

חשמל ואלקטרוניקה ה'

מגמת הנדסת חשמל, בקרה ואנרגייה

(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, שאלה אחת לפחות מכל פרק. לכל שאלה – 25 נקודות. סך-הכול – 100 נקודות.

ג. חומר עזר מותר לשימוש:

- כל חומר הכתוב (בכתב יד או בהדפסה) על שלושה דפי A4, משני הצדדים.
- 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 מֶרֶב 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 10 עמודים ו-23 עמודי נספחים.

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

בהצלחה!

השאלות

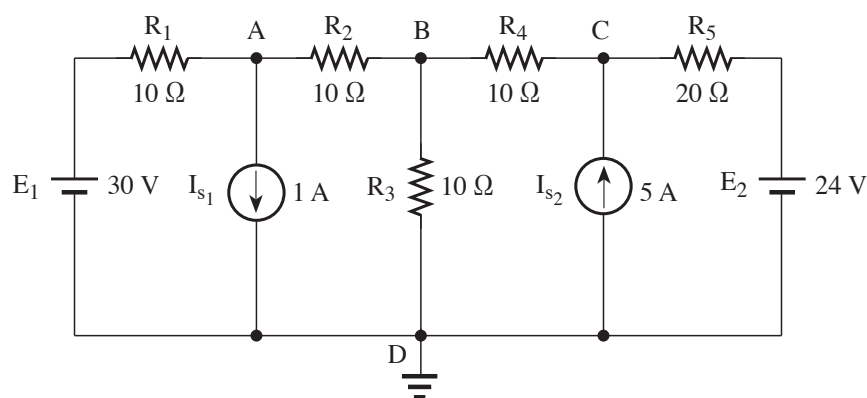
בשאלון זה שני פרקים, ובהם שמונה שאלות. יש לענות על ארבע שאלות בלבד, שאלה אחת לפחות מכל פרק. לכל שאלה – 25 נקודות. סך-הכול – 100 נקודות.

פרק ראשון: מערכות חשמל

ענו על שאלה אחת לפחות מהשאלות 1–4 (לכל שאלה – 25 נקודות).

שאלה 1

באיור לשאלה 1 מתואר מעגל חשמלי. נקודה D חוברה לפוטנציאל אפס (אדמה).



איור לשאלה 1

א. (12 נק')

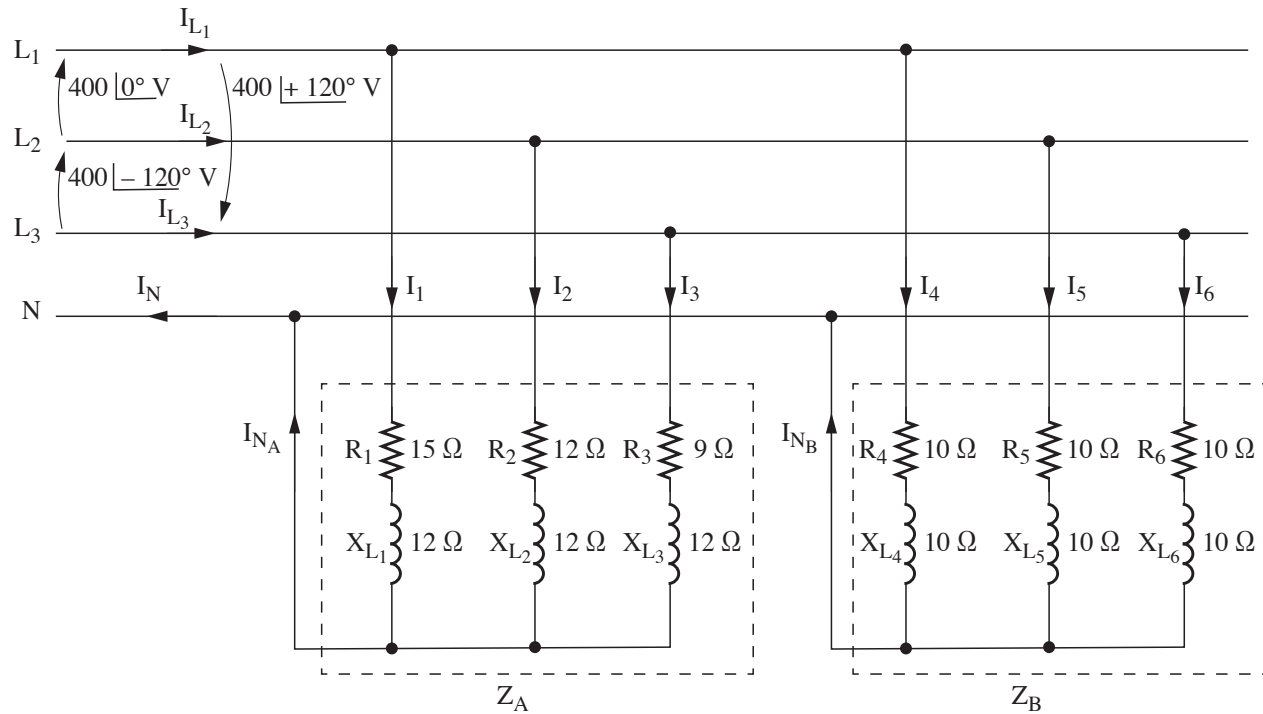
1. (7 נק') כתבו מערכת משוואות לפתרון המעגל בשיטת מתחי הצמתים.
2. (5 נק') כתבו ייצוג מטריציאלי של המשוואות שכתבתם בתשובה לסעיף א'1.

