

סוג הבחינה: גמר לבתי-ספר לטכנאים ולהנדסאים

מועד הבחינה: אביב תשס"ז, 2007

סמל השאלון: 711001

נספח: א. נוסחאון באלקטרוניקה

ספרתית א' לכיתה י"ג

ב. נוסחאון במבוא להנדסת חשמל

לכיתה י"ג

תורת האלקטרוניקה והחשמל ט'

מגמת הנדסת אלקטרוניקה ומחשבים

(כיתה י"ג)

הוראות לנבחן

א. משך הבחינה: ארבע שעות.

ב. מבנה השאלון ומפתח הערכה: בשאלון זה עשר שאלות. יש להשיב על ארבע שאלות בלבד. לכל שאלה – 25 נקודות. סך-הכול – 100 נקודות

שים לב:

אין חובה לענות על שאלות מהפרק השלישי (אנגלית טכנית), אך אם בחרת לעשות זאת – תוכל לענות אך ורק על שאלה אחת מהפרק.

ג. חומר עזר מותר לשימוש: מחשבון.

ד. הוראות מיוחדות:

1. ענה על מספר השאלות הנדרש בשאלון. המעריך יקרא ויעריך את מספר השאלות הנדרש בלבד, לפי סדר כתיבתן במחברתך, ולא יתייחס לתשובות נוספות.
2. התחל כל תשובה לשאלה חדשה בעמוד חדש.
3. רשום את כל תשובותיך אך ורק בעט.
4. הקפד לנסח את תשובותיך כהלכה ולסרטט את תרשימיך בהירות.
5. כתוב את תשובותיך בכתב-יד ברור, כדי לאפשר הערכה נאותה של תשובותיך.
6. אם לדעתך חסרים נתונים חיוניים לפתרון שאלה, אתה רשאי להוסיף אותם, בתנאי שתנמק מדוע הוספת אותם.
7. בכתיבת פתרונות חשוביים, קבלת מִרְב 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, ביחד עם יחידות המידה המתאימות.
- * ליווי הפתרון החישובי בהסבר קצר.

בשאלון זה 11 עמודים ו-15 עמודי נספחים.

ההנחיות בשאלון זה מנוסחות בלשון זכר, אך מכוונות לנבחנות ולנבחנים כאחד.

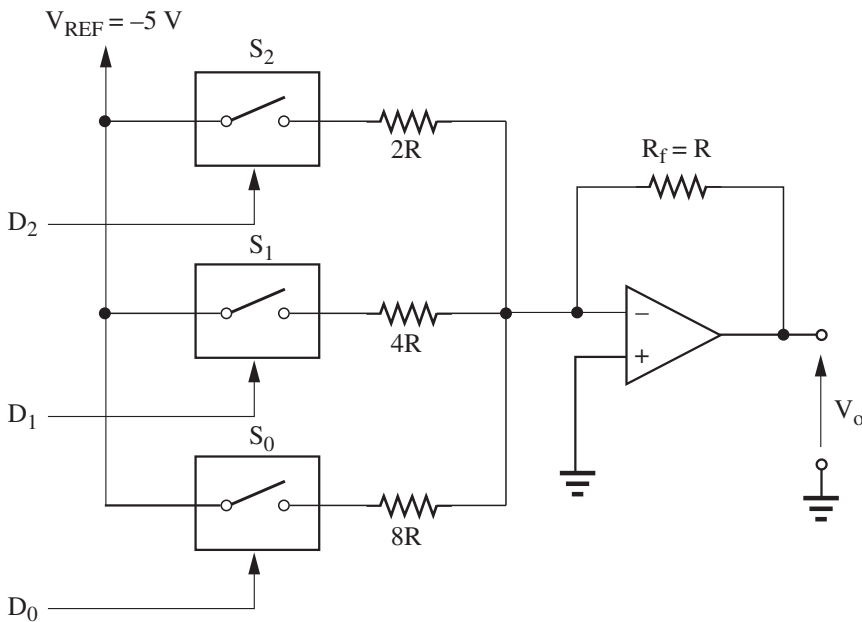
השאלות

ענה על ארבע מבין השאלות 1–10 (לכל שאלה – 25 נקודות).
אין חובה לענות על שאלות מהפרק השלישי (אנגלית טכנית), אך אם בחרת לעשות זאת – תוכל לענות אך ורק על שאלה אחת מהפרק.

פרק ראשון: אלקטרוניקה ספרתית

שאלה 1

באיור לשאלה 1 נתון מעגל המשמש כממיר D/A ל-3 סיביות.
 $R = 10 \text{ k}\Omega$.

