

סוג הבחינה: גמר לבתי-ספר לטכנאים ולהנדסאים

מועד הבחינה: אביב תשע"ט, 2019

סמל השאלון: 711001

נספחים: א. נספח לשאלה 9

ב. נספח לשאלה 10

ג. נוסחאון באלקטרוניקה

ספרתית 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 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. בכתיבת פתרונות חישוביים, קבלת מֶרֶב הנקודות מותנית בהשלמת כל המהלכים שלהן, 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-23 עמודי נספחים.

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

בהצלחה!

המשך מעבר לדף

השאלות

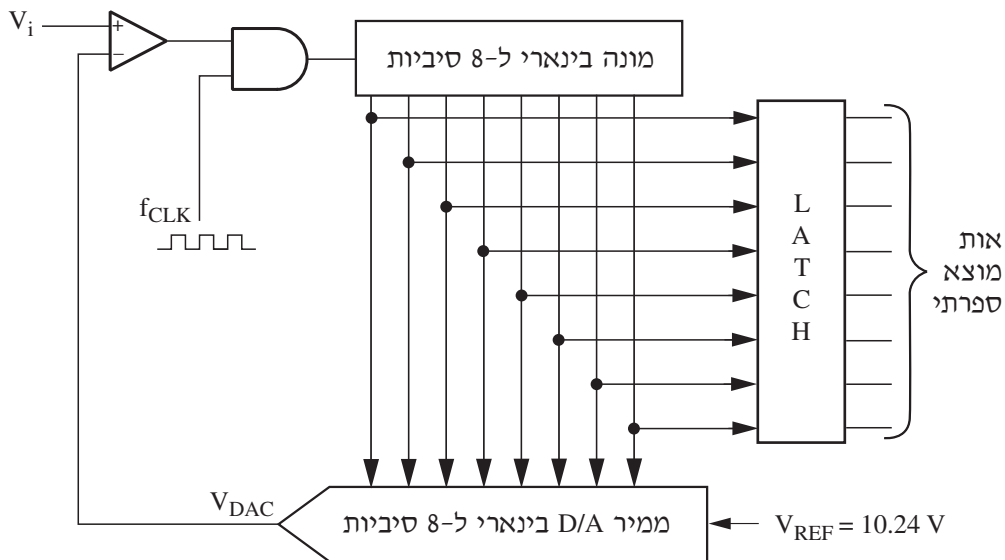
ענה על חמש מבין השאלות 1-10. עליך לענות על שאלה אחת לפחות מן הפרק הראשון, על שאלה אחת לפחות מן הפרק השני, ועל שאלה אחת מן הפרק השלישי.

פרק ראשון: אלקטרוניקה ספרתית א'

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

שאלה 1

באיור לשאלה 1 נתון תרשים מלבנים של ממיר A/D ל-8 סיביות. V_i הוא מתח-המבוא האנלוגי של הממיר. תדר השעון הוא $f_{CLK} = 2 \text{ MHz}$.

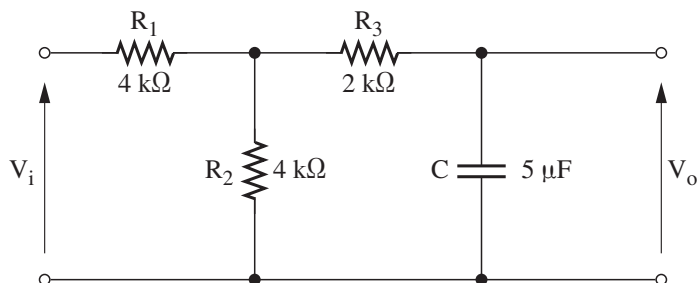


איור לשאלה 1

- א. (5 נק') באיזו שיטה פועל הממיר המתואר באיור?
- ב. (5 נק') חשב את זמן ההמרה המרבי של ממיר ה-A/D. בתשובתך, הזנח את זמני ההשהיה של כל הרכיבים.
- ג. (5 נק') חשב את ערכו של מתח-המבוא V_i , כאשר במוצא ממיר ה-A/D מתקבל האות הספרתי 00101000.
- ד. (5 נק') מהי השגיאה המרבית (ההפרש בין מתח-המבוא ובין ההמרה האנלוגית של אות המוצא) של ממיר ה-A/D?

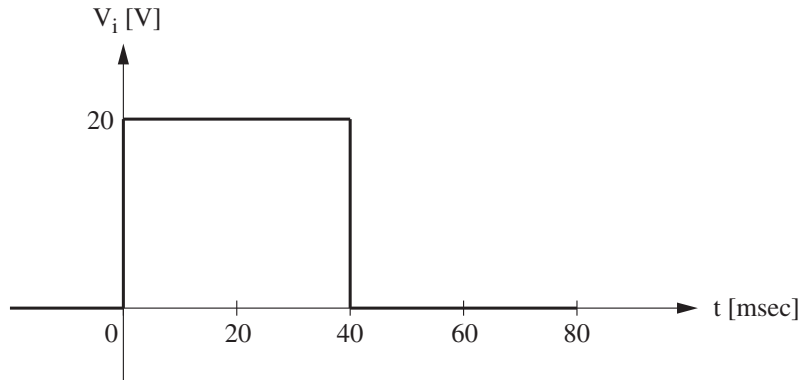
שאלה 2

באיור א' לשאלה 2 נתון מעגל חשמלי.



