

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:
 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 בבהירות.
 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. בכתבת 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 7 עמודים ו-10 עמודי נספחים.

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

בהצלחה!

השאלות

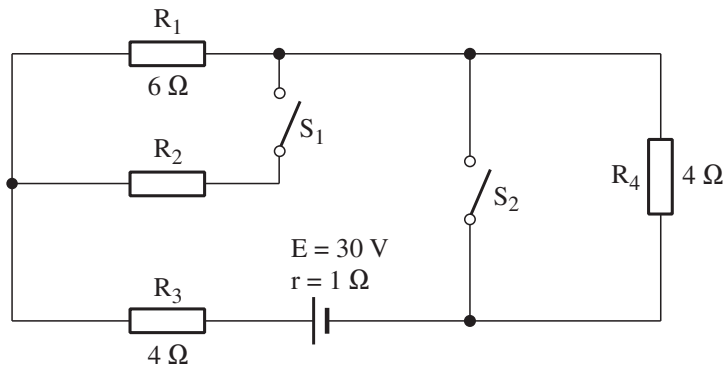
בשאלון זה שני פרקים ובהם תשע שאלות. יש לענות על חמש שאלות בלבד:
שלוש שאלות לפחות מן הפרק הראשון ושאלה אחת לפחות מן הפרק השני.

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.



איור לשאלה 1

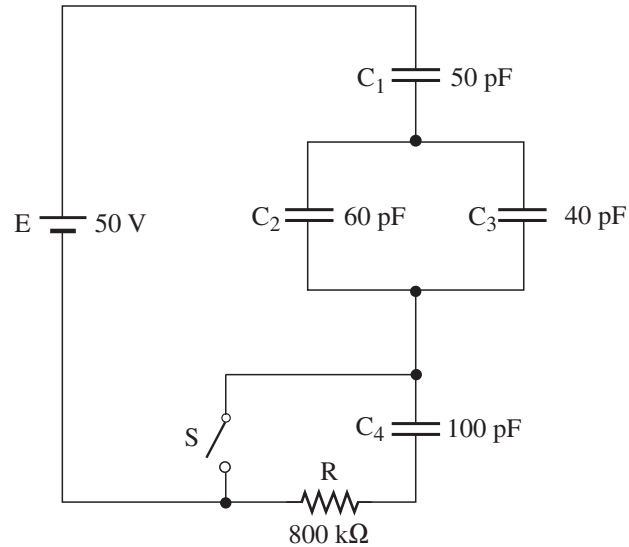
הזרם העובר בנגד R_1 כאשר המפסקים S_1 ו- S_2 פתוחים זהה לזרם העובר דרכו כאשר שני המפסקים סגורים.

חשב את:

- א. הזרם העובר בנגד R_1 כאשר שני המפסקים פתוחים.
 - ב. התנגדות הנגד R_2 (כאשר שני המפסקים סגורים).
 - ג. ההספק הכולל של המעגל:
1. כאשר המפסק S_1 סגור והמפסק S_2 פתוח
 2. כאשר המפסק S_1 פתוח והמפסק S_2 סגור

שאלה 2

באיור לשאלה 2 נתון מעגל חשמלי.

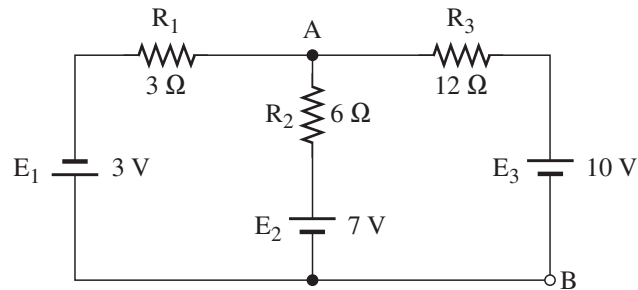


איור לשאלה 2

- 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 מתואר מעגל חשמלי.

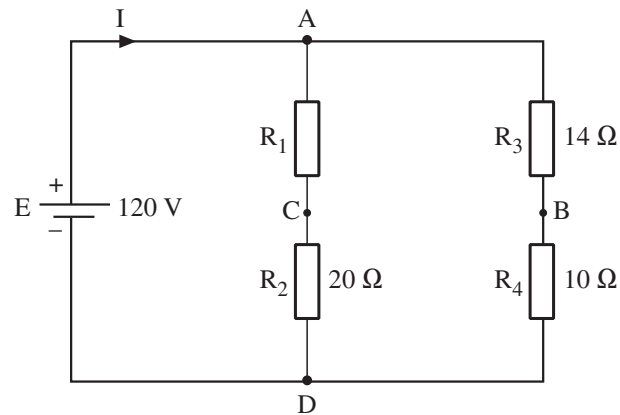


איור לשאלה 3

- חשב את הזרם בכל אחד מן הנגדים במעגל.
- חשב את ההספק בנגד R_2 .
- חשב את המתח בין הנקודות A ו-B במעגל.

