

חשמל ואלקטרוניקה ה'

מגמת הנדסת חשמל, בקרה ואנרגיה

(כיתה י"ד)

הוראות לנבחנים

א. משך הבחינה: ארבע שעות.

ב. מבנה השאלון ומפתח ההערכה: בשאלון זה שני פרקים, ובהם שמונה שאלות. יש לענות על ארבע שאלות בלבד. לכל שאלה – 25 נקודות. סך-הכול – 100 נקודות.

ג. חומר עזר מותר לשימוש:

1. כל חומר הכתוב (בכתב יד או מודפס) על שלושה דפי A4, משני הצדדים.

2. מחשבון.

ד. הוראות מיוחדות:

- ענו על מספר השאלות הנדרש בשאלון. המעריך יקרא ויעריך את מספר התשובות הנדרש בלבד, לפי סדר כתיבתן במחברת, ולא יתייחס לתשובות נוספות.
 - התחילו כל תשובה לשאלה חדשה בעמוד חדש.
 - כתבו את כל התשובות אך ורק בעט.
 - הקפידו לנסח את התשובות כהלכה ולסרטט את התרשימים בבהירות.
 - כתבו את התשובות בכתב-יד ברור כדי לאפשר הערכה נאותה שלהן.
 - אם לדעתכם חסרים נתונים הדרושים לפתרון שאלה, אתם רשאים להוסיף אותם, בתנאי שתנמקו מדוע הוספתם אותם.
 - בכתיבת פתרונות חישוביים, קבלת מִרְב הנקודות מותנית בהשלמת כל המהלכים שלהן, בסדר שבו הם כתובים:
- * 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.
- בנספח ד' לשאלון זה מובא מילון מונחים בשפות עברית, ערבית, אנגלית ורוסית. תוכלו להיעזר בו בעת הצורך.
 - צרפו את שלושת דפי ה-A4 למחברת הבחינה.

הוראות למשגיחים: יש לוודא כי הנבחנים צירפו את דפי ה-A4 למחברת הבחינה.

כתבו במחברת הבחינה בלבד, בעמודים נפרדים, כל מה שברצונכם לכתוב כטייטה (ראשי פרקים, חישובים וכדומה).
כתבו "טייטה" בראש כל עמוד טייטה. כתיבת טייטות כלשהן על דפים שמחוץ למחברת הבחינה עלולה לגרום לפסילת הבחינה!

בשאלון זה 9 עמודים ו-20 עמודי נספחים

השאלות בשאלון זה מנוסחות בלשון רבים,
אף על פי כן על כל תלמידה וכל תלמיד להשיב עליהן באופן אישי.

בהצלחה!

המשך מעבר לדף

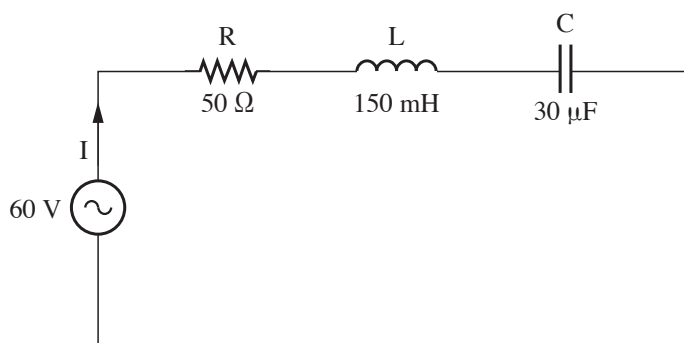
השאלות

בשאלון זה שמונה שאלות. יש לענות על 4 שאלות בלבד. לכל שאלה – 25 נקודות. סך-הכול – 100 נקודות.

פרק ראשון: מערכות חשמל

שאלה 1

באיור לשאלה 1 מתואר מעגל חשמלי הפועל בזרם חילופין ונמצא במצב תהודה.

