

סוג הבחינה: גמר לבתי-ספר לטכנאים ולהנדסאים

מועד הבחינה: אביב תשע"ד, 2014

סמל השאלון: 733003

נספחים: א. נספח לשאלה 7

ב. נוסחאון במערכות חשמל

לכיתה י"ד

ג. נוסחאון באלקטרוניקה ב'

לכיתה י"ד

חשמל ואלקטרוניקה ה'

מגמת הנדסת חשמל, בקרה ואנרגיה

(כיתה י"ד)

הוראות לנבחן

א. משך הבחינה: ארבע שעות.

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

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

ג. חומר עזר מותר לשימוש: מחשבון.

ד. הוראות מיוחדות:

- 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 מֶרֶב הנקודות מותנית בהשלמת כל המהלכים שלהלן, בסדר שבו הם רשומים:
 - * רישום הנוסחה המתאימה.
 - * הצבה של כל הערכים ביחידות המתאימות.
 - * חישוב (אפשר באמצעות מחשבון).
 - * רישום התוצאה המתקבלת, יחד עם יחידות המידה המתאימות.
 - * ליווי הפתרון החישובי בהסבר קצר.

בשאלון זה 9 עמודים ו-24 עמודי נספחים.

ההנחיות בשאלון זה מנוסחות בלשון זכר,

אך מכוונות הן לנבחנות והן לנבחנים.

השאלות

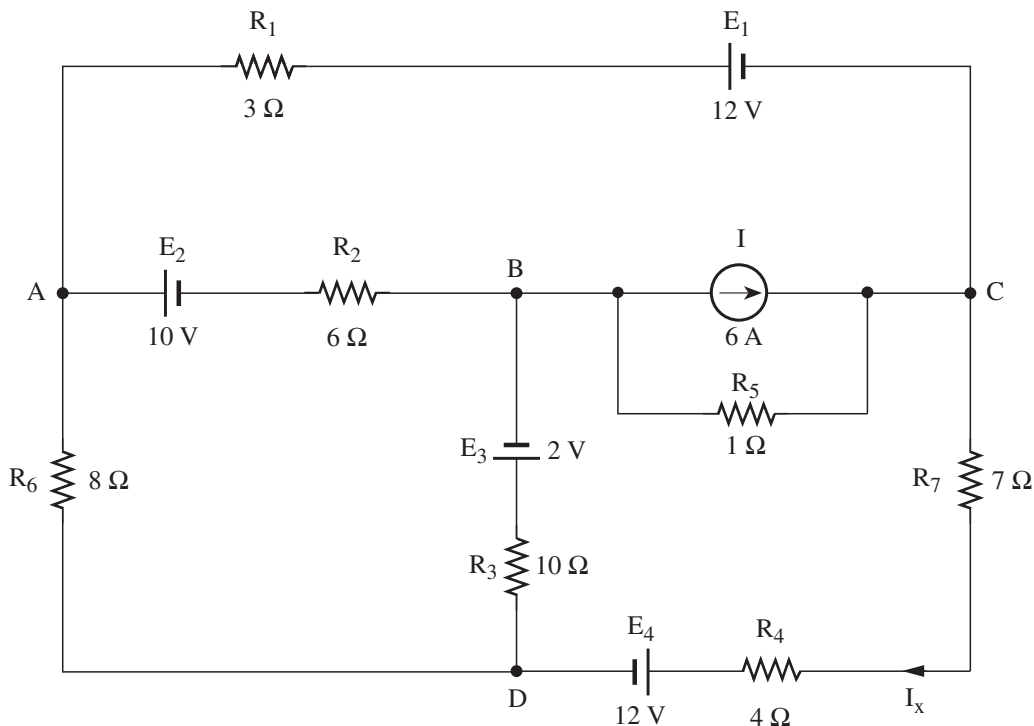
ענה על ארבע מבין השאלות 1-8. עליך לענות על שאלה אחת לפחות מכל פרק.

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.



