

מערכות חשמל

על-פי תכנית הרפורמה ללמידה משמעותית

הוראות לנבחן

- א. משך הבחינה: שלוש שעות.
- ב. מבנה השאלון ומפתח ההערכה: בשאלון זה שלושה פרקים, ובהם עשר שאלות. עליך לענות על שתי שאלות מהפרק הראשון. על שתי שאלות מהפרק השני ועל שאלה אחת מהפרק השלישי. לכול 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. בכתיבת פתרונות חישוביים, קבלת מִרְב הנקודות מותנית בהשלמת כל המהלכים שלהן, 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.

כתוב במחברת הבחינה בלבד, בעמודים נפרדים, כל מה שברצונך לכתוב כטייטה (ראשי פרקים, חישובים וכדומה).
רשום "טייטה" בראש כל עמוד טייטה. רישום טייטות כלשהן על דפים שמחוץ למחברת הבחינה עלול לגרום לפסילת הבחינה!

בשאלון זה 10 עמודים ו-9 עמודי נספח.

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

השאלות

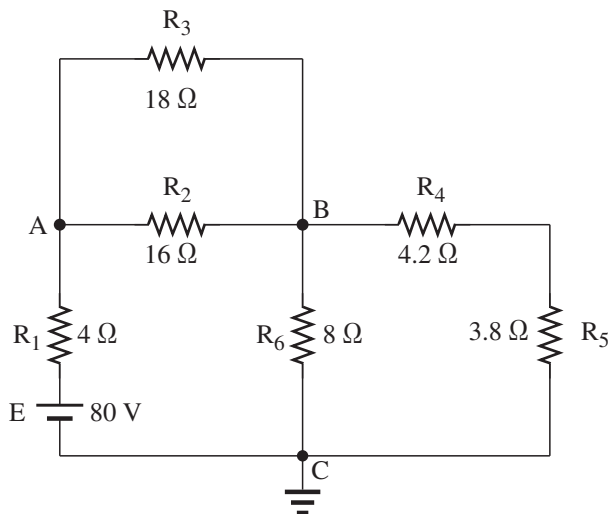
בשאלון זה שלושה פרקים, ובהם עשר שאלות. עליך לענות על שתי שאלות מהפרק הראשון, על שתי שאלות מהפרק השני ועל שאלה אחת מהפרק השלישי. לכל שאלה – 20 נקודות. סך-הכול – 100 נקודות.

פרק ראשון (40 נקודות)

ענה על שתיים מבין השאלות 1–4 (לכל שאלה – 20 נקודות).

שאלה 1

באיור לשאלה 1 נתון מעגל חשמלי לזרם ישר. הנקודה C מחוברת לפוטנציאל אפס (אדמה).



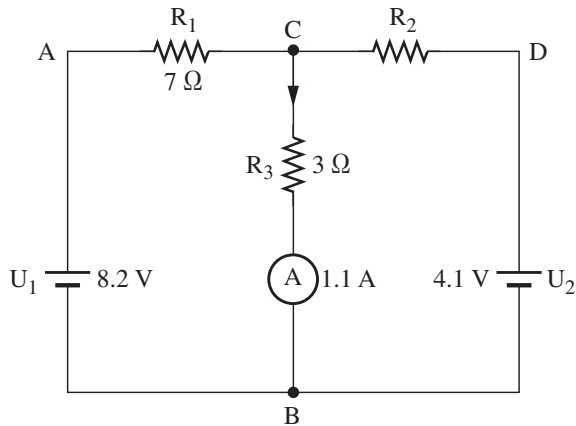
איור לשאלה 1

- א. חשב את ההתנגדות השקולה של המעגל.
- ב. חשב את הזרם הזורם דרך הנגד R_1 .
- ג. חשב את ההספק בנגד R_6 .
- ד. רוצים למדוד את הזרם הזורם דרך הנגד R_1 באמצעות מכשיר מדידה מתאים. העתק למחברתך את המעגל הנתון באיור **והצג במקום המתאים את סימולו של מכשיר המדידה.**

שאלה 2

באיור לשאלה 2 נתון מעגל חשמלי לזרם ישר.

