

סוג הבחינה: גמר לבתי-ספר לטכנאים ולהנדסאים

מועד הבחינה: אביב תשע"ח, 2018

סמל השאלון: 711001

נספחים: א. נספח לשאלה 9

ב. נספח לשאלה 10

ג. נוסחאון באלקטרוניקה

ד. תקבילית א' לכיתה י"ג

ה. נוסחאון במבוא להנדסת חשמל

לכיתה י"ג

ה. מילון מונחים

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 חמש שאלות בלבד: שאלה אחת לפחות
מכל אחד משני הפרקים הראשונים, ושאלה אחת מן הפרק
השלישי. לכל שאלה – 20 נקודות. סך-הכול – 100 נקודות.

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 שלהן.

6. אם לדעתך חסרים נתונים הדרושים לפתרון שאלה, אתה רשאי להוסיף אותם,
בתנאי שתנמק מדוע הוספת אותם.

7. בכתיבת פתרונות חישוביים, קבלת מֶרֶב הנקודות מותנית בהשלמת כל המהלכים
שלהלן, בסדר שבו הם רשומים:

* רישום הנוסחה המתאימה.

* הצבה של כל הערכים ביחידות המתאימות.

* חישוב (אפשר באמצעות מחשבון).

* רישום התוצאה המתקבלת, יחד עם יחידות המידה המתאימות.

* ליווי הפתרון החישובי בהסבר קצר.

8. לנוחותך, לשאלון זה מצורף מילון מונחים בשפות עברית, אנגלית, רוסית וערבית.
תוכל להיעזר בו בעת הצורך.

בשאלון זה 11 עמודים ו-28 עמודי נספחים.

ההנחיות בשאלון זה מנוסחות בלשון זכר,

אך מכוונות הן לנבחנות והן לנבחנים.

השאלות

ענה על חמש מבין השאלות 1-10. עליך לענות על שאלה אחת לפחות מן הפרק הראשון, על שאלה אחת לפחות מן הפרק השני, ועל שאלה אחת מן הפרק השלישי.

פרק ראשון: אלקטרוניקה תקבילית א'

ענה על שאלה אחת לפחות מבין השאלות 1-4 (לכל שאלה – 20 נקודות).

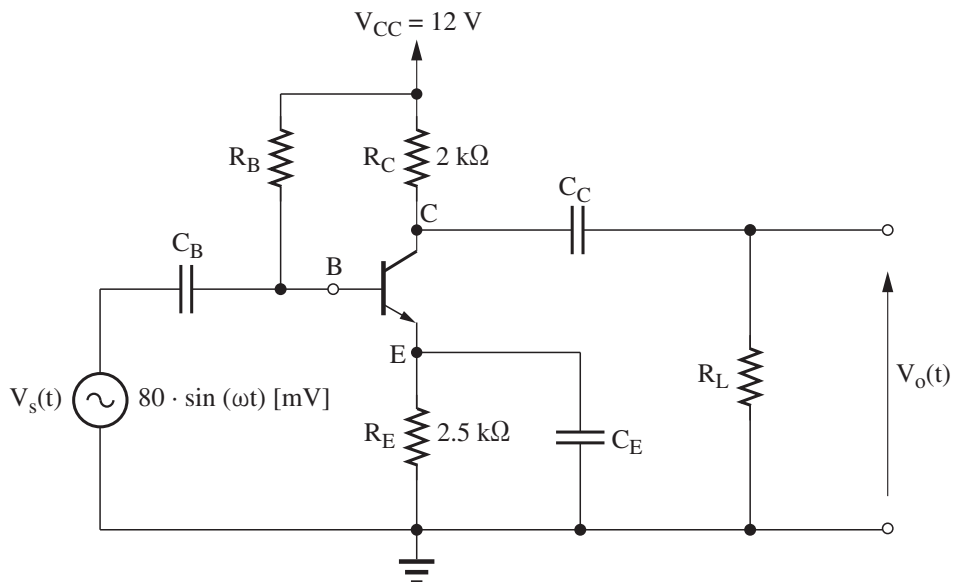
שאלה 1

באיור א' לשאלה 1 נתון המעגל החשמלי של דרגת הגברה טרנזיסטורית.

$$\beta = h_{fe} = 25, \quad V_{BE} = 0.75 \text{ V}, \quad h_{ie} = 1 \text{ k}\Omega$$

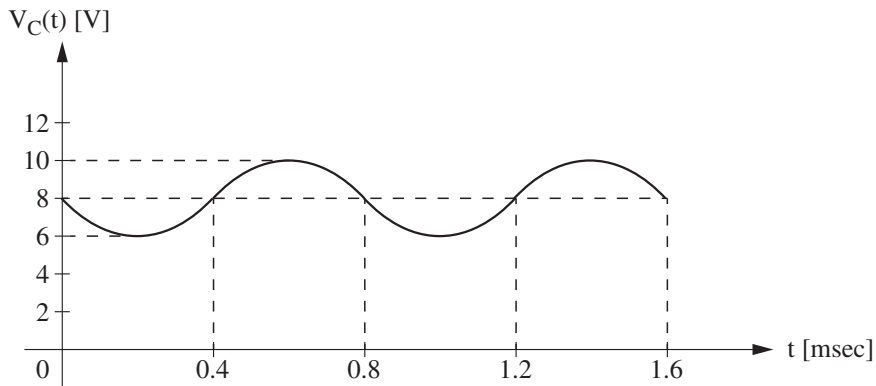
נתוני הטרנזיסטור הם:

היגבי הקבלים C_B, C_C, C_E במעגל – זניחים.



איור א' לשאלה 1

באיור ב' לשאלה מתואר המתח בנקודה C במעגל, כפונקצייה של הזמן.



איור ב' לשאלה 1

- א. מהו ערכו של המתח הישר בנקודה C, ומהו מפל המתח הישר על הנגד R_C ?
- ב. חשב את הזרם הישר I_C (הזורם דרך הנגד R_C), ואת המתח הישר V_{CE} .
- ג. חשב את הזרם הישר I_B (הזורם דרך הנגד R_B), ואת ההתנגדות של הנגד R_B .
- ד. רשום ביטוי המתאר את מתח-המוצא כפונקצייה של הזמן, $V_o(t)$. ציין בביטוי שרשמת את ערך התדר של מתח-המוצא.

