

סוג הבחינה: גמר לבתי-ספר לטכנאים ולהנדסאים

מועד הבחינה: אביב תשע"ז, 2017

סמל השאלון: 733003

נספחים: א. נספח לשאלה 8

ב. נוסחאון במערכות חשמל

לכיתה י"ד

ג. נוסחאון באלקטרוניקה ב'

לכיתה י"ד

ד. מילון מונחים

## חשמל ואלקטרוניקה ה'

מגמת הנדסת חשמל, בקרה ואנרגיה

(כיתה י"ד)

### הוראות לנבחן

א. משך הבחינה: ארבע שעות.

ב. מבנה השאלון ומפתח ההערכה: בשאלון זה שני פרקים, ובהם שמונה שאלות. יש להשיב על ארבע שאלות בלבד, שאלה אחת לפחות מכל פרק.

לכל שאלה – 25 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 בבהירות.

5. כתוב את תשובותיך בכתב-יד ברור, כדי לאפשר הערכה נאותה של תשובותיך.

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, יחד עם יחידות המידה המתאימות.

\* ליווי הפתרון החישובי בהסבר קצר.

8. לנוחותך, לשאלון זה מצורף מילון מונחים בשפות עברית, ערבית, אנגלית ורוסית. תוכל להיעזר בו בעת הצורך.

בשאלון זה 10 עמודים ו-26 עמודי נספחים.

◀ המשך מעבר לדף

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

## השאלות

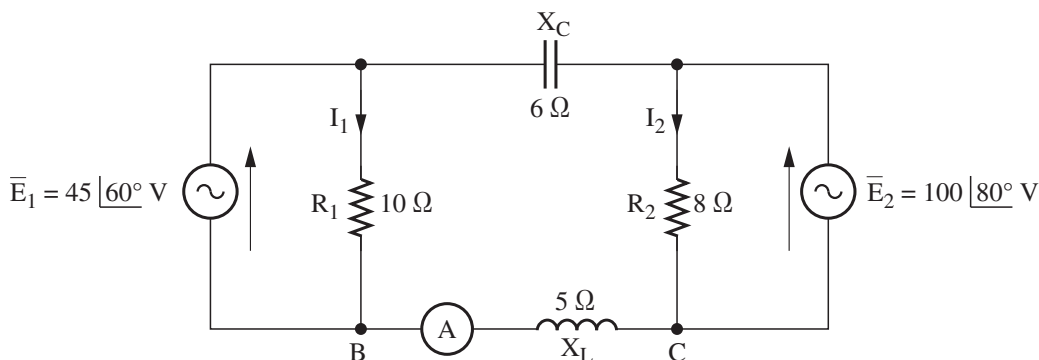
בשאלון זה שני פרקים, ובהם שמונה שאלות. יש להשיב על ארבע שאלות בלבד, שאלה אחת לפחות מכל פרק.  
לכל שאלה – 25 נקודות. סך-הכול – 100 נקודות.

### פרק ראשון: מערכות חשמל

ענה על שאלה אחת לפחות מבין השאלות 1-4 (לכל שאלה – 25 נקודות)

#### שאלה 1

באיור לשאלה 1 נתון מעגל חשמלי לזרם חילופין. בענף שבין הנקודות B ו-C מחובר מכשיר מדידה מסוג אמפרמטר.

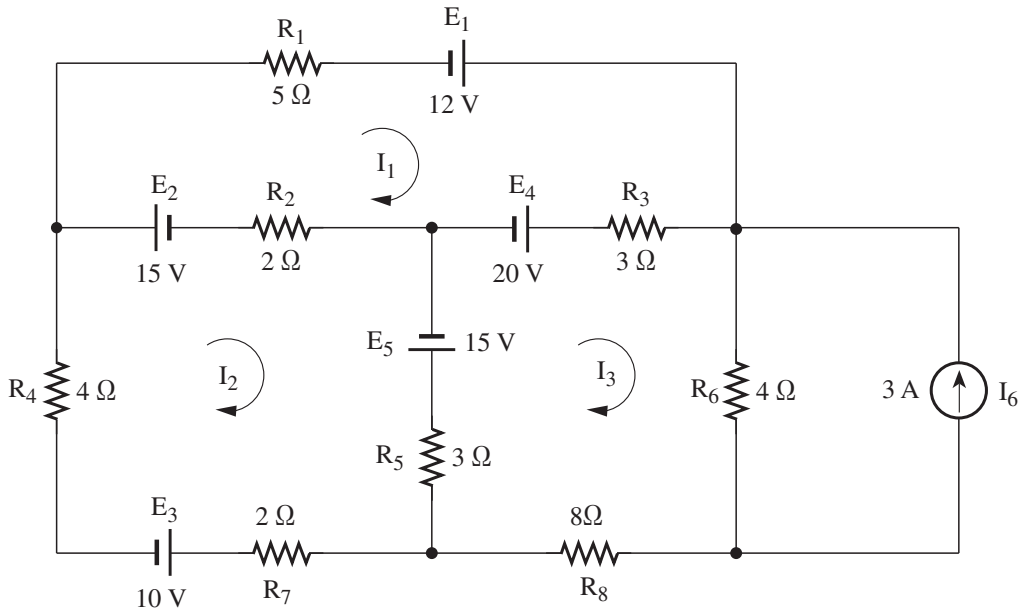


איור לשאלה 1

- א. חשב את הזרמים  $I_1$  ו- $I_2$ .
- ב. חשב את הזרם הזורם דרך האמפרמטר.
- ג. 1. חשב את ההספק הפעיל ואת ההספק ההיגבי הנמסרים למעגל על-ידי כל אחד ממקורות המתח.  
2. סרטט את משולש ההספקים של המעגל.

## שאלה 2

באיור לשאלה 2 נתון מעגל חשמלי לזרם ישר.



### איור לשאלה 2

- א. רשום את משוואות הרשת לפי שיטת זרמי החוגים. בתשובתך התבסס על סימון זרמי החוגים כמתואר באיור.
- ב. רשום ייצוג מטריציאלי של המשוואות שכתבת בסעיף א'.
- ג. חשב את זרמי החוגים  $I_1$ ,  $I_2$  ו-  $I_3$  באמצעות דטרמיננטים.
- ד. חשב את ההספק המתפתח על הנגד  $R_6$ .