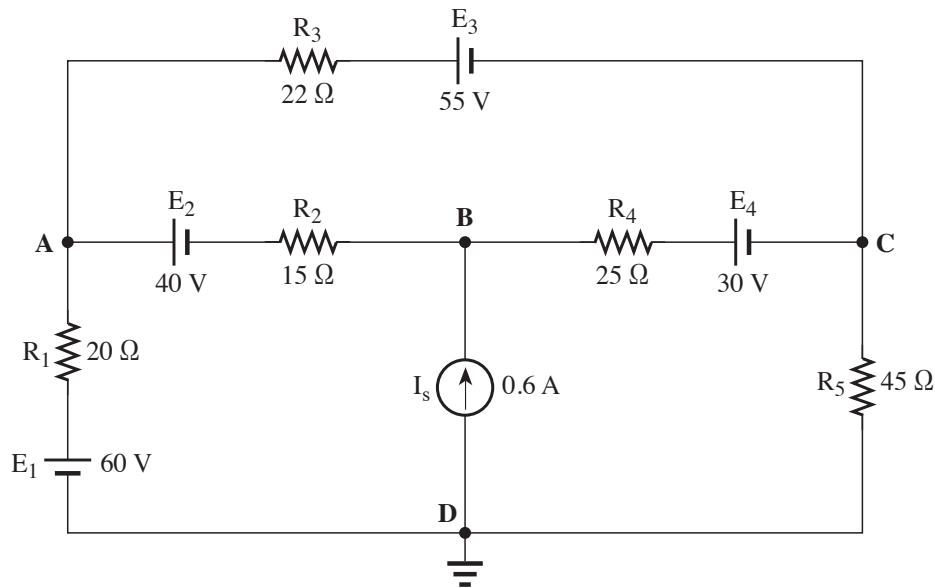


איור לשאלה 1

- (12 נק') א. חשבו את תדר התהודה, את גורם הטיב ואת רוחב הפס של המעגל.
- (6 נק') ב. חשבו את המתח המתפתח על הקבל, את המתח המתפתח על הסליל ואת הזרם במעגל.
- (7 נק') ג. סרטטו גרף (עקום היענות) המתאר את עוצמת הזרם במעגל כפונקצייה של התדר. ציינו בסרטוט את הערכים שחישבתם בסעיפים הקודמים, פרט גורם הטיב של המעגל.

שאלה 2

באיור לשאלה 2 מתואר מעגל חשמלי. נקודה D חוברה לפוטנציאל האפס.



איור לשאלה 2

1. כתבו מערכת משוואות לפתרון המעגל החשמלי בשיטת מתחי צמתים. **א. (10 נק')**
 2. כתבו ייצוג מטריציאלי של המשוואות שכתבתם בתשובה לסעיף א.1. **ב. (8 נק')**
 3. חשבו את המתח בנקודות A, B, C. **ג. (7 נק')**
- חשבו את ההספק של מקור המתח E_2 וציינו אם E_2 משמש כמקור או כצרכן.

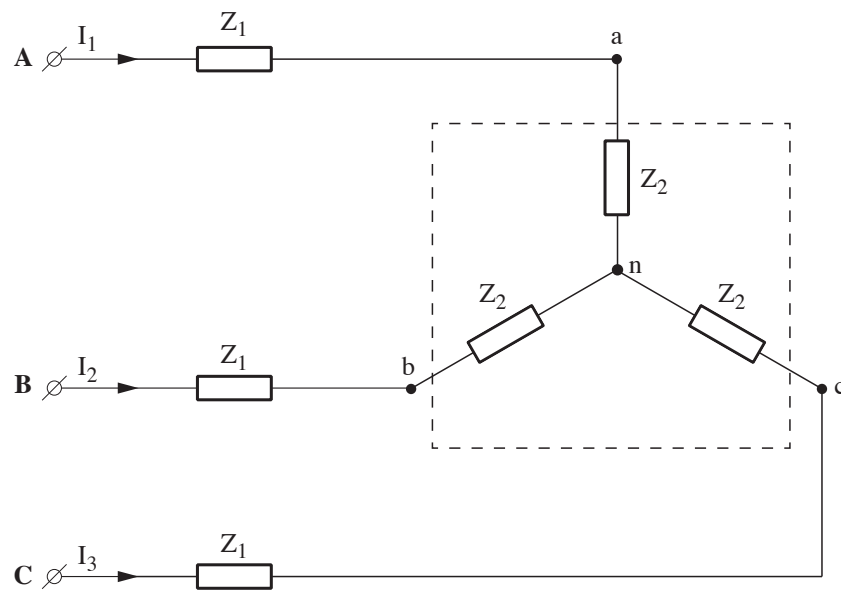
שאלה 3

באיור לשאלה 3 נתון תרשים של עומס תלת-מופעי המחובר בחיבור כוכב. העומס Z_2 מוזן מרשת תלת-מופעית באמצעות קו הזנה שעכבתו Z_1 .

נתונים:

$$U_{an} = 220 \angle 0^\circ \text{ V} ; U_{bn} = 220 \angle -120^\circ \text{ V} ; U_{cn} = 220 \angle +120^\circ \text{ V}$$

$$Z_1 = (5 + j8) \frac{\Omega}{\text{ph}} ; Z_2 = (75 + j50) \frac{\Omega}{\text{ph}}$$

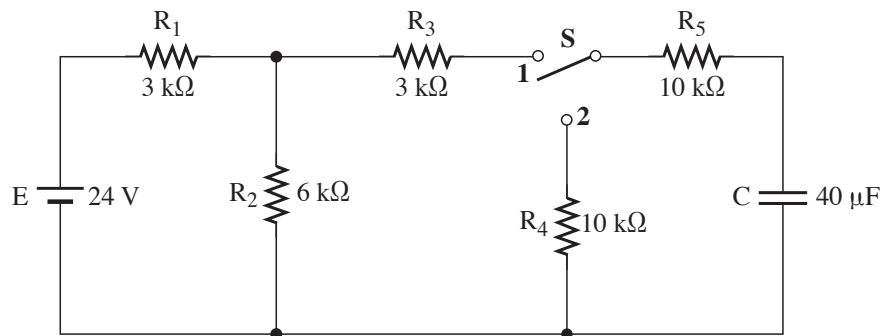


איור לשאלה 3

- א. (10 נק') חשבו את פאזורי הזרמים הקווים I_1, I_2, I_3 .
- ב. (8 נק') 1. חשבו את ההספק הפעיל P_T , את ההספק ההיגבי Q_T ואת ההספק המדומה S_T שנצרכים מהרשת.
2. סרטטו את משולש הספקים של המעגל.
- ג. (7 נק') חשבו את נצילות העברת ההספק של הרשת.

שאלה 4

באיור לשאלה 4 מתואר מעגל חשמלי.



