

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 השאלות

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. בכתיבת פתרונות חישוביים, קבלת מֶרֶב 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.

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

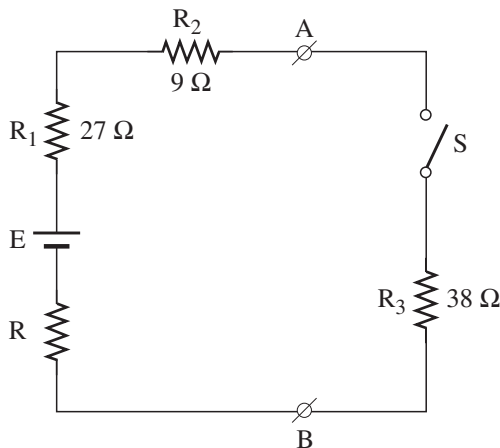
ענה על שלוש שאלות לפחות מבין השאלות 1–7 (לכל שאלה – 20 נקודות).

שאלה 1

באיור לשאלה 1 נתון מעגל חשמלי.

כאשר המפסק S פתוח – המתח בין הנקודות A ו-B הוא 28 V.

כאשר המפסק S סגור – המתח בין הנקודות A ו-B הוא 14 V.



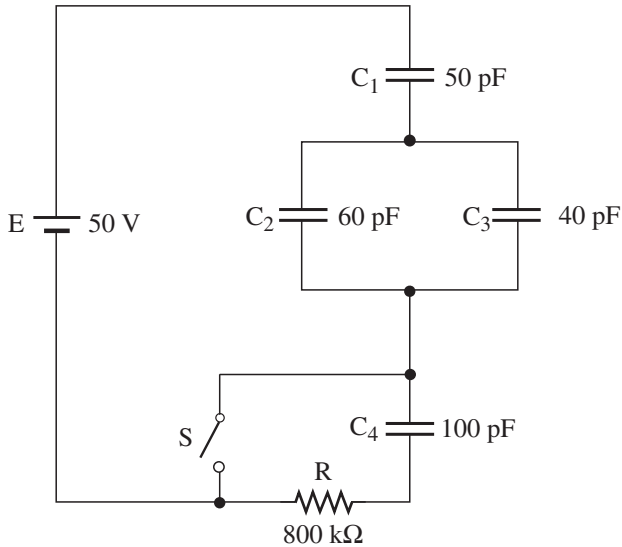
איור לשאלה 1

חשב את:

- א. ההתנגדות של הנגד R.
- ב. ההספק על הנגד R_3 , כאשר המפסק S סגור.
- ג. ההספק המסופק למעגל על-ידי מקור המתח, כאשר המפסק S סגור.

שאלה 2

באיור לשאלה 2 נתון מעגל חשמלי.

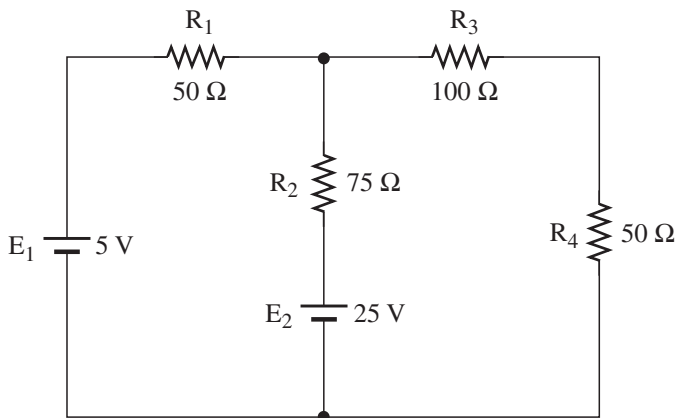


איור לשאלה 2

- א. חשב את הקיבול השקול של מערך הקבלים כאשר המפסק S פתוח.
- ב. הקבל C_4 הוא קבל לוחות. שטח כל לוח הוא 4 cm^2 , ובין הלוחות נמצא חומר בעל קבוע דיאלקטרי $\epsilon_r = 2.8$. חשב את המרחק בין לוחות הקבל.
- ג. סוגרים את המפסק S לאחר שהסתיימה טעינתם של ארבעת הקבלים.
 1. חשב את קבוע הזמן τ של מעגל הפריקה של הקבל C_4 .
 2. סרטט את המתח על-פני הקבל C_4 בתהליך הפריקה כפונקציה של הזמן, וציין בו את ערכי המתח בזמנים $t = 0$ (תחילת הפריקה) ו- $t = 5\tau$.