למעגל מחובר אמפרמטר.

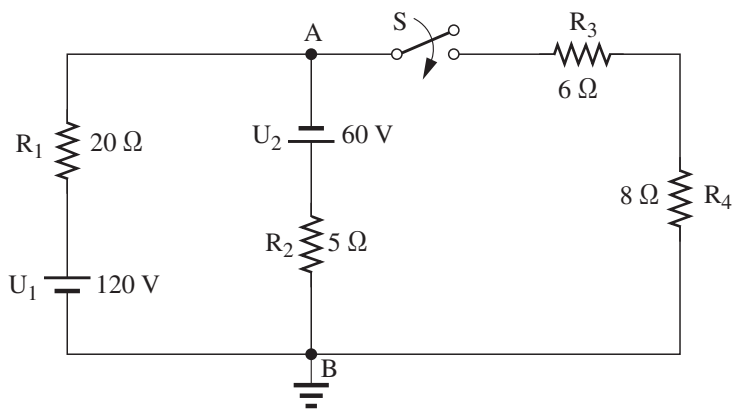


איור לשאלה 2

- א. חשב את המתח על הנגד R_3 .
- ב. חשב את ההתנגדות של הנגד R_2 .
- ג. 1. בין הנקודות A ו-D מחברים וולטמטר. מה תהיה קריאתו? הצג תשובתך באמצעות חישוב.
2. משנים את התנגדותו של הנגד R_1 ל- 10Ω . האם קריאת הוולטמטר שחובר בין הנקודות A ו-D תשתנה? נמק את תשובתך.

שאלה 3

באיור לשאלה 3 נתון מעגל חשמלי לזרם ישר.
הנקודה B מחוברת לפוטנציאל אפס (אדמה).



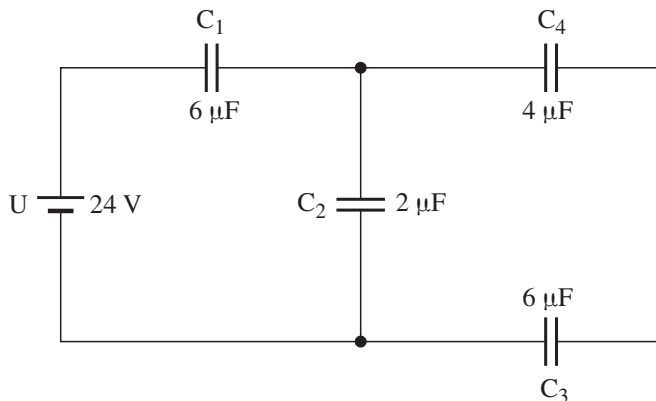
איור לשאלה 3

המפסק S פתוח.

- א. חשב את הזרם הזורם דרך הנגד R_2 .
- ב. חשב את הפרש הפוטנציאלים בין הנקודות A ו-B.
- ג. רשום את משוואת זרמי החוגים של המעגל.
- ד. חשב את הזרמים במעגל.

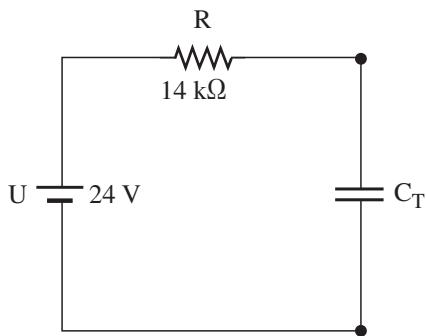
שאלה 4

באיור לשאלה 4 נתון מעגל חשמלי לזרם ישר.



איור א' לשאלה 4

- א. חשב את הקיבול השקול של המעגל.
ב. חשב את המטען של הקבל C_2 .
באיור ב' לשאלה נתון מעגל הכולל קבל, שקיבולו זהה לקיבול השקול שחישבת בתשובתך לסעיף א'.