ב. (7 נק') חשבו את המתחים בנקודות A, B ו-C ביחס לאדמה (נקודה D).

ג. (6 נק') חשבו את ההספק של מקור המתח E_1 , ואת הזרם הזורם דרך הנגד R_2 .

שאלה 2

באיור לשאלה 2 מתוארת רשת תלת־מופעית המזינה שני עומסים בחיבור כוכב – חיבור אחד סימטרי וחיבור אחר לא־סימטרי.

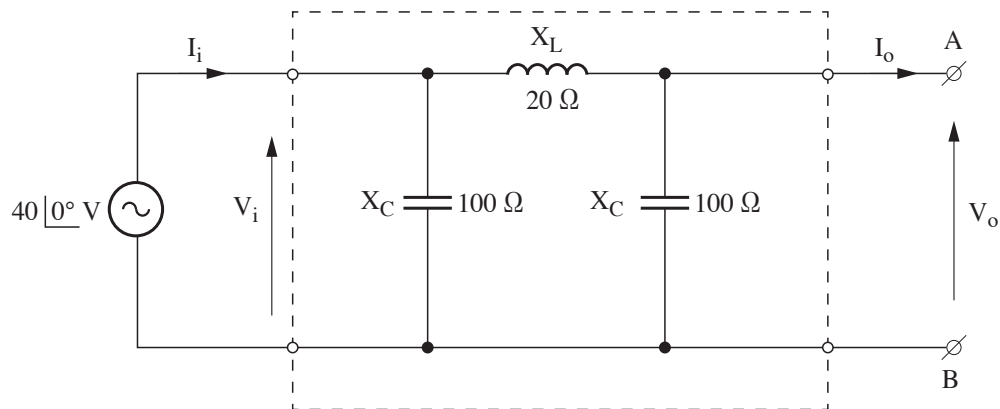


איור לשאלה 2

- א. (12 נק') חשבו את פאזורי הזרמים בכל אחד מהצרכנים, כולל הזרם במוליך האפס.
- ב. (7 נק') חשבו את פאזורי הזרמים בכל אחד מקווי הרשת, כולל במוליך האפס.
- ג. (6 נק') חשבו את ההספק הממשי הכולל של הרשת.

שאלה 3

באיור לשאלה 3 מתואר מעגל חשמלי הכולל רשת זוגיים.

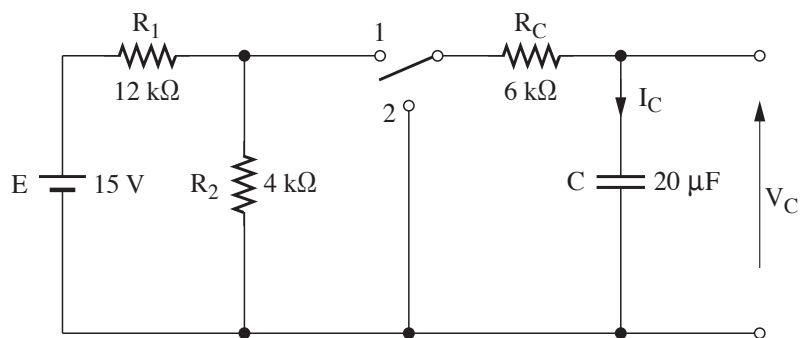


איור לשאלה 3

- א. (7 נק') חשבו את מקדמי ה- Y של הרשת (Y_{11} , Y_{12} , Y_{21} , Y_{22}).
- ב. (10 נק') חשבו את הזרם I_i כאשר:
1. המוצא בקצר. (5 נק')
 2. המוצא בנתק. (5 נק')
- ג. (8 נק') במוצא הרשת, בין הנקודות A ו-B, חיברו עומס. המתח שנמדד עליו הוא $V_o = 20 \angle 0^\circ$ V. חשבו את הזרם במבוא I_i ואת הזרם במוצא I_o .

שאלה 4

באיור לשאלה 4 מתואר מעגלי חשמלי, הכולל נגדים וקבל. המתח ההתחלתי של הקבל הוא: $V_C = 0 \text{ V}$.