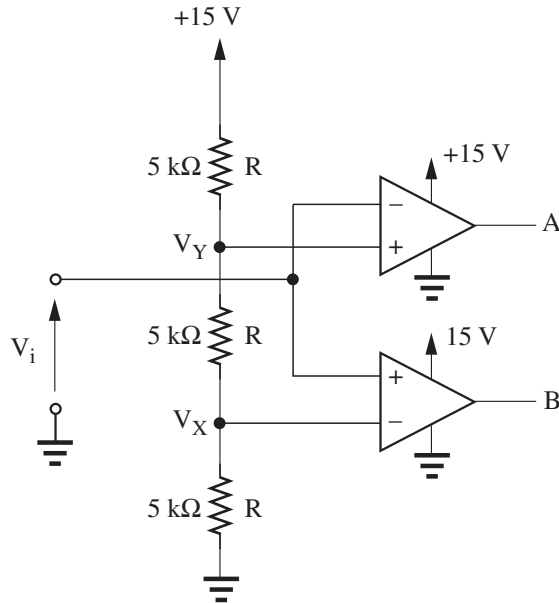


איור לשאלה 1

- א. הסבר את פעולת הממיר. ציין מהי הסיבית MSB, והסבר את קביעתך.
- ב. חשב את מתח המוצא, V_o , עבור צירוף סיביות המבוא: $D_2 = "1"$, $D_1 = "0"$, $D_0 = "0"$.
- ג. חשב את כושר ההבחנה (רזולוציה) של הממיר.
- ד. חשב את הערך המרבי של מתח המוצא של הממיר.
- ה. הסבר כיצד ניתן לשפר את כושר ההבחנה של הממיר.

שאלה 2

באיור א' לשאלה 2 מתואר מעגל הבנוי ממגברי שרת אידאליים.



איור א' לשאלה 2

א. חשב את המתחים, V_X ו- V_Y .

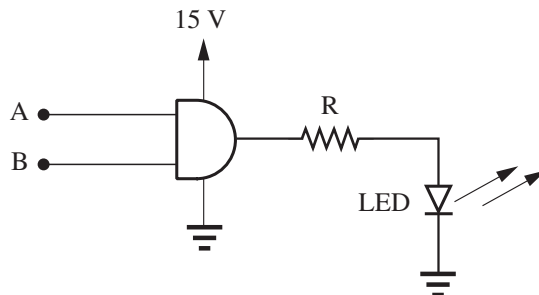
ב. חשב וסרטט את אופייני המעבר כאשר V_i משתנה בתחום $0 \leq V_i \leq 15 \text{ V}$:

$$1. \quad V_A = f(V_i)$$

$$2. \quad V_B = f(V_i)$$

ג. מוצאי המשווים A ו-B חוברים למעגל הכולל שער AND ודיודת LED, כמתואר באיור ב'.

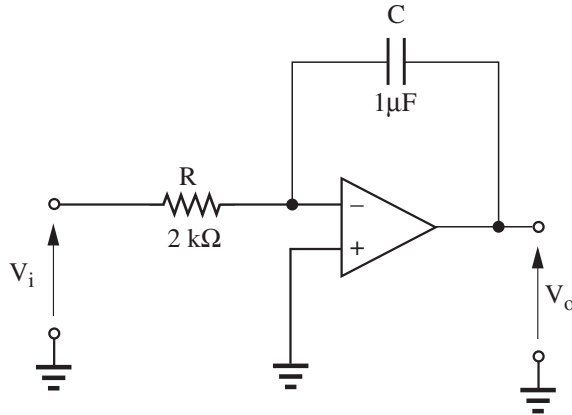
לשאלה 2. הסבר באיזה תחום מתחים, V_i , תידלק דיודת ה-LED.



איור ב' לשאלה 2

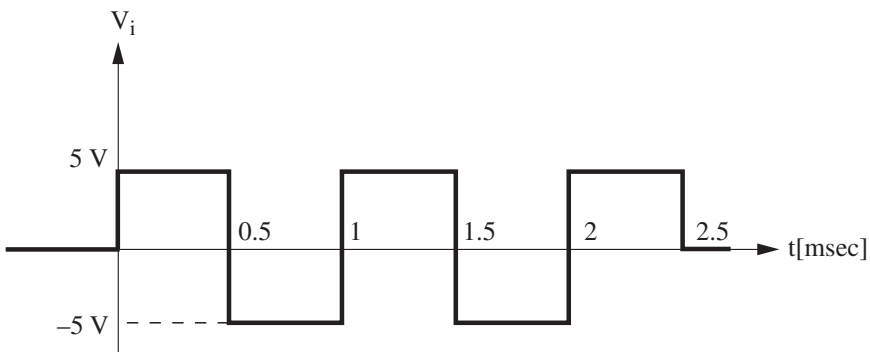
שאלה 3

באיור א' לשאלה 3 מתואר מעגל הבנוי ממגבר שרת אידיאלי. מתחי ההזנה: $\pm 10\text{ V}$.



איור א' לשאלה 3

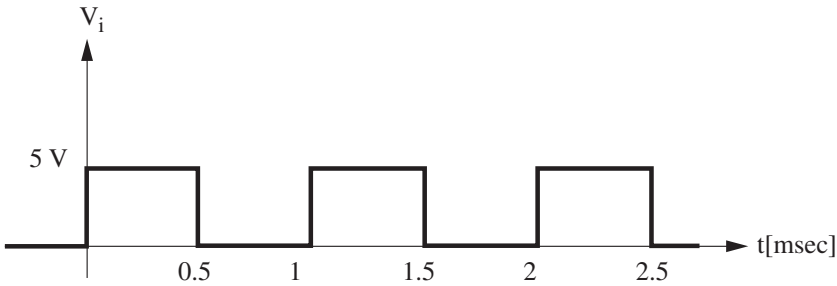
במבוא, V_i , מספקים דפקים, כמסורטט באיור ב' לשאלה 3.



איור ב' לשאלה 3

א. העתק למחברתך את צורת המתח V_i , וסרטט מתחתיה את צורת מתח המוצא, V_o .
חשב את ערכו של מתח המוצא עבור: $t = 0.5\text{ msec}$, $t = 1\text{ msec}$.

