

סוג הבחינה: גמר לבתי-ספר לטכנאים ולהנדסאים

מועד הבחינה: אביב תשע"ו, 2016

סמל השאלון: 711001

נספחים: א. נספח לשאלה 9

ב. נספח לשאלה 10

ג. נוסחאון באלקטרוניקה

תקבילית א' לכיתה י"ג

ד. 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 ההערכה: 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 של תשובותיך.

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

7. בכתיבת פתרונות חישוביים, 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, יחד עם יחידות המידה המתאימות.

* ליווי הפתרון החישובי בהסבר קצר.

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

בשאלון זה 9 עמודים ו-26 עמודי נספחים.

ההנחיות בשאלון זה מנוסחות בלשון זכר, אך מכוונות הן לנבחנות והן לנבחנים.

השאלות

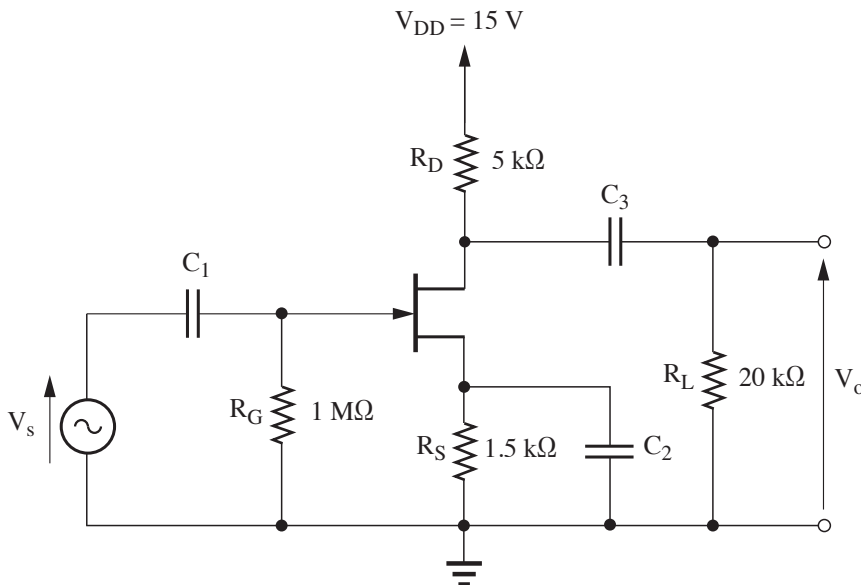
ענה על חמש מבין השאלות 1-10. עליך לענות על שאלה אחת לפחות מן הפרק הראשון, על שאלה אחת לפחות מן הפרק השני, ועל שאלה אחת מן הפרק השלישי.

פרק ראשון: אלקטרוניקה תקבילית א'

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

שאלה 1

באיור לשאלה 1 נתון המעגל החשמלי של דרגת הגברה טרנזיסטורית. היגבי הקבלים במעגל - זניחים. נתוני הטרנזיסטור תוצאה-השדה (JFET) הם: $r_d \rightarrow \infty$; $I_{DSS} = 10 \text{ mA}$; $V_p = -5 \text{ V}$.



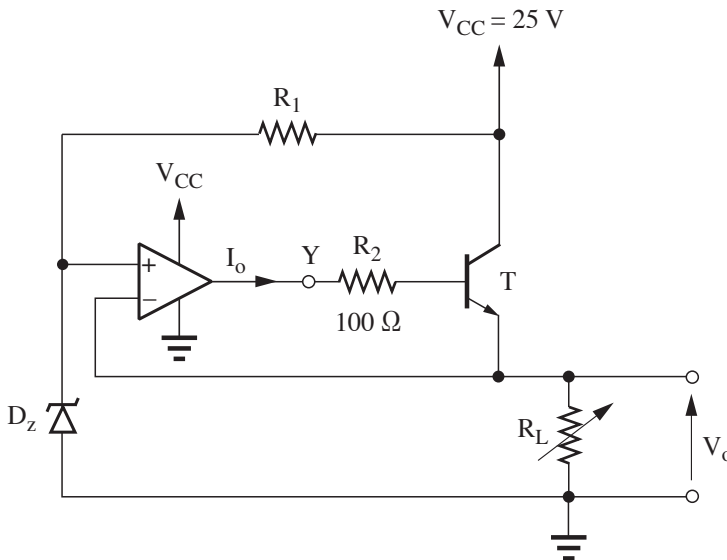
איור לשאלה 1

- א. חשב את נקודת העבודה של הטרנזיסטור. (I_D , V_{DS} , V_{GS})
- ב. סרטט את מעגל התמורה לאות חילופין (AC) של המעגל הזה.
- ג. חשב את הגבר המעגל, $A_V = \frac{V_o}{V_s}$. רשום את ערכו גם ביחידות dB.

שאלה 2

באיור לשאלה 2 נתון המעגל החשמלי של מייצב מתח. במוצא המייצב מחובר נגד עומס משתנה, R_L . זרם המוצא המרבי של מגבר השרת שבמעגל הוא $I_{O_{max}} = 25 \text{ mA}$.
 להלן הנתונים של רכיבי המעגל:

נתוני דיודת הזנר D_z – $V_z = 10 \text{ V}$; $I_{z_{min}} = 12 \text{ mA}$; $P_{z_{max}} = 2 \text{ W}$
 נתוני הטרנזיסטור T – $\beta = 50$; $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$

