

חשמל ואלקטרוניקה ה'

מגמת הנדסת חשמל, בקרה ואנרגייה

(כיתה י"ד)

הוראות לנבחן

א. משך הבחינה: ארבע שעות.

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

ג. חומר עזר מותר לשימוש:

1. כל חומר הכתוב (בכתב יד או בהדפסה) 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 מֶרֶב הנקודות מותנית בהשלמת כל המהלכים שלהלן, בסדר שבו הם רשומים:
 - * כתיבת הנוסחה המתאימה.
 - * הצבה של כל הערכים ביחידות המתאימות.
 - * חישוב (אפשר באמצעות מחשבון).
 - * כתיבת התוצאה המתקבלת, יחד עם יחידות המידה המתאימות.
 - * ליווי הפתרון החישובי בהסבר קצר.
- בנספח ג' 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 נספח א' ואת דפי ה-A4 למחברת הבחינה.

בשאלון זה 10 עמודים ו-24 עמודי נספחים.

ההנחיות בשאלון זה מנוסחות בלשון זכר,

אך מכוונות הן לנבחנות והן לנבחנים.

בהצלחה!

המשך מעבר לדף

השאלות

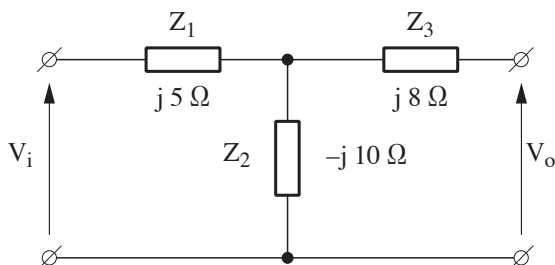
בשאלון זה שני פרקים, ובהם שמונה שאלות. יש לענות על ארבע שאלות בלבד, שאלה אחת לפחות מכל פרק. לכל שאלה – 25 נקודות. סך-הכול – 100 נקודות.

פרק ראשון: מערכות חשמל

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

שאלה 1

באיור לשאלה 1 נתון תרשים של רשת זוגיים.



איור לשאלה 1

10 נק') א. חשבו את מקדמי ה- Z של הרשת (Z_{11} , Z_{12} , Z_{21} , Z_{22}).

10 נק') ב. חשבו את עכבת המבוא של הרשת כאשר:

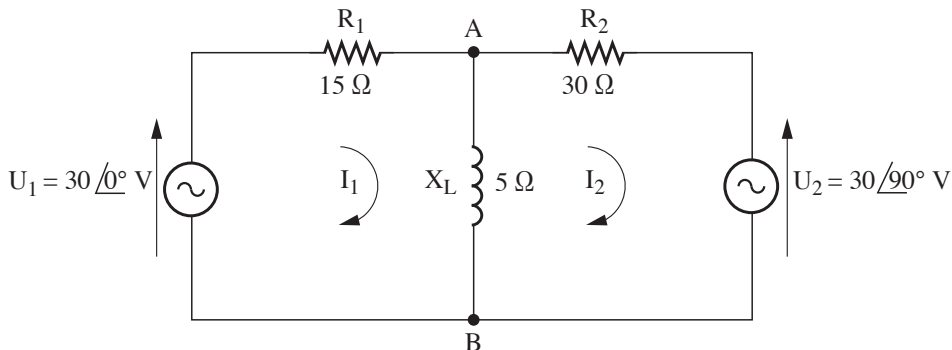
5 נק') 1. המוצא בנתק.

5 נק') 2. המוצא בקצר.

5 נק') ג. חשבו את עכבת הבבואה של הרשת מצד המבוא.

שאלה 2

באיור לשאלה 2 נתון מעגל חשמלי. I_1 ו- I_2 הם זרמי החוגים במעגל.



איור לשאלה 2

א. (12 נק')

1. (8 נק') כתבו את משוואות הרשת לפי שיטת זרמי החוגים.

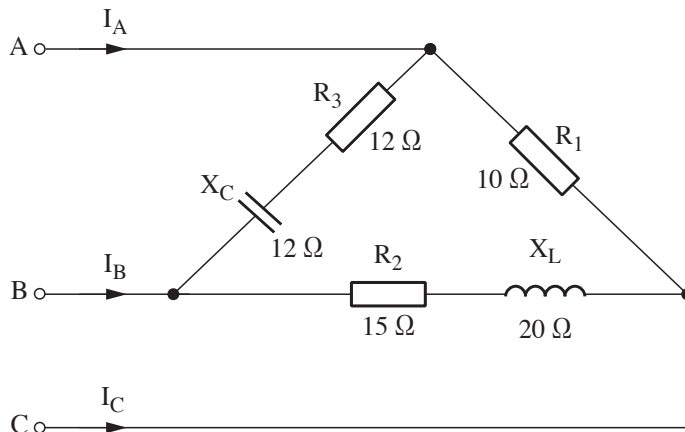
2. (4 נק') כתבו ייצוג מטריציאלי של המשוואות שכתבתם בתשובה לסעיף א' 1.

ב. (8 נק') חשבו את הזרם I_1 ואת הזרם I_2 באמצעות דטרמיננטים.

ג. (5 נק') חשבו את המתח בין הנקודות A ו-B. הציגו את התשובה כגודל וזווית.

שאלה 3

באיור לשאלה 3 נתונה רשת תלת-מופעית. אל הרשת מחובר עומס תלת-מופעית לא סימטרי.