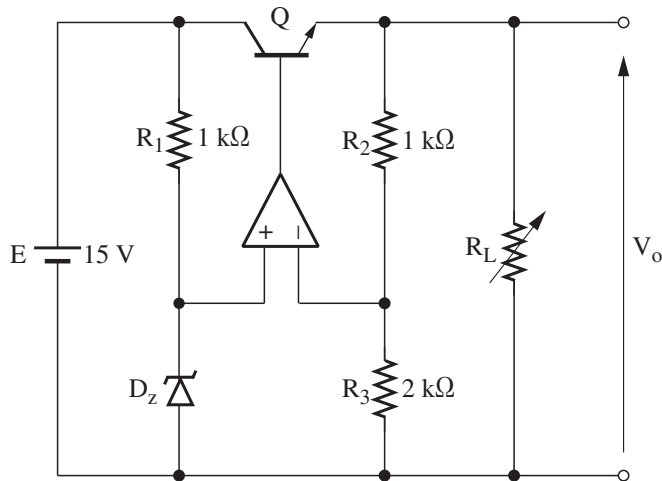
שאלה 2

באיור לשאלה 2 נתון מעגל חשמלי המשמש לייצוב המתח על נגד העומס המשתנה R_L .
מגבר-השרת שבמעגל – אידיאלי.

המתח על זיודת הזר הוא: $V_Z = 5 \text{ V}$.

נתוני הטרנזיסטור Q הם: $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$; $\beta = 100$.

ההספק המרבי המתפתח על הטרנזיסטור Q הוא: $P_{Q_{\max}} = 2 \text{ W}$.



איור לשאלה 2

א. חשב את המתח V_o ואת המתח V_{CE} של הטרנזיסטור Q.

ב. נתון: $R_L = 100 \Omega$.

1. חשב את זרם הבסיס I_B של הטרנזיסטור Q.

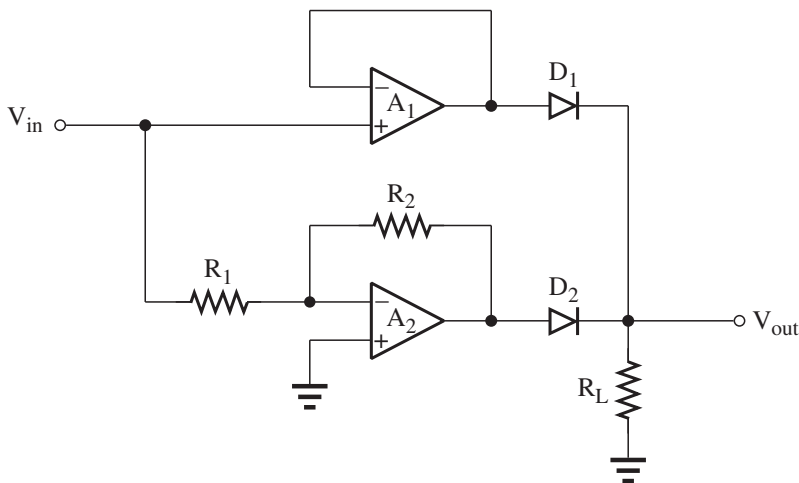
2. חשב את ההספק המתפתח על הטרנזיסטור Q.

ג. 1. חשב את ערכו המרבי של זרם הקולט I_C של הטרנזיסטור Q.

2. חשב את ערכו המזערי של נגד העומס R_L .

שאלה 3

באיור לשאלה 3 נתון מעגל חשמלי. מגברי-השרת והדiodות שבמעגל – אידיאליים
($V_{D1} = V_{D2} = 0 \text{ V}$).



איור לשאלה 3

א. נתון: $R_2 = R_1$.

מה יהיה מצבה של כל אחת מן הדiodות (ON / OFF) ומה יהיה ערכו של מתח-המוצא V_{out} , כאשר:

1. $V_{in} = 1 \text{ V}$

2. $V_{in} = -2 \text{ V}$

ב. מהו תפקידו של המעגל כאשר $R_2 = R_1$? נמק את תשובתך.

ג. נתון: $R_2 = 2 \cdot R_1$.

מה יהיה ערכו של מתח-המוצא V_{out} , כאשר:

1. $V_{in} = 1 \text{ V}$

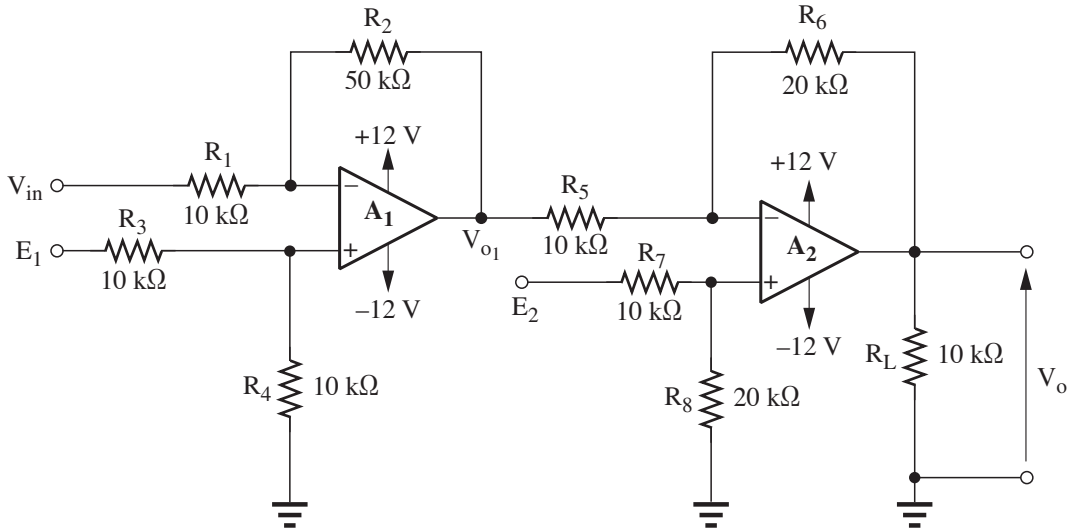
2. $V_{in} = -2 \text{ V}$

ד. נתון: $R_2 = 2 \cdot R_1$ ו- $V_{in} = 2 \cdot \sin(\omega t) \text{ V}$.

סרטט, זה מתחת לזה בהתאמה, שני מחזורים של מתח-המבוא V_{in} ומתח-המוצא V_{out} .

שאלה 4

באיור לשאלה 4 נתון מעגל חשמלי, הכולל שני מגברי-שרת אידיאליים.