איור לשאלה 4

המפסק S נמצא במצב "2" זמן רב מאוד. בזמן $t = 0$ מעבירים את המפסק S למצב '1'.

(6 נק') א.

1. חשבו את הזרם הזורם דרך הקבל C ברגע העברת המפסק למצב '1' ($t = 0^+$).

2. חשבו את המתח על הקבל C במצב מתמיד.

(6 נק') ב.

1. חשבו את קבוע זמן הטעינה.

2. כתבו ביטוי המתאר את המתח על פני הקבל בתלות בזמן.

(6 נק') ג. חשבו את הזמן שיעבור עד שהמתח על הקבל יגיע ל-8 V.

בזמן שהמתח על הקבל מגיע ל-8 V, מעבירים את המפסק S למצב 2.

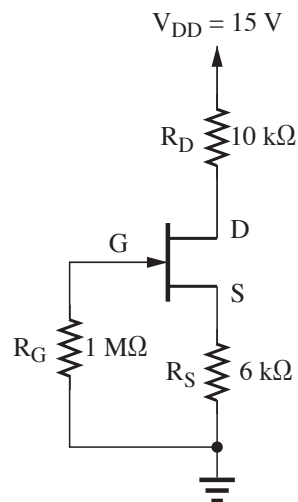
(7 נק') ד. חשבו את המתח על הקבל C כעבור $t = 0.5 \text{ sec}$ מרגע העברת המפסק למצב 2.

פרק שני: אלקטרוניקה ב'

שאלה 5

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

נתוני הטרנזיסטור הם: $V_p = -4V$, $I_{DSS} = 8\text{ mA}$.

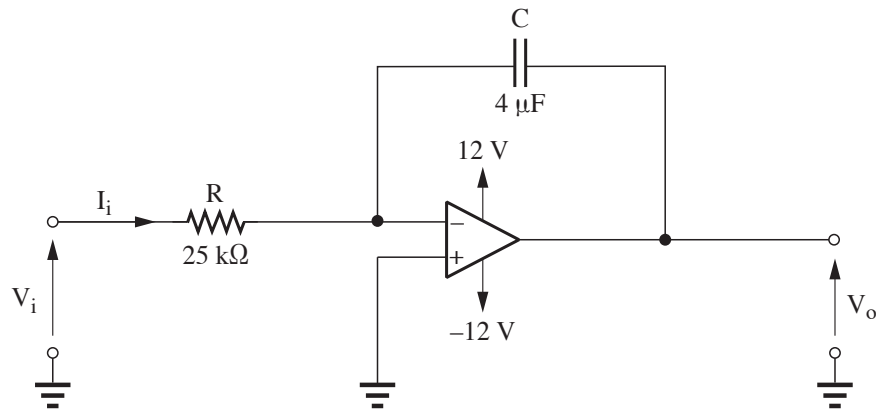


איור לשאלה 5

- א. (9 נק') חשבו את המתח בין השער למקור, V_{GS} .
- ב. (8 נק') חשבו את זרם האפיק, I_D .
- ג. (8 נק') חשבו את המתח בין האפיק למקור, V_{DS} .

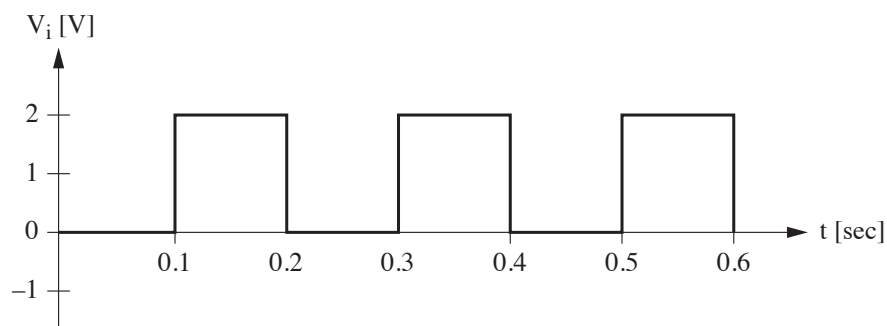
שאלה 6

באיור א' לשאלה 6 מתואר מעגל חשמלי הכולל מגבר-שרת אידיאלי. המתח ההתחלתי על הקבל הוא: $V_C = 0$.



איור א' לשאלה 6

באיור ב' לשאלה 6 מתואר מתח-המבוא, V_i , כפונקצייה של הזמן.



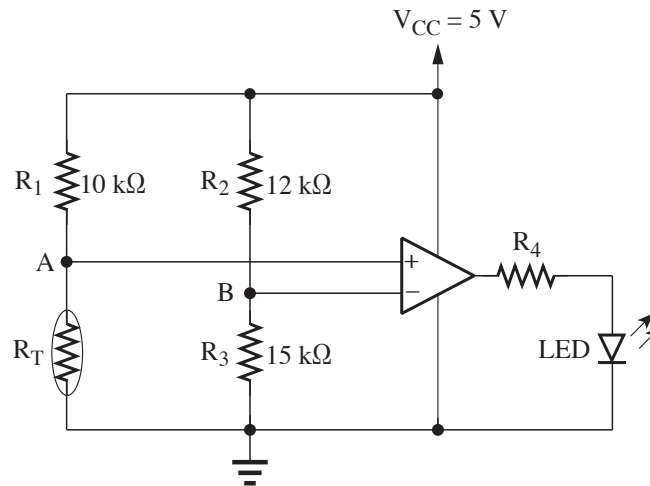
איור ב' לשאלה 6

- א. (9 נק') חשבו את זרם הטעינה של הקבל C בקטע הזמן $0.1 \text{ sec} < t < 0.2 \text{ sec}$.
- ב. (9 נק') העתיקו למחברת הבחינה את איור ב' וסרטטו מתחתיו בהתאמה את מתח המוצא V_o כפונקצייה של הזמן.
- ג. (7 נק') חשבו את ערכו של מתח המוצא בזמנים: $t_1 = 0.2 \text{ sec}$, $t_2 = 0.3 \text{ sec}$, $t_3 = 0.5 \text{ sec}$.

