

מערכות אלקטרוניות א'

יחידת לימוד אחת

(כיתה י"ב)

הוראות לנבחן

א. משך הבחינה: שעותיים.

ב. מבנה השאלון ומפתח ההערכה: בשאלון שני פרקים, ובהם שבע שאלות. יש לענות על ארבע שאלות בלבד, שאלה אחת לפחות מכל פרק. ככל שאלה – 25 נקודות. סך-הכול – 100 נקודות.

ג. חומר עזר מותר לשימוש: מחשבון.

ד. הוראות מיוחדות:

- ענה על מספר השאלות הנדרש בשאלון. המעריך יקרא ויעריך את מספר השאלות הנדרש בלבד, לפי סדר כתיבתן במחברתך, ולא יתייחס לתשובות נוספות.
- התחל כל תשובה לשאלה חדשה בעמוד חדש.
- רשום את כל תשובותיך אך ורק בעט.
- הקפד לנסח את תשובותיך כהלכה ולסרטט את תרשימיך בבהירות.
- כתוב את תשובותיך בכתב-יד ברור, כדי לאפשר הערכה נאותה שלהן.
- אם לדעתך חסרים נתונים הדרושים לפתרון שאלה, אתה רשאי להוסיף אותם, בתנאי שתנמק מדוע הוספת אותם.
- 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 6 עמודים ו-5 עמודי נוסחאון.

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

השאלות

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

פרק ראשון: תקשורת תקבילית

ענה על שאלה אחת לפחות מבין השאלות 1–4 (לכל שאלה – 25 נקודות).

שאלה 1

- א. סרטט תרשים מלבנים של מקלט AM ישיר.
- ב. הסבר את תפקידה של כל אחת מן היחידות שלהלן במקלט סופר-הטרודיין: מתנד מקומי, ערבול, מגבר ת"ר (RF), מגבר ת"ב (IF) ויחידת ה-AGC.

שאלה 2

תחום התדרים במקלט FM מסחרי הוא $88 \text{ MHz} \div 108 \text{ MHz}$, ותדר הביניים שלו הוא 10.7 MHz .

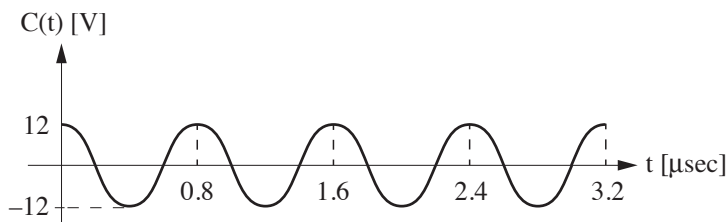
- א. חשב את תחום התדרים של המתנד המקומי.
- הערה:** במקלט מסחרי, תדר המתנד המקומי גדול מתדר התחנה הנקלטת.
- ב. המקלט הזה קולט אות מאופנן FM, שביטויי הוא:
- $$X_{\text{FM}}(t) = 10 \cdot \sin [2\pi \cdot 88 \cdot 10^6 \cdot t + 9 \cdot \cos (\pi \cdot 10^4 \cdot t)]$$

חשב את:

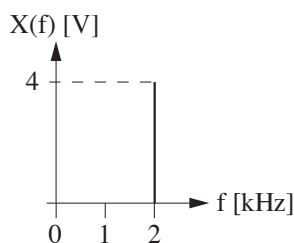
1. סטיית התדר המרבית של האות המאופנן.
2. רוחב-הפס של האות המאופנן.
3. תדר הבבואה של האות הזה.

שאלה 3

באיור א' לשאלה 3 מתואר הגל הנושא של אות המאופנן באפנון תנופה (AM). באיור ב' לשאלה נתון התיאור הספקטרי של גל המידע שלו.



איור א' לשאלה 3



איור ב' לשאלה 3

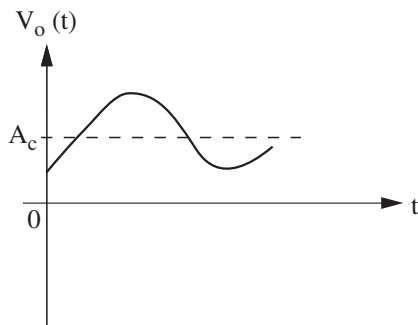
- א. חשב את התדר של הגל הנושא.
- ב. חשב את מקדם האפנון ואת רוחב־הפס של האות המאופנן.
- ג. רשום את הביטוי של הגל הנושא, $C(t)$, כפונקציה של הזמן.
- ד. סרטט את ספקטרום התדרים של האות המאופנן. ציין בסרטוטך את ערכי התדרים ואת העוצמה של כל אחד מן התדרים.