איור לשאלה 4

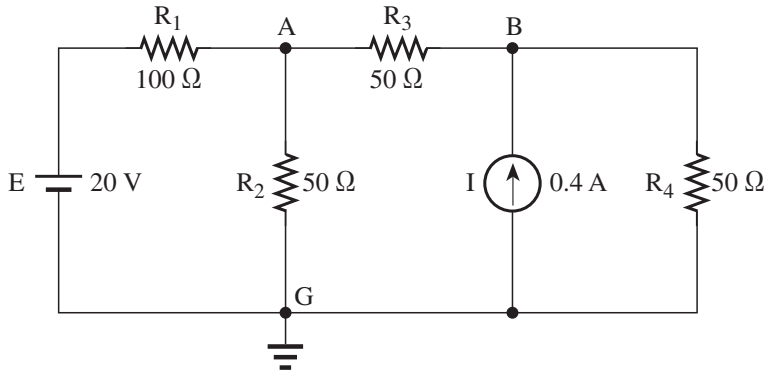
- א. רשום ביטוי המתאר את המתח במוצא המגבר A_1 (V_{o1}) כפונקצייה של המתחים V_{in} ו- E_1 .
- ב. רשום ביטוי המתאר את מתח-המוצא V_o כפונקצייה של המתחים V_{in} , E_1 ו- E_2 .
- ג. נתון: $E_1 = 2\text{ V}$; $E_2 = 3\text{ V}$; $V_{in}(t) = 0.5 \cdot \sin(\omega t)$.
 1. חשב את הערך המרבי ואת הערך המזערי של המתחים $V_{o1}(t)$ ו- $V_o(t)$.
 2. סרטט, זה מתחת לזה בהתאמה, את המתחים $V_{in}(t)$, $V_{o1}(t)$ ו- $V_o(t)$.

פרק שני: מבוא להנדסת חשמל

ענה על שאלה אחת לפחות מבין השאלות 5-8 (לכל שאלה – 20 נקודות).

שאלה 5

באיור לשאלה 5 נתון מעגל חשמלי.

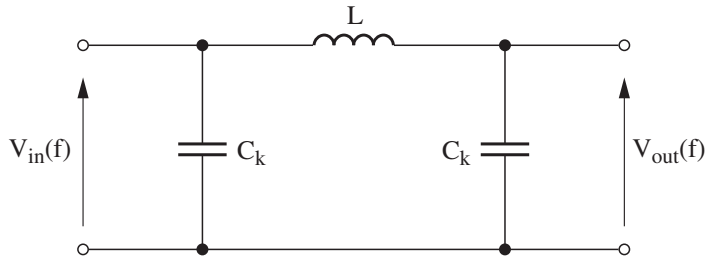


איור לשאלה 5

- א. רשום מערכת משוואות לפתרון המעגל בשיטת מתחי הצמתים.
- ב. חשב את מתחי הצמתים V_A ו- V_B ביחס לאדמה (G).
- ג. חשב את הזרם העובר בנגד R_3 וציין את כיוונו (מ- A ל- B או מ- B ל- A).
- ד. 1. האם מקור המתח E משמש כספק או כצרכן במעגל? נמק את תשובתך.
 2. האם מקור הזרם I משמש כספק או כצרכן במעגל? נמק את תשובתך.

שאלה 6

באיור לשאלה 6 נתון המעגל החשמלי של מסנן מסוג K קבוע. ההתנגדות האופיינית של המסנן היא 50Ω ותדר הפוגה (הקיטעון) שלו הוא $\frac{10^5}{\pi} \text{ Hz}$.

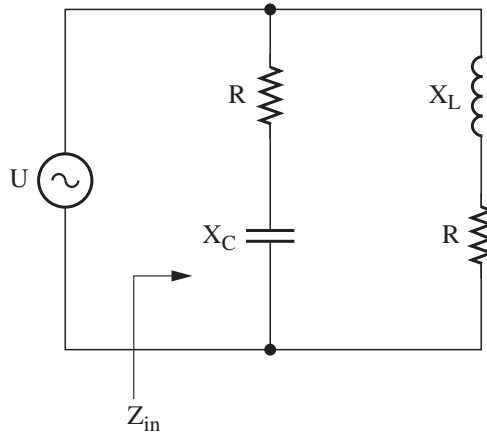


איור לשאלה 6

- א. תאר את פעולת המעגל בתדרים נמוכים ובתדרים גבוהים, וקבע בהתאם לכך את סוג המסנן (LPF או HPF).
- ב. חשב את ערכי הרכיבים במעגל (L ו- C_k).
- ג. סרטט גרף המתאר את ניחות המסנן ב- dB כפונקצייה של התדר f .
- ד. 1. רשום את ערכו של ניחות המסנן בתדר $f_1 = \frac{10^4}{\pi} \text{ Hz}$.
2. חשב את ערכו של ניחות המסנן (ב- dB וב- neper) בתדר $f_2 = \frac{10^6}{\pi} \text{ Hz}$.

שאלה 7

באיור לשאלה 7 נתון מעגל חשמלי.



איור לשאלה 7

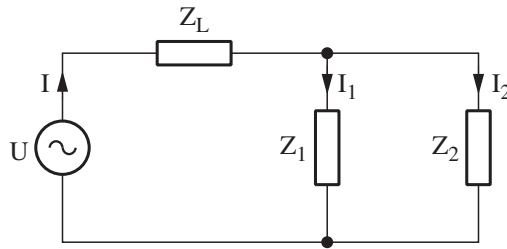
- א. רשום ביטוי המתאר את עכבת המעגל Z_{in} כפונקצייה של ההתנגדות R וההיגבים X_C ו- X_L .
- ב. נתון: $X_C = X_L = 10 \Omega$, $R = 20 \Omega$.
1. חשב את ערכה של עכבת המעגל Z_{in} .
 2. האם המעגל נמצא במצב תהודה? נמק את תשובתך.
- ג. נתון: $U(t) = 200 \cdot \sin(1000\pi \cdot t)$. חשב את השראות הסליל L ואת הקיבול של הקבל C .

שאלה 8

באיור לשאלה 8 נתון מעגל חשמלי, שבו:

$$Z_1 = (2 - j 20) \Omega \quad ; \quad Z_2 = (8 + j 5) \Omega$$

$$V_{Z_L} = 120 \angle 20^\circ \text{ V} \quad ; \quad I_2 = 12 \angle 35^\circ \text{ A}$$



איור לשאלה 8

- א. חשב את המתח על העכבה Z_2 .
- ב. חשב את מתח המקור U .
- ג. חשב את הזרם I_1 .
- ד. מהו האופי (השראותי או קיבולי) של עכבת העומס Z_L ? נמק את תשובתך.