איור לשאלה 4

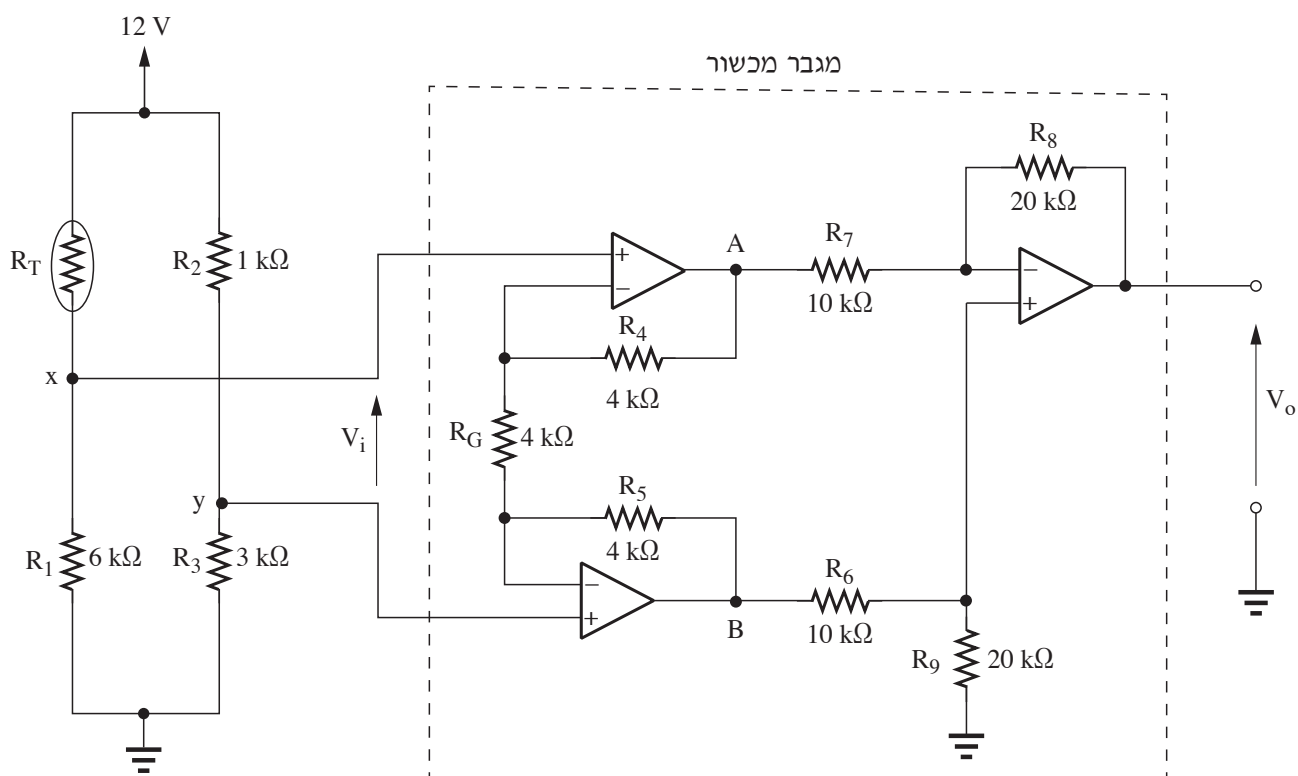
- (10 נק')** א. בזמן $t = 0$ מעבירים את המתג למצב 1.
1. (5 נק') כתבו ביטוי המתאר את המתח על הקבל כפונקצייה של הזמן.
 2. (5 נק') חשבו את המתח על הקבל בזמן $t = 0.25 \text{ sec}$.
- (10 נק')** ב. בזמן $t = 0.25 \text{ sec}$ מעבירים את המתג למצב 2.
1. (5 נק') כתבו ביטוי המתאר את מתח הקבל כפונקצייה של הזמן, וביטוי המתאר את הזרם הזורם דרך הקבל כפונקצייה של הזמן.
 2. (5 נק') חשבו את הזרם ואת המתח על הקבל כעבור $t = 0.25 \text{ sec}$ מרגע העברת המפסק למצב 2.
- (5 נק')** ג. סרטטו גרף המתאר את המתח על-פני הקבל כפונקצייה של הזמן, בתחום הזמנים $0 \leq t \leq 0.5 \text{ sec}$. כתבו את התוצאות שקיבלתם בסעיפים הקודמים.

פרק שני: אלקטרוניקה ב'

ענו על שאלה אחת לפחות מהשאלות 5–8 (לכל שאלה – 25 נקודות).

