

סוג הבחינה: גמר לבתי-ספר לטכנאים ולהנדסאים

מועד הבחינה: אביב תשע"ב, 2012

סמל השאלון: 710943

נספח: 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, ובסך-הכול – 100 נקודות.

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

בשאלון זה 6 עמודים, 2 דפי נספח ונוסחאון.

ההנחיות בשאלון זה מנוסחות בלשון זכר,

אך מכוונות הן לנבחנות והן לנבחנים.

**בהצלחה!**

## השאלות

ענה על שאלה אחת מכל פרק ועל שאלה אחת נוספת על-פי בחירתך.  
(לכל שאלה – 20 נקודות).

### פרק ראשון: מערכות חשמל ואוטומציה ימיות

#### שאלה 1

- התייחס למערכת של מנורת פלורסצנט מסוג "קתודה חמה" הכוללת נורה, מתנע (Starter) ומשנק.
- מהו תפקידו של המתנע במערכת? תאר את מבנה המתנע באמצעות איור, והסבר את אופן פעולתו.
  - מהו תפקידו של המשנק במערכת?
  - אילו גזים נמצאים בתוך מנורת הפלורסצנט?
  - איזה גז נמצא בתוך שפופרת המתנע?

#### שאלה 2

בנספח לשאלה 2 (דפים 1 ו-2) מופיע מעגל התנעה של מערכת משאבת-שמן ראשית באנייה, שהוא חלק מלוח החשמל הראשי.

- תאר תהליך התנעה ידני של המשאבה. כלול בתיאורך את הפעולות הידניות ואת סדר ההפעלה של הממסרים בלוח. (התייחס בתשובתך למספר הדף ולשדות המסומנים בו.)
- תאר תהליך התנעה אוטומטי של המשאבה. כלול בתיאורך את סדר ההפעלה של הממסרים בלוח לאחר העברת המערכת למצב אוטומטי. (התייחס בתשובתך למספר הדף ולשדות המסומנים בו.)

## פרק שני: המרת אנרגיה

### שאלה 3

שאלה זו מתארת שתי בדיקות של שנאי מעשי.

א. הבדיקה הראשונה היא בדיקה בריקם.

1. תאר, בעזרת סרטוט סכמתי, את האביזרים ואת מכשירי המדידה שמחברים לשני סלילי השנאי בבדיקה זו.

2. ציין מה בודקים בבדיקה זו.

ב. בבדיקה השנייה מחברים נגד חשמלי למוצא השנאי. ציין, לכל אחד מהמשתנים שלהלן, אם הוא יגדל, יקטן או יישאר ללא שינוי, ונמק את תשובתך:

1. מתח המוצא מהשנאי

2. זרם המוצא מהשנאי

3. מתח המבוא לשנאי

4. זרם המבוא לשנאי

### שאלה 4

מנוע השראה תלת-פאזי מחובר למקור מתח הזנה של 380 V/50 Hz.

#### נתונים:

מספר זוגות הקטבים של המנוע: 4

הנצילות המכנית של המנוע:  $\eta = 0.9$

מקדם ההספק:  $\cos\phi = 0.9$

המהירות הזוויתית של ציר המנוע:  $\omega = 75 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$

ההספק המכני של המנוע:  $P_n = 2 \text{ kW}$

חשב את:

א. מהירות הסיבוב של ציר המנוע ביחידות rpm.

ב. הזרם שהמנוע צורך מהרשת.

ג. מקדם החליקה.

ד. הפסדי הנחשת של המנוע.

## פרק שלישי: אלקטרוניקה

### שאלה 5

לרשותך עומדים מגברי שרת, מגבר שמבצע פעולת לוגריתם ומגבר שמבצע פעולת אנטילוגריתם. הצע סכמה עקרונית של מעגל, שיבצע כל אחת מפעולות החישוב האלה:

א. חיבור של שני מתחים  $(V_A + V_B)$

ב. חיסור של שני מתחים  $(V_A - V_B)$

ג. כפל של שני מתחים  $(V_A \times V_B)$

רמז:  $X \times Y = \text{anti log}(\log X + \log Y)$

### שאלה 6

נתונה מערכת בקרה ספרתית, שמתקבל ממנה ערך לוגי "1" עבור ערכי המבוא המספריים האלה: 1, 4, 5, 6, 9, 11, 13, 15.

א. רשום את ערכי המבוא בייצוג בינארי.

ב. הצב את הערכים הבינאריים שרשמת בסעיף א', במפת קרנו.