### שאלה 3

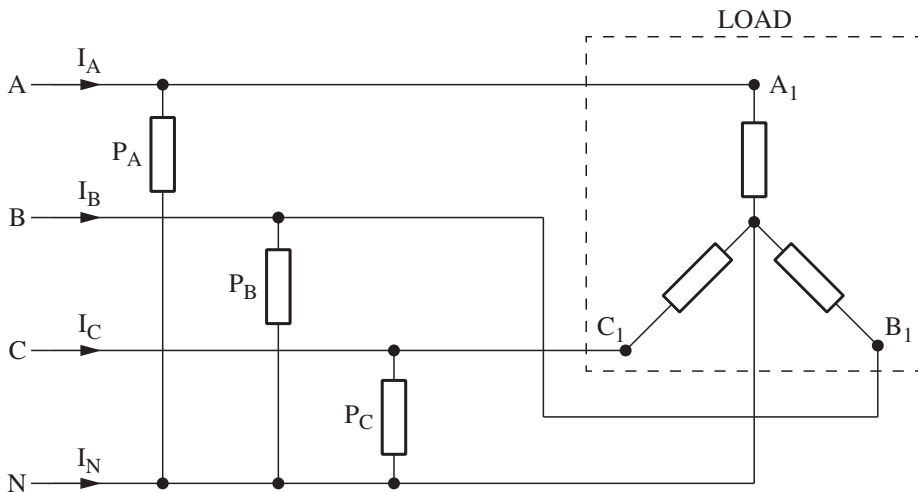
באיור לשאלה 3 מתוארת רשת תלת-מופעית המוזנת במתח שלוב של 400 V. אל הרשת מחוברים שלושה עומסים התנגדתיים וכן עומס תלת-מופעי סימטרי המחובר בחיבור כוכב.

נתוני העומס התלת-מופעי הם:  $P_{LOAD} = 30 \text{ kW}$ ,  $\cos\phi = 0.866$  השראותי,

$P_A = 10 \text{ kW}$  נתוני העומסים ההתנגדתיים הם:

$P_B = 15 \text{ kW}$

$P_C = 20 \text{ kW}$



איור לשאלה 3

- א. חשב את הזרמים הקווים  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$ .
- ב. חשב את הזרם הזורם דרך מוליך האפס,  $I_N$ .
- ג. סרטט במחברתך דיאגרמה פאזורית של הזרמים  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$ ,  $I_N$ .
- ד. חשב את ההספקים – הפעיל, ההיגבי והמדומה – הכוללים הנצרכים עלידי העומסים.
- ה. סרטט במחברתך את משולש ההספקים של המעגל.

#### שאלה 4

מעגל RLC טורי נמצא במצב תהודה.

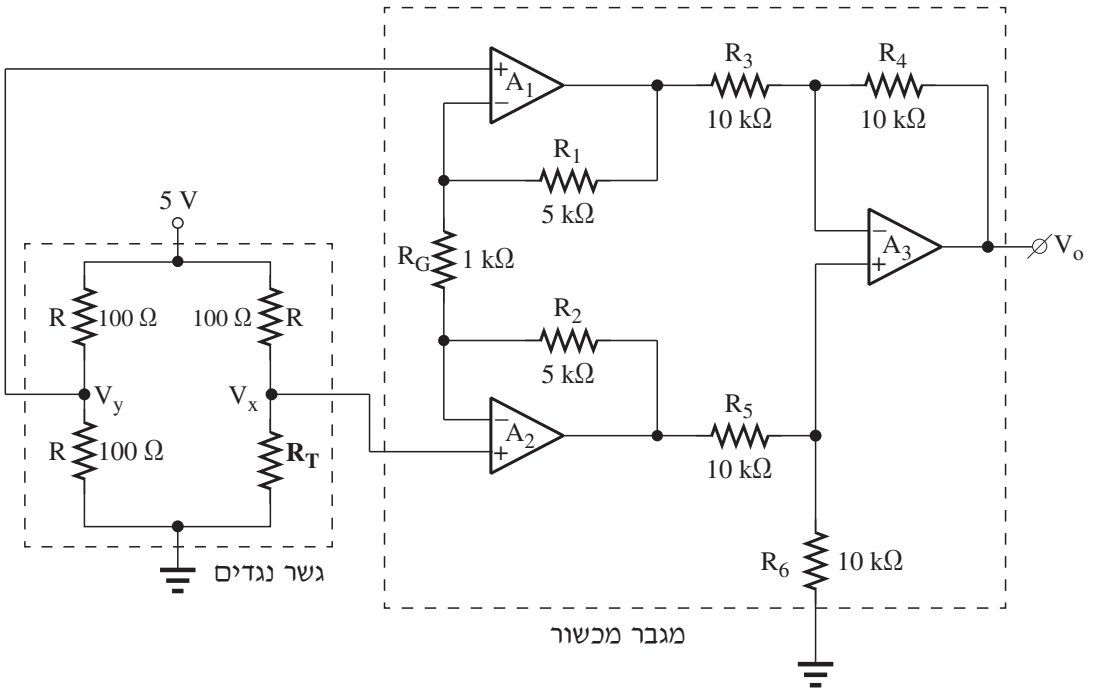
- תדר התהודה הוא  $f_0 = 100 \text{ kHz}$  וגורם הטיב של המעגל הוא  $Q_0 = 5.1$ .
- ההספק המתפתח על הנגד הוא  $100 \text{ W}$  והזרם הזורם דרכו הוא  $0.8 \text{ A}$ .
- א.** חשב את התנגדות הנגד  $R$ , את השראות הסליל  $L$  ואת קיבול הקבל  $C$ .
- ב.** חשב את רוחב הפס של המעגל.
- ג.** חשב את תדרי מחצית ההספק במצב תהודה.

**פרק שני: אלקטרוניקה ב'**

ענה על שאלה אחת לפחות מבין השאלות 5-8 (לכל שאלה – 25 נקודות)

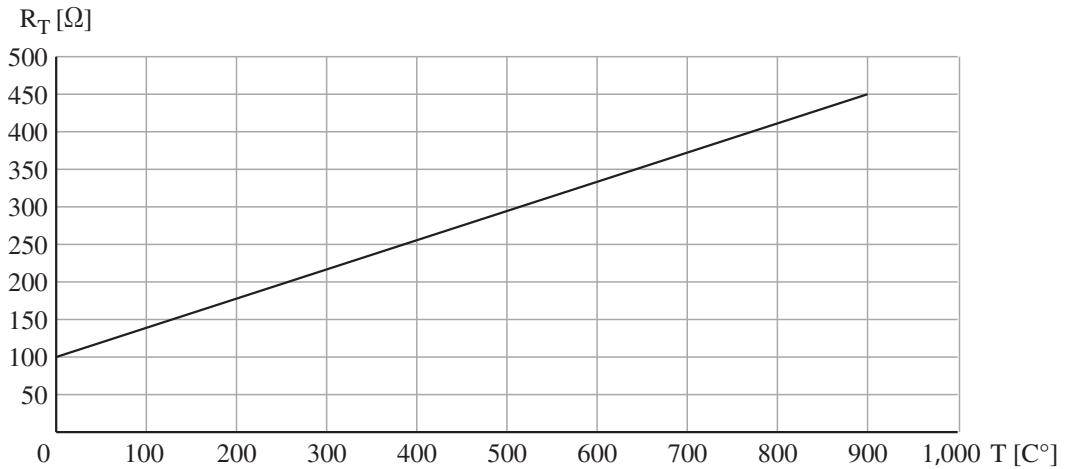
**שאלה 5**

באיור א' לשאלה 5 נתון מעגל חשמלי הכולל מגבר מכשור, גשר נגדים ותרמיסטור שהתנגדותו,  $R_T$ , תלויה בטמפרטורה.



איור א' לשאלה 5

באיור ב' לשאלה מתוארת התנגדות התרמיסטור  $R_T$  כפונקצייה של הטמפרטורה.

