

מערכות חשמל ג'

שתי יחידות לימוד (השלמה לחמש יחידות לימוד)

(כיתה י"א)

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:

1. ענה על מספר השאלות הנדרש בשאלון. המעריך יקרא ויעריך את מספר התשובות הנדרש בלבד, לפי סדר כתיבתן במחברתך, ולא יתייחס לתשובות נוספות.
2. התחל כל תשובה לשאלה חדשה בעמוד חדש.
3. רשום את כל תשובותיך אך ורק בעט.
4. הקפד לנסח את תשובותיך כהלכה ולסרטט את תרשימיך בהירות.
5. כתוב את תשובותיך בכתב-יד ברור, כדי לאפשר הערכה נאותה שלהן.
6. אם לדעתך חסרים נתונים הדרושים לפתרון שאלה, אתה רשאי להוסיף אותם, בתנאי שתנמק מדוע הוספת אותם.
7. בכתובת פתרונות חישוביים, קבלת מֶרב 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 נספח.

ההנחיות בשאלון זה מנוסחות בלשון זכר,

אך מכוונות הן לנבחנות והן לנבחנים.

◀ המשך מעבר לדף

בהצלחה!

השאלות

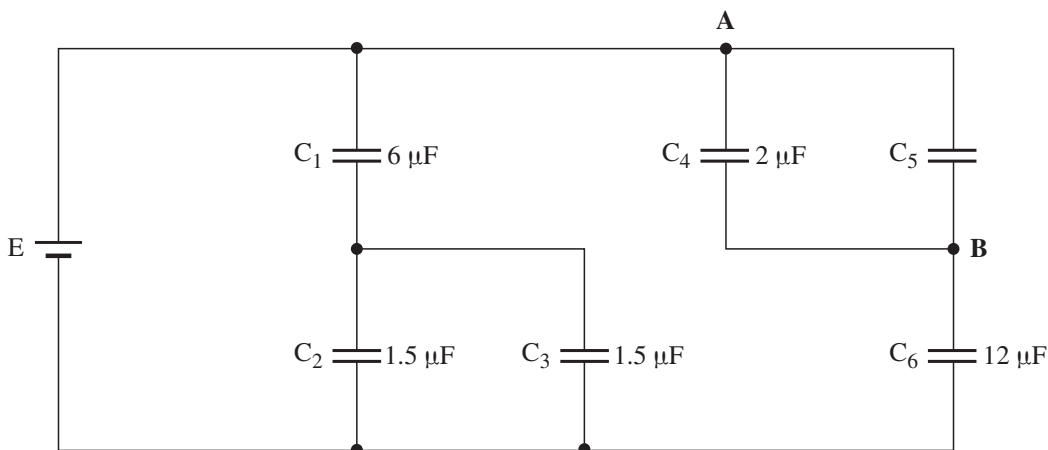
בשאלון זה שני פרקים ובהם תשע שאלות. יש לענות על חמש שאלות בלבד:
שלוש שאלות לפחות מן הפרק הראשון ושאלה אחת לפחות מן הפרק השני.

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.



איור לשאלה 1

הקבל C_5 בנוי משני לוחות מקבילים בעלי שטח חתך של 0.0942 m^2 . המרחק בין הלוחות הוא $1 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ וביניהם חרסיהם בעלת קבוע דיאלקטרי $\epsilon_r = 6$.

א. חשב את קיבולו של הקבל C_5 .

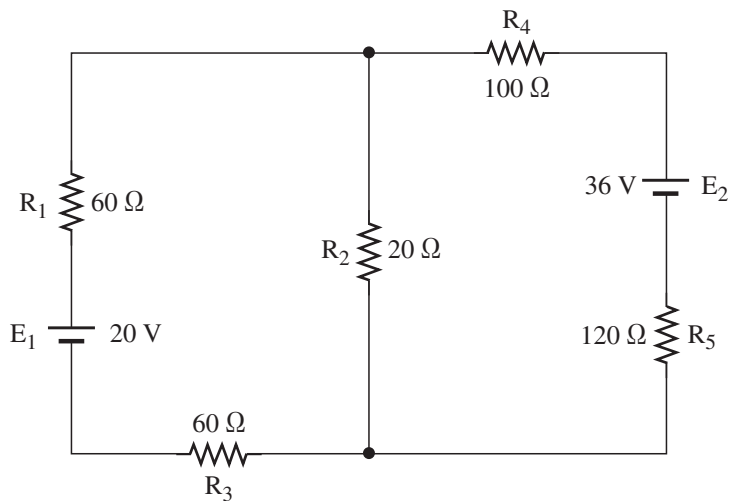
ב. חשב את הקיבול השקול של המעגל החשמלי.

