

## מערכות חשמל ג'

שתי יחידות לימוד (השלמה לחמש יחידות לימוד)

### הוראות לנבחן

א. משך הבחינה: שלוש שעות.

ב. מבנה השאלון ומפתח ההערכה: בשאלון שני פרקים, ובהם תשע שאלות. יש לענות על חמש שאלות בלבד: שלוש שאלות לפחות מן הפרק הראשון ושאלה אחת לפחות מן הפרק השני. לכל שאלה – 20 נקודות. סך-הכול – 100 נקודות.

ג. חומר עזר מותר לשימוש: מחשבון.

ד. הוראות מיוחדות:

- ענה על מספר השאלות הנדרש בשאלון. המעריך יקרא ויעריך את מספר התשובות הנדרש בלבד, לפי סדר כתיבתן במחברתך, ולא יתייחס לתשובות נוספות.
  - התחל כל תשובה לשאלה חדשה בעמוד חדש.
  - רשום את כל תשובותיך אך ורק בעט.
  - הקפד לנסח את תשובותיך כהלכה ולסרטט את תרשימיך בבהירות.
  - כתוב את תשובותיך בכתב-יד ברור, כדי לאפשר הערכה נאותה שלהן.
  - אם לדעתך חסרים נתונים הדרושים לפתרון שאלה, אתה רשאי להוסיף אותם, בתנאי שתנמק מדוע הוספת אותם.
  - בכתיבת פתרונות חישוביים, קבלת מִרְב הנקודות מותנית בהשלמת כל המהלכים שלהלן, בסדר שבו הם רשומים:
    - \* רישום הנוסחה המתאימה.
    - \* הצבה של כל הערכים ביחידות המתאימות.
    - \* חישוב (אפשר באמצעות מחשבון).
    - \* רישום התוצאה המתקבלת, וציון יחידות המידה המתאימות.
    - \* ליווי הפתרון החישובי בהסבר קצר.
- בשאלון זה 8 עמודים ו-10 עמודי נוסחאון.

ההנחיות בשאלון זה מנוסחות בלשון זכר, אך מכוונות הן לנבחנות והן לנבחנים.

## השאלות

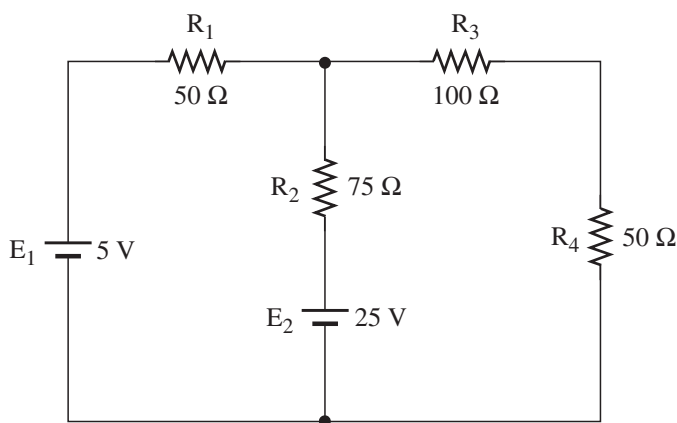
בשאלון זה שני פרקים ובהם תשע שאלות. יש לענות על חמש שאלות בלבד:  
שלוש שאלות לפחות מן הפרק הראשון ושאלה אחת לפחות מן הפרק השני.

### פרק ראשון: תורת החשמל

ענה על שלוש שאלות לפחות מבין השאלות 1–7 (לכל שאלה – 20 נקודות).

#### שאלה 1

באיור לשאלה 1 נתון מעגל חשמלי הכולל שני מקורות מתח.