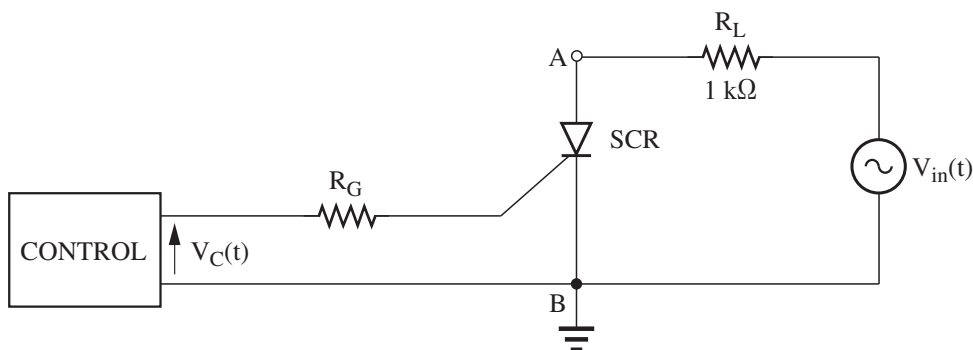


איור לשאלה 2

- א. מה ערכו של מתח המוצא V_o ? נמק את תשובתך.
- ב. חשב את ערכו המרבי של הזרם העובר בנגד העומס, $I_{L_{max}}$.
- ג. 1. מה תפקידו במעגל של הנגד R_1 ?
 2. חשב את תחום הערכים האפשרי של הנגד R_1 ($R_{1_{min}} \div R_{1_{max}}$).
- ד. נתון שהזרם העובר בנגד העומס הוא $I_L = 150 \text{ mA}$. חשב את ההתנגדות R_L ואת המתח בנקודה Y במעגל.

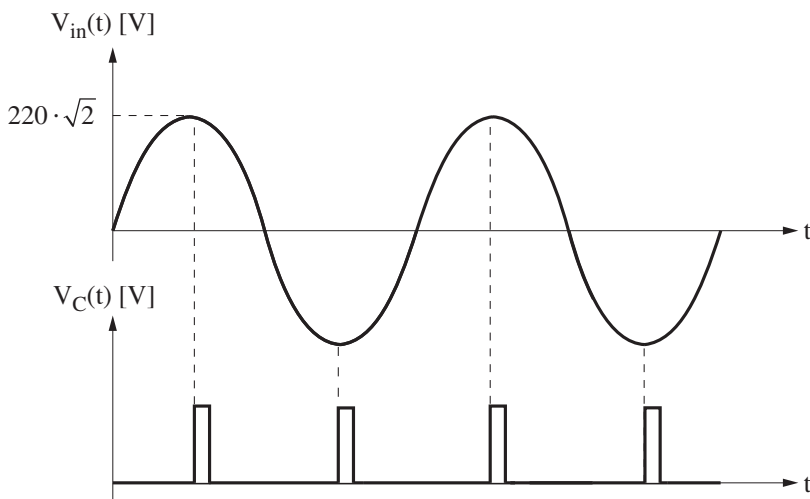
שאלה 3

המעגל החשמלי שבאיור א' לשאלה 3 משמש לבקרת ההספק על נגד-העומס R_L .
 הבקרה מבוצעת באמצעות SCR. מתח ההולכה של ה-SCR הוא $V_f = 1\text{ V}$, וזווית-ההצתה שלו
 היא $\alpha = 90^\circ$.



איור א' לשאלה 3

באיור ב' לשאלה מתוארות צורות הגלים של המתחים $V_{in}(t)$ ו- $V_C(t)$, כפונקציה של הזמן.
הערה: המתח $V_{in}(t)$ קטן ממתח הפריצה הקדמי של ה-SCR, ואות הדירבוני $V_C(t)$ מצית את
 ה-SCR.

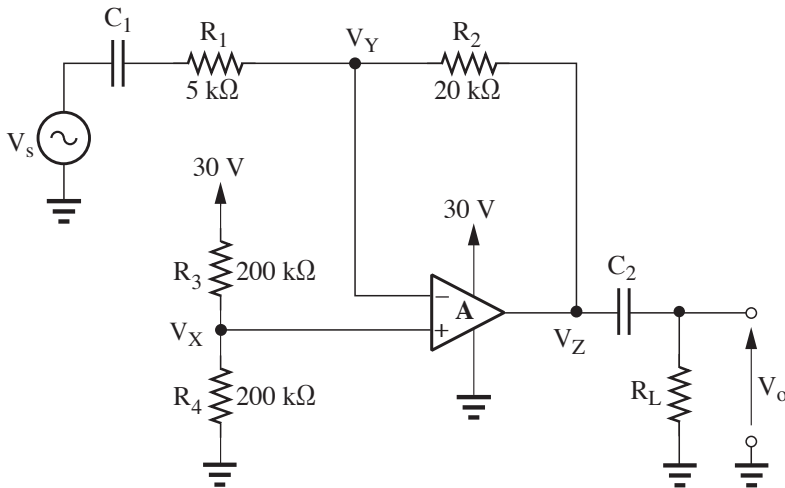


איור ב' לשאלה 3

- א. העתק למחברתך את צורות הגלים באיור ב', וסרטט מתחתיהן, בהתאמה, את V_{AB} (המתח בין הנקודות A ו-B במעגל) ואת V_{R_L} (המתח על הנגד R_L), כפונקציה של הזמן.
- ב. חשב (באמצעות נוסחה מתאימה או בעזרת הגרף המתאים בנוסחאון) את ההספק היעיל המועבר לעומס R_L עבור ערכי α שלהלן:
1. $\alpha = 20^\circ$
 2. $\alpha = 90^\circ$ (כמו בנתוני-המעגל)
- ג. בהסתמך על חישוביך בסעיף ב', רשום כיצד משפיעה זווית-ההצתה של ה-SCR על ההספק המועבר לעומס R_L .

שאלה 4

באיור לשאלה 4 נתון מעגל חשמלי המבוסס על מגבר מהפך אידיאלי. היגבי הקבלים במעגל - זניחים.



