



אגודת תקשורת הרדיו הישראלית

מדריך לבחינות

חובבי רדיו

(השלמה לבחינות דרגה א')

דניאל רוזן, 4X1SK



דניאל רוזן, 4X1SK

מדריך לבחינות חובבי רדיו
(השלמה לבחינת דרגה א')

דניאל רוזן, 4X1SK

מדריך לבחינות חובבי רדיו (השלמה לבחינת דרגה א')



אגודת תקשורת הרדיו הישראלית

DANIEL ROSENNE, 4X1SK

Amateur Radio Examination Manual (Extra Class Supplement)

עריכה לשונית: ציפי רוזן
עיצוב העטיפה: ליהי בר-חיים, עיניים גדולות – מבט, עיצוב, שינוי
עיצוב ועימוד: שולמית ירושלמי

מסת"ב: 1-314-599-965-978

כל הזכויות שמורות לאגודת תקשורת הרדיו הישראלית, תל אביב, התשפ"ו – 2026
דפוס פרינטיב, ירושלים

Copyright by Israeli Association for Radio Communication, Tel Aviv, Israel, 2026

www.iarc.org

Printed in Israel

תוכן העניינים

1	מבוא
3	פרק א: תקשורת ספרתית
3	1.1 מושגי יסוד
8	1.2 קוד ספרתי
11	1.3 ממשקים
15	1.4 אופני עבודה
15	1.5 מודם
17	1.6 חיבורים מערכתיים
19	1.7 קצבים וממשקים מקובלים בתקשורת חובבים
22	פרק ב: תקשורת לוויינים
22	2.1 מבוא
23	2.2 מסלולי לוויינים – מושגי יסוד
26	2.3 חוקי קפלר
28	2.4 מסלולי לוויינים
35	2.5 משיבים
38	2.6 חישוב ניחות נתיב
41	2.7 ניחות באטמוספירה
43	2.8 מקורות רעש
44	2.9 תחומי תדר
48	תשובות לשאלות

מבוא

חוברת זו נכתבה עבור חובבי רדיו המבקשים לעמוד בבחינות משרד התקשורת לדרגה א'.

עמידה בבחינות חובבי רדיו דרגה א' של משרד התקשורת, דרגת הרישיון הגבוהה בישראל לחובבי רדיו, מחייבת ידע ברמה גבוהה בחומר של דרגה ב' וידע בנושאים טכניים נוספים: תקשורת ספרתית ותקשורת לוויינים.

חוברת זו משלימה את הספר מדריך לבחינות חובבי רדיו (דרגה ג' ודרגה ב'), בהוצאת אגודת תקשורת הרדיו הישראלית, תל אביב, התשפ"ו – 2026, ומיועדת לסייע בלמידה של הנושאים הטכניים הנוספים, על פי דרישות משרד התקשורת, בהתאם לתוכן (סילבוס) שפורסם בשנת 2020.

החוברת מותאמת ללמידה עצמית. התמודדות עם שאלות המשובצות בחוברת מאפשרת ללומדים לוודא שהם הבינו כראוי את החומר, ולאחר שענו על שאלה, הם יוכלו להשוות את תשובתם לתשובה המופיעה בסוף החוברת. מידע המופיע בהערות הוא לידע כללי, ואיננו חלק מחומר הבחינה.

ביודעין, חוברת זו מתמקדת אך ורק בנושאי הבחינה, איננה ספר עזר (Handbook) מקיף לחובבי רדיו, ורחוקה מלכלול את כל המידע שחובבי רדיו מבקש לשם הפעלת תחנת חובבים.

תודה לחובבי הרדיו שעברו על טיוטות החוברת ותרמו לטיוב תוכנה: דורון אביב 4X1ZX, שמאי אופפר 4Z1WS, משה אינגר 4Z1PF, דוד גרינברג 4X1DG, צבי סגל 4Z1ZV וחנן צבר 4Z1DZ. הערותיהם המועילות היו לעזר רב.

תודה מיוחדת לרעייתי ציפי, שטרחה בעריכת הלשון ובהגהות ותמכה בי בתחביב חובבות הרדיו במשך השנים ובכתיבת חוברת זו.