ב. חזור על החישובים שבסעיף א', כאשר צורת המתחת V_i נתונה באיור ג' לשאלה 3.

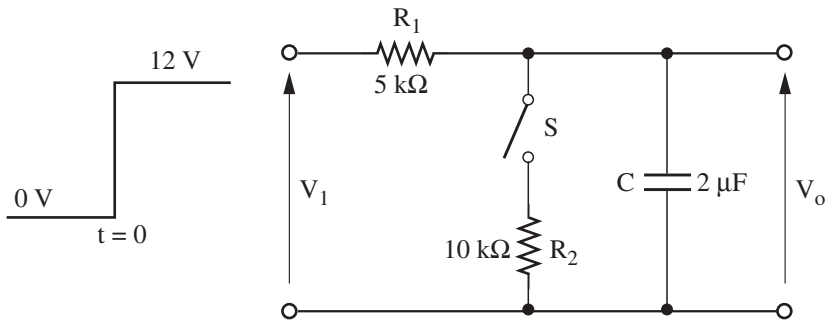


איור ג' לשאלה 3

ג. ברגע $t = 0$ מספקים במבוא מתח ישר של -5 V .
מה ערכו המרבי של מתח המוצא V_o ? נמק את תשובתך.

שאלה 4

לרשת הנתונה באיור לשאלה 4 מספקים ברגע $t = 0$ אות מדרגה של 12 V .
המתג S היה פתוח זמן רב ונסגר ברגע $t = 30 \text{ msec}$ (ונשאר סגור).



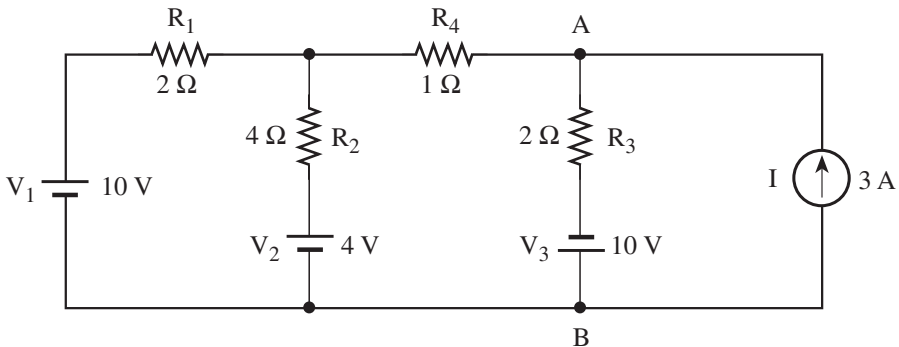
איור לשאלה 4

- א. סרטט בקירוב את צורת מתח המוצא, V_o .
- ב. חשב את מתח המוצא, V_o , ברגע סגירת המתג S .
- ג. חשב כעבור כמה זמן מהרגע $t = 0$ יירד מתח המוצא לערך של 9 V .

פרק שני: מבוא להנדסת חשמל

שאלה 5

באיור לשאלה 5 מתואר מעגל חשמלי.

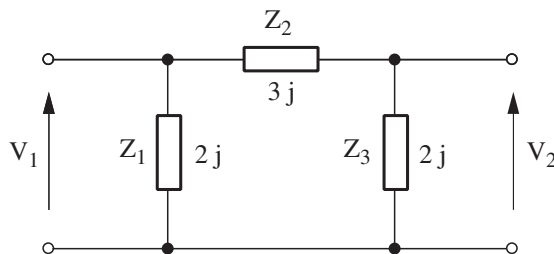


איור לשאלה 5

- חשב את ערכי הזרמים דרך הנגדים R_1 ו- R_2 .
- חשב את המתח בין הנקודות A ו- B.
- חשב את ההספק הנצרך במעגל.

שאלה 6

באיור לשאלה 6 נתונה רשת זוגיים:



איור לשאלה 6

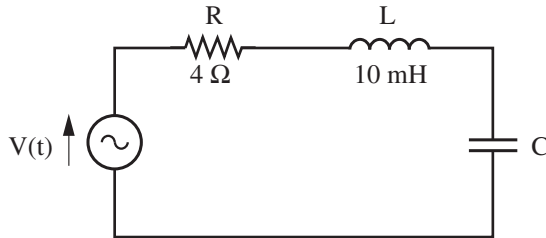
- חשב את מקדמי ABCD.
- חשב את העכבה האופיינית של הרשת.
- שתי רשתות כאלה חוברו בקסקדה (שרשרת). חשב את מקדמי ABCD של הרשת הכוללת.

המשך בעמוד 7

שאלה 7

באיור לשאלה 7 נתון מעגל חשמלי הנמצא בתהודה.

מתח המבוא הוא: $V(t) = 20 \sin(10,000 t)$.

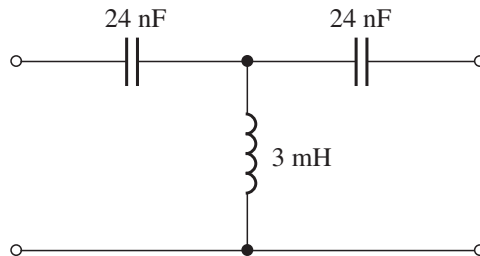


איור לשאלה 7

- א. חשב את ערכו של הקבל.
- ב. חשב את המתח על רכיבי המעגל: C , L , R .
- ג. סרטט דיאגרמה פאזורית של המתחים במעגל.
- ד. חשב את גורם הטיב, את רוחב הפס ואת תדרי חצי ההספק.