איור א' לשאלה 2

- א. (8 נק') חשב את קבוע זמן הטעינה של הקבל C.
- ב. (4 נק') באיור ב' לשאלה מתואר מתח־המבוא V_i המסופק למעגל, כפונקצייה של הזמן. המתח על הקבל C בזמן $t = 0$ הוא 0 V.

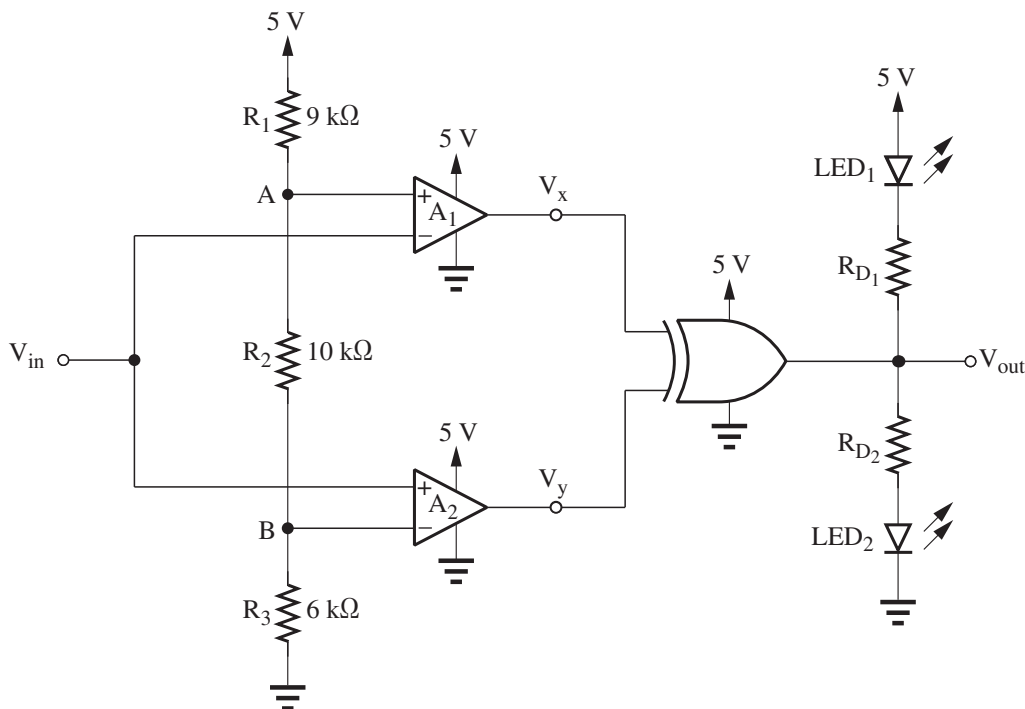


איור ב' לשאלה 2

- חשב את ערכו של V_o בזמנים $t = 40\text{ msec}$ ו- $t = 60\text{ msec}$.
- ג. (4 נק') חשב את הזמן בתחום $0 \leq t \leq 40\text{ msec}$ שבו ערכו של מתח המוצא הוא 3 V.
- ד. (4 נק') העתק את איור ב' למחברתך, וסרטט מתחתיו, בהתאמה, את צורת מתח־המוצא V_o כפונקצייה של הזמן. ציין בסרטוטך את הערכים שחישבת בסעיפים ב' ו-ג'.

שאלה 3

באיור א' לשאלה 3 נתון מעגל חשמלי של משוואה חלון. המשוואה מפעיל שתי נוריות LED זהות, בהתאם לערכו של מתח המבוא V_{in} .



איור א' לשאלה 3

מגברי השרת במעגל – אידיאליים.

נתוני השער הלוגי: $V_{OH} = 4\text{ V}$, $V_{OL} = 0.4\text{ V}$

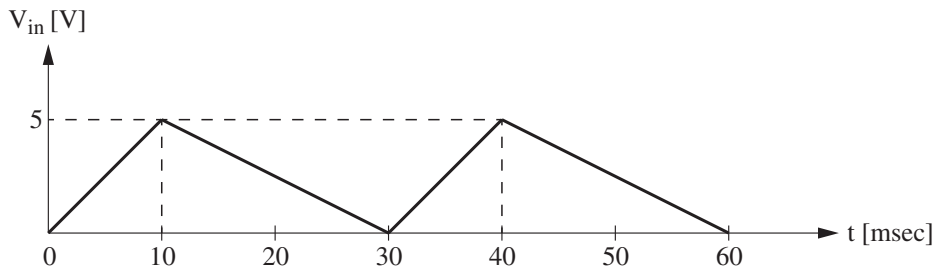
נתוני נוריות ה-LED: $V_{LED} = 1.4\text{ V}$, $I_{LED} = 10\text{ mA}$

א. (3 נק') סרטט, זה מתחת לזה בהתאמה, את אופייני המעבר $V_x = f(V_{in})$, $V_y = f(V_{in})$ ו- $V_{out} = f(V_{in})$ בתחום $0 \leq V_{in} \leq 5\text{ V}$.

