

תורת האלקטרוניקה והחשמל ט'

מגמת הנדסת אלקטרוניקה ומחשבים (כיתה י"ג)

הוראות לנבחנים

- א. משך הבחינה: ארבע שעות ו-45 דקות.
- ב. מבנה השאלון ומפתח ההערכה: בשאלון זה עשר שאלות. עליכם להשיב על חמש שאלות בלבד. לכל שאלה – 20 נקודות. סך-הכול – 100 נקודות.
- ג. חומר עזר מותר בשימוש: 1. מחשבון ומילוני. 2. כל חומר הכתוב (בכתב-יד או בהדפסה) על שלושה דפי A4, הכתובים משני הצדדים.
- ד. הוראות מיוחדות:
- ענו על מספר השאלות הנדרש בשאלון. המעריך יקרא ויעריך את מספר התשובות הנדרש בלבד, לפי סדר כתיבתן במחברת, ולא יתייחס לתשובות נוספות.
 - התחילו כל תשובה לשאלה חדשה בעמוד חדש.
 - כתבו את כל התשובות **אך ורק בעט**.
 - הקפידו לנסח את התשובות כהלכה ולסרטט את התרשימים בבהירות.
 - כתבו את התשובות בכתב-יד ברור, כדי לאפשר הערכה נאותה שלהן.
 - בכל שאלה ניתנו הנתונים לפתרונה. אם לדעתכם חסר נתון, הוסיפו אותו על-פי שיקול דעתכם ופתרו בעזרתו את השאלה. כתבו בתשובה את הנתון שהוספתם.
 - בכתיבת פתרונות חישוביים, קבלת מִרְב הנקודות מותנית בהשלמת כל המהלכים שלהן, בסדר שבו הם כתובים:
 - * כתיבת הנוסחה המתאימה.
 - * הצבה של כל הערכים ביחידות המתאימות.
 - * חישוב (אפשר באמצעות מחשבון).
 - * כתיבת התוצאה המתקבלת, יחד עם יחידות המידה המתאימות.
 - * ליווי הפתרון החישובי בהסבר קצר.
 - בנספח ה' לשאלון מובא מילון מונחים בשפות עברית, אנגלית, רוסית וערבית. תוכלו להיעזר בו בעת הצורך.
 - צרפו את שלושת דפי ה-A4 (חומר העזר שהשתמשם בו) למחברת הבחינה.

הוראות למשגיחים: יש לוודא כי הנבחנים צירפו את דפי ה-A4 למחברת הבחינה.

כתבו במחברת הבחינה בלבד, בעמודים נפרדים, כל מה שברצונכם לכתוב כטייטה (ראשי פרקים, חישובים וכדומה).
כתבו "טייטה" בראש כל עמוד טייטה. כתיבת טייטות כלשהן על דפים שמחוץ למחברת הבחינה עלולה לגרום לפסילת הבחינה!

בשאלון זה 9 עמודים ו-17 עמודי נספחים.

השאלות בשאלון זה מנוסחות בלשון רבים,
אף על פי כן על כל תלמידה וכל תלמיד להשיב עליהן באופן אישי.

בהצלחה!

המשך מעבר לדף

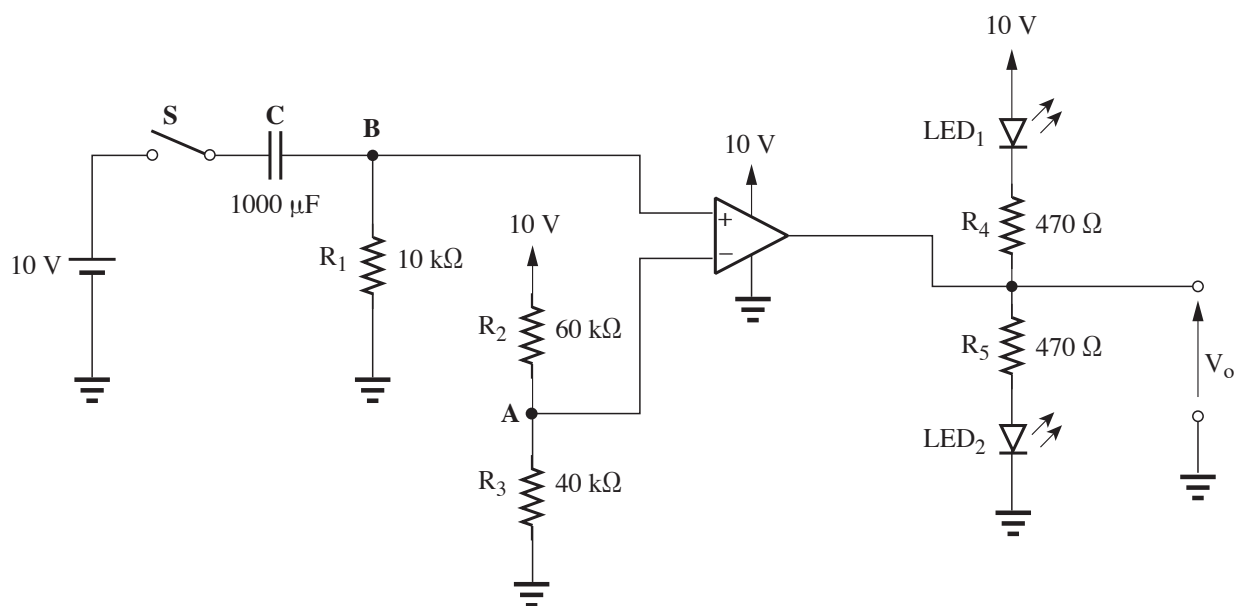
השאלות

ענו על חמש שאלות מן השאלות 1–10 (לכל שאלה – 20 נקודות)

אלקטרוניקה ספרתית א'

שאלה 1

באיור לשאלה 1 נתון מעגל חשמלי הכולל רשת מעבירה גבוהים HP ומשווה. מגבר השרת שבמעגל אידיאלי. המתח על הקבל בזמן $t = 0$ הוא 0 V. נתון: $V_{LED_1} = V_{LED_2} = 1.8$ V.