עשיתי כמיטב יכולתי לאתר את היוצרים ובעלי הזכויות בכל התמונות והאיורים בחוברת, ולתת להם את הקרדיט הראוי. אני מתנצל על כל השמטה או טעות, ואם יובאו לידיעתי, אפעל לתקנן במהירות הבאות.

חוברת זו נכתבה כתרומה לקידום חובבות הרדיו בישראל. אם חוברת זו תעודד חובבי רדיו צעירים ומבוגרים לקדם את רמתם המקצועית ולהתקדם לדרגה א' – זה יהיה שכרי.

דניאל רוזן, 4X1SK
תל אביב, טבת תשפ"ו

תקשורת ספרתית

1.1 מושגי יסוד

אות אנלוגי (Analog Signal) מייצג ערכים רציפים, יכול לקבל מספר אינסופי של ערכים, ובכל נקודה בזמן הוא מייצג ערך בטווח ערכים רציף. לעומתו: **אות ספרתי** (Digital Signal) הוא אות שיכול לקבל מספר סופי של ערכים, ומיוצג בכל נקודה בזמן בערך נבחר אחד משני ערכים אפשריים: אפס או אחד.

רעש הוא קושי מהותי במערכות תקשורת, ומפריע במיוחד לאותות אנלוגיים. אותות ספרתיים פחות רגישים לרעש, ולשידור ספרתי יש חסינות בסיסית לרמה מסוימת של רעש.

חובבי רדיו משתמשים בתקשורת ספרתית מזה עשרות שנים. מאז מלחמת העולם השנייה התפתחה תקשורת לתעבורה כתובה בידי חובבי רדיו באמצעות שימוש בטלפרינטרים,¹ ומכאן המונח RTTY (Radio Tele TYpe) לטלפרינטר אלחוטי. השימוש באופן פעולה זה מקובל גם כיום, אלא שבשנות השמונים החליף המחשב האישי את הטלפרינטר האלקטרומכני. בשנים האחרונות מתפתחת תקשורת דיבור ספרתית, בעיקר בתחומי התג"ם והתא"ג.

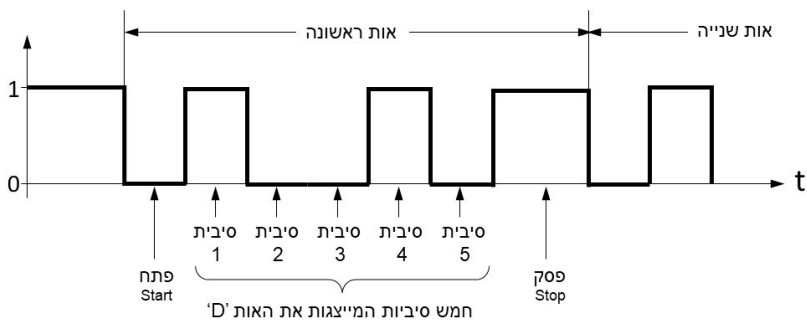
תקשורת טקסט באמצעות טלפרינטר התבססה על קוד של חמש סיביות, המכונה קוד בוד (ראו הסבר בסעיף 1.2), כאשר כל אות מיוצגת באמצעות חמש סיביות. סיבית יכולה להיות בעלת ערך של אחד או אפס, כאשר ערך של אחד מכונה סימן (Mark) וערך של אפס מכונה רווח (Space).

1 טלפרינטר הוא מכונה אלקטרומכנית מורכבת, המאפשרת העברת הודעות מודפסות בטקסט רגיל, בדומה למכונת כתיבה: מפעיל מקיש אותיות על לוח מקשים במשדר, ומקלט מדפיס את האותיות הנקלטות על סרט או דף. הטלפרינטר הומצא בצרפת בידי בודו (Jean-Maurice-Émile Baudot), בשנת 1874. חברת Teletype הייתה יצרן אמריקאי גדול של טלפרינטרים, שבשנת 1928 החליפה את שמה ל-Teletype Corporation. החברה הפסיקה לייצר טלפרינטרים בשנת 1982.

