

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 שלושה פרקים, ובהם 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:

- ענה על מספר השאלות הנדרש בשאלון. המעריך יקרא ויעריך את מספר השאלות הנדרש בלבד, לפי סדר כתיבתן במחברתך, ולא יתייחס לתשובות נוספות.
- התחל כל תשובה לשאלה חדשה בעמוד חדש.
- רשום את כל תשובותיך **אך ורק בעט**.
- הקפד לנסח את תשובותיך כהלכה ולסרטט את תרשימיך בהירות.
- כתוב את תשובותיך בכתב-יד ברור, כדי לאפשר הערכה נאותה של תשובותיך.
- אם לדעתך חסרים נתונים הדרושים לפתרון שאלה, אתה רשאי להוסיף אותם, בתנאי שתנמק מדוע הוספת אותם.
- בכתיבת פתרונות חישוביים, קבלת מֶרֶב הנקודות מותנית בהשלמת כל המהלכים שלהלן, בסדר שבו הם רשומים:
 - * רישום הנוסחה המתאימה.
 - * הצבה של כל הערכים ביחידות המתאימות.
 - * חישוב (אפשר באמצעות מחשבון).
 - * רישום התוצאה המתקבלת, ביחד עם יחידות המידה המתאימות.
 - * ליווי הפתרון החישובי בהסבר קצר.

בשאלון זה 8 עמודים ו-23 עמודי נספחים.

ההנחיות בשאלון זה מנוסחות בלשון זכר,

אך מכוונות לנבחנות ולנבחנים כאחד.

בהצלחה!

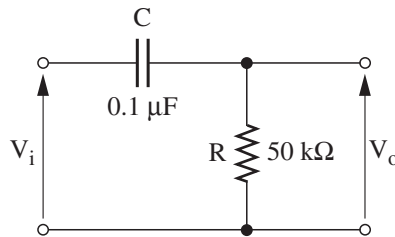
השאלות

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.

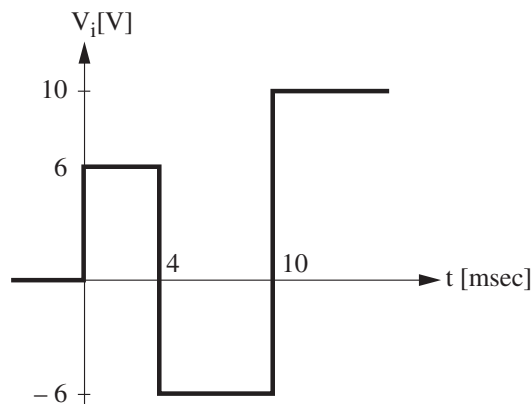
פרק ראשון: אלקטרוניקה ספרתית א'

שאלה 1

לרשת הנתונה באיור א' לשאלה 1 מספקים אות מבוא V_i , המתואר באיור ב' לשאלה 1.



איור א' לשאלה 1



איור ב' לשאלה 1

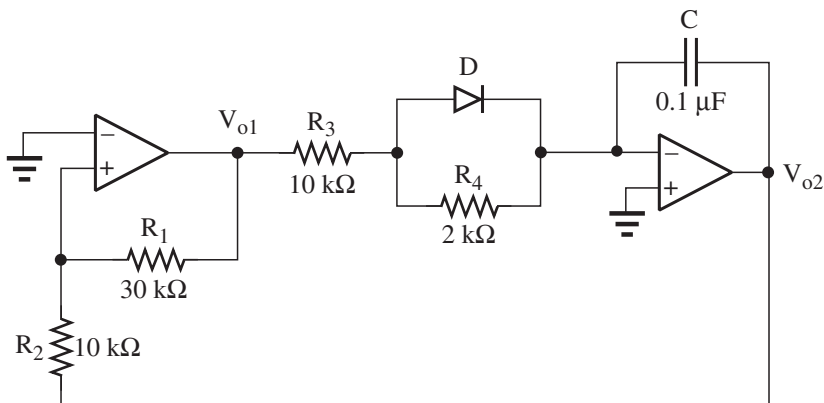
א. העתק למחברתך את אות המבוא V_i , וסרטט מתחתיו, בהתאמה, את צורת אות המוצא V_o .

ב. חשב את ערכי מתח המוצא בנקודות השבירה.

ג. חשב את ערכו של מתח המוצא כאשר: $t = 12 \text{ msec}$.

שאלה 2

המעגל שבאיור לשאלה 2 כולל מגברי שרת ודיודה אידיאליים. מתחי ההזנה למגברי השרת הם: $\pm 12 \text{ V}$.



איור לשאלה 2

א. סרטט את צורות המתחים במוצאים V_{o1} ו- V_{o2} .