איור לשאלה 1

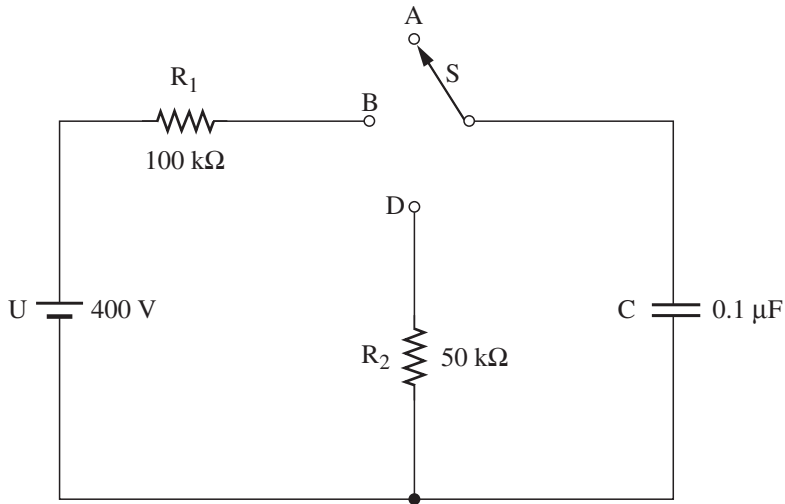
א. רשום מערכת משוואות לפתרון המעגל בשיטת מתחי הצמתים, כאשר הצומת D מהווה צומת ייחוס.

ב. חשב את הפרש הפוטנציאלים בין הנקודות A ו-C במעגל.

ג. חשב את הזרם I_x .

שאלה 2

באיור לשאלה 2 נתון מעגל חשמלי המוזן ממקור מתח ישר. המפסק S נמצא בנקודה A.



איור לשאלה 2

ברגע $t = 0$ המתח על הקבל C הוא 0 V.

ברגע $t = 0$ מעבירים את המפסק לנקודה B, ולאחר 15 msec מעבירים אותו לנקודה D.

א. רשום ביטוי המתאר את המתח על הקבל כפונקציה של הזמן בתחום $0 \leq t \leq 15$ msec, וחשב את ערכו של המתח ברגע $t = 15$ msec.

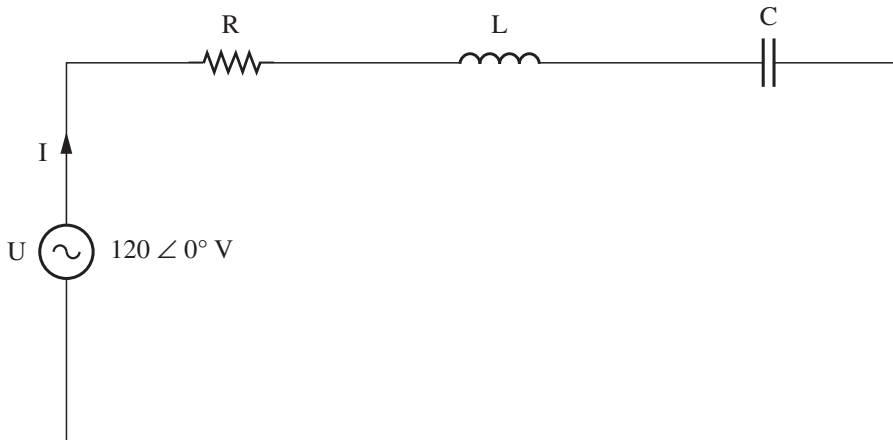
ב. רשום ביטוי המתאר את המתח על הקבל כפונקציה של הזמן בתחום $t \geq 15$ msec, וחשב את ערכו של המתח ברגע $t = 30$ msec.

ג. סרטט גרף המתאר את המתח על הקבל כפונקציה של הזמן בתחום $0 \leq t \leq 30$ msec, וציין עליו ערכים משמעותיים של המתח והזמן.

ד. חשב את הזמנים שבהם המתח על הקבל יהיה 200 V.

שאלה 3

באיור לשאלה 3 נתון מעגל RLC טורי, הנמצא במצב תהודה.
תדר התהודה הזוויתי הוא $\omega_0 = 10^5 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$, ורוחב־הפס של המעגל הוא $0.15 \omega_0$.
ההספק הפעיל הנצרך במעגל ממקור־המתח הוא 30 W.