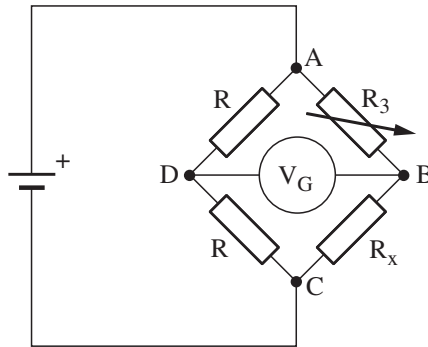
ג. רשום את הביטוי הלוגי המתקבל מהמפה שבסעיף ב'.

ד. הצג מימוש של הביטוי הלוגי שהתקבל בסעיף ג', בעזרת שערים לוגיים.

## פרק רביעי: מכשור, מערכות וטכניקות בקרה

### שאלה 7

אחת מהשיטות למדוד התנגדות של נגדים מבוססת על שימוש במכשיר הנקרא "גשר ויטסטון".  
באיור לשאלה 7 מתוארת סכמה של מערכת מדידה כזו.



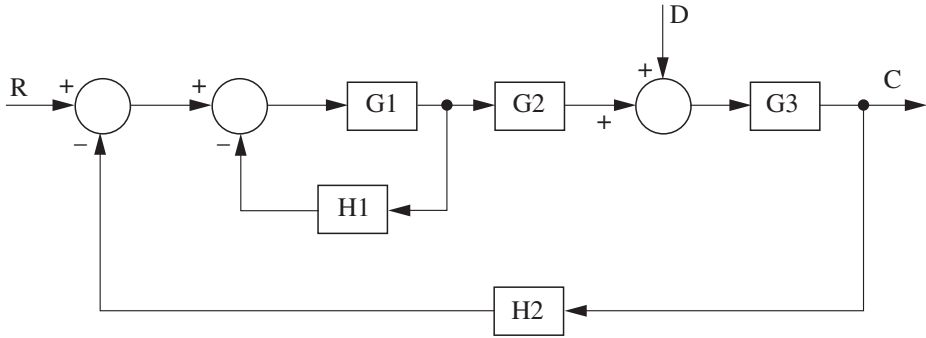
איור לשאלה 7

הנגדים R הם נגדים קבועים, הנגד  $R_x$  הוא הנגד הנבדק והנגד  $R_3$  הוא נגד משתנה, הכולל את חיווי התנגדותו.

- א. רשום ביטוי המתאר את הקשר בין ההתנגדות של ארבעת הנגדים שבאיור, כאשר הגשר מאוזן. מהו התנאי לכך שהגשר יהיה מאוזן?
- ב. תאר את הפעולות שיש לבצע באמצעות מכשיר המדידה כדי לקבוע את ההתנגדות של הנגד  $R_x$ , וציין כיצד נקבעת בסופן ההתנגדות של הנגד.
- ג. שינוי של טמפרטורת סביבה משפיע על התנגדות נגדים. האם שינוי הטמפרטורה בסביבת הגשר ייצור שגיאת מדידה? נמק את תשובתך.

### שאלה 8

באיור לשאלה 8 נתונה דיאגרמת מלבנים של מערכת בקרה.