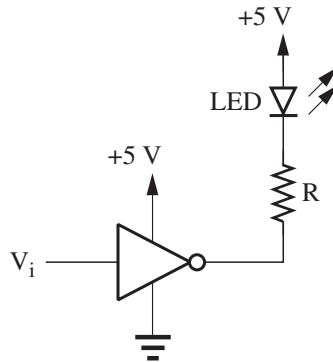
ב. חשב את זרם הטעינה ואת זרם הפריקה של הקבל.

ג. חשב את המתח משיא לשיא המתקבל במוצא V_{o2} .

ד. חשב את תדר התנודות במוצא V_{o1} ואת מחזור הפעולה (DC).

שאלה 3

באיור לשאלה 3 נתון רכיב לוגי המפעיל דiodת LED .



איור לשאלה 3

נתוני הרכיב הלוגי:

$$V_{OH} = 4 \text{ V} , V_{OL} = 0.4 \text{ V}$$

$$I_{OH} = 0.5 \text{ mA} , I_{OL} = 15 \text{ mA}$$

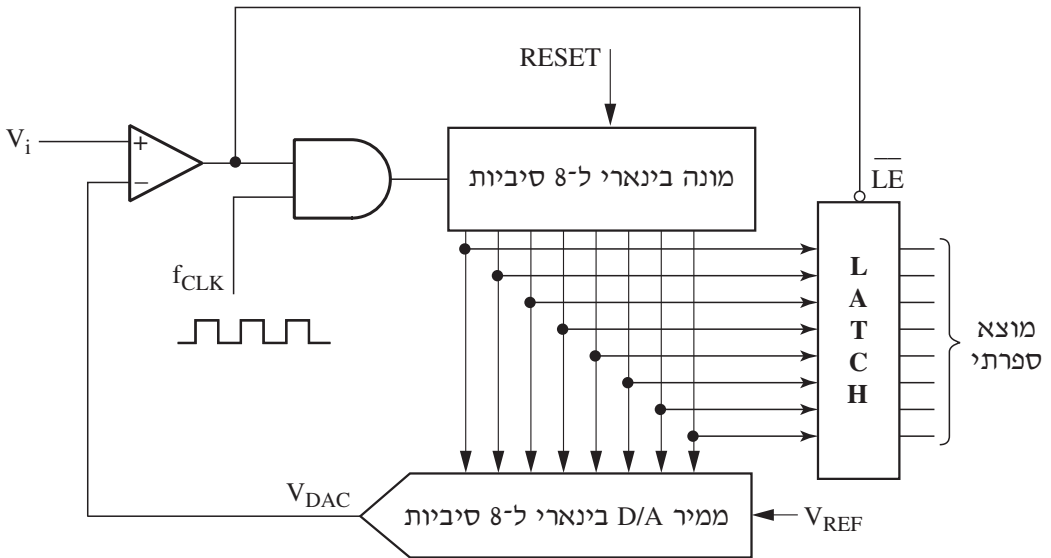
נתוני ה-LED :

$$I_{LED \text{ max}} = 30 \text{ mA} , V_{LED} = 1.2 \text{ V}$$

- מהי הרמה הלוגית שיש לספק במבוא V_i כדי להדליק את ה-LED ?
- חשב את ערך הנגד R הנדרש כדי להדליק את ה-LED , כאשר הזרם דרכה הוא 8 mA .
- מהו הערך המינימלי של הנגד R , שעבורו המעגל עדיין יפעל באופן תקין?

שאלה 4

באיור לשאלה 4 נתון תרשים מלבנים של ממיר A/D ל-8 סיביות. V_i הוא מתח המבוא האנלוגי של הממיר. תדר השעון הוא $f_{CLK} = 100 \text{ kHz}$.



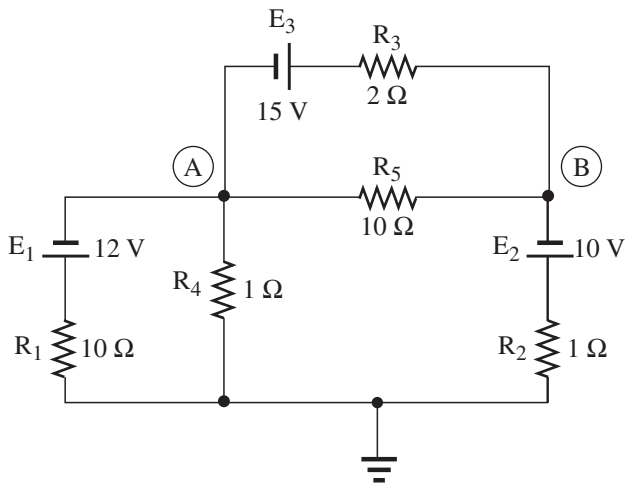
איור לשאלה 4

- א. הסבר את אופן פעולת ממיר ה-A/D.
- ב. נתון שעבור הצירוף 00010000 במבוא ממיר ה-D/A, התקבל במוצא הממיר מתח (V_{DAC}) של 150 mV . חשב את הרזולוציה של הממיר.
- ג. מהו מתח המבוא המרבי V_i הניתן להמרה?
- ד. מהו זמן ההמרה המרבי של ממיר ה-A/D? בתשובתך, הזנח את זמני ההשהיה של כל הרכיבים.