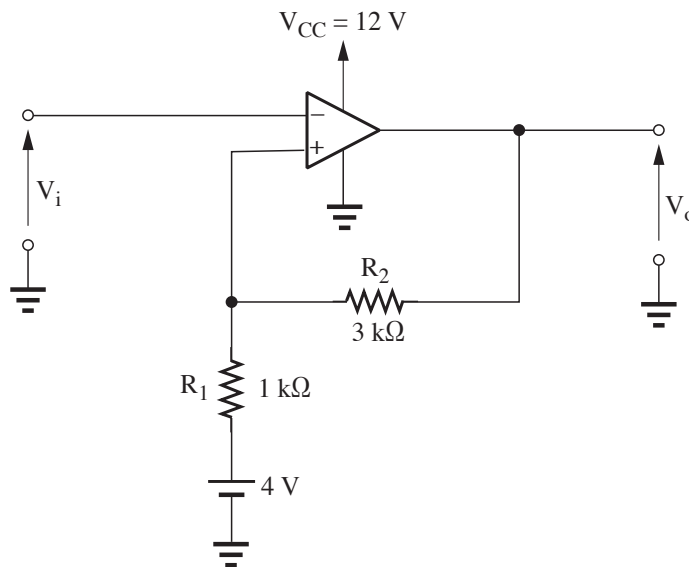


איור לשאלה 1

- א. (5 נק') המפסק S פתוח. חשבו את המתח בנקודות A ו-B ואת מתח המוצא V_o .
- ב. (6 נק') בזמן $t = 0$ סוגרים את המפסק S. סרטטו זו תחת זו בהתאמה, את צורת המתח בנקודה B ואת צורת מתח המוצא V_o כפונקצייה של הזמן בין הזמנים 0 ל-50 שניות.
- ג. (5 נק') ציינו באילו זמנים יידלק LED_1 ובאילו זמנים יידלק LED_2 .
- ד. (4 נק') מהו הזרם הזורם דרך LED_1 כאשר הוא דולק?

שאלה 2

באיור א' לשאלה 2 נתון מעגל חשמלי.
מגבר השרת שבמעגל אידיאלי, ומתחי הרוויה שווים למתחי ההזנה.



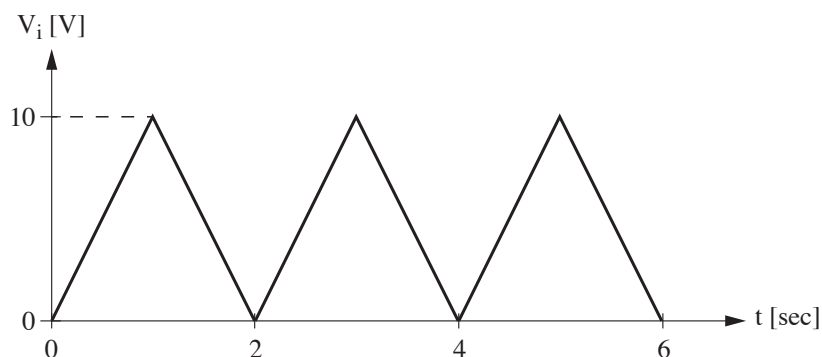
איור א' לשאלה 2

(7 נק') א.

1. חשבו את מתחי הסף של המעגל. (4 נק')
2. סרטטו את אופיין המעבר $V_o = f(V_i)$. ציינו על גבי הסרטוט את ערכי המתחים הרלוונטיים. (3 נק')

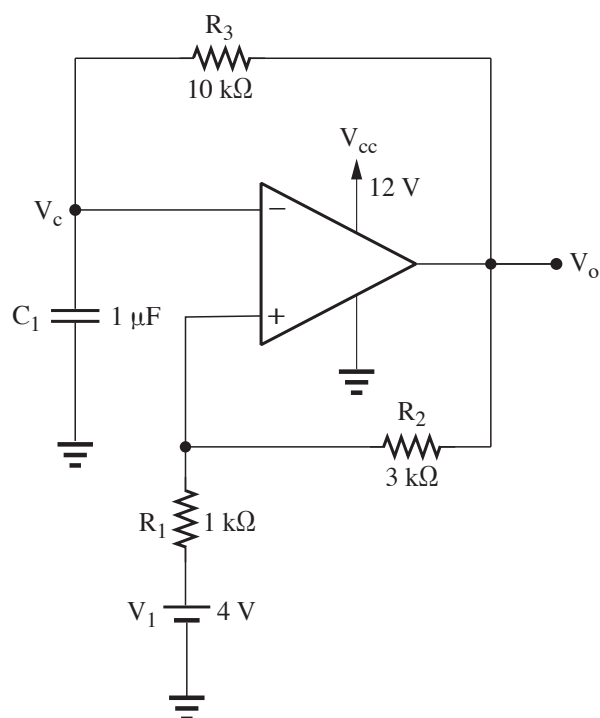
(6 נק') ב.

באיור ב' לשאלה מתוארת צורת אות המבוא V_i של המעגל.
העתיקו למחברתכם את צורת אות המבוא V_i וסרטטו מתחתיה, בהתאמה, את הצורה של אות המוצא V_o .
(ציינו על גבי הסרטוט את ערכי המתח ואת ערכי הזמן הרלוונטיים).



איור ב' לשאלה 2

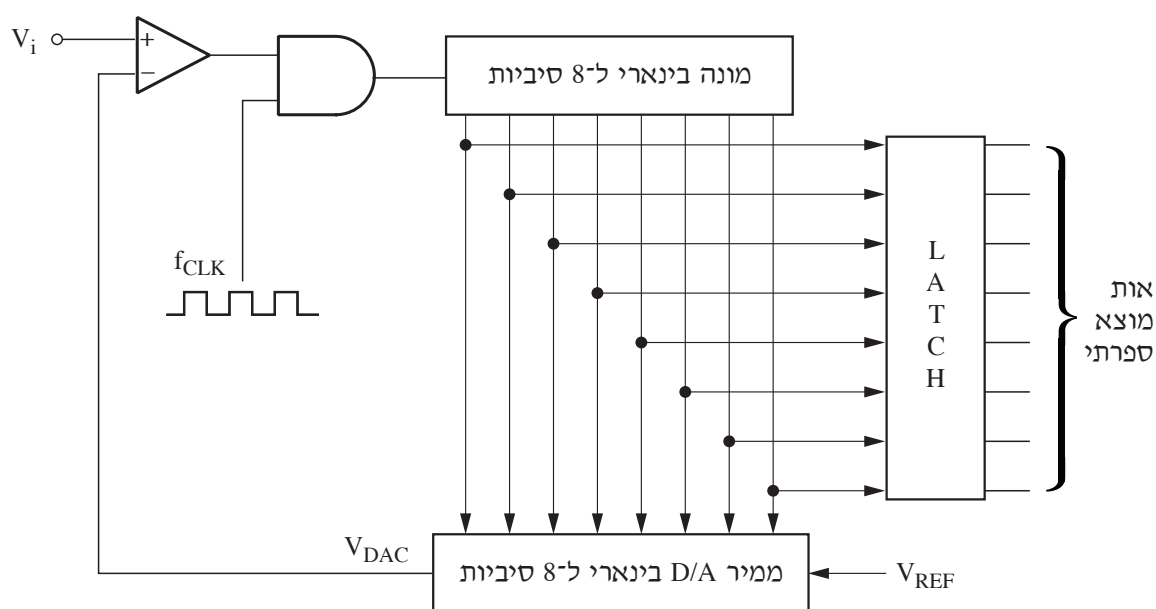
ג. (7 נק') החליפו את מקור מתח הכניסה ובמקומו חיברו נגד וקבל כמתואר באיור ג' לשאלה. חשבו את תדר התנודות ואת מחזור הפעולה (Duty Cycle).