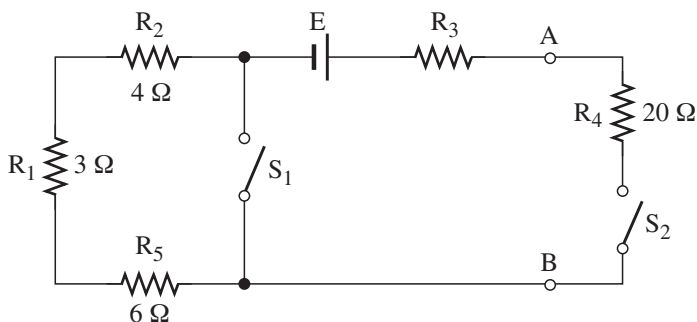


איור לשאלה 1

- א. סרטט מעגל תבנית שקול עבור הנגד  $R_2$ .
- ב. חשב את  $R_{th}$ .
- ג. חשב את  $U_{th}$ .
- ד. חשב את הזרם העובר בנגד  $R_2$ .

## שאלה 2

באיור לשאלה 2 נתון מעגל חשמלי.



### איור לשאלה 2

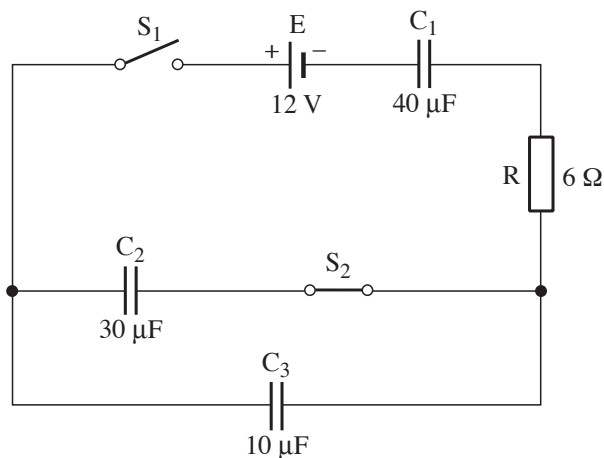
כאשר המפסקים  $S_1$  ו- $S_2$  פתוחים – המתח בין הנקודות A ו-B הוא 50 V.  
כאשר המפסק  $S_1$  פתוח והמפסק  $S_2$  סגור – המתח בין הנקודות A ו-B הוא 25 V.

חשב את:

- א. ההתנגדות של הנגד  $R_3$ .
- ב. ההספק בנגד  $R_4$  כאשר המפסק  $S_1$  פתוח והמפסק  $S_2$  סגור.
- ג. ההספק המסופק על-ידי מקור-המתח כאשר המפסקים  $S_1$  ו- $S_2$  סגורים.

### שאלה 3

באיור לשאלה 3 נתון מעגל חשמלי.



### איור לשאלה 3

בזמן  $t = 0$  סוגרים את המפסק  $S_1$ .

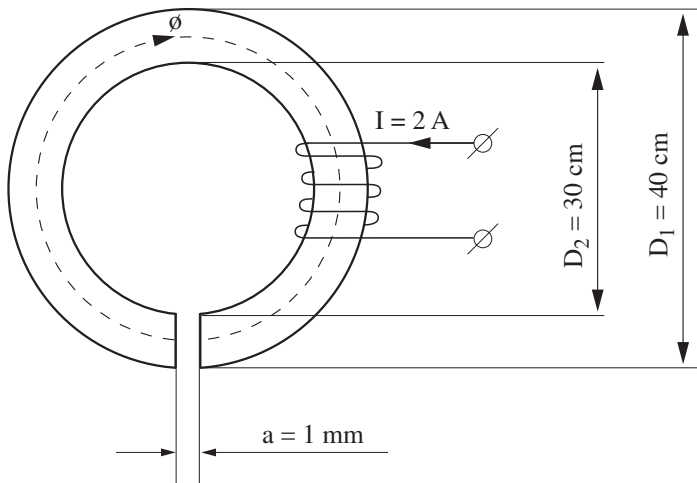
- חשב את הקיבול השקול,  $C_T$ , של המעגל.
- חשב את קבוע הזמן של המעגל.
- סרטט, זה מתחת לזה בהתאמה, את המתח על הנגד  $R$  ואת המתח על הקבל  $C_1$  בזמן הטעינה כפונקציה של הזמן.