שאלה 7

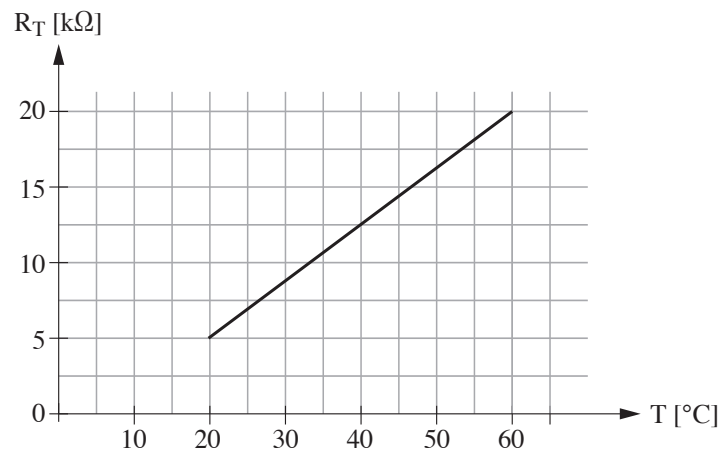
באיור א' לשאלה 7 מתואר מעגל חשמלי הכולל מגבר שרת אידיאלי, גשר נגדים ותרמיסטור שהתנגדותו, R_T , תלויה בטמפרטורה.

נתונים: $I_{LED} = 5 \text{ mA}$, $V_{LED} = 1.8 \text{ V}$



איור א' לשאלה 7

באיור ב' לשאלה 7 מתואר התחום הליניארי של התנגדות התרמיסטור, R_T , כפונקצייה של הטמפרטורה.

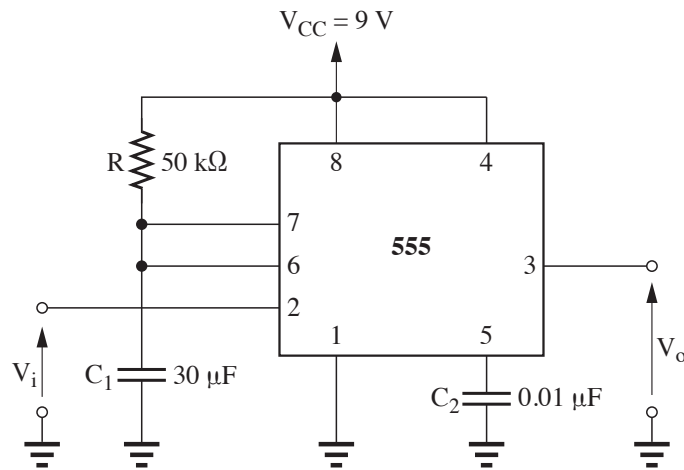


איור ב' לשאלה 7

- א. (6 נק') חשבו את המתח בנקודה B.
- ב. (6 נק') חשבו את המתח בנקודה A בטמפרטורה של 20°C .
- ג. (7 נק') חשבו מאיזו טמפרטורה נורית ה-LED תידלק.
- ד. (6 נק') חשבו את ערכו של הנגד R_4 שיאפשר פעולה תקינה של נורית ה-LED.

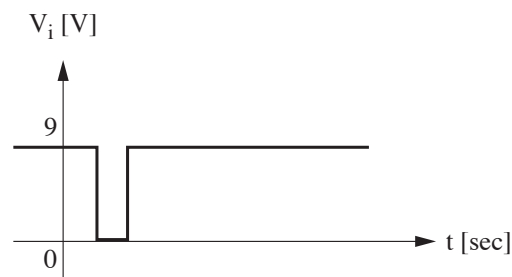
שאלה 8

באיור א' לשאלה 8 מתואר מעגל חשמלי של רב־רטט חד־יציב, הממומש באמצעות הרכיב 555. הדק מספר 4 אינו מחובר. דפי־המפרט של הרכיב נתונים בנספח לשאלה.



איור א' לשאלה 8

באיור ב' לשאלה נתון אות המבוא, V_i , המסופק למעגל.



איור ב' לשאלה 8

- א. (5 נק') מה תפקידו של הדק מספר 4 ברכיב 555 ?
- ב. (8 נק') העתיקו את צורת אות המבוא V_i המסופק למעגל וסרטטו, זה מתחת לזה בהתאמה, את צורות המתחים V_o ו- V_C , כפונקצייה של הזמן. כתבו על־גבי הסרטוט את ערכי המתחים.
- ג. (8 נק') חשבו את רוחב הדופק המתקבל במוצא V_o .
- ד. (4 נק') הציעו שינוי במעגל שיקטין את רוחב הדופק פי 2.

