

מערכות תקשורת ובקרה ה'

למתמחים במערכות אלקטרוניות במגמת הנדסת אלקטרוניקה ומחשבים

(כיתה י"ד)

הוראות לנבחן

א. משך הבחינה: ארבע שעות.

ב. מבנה השאלון ומפתח הערכה: בשאלון זה שני פרקים, ובהם שמונה שאלות.
יש להשיב על **ארבע שאלות בלבד**, שאלה אחת לפחות מכל פרק.

לכל שאלה – 25 נקודות. סך-הכול – 100 נקודות.

ג. חומר עזר מותר לשימוש: מחשבון.

ד. הוראות מיוחדות:

1. ענה על מספר השאלות הנדרש בשאלון. המעריך יקרא ויעריך את מספר השאלות 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 של תשובותיך.
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, יחד עם יחידות המידה המתאימות.
- * ליווי הפתרון החישובי בהסבר קצר.

בשאלון זה 5 עמודים ו-10 עמודי נספחים.

ההנחיות בשאלון זה מנוסחות בלשון זכר,

אך מכוונות לנבחנות ולנבחנים כאחד.

בהצלחה!

elec4u.co.il

השאלות

ענה על ארבע מבין השאלות 1-8. עליך לענות על שאלה אחת לפחות מכל פרק.

פרק ראשון: מערכות תקשורת ב'

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

שאלה 1

- א. הסבר את ייעודו של תהליך סינוף התעבורה (TRUNKING) ברשת תקשורת תאית.
- ב. הסבר את המושג דרגת-השירות (GOS) ברשת תקשורת תאית.
- ג. להלן נתונה של רשת תקשורת תאית:
- כמות התעבורה הכוללת בתא בשעה אחת היא $6 \cdot 10^6$ Erlang.
 - מספר המנויים בתא הוא 10,000.
 - מספר השיחות שמנוי יוזם בשעה אחת הוא 15.
- חשב את הזמן הממוצע של שיחה ברשת הזו.

שאלה 2

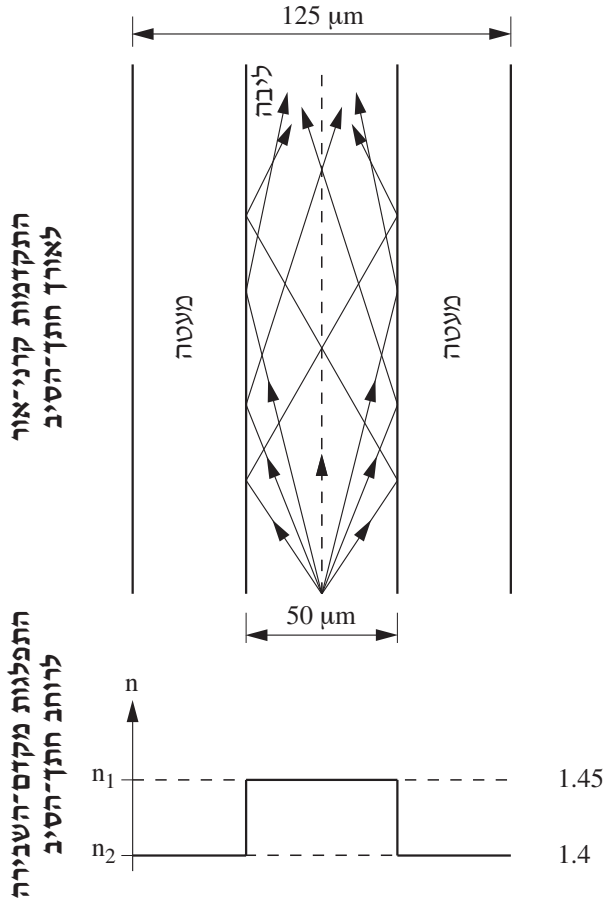
- א. כדי לשדר את מחרוזת המידע (0, 1, 1, 1) בשיטת CDMA, משתמשים בווקטור הקידוד (1, -1). רשום את המחרוזת המשודרת לאחר הקידוד. פרט את שלבי הקידוד.
- ב. מחרוזת המידע (1, -1, 1, 1, -1, 1, -1) נקלטת בשיטת CDMA. פענח את המידע, כאשר וקטור הקידוד הוא (1, -1). פרט את שלבי הפיענוח.