פרק שלישי: אנגלית טכנית

ענה על שאלת אחת מבין השאלות 9-10 (לכל שאלה – 20 נקודות).

שאלה 9

- בנספח לשאלה 9 מובא קטע ממאמר בשפה האנגלית, העוסק בחיישנים. עליך לענות על הסעיפים שלהלן בעברית, רק על-פי הכתוב במאמר.**
- א.** מהו תפקידו של חיישן, וכיצד הוא בא לידי ביטוי בחיישן טמפרטורה?
- ב.** ציין שלושה קריטריונים לבחירת חיישן.
- ג.** ציין את שני הסוגים הבסיסיים של חיישני טמפרטורה, ותאר את ההבדל ביניהם.
- ד.** ציין שתי דוגמאות של חיישני טמפרטורה, ותאר את עקרון הפעולה של כל אחד מהם.

שאלה 10

בנספח לשאלה 10 מובאים דפי-מפרט בשפה האנגלית של סדרת משקפי-תנודות ספרתיים TBS1000 .

- עליך לענות על הסעיפים שלהלן בעברית, רק על-פי הכתוב בדפי-המפרט.**
- א.** נדרש למדוד אות שרוחב-הפס שלו הוא 100 MHz . אילו משקפים מהסדרה הזו מתאימים לבצע מדידה זו?
- ב.** כמה מחברי USB קיימים בכל משקף מהסדרה הזו, ומהו תפקידו של כל אחד מהם?
- ג.** מהם הרכיבים של עכבת המבוא של משקף מהסדרה הזו?
- ד.** מהו הדיוק האנכי בזרם ישר של משקף מהסדרה הזו?
- ה.** ציין שלושה סוגים של דרבון אות שבהם ניתן להשתמש במשקף מהסדרה הזו.

בהצלחה!

[www.engineersgarage.com / articles](http://www.engineersgarage.com/articles)

Sensors

Sensors are sophisticated devices that are frequently used to detect and respond to electrical or optical signals. A Sensor converts the physical parameter (for example: temperature, humidity, blood pressure, speed, etc.) into a signal which can be measured electrically.

For example – temperature: The mercury in the glass thermometer expands and contracts as a function of the measured temperature which can be read by a viewer on the calibrated glass tube.

Criteria how to choose a Sensor

There are certain features which have to be considered when we choose a sensor.

They are as given below:

1. Accuracy
2. Range – measurement limits of the sensor
3. Calibration – essential for most of the measuring devices as the reading changes with time
4. Resolution – smallest increment detected by the sensor
5. Cost
6. Repeatability – the reading is repeatedly measured under the same environment
7. Environmental conditions - usually have limits for temperature / humidity

Temperature Sensors

This device collects information about temperature from a source and converts it into a form that is understandable by other device or by a person. The best illustration of a temperature sensor is mercury in glass thermometer. The mercury in the glass expands and contracts depending on the alterations in temperature. The position of the mercury is observed by the viewer to measure the temperature.

There are two basic types of temperature sensors:

Contact Sensors – This type of sensor requires direct physical contact with the object or media that is being sensed. They supervise the temperature of solids, liquids and gases over a wide range of temperatures.

Non-contact Sensors – This type of sensor does not require any physical contact with the object or media that is being sensed. They supervise non-reflective solids and liquids but are not useful for gases due to natural transparency. To measure temperature, these sensors use Plank's Law, that deals with the heat radiated from a source and its temperature.

Types of Temperature Sensors:

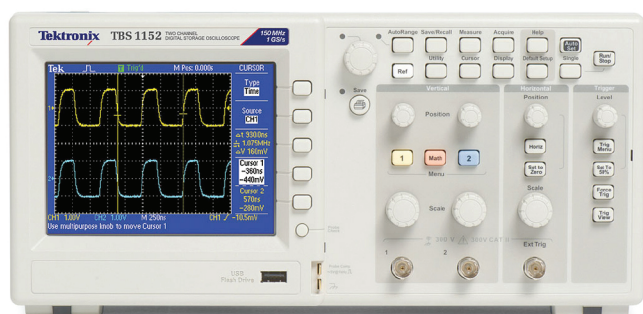
(i) **Thermocouple** – They are made of two wires (each of different homogeneous alloy or metal), which form a measuring junction by joining at one end. This measuring junction is open to the elements being measured. The other end of the wire is terminated to a measuring device where a reference junction is formed. The current flows through the circuit since the temperature of the two junctions are different. The resulted milli-voltage is measured to determine the temperature at the junction.

(ii) **Resistance Temperature Detectors (RTD)** – These are types of thermal resistors that are fabricated to alter the electrical resistance with the alteration in temperature. They are expensive than any other temperature detection devices.

(iii) **Thermistors** – They are another kind of thermal resistor where a large change in resistance is proportional to small change in temperature.

Digital Storage Oscilloscopes

TBS1000 Series Datasheet



Features & Benefits

Key Performance Specifications

- 150 MHz, 100 MHz, 60 MHz, 40 MHz and 25 MHz Bandwidth Models
- 2-channel Models
- Up to 1 GS/s Sample Rate on All Channels
- 2.5k point Record Length on All Channels
- Advanced Triggers including Pulse Width Trigger and Line-selectable Video Trigger

Ease-of-Use Features

- 16 Automated Measurements, and FFT Analysis for Simplified Waveform Analysis
- Built-in Waveform Limit Testing
- Automated, Extended Data Logging Feature
- Autoset and Signal Auto-ranging
- Built-in Context-sensitive Help
- Probe Check Wizard
- 5.7 in. (144 mm) Active TFT Color Display
- Small Footprint and Lightweight – Only 4.9 in. (124 mm) Deep and 4.4 lb. (2 kg)

Connectivity

- USB 2.0 Host Port on the Front Panel for Quick and Easy Data Storage
- USB 2.0 Device Port on Rear Panel for Easy Connection to a PC or Direct Printing to a PictBridge®-compatible Printer