פותחים את המפסק  $S_2$ .

- האם קבוע הזמן של המעגל יגדל, יקטן, או לא ישתנה? נמק את תשובתך.

#### שאלה 4

באיור לשאלה 4 מתואר מעגל מגנטי, הכולל טורואיד מפלדה בעל חריץ אוויר.



#### איור לשאלה 4

להלן נתוני הטורואיד:

- החדירות (החלחלות) היחסית של הפלדה היא:  $\mu_r = 400$
- הקוטר החיצוני הוא:  $D_1 = 40 \text{ cm}$
- הקוטר הפנימי הוא:  $D_2 = 30 \text{ cm}$
- רוחב חריץ האוויר הוא:  $a = 1 \text{ mm}$

**הערה:** בחישוב אורך המסלול המגנטי – הזנח את רוחב חריץ האוויר.

על הטורואיד מלופף סליל בעל 500 כריכות, שדרכו עובר זרם של 2 A.

א. חשב את השטף המגנטי בטורואיד.

ב. חשב את השדה המגנטי B במעגל.

ג. חשב את עוצמת השדה המגנטי H במעגל.

## שאלה 5

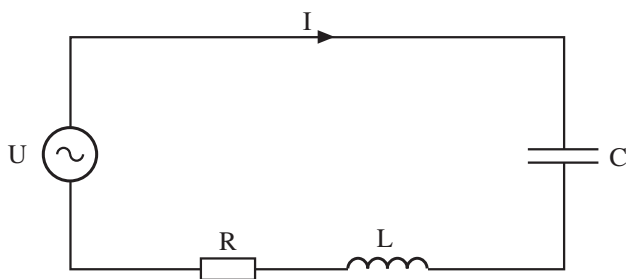
המעגל החשמלי, המתואר באיור לשאלה 5, נמצא במצב תהודה.

### נתוני המעגל:

גורם הטיב:  $Q_0 = 50$

הזרם במעגל:  $I_{\text{eff}} = 10 \text{ mA}$

מתח המקור:  $U = 5\sqrt{2} \cdot \sin(10^6 t) \text{ V}$



### איור לשאלה 5

- א. חשב את התנגדות הנגד  $R$ , את השראות הסליל  $L$  ואת קיבול הקבל  $C$  במעגל הזה.
- ב. חשב את מפל המתח על כל אחד מרכיבי המעגל.
- ג. חשב את רוחב־הפס של המעגל הזה.
- ד. סרטט גרף עקרוני של הזרם  $I$  במעגל בתלות בתדר  $f$ . סמן בסרטוטך את תדר התהודה.

## שאלה 6

מתקן חשמלי כולל שלושה עומסים תלת-מופעיים. העומסים מחוברים במקביל למקור מתח תלת-מופע. מתח ההזנה של מקור המתח הוא  $400 \text{ V} / 50 \text{ Hz}$ .

העומסים הם:

— תנור  $30 \text{ kW}$

— מנוע  $60 \text{ kW}$ ,  $\cos \varphi = 0.8$

— קבל  $20 \text{ kVar}$

א. חשב את ההספק המדומה של המתקן החשמלי.

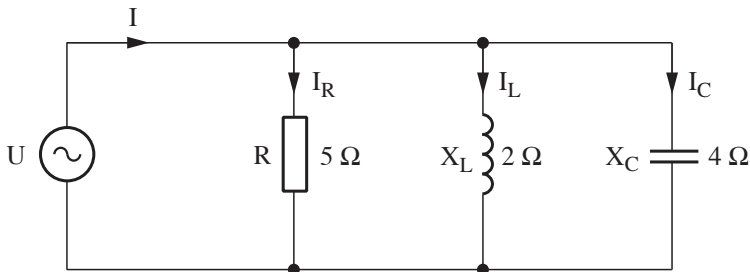
ב. חשב את מקדם ההספק של המתקן החשמלי.

ג. סרטט את משולש ההספקים של המתקן החשמלי.

ד. חשב את הזרם הכללי המתקבל ממקור המתח.

