

סוג הבחינה: גמר לבתי-ספר לטכנאים ולהנדסאים

מועד הבחינה: אביב תש"ף, 2020

סמל השאלון: 711001

- נספחים: א. נספח א' לשאלה 3
 ב. נספח ב' לשאלה 9
 ג. נספח ג' לשאלה 10
 ד. נוסחאון באלקטרוניקה
 ספרתית א' לכיתה י"ג
 ה. נוסחאון במבוא להנדסת
 חשמל לכיתה י"ג
 ו. 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 ומילונית.
- 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 בבהירות.
 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. בכתבת 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 10 עמודים ו-26 עמודי נספחים.

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

בהצלחה!


 המשך מעבר לדף

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.

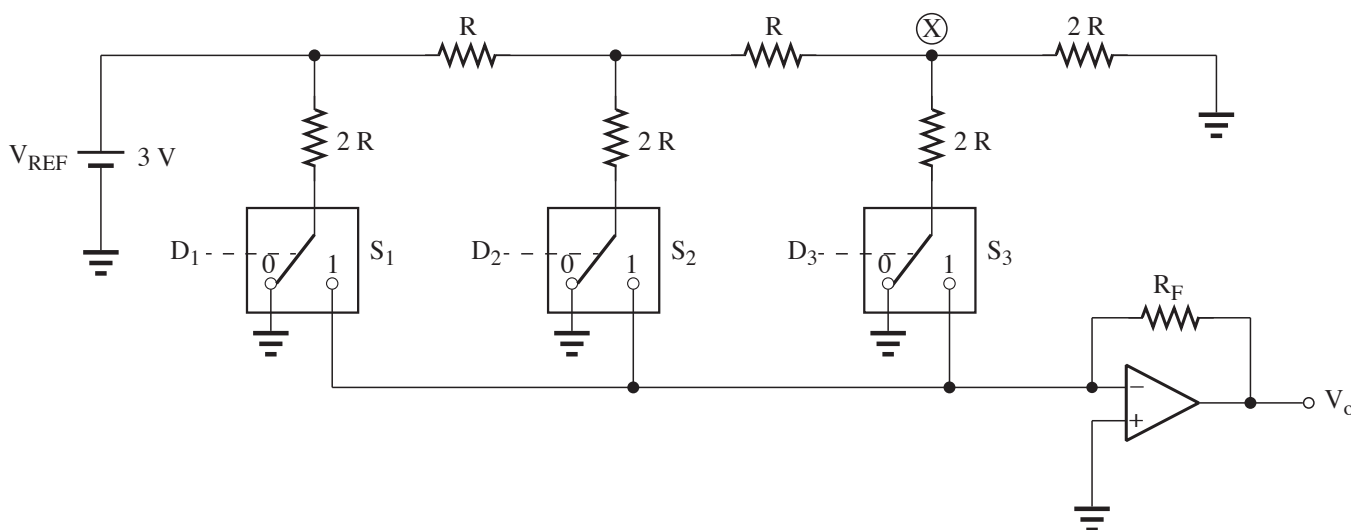
פרק ראשון: אלקטרוניקה ספרתית א'

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

שאלה 1

באיור לשאלה 1 נתון מעגל חשמלי המשמש כממיר D/A ל-3 סיביות.

נתונים: $R = 2 \text{ k}\Omega$, $R_F = 8 \text{ k}\Omega$



איור לשאלה 1

א. ציין מהי סיבית ה-MSB של הממיר. נמק את תשובתך. (4 נק')

ב. חשב את המתח בנקודה (X). (4 נק')

ג. חשב את כושר ההבחנה (רזולוציה) של הממיר. (4 נק')

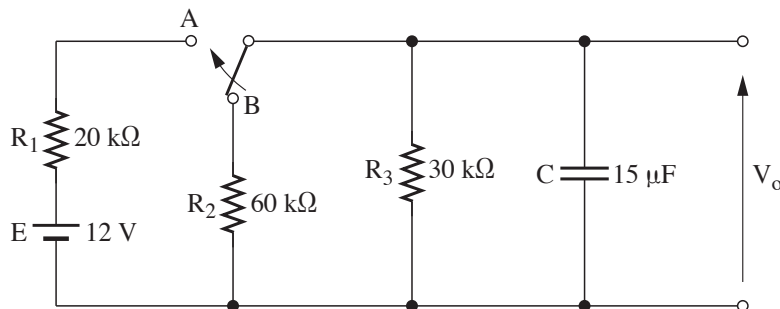
ד. (8 נק')

1. חשב את מתח המוצא V_O עבור צירוף סיביות המבוא: $D_1 = '1'$, $D_2 = '0'$, $D_3 = '1'$. (4 נק')

2. מצא את צירוף סיביות המבוא עבור מתח המוצא $V_O = -3 \text{ V}$. (4 נק')

שאלה 2

באיור לשאלה 2 נתון מעגל חשמלי.



איור לשאלה 2

א. (6 נק') חשב את קבוע הזמן τ בשני מצבי המפסק – מצב A ומצב B.

המפסק נמצא במצב B במשך זמן רב מאוד.

ב. (8 נק') בזמן $t = 0$ מעבירים את המפסק למצב A, וכעבור $t = 0.25 \text{ sec}$ מחזירים את המפסק למצב B.