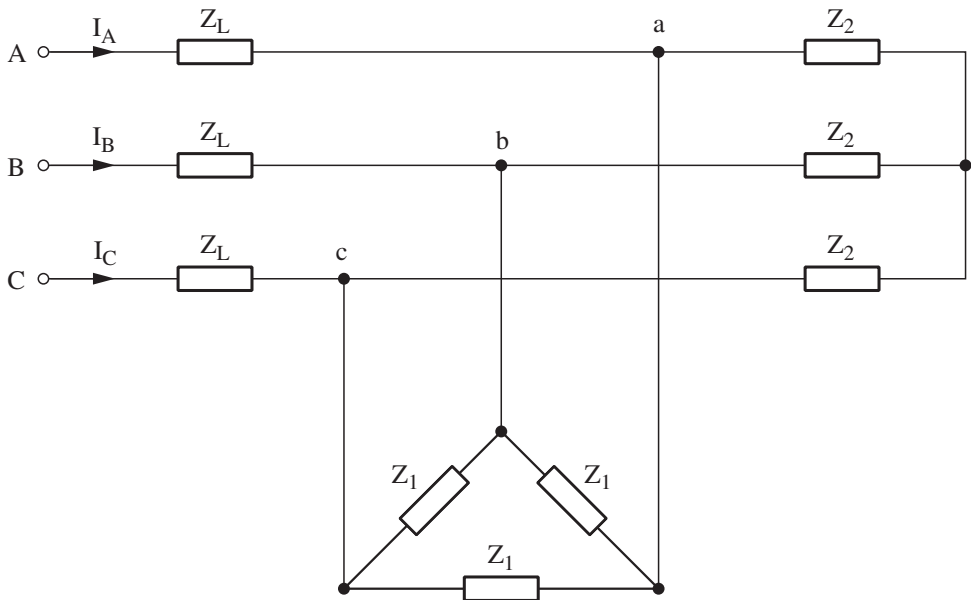
איור לשאלה 3

- א. חשב את גורם הטיב של המעגל.
- ב. חשב את התנגדות הנגד R, את השראות הסליל L ואת קיבול הקבל C.
- ג. חשב את הזרם I ואת המתחים V_C , V_L , V_R במצב תהודה.

שאלה 4

מחולל תלת-מופעי סימטרי מזין שני עומסים תלת-מופעיים סימטריים. העומס הראשון מחובר בחיבור משולש (Δ), והעומס השני מחובר בחיבור כוכב ($\star$), כמתואר באיור לשאלה 4. להלן נתוני המעגל:

- העכבה של כל קו הזנה: $Z_L = 0.2 + j 0.5 \Omega$
- העכבה למופע של העומס הראשון: $Z_1 = 12 + j 9 \Omega$
- העכבה למופע של העומס השני: $Z_2 = 10 + j 8 \Omega$
- המתחים בין הדקי המחולל: $U_{AB} = 440 \angle 0^\circ \text{ V}$; $U_{BC} = 440 \angle -120^\circ \text{ V}$; $U_{CA} = 440 \angle 120^\circ \text{ V}$



איור לשאלה 4

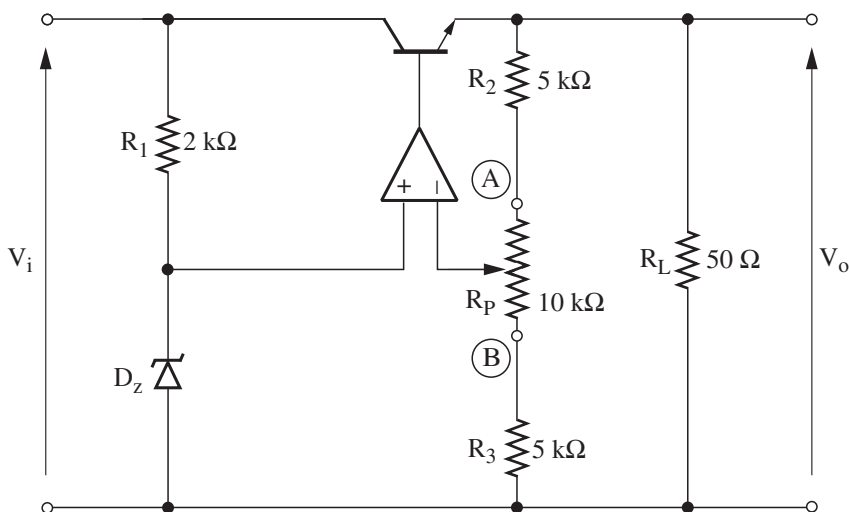
- א. חשב את הזרמים I_A , I_B ו- I_C בקווי ההזנה. רשום את תשובותיך בהצגה מרוכבת.
- ב. חשב את המתחים המופעיים של כל אחד מן העומסים. רשום את תשובותיך בהצגה מרוכבת.
- ג. חשב את ההספק הפעיל, את ההספק ההיגבי ואת ההספק המדומה של המחולל.