Characteristics

TBS1000 Series Digital Storage Oscilloscopes

	TBS1022	TBS1042	TBS1062	TBS1102	TBS1152
Display (QVGA LCD)			TFT		
Bandwidth*1	25 MHz	40 MHz	60 MHz	100 MHz	150 MHz
Channels			2		
External Trigger Input			Included on all models		
Sample Rate on Each Channel	500 MS/s	500 MS/s	1.0 GS/s	1.0 GS/s	1.0 GS/s
Record Length			2.5k points at all time bases on all models		
Vertical Resolution			8 bits		
Vertical Sensitivity			2 mV to 5 V/div on all models with calibrated fine adjustment		
DC Vertical Accuracy			±3% on all models		
Vertical Zoom			Vertically expand or compress a live or stopped waveform		
Maximum Input Voltage			300 V _{RMS} CAT II; derated at 20 dB/decade above 100 kHz to 13 V _{pp} AC at 3 MHz		
Position Range			2 mV to 200 mV/div ±1.8 V >200 mV to 5 V/div ±45 V		
Bandwidth Limit			20 MHz for all models		
Input Coupling			AC, DC, GND on all models		
Input Impedance			1 MΩ in parallel with 20 pF		
Time Base Range			5 ns to 50 s/div		
Time Base Accuracy			50 ppm		
Horizontal Zoom			Horizontally expand or compress a live or stopped waveform		

Acquisition Modes

Mode	Description
Peak Detect	High-frequency and random glitch capture. Captures glitches as narrow as 12 ns (typical) at all time base settings from 5 μ s/div to 50 s/div
Sample	Sample data only
Average	Waveform averaged, selectable: 4, 16, 64, 128
Single Sequence	Use the Single Sequence button to capture a single triggered acquisition sequence
Roll	At acquisition time base settings of >100 ms/div

Trigger System

Characteristic	Description
Trigger Modes	Auto, Normal, Single Sequence

Trigger Types

Trigger	Description
Edge (Rising/Falling)	Conventional level-driven trigger. Positive or negative slope on any channel. Coupling selections: AC, DC, Noise Reject, HF Reject, LF Reject
Video	Trigger on all lines or individual lines, odd/even or all fields from composite video, or broadcast standards (NTSC, PAL, SECAM)
Pulse Width (or glitch)	Trigger on a pulse width less than, greater than, equal to, or not equal to, a selectable time limit ranging from 33 ns to 10 s

Trigger Source

Characteristic	Description
2-channel Models	CH1, CH2, Ext, Ext/5, AC Line

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

מקום למחברות נבחן

נוסחאון באלקטרוניקה תקבילית א' לכיתה י"ג (8 עמודים)

דיודת צומת

משוואת זרם-מתח של דיודה מעשית:

- זרם הדיודה - I_D [A]
 זרם זליגה אחורי - I_S [A]
 מתח הדיודה - V_D [V]
 מתח התלוי בטמפרטורה - V_T [V]

$$I_D = I_S \left(e^{\frac{V_D}{\eta V_T}} - 1 \right)$$

$$\eta = \begin{cases} 1 - \text{גרמניום} \\ 2 - \text{סיליקון} \end{cases}$$

$$V_D = \eta V_T \ln \left(\frac{I_D}{I_S} + 1 \right)$$

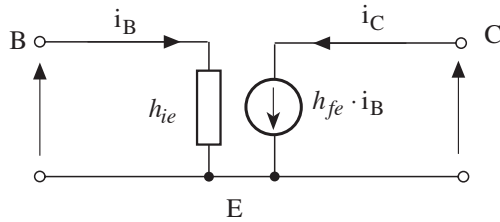
טרנזיסטור דו-נושאי (בתחום הפעיל)

- זרם קולט - I_C [A]
 זרם פולט - I_E [A]
 זרם בסיס - I_B [A]

$$I_C = \beta I_B, I_E = (\beta + 1) I_B, I_E = I_C + I_B$$

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} = \frac{\beta}{\beta + 1}, \quad \beta = \beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

תרשים תמורה מקורב מסוג h של טרנזיסטור דו-נושאי



טרנזיסטור FET (איזור הרוויה)

זרם האפיק - I_D [A]

זרם האפיק עבור $V_{GS} = 0$ - I_{DSS} [A]

המתח בין השער למקור - V_{GS} [V]

מתח צביטה - V_p [V]

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

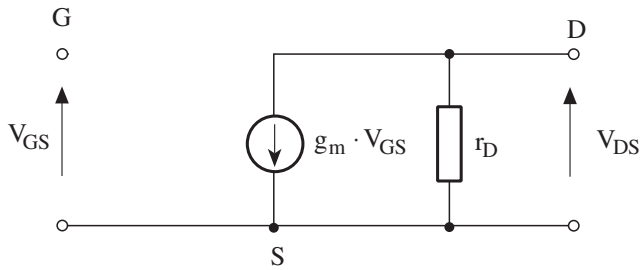
מוליכות הדדית עבור $V_{GS} = 0$ - $g_{m0} \left[\frac{1}{\Omega} \right]$

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

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

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

תרשים תמורה מקורב של FET



טרנזיסטור MOSFET (איזור הרוויה)

עבור טרנזיסטור מסוג N – CHANNEL :

מתח צביטה $- V_T$ [V]

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

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

תנאי הרוויה:

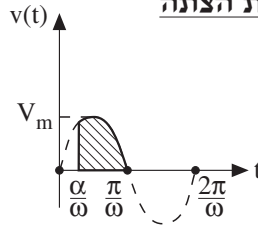
$$V_{GS} > V_T$$

$$V_{DS} > V_{GS} - V_T$$

הערה: מעגל התמורה לאות חילופין של טרנזיסטור MOSFET זהה לזה של טרנזיסטור JFET .

מתחים וזרמים בגל סינוס עם זווית הצתה

א. בקרת חצי גל בעומס אומי



α [rad] - זווית הצתה

$$0 \leq \alpha \leq \pi$$

$$v(t) = V_m \cdot \sin \omega t$$

$$V_{AV} = \frac{V_m}{2\pi} [1 + \cos \alpha]$$

$$V_L = V_{RMS} = \frac{V_m}{2} \sqrt{\frac{1}{\pi} \left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right)}$$

