

מערכות אלקטרוניות ג'

שתי יחידות לימוד (השלמה לחמש יחידות לימוד)

(כיתה י"ב)

הוראות לנבחן

- א. משך הבחינה: שלוש שעות.
- ב. מבנה השאלון ומפתח ההערכה: בשאלון שני פרקים, ובהם תשע שאלות. יש לענות על חמש שאלות בלבד, שאלה אחת לפחות מכל פרק.
לכל שאלה – 20 נקודות. סך-הכל – 100 נקודות.
- ג. חומר עזר מותר לשימוש: מחשבון.
- ד. הוראות מיוחדות:
 1. ענה על מספר השאלות הנדרש בשאלון. המעריך יקרא ויעריך את מספר התשובות 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 שלהלן, בסדר שבו הם רשומים:
 - * רישום הנוסחה המתאימה.
 - * הצבה של כל הערכים ביחידות המתאימות.
 - * חישוב (אפשר באמצעות מחשבון).
 - * רישום התוצאה המתקבלת בציון יחידות המידה המתאימות.
 - * ליווי הפתרון החישובי בהסבר קצר.

בשאלון זה 7 עמודים ו-5 עמודי נוסחאון.

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

בהצלחה!

השאלות

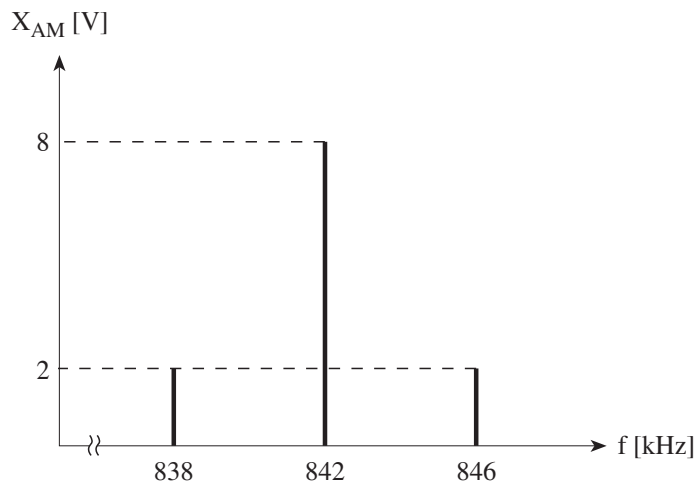
בשאלון זה שני פרקים, ובהם תשע שאלות. יש לענות על חמש שאלות בלבד, שאלה אחת לפחות מכל פרק.

פרק ראשון: תקשורת תקבילית

ענה על שאלה אחת לפחות מבין השאלות 1–5 (לכל שאלה – 20 נקודות).

שאלה 1

באיור לשאלה 1 מתואר ספקטרום התדרים של אות AM, המשודר על-ידי אנטנה שהתנגדותה 50Ω .



איור לשאלה 1

- רשום ביטוי המתאר את האות המאופנן כפונקציה של הזמן, $X_{AM}(t)$.
- חשב את הספק האות המאופנן.
- חשב את הספק פסי-הצד.
- חשב את נצילות השידור.
- סרטט את האות המאופנן כפונקציה של הזמן. ציין בסרטוטך את הערך המרבי ואת הערך המזערי של האות.

שאלה 2

- א. סרטט תרשים מלבנים של מקלט FM, הכולל בקרת תדר אוטומטית (AFC).
- ב. הסבר את תפקידה של כל אחת מן היחידות שלהלן במקלט FM :
מגבל, בקרת תדר אוטומטית, וגלאי FM.
- ג. להלן הביטוי של אות מאופנן FM : $X_{FM}(t) = 10 \cdot \sin [10^8 \cdot t + \cos (6280 \cdot t)]$.
חשב את:

1. תדר הגל הנושא.
2. סטיית התדר המרבית של האות המאופנן.
3. רוחב-הפס של האות המאופנן.
4. מקדם האפנון של האות המאופנן.