פרק שני: אלקטרוניקה ב'

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

שאלה 5

באיור לשאלה 5 נתון המעגל החשמלי של מייצב מתח טורי.
נתוני המעגל הם: $\beta = 50$, $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$, $V_{D_z} = 6.3 \text{ V}$, $V_i = 30 \text{ V}$.

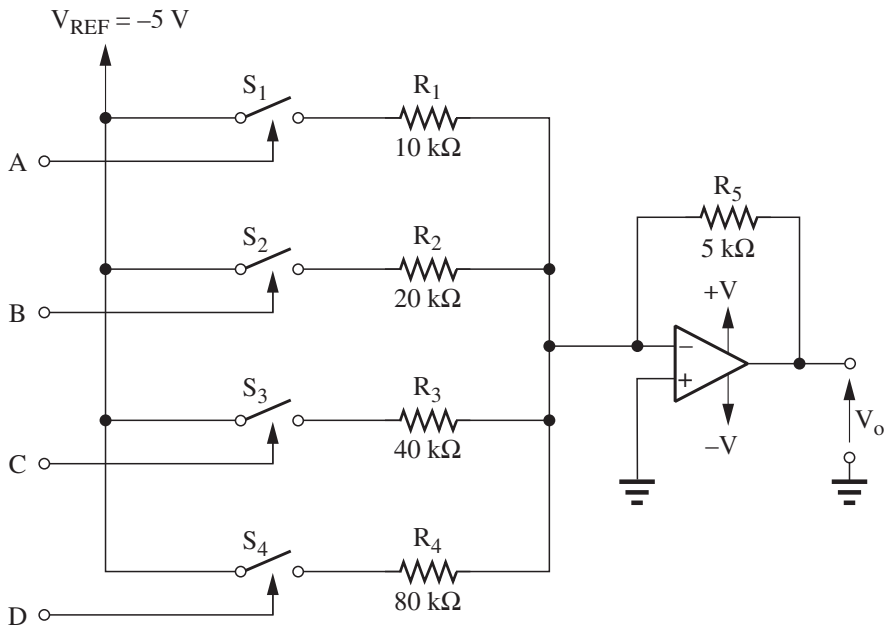


איור לשאלה 5

- א. חשב את מתח המוצא V_o כאשר זחלן הפוטנציומטר R_P נמצא בנקודה (A).
- ב. חשב את מתח המוצא V_o כאשר זחלן הפוטנציומטר R_P נמצא בנקודה (B).
- ג. חשב את הזרם במוצא מגבר השרת, כאשר ערכו של מתח המוצא V_o הוא מרבי.

שאלה 6

באיור לשאלה 6 נתון המעגל החשמלי של ממיר אות ספרתי לאות תקבילי (D/A) בעל 4 סיביות. למבואות $A + D$ נמסר אות ספרתי.



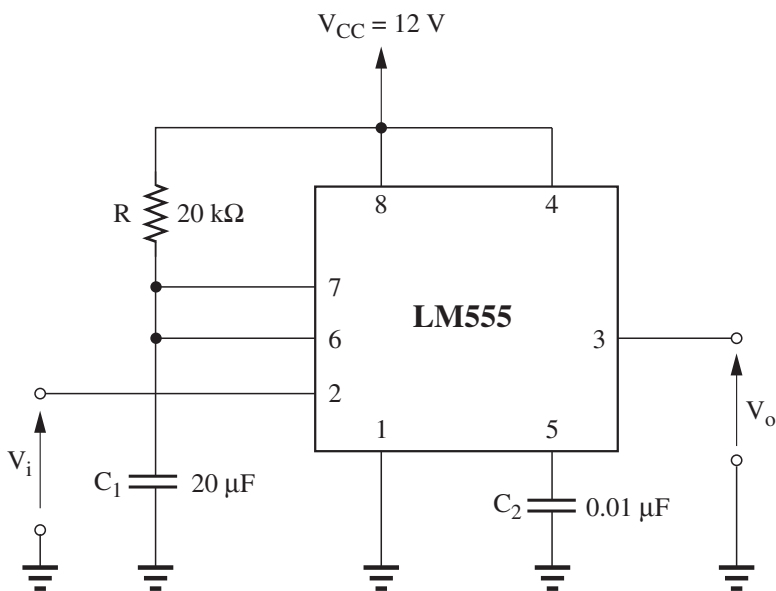
איור לשאלה 6

- א. הסבר את פעולת הממיר. ציין איזה מבוא הוא LSB ואיזה מבוא הוא MSB.
- ב. חשב את כושר ההבחנה (הרזולוציה) של הממיר.
- ג. חשב את מתח המוצא, V_o , המתקבל עבור הצירוף 1001 במבואות ABCD.