## שאלה 7

באיור לשאלה 7 מתואר מעגל זרם חילופין. נתון:  $I_L = 12.5 \angle -38.66^\circ \text{ A}$ .



איור לשאלה 7

א. חשב את עכבת המעגל.

ב. חשב את המתח  $U$  ואת הזרמים  $I_C$ ,  $I_R$  ו- $I$ . רשום את תשובותיך בצורה פאזורית.

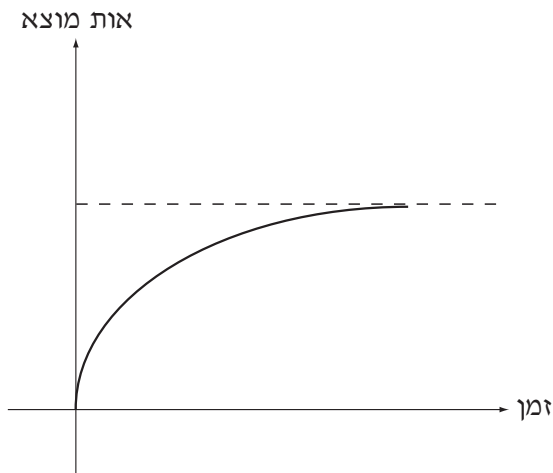
ג. סרטט דיאגרמה פאזורית של הזרמים והמתח במעגל.

## **פרק שני: מבוא למערכות בקרה**

**ענה על שאלה אחת לפחות מבין השאלות 8-9 (לכל שאלה – 20 נקודות).**

### **שאלה 8**

- א.** הגדר את המושג "מקדם ריסון" של מערכת בקרה.  
**ב.** באיור לשאלה 8 מתוארת השתנות אות המוצא של מערכת בקרה בתלות בזמן.



### **איור לשאלה 8**

העתק את העקום הנתון למחברתך, וסרטט באותה מערכת צירים:

1. עקום המתאר את אות המוצא (בתלות בזמן) של מערכת בקרה, שמקדם הריסון שלה בין 0 ל-1.
2. עקום המתאר את אות המוצא (בתלות בזמן) של מערכת בקרה, שמקדם הריסון שלה שווה ל-0.

### **שאלה 9**

- א.** סרטט תרשים מלבנים של מערכת לבקרת טמפרטורה בתנור אפייה. ציין בתרשים את רכיבי המערכת, את אותות המבוא ואת אותות המוצא במערכת.
- ב.** סרטט אופיין המתאר את התלות בין הטמפרטורה לזמן במערכת לבקרת טמפרטורה בתנור אפייה.

**בהצלחה!**

אין להעביר את הנוסחאון  
לנבחן אחר

## נוסחאון במערכות חשמל (10 עמודים)

(הגדלים בנוסחאון מופיעים ביחידות SI)

### א. תורת החשמל

#### 1. זרם ישר

התנגדות ומוליכות

התנגדות  $R$   $[\Omega]$  –

התנגדות סגולית  $\rho$   $\left[ \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \right]$  –

אורך המוליך  $\ell$   $[\text{m}]$  –

שטח החתך של המוליך  $A$   $[\text{mm}^2]$  –

מוליכות  $G$   $[\text{S}]$  –

$$G = \frac{1}{R}$$

$$R = \frac{\rho \ell}{A}$$

השפעת הטמפרטורה על ההתנגדות

התנגדות המוליך  $R_T$   $[\Omega]$  –

בטמפרטורה  $T$

ההתנגדות הסגולית של המוליך  $\rho_T$   $\left[ \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \right]$  –