פרק שני: מבוא להנדסת חשמל

שאלה 5

באיור לשאלה 5 נתון מעגל חשמלי.



איור לשאלה 5

- א. חשב את המתח בכל אחת מן הנקודות A ו-B ביחס לאדמה.
- ב. חשב את הזרם הזורם בנגד R_3 , וציין את כיוונו (מ-A ל-B או מ-B ל-A).

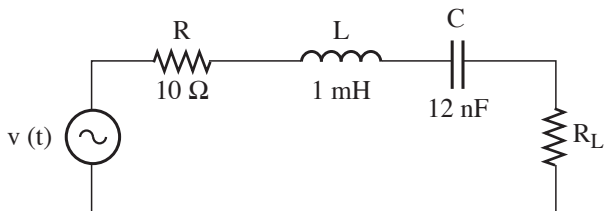
שאלה 6

להלן נתוני מסנן π מעביר נמוכים (LPF) מסוג K קבוע:

- ההתנגדות האופיינית היא 400Ω .
 - תדר הפוגה הוא 6 kHz .
- א. סרטט את מעגל המסנן.
 - ב. חשב את הערכים של רכיבי המעגל L ו-C.
 - ג. חשב את התדר שבו ניחות המסנן הוא 25 dB .
 - ד. מהו היחס בין מתח המבוא למתח המוצא $\left(\frac{U_{IN}}{U_{OUT}} \right)$, כאשר התדר קטן מתדר הפוגה?

שאלה 7

באיור לשאלה 7 נתון מעגל טורי הנמצא בתהודה. מתח המקור הוא: $v(t) = 2 \sin(\omega t)$.



איור לשאלה 7

- א. חשב את תדר התהודה.
- ב. חשב את ערכו של נגד העומס R_L , הנדרש כדי שיתפתח עליו הספק מרבי. כמו-כן חשב את ההספק המתפתח על הנגד R_L .
- ג. חשב את גורם הטיב ואת רוחב הפס.
- ד. חשב את תדרי מחצית ההספק.

שאלה 8

מאפייני A, B, C, D של רשת זוגיים הם:

$$A = 1.5 + j 0.5 ; B = 20 \Omega ; C = 0.2 \text{ S} ; D = 3 - j$$

- א. חשב את העכבות של רשת T, השקולה לרשת הזוגיים הנתונה.
- ב. סרטט את הרשת T, תוך ציון הרכיבים (נגדים ו/או סלילים ו/או קבלים) בכל אחד מענפי הרשת.

פרק שלישי: אנגלית טכנית

אין חובה לענות על השאלות מפרק זה, אך אם בחרת לעשות זאת – תוכל לענות אך ורק על שאלה אחת מבין השאלות 9–10.

שאלה 9

בנספח לשאלה 9 מובא קטע של מאמר בשפה האנגלית.

עליך לענות על הסעיפים שלהלן בעברית, רק על-פי הכתוב במאמר.

- א. הסבר מה משפיע על הגבר המתח בתחום התדרים הנמוכים, מתחת ל- f_1 .
- ב. מהי התכונה המאפיינת מגבר מוכוון, ואיזה מעגל הוא כולל בתוכו?
- ג. הסבר מדוע מגבר בלתי מוכוון נקרא לעתים מגבר רחב-סרט.

שאלה 10

בנספח לשאלה 10 מובאים דפי-מפרט בשפה האנגלית.

עליך לענות על הסעיפים שלהלן בעברית, רק על-פי הכתוב בדפי המפרט.

- א. ציין מהו זמן הרכישה של הרכיב LF198.
- ב. מה יתרונם של התקנים מבוססי JFET על-פני התקנים מבוססי MOS ?
- ג. הסבר מהו "Hold Settling Time".

בהצלחה!

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

AMPLIFIER RESPONSE

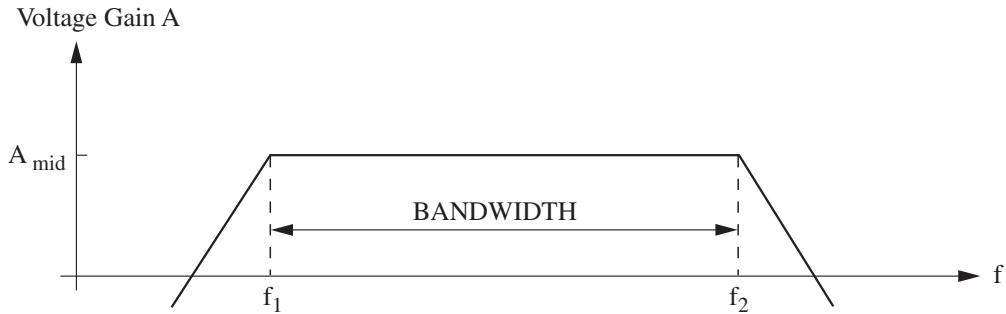


FIGURE 9.1 Frequency response of an amplifier

Figure 9.1

Figure 9.1 shows the frequency response of an AC amplifier. In the midband of an amplifier, the voltage gain is maximum. Below the midband, coupling and bypass capacitors cause the voltage gain to decrease. Above the midband, internal and stray capacitances cause the voltage gain to decrease. The lower critical frequency is f_1 , and the upper critical frequency is f_2 . The bandwidth B of an amplifier is defined as:

$$B = f_2 - f_1$$

For instance, if an AC amplifier has a lower critical frequency of 1 MHz and an upper critical frequency of 3 MHz, then its bandwidth is:

$$B = 3 \text{ MHz} - 1 \text{ MHz} = 2 \text{ MHz}$$

A tuned amplifier (one with resonant circuits) is often called a narrowband amplifier because f_1 and f_2 are close in value. For example, if $f_1 = 450 \text{ kHz}$ and $f_2 = 460 \text{ kHz}$, then,

$$B = 460 \text{ kHz} - 450 \text{ kHz} = 10 \text{ kHz}$$

This is a narrowband amplifier because f_2 is only slightly larger than f_1 . On the other hand, an untuned amplifier is often called a wideband amplifier because f_2 is much greater than f_1 .

For example, if $f_1 = 200 \text{ Hz}$ and $f_2 = 10 \text{ MHz}$, then,

$$B = 10 \text{ MHz} - 200 \text{ Hz} \approx 10 \text{ MHz}$$

This is a wideband amplifier because f_2 is much greater than f_1 .

בהצלחה!

LF198/LF298/LF398, LF198A/LF398A Monolithic Sample-and-Hold Circuits

General Description

The LF198/LF298/LF398 are monolithic sample-and-hold circuits which utilize BI-FET technology to obtain ultra-high DC accuracy with fast acquisition of signal and low droop rate. Operating as a unity gain follower, DC gain accuracy is 0.002% typical and acquisition time is as low as 6 μ s to 0.01% . A bipolar input stage is used to achieve low offset voltage and wide bandwidth. Input offset adjust is accomplished with a single pin, and does not degrade input offset drift. The wide bandwidth allows the LF198 to be included inside the feedback loop of 1 MHz op amps without having stability problems. Input impedance of $10^{10} \Omega$ allows high source impedances to be used without degrading accuracy. P-channel junction FET's are combined with bipolar devices in the output amplifier to give droop rates as low as 5 mV/min with a 1 μ F hold capacitor. The JFET's have much lower noise than MOS devices used in previous designs and do not exhibit high temperature instabilities. The overall design guarantees no feed-through from input to output in the hold mode, even for input signals equal to the supply voltage.

Features

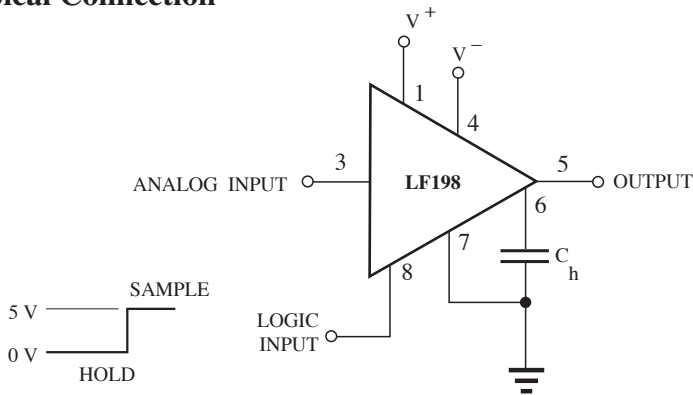
- Operates from ± 5 V to ± 18 V supplies
- Less than 10 μ s acquisition time
- TTL, PMOS, CMOS compatible logic input
- Low input offset
- 0.002% gain accuracy
- 0.5 mV typical hold step at $C_h = 0.01 \mu$ F
- Low output noise in hold mode
- Input characteristics do not change during hold mode
- High supply rejection ratio in sample or hold
- Wide bandwidth
- Space qualified, JM38510

