

## 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 בהירות.
  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 מִרְב 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 8 עמודים ו-5 עמודי נוסחאון.

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

## השאלות

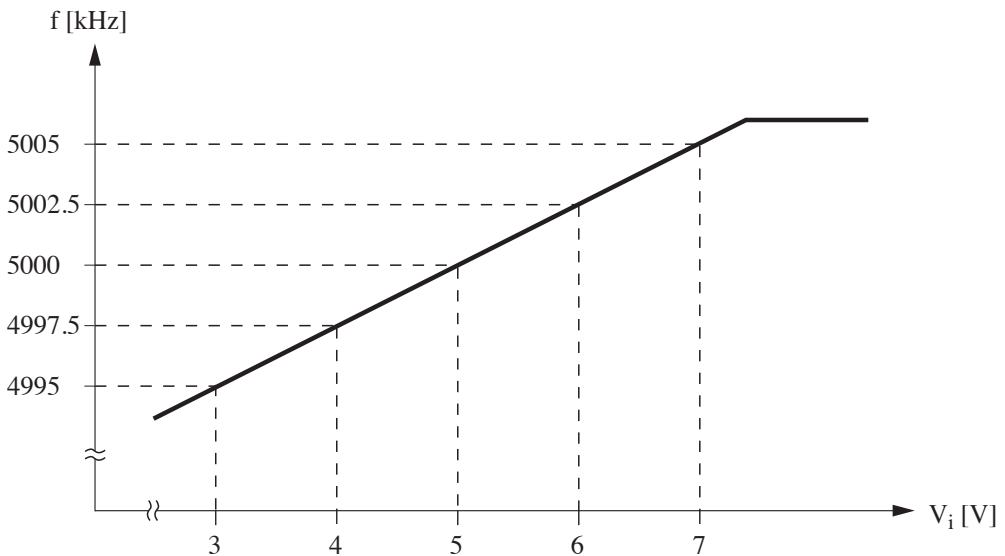
בשאלון שני פרקים, ובהם תשע שאלות. יש לענות על חמש שאלות בלבד,  
שאלה אחת לפחות מכל פרק.

### פרק ראשון: תקשורת תקבילית

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

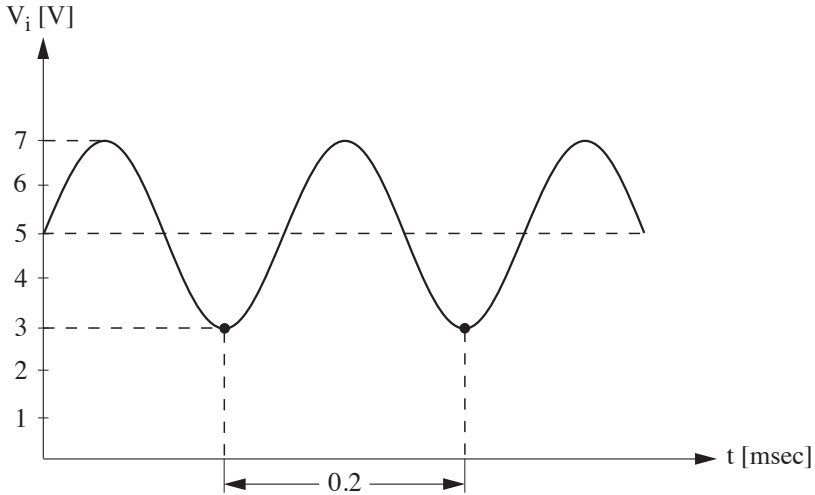
#### שאלה 1

באיור א' לשאלה 1 נתון אופיין של מתנד מבוקר מתח, המשמש אפנן במשדר FM.



איור א' לשאלה 1

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



### איור ב' לשאלה 1

במשדר ה-FM מכפילים את תדרי האפנן פי 20 .