איור לשאלה 4

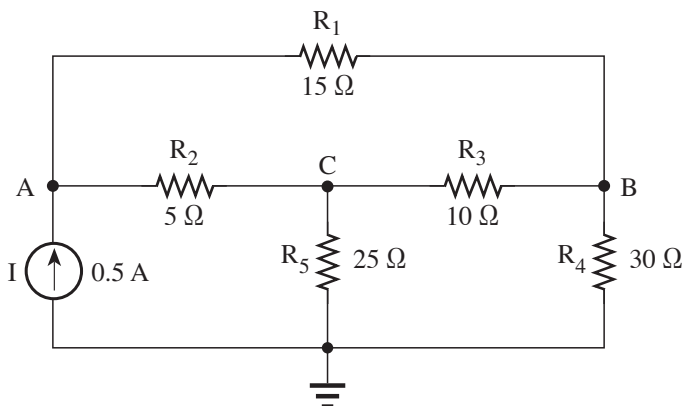
- א. חשב את ערכי המתחים V_Z , V_Y , V_X ו- V_o כאשר V_s מנותק.
- ב. חשב את הגבר המעגל, $A_V = \frac{V_o}{V_s}$.
- ג. מספקים למבוא המעגל מתח חילופין $V_s(t) = 2 \cdot \sin(\omega t)$. סרטט, זה מתחת לזה בהתאמה, את צורות הגל של המתחים $V_s(t)$, $V_Z(t)$ ו- $V_o(t)$. ציין בסרטוטך את ערכי המתחים.

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.

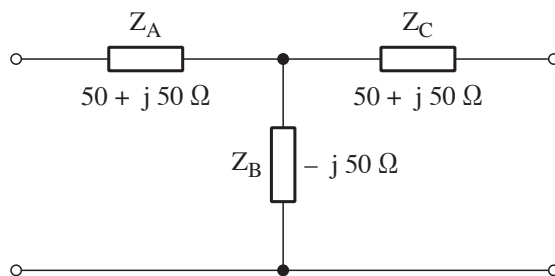


איור לשאלה 5

- א. חשב את הזרם העובר בנגד R_3 בשיטת תבנין.
- ב. חשב את המתח בכל אחת מהנקודות A, B ו-C במעגל.

שאלה 6

באיור לשאלה 6 נתונה רשת זוגיים בצורת T.

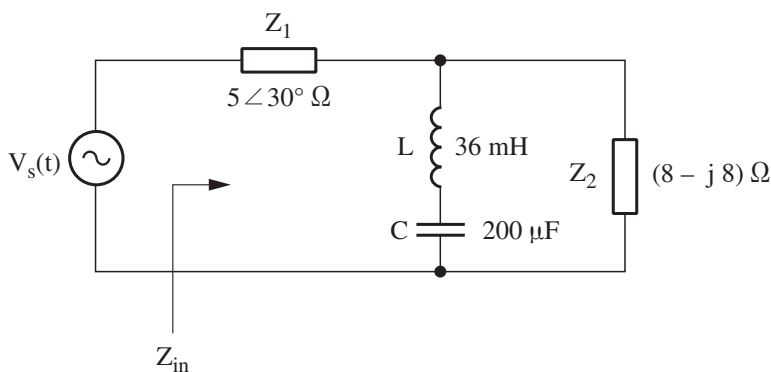


איור לשאלה 6

- א. חשב את מקדמי ABCD של הרשת הזו.
- ב. חשב את העכבה האופיינית של הרשת.
- ג. מחברים שתי רשתות כאלה בקסקדה (בשרשרת). חשב את מקדמי ABCD של הרשת הכוללת.

שאלה 7

באיור לשאלה 7 מתואר מעגל חשמלי, שבו מתח-המקור הוא $V_s(t) = 100 \cdot \sin(500 t)$.

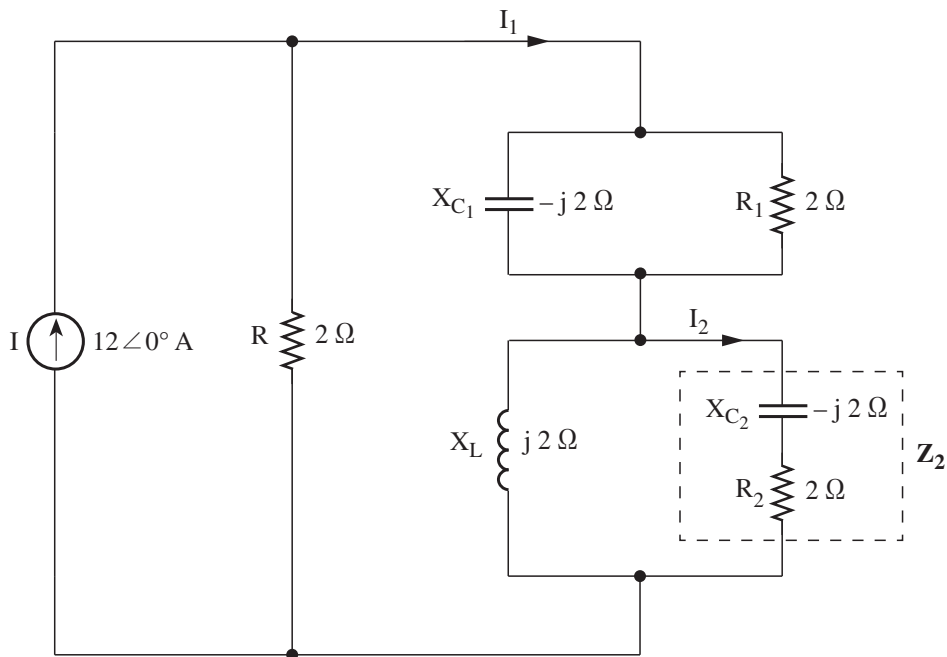


איור לשאלה 7

- א. חשב את העכבה השקולה Z_{in} .
 - ב. חשב את המתח על העכבה Z_1 ואת המתח על העכבה Z_2 .
 - ג. חשב את ההספק הממשי הנצרך ממקור-המתח V_s .
- הערה: רשום את כל תוצאות חישוביך בסעיפים א' ו-ב' בצורה קרטזית ובצורה פולארית.