שאלה 3

- א. ציין שלושה יתרונות של מערכת תקשורת לוויינית לעומת מערכת תקשורת המשדרת באמצעות סיבים אופטיים או כבלי נחושת.
- ב. סרטט תרשים מלבנים עקרוני, המתאר את המבנה של מערכת התקשורת בלוויין.
- ג. ציין שלושה שיקולים מרכזיים לגבי המיקום של לוויין במסלול גיאוסטציונרי סביב כדור-הארץ.

שאלה 4

א. באיור לשאלה 4 מתוארת ההתקדמות של מספר קרני-אור לאורך החתך של סיב אופטי, ונתונה התפלגות מקדם-השבירה שלו לרוחב החתך.



איור לשאלה 4

1. מהו סוג הסיב האופטי המתואר באיור? נמק את תשובתך.
 2. הסבר מהי זווית-הקליטה ($2 \cdot \theta_a$) של סיב אופטי, וחשב את זווית-הקליטה של הסיב המתואר באיור.
 3. קרן-אור נכנסת מהאוויר לליבת הסיב הנתון. זווית הפגיעה היא 25° לאנך למשטח-הליבה. האם תוכל הקרן להתקדם לאורך כל הסיב? נמק את תשובתך.
- ב. סרטט תרשים המתאר את מהלכה של קרן-אור בסיב בעל מקדם-שבירה הדרגתי. קרן-האור פוגעת בזווית α לאנך למשטח-הליבה של הסיב ($\alpha < \theta_a$).

המשך בעמוד 4

פרק שני: תקשורת מחשבים

ענה על שאלה אחת לפחות מבין השאלות 5–8 (לכל שאלה – 25 נקודות).

שאלה 5

- א. הסבר את עקרון הפעולה של רשת תקשורת מקומית הפועלת בשיטת CSMA/CD.
- ב. ערוך השוואה בין רשת תקשורת הפועלת בשיטת CSMA/CD ובין רשת תקשורת הפועלת בשיטת האסימון. בהשוואתך, התייחס להיבטים הבאים: שיטת הגישה, טופולוגיית הרשת, ותפקוד הרשת בעומס.
- ג. הסבר את תפקידו של התקן הרשת "גשר" (Bridge) ברשתות תקשורת מקומיות. לווה את הסברך בתרשים של רשת תקשורת העושה שימוש ברכיב זה.

שאלה 6

- א. בטבלה שלהלן מתואר מבנה שבע השכבות במודל OSI.

מספר השכבה	שם השכבה
7	יישום (Application)
6	הצגה (Presentation)
5	שיחה (Session)
4	תובלה (Transport)
3	רשת (Network)
2	עורק (Data Link)
1	פיזית (Physical)

- ציין עבור כל אחת מהשכבות במודל OSI את אמצעי-היישום שלה בפרוטוקול TCP/IP.
 - רוב רשתות המחשבים מבצעות בדיקה לגילוי שגיאות-שידור באמצעות שיטת CRC. ציין באיזו שכבה במודל OSI מתבצעת בדיקה זו. נמק את תשובתך.
- ב. הסבר כיצד תחנות שידור-קליטה, המזהות שגיאות-שידור תוך שימוש בשיטת CRC, מתקנות את השגיאה.

שאלה 7

מעוניינים להעביר אות ספרתי דרך ערוץ תקשורת בעל עכבה אופיינית של 50Ω . עוצמת האות היא 5 mV , ויחס האות לרעש שלו הוא 30 dB .