המתח בין הנקודות A ו-B הוא 16 V .

ג. חשב את מתח המקור E.

שאלה 2

באיור לשאלה 2 נתון מעגל חשמלי לזרם ישר.

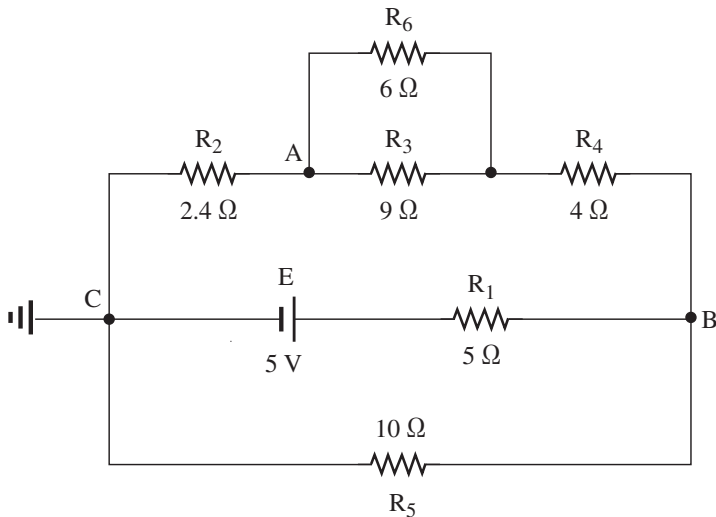


איור לשאלה 2

- א. חשב את הזרם הזורם דרך הנגד R_3 .
- ב. חשב את ההספק בנגד R_5 .
- ג. חשב את המתח על-פני הנגד R_4 .

שאלה 3

באיור לשאלה 3 נתון מעגל חשמלי לזרם ישר. נקודה C חוברה לפוטנציאל האפס (אדמה).



איור לשאלה 3

- א. חשב את ההתנגדות השקולה "שרואה" המקור.
- ב. חשב את הזרם הזורם דרך הנגד R_2 .
- ג. חשב את הפרש הפוטנציאלים בין הנקודות A ו-B.

שאלה 4

באיור לשאלה 4 מתואר עומס תלת-מופעי סימטרי, המחובר לרשת תלת-מופעית בחיבור משולש.

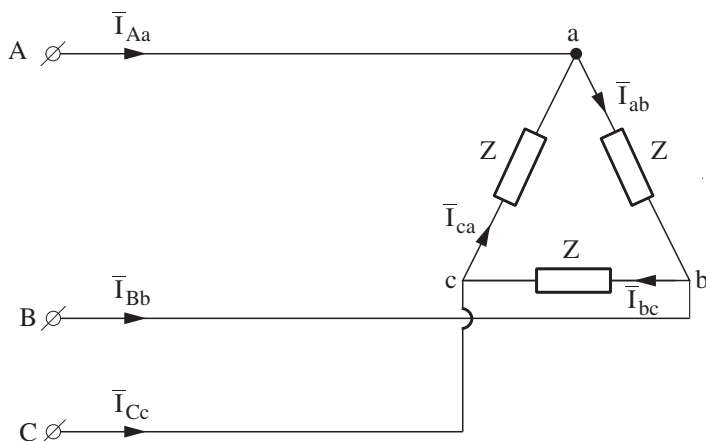
נתונים:

$$Z = 5 \angle 45^\circ \Omega$$

$$U_{AB} = 100 \angle 0^\circ \text{ V}$$

$$U_{BC} = 100 \angle -120^\circ \text{ V}$$

$$U_{CA} = 100 \angle 120^\circ \text{ V}$$



איור לשאלה 4

- א. חשב את הזרם בכל אחד ממופעי העומס I_{ca} , I_{bc} , I_{ab} .
- ב. חשב את הזרמים הקווים I_{Aa} , I_{Bb} ו- I_{Cc} .
- ג. חשב את ההספק הממשי, את ההספק ההיגבי ואת ההספק המדומה הנמסרים לעומס.

שאלה 5

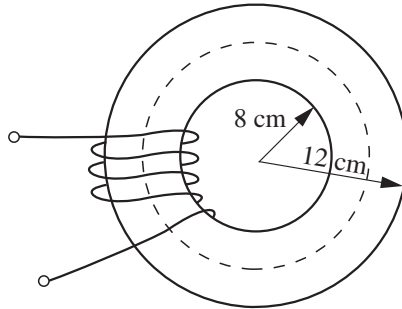
באיור לשאלה 5 מתואר מעגל מגנטי, הכולל טבעת שעשויה מפלדה יצוקה. על הטבעת מלופף סליל בעל 2,500 כריכות. להלן נתוני המעגל המגנטי:

– החדירות המגנטית היחסית של הפלדה: $\mu_r = 2,500$

– השדה המגנטי הנוצר בליבת הפלדה: $B = 1.25 \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}$

– אורך המסלול הממוצע של השטף המגנטי: 0.628 מטר

– שטח החתך של הליבה: 0.125 m^2



איור לשאלה 5

א. חשב את השטף המגנטי בטבעת.