שאלה 8

באיור לשאלה 8 מתואר מעגל חשמלי.



איור לשאלה 8

- א. המר את מקור-הזרם והנגד R למקור-מתח אקוויולנטי (שווה-ערך).
- ב. חשב את הזרמים I_1 ו- I_2 .
- ג. 1. חשב את ההספק הממשי, את ההספק העיוור ואת ההספק המדומה של העכבה Z_2 .
 2. סרטט את משולש ההספקים של העכבה Z_2 .

פרק שלישי: אנגלית טכנית

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

שאלה 9

בנספח לשאלה 9 מובא דף-מפרט בשפה האנגלית של הרכיב TPIC6B595.
עליך לענות על הסעיפים שלהלן בעברית, רק על-פי הכתוב בדף-המפרט.

- א. ציין שלושה מאפיינים של הרכיב.
- ב. מהו הרכיב הזה, ובאילו מערכות הוא מיועד לפעול?
- ג. מהי ההגנה המובנית במוצאי הרכיב, ולמה היא מיועדת?
- ד. מהו התפקיד של ההדק SRCK ברכיב, ומהו התפקיד של ההדק RCK?
- ה. מהו סוג הטרנזיסטור במוצאי הרכיב, ומהם מאפייני המתח והזרם שלו?

שאלה 10

בנספח לשאלה 10 מובא קטע ממאמר בשפה האנגלית, העוסק במכשיר AFG1022.
עליך לענות על הסעיפים שלהלן בעברית, רק על-פי הכתוב במאמר.

- א. מהו ייעודו של המכשיר AFG1022, והיכן משתמשים בו?
- ב. מהו המרכיב בלמידה שמשפר משמעותית את תוצאות ההוראה, לדעת יצרנית המכשיר?
- ג. ציין שלושה מאפיינים עיקריים של המכשיר.
- ד. אילו מדידות מאפשר המונה הפנימי במכשיר להציג?

בהצלחה!



TPIC6B595 Power Logic 8-Bit Shift Register

1 Features

- Low $r_{DS(on)}$, 5 Ω (Typical)
- Eight Power DMOS Transistor Outputs of 150 mA Continuous Current
- Output Clamp Voltage, 50 V
- Devices are Cascadable
- Low-Power Consumption

2 Applications

- Instrumentation Clusters
- Tell-Tale Lamps
- LED Illumination and Controls
- Automotive Relay or Solenoids Drivers

3 Description

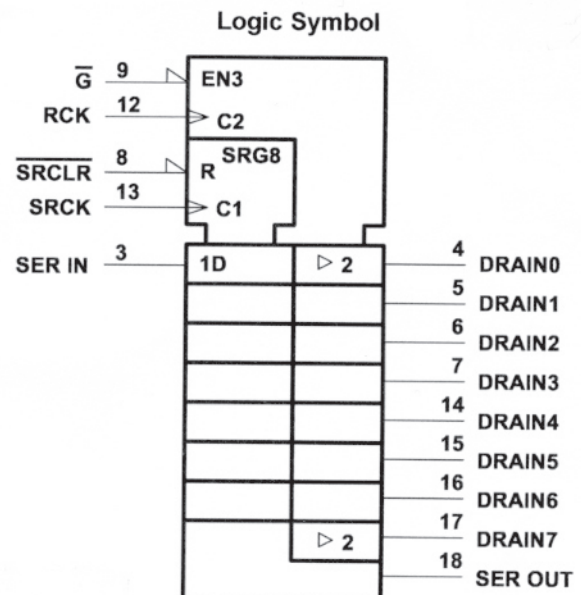
The TPIC6B595 device is a monolithic, high-voltage, medium-current power 8-bit shift register designed for use in systems that require relatively high load power. The device contains a built-in voltage clamp on the outputs for inductive transient protection. Power driver applications include relays, solenoids, and other medium current or high-voltage loads.

This device contains an 8-bit serial-in, parallel-out shift register that feeds an 8-bit D-type storage register. Data transfers through the shift and storage registers on the rising edge of the shift-register clock (SRCK) and the register clock (RCK), respectively.

The storage register transfers data to the output buffer when shift-register clear (\overline{SRCLR}) is high. When \overline{SRCLR} is low, the input shift register is cleared. When output enable (\overline{G}) is held high, all data in the output buffers is held low and all drain outputs are off. When \overline{G} is held low, data from the storage register is transparent to the output buffers. When data in the output buffers is low, the DMOS-transistor outputs are off. When data is high, the DMOS transistor outputs have sink-current capability. The serial output (SER OUT) allows for cascading of the data from the shift register to additional devices.

Outputs are low-side, open-drain DMOS transistors with output ratings of 50 V and 150-mA continuous sink-current capability. Each output provides a 500-mA typical current limit at $T_C = 25^\circ\text{C}$. The current limit decreases as the junction temperature increases for additional device protection.

The TPIC6B595 is characterized for operation over the operating case temperature range of -40°C to 125°C .



