

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. כל שאלה – 25 נקודות. סך-הכול – 100 נקודות.

ג. חומר עזר מותר לשימוש:

1. מותר להשתמש בכל חומר הכתוב (בכתב יד או בהדפסה) על שלושה דפי A4, משני הצדדים.

2. מחשבון

ד. הוראות מיוחדות:

- ענה על מספר השאלות הנדרש בשאלון. המעריך יקרא ויעריך את מספר התשובות הנדרש בלבד, לפי סדר כתיבתן במחברתך, ולא יתייחס לתשובות נוספות.
- התחל כל תשובה לשאלה חדשה בעמוד חדש.
- כתוב 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 שלהן.
- 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 שלהן, בסדר שבו הם רשומים:
 - * כתיבת הנוסחה המתאימה.
 - * הצבה של כל הערכים ביחידות המתאימות.
 - * חישוב (אפשר באמצעות מחשבון).
 - * כתיבת 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.
- צרף את שלושת דפי ה-A4 למחברת הבחינה.

בשאלון זה 9 עמודים ו-23 עמודי נספחים.

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

בהצלחה!

המשך מעבר לדף

השאלות

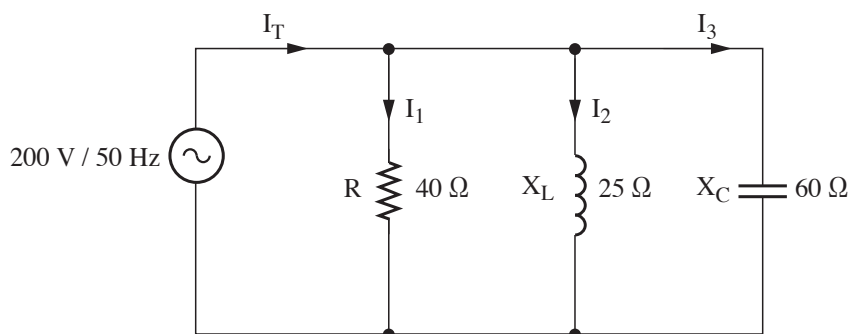
בשאלון זה שני פרקים, ובהם שמונה שאלות. יש להשיב על ארבע שאלות בלבד, שאלה אחת לפחות מכל פרק.
לכל שאלה – 25 נקודות. סך-הכול – 100 נקודות.

פרק ראשון: מערכות חשמל

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

שאלה 1

באיור לשאלה 1 נתון מעגל RLC מקבילי.



איור לשאלה 1

א. (8 נק')

1. (4 נק') חשב את הזרמים I_1 ו- I_T .

2. (4 נק') חשב את מקדם ההספק של המעגל וקבע את אופי המעגל.

ב. (10 נק') משנים את התדר של מקור המתח עד לכניסת המעגל למצב תהודה. חשב את התדר שבו המעגל ייכנס לתהודה ואת הזרם הכללי I_T .

ג. (7 נק') חשב את גורם הטיב ואת רוחב הפס של המעגל במצב תהודה.

שאלה 2

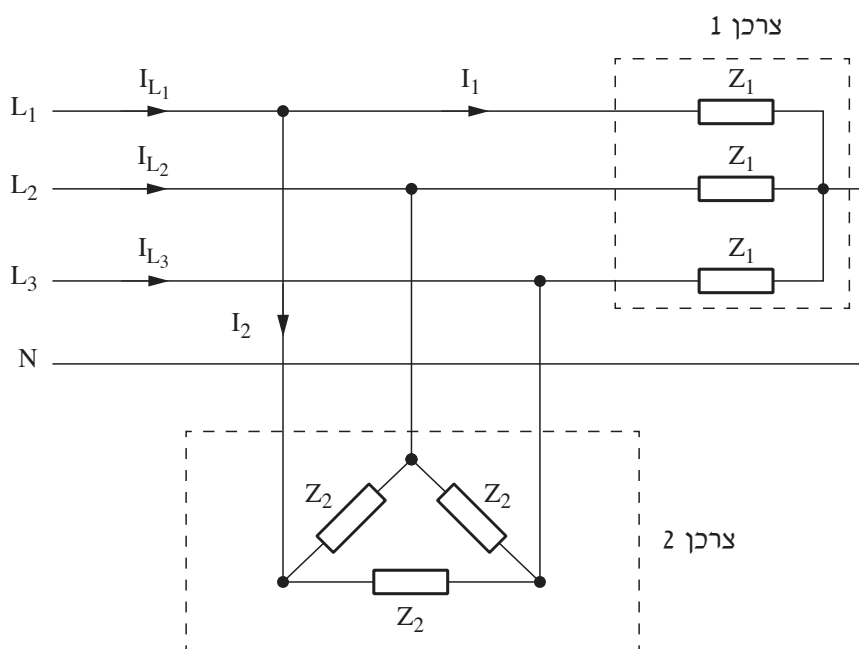
באיור לשאלה 2 מתוארת רשת תלת-מופעית המזינה שני עומסים סימטריים.