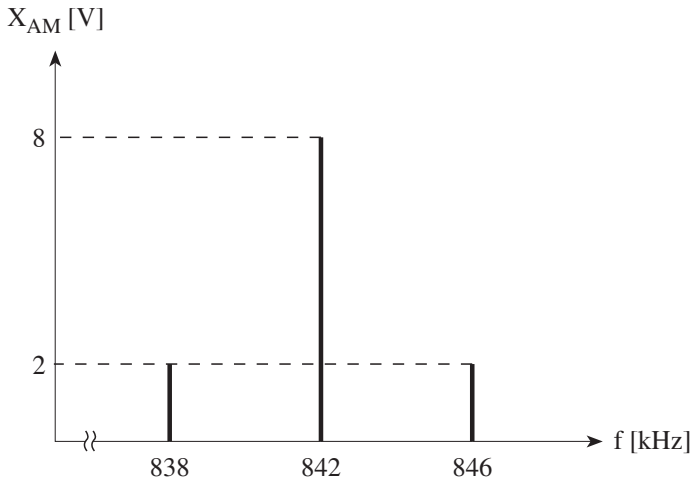
- א. מצא את סטיית התדר במוצא של המתנד מבוקר המתח.
- ב. חשב את סטיית התדר במוצא של משדר ה-FM .
- ג. חשב את התדר של הגל הנושא במוצא המשדר.
- ד. חשב את רוחב־הפס של המשדר.

### שאלה 2

- א. הסבר את תפקיד מעגל ה-AGC במקלט AM .
- ב. הסבר את המושג רגישות (sensitivity) של מקלט.
- ג. סרטט את ספקטרום התדרים של אות AM , המשודר בתדר של 540 kHz ועוצמת הגל הנושא שלו היא 6 V . תדר הגל המאפנן שלו הוא 2 kHz , ועוצמתו - 3 V .
- ד. סרטט את ספקטרום התדרים של אות DSB-SC , המשודר בתדר של 540 kHz ועוצמת הגל הנושא שלו היא 6 V . תדר הגל המאפנן שלו הוא 2 kHz , ועוצמתו - 3 V .

### שאלה 3

באיור לשאלה 3 מתואר ספקטרום התדרים של אות AM, המשודר עלידי אנטנה שהתנגדותה  $50 \Omega$ .



איור לשאלה 3

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

### שאלה 4

- א. משדר FM מפיק גל נושא שעוצמתו 20 V ותדרו 100 MHz. סטיית התדר המקסימלית של האות המאופנן היא 20 kHz, ומקדם האפנון שלו הוא 10.
  1. רשום ביטוי המתאר את האות המאופנן כפונקציה של הזמן,  $X_{FM}(t)$ .
  2. חשב את רוחב-הפס של האות המאופנן.
- ב. סרטט תרשים חשמלי של גלאי שיפוע במקלט FM, והסבר את אופן פעולתו של הגלאי הזה.

## שאלה 5

במקלט AM מסוג סופר-הטרודיין, שתדר הביניים שלו הוא 455 kHz, נקלט אות AM שתדרו 1400 kHz המאופנן על-ידי אות סינוסואידלי שתדרו 5 kHz.

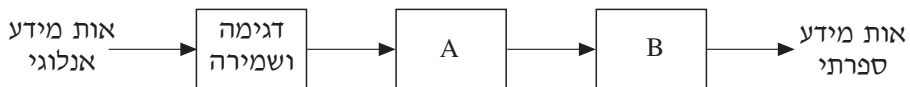
- א. סרטט תרשים מלבנים של מקלט מסוג סופר-הטרודיין.
- ב. סרטט את ספקטרום התדרים (ציין את ערכי התדר מבלי לציין את התנופה) של האותות האלה:
  1. האות הנקלט
  2. אות המתנד המקומי
  3. האות במוצא דרגת התב"מ (תדר הביניים)
  4. האות במוצא הגלאי
- ג. חשב את תדר הבבואה של התחנה שנקלטה.