חשב את מתח המוצא V_o בזמנים:

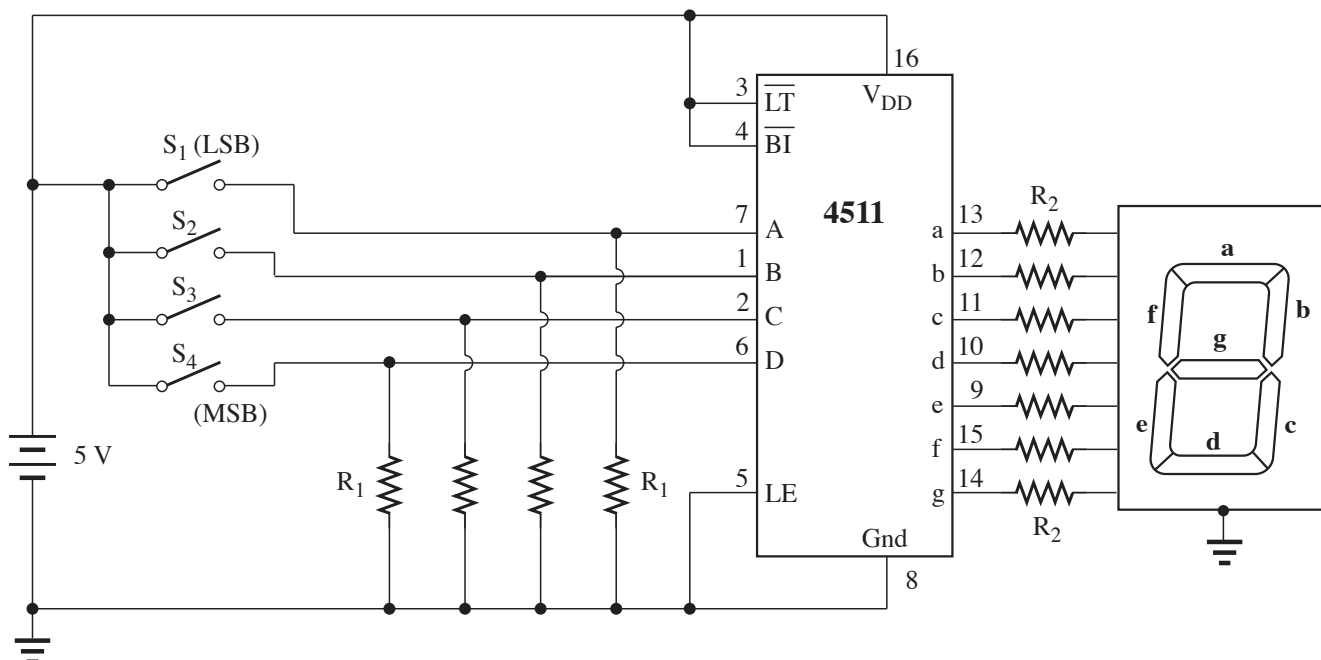
$$t_1 = 0.25 \text{ sec} \quad (1)$$

$$t_2 = 0.5 \text{ sec} \quad (2)$$

ג. (6 נק') סרטט את צורת המתח, V_o , כפונקצייה של הזמן. ציין על גבי הסרטוט את הערכים שקיבלת בתשובתך לסעיף ב'.

שאלה 3

באיור לשאלה 3 נתון מעגל חשמלי הכולל תצוגת שבעת מקטעים (7-seg) ומפענח תצוגה 4511. נתון: $R_1 = 10\text{ k}\Omega$.



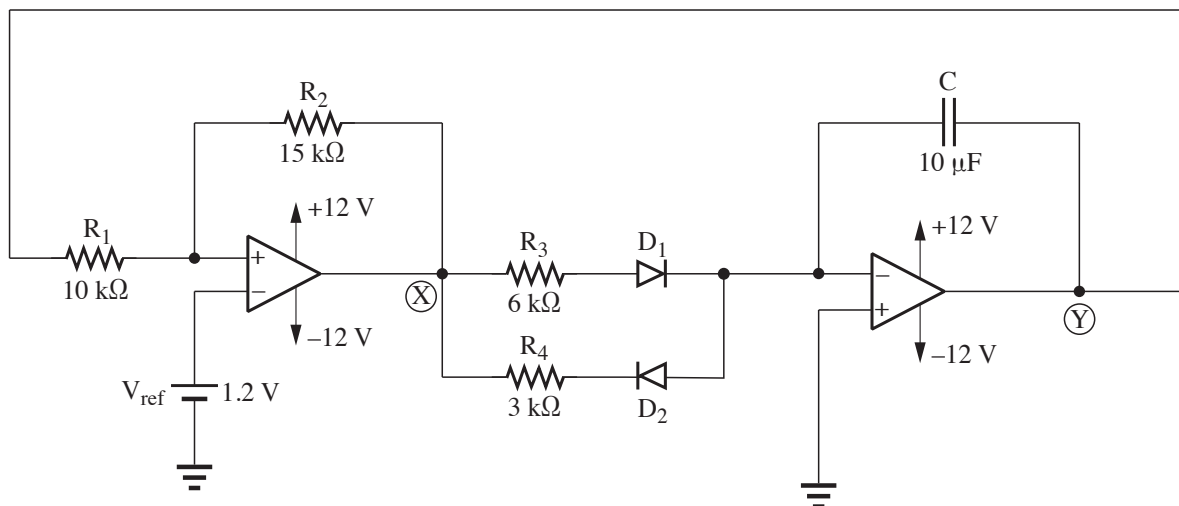
איור לשאלה 3

דפי הנתונים של הרכיב מצורפים בנספח א'.