נתונים:

$$U_{Ph_{L_1}} = 231 \angle 0^\circ \text{ V} ; U_{Ph_{L_2}} = 231 \angle -120^\circ \text{ V} ; U_{Ph_{L_3}} = 231 \angle 120^\circ \text{ V}$$

$$Z_1 = 12 + j12 \Omega$$

$$\cos \varphi = 0.8 \text{ (השראותי)} , P_2 = 4 \text{ kW}$$

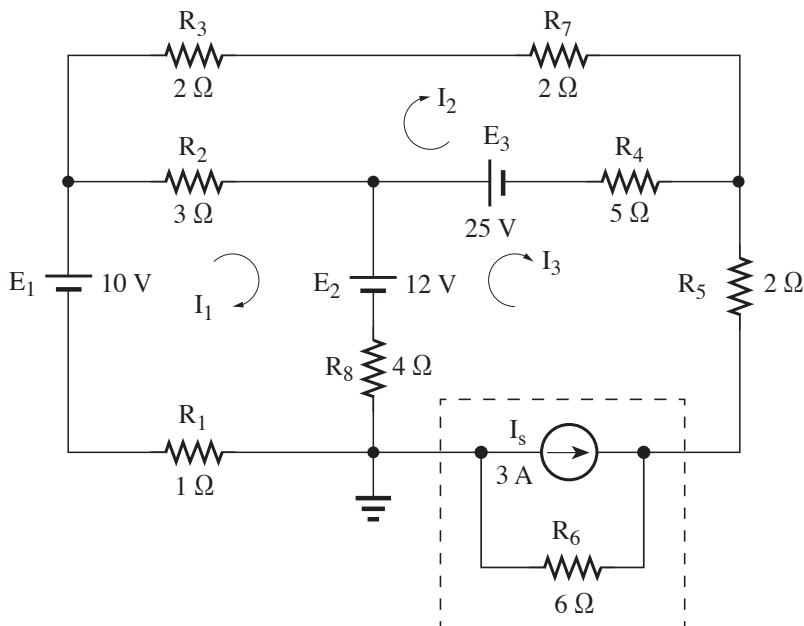


איור לשאלה 2

- א. (10 נק') חשב את הזרמים I_1 ו- I_2 . הצג את תשובותיך בצורה מרוכבת.
- ב. (9 נק') חשב את כל אחד מהזרמים I_{L_1} , I_{L_2} ו- I_{L_3} . הצג את תשובותיך בצורה מרוכבת.
- ג. (6 נק') חשב את ההספק, P , הנצרך מהרשת.

שאלה 3

באיור לשאלה 3 נתון מעגל חשמלי לזרם ישר.

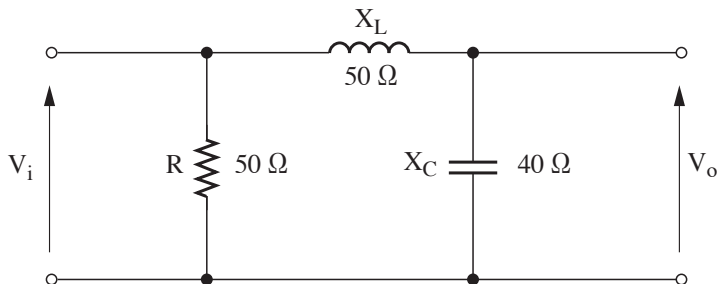


איור לשאלה 3

- א. (9 נק') כתוב את משוואות הרשת לפי שיטת זרמי החוגים. בתשובתך התבסס על סימון זרמי החוגים, כמתואר באיור.
- ב. (7 נק') כתוב ייצוג מטריציאלי, $[Z] \cdot [I] = [V]$, של המשוואות שכתבת בתשובתך לסעיף א'.
- ג. (6 נק') חשב את זרמי החוגים I_1 , I_2 ו- I_3 .
- ד. (3 נק') חשב את המתח על הנגד R_6 .

