

סוג הבחינה: גמר לבתי-ספר לטכנאים ולהנדסאים

מועד הבחינה: אביב תשע"ט, 2019

סמל השאלון: 733003

נספחים: א. נוסחאון במערכות חשמל

לכיתה י"ד

ב. נוסחאון באלקטרוניקה ב'

לכיתה י"ד

ג. נספח לשאלה 8

ד. מילון מונחים

חשמל ואלקטרוניקה ה'

מגמת הנדסת חשמל, בקרה ואנרגייה

(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:

- ענה על מספר השאלות הנדרש בשאלון. המעריך יקרא ויעריך את מספר השאלות הנדרש בלבד, לפי סדר כתיבתן במחברתך, ולא יתייחס לתשובות נוספות.
- התחל כל תשובה לשאלה חדשה בעמוד חדש.
- רשום את כל תשובותיך אך ורק בעט.
- הקפד לנסח את תשובותיך כהלכה ולסרטט את תרשימיך בבהירות.
- כתוב את תשובותיך בכתב-יד ברור, כדי לאפשר הערכה נאותה של תשובותיך.
- אם לדעתך חסרים נתונים הדרושים לפתרון שאלה, אתה רשאי להוסיף אותם, בתנאי שתנמק מדוע הוספת אותם.
- בכתיבת 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, יחד עם יחידות המידה המתאימות.
 - * ליווי הפתרון החישובי בהסבר קצר.
- לנוחותך, לשאלון זה מצורף מילון מונחים בשפות עברית, ערבית, אנגלית ורוסית. תוכל להיעזר בו בעת הצורך.

בשאלון זה 11 עמודים ו-25 עמודי נספחים.

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

בהצלחה!

המשך מעבר לדף

השאלות

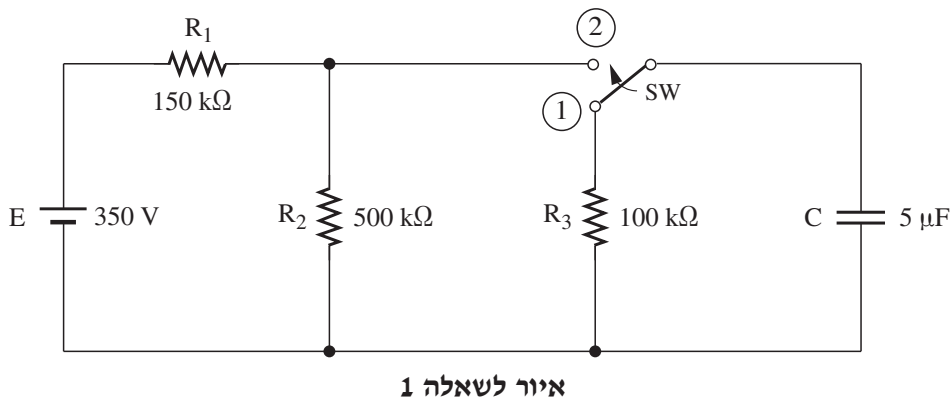
בשאלון זה שני פרקים, ובהם שמונה שאלות. יש להשיב על ארבע שאלות בלבד, שאלה אחת לפחות מכל פרק.
לכל שאלה – 25 נקודות. סך-הכול – 100 נקודות.

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.



המפסק SW נמצא במצב ① זמן רב מאוד. בזמן $t = 0$ מעבירים את המפסק SW למצב ②.

10 נק') א. ערכו של קבוע זמן הטעינה הוא $\tau = 577 \text{ msec}$. חשב (ללא שימוש בתבנית) את המתח על-פני הקבל C כעבור $t = 1 \text{ msec}$.

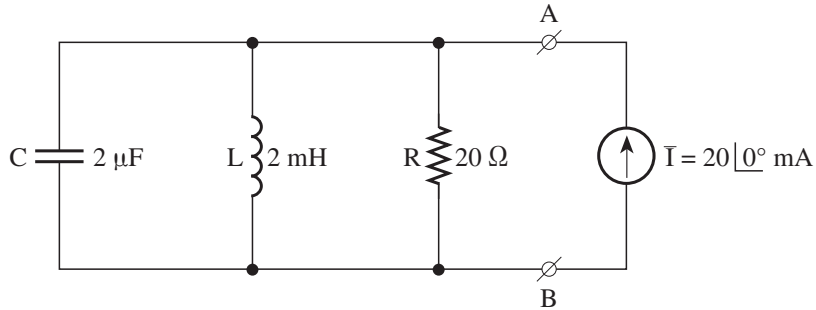
בזמן $t = 1 \text{ msec}$ מעבירים את המפסק SW למצב ①.

8 נק') ב. חשב את המתח על-פני הקבל C כעבור $t = 30 \text{ msec}$ מרגע העברת המפסק למצב ①.

7 נק') ג. סרטט במחברתך גרף המתאר את המתח על-פני הקבל C כפונקצייה של הזמן בתחום $0 < t \leq 31 \text{ msec}$.

שאלה 2

באיור לשאלה 2 נתון מעגל RLC מקבילי שנמצא במצב תהודה.
הסליל L והקבל C הם רכיבים אידיאליים.