בטמפרטורה  $T$

מקדם הטמפרטורה  $\alpha$   $\left[ \frac{1}{^\circ\text{C}} \right]$  –

הטמפרטורה הסופית של המוליך  $T_2$   $[\text{}^\circ\text{C}]$  –

הטמפרטורה ההתחלתית של המוליך  $T_1$   $[\text{}^\circ\text{C}]$  –

$$R_{T_2} = R_{T_1} [1 + \alpha(T_2 - T_1)]$$

$$\rho_{T_2} = \rho_{T_1} [1 + \alpha(T_2 - T_1)]$$

### זרם חשמלי

|             |   |   |                       |
|-------------|---|---|-----------------------|
| זרם         | - | I | [A]                   |
| מטען        | - | Q | [C]                   |
| זמן         | - | t | [sec]                 |
| צפיפות הזרם | - | J | [A / m <sup>2</sup> ] |
| שטח החתך    | - | A | [m <sup>2</sup> ]     |

$$I = \frac{Q}{t}$$

$$J = \frac{I}{A}$$

### קיבול של סוללה

|              |   |    |         |
|--------------|---|----|---------|
| קיבול הסוללה | - | Q* | [A · h] |
| זמן          | - | t* | [h]     |
| זרם הסוללה   | - | I  | [A]     |

$$Q^* = I \cdot t^*$$

### הספק בזרם ישר

|         |   |   |     |
|---------|---|---|-----|
| הספק    | - | P | [W] |
| מתח     | - | U | [V] |
| זרם     | - | I | [A] |
| התנגדות | - | R | [Ω] |

$$P = UI$$

$$P = I^2 R$$

$$P = \frac{U^2}{R}$$

### אנרגיה בזרם ישר

|        |   |   |                |
|--------|---|---|----------------|
| אנרגיה | - | W | [W · sec או J] |
| זמן    | - | t | [sec]          |

$$W = P \cdot t$$

כא"מ של מקור מתח

$$E = U + I \cdot r$$

|                |   |   |     |
|----------------|---|---|-----|
| הכא"מ          | - | E | [V] |
| מתח ההדקים     | - | U | [V] |
| התנגדות פנימית | - | r | [Ω] |
| זרם            | - | I | [A] |

חיבור מעורב של  $n \cdot m$  תאים זהים

$$I = \frac{n \cdot E}{\frac{n}{m} \cdot r + R}$$

|                           |   |   |     |
|---------------------------|---|---|-----|
| זרם דרך הצרכן             | - | I | [A] |
| הכא"מ של תא יחיד          | - | E | [V] |
| התנגדות פנימית של תא יחיד | - | r | [Ω] |
| התנגדות הצרכן             | - | R | [Ω] |

התנאי להעברת הספק מרבי לצרכן:

$$\frac{n}{m} \cdot r = R$$

|                          |   |   |
|--------------------------|---|---|
| מספר התאים המחוברים בטור | - | n |
| בענף מקבילי אחד          |   |   |
| מספר הענפים המקבילים     | - | m |

## 2. אלקטרוסטטיקה

### שדה חשמלי

$$1 \text{ C} = 6.24 \cdot 10^{18} e$$

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

$$F = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon} \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

$$\epsilon_o = \frac{1}{36\pi \cdot 10^9} = 8.85 \cdot 10^{-12}$$

$$\epsilon = \epsilon_o \cdot \epsilon_r$$

$$U = \frac{W}{q}$$

|                       |   |              |         |
|-----------------------|---|--------------|---------|
| מטען אלקטרון          | - | e            | [C]     |
| עוצמת שדה חשמלי       | - | E            | [N / C] |
| כוח                   | - | F            | [N]     |
| מטען                  | - | q            | [C]     |
| מרחק בין מטענים       | - | r            | [m]     |
| קבוע דיאלקטרי         | - | $\epsilon$   | [F / m] |
| קבוע דיאלקטרי של הריק | - | $\epsilon_o$ | [F / m] |
| קבוע דיאלקטרי יחסי    | - | $\epsilon_r$ |         |

|                          |   |   |                |
|--------------------------|---|---|----------------|
| פוטנציאל חשמלי           | - | U | [V]            |
| אנרגיה פוטנציאלית חשמלית | - | W | [W · sec או J] |