שאלה 4

באיור לשאלה 4 נתונה רשת זוגיים.



איור לשאלה 4

א. (10 נק') חשב את מקדמי Y של הרשת (Y_{22} , Y_{21} , Y_{12} , Y_{11}).

ב. (10 נק') חשב את מקדמי Z של הרשת (Z_{22} , Z_{21} , Z_{12} , Z_{11}).

ג. (5 נק') חשב את עכבת המבוא של הרשת, כאשר:

1. (3 נק') המוצא בריקס.

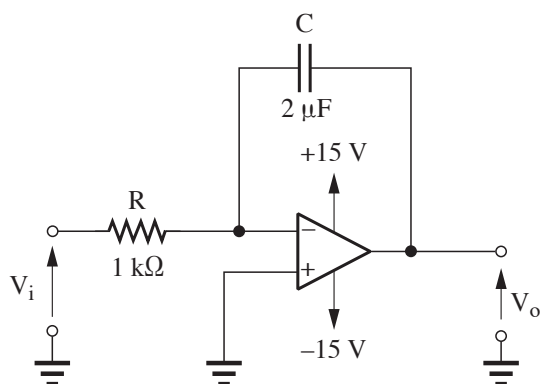
2. (2 נק') המוצא בקצר.

פרק שני: אלקטרוניקה ב'

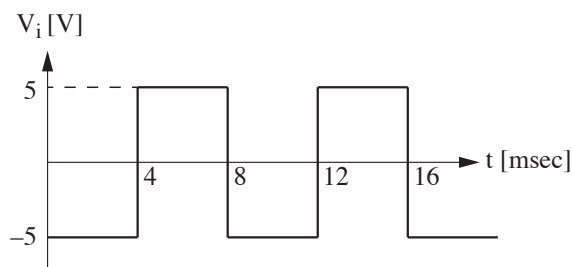
ענה על שאלה אחת לפחות מבין השאלות 5-8 (לכל שאלה – 25 נקודות).

שאלה 5

באיור א' לשאלה 5 נתון מעגל חשמלי הכולל מגבר־שרת אידיאלי. המתח ההתחלתי על־פני הקבל הוא 0 V. למבוא המעגל מספקים אות כמתואר באיור ב' לשאלה.



איור א' לשאלה 5



איור ב' לשאלה 5

- 5 נק') א. חשב את הזרם הזורם בקבל כאשר $V_i = 5 \text{ V}$.
- 10 נק') ב. העתק למחברתך את צורת מתח המבוא, V_i , וסרטט מתחתיה, בהתאמה, את צורת מתח המוצא, V_o , כפונקצייה של הזמן.
- 10 נק') ג. חשב את ערכי V_o בזמנים:

. $t = 4 \text{ msec}$

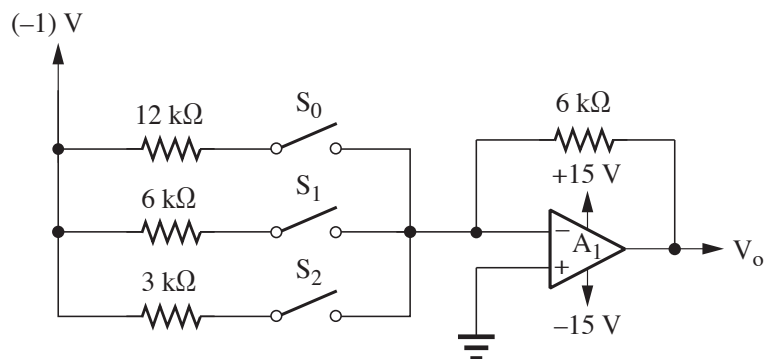
. $t = 8 \text{ msec}$

שאלה 6

באיור לשאלה 6 נתון מעגל חשמלי של ממיר אות ספרתי לאות תקבילי (D/A). מגברי השרת שבמעגל – אידיאליים.