מקום למחקר ולימוד

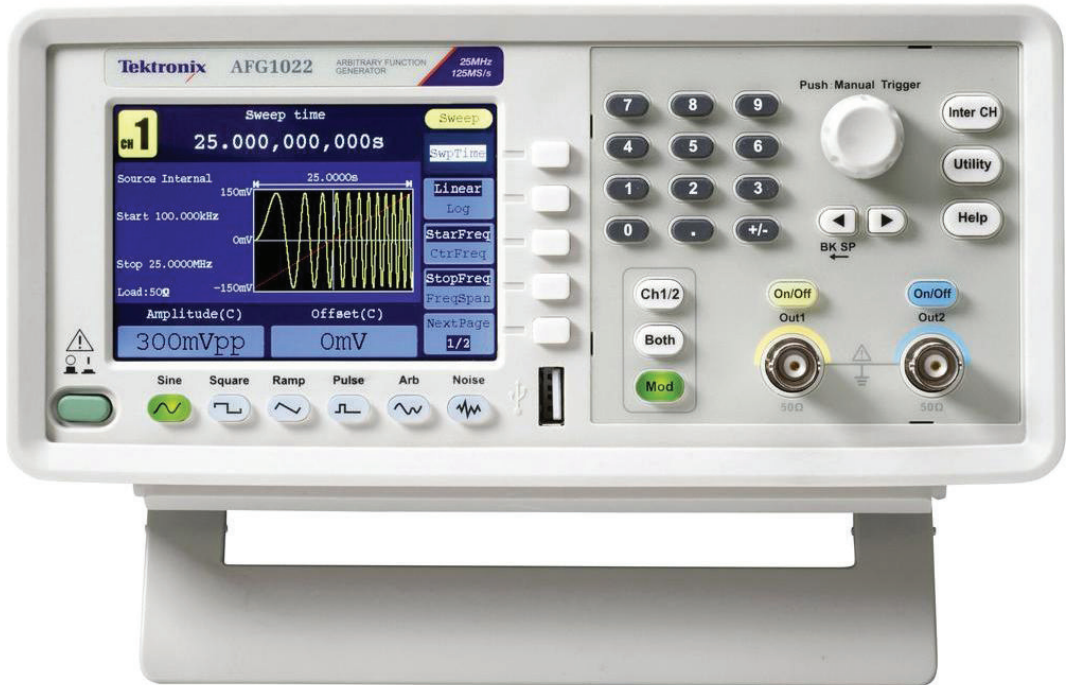
נספח לשאלה 10

לשאלון 711001, אביב תשע"ו

www.tektronix.com

Tektronix

AFG1022 – Basic Function Generator



Tektronix has introduced a new basic Arbitrary/Function Generator. The AFG1022 is targeted at educational institutions and supports a wide range of use cases and course subjects.

Michael Ewald, General Manager, Bench Products, Tektronix stated that “Tektronix strongly believes that a rich hands-on experience dramatically improves education outcomes. That’s why we are working hard to meet the needs of colleges and universities including good price-performance on instrumentation, integrated courseware and ease of administration.”

Key performance specifications include dual-channel, 25 MHz bandwidth with 1 mV_{pp} to 10 V_{pp} output, 14-bit vertical resolution and 1 μHz frequency resolution. It provides a 125 million samples/sec sample rate along with 64 MB of built-in memory and USB memory expansion for user-defined waveforms.

On the functionality side, the instrument offers 50 built-in standard functions and arbitrary waveforms with continuous, modulation, sweep and burst modes to cover almost all the test requirements found in basic education labs.

A built-in 200 MHz counter with 6-digit resolution offers an easy and precise way of performing frequency, period, pulse width, and duty cycle measurements.

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

מקום למציאת 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]

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

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

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

טרנזיסטור דו-נושאי (בתחום הפעיל)

זרם קולט - I_C [A]

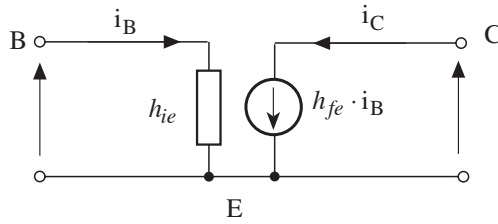
זרם פולט - I_E [A]

זרם בסיס - I_B [A]

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

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

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]

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

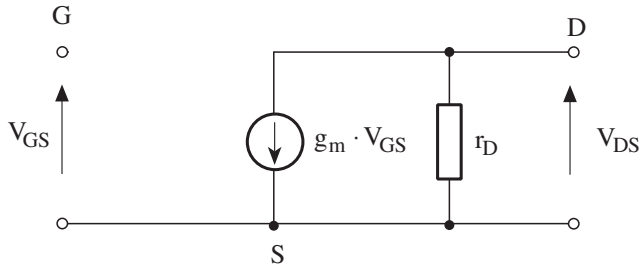
- מוליכות החדית - $g_m \left[\frac{1}{\Omega} \right]$

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

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

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

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:

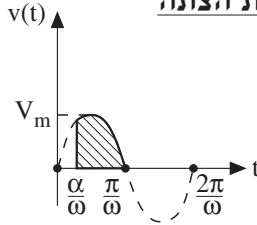
$$V_{GS} > V_T$$

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

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

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

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

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

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

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

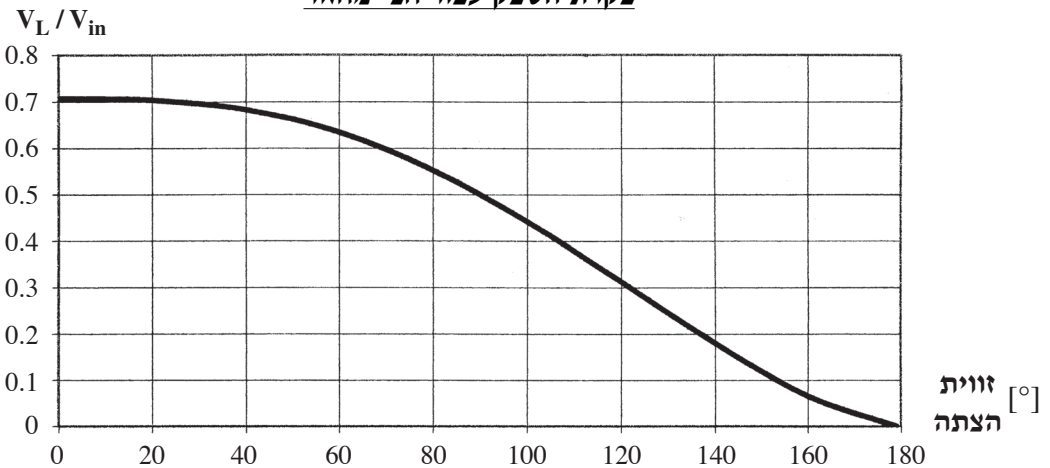
$$I_{AV} = \frac{V_{AV}}{R}$$

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

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

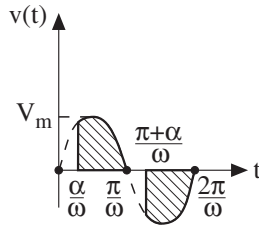
- $v(t)$ [V] - מתח הגל בתלות בזמן
- V_{AV} [V] - הערך הממוצע של המתח
- V_{RMS} [V] - הערך היעיל של המתח
- V_m [V] - הערך המרבי של המתח
- ω $\left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$ - מהירות זוויתית (תדר זוויתי)
- t [sec] - זמן
- R [Ω] - התנגדות העומס
- P [W] - הספק על העומס
- I_{AV} [A] - הערך הממוצע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



המשך בעמוד 5

ב. בקרת גל שלם בעומס אומי



זווית הצתה α [rad]

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

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

$$V_{AV} = 0$$

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

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

$$I_{AV} = 0$$

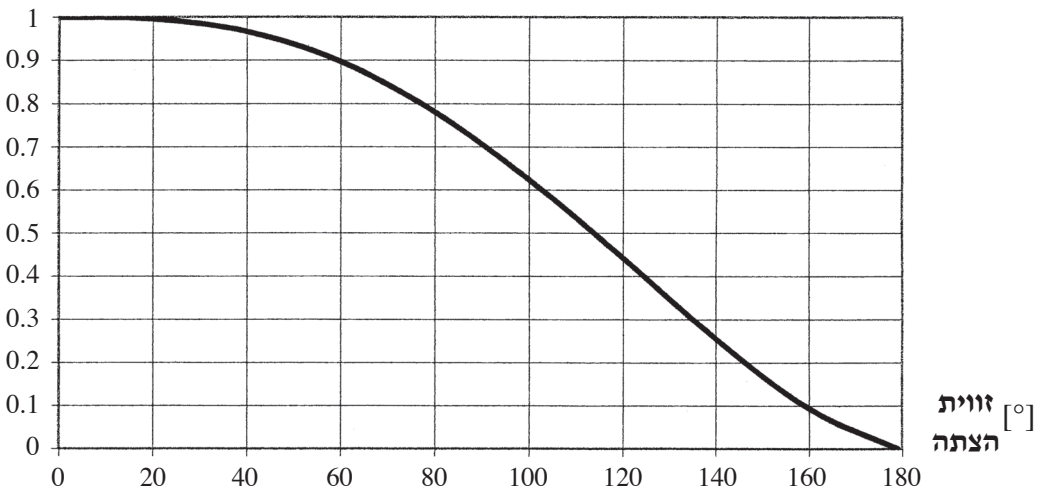
$$I_{RMS} = \frac{V_{RMS}}{R}$$

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

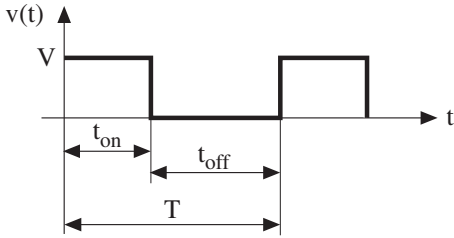
- מתח הגל בתלות בזמן - $v(t)$ [V]
- הערך הממוצע של המתח - V_{AV} [V]
- הערך היעיל של המתח - V_{RMS} [V]
- הערך המרבי של המתח - V_m [V]
- מהירות זוויתית (תדר זוויתי) - ω $\left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$
- זמן - t [sec]
- התנגדות העומס - R [Ω]
- הספק על העומס - P [W]
- הערך הממוצע של הזרם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

בקרת הספק עבור מחזור שלם

V_L / V_{in}



המשך בעמוד 6



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

מתחים וזרמים בגל מלבני

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

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

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

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

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

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

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

$$V_{AV} = \frac{2V_m}{\pi}$$

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

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

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

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

מתח אדווה במיישר חצי גל

- מתח גליות (אדווה) - ΔV [V]
- מתח מרבי במוצא - $V_{o,max}$ [V]
- תדר מתח הכניסה - f [Hz]
- התנגדות העומס - R [Ω]
- קיבול קבל הסינון - C [F]

$$\Delta V \approx \frac{V_{o,max}}{R \cdot C \cdot f}$$

מתח אדווה במיישר גל שלם

$$\Delta V \approx \frac{V_{o,max}}{2 \cdot R \cdot C \cdot f}$$

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 מתחי המבוא - V_c [V]

$$V_d = V_1 - V_2$$

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

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

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

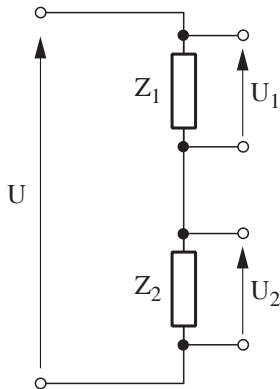
בהצלחה!