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 $2\mu\text{Sec}$

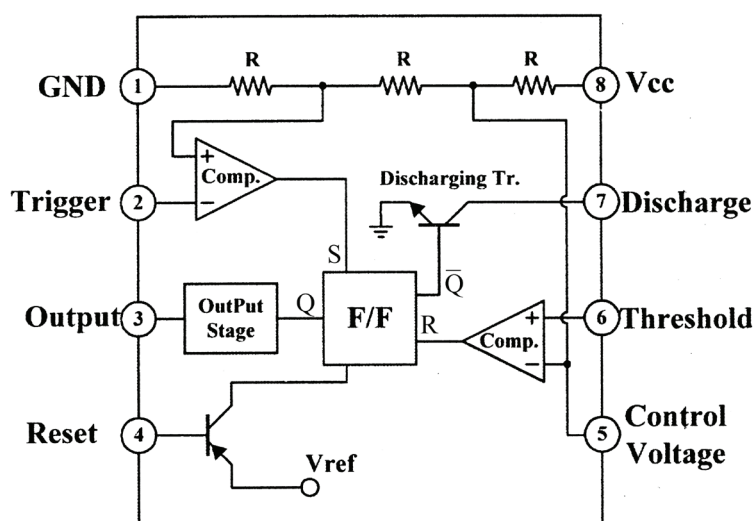
Applications

- 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

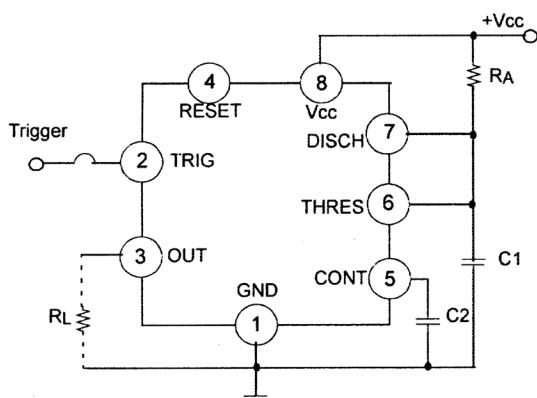


Figure 1. Monoatable Circuit

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.

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

נוסחאון במערכות חשמל לכיתה י"ד

(13 עמודים)

(הגדלים בנוסחאון מופיעים ביחידות SI)

1. מקור מתח ומקור זרם

כא"מ של מקור מתח

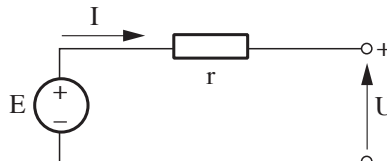
E [V] – הכא"מ

U [V] – מתח ההדקים

r [Ω] – התנגדות פנימית

I [A] – זרם

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

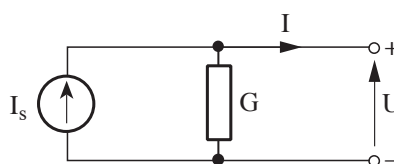


זרם של מקור זרם

I_s [A] – זרם המקור

G [S] – מוליכות פנימית של מקור זרם

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



2. אלקטרוסטטיקה

שדה חשמלי ופוטנציאל חשמלי

פוטנציאל חשמלי	-	U	[V]
אנרגייה פוטנציאלית חשמלית	-	W	[J או W · sec]
עוצמת השדה החשמלי	-	E	[V / m]
קבוע	-	k	$\left[\frac{V \cdot m}{C} \right]$
מטען	-	q	[C]
מרחק מהמטען	-	r	[m]
מטען האלקטרון	-	e	[C]

$$U = \frac{k \cdot q}{r} = \frac{W}{q}$$

$$E = \frac{k \cdot q}{r^2} = \frac{U}{r}$$

$$k = 9 \cdot 10^9$$

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

קבל לוחות

קבוע דיאלקטרי של החומר	-	ϵ	[F / m]
קבוע דיאלקטרי של הריק	-	ϵ_0	[F / m]
קבוע דיאלקטרי יחסי	-	ϵ_r	
קיבול הקבל	-	C	[F]
המתח על הקבל	-	U	[V]
מטען הקבל	-	Q	[C]
המרחק בין לוחות הקבל	-	d	[m]
טח החתך של לוחות הקבל	-	A	[m ²]
האנרגייה החשמלית האגורה בקבל	-	W	[J או W · sec]

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

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

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

$$W = \frac{1}{2} \cdot C U^2$$

3. מגנטיות ואלקטרומגנטיות

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

4. רכיבים פסיביים ליניאריים

סליל

מתח רגעי על הסליל	-	$u_L(t) \quad [V]$	$u_L(t) = L \cdot \frac{di_L(t)}{dt}$
שינוי זרם בסליל	-	$\frac{di_L(t)}{dt}$	$i_L(t) = \frac{1}{L} \int_{t_0}^t u_L(t) dt + I_{L0}$
השראות הסליל	-	$L \quad [H]$	
זרם רגעי בסליל	-	$i_L(t) \quad [A]$	$p_L(t) = L \cdot i_L(t) \cdot \frac{di_L(t)}{dt}$
זרם התחלתי בסליל	-	$I_{L0} \quad [A]$	$p_L(t) = u_L(t) \left(\frac{1}{L} \int_{t_0}^t u_L(t) dt + I_{L0} \right)$
הספק רגעי בסליל	-	$p_L(t) \quad [W]$	