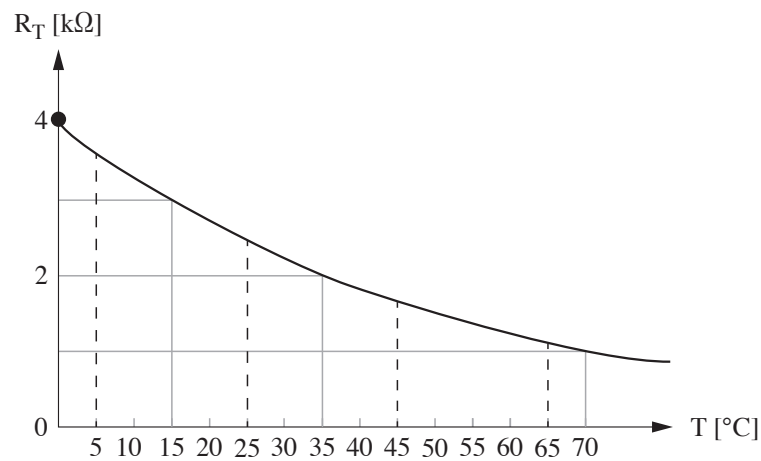
שאלה 5

באיור א' לשאלה 5 מתואר מעגל חשמלי הכולל מגבר מכשור, גשר נגדים למדידת הטמפרטורה ונגד תלוי טמפרטורה (תרמיסטור).
מגברי השרת שבמעגל אידיאליים.



איור א' לשאלה 5

באיור ב' לשאלה 5 מתואר אופיין המתאר את התנגדות התרמיסטור, R_T , כפונקצייה של הטמפרטורה.

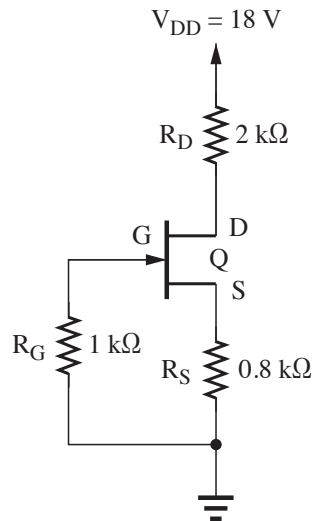


איור ב' לשאלה 5

- א. (15 נק')** התרמיסטור נמצא בטמפרטורת סביבה של 0°C .
1. (5 נק') חשבו את המתח, V_i .
 2. (5 נק') חשבו את הזרם הזורם דרך הנגד R_G .
 3. (5 נק') חשבו את מתח המוצא, V_o .
- ב. (5 נק')** חשבו את הטמפרטורה שבה מתח המוצא יהיה $V_o = 0\text{ V}$.
- ג. (5 נק')** במוצא V_o נמדד מתח של 6 V . חשבו את טמפרטורת הסביבה.

שאלה 6

באיור לשאלה 6 מתואר מעגל חשמלי של טרנזיסטור תוצא שדה (JFET) הפועל ב-DC. נתוני הטרנזיסטור הם: $V_P = -6 \text{ V}$, $I_{DSS} = 10 \text{ mA}$.

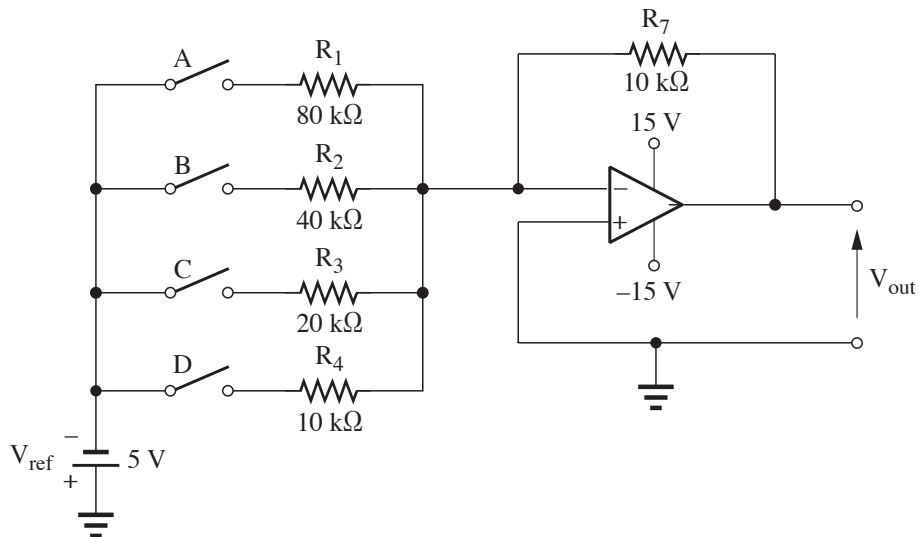


איור לשאלה 6

- א. (10 נק') חשבו את נקודת העבודה של הטרנזיסטור (V_{DS} , I_D).
- ב. (7 נק') חשבו את הפרמטר g_m .
- ג. (8 נק') סרטטו אופיין סטטי $I_D = f(V_{GS})$, וסמנו עליו את נקודת החיתוך עם הצירים.