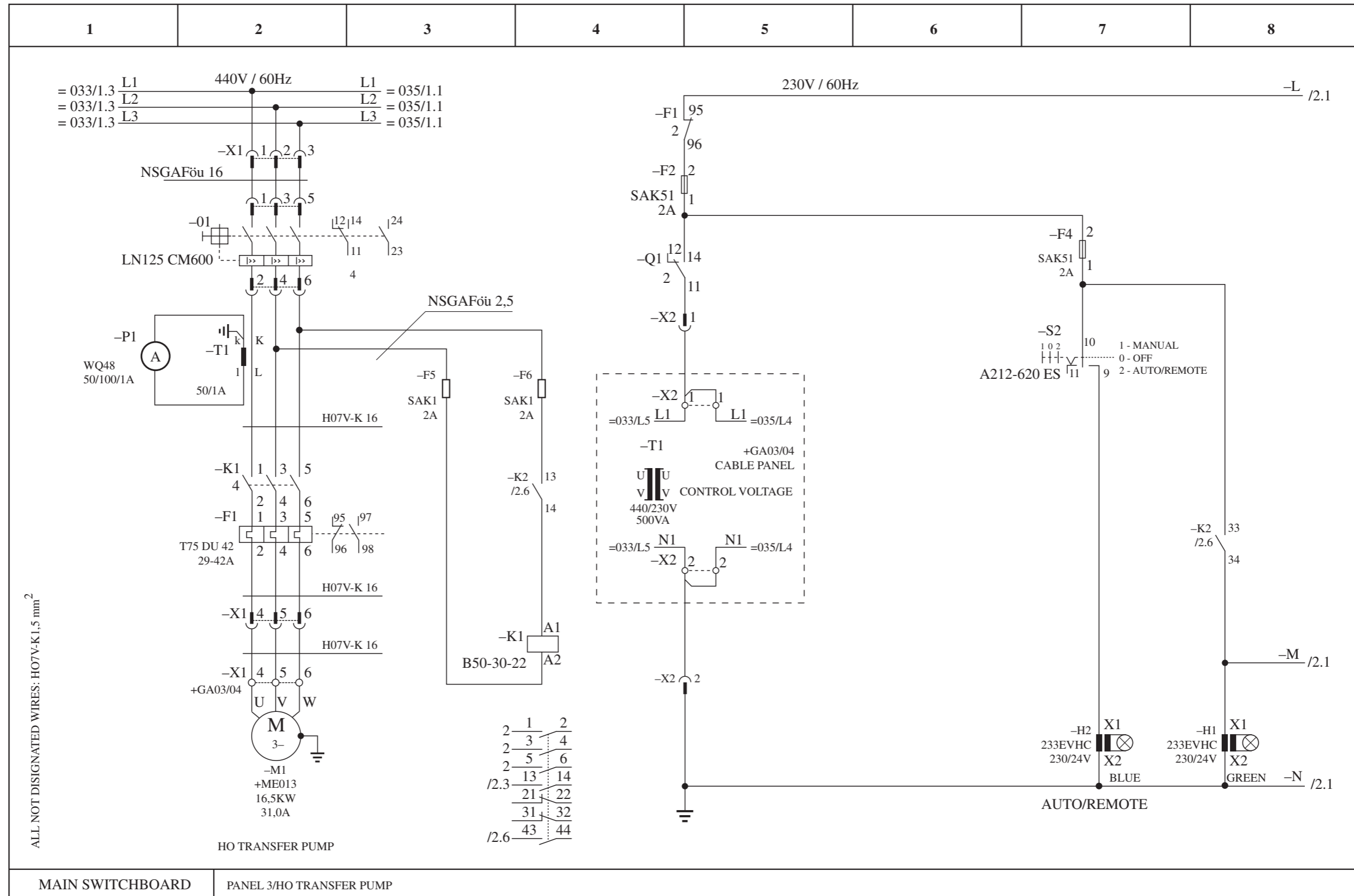
איור לשאלה 8

- א. חשב את יחס התמסורת,  $\frac{C}{R}$ .
- ב. חשב את יחס התמסורת,  $\frac{C}{D}$ .