- א. (6 נק') הסבר את התפקיד של כל אחד מן ההדקים 3, 4, 5 במפענח התצוגה.
- ב. (6 נק') נתון כי מצב המפסקים הוא: S_1 - פתוח, S_2 - סגור, S_3 - סגור, S_4 - פתוח. מה יוצג בתצוגת שבעת המקטעים?
- ג. (4 נק') נתון: $V_{LED} = 1.8\text{ V}$, $I_{LED} = 10\text{ mA}$, וערכה של טמפרטורת הסביבה הוא ערך אופייני. הרמות הלוגיות V_{OH} ו- V_{OL} במוצא המפענח נתונות בנספח א'. חשב את ערכם של הנגדים המחוברים בין מפענח התצוגה ובין התצוגה.
- ד. (4 נק') סטודנט בנה במעבדה את המעגל החשמלי המתואר באיור לשאלה. הוא גילה כי בתצוגת שבעת המקטעים מופיעה הספרה 8 באופן קבוע גם כאשר הוא משנה את מצב המתגים. היעזר בנספח א', והסבר מהי סיבת התקלה.

שאלה 4

באיור לשאלה 4 נתון מעגל חשמלי. מגברי השרת והדיודות – אידיאליים.



איור לשאלה 4

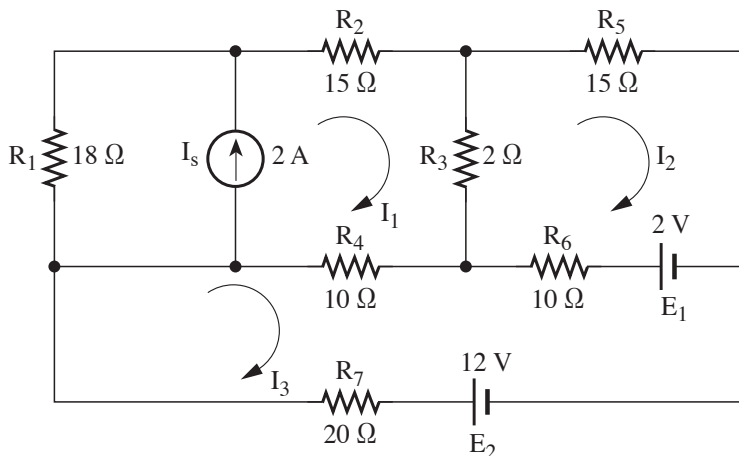
- א. (6 נק') חשב את ערכי הקיצון של המתח בנקודה (Y).
- ב. (6 נק') סרטט, זה מתחת לזה בהתאמה, את צורת המתח בנקודות (X) ו-(Y) במצב המתמיד כפונקצייה של הזמן.
- ג. (6 נק') חשב את התדר ואת מחזור הפעולה של המתח בנקודה (X).
- ד. (2 נק') הצע שינוי במעגל כך שמחזור הפעולה יהיה $D.C = 50\%$.

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.

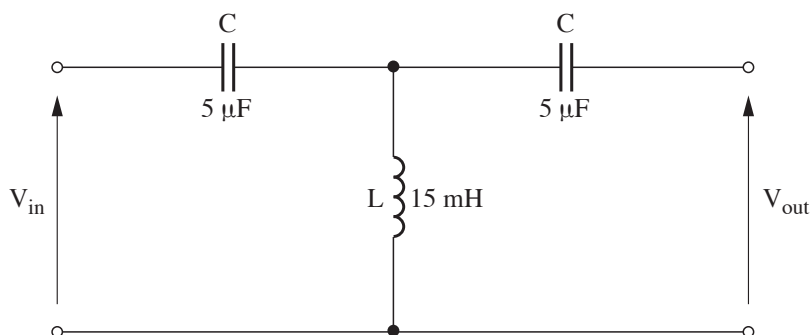


איור לשאלה 5

- א. (12 נק') חשב את הזרמים I_1 , I_2 ו- I_3 . השתמש בשיטת זרמי החוגים.
- ב. (4 נק') חשב את ההספק של מקור המתח E_2 , וקבע אם הוא משמש כצרכן או כספק במעגל הזה.
- ג. (4 נק') חשב את המתח על-פני הנגד R_1 .

שאלה 6

באיור לשאלה 6 נתון המעגל החשמלי של מסנן מסוג K קבוע.

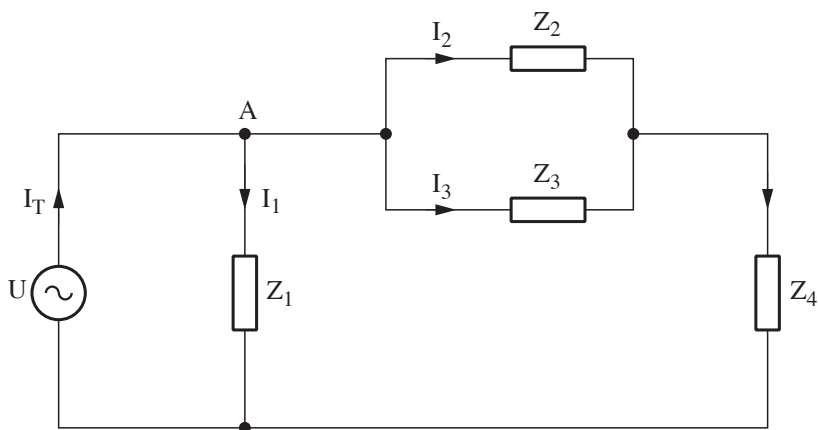


איור לשאלה 6

- א. (5 נק') ציין מהו סוג המסנן – LP או HP . נמק את תשובתך.
- ב. (9 נק') חשב את תדר הפוגה, f_c , של המסנן, את ההתנגדות האופיינית שלו ואת העכבה האופיינית שלו בתדר הפוגה.
- ג. (6 נק') סרטט במחברתך גרף המתאר את ניחות המסנן ב־dB כפונקצייה של התדר f .