שאלה 3

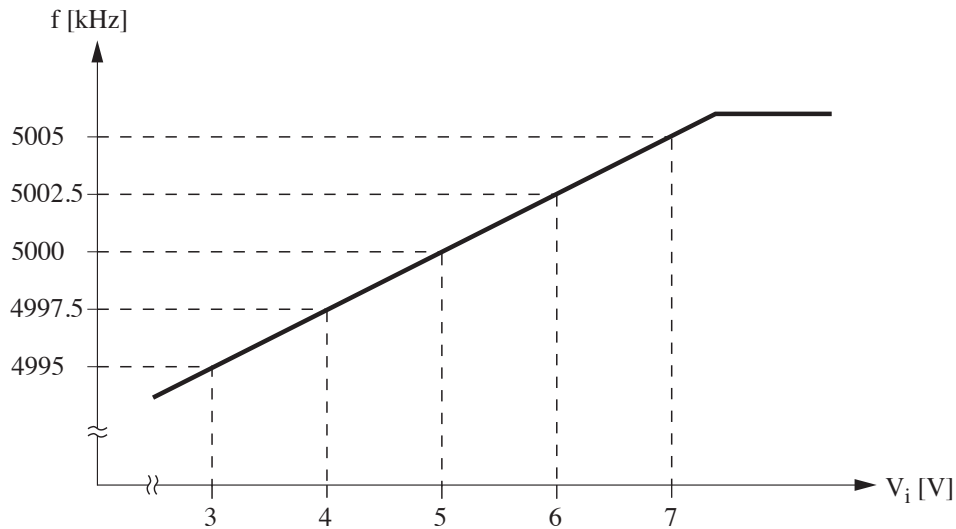
- רוחב פס התדרים של המגבר באנטנה הוא 100 kHz. טמפרטורת הסביבה שבה נמצא המגבר היא 27°C .
האנטנה קולטת אות שהספקו 20 pW ($20 \cdot 10^{-12} \text{ W}$).
- א. חשב את הספק הרעש התרמי במבוא המגבר. **שים לב:** $T [^\circ\text{K}] = T [^\circ\text{C}] + 273$.
- ב. חשב את יחס האות לרעש במבוא המגבר. בטא אותו ביחידות [dB].
- ג. באיזו טמפרטורה ($^\circ\text{C}$) יהיה יחס האות לרעש 42 [dB] ?

שאלה 4

- א. 1. הסבר מהו אפנון פס-צד יחיד (SSB).
2. מהם היתרונות והחסרונות של אפנון SSB לעומת אפנון AM (רגיל)?
- ב. 1. תדר השידור של משדר SSB מסוג פס-צד עליון הוא 2 MHz, ותדר אות המידע הוא 5 kHz.
סרטט את ספקטרום האות המתקבל במוצא המשדר.
- ג. 1. התייחס לנתונים שבסעיף ב', וסרטט את ספקטרום האות המתקבל במוצא של משדר DSB-SC.
- ד. 1. הסבר את המושג ברירות במקלט AM.

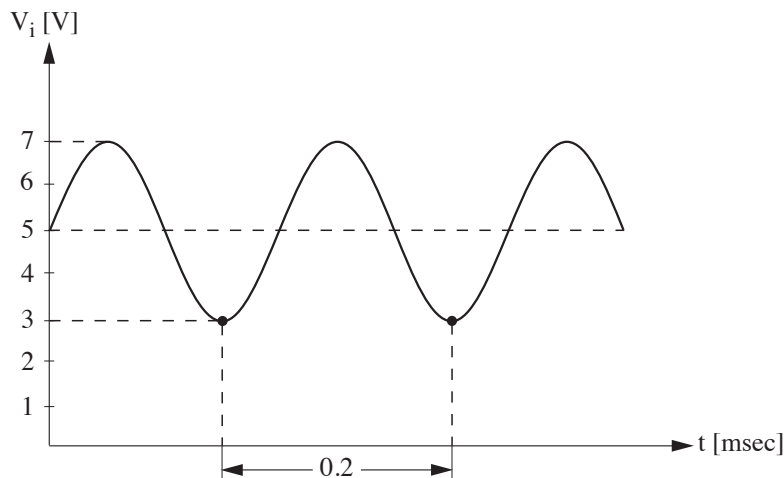
שאלה 5

באיור א' לשאלה 5 נתון אופייין של מתנד מבוקר מתח, המשמש אפן במשדר FM.



