
- מהירות הסיבוב של ציר המנוע:  $1,750\text{ rpm}$

- א.** חשב את הספק הריקם של המנוע.
- ב.** חשב את מקדם החליקה של המנוע.
- ג.** מהי נצילות המנוע.
- ד.** מחברים עומס לציר המנוע והוא מספק מומנט חיצוני. קבע לגבי כל אחד מהמשתנים שלהלן אם הוא יגדל, יקטן או יישאר ללא שינוי ונמק את קביעתך.
  1. מקדם החליקה של המנוע
  2. הזרם שצורכת כל פאזה
  3. ההספק החשמלי של המנוע
  4. נצילות המנוע

## שאלה 6

באיור לשאלה 6 מתוארת מערכת לבקרת טמפרטורה של נוזל העובר דרך מכל שבו הוא מתחמם. נוסף על המכל, כוללת המערכת בקר, שסתום חשמלי, מחליף חום הפועל על קיטור וחיישן טמפרטורה. הבקר שולט על השסתום החשמלי. השסתום החשמלי מווסת את כמות הקיטור שנכנסת למחליף החום.



## איור לשאלה 6

- א. תאר את המערכת בעזרת דיאגרמת מלבנים. ציין בתוך כל מלבן את שם הרכיב שהוא מייצג, ומעל כל חץ – את המשתנה הפיזיקלי שהוא מסמל.
- ב. הבקר המשולב במערכת הוא בקר יחסי. תאר, בעזרת גרף איכותי, כיצד תשתנה הטמפרטורה,  $T_c$ , שבמכל, כתלות בזמן, כאשר הטמפרטורה הרצויה,  $T_r$ , תשתנה שינוי מדרגה. הראה בגרף את השינוי ב- $T_r$  (כניסה) ואת השינוי ב- $T_c$ . הנח שהמערכת מתנהגת כמערכת בעלת פיגור מסדר ראשון.

- ג. כיצד תשתנה הטמפרטורה במכל אם המשׁוב הוא חיובי, כלומר, אם אחרי המסכם שבבקר יתקבל הסכום של הטמפרטורה המצויה,  $T_c$ , והטמפרטורה הרצויה,  $T_r$  ?
- ד. כיצד תשתנה הטמפרטורה,  $T_c$ , במכל, בתלות בזמן, לאחר שספיקת הנוזל,  $Q_{in}$ , בכניסה למכל, תרד באופן פתאומי? נמק את תשובתך.

## שאלה 7

כדי להבטיח פעולה תקינה של מכשיר ניווט באנייה, יש להפעיל גוף חימום המותקן בתוך המכשיר.

### נתונים:

- מתח הרשת באנייה:  $U_1 = 380 \text{ V}$
- מתח ההזנה הנומינלי של גוף החימום:  $U_2 = 220 \text{ V}$
- הספק גוף החימום:  $P = 150 \text{ W}$

עליך לבחור שנאי חד-מופעי להפעלת גוף החימום. הנח שאין הפסדים בשנאי, וענה על סעיפים א'-ג'.

- א. חשב את יחס ההשנאה הנדרש מהשנאי.
- ב. חשב את הזרם שיפיק הסליל השניוני של השנאי.
- ג. חשב את הזרם שיצרוך השנאי מרשת החשמל של האנייה.

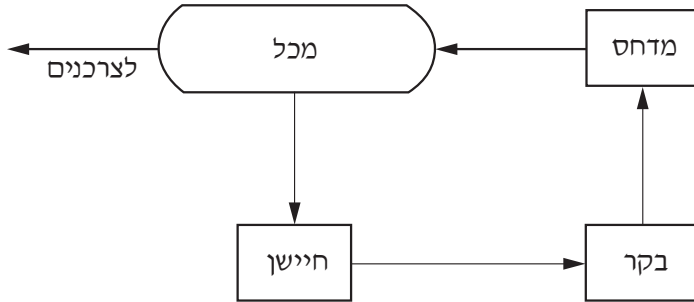
לאחר שחובר השנאי הנבחר, חלה תקלה, שבעקבותיה ירד מתח הרשת באנייה ל-375 V.

ד. חשב את:

1. המתח שבו יזון גוף החימום.
2. הספק החום של גוף החימום במצב זה.

**שאלה 8**

באיור לשאלה 8 מתוארת מערכת לבקרה על לחץ אוויר במכל. המכל מספק אוויר דחוס לצרכנים שונים באיניה.



איור לשאלה 8

המערכת כוללת:

- מכל שבו מאוחסן האוויר הדחוס;
- מדחס הדוחס אוויר למכל;
- חיישן המפיק זרם יחסי ללחץ האוויר במכל;
- בקר המפעיל ומדומם את המדחס בהתאם ללחץ האוויר במכל.