איור לשאלה 3

העומס מוזן ממקור מתח של:

$$U_{AB} = 208 \angle 0^\circ \text{ V}$$

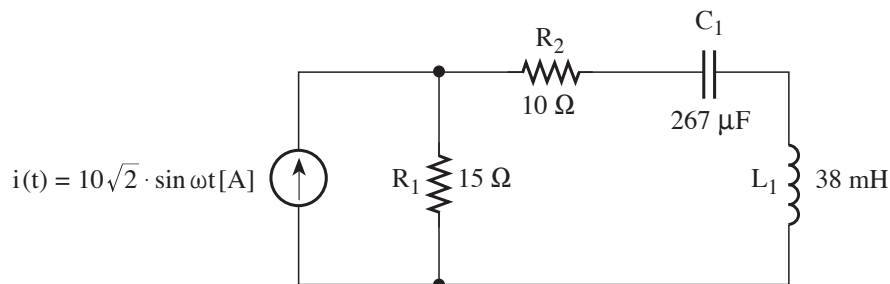
$$U_{BC} = 208 \angle -120^\circ \text{ V}$$

$$U_{CA} = 208 \angle 120^\circ \text{ V}$$

- א. (10 נק') חשבו את הזרם הזורם דרך כל מופע של העומס. כתבו את התשובה בהצגה מרוכבת.
- ב. (9 נק') חשבו את הזרם המסופק על-ידי הרשת (I_C , I_B , I_A). כתבו את התשובה בהצגה מרוכבת.
- ג. (6 נק') חשבו את ההספק הפעיל הכולל ואת ההספק המדומה הכולל שנצרכים על-ידי העומס.

שאלה 4

באיור לשאלה 4 נתון מעגל חשמלי הפועל בזרם חילופין ונמצא במצב תהודה.
מקור הזרם שבמעגל אידיאלי.



איור לשאלה 4

- א. (8 נק') חשבו את תדר התהודה של המעגל ואת רוחב הפס שלו.
- ב. (5 נק') חשבו את ערכו של הזרם הזורם דרך הנגד R_2 .
- ג. (6 נק') חשבו את המתח המתפתח על הקבל ואת המתח המתפתח על הסליל.
- ד. (6 נק') חשבו את ההספק הממשי שמספק מקור הזרם ואת גורם ההספק של המעגל.

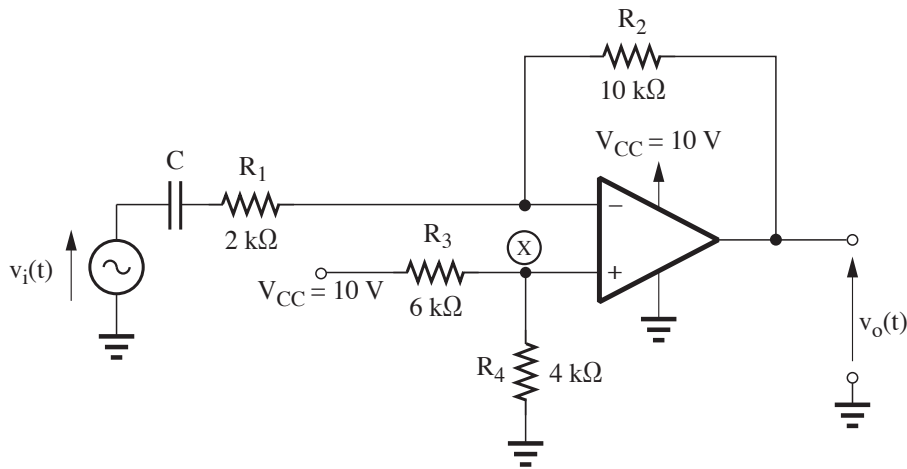
פרק שני: אלקטרוניקה ב'

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

שאלה 5

באיור לשאלה 5 נתון מעגל הגברה. מגבר השרת שבמעגל – אידיאלי.

היגב הקבל – זניח, ולמגבר השרת מחובר מקור הזנה יחיד.



איור לשאלה 5

8 נק') א. חשבו את המתח הישר בנקודה (X) ואת המתח הישר במוצא המגבר, V_o , כאשר לא מסופק למגבר אות מבוא, V_i .

מספקים למגבר את מתח המבוא $v_i(t) = 0.5 \cdot \sin(\omega t)$ [V].

9 נק') ב. חשבו את הערך המרבי ואת הערך המזערי של מתח המוצא, v_o .

8 נק') ג. סרטוט, זה מתחת לזה בהתאמה, את המתחים v_i ו- v_o כפונקצייה של הזמן.

צינו על-גבי הסרטוט את הערך המרבי ואת הערך המזערי של המתחים שחישבתם בתשובה לסעיף ב'.

שאלה 6

בנספח א' לשאלה 6 נתון סרטוט **חלקי** המבוסס על המונה MC14510B, שסופר כלפי מעלה וכלפי מטה. דפי המפרט של המונה מופיעים בנספח ב' לשאלה 6.

(8 נק') **א.** היעזרו בדפי המפרט שבנספח ב', והסבירו את פעולתו של כל אחד מהדקים האלה:

PE -

$\overline{\text{Carry Out}}$ -

Up/Down -

R -

(7 נק') **ב.** הוסיפו לסרטוט שבנספח א' לשאלה את החיבורים הנדרשים להדקים: V_{DD} , V_{SS} , PE, $\overline{\text{Carry In}}$, Up/Down, לצורך פעולה תקינה של המונה, שתאפשר לו לספור כלפי מעלה בלבד.