מתג סגור – '1'

מתג פתוח – '0'



איור לשאלה 6

א. (12 נק') חשב את מתח המוצא, V_o , של הממיר כאשר:

1. (6 נק') $S_2 = '0'$, $S_1 = '1'$, $S_0 = '0'$

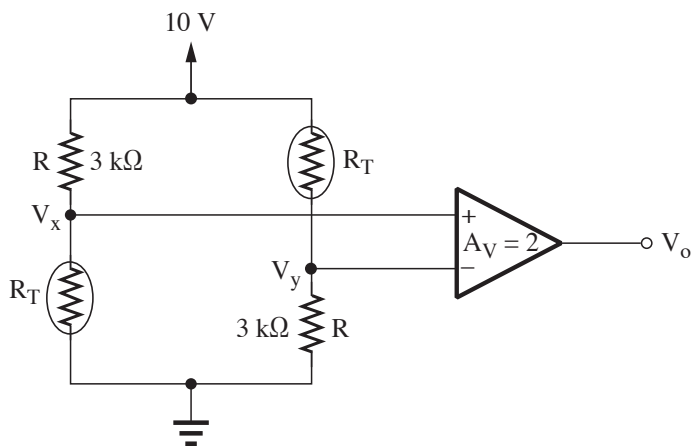
2. (6 נק') $S_2 = '1'$, $S_1 = '1'$, $S_0 = '1'$

ב. (6 נק') חשב את הרזולוציה של הממיר.

ג. (7 נק') כתוב את מצבי המתגים S_2 , S_1 , S_0 כאשר מתח המוצא של הממיר הוא $V_o = 2.5 \text{ V}$.

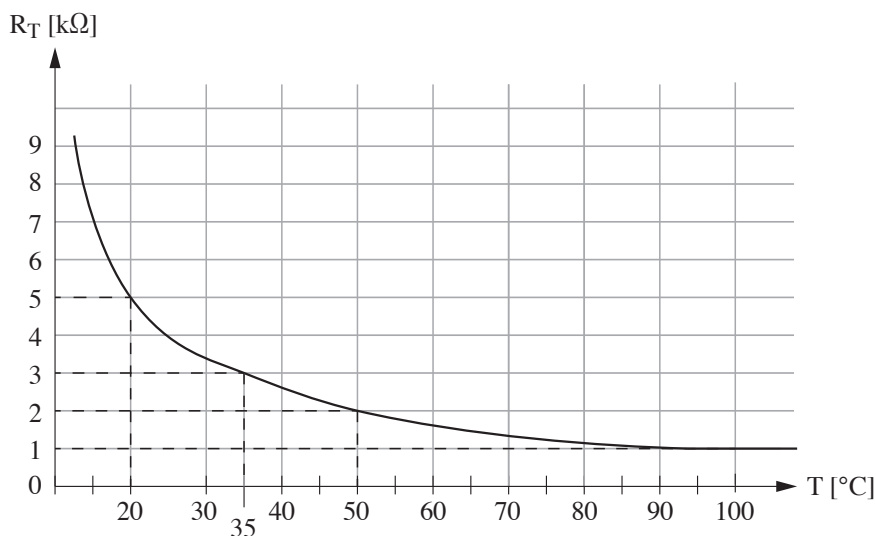
שאלה 7

באיור א' לשאלה 7 נתון מעגל חשמלי הכולל מגבר מכשור וגשר נגדים. גשר הנגדים כולל שני תרמיסטורים R_T . באיור א' לשאלה 7 נתון מעגל חשמלי הכולל מגבר מכשור וגשר נגדים. גשר הנגדים כולל שני תרמיסטורים R_T .



איור א' לשאלה 7

באיור ב' לשאלה מתואר אופיין המתאר את התנגדות התרמיסטור כפונקצייה של הטמפרטורה.

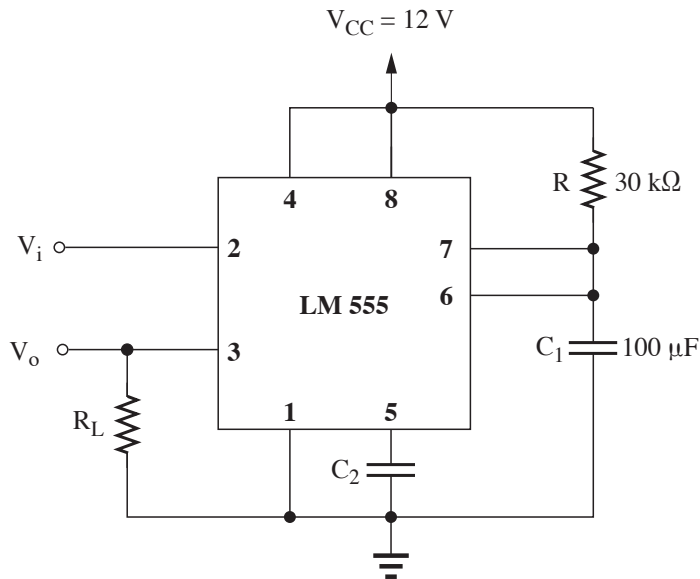


איור ב' לשאלה 7

- א. (10 נק') חשב את המתחים V_x ו- V_y בטמפרטורה של 50°C .
- ב. (8 נק') חשב את מתח המוצא, V_o , בטמפרטורה של 50°C .
- ג. (7 נק') חשב את הטמפרטורה שבה מתח המוצא יהיה 0 V .