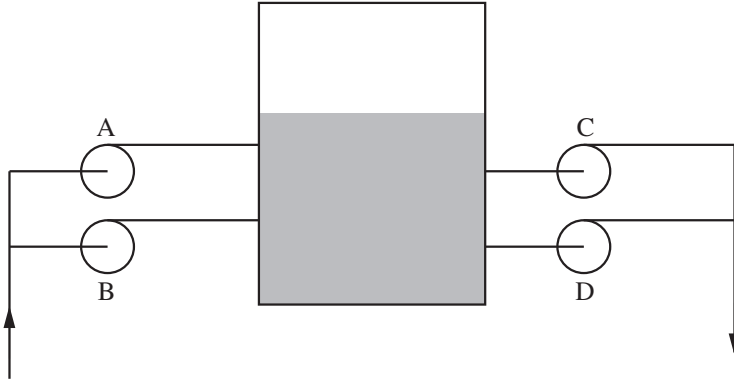
**נתונים:**

- תחום הלחצים שמודד החיישן:  $0 \div 15 \text{ bar}$
  - התחום של זרם המוצא מהחיישן:  $4 \div 20 \text{ mA}$
  - המדחס מופעל כאשר לחץ האוויר נמוך מ- $6 \text{ bar}$
  - המדחס מדומם כאשר לחץ האוויר גבוה מ- $10 \text{ bar}$
- א.** חשב את הגבר החיישן.
- ב.** חשב מהו הזרם שמפיק החיישן כאשר המדחס מופעל.
- ג.** חשב מהו הזרם שמפיק החיישן כאשר המדחס מדומם.
- ד.** נתון שאות המוצא של החיישן הוא  $12 \text{ mA}$ .
1. חשב את הלחץ השורר במכל.
  2. האם ניתן לקבוע על סמך הערך של אות המוצא אם המדחס מופעל או מדומם? נמק את תשובתך.



## שאלה 9

באיור לשאלה 9 מתואר מכל באנייה שאליו מחוברות שתי משאבות מילוי, A ו-B, ושתי משאבות ריקון, C ו-D.



איור לשאלה 9

משאבה A היא משאבת מילוי שספיקתה:  $20 \frac{\text{ltr}}{\text{min}}$

משאבה B היא משאבת מילוי שספיקתה:  $10 \frac{\text{ltr}}{\text{min}}$

משאבה C היא משאבת ריקון שספיקתה:  $25 \frac{\text{ltr}}{\text{min}}$

משאבה D היא משאבת ריקון שספיקתה:  $15 \frac{\text{ltr}}{\text{min}}$

כדי למנוע גלישה (over flow) של הנוזל מהמכל, עליך לתכנן מערכת שתדליק נורה אדומה, E, כאשר ספיקת הנוזל הנכנס למכל גדולה מספיקת הנוזל היוצא ממנו.

א. תאר בעזרת טבלת אמת (טבלת צירופים) את 16 מצבי הפעולה האפשריים של ארבע המשאבות.

ב. רשום בכל אחד מ-16 המצבים אם ערכו של E הוא "1" לוגי או "0" לוגי.

ג. הצג את הפונקציה המפושטת להדלקת הנורה E. היעזר במפת קרנו למציאת הפונקציה.

## בהצלחה!

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

$$\omega = 2\pi f$$

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

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

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

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

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

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

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

2.2 מעגלים טוריים



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

$$|X_L| = \omega L$$



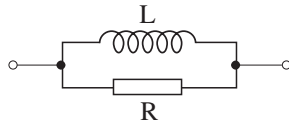
$$Z_{RC} = R - j X_C$$

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

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

**2.3 מעגלים מקביליים**

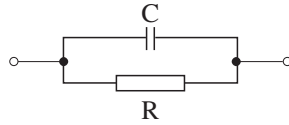
עכבה באום -  $Z [\Omega]$   
 היגב השראתי באום -  $X_L [\Omega]$



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

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

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

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

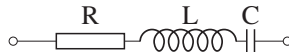
גורם הספק -  $\cos \phi$

**2.6 תהודה**

זווית מופע קיימת -  $\phi_1$

תהודת מתח

זווית מופע משופרת -  $\phi_2$



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

$$X_L = X_C$$

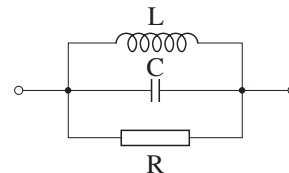
$$Z_0 = R$$

עכבה של מעגל בתהודה, באום -  $Z_0$

מתירות בתהודה, -  $Y_0$

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

ב-1 חלקי אום



תהודת זרם

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

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

$$\tau = RC$$

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 -  $\tau [sec]$

#### 4.2 מעגל RL

עליית הזרם במעגל

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

דעיכת הזרם במעגל

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

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

## 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

$\phi$  [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 אלקטרומוגנטי

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 רווי.

**.3 נצילות המכונה לזרם ישר**

נצילות -  $\eta$

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 -  $\Delta P_{Cu}$

הפסדי ברזל בוואט -  $\Delta P_{Fe}$

הפסדים מכניים בוואט -  $\Delta P_{mech}$

4. שנאי חד-מופעי

4.1 מתח מושרה בסליל

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

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

$E_1$  [V] - מתח מושרה בסליל

ראשוני בוולט

$E_2$  [V] - מתח מושרה בסליל

שניוני בוולט

$\phi_{\max}$  [Wb] - שטף מרבי בגרעין בוובר

$N_1$  - מספר כריכות בסליל

ראשוני

$N_2$  - מספר כריכות בסליל

שניוני

f [Hz] - תדירות בהרץ

$B_{\max}$  [Wb / m<sup>2</sup>] - השראה מגנטית מרבית

בוובר למ"ר

S [m<sup>2</sup>] - שטח חתך של גרעין במ"ר

4.2 יחס השנאה אידיאלי

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

k - יחס השנאה

$U_1$  - מתח הדקים ראשוני

בוולט

$U_2$  - מתח הדקים שניוני

בוולט

$I_1$  - זרם דרך סליל

ראשוני באמפר

$I_2$  - זרם דרך סליל

שניוני 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 רשת	-	f [Hz]
תדירות זרם הרוטור	-	$f_r [\text{Hz}]$
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	-	$X_s [\Omega]$	
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 –  $R$  [ $\Omega$ ]

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!**