איור א' לשאלה 5

מספקים למתנד מבוקר המתח את אות המידע המתואר באיור ב' לשאלה.



איור ב' לשאלה 5

במשדר ה-FM מכפילים את תדרי האפן פי 20.

א. מצא את סטיית התדר במוצא של המתנד מבוקר המתח.

ב. חשב את סטיית התדר במוצא של משדר ה-FM.

ג. חשב את התדר של הגל הנושא במוצא המשדר.

ד. חשב את רוחב-הפס של המשדר.

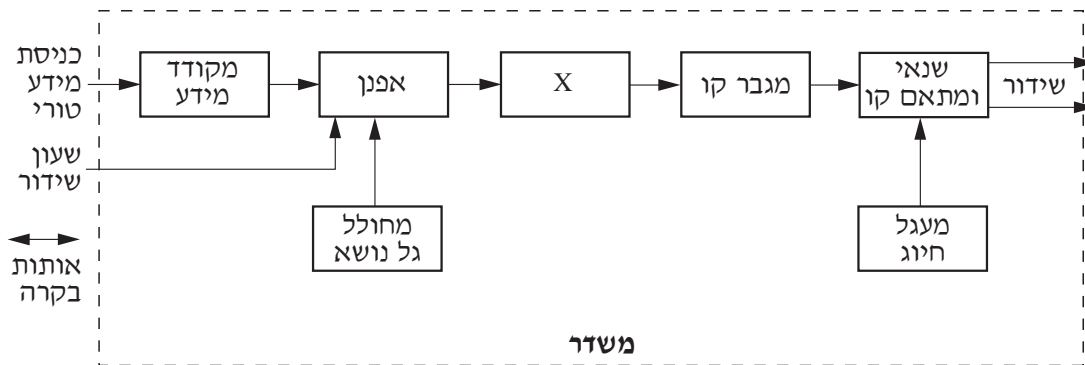
פרק שני: תקשורת ספרתית

ענה על שאלה אחת לפחות מבין השאלות 6-9 (לכל שאלה – 20 נקודות).

שאלה 6

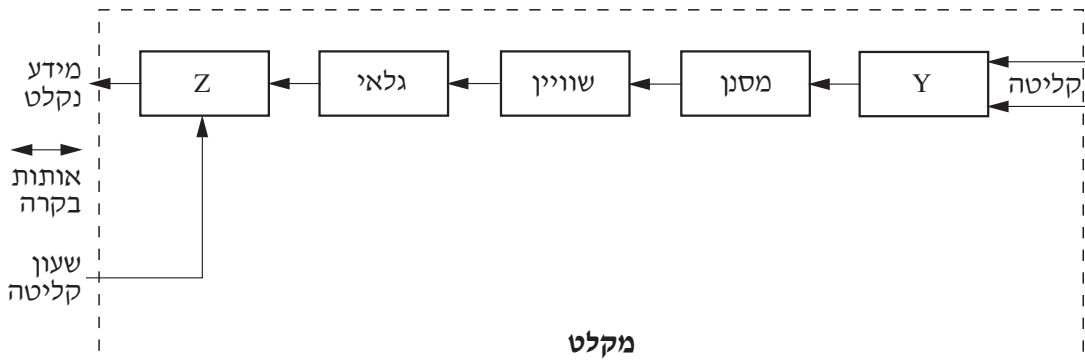
א. הסבר מהו מודם ומדוע יש בו צורך במערכת תקשורת ספרתית.