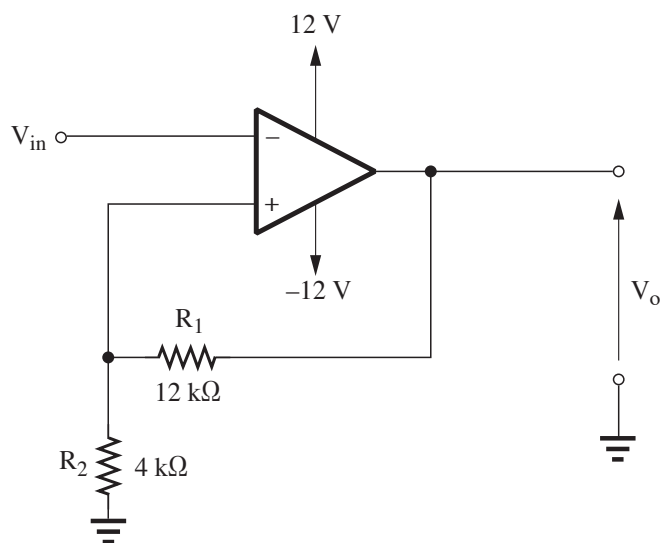
(10 נק') **ג.** העתיקו את הטבלה למחברת וכתבו בה את מוצאי המונה עבור שישה מחזורי שעון.

	CLK	Q ₄	Q ₃	Q ₂	Q ₁
		0	0	0	0
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
6.					

הערה: הדביקו את מדבקת הנבחן במקום המיועד לכך בנספח א' לשאלה 6, והדקו אותו למחברת הבחינה.

שאלה 7

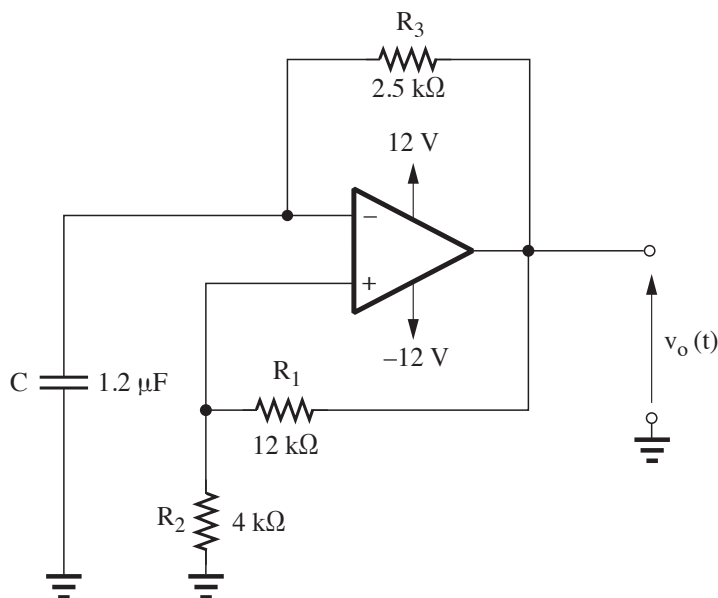
באיור א' לשאלה 7 נתון מעגל חשמלי של משווה מסוג שמיט-טריגר.
מגבר השרת במעגל – אידיאלי.



איור א' לשאלה 7

- (6 נק') א. חשבו את מתחי הסף של המשווה.
(6 נק') ב. סרטטו את אופיין המעבר של המעגל, $V_o = f(V_{in})$.

ג. (8 נק') למעגל הנתון באיור א' לשאלה מוסיפים נגד $R_3 = 2.5 \text{ k}\Omega$ וקבל $C = 1.2 \mu\text{F}$, כמתואר באיור ב' לשאלה.



איור ב' לשאלה 7

סרטטו במחברת, זו מתחת לזו בהתאמה, את צורת המתח על הקבל, v_c , ואת צורת מתח המוצא, v_o , כפונקצייה של הזמן במצב מתמיד.

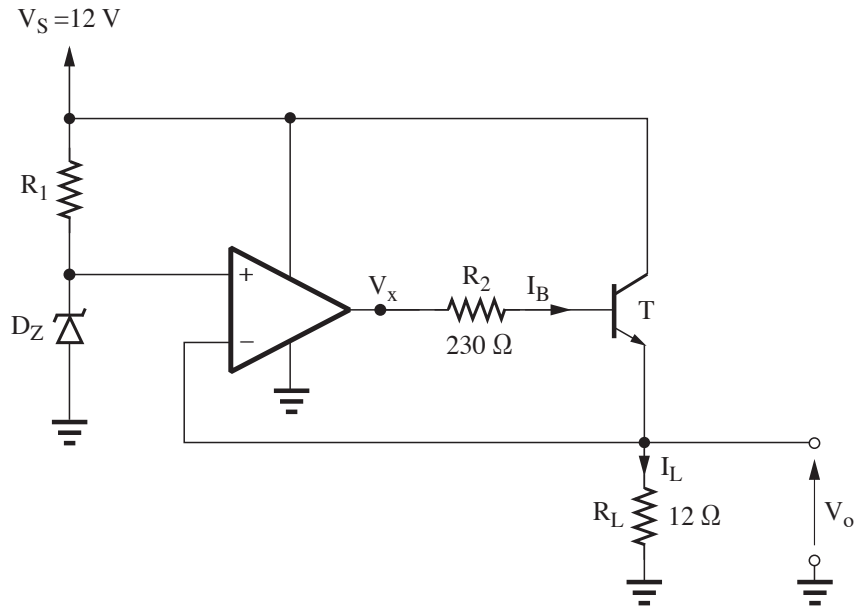
ד. (5 נק') חשבו את תדר התנודות של אות המוצא, $v_o(t)$, עבור המעגל שבאיור ב' לשאלה.

שאלה 8

באיור לשאלה 8 מתואר מייצב מתח טורי. מגבר השרת שבמעגל – אידיאלי.