ב. חשב את הזרם שיש להזרים דרך הסליל כדי שיתקבל שדה מגנטי של $1.25 \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}$.

ג. חורצים בטבעת חריץ אוויר באורך של 10 mm. חשב את הזרם שיש להזרים דרך הסליל כדי לשמור על ערכו של השטף המגנטי שחישבת בתשובתך לסעיף א'.

שאלה 6

מעגל מסוג RLC טורי נמצא במצב תהודה. התדירות הזוויתית של המעגל: $\omega_0 = 10^4 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$.

נתונים:

- רוחב הפס של המעגל: $BW = 0.1 f_0$

- הערך היעיל של מתח המקור: $U = 80 \text{ V}$

- ההספק המתפתח במעגל: $P = 160 \text{ W}$

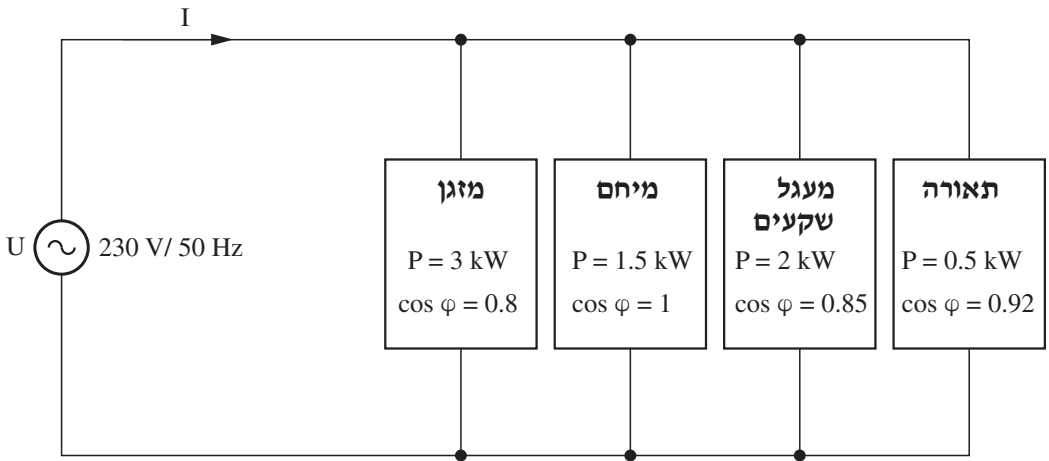
א. חשב את ההתנגדות R של המעגל.

ב. חשב את גורם הטיב של המעגל.

ג. חשב את השראות הסליל L ואת קיבוליות הקבל C.

שאלה 7

לוח ההזנה במשרד מזין מעגל שקעים ושלושה צרכנים חד-מופעיים: מזגן, מיחם ותאורה. נתוני לוח ההזנה והצרכנים מפורטים באיור לשאלה 7.



איור לשאלה 7

א. חשב את ההספק המדומה הנמסר על-ידי מקור המתח.

ב. חשב את מקדם ההספק בלוח ההזנה של המשרד.

ג. חשב את הזרם I שבמעגל.

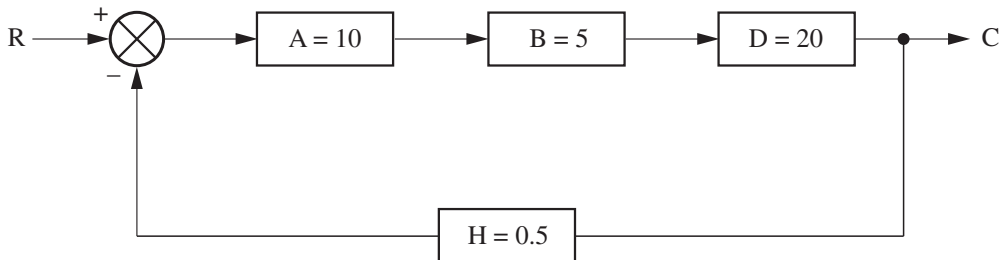
ד. סרטט במחברתך את משולש ההספקים של המעגל.

פרק שני: מבוא למערכות בקרה

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

שאלה 8

באיור לשאלה 8 נתון תרשים מלבנים של מערכת בקרה בחוג סגור.