שאלה 3

באיור לשאלה 3 נתון מעגל חשמלי הכולל שני מקורות מתח.



איור לשאלה 3

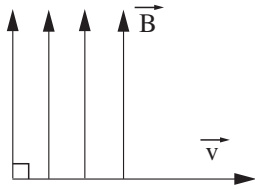
- א. סרטט מעגל תבנית שקול עבור הנגד R_2 .
- ב. חשב את R_{th} .
- ג. חשב את U_{th} .
- ד. חשב את הזרם העובר בנגד R_2 .

שאלה 4

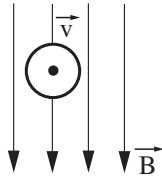
- א. כריכה מלבנית שרוחבה 3 cm ואורכה 10 cm מסתובבת בשדה מגנטי של 2 T. דרך הכריכה זורם זרם של 5 A.

חשב את המומנט הפועל על הכריכה, כאשר מישור הכריכה נמצא במקביל לקווי השדה המגנטי.

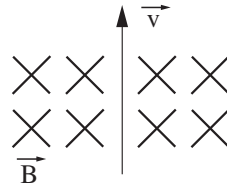
- ב. באיור לשאלה 4 מתוארים שלושה מצבים של **אלקטרון**, הנע במהירות קווית v בשדה מגנטי B. מצא בכל אחד מן המקרים (3) ÷ (1) את כיוונו של הכוח המגנטי הפועל על האלקטרון, מתוך ארבעת הכיוונים הבאים:
לתוך הדף, מחוץ לדף, ימינה, שמאלה.



(1)



(2)

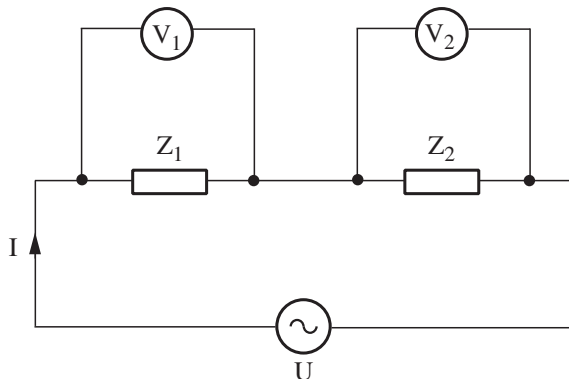


(3)

איור לשאלה 4

שאלה 5

באיור לשאלה 5 מתואר מעגל חשמלי המוזן ממקור מתח חילופין. הזרם במעגל הוא $I = 50 \text{ mA}$. מד-המתח (V_1) מראה 100 V , וזווית המופע בין המתח הזה לבין הזרם I , המפגר אחריו, היא 45° . מד-המתח (V_2) מראה 20 V , וזווית המופע בין המתח הזה לבין הזרם I , המקדים אותו, היא 30° .



איור לשאלה 5

- א. חשב את מתח-המקור U .
- ב. חשב את העכבה הכוללת של המעגל, וקבע את אופי המעגל.
- ג. חשב את העכבות Z_1 ו- Z_2 .
- ד. סרטט דיאגרמה וקטורית של הזרם והמתחים במעגל הזה.

שאלה 6

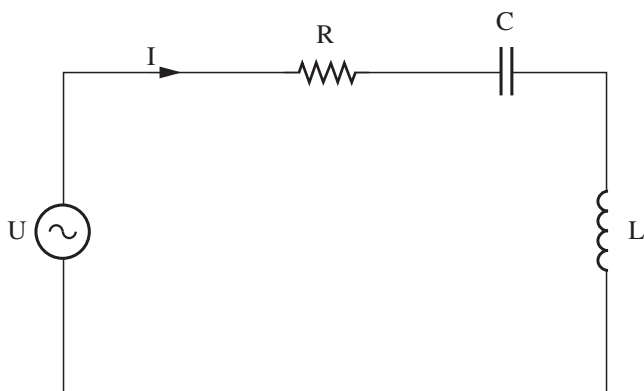
המעגל החשמלי המתואר באיור לשאלה 6 נמצא במצב תהודה.