ב. (7 נק') רשום את תחומי ההמתח של V_{in} שבהם דולקת כל אחת מנוריות ה-LED.

ג. (5 נק') חשב את ההתנגדויות של הנגדים R_{D1} ו- R_{D2} , שיאפשרו פעולה תקינה של נוריות ה-LED.

ד. (5 נק') באיור ב' לשאלה נתון אות מבוא המסופק למעגל, כפונקצייה של הזמן.

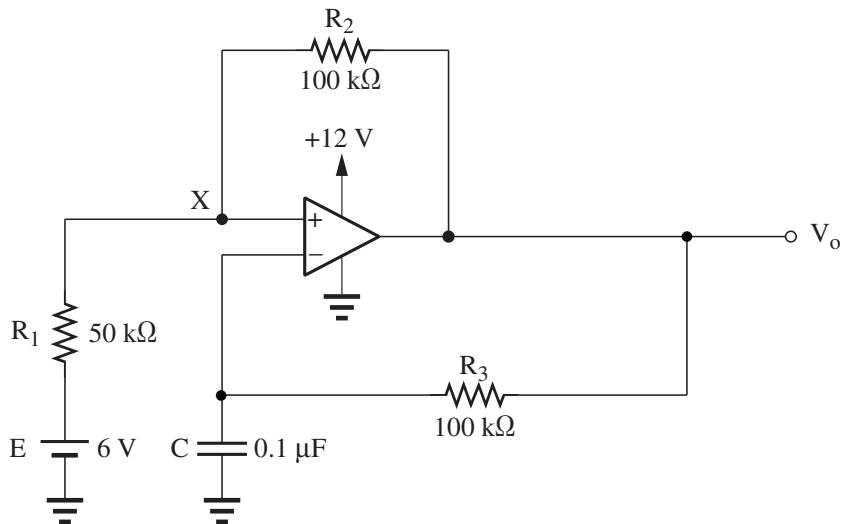


איור ב' לשאלה 3

העתק למחברתך את איור ב', וסרטט מתחתי, בהתאמה, את מתח המוצא V_{out} כפונקצייה של הזמן. ציין איזו נורית LED פועלת בכל קטע בסרטוט.

שאלה 4

באיור לשאלה 4 נתון מעגל חשמלי המפיק גל ריבועי במוצאו. המעגל ממומש באמצעות מגבר שרת אידיאלי שמתח ההזנה שלו הוא +12 V.



איור לשאלה 4

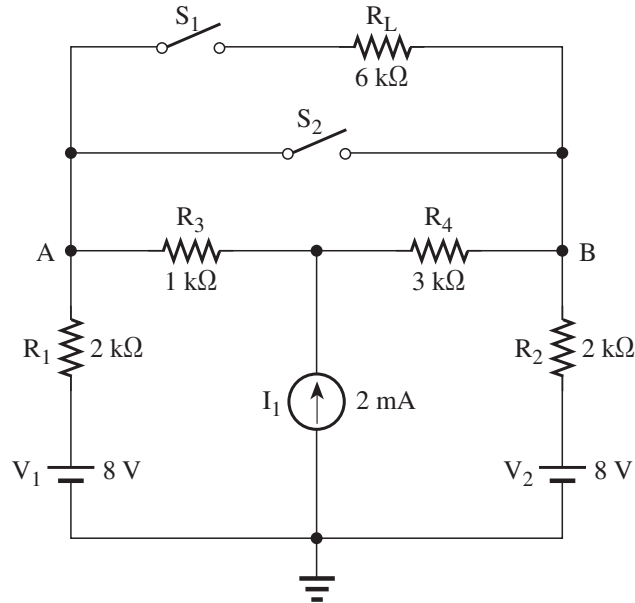
- א. (6 נק') חשב את קבוע זמן הטעינה של הקבל C.
- ב. (6 נק') חשב את ערכי המתחים האפשריים בנקודה X במעגל.
- ג. (4 נק') חשב את זמן המחזור של אות המוצא V_o .
- ד. (4 נק') סרטט, זה מתחת לזה בהתאמה, שני מחזורים של המתח על הקבל C ושל מתח המוצא V_o במצב המתמיד כפונקצייה של הזמן. ציין בסרטוטך ערכי זמנים ורמות מתחים.

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. מקורות המתח, מקור הזרם והמפסקים – אידיאליים.



איור לשאלה 5

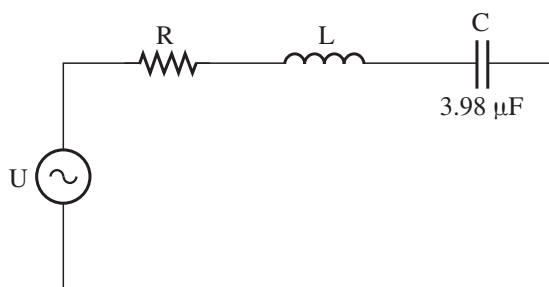
- א. (10 נק') חשב את המתח בין הנקודות A ו-B כאשר המפסקים S_1 ו- S_2 פתוחים.
- ב. (5 נק') סוגרים את המפסק S_1 . השתמש במשפט תבנין, וחשב את המתח על הנגד R_L .
- ג. (5 נק') סוגרים גם את המפסק S_2 . חשב את הזרם העובר דרך המפסק S_2 .