א. חשב את עוצמת הרעש (ביחידות dBm).

ב. מהו רוחב הפס הנחוץ לערוץ התקשורת, על-פי משפט שאנון, אם קצב העברת הנתונים

בערוץ צריך להיות $100 \frac{\text{kb}}{\text{sec}}$?

שאלה 8

עליך לתכנן כבל שיחבר בין מחשב, הכולל מחבר DB-9 ועובד בתקן RS-232, ובין מיקרו־בקר, הכולל UART ותומך בפרוטוקול RS-232.

א. 1. סרטט את המבנה של כבל, הכולל את מספר החוטים **המזערי** הנדרש כדי לאפשר תקשורת דו־כיוונית בין המחשב למיקרו־בקר.

2. ציין את מספרי ההדקים בקצה הכבל המחובר למחשב.

ב. ציין את שמו והסבר את תפקידו של כל אחד מן החוטים המחוברים בין המחשב למיקרו־בקר בכבל שתכננת.

בהצלחה!

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

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

מקום למציאת נבחן

נוסחאון במערכות תקשורת ב'

לכיתה י"ד

(7 עמודים)

תקשורת בסיב אופטי

חוק סנל:

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$v = \frac{c}{n}$$

$$\theta_c = \sin^{-1} \left(\frac{n_2}{n_1} \right)$$

עקרון הפעולה של סיב אופטי:

$$\cos \theta_{1c} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$N.A. = \sin \theta_a = n_1 \cdot \sin \theta_{1c}$$

$$N.A. = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

זווית הפגיעה - θ_1 [°]

זווית השבירה - θ_2 [°]

מהירות האור בחומר 1 - v_1 $\left[\frac{m}{sec} \right]$

מהירות האור בחומר 2 - v_2 $\left[\frac{m}{sec} \right]$

מהירות האור בריק (באוויר) - c $\left[\frac{m}{sec} \right]$

מקדם השבירה של חומר 1 - n_1

מקדם השבירה של חומר 2 - n_2

הזווית הקריטית - θ_c [°]

זווית ההתפשטות הקריטית - θ_{1c} [°]

זווית הקליטה - $2 \theta_a$ [°]

מפתח נומרי - N.A.

Numerical Aperture

מקדם השבירה של - n_1

ליבת הסיב

מקדם השבירה של - n_2

מעטה הסיב

המשך בעמוד 2

נפיצה בין-אופנית:

$$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

Δ - ההפרש היחסי בין
מקדמי-השבירה

n_1 - מקדם השבירה של
ליבת הסיב

n_2 - מקדם השבירה של
מעטה הסיב

(בסיב מעשי)
$$\Delta = \frac{(N.A.)^2}{2n_1^2}$$

Δt [sec] - הנפיצה הבין-אופנית

L [m] - אורך הסיב

θ_{lc} [°] - זווית ההתפשטות הקריטית

c $\left[\frac{m}{sec} \right]$ - מהירות האור בריק
(באוויר)

$$\Delta t = \frac{n_1 \cdot L \cdot (1 - \cos \theta_{lc})}{c} = \frac{n_1 \cdot L}{c} \cdot \left(1 - \frac{n_2}{n_1}\right) = \frac{n_1 \cdot L \cdot \Delta}{c}$$

$\frac{\Delta t}{L}$ $\left[\frac{sec}{m} \right]$ - הנפיצה הבין-אופנית
ליחידת-אורך

V - התדר המנורמל

a [μm] - רדיוס ליבת הסיב

λ [μm] - אורך הגל של האור

$$\frac{\Delta t}{L} = \frac{n_1 \cdot \Delta}{c} = \frac{(N.A.)^2}{2n_1 \cdot c}$$

$$V = \frac{2 \pi a}{\lambda} \cdot n_1 \cdot \sqrt{2 \Delta}$$

M_n - מספר האופנים בסיב
מדרגה רב-אופני

$$M_n = \frac{V^2}{2}$$

M_n^* - מספר האופנים בסיב
פרבולי רב-אופני

$$M_n^* = \frac{V^2}{4}$$

ניחות הסיב האופטי:

ניחות הסיב	-	Att	[dB]
הספק במוצא הסיב	-	P_{out}	[W]
הספק במבוא הסיב	-	P_{in}	[W]
מקדם ניחות הסיב	-	β	$\left[\frac{dB}{km} \right]$
אורך הסיב	-	L	[km]

$$Att = 10 \cdot \log \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

$$Att = \beta \cdot L$$

הפסדי-הספק בסיב אופטי:

1. הפסדים הנובעים מחוסר התאמה בין שטח-הפנים של מקור-האור לבין שטח-הפנים של הסיב האופטי:

שטח-הפנים של ליבת הסיב האופטי	-	A_f	$[(\mu m)^2]$
שטח-הפנים של מקור-האור	-	A_s	$[(\mu m)^2]$
הקוטר של ליבת הסיב האופטי	-	d_f	$[\mu m]$
הקוטר של מקור-אור מעגלי	-	d_s	$[\mu m]$

$$LOSS_{AREA} = 10 \cdot \log \frac{A_f}{A_s} = 20 \cdot \log \frac{d_f}{d_s}$$

2. הפסדים הנובעים מחוסר התאמה בין המפתחים הנומריים של שני סיבים אופטיים:

המפתח הנומרי של הסיב שממנו יוצא האור	-	$(N.A.)_1$	
המפתח הנומרי של הסיב שאליו נכנס האור	-	$(N.A.)_2$	

$$LOSS_{N.A.} = 20 \cdot \log \frac{(N.A.)_1}{(N.A.)_2}$$

הפסד ההספק הכולל בסיב אופטי:

$$LOSS_{TOTAL} = L_{sf} + Att + n \cdot L_{conn} + L_{fd}$$

- L_{sf} [dB] הפסדים הנובעים מהצימוד בין מקור-האור לסיב
- Att [dB] הפסדים הנובעים מהנפיצה בסיב
- n מספר המחברים בסיב
- L_{conn} [dB] הפסדים הנובעים מהמחברים בסיב
- L_{fd} [dB] הפסדים הנובעים מהצימוד בין הסיב לגלאי

ההספק המתקבל במוצא של סיב אופטי:

$$P_R = P_L - LOSS_{TOTAL}$$

- P_L [dB] או [dBm] הספק מקור-האור
- R_R [dB] או [dBm] ההספק במוצא הסיב האופטי
- $LOSS_{TOTAL}$ [dB] או [dBm] הפסד ההספק הכולל בסיב האופטי

שולי ההספק:

$$L_m = P_R - P_d$$

- L_m [dB] שולי ההספק
- P_d [dB] רגישות הגלאי

המרת היחידות של הספק:

$$P[dBm] = 10 \cdot \log P[mW]$$

$$P[dB] = 10 \cdot \log P[W] = P[dBm] + 30[dB]$$

תקשורת תאית

שימוש חוזר בתדירים ברשת תאית:

$$S = K \cdot N$$

$$P = M \cdot S = M \cdot R \cdot N$$

- K – מספר ערוצי התדר בתא
- N – מספר התאים באשכול
- S – מספר הערוצים במערכת
- P – מספר ערוצי התדר ברשת
- M – מספר אשכולות התאים ברשת

$$\equiv \frac{1}{N} \text{ מקדם השימוש החוזר של המערכת.}$$

דרגת השירות:

- λ – מספר השיחות שמנוי יזם בשעה אחת
- H [sec] – אורך שיחה ממוצעת
- U – מספר המנויים בתא
- Au [Erlang], [sec] – כמות התעבורה (זמן השיחות הכולל) שמנוי יצר בשעה אחת
- A [Erlang], [sec] – כמות התעבורה הכוללת בתא בשעה אחת
- GOS – דרגת השירות (Grade of Service)
- C – מספר הערוצים בתא

$$Au = \lambda \cdot H \text{ [sec]}$$

$$Au = \frac{\lambda \cdot H}{3600} \text{ [Erlang]}$$

$$A = U \cdot Au$$

$$GOS = \frac{\frac{A^C}{C!}}{\sum_{k=0}^C \frac{A^k}{K!}}$$

: TDMA

תחום תדרים כולל	-	BW_T [Hz]
רוחב פס ערוץ	-	BW [Hz]
מספר ערוצים	-	X
מספר חריצי זמן בערוץ (מסגרת)	-	N
מספר ערוצי בקרה במסגרת	-	C
מספר מנויים שניתן לשרת ב־זמנית	-	S

$$BW_T = BW \cdot X$$

$$S = X \cdot (N - C)$$

: CDMA

שיטת CDMA מאפשרת לכל יחידות הקצה שבתא להשתמש בכל טווח התדרים במשך כל הזמן. כל יחידת קצה מזוהה על-ידי קוד אישי. המידע המשודר מקודד בשיטה המבוססת על מכפלה סקלרית של וקטורים.

רקע מתמטי – פעולות בוקטורים

נתונים הווקטורים a ו- b :

$$a = (a_1, a_2, \dots, a_k) \quad ; \quad b = (b_1, b_2, \dots, b_k)$$

הווקטור c הוא מכפלה סקלרית של הווקטורים a ו- b :

$$c = a \cdot b = a_1 b_1 + a_2 b_2 + \dots + a_k b_k$$

* אם המכפלה של a ו- b נותנת את התוצאה אפס, אזי הווקטורים a ו- b אורתוגונליים.

פעולות בסיסיות בוקטורים:

$$a \cdot (b + c) = a \cdot b + a \cdot c$$

$$a \cdot kb = k \cdot (a \cdot b) \quad (k \text{ הוא סקלר})$$

$$|a| = \sqrt{a \cdot a} \quad (|a| \text{ מספר ממשי})$$

המשך בעמוד 7

$$\begin{aligned} a \cdot (a + b) &= |a|^2 & \text{אם הווקטורים } a \text{ ו- } b \text{ אורתוגונליים, אז מתקיים:} \\ a \cdot (-a + b) &= -|a|^2 \\ b \cdot (a + b) &= |b|^2 \\ b \cdot (a - b) &= -|b|^2 \end{aligned}$$

קידוד CDMA

data – מחרוזת מידע ספרתי
(סיביות)

$$\begin{aligned} \text{data} &= d_1 \ d_2 \ \dots \ d_k \\ d &= (d_1, d_2, \dots, d_k) \end{aligned}$$

$$t = d' \cdot V$$

d – וקטור המייצג את data
d' – וקטור d לאחר הצבת (-1)
במקום איברים בעלי הערך
אפס
V – וקטור הקידוד
t – וקטור מידע משודר
t_s – מחרוזת הסיביות המייצגת
את t (האות המשודר)

פיענוח CDMA

$$d = r \cdot V$$

data' – מחרוזת הסיביות הנקלטת
r – וקטור המייצג את data'
V – וקטור הקידוד
(ידוע ליחידה הקולטת)
d – וקטור המידע המפוענח
d'' – וקטור מנורמל המייצג
את d
data – מחרוזת סיביות המייצגת
את d''

הערה: d מתקבל על-ידי המרת מספרים חיוביים ל-'1' ומספרים שליליים ל-'0'.

בהצלחה!