איור ב' לשאלה 4

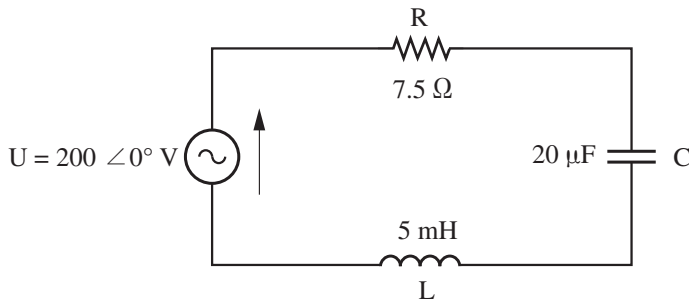
- ג. חשב את קבוע הזמן של המעגל.
ד. סרטט במחברתך אופיין של המתח על-פני הקבל C_T כפונקצייה של הזמן.

פרק שני (40 נקודות)

ענה על שתיים מבין השאלות 5-8 (לכל שאלה – 20 נקודות).

שאלה 5

באיור לשאלה 5 נתון מעגל חשמלי לזרם חילופין. תדר המקור הוא: $f = 400 \text{ Hz}$.



איור לשאלה 5

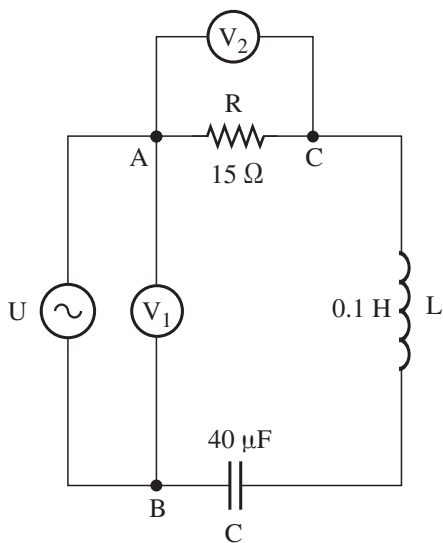
- א.** 1. חשב את היגב הסליל ואת היגב הקבל.
2. חשב את העכבה השקולה של המעגל.
- ב.** חשב את הזרם במעגל.
- ג.** 1. חשב את ההספק הפעיל, את ההספק ההיגבי ואת ההספק המדומה של המעגל.
2. סרטט במחברתך את משולש ההספקים של המעגל. הצג על-גבי הסרטוט את הערכים של ההספקים שחישבת בתשובתך לסעיף ג' 1.

שאלה 6

באיור לשאלה 6 נתון מעגל חשמלי לזרם חילופין.

ערכו של מתח המקור הוא $U = 30 \angle 0^\circ \text{ V}$ וערכו של התדר הזוויתי הוא: $\omega = 500 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$.

בין הנקודות A ו-B ובין הנקודות A ו-C מחוברים מכשירי מדידה מסוג וולטמטר.



איור לשאלה 6

- א. חשב את היגב המשרן ואת היגב הקבל, וקבע אם המעגל נמצא בתהודה. נמק את קביעתך.
- ב. חשב את הזרם הזורם במעגל.
- ג. מה תהיה הקריאה של כל אחד ממכשירי המדידה המחוברים למעגל? הצג תשובתך באמצעות חישוב.
- ד. חשב את גורם הטיב של המעגל.

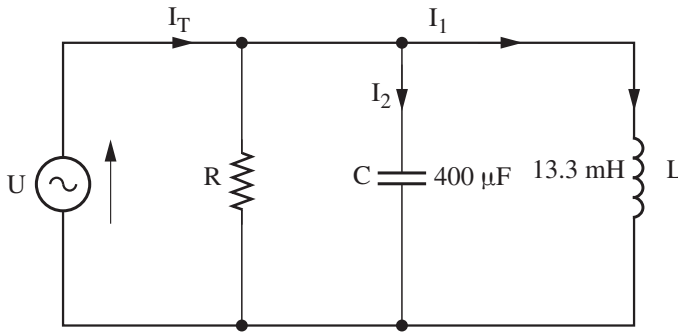
שאלה 7

באיור לשאלה 7 נתון מעגל חשמלי לזרם חלופין.