תקשורת טלפרינטרים היא תקשורת אֶסִינְכְרוֹנִית (Asynchronous): כדי לקלוט את חמש הסיביות של כל אות נדרש הטלפרינטר הקולט לתזמן ממגנון מכני מול כל אחת מחמש הסיביות המשודרות, וכדי לעשות זאת נדרש המגנון המכני לעצור בתום קליטת כל אות, כדי שמחזור הקליטה יתחיל מחדש בדיוק עם שידור הסיבית הראשונה. לצורך זה השתמשו באופן פעולה של פְּתַח (Start) ופְּסָק (Stop): במקום לשדר חמש סיביות, שודרו שבע סיביות: סיבית פְּתַח (Start), שערכה אפס, שהיא אות המודיעה על תחילת השידור; חמש סיביות המייצגות את האות המשודרת, שכל אחת מהן יכולה להיות דְּחִיק (אחד - Make) או פְּסִיק (אפס - Break), וסיבית פְּסָק (Stop) שערכה הוא אחד, והיא אות המודיע על סיום שידור האות, ומשכה ארוך יותר מהסיביות האחרות.

קצב בוד (Baud rate) הוא כמות הסיביות הבסיסיות המשודרות במשך שנייה. קצב זה מכונה גם **קצב סמל** (Symbol rate). כאשר סמל מייצג סיבית בודדת, קצב הסמל זהה לקצב הסיביות; במפתוח זִיזוּת מופֵע רְבִיעוֹנִי (QPSK) או אפנון תנופה רביעוני (QAM), סמל (Symbol) נושא שתי סיביות, וקצב הסמל הוא מחצית מקצב הסיביות. בחישוב קצב בתקשורת אסינכרונית, לא לוקחים בחשבון את סיביות הפתח והפסק, שכן סיביות אלה משמשות לניהול התקשורת, ואינן מעבירות מידע.

דוגמה: נניח שידור אסינכרוני באופן פעולה של פתח/פסק בו משך סיבית הוא 20 מילי שניות ומשך סיבית הפסק (Stop) הוא פי 1.5 ממשך הסיבית (ערכים מקובלים הם סיבית פסק שמשכה זהה למשך הסיבית, סיבית פסק שמשכה פי 1.5 ממשך הסיבית וסיבית פסק שמשכה פי 2 ממשך הסיבית). משך השידור של אות הוא משך של 7.5 סיביות, דהיינו: 150 מילי שניות. קצב הסיביות הוא 50 בוד (1/0.020), ובדקה משודרות 400 אותיות, שהן כ-80 מלים בדקה, ² קצב מהיר מאוד בהשוואה למפעיל מורס מיומן, הקולט בקצב של 20 עד 30 מלים בדקה.



שידור אסינכרוני בטלפרינטר אלחוטי

שידור האות D בקוד בוד, באופן פעולה של פתח/פסק, בקצב 50 בוד

בתקשורת טלפרינטרים אלחוטית, ערכים מקובלים למשך סיבית הם 22, 20, 13.33 ו-10 מיילי שנייה, המתאימים לקצבים של 45, 50, 75 ו-100 בוד.

בתקשורת סינכרונית (Synchronous) לא משתמשים בפתח/פסק, וכל הסיביות זהות במשכן. כדי להבטיח סנכרון בין המקלט למשדר משתמשים בשעונים מדויקים, השומרים על סנכרון לתקופות זמן ממושכות, ומסנכרנים בין המקלט והמשדר בתחילת כל שידור או מעת לעת במהלך שידור, באמצעות מילות סנכרון. קצב הסיביות (Bit Rate) הוא כמות הסיביות המשודרות במשך שנייה, ונמדד ביחידות של סיביות לשנייה (Bits per second).

בתקשורת מחשבים נהוג להשתמש במילים של 8 סיביות, הנקראות בֵּית (Byte), ולכן משתמשים גם במונח של בֵּית-לשנייה (Bytes per second), שהוא כמות בֵּית של 8 סיביות המשודרות בשנייה.