שאלה 6

המעגל החשמלי המתואר באיור א' לשאלה 6 נמצא במצב תהודה.

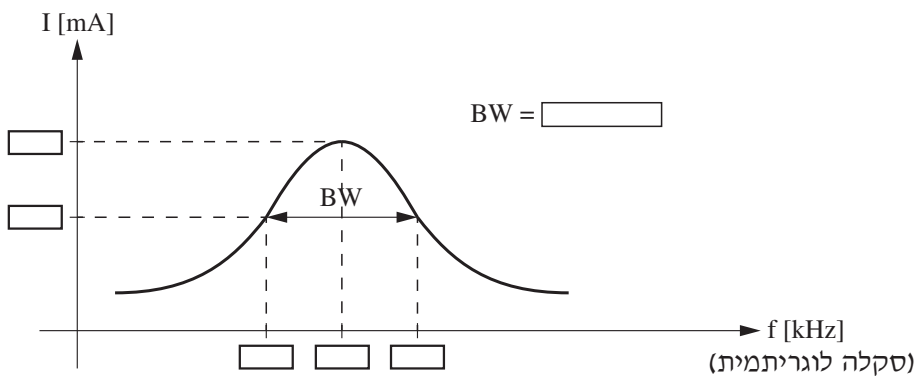
נתון כי: $BW = 0.15 \cdot f_0$.

הזרם במעגל נתון על-ידי הביטוי: $i(t) = 50 \cdot \sin(4\pi \cdot 10^4 \cdot t) \text{ [mA]}$.



איור א' לשאלה 6

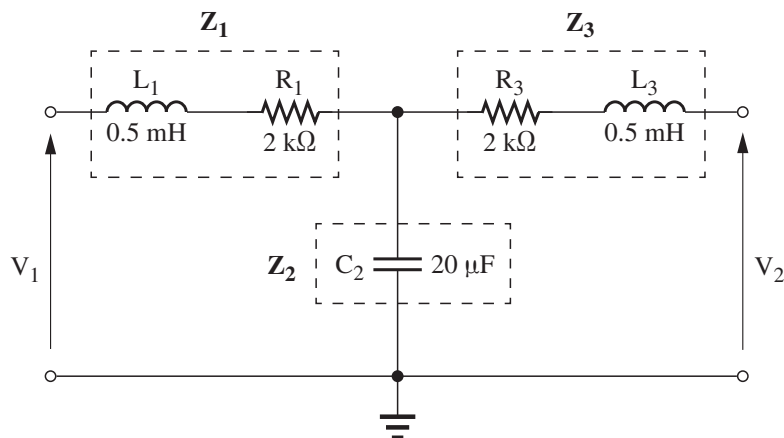
- א. (6 נק') חשב את רוחב הפס, BW , ואת גורם הטיב, Q , של המעגל.
- ב. (4 נק') חשב את התנגדות הנגד R , ואת השראות הסליל L .
- ג. (3 נק') חשב את מתח המקור U .
- ד. (3 נק') חשב את תדרי מחצית ההספק של המעגל.
- ה. (4 נק') באיור ב' לשאלה 6 מתואר עקום ההיענות של המעגל (עוצמת הזרם במעגל כפונקצייה של התדר). העתק את האיור למחברתך, והשלם את הערכים במקומות המסומנים בו.



איור ב' לשאלה 6

שאלה 7

באיור לשאלה 7 נתונה רשת זוגיים סימטרית. נתון: $\omega = 10k \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$.

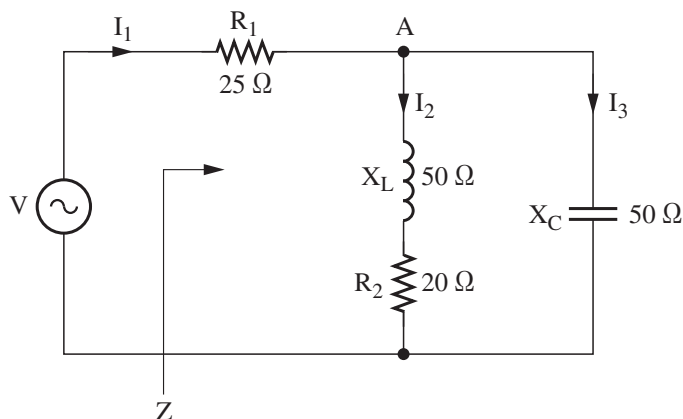


איור לשאלה 7

- 10 נק' א. 1. חשב את העכבות Z_1 , Z_2 ו- Z_3 ברשת.
2. רשום את מטריצת העכבות של רשת הזוגיים.
- 5 נק' ב. 3. חשב את המקדמים A , B , C , D של רשת הזוגיים.
- 5 נק' ג. 4. חיברו בכניסה לרשת זו מקור מתח $V_1 = 12\angle 0^\circ$ [V]. חשב את זרם המבוא (גודל וזווית), כאשר המוצא נמצא בקצר (ניתן להיעזר בפתרונות של הסעיפים הקודמים).