איור ג' לשאלה 2

שאלה 3

באיור לשאלה 3 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 3

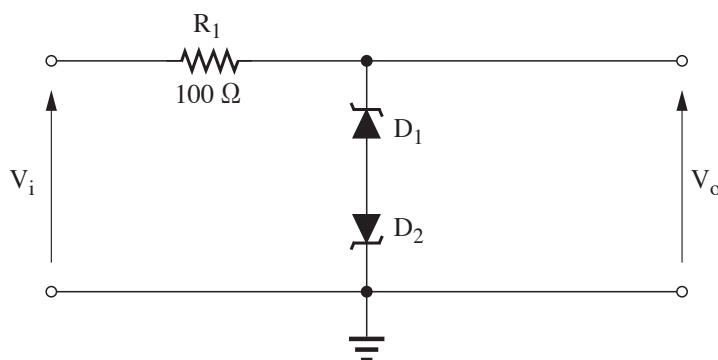
- (5 נק') א. עבור מתח כניסה V_i של 1.25 V מתקבל במוצא הצירוף הבינארי 01000000. חשבו את המתח V_{REF} .
- (5 נק') ב. חשבו את רזולוציית הממיר.
- (5 נק') ג. מהו ערכו המרבי של מתח המבוא V_i הניתן להמרה בממיר זה?
- (5 נק') ד. מהו זמן ההמרה המרבי של אות המבוא על-ידי ממיר זה? (הזניחו את זמני ההשהיה של הרכיבים במעגל).

שאלה 4

באיור א' לשאלה 4 נתון מעגל חשמלי.

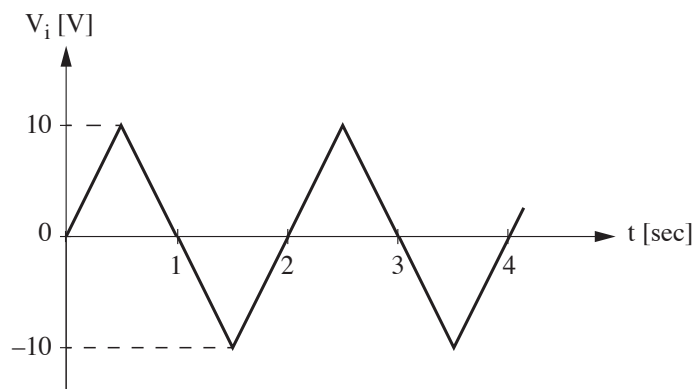
נתוני דיודות הזנר:

$$\begin{aligned} D_1: V_{Z1} &= 3.3 \text{ V}, V_{D,on} = 0.7 \text{ V} \\ D_2: V_{Z2} &= 4.3 \text{ V}, V_{D,on} = 0.7 \text{ V} \end{aligned}$$



איור א' לשאלה 4

- (9 נק') א. מצאו את מתח המוצא כאשר:
- (1) $V_i = -6 \text{ V}$
 - (2) $V_i = 2 \text{ V}$
 - (3) $V_i = 6 \text{ V}$
- (6 נק') ב. סרטטו אופיין מעבר $V_o = f(V_i)$ וציינו על גבי הסרטוט את ערכי הקצה.
- (5 נק') ג. באיור ב' לשאלה מתואר אות מבוא שצורתו משולש סימטרי כפונקצייה של הזמן.



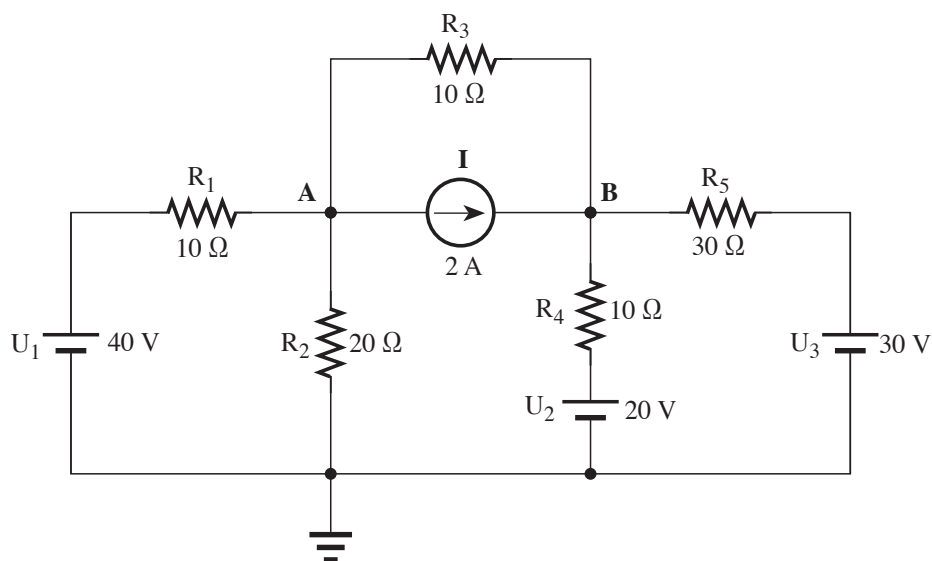
איור ב' לשאלה 4

העתיקו למחברת את צורת אות מתח המבוא V_i וסרטטו מתחתייה בהתאמה את צורת אות מתח המוצא $V_o(t)$ כפונקצייה של הזמן. ציינו על-גבי הסרטוט ערכי זמנים ורמות מתחים.

