

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 זה 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:

- ענה על מספר השאלות הנדרש בשאלון. המעריך יקרא ויעריך את מספר התשובות 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, ולצדה יחידות המידה המתאימות.
 - * ליווי הפתרון החישובי בהסבר קצר.

בשאלון זה 5 עמודים ו-5 עמודי נוסחאון.

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

בהצלחה!

המשך מעבר לדף

השאלות

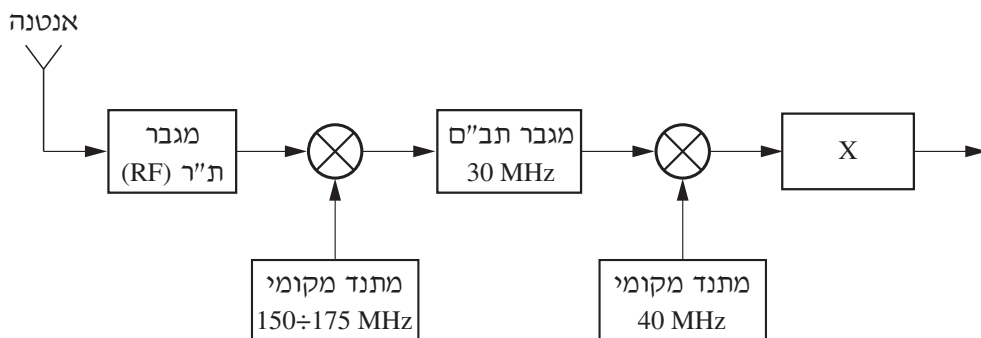
בשאלון זה שני פרקים, ובהם תשע שאלות. יש לענות על חמש שאלות בלבד,
שאלה אחת לפחות מכל פרק.

פרק ראשון: תקשורת תקבילית

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

שאלה 1

באיור לשאלה 1 נתון תרשים מלבנים חלקי של מקלט. תדרי המתנד המקומי הראשון גדולים מתדר התחנה הנקלטת במקלט.



איור לשאלה 1

- איזו יחידה מייצג המלבן X ? ציין את ערך התדר המרכזי שלו.
- הסבר את תפקידו של מגבר ה־ RF ומצא את תחום התדרים שלו.
- מהו היתרון של מקלט זה לעומת מקלט סופר־הטרודיין? נמק את תשובתך.
- המקלט קולט אות בתדר של 120 MHz . חשב את תדר הבבואה של האות, וקבע אם תדר הבבואה מפריע לקליטת האות. נמק את קביעתך.

שאלה 2

- לגל הנושא של אות מאופנן AM יש תנופה של 6 V ותדר של 1 MHz .
הגל מאופנן ב־זמנית על־ידי **שני אותות** סינוסואידליים: אות אחד שתנופתו 1 V ותדרו 3 kHz ,
ואות שני שתנופתו 2 V ותדרו 4 kHz .
- א. סרטט את ספקטרום התדרים של האות המאופנן. ציין בסרטוטך את התדר ואת התנופה של כל מרכיב בספקטרום.
- ב. מהו רוחב־הפס של האות המאופנן?
- ג. רשום את משוואת האות המאופנן בתלות בזמן.

שאלה 3

- משדר FM כולל: מתנד מבוקר מתח (VCO) , כופל תדר ומגבר הספק. המתנד מבוקר המתח משמש כאפנן במשדר, והתדר המרכזי שלו הוא 5 MHz .
מספקים למתנד אות מידע, שמשוואתו היא: $X(t) = 2 \cdot \cos(2\pi \cdot 10^4 \cdot t)$. כתוצאה מכך, משתנה תדר המתנד ב־ ± 3 kHz .
במוצא המשדר משודר אות נושא, שמשוואתו היא: $C(t) = 10 \cdot \cos(2\pi \cdot 10^8 \cdot t)$.
- א. 1. מהי סטיית התדר המקסימלי במוצא המשדר?
2. מהו התדר המקסימלי ומהו התדר המינימלי של האות המשודר?
- ב. חשב את רוחב־הפס של האות המשודר.
- ג. חשב את ההספק המשודר, אם התנגדות האנטנה במשדר היא 50Ω .

שאלה 4

- א. מה תפקידו של המגבל במקלט FM ?
- ב. השווה בין מקלט AM ובין מקלט FM מן הבחינות האלה:
1. רוחב הפס
 2. התלות של הספק השידור בגל המאפנן
 3. טווח השידור

שאלה 5

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

א. קבע, בהתאם לתקלה שאירעה, איזו יחידה במקלט אינה פועלת כראוי.