שאלה 4

א. השווה בטבלה בין שיטות השידור AM ו-FM מסחרי. התייחס בתשובתך **לארבעה** מתוך חמשת הפרמטרים שלהלן:

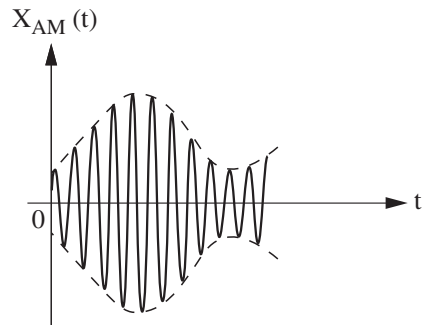
- טווח השידור
- רוחב-הפס של השידורים
- תחום תדרי השידור ותדרי הקליטה
- השפעת רעשי סביבה על האות המשודר
- צורת ההתפשטות של האות עד שהוא מגיע למקלט

ב. באיור א' לשאלה 4 נתון אות מאופנן AM, המהווה אות-מבוא ליחידה מסוימת במקלט AM. באיור ב' לשאלה נתון אות-המוצא של יחידה זו.



האות במוצא היחידה

איור ב' לשאלה 4



האות במבוא היחידה

איור א' לשאלה 4

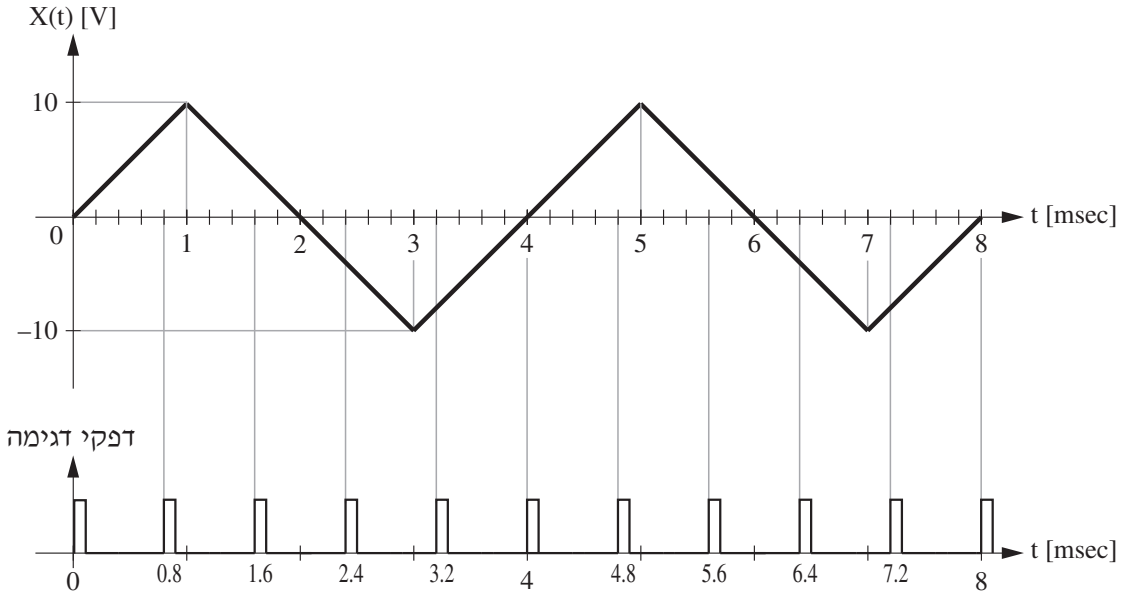
ציין את שמה של היחידה הזו והסבר את תפקידה במקלט.

פרק שני: תקשורת ספרתית

ענה על שאלה אחת לפחות מבין השאלות 5-7 (לכל שאלה – 25 נקודות).

שאלה 5

באיור לשאלה 5 מתוארים, זה מתחת לזה בהתאמה, אות מידע, $X(t)$, ודפקי דגימה.



א. חשב את התדר של אות המידע ואת תדר דפקי הדגימה.

ב. האם הדגימה המתוארת באיור מאפשרת שחזור תקין של האות על-פי משפט הדגימה של נייקוויסט? נמק את תשובתך.

ג. סרטט את האות המתקבל לאחר אפנון PAM, כפונקציה של הזמן.

שאלה 6

א. נתון אות המידע הספרתי 0 0 1 1 1 1 1 0 0 0 0 .

סרטט, זה מתחת לזה בהתאמה, את אות המידע הספרתי ואת האות המקודד בכל אחת מן השיטות RZ ו-NRZ .

ב. ציין חיסרון אחד ויתרון אחד של שיטת הקידוד RZ לעומת שיטת הקידוד NRZ .

ג. הסבר את הצורך בכימוי האות בשיטת האפנון PCM (אפנון דופק מקודד).