שאלה 7

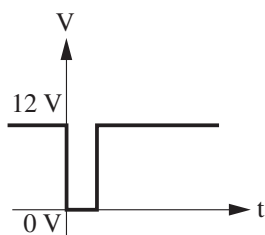
א. הסבר מהו רב־רטט חד־יציב.

ב. באיור א' לשאלה 7 מתואר המעגל החשמלי של רב־רטט חד־יציב, הממומש באמצעות הרכיב LM555. דפי־המפרט של הרכיב נתונים בנספח לשאלה.



איור א' לשאלה 7

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



איור ב' לשאלה 7

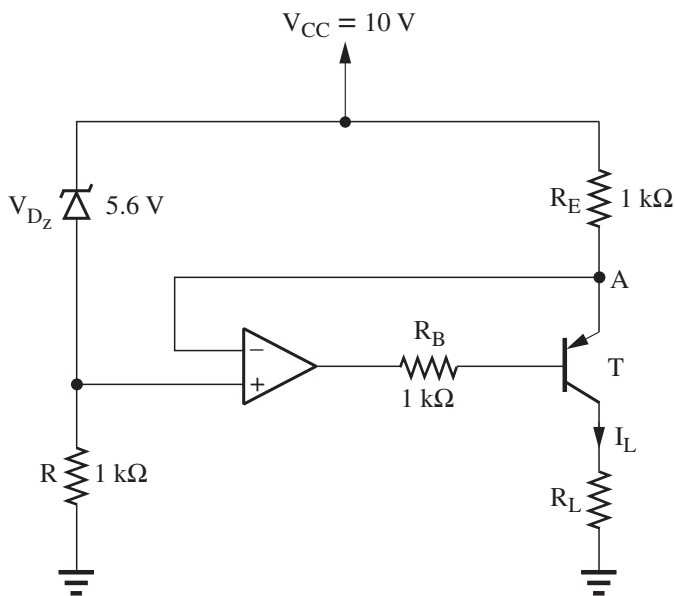
ציין את ערכי המתחים V_{C1} , V_i ו־ V_o במצב היציב.

ג. סרטט, זה מתחת לזה בהתאמה את צורות המתחים V_i , V_{C1} ו- V_o כפונקציה של הזמן.
רשום בסרטוטך את ערכי המתחים.

ד. חשב את רוחב הדופק המתקבל במוצא V_o .

שאלה 8

באיור לשאלה 8 נתון המעגל החשמלי של מקור-זרם.
נתוני הטרנזיסטור T הם: $V_{EB} = 0.6 \text{ V}$, $\beta = 50$.



איור לשאלה 8

א. חשב את המתח בנקודה A.

ב. חשב את הזרם I_L .

ג. חשב את ערכו המרבי של הנגד R_L , אם נדרש ש- $V_{EC} \geq 1 \text{ V}$.