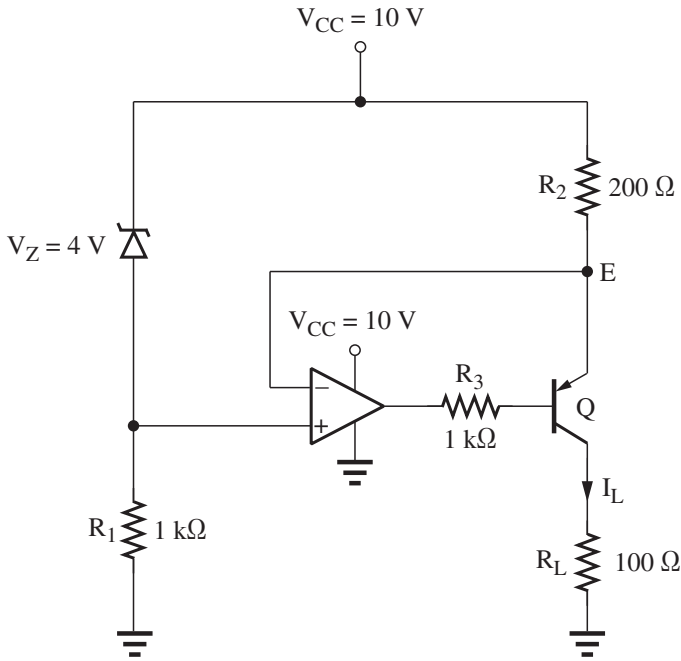


#### איור ב' לשאלה 5

- א. 1. חשב את המתחים  $V_x$  ו- $V_y$  בטמפרטורה של  $0^\circ\text{C}$ .
2. חשב את מתח המוצא  $V_o$  בטמפרטורה של  $0^\circ\text{C}$ .
- ב. 3. חשב את מתח המוצא  $V_o$  בטמפרטורה של  $400^\circ\text{C}$ .

### שאלה 6

באיור לשאלה 6 נתון מעגל חשמלי הכולל מגבר שרת אידיאלי. המעגל משמש כמקור זרם לעומס  $R_L$ . נתוני הטרנזיסטור Q הם:  $V_{EC_{SAT}} = 0 \text{ V}$ ,  $V_{EB} = 0.7 \text{ V}$ ,  $\beta = 30$



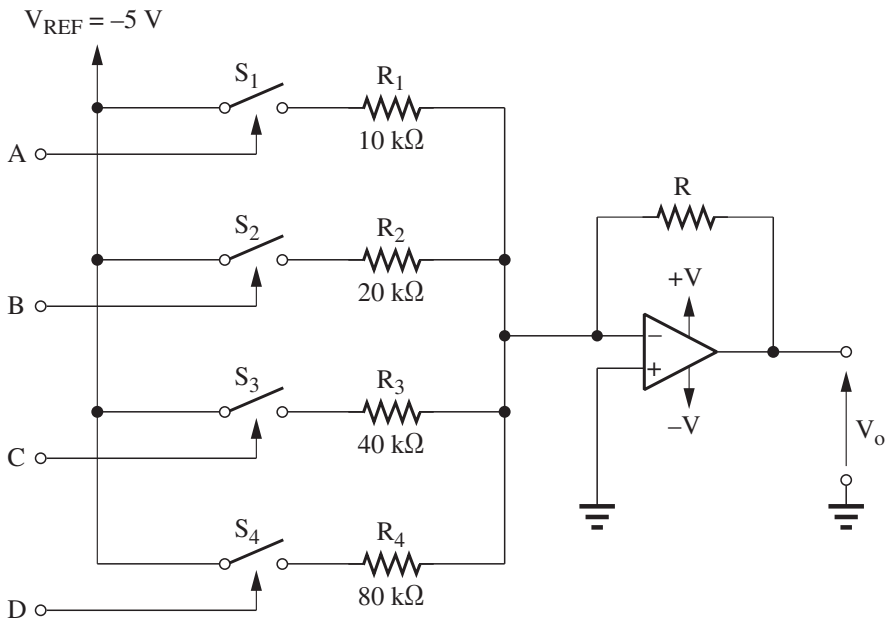
איור לשאלה 6

- א. חשב את המתח בנקודה E.
- ב. חשב את הזרם  $I_L$  דרך הנגד  $R_L$ .
- ג. חשב את ההתנגדות המרבית של נגד העומס,  $R_L$ , שניתן לחבר למעגל זה כך שעדיין ישמש כמקור זרם.



## שאלה 7

באיור לשאלה 7 נתון מעגל חשמלי של ממיר D/A בגודל 4 סיביות.  
הם המבואות של הממיר. A, B, C, D

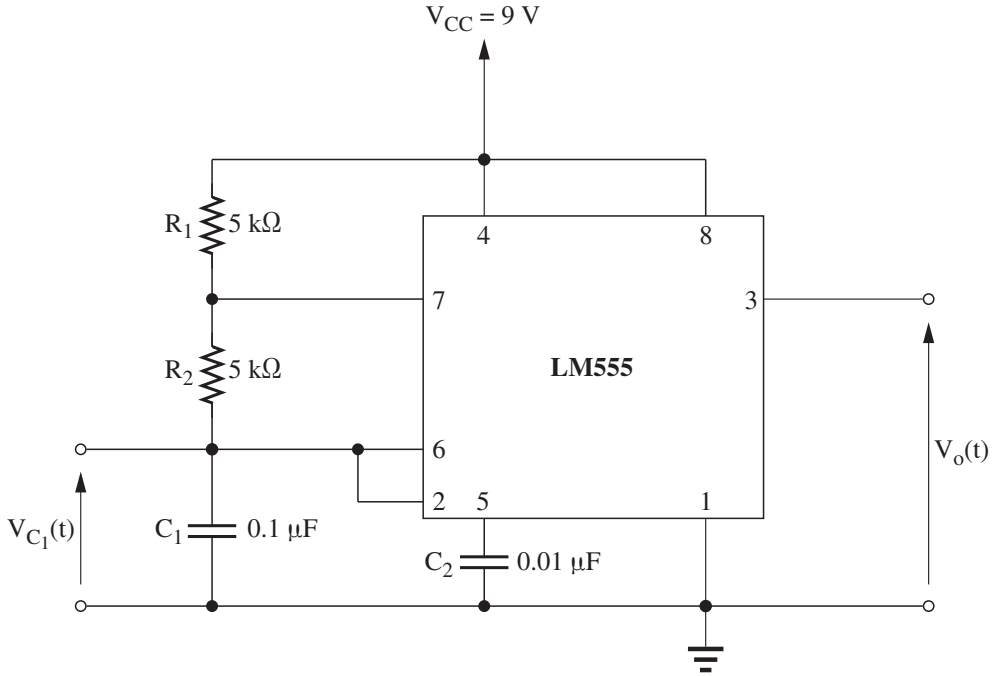


איור לשאלה 7

- א. ציין איזה מבוא, מבין המבואות A, B, C, או D, הוא בעל הסיבית הפחות משמעותית (LSB).
- ב. חשב את ההתנגדות של הנגד R, הדרושה לקבלת הבחנה (רזולוציה) של 0.5 V.
- ג. חשב את מתח המוצא,  $V_o$ , שיתקבל עבור הצירוף ABCD = 1100.