נתונים:

$$U = 50 \angle 0^\circ \text{ V} \quad -$$

$$\omega = 600 \frac{\text{rad}}{\text{sec}} \quad -$$



איור לשאלה 7

- א. חשב את היגב המשרן ואת היגב הקבל.
- ב. חשב את עכבת המעגל וקבע את אופי המעגל.
- ג. חשב את הזרמים I_1 , I_2 ו- I_T במעגל.

שאלה 8

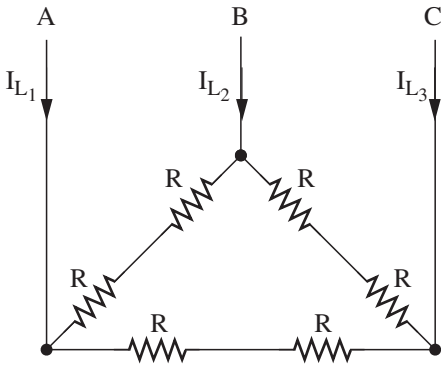
באיור לשאלה 8 נתונות שלוש צורות חיבור של נגדים לרשת תלת-מופעית סימטרית.

נתונים:

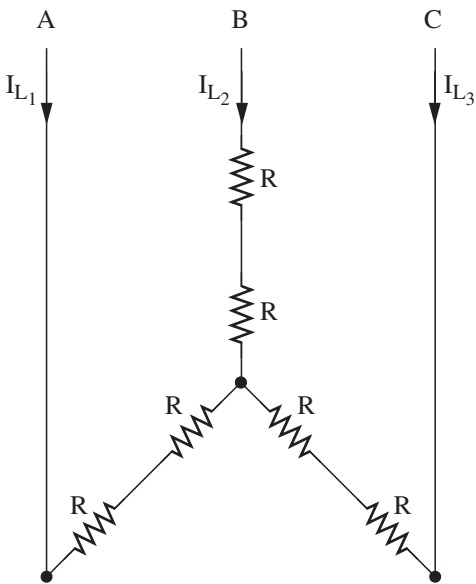
$$R = 15 \Omega$$

$$U = 400 / 230 \text{ V}$$

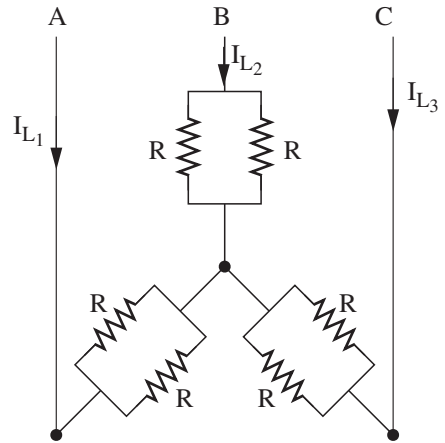
$$f = 50 \text{ Hz}$$



חיבור א'



חיבור ב'



חיבור ג'

איור לשאלה 8

א. חשב את הזרמים הקווים I_{L1} , I_{L2} ו- I_{L3} בכל אחת מצורות החיבור המוצגות באיור.

ב. חשב את ההספק הכולל בכל אחת מצורות החיבור הנ"ל.

פרק שלישי: מערכות ספרתיות (20 נקודות)

ענה על אחת מבין השאלות 9-10 (לכל שאלה – 20 נקודות).