שאלה 7

באיור לשאלה 7 מתואר מעגל חשמלי של ממיר אות ספרתי לאות אנלוגי (D/A). הממיר בנוי ממגבר שרת, נגדים, מפסקים ומקור מתח ישר DC של 5 V בקוטביות הפוכה.



איור לשאלה 7

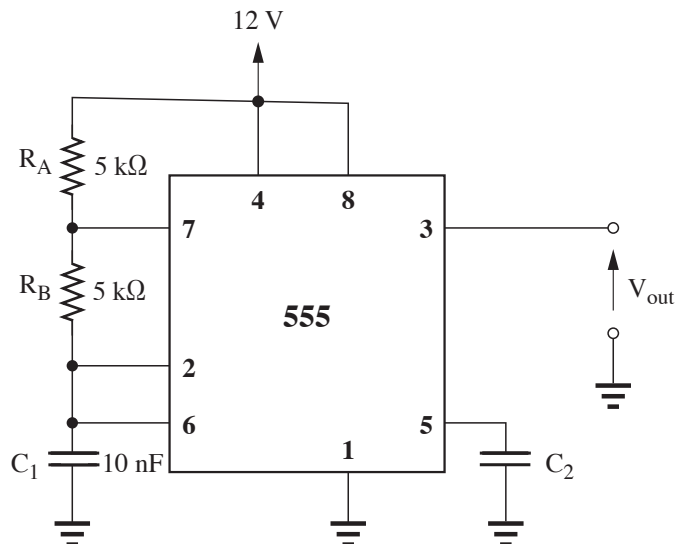
א. (9 נק') העתיקו את הטבלה שלהלן למחברת. חשבו את מתח המוצא, V_{out} , בהתאם למצב המפסקים, וכתבו את התוצאה בטבלה.

	A	B	C	D	V_{out}
1	0	1	0	0	
2	0	1	1	0	
3	1	0	1	1	

- ב. (6 נק') חשבו את כושר ההבחנה (רזולוציה) של הממיר ביחידות וולטים.
- ג. (5 נק') קבעו איזה מתג מייצג את סיבית ה-LSB ואיזה מתג מייצג את סיבית ה-MSB. נמקו את התשובה.
- ד. (5 נק') הציעו דרך לשפר את כושר ההבחנה של הממיר.

שאלה 8

באיור לשאלה 8 מתואר מעגל של רב רטט אל-יציב (חופשי) הממומש באמצעות הרכיב 555. נתוני הרכיב מובאים בנספח א'.



איור לשאלה 8

א. (8 נק')

1. (4 נק') מה תפקידו של כל אחד מהקבלים C_1 , C_2 ?
2. (4 נק') היעזרו בנספח לשאלה 8 וכתבו מהו תפקידו של הטרנזיסטור הפנימי המחובר להדק 7. חשבו את קבועי הזמן של המעגל בטעינה, τ_1 , ושל המעגל בפריקה, τ_2 .
- ב. (6 נק') חשבו את מחזור הפעולה (Duty Cycle) של המעגל, באחוזים, ואת תדר התנודות f .
- ג. (5 נק') סרטטו בהתאמה, זה מתחת לזה, את צורת המתח על הקבל C_1 ואת מתח המוצא, V_{out} , לאורך 2 מחזורים. כתבו בסרטוטים את ערכי הזמנים והמתחים.
- ד. (6 נק')

בהצלחה!

xx555 Precision Timers

1 Features

- Timing From Microseconds to Hours
- Astable or Monostable Operation
- Adjustable Duty Cycle
- TTL-Compatible Output Can Sink or Source Up to 200 mA
- On Products Compliant to MIL-PRF-38535, All Parameters Are Tested Unless Otherwise Noted. On All Other Products, Production Processing Does Not Necessarily Include Testing of All Parameters.

2 Applications

- Fingerprint Biometrics
- Iris Biometrics
- RFID Reader

3 Description

These devices are precision timing circuits capable of producing accurate time delays or oscillation. In the time-delay or mono-stable mode of operation, the timed interval is controlled by a single external resistor and capacitor network. In the a-stable mode of operation, the frequency and duty cycle can be controlled independently with two external resistors and a single external capacitor.

The threshold and trigger levels normally are two-thirds and one-third, respectively, of V_{CC} . These levels can be altered by use of the control-voltage terminal. When the trigger input falls below the trigger level, the flip-flop is set, and the output goes high. If the trigger input is above the trigger level and the threshold input is above the threshold level, the flip-flop is reset and the output is low. The reset (RESET) input can override all other inputs and can be used to initiate a new timing cycle. When RESET goes low, the flip-flop is reset, and the output goes low. When the output is low, a low-impedance path is provided between discharge (DISCH) and ground.