נתוני המעגל הם:

גורם הטיב – $Q_0 = 40$

הזרם במעגל – $I_{\text{eff}} = 20 \text{ mA}$

מתח המקור – $U(t) = 10 \cdot \sin(10^6 t) \text{ V}$



איור לשאלה 6

א. חשב את ההתנגדות של הנגד R, את השראות הסליל L ואת קיבול הקבל C.

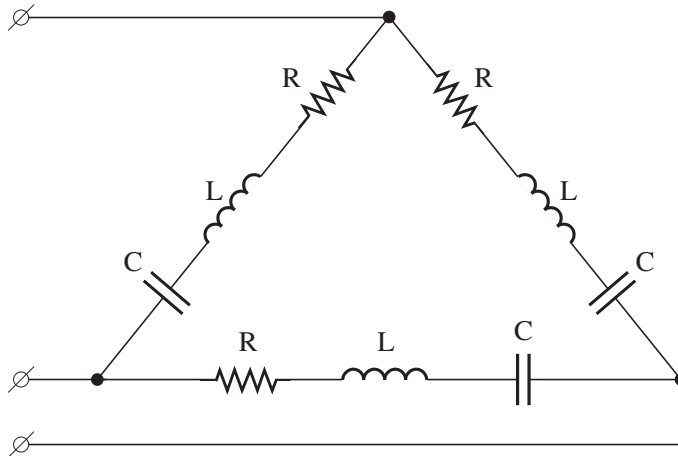
ב. 1. חשב את המתח על כל אחד מן הרכיבים במעגל.

2. סרטט דיאגרמה וקטורית של המתחים והזרם במעגל.

ג. חשב את רוחב הפס ואת תדרי מחצית ההספק של המעגל הזה.

שאלה 7

באיור לשאלה 7 מתואר צרכן תלת-מופעי המחובר בחיבור משולש לרשת תלת-מופעית.



איור לשאלה 7

נתוני המעגל הם:

- המתח השלוב של הרשת: 400 V
- תדר הרשת: 50 Hz
- השראות כל סליל: 60 mH
- קיבול כל קבל: 200 μ F
- התנגדות כל נגד: 10 Ω

- א. חשב את העכבה למופע של הצרכן.
- ב. חשב את הזרם המופעי של הצרכן.
- ג. 1. חשב את ההספק הממשי, את ההספק ההיגבי ואת ההספק המדומה של הצרכן.
2. סרטט את משולש ההספקים של הצרכן.

פרק שני: מבוא למערכות בקרה

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

שאלה 8

א. למצנע (טוסטר) ביתי יש שלושה מרכיבים עיקריים:

- אזור פרוסות הלחם, הכולל את ידית הפעלת המצנע
- קובץ זמן פנימי הקובע את משך זמן החימום (המפעיל אינו יכול לקבוע זמן זה)
- גוף חימום

1. סרטט תרשים מלבנים המציג את פעולת המצנע.

2. קבע איזה מבין המושגים **זמן חימום**, **הספק חום** או **מידת השחמה** הוא אות המבוא של המצנע הזה ואיזה מביניהם הוא אות המוצא שלו.

3. האם המצנע (הטוסטר) פועל כמערכת בקרה בחוג פתוח או כמערכת בקרה בחוג סגור? נמק את תשובתך.

ב. במצנע אחר קיים כפתור בורר לקביעת משך זמן החימום, המפעיל את המצנע. משך זמן החימום קובע את מידת ההשחמה של הטוסט. סרטט תרשים מלבנים המציג את פעולת המצנע הזה.

שאלה 9

א. סרטט תרשים מלבנים של מערכת המבקרת את הטמפרטורה בתנור אפייה. כלול בתרשים את מרכיבי המערכת, את אות המבוא ואת אות המוצא.

ב. סרטט אופיין המתאר את הטמפרטורה כפונקציה של הזמן במערכת לבקרת הטמפרטורה בתנור אפייה.

ג. מהו טווח הערכים של מקדם הריסון במערכת לבקרת הטמפרטורה? נמק את תשובתך.