שאלה 8

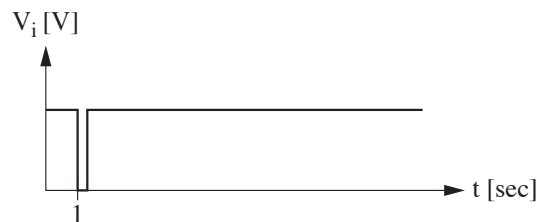
באיור א' לשאלה 8 נתון מעגל חשמלי של רב־רטט חדי־ציב, הממומש באמצעות הרכיב LM 555. נתוני הרכיב מובאים בנספח לשאלה זו (נספח א').



איור א' לשאלה 8

8 נק') א. היעזר בנספח וכתוב את התפקיד של כל אחד מההדקים 1, 2, 4, 8.

באיור ב' לשאלה מתוארת צורת מתח המבוא V_i כפונקצייה של הזמן.



איור ב' לשאלה 8

7 נק') ב. העתק למחברתך את צורת מתח המבוא, V_i , וסרטט מתחתייה, בהתאמה, את צורות המתחים בהדק 6

ובהדק 3 כפונקצייה של הזמן, בתחום הזמנים $0 < t < 10 \text{ sec}$.

5 נק') ג. חשב את רוחב הדופק המתקבל בהדק 3.

5 נק') ד. מחליפים את הנגד R בנגד אחר לצורך קבלת רוחב דופק של 2.2 sec. חשב את ערכו של הנגד החדש.

בהצלחה!

זכות היוצרים שמורה למדינת ישראל.
אין להעתיק או לפרסם אלא ברשות משרד החינוך.

השימוש בנספח זה בנתונים של יוצרים אשר זהותם אינה ידועה או שלא אותרו, נעשה בהתאם להוראות סעיף 27.א לחוק זכויות יוצרים, תשס"ח-2007 לאחר שהכותבים פעלו בשקידה סבירה לגילוי או לאיתור בעל זכות היוצרים בנתונים. בעל זכות יוצרים אשר נעשה שימוש בנתונים שלו בנספח זה, זכאי לבקש שנחדל מהשימוש בנתונים או לעדכן בדבר זהות היוצר בהתאמה. בכל נושא ניתן לפנות למטח בדוא"ל sherut@cet.ac.il

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 $2\mu\text{Sec}$

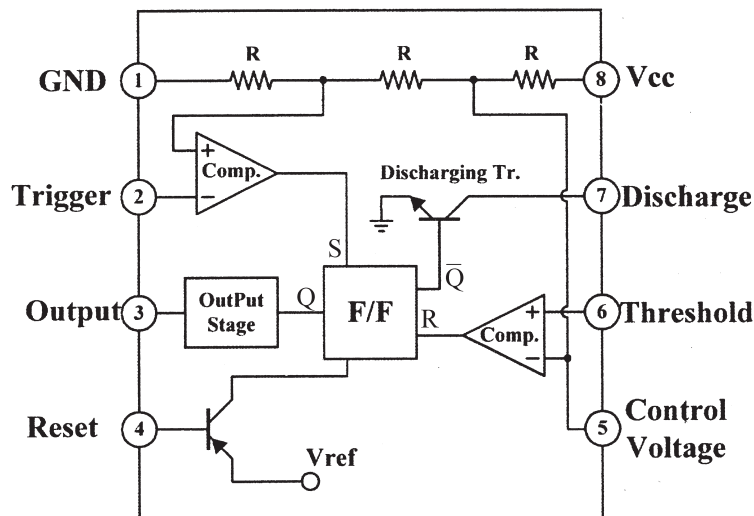
Description

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.