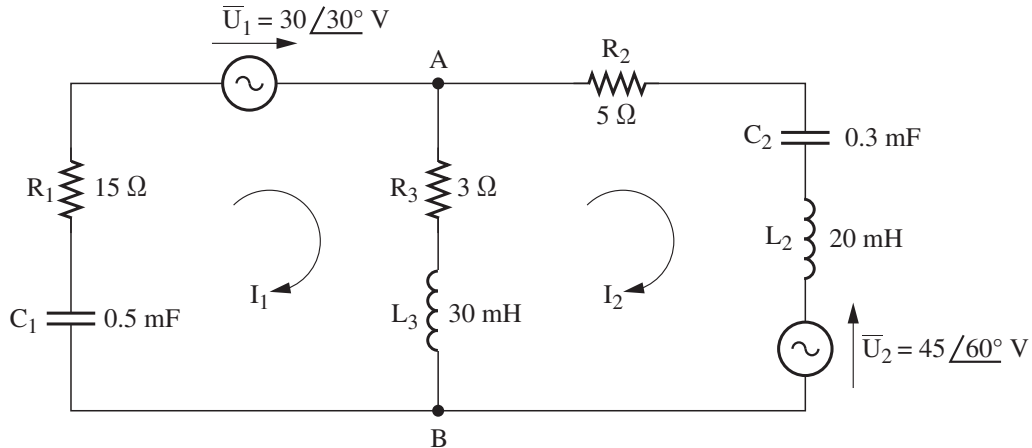
איור לשאלה 2

- א. (7 נק') חשב את תדר התהודה של המעגל.
- ב. (6 נק') חשב את עכבת המעגל בין הנקודות A ו-B במצב תהודה.
- ג. (6 נק') חשב את גורם הטיב ואת רוחב הפס של המעגל.
- ד. (6 נק') חשב את הזרם הזורם בסליל L ואת הזרם הזורם בקבל C במצב תהודה.

שאלה 3

באיור לשאלה 3 נתון מעגל חשמלי לזרם חילופין.

I_1 ו- I_2 הם זרמי החוגים במעגל.



איור לשאלה 3

התדר של כל אחד ממקורות המתח הוא $f = 50 \text{ Hz}$.

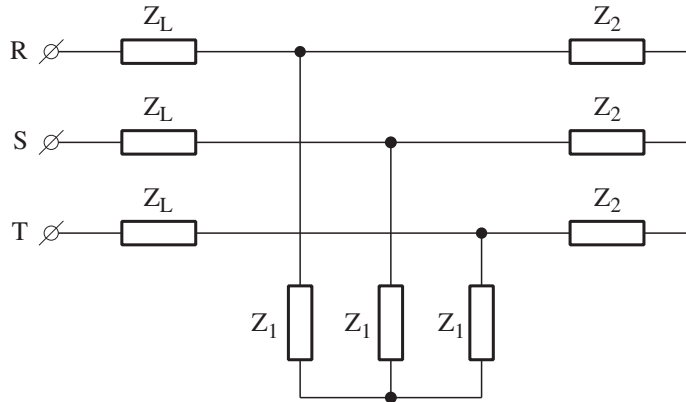
- א. (10 נק') רשום את משוואות המעגל לפי שיטת זרמי החוגים.
- ב. (8 נק') רשום ייצוג מטריציאלי של המשוואות.
- ג. (7 נק') חשב את הזרם הזורם בכל אחד מענפי המעגל.

שאלה 4

באיור לשאלה 4 נתונה רשת תלת-מופעית 400 V/50 Hz. לרשת מחוברים שני צרכנים סימטריים. הצרכנים מחוברים לרשת בחיבור כוכב, וביניהם – בחיבור במקביל.

$$\bar{Z}_2 = (6 + j9) \frac{\Omega}{\text{ph}} ; \bar{Z}_1 = (4 + j6) \frac{\Omega}{\text{ph}}$$

העומסים מוזנים מהרשת על-ידי קו הזנה שהעכבה שלו למופע היא: $\bar{Z}_L = (0.2 + j0.26) \frac{\Omega}{\text{ph}}$.



איור לשאלה 4

- א. (7 נק') חשב את הזרם הקווי המסופק על-ידי הרשת.
- ב. (6 נק') חשב את ההספק הפעיל, את ההספק ההיגבי ואת ההספק המדומה הנמסרים על-ידי מקור המתח.
- ג. (6 נק') חשב את הפסדי ההספק הממשיים בקו ההזנה.
- ד. (6 נק') סרטט במחברתך את משולש ההספקים הנמסרים על-ידי מקור המתח. ציין על-גבי הסרטוט את הערכים הנדרשים.

פרק שני: אלקטרוניקה ב'

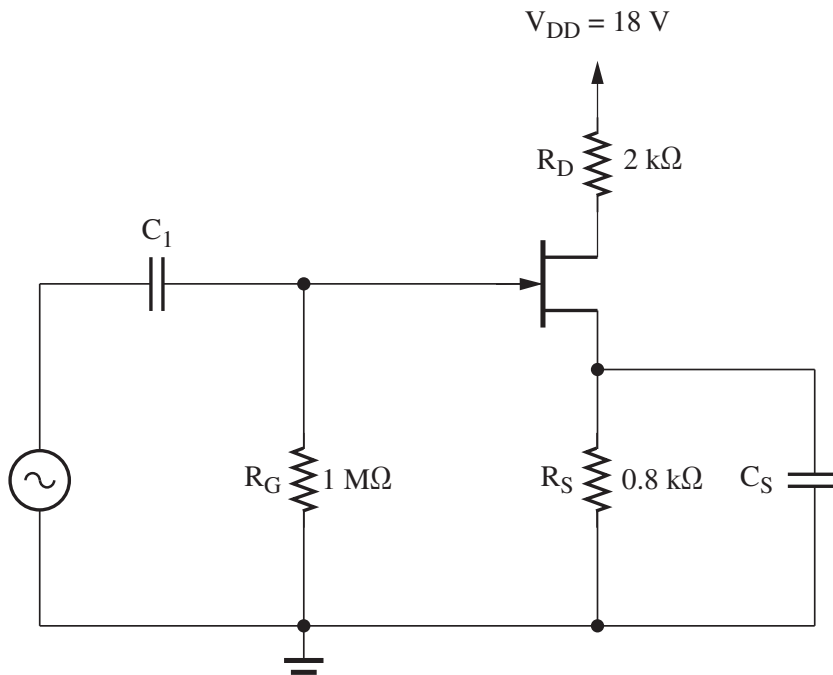
ענה על שאלה אחת לפחות מבין השאלות 5-8 (לכל שאלה – 25 נקודות).