שאלה 4

באיור לשאלה 4 נתון מעגל חשמלי.



איור לשאלה 4

א. חשב את המתח בין הנקודות A ו-B.

ב. נתון: $V_{CD} = V_{BD}$.

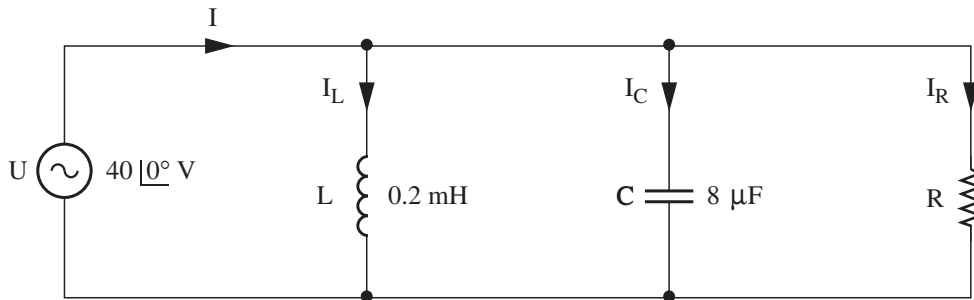
1. חשב את התנגדות הנגד R_1 .

2. חשב את הזרם הכולל I במעגל.

ג. מחליפים את הנגד R_1 בנגד שהתנגדותו 4Ω . חשב את המתח בין הנקודות B ו-C.

שאלה 5

באיור לשאלה 5 נתון מעגל זרם חילופין חד-מופע. התדר הזוויתי של מקור-המתח הוא $\omega = 5 \cdot 10^4 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$, והזרם שהוא מספק הוא $I = 14.42 \angle 56.3^\circ \text{ A}$.



איור לשאלה 5

א. חשב את העכבה השקולה של המעגל, וציין את אופיו (קיבולי או השראותי).

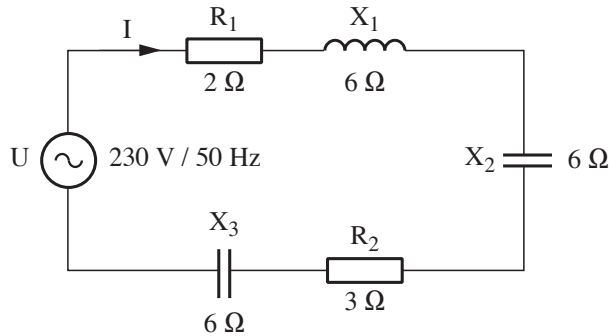
ב. חשב את ההיגב ההשראי ואת ההיגב הקיבולי במעגל.

ג. חשב את התנגדות הנגד R.

ד. סרטט דיאגרמה פאזורית של הזרמים במעגל.

שאלה 6

באיור לשאלה 6 נתון מעגל זרם חילופין.

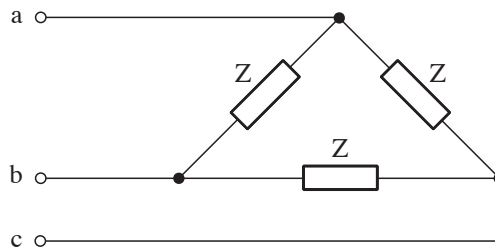


איור לשאלה 6

- חשב את הזרם I .
- חשב את המתח על הנגד R_2 ועל הקבל X_3 .
- מה צריך להיות התדר של מקור המתח U , כדי שהמעגל הזה יהיה במצב תהודה?

שאלה 7

באיור לשאלה 7 מתואר עומס תלת-מופעי סימטרי, המחובר לרשת תלת-מופעית $400 \text{ V} / 50 \text{ Hz}$. העכבה למופע של העומס היא: $Z = (16 + j 12) \Omega$.



איור לשאלה 7

- חשב את הזרם המופעי בכל ענף של העומס ואת הזרם בכל אחד מקווי ההזנה.
- חשב את מקדם ההספק.
- חשב את ההספק הממשי, ההיגבי והמדומה של העומס, וסרטט את משולש ההספקים של העומס.
- מחברים את עכבות העומס בחיבור כוכב. חשב את ההספק הממשי של העומס.

פרק שני: מבוא למערכות בקרה

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

שאלה 8

א. להלן שלוש פעולות יסודיות שמבצעת מכונת כביסה:

1. אספקת מים לתוך המכונה עד לגובה מתאים
 2. חימום המים לטמפרטורה מתאימה
 3. הפסקת הפעולה של מנוע־התוף לפרק־זמן מוגדר
- ציין לגבי כל אחת מן הפעולות האם מערכת הבקרה מבצעת מדידה, השוואה ותיקון. נמק את תשובתך.

ב. הסבר את המושגים:

1. בקרה רציפה
2. בקרה דו־מצבית

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 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

3.

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]	$Z = R + jX$	$ 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!