סמל 711001, אביב תשס"ח

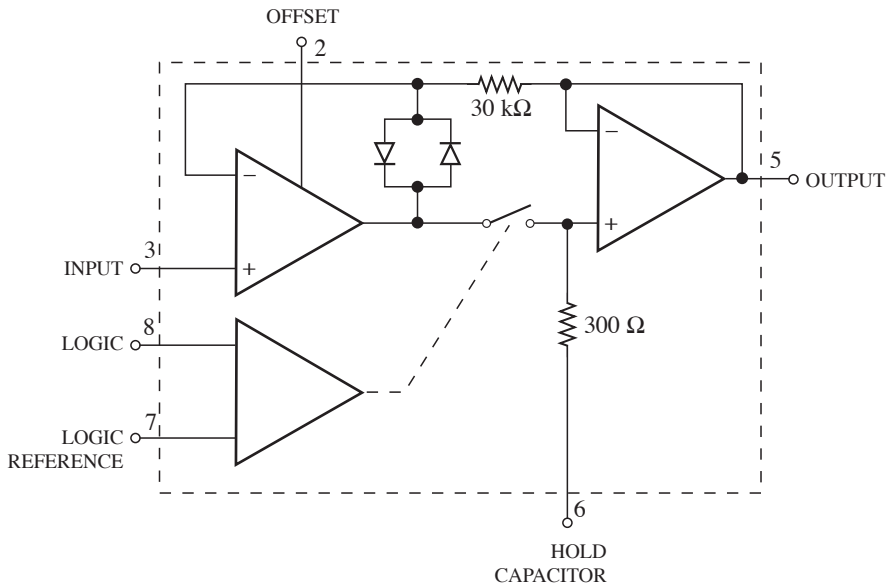
Logic inputs on the LF198 are fully differential with low input current, allowing direct connection to TTL, PMOS and CMOS. Differential threshold is 1.4 V. The LF198 will operate from ± 5 V to ± 18 V supplies.

An "A" version is available with tightened electrical specifications.

Typical Connection



Functional Diagram



המשך בעמוד 3

Absolute Maximum Ratings

– Supply voltage	$\pm 18 \text{ V}$
– Power Dissipation (Package Limitation)	500 mW
– Operating Ambient Temperature Range	
LF198/LF198A	-55°C to $+125^\circ\text{C}$
LF298	-25°C to $+85^\circ\text{C}$
LF398/LF398A	0°C to $+70^\circ\text{C}$
– Storage Temperature Range	-65°C to $+150^\circ\text{C}$
– Input Voltage	Equal to Supply Voltage
– Logic To Logic Reference Differential Voltage	$+7 \text{ V}$, -30 V
– Output Short Circuit Duration	indefinite
– Hold Capacitor Short Circuit Duration	10 sec
– Lead Temperature	
H package (Soldering, 10 sec.)	260°C
N package (Soldering, 10 sec.)	260°C
M package: Vapor Phase (60 sec.)	215°C
Infrared (15 sec.)	220°C
– Thermal Resistance (θ_{JA}) (typicals):	
H package	215°C/W (Board mount in still air) 85°C/W (Board mount in 400 LF/min air flow)
N package	115°C/W
M package	106°C/W
– θ_{JC} (H package, typical)	20°C/W

Definition of Terms

Hold Step: the voltage step at the output of the sample and hold when switching from sample mode to hold mode with a steady (DC) analog input voltage. Logic swing is 5 V.

Acquisition Time: the time required to acquire a new analog input voltage with an output step of 10 V. Note that acquisition time is not just the time required for the output to settle, but also includes the time required for all internal nodes to settle so that the output assumes the proper value when switched to the hold mode.

Gain Error: the ratio of output voltage swing to input voltage swing in the sample mode expressed as a percent difference.

Hold Settling Time: the time required for the output to settle within 1 mV of final value after the "Hold" logic command.

Dynamic Sampling Error: the error introduced into the held output due to a changing analog input at the time the "Hold" command is given. Error is expressed in mV with a given hold capacitor value and input slew rate. Note that this error term occurs even for long sample times.

Aperture Time: the delay required between "Hold" command and an input analog transition, so that the transition does not affect the held output.

בהצלחה!

אין להעביר נוסחאון זה
מנבחן אחד למשנהו!

מקום לנחשת נבחן

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

טעינת קבל בזרם קבוע:

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

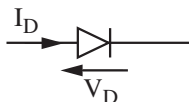
טעינת סליל במתח קבוע:

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

- 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]

דיודת צומת

סימול:



א. דיודה אידיאלית

ממתח קדמי — $V_D = 0$ (קָצֵר)

ממתח אחורני — $I_D = 0$ (נִתְק)

ב. קירוב באמצעות V_γ

ממתח קדמי — $V_D = V_\gamma$

ממתח אחורני — $I_D = 0$ ($V_D < V_\gamma$)

ג. קירוב באמצעות V_γ ו- R_f

ממתח קדמי — $V_D = I_D \cdot R_f + V_\gamma$ ($V_D > V_\gamma$)

ממתח אחורני — $I_D = 0$, ($V_D < V_\gamma$)