תורת החשמל

שאלה 5

באיור לשאלה 5 מתואר מעגל חשמלי:

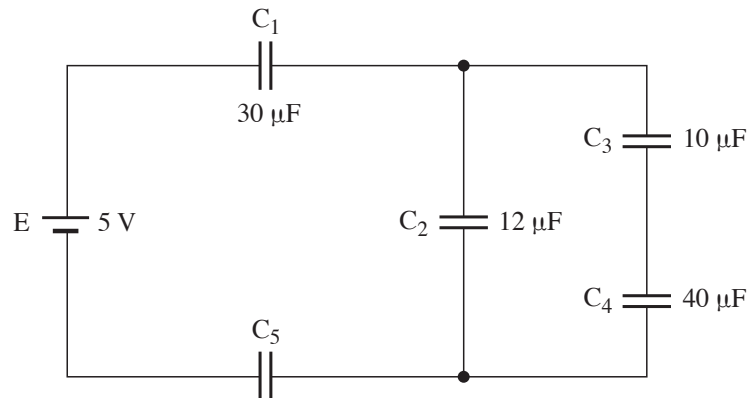


איור לשאלה 5

- א. (8 נק') חשבו את הזרם הזורם בנגד R_1 .
- ב. (6 נק') מהו המתח בנקודה B?
- ג. (6 נק') מהו ההספק המתפתח על נגד R_3 ?

שאלה 6

באיור לשאלה 6 מתואר מעגל חשמלי. נתון כי המטען האגור בקבל C_5 שווה ל- $36 \mu\text{C}$.

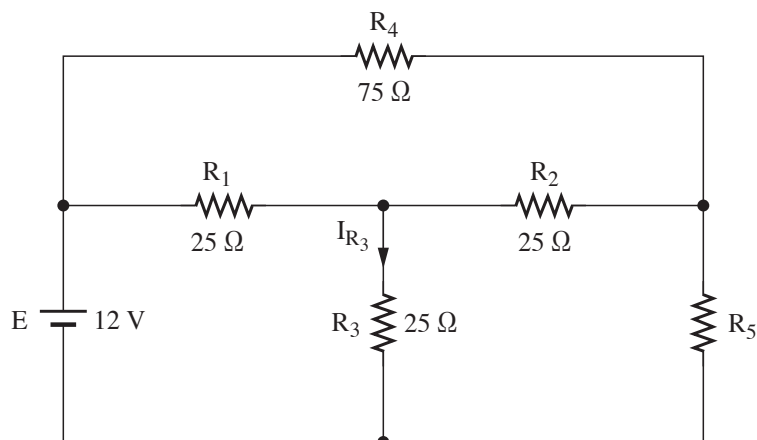


איור לשאלה 6

- א. (5 נק') חשבו את הקיבול השקול, C_T .
- ב. (5 נק') חשבו את המטען של הקבל C_2 .
- ג. (5 נק') חשבו את האנרגייה האגורה בקבל C_4 .
- ד. (5 נק') חשבו את ערכו של הקבל C_5 .

שאלה 7

באיור לשאלה 7 נתון מעגל חשמלי. נתון כי הזרם הזורם דרך הנגד R_3 הוא 0.2 A .

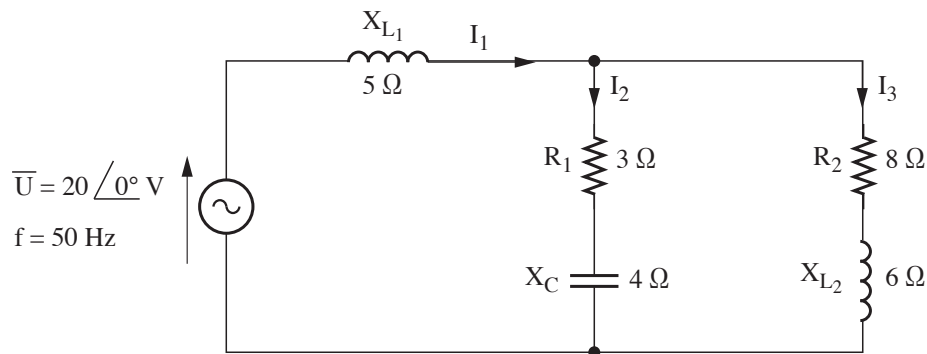


איור לשאלה 7

- א. (6 נק') חשבו את ההספק המתפתח בנגד R_1 .
- ב. (6 נק') חשבו את המתח על הנגד R_5 .
- ג. (8 נק') חשבו את התנגדות הנגד R_5 ואת ההתנגדות השקולה, R_T , של המעגל.

שאלה 8

באיור לשאלה 8 נתון מעגל חשמלי לזרם חילופין.



איור לשאלה 8

- א. (4 נק') חשבו את קיבול הקבל במעגל.
- ב. (4 נק') חשבו את העכבה השקולה של המעגל. הציגו את התשובה כמספר מרוכב.
- ג. (6 נק') חשבו את הזרם I_2 . הציגו את התשובה כמספר מרוכב.
- ד. (6 נק')
1. (4 נק') חשבו את ההספק הממשי, את ההספק העיוור ואת ההספק המדומה של המעגל.
2. (2 נק') סרטטו את משולש ההספקים של המעגל. ציינו על-גבי הסרטוט את הערכים שחישבתם בסעיף ד1.

אנגלית טכנית

שאלה 9

בנספח לשאלה 9 מובא קטע של מאמר בשפה האנגלית.

ענו על הסעיפים הבאים בעברית, רק על-פי הכתוב במאמר.

- (4 נק') א. מדוע גדלה הפופולריות של ה-ESP32 בשנים האחרונות?
- (4 נק') ב. ציינו שלושה פרוטוקולים של קישוריות משולבת, שבהם תומך ה-ESP32.
- (4 נק') ג. מהו תדר הפעולה המרבי של ה-ESP32?
- (4 נק') ד. ציינו שלושה עיבודים או התמרות שניתן לבצע באמצעות ה-ESP32.
- (4 נק') ה. ציינו שני התקני רשת של ה-WiFi שה-ESP32 מאפשר להשתמש בהם.

שאלה 10

בנספח לשאלה 10 מובאים דפי מפרט של רכיב אלקטרוני בשפה האנגלית.

ענו על הסעיפים הבאים בעברית על פי הכתוב בדפי המפרט.

- (4 נק') א. כמה אופני פעולה יש לרכיב? מהם?
- (4 נק') ב. כיצד גורמים לרכיב לבצע הזזה ימינה?
- (4 נק') ג. מה התפקיד של רגל 7 ברכיב?
- (4 נק') ד. מה משמעות הסימון X בטבלת האמת?
- (4 נק') ה. מהי טמפרטורת הפעולה המרבית של הרכיב?

בהצלחה!