איור לשאלה 8

- רשום ביטוי לפונקציית התמסורת $\frac{C}{R}$ של מערכת הבקרה באמצעות A , B , D ו- H .
- חשב את ערך התמסורת של מערכת הבקרה.
- חשב את הערך של אות המוצא C , כאשר הערך של אות המבוא הוא $R = 3$.

שאלה 9

- להלן שלוש פעולות יסודיות שמכונת כביסה מבצעת:
 1. אספקת מים לתוך המכונה עד גובה מסוים
 2. חימום המים לטמפרטורה שהוגדרה
 3. הפסקת הפעולה של מנוע־התוף לפרק־זמן מוגדרציין לגבי כל אחת מן הפעולות אם מערכת הבקרה מבצעת מדידה, השוואה או תיקון. נמק את תשובתך.
- הסבר מהי בקרה רציפה ומהי בקרה דו־מצבית, והבא דוגמה אחת לכל סוג בקרה.

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

אורך המוליך ℓ $[\text{m}]$ –

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

בטמפרטורה T

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

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 ²]
שטח החתך	-	A	[m ²]

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

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

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	-	ϵ	[F / m]
קבוע דיאלקטרי של הריק	-	ϵ_o	[F / m]
קבוע דיאלקטרי יחסי	-	ϵ_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 ²]
האנרגיה האגורה בקבל	-	W	[W · sec או J]

3. מגנטיות ואלקטרומגנטיות

עוצמת השדה המגנטי 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 במעגל מגנטי	-	H	$[AT / m]$	
מספר כריכות	-	N		$H = \frac{N \cdot I}{\ell}$
כוח מגנטו-מניע	-	$N \cdot I$	$[AT]$	$\Phi = \frac{N \cdot I}{R_m}$
אורך המסלול המגנטי	-	ℓ	$[m]$	
שטף מגנטי	-	Φ	$[V \cdot \text{sec או } Wb]$	$B = \mu \cdot H$
מיאון (התנגדות מגנטית)	-	R_m	$\left[\frac{AT}{Wb} \right]$	$B = \frac{\Phi}{A}$
שטח החתך	-	A	$[m^2]$	$R_m = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{\ell}{A}$
השדה המגנטי	-	B	$[Wb / m^2 \text{ או } T]$	$\mu = \mu_o \cdot \mu_r$
חדירות (חלחלות)	-	μ	$\left[\frac{\Omega \text{ sec}}{m} \right]$	$\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7}$
חדירות (חלחלות) יחסית	-	μ_r		
חדירות (חלחלות) האוויר	-	μ_o	$\left[\frac{\Omega \text{ sec}}{m} \right]$	
כוח	-	F	$[N]$	
מהירות קווית	-	v	$[m / \text{sec}]$	$F = B \cdot q \cdot v \cdot \sin \alpha = B \cdot I \cdot \ell \cdot \sin \alpha$
מטען	-	q	$[C]$	
זרם העובר במוליך	-	I	$[A]$	
אורך המוליך	-	ℓ	$[m]$	$F = \frac{\mu \cdot \ell}{2\pi r} \cdot I_1 \cdot I_2$
הזווית בין כיוון תנועת המטען / כיוון הזרם לבין קווי השדה	-	α	$[^\circ, \text{rad}]$	
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	-	Δt	[sec]	$E = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$
מספר כריכות הסליל	-	N		
שינוי הזרם	-	ΔI	[A]	$L = N \frac{\Delta \Phi}{\Delta I}$
השראות עצמית של הסליל	-	L	[H]	
מיאון	-	R_m	$\left[\frac{AT}{Wb} \right]$	$E = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$
				$L = \frac{N^2}{R_m}$
				$M^* = k \sqrt{L_1 L_2}$
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 ²]	
הזווית בין הניצב למישור הכריכה לבין קווי השדה	-	θ	[° , rad]	$E_{\max} = B \cdot A \cdot \omega$
תדירות זוויתית	-	ω	[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	-	α	[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 -	-	$U_{\max}$	[V]	
תנופת המתח				
ערך יעיל של הזרם	-	I_{eff}	[A]	$U_{\text{eff}} = \frac{1}{\sqrt{2}} U_{\max}$
ערך יעיל של המתח	-	U_{eff}	[V]	

זמן המחזור	-	T	[sec]	$T = \frac{1}{f}$
תדירות זוויתית	-	ω	[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]	$Z = R \pm jX$	$ 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	-	ω_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	-	φ	[° , 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	-	φ_2	[° , rad]
זווית מופע לפני השיפור	-	φ_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!