נתוני הטרנזיסטור הם: $V_{BE} = 0.75 \text{ V}$; $\beta = 60$

נתוני דיודת הזנר הם: $V_Z = 5.6 \text{ V}$

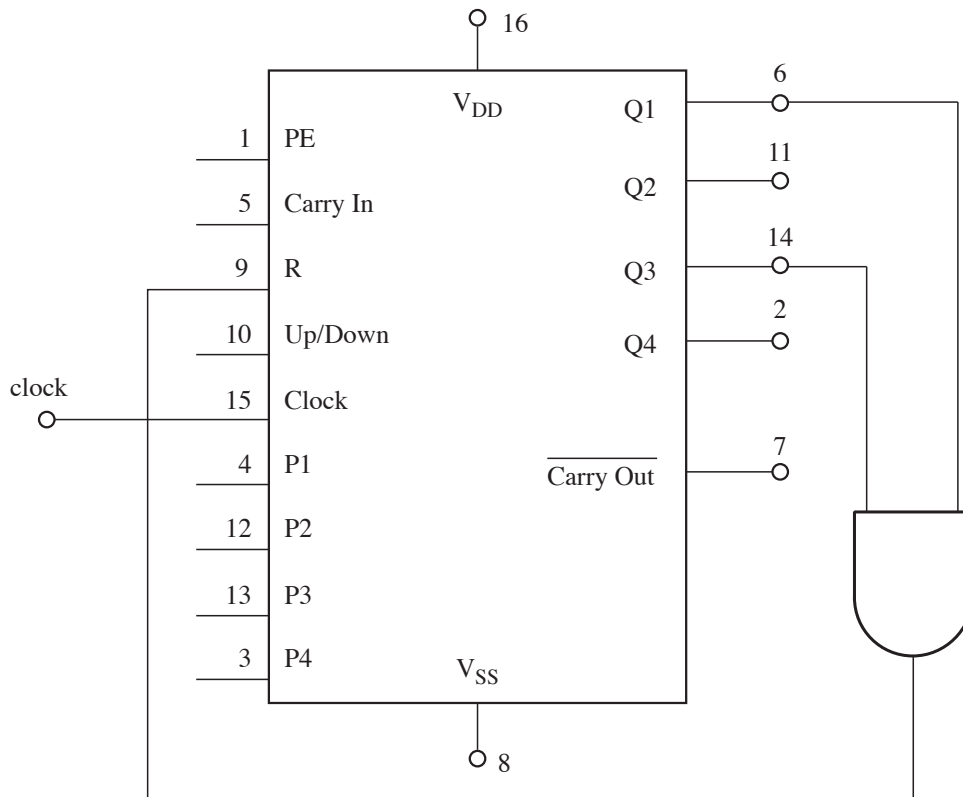


איור לשאלה 8

- א. (10 נק') חשבו את מתח המוצא, V_o , ואת הזרם הזורם דרך העומס I_L .
- ב. (10 נק') חשבו את הזרם שזורם בבסיס של הטרנזיסטור, I_B , ואת המתח במוצא מגבר השרת, V_x .
- ג. (5 נק') חשבו את פיזור ההספק בטרנזיסטור.

בהצלחה!

מקום למציאת נבחן



הערה: הדביקו את מדבקת הנבחן במקום המיועד לכך, והדקו אותו למחברת הבחינה.

BCD Up/Down Counter

The MC14510B synchronous up/down BCD counter is constructed with MOS P-channel and N-channel enhancement mode devices in a monolithic structure. The counter consists of type D flip-flop stages with a gating structure to provide type T flip-flop capability.

This counter can be preset by applying the desired value in BCD to the Preset inputs (P1, P2, P3, P4) and then bringing the Preset Enable (PE) high. The direction of counting is controlled by applying a high (for up counting) or a low (for down counting) to the UP/DOWN input. The state of the counter changes on the positive transition of the clock input.

Cascading can be accomplished by connecting the Carry Out to the Carry In of the next stage while clocking each counter in parallel. The outputs (Q1, Q2, Q3, Q4) can be reset to a low state by applying a high to the Reset (R) pin.

This CMOS counter finds primary use in up/down and difference counting. Other applications include: (1) Frequency synthesizer applications where low power dissipation and/or high noise immunity is desired, (2) Analog-to-digital and digital-to-analog conversions, and (3) Magnitude and sign generation.

- Diode Protection on All Inputs
- Supply Voltage Range = 3.0 Vdc to 18 Vdc
- Internally Synchronous for High Speed
- Logic Edge-Clocked Design — Count Occurs on Positive Going Edge of Clock
- Asynchronous Preset Enable Operation
- Capable of Driving Two Low-power TTL Loads or One Low-power Schottky TTL Load Over the Rated Temperature Range.

MAXIMUM RATINGS* (Voltages Referenced to V_{SS})

Symbol	Parameter	Value	Unit
V _{DD}	DC Supply Voltage	- 0.5 to + 18.0	V
V _{in} , V _{out}	Input or Output Voltage (DC or Transient)	- 0.5 to V _{DD} + 0.5	V
I _{in} , I _{out}	Input or Output Current (DC or Transient), per Pin	± 10	mA
P _D	Power Dissipation, per Package†	500	mW
T _{stg}	Storage Temperature	- 65 to + 150	°C
T _L	Lead Temperature (8-Second Soldering)	260	°C

* Maximum Ratings are those values beyond which damage to the may occur.

† Temperature Derating:

Plastic "P and D/DW" Packages: - 7.0 mW/°C From 65°C To 125°C

Ceramic "L" Packages: - 12 mW/°C From 100°C To 125°C

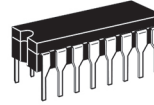
TRUTH TABLE

Carry In	Up/Down	Preset Enable	Reset	Clock	Action
1	X	0	0	X	No Count
0	1	0	0	⌊	Count Up
0	0	0	0	⌋	Count Down
X	X	1	0	X	Preset
X	X	X	1	X	Reset

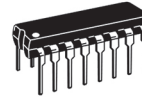
X = Don't Care

NOTE: When counting up, the Carry Out signal is normally high, and is low only when Q1 and Q4 are high and Carry In is low. When counting down, Carry Out is low only when Q1 through Q4 and Carry In are low.