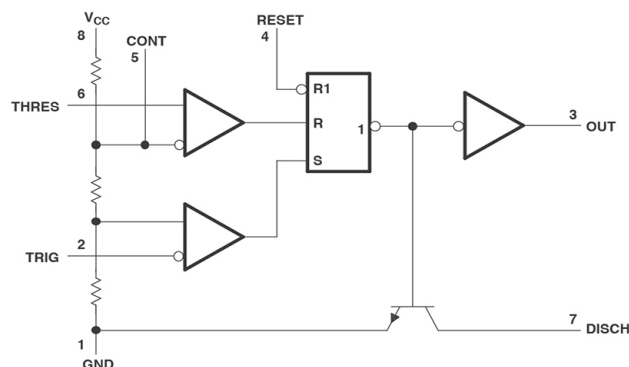
The output circuit is capable of sinking or sourcing current up to 200 mA. Operation is specified for supplies of 5 V to 15 V. With a 5-V supply, output levels are compatible with TTL inputs.

Device Information⁽¹⁾

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
xx555	PDIP (8)	9.81 mm × 6.35 mm
	SOP (8)	6.20 mm × 5.30 mm
	TSSOP (8)	3.00 mm × 4.40 mm
	SOIC (8)	4.90 mm × 3.91 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the datasheet.

4 Simplified Schematic

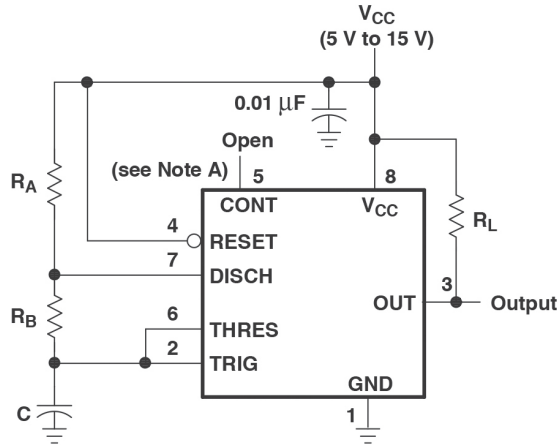


Feature Description (continued)

8.3.2 A-stable Operation

As shown in Figure 12, adding a second resistor, R_B , to the circuit of Figure 9 and connecting the trigger input to the threshold input causes the timer to self-trigger and run as a multi-vibrator. The capacitor C charges through R_A and R_B and then discharges through R_B only. Therefore, the duty cycle is controlled by the values of R_A and R_B .

This astable connection results in capacitor C charging and discharging between the threshold-voltage level ($\approx 0.67 \times V_{CC}$) and the trigger-voltage level ($\approx 0.33 \times V_{CC}$). As in the mono-stable circuit, charge and discharge times (and, therefore, the frequency and duty cycle) are independent of the supply voltage.



Pin numbers shown are for the D, JG, P, PS, and PW packages.
NOTE A: Decoupling CONT voltage to ground with a capacitor can improve operation. This should be evaluated for individual applications.

Figure 12. Circuit for Astable Operation

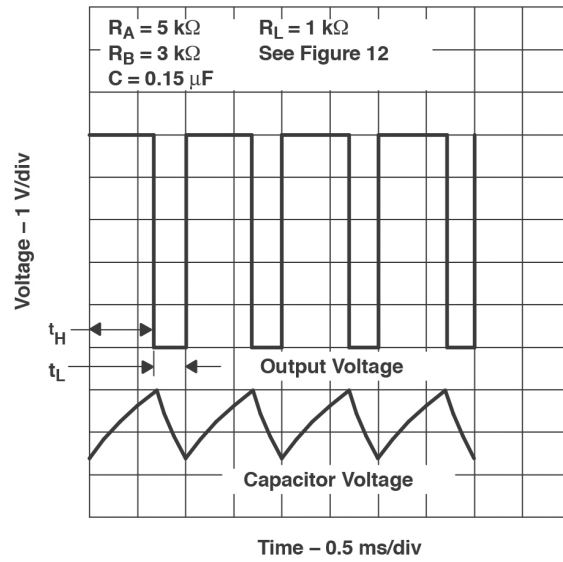


Figure 13. Typical Astable Waveforms

Figure 12 shows typical waveforms generated during astable operation. The output high-level duration t_H and low-level duration t_L can be calculated as follows:

$$t_H = 0.693(R_A + R_B)C \quad (1)$$

$$t_L = 0.693(R_B)C \quad (2)$$

Other useful relationships are shown below:

$$\text{period} = t_H + t_L = 0.693(R_A + 2R_B)C \quad (3)$$

$$\text{frequency} \approx \frac{1.44}{(R_A + 2R_B)C} \quad (4)$$

$$\text{Output driver duty cycle} = \frac{t_L}{t_H + t_L} = \frac{R_B}{R_A + 2R_B} \quad (5)$$

$$\text{Output waveform duty cycle} = \frac{t_H}{t_H + t_L} = 1 - \frac{R_B}{R_A + 2R_B} \quad (6)$$

$$\text{Low-to-high ratio} = \frac{t_L}{t_H} = \frac{R_B}{R_A + R_B} \quad (7)$$

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

נוסחאון במערכות חשמל לכיתה י"ד

(16 עמודים)