ב. באיור לשאלה 6 מתואר תרשים מלבנים עקרוני של מודם 4W (FOUR WIRE).



צד ציוד הקצה

צד הקו



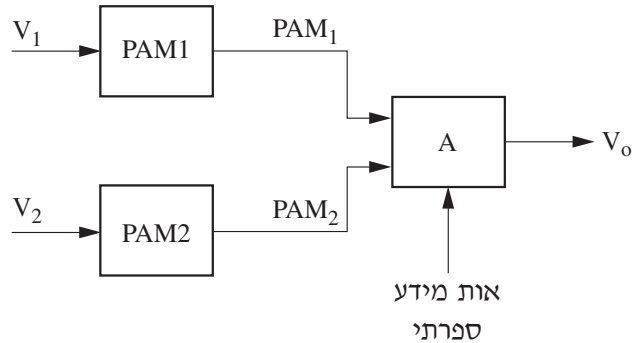
איור לשאלה 6

ציין את שמה והסבר את תפקידה של כל אחת מן היחידות X, Y, Z.

ג. הסבר את אופן הפעולה של המודם המתואר באיור.

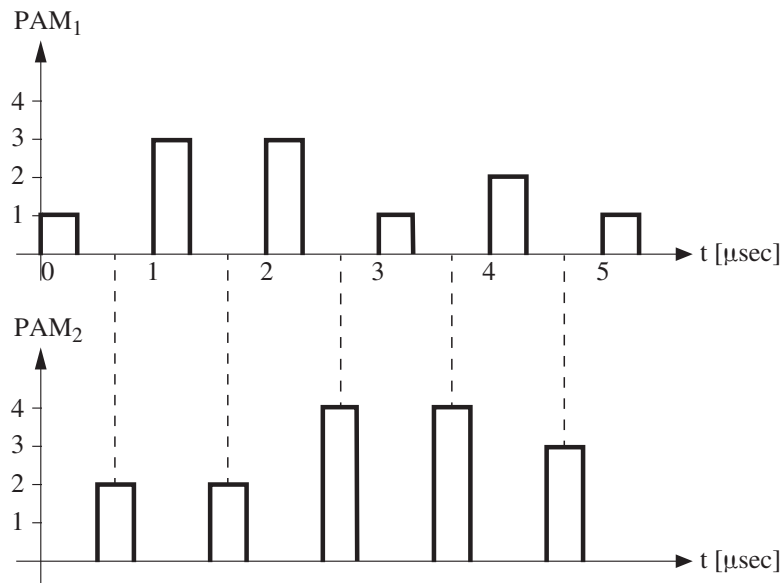
שאלה 7

באיור א' לשאלה 7 מתואר המבנה העקרוני של מערכת TDM לריבוב שני אותות, V_1 ו- V_2 .



איור א' לשאלה 7

- א. ציין את שמה ורשום את תפקידה של היחידה A.
- ב. באיור ב' לשאלה מתוארים האותות PAM_1 ו- PAM_2 כפונקציה של הזמן.



איור ב' לשאלה 7

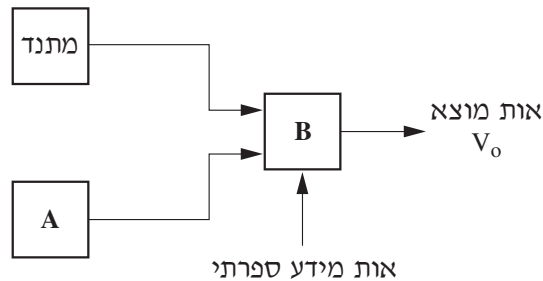
1. חשב את תדר אות המידע הספרתי.
2. העתק את איור ב' למחברתך, וסרטט מתחתיו, בהתאמה, את צורת אות המוצא V_0 כפונקציה של הזמן.