ω $\left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$ - מהירות זוויתית
(תדר זוויתי)

$$P = \frac{V_{RMS}^2}{R}$$

t [sec] - זמן

R $[\Omega]$ - התנגדות העומס

$$I_{AV} = \frac{V_{AV}}{R}$$

P [W] - הספק על העומס

I_{AV} [A] - הערך הממוצע של הזרם

$$I_{RMS} = \frac{V_{RMS}}{R}$$

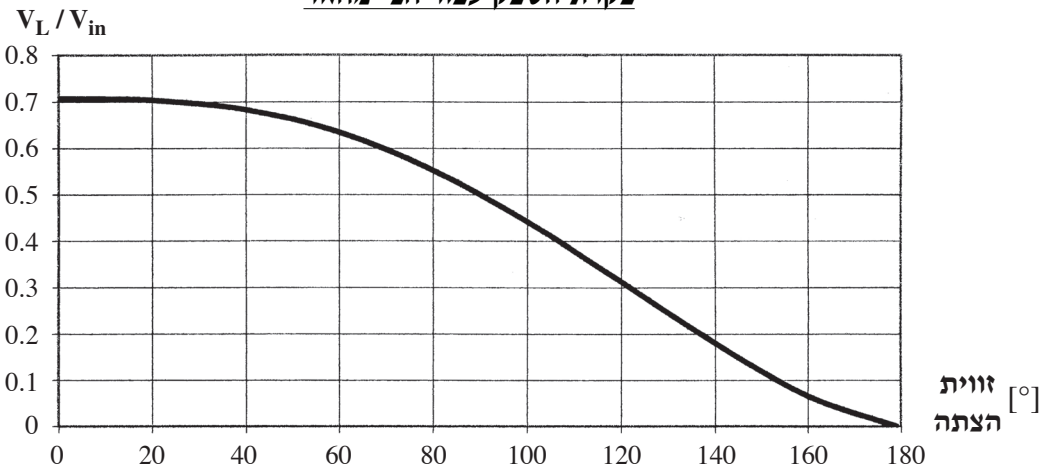
I_{RMS} [A] - הערך היעיל של הזרם

V_L [V] - הערך היעיל של המתח על העומס

$$V_{in} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

V_{in} [V] - הערך היעיל של מתח הכניסה

בקרת הספק עבור חצי מחזור



זווית הצתה $[\circ]$

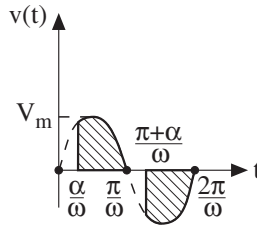
ב. בקרת גל שלם בעומס אומי

$$0 \leq \alpha \leq \pi$$

$$v(t) = V_m \cdot \sin \omega t$$

$$V_{AV} = 0$$

α [rad] - זווית הצתה



$$V_L = V_{RMS} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{1}{\pi} \left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right)}$$

$$P = \frac{V_{RMS}^2}{R}$$

$$I_{AV} = 0$$

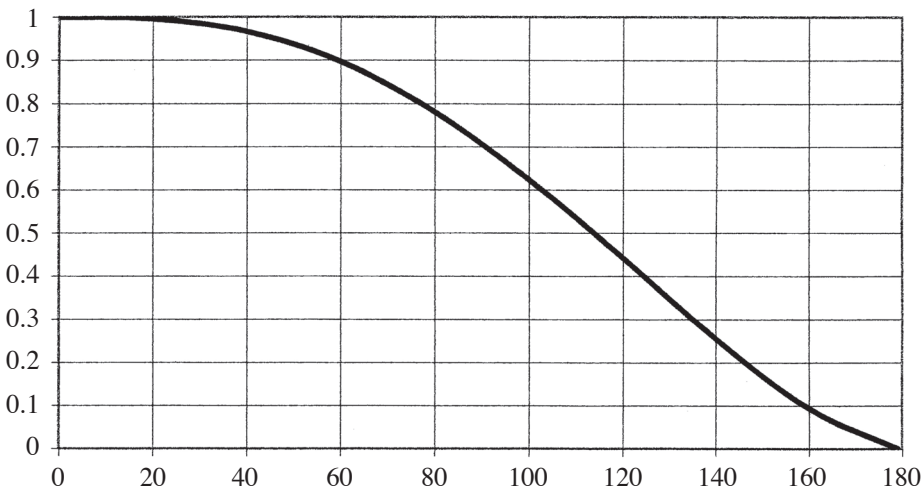
$$I_{RMS} = \frac{V_{RMS}}{R}$$

$$V_{in} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

- $v(t)$ [V] - מתח הגל בתלות בזמן
- V_{AV} [V] - הערך הממוצע של המתח
- V_{RMS} [V] - הערך היעיל של המתח
- V_m [V] - הערך המרבי של המתח
- ω $\left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$ - מהירות זוויתית (תדר זוויתי)
- t [sec] - זמן
- R [Ω] - התנגדות העומס
- P [W] - הספק על העומס
- I_{AV} [A] - הערך הממוצע של הזרם
- I_{RMS} [A] - הערך היעיל של הזרם
- V_L [V] - הערך היעיל של המתח על העומס
- V_{in} [V] - הערך היעיל של מתח הכניסה

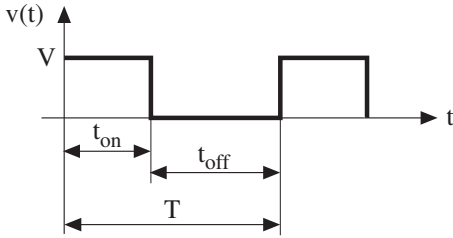
בקרת הספק עבור מחזור שלם

V_L / V_{in}



זווית
הצתה $[\circ]$

מתחים וזרמים בגל מלבני



- D – מחזור פעולה (Duty Cycle)
- t_{on} [sec] – זמן הולכה
- t_{off} [sec] – זמן פוגה
- T [sec] – זמן המחזור

$$D = \frac{t_{on}}{T}$$

$$V_{AV} = D \cdot V$$

$$V_{RMS} = \sqrt{D} \cdot V$$

$$I_{AV} = \frac{V_{AV}}{R}$$

$$I_{RMS} = \frac{V_{RMS}}{R}$$

מיישרים

א. יישור חד-מופעי – חצי גל בעומס אומי

- V_{AV} [V] – הערך הממוצע של המתח
- V_m [V] – הערך המרבי של המתח
- V_{RMS} [V] – הערך היעיל של המתח
- I_{AV} [A] – הערך הממוצע של הזרם
- I_{RMS} [A] – הערך היעיל של הזרם
- R [Ω] – התנגדות העומס
- P [W] – הספק על העומס

$$V_{AV} = \frac{V_m}{\pi}$$

$$V_{RMS} = \frac{V_m}{2}$$

$$I_{AV} = \frac{V_{AV}}{R}$$

$$I_{RMS} = \frac{V_{RMS}}{R}$$

$$P = \frac{V_{RMS}^2}{R}$$

ב. יישור חד-מופעי – גל שלם בעומס אומי

V_{AV} [V]	-	הערך הממוצע של המתח	$V_{AV} = \frac{2V_m}{\pi}$
V_m [V]	-	הערך המרבי של המתח	$V_{RMS} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$
V_{RMS} [V]	-	הערך היעיל של המתח	$I_{AV} = \frac{V_{AV}}{R}$
I_{AV} [A]	-	הערך הממוצע של הזרם	$I_{RMS} = \frac{V_{RMS}}{R}$
I_{RMS} [A]	-	הערך היעיל של הזרם	$P = \frac{V_{RMS}^2}{R}$
R [Ω]	-	התנגדות העומס	
P [W]	-	הספק על העומס	