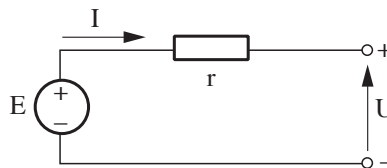
(הגדלים בנוסחאון מופיעים ביחידות SI)

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]

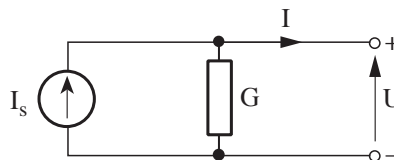
$$E = U + I \cdot r$$



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

במעגל תהודה טורי:

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

במעגל תהודה מקבילי:

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

7. המרה כוכב-משולש

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

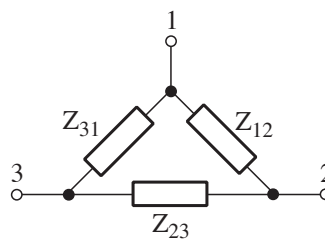
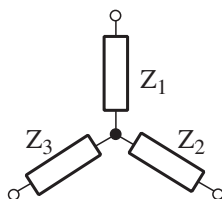
$$Z_{12} = \frac{Z_1 \cdot Z_2 + Z_2 \cdot Z_3 + Z_3 \cdot Z_1}{Z_3}$$

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

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

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

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



8. זרם חילופין סינוסואידלי

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

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

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

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

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

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

$$\omega = 2\pi f$$

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

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

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

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

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

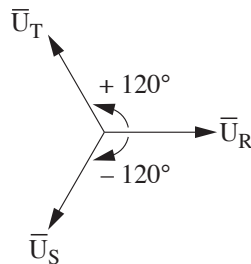
$$Q = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \sin \varphi$$

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

- 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

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

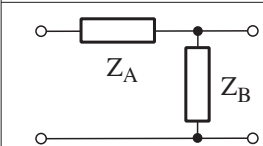
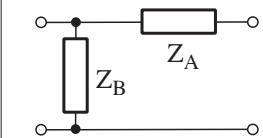
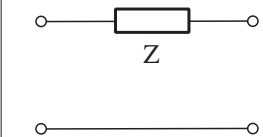
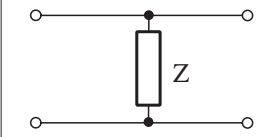
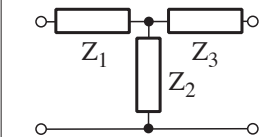
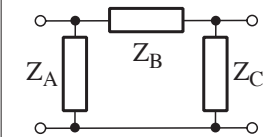
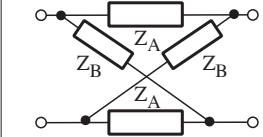
מקדמי Y

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

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)

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

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

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

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

- γ - קבוע ההתפשטות
 α [neper] - קבוע הניחות
 $(1 \text{ neper} = 8.69 \text{ dB})$
 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

[Hz] f_c - תדר פוגה

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

כאשר $\omega < \omega_c$:

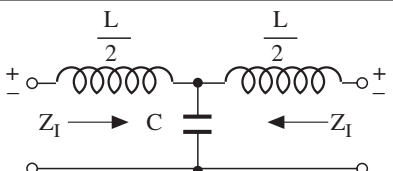
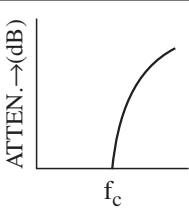
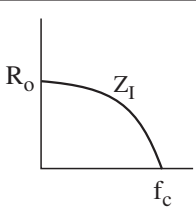
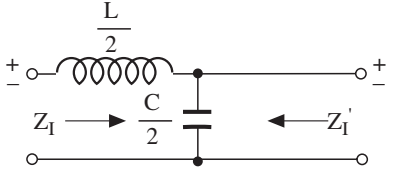
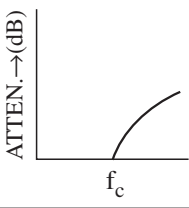
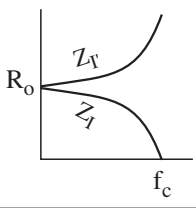
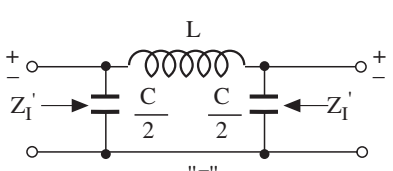
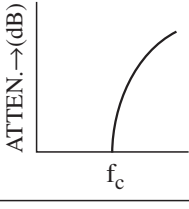
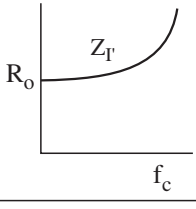
$$\beta = 2 \sin^{-1} \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)$$