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

n — מספר הסיביות

V_{REF} [V] — מתח ייחוס

R [Ω] — ערך הנגד R ברשת הסולם

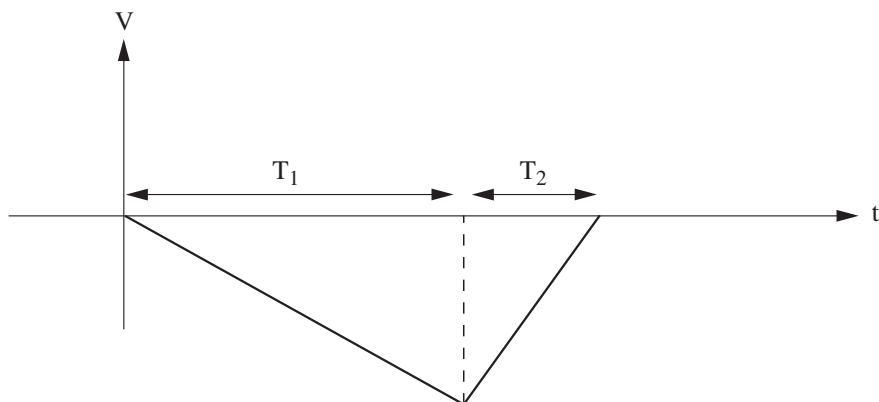
R_f [Ω] — נגד המשוב

D — הערך העשרוני של המילה הבינרית

שבכניסה לממיר

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

ממיר A/D מסוג שיפוע כפול – DUAL SLOPE



V_A [V] – מתח אנלוגי במבוא

V_{REF} [V] – מתח ייחוס

M – מודולו המונה

N – תוצאת ההמרה כערך עשרוני

T_1 [sec] – זמן מניית המונה בפעם הראשונה

T_2 [sec] – זמן מניית המונה בפעם השנייה

f_{CLK} [Hz] – תדר השעון

T_{CON} [sec] – זמן המרה כולל

$$N = \frac{V_A}{V_{REF}} \cdot M$$

$$T_1 = \frac{M}{f_{CLK}}$$

$$T_2 = \frac{V_A}{V_{REF}} \cdot T_1$$

$$T_{CON} = T_1 + T_2$$

ממיר A/D מסוג קירוב רציף – SUCCESSIVE APPROXIMATION

n – מספר הסיביות של המונה

$$T_{CON} = \frac{n}{f_{CLK}}$$

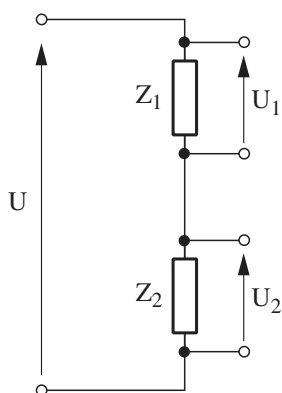
בהצלחה!

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

מקום לנכתוב תשובות

נוסחאון במבוא להנדסת חשמל לכיתה י"ג

(14 עמודים)

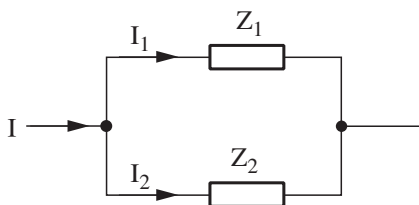


מחלק מתח

$$U_1 = \frac{U \cdot Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

$$U_2 = \frac{U \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

מחלק זרם



$$I_1 = \frac{I \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

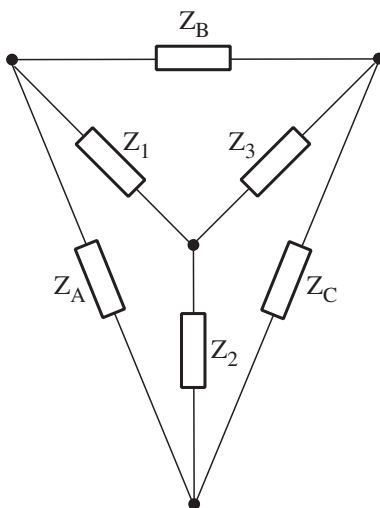
$$I_2 = \frac{I \cdot Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

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 סינוסואידלי

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

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

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

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

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

$$\omega = 2\pi f$$

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

$$X_L = j\omega L$$

$$M = k \sqrt{L_1 \cdot L_2}$$

$$X_M = j\omega M = j k \sqrt{|X_{L_1}| \cdot |X_{L_2}|}$$

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]

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

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

השראות הדדית	—	M	[H]
מקדם הצימוד ($0 \leq k \leq 1$)	—	k	
השראות עצמית של סליל 1	—	L_1	[H]
השראות עצמית של סליל 2	—	L_2	[H]

היגב ההשראות ההדדית	—	X_M	[Ω]
---------------------	---	-------	-----

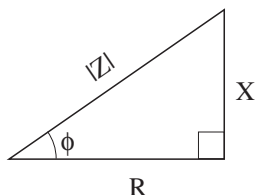
התנגדות המעגל — R [Ω]

היגב המעגל — X [Ω]