Applications

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

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
$V_{cc} / 3 < V_{th} < 2 V_{cc} / 3$	$V_{cc} / 3 < V_{th} < 2 V_{cc} / 3$	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

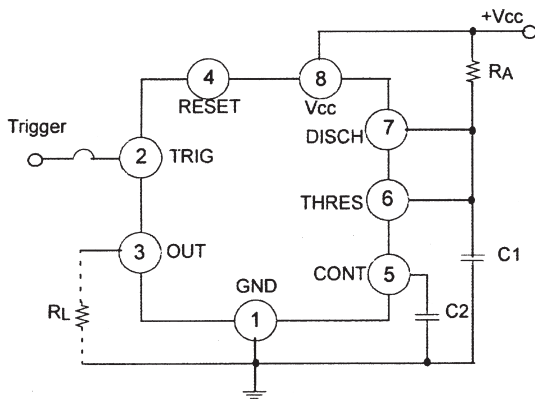


Figure 1. Monoatable Circuit

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 $t_d = 1.1 R_A * C$. 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.

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

נוסחאון במערכות חשמל לכיתה י"ד

(16 עמודים)

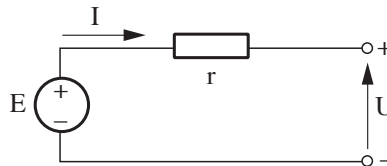
(הגדלים בנוסחאון מופיעים ביחידות SI)

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]

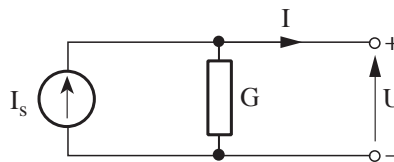
$$E = U + I \cdot r$$



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]	$U = \frac{k \cdot q}{r} = \frac{W}{q}$
אנרגייה 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]	
האנרגייה 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	$[\text{Wb}]$ או $[\text{V} \cdot \text{sec}]$	$E = -N \frac{d\Phi}{dt}$
כא"מ מושרה	- E	$[\text{V}]$	$L = N \frac{d\Phi}{dI}$
מספר הכריכות של הסליל	- N		$E = -L \frac{dI}{dt}$
השראות עצמית של הסליל	- L	$[\text{H}]$	
השראות הדדית	- M^*	$[\text{H}]$	$L = \frac{N^2}{R_m}$
מקדם הצימוד	- k		
האנרגייה המגנטית האגורה בסליל	- W	$[\text{J}]$ או $[\text{W} \cdot \text{sec}]$	$M^* = k \sqrt{L_1 L_2}$
			$W = \frac{1}{2} LI^2$

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

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

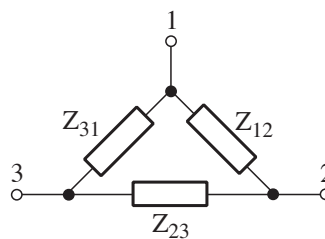
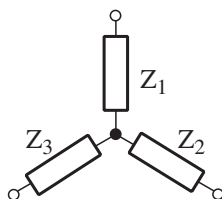
$$Z_{12} = \frac{Z_1 \cdot Z_2 + Z_2 \cdot Z_3 + Z_3 \cdot Z_1}{Z_3}$$

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

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

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

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



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]

$$\omega = 2\pi f$$

$$T = \frac{1}{f}$$

תדירות	-	f [Hz , cycles / sec]
--------	---	-------------------------

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

$$X_L = \omega L$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

9. הספקים

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

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

$$P = S \cos \varphi$$

$$S = P \pm jQ$$

$$Q = S \sin \varphi$$

10. רשתות תלת-מופעיות

כוכב סימטרי

$$I_L = I_{ph}$$

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

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

משולש סימטרי

$$U_L = U_{ph}$$

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

הספק תלת מופעי

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

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

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

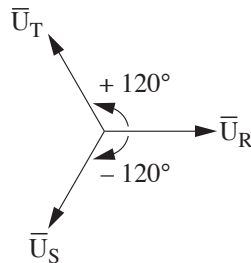
$$Q = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \sin \varphi$$

ייצוג מתחים מופעיים במישור המרוכב של רשת תלת-מופעית סימטרית

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

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

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



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

מקדמי ABCD

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

מקדמי Z

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

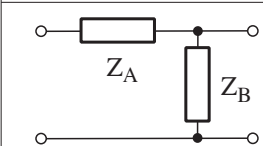
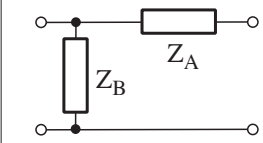
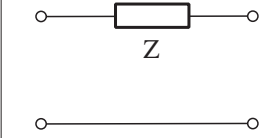
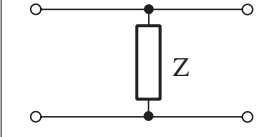
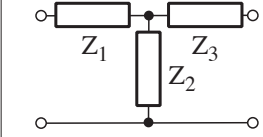
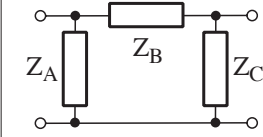
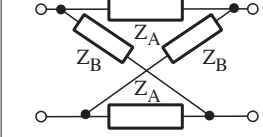
מקדמי Y