שאלה 7

באיור לשאלה 7 נתון מעגל חשמלי בזרם חילופין.



איור לשאלה 7

נתונים:

$$Z_1 = -j 3.6 \, \Omega$$

$$Z_2 = (8 + j 8) \, \Omega$$

$$Z_3 = (4 - j 4) \, \Omega$$

$$Z_4 = 1.6 \, \angle 90^\circ \, \Omega$$

$$I_1 = 10 \, \angle 90^\circ \, \text{A}$$

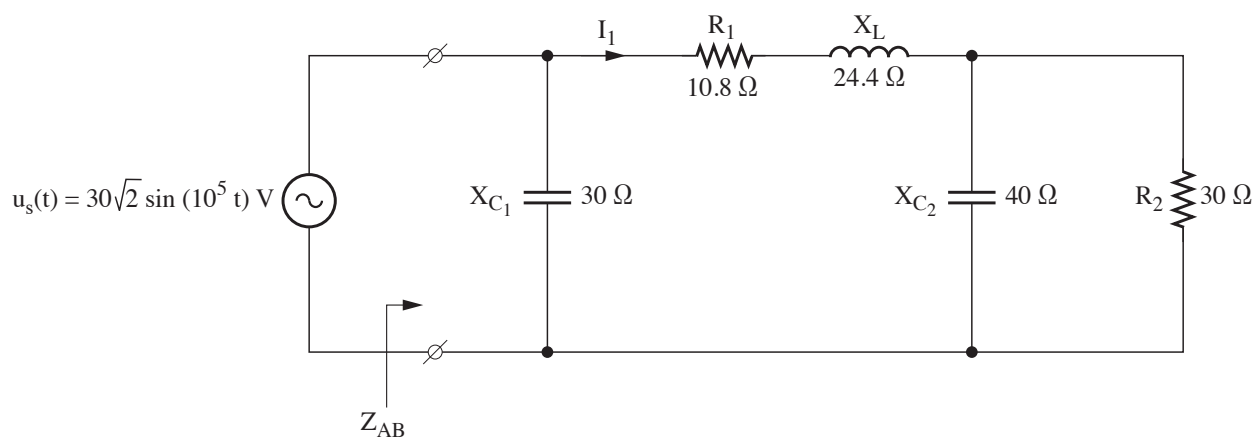
6 נק') א. חשב את העכבה השקולה של המעגל.

10 נק') ב. חשב את הזרמים I_2 , I_3 , I_T .

4 נק') ג. סרטט דיאגרמה פאזורית של הזרמים I_T , I_1 , I_2 , I_3 .

שאלה 8

באיור לשאלה 8 נתון מעגל חשמלי בזרם חילופין.



איור לשאלה 8

- א. (4 נק') חשב את הקיבול של כל אחד מהקבלים ואת השראות הסליל.
- ב. (4 נק') קבע את אופי המעגל (השראותי, קיבולי או התנגדותי). נמק את תשובתך.
- ג. (6 נק') חשב את ההספק הכולל המתפתח על הנגדים R_1 ו- R_2 .
- ד. (6 נק') חשב את הזרם I_1 .

פרק שלישי: אנגלית טכנית

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

שאלה 9

בנספח לשאלה 9 (נספח ב') מובא קטע ממאמר בשפה האנגלית העוסק בחיישן המותקן ברכב אוטונומי.

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

- (5 נק') א. ציין מה מזהה חיישן ToF .
- (5 נק') ב. הסבר את עקרון הפעולה של חיישן ToF .
- (5 נק') ג. מהו ההבדל העקרוני בין Direct ToF ובין Indirect ToF ?
- (5 נק') ד. ציין שני יישומים של החיישן ToF שיכולים לסייע לנהג בעת נהיגה ברכב.

שאלה 10

בנספח לשאלה 10 (נספח ג') מובא דף-מפרט בשפה האנגלית של הרכיב MT9V403 .

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

- (5 נק') א. ציין את תפקידו של הרכיב.
- (5 נק') ב. כמה סיביות יש במוצא של ממיר ה-ADC ברכיב?
- (5 נק') ג. כמה מסגרות מסוגל הרכיב לספק בשנייה?
- (5 נק') ד. מהו קצב אות השעון שהחיישן יכול לקבל?

בהצלחה!