שאלה 9

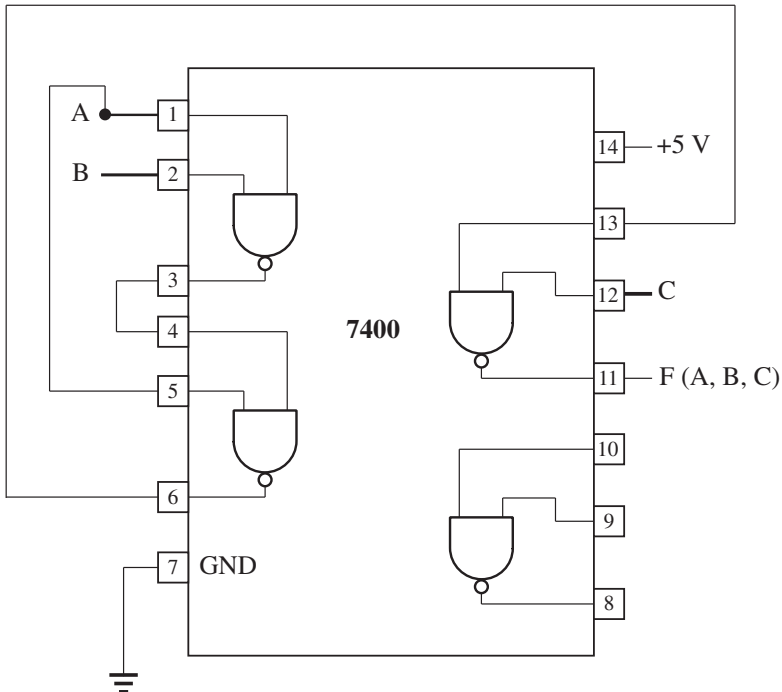
נתונה הפונקצייה הבינארית הזאת: $F(A, B, C) = \overline{A \cdot B} \cdot (A + C) + \overline{A} \cdot B \cdot (A + B + C)$

א. פשט את הפונקצייה F, ובטא אותה במינימום משתנים (ליטרלים).

ב. ממש את הפונקצייה המפושטת על-ידי שערים לוגיים.

שאלה 10

בשאלה 10 נתון הרכיב 7400 הכולל ארבעה שערים מסוג NAND.



איור לשאלה 10

א. מצא את הפונקצייה המתקבלת במוצא F.

ב. רשום טבלת אמת, שבה עבור כל צירוף בכניסה יופיע הערך של הפונקצייה F.

בהצלחה!

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

נוסחאון במערכות חשמל (9 עמודים)

(הגדלים בנוסחאון מופיעים ביחידות SI)

א. תורת החשמל

1. זרם ישר

התנגדות ומוליכות

$$R \quad [\Omega] \quad - \quad \text{התנגדות}$$

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

$$\ell \quad [\text{m}] \quad - \quad \text{אורך המוליך}$$

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

$$G \quad [\text{S}] \quad - \quad \text{מוליכות}$$

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

השפעת הטמפרטורה על ההתנגדות

$$R_T \quad [\Omega] \quad - \quad \text{התנגדות המוליך}$$

בטמפרטורה T

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

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

בטמפרטורה T

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

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

$$T_2 \quad [^\circ\text{C}] \quad - \quad \text{הטמפרטורה הסופית של}$$

המוליך

$$T_1 \quad [^\circ\text{C}] \quad - \quad \text{הטמפרטורה ההתחלתית}$$

של המוליך

זרם חשמלי

- זרם - I [A]
- מטען - Q [C]
- זמן - t [sec]
- צפיפות הזרם - J [A / m²]
- שטח החתך - A [m²]

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

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

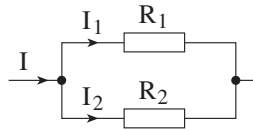
קיבול של סוללה

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

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

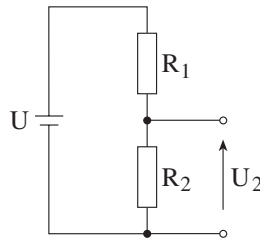
מחלק זרם

$$I_1 = I \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$



מחלק מתח

$$U_2 = U \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$



הספק בזרם ישר

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

$$P = UI$$

$$P = I^2 R$$

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

אנרגייה בזרם ישר

אנרגייה	-	W	[W · sec או J]
זמן	-	t	[sec]

$$W = P \cdot t$$

כא"מ של מקור מתח

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

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

חיבור מעורב של n · m תאים זהים

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

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

התנאי להעברת הספק מרבי לצרכן:

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

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

2. אלקטרוסטטיקה

שדה חשמלי

- e [C] מטען אלקטרון
- E [N / C] עוצמת שדה חשמלי
- F [N] כוח
- q [C] מטען
- r [m] מרחק בין מטענים
- ε [F / m] קבוע דיאלקטרי
- ε₀ [F / m] קבוע דיאלקטרי של הריק
- ε_r קבוע דיאלקטרי יחסי

