

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

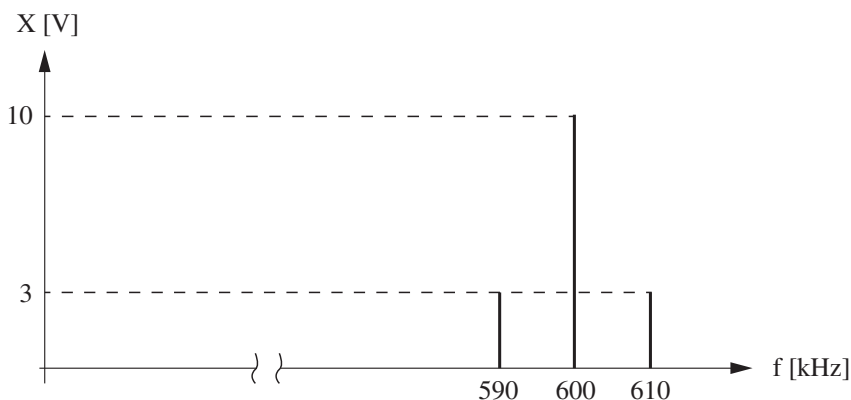
בשאלון שני פרקים, ובהם תשע שאלות. יש לענות על חמש שאלות בלבד,
שאלה אחת לפחות מכל פרק.

פרק ראשון: תקשורת תקבילית

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

שאלה 1

באיור לשאלה 1 נתון ספקטרום התדרים של אות מאופנן, שהתקבל במוצא של משדר.



איור לשאלה 1

- א. רשום את התדר ואת התנופה של אות המידע.
- ב. חשב את מקדם האפנון של האות המאופנן.
- ג. כתוב ביטוי למתח האות המאופנן הזה, כפונקציה של הזמן.
- ד. חשב את הספק האות המאופנן, אם הוא משודר על-ידי אנטנה שהתנגדותה 300Ω .

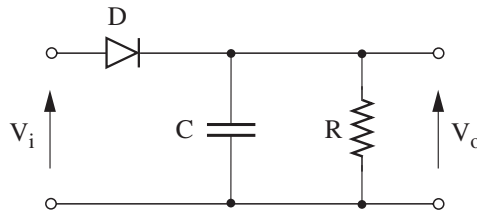
שאלה 2

א. במקלט AM מסוג סופר-הטרודיין אירעה תקלה: במעבר מתחנה אחת לתחנה אחרת – עוצמת השמע ברמקול משתנה באופן משמעותי.

1. קבע בהתאם לתקלה שאירעה, איזו יחידה במקלט אינה פועלת כנדרש. נמק את קביעתך.

2. הסבר את עקרון פעולתה של היחידה הזו במקלט.

ב. באיור לשאלה 2 נתון מעגל חשמלי, המהווה את אחת היחידות של מקלט AM.



איור לשאלה 2

1. מהי היחידה המתוארת באיור ומה תפקידה?

2. סרטט, זה מתחת לזה בהתאמה, את צורת מתח הכניסה, V_i , ואת צורת מתח המוצא, V_o , כפונקציה של הזמן, עבור גל מאפנן סינוסואידלי.

שאלה 3

אות מידע, שביטוי: $X(t) = 4 \cdot \cos(2\pi \cdot 5000 \cdot t)$, מאפנן באפנן FM גל נושא,

שביטוי: $C(t) = 2 \cdot \cos(2\pi \cdot 10^5 \cdot t)$.

מקדם האפנון הוא: $\beta = m_f = 4$.

א. חשב את סטיית התדר המרבית של האות.

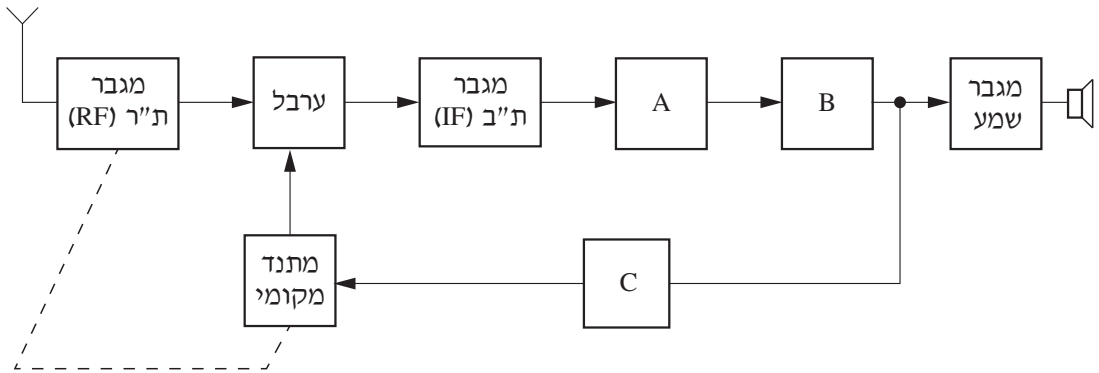
ב. רשום את הביטוי של האות המאופנן, $X_{FM}(t)$.

ג. חשב את התדר המרבי ואת התדר המזערי של האות המאופנן.

ד. חשב את הספק האות, אם הוא משודר על-ידי אנטנה שהתנגדותה 50Ω .