Introduction to ESP32

- 1 ESP32 is the SoC (System on Chip) microcontroller which has gained massive popularity recently. Whether the popularity of ESP32 grew because of the growth of IoT (The Internet of things) or whether IoT grew because of the introduction of ESP32 is debatable. If you know 10 people who have been part of the firmware development for any IoT device, chances are that 7–8 of them would have worked on ESP32 at some point. So what is the hype all about? Why has ESP32 become so popular so quickly? Let's find out.

Before we delve into the actual reasons for the popularity of ESP32, let's take a look at some of its important specifications. The specs listed below belong to the ESP32 WROOM 32 variant.

- Integrated Crystal – 40 MHz
- Module Interfaces – UART, SPI, I2C, PWM, ADC, DAC, GPIO, pulse counter, capacitive touch sensor
- Integrated SPI flash – 4 MB
- 15 • ROM – 448 KB (for booting and core functions)
- SRAM – 520 KB
- Integrated Connectivity Protocols – WiFi, Bluetooth, BLE
- On-chip sensor – Hall sensor
- Operating temperature range – $(-40^{\circ}) \div (85^{\circ})$ degrees Celsius
- 20 • Operating Voltage – 3.3V
- Operating Current – 80 mA (average)

With the above specifications in front of you, it is very easy to decipher the reasons for ESP32's popularity. Consider the requirements an IoT device would have from its microcontroller (μC). If you've gone through the previous chapter, you'd have realized that the major operational blocks of any IoT device are sensing, processing, storage, and transmitting. Therefore, to begin with, the μC should be able to interface with a variety of sensors. It should support all the common communication protocols required for sensor interface: UART, I2C, SPI. It should have ADC and pulse counting capabilities. ESP32 fulfills all of these requirements. On top of that, it also can interface with capacitive touch sensors. Therefore, most common sensors can interface seamlessly with ESP32.

Secondly, the μ C should be able to perform basic processing of the incoming sensor data, Sometimes at high speeds, and have sufficient memory to store the data. ESP32 has a max operating frequency of 40 MHz, which is sufficiently high. It has two cores, allowing parallel processing, which is a further add-on.

Finally, its 520 KB SRAM is sufficiently large for processing a large array of data onboard. Many popular processes and transforms, like FFT, peak detection, RMS calculation, etc. can be performed onboard ESP32. On the storage front, ESP32 goes a step ahead of the conventional microcontrollers and provides a file system within flash. Out of the 4 MB of onboard flash, by default, 1.5 MB is reserved as SPIFFS (SPI Flash File System). Think of it as a mini-SD Card that lies within the chip itself. You can not only store data, but also text files, images, HTML and CSS files, and a lot more within SPIFFS. People have displayed beautiful webpages on WiFi servers created using ESP32, by storing HTML files within SPIFFS.

Finally, for transmitting data, ESP32 has integrated WiFi and Bluetooth stacks, which have proven to be a game-changer. No need to connect a separate module (like a GSM module or an LTE module) for testing cloud communication. Just have the ESP32 board and a running WiFi, and you can get started. ESP32 allows you to use WiFi in Access Point as well as Station Mode. While it supports TCP/IP, HTTP, MQTT, and other traditional, communication protocols it also supports HTTPS. Yep, you heard that right. It has a crypto-core or a crypto-accelerator, a dedicated piece of hardware whose job is to accelerate the encryption process. So you cannot only communicate with your web server, you can do so securely. BLE support is also critical for several applications. Of course, you can interface LTE or GSM or LoRa modules with ESP32. Therefore, on the transmitting data' front as well, ESP32 exceeds expectations.

With so many features, ESP32 would be costing a fortune, right? That's the best part. ESP32 dev modules cost in the ballpark of 500 INR (Indian rupee). Not only that, the chip dimensions are quite small (25 mm $\times$ 18 mm, including the antenna area), allowing its use in devices requiring a very small form factor.

Finally, ESP32 can be programmed using the Arduino IDE, making the learning curve much less steep. Isn't that great? Are you excited to get your hands dirty with ESP32?

Introduction to ESP32 (n.d.)

https://www.tutorialspoint.com/esp32_for_iot_introduction.htm

74LS194

4-Bit Bidirectional Universal Shift Register

General Description

This bidirectional shift register is designed to incorporate virtually all of the features a system designer may want in a shift register; they feature parallel inputs, parallel outputs, right-shift and left-shift serial inputs, operating-mode-control inputs, and a direct overriding clear line. The register has four distinct modes of operation, namely:

- Parallel (broadside) load
- Shift right (in the direction Q_A toward Q_D)
- Shift left (in the direction Q_D toward Q_A)
- Inhibit clock (do nothing)

Synchronous parallel loading is accomplished by applying the four bits of data and taking both mode control inputs, S_0 and S_1 , HIGH. The data is loaded into the associated flip-flops and appear at the outputs after the positive transition of the clock input. During loading, serial data flow is inhibited.

Shift right is accomplished synchronously with the rising edge of the clock pulse when S_0 is HIGH and S_1 is LOW. Serial data for this mode is entered at the shift-right data input. When S_0 is LOW and S_1 is HIGH, data shifts left synchronously and new data is entered at the shift-left serial input.

Clocking of the flip-flop is inhibited when both mode control inputs are LOW.

Features

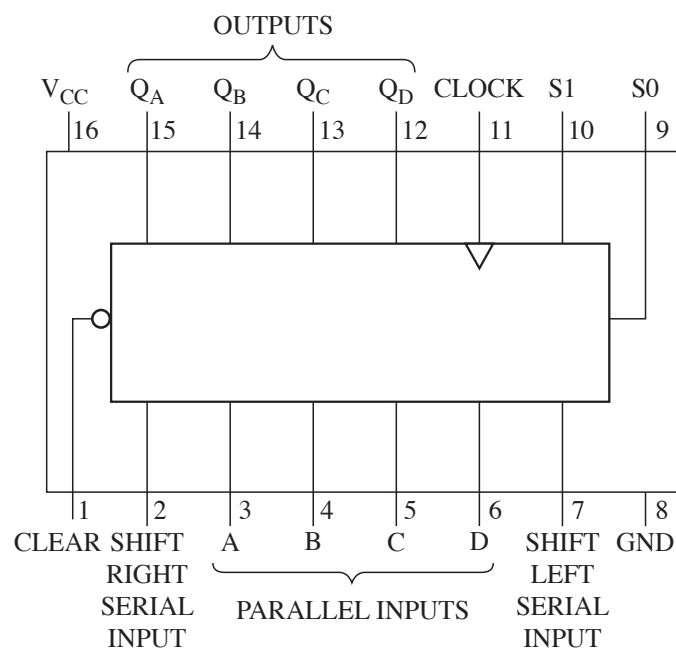
- Parallel inputs and outputs
- Four operating modes:
 - Synchronous parallel load
 - Right shift
 - Left shift
 - Do nothing
- Positive edge-triggered clocking
- Direct overriding clear

Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
DM74LS194AM	M16A	16-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-012, 0.150 Narrow
DM74LS194AN	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 the suffix letter "X" to the ordering code.