שאלה 7

א. הסבר את עקרון הפעולה של כל אחת משיטות האפנון האלה:

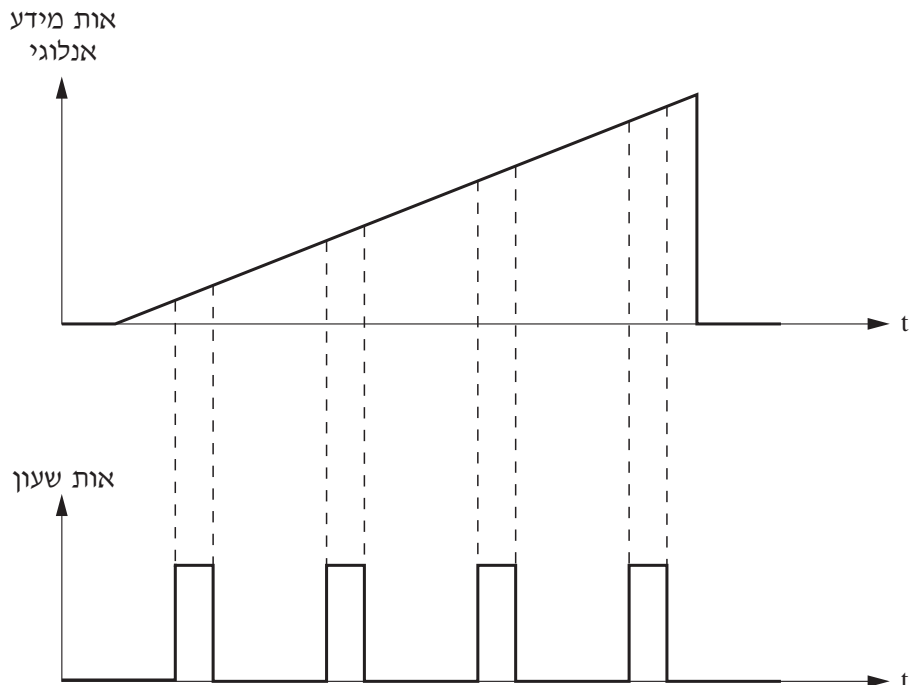
1. PWM

2. PPM

ב. באיור לשאלה 7 מתוארים, זה מתחת לזה בהתאמה, אות מידע אנלוגי ואות שעון. העתק למחברתך את האותות הללו, וסרטט מתחתיהם, בהתאמה, את אות המידע המאופנן המתקבל בכל אחת מן השיטות הללו:

1. PWM

2. PPM



איור לשאלה 7

בהצלחה!

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

נוסחאון במערכות אלקטרוניות (5 עמודים)

1. תקשורת תקבילית

אפנון תנופה (AM):

הערך הרגעי של המתח - $X_{AM}(t)$ [V]

גל המאופן AM

$$X_{AM}(t) = A_c (1 + m_a \cos \omega_m t) \cos \omega_c t$$

תנופת הגל הנושא - A_c [V]

תנופת הגל המאפן - A_m [V]

מקדם אפנון AM - m_a

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

תדר הגל המאפן - f_m [Hz]

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

תדר הגל הנושא - f_c [Hz]

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

$$\omega_m = 2\pi f_m$$

$$\omega_c = 2\pi f_c$$

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

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

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

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

f_{USB} [Hz] - תדר פס־הצד העליון

$$f_{\text{USB}} = f_c + f_m$$

f_{LSB} [Hz] - תדר פס־הצד התחתון

$$f_{\text{LSB}} = f_c - f_m$$

BW [Hz] - רוחב הפס של גל מאופנן AM

$$BW = 2f_m$$

P_{AM} [W] - הספק של גל מאופנן AM

$$P_{\text{AM}} = P_c + P_{\text{USB}} + P_{\text{LSB}}$$

P_c [W] - הספק הגל הנושא

$$P_c = \frac{A_c^2}{2R}$$

R [Ω] - התנגדות העומס

P_{USB} [W] - הספק פס־הצד העליון

$$P_{\text{USB}} = P_{\text{LSB}} = P_c \cdot \frac{m_a^2}{4}$$

P_{LSB} [W] - הספק פס־הצד התחתון

$$P_{\text{AM}} = P_c \left(1 + \frac{m_a^2}{2} \right)$$

η - נצילות שידור באפנן AM

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{2}{m_a^2}}$$

אפנון תדר (FM):

- $X_{FM}(t)$ [V] הערך הרגעי של המתח
 בגל המאופנן FM
- ω_c $\left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$ תדר זוויתי של הגל הנושא
- ω_m $\left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$ תדר זוויתי של הגל המאפנן
- A_c [V] תנופת הגל הנושא

$$X_{FM}(t) = A_c \sin(\omega_c t + m_f \cos \omega_m t)$$

- $m_f = \beta$ מקדם אפנון FM
- $\Delta f_c(\text{max})$ [Hz] סטיית התדר המרבית
- f_m [Hz] תדר הגל המאפנן

$$\beta = m_f = \frac{\Delta f_c(\text{max})}{f_m}$$

- BW [Hz] רוחב הפס של גל מאופנן FM

$$BW \approx 2f_m (m_f + 1)$$

- P_{FM} [W] הספק של גל מאופנן FM
- R [Ω] התנגדות העומס

$$P_{FM} = P_c = \frac{A_c^2}{2R}$$

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 $\left[\frac{\text{rad}}{\text{V}} \right]$ – 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 [$^\circ K$]

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 דגימה - f_s [Hz]

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

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