שיטות האפנון הנפוצות לאותות ספרתיים הם מִפְתּוּחַ הַסַּטָּת תָּדָר (FSK – Frequency Shift Keying), מִפְתּוּחַ הַסַּטָּת מוּפָּע (PSK), מִפְתּוּחַ זֵיזָת מוּפָּע רְבִיעוֹנִי (QPSK) ואפנון תנופה רביעוני (QAM).³

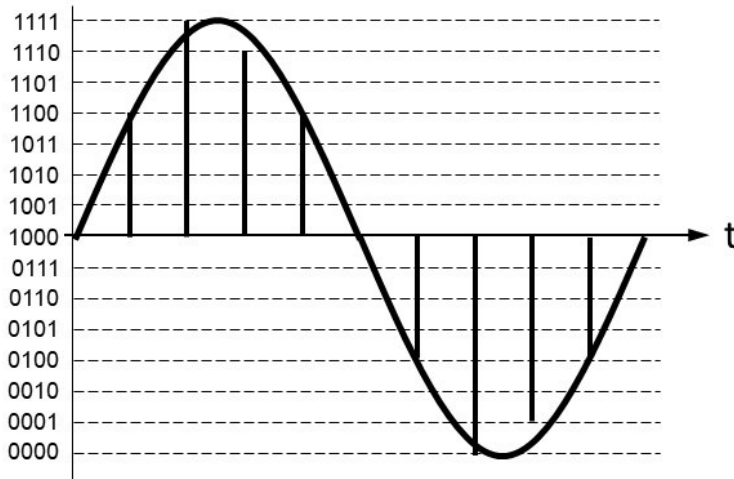
מִפְתּוּחַ הַסַּטָּת תָּדָר בְּתָדָר שִׁמְעָה (AFSK – Audio Frequency Shift Keying) הוא מִפְתּוּחַ הַסַּטָּת תָּדָר (FSK) המבוצע בפס-הבסיס (Baseband) של משדר, בדרך של ייצור אות בתחום תדרי השמע המאפשר אפנון של משדרי חד-פס או את"ד. הדבר מאפשר להשתמש במשדרים ומקלטים שנועדו להעברת אותות שמע לשם העברת תקשורת ספרתית, ונפוץ בקרב חובבי רדיו.

לשם העברת אות שמע או חוזי בתקשורת ספרתית אין להסתפק בהמרת האות לאות ספרתי בדרך של דגימה (Sampling),⁴ ונדרש לבצע קידוד (Coding) לכל דגימה. שיטת קידוד מקובלת מכונה אפנון על ידי דופק-מקודד (PCM – Pulse Code Modulation). בשיטה זו נקבע ערך לכל דגימה, ולשם שידור הדגימה בערוץ תקשורת יש לשדר מילה ספרתית המבטאת את ערך הדגימה.⁵

3 ראו הסבר בספר דניאל רוזן, מדריך לבהינות חובבי רדיו (דרגה ג' ודרגה ב'), בהוצאת אגודת חובבי הרדיו בישראל, תל אביב, התש"ף – 2020 (להלן: רוזן, מדריך לבהינות), סעיף 4.1.

4 ראו: רוזן, מדריך לבהינות, סעיף 3.6.

5 שיטות אפנון על ידי דופק-מקודד מבוססות על כימות (Quantization) לינארי (הפרש אחיד בין הערכים הספרתיים) או על כימות עם דחיסה (מנגנון לפיו כימות לינארי של 12 או 13 סיביות ממופה למילה בת 8 ערכים), לשיפור הביצועים. בנוסף לכך יש שיטות קידוד דיפרנציאליות, בהן לא משודר הערך המוחלט של דגימה, אלא משודר השוני בין ערך הדגימה לערך הדגימה הקודמת. הנושא לא נכלל בחומר הבחינה.



המחשה של אפנון על ידי דופק-מקודד ב-16 רמות
 כל דגימה מיוצגת באמצעות רמה קוונטית, מ-0000 עד 1111 (24 רמות)

דוגמה: נניח שאנו דוגמים אות שמע בקצב של 8 קס"ש,⁶ ועומק הדגימה הוא 8 סיביות.⁷ קצב התמסורת הנדרש יהיה 64 קס"ש.