קבל

זרם רגעי בקבל	-	$i_C(t) \quad [A]$	$i_C(t) = C \cdot \frac{du_C(t)}{dt}$
שינוי מתח בקבל	-	$\frac{du_C(t)}{dt}$	$u_C(t) = \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i_C(t) dt + U_{C0}$
קיבול הקבל	-	$C \quad [F]$	
מתח רגעי על הקבל	-	$u_C(t) \quad [V]$	$p_C(t) = C \cdot u_C(t) \cdot \frac{du_C(t)}{dt}$
מתח התחלתי על הקבל	-	$U_{C0} \quad [V]$	$p_C(t) = i_C(t) \left(\frac{1}{C} \int_{t_0}^t i_C(t) dt + U_{C0} \right)$
הספק רגעי בקבל	-	$p_C(t) \quad [W]$	

5. תופעות מעבר

מעגל RC

$$u_C(t) = U_{C\infty} - (U_{C\infty} - U_{C0}) e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$\tau = RC$$

$$i_C(t) = \frac{E}{R} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

- מתח על הקבל - $u_C(t)$ [V]
- מתח סופי (עבור $t \rightarrow \infty$) על הקבל - $U_{C\infty}$ [V]
- מתח התחלתי על הקבל - U_{C0} [V]
- זמן - t [sec]
- קבוע הזמן - τ [sec]
- מטען הקבל - $i_C(t)$ [A]
- מתח המקור - E [V]

מעגל RL

$$i_L(t) = I_{L\infty} - (I_{L\infty} - I_{L0}) e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$\tau = \frac{L}{R}$$

$$u_L(t) = U_{L0} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

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

6. מעגל תהודה RLC טורי/מקבילי

$$f_o = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{LC}}$$

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$BW = \frac{f_o}{Q_o}$$

- תדר התהודה - f_o [Hz]
- תדר התהודה הזוויתי - ω_o $\left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$
- רוחב הפס - BW [Hz]
- גורם הטיב - Q_o

במעגל תהודה טורי:

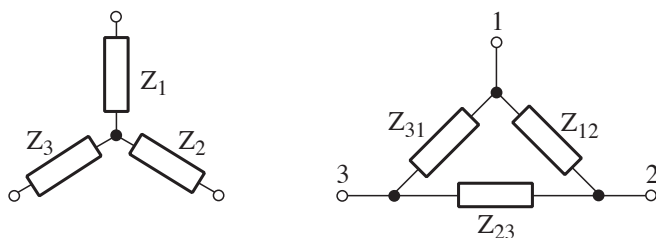
$$Q_o = \frac{X_L}{R}$$

במעגל תהודה מקבילי:

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

7. המרה כוכב-משולש

$$\begin{aligned} Z_1 &= \frac{Z_{12} \cdot Z_{31}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}} & Z_{12} &= \frac{Z_1 \cdot Z_2 + Z_2 \cdot Z_3 + Z_3 \cdot Z_1}{Z_3} \\ Z_2 &= \frac{Z_{12} \cdot Z_{23}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}} & Z_{23} &= \frac{Z_1 \cdot Z_2 + Z_2 \cdot Z_3 + Z_3 \cdot Z_1}{Z_1} \\ Z_3 &= \frac{Z_{23} \cdot Z_{31}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}} & Z_{31} &= \frac{Z_1 \cdot Z_2 + Z_2 \cdot Z_3 + Z_3 \cdot Z_1}{Z_2} \end{aligned}$$



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]

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

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

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

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

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

$$\text{זמן המחזור} \quad - \quad T \quad [\text{sec}]$$

$$\text{תדירות זוויתית} \quad - \quad \omega \quad [\text{rad / sec}]$$

$$\text{תדירות} \quad - \quad f \quad [\text{Hz, cycles / sec}]$$

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

$$\text{היגב השראותי} \quad - \quad X_L \quad [\Omega]$$

$$\text{היגב קיבולי} \quad - \quad X_C \quad [\Omega]$$

9. הספקים

הספק פעיל	-	P [W]
הספק מדומה	-	S [VA]
הספק היגבי	-	Q [VAr]
זווית מופע	-	φ [°, rad]

$$\tan \varphi = \frac{Q}{P}$$

$$P = S \cos \varphi$$

$$S = P \pm jQ$$

$$Q = S \sin \varphi$$

10. רשתות תלת-מופעיות

כוכב סימטרי

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

$$I_L = I_{ph}$$

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

משולש סימטרי

$$U_L = U_{ph}$$

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

הספק תלת מופעי

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

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

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

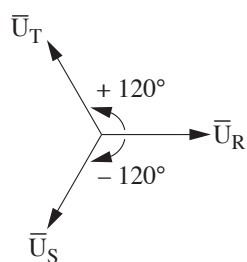
$$Q = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \sin \varphi$$

ייצוג מתחים מופעיים במישור המרוכב של רשת תלת-מופעית סימטרית

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

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

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



רשת תלת-מופעית עם מוליך אפס

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

זרם במוליך האפס - $\bar{I}_N$ [A]

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

זרם קווי - $\bar{I}_L$ [A]

הספק בתחילת קו ההזנה - P_1 [W]

$$P_1 = P_2 + \Delta P$$

הספק בסוף קו ההזנה - P_2 [W]

נצילות המערכת η

הפסדי הספק בקו ההזנה ΔP [W]