## שאלה 8

באיור לשאלה 8 נתון מעגל רב-רטט חופשי, הממומש באמצעות הרכיב LM555.  
נתוני הרכיב מוצגים בנספח לשאלה זו.



איור לשאלה 8

- א. 1. סרטט, זו מתחת לזו בהתאמה, את צורת המתח  $V_{C_1}(t)$  על הקבל  $C_1$  ואת צורת מתח המוצא  $V_o(t)$ , כפונקצייה של הזמן.
2. ציין בסרטוטך את הערך המרבי ואת הערך המזערי של:
  - I. המתח  $V_{C_1}(t)$ .
  - II. המתח  $V_o(t)$ .
- ב. חשב את תדר התנודות ואת מחזור הפעולה (duty cycle) של מתח המוצא  $V_o(t)$ .
- ג. מעוניינים להגדיל את תדר המוצא פי 10 בלי לשנות את מחזור הפעולה. הצע דרך לעשות זאת.

**בהצלחה!**



---

מקום למציאת נבחן

אין להעביר את הנוסחאון  
לנבחן אחר

## נוסחאון במערכות חשמל לכיתה י"ד

(17 עמודים)

(הגדלים בנוסחאון מופיעים ביחידות SI)

### 1. מקור מתח ומקור זרם

כא"מ של מקור מתח

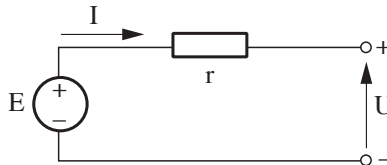
$$E = U + I \cdot r$$

הכא"מ - E [V]

מתח ההדקים - U [V]

התנגדות פנימית - r [Ω]

זרם - I [A]

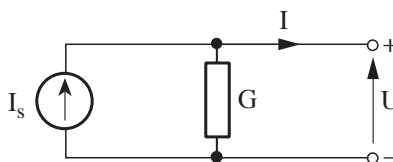


זרם של מקור זרם

$$I_s = I + G \cdot U$$

זרם המקור -  $I_s$  [A]

מוליכות פנימית של מקור זרם - G [S]



**2. אלקטרוסטטיקה**

שדה חשמלי ופוטנציאל חשמלי

פוטנציאל חשמלי	- U	[V]	$U = \frac{k \cdot q}{r} = \frac{W}{q}$
אנרגיה פוטנציאלית חשמלית	- W	[W · sec או J]	
עוצמת השדה החשמלי	- E	[V / m]	$E = \frac{k \cdot q}{r^2} = \frac{U}{r}$
קבוע	- k	$\left[ \frac{V \cdot m}{C} \right]$	$k = 9 \cdot 10^9$
מטען	- q	[C]	$1 C = 6.24 \cdot 10^{18} e$
מרחק מהמטען	- r	[m]	
מטען האלקטרון	- e	[C]	

קבל לוחות

קבוע דיאלקטרי של החומר	- ε	[F / m]	$\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi \cdot 10^9} = 8.85 \cdot 10^{-12}$
קבוע דיאלקטרי של הריק	- ε <sub>0</sub>	[F / m]	
קבוע דיאלקטרי יחסי	- ε <sub>r</sub>		$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$
קיבול הקבל	- C	[F]	$C = \frac{\epsilon A}{d} \quad C = \frac{Q}{U}$
המתח על הקבל	- U	[V]	
מטען הקבל	- Q	[C]	$W = \frac{1}{2} \cdot C U^2$
המרחק בין לוחות הקבל	- d	[m]	
שטח החתך של לוחות הקבל	- A	[m <sup>2</sup> ]	
האנרגיה החשמלית האגורה בקבל	- W	[W · sec או J]	

**3. מגנטיות ואלקטרומגנטיות**

<p>השראה מגנטית (שדה מגנטי)</p>	<p>- B <math>\left[ \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2} \right]</math></p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> <math>B = \frac{\Phi}{A}</math> </div>
<p>שטח חתך</p>	<p>- A <math>[\text{m}^2]</math></p>	
<p>שטף מגנטי</p>	<p>- <math>\Phi</math> [V · sec או Wb]</p>	
<p>כא"מ מושרה</p>	<p>- E [V]</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> <math>E = -N \frac{d\Phi}{dt}</math> </div>
<p>מספר כריכות הסליל</p>	<p>- N</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> <math>L = N \frac{d\Phi}{dI}</math> </div>
<p>השראות עצמית של הסליל</p>	<p>- L [H]</p>	
<p>השראות הדדית</p>	<p>- M* [H]</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> <math>E = -L \frac{dI}{dt}</math> </div>
<p>מקדם הצימוד</p>	<p>- k</p>	
<p>האנרגיה המגנטית האגורה בסליל</p>	<p>- W [W · sec או J]</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> <math>L = \frac{N^2}{R_m}</math> </div>
		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> <math>M^* = k\sqrt{L_1 L_2}</math> </div>
		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> <math>W = \frac{1}{2} LI^2</math> </div>

**4. רכיבים פסיביים ליניאריים**

סליל

<p>מתח רגעי על הסליל - <math>u_L(t)</math> [V]</p> <p>שינוי זרם בסליל - <math>\frac{di_L(t)}{dt}</math></p> <p>השראות הסליל - L [H]</p> <p>זרם רגעי בסליל - <math>i_L(t)</math> [A]</p> <p>זרם התחלתי בסליל - <math>I_{L0}</math> [A]</p> <p>הספק רגעי בסליל - <math>p_L(t)</math> [W]</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin-bottom: 10px;"> <math display="block">u_L(t) = L \cdot \frac{di_L(t)}{dt}</math> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin-bottom: 10px;"> <math display="block">i_L(t) = \frac{1}{L} \int_{t_0}^t u_L(t) dt + I_{L0}</math> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin-bottom: 10px;"> <math display="block">p_L(t) = L \cdot i_L(t) \cdot \frac{di_L(t)}{dt}</math> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> <math display="block">p_L(t) = u_L(t) \left( \frac{1}{L} \int_{t_0}^t u_L(t) dt + I_{L0} \right)</math> </div>
--	---

קבל

<p>זרם רגעי בקבל - <math>i_C(t)</math> [A]</p> <p>שינוי מתח בקבל - <math>\frac{du_C(t)}{dt}</math></p> <p>קיבול הקבל - C [F]</p> <p>מתח רגעי על הקבל - <math>u_C(t)</math> [V]</p> <p>מתח התחלתי על הקבל - <math>U_{C0}</math> [V]</p> <p>הספק רגעי בקבל - <math>p_C(t)</math> [W]</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin-bottom: 10px;"> <math display="block">i_C(t) = C \cdot \frac{du_C(t)}{dt}</math> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin-bottom: 10px;"> <math display="block">u_C(t) = \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i_C(t) dt + U_{C0}</math> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin-bottom: 10px;"> <math display="block">p_C(t) = C \cdot u_C(t) \cdot \frac{du_C(t)}{dt}</math> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> <math display="block">p_C(t) = i_C(t) \left( \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i_C(t) dt + U_{C0} \right)</math> </div>
--	---