שאלה 8

נתונה חוליית מסנן T מסוג K קבוע.



איור לשאלה 8

- א. חשב את ההתנגדות האופיינית, R_0 , ואת תדר הפוגה, f_c , של החוליה.
- ב. חשב את התדר שבו ניחות המסנן הוא 25 dB.
- ג. חשב את העכבה האופיינית בתדר $f = 1.5 f_c$.

פרק שלישי: אנגלית טכנית

אין חובה לענות על השאלות מפרק זה, אך אם בחרת לעשות זאת – תוכל לענות על שאלה אחת לכל היותר.

שאלה 9

עליך לענות על הסעיפים שלהלן בעברית, רק על-פי הכתוב במאמר שבעמוד הבא. מומלץ לקרוא את הסעיפים לפני קריאת המאמר. ציין את מספר השורה במאמר שאליה אתה מתייחס בתשובתך.

- א. מהן תכונותיו המיוחדות של מגבר השרת? ציין את סדרי הגודל המקובלים (של התנגדות המבוא, התנגדות המוצא והגבר המתח) על-פי המאמר.
- ב. מה קובע את מגבלות עוצמת המתח במוצא המגבר?
- ג. מה תהיה תגובת מגבר השרת, אם בכניסתו יוזן אות שמע (מוזיקה)?
- ד. מהו האמצעי המשמש לבקרת הגבר, על-פי המאמר?

OPERATIONAL AMPLIFIER

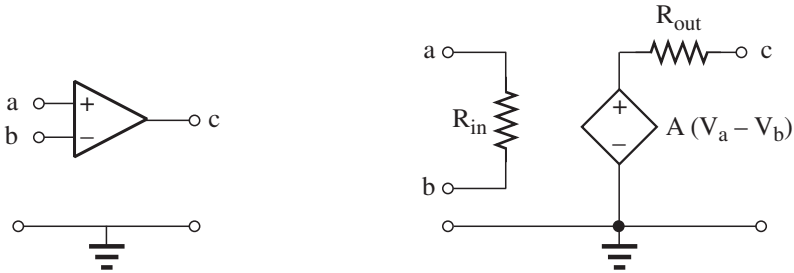


Figure 1

Figure 1: The Op-amp has four terminals to which connections can be made. Inputs attach to nodes *a* and *b*, and the output is node *c*. As the circuit model on the right shows, the op-amp serves as an amplifier for the difference of the input node voltages.

- 1 Op-amps not only have the circuit model shown in **Figure 1**, but their element values are very special.
 - The **input resistance**, R_{in} , is typically *large*, on the order of 1 M Ω .
 - The **output resistance**, R_{out} , is *small*, usually less than 100 Ω .
- 5 – The **voltage gain**, A , is *large*, exceeding 10^5 .

The large gain catches the eye; it suggests that an op-amp could turn a 1 mV input signal into a 100 V one. If you were to build such a circuit, attaching a voltage source to **node a**, attaching **node b** to the reference, and looking at the output, you would be disappointed. In dealing with electronic components, you cannot forget the unrepresented but needed power supply.

- 10 **Limitation of power:** It is impossible for electronic components to yield voltages that exceed those provided by the power supply or for them to yield currents that exceed the power supply's rating. Typical power supply voltages required for op-amp circuits are $\pm(15\text{ V})$. Attaching the 1 mV signal not only would fail to produce a 100 V signal, the
- 15 resulting waveform would be severely distorted. While a desirable outcome if you are a rock & roll aficionado, high-quality stereos should not distort signals. Another consideration in designing circuits with op-amps is that these element values are typical: Careful control of the gain can only be obtained by choosing a circuit so that its element values dictate the resulting gain, which must be smaller than that provided by the op-amp.

שאלה 10

עליך לענות על הסעיפים שלהלן בעברית, רק על-פי הכתוב בדפי המפרט. מומלץ לקרוא את הסעיפים לפני העיון בדפי המפרט.

- א. כמה סוגי מבואות שעון יש לרכיב ומה ההבדל ביניהם?
- ב. מה תפקיד המוצא $\overline{Q}_{5-9}$? הסבר.
- ג. כיצד ניתן לאפס את המונה? ציין את השיטה ואת הרמה הלוגית.
- ד. הסבר באילו גורמים תלוי הספק הפיזור הדינמי של הרכיב, אם ידוע שהקיבול הוא $C_{PD} = 0$.

Johnson decade counter with 10 decoded outputs

74HC/HCT4017

FEATURES

- Output capability: standard
- I_{CC} category: MSI

GENERAL DESCRIPTION

The 74HC/HCT4017 are high-speed Si-gate CMOS devices and are pin compatible with the "4017" of the "4000B" series. They are specified in compliance with JEDEC standard no. 7A.

The 74HC/HCT4017 are 5-stage Johnson decade counters with 10 decoded active HIGH outputs (Q_0 to Q_9), an active LOW output from the most significant flip-flop ($\overline{Q}_{5-9}$), active HIGH and active LOW clock inputs (CP_0 and

$\overline{CP}_1$) and an overriding asynchronous master reset input (MR).