Connection Diagram

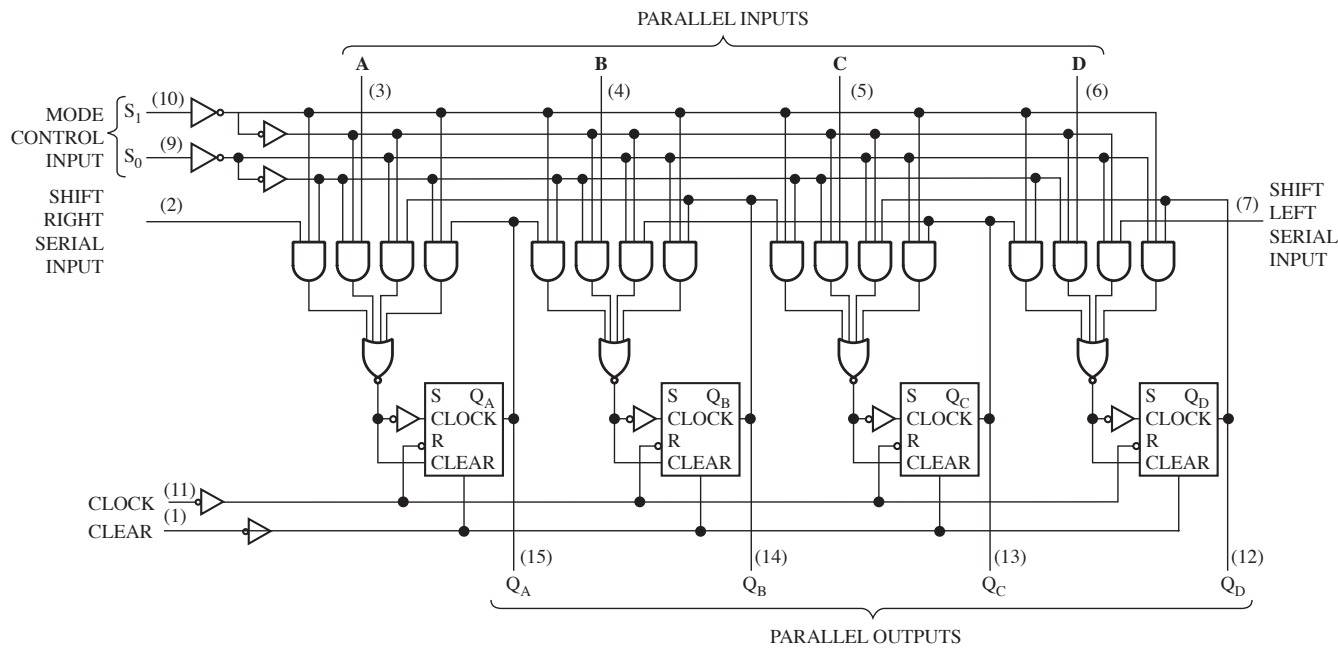


Function Table

Inputs										Outputs			
Clear	Mode		Clock	Serial		Parallel				Q _A	Q _B	Q _C	Q _D
	S ₁	S ₀		Left	Right	A	B	C	D				
L	X	X	X	X	X	X	X	X	X	L	L	L	L
H	X	X	L	X	X	X	X	X	X	Q _{A0}	Q _{B0}	Q _{C0}	Q _{D0}
H	H	H	↑	X	X	a	b	c	d	a	b	c	d
H	L	H	↑	X	H	X	X	X	X	H	Q _{An}	Q _{Bn}	Q _{Cn}
H	L	H	↑	X	L	X	X	X	X	L	Q _{An}	Q _{Bn}	Q _{Cn}
H	H	L	↑	H	X	X	X	X	X	Q _{Bn}	Q _{Cn}	Q _{Dn}	H
H	H	L	↑	L	X	X	X	X	X	Q _{Bn}	Q _{Cn}	Q _{Dn}	L
H	L	L	X	X	X	X	X	X	X	Q _{A0}	Q _{B0}	Q _{C0}	Q _{D0}

H = HIGH Level (steady state)
L = LOW Level (steady state)
X = Don't Care (any input, including transitions)
↑ = Transition from LOW-to-HIGH level
a, b, c, d = The level of steady state input at inputs A, B, C or D, respectively.
Q_{A0}, Q_{B0}, Q_{C0}, Q_{D0} = The level of Q_A, Q_B, Q_C, or Q_D, respectively, before the indicated steady state input conditions were established.
Q_{An}, Q_{Bn}, Q_{Cn}, Q_{Dn} = The level of Q_A, Q_B, Q_C, respectively, before the most-recent ↑ transition of the clock.

Logic Diagram



Absolute Maximum Ratings(Note 1)

Supply Voltage	7V
Input Voltage	7V
Operating Free Air Temperature Range	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C

Note 1: The "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. The device should not be operated at these limits. The parametric values defined in the Electrical Characteristics tables are not guaranteed at the absolute maximum ratings. The "Recommended Operating Conditions" table will define the conditions for actual device operation.

Recommended Operating Conditions

Symbol	Parameter		Min	Nom	Max	Units
V _{CC}	Supply Voltage		4.75	5	5.25	V
V _{IH}	HIGH Level Input Voltage		2			V
V _{IL}	LOW Level Input Voltage				0.8	V
I _{OH}	HIGH Level Output Current				-0.4	mA
I _{OL}	LOW Level Output Current				8	mA
f _{CLK}	Clock Frequency (Note 2)		0		25	MHz
	Clock Frequency (Note 3)		0		20	
t _W	Pulse Width (Note 4)	Clock	20			ns
		Clear	20			
t _{SU}	Setup Time (Note 4)	Mode	30			ns
		Data	20			
t _H	Hold Time (Note 4)		0			ns
t _{REL}	Clear Release Time (Note 4)		25			ns
T _A	Free Air Operating Temperature		0		70	°C

Note 2: C_L = 15 pF, T_A = 25°C and V_{CC} = 5V.