שאלה 5

באיור לשאלה 5 נתון מעגל חשמלי של טרנזיסטור תוצא-שדה (JFET).

נתוני טרנזיסטור ה-JFET הם:

$$V_p = -6V ; I_{DSS} = 10 \text{ mA}$$



איור לשאלה 5

א. (7 נק') חשב את נקודות העבודה I_D ו- V_{DS} .

ב. (6 נק') סרטט במחברתך את קו העבודה $I_D = f(V_{DS})$ על אופיין המוצא של ה-JFET. הצג על גבי הסרטוט את ערכן של נקודות החיתוך עם הצירים ואת נקודת העבודה.

ג. (12 נק')

1. האם ערכו של הנגד R_D משפיע על גודלו של הזרם I_D ? נמק את תשובתך.

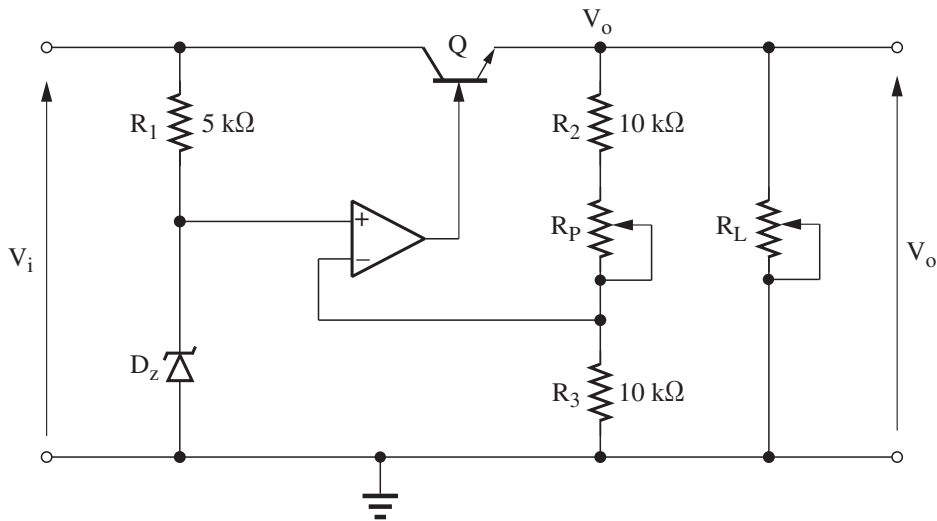
2. האם ערכו של הנגד R_G משפיע על ערכו של המתח V_{GS} ? נמק את תשובתך.

שאלה 6

באיור לשאלה 6 נתון מעגל חשמלי של מייצב מתח.

נתוני המעגל הם:

$$R_P = 0 \div 10 \text{ k}\Omega ; V_Z = 5 \text{ V}$$



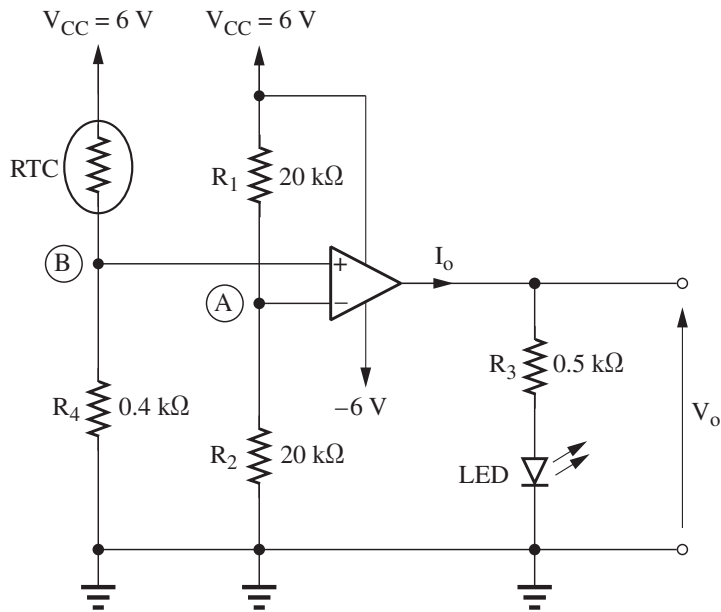
איור לשאלה 6

- א. (10 נק') הסבר את עקרון הפעולה של המייצב.
- ב. (8 נק') חשב את ערכו המרבי ואת ערכו המזערי של מתח המוצא.
- ג. (7 נק') חשב את זרם המוצא המרבי מהטרנזיסטור $I_{L_{\max}}$. נתון כי $R_L = 10 \div 100 \Omega$.

שאלה 7

באיור א' לשאלה 7 נתון מעגל חשמלי הכולל שני מגברי שרת ונגד תלוי-טמפרטורה (RTC).

נתון כי: $V_{LED} = 1.5 \text{ V}$.