The counter is advanced by either a LOW-to-HIGH transition at $\overline{CP}_0$ while $\overline{CP}_1$ is LOW or a HIGH-to-LOW transition at $\overline{CP}_1$ while CP_0 is HIGH (see also function table).

When cascading counters, the $\overline{Q}_{5-9}$ output, which is LOW while the counter is in states 5, 6, 7, 8 and 9, can be used to drive the CP_0 input of the next counter.

A HIGH on MR resets the counter to zero ($Q_0 = \overline{Q}_{5-9} = \text{HIGH}$; Q_1 to $Q_9 = \text{LOW}$) independent of the clock inputs (CP_0 and $\overline{CP}_1$).

Automatic code correction of the counter is provided by an internal circuit: following any illegal code the counter returns to a proper counting mode within 11 clock pulses.

QUICK REFERENCE DATA

GND = 0 V; $T_{amb} = 25^\circ\text{C}$; $t_r = t_f = 6 \text{ ns}$

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	TYPICAL		UNIT
			HC	HCT	
t_{PHL}/t_{PLH}	propagation delay $CP_0, \overline{CP}_1$ to Q_n	$C_L = 15 \text{ pF}$; $V_{CC} = 5 \text{ V}$	20	21	ns
f_{max}	maximum clock frequency		77	67	MHz
C_i	input capacitance		3.5	3.5	pF
C_{PD}	power dissipation capacitance per package	notes 1 and 2	35	36	pF

Notes

1. C_{PD} is used to determine the dynamic power dissipation (P_D in μW):

$$P_D = C_{PD} \times V_{CC}^2 \times f_i + \sum (C_L \times V_{CC}^2 \times f_o) \text{ where:}$$

f_i = input frequency in MHz

f_o = output frequency in MHz

$\sum (C_L \times V_{CC}^2 \times f_o)$ = sum of outputs

C_L = output load capacitance in pF

V_{CC} = supply voltage in V

2. For HC the condition is $V_I = \text{GND to } V_{CC}$

For HCT the condition is $V_I = \text{GND to } V_{CC} - 1.5 \text{ V}$

PIN DESCRIPTION

PIN NO.	SYMBOL	NAME AND FUNCTION
3, 2, 4, 7, 10, 1, 5, 6, 9, 11	Q_0 to Q_9	decoded outputs
8	GND	ground (0 V)
12	$\overline{Q}_{5-9}$	carry output (active LOW)
13	$\overline{CP}_1$	clock input (HIGH-to-LOW, edge-triggered)
14	CP_0	clock input (LOW-to-HIGH, edge-triggered)
15	MR	master reset input (active HIGH)
16	V_{CC}	positive supply voltage

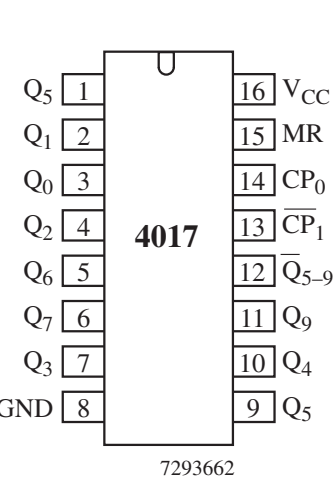


Fig. 1: Pin Configuration

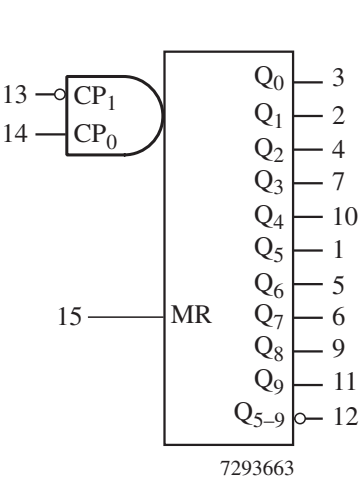


Fig. 2: Logic Symbol

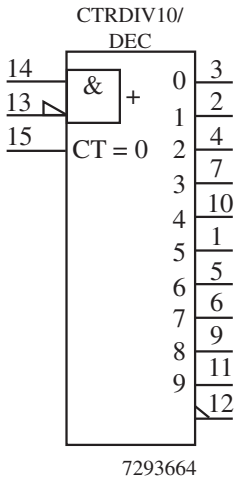


Fig. 3: IEC Logic Symbol

Fig. 1-3

בהצלחה!

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

מקום לאחזקת נבחן

אין להעביר נוסחאון זה
מנבחן אחד למשנהו!

נוסחאון באלקטרוניקה ספרתית א' לכיתה י"ג (3 עמודים)

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

- מתח הקבל — V_C [V]
 זרם הקבל — I_C [A]
 קיבול — C [F]
 זמן — t [sec]
 זרם הסליל — I_L [A]
 מתח הסליל — V_L [V]
 השראות — L [H]

טעינת קבל בזרם קבוע:

$$V_C = \frac{I_C}{C} \cdot t + V_C(0)$$

$$\Delta V_C = \frac{I_C}{C} \cdot \Delta t$$

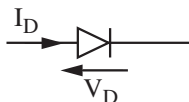
טעינת סליל במתח קבוע:

$$I_L = \frac{V_L}{L} \cdot t + I_L(0)$$

$$\Delta I_L = \frac{V_L}{L} \cdot \Delta t$$

דיודת צומת

סימול:



א. דיודה אידיאלית:

ממתח קדמי — $V_D = 0$ (קֶצֶר)

ממתח אחורני — $I_D = 0$ (נֶתֶק)

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 — $I_D = 0$, ($V_D < V_\gamma$)

ממיר D/A המבוסס על סולם נגדים R/2R ומגבר שרת

n — מספר הסיביות

V_{REF} — מתח ייחוס

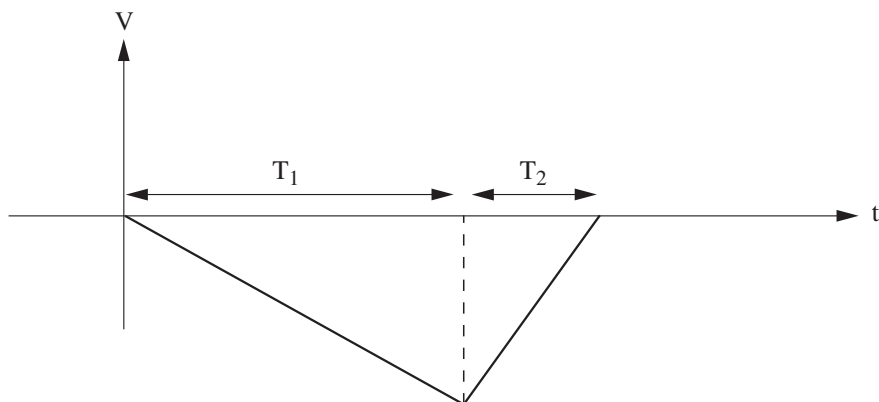
R — ערך הנגד ברשת הסולם

D — הערך העשרוני של המילה הבינארית שבכניסה.

R_f — נגד המשוב

$$V_o = - \frac{V_{REF} \cdot R_f \cdot D}{2^n \cdot R}$$

ממיר A/D שיפוע כפול – DUAL SLOPE



איור ממיר A/D שיפוע כפול

V_A – מתח אנלוגי במבוא	$N = \frac{V_A}{V_{REF}} \cdot M$
M – מודולו המונה	
V_{REF} – מתח ייחוס	$T_1 = \frac{M}{f_{CLK}}$
N – תוצאת ההמרה כערך עשרוני	
T_1 – זמן מניית המונה בפעם הראשונה	$T_2 = \frac{V_A}{V_{REF}} \cdot T_1$
T_2 – זמן מניית המונה בפעם השנייה	
f_{CLK} – תדר השעון	$T_{CON} = T_1 + T_2$
T_{CON} – זמן המרה כולל	

A/D קירוב רציף – SUCCESSIVE APPROXIMATION

n – מספר הסיביות של המונה	$T_{CON} = \frac{n}{f_{CLK}}$
-----------------------------	-------------------------------

בהצלחה!

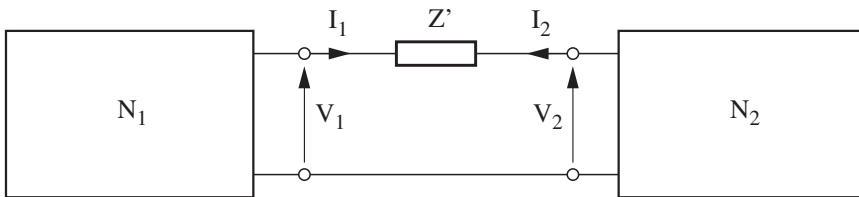
אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

מקום לנכתוב תשובות

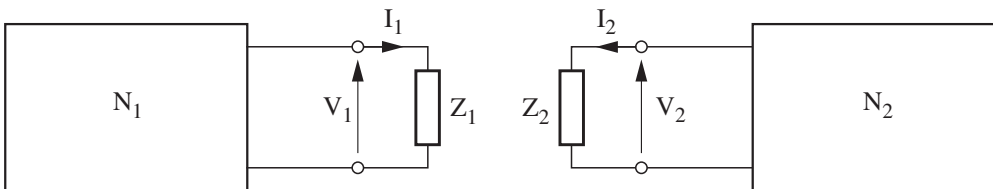
נוסחאון במבוא להנדסת חשמל לכיתה י"ג

(12 עמודים)

משפט מילר



פירוק הרשת לשתי רשתות



A – יחס המתחים ברשתות

$$A = \frac{V_2}{V_1}$$

$$Z_1 = \frac{Z'}{1-A}$$

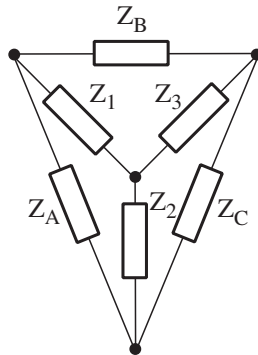
$$Z_2 = \frac{Z' \cdot A}{A-1}$$

ההמרה של כוכב במשולש

$Y \rightarrow \Delta$
$Z_A = \frac{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_3 + Z_2 Z_3}{Z_3}$
$Z_B = \frac{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_3 + Z_2 Z_3}{Z_2}$
$Z_C = \frac{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_3 + Z_2 Z_3}{Z_1}$

ההמרה של משולש בכוכב

$\Delta \rightarrow Y$
$Z_1 = \frac{Z_A Z_B}{Z_A + Z_B + Z_C}$
$Z_2 = \frac{Z_A Z_C}{Z_A + Z_B + Z_C}$
$Z_3 = \frac{Z_B Z_C}{Z_A + Z_B + Z_C}$