MC14510B



L SUFFIX
CERAMIC
CASE 620



P SUFFIX
PLASTIC
CASE 648



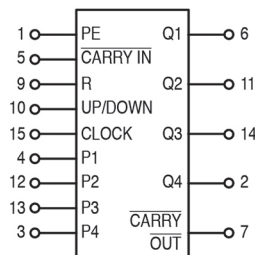
D SUFFIX
SOIC
CASE 751B

ORDERING INFORMATION

MC14XXXBCP Plastic
MC14XXXBCL Ceramic
MC14XXXBD SOIC

T_A = - 55° to 125°C for all packages.

BLOCK DIAGRAM



V_{DD} = PIN 16
V_{SS} = PIN 8

This device contains protection circuitry to guard against damage due to high static voltages or electric fields. However, precautions must be taken to avoid applications of any voltage higher than maximum rated voltages to this high-impedance circuit. For proper operation, V_{in} and V_{out} should be constrained to the range V_{SS} ≤ (V_{in} or V_{out}) ≤ V_{DD}.

Unused inputs must always be tied to an appropriate logic voltage level (e.g., either V_{SS} or V_{DD}). Unused outputs must be left open.

PIN DESCRIPTIONS

INPUTS

P1, P2, P3, P4, Preset Inputs (Pins 4, 12, 13, 3) — Data on these inputs is loaded into the counter when PE is taken high.

Carry In, (Pin 5) — Active-low input used when cascading stages. Usually connected to Carry Out of the previous stage. While high, clock is inhibited.

Clock, (Pin 15) — BCD data is incremented or decremented, depending on the direction of count, on the positive transition of this signal.

OUTPUTS

Q1, Q2, Q3, Q4, BCD outputs (Pins 6, 11, 14, 2) — BCD data is present on these outputs with Q1 corresponding to the least significant bit.

Carry Out, (Pin 7) — Used when cascading stages, this pin is usually connected to Carry In of the next stage. This

synchronous output is active low and may also be used to indicate terminal count.

CONTROLS

PE, Preset Enable (Pin 1) — Asynchronously loads data on the Preset Inputs. This pin is active high and will inhibit the clock when high.

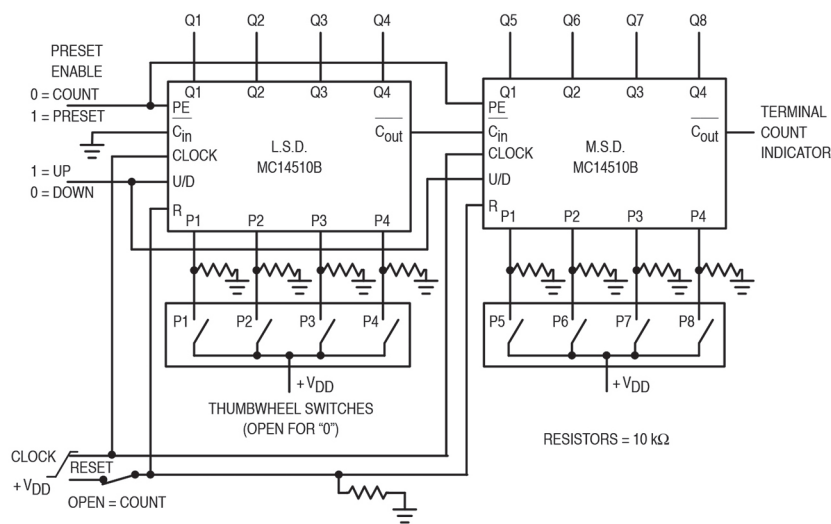
R, Reset, (Pin 9) — Asynchronously resets the Q outputs to a low state. This pin is active high and will inhibit the clock when high.

Up/Down, (Pin 10) — Controls the direction of count: high for up count, low for down count.

SUPPLY PINS

V_{SS}, Negative Supply Voltage, (Pin 8) — This pin is usually connected to ground.

V_{DD}, Positive Supply Voltage, (Pin 16) — This pin is connected to a positive supply voltage ranging from 3.0 Vdc to 18.0 Vdc.



Note: The Least Significant Digit (L.S.D.) counts from a preset value once Preset Enable (PE) goes low. The Most Significant Digit (M.S.D.) does not change while $\overline{C}_{in}$ is high. When the count of the L.S.D. reaches 0 (count down mode) or reaches 9 (count up mode), $\overline{C}_{out}$ goes low for one complete clock cycle, thus allowing the next counter to decrement/increment one count. The L.S.D. now counts through another cycle (10 clock pulses) and the above cycle is repeated.

Figure 3. Presettable Cascaded 8-Bit Up/Down Counter

נספח ג': מילון מונחים
לשאלון 733003, אביב תשפ"ב

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

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

נוסחאון במערכות חשמל לכיתה י"ד

(16 עמודים)

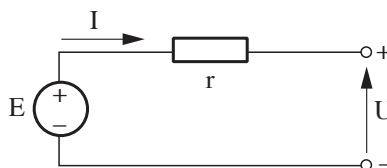
(הגדלים בנוסחאון מופיעים ביחידות SI)