עכבת המעגל — Z [Ω]

$$Z = R \pm jX$$

משולש העכבות



$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$\sin \phi = \frac{X}{|Z|}$$

;

$$\cos \phi = \frac{R}{|Z|}$$

;

$$\tan \phi = \frac{X}{R}$$

מוליכות המעגל — G [S]

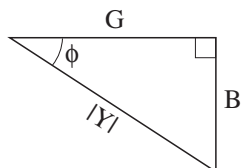
מניחות המעגל — B [S]

מתירות המעגל — Y [S]

$$Y = G \pm jB$$

$$Y = \frac{1}{Z}$$

משולש המתירויות



$$|Y| = \sqrt{G^2 + B^2}$$

$$\sin \phi = \frac{B}{|Y|}$$

;

$$\cos \phi = \frac{G}{|Y|}$$

;

$$\tan \phi = \frac{B}{G}$$

הספקים בזרם חילופין

הספק פעיל	—	P	[W]
הערך המוחלט של הזרם בנגד	—	I _R	[A]
הערך המוחלט של המתח על הנגד	—	U _R	[V]
הספק היגבי	—	Q	[VAr]
הערך המוחלט של זרם ההיגב	—	I _X	[A]
הערך המוחלט של מתח ההיגב	—	U _X	[V]
הספק מדומה	—	S	[VA]
הערך המוחלט של זרם העכבה	—	I _Z	[A]
הערך המוחלט של מתח העכבה	—	U _Z	[V]
הצמוד של זרם העכבה	—	I _Z [*]	[A]

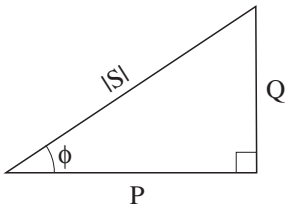
$$P = |I_R| \cdot |U_R| = |I_R|^2 \cdot R = \frac{|U_R|^2}{R}$$

$$Q = |I_X| \cdot |U_X| = |I_X|^2 \cdot |X| = \frac{|U_X|^2}{|X|}$$

$$|S| = |I_Z| \cdot |U_Z| = |I_Z|^2 \cdot |Z| = \frac{|U_Z|^2}{|Z|}$$

$$S = P \pm jQ = U_Z \cdot I_Z^*$$

משולש ההספקים



$$|S| = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$Q = |S| \cdot \sin \phi$$

$$P = |S| \cdot \cos \phi$$

מעגל תהודה

טורי/מקבילי

תדירות התהודה — f_0 [Hz]

השראות — L [H]

קיבול — C [F]

גורם הטיב של המעגל — Q_0

בתהודה

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]

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

גורם הטיב במעגל מקבילי

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

מקדמים של רשת זוגיים

ABCD מקדמי

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

$$V_1 = A \cdot V_2 + B \cdot I_2$$

$$I_1 = C \cdot V_2 + D \cdot I_2$$

Z מקדמי

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

$$V_1 = Z_{11} \cdot I_1 + Z_{12} \cdot I_2$$

$$V_2 = Z_{21} \cdot I_1 + Z_{22} \cdot I_2$$

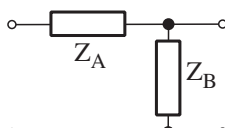
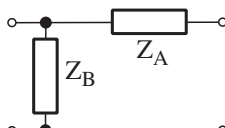
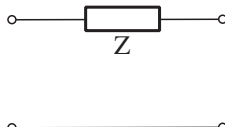
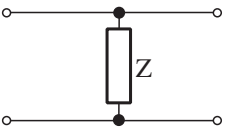
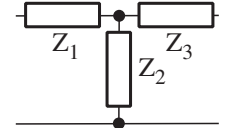
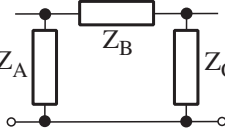
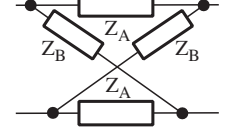
Y מקדמי

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

$$I_1 = Y_{11} \cdot V_1 + Y_{12} \cdot V_2$$

$$I_2 = Y_{21} \cdot V_1 + Y_{22} \cdot V_2$$

מקדמי ABCD של רשת 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	$\frac{Z_A + Z_B + Z_C}{Z_A \cdot Z_C}$	$1 + \frac{Z_B}{Z_A}$
	$\frac{Z_A + Z_B}{Z_B - Z_A}$	$\frac{2 Z_A + Z_B}{Z_B - Z_A}$	$\frac{2}{Z_B - Z_A}$	$\frac{Z_A + Z_B}{Z_B - Z_A}$

הערה: זרם המבוא I_1 נכנס לרשת, וזרם המוצא I_2 יוצא מהרשת.

מקדמי Z ו-Y של רשת 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 המבוא I₁ וזרם המוצא I₂ נכנסים לרשת.