## פרק שני: תקשורת ספרתית

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

## שאלה 6

- א. 1. דרוש לדגום אות דיבור, שתחום התדרים שלו הוא  $300 \text{ Hz} \div 3 \text{ kHz}$ . חשב, על-פי משפט הדגימה של נייקוויסט, את תדר הדגימה המזערי של האות.  
2. חשב את מספר הדגימות המזערי שיש לדגום את האות הזה במשך דקה אחת.
- ב. באיור לשאלה 6 מוצג תרשים מלבנים, המתאר המרה של אות אנלוגי לאות ספרתי.

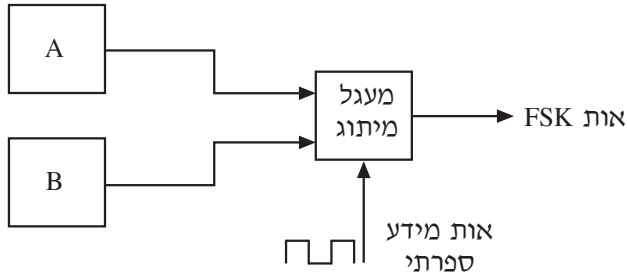


איור לשאלה 6

רשום את הפעולות המיוצגות על-ידי המלבנים A ו-B, והסבר כל אחת מהן.

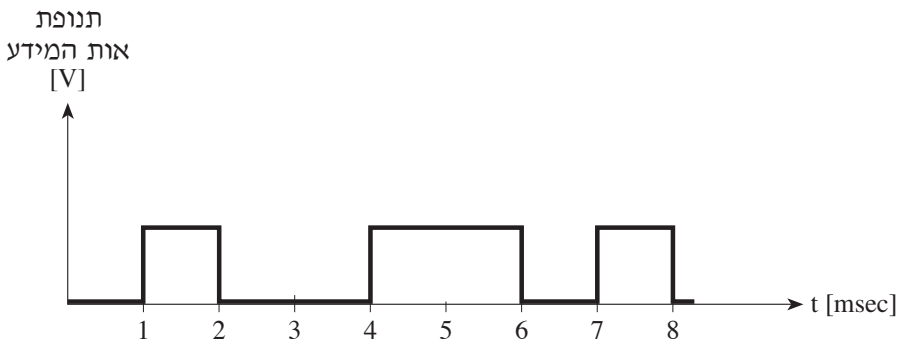
## שאלה 7

א. באיור א' לשאלה 7 נתון תרשים מלבנים של מערכת ליצירת אות, המאופנן בשיטת מפתוח זיזת תדר (FSK).



### איור א' לשאלה 7

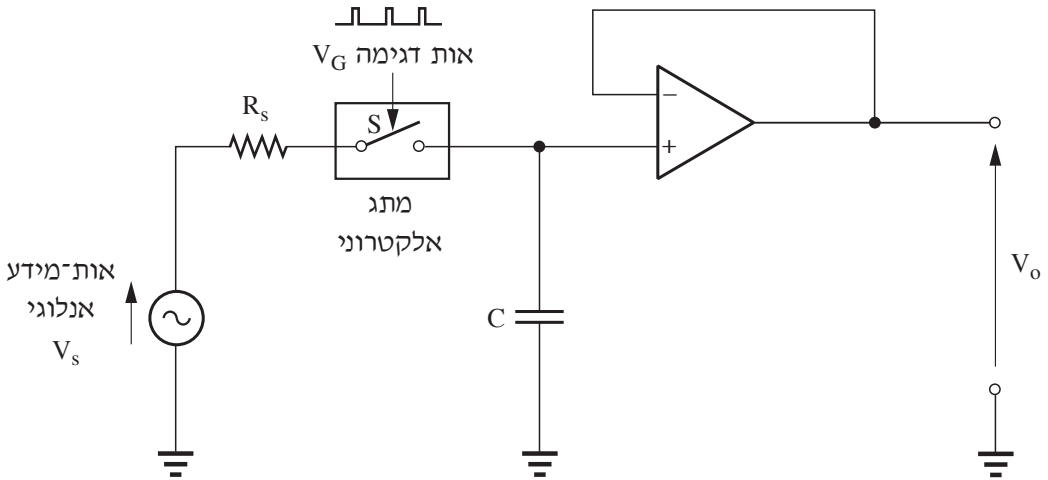
1. ציין את שמה של כל אחת מן היחידות A ו-B.
  2. הסבר את פעולת המערכת המתוארת באיור א'.
- ב. באיור ב' לשאלה נתון אות מידע ספרתי. העתק למחרתך את האות, וסרטט מתחתי, בהתאמה, את מתח המוצא כפונקציה של הזמן, המופק על-ידי מערכת לאפנון אות בשיטת מפתוח זיזת תדר (FSK).