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 μSec

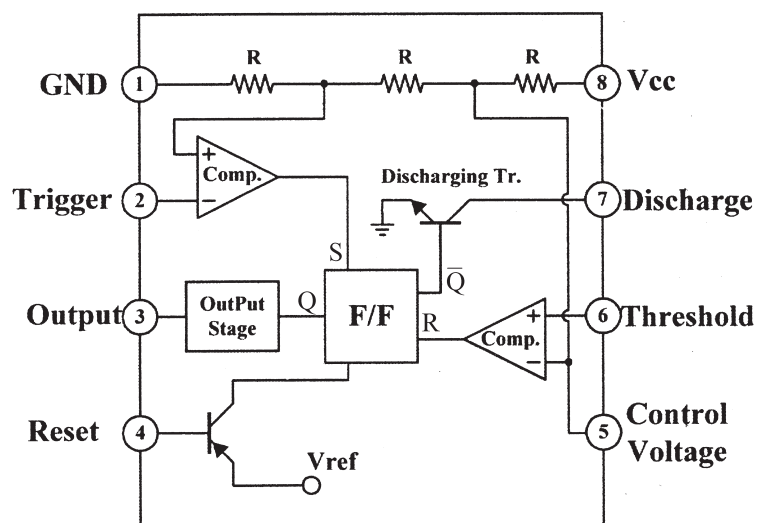
Description

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

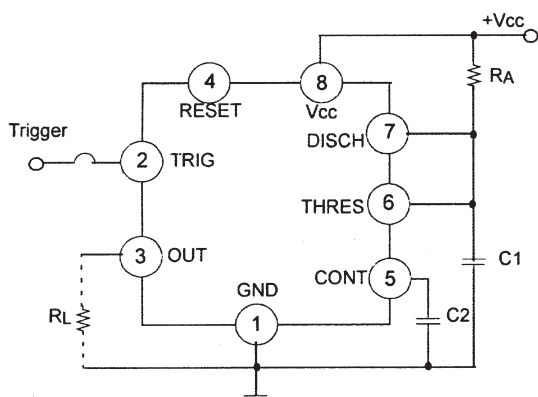


Figure 1. Monoatable Circuit

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.

מקום נמצאת נבחן

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

נוסחאון במערכות חשמל לכיתה י"ד

(17 עמודים)

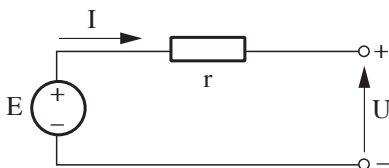
(הגדלים בנוסחאון מופיעים ביחידות SI)

1. מקור מתח ומקור זרם

כא"מ של מקור מתח

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

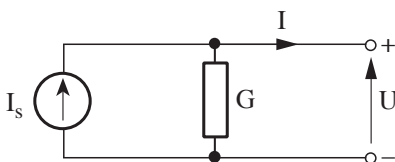
$$E = U + I \cdot r$$



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

קבל לוחות

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

3. מגנטיות ואלקטרומגנטיות

$$B \quad \left[\frac{\text{Wb}}{\text{m}^2} \right] \quad - \quad \text{השראה מגנטית (שדה מגנטי)}$$

$$B = \frac{\Phi}{A}$$

$$A \quad [\text{m}^2] \quad - \quad \text{שטח חתך}$$

$$\Phi \quad [\text{Wb} \quad \text{או} \quad \text{V} \cdot \text{sec}] \quad - \quad \text{שטף מגנטי}$$

$$E \quad [\text{V}] \quad - \quad \text{כא"מ מושרה}$$

$$E = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

$$N \quad - \quad \text{מספר כריכות הסליל}$$

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

$$L = N \frac{d\Phi}{dI}$$

$$M^* \quad [\text{H}] \quad - \quad \text{השראות הדדית}$$

$$k \quad - \quad \text{מקדם הצימוד}$$

$$E = -L \frac{dI}{dt}$$

$$W \quad [\text{J} \quad \text{או} \quad \text{W} \cdot \text{sec}] \quad - \quad \text{האנרגיה המגנטית האגורה בסליל}$$

$$L = \frac{N^2}{R_m}$$

$$M^* = k \sqrt{L_1 L_2}$$

$$W = \frac{1}{2} LI^2$$

4. רכיבים פסיביים ליניאריים

סליל

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

קבל

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

5. תופעות מעבר

מעגל RC

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

מעגל RL

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

6. מעגל תהודה RLC טורי/מקבילי

f_0 [Hz]	- תדר התהודה	$f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{LC}}$	$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$
ω_0 $\left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$	- תדר התהודה הזוויתי	$BW = \frac{f_0}{Q_0}$	
BW [Hz]	- רוחב הפס	$Q_0 = \frac{X_L}{R}$	
Q_0	- גורם הטיב		

במעגל תהודה טורי:

$$Q_0 = \frac{X_L}{R}$$

במעגל תהודה מקבילי:

$$Q_0 = \frac{R}{X_L}$$

7. המרה כוכב-משולש

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

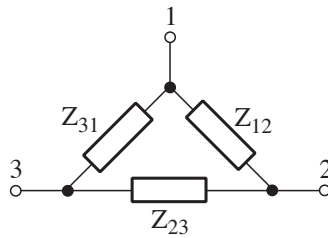
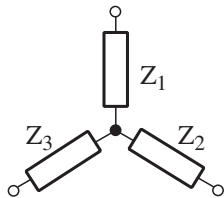
$$Z_{12} = \frac{Z_1 \cdot Z_2 + Z_2 \cdot Z_3 + Z_3 \cdot Z_1}{Z_3}$$

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

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

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

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



זרם חילופין סינוסואידלי

8.