שאלה 8

- א. סרטט תרשים עקרוני של מעגל דגימה ושמירה, והסבר את אופן פעולתו.
- ב. מהם הגורמים הקובעים את זמן הדגימה של המעגל הזה?
- ג. 1. רשום את משפט הדגימה של נייקוויסט.
2. מהו קרווח הזמן המרבי בין שתי דגימות עוקבות על-פי משפט הדגימה של נייקוויסט, כאשר האות הנדגם הוא אות שמע בתחום $200 \text{ Hz} \div 5,000 \text{ Hz}$?

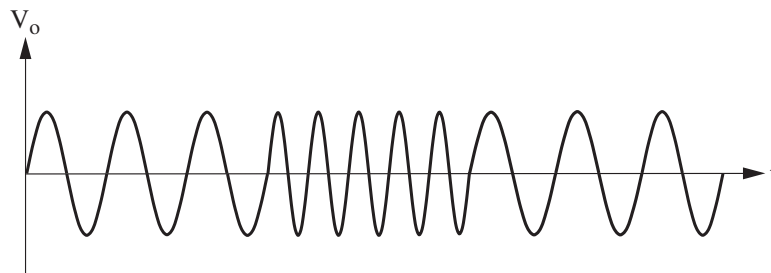
שאלה 9

באיור א' לשאלה 9 נתון תרשים מלבנים של מערכת ליצירת אות בשיטת מפתוח תדר (FSK).



איור א' לשאלה 9

- א. ציין את שמה והסבר את תפקידה של כל אחת מהיחידות A ו-B במערכת הזו.
- ב. באיור ב' לשאלה מתואר האות שהתקבל במוצא המערכת.



איור ב' לשאלה 9

העתק למחברתך את אות המוצא, וסרטט מתחתיו, בהתאמה, את אות המידע הספרתי.

בהצלחה!

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

נוסחאון במערכות אלקטרוניות (5 עמודים)

1. תקשורת תקבילית

אפנון תנופה (AM):

$$X_{AM}(t) \text{ [V]} - \text{הערך הרגעי של המתח בגל המאופן AM} \quad X_{AM}(t) = A_c (1 + m_a \cos \omega_m t) \cos \omega_c t$$

$$A_c \text{ [V]} - \text{תנופת הגל הנושא}$$

$$A_m \text{ [V]} - \text{תנופת הגל המאפן}$$

$$m_a - \text{מקדם אפנון AM}$$

$$m_a = \frac{A_m}{A_c}$$

$$f_m \text{ [Hz]} - \text{תדר הגל המאפן}$$

$$\omega_m \left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right] - \text{תדר זוויתי של הגל המאפן}$$

$$\omega_m = 2\pi f_m$$

$$f_c \text{ [Hz]} - \text{תדר הגל הנושא}$$

$$\omega_c \left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right] - \text{תדר זוויתי של הגל הנושא}$$

$$\omega_c = 2\pi f_c$$

$$V_{USB}(\text{max}) \text{ [V]} - \text{תנופת פס-הצד העליון}$$

$$V_{USB}(\text{max}) = \frac{A_m}{2}$$

$$V_{LSB}(\text{max}) \text{ [V]} - \text{תנופת פס-הצד התחתון}$$

$$V_{LSB}(\text{max}) = \frac{A_m}{2}$$

תדר פס־הצד העליון	-	$f_{\text{USB}} \text{ [Hz]}$	$f_{\text{USB}} = f_c + f_m$
תדר פס־הצד התחתון	-	$f_{\text{LSB}} \text{ [Hz]}$	$f_{\text{LSB}} = f_c - f_m$
רוחב־הפס של גל מאופנן AM	-	$\text{BW} \text{ [Hz]}$	$\text{BW} = 2f_m$
הספק של גל מאופנן AM	-	$P_{\text{AM}} \text{ [W]}$	$P_{\text{AM}} = P_c + P_{\text{USB}} + P_{\text{LSB}}$
הספק הגל הנושא	-	$P_c \text{ [W]}$	$P_c = \frac{A_c^2}{2R}$
התנגדות העומס	-	$R \text{ } [\Omega]$	$P_{\text{USB}} = P_{\text{LSB}} = P_c \cdot \frac{m_a^2}{4}$
הספק פס־הצד העליון	-	$P_{\text{USB}} \text{ [W]}$	$P_{\text{AM}} = P_c \left(1 + \frac{m_a^2}{2} \right)$
הספק פס־הצד התחתון	-	$P_{\text{LSB}} \text{ [W]}$	
נצילות שידור באפנן AM	-	η	$\eta = \frac{1}{1 + \frac{m_a^2}{2}}$