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

מקום לנכתוב תשובות

נוסחאון בתקשורת מחשבים לכיתה י"ד

(3 עמודים)

יחס אות לרעש

- S.N.R [dB] – יחס אות לרעש
- P_s [W] – הספק נושא המידע (Signal)
- P_n [W] – הספק הרעש (Noise)

$$\text{S.N.R} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_s}{P_n} \right)$$

משפט שאנון

- C [bps] – הקצב המרבי להעברת נתונים בקו תקשורת
- W [Hz] – רוחב הפס של הקו

$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{P_s}{P_n} \right)$$

משפט נייקוויסט

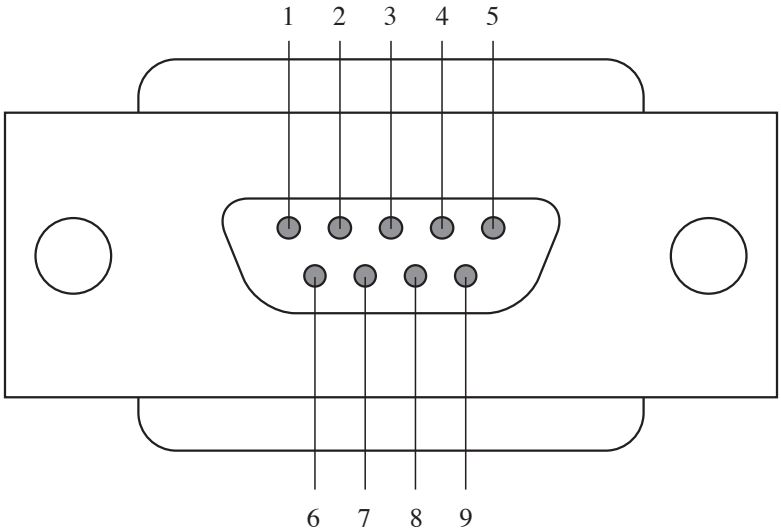
- D [baud] – קצב העברת האות הספרתי
- R [bps] – הקצב להעברת נתונים בקו תקשורת
- M – מספר הרמות (בריבוי רמות)
- N – מספר הסיביות המוצפנות

$$D \leq 2W$$

$$R = D \cdot \log_2 M$$

$$M = 2^N$$

מיפוי הדקים בתקן RS-232



Pin	Signal	Pin	Signal
1	Data Carrier Detect	6	Data Set Ready
2	Received Data	7	Request to Send
3	Transmitted Data	8	Clear to Send
4	Data Terminal Ready	9	Ring Indicator
5	Signal Ground		

מבנה התשדורת ב־USB

SYNC	PID	PS	CRC	EOP
------	-----	----	-----	-----

SYNC = Synchronize
PID = Packet Identification
PS = Packet Specific
CRC = Cyclic Redundancy Check
EOP = End of Packet

סוגי התשדורת ב־USB

Group	PID Value	Packet Identifier
<u>Token</u>	0001	OUT Token
	1001	IN Token
	0101	SOF Token
	1101	SETUP Token
<u>Data</u>	0011	DATA0
	1011	DATA1
<u>Handshake</u>	0010	ACK Handshake
	1010	NAK Handshake
	1110	STALL Handshake
<u>Special</u>	1100	Preamble

מבנה התשדורת ב־SDLC/HDLC

FLAG	ADDRESS	CONTROL	DATA	CRC	FLAG
------	---------	---------	------	-----	------

שלוש התצורות של השדה CONTROL

bits →	0	1	2	3	4	5	6	7	
	0	N (S)		P / F		N (R)			א. Information Transfer Frame
bits →	0	1	2	3	4	5	6	7	
	1	0	S	S	P / F		N (R)		ב. Supervisory Frame
bits →	0	1	2	3	4	5	6	7	
	1	1	M	M	P / F		M M M		ג. Management Frame

N (S)	–	מספר סידורי של המסגרת המשודרת
N (R)	–	מספר סידורי של המסגרת שצריכה להיקלט
P/F	–	poll / final bit
M	–	פקודה/תגובה של ניהול התקשורת
S	–	פקודה/תגובה של מחשב הבקרה

בהצלחה!