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

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

ערך רגעי של הזרם	-	$i(t)$	[A]
ערך מרבי של הזרם -	-	$I_{\max}$	[A]
תנופת הזרם			
זווית מופע	-	α	[rad]
זמן	-	t	[sec]
ערך רגעי של המתח	-	$u(t)$	[V]
ערך מרבי של המתח -	-	$U_{\max}$	[V]
תנופת המתח			
ערך יעיל של הזרם	-	I_{eff}	[A]
ערך יעיל של המתח	-	U_{eff}	[V]
זמן המחזור	-	T	[sec]
תדירות זוויתית	-	ω	[rad / sec]
תדירות	-	f	[Hz , cycles / sec]
היגב השראותי	-	X_L	[Ω]
היגב קיבולי	-	X_C	[Ω]

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

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

$$\omega = 2\pi f$$

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

$$X_L = \omega L$$

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

הספקים

9.

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

$$I_L = I_{ph}$$

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

$$\begin{aligned} I_L \text{ [A]} &- \text{ זרם קווי} \\ I_{ph} \text{ [A]} &- \text{ זרם מופעי} \\ U_L \text{ [V]} &- \text{ מתח שלוב (קווי)} \\ U_{ph} \text{ [V]} &- \text{ מתח מופעי} \end{aligned}$$

משולש סימטרי

$$U_L = U_{ph}$$

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

הספק תלת מופעי

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

$$\begin{aligned} S \text{ [VA]} &- \text{ הספק מדומה תלת-מופעי} \\ P \text{ [W]} &- \text{ הספק פעיל תלת-מופעי} \\ Q \text{ [VAr]} &- \text{ הספק היגבי תלת-מופעי} \end{aligned}$$

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

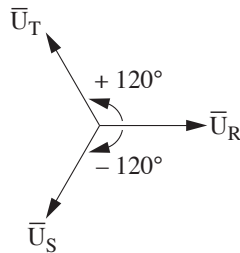
$$Q = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \sin \varphi$$

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

ABCD מקדמי

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

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

Z מקדמי

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

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

Y מקדמי

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

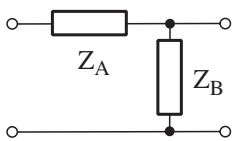
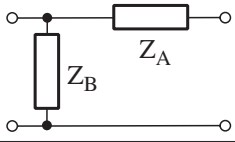
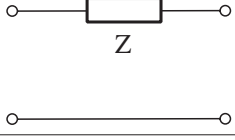
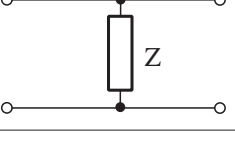
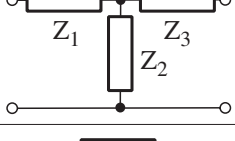
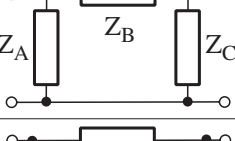
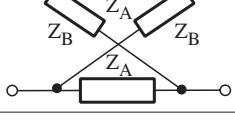
$$\begin{aligned} I_1 &= Y_{11} \cdot V_1 + Y_{12} \cdot V_2 \\ I_2 &= Y_{21} \cdot V_1 + Y_{22} \cdot V_2 \end{aligned}$$

h מקדמי

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

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

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	$\frac{-h_{22}}{h_{21}}$	$\frac{-1}{h_{21}}$
	$\frac{ Z }{Z_{22}}$	$\frac{Z_{12}}{Z_{22}}$	$\frac{1}{Y_{11}}$	$\frac{-Y_{12}}{Y_{11}}$	$\frac{B}{D}$	$\frac{AD-BC}{D}$	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

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

- 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

(עבור רשת
סימטרית בלבד)

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

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

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

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

$$\gamma \quad \text{קבוע ההתפשטות}$$

$$\alpha \quad \text{קבוע הניחות} \quad [\text{neper}]$$

$$(1 \text{ neper} = 8.69 \text{ dB})$$

$$\beta \quad \text{קבוע המופע, זווית המופע בין הזרמים } I_1 \text{ ו- } I_2 \quad [\text{rad}]$$

$$N \quad \text{ניחות}$$

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

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

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

12. מסננים

R_o [Ω] – התנגדות אופיינית

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

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

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

LPF – קבוע K

תדר פוגה – f_c [Hz]