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

מקום למציאת נבחן

נוסחאון במבוא להנדסת חשמל לכיתה י"ג

(15 עמודים)



מחלק מתח

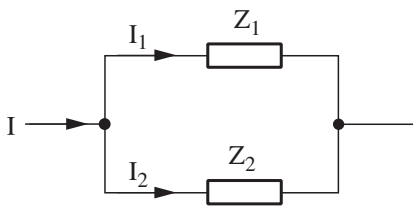
$$U_1 = \frac{U \cdot Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

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

מחלק זרם

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

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

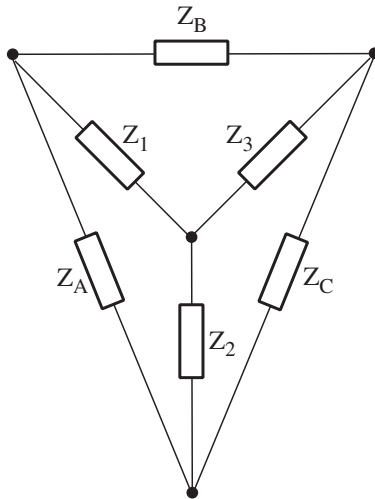


ההמרה של כוכב במשולש

ההמרה של משולש בכוכב

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

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



זרם חילופין סינוסואידלי

ערך רגעי של הזרם - $i(t)$ [A]

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

ערך מרבי של הזרם
(תנופת הזרם) - I_{\max} [A]

זווית מופע - α [rad]

זמן - t [sec]

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

ערך רגעי של המתח - $u(t)$ [V]

ערך מרבי של המתח
(תנופת המתח) - U_{\max} [V]

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

ערך יעיל של הזרם - I_{eff} [A]

ערך יעיל של המתח - U_{eff} [V]

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

זמן המחזור - T [sec]

תדירות זוויתית - ω [rad / sec]

תדירות - f [Hz]

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

היגב השראותי - X_L [Ω]

היגב קיבולי - X_C [Ω]

$$\omega = 2\pi f$$

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

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]

$$X_L = \omega L$$

היגב ההשראות ההדדית - X_M [Ω]

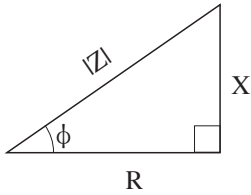
$$M = k\sqrt{L_1 \cdot L_2}$$

המשך בעמוד 4

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

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

$$Z = R \pm jX$$



משולש העכבות

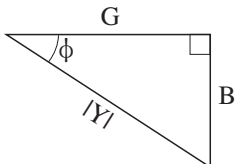
$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2}$$

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

- 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

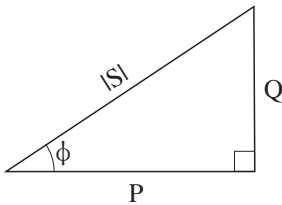
הספק פעיל	-	P	[W]
הערך המוחלט של הזרם בנגד	-	$ I_R $	[A]
הערך המוחלט של המתח על הנגד	-	$ U_R $	[V]
הספק היגבי	-	Q	[VA _r]
הערך המוחלט של זרם ההיגב	-	$ I_X $	[A]
הערך המוחלט של מתח ההיגב	-	$ U_X $	[V]
הספק מדומה	-	S	[VA]
הערך המוחלט של זרם העכבה	-	$ I_Z $	[A]
הערך המוחלט של מתח העכבה	-	$ U_Z $	[V]
הצמוד 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
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]

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

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

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

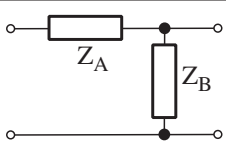
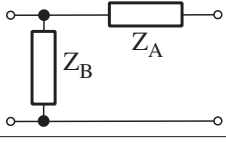
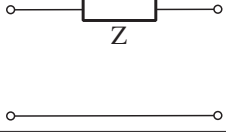
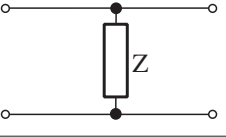
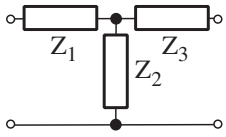
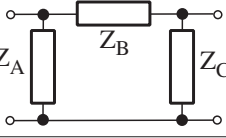
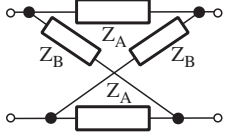
$$\begin{aligned} V_1 &= Z_{11} \cdot I_1 + Z_{12} \cdot I_2 \\ V_2 &= Z_{21} \cdot I_1 + Z_{22} \cdot I_2 \end{aligned}$$

Y מקדמי

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

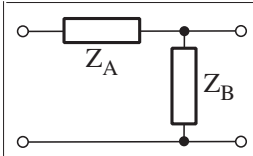
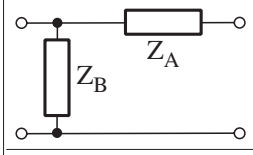
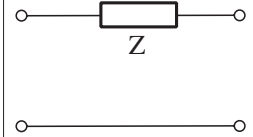
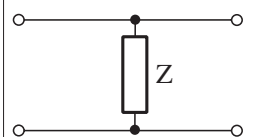
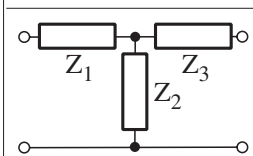
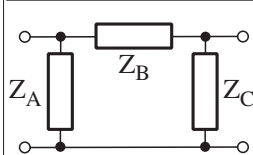
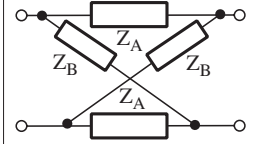
$$\begin{aligned} I_1 &= Y_{11} \cdot V_1 + Y_{12} \cdot V_2 \\ I_2 &= Y_{21} \cdot V_1 + Y_{22} \cdot V_2 \end{aligned}$$