### איור ב' לשאלה 7

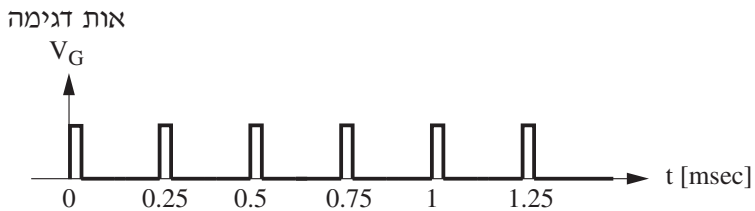
**שאלה 8**

באיור א' לשאלה 8 נתון מעגל דגימה ושמירה (sample and hold).



**איור א' לשאלה 8**

- א. הסבר את עקרון הפעולה של המעגל הנתון.
- ב. מה תפקידו של המגבר במעגל הנתון?
- ג. אות-המידע האנלוגי הנמסר למעגל הוא  $V_s(t) = 4 + 4 \cdot \sin(2000 \pi \cdot t)$ . אות הדגימה  $V_G(t)$  מתואר באיור ב' לשאלה.

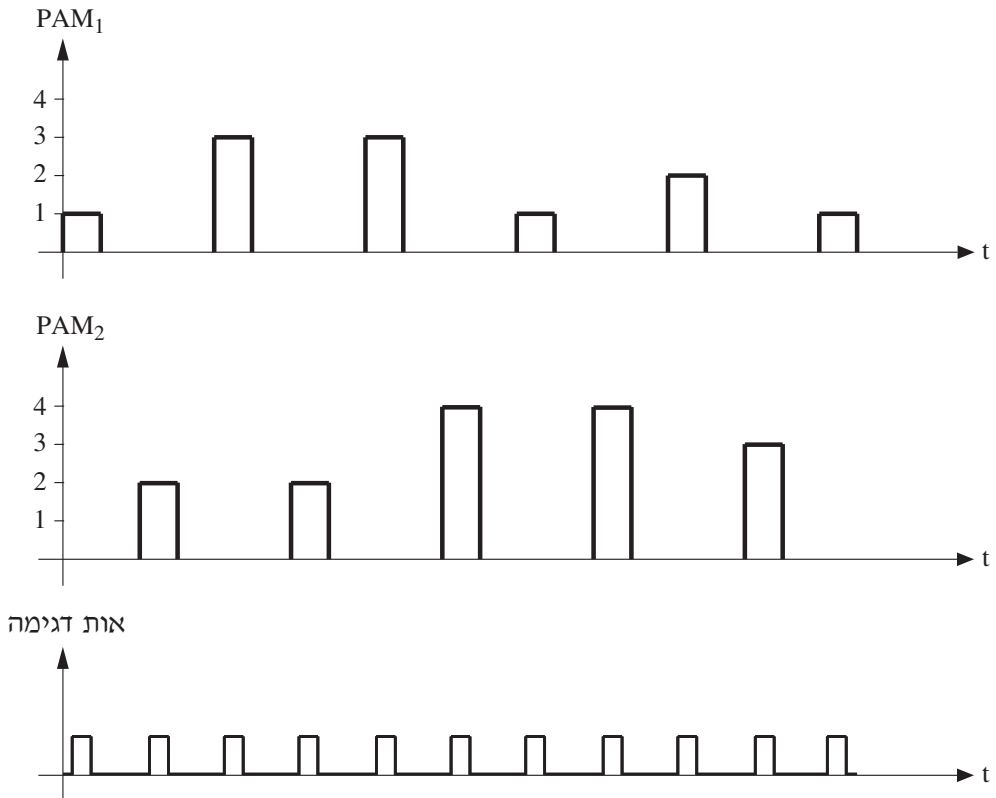


**איור ב' לשאלה 8**

העתק למחברתך את אות הדגימה, וסרטט מתחתיו, בהתאמה, את אות-המידע,  $V_s(t)$ , ואת האות במוצא המעגל,  $V_o(t)$ .

## שאלה 9

- א. 1. סרטט תרשים מלבנים עקרוני של מערכת לריבוב TDM של שני אותות,  $PAM_1$  ו- $PAM_2$ .  
מוצא המערכת יהיה אות מרובב TDM, המשלב את האותות לאות מוצא  $V_0$ .
2. הסבר את אופן פעולתה של המערכת שסרטטת.
- ב. באיור לשאלה 9 מתוארים האותות  $PAM_1$  ו- $PAM_2$  ואות דגימה, כפונקציה של הזמן.  
אות הדגימה דוגם את שני האותות לסירוגין, כאשר האות  $PAM_1$  נדגם תחילה.



### איור לשאלה 9

העתק למחברתך את האיור, וסרטט מתחתיו, בהתאמה, את צורת אות המוצא  $V_0$  כפונקציה של הזמן.

### 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] -  $X_{AM}(t) = A_c (1 + m_a \cos \omega_m t) \cos \omega_c t$   
גל המאופנן AM

תנופת הגל הנושא -  $A_c$  [V]

תנופת הגל המאפנן -  $A_m$  [V]

מקדם אפנון AM -  $m_a$

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

תדר הגל המאפנן -  $f_m$  [Hz]

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

$$\omega_m = 2\pi f_m$$

תדר הגל הנושא -  $f_c$  [Hz]

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

$$\omega_c = 2\pi f_c$$

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] -

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

תדר פס-הצד העליון -  $f_{\text{USB}}$  [Hz]

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

תדר פס-הצד התחתון -  $f_{\text{LSB}}$  [Hz]