בתקשורת ספרתית, **מְמִיר אנלוגי לספרתי** (Analog to Digital Converter, מסומן A/D) הוא מכשיר המבצע פעולת דגימה, קידוד ורְבוב. ובאופן זהה: **מְמִיר ספרתי לאנלוגי** (Digital to Analog Converter, מסומן D/A) מבצע פעולה של מיצוי רְבוב, מיצוי הקידוד והמרת האות מאות ספרתי לאות אנלוגי.⁸

רְבוב (Multiplexing) הוא צירוף של מספר אותות לשידור בערוץ אחד. במקלט נדרש לבצע תהליך של מיצוי הרְבוב (Demultiplexing), כדי למצות את האותות האינדיבידואליים מהאות המרובב. טכנולוגיות הרְבוב העיקריות הן:

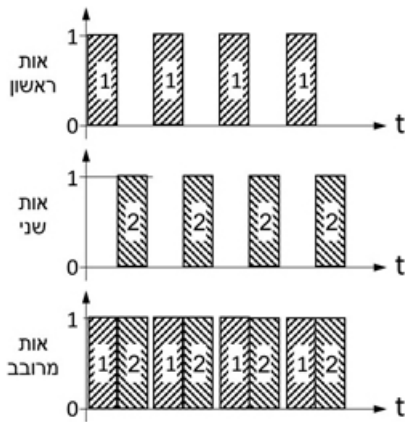
רְבוב בחלוקת זמן (TDM – Time-Division Multiplexing) הוא מנגנון המחלק ערוץ בציר הזמן למסגרות זמן (Time Frame), וכל מסגרת מחולקת לחריצות זמן (Timeslots), כאשר בכל חריץ זמן משודר מידע שהתקבל מערוץ אחר.

רְבוב בחלוקת תדר (FDM – Frequency Division Multiplexing) הוא ריבוב המשדר בזמנית מספר אותות, כאשר האותות מוסטים בתדר ומשודרים יחדיו.

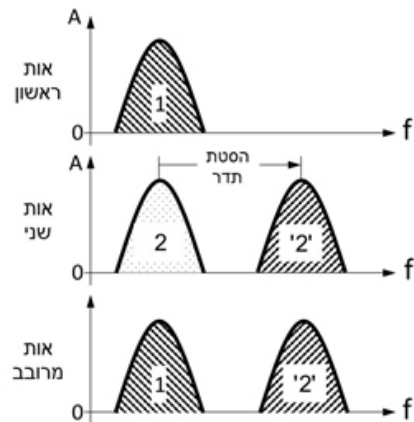
6 על פי משפט הדגימה של שנון – נייקוויסט, כדי לייצג נאמנה את האות הנדגם יש לדגום בתדר שהוא לפחות פי שניים מתדר האות. קצב דגימה של 8 קס"ש מקובל בטלפוניה. קצב דגימה מקובל לשמע בפורמט DVD הוא 48 קה"ץ.

7 בפועל מקובל להשתמש בעומק דגימה של 8, 16, 20 או 24 סיביות.

8 להבדיל: ממיר אנלוגי לספרתי או ממיר ספרתי לאנלוגי המשמש לעיבוד אותות ספרתי הוא מנגנון שונה. ראו: רוזן, מדריך לבחינות, סעיף 3.6.



רְבֻב בַּחֲלֻקַת זְמַן TDM



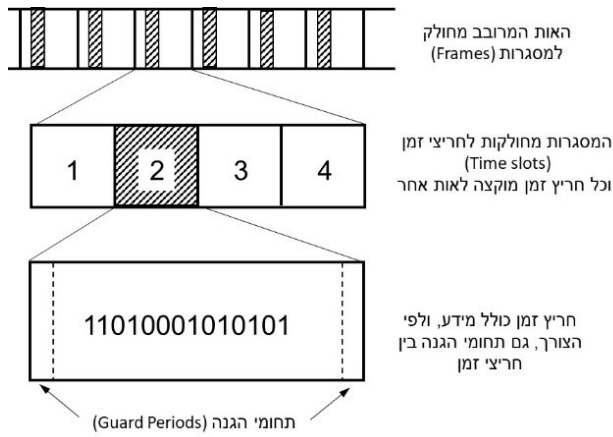
רְבֻב בַּחֲלֻקַת תְּדָר FDM

השוואת שיטות רְבֻב

לדוגמה: שידור את"ד סטריאופוני הוא דוגמה לרְבֻב בַּחֲלֻקַת תְּדָר של שני אותות: ערוץ השמע הימני וערוץ השמע השמאלי.