**5. תופעות מעבר**

מעגל RC

מתח על הקבל	-	$u_C(t)$	[V]	$u_C(t) = U_{C\infty} - (U_{C\infty} - U_{C0}) e^{-\frac{t}{\tau}}$
מתח סופי (עבור $t \rightarrow \infty$ ) על הקבל	-	$U_{C\infty}$	[V]	
מתח התחלתי על הקבל	-	$U_{C0}$	[V]	$\tau = RC$
זמן	-	$t$	[sec]	$i_C(t) = \frac{E}{R} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$
קבוע הזמן	-	$\tau$	[sec]	
זרם בקבל	-	$i_C(t)$	[A]	
מתח המקור	-	$E$	[V]	

מעגל RL

זרם בסליל	-	$i_L(t)$	[A]	$i_L(t) = I_{L\infty} - (I_{L\infty} - I_{L0}) e^{-\frac{t}{\tau}}$
זרם סופי (עבור $t \rightarrow \infty$ ) בסליל	-	$I_{L\infty}$	[A]	
זרם התחלתי בסליל	-	$I_{L0}$	[A]	$\tau = \frac{L}{R}$
מתח על הסליל	-	$u_L(t)$	[V]	$u_L(t) = U_{L0} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$
מתח התחלתי על הסליל	-	$U_{L0}$	[V]	

**6. מעגל תהודה RLC טורי/מקבילי**

תדר התהודה	-	$f_o$	[Hz]	$f_o = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{LC}}$	$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC}}$
תדר התהודה הזוויתי	-	$\omega_o$	$\left[ \frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$		$BW = \frac{f_o}{Q_o}$
רוחב הפס	-	$BW$	[Hz]		
גורם הטיב	-	$Q_o$			

במעגל תהודה טורי:

$$Q_o = \frac{X_L}{R}$$

במעגל תהודה מקבילי:

$$Q_o = \frac{R}{X_L}$$

7. המרה כוכב-משולש

$$Z_1 = \frac{Z_{12} \cdot Z_{31}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}}$$

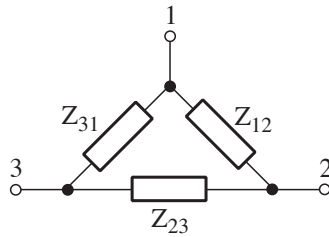
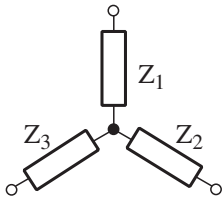
$$Z_{12} = \frac{Z_1 \cdot Z_2 + Z_2 \cdot Z_3 + Z_3 \cdot Z_1}{Z_3}$$

$$Z_2 = \frac{Z_{12} \cdot Z_{23}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}}$$

$$Z_{23} = \frac{Z_1 \cdot Z_2 + Z_2 \cdot Z_3 + Z_3 \cdot Z_1}{Z_1}$$

$$Z_3 = \frac{Z_{23} \cdot Z_{31}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}}$$

$$Z_{31} = \frac{Z_1 \cdot Z_2 + Z_2 \cdot Z_3 + Z_3 \cdot Z_1}{Z_2}$$



**8. זרם חילופין סינוסואידלי**

ערך רגעי של הזרם	-	$i(t)$ [A]	$i(t) = I_{\max} \sin(\omega t + \alpha)$
ערך מרבי של הזרם -	-	$I_{\max}$ [A]	
תנופת הזרם			$u(t) = U_{\max} \sin(\omega t + \alpha)$
זווית מופע	-	$\alpha$ [rad]	
זמן	-	$t$ [sec]	
ערך רגעי של המתח	-	$u(t)$ [V]	
ערך מרבי של המתח -	-	$U_{\max}$ [V]	
תנופת המתח			
ערך יעיל של הזרם	-	$I_{\text{eff}}$ [A]	$I_{\text{eff}} = \frac{1}{\sqrt{2}} I_{\max}$
ערך יעיל של המתח	-	$U_{\text{eff}}$ [V]	$U_{\text{eff}} = \frac{1}{\sqrt{2}} U_{\max}$
זמן המחזור	-	$T$ [sec]	$\omega = 2\pi f$ $T = \frac{1}{f}$
תדירות זוויתית	-	$\omega$ [rad / sec]	
תדירות	-	$f$ [Hz , cycles / sec]	$X_L = \omega L$ $X_C = \frac{1}{\omega C}$
היגב השראותי	-	$X_L$ [ $\Omega$ ]	
היגב קיבולי	-	$X_C$ [ $\Omega$ ]	

**9. הספקים**

הספק פעיל	-	$P$ [W]	$\text{tg } \varphi = \frac{Q}{P}$ $P = S \cos \varphi$
הספק מדומה	-	$S$ [VA]	
הספק היגבי	-	$Q$ [VAr]	$S = P \pm jQ$ $Q = S \sin \varphi$
זווית מופע	-	$\varphi$ [ $^\circ$ , rad]	

**10. רשתות תלת-מופעיות**

כוכב סימטרי

$$I_L = I_{ph}$$

זרם קווי -  $I_L$  [A]

זרם מופעי -  $I_{ph}$  [A]

מתח שלוב (קווי) -  $U_L$  [V]

מתח מופעי -  $U_{ph}$  [V]

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

משולש סימטרי

$$U_L = U_{ph}$$

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

הספק תלת מופעי

הספק מדומה תלת-מופעי -  $S$  [VA]

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

הספק פעיל תלת-מופעי -  $P$  [W]

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

הספק היגבי תלת-מופעי -  $Q$  [VAr]

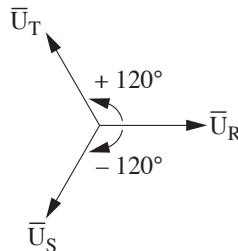
$$Q = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \sin \varphi$$

ייצוג מתחים מופעיים במישור המרוכב של רשת תלת-מופעית סימטרית

$$\bar{U}_R = U \angle 0^\circ$$

$$\bar{U}_S = U \angle -120^\circ$$

$$\bar{U}_T = U \angle +120^\circ$$



רשת תלת-מופעית עם מוליך אפס

- זרם במוליך האפס -  $\bar{I}_N$  [A]
- זרם קווי -  $\bar{I}_L$  [A]
- הספק בתחילת קו ההזנה -  $P_1$  [W]
- הספק בסוף קו ההזנה -  $P_2$  [W]
- נצילות המערכת -  $\eta$
- הפסדי הספק בקו ההזנה -  $\Delta P$  [W]

$$\bar{I}_N = \bar{I}_{L_1} + \bar{I}_{L_2} + \bar{I}_{L_3}$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

$$P_1 = P_2 + \Delta P$$

**11. מקדמים של רשת זוגיים**

**ABCD מקדמי**

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ I_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_2 \\ I_2 \end{pmatrix} \quad \begin{aligned} V_1 &= A \cdot V_2 + B \cdot I_2 \\ I_1 &= C \cdot V_2 + D \cdot I_2 \end{aligned}$$