זרם חילופין

ערך רגעי של הזרם	—	$i(t)$	[A]
ערך מרבי של 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]

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

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

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

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

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

זמן המחזור	—	T	[sec]
תדירות זוויתית	—	ω	[rad / sec]
תדירות	—	f	[Hz]

$$\omega = 2\pi f$$

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

$$X_L = j\omega L$$

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

היגב המעגל	—	X	[Ω]
עכבה	—	Z	[Ω]
זווית המופע	—	φ	[°, rad]

$$\text{tg}\varphi = \frac{X}{R}$$

$$Z = R + jX$$

מעגל תהודה

טורי/מקבילי:

תדירות התהודה	—	f_0	[Hz]
השראות	—	L	[H]
קיבול	—	C	[F]
גורם הטיב של המעגל בתהודה	—	Q_0	
רוחב הפס	—	BW	[Hz]

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$BW = \frac{f_0}{Q_0}$$

גורם הטיב במעגל טורי:

תדירות זוויתית בתהודה	—	ω_0	[rad / sec]
התנגדות	—	R	[Ω]
גורם הטיב של המעגל בתהודה	—	Q_0	

$$Q_0 = \frac{\omega_0 L}{R}$$

גורם הטיב במעגל מקבילי:

$$Q_0 = \frac{R}{\omega_0 L}$$

5. הספקים

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

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

$$P = S \cos \varphi$$

$$Q = S \sin \varphi$$

$$S = P \pm jQ$$

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

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

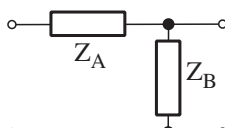
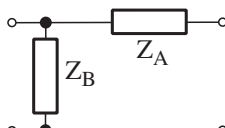
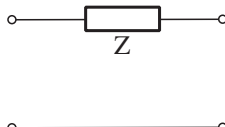
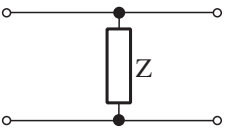
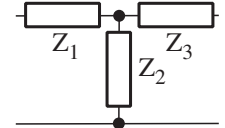
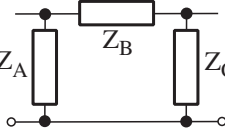
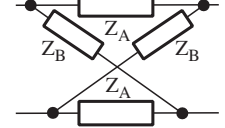
$$\begin{aligned} I_1 &= Y_{11} \cdot V_1 + Y_{12} \cdot V_2 \\ I_2 &= Y_{21} \cdot V_1 + Y_{22} \cdot V_2 \end{aligned}$$

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	$\frac{Z_A + Z_B + Z_C}{Z_A \cdot Z_C}$	$1 + \frac{Z_B}{Z_A}$
	$\frac{Z_A + Z_B}{Z_B - Z_A}$	$\frac{2 Z_A + Z_B}{Z_B - Z_A}$	$\frac{2}{Z_B - Z_A}$	$\frac{Z_A + Z_B}{Z_B - Z_A}$

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	$Z_2 + Z_3$	$\frac{Z_2 + Z_3}{Z_1 Z_3 + Z_2(Z_1 + Z_3)}$	$\frac{-Z_2}{Z_1 Z_3 + Z_2(Z_1 + Z_3)}$	$\frac{Z_1 + Z_2}{Z_1 Z_3 + Z_2(Z_1 + Z_3)}$
	$\frac{Z_A(Z_B + Z_C)}{Z_A + Z_B + Z_C}$	$\frac{Z_A \cdot Z_C}{Z_A + Z_B + Z_C}$	$\frac{Z_C(Z_A + Z_B)}{Z_A + Z_B + Z_C}$	$\frac{Z_A + Z_B}{Z_A \cdot Z_B}$	$-\frac{1}{Z_B}$	$\frac{Z_B + Z_C}{Z_B \cdot Z_C}$
	$\frac{Z_B + Z_A}{2}$	$\frac{Z_B - Z_A}{2}$	$\frac{Z_A + Z_B}{2}$	$\frac{Z_A + Z_B}{2 Z_A \cdot Z_B}$	$\frac{Z_A - Z_B}{2 Z_A \cdot Z_B}$	$\frac{Z_A + Z_B}{2 Z_A \cdot Z_B}$

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}

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

$$Z_O \text{ } [\Omega] \text{ --- עכבה אופיינית}$$

$$Z_{SC} \text{ } [\Omega] \text{ --- עכבת המבוא בקצר}$$

$$Z_{OC} \text{ } [\Omega] \text{ --- עכבת המבוא בנתק}$$

$$B \text{ --- מקדם זוגיים}$$

$$C \text{ --- מקדם זוגיים}$$

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

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

$$\left. \begin{array}{l} \text{מהצד} \\ \text{האחד} \end{array} \right\} \begin{array}{l} Z_{O1} \text{ } [\Omega] \text{ --- עכבת ההבואה} \\ Z_{SC1} \text{ } [\Omega] \text{ --- עכבת המבוא בקצר} \\ Z_{OC1} \text{ } [\Omega] \text{ --- עכבת המבוא בנתק} \end{array}$$