שאלה 8

באיור לשאלה 8 נתון מעגל חשמלי. המתח על הנגד R_1 הוא $V_1 = (1.5 + j0.5) V = 1.58 \angle 18.4^\circ V$.



איור לשאלה 8

9 נק') א. חשב את עכבת המעגל Z , והצג אותה כמספר מרוכב שצורתו:

1. קרטזית - $Z = R + jX$

2. פולארית - $Z = |Z| \angle \alpha$

6 נק') ב. חשב את הזרמים I_1 , I_2 ו- I_3 . הצג את תשובותיך כמספרים מרוכבים בהצגה פולארית.

5 נק') ג. חשב את ההספק הממשי הכולל של המעגל.

פרק שלישי: אנגלית טכנית

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

שאלה 9

בנספח לשאלה 9 מובא קטע ממאמר בשפה האנגלית, העוסק במחשבים.
עליך לענות על הסעיפים שלהלן בעברית, רק על-פי הכתוב במאמר.

- (5 נק') א. מהו מחשוב הטרוגני?
(5 נק') ב. הבא דוגמה למערכת מחשוב הטרוגנית הקיימת בעולם המחשבים של היום.
(5 נק') ג. על איזה עיקרון מתבסס המחשוב המקבילי?
(5 נק') ד. מדוע נחוץ לפתח שפת תכנות חדשה בעולם המחשוב ההטרוגני?

שאלה 10

בנספח לשאלה 10 מובאים דפי-מפרט בשפה האנגלית של הרכיב A3916.
עליך לענות על הסעיפים שלהלן בעברית, רק על-פי הכתוב בדפי-המפרט.

- (4 נק') א. אילו סוגי מנועים ניתן להפעיל באמצעות הרכיב הזה, וכמה מנועים מכל סוג הוא יכול להפעיל בו-זמנית?
(4 נק') ב. מהו הזרם המרבי שהרכיב מסוגל לספק?
(4 נק') ג. אילו רמות לוגיות צריך לספק להדקים IN1 ו-IN2 כדי שמנוע DC המחובר להדקים OUT1A ו-OUT1B יימצא במצב-פעולה "קדימה"?
(4 נק') ד. מה קורה כאשר טמפרטורת הצומת ברכיב עולה על 165°C ?
(4 נק') ה. הסבר את המושג "מצב שינה" של הרכיב.

בהצלחה!

Heterogeneous and Parallel Computing

Inside data centers, one of the major trends is a shift in the computing architecture: from multicore CPUs to heterogeneous computing.

Heterogeneous computing refers to systems that use more than one type of processor to perform specialized processing capabilities.

An example of a heterogeneous computing system is a graphics rendering system that uses a CPU and a graphics processing unit (GPU) to render 3D graphics on a computer. GPUs are especially adept at rendering 3D scenes and performing mathematically intensive computations on large datasets. CPUs are used in the background to perform operating system and data networking tasks.

Heterogeneous computing is becoming more of the standard as systems consolidate and must incorporate several different processor architectures.

Parallel computing is the capability of computers to perform many calculations simultaneously based on the principle that large problems can be broken down into smaller problems and then solved concurrently (*in parallel*). Parallel computing comes in many different forms: bit-level, instruction level, data, and task-based. Parallel computing is no longer just the domain of high-performance computing like IBM's chess-mastering Big Blue.

As power consumption has become more of a design factor in embedded electronics, parallel computing has become the dominant paradigm in computer architecture, most commonly seen in the form of multicore processors.

Data parallelism focuses on the idea of separating data across multiple processors so that it can execute in parallel. Multicore processors often do this by farming out multiple instances of a program to each of the processors to execute these instructions simultaneously.

Task parallelism has to do with a processor farming out computer code blocks known as *threads* across different processors to execute in parallel.

The need for heterogeneous computing is leading to new programming languages to exploit the new hardware.

One example is OpenCL first developed by Apple, Inc. OpenCL is a framework for writing programs that execute across heterogeneous platforms consisting of CPUs, GPUs, DSPs, FPGAs, and other types of processors. OpenCL includes a language for developing *kernels* (functions that execute on hardware devices) as well as application programming interfaces (APIs) that allow a main program to control the kernels. OpenCL allows for parallel computing using task-based and data-based parallelism.