1. מקור מתח ומקור זרם

כא"מ של מקור מתח

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

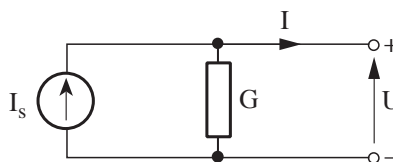
$$E = U + I \cdot r$$



זרם של מקור זרם

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

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



2. אלקטרוסטטיקה

שדה חשמלי ופוטנציאל חשמלי

פוטנציאל חשמלי	- U	[V]	$U = \frac{k \cdot q}{r} = \frac{W}{q}$
אנרגייה פוטנציאלית חשמלית	- W	[W · sec או J]	$E = \frac{k \cdot q}{r^2} = \frac{U}{r}$
עוצמת השדה החשמלי	- E	[V / m]	$k = 9 \cdot 10^9$
קבוע	- k	$\left[\frac{V \cdot m}{C} \right]$	$1 C = 6.24 \cdot 10^{18} e$
מטען	- q	[C]	
מרחק מהמטען	- r	[m]	
מטען האלקטרון	- e	[C]	

קבל לוחות

קבוע דיאלקטרי של החומר	- ε	[F / m]	
קבוע דיאלקטרי של הריק	- ε ₀	[F / m]	$\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi \cdot 10^9} = 8.85 \cdot 10^{-12}$
קבוע דיאלקטרי יחסי	- ε _r		$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$
קיבול הקבל	- C	[F]	$C = \frac{\epsilon A}{d} \quad C = \frac{Q}{U}$
המתח על הקבל	- U	[V]	
מטען הקבל	- Q	[C]	$W = \frac{1}{2} \cdot CU^2$
המרחק בין לוחות הקבל	- d	[m]	
שטח החתך של לוחות הקבל	- A	[m ²]	
האנרגייה החשמלית האגורה בקבל	- W	[W · sec או J]	

3. מגנטיות ואלקטרומגנטיות

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

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

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

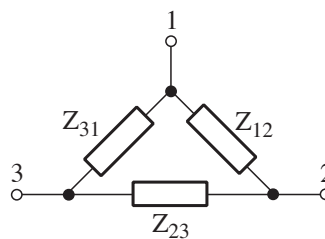
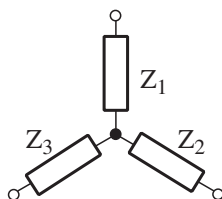
$$Z_{12} = \frac{Z_1 \cdot Z_2 + Z_2 \cdot Z_3 + Z_3 \cdot Z_1}{Z_3}$$

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

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

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

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



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

$$I_L = I_{ph}$$

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

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

משולש סימטרי

$$U_L = U_{ph}$$

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

הספק תלת מופעי

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

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

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

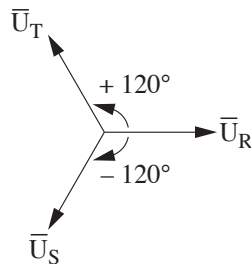
$$Q = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \sin \varphi$$

ייצוג מתחים מופעיים במישור המרוכב של רשת תלת-מופעית סימטרית

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

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

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



רשת תלת-מופעית עם מוליך אפס

- זרם במוליך האפס - $\bar{I}_N$ [A]
- זרם קווי - $\bar{I}_L$ [A]
- הספק בתחילת קו ההזנה - P_1 [W]
- הספק בסוף קו ההזנה - P_2 [W]
- נצילות המערכת - η
- הפסדי הספק בקו ההזנה - ΔP [W]

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

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

$$P_1 = P_2 + \Delta P$$

11. מקדמים של רשת זוגיים

מקדמי ABCD

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

מקדמי Z

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

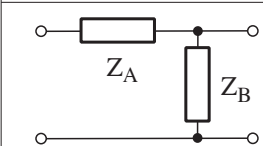
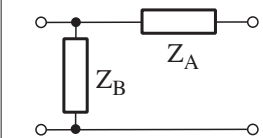
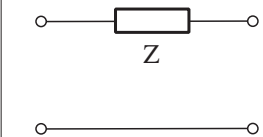
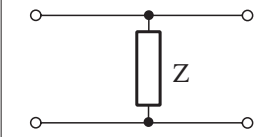
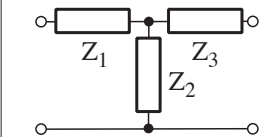
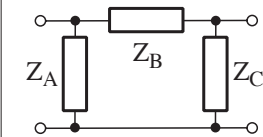
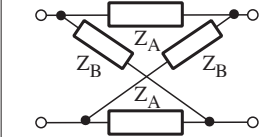
מקדמי Y

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

מקדמי h

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

מקדמי ABCD של זוגיים

	A	B	C	D
	$\frac{Z_A + Z_B}{Z_B}$	Z_A	$\frac{1}{Z_B}$	1
	1	Z_A	$\frac{1}{Z_B}$	$\frac{Z_A + Z_B}{Z_B}$
	1	Z	0	1
	1	0	$\frac{1}{Z}$	1
	$1 + \frac{Z_1}{Z_2}$	$\frac{Z_1 \cdot Z_3}{Z_2} + Z_1 + Z_3$	$\frac{1}{Z_2}$	$1 + \frac{Z_3}{Z_2}$
	$1 + \frac{Z_B}{Z_C}$	Z_B	$\frac{Z_A + Z_B + Z_C}{Z_A \cdot Z_C}$	$1 + \frac{Z_B}{Z_A}$
	$\frac{Z_A + Z_B}{Z_B - Z_A}$	$\frac{2Z_A \cdot Z_B}{Z_B - Z_A}$	$\frac{2}{Z_B - Z_A}$	$\frac{Z_A + Z_B}{Z_B - Z_A}$