מתח אדווה במיישר חצי גל

ΔV [V]	-	מתח גליות (אדווה)	$\Delta V \approx \frac{V_{o_{max}}}{R \cdot C \cdot f}$
$V_{o_{max}}$ [V]	-	מתח מרבי במוצא	
f [Hz]	-	תדר מתח הכניסה	

מתח אדווה במיישר גל שלם

R [Ω]	-	התנגדות העומס	$\Delta V \approx \frac{V_{o_{max}}}{2 \cdot R \cdot C \cdot f}$
C [F]	-	קיבול קבל הסינון	

מגברי הפרש

מתח מבוא V_1 [V] -

$$V_o = A_1 \cdot V_1 + A_2 \cdot V_2$$

מתח מבוא V_2 [V] -

$$A_1 = \frac{V_o}{V_1} \Big|_{V_2 = 0}$$

$$A_2 = \frac{V_o}{V_2} \Big|_{V_1 = 0}$$

הגבר הפרשי A_d -

$$A_d = \frac{A_1 - A_2}{2}$$

הגבר האות המשותף A_c -

$$A_c = A_1 + A_2$$

יחס דחיית האות המשותף CMRR -

$$CMRR = \left| \frac{A_d}{A_c} \right|$$

הפרש מתחי המבוא V_d [V] -

$$V_o = A_d \cdot V_d + A_c \cdot V_c$$

ממוצע הסכום של V_c [V] -

$$V_d = V_1 - V_2$$

מתחי המבוא

$$V_c = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

$$A_d = \frac{V_o}{V_d} \Big|_{V_c = 0} = \frac{V_o}{2V_i}$$

$$A_c = \frac{V_o}{V_c} \Big|_{V_d = 0} = \frac{V_o}{V_i}$$

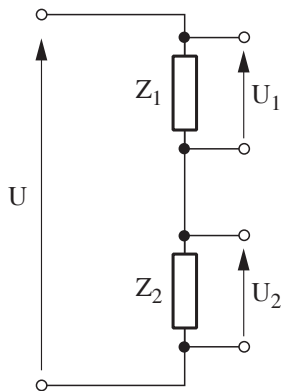
בהצלחה!

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

מקום למציאת נבחן

נוסחאון במבוא להנדסת חשמל לכיתה י"ג

(15 עמודים)

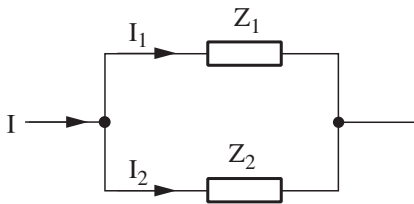


מחלק מתח

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

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

מחלק זרם



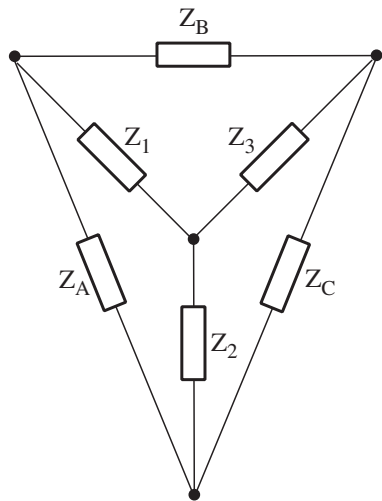
$$I_1 = \frac{I \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

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

ההמרה של כוכב במשולש

ההמרה של משולש בכוכב

Y→Δ	Δ→Y
$Z_A = \frac{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_3 + Z_2 Z_3}{Z_3}$	$Z_1 = \frac{Z_A Z_B}{Z_A + Z_B + Z_C}$
$Z_B = \frac{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_3 + Z_2 Z_3}{Z_2}$	$Z_2 = \frac{Z_A Z_C}{Z_A + Z_B + Z_C}$
$Z_C = \frac{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_3 + Z_2 Z_3}{Z_1}$	$Z_3 = \frac{Z_B Z_C}{Z_A + Z_B + Z_C}$



זרם חילופין סינוסואידלי

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

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

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

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

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

$$\omega = 2\pi f$$

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

$$X_L = \omega L$$

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

$$X_M = \omega M = k \sqrt{|X_{L1}| \cdot |X_{L2}|}$$

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]

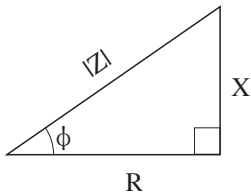
השראות עצמית של סליל 2 - L_2 [H]

היגב ההשראות ההדדית - X_M [Ω]

התנגדות המעגל	-	R	[Ω]
היגב המעגל	-	X	[Ω]
עכבת המעגל	-	Z	[Ω]

$$Z = R \pm jX$$

משולש העכבות



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

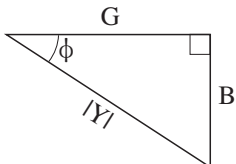
$$\sin \phi = \frac{X}{|Z|} ; \cos \phi = \frac{R}{|Z|} ; \operatorname{tg} \phi = \frac{X}{R}$$

מוליכות המעגל	-	G	[S]
מניחות המעגל	-	B	[S]
מתירות המעגל	-	Y	[S]

$$Y = G \pm jB$$

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

משולש המתירויות



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

$$\sin \phi = \frac{B}{|Y|} ; \cos \phi = \frac{G}{|Y|} ; \operatorname{tg} \phi = \frac{B}{G}$$

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	[VA]
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]

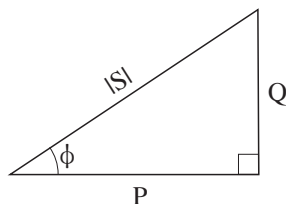
$$P = |I_R| \cdot |U_R| = |I_R|^2 \cdot R = \frac{|U_R|^2}{R}$$