**Z מקדמי**

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix} \quad \begin{aligned} V_1 &= Z_{11} \cdot I_1 + Z_{12} \cdot I_2 \\ V_2 &= Z_{21} \cdot I_1 + Z_{22} \cdot I_2 \end{aligned}$$

**Y מקדמי**

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} \quad \begin{aligned} I_1 &= Y_{11} \cdot V_1 + Y_{12} \cdot V_2 \\ I_2 &= Y_{21} \cdot V_1 + Y_{22} \cdot V_2 \end{aligned}$$

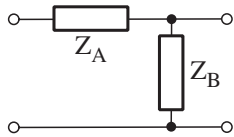
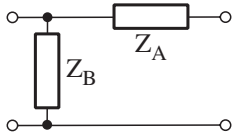
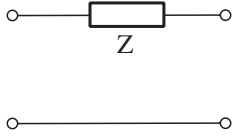
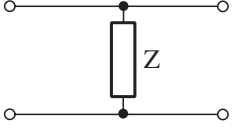
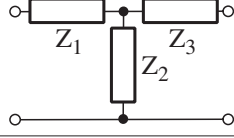
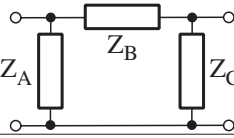
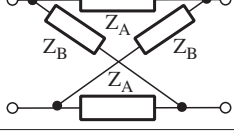
**h מקדמי**

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ I_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ V_2 \end{pmatrix} \quad \begin{aligned} V_1 &= h_{11} \cdot I_1 + h_{12} \cdot V_2 \\ I_2 &= h_{21} \cdot I_1 + h_{22} \cdot V_2 \end{aligned}$$

**מקדמי ABCD של זוגיים**

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
	$\frac{Z_A + Z_B}{Z_B}$	$Z_A$	$\frac{1}{Z_B}$	1
	1	$Z_A$	$\frac{1}{Z_B}$	$\frac{Z_A + Z_B}{Z_B}$
	1	Z	0	1
	1	0	$\frac{1}{Z}$	1
	$1 + \frac{Z_1}{Z_2}$	$\frac{Z_1 \cdot Z_3}{Z_2} + Z_1 + Z_3$	$\frac{1}{Z_2}$	$1 + \frac{Z_3}{Z_2}$
	$1 + \frac{Z_B}{Z_C}$	$Z_B$	$\frac{Z_A + Z_B + Z_C}{Z_A \cdot Z_C}$	$1 + \frac{Z_B}{Z_A}$
	$\frac{Z_A + Z_B}{Z_B - Z_A}$	$\frac{2Z_A \cdot Z_B}{Z_B - Z_A}$	$\frac{2}{Z_B - Z_A}$	$\frac{Z_A + Z_B}{Z_B - Z_A}$

**מקדמי Z ו-Y של זוגיים**

	Z			Y		
	Z <sub>11</sub>	Z <sub>12</sub> = Z <sub>21</sub>	Z <sub>22</sub>	Y <sub>11</sub>	Y <sub>12</sub> = Y <sub>21</sub>	Y <sub>22</sub>
	$Z_A + Z_B$	$Z_B$	$Z_B$	$\frac{1}{Z_A}$	$-\frac{1}{Z_A}$	$\frac{Z_A + Z_B}{Z_A \cdot Z_B}$
	$Z_B$	$Z_B$	$Z_A + Z_B$	$\frac{Z_A + Z_B}{Z_A \cdot Z_B}$	$-\frac{1}{Z_A}$	$\frac{1}{Z_A}$
	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\frac{1}{Z}$	$-\frac{1}{Z}$	$\frac{1}{Z}$
	$Z$	$Z$	$Z$	$\infty$	$\infty$	$\infty$
	$Z_1 + Z_2$	$Z_2$	$Z_2 + Z_3$	$\frac{Z_2 + Z_3}{Z_1 Z_3 + Z_2(Z_1 + Z_3)}$	$\frac{-Z_2}{Z_1 Z_3 + Z_2(Z_1 + Z_3)}$	$\frac{Z_1 + Z_2}{Z_1 Z_3 + Z_2(Z_1 + Z_3)}$
	$\frac{Z_A (Z_B + Z_C)}{Z_A + Z_B + Z_C}$	$\frac{Z_A \cdot Z_C}{Z_A + Z_B + Z_C}$	$\frac{Z_C (Z_A + Z_B)}{Z_A + Z_B + Z_C}$	$\frac{Z_A + Z_B}{Z_A \cdot Z_B}$	$-\frac{1}{Z_B}$	$\frac{Z_B + Z_C}{Z_B \cdot Z_C}$
	$\frac{Z_A + Z_B}{2}$	$\frac{Z_A - Z_B}{2}$	$\frac{Z_A + Z_B}{2}$	$\frac{Z_A + Z_B}{2 Z_A \cdot Z_B}$	$\frac{Z_A - Z_B}{2 Z_A \cdot Z_B}$	$\frac{Z_A + Z_B}{2 Z_A \cdot Z_B}$

**הערה:** זרם הכניסה I<sub>1</sub> וזרם היציאה I<sub>2</sub> נכנסים לרשת.



**טבלה השוואתית של מקדמי זוגיים**

	[Z]		[Y]		A B C D		[h]	
[Z]	$Z_{11}$	$Z_{12}$	$\frac{Y_{22}}{ Y }$	$\frac{-Y_{12}}{ Y }$	$\frac{A}{C}$	$\frac{AD-BC}{C}$	$\frac{ h }{h_{22}}$	$\frac{h_{12}}{h_{22}}$
	$Z_{21}$	$Z_{22}$	$\frac{-Y_{21}}{ Y }$	$\frac{Y_{11}}{ Y }$	$\frac{1}{C}$	$\frac{D}{C}$	$\frac{h_{21}}{h_{22}}$	$\frac{1}{h_{22}}$
[Y]	$\frac{Z_{22}}{ Z }$	$\frac{-Z_{12}}{ Z }$	$Y_{11}$	$Y_{12}$	$\frac{D}{B}$	$\frac{-(AD-BC)}{B}$	$\frac{1}{h_{11}}$	$\frac{-h_{12}}{h_{11}}$
	$\frac{-Z_{21}}{ Z }$	$\frac{Z_{11}}{ Z }$	$Y_{21}$	$Y_{22}$	$\frac{-1}{B}$	$\frac{A}{B}$	$\frac{h_{21}}{h_{11}}$	$\frac{ h }{h_{11}}$
A B C D	$\frac{Z_{11}}{Z_{21}}$	$\frac{ Z }{Z_{21}}$	$\frac{-Y_{22}}{Y_{21}}$	$\frac{-1}{Y_{21}}$	A	B	$\frac{- h }{h_{21}}$	$\frac{-h_{11}}{h_{21}}$
	$\frac{1}{Z_{21}}$	$\frac{Z_{22}}{Z_{21}}$	$\frac{- Y }{Y_{21}}$	$\frac{-Y_{11}}{Y_{21}}$	C	D	$\frac{-h_{22}}{h_{21}}$	$\frac{-1}{h_{21}}$
[h]	$\frac{ Z }{Z_{22}}$	$\frac{Z_{12}}{Z_{22}}$	$\frac{1}{Y_{11}}$	$\frac{-Y_{12}}{Y_{11}}$	$\frac{B}{D}$	$\frac{AD-BC}{D}$	$h_{11}$	$h_{12}$
	$\frac{-Z_{21}}{Z_{22}}$	$\frac{1}{Z_{22}}$	$\frac{Y_{21}}{Y_{11}}$	$\frac{ Y }{Y_{11}}$	$\frac{-1}{D}$	$\frac{C}{D}$	$h_{21}$	$h_{22}$
[g]	$\frac{1}{Z_{11}}$	$\frac{-Z_{12}}{Z_{11}}$	$\frac{ Y }{Y_{22}}$	$\frac{Y_{12}}{Y_{22}}$	$\frac{C}{A}$	$\frac{-(AD-BC)}{A}$	$\frac{h_{22}}{ h }$	$\frac{-h_{12}}{ h }$
	$\frac{Z_{21}}{Z_{11}}$	$\frac{ Z }{Z_{11}}$	$\frac{-Y_{21}}{Y_{22}}$	$\frac{1}{Y_{22}}$	$\frac{1}{A}$	$\frac{B}{A}$	$\frac{-h_{21}}{ h }$	$\frac{h_{11}}{ h }$