October 1987
Revised January 1999

CD4511BC BCD-to-7 Segment Latch/Decoder/Driver

General Description

The CD4511BC BCD-to-seven segment latch/decoder/driver is constructed with complementary MOS (CMOS) enhancement mode devices and NPN bipolar output drivers in a single monolithic structure. The circuit provides the functions of a 4-bit storage latch, an 8421 BCD-to-seven segment decoder, and an output drive capability. Lamp test (LT), blanking (BI), and latch enable (LE) inputs are used to test the display, to turn-off or pulse modulate the brightness of the display, and to store a BCD code, respectively. It can be used with seven-segment light emitting diodes (LED), incandescent, fluorescent, gas discharge, or liquid crystal readouts either directly or indirectly.

Applications include instrument (e.g., counter, DVM, etc.) display driver, computer/calculator display driver, cockpit display driver, and various clock, watch, and timer uses.

Features

- Low logic circuit power dissipation
- High current sourcing outputs (up to 25 mA)
- Latch storage of code
- Blanking input
- Lamp test provision
- Readout blanking on all illegal input combinations
- Lamp intensity modulation capability
- Time share (multiplexing) facility
- Equivalent to Motorola MC14511

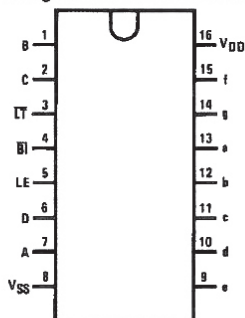
Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
CD4511BCWM	M16B	16-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-013, 0.300" Wide
CD4511BCN	N16E	16-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300" Wide

Devices also available in Tape and Reel. Specify by appending suffix letter "X" to the ordering code.

Connection Diagrams

Pin Assignments for SOIC and DIP



Top View

Segment Identification



Truth Table

Inputs							Outputs							
LE	$\overline{\text{BI}}$	$\overline{\text{LT}}$	D	C	B	A	a	b	c	d	e	f	g	Display
X	X	0	X	X	X	X	1	1	1	1	1	1	1	B
X	0	1	X	X	X	X	0	0	0	0	0	0	0	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

X = Don't Care

*Depends upon the BCD code applied during the 0 to 1 transition of LE.

Display

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Time-of-Flight Sensors for In-Cabin Vehicle Safety

Time-of-Flight (ToF) sensing allows objects to be detected and provides information about their position and movement within a three-dimensional space. It also supports object identification by detecting object shape, size, and orientation.

The technology relies upon light being reflected by the object being detected with a light source such as a LED array or VCSEL device being used in conjunction with beam-forming optics to produce a light source that illuminates the scene. An advanced sensing IC (In-Cabin) detects and measures the light reflected from any object in range.

Light travels very rapidly at a known speed; by measuring the time taken for reflected light to reach the sensor (the 'time of flight' for the light), the distance of the object can be calculated. This approach is known as 'direct ToF' (dToF) as the time is calculated directly from a very accurate time base and is preferred for applications where long distances are involved, such as LIDAR. dToF is generally considered a low-resolution technology, requiring complex (and expensive) mechanical scanning to achieve high resolutions.

Instead of using absolute time, indirect ToF (iToF) calculates distance based on a phase shift to a known reference signal. This technique is far better suited to high-resolution applications and, with modern CMOS pixel arrays, can generate a real-time 3D video at QVGA resolutions and higher.

iToF uniquely combines medium - resolution and high-resolution depth and amplitude (greyscale) mapping allowing complex identifications to be performed (such as people or objects), even with no color contrast between the object and its surroundings. These benefits make iToF very useful in many forward-looking applications where other technologies have limitations.

In relatively close proximity (around 5m) ToF allows objects and free spaces to be identified, meaning that ADAS systems can intelligently predict how an object may move (if at all) and take the appropriate avoiding action. iToF is relatively unaffected by changes in temperature and light to meet the challenges of external applications such as these.

One of the main reasons for achieving the ultimate goal of fully autonomous vehicles is to increase road safety. A recent report by the NHTSA estimated that over 90% of all accidents are due to driver errors, so eliminating these will make for much safer roads. While mass-produced fully automated vehicles remain some way in the future, iToF can make a significant contribution to road safety by monitoring the driver and his / her behavior.

Driver fatigue is a significant issue and the high resolution attainable with iToF is able to see if the drivers have their eyes on the road ahead, whether they are yawning excessively, or even struggling to keep their eyes open. Detecting each of these and suggesting (or even enforcing) a break can potentially avoid accidents and save lives. Other driver behaviors such as not holding the steering wheel properly, eating while driving or not using a mobile device in a non-hands-free manner can also be identified and a warning issued or action taken, ultimately bringing the vehicle to a safe stop if needs be.

Airbags have saved many, many lives and are a valuable feature in almost all vehicles these days. However, there have been some cases, especially with infants or the elderly where they have caused injury or worse. ToF is able to detect the size of passengers and estimate the weight of passengers, modifying the airbag deployment as necessary. In the event that there is no passenger in the seat, ToF can prevent unnecessary airbag deployment.

Many modern hybrid vehicles will start and run the internal combustion engine to charge the batteries when they are almost depleted. As it is easy to leave a vehicle with the ignition 'on' as the old-fashioned ignition key is a thing of the past, a vehicle can automatically start when unattended. This is potentially dangerous, especially in a confined space, but can easily be prevented by ToF-based occupant detection.