### קבל

$$C = \frac{\epsilon A}{d}$$

$$C = \frac{Q}{U}$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot C U^2$$

|                        |   |   |                   |
|------------------------|---|---|-------------------|
| קיבול הקבל             | - | C | [F]               |
| המתח על הקבל           | - | U | [V]               |
| מטען הקבל              | - | Q | [C]               |
| המרחק בין לוחות הקבל   | - | d | [m]               |
| שטח החתך של לוחות הקבל | - | A | [m <sup>2</sup> ] |
| האנרגיה האגורה בקבל    | - | W | [W · sec או J]    |

### 3. מגנטיות ואלקטרומגנטיות

|                                                             |   |          |                                               |                                                                                    |
|-------------------------------------------------------------|---|----------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| עוצמת השדה המגנטי<br>במרחק r ממוליך                         | - | H        | [A / m]                                       | $H = \frac{I}{2\pi r}$                                                             |
| זרם                                                         | - | I        | [A]                                           | $\Sigma N \cdot I = \Sigma H \cdot \ell$                                           |
| מרחק מהמוליך                                                | - | r        | [m]                                           |                                                                                    |
| עוצמת השדה המגנטי<br>במעגל מגנטי                            | - | H        | [AT / m]                                      |                                                                                    |
| מספר כריכות                                                 | - | N        |                                               | $H = \frac{N \cdot I}{\ell}$                                                       |
| כוח מגנטו-מניע                                              | - | N·I      | [AT]                                          | $\Phi = \frac{N \cdot I}{R_m}$                                                     |
| אורך המסלול המגנטי                                          | - | $\ell$   | [m]                                           |                                                                                    |
| שטף מגנטי                                                   | - | $\Phi$   | [V · sec או Wb]                               | $B = \mu \cdot H$                                                                  |
| מיאון (התנגדות מגנטית)                                      | - | $R_m$    | $\left[ \frac{AT}{Wb} \right]$                | $B = \frac{\Phi}{A}$                                                               |
| שטח החתך                                                    | - | A        | [m <sup>2</sup> ]                             | $R_m = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{\ell}{A}$                                         |
| השדה המגנטי                                                 | - | B        | [Wb / m <sup>2</sup> או T]                    | $\mu = \mu_o \cdot \mu_r$                                                          |
| חדירות (חלחלות)                                             | - | $\mu$    | $\left[ \frac{\Omega \text{ sec}}{m} \right]$ | $\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7}$                                                       |
| חדירות (חלחלות) יחסית                                       | - | $\mu_r$  |                                               |                                                                                    |
| חדירות (חלחלות) האוויר                                      | - | $\mu_o$  | $\left[ \frac{\Omega \text{ sec}}{m} \right]$ |                                                                                    |
| כוח                                                         | - | F        | [N]                                           |                                                                                    |
| מהירות קווית                                                | - | v        | [m / sec]                                     | $F = B \cdot q \cdot v \cdot \sin \alpha = B \cdot I \cdot \ell \cdot \sin \alpha$ |
| מטען                                                        | - | q        | [C]                                           |                                                                                    |
| זרם העובר במוליך                                            | - | I        | [A]                                           |                                                                                    |
| אורך המוליך                                                 | - | $\ell$   | [m]                                           | $F = \frac{\mu \cdot \ell}{2\pi r} \cdot I_1 \cdot I_2$                            |
| הזווית בין כיוון תנועת המטען /<br>כיוון הזרם לבין קווי השדה | - | $\alpha$ | [° , rad]                                     |                                                                                    |
| המרחק בין המוליכים                                          | - | r        | [m]                                           |                                                                                    |