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	$[\text{S}]$

$$G = \frac{1}{R} \quad R = \frac{\rho \ell}{A}$$

השפעת הטמפרטורה על ההתנגדות

התנגדות המוליך בטמפרטורה T	-	R_T	$[\Omega]$
ההתנגדות הסגולית של המוליך בטמפרטורה T	-	ρ_T	$\left[\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \right]$
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 · 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

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

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

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

$$\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi \cdot 10^9} = 8.85 \cdot 10^{-12}$$

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$$

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

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_0	[F / m]
קבוע דיאלקטרי יחסי	-	ϵ_r	

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

קבל

$$C = \frac{\epsilon A}{d} \quad C = \frac{Q}{U}$$

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

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]

מגנטיות ואלקטרומגנטיות

3.

עוצמת השדה המגנטי במרחק r ממוליך	-	H	[A / m]	$H = \frac{I}{2\pi r}$
זרם	-	I	[A]	
מרחק מהמוליך	-	r	[m]	
עוצמת השדה המגנטי במעגל מגנטי	-	H	[AT / m]	$\Sigma N \cdot I = \Sigma H \cdot \ell$
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]	$B = \mu \cdot H$
שטף מגנטי	-	Φ	[V · sec או Wb]	$B = \frac{\Phi}{A}$
מיאון (התנגדות מגנטית)	-	R_m	$\left[\frac{AT}{Wb} \right]$	$R_m = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{\ell}{A}$
שטח החתך	-	A	[m ²]	$\mu = \mu_o \cdot \mu_r$
השדה המגנטי	-	B	[Wb / m ² או T]	$\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7}$
חדירות (חלחלות)	-	μ	$\left[\frac{\Omega \text{ sec}}{m} \right]$	
חדירות (חלחלות) יחסית	-	μ_r		
חדירות (חלחלות) האוויר	-	μ_o	$\left[\frac{\Omega \text{ sec}}{m} \right]$	
כוח	-	F	[N]	$F = B \cdot q \cdot v \cdot \sin \alpha = B \cdot I \cdot \ell \cdot \sin \alpha$
מהירות קווית	-	v	[m / sec]	
מטען	-	q	[C]	
זרם העובר במוליך	-	I	[A]	$F = \frac{\mu \cdot \ell}{2\pi r} \cdot I_1 \cdot I_2$
אורך המוליך	-	ℓ	[m]	
הזווית בין כיוון תנועת המטען / כיוון הזרם לבין קווי השדה	-	α	[° , 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]	$E = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$
משך זמן השינוי	-	Δt	[sec]	$L = N \frac{\Delta \Phi}{\Delta I}$
מספר כריכות הסליל	-	N		$E = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$
שינוי הזרם	-	ΔI	[A]	$L = \frac{N^2}{R_m}$
השראות עצמית של הסליל	-	L	[H]	$M^* = k \sqrt{L_1 L_2}$
מיאון	-	R_m	$\left[\frac{AT}{Wb} \right]$	$W = \frac{1}{2} L \cdot I^2$
השראות הדדית	-	M^*	[H]	
מקדם הצימוד	-	k		
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]	$E_{\max} = B \cdot A \cdot \omega$
הזווית בין הניצב למישור הכריכה לבין קווי השדה	-	θ	[° , rad]	$\omega = \frac{v}{R}$
תדירות זוויתית	-	ω	[rad / sec]	$\omega = \frac{\theta}{t}$
מהירות קווית	-	v	[m / sec]	$\omega = \frac{2\pi n}{60}$
רדיוס הכריכה	-	R	[m]	
מהירות סיבוב	-	n	[r.p.m]	

זרם חילופין

4.

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				$U_{\text{eff}} = \frac{1}{\sqrt{2}} U_{\max}$
ערך יעיל של הזרם	-	I_{eff}	[A]	
ערך יעיל של המתח	-	U_{eff}	[V]	

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

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

מעגל RLC

טורי:

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

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

$$I_L = I_{ph}$$

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

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

משולש סימטרי

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

$$U_L = U_{ph}$$

הספק תלת-מופע

$$\text{הספק מדומה תלת-מופע} - S \quad [VA]$$

$$\text{הספק פעיל תלת-מופע} - P \quad [W]$$

$$\text{הספק היגבי תלת-מופע} - Q \quad [VAr]$$

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

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

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

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!