שיטות רְבֻב אלה נועדו ליעול השימוש בערוץ בין משדר ומקלט. כאשר יש משאב משותף, כמו ערוץ רדיו המיועד למספר משתמשים, מבצעים גישה משותפת לערוץ בשיטה של גישות מרובות בחלוקת זמן – TDMA (Time Domain Multiple Access), בה הסיביות מאורגנות במסגרות זמן (Time Frame), וכל מסגרת משודרת בזמן המוקצה למכשיר או למשתמש מסוים. המסגרת מחולקת לחריצי זמן (Time slots), וכל חריץ זמן מוקצה למשתמש אחר. לעיתים נדרשים תחומי הגנה (Guard Periods) בין חריצי זמן, לדוגמה: ב-DMR בתג"ם/תא"ג, כל חריץ זמן משודר ממכשיר קשר של משתמש אחר, יש מרחק בין המשתמשים, ולכן נדרש תחום הגנה כדי להתמודד עם השוני בזמן בין אותות המגיעים ממכשירים בטווחים שונים.⁹

9 DMR מבוסס על ריבוב TDMA של שני ערוצים, כל אחד בקצב 4,800 סל"ש. המסגרת היא 60 מילי שנייה, וכל חריץ זמן הוא 30 מילי שנייה. בחריץ זמן זה משדרים 264 סיביות במשך 27.5 מילי שנייה (תחום ההגנה הוא 1.25 מילי שנייה לפני ואחרי שידור הסיביות).



רבוב בשיטת TDMA

1.2 קוד ספרתי

הקוד הספרתי הפשוט ביותר הוא קוד מורס, בו כל אות מיוצגת בהרכב של קווים ונקודות, באורך משתנה. אות בשימוש נפוץ, כמו E, מיוצגת בנקודה בודדת. אות בשימוש נדיר, כמו Q, מיוצגת בשלושה קווים ונקודה. המצאת הטלפרינטר חייבה יצירת קוד חדש, קוד בוד (Baud Code), שהתבסס על מילה קבועה בת חמש סיביות, והיה הקוד הבינרי הראשון ששימש להעברת טקסט כתוב.¹⁰ הקוד איפשר רק 32 סימנים, וכדי לתמוך בכל מרחב התווים הומצא מנגנון הסטה ונעילה, שאיפשר מיתוג בין שני מרחבי סימנים, 'אותיות' ו'ספרות', בדומה למקש היסט (Shift) במקלדת המחשב של היום, עם 26 סימנים בכל מרחב. הקוד הלועזי כולל אותיות גדולות בלבד, ספרות, סימני פיסוק ומספר מוגבל של סימונים נוספים.

10 טלפרינטרים נכנסו לשימוש מסחרי נרחב רק משנת 1925. איגוד הבוק הבינלאומי אימץ את קוד בוד בשנת 1932, כקוד בינלאומי רב-לשוני.

ספרות (Figures)	אותיות (Letters)	ייצוג בינרי (משמאל לימין)	מס' סידורי (Combination No.)
-	A	11000	1
?	B	10011	2
:	C	01110	3
מי אתה? (Who are you?)	D	10010	4
3	E	10000	5
!	F	10110	6
ך	G	01011	7
£	H	00101	8
8	I	01100	9
|	J	11010	10
)	K	11110	11
(	L	01001	12
.	M	00111	13
,	N	00110	14
9	O	00011	15
0	P	01101	16
1	Q	11101	17
4	R	01010	18
פעמון (Bell)	S	10100	19
5	T	00001	20
7	U	11100	21
;	V	01111	22
2	W	11001	23
/	X	10111	24
6	Y	10101	25
"	Z	10001	26
החלף שורה (Line Feed)		01000	27
רווח (Space)		00100	28
החזר עגלה (Carriage Return)		00010	29
ספרות (Figures)		11011	30
אותיות (Letters)		11111	31