מקדמי Z ו-Y של זוגיים

	Z			Y		
	Z_{11}	$Z_{12} = Z_{21}$	Z_{22}	Y_{11}	$Y_{12} = Y_{21}$	Y_{22}
	$Z_A + Z_B$	Z_B	Z_B	$\frac{1}{Z_A}$	$-\frac{1}{Z_A}$	$\frac{Z_A + Z_B}{Z_A \cdot Z_B}$
	Z_B	Z_B	$Z_A + Z_B$	$\frac{Z_A + Z_B}{Z_A \cdot Z_B}$	$-\frac{1}{Z_A}$	$\frac{1}{Z_A}$
	∞	∞	∞	$\frac{1}{Z}$	$-\frac{1}{Z}$	$\frac{1}{Z}$
	Z	Z	Z	∞	∞	∞
	$Z_1 + Z_2$	Z_2	$Z_2 + Z_3$	$\frac{Z_2 + Z_3}{Z_1 Z_3 + Z_2(Z_1 + Z_3)}$	$\frac{-Z_2}{Z_1 Z_3 + Z_2(Z_1 + Z_3)}$	$\frac{Z_1 + Z_2}{Z_1 Z_3 + Z_2(Z_1 + Z_3)}$
	$\frac{Z_A(Z_B + Z_C)}{Z_A + Z_B + Z_C}$	$\frac{Z_A \cdot Z_C}{Z_A + Z_B + Z_C}$	$\frac{Z_C(Z_A + Z_B)}{Z_A + Z_B + Z_C}$	$\frac{Z_A + Z_B}{Z_A \cdot Z_B}$	$-\frac{1}{Z_B}$	$\frac{Z_B + Z_C}{Z_B \cdot Z_C}$
	$\frac{Z_A + Z_B}{2}$	$\frac{Z_A - Z_B}{2}$	$\frac{Z_A + Z_B}{2}$	$\frac{Z_A + Z_B}{2 Z_A \cdot Z_B}$	$\frac{Z_A - Z_B}{2 Z_A \cdot Z_B}$	$\frac{Z_A + Z_B}{2 Z_A \cdot Z_B}$

הערה: זרם הכניסה I_1 וזרם היציאה I_2 נכנסים לרשת.

טבלה השוואתית של מקדמי זוגיים

	[Z]		[Y]		A B C D		[h]	
[Z]	Z_{11}	Z_{12}	$\frac{Y_{22}}{ Y }$	$\frac{-Y_{12}}{ Y }$	$\frac{A}{C}$	$\frac{AD-BC}{C}$	$\frac{ h }{h_{22}}$	$\frac{h_{12}}{h_{22}}$
	Z_{21}	Z_{22}	$\frac{-Y_{21}}{ Y }$	$\frac{Y_{11}}{ Y }$	$\frac{1}{C}$	$\frac{D}{C}$	$\frac{h_{21}}{h_{22}}$	$\frac{1}{h_{22}}$
[Y]	$\frac{Z_{22}}{ Z }$	$\frac{-Z_{12}}{ Z }$	Y_{11}	Y_{12}	$\frac{D}{B}$	$\frac{-(AD-BC)}{B}$	$\frac{1}{h_{11}}$	$\frac{-h_{12}}{h_{11}}$
	$\frac{-Z_{21}}{ Z }$	$\frac{Z_{11}}{ Z }$	Y_{21}	Y_{22}	$\frac{-1}{B}$	$\frac{A}{B}$	$\frac{h_{21}}{h_{11}}$	$\frac{ h }{h_{11}}$
A B C D	$\frac{Z_{11}}{Z_{21}}$	$\frac{ Z }{Z_{21}}$	$\frac{-Y_{22}}{Y_{21}}$	$\frac{-1}{Y_{21}}$	A	B	$\frac{- h }{h_{21}}$	$\frac{-h_{11}}{h_{21}}$
	$\frac{1}{Z_{21}}$	$\frac{Z_{22}}{Z_{21}}$	$\frac{- Y }{Y_{21}}$	$\frac{-Y_{11}}{Y_{21}}$	C	D	$\frac{-h_{22}}{h_{21}}$	$\frac{-1}{h_{21}}$
[h]	$\frac{ Z }{Z_{22}}$	$\frac{Z_{12}}{Z_{22}}$	$\frac{1}{Y_{11}}$	$\frac{-Y_{12}}{Y_{11}}$	$\frac{B}{D}$	$\frac{AD-BC}{D}$	h_{11}	h_{12}
	$\frac{-Z_{21}}{Z_{22}}$	$\frac{1}{Z_{22}}$	$\frac{Y_{21}}{Y_{11}}$	$\frac{ Y }{Y_{11}}$	$\frac{-1}{D}$	$\frac{C}{D}$	h_{21}	h_{22}
[g]	$\frac{1}{Z_{11}}$	$\frac{-Z_{12}}{Z_{11}}$	$\frac{ Y }{Y_{22}}$	$\frac{Y_{12}}{Y_{22}}$	$\frac{C}{A}$	$\frac{-(AD-BC)}{A}$	$\frac{h_{22}}{ h }$	$\frac{-h_{12}}{ h }$
	$\frac{Z_{21}}{Z_{11}}$	$\frac{ Z }{Z_{11}}$	$\frac{-Y_{21}}{Y_{22}}$	$\frac{1}{Y_{22}}$	$\frac{1}{A}$	$\frac{B}{A}$	$\frac{-h_{21}}{ h }$	$\frac{h_{11}}{ h }$

הערות

א. עבור מקדמי ABCD – זרם המוצא I_2 יוצא מהרשת.

