

סוג הבחינה: גמר לבתי-ספר לטכנאים ולהנדסאים

מועד הבחינה: אביב תשע"א, 2011

סמל השאלון: 710943

נספחים: לשאלה 2

נוסחאון

## מכונאות ימית ה'

### מתקני אניות, חשמל, אלקטרוניקה ובקרה

(להנדסאי מכונאות ימית)

#### הוראות לנבחן

א. משך הבחינה: ארבע שעות.

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

עליך לענות על שאלה אחת מכל פרק ועל שאלה אחת נוספת על-פי בחירתך. 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 נספח אחד ונוסחאון.

ההנחיות בשאלון זה מנוסחות בלשון זכר, אך מכוונות לנבחנות ולנבחנים כאחד.

בהצלחה!

## השאלות

ענה על שאלה אחת מכל פרק ועל שאלה אחת נוספת על-פי בחירתך.

### פרק ראשון: מערכות חשמל ואוטומציה ימיות

#### שאלה 1

- א. מהו תפקידה של מערכת הגלאים של אדי שמן (Oil Mist Detectors) באנייה?
- ב. תאר את אופן הפעולה של מערכת זו.
- ג. מה עלול לקרות במנוע הראשי אם מערכת זו אינה מתפקדת?

#### שאלה 2

- בנספח (לשאלה 2) נתון תרשים של מערכת פיקוד בלוח חשמל ראשי של אנייה. במצב הנתון אין אספקת מתח ללוח.
- א. מהו רכיב d2 ומה תפקידו במערכת?
  - ב. כאשר הגנרטור מחובר ללוח וכל הצרכנים פועלים, עלול הזרם בגנרטור לעלות מעל הזרם המותר. הנח שלחצן b2 לחוץ ותאר את התהליך שיתרחש כתוצאה מעליית הזרם.
  - ג. מהן הפעולות שיש לנקוט כדי להחזיר את המערכת לעבודה רגילה לאחר התהליך שתיארת בתשובתך לסעיף ב'?

**פרק שני: המרת אנרגיה****שאלה 3**

**א.** התייחס לבדיקת שנאי **בריקם** וענה:

- איזה מכשיר מדידה מחברים להדקי הסליל השניוני ומדוע?
- מהם הפסדי ברזל בשנאי וממה הם נגרמים?

**ב.** התייחס לבדיקת שנאי **בְּקָצֵר** וענה:

- איזה מכשיר מדידה מחברים להדקי הסליל השניוני ומדוע?
- ממה נובעים הפסדי נחושת בשנאי ומדוע מודדים אותם בבדיקת קצר?

**שאלה 4**

נתון מנוע השראה תלת-פאזי בעל שני זוגות קטבים.

המנוע מחובר לרשת תלת-פאזית. מתח הרשת 400 V ותדר הרשת 60 Hz .

**א.** חשב את מהירות הסיבוב של ציר המנוע אם החליקה היא 8% .

**ב.** חשב את הספק המנוע כאשר הזרם הנצרך על-ידי המנוע הוא 100 A ומקדם ההספק הוא:  $\cos \varphi = 0.8$  .

**ג.** המומנט החיצוני הפועל על ציר המנוע גדל. קבע אם כתוצאה מכך:

- הזרם הנצרך על-ידי המנוע יגדל, יקטן או יישאר ללא שינוי. נמק את תשובתך.
- החליקה תגדל, תקטן או תישאר ללא שינוי. נמק את תשובתך.
- מתח ההזנה של המנוע יגדל, יקטן או יישאר ללא שינוי. נמק את תשובתך.

## פרק שלישי: אלקטרוניקה

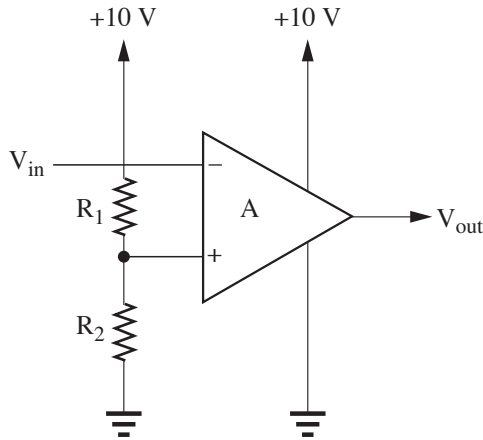
### שאלה 5

באיור לשאלה 5 נתון תרשים של מגבר שרת.