A3916 - Dual DMOS Full-Bridge Motor Driver

FEATURES AND BENEFITS

- Wide, 2.7 to 15 V input voltage operating range
- Dual DMOS full-bridges: drive two DC motors or one stepper motor
- Low $R_{DS(ON)}$ outputs
- Synchronous rectification for reduced power dissipation
- Low-current sleep mode
- Overcurrent protection
- Integrated charge pump

DESCRIPTION

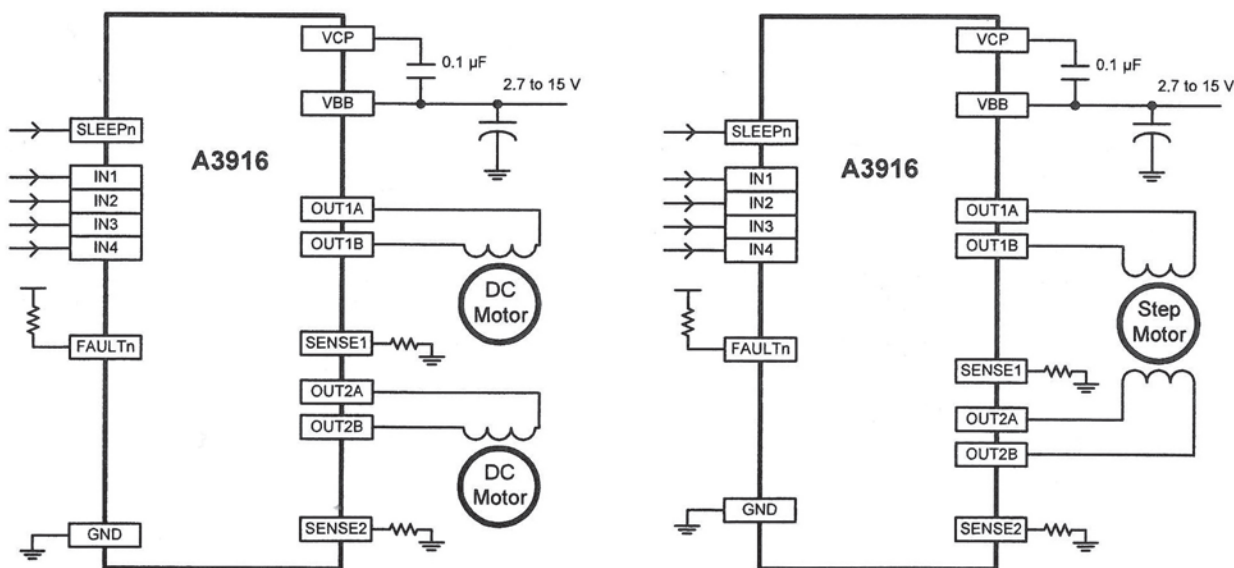
Designed for pulse-width-modulated (PWM) control of low-voltage stepper motors and single and dual DC motors, the A3916 is capable of output currents up to 1 A per channel and operating voltages from 2.7 to 15 V.

The A3916 has an internal fixed off-time PWM timer that sets a peak current based on the selection of a current sense resistor. An output fault flag is provided that notifies the user of a TSD or overcurrent protection event.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Characteristic	Symbol	Rating	Unit
Supply Voltage	V_{BB}	15	V
Output Current	I_{OUT}	1.0	A
Output Current (parallel mode)	$I_{OUT(PAR)}$	1.8	A
Sense Voltage	V_{SENSEx}	0.5	V
		2.5	V
Logic Input Voltage Range	V_{IO}	-0.3 to 5.5	V
Junction Temperature	$T_{J(MAX)}$	150	°C
Storage Temperature Range	T_{stg}	-55 to 150	°C
Operating Temperature Range	T_A	-40 to 105	°C

Figure 1: Typical Applications



A3916

Dual DMOS Full-Bridge Motor Driver

CONTROL LOGIC

Table 1: DC Motor Operation

IN1	IN2	OUT1A	OUT1B	Function
0	0	Off	Off	Disabled
1	0	High	Low	Forward
0	1	Low	High	Reverse
1	1	Low	Low	Brake

IN3	IN4	OUT2A	OUT2B	Function
0	0	Off	Off	Disabled
1	0	High	Low	Forward
0	1	Low	High	Reverse
1	1	Low	Low	Brake

Table 2: Stepper Motor Operation

IN1	IN2	IN3	IN4	OUT1A	OUT1B	OUT2A	OUT2B	Function	
0	0	0	0	Off	Off	Off	Off	Disabled	Disabled
1	0	1	0	High	Low	High	Low	Full Step 1	½ Step 1
0	0	1	0	Off	Off	High	Low	–	½ Step 2
0	1	1	0	Low	High	High	Low	Full Step 2	½ Step 3
0	1	0	0	Low	High	Off	Off	–	½ Step 4
0	1	0	1	Low	High	Low	High	Full Step 3	½ Step 5
0	0	0	1	Off	Off	Low	High	–	½ Step 6
1	0	0	1	High	Low	Low	High	Full Step 4	½ Step 7
1	0	0	0	High	Low	Off	Off	–	½ Step 8

FUNCTIONAL DESCRIPTION

Device Operation

The A3916 is a dual full-bridge motor driver capable of operating one stepper motor, two DC motors, or one high-current DC motor. MOSFET output stages substantially reduce the voltage drop and the power dissipation of the A3916 outputs, compared to typical drivers with bipolar transistors.

Output current can be regulated by pulse-width modulating (PWM) the inputs. In addition to supporting external PWM of the driver, the A3916 limits the peak current by internally PWMing the source driver when the current in the winding exceeds the peak current, as determined by a sense resistor. If internal current limiting is not needed, the sense pin should be shorted to ground.