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

HPF – קבוע K

f_c [Hz] – תדר פוגה

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

כאשר $\omega > \omega_c$:

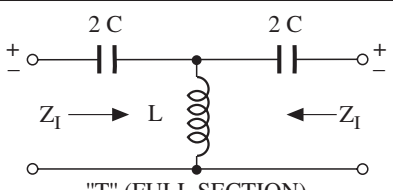
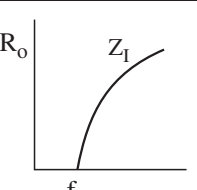
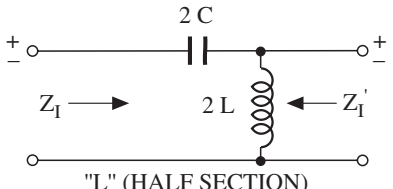
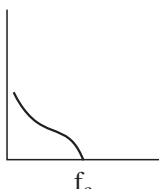
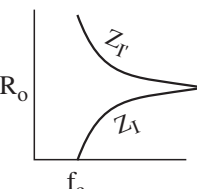
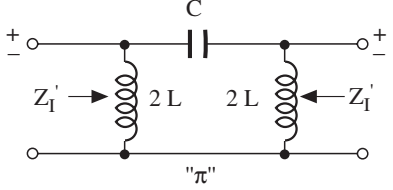
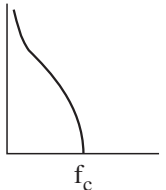
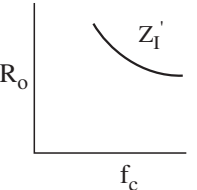
$$\beta = -2 \sin^{-1} \left(\frac{\omega_c}{\omega} \right)$$

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

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

נוסחאון באלקטרוניקה ב' לכיתה י"ד

(4 עמודים)

משוב שלילי

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

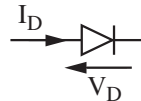
A_f – הגבר בחוג סגור

A – הגבר בחוג פתוח

β – מקדם המשוב

דיודת צומת

סימול:



א. דיודה אידיאלית:

ממתח קדמי – $V_D = 0$ (קצר)

ממתח אחורני – $I_D = 0$ (ניתק)

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

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

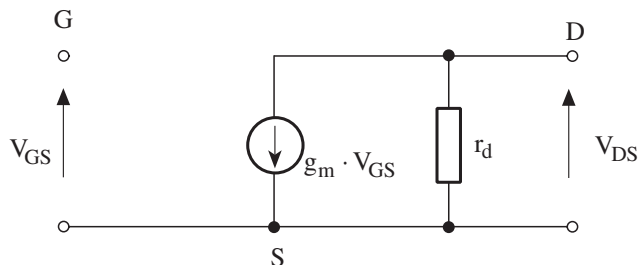
- k $\left[\frac{mA}{V^2} \right]$ מקדם

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	∅	∅	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"ג

תרגום המונח			המונח
אנגלית	רוסית	ערבית	
clock signal	Тактовый сигнал	إشارة ساعة	אות שעון
determinants	Детерминанты	مُحدِّد ج. مُحدِّدات	דטרמיננטים
flip-flop	Триггер	نَطَّاط / قَلَّاب	דלגלג
reactive power	Реактивная мощность	القدرة الارتكاسية	הספק היגבי
false power	Мнимая мощность	القدرة الوهمية	הספק מדומה
active power	Активная мощность	القدرة الفعّالة	הספק פעיל
inductive	Индуктивный	حثِّي	השראותי
alternative current	Переменный ток	التيار المُتَرَدِّد	זרם חילופין
star connection	Соединение звездой	اتّصال نجمي	חיבור כוכב
instrumentation amplifier	Измерительный усилитель	مُضخِّم فارقِي (جهازِي)	מגבר מכשור
operational amplifier	Операционный усилитель	مُضخِّم تشغيلِي	מגבר שרת
counter	Счётчик	عدّاد	מונה
resonance state	Состояние резонанса	حالة رنين	מצב תהודה
quality factor	Коэффициент добротности	معامل النوعية	מקדם טיב
three-phase load	Трёхфазная нагрузка	حِمل ثلاثِيّ الأطوار	עומס תלת-מופעי
characteristic impedance	Характерное реактивное сопротивление	الممانعة المميّزة	עכבה אופיינית
feed line	Линия питания	خطّ التغذية	קו הזנה
capacitive	Конденсатор	مُكثِّف	קיבולי
free running oscillator	Мультивибратор	مُذبذب حرّ الأداء	רב־רטט חופשי