**נתונים:**

$$R_1 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 3 \text{ k}\Omega$$



איור לשאלה 5

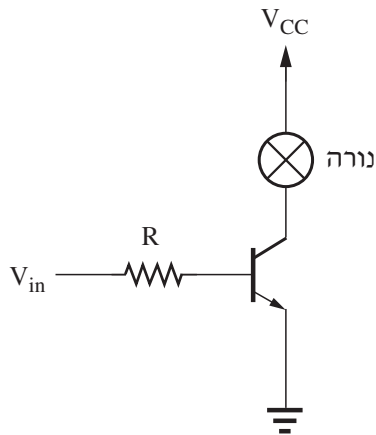
- א. באיזה סוג של חיבור מחובר מגבר השרת המתואר באיור?
- ב. באיזה תחום של מתחי מבוא,  $V_{in}$ , יהיה מתח המוצא של המגבר,  $V_{out}$ , שווה ל- $10 \text{ V}$  ?
- ג. אילו שינויים יש לבצע במעגל הנתון כדי שמתח המוצא,  $V_{out}$ , יהיה שווה ל- $10 \text{ V}$ , כאשר תחום המתחים בכניסה,  $V_{in}$ , יהיה:  $7.5 \text{ V} < V_{in} \leq 10 \text{ V}$  ?  
הצג את תשובתך בתרשים חשמלי מתאים.

**שאלה 6**

באיור לשאלה 6 נתון תרשים של מעגל להדלקת נורה. כאשר  $V_{in} = 0\text{ V}$  הנורה אינה דולקת, וכאשר  $V_{in} = 5\text{ V}$  הנורה דולקת.

**נתונים:**

- התנגדות הנורה:  $R_L = 40\ \Omega$
- מתח האספקה למעגל:  $V_{CC} = 12\text{ V}$
- הגבר הטרנזיסטור:  $\beta = 100$
- מפל המתח על הטרנזיסטור:  $V_{CE} = 0.5\text{ V}$
- מפל המתח על הצומת בסיס-פולט כשהטרנזיסטור בהולכה:  $V_{BE} = 0.7\text{ V}$

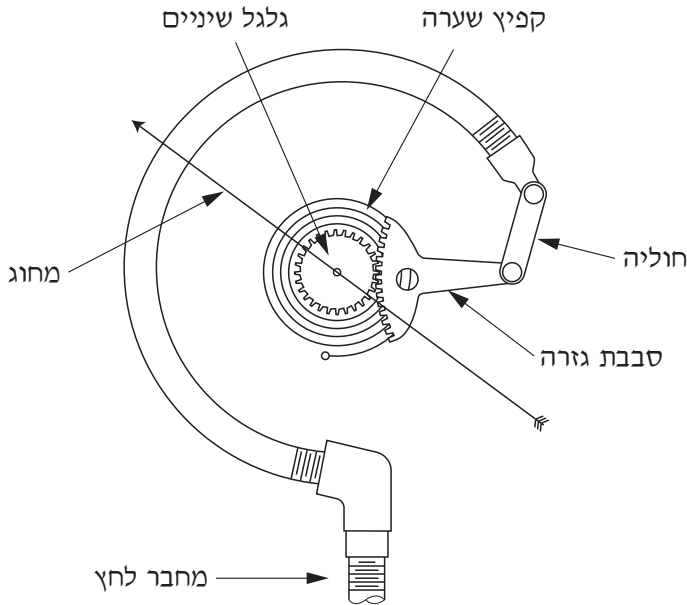
**איור לשאלה 6**

- א. איזה זרם צריך לזרום דרך הטרנזיסטור כדי שהנורה תדלוק?
- ב. חשב את ערכו של הנגד R הדרוש להדלקת הנורה.
- ג. באיזה תחום, מבין תחומי העבודה, נמצא הטרנזיסטור כאשר הנורה דולקת באור מלא, ובאיזה תחום הוא נמצא כאשר הנורה כבויה?