**הערות**

- א. עבור מקדמי ABCD - זרם המוצא  $I_2$  יוצא מהרשת.
- ב. עבור מקדמי Y ו-Z - זרם המוצא  $I_2$  נכנס לרשת.
- ג.  $|Z|$ ,  $|Y|$ , ו-  $|h|$  הם דטרמיננטים של המטריצות [Z], [Y], ו- [h], בהתאמה.

רשתות זוגיים

	$Z_O$ [Ω]	-	עכבה אופיינית	$Z_O = \sqrt{Z_{SC} Z_{OC}}$
	$Z_{SC}$ [Ω]	-	עכבת המבוא כאשר המוצא בקצר	
	$Z_{OC}$ [Ω]	-	עכבת המבוא כאשר המוצא בנתק	
	B	-	מקדם זוגיים	(עבור רשת סימטרית בלבד) $Z_O = \sqrt{\frac{B}{C}}$
	C	-	מקדם זוגיים	

מהצד האחד {	$Z_{O1}$ [Ω]	-	עכבת הבבואה	$Z_{O1} = \sqrt{Z_{SC1} Z_{OC1}}$ $Z_{O2} = \sqrt{Z_{SC2} Z_{OC2}}$
	$Z_{SC1}$ [Ω]	-	עכבת המבוא כאשר המוצא בקצר	
	$Z_{OC1}$ [Ω]	-	עכבת המבוא כאשר המוצא בנתק	
מהצד האחר {	$Z_{O2}$ [Ω]	-	עכבת הבבואה	
	$Z_{SC2}$ [Ω]	-	עכבת המבוא כאשר המוצא בקצר	
	$Z_{OC2}$ [Ω]	-	עכבת המבוא כאשר המוצא בנתק	

	$\gamma$	-	קבוע ההתפשטות	$e^\gamma = e^{\alpha + j\beta} = e^\alpha \angle \beta$
	$\alpha$ [neper]	-	קבוע הניחות	$N = e^\alpha = \left  \frac{I_1}{I_2} \right $
	$\beta$ [rad]	-	קבוע המופע, זווית המופע בין הזרמים $I_1$ ו- $I_2$	
	N	-	ניחות	$N[\text{dB}] = 20 \log N$

**12. מסננים**

התנגדות אופיינית -  $R_o$  [ $\Omega$ ]

$$R_o = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

הגבר מתח -  $A_V$

מתח מוצא -  $V_o$  [V]

מתח מבוא -  $V_i$  [V]

$$A_V = \frac{V_o}{V_i}$$

הגבר מתח בדציבלים -  $A_V$  [dB]

$$A_V = 20 \log \frac{V_o}{V_i}$$

הגבר הספק -  $A_P$

הספק מוצא -  $P_o$  [W]

הספק מבוא -  $P_i$  [W]

$$A_P = \frac{P_o}{P_i}$$

הגבר הספק בדציבלים -  $A_P$  [dB]

$$A_P = 10 \log \frac{P_o}{P_i}$$

**LPF - קבוע K**

תדר פוגה -  $f_c$  [Hz]

$$f_c = \frac{1}{\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{\pi R_o C}$$

כאשר  $\omega < \omega_c$

כאשר  $\omega > \omega_c$

$$\beta = 2 \sin^{-1}\left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)$$

$$\alpha = 2 \cosh^{-1}\left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} \angle \theta = \frac{1}{\sqrt{1+(f/f_c)^2}} \angle -\tan^{-1}(f/f_c)$$

$$A_v [\text{dB}] = -20 \log(f/f_c)$$

constant-K LOW PASS FILTER		
CONFIGURATION	ATTENUATION	IMPEDANCE
<p>"T" (FULL SECTION)</p>		
<p>"L" (HALF SECTION)</p>		
<p>"pi"</p>		
$L = \frac{R_o}{\pi f_c} \quad ; \quad C = \frac{1}{\pi f_c R_o}$		$R_o = \text{LINE IMPEDANCE}$

**HPF - קבוע K**

$f_c$  [Hz] - תדר פוגה

$$f_c = \frac{1}{4\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{4\pi R_o C}$$

כאשר  $\omega > \omega_c$

כאשר  $\omega < \omega_c$

$$\beta = -2 \sin^{-1}\left(\frac{\omega_c}{\omega}\right)$$

$$\alpha = 2 \cosh^{-1}\left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)$$

$$A_V = \frac{V_o}{V_i} \angle \theta = \frac{-1}{\sqrt{1+(f_c/f)^2}} \angle \tan^{-1}(f_c/f)$$

$$A_V [dB] = 20 \log(f_c/f)$$

constant-K HIGH PASS FILTER		
CONFIGURATION	ATTENUATION	IMPEDANCE
<p>"T" (FULL SECTION)</p>	<p><math>f_c</math></p>	<p><math>R_o</math> <math>Z_1</math> <math>f_c</math></p>
<p>"L" (HALF SECTION)</p>	<p><math>f_c</math></p>	<p><math>R_o</math> <math>Z_r</math> <math>Z_1'</math> <math>f_c</math></p>
<p>"pi"</p>	<p><math>f_c</math></p>	<p><math>R_o</math> <math>Z_1'</math> <math>f_c</math></p>
$L = \frac{R_o}{4\pi f_c}$ ; $C = \frac{1}{4\pi f_c R_o}$		$R_o =$ LINE IMPEDANCE

אין להעביר את הנוסחאון  
לנבחן אחר

מקום לנספח בקת נבחן

## נוסחאון באלקטרוניקה ב'

### לכיתה י"ד

(5 עמודים)