1/2-INCH VGA (WITH FREEZE-FRAME) CMOS ACTIVE-PIXEL DIGITAL IMAGE SENSOR

1/2-INCH CMOS ACTIVE-PIXEL CMOS IMAGE SENSOR

MT9V403

Micron Part Number: MT9V403C12ST

Features

- Array Format: Active: 659H x 494V
- Pixel Size and Type: 9.9µm x 9.9µm TrueSNAP™ (shuttered-node active pixel)
- Optical Format: 1/2-inch
- Frame Rate: 0-200 frames/sec progressive scan
- Data Rate: 66 MB/s (master clock 66 MHz)
- Responsivity: 2.0 V/lux-sec with source illumination at 550nm
- SNR: 45dB
- ADC: On-chip, 10-bit
- Power: 130mW at 200 fps
- Supply Voltage: +3.3V
- Internal Intra-Scene Dynamic Range: 60dB
- Operating Temperature: -5°C to +70°C
- Output: 10-bit digital through a single port
- Shutter: TrueSNAP freeze-frame electronic shutter
- Interface Mode: Master/Snapshot/Slave (with simultaneous or sequential exposure/readout)
- Shutter Efficiency: 98.5%
- Shutter Exposure Time:
 - Master Mode or Snapshot Mode: 2 rows to 256 frames (20µs to 1.3 sec with 66 MHz clock)
 - Slave Mode: user controlled
- Gain: 1x-18x (step size = 1) or 0.5x-9x (step size = 0.5)
- Control Interface: Two-wire serial interface
- Package: 48-pin CLCC
- Timing and Control:
 - On-chip:
 - ADC controls, output multiplexing, ADC calibration via two-wire serial interface, exposure time, read/write ADC calibration coefficients, window size and location, gain, biases, master vs. snapshot vs. slave, simultaneous vs. continuous exposure/readout, progressive vs. interlace, ADC reference, vertical and horizontal blanking.
 - Off-chip:
 - Exposure trigger (snapshot mode), exposure and readout timing (slave mode)
- Color Specifications: monochrome or color (Bayer pattern)

Description

The Micron® Imaging MT9V403 VGA-based CMOS active-pixel sensor has a 1/2-inch optical format and delivers superb resolution at a turbocharged 200 fps, making it the perfect solution for machine vision assembly lines, airbag deployment, golf swing analysis, and special effects in movies. The freeze-frame shutter allows the signal charges of all pixels to be integrated in parallel—all pixels start integrating simultaneously and stop integrating simultaneously. The charges are then sampled into pixel analog memories (one memory per pixel) and consequently, row by row, are digitized and read out-of-chip. The sensor works in master, snapshot, or slave mode. In master mode it generates the readout timing on-chip. In snapshot mode it accepts an external trigger and then generates the readout timing. In slave mode the sensor accepts external readout timing. The integration time is programmed through the two-wire serial interface (master or snapshot mode) or controlled via externally-generated control signals (slave mode).

The scanning mode can be progressive or interlaced. There is also an option to scan just a window of interest by choosing start row and column and stop row and column. The user can control the frame rate and row rate through the use of vertical and horizontal blanking as well as the master clock frequency.

The readout of the data out of the chip can be done simultaneously with integration and ADC operation due to the two-cell SRAM which allows data from the previously converted row to be shifted into the output memory for readout.

The sensor's ADCs contain special self-calibrating circuitry that allow the sensor to reduce its own column-wise fixed pattern noise. The calibration coefficients can be read from, and written to, the sensor.

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

נוסחאון באלקטרוניקה ספרתית א' לכיתה י"ג

(4 עמודים)

משוואת הדפקים היסודית

מתח מוצא - $V(t)$ [V]

מתח סופי (עבור $t \rightarrow \infty$) - V_∞ [V]

מתח התחלתי - V_{0+} [V]

זמן - t [sec]

קבוע הזמן - τ [sec]

זרם מוצא - $I(t)$ [A]

זרם סופי (עבור $t \rightarrow \infty$) - I_∞ [A]

זרם התחלתי - I_{0+} [A]

התנגדות שקולה ש"רואה" הרכיב ההיגבי, מחושבת לפי תבנית - R_{eq} [Ω]

$$V(t) = V_\infty - (V_\infty - V_{0+}) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$I(t) = I_\infty - (I_\infty - I_{0+}) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$\tau = R_{eq} \cdot C ; \tau = \frac{L}{R_{eq}}$$

$$t = \tau \cdot \ln \frac{V_\infty - V_{0+}}{V_\infty - V(t)} = \tau \cdot \ln \frac{I_\infty - I_{0+}}{I_\infty - I(t)}$$

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]

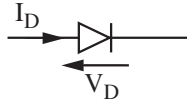
זרם הסליל - I_L [A]

מתח הסליל - V_L [V]

השראות - L [H]

דיודת צומת

סימול:



א. דיודה אידיאלית

ממתח קדמי - $V_D = 0$ (קֶצֶר)

ממתח אחורני - $I_D = 0$ (גֶּתֶק)