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

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	$\frac{Z_{11}}{Z_{21}}$	$\frac{ Z }{Z_{21}}$	$\frac{-Y_{22}}{Y_{21}}$	$\frac{-1}{Y_{21}}$	A			B
B								
C	$\frac{1}{Z_{21}}$	$\frac{Z_{22}}{Z_{21}}$	$\frac{- Y }{Y_{21}}$	$\frac{-Y_{11}}{Y_{21}}$				
D					C			D

הערות

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

רשתות זוגיים

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

עכבה אופיינית - Z_O [Ω]

עכבת המבוא כאשר המוצא בקצר - Z_{SC} [Ω]

עכבת המבוא כאשר המוצא בנתק - Z_{OC} [Ω]

מקדם זוגיים - B

מקדם זוגיים - C

(עבור רשת סימטרית בלבד)

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

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

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

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

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

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

קבוע ההתפשטות - γ

קבוע הניחות - α [neper]

קבוע המופע, זווית המופע - β [rad]

בין הזרמים I_1 ו- I_2

ניחות - N

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

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

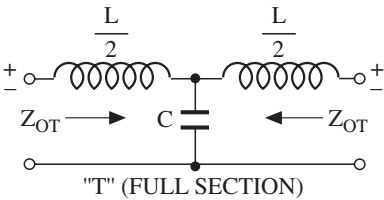
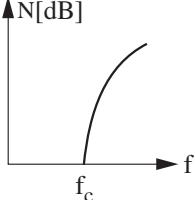
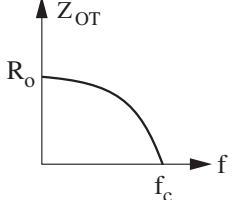
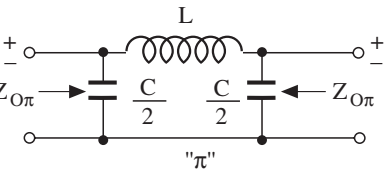
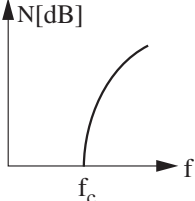
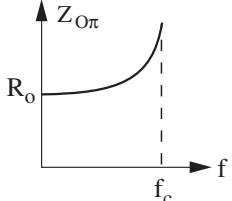
$$1 \text{ neper} = 8.69 \text{ dB}$$

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
 <p>"T" (FULL SECTION)</p>		
 <p>"pi"</p>		
$L = \frac{R_o}{\pi f_c} \quad ; \quad C = \frac{1}{\pi f_c R_o}$		$R_o = \text{LINE IMPEDANCE}$

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 $\omega < \omega_c$:

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

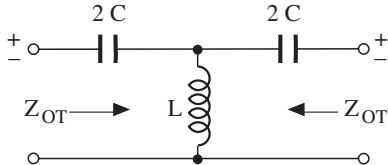
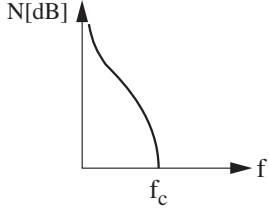
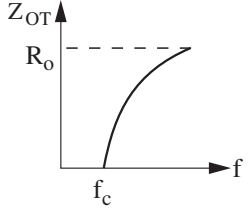
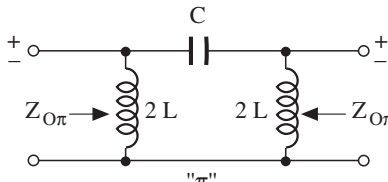
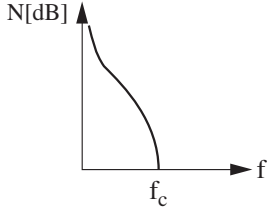
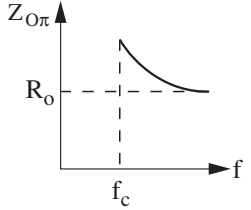
עכבה אופיינית של רשת T - Z_{OT} [Ω]
סימטרית מעבירה נמוכים

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

עכבה אופיינית של רשת π - $Z_{O\pi}$ [Ω]
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
 <p>"T" (FULL SECTION)</p>		
 <p>"π"</p>		
$L = \frac{R_0}{4\pi f_c} \quad ; \quad C = \frac{1}{4\pi f_c R_0}$		<p>$R_0 =$ LINE IMPEDANCE</p>

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} [Ω]
סימטרית מעבירה גבוהים

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

עכבה אופיינית של רשת π - $Z_{O\pi}$ [Ω]
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"ו

תרגום המונח			המונח
אנגלית	רוסית	ערבית	
complex power	Мнимая мощность	طاقه وهمية	הספק מדומה
real power	Активная мощность	القدرة الفعّالة (الحقيقيّة)	הספק ממשי
reactive power	Реактивная мощность	طاقه ارتكاسية (غير فعّالة)	הספק עיוור
firing angle	Фазовый угол	زاوية الاشتعال	זווית הצתה
operational amplifier	Оперативный усилитель	مضخم تشغيلي	מגבר שרת
current source	Источник тока	مصدر تيار	מקור זרם
power source	Источник напряжения	مصدر طاقة	מקור מתח
characteristic impedance	Характерное реактивное сопротивление	الممانعة المميزة	עכבה אופיינית
waveforms	Формы напряжения	أشكال الموجات	צורות הגל
capacitor	Конденсатор	مُكثف	קבל
cascade	Каскад	متسلسل (كاسكادا)	קסקדה