#### משוב שלילי

הגבר בחוג סגור -  $A_f$

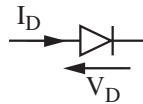
הגבר בחוג פתוח -  $A$

מקדם המשוב -  $\beta$

$$A_f = \frac{A}{1 + A\beta}$$

#### דיודת צומת

סימול:



א. דיודה אידיאלית:

ממתח קדמי -  $V_D = 0$  (קָצָר)

ממתח אחורני -  $I_D = 0$  (נִתְק)

ב. קירוב באמצעות  $V_\gamma$ :

ממתח קדמי -  $V_D = V_\gamma$

ממתח אחורני -  $I_D = 0$  ( $V_D < V_\gamma$ )

ג. קירוב באמצעות  $V_\gamma$  ו- $R_f$ :

ממתח קדמי -  $V_D = I_D \cdot R_f + V_\gamma$  ( $V_D > V_\gamma$ )

ממתח אחורני -  $I_D = 0$  ( $V_D < V_\gamma$ )

**טרנזיסטור FET (אזור הרוויה)**

- זרם האפיק -  $I_D$  [A]
- זרם האפיק עבור  $V_{gs} = 0$  -  $I_{DSS}$  [A]
- המתח בין השער למקור -  $V_{gs}$  [V]
- מתח צביטה -  $V_p$  [V]

$$I_D = I_{DSS} \left( 1 - \frac{V_{gs}}{V_p} \right)^2$$

$$g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_p|} \left( 1 - \frac{V_{gs}}{V_p} \right)$$

- מוליכות החדית -  $g_m$   $\left[ \frac{1}{\Omega} \right]$

$$g_{m0} = \frac{2I_{DSS}}{|V_p|}$$

- מוליכות החדית עבור  $V_{gs} = 0$  -  $g_{m0}$   $\left[ \frac{1}{\Omega} \right]$

**טרנזיסטור MOSFET (אזור הרוויה)**

עבור טרנזיסטור מסוג N - CHANNEL :

- מתח צביטה -  $V_T$  [V]

$$I_D = k(V_{GS} - V_T)^2$$

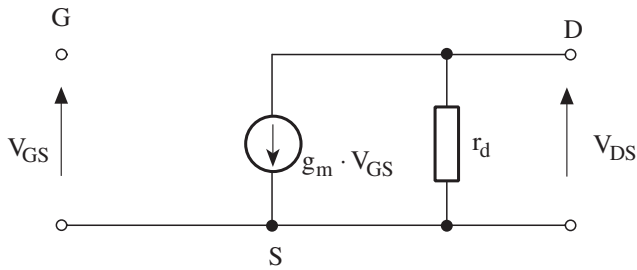
- מקדם -  $k$   $\left[ \frac{mA}{V^2} \right]$

תנאי הרוויה

$$V_{GS} > V_T$$

$$V_{DS} > V_{GS} - V_T$$

**תרשים תמורה מקורב של MOSFET**



**משוואת הדפקים היסודית**

- מתח המוצא -  $V(t)$  [V]
- מתח סופי (עבור  $t \rightarrow \infty$ ) -  $V_\infty$  [V]
- מתח התחלתי -  $V_{0+}$  [V]
- זמן -  $t$  [sec]
- קבוע הזמן -  $\tau$  [sec]

$$V(t) = V_\infty - (V_\infty - V_{0+}) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

**טעינה לינארית**

טעינת קבל בזרם קבוע:

- מתח הקבל -  $v_C(t)$  [V]
- זרם הקבל -  $I_C$  [A]
- קיבול -  $C$  [F]
- זמן -  $t$  [sec]

$$v_C(t) = \frac{I_C}{C} \cdot t + v_C(0)$$

$$\Delta v_C = \frac{I_C}{C} \cdot \Delta t$$

טעינת סליל במתח קבוע:

- זרם הסליל -  $i_L(t)$  [A]
- מתח הסליל -  $V_L$  [V]
- השראות -  $L$  [H]

$$i_L(t) = \frac{V_L}{L} \cdot t + i_L(0)$$

$$\Delta i_L = \frac{V_L}{L} \cdot \Delta t$$





טבלת מצבים של JKFF

CLK	J	K	Q
1, 0	$\emptyset$	$\emptyset$	N.C
$\downarrow$	0	0	N.C
$\downarrow$	0	1	0
$\downarrow$	1	0	1
$\downarrow$	1	1	$\bar{Q}_{n-1}$ (שינוי מצב)

טבלת מצבים של SRFF (סינכרוני)

CLK	S	R	Q
0, 1	$\emptyset$	$\emptyset$	N.C
$\downarrow$	0	0	N.C
$\downarrow$	0	1	0
$\downarrow$	1	0	1
$\downarrow$	1	1	מצב אסור

טבלת מצבים של DFF

CLK	D	Q
1, 0	$\emptyset$	N.C
	0	0
	1	1

**בהצלחה!**

תרגום המונח			המונח
אנגלית	רוסית	ערבית	
output signal	Выходной сигнал	إشارة إخراج	אות מוצא
clock signal	Тактовый сигнал	إشارة ساعة	אות שעון
determinants	Детерминанты	مُحدّد ج. مُحدّدات	דטרמיננטים
flip-flop	Триггер	نَطَّاط / قَلَاب	דלגלג
pins	Ножка	رَبَاط	הדקים
false power	Мнимая мощность	القدرة الوهميّة	הספק מדומה
reactive power	Реактивная мощность	القدرة الارتكاسيّة	הספק עיוור
active power	Активная мощность	القدرة الفعّالة	הספק פעיל
inductive	Индуктивный	حتّي	השראותי
alternative current	Переменный ток	التّيّار المُتردّد	זרם חילופין
star connection	Соединение звездой	اتّصال نجمي	חיבור כוכב
direct inputs	Установочные входы	مدخل مباشر	מבואות ישירים
instrumentation amplifier	Измерительный усилитель	مُضخّم فارقيّ ( جهازي )	מגבר מכשור
operational amplifier	Операционный усилитель	مُضخّم تشغيلي	מגבר שרת
counter	Счётчик	عداد	מונה
three-phase generator	Трёх фазный генератор	مُولد ثلاثيّ الأطوار	מחולל תלת-מופע
resonance state	Состояние резонанса	حالة رنين	מצב תהודה
quality factor	Коэффициент добротности	معامل النوعيّة	מקדם טיב
three-phase load	Трёхфазная нагрузка	حِمْل ثلاثيّ الأطوار	עומס תלת-מופע

תרגום המונח			המונח
אנגלית	רוסית	ערבית	
characteristic impedance	Характерное реактивное сопротивление	الممانعة المميّزة	עכבה אופיינית
inductive coupling	Индуктивная пара	تقارن حثّي	צימוד השראותי
capacitor	Конденсатор	مُكثّف	קבל
feed line	Линия питания	خطّ التغذية	קו הזנה
free running oscillator	Мультивибратор	مُذبذب حرّ الأداء	רב־רטט חופשי
loop current method	Способ контурных токов	طريقة حلقة التيار	שיטת זרמי החוגים
half power frequencies	Частоты полумощности	تردد نصف القدرة	תדרי מחצית ההספק