Note 3: C_L = 50 pF, R_L = 2 kΩ, T_A = 25°C and V_{CC} = 5V.

Note 4: T_A = 25°C and V_{CC} = 5V.

Electrical Characteristics

over recommended operating free air temperature range (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ (Note 5)	Max	Units
V _I	Input Clamp Voltage	V _{CC} = Min, I _I = -18 mA			-1.5	V
V _{OH}	HIGH Level Output Voltage	V _{CC} = Min, I _{OH} = Max V _{IL} = Max, V _{IH} = Min	2.7	3.4		V
V _{OL}	LOW Level Output Voltage	V _{CC} = Min, I _{OL} = Max V _{IL} = Max, V _{IH} = Min		0.35	0.5	V
		I _{OL} = 4 mA, V _{CC} = Min			0.4	
I _I	Input Current @ Max Input Voltage	V _{CC} = Max, V _I = 7V			0.1	mA
I _{IH}	HIGH Level Input Current	V _{CC} = Max, V _I = 2.7V			20	μA
I _{IL}	LOW Level Input Current	V _{CC} = Max, V _I = 0.4V			-0.4	mA
I _{OS}	Short Circuit Output Current	V _{CC} = Max (Note 6)	-20		-100	mA
I _{CC}	Supply Current	V _{CC} = Max (Note 7)		15	23	mA

Note 5: All typicals are at V_{CC} = 5V, T_A = 25°C.

Note 6: Not more than one output should be shorted at a time, and the duration should not exceed one second.

Note 7: With all outputs open, inputs A through D grounded, and 4.5V applied to S0, S1, CLEAR, and the serial inputs, I_{CC} is tested with momentary ground, then 4.5V applied to CLOCK.

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

נוסחאון באלקטרוניקה ספרתית א' לכיתה י"ג (4 עמודים)

משוואות הדפקים היסודית

מתח מוצא	–	$u(t) [V]$
מתח סופי (עבור $t \rightarrow \infty$)	–	$V_{\infty} [V]$
מתח התחלתי	–	$V_{0+} [V]$
זמן	–	$t [\text{sec}]$
קבוע הזמן	–	$\tau [\text{sec}]$
זרם מוצא	–	$I(t) [A]$
זרם סופי (עבור $t \rightarrow \infty$)	–	$I_{\infty} [A]$
זרם התחלתי	–	$I_{0+} [A]$
התנגדות שקולה ש"רואה" הרכיב ההיגבי, מחושבת לפי משפט תבנין	–	$R_{eq} [\Omega]$

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

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

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

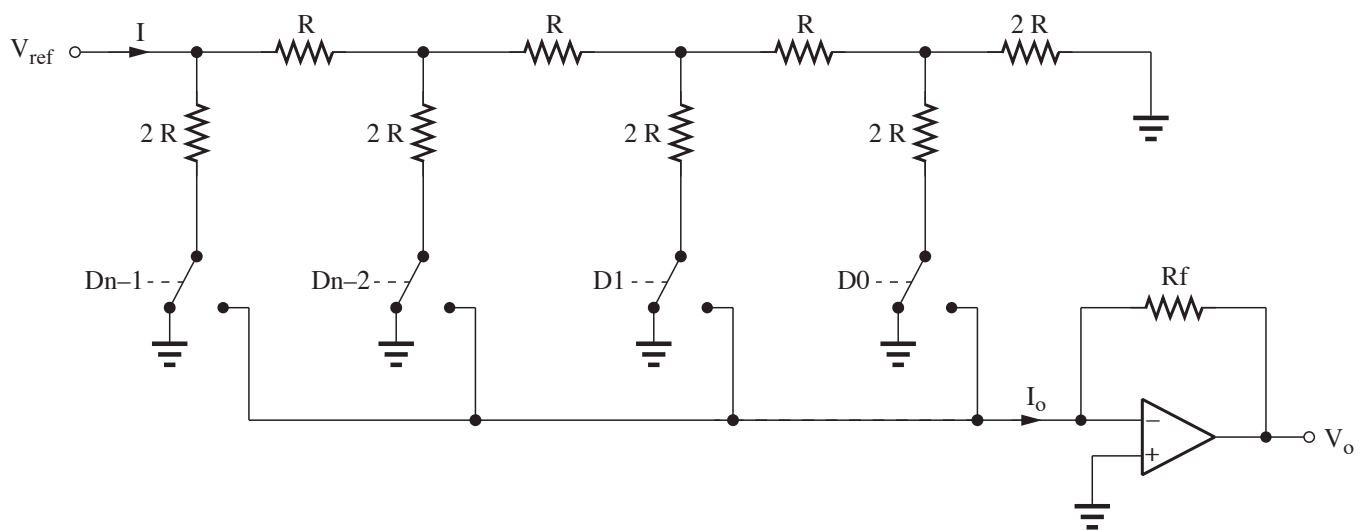
$$t = \tau \cdot \ln \frac{V_{\infty} - V_{0+}}{V_{\infty} - u(t)}$$

$$t = \ln \frac{I_{\infty} - I_{0+}}{I_{\infty} - i(t)}$$

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

- n מספר הסיביות
- V_{REF} [V] מתח ייחוס
- R [Ω] ערך הנגד ברשת הסולם
- R_f [Ω] ערך נגד המשוב
- הערך העשרוני של המילה
הבינארית שבכניסה
לממיר - D

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



ממיר A/D הפועל בשיטת ADC Counting Converter

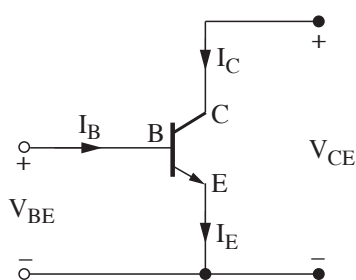
זמן המרה	-	T_{CON}	
מספר הסיביות של הממיר	-	n	$T_{CON} = \frac{2^n}{f_{CLK}}$
תדר השעון	-	f_{CLK}	

ממיר A/D מסוג קירוב רציף - SUCCESSIVE APPROXIMATION

זמן המרה	-	T_{CON}	
מספר הסיביות של הממיר	-	n	$T_{CON} = \frac{n+1}{f_{CLK}}$
תדר השעון	-	f_{CLK}	

טרנזיסטור דו קוטבי BJT (Bipolar Junction Transistor)