ב. הסבר את תפקידה של היחידה הזו במקלט.

ג. סרטט תרשים מלבנים של המקלט, הכולל את היחידה הזו.

פרק שני: תקשורת ספרתית

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

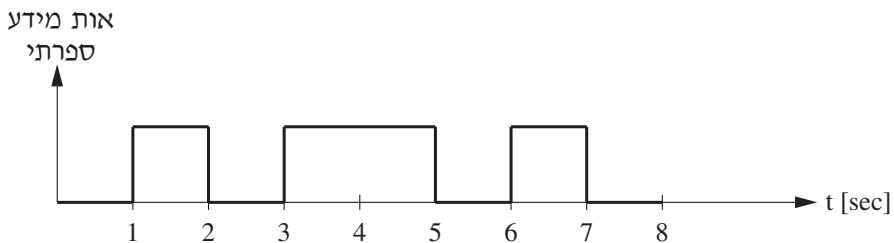
שאלה 6

א. באיור לשאלה 6 נתון אות-מידע ספרתי. העתק למחברתך את האות וסרטט מתחתיו, בהתאמה, את האות בתלות בזמן, המתקבל בשיטות האפנון האלה:

1. מפתוח זיזת תנופה (ASK).

2. מפתוח זיזת תדר (FSK).

3. מפתוח זיזת מופע (PSK).



איור לשאלה 6

ב. סרטט תרשים מלבנים עקרוני של מערכת ליצירת אות בשיטת מפתוח זיזת תדר (FSK).

שאלה 7

נדרש לשדר את אות המידע הספרתי: 10111111101 .

א. סרטט את אות המידע הספרתי כפונקציה של הזמן, כשהוא מקודד בקידוד NRZ .

ב. 1. מהי הבעיה שתיגרם עקב הרצף של שבעת ה"1" באות המידע הספרתי הזה, אם המקלט המקבל את אות המידע עובד בשיטה האסינכרונית?

2. איך נפתרת הבעיה הזו בקידוד RZ ?

ג. סרטט את אות המידע הספרתי הזה, כשהוא מקודד בקידוד RZ .

שאלה 8

א. סרטט תרשים מלבנים של מערכת תקשורת הפועלת בשיטת אפנון דופק מקודד (PCM) .

ב. הסבר את תפקידו של מעגל הכימוי ואת תפקידו של מעגל הקידוד במערכת הזו.

ג. כיצד ניתן להקטין את השגיאות בהעברת המידע הספרתי במערכת תקשורת הפועלת בשיטת PCM ?

שאלה 9

א. 1. סרטט תרשים מלבנים של מערכת שידור ספרתית, המשדרת ארבעה אותות אנלוגיים בריבוב בחלוקת זמן (TDM) .

2. הסבר את אופן פעולתה של המערכת הזו.

ב. במערכת מסוג TDM ניתן לרבב מספר מסוים (n) של אפיקי מידע. כל אפיק נדגם בקצב של 10 kHz . הרוחב של כל דופק דגימה הוא $0.25 \mu\text{sec}$. מרווח הזמן בין כל שני דופקי דגימה של אפיקים עוקבים הוא $0.55 \mu\text{sec}$.

1. מהו מרווח הזמן בין דגימות עוקבות של אותו אפיק?

2. כמה אפיקי מידע (n) ניתן לרבב במערכת הזו?

בהצלחה!

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

נוסחאון במערכות אלקטרוניות (5 עמודים)

1. תקשורת תקבילית

אפנון תנופה (AM):

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

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

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

$$m_a - \text{מקדם אפנון AM}$$

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

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

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

$$\omega_m = 2\pi f_m$$

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

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

$$\omega_c = 2\pi f_c$$

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

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

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

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

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	$P_{\text{USB}} = P_{\text{LSB}} = P_c \cdot \frac{m_a^2}{4}$
P_{USB} [W]	-	הספק פס־הצד העליון	$P_{\text{AM}} = P_c \left(1 + \frac{m_a^2}{2} \right)$
P_{LSB} [W]	-	הספק פס־הצד התחתון	
η	-	נצילות שידור באפנן AM	$\eta = \frac{1}{1 + \frac{m_a^2}{2}}$

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]