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

כאשר $\omega < \omega_c$

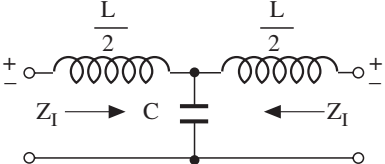
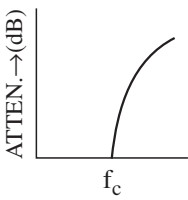
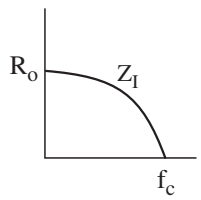
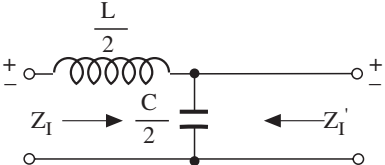
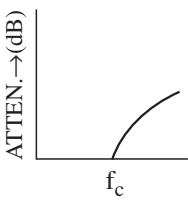
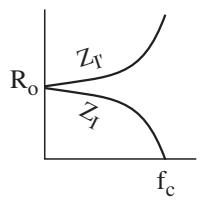
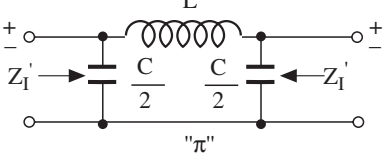
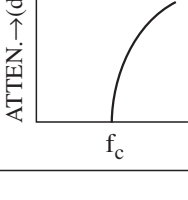
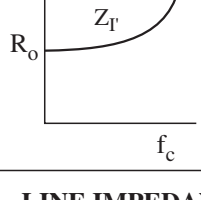
$$\beta = 2 \sin^{-1} \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)$$

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

HPF – קבוע K

f_c [Hz] – תדר פוגה

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

כאשר $\omega > \omega_c$:

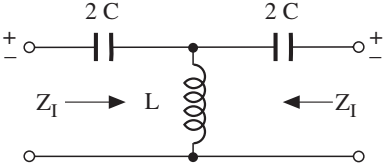
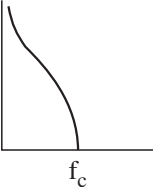
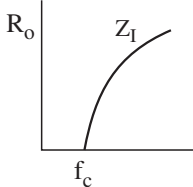
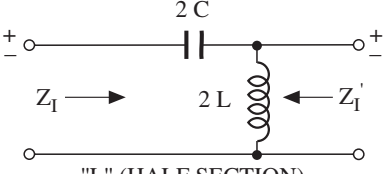
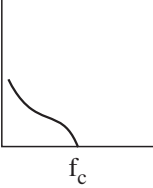
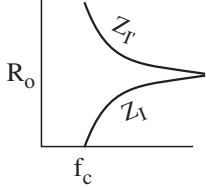
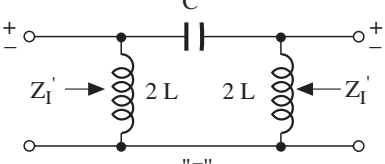
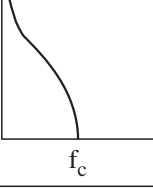
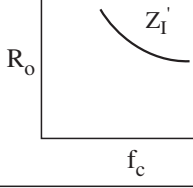
$$\beta = -2 \sin^{-1} \left(\frac{\omega_c}{\omega} \right)$$

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

בהצלחה!

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

מקום לנכתוב תשובות

נוסחאון באלקטרוניקה ב'

לכיתה י"ד

(5 עמודים)

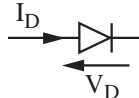
משוב שלילי

- 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 - $I_D = 0$ (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)

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

- 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

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

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

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

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

טרנזיסטור MOSFET (אזור הרוויה)

עבור טרנזיסטור מסוג N - CHANNEL :

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

$$V_T$$
 [V] - מתח צביטה

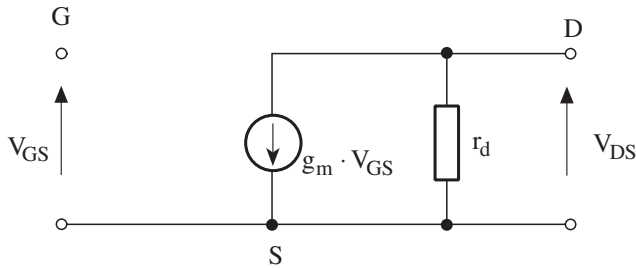
$$k \left[\frac{\text{mA}}{\text{V}^2} \right] - \text{מקדם}$$

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
	0	0
	1	1

בהצלחה!