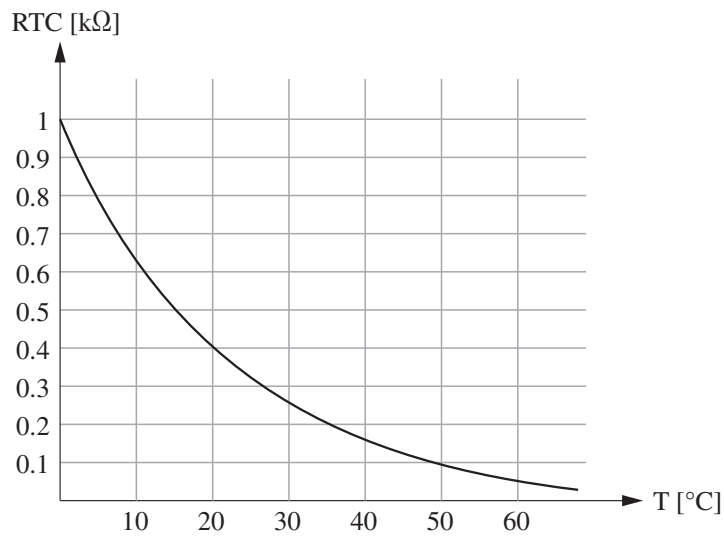


איור א' לשאלה 7

א. (10 נק')

1. (5 נק') חשב את המתח בנקודה (A).
2. (5 נק') רשום את תחום ערכי המתחים בנקודה (B) שעבורם נורית ה-LED דולקת. נמק את תשובתך.

באיור ב' לשאלה 7 מתואר האופיין של הנגד RTC .

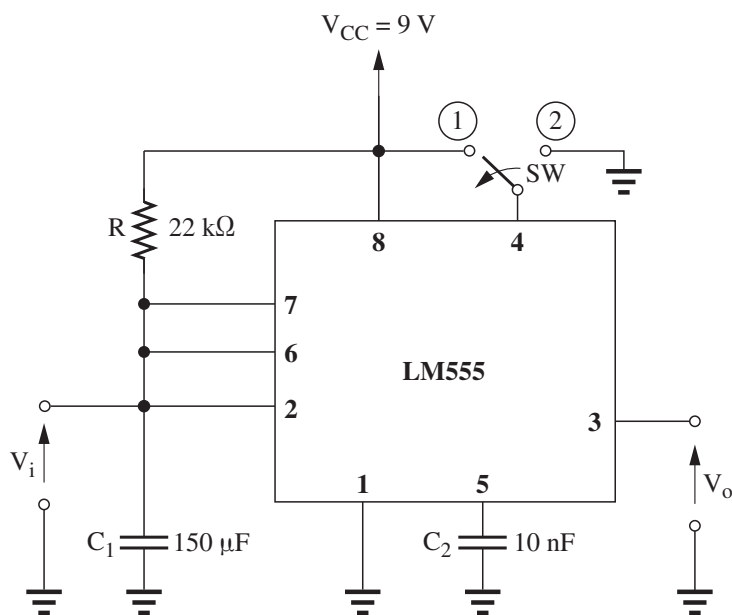


איור ב' לשאלה 7

- 8 נק') ב. מגדילים את הטמפרטורה של הנגד RTC. קבע מאיזו טמפרטורה נורית ה־LED תידלק.
- 7 נק') ג. חשב את זרם המוצא I_0 של מגבר השרת כאשר נורית ה־LED דולקת.

שאלה 8

באיור א' לשאלה 8 נתון מעגל חשמלי של רב־רטט חד־יציב הממומש באמצעות הרכיב 555. נתוני הרכיב מובאים בנספח ג'.

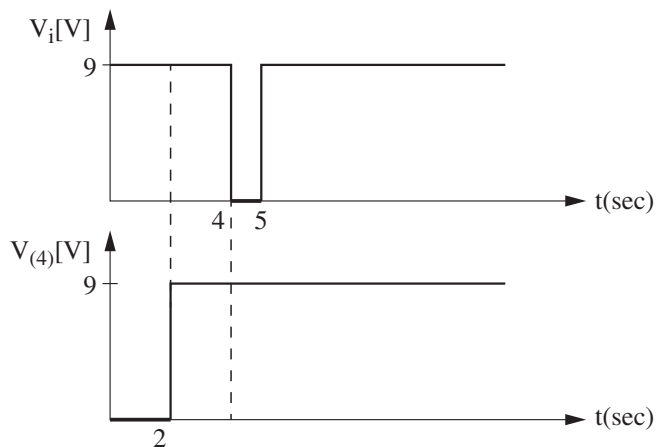


איור א' לשאלה 8

(10 נק') א.

1. (5 נק') מה ייעודו (תפקידו) של הדק 4 ?
2. (5 נק') רשום מה צריך להיות מצב המתג SW, (1) או (2), כדי שהמעגל יפעל כחד־יציב.

באיור ב' לשאלה 8 נתונים הגרפים של אות המבוא, V_i , המסופק למעגל, ושל המתח בהדק 4 כפונקצייה של הזמן.



איור ב' לשאלה 8

- 8 נק') ב. העתק למחברתך את הגרפים V_i , $V_{(4)}$, וסרטט, זה מתחת לזה בהתאמה, את צורות המתחים V_{c1} ו- V_o כפונקצייה של הזמן, בתחום $0 < t < 10 \text{ sec}$. רשום בסרטוטך את ערכי המתחים והזמנים.
- 7 נק') ג. חשב את רוחב הדופק המתקבל במוצא V_o .

בהצלחה!