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

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

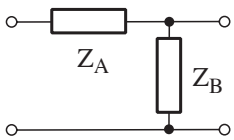
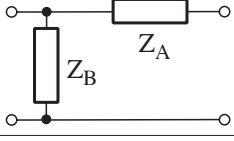
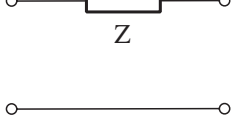
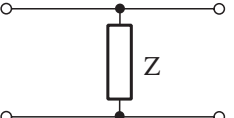
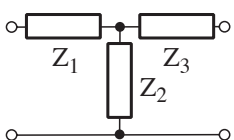
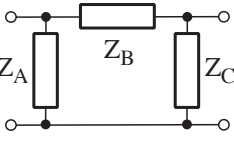
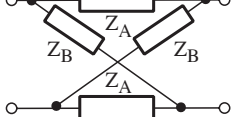
Y מקדמי

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

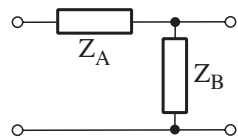
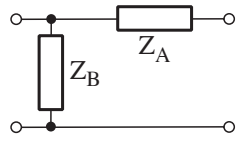
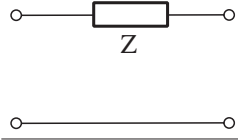
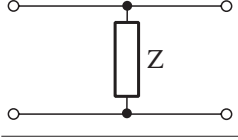
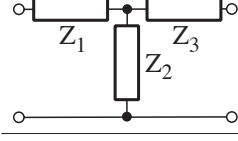
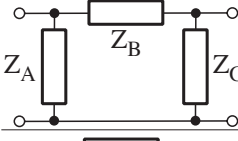
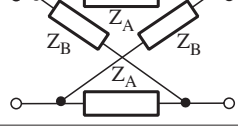
h מקדמי

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

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 I₁ וזרם היציאה I₂ 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	$\frac{-h_{22}}{h_{21}}$	$\frac{-1}{h_{21}}$
	$\frac{ Z }{Z_{22}}$	$\frac{Z_{12}}{Z_{22}}$	$\frac{1}{Y_{11}}$	$\frac{-Y_{12}}{Y_{11}}$	$\frac{B}{D}$	$\frac{AD-BC}{D}$	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. $|Z|$, $|Y|$, $|h|$ 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) $Z_O = \sqrt{\frac{B}{C}}$

- מהצד האחד { Z_{O1} [Ω] - עכבת הברואה
 Z_{SC1} [Ω] - עכבת המבוא כאשר המוצא בקצר
 Z_{OC1} [Ω] - עכבת המבוא כאשר המוצא בנתק
- מהצד האחר { Z_{O2} [Ω] - עכבת הברואה
 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. מסננים

- R_o [Ω] - התנגדות אופיינית
 A_V - הגבר מתח
 V_o [V] - מתח מוצא
 V_i [V] - מתח מבוא
 A_V [dB] - הגבר מתח בדציבלים
 A_P - הגבר הספק
 P_o [W] - הספק מוצא
 P_i [W] - הספק מבוא
 A_P [dB] - הגבר הספק בדציבלים

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

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

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

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

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

K קבוע - LPF

f_c [Hz] - תדר פוגה

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

כאשר $\omega < \omega_c$:

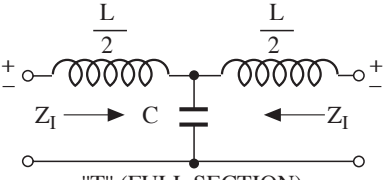
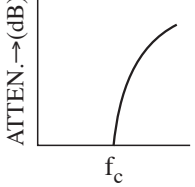
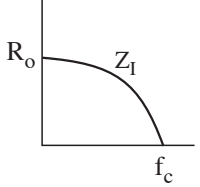
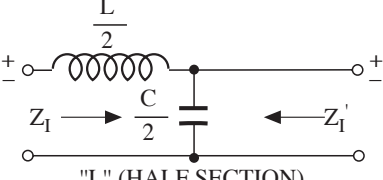
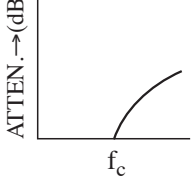
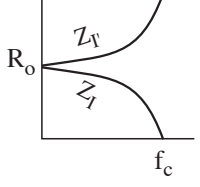
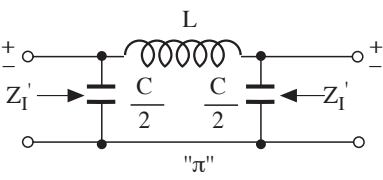
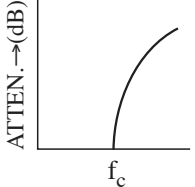
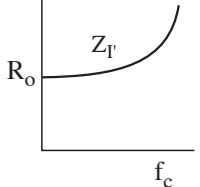
$$\beta = 2 \sin^{-1} \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)$$

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"		
$L = \frac{R_o}{\pi f_c} \quad ; \quad C = \frac{1}{\pi f_c R_o}$		
$R_o = \text{LINE IMPEDANCE}$		

K קבוע - HPF

f_c [Hz] - תדר פוגה

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

כאשר $\omega > \omega_c$:

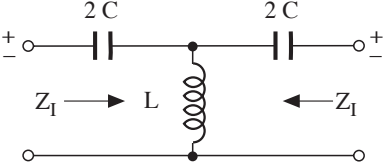
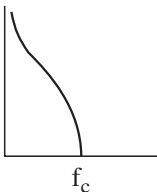
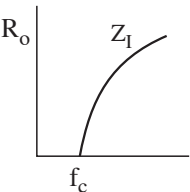
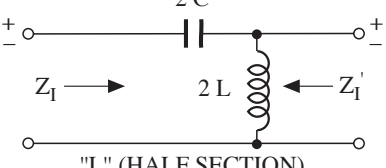
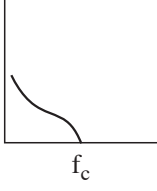
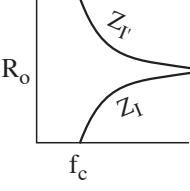
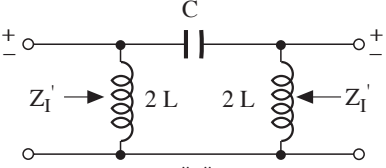
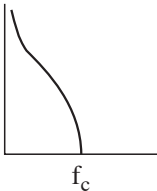
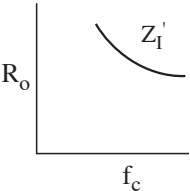
$$\beta = -2 \sin^{-1} \left(\frac{\omega_c}{\omega} \right)$$

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)		
 "L" (HALF SECTION)		
 "pi"		
$L = \frac{R_o}{4 \pi f_c} \quad ; \quad C = \frac{1}{4 \pi f_c R_o}$ $R_o = \text{LINE IMPEDANCE}$		

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

נוסחאון באלקטרוניקה ב' לכיתה י"ד

(4 עמודים)

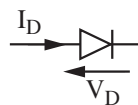
משוב שלילי

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

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

דיודת צומת

סימול:



א. דיודה אידיאלית:

ממתח קדמי - $V_D = 0$ (קצר)

ממתח אחורני - $I_D = 0$ (נתק)

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	$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{gs}}{V_p} \right)^2$
I_{DSS} [A]	- זרם האפיק עבור $V_{gs} = 0$	
V_{gs} [V]	- המתח בין השער למקור	
V_p [V]	- מתח צביטה	$g_m = \frac{2I_{DSS}}{ V_p } \left(1 - \frac{V_{gs}}{V_p} \right)$
g_m $\left[\frac{1}{\Omega} \right]$	- מוליכות הדדית	
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 :

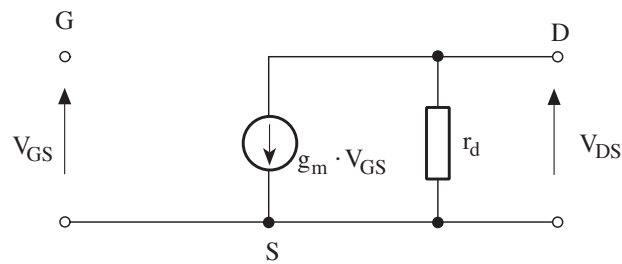
V_T [V]	- מתח צביטה	
k $\left[\frac{mA}{V^2} \right]$	- מקדם	$I_D = k(V_{GS} - V_T)^2$

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	∅	∅	N.C
	0	0	N.C
	0	1	0
	1	0	1
	1	1	$\overline{Q}_{n-1}$ (שינוי מצב)

טבלת מצבים של SRFF (סינכרוני)

CLK	S	R	Q
0 , 1	∅	∅	N.C
	0	0	N.C
	0	1	0
	1	0	1
	1	1	מצב אסור

טבלת מצבים של DFF

CLK	D	Q
1 , 0	∅	N.C
	0	0
	1	1

נספח ד': מילון מונחים
לשאלון 733003, אביב תשפ"ה

המונח	תרגום המונח		
	ערבית	רוסית	אנגלית
אות שעון	إشارة ساعة	Тактовый сигнал	clock signal
דטרמיננטים	مُحدَّد ج. مُحدِّدات	Детерминанты	determinants
דלגלג	نَطَّاط / قَلَّاب	Триггер	flip-flop
הספק היגבי	القدرة الارتكاسيَّة	Реактивная мощность	reactive power
הספק מדומה	القدرة الوهميَّة	Мнимая мощность	false power
הספק פעיל	القدرة الفعَّالة	Активная мощность	active power
השראותי	حَثِّي	Индуктивный	inductive
זרם חילופין	التيَّار المُتَرَدِّد	Переменный ток	alternative current
חיבור כוכב	اتِّصال نجمي	Соединение звездой	star connection
מגבר מכשור	مُضخِّم فارقِي (جهازِي)	Измерительный усилитель	instrumentation amplifier
מגבר שרת	مُضخِّم تشغيلي	Операционный усилитель	operational amplifier
מונה	عَدَّاد	Счѐтчик	counter
מצב תהודה	حالة رنين	Состояние резонанса	resonance state
מקדם טיב	مُعَامِل النوعيَّة	Коэффициент добротности	quality factor
עומס תלת-מופע	حِمْل ثلاثيِّ الأطوار	Трёхфазная нагрузка	three-phase load
עכבה אופיינית	المُمانعة المُميَّزة	Характерное реактивное сопротивление	characteristic impedance
קו הזנה	خطُّ التغذية	Линия питания	feed line
קיבולי	مُكثِّف	Конденсатор	capacitive
רב־רטט חופשי	مُذبذب حرُّ الأداء	Мультивибратор	free running oscillator