ב. קירוב באמצעות V_γ

ממתח קדמי - $V_D = V_\gamma$

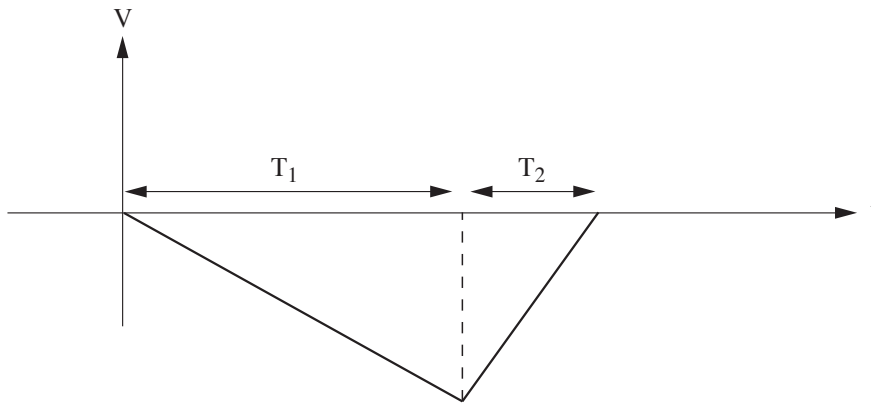
ממתח אחורני - $I_D = 0$ ($V_D < V_\gamma$)

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 A/D מסוג שיפוע כפול – DUAL SLOPE



מתח אנלוגי במבוא – V_A [V]

מתח ייחוס – V_{REF} [V]

מודולו המונה – M

תוצאת ההמרה כערך עשרוני – N

זמן מניית המונה בפעם הראשונה – T_1 [sec]

זמן מניית המונה בפעם השנייה – T_2 [sec]

תדר השעון – f_{CLK} [Hz]

זמן המרה כולל – T_{CON} [sec]

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

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

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

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

ממיר A/D מסוג קירוב רציף – SUCCESSIVE APPROXIMATION

מספר הסיביות של המונה – n

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

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

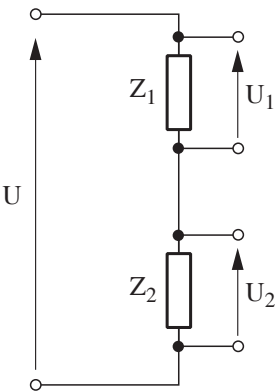
D – הערך העשרוני של המילה הבינארית שבכניסה לממיר

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

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

נוסחאון במבוא להנדסת חשמל לכיתה י"ג

(15 עמודים)



מחלק מתח

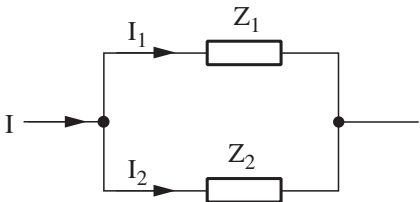
$$U_1 = \frac{U \cdot Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

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

מחלק זרם

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

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

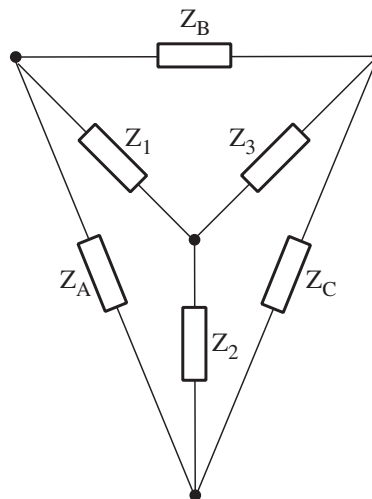


ההמרה של כוכב במשולש

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

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

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

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

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

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

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

$$\omega = 2\pi f$$

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

$$X_L = \omega L$$

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

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

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]

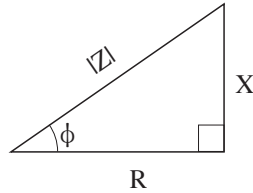
השראות עצמית של סליל 2 - L_2 [H]

היגב ההשראות ההדדית - X_M [Ω]

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

$$Z = R \pm jX$$

משולש העכבות



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

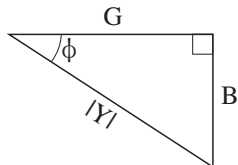
$$\sin \phi = \frac{X}{|Z|} ; \cos \phi = \frac{R}{|Z|} ; \operatorname{tg} \phi = \frac{X}{R}$$

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 [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]

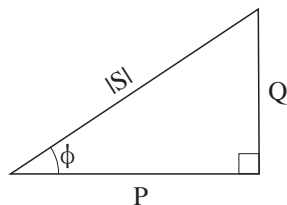
$$P = |I_R| \cdot |U_R| = |I_R|^2 \cdot R = \frac{|U_R|^2}{R}$$

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

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

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

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 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

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

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

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

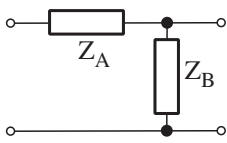
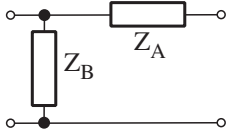
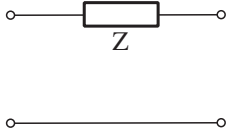
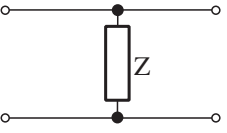
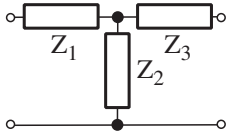
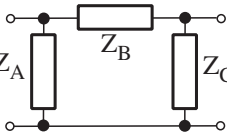
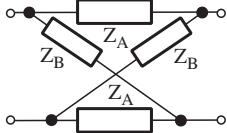
$$\begin{aligned} V_1 &= Z_{11} \cdot I_1 + Z_{12} \cdot I_2 \\ V_2 &= Z_{21} \cdot I_1 + Z_{22} \cdot I_2 \end{aligned}$$