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

נוסחאון במערכות חשמל לכיתה י"ד

(17 עמודים)

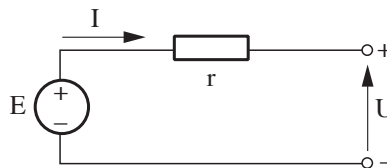
(הגדלים בנוסחאון מופיעים ביחידות SI)

1. מקור מתח ומקור זרם

כא"מ של מקור מתח

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

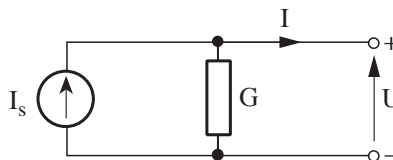
$$E = U + I \cdot r$$



זרם של מקור זרם

זרם המקור	-	I_s	[A]
מוליכות פנימית של מקור זרם	-	G	[S]

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



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]	$E = \frac{k \cdot q}{r^2} = \frac{U}{r}$
עוצמת השדה החשמלי	-	E	[V / m]	$k = 9 \cdot 10^9$
קבוע	-	k	$\left[\frac{V \cdot m}{C} \right]$	$1 C = 6.24 \cdot 10^{18} e$
מטען	-	q	[C]	
מרחק מהמטען	-	r	[m]	
מטען האלקטרון	-	e	[C]	

קבל לוחות

קבוע דיאלקטרי של החומר	-	ϵ	[F / m]	
קבוע דיאלקטרי של הריק	-	ϵ_0	[F / m]	$\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi \cdot 10^9} = 8.85 \cdot 10^{-12}$
קבוע דיאלקטרי יחסי	-	ϵ_r		$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$
קיבול הקבל	-	C	[F]	$C = \frac{\epsilon A}{d} \quad C = \frac{Q}{U}$
המתח על הקבל	-	U	[V]	
מטען הקבל	-	Q	[C]	$W = \frac{1}{2} \cdot CU^2$
המרחק בין לוחות הקבל	-	d	[m]	
שטח החתך של לוחות הקבל	-	A	[m ²]	
האנרגיה החשמלית האגורה בקבל	-	W	[W · sec או J]	

3. מגנטיות ואלקטרומגנטיות

השראה מגנטית (שדה מגנטי)	- B	$\left[\frac{\text{Wb}}{\text{m}^2} \right]$	$B = \frac{\Phi}{A}$
שטח חתך	- A	$[\text{m}^2]$	
שטף מגנטי	- Φ	[Wb או V · sec]	$E = -N \frac{d\Phi}{dt}$
כא"מ מושרה	- E	[V]	$L = N \frac{d\Phi}{dI}$
מספר כריכות הסליל	- N		$E = -L \frac{dI}{dt}$
השראות עצמית של הסליל	- L	[H]	$L = \frac{N^2}{R_m}$
השראות הדדית	- M*	[H]	
מקדם הצימוד	- k		
האנרגיה המגנטית האגורה בסליל	- W	[J או W · sec]	$M^* = k\sqrt{L_1 L_2}$
			$W = \frac{1}{2} LI^2$

4. רכיבים פסיביים ליניאריים

סליל

$$u_L(t) \quad [V] \quad - \quad \text{מתח רגעי על הסליל}$$

$$\frac{di_L(t)}{dt} \quad - \quad \text{שינוי זרם בסליל}$$

$$L \quad [H] \quad - \quad \text{השראות הסליל}$$

$$i_L(t) \quad [A] \quad - \quad \text{זרם רגעי בסליל}$$

$$I_{L0} \quad [A] \quad - \quad \text{זרם התחלתי בסליל}$$

$$p_L(t) \quad [W] \quad - \quad \text{הספק רגעי בסליל}$$

$$u_L(t) = L \cdot \frac{di_L(t)}{dt}$$

$$i_L(t) = \frac{1}{L} \int_{t_0}^t u_L(t) dt + I_{L0}$$

$$p_L(t) = L \cdot i_L(t) \cdot \frac{di_L(t)}{dt}$$

$$p_L(t) = u_L(t) \left(\frac{1}{L} \int_{t_0}^t u_L(t) dt + I_{L0} \right)$$

קבל

$$i_C(t) \quad [A] \quad - \quad \text{זרם רגעי בקבל}$$

$$\frac{du_C(t)}{dt} \quad - \quad \text{שינוי מתח בקבל}$$

$$C \quad [F] \quad - \quad \text{קיבול הקבל}$$

$$u_C(t) \quad [V] \quad - \quad \text{מתח רגעי על הקבל}$$

$$U_{C0} \quad [V] \quad - \quad \text{מתח התחלתי על הקבל}$$

$$p_C(t) \quad [W] \quad - \quad \text{הספק רגעי בקבל}$$

$$i_C(t) = C \cdot \frac{du_C(t)}{dt}$$

$$u_C(t) = \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i_C(t) dt + U_{C0}$$

$$p_C(t) = C \cdot u_C(t) \cdot \frac{du_C(t)}{dt}$$

$$p_C(t) = i_C(t) \left(\frac{1}{C} \int_{t_0}^t i_C(t) dt + U_{C0} \right)$$

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	τ	[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]	
מתח התחלתי על הסליל	U_{L0}	[V]	$u_L(t) = U_{L0} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$

6. מעגל תהודה RLC טורי/מקבילי

תדר התהודה	-	f _o	[Hz]	f_o = $\frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{LC}}$	ω_o = $\frac{1}{\sqrt{LC}}$
תדר התהודה הזוויתי	-	ω _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

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

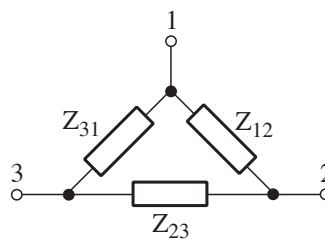
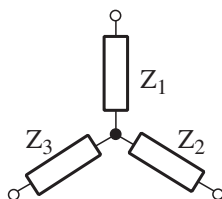
$$Z_{12} = \frac{Z_1 \cdot Z_2 + Z_2 \cdot Z_3 + Z_3 \cdot Z_1}{Z_3}$$