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

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

רשתות זוגיים

- Z_O [Ω] - עכבה אופיינית
- Z_{SC} [Ω] - עכבת המבוא כאשר המוצא בקצר
- Z_{OC} [Ω] - עכבת המבוא כאשר המוצא בנתק
- B - מקדם זוגיים
- C - מקדם זוגיים

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

(עבור רשת סימטרית בלבד)

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

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

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

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

- γ - קבוע ההתפשטות
- α [neper] - קבוע הניחות
- (1 neper = 8.69 dB)
- β [rad] - קבוע המופע, זווית המופע בין הזרמים I_1 ו- I_2
- N - ניחות

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

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

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

12. מסגרים

R_o [Ω] - התנגדות אופיינית

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

A_V - הגבר מתח

V_o [V] - מתח מוצא

V_i [V] - מתח מבוא

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

A_V [dB] - הגבר מתח בדציבלים

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

A_P - הגבר הספק

P_o [W] - הספק מוצא

P_i [W] - הספק מבוא

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

A_P [dB] - הגבר הספק בדציבלים

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

K קבוע - LPF

f_c [Hz] - תדר פוגה

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

כאשר $\omega < \omega_c$:

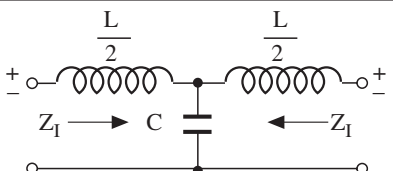
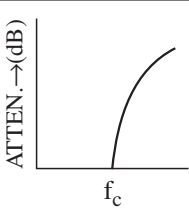
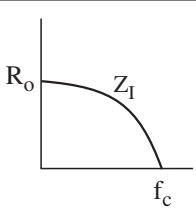
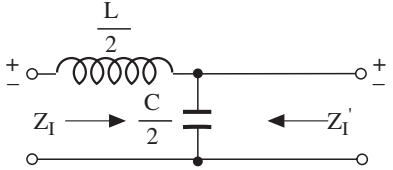
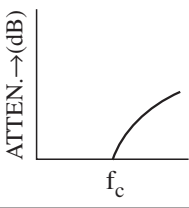
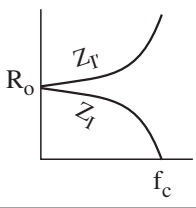
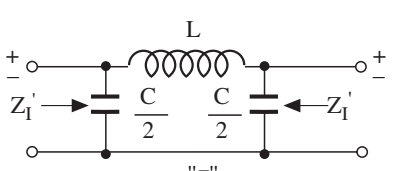
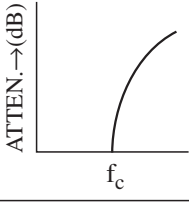
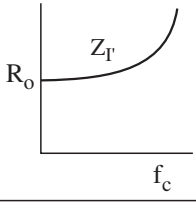
$$\beta = 2 \sin^{-1} \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)$$

כאשר $\omega > \omega_c$:

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

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

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

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

HPF – קבוע K

f_c [Hz] – תדר פוגה

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

כאשר $\omega > \omega_c$:

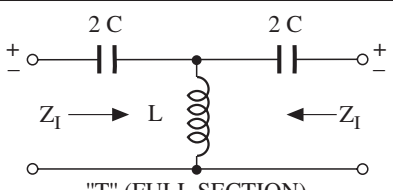
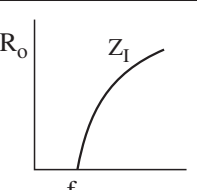
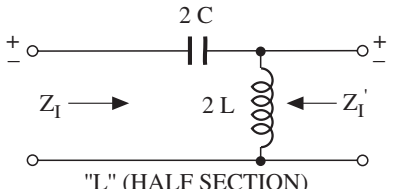
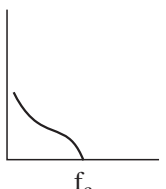
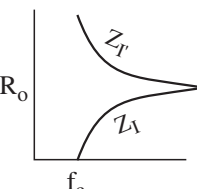
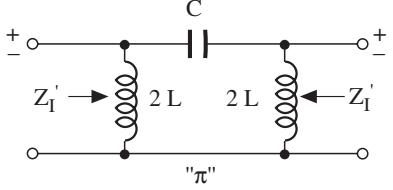
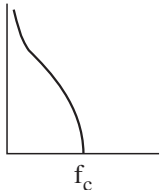
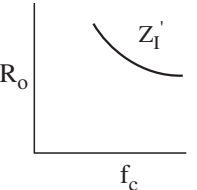
$$\beta = -2 \sin^{-1} \left(\frac{\omega_c}{\omega} \right)$$

כאשר $\omega < \omega_c$:

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

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

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

constant-K HIGH PASS FILTER		
CONFIGURATION	ATTENUATION	IMPEDANCE
 "T" (FULL SECTION)	 f_c	 R_o 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

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

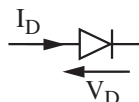
A_f - הגבר בחוג סגור

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

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

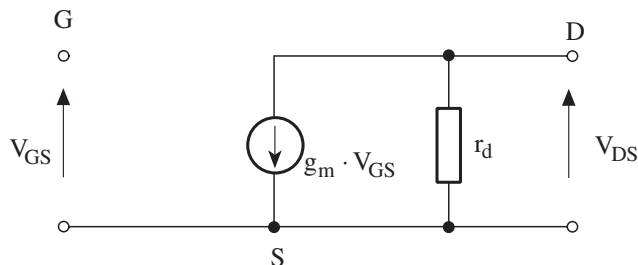
- k $\left[\frac{mA}{V^2} \right]$ מקדם

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	$\emptyset$	$\emptyset$	N.C
$\downarrow$	0	0	N.C
$\downarrow$	0	1	0
$\downarrow$	1	0	1
$\downarrow$	1	1	$\bar{Q}_{n-1}$ (שינוי מצב)

טבלת מצבים של SRFF (סינכרוני)

CLK	S	R	Q
0, 1	$\emptyset$	$\emptyset$	N.C
$\downarrow$	0	0	N.C
$\downarrow$	0	1	0
$\downarrow$	1	0	1
$\downarrow$	1	1	מצב אסור

טבלת מצבים של DFF

CLK	D	Q
1, 0	$\emptyset$	N.C
$\downarrow$	0	0
$\downarrow$	1	1

בהצלחה!