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

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

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

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

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

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

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

קבל

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]
האנרגייה האגורה בקבל	- W	[W · sec או J]

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

$$W = \frac{1}{2} \cdot CU^2$$

3. מגנטיות ואלקטרומגנטיות

עוצמת השדה המגנטי במרחק r ממוליך	- H	$\left[\frac{A}{m} \right]$
זרם	- I	[A]
מרחק מהמוליך	- r	[m]
עוצמת השדה המגנטי במעגל מגנטי	- H	$\left[\frac{AT}{m} \right]$
מספר כריכות	- N	
כוח מגנטו-מניע	- N·I	[AT]
אורך המסלול המגנטי	- ℓ	[m]
שטף מגנטי	- Φ	[V · sec או Wb]
מיאון (התנגדות מגנטית)	- R _m	$\left[\frac{AT}{Wb} \right]$
שטח החתך	- A	[m ²]
השדה המגנטי	- B	$\left[\frac{Wb}{m^2} \text{ או } T \right]$
חדירות (חלחלות)	- μ	$\left[\frac{\Omega \text{ sec}}{m} \right]$
חדירות (חלחלות) יחסית	- μ _r	
חדירות (חלחלות) האוויר	- μ _o	$\left[\frac{\Omega \text{ sec}}{m} \right]$

$$H = \frac{I}{2\pi r}$$

$$\Sigma N \cdot I = \Sigma H \cdot \ell$$

$$H = \frac{N \cdot I}{\ell}$$

$$\Phi = \frac{N \cdot I}{R_m}$$

$$B = \mu \cdot H \quad B = \frac{\Phi}{A}$$

$$R_m = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{\ell}{A}$$

$$\mu = \mu_o \cdot \mu_r$$

$$\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7}$$

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 - תנופת המתח	-	U_{\max}	[V]	
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	$\left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$	
תדירות	-	f	[Hz, $\frac{\text{cycles}}{\text{sec}}$]	$\omega = 2\pi f$
היגב השראותי	-	X_L	[Ω]	
היגב קיבולי	-	X_C	[Ω]	$X_L = \omega L$ $X_C = \frac{1}{\omega C}$
<u>מעגל RLC</u>				
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 $\left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}}\right]$
- התנגדות - R $[\Omega]$
- 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 [$^\circ$, rad]

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

$$P = S \cos \varphi$$

$$Q = S \sin \varphi$$

$$S = P \pm jQ$$

שיפור מקדם ההספק

- קיבול - C [F]
- זווית מופע אחרי השיפור - φ_2 [$^\circ$, rad]
- זווית מופע לפני השיפור - φ_1 [$^\circ$, rad]

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

6. רשתות תלת-מופעיות

כוכב סימטרי

- זרם קווי - I_L [A]
- זרם מופעי - I_{ph} [A]
- מתח שלוב (קווי) - U_L [V]
- מתח מופעי - U_{ph} [V]

$$I_L = I_{ph}$$

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

משולש סימטרי

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

$$U_L = U_{ph}$$

הספק תלת-מופע

- הספק מדומה תלת-מופע - S [VA]
- הספק פעיל תלת-מופע - P [W]
- הספק היגבי תלת-מופע - Q [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

$$U_R = U \begin{matrix} | \\ 0^\circ \end{matrix}$$

$$U_S = U \begin{matrix} | \\ -120^\circ \end{matrix}$$

$$U_T = U \begin{matrix} | \\ -240^\circ \end{matrix}$$

ב. מיתוג ומערכות ספרתיות

כללי דה־מורגן

$$\overline{X_1 + X_2 + X_3} = \overline{X_1} \cdot \overline{X_2} \cdot \overline{X_3}$$

משתנים בוליאניים - X_1, X_2, X_3

$$\overline{\overline{X_1} \cdot \overline{X_2} \cdot \overline{X_3}} = \overline{\overline{X_1}} + \overline{\overline{X_2}} + \overline{\overline{X_3}}$$

מבנה מפת קרנו לשלושה משתנים

		A				
	C	AB	00	01	11	10
	0					
{	1					
		B				

בהצלחה!