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

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

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

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



8. זרם חילופין סינוסואידלי

ערך רגעי של הזרם	-	$i(t)$ [A]
ערך מרבי של הזרם - תנופת הזרם	-	$I_{\max}$ [A]
זווית מופע	-	α [rad]
זמן	-	t [sec]
ערך רגעי של המתח	-	$u(t)$ [V]
ערך מרבי של המתח - תנופת המתח	-	$U_{\max}$ [V]
ערך יעיל של הזרם	-	I_{eff} [A]
ערך יעיל של המתח	-	U_{eff} [V]

$$i(t) = I_{\max} \sin(\omega t + \alpha)$$

$$u(t) = U_{\max} \sin(\omega t + \alpha)$$

$$I_{\text{eff}} = \frac{1}{\sqrt{2}} I_{\max}$$

$$U_{\text{eff}} = \frac{1}{\sqrt{2}} U_{\max}$$

זמן המחזור	-	T [sec]
תדירות זוויתית	-	ω [rad / sec]
תדירות	-	f [Hz , cycles / sec]

$$\omega = 2\pi f \quad T = \frac{1}{f}$$

היגב השראותי	-	X_L [Ω]
היגב קיבולי	-	X_C [Ω]

$$X_L = \omega L \quad X_C = \frac{1}{\omega C}$$

9. הספקים

הספק פעיל	-	P [W]
הספק מדומה	-	S [VA]
הספק היגבי	-	Q [VAr]
זווית מופע	-	φ [$^\circ$, rad]

$$\text{tg } \varphi = \frac{Q}{P} \quad P = S \cos \varphi$$

$$S = P \pm jQ \quad Q = S \sin \varphi$$

10. רשתות תלת-מופעיות

כוכב סימטרי

$$I_L = I_{ph}$$

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

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

משולש סימטרי

$$U_L = U_{ph}$$

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

הספק תלת מופעי

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

- S [VA] - הספק מדומה תלת-מופעי

- P [W] - הספק פעיל תלת-מופעי

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

- Q [VAr] - הספק היגבי תלת-מופעי

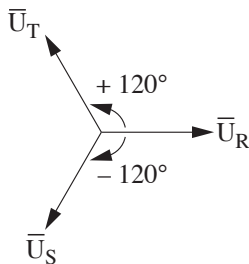
$$Q = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \sin \varphi$$

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 - η
- הפסדי הספק בקו ההזנה - ΔP [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

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

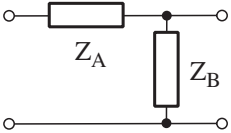
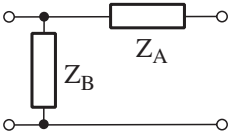
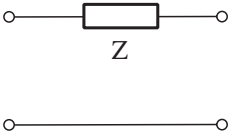
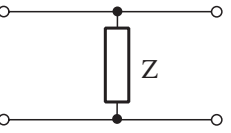
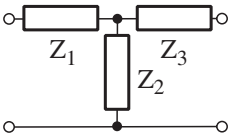
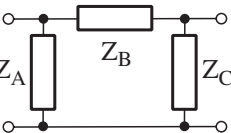
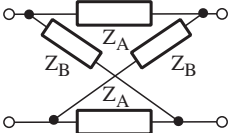
Y מקדמי

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

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

	A	B	C	D
	$\frac{Z_A + Z_B}{Z_B}$	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_{11}	$Z_{12} = Z_{21}$	Z_{22}	Y_{11}	$Y_{12} = Y_{21}$	Y_{22}
	$Z_A + Z_B$	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	$Z_A + Z_B$	$\frac{Z_A + Z_B}{Z_A \cdot Z_B}$	$-\frac{1}{Z_A}$	$\frac{1}{Z_A}$
	∞	∞	∞	$\frac{1}{Z}$	$-\frac{1}{Z}$	$\frac{1}{Z}$
	Z	Z	Z	∞	∞	∞
	$Z_1 + Z_2$	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_1 וזרם היציאה I_2 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.

עבור מקדמי Y ו-Z – זרם המוצא I_2 נכנס לרשת.

ב. $|Z|$, $|Y|$, ו- $|h|$ הם דטרמיננטים של המטריצות $[Z]$, $[Y]$, ו- $[h]$, בהתאמה.

רשתות זוגיים

Z_O [Ω] - עכבה אופיינית

Z_{SC} [Ω] - עכבת המבוא כאשר המוצא בקצר

Z_{OC} [Ω] - עכבת המבוא כאשר המוצא בנתק

B - מקדם זוגיים

C - מקדם זוגיים

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

γ - קבוע ההתפשטות

α [neper] - קבוע הניחות

(1 neper = 8.69 dB)

β [rad] - קבוע המופע, זווית המופע בין הזרמים I_1 ו- I_2

N - ניחות

12. מסגרים

R_o [Ω] - התנגדות אופיינית

$$Z_O = \sqrt{Z_{SC} Z_{OC}}$$

A_V - הגבר מתח

V_o [V] - מתח מוצא

V_i [V] - מתח מבוא

(עבור רשת סימטרית בלבד)

$$Z_O = \sqrt{\frac{B}{C}}$$

A_V [dB] - הגבר מתח בדציבלים

$$Z_{O1} = \sqrt{Z_{SC1} Z_{OC1}}$$

$$Z_{O2} = \sqrt{Z_{SC2} Z_{OC2}}$$

A_P - הגבר הספק

P_o [W] - הספק מוצא

P_i [W] - הספק מבוא

$$e^\gamma = e^{\alpha + j\beta} = e^\alpha \angle \beta$$

A_P [dB] - הגבר הספק בדציבלים

$$N = e^\alpha = \left| \frac{I_1}{I_2} \right|$$

$$N[\text{dB}] = 20 \log N$$

K קבוע - LPF

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

f_c [Hz] - תדר פוגה

כאשר $\omega < \omega_c$:

כאשר $\omega > \omega_c$:

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

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

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

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

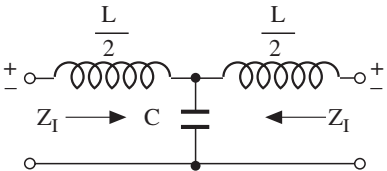
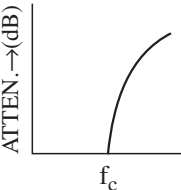
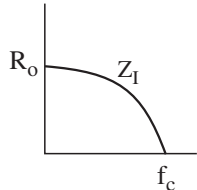
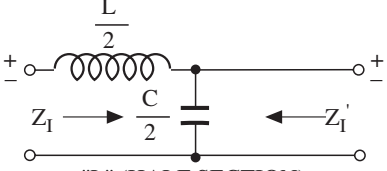
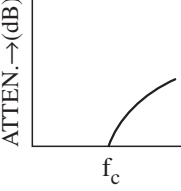
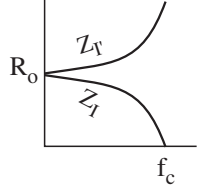
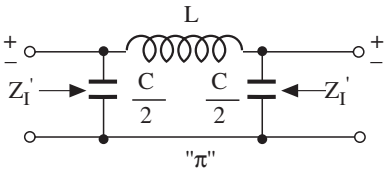
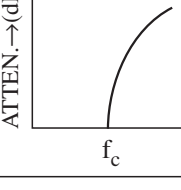
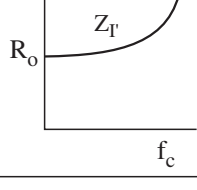
$$f_c = \frac{1}{\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{\pi R_o C}$$

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

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

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

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

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

K קבוע – HPF

f_c [Hz] – תדר פוגה

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

כאשר $\omega > \omega_c$:

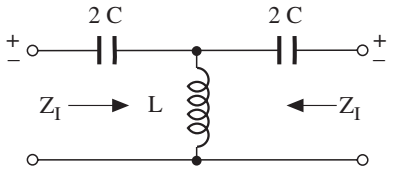
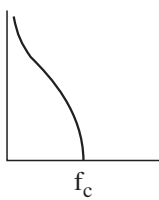
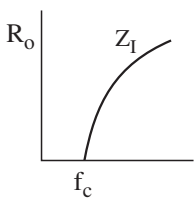
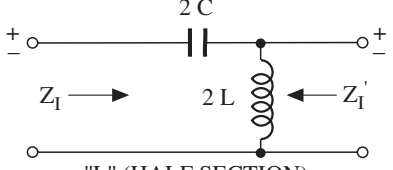
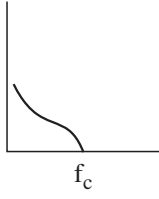
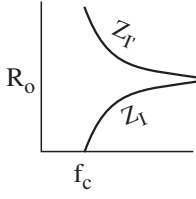
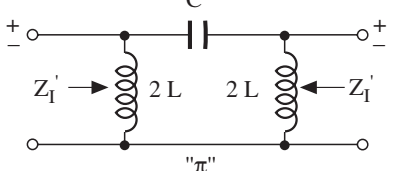
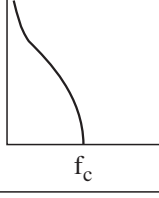
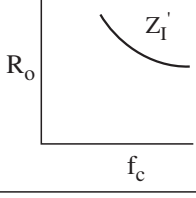
כאשר $\omega < \omega_c$:

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

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

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

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

constant-K HIGH PASS FILTER		
CONFIGURATION	ATTENUATION	IMPEDANCE
 "T" (FULL SECTION)	 f_c	 f_c
 "L" (HALF SECTION)	 f_c	 f_c
 "pi"	 f_c	 f_c
$L = \frac{R_o}{4\pi f_c} \quad ; \quad C = \frac{1}{4\pi f_c R_o}$		
$R_o = \text{LINE IMPEDANCE}$		

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

נוסחאון באלקטרוניקה ב' לכיתה י"ד

(4 עמודים)

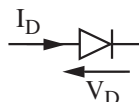
משוב שלילי

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

- A_f הגבר בחוג סגור
- A הגבר בחוג פתוח
- β מקדם המשוב

דיודת צומת

סימול:



א. דיודה אידיאלית:

ממתח קדמי - $V_D = 0$ (קצר)

ממתח אחורני - $I_D = 0$ (נִתְק)

ב. קירוב באמצעות V_γ :

ממתח קדמי - $V_D = V_\gamma$

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

ג. קירוב באמצעות V_γ 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)

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

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

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

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

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

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

טרנזיסטור MOSFET (אזור הרוויה)

עבור טרנזיסטור מסוג N - CHANNEL :

- V_T [V] מתח צביטה

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

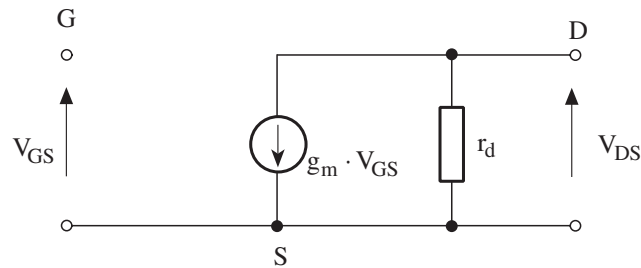
- k $\left[\frac{mA}{V^2} \right]$ מקדם

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_∞ [V]
מתח התחלתי	-	V_{0+} [V]
זמן	-	t [sec]
קבוע הזמן	-	τ [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
$\downarrow$	0	0
$\downarrow$	1	1

בהצלחה!