## פרק רביעי: מכשור, מערכות וטכניקות בקרה

### שאלה 7

באיור לשאלה 7 מתואר מנגנון החישה של מד-לחץ.

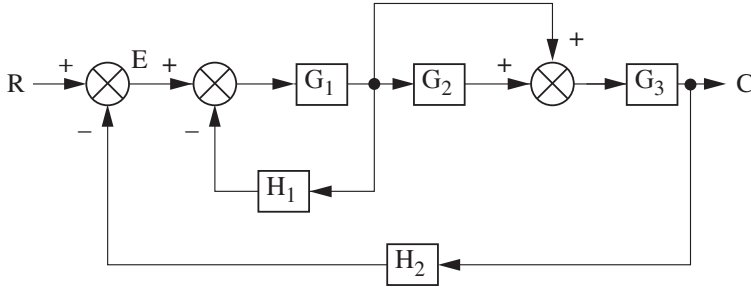


### איור לשאלה 7

- א. רשום את שמו של מנגנון חישה זה ותאר את אופן הפעולה שלו.
- ב. הסבר מהו לחץ מוחלט ומהו לחץ מכשיר (מנומטרי). האם מד הלחץ שבאיור מודד לחץ מוחלט או לחץ מכשיר? נמק את תשובתך.

**שאלה 8**

באיור לשאלה 8 נתונה דיאגרמת מלבנים של מערכת בקרה.