תחום רווייה



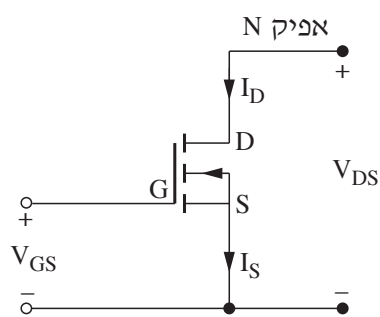
מתח רווייה בין קולט לפולט	-	$V_{CE_{SAT}} [V]$
זרם בסיס	-	$I_B [A]$
זרם קולט	-	$I_C [A]$
הגבר זרם	-	$\beta = \frac{I_C}{I_B}$

$$\begin{aligned} V_{CE} &= V_{CE_{SAT}} \\ \beta \cdot I_B &> I_C \end{aligned}$$

סף רווייה של התחום הפעיל

$$\begin{aligned} V_{CE} &= V_{CE_{SAT}} \\ \beta \cdot I_B &= I_C \end{aligned}$$

טרנזיסטור MOSFET N Channel מסוג הרחבה (Enhancement)



K - מקדם $\left(\frac{A}{V^2}\right)$

$$K = \frac{I_{DSS}}{V_T^2}$$

V_T - מתח צביטה (V)

תחום רוויה

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

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

תחום ההתנגדות

חישוב מקורב עבור מתח VDS נמוך:

$$I_D \cong 2K \cdot (V_{GS} - V_T) \cdot V_{DS}$$

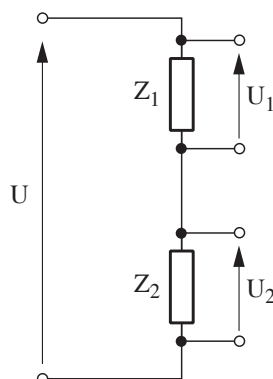
אזור קיטעון

$$I_D = 0, V_{GS} \leq V_T$$

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

נוסחאון במבוא להנדסת חשמל לכיתה י"ג

(7 עמודים)

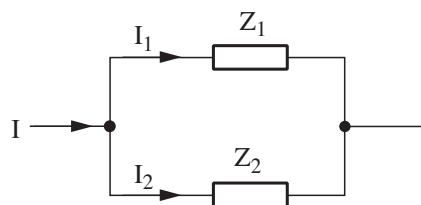


כלל מחלק המתח

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

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

כלל מחלק הזרם



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

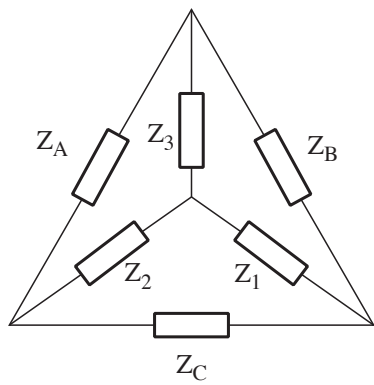
$$I_2 = I \cdot \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

המרת עכבות מחיבור כוכב למשולש

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

המרת עכבות מחיבור משולש לכוכב

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



קבל לוחות

$$\epsilon_o = \frac{1}{36\pi \cdot 10^9} = 8.85 \cdot 10^{-12} \cdot \left[\frac{F}{m} \right]$$

$$\epsilon = \epsilon_o \cdot \epsilon_r$$

$$C = \frac{\epsilon A}{d}$$

$$C = \frac{Q}{U}$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot C U^2$$

$$W = \frac{Q \cdot U}{2}$$

$$W = \frac{Q^2}{2C}$$

קבוע דיאלקטרי של החומר	-	ϵ	[F / m]
קבוע דיאלקטרי של הריק	-	ϵ_o	[F / m]
קבוע דיאלקטרי יחסי	-	ϵ_r	
קיבול הקבל	-	C	[F]
המתח על הקבל	-	U	[V]
מטען הקבל	-	Q	[C]
המרחק בין לוחות הקבל	-	d	[m]
שטח החתך של לוחות הקבל	-	A	[m ²]
האנרגייה החשמלית האגורה בקבל	-	W	[W · sec או J]

זרם חילופין סינוסואידלי

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

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

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

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

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

$$\omega = 2\pi f$$

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

$$X_L = \omega L$$

ערך רגעי של הזרם	-	$i(t)$	[A]
ערך מרבי של הזרם (תנופת הזרם)	-	$I_{\max}$	[A]
זווית מופע	-	φ	[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]

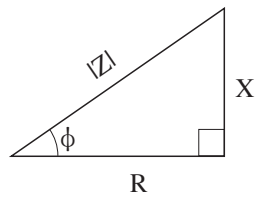
משולש העכבות

$$Z = R \pm jX$$

התנגדות המעגל - R $[\Omega]$

היגב המעגל - X $[\Omega]$

עכבת המעגל - Z $[\Omega]$



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

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

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

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{X}{R}$$

הספקים בזרם חילופין

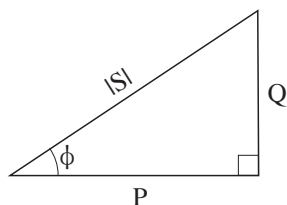
הספק פעיל	-	P	[W]
הערך המוחלט של הזרם בנגד	-	$ I_R $	[A]
הערך המוחלט של המתח על הנגד	-	$ U_R $	[V]
הספק היגבי	-	Q	[VA _r]
הערך המוחלט של זרם ההיגב	-	$ I_X $	[A]
הערך המוחלט של מתח ההיגב	-	$ U_X $	[V]
הספק מדומה	-	S	[VA]
הערך המוחלט של זרם העכבה	-	$ I_Z $	[A]
הערך המוחלט של מתח העכבה	-	$ U_Z $	[V]
הצמוד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

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$BW = \frac{f_0}{Q_0}$$

תדירות התהודה	-	f_0	[Hz]
השראות	-	L	[H]
קיבול	-	C	[F]
גורם הטיב של המעגל בתהודה	-	Q_0	
רוחב הפס	-	BW	[Hz]

גורם הטיב במעגל טורי

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

תדירות זוויתית בתהודה	-	ω_0	[rad / sec]
התנגדות	-	R	[Ω]

גורם הטיב במעגל מקבילי

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

נספח ה': מילון מונחים
לשאלון 711001, אביב תשפ"ד

תרגום המונח			המונח
אנגלית	רוסית	ערבית	
inductive	Индуктивное	مَحَاثِّي	השראותי
characteristic resistance	Характерное сопротивление	المَقَاوِمَةُ المُمَيَّزَة	התנגדות אופיינית
operational amplifier	Оперативный усилитель	مُضَخِّم 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 العقود	שיטת מתחי הצמתים
resonance	резонанс	رنين	תהודה