Y מקדמי

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

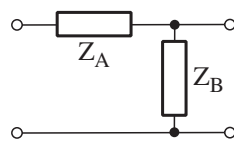
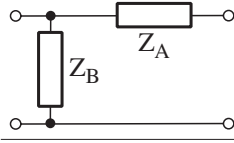
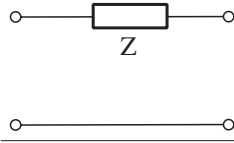
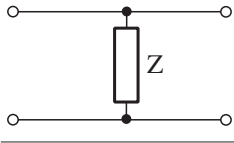
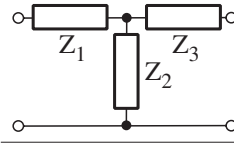
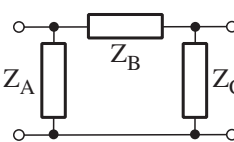
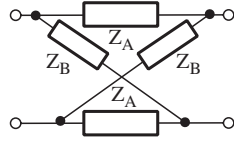
$$\begin{aligned} I_1 &= Y_{11} \cdot V_1 + Y_{12} \cdot V_2 \\ I_2 &= Y_{21} \cdot V_1 + Y_{22} \cdot V_2 \end{aligned}$$

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.
- ב. עבור מקדמי Y ו-Z – זרם המוצא I_2 נכנס לרשת.
- ג. $|Z|$, $|Y|$ 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 כאשר המוצא בקצר
- Z_{OC} [Ω] - עכבת המבוא כאשר המוצא בנתק
- B - מקדם זוגיים
- C - מקדם זוגיים

(עבור רשת סימטרית בלבד)

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

- | | | |
|--------------|---|--|
| מהצד
האחד | { | Z_{O1} [Ω] - עכבת הבבואה |
| | | Z_{SC1} [Ω] - עכבת המבוא כאשר המוצא בקצר |
| | | Z_{OC1} [Ω] - עכבת המבוא כאשר המוצא בנתק |
| מהצד
האחר | { | Z_{O2} [Ω] - עכבת הבבואה |
| | | Z_{SC2} [Ω] - עכבת המבוא כאשר המוצא בקצר |
| | | Z_{OC2} [Ω] - עכבת המבוא כאשר המוצא בנתק |

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

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

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

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

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

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

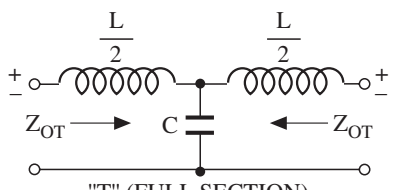
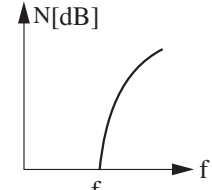
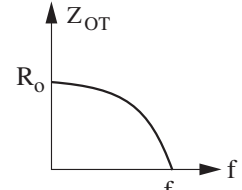
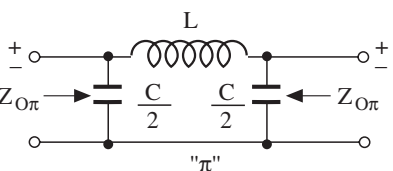
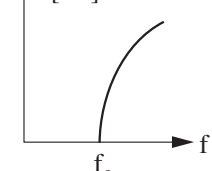
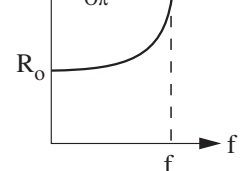
$$1 \text{ neper} = 8.69 \text{ dB}$$

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 $\omega < \omega_c$:

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

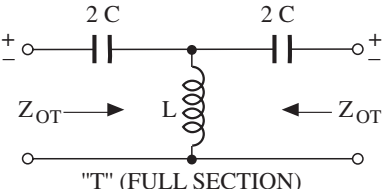
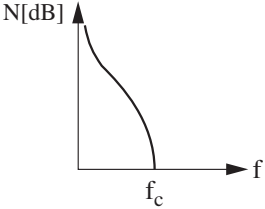
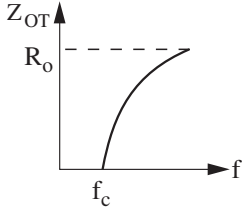
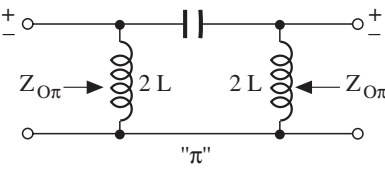
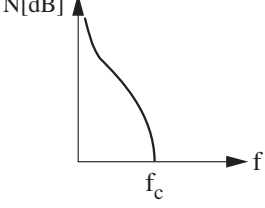
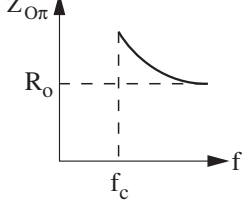
עכבה אופיינית של רשת T סימטרית מעבירה נמוכים Z_{OT} [Ω] -

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

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

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

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 סימטרית מעבירה גבוהים Z_{OT} [Ω] -

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

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

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

נספח: מילון מונחים

לשאלון 711001, אביב תש"ף

תרגום המונח			המונח
אנגלית	רוסית	ערבית	
inductive	Индуктивное	تحريضي / محاثي	השראותי
characteristic resistance	Характерное сопротивление	المقاومة المميّزة	התנגדות אופיינית
operational amplifier	Оперативный усилитель	مُضخّم تشغيلي	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