### בהצלחה!

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

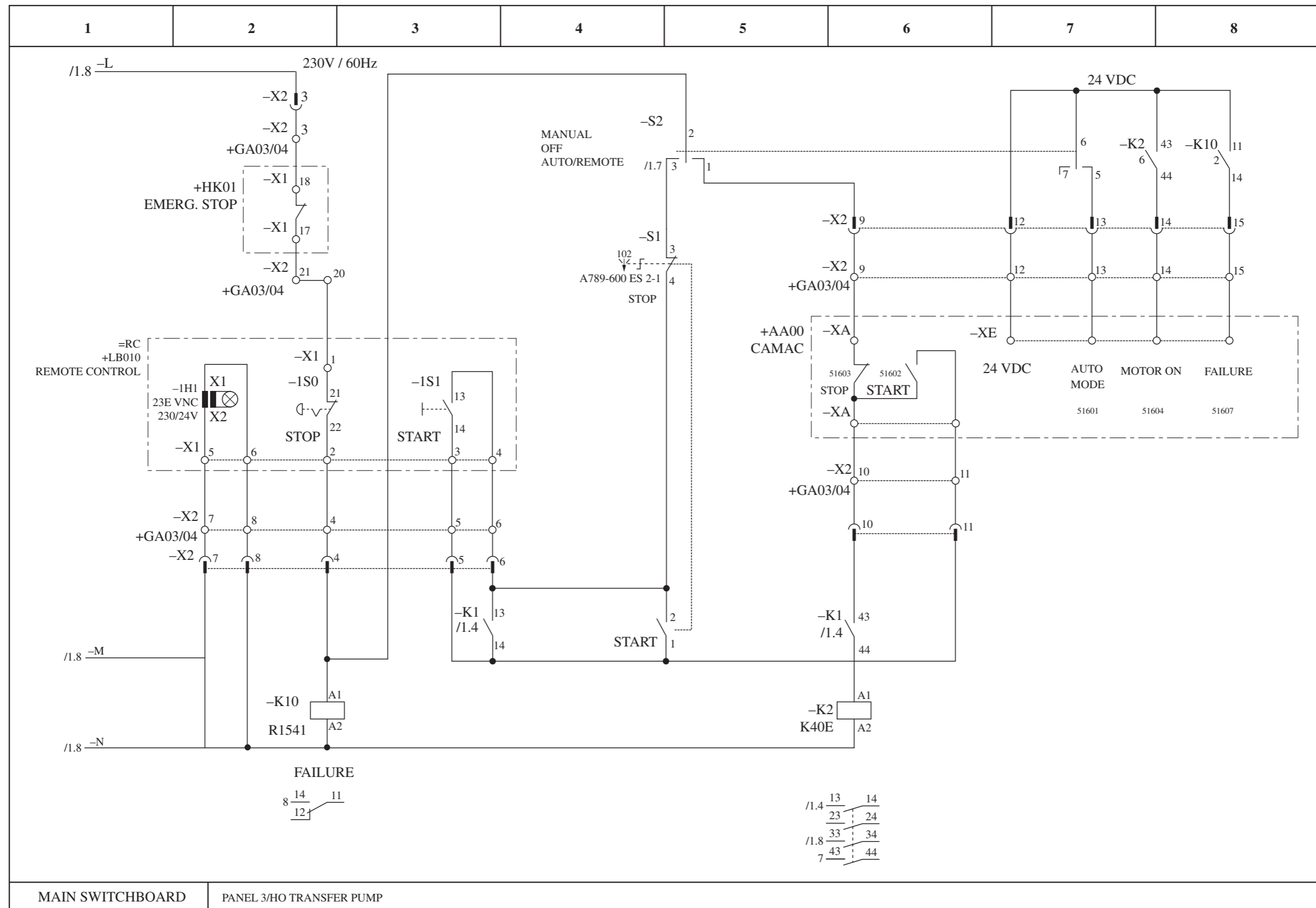
נספח לשאלה 2 (דף 1)  
 לשאלון 710943, אביב תשע"ב



MAIN SWITCHBOARD

PANEL 3/HO TRANSFER PUMP

נספח לשאלה 2 (דף 2)  
 לשאלון 710943, אביב תשע"ב





לשאלונים 710941, 710943, אביב תשע"ב

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

$$W_C = \frac{1}{2} C U^2$$

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 -  $r [\text{m}]$

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

$$\omega = 2 \pi f$$

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

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

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

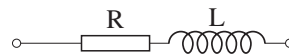
$$I_{AV} = \frac{2}{\pi} I_{\max}$$

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

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

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

2.2 מעגלים טוריים



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

$$|X_L| = \omega L$$



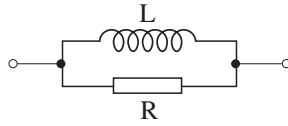
$$Z_{RC} = R - j X_C$$

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

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 זרם באמפר	-	$I_{AV} \text{ [A]}$
ערך ממוצע של מתח 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 -  $Z [\Omega]$



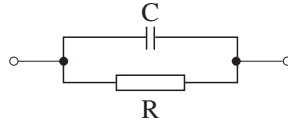
$$Y = \frac{1}{Z}$$

היגב השראתי -  $X_L [\Omega]$

באום

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

היגב קיבולי באום -  $X_C [\Omega]$



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

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

ב-1 חלקי אום

2.4 הספקים

הספק מדומה -  $S [VA]$

בוולט-אמפר

$$S = P + jQ$$

$$S = UI$$

$$P = UI \cos \phi$$

הספק היגבי (עיוור) -  $Q [VAR]$

בוולט-אמפר

ריאקטיבי

$$Q = UI \sin \phi$$

2.5 שיפור של מקדם ההספק

הספק ממשי -  $P [W]$

בוואט

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

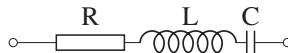
גורם הספק -  $\cos \phi$

2.6 תהודה

זווית מופע קיימת -  $\phi_1$

תהודת מתח:

זווית מופע משופרת -  $\phi_2$



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

$$X_L = X_C$$

$$Z_o = R$$

עכבה של מעגל -  $Z_o$

בתהודה, באום

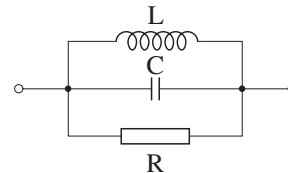
מתירות מעגל -  $Y_o$

בתהודה,

ב-1 חלקי אום

תדר תהודה -  $f_o$

בהרץ



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

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**

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

$$I_L = I_{ph}$$

**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:

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

בפריקה:

$$u_c = Ue^{-t/\tau}$$

$$\tau = RC$$

**4.2 מעגל RL**

עליית הזרם במעגל:

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

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

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

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

כאשר השטף קבוע:

$$E = K_e \phi n$$

$$C_e = K_e \phi$$

$$E = C_e \cdot n$$

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 אלקטרומגנטי

בניוטון-מטר

M [N · m] - מומנט בניוטון-מטר

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

#### 1.2 מומנטים

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

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

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

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

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

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

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

$$U [V] - \text{מתח זינה בוולט}$$

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

$$M_s [N \cdot m] - \text{מומנט התנעה}$$

בניוטון-מטר

$$R_a - \text{התנגדות רוטור באום}$$

### 1.4 התנעה בלי מתנע

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

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

### 2. מנוע זרם ישר בעירור טורי

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

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

הערה: נוסחת n לברזל לא רוי.

### 3. נצילות המכונה לזרם ישר

$$\eta - \text{נצילות}$$

$$P_{out} - \text{הספק מכני במוצא של מנוע בוואט}$$

$$U - \text{מתח הדקים של מחולל בוולט}$$

$$I - \text{זרם מחולל מועמס באמפר}$$

$$\Delta P_{Cu} - \text{הפסדי נחושת בוואט}$$

$$\Delta P_{Fe} - \text{הפסדי ברזל בוואט}$$

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

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

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

#### 4. שנאי חד-מופעי

##### 4.1 מתח מושרה בסליל

מתח מושרה בסליל ראשוני בוולט	-	$E_1$ [V]
מתח מושרה בסליל שניוני בוולט	-	$E_2$ [V]
שטף מרבי בגרעין בוובר	-	$\phi_{\max}$ [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 <sup>2</sup> ]
שטח חתך של גרעין במ"ר	-	$S$ [m <sup>2</sup> ]

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

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

##### 4.2 יחס השנאה אידיאלי

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	-	$I_2$

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

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	- $P_o [W]$
הספק נקוב המופק ממנוע	- $P_n [W]$
זרם ריק באמפר	- $I_o [A]$
זרם קווי נקוב	- $I_{in} [A]$
גורם הספק בריק	- $\cos\phi_o$
מהירות נקובה בסל"ד	- $n_n [\text{rpm}]$
מהירות סינכרונית בסל"ד	- $n_s [\text{rpm}]$
מתח נקוב	- $U_n [V]$
מתח קו בוולט	- $U_L [V]$
מומנט נקוב בניוטון-מטר	- $M_a [N \cdot m]$
תדירות רשת	- $f [\text{Hz}]$
תדירות של זרם הרוטור	- $f_r [\text{Hz}]$
מספר זוגות הקטבים	- N
נצילות מכנית של מנוע	- $\eta$

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

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

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

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

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

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

$$f_r = f \cdot s$$

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

$$I_{in} = \frac{P_n}{\sqrt{3} U_n \eta \cos\phi}$$

מכונה סינכרונית

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

$$U_i, U' [V] \quad \text{מתח בין הדקי מכונה}$$

$$X_s [\Omega] \quad \text{היגב סינכרוני}$$

$$I_a [A] \quad \text{זרם העוגן}$$

$$R_a [\Omega] \quad \text{התנגדות העוגן}$$



## 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

ערך מרבי של מתח –  $V_m$  [V]

ערך יעיל של מתח –  $V_{RMS}$  [V]

ערך ממוצע של מתח –  $V_{AV}$  [V]

ערך יעיל של זרם –  $I_{RMS}$  [A]

ערך ממוצע של זרם –  $I_{AV}$  [A]

התנגדות עומס –  $R$  [ $\Omega$ ]

הספק על עומס –  $P$  [W]

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

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

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

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

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

### יישור חד-מופעי – גל שלם בעומס אומי

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

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

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

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

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

### טרנזיסטור

$i_C$  – זרם דרך הקולט

$i_{SC}$  – זרם קצר

$V_S$  – מתח מבוא

$V_{BE}$  – מפל מתח בין הפולט לבסיס

$V_{CC}$  – מתח ייחוס

$R_B$  – נגד הבסיס

$R_C$  – נגד הקולט

$$i_C = \beta \left( \frac{V_S - V_{BE}}{R_B} \right)$$

$$i_{SC} = \frac{V_{CC}}{R_C}$$

## אוטומציה, מכשור ובקרה תהליכי לחץ פנימטיים

זרימת גז דרך ברז:

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

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

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

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

## 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 -  $R_h \left[ \frac{\text{min}}{\text{m}^2} \right]$