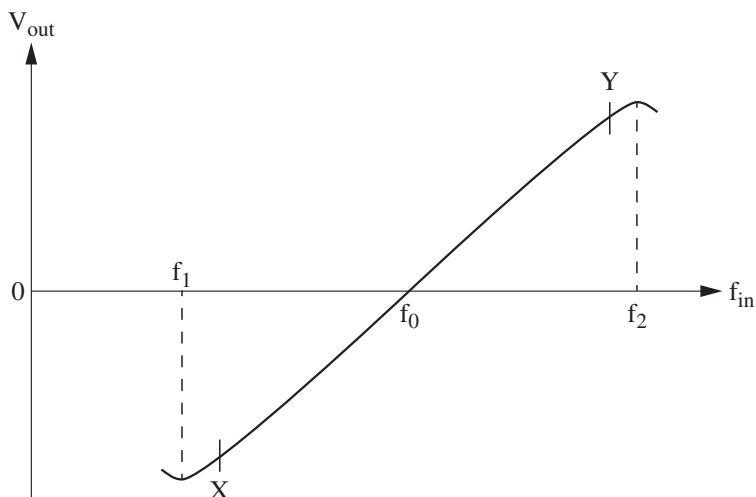
שאלה 4

באיור א' לשאלה 4 נתון תרשים מלבנים של מקלט.



איור א' לשאלה 4

א. באיור ב' לשאלה נתון אופיין מתחת־תדר של היחידה B במקלט. ציין את שמה, והסבר את עקרון הפעולה שלה.



איור ב' לשאלה 4

ב. ציין את שמה והסבר את תפקידה של כל אחת מן היחידות A ו-C במקלט.

ג. ציין את סוג המקלט, והסבר מדוע האות במוצא היחידה B מועבר גם למתנד המקומי.

שאלה 5

א. סרטט תרשים מלבנים של מקלט AM מסוג סופר-הטרודיין.

ב. במקלט AM מסוג סופר-הטרודיין, שבו $f_{LO} > f_{RF}$, תדר הביניים הוא 455 kHz. להלן הביטוי של אות שנקלט במקלט הזה:

$$X_{AM}(t) = [10 + 3 \cdot \cos(2\pi \cdot 100 \cdot t)] \cdot \cos(2\pi \cdot 10^6 \cdot t)$$

חשב את:

1. תדר הגל הנושא.
2. תדר האות המאפנן.
3. מקדם האפנון.
4. תדר המתנד המקומי.

פרק שני: תקשורת ספרתית

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

שאלה 6

באיור לשאלה 6 נתון תרשים מלבנים חלקי של מערכת תקשורת ספרתית, הפועלת בשיטת אפנון דופק מקודד (PCM).

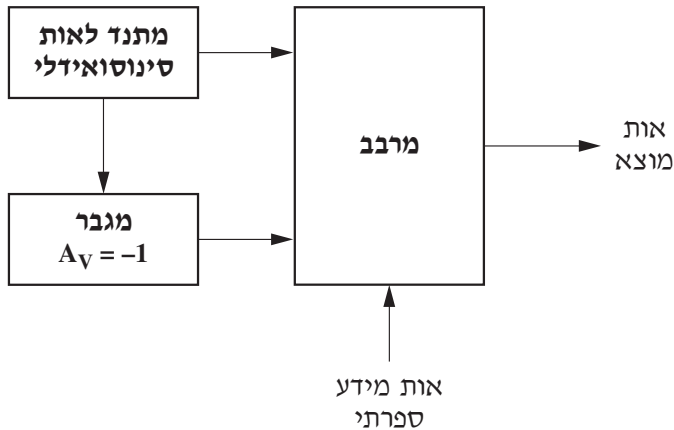


איור לשאלה 6

- א. ציין את תפקידה של יחידה A.
- ב. הסבר מהי פעולת כימוי.
- ג. סרטט תרשים מלבנים של מקלט המשחזר את אות המידע האנלוגי.

שאלה 7

באיור לשאלה 7 נתון תרשים מלבנים של מערכת תקשורת.



איור לשאלה 7

- א. מהו הייעוד של המערכת המתוארת באיור?
- ב. מספקים למערכת את אות המידע הספרתי 0 0 1 0 1 . זמן השידור של כל סיבית הוא msec 2 , ותדר המתנד הוא 1 kHz .
- סרטט את אות המידע הספרתי, ומתחתיו, בהתאמה, את צורת אות המוצא כפונקציה של הזמן.

שאלה 8

- מערכת תקשורת מסוג PCM מורכבת מ-16 ערוצים, המעבירים אותות דיבור בתחום התדרים 300 ÷ 4000 Hz .
- האותות נדגמים בקצב המזערי הנדרש על-פי משפט נייקוויסט, וכל דגימה מקודדת למילה בינארית בעלת שמונה סיביות.
- א. חשב את תדר הדגימה המזערי הנדרש במערכת הזו.
- ב. חשב את קצב העברת הסיביות במערכת ה-PCM הנתונה.
- ג. מה היתרון של אות המקודד בשיטת PCM על-פני אות המקודד בשיטת PAM ?

שאלה 9

א. נדרש לשדר את אות המידע הספרתי 01101001. סרטט את אות המידע הספרתי, ומתחתיו, בהתאמה:

1. את צורת האות המשודר בשיטת מפתוח זיזת תנופה (ASK).
 2. את צורת האות המשודר בשיטת מפתוח זיזת תדר (FSK).
- ב. סרטט תרשים מלבנים עקרוני של מערכת ליצירת אות בשיטת מפתוח זיזת תדר (FSK).

בהצלחה!

זכות היוצרים שמורה למדינת ישראל.
אין להעתיק או לפרסם אלא ברשות משרד החינוך.

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):

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

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

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

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

- רוחב הפס של גל מאופנן FM - BW [Hz]

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

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

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

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]

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

בהצלחה!