טבלה השוואתית של מקדמי זוגיים

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

הערות

- א. עבור מקדמי ABCD – זרם המוצא I_2 יוצא מהרשת.
- ב. עבור מקדמי Y ו-Z – זרם המוצא I_2 נכנס לרשת.
- ג. $|Y|$, $|Z|$ הם דטרמיננטים של המטריצות [Z] ו-[Y] , בהתאמה.

רשתות זוגיים

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

- Z_O [Ω] — עכבה אופיינית
 Z_{SC} [Ω] — עכבת המבוא בקצר
 Z_{OC} [Ω] — עכבת המבוא בנתק

עבור רשת סימטרית מתקיים:

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

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

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

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

- γ — קבוע ההתפשטות
 α [neper] — קבוע הניחות
 β [rad] — קבוע המופע, זווית המופע
 בין הזרמים I_1 ו- I_2
 N — ניחות

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

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

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

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

מסננים מסוג K קבוע

— R_o $[\Omega]$ התנגדות אופיינית

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

מסנן LPF

— f_c $[\text{Hz}]$ תדר פוגה

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

כאשר $\omega < \omega_c$:

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

כאשר $\omega > \omega_c$:

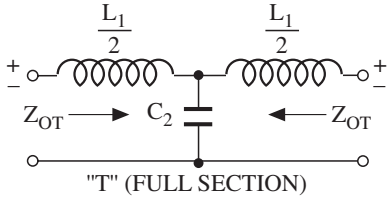
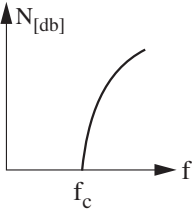
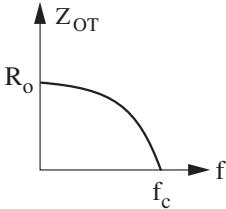
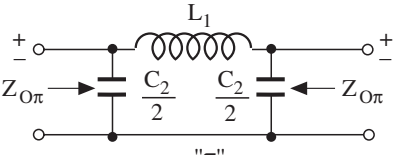
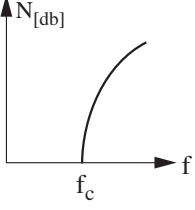
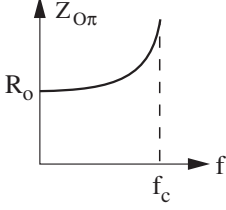
$$\alpha = 2 \cosh^{-1} \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)$$

— Z_{OT} $[\Omega]$ עכבה אופיינית של רשת T
סימטרית מעבירה נמוכים

$$Z_{OT}(\omega) = R_o \sqrt{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)^2}$$

— $Z_{O\pi}$ $[\Omega]$ עכבה אופיינית של רשת π
סימטרית מעבירה נמוכים

$$Z_{O\pi}(\omega) = \frac{R_o}{\sqrt{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)^2}}$$

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

מסנן HPF

תדר פוגה — f_c [Hz]

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

כאשר $\omega > \omega_c$:

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

כאשר $\omega < \omega_c$:

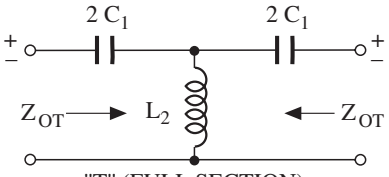
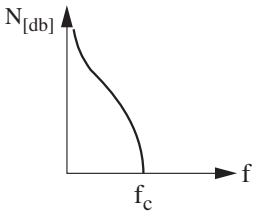
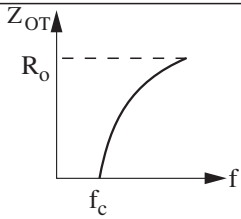
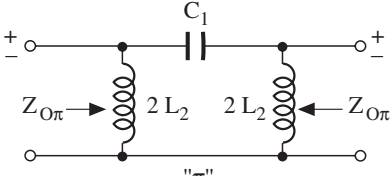
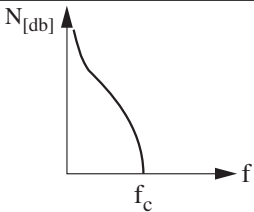
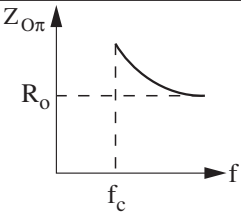
$$\alpha = 2 \cosh^{-1} \left(\frac{\omega_c}{\omega} \right)$$

$$Z_{OT}(\omega) = R_o \sqrt{1 - \left(\frac{\omega_c}{\omega}\right)^2}$$

$Z_{OT} [\Omega]$ — עכבה אופיינית של רשת T
סימטרית מעבירה גבוהים

$Z_{O\pi} [\Omega]$ — עכבה אופיינית של רשת π
סימטרית מעבירה גבוהים

$$Z_{O\pi}(\omega) = \frac{R_o}{\sqrt{1 - \left(\frac{\omega_c}{\omega}\right)^2}}$$

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

בהצלחה!