אפנון תדר (FM):

הערך הרגעי של המתח בגל המאופנן FM	- $X_{FM}(t)$ [V]	$X_{FM}(t) = A_c \sin(\omega_c t + m_f \cos \omega_m t)$
תדר זוויתי של הגל הנושא	- ω_c $\left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$	
תדר זוויתי של הגל המאפנן	- ω_m $\left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$	
תנופת הגל הנושא	- A_c [V]	
מקדם אפנון FM	- $m_f = \beta$	$\beta = m_f = \frac{\Delta f_c(\text{max})}{f_m}$
סטיית התדר המרבית	- $\Delta f_c(\text{max})$ [Hz]	
תדר הגל המאפנן	- f_m [Hz]	
רוחב-הפס של גל מאופנן FM	- BW [Hz]	$BW \approx 2f_m (m_f + 1)$
הספק של גל מאופנן FM	- P_{FM} [W]	$P_{FM} = P_c = \frac{A_c^2}{2R}$
התנגדות העומס	- R [Ω]	

אפנון פזה (PM):

$$X_{PM}(t) = A_c \cdot \cos(\omega_c t + K_p \cdot A_m \cos \omega_m t)$$

$X_{PM}(t)$ [V] – הערך הרגעי של המתח
 בגל המאופנן PM

K_p $\left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$ – קבוע אפנון מופע

γ [rad] – סטייה מרבית של המופע

$$\gamma = K_p \cdot A_m$$

מקלטים:

f_o [Hz] – תדר התהודה

Q – גורם הטיב

BW [Hz] – רוחב הפס

$$BW = \frac{f_o}{Q}$$

f_{IF} [Hz] – תדר הביניים במקלט מסוג
 סופר־הטרודיין

$$f_{IF} = f_{LO} - f_{RF}$$

עבור $f_{LO} > f_{RF}$

f_{LO} [Hz] – תדר המתנד המקומי

$$f_{IM} = f_{RF} + 2 \cdot f_{IF}$$

f_{RF} [Hz] – תדר התחנה הנקלטת

$$f_{IF} = f_{RF} - f_{LO}$$

עבור $f_{LO} < f_{RF}$

f_{IM} [Hz] – תדר ראי במקלט סופר־הטרודיין

$$f_{IM} = f_{RF} - 2 \cdot f_{IF}$$

רעש:

מתח רעש אפקטיבי
 (מתח רעש תרמי) - V_n [V]

$$V_n = \sqrt{4K \cdot T \cdot R \cdot BW}$$

קבוע בולצמן - $K = 1.38 \cdot 10^{-23} \left[\frac{J}{^\circ K} \right]$

טמפרטורה - T [°K]

התנגדות העומס - R [Ω]

רוחב הפס - BW [Hz]

הספק הרעש (הספק תרמי) - P_N [W]

$$P_N = K \cdot T \cdot BW$$

יחס אות לרעש - SNR [dB]

הספק האות - P_S [W]

הספק הרעש - P_N [W]

$$SNR = 10 \log \frac{P_S}{P_N}$$

2. תקשורת ספרתית

תדר הדגימה - f_s [Hz]

$$f_s \geq 2f_m(\max)$$

תדר ההרמוניה הגבוהה ביותר
 של האות הנדגם - $f_m(\max)$ [Hz]