|                                               |   |               |                                |                                                                            |
|-----------------------------------------------|---|---------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| כא"מ מושרה                                    | - | $E$           | [V]                            | $E = B \cdot \ell \cdot v \cdot \sin \alpha$                               |
| שינוי שטף                                     | - | $\Delta \Phi$ | [V · sec או Wb]                |                                                                            |
| משך זמן השינוי                                | - | $\Delta t$    | [sec]                          | $E = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$                                      |
| מספר כריכות הסליל                             | - | $N$           |                                |                                                                            |
| שינוי הזרם                                    | - | $\Delta I$    | [A]                            | $L = N \frac{\Delta \Phi}{\Delta I}$                                       |
| השראות עצמית של הסליל                         | - | $L$           | [H]                            | $E = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$                                         |
| מיאון                                         | - | $R_m$         | $\left[ \frac{AT}{Wb} \right]$ |                                                                            |
|                                               |   |               |                                | $L = \frac{N^2}{R_m}$                                                      |
|                                               |   |               |                                | $M^* = k \sqrt{L_1 L_2}$                                                   |
| השראות הדדית                                  | - | $M^*$         | [H]                            |                                                                            |
| מקדם הצימוד                                   | - | $k$           |                                | $W = \frac{1}{2} L \cdot I^2$                                              |
| האנרגיה האגורה בסליל                          | - | $W$           | [W · sec או J]                 |                                                                            |
| מומנט הפועל על הכריכה                         | - | $M$           | [N · m]                        | $M = B \cdot A \cdot I \cdot \sin \theta = \Phi \cdot I \cdot \sin \theta$ |
| שטח פני הכריכה                                | - | $A$           | [m <sup>2</sup> ]              |                                                                            |
| הזווית בין הניצב למישור הכריכה לבין קווי השדה | - | $\theta$      | [° , rad]                      | $E_{\max} = B \cdot A \cdot \omega$                                        |
| תדירות זוויתית                                | - | $\omega$      | [rad / sec]                    | $\omega = \frac{v}{R}$                                                     |
| מהירות קווית                                  | - | $v$           | [m / sec]                      |                                                                            |
| רדיוס הכריכה                                  | - | $R$           | [m]                            | $\omega = \frac{\theta}{t}$                                                |
| מהירות סיבוב                                  | - | $n$           | [r.p.m]                        | $\omega = \frac{2\pi n}{60}$                                               |

#### 4. זרם חילופין

|                                  |   |                  |       |                                                |
|----------------------------------|---|------------------|-------|------------------------------------------------|
| ערך רגעי של הזרם                 | - | $i$              | [A]   | $i = I_{\max} \sin(\omega t + \alpha)$         |
| ערך מרבי של הזרם                 | - | $I_{\max}$       | [A]   |                                                |
| זווית מופע                       | - | $\alpha$         | [rad] | $u = U_{\max} \sin(\omega t + \alpha)$         |
| זמן                              | - | $t$              | [sec] |                                                |
| ערך רגעי של המתח                 | - | $u$              | [V]   | $I_{\text{eff}} = \frac{1}{\sqrt{2}} I_{\max}$ |
| ערך מרבי של המתח -<br>תנופת המתח | - | $U_{\max}$       | [V]   |                                                |
| ערך יעיל של הזרם                 | - | $I_{\text{eff}}$ | [A]   | $U_{\text{eff}} = \frac{1}{\sqrt{2}} U_{\max}$ |
| ערך יעיל של המתח                 | - | $U_{\text{eff}}$ | [V]   |                                                |

|                |   |          |                     |                   |
|----------------|---|----------|---------------------|-------------------|
| זמן המחזור     | - | $T$      | [sec]               | $T = \frac{1}{f}$ |
| תדירות זוויתית | - | $\omega$ | [rad / sec]         | $\omega = 2\pi f$ |
| תדירות         | - | $f$      | [Hz , cycles / sec] |                   |

|              |   |       |     |                  |                            |
|--------------|---|-------|-----|------------------|----------------------------|
| היגב השראותי | - | $X_L$ | [Ω] | $X_L = \omega L$ | $X_C = \frac{1}{\omega C}$ |
| היגב קיבולי  | - | $X_C$ | [Ω] |                  |                            |

#### מעגל RLC טורי:

|            |   |     |     |                                    |                          |
|------------|---|-----|-----|------------------------------------|--------------------------|
| היגב המעגל | - | $X$ | [Ω] | $\text{tg } \varphi = \frac{X}{R}$ | $X = X_L - X_C$          |
| עכבה       | - | $Z$ | [Ω] | $Z = R + jX$                       | $ Z  = \sqrt{R^2 + X^2}$ |