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

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

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

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

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

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

Z מקדמי

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

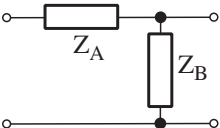
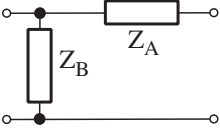
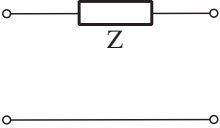
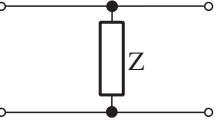
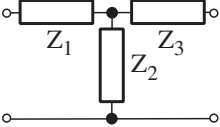
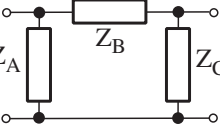
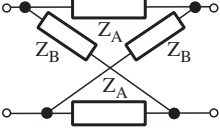
$$\begin{aligned} V_1 &= Z_{11} \cdot I_1 + Z_{12} \cdot I_2 \\ V_2 &= Z_{21} \cdot I_1 + Z_{22} \cdot I_2 \end{aligned}$$

Y מקדמי

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

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

מקדמי 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 I_1 וזרם המוצא I_2 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	$\frac{Z_{11}}{Z_{21}}$	$\frac{ Z }{Z_{21}}$	$\frac{-Y_{22}}{Y_{21}}$	$\frac{-1}{Y_{21}}$	A	B
B						
C	$\frac{1}{Z_{21}}$	$\frac{Z_{22}}{Z_{21}}$	$\frac{- Y }{Y_{21}}$	$\frac{-Y_{11}}{Y_{21}}$	C	D
D						

הערות

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

רשתות זוגיים

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

עכבה אופיינית $- Z_O \quad [\Omega]$

עכבת המבוא כאשר המוצא בקצר $- Z_{SC} \quad [\Omega]$

עכבת המבוא כאשר המוצא בנתק $- Z_{OC} \quad [\Omega]$

מקדם זוגיים $- B$

מקדם זוגיים $- C$

(עבור רשת סימטרית בלבד)

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

מהצד האחד { עכבת הברואה $- Z_{O1} \quad [\Omega]$
עכבת המבוא כאשר המוצא בקצר $- Z_{SC1} \quad [\Omega]$
עכבת המבוא כאשר המוצא בנתק $- Z_{OC1} \quad [\Omega]$

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

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

מהצד האחר { עכבת הברואה $- Z_{O2} \quad [\Omega]$
עכבת המבוא כאשר המוצא בקצר $- Z_{SC2} \quad [\Omega]$
עכבת המבוא כאשר המוצא בנתק $- Z_{OC2} \quad [\Omega]$

קבוע ההתפשטות $- \gamma$

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

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

בין הזרמים I_1 ו- I_2

ניחות $- N$

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

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

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

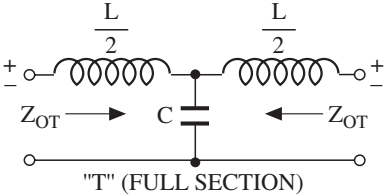
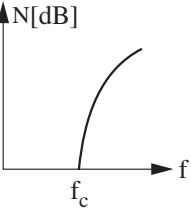
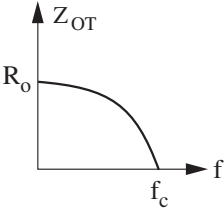
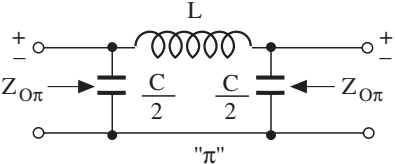
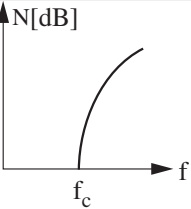
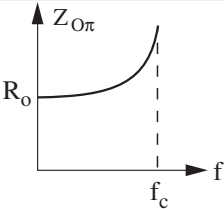
$$1 \text{ neper} = 8.69 \text{ dB}$$

מסננים מסוג K קבוע

התנגדות אופיינית R_o [Ω] -

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

מסנן LPF מסוג K קבוע

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

תדר פוגה f_c [Hz] -

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

כאשר $\omega > \omega_c$:

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

כאשר $\omega < \omega_c$:

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

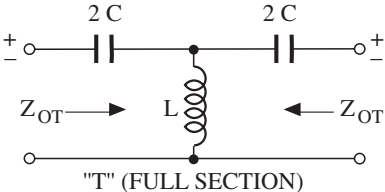
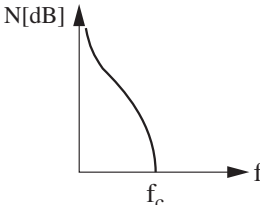
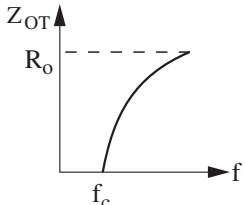
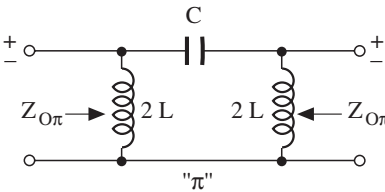
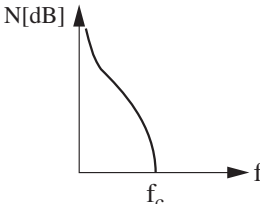
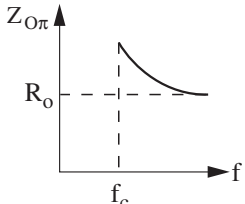
עכבה אופיינית של רשת T - $Z_{OT} [\Omega]$
סימטרית מעבירה נמוכים

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

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

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

מסנן HPF מסוג K קבוע

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

תדר פוגה f_c [Hz] -

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

כאשר $\omega < \omega_c$:

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

כאשר $\omega > \omega_c$:

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

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

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

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

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

בהצלחה!

נספח: מילון מונחים

לשאלון 711001, אביב תשע"ח

תרגום המונח			המונח
אנגלית	רוסית	ערבית	
inductive	Индуктивное	تَحْرِيطِيّ / مُحَاثِيّ	השראותי
characteristic resistance	Характерное сопротивление	المقاومة المميّزة	התנגדות אופיינית
operational amplifier	Оперативный усилитель	مُضَخَّم تشغيليّ	מגבר שרת
filter	Фильтр	مصفاة	מסנן
current source	Источник тока	مصدر تيار	מקור זרם
power source	Источник напряжения	مصدر طاقة	מקור מתח
capacitive	Емкостное	ذو سعة (كهربائية)	קיבולי
node voltage method	Метод узловых потенциалов	طريقة فولطيات العقد	שיטת מתחי הצמתים
resonance	резонанс	رنين	תהודה