Internal circuit protection includes thermal shutdown with hysteresis, undervoltage lockout, internal clamp diodes, crossover current protection, and overcurrent protection.

Enable

When all logic inputs are pulled to logic low, the outputs of the bridges are disabled. The charge pump and internal circuitry continue to run when the outputs are disabled.

Thermal Shutdown

The A3916 will disable the outputs if the junction temperature reaches 165°C. When the junction temperature drops 20°C, the outputs will be enabled.

Sleep Mode

An active-low control input used to minimize power consumption when the A3916 is not in use. This disables much of the internal circuitry including the output drivers, internal regulator, and charge pump. A logic high allows normal operation. When coming out of sleep mode, wait 1.5 ms before issuing a command to allow the internal regulator and charge pump to stabilize.

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

נוסחאון באלקטרוניקה ספרתית א'

לכיתה י"ג

(4 עמודים)

משוואות 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]

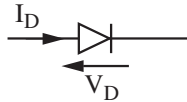
זרם הסליל - I_L [A]

מתח הסליל - V_L [V]

השראות - L [H]

דיודת צומת

סימול:



א. דיודה אידיאלית

ממתח קדמי - $V_D = 0$ (קָצֵר)

ממתח אחורני - $I_D = 0$ (נִתְּק)

ב. קירוב באמצעות V_γ

ממתח קדמי - $V_D = V_\gamma$

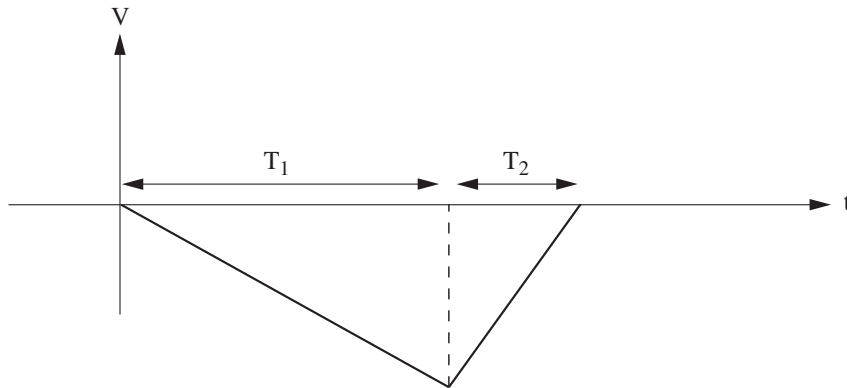
ממתח אחורני - $I_D = 0$ ($V_D < V_\gamma$)

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

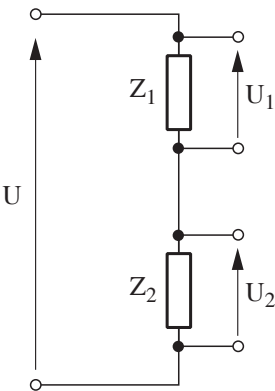
D – הערך העשרוני של המילה הבינארית שבכניסה לממיר

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

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

נוסחאון במבוא להנדסת חשמל לכיתה י"ג

(15 עמודים)

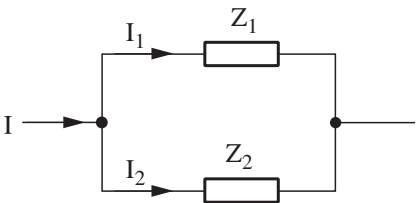


מחלק מתח

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

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

מחלק זרם



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

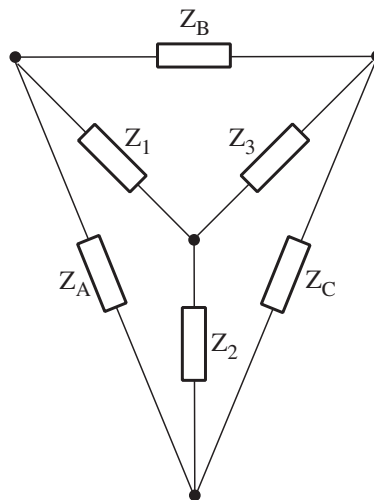
$$I_2 = \frac{I \cdot Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

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]

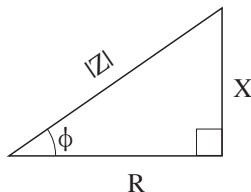
השראות עצמית של סליל 2 - L_2 [H]

היגב ההשראות ההדדית - X_M [Ω]

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

$$Z = R \pm jX$$

משולש העכבות



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

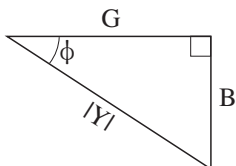
$$\sin \phi = \frac{X}{|Z|} ; \cos \phi = \frac{R}{|Z|} ; \operatorname{tg} \phi = \frac{X}{R}$$

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]

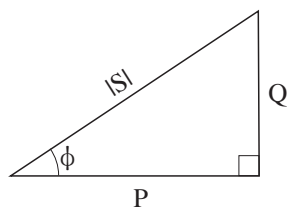
$$P = |I_R| \cdot |U_R| = |I_R|^2 \cdot R = \frac{|U_R|^2}{R}$$