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

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

$$\left. \begin{array}{l} \text{מהצד} \\ \text{האחר} \end{array} \right\} \begin{array}{l} Z_{O2} \text{ } [\Omega] \text{ --- עכבת ההבואה} \\ Z_{SC2} \text{ } [\Omega] \text{ --- עכבת המבוא בקצר} \\ Z_{OC2} \text{ } [\Omega] \text{ --- עכבת המבוא בנתק} \end{array}$$

$$\gamma \text{ --- קבוע ההתפשטות}$$

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

$$\beta \text{ } [\text{rad}] \text{ --- קבוע המופע, זווית המופע}$$

$$I_1 \text{ ו- } I_2 \text{ בין הזרמים}$$

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

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

$$1 \text{ neper} = 8.69 \text{ db}$$

מסננים מסוג K קבוע

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

התנגדות אופיינית — R_o [Ω]

LPF – מסנן

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

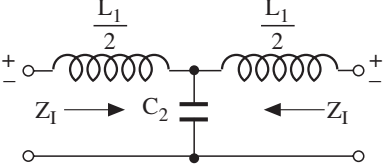
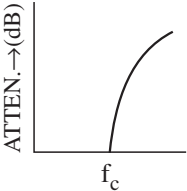
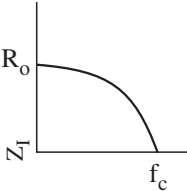
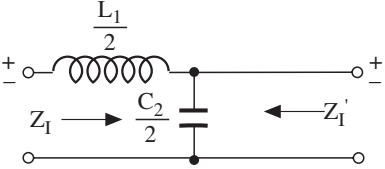
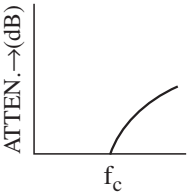
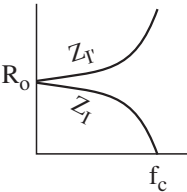
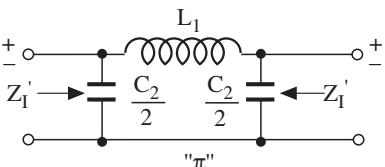
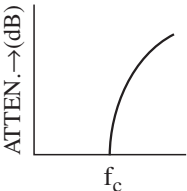
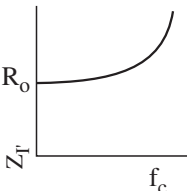
תדר פוגה — f_c [Hz]

כאשר $\omega < \omega_c$:

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

כאשר $\omega > \omega_c$:

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

constant-K LOW PASS FILTER		
CONFIGURATION	ATTENUATION	IMPEDANCE
 "T" (FULL SECTION)		
 "L" (HALF SECTION)		
 "π"		
$L_1 = \frac{R_o}{\pi f_c}$	$C_2 = \frac{1}{\pi f_c R_o}$	$R_o = \text{LINE IMPEDANCE}$

HPF – קבוע K

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

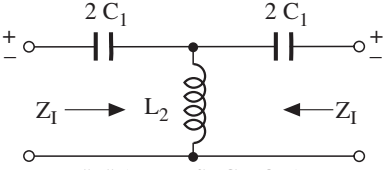
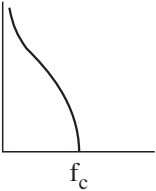
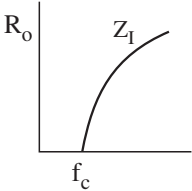
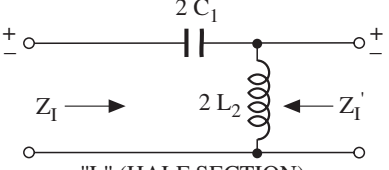
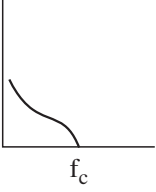
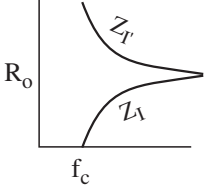
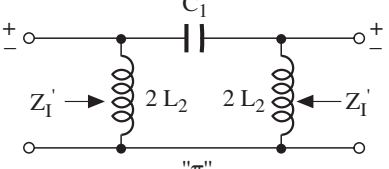
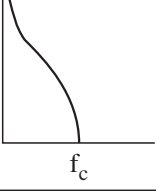
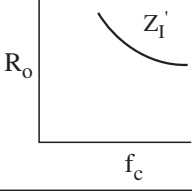
— f_c [Hz] תדר פוגה

כאשר $\omega > \omega_c$:

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

כאשר $\omega < \omega_c$:

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

constant-K HIGH PASS FILTER		
CONFIGURATION	ATTENUATION	IMPEDANCE
 "T" (FULL SECTION)		
 "L" (HALF SECTION)		
 "pi"		
$L_2 = \frac{R_o}{4 \pi f_c}$	$C_1 = \frac{1}{4 \pi f_c R_o}$	$R_o = \text{LINE IMPEDANCE}$

משוואה אופיינית

$$s^2 + 2\alpha s + \omega_0^2 = 0$$

$$y(t) = Y_{(\text{מתמיד})} + Ae^{-\alpha t} \sin(\omega_m t + \Phi)$$

שני קטבים מרוכבים:

$$y(t) = Y_{(\text{מתמיד})} + Ate^{-\alpha t} + Be^{-\alpha t}$$

שני קטבים ממשיים וזהים:

$$y(t) = Y_{(\text{מתמיד})} + Ae^{-\alpha_1 t} + Be^{-\alpha_2 t}$$

שני קטבים ממשיים ושונים:

בהצלחה!