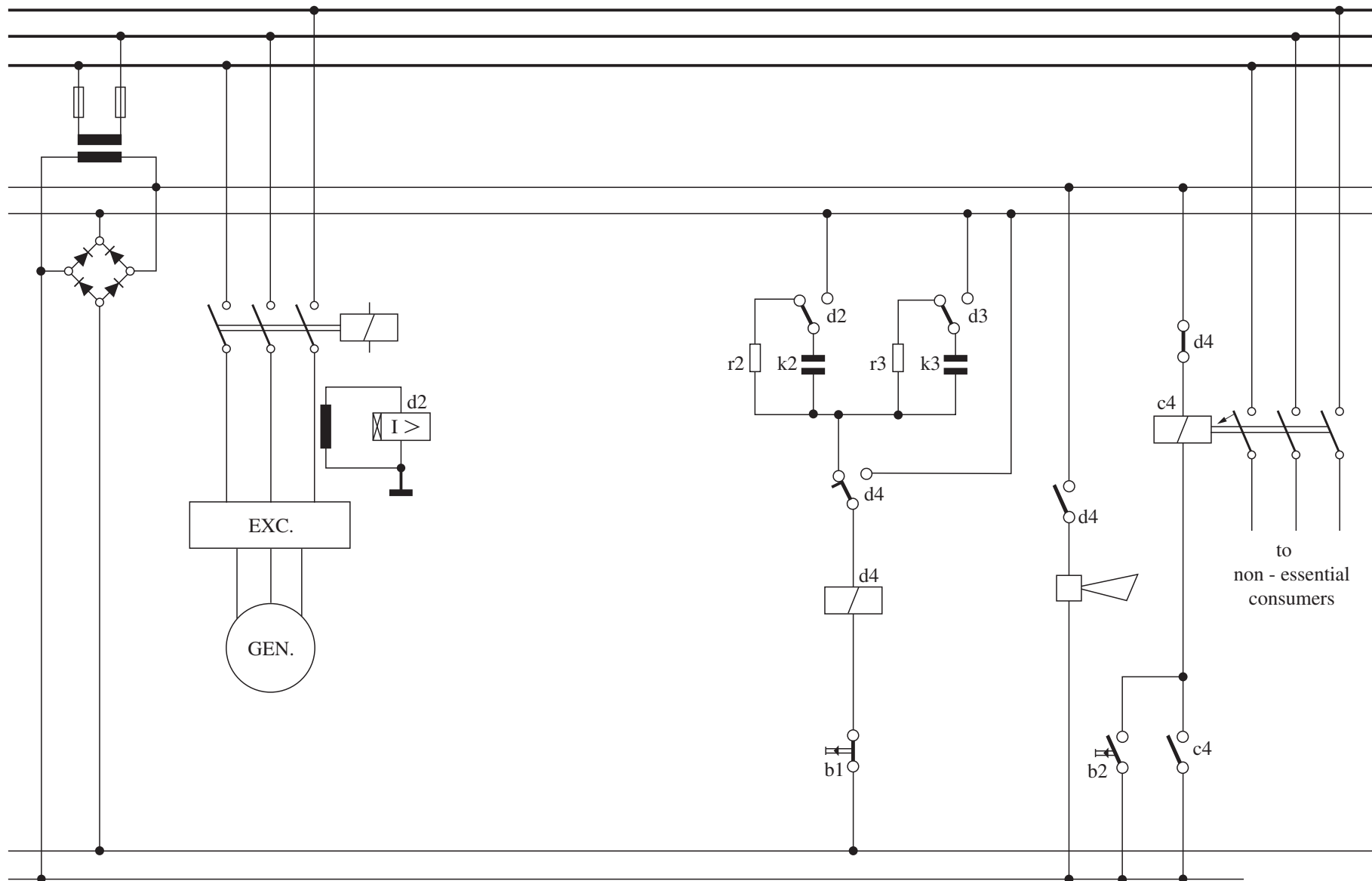


**איור לשאלה 8**

- א.** מצא את יחס התמסורת  $\frac{C}{R}$ . פרט את הדרך למציאת היחס.
- ב.** מצא את יחס התמסורת  $\frac{E}{R}$ . פרט את הדרך למציאת היחס.

**בהצלחה!**

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





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

$$\omega = 2\pi t$$

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

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

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

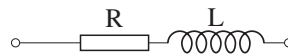
$$I_{AV} = \frac{2}{\pi} I_{\max}$$

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

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

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

2.2 מעגלים טוריים



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

$$|X_L| = \omega L$$

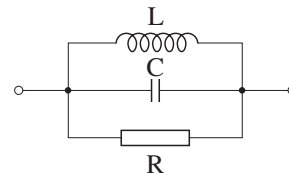
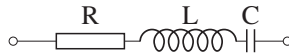
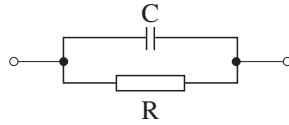
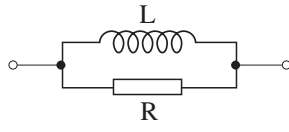


$$Z_{RC} = R - j X_C$$

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

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	-	$i [\text{A}]$
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	-	$R [\Omega]$
השראות בהנרי	-	$L [\text{H}]$

- 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 בוולט-אמפר -  $S [VA]$
- הספק היגבי (עיוור) בוולט-אמפר ריאקטיבי -  $Q [VAR]$
- הספק ממשי בוואט -  $P [W]$
- גורם הספק -  $\cos \varphi$
- זווית מופע קיימת -  $\varphi_1$
- זווית מופע משופרת -  $\varphi_2$
- עכבה של מעגל בתהודה, באום -  $Z_0$
- מתירות מעגל בתהודה, ב-1 חלקי אום -  $Y_0$
- תדר תהודה בהרץ -  $f_0$



**2.3 מעגלים מקביליים**

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

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

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

**2.4 הספקים**

$$S = P + jQ$$

$$S = UI$$

$$P = UI \cos \varphi$$

$$Q = UI \sin \varphi$$

**2.5 שיפור מקדם ההספק**

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

**2.6 תהודה**

תהודת מתח

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

$$X_L = X_C$$

$$Z_0 = R$$

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

תהודת זרם

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

$$X_L = X_C$$

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

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

**.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
- $\tau$  [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

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

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

כאשר השטף קבוע:

$$E = K_e \phi n$$

$$C_e = K_e \phi$$

$$E = C_e \cdot n$$

#### 1.2 מומנטים

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

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

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

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

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

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

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

$\phi$  [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 אלקטרו־מגנטי

בניוטון-מטר

M [N · m] - מומנט בניוטון-מטר

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

כאשר השטף קבוע:

$$C_m = K_m \cdot \phi$$

$$M_{em} = C_m I_a$$

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

**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**

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

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

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

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

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

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

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

$$f_r = f \cdot s$$

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

**מכונה סינכרונית**

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



## 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 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!**