#### מקבילי:

|            |   |       |     |                                      |
|------------|---|-------|-----|--------------------------------------|
| הזרם הכללי | - | $I$   | [A] | $I = I_R + j(I_L - I_C)$             |
| הזרם בנגד  | - | $I_R$ | [A] |                                      |
| הזרם בסליל | - | $I_L$ | [A] | $ I  = \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2}$ |
| הזרם בקבל  | - | $I_C$ | [A] |                                      |

### מעגל תהודה

טורי/מקבילי:

|               |   |       |      |
|---------------|---|-------|------|
| תדירות התהודה | - | $f_0$ | [Hz] |
| השראות        | - | $L$   | [H]  |
| קיבול         | - | $C$   | [F]  |

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

טורי:

|                           |   |            |             |
|---------------------------|---|------------|-------------|
| תדירות זוויתית בתהודה     | - | $\omega_0$ | [rad / sec] |
| התנגדות                   | - | $R$        | [Ω]         |
| גורם הטיב של המעגל בתהודה | - | $Q_0$      |             |
| רוחב הפס                  | - | $BW$       | [Hz]        |
| המתח על הסליל             | - | $U_L$      | [V]         |
| המתח על הקבל              | - | $U_C$      | [V]         |
| מתח המקור                 | - | $U$        | [V]         |

$$Q_0 = \frac{\omega_0 L}{R}$$

$$BW = \frac{f_0}{Q_0}$$

$$U_L = U_C = Q_0 \cdot U$$

### 5. הספקים

|            |   |           |           |
|------------|---|-----------|-----------|
| הספק פעיל  | - | $P$       | [W]       |
| הספק מדומה | - | $S$       | [VA]      |
| הספק היגבי | - | $Q$       | [VAr]     |
| זווית מופע | - | $\varphi$ | [° , rad] |

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q}{P}$$

$$P = S \cos \varphi$$

$$Q = S \sin \varphi$$

$$S = P \pm jQ$$

שיפור מקדם ההספק

|                        |   |             |           |
|------------------------|---|-------------|-----------|
| קיבול                  | - | $C$         | [F]       |
| זווית מופע אחרי השיפור | - | $\varphi_2$ | [° , rad] |
| זווית מופע לפני השיפור | - | $\varphi_1$ | [° , rad] |

$$C = \frac{P}{\omega U^2} (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2)$$

6. רשתות תלת-מופעיות

כוכב סימטרי

$$I_L = I_{ph}$$

$$\begin{aligned} \text{זרם קווי} & - I_L \quad [A] \\ \text{זרם מופעי} & - I_{ph} \quad [A] \\ \text{מתח שלוב (קווי)} & - U_L \quad [V] \\ \text{מתח מופעי} & - U_{ph} \quad [V] \end{aligned}$$

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

משולש סימטרי

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

$$U_L = U_{ph}$$

הספק תלת-מופע

$$\begin{aligned} \text{הספק מדומה תלת-מופע} & - S \quad [VA] \\ \text{הספק פעיל תלת-מופע} & - P \quad [W] \\ \text{הספק היגבי תלת-מופע} & - Q \quad [VAr] \end{aligned}$$

$$S = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L$$

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

$$Q = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \sin \varphi$$

ייצוג מתחים מופעיים במישור המרוכב של רשת תלת-מופעית סימטרית

$$U_R = U|0^\circ$$

$$U_S = U|-120^\circ$$

$$U_T = U|-240^\circ$$

**ב. מבוא למערכות בקרה**

**7. בקרה**

משוב שלילי

$$T = \frac{C}{R} = \frac{G}{1 + GH}$$

R – אות מבוא

C – אות מוצא

H – תמסורת המשוב

G – פונקציית התמסורת בחוג פתוח

T – פונקציית התמסורת בחוג סגור

משוב חיובי

$$T = \frac{C}{R} = \frac{G}{1 - GH}$$

**בהצלחה!**