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

מקדמי h

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

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

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

(עבור רשת סימטרית בלבד)

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

- | | | | |
|---|---|---------------|----------------------------|
| $\left\{ \begin{array}{l} \text{מהצד} \\ \text{האחד} \end{array} \right.$ | - | Z_{O1} [Ω] | עכבת הבבואה |
| | - | Z_{SC1} [Ω] | עכבת המבוא כאשר המוצא בקצר |
| | - | Z_{OC1} [Ω] | עכבת המבוא כאשר המוצא בנתק |
| $\left\{ \begin{array}{l} \text{מהצד} \\ \text{האחר} \end{array} \right.$ | - | Z_{O2} [Ω] | עכבת הבבואה |
| | - | Z_{SC2} [Ω] | עכבת המבוא כאשר המוצא בקצר |
| | - | Z_{OC2} [Ω] | עכבת המבוא כאשר המוצא בנתק |

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

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

- 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

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

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

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

12. מסגנים

R_o [Ω] - התנגדות אופיינית

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

A_V - הגבר מתח

V_o [V] - מתח מוצא

V_i [V] - מתח מבוא

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

A_V [dB] - הגבר מתח בדציבלים

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

A_P - הגבר הספק

P_o [W] - הספק מוצא

P_i [W] - הספק מבוא

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

A_P [dB] - הגבר הספק בדציבלים

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

K קבוע - LPF

f_c [Hz] - תדר פוגה

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

כאשר $\omega < \omega_c$:

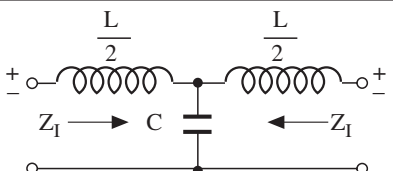
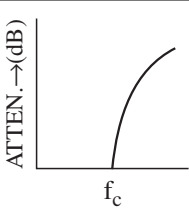
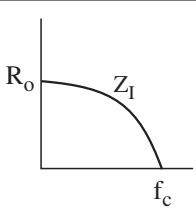
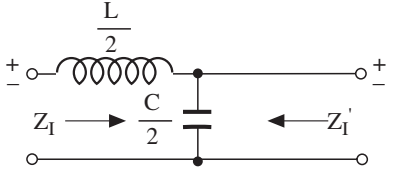
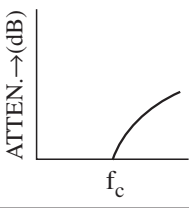
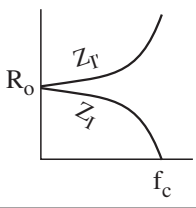
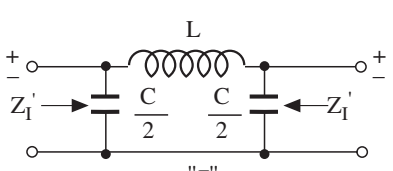
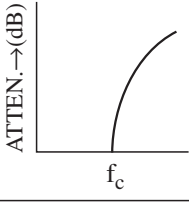
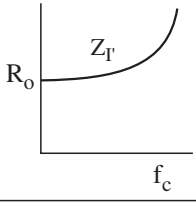
$$\beta = 2 \sin^{-1} \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)$$

כאשר $\omega > \omega_c$:

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

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

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

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

HPF – קבוע K

f_c [Hz] – תדר פוגה

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

כאשר $\omega > \omega_c$:

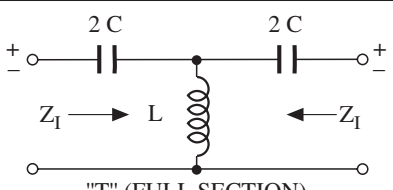
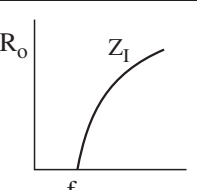
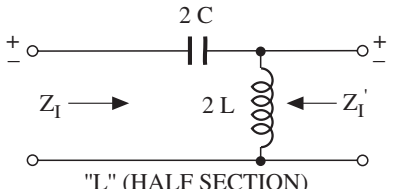
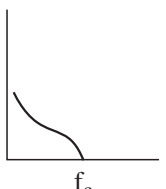
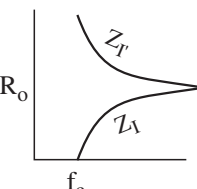
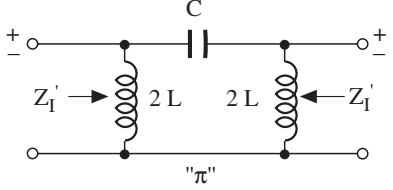
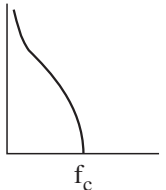
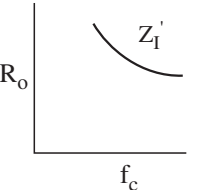
$$\beta = -2 \sin^{-1} \left(\frac{\omega_c}{\omega} \right)$$

כאשר $\omega < \omega_c$:

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

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

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

constant-K HIGH PASS FILTER		
CONFIGURATION	ATTENUATION	IMPEDANCE
 "T" (FULL SECTION)	 f_c	 R_o Z_I f_c
 "L" (HALF SECTION)	 f_c	 R_o Z_I Z_I' f_c
 "pi"	 f_c	 R_o Z_I' f_c
$L = \frac{R_o}{4\pi f_c} ; C = \frac{1}{4\pi f_c R_o}$		
$R_o = \text{LINE IMPEDANCE}$		

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

נוסחאון באלקטרוניקה ב' לכיתה י"ד

(4 עמודים)

משוב שלילי

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

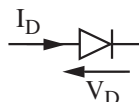
A_f – הגבר בחוג סגור

A – הגבר בחוג פתוח

β – מקדם המשוב

דיודת צומת

סימול:



א. דיודה אידיאלית:

ממתח קדמי – $V_D = 0$ (קֶצֶר)

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

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

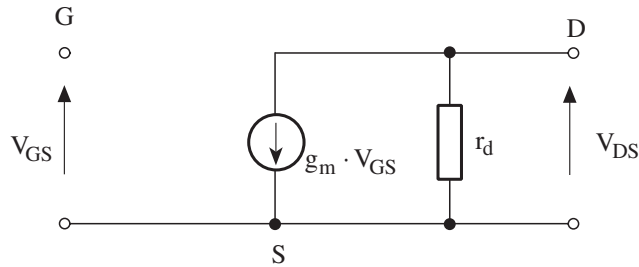
- k $\left[\frac{mA}{V^2} \right]$ מקדם

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

נספח: מילון מונחים

לשאלון 733003, אביב תשפ"א

תרגום המונח			המונח
אנגלית	רוסית	ערבית	
clock signal	Тактовый сигнал	إشارة ساعة	אות שעון
determinants	Детерминанты	مُحدّد ج. مُحدّدات	דטרמיננטים
flip-flop	Триггер	نَطّاط / قَلّاب	דלגלג
reactive power	Реактивная мощность	القدرة الارتكاسيّة	הספק היגבי
false power	Мнимая мощность	القدرة الوهميّة	הספק מדומה
active power	Активная мощность	القدرة الفعّالة	הספק פעיל
inductive	Индуктивный	حَثّي	השראותי
alternative current	Переменный ток	التيّار المُتردّد	זרם חילופין
star connection	Соединение звездой	اتّصال نجمي	חיבור כוכב
instrumentation amplifier	Измерительный усилитель	مُضخّم فارقيّ (جهازيّ)	מגבר מכשור
operational amplifier	Операционный усилитель	مُضخّم تشغيليّ	מגבר שרת
counter	Счётчик	عدّاد	מונה
resonance state	Состояние резонанса	حالة رنين	מצב תהודה
quality factor	Коэффициент добротности	معامل النوعيّة	מקדם טיב
three-phase load	Трёхфазная нагрузка	حِمل ثلاثيّ الأطوار	עומס תלת־מופע
characteristic impedance	Характерное реактивное сопротивление	الممانعة المميّزة	עכבה אופיינית
feed line	Линия питания	خطّ التغذية	קו הזנה
capacitive	Конденсатор	مُكثّف	קיבולי
free running oscillator	Мультивибратор	مُذبذب حرّ الأداء	רב־רטט חופשי