LM555/NE555/SA555

Single Timer

Features

- High Current Drive Capability (200mA)
- Adjustable Duty Cycle
- Temperature Stability of 0.005%/°C
- Timing From μSec to Hours
- Turn off Time Less Than $2\mu\text{Sec}$

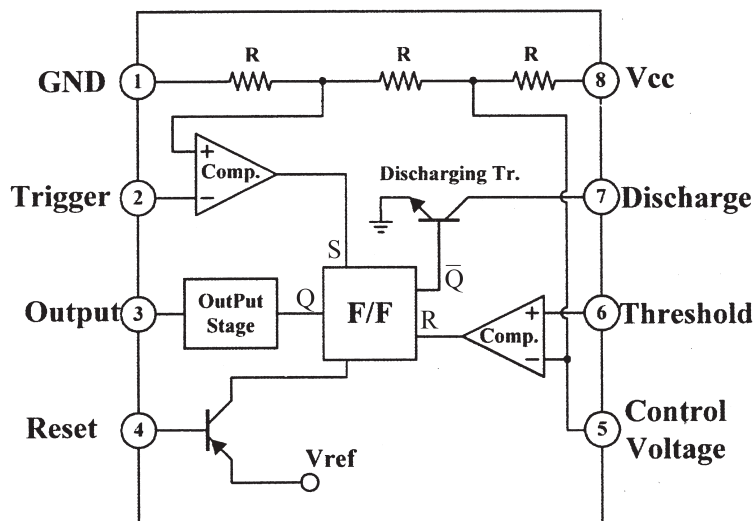
Applications

- Precision Timing
- Pulse Generation
- Time Delay Generation
- Sequential Timing

Description

The LM555/NE555/SA555 is a highly stable controller capable of producing accurate timing pulses. With monostable operation, the time delay is controlled by one external resistor and one capacitor. With astable operation, the frequency and duty cycle are accurately controlled with two external resistors and one capacitor.

Internal Block Diagram



LM555/NE555/SA555

Application Information

Table 1 below is the basic operating table of 555 timer:

Table 1. Basic Operating Table

Threshold Voltage (V_{th})(PIN 6)	Trigger Voltage (V_{tr})(PIN 2)	Reset(PIN 4)	Output(PIN 3)	Discharging Tr. (PIN 7)
Don't care	Don't care	Low	Low	ON
$V_{th} > 2V_{cc} / 3$	$V_{th} > 2V_{cc} / 3$	High	Low	ON
$V_{cc} / 3 < V_{th} < 2V_{cc} / 3$	$V_{cc} / 3 < V_{th} < 2V_{cc} / 3$	High	-	-
$V_{th} < V_{cc} / 3$	$V_{th} < V_{cc} / 3$	High	High	OFF

When the low signal input is applied to the reset terminal, the timer output remains low regardless of the threshold voltage or the trigger voltage. Only when the high signal is applied to the reset terminal, timer's output changes according to threshold voltage and trigger voltage.

When the threshold voltage exceeds $2/3$ of the supply voltage while the timer output is high, the timer's internal discharge Tr turns on, lowering the threshold voltage to below $1/3$ of the supply voltage. During this time, the timer output is maintained low. Later, if a low signal is applied to the trigger voltage so that it becomes $1/3$ of the supply voltage, the timer's internal discharge Tr turns off, increasing the threshold voltage and driving the timer output again at high.

1. Monostable Operation

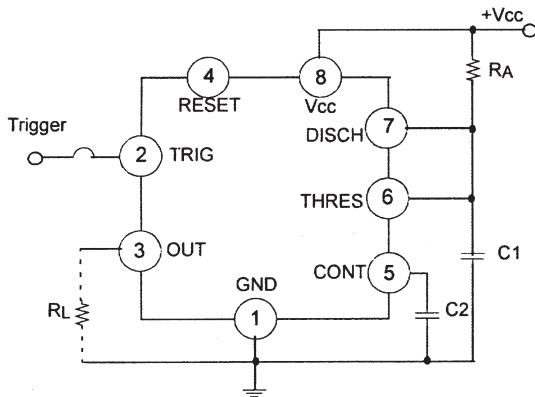


Figure 1. Monoatable Circuit

Figure 1 illustrates a monostable circuit. In this mode, the timer generates a fixed pulse whenever the trigger voltage falls below $V_{cc}/3$. When the trigger pulse voltage applied to the #2 pin falls below $V_{cc}/3$ while the timer output is low, the timer's internal flip-flop turns the discharging Tr off and causes the timer output to become high by charging the external capacitor $C1$ and setting the flip-flop output at the same time.

The voltage across the external capacitor $C1$, V_{C1} increases exponentially with the time constant $t = R_A * C$ and reaches $2V_{cc}/3$ at $t_d = 1.1R_A * C$. Hence, capacitor $C1$ is charged through resistor R_A . The greater the time constant $R_A C$, the longer it takes for the V_{C1} to reach $2V_{cc}/3$. In other words, the time constant $R_A C$ controls the output pulse width.

When the applied voltage to the capacitor $C1$ reaches $2V_{cc}/3$, the comparator on the trigger terminal resets the flip-flop, turning the discharging Tr on. At this time, $C1$ begins to discharge and the timer output converts to low.

In this way, the timer operating in monostable repeats the above process.

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	نَطَاط / 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	حَثِّي	השראותי
alternative current	Переменный ток	التيّار 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 (جهازيّ)	מגבר מכשור
operational amplifier	Операционный усилитель	مُضخّم تشغيليّ	מגבר שרת
counter	Счётчик	عدّاد	מונה
three-phase generator	Трёх фазный генератор	مُولّد ثلاثيّ الأطوار	מחולל תלת-מופעי
resonance state	Состояние резонанса	حالة رنين	מצב תהודה
quality factor	Коэффициент добротности	معامل النوعيّة	מקדם טיב

תרגום המונח			המונח
אנגלית	רוסית	ערבית	
three-phase load	Трёхфазная нагрузка	حِمل ثلاثي الأطوار	עומס תלת-מופע
characteristic impedance	Характерное реактивное сопротивление	الممانعة المميّزة	עכבה אופיינית
inductive coupling	Индуктивная пара	تقارن حثّي	צימוד השראות
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