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

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

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

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

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

מקדמים של רשת זוגיים

מקדמי ABCD

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

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

מקדמי Z

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

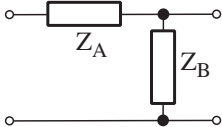
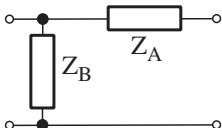
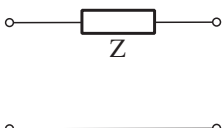
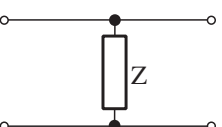
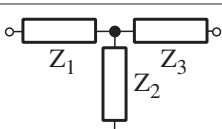
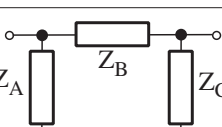
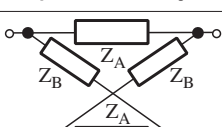
$$\begin{aligned} V_1 &= Z_{11} \cdot I_1 + Z_{12} \cdot I_2 \\ V_2 &= Z_{21} \cdot I_1 + Z_{22} \cdot I_2 \end{aligned}$$

מקדמי Y

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

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

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

הערות

- א. עבור מקדמי ABCD – זרם המוצא I_2 יוצא מהרשת.
עבור מקדמי Y ו-Z – זרם המוצא I_2 נכנס לרשת.
- ב. $|Z|$, $|Y|$ 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

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

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

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

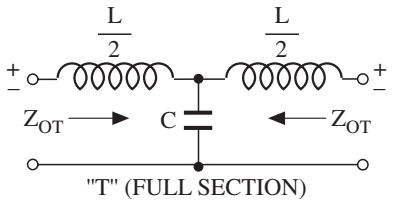
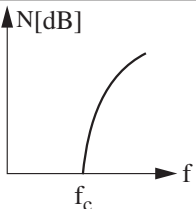
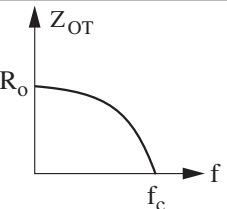
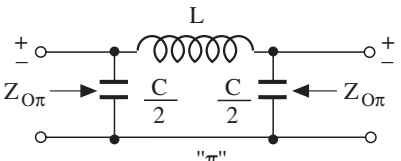
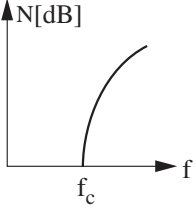
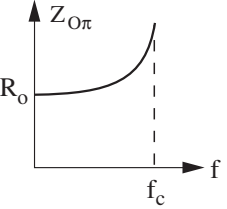
$$1 \text{ neper} = 8.69 \text{ dB}$$

מסננים מסוג K קבוע

התנגדות אופיינית R_o $[\Omega]$ -

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

מסנן LPF מסוג K קבוע

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

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 $\omega < \omega_c$:

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

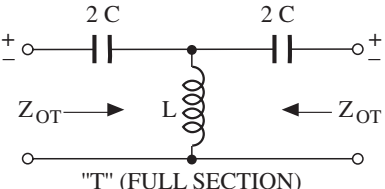
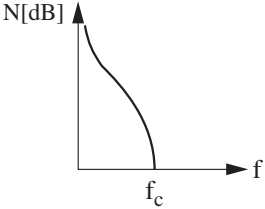
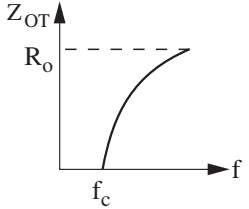
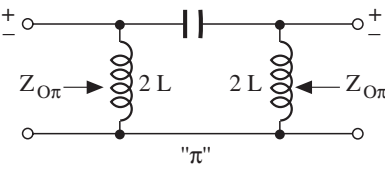
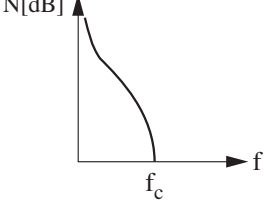
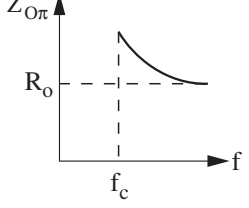
עכבה אופיינית של רשת T סימטרית מעבירה נמוכים Z_{OT} [Ω] -

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

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 תשע"ט

תרגום המונח			המונח
אנגלית	רוסית	ערבית	
quality factor	Коэффициент добротности	عامل النوعية	גורם טיב
real power	Активная мощность	القدرة الفعالة (الحقيقية)	הספק ממשי
operational amplifier	Оперативный усилитель	مُضخَّم تشغيلي	מגבר שרת
current source	Источник тока	مصدر تيار	מקור זרם
power source	Источник напряжения	مصدر طاقة	מקור מתח
comparator	компаратор	مُقارِن	משווה
time constant	постоянная времени	ثابت الوقت	קבוע זמן
capacitor	конденсатор	مُكثِّف	קבל
half power frequencies	Частота половинной мощности	تردد نصف القدرة	תדרי מחצית ההספק
resonance	резонанс	رنين	תהודה