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

רוחב-הפס של גל מאופנן AM - BW [Hz]

$$BW = 2f_m$$

הספק של גל מאופנן AM -  $P_{\text{AM}}$  [W]

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

הספק הגל הנושא -  $P_c$  [W]

התנגדות העומס - R [ $\Omega$ ]

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

הספק פס-הצד העליון -  $P_{\text{USB}}$  [W]

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

הספק פס-הצד התחתון -  $P_{\text{LSB}}$  [W]

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

נצילות שידור באפנן AM -  $\eta$

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

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 -  $\omega_c$   $\left[ \frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$

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

תנופת הגל הנושא -  $A_c$  [V]

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):

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

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

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

סטייה מרבית של המופע -  $\gamma$  [rad]

$$\gamma = K_p \cdot A_m$$

מקלטים:

תדר התהודה -  $f_o$  [Hz]

גורם הטיב - Q

רוחב הפס - BW [Hz]

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

תדר הביניים במקלט מסוג  
סופר-הטרודיין -  $f_{IF}$  [Hz]

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

עבור  $f_{LO} > f_{RF}$

תדר המתנד המקומי -  $f_{LO}$  [Hz]

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

תדר התחנה הנקלטת -  $f_{RF}$  [Hz]

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

עבור  $f_{LO} < f_{RF}$

תדר ראי במקלט סופר-הטרודיין -  $f_{IM}$  [Hz]

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

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 -  $R$  [ $\Omega$ ]

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]

**בהצלחה!**