קוד בוד

או, בשמו הרשמי, International Telegraph Alphabet No. 2 (ITA2)
מקור: ITU-T S.1, 03/93

ערך עשרוני Dec	אות/ סימון (Char)	ערך עשרוני Dec	אות/ סימון (Char)	ערך עשרוני Dec	אות/ סימון (Char)	ערך עשרוני Dec	אות/ סימון (Char)
0	MUL - null	32	Space	64	@	96	`
1	SOH – start of heading	33	!	65	A	97	a
2	STX – start of text	34	“	66	B	98	b
3	ETX – end of text	35	#\$	67	C	99	c
4	EOT – end of transmission	36	\$	68	D	100	d
5	ENQ – enquiry	37	%	69	E	101	e
6	ACK – acknowledge	38	&	70	F	102	f
7	Bel – bell	39	‘	71	G	103	g
8	BS – backspace	40	(	72	H	104	h
9	TAB – horizontal tab	41	)	73	I	105	i
10	NL – line feed	42	*	74	J	106	j
11	VT – vertical tab	43	+	75	K	107	k
12	FF – form feed	44	,	76	L	108	l
13	CR – carriage return	45	–	77	M	109	m
14	SO – shift out	46	.	78	N	110	n
15	SI – shift in	47	/	79	O	111	o
16	SLE – data link escape	48	0	80	P	112	p
17	DC1 – Device control 1	49	1	81	Q	113	q
18	DC2 – Device control 2	50	2	82	R	114	r
19	DC3 – Device control 3	51	3	83	S	115	s
20	DC4 – Device control 4	52	4	84	T	116	t
21	NAK – negative acknowledge	53	5	85	U	117	u
22	SYN – synchronous idle	54	6	86	V	118	v
23	ETB – end of trans. block	55	7	87	W	119	w
24	CAN – cancel	56	8	88	X	120	x
25	EM – end of medium	57	9	89	Y	121	y
26	SUB – substitute	58	:	90	Z	122	z
27	ESC – escape	59	;	91	[	123	{
28	FS – file separator	60	<	92	\	124	|
29	GS – group separator	61	=	93	]	125	}
30	RS – record separator	62	>	94	^	126	~
31	US – unit separator	63	?	95	_	127	DEL

קוד ASCII

או, בשמו הרשמי, IA5 או IRA (International Reference Alphabet)

מקור: ITU-T T.50, 09/92

קוד (American Standard Code for Information Exchange) ASCII התפרסם לראשונה כתקן אמריקני בשנת 1963. התקן מבוסס על מילה קבועה בת שבע סיביות.¹¹ הקוד מאפשר 128 צירופים (2⁷), מהם 95 צירופים הם ברי הדפסה (Printable) והיתר מיועדים לתווי בקרה. הקוד כולל אותיות גדולות וקטנות, ספרות, סימני פיסוק וסימונים רבים נוספים.

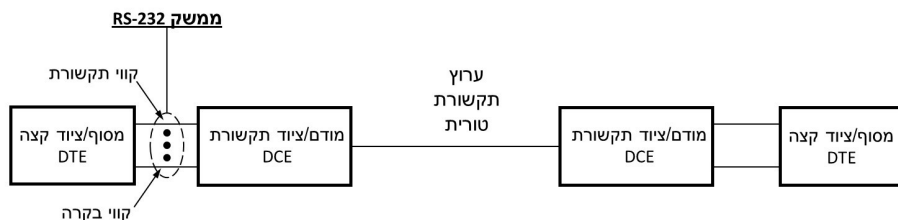
1.3 ממשקים

ממשק הוא הגדרת החיבור הפיזי, החשמלי והלוגי בין מערכות. ממשק RS-232, שפותח בשנת 1960 ונמצא בשימוש נרחב גם כיום, מגדיר תקשורת טורית¹² בין מסוף (DTE – Data Terminal Equipment) לבין התקן תקשורת (DCE – Data Communications Equipment) כמו מודם (ראו סעיף 1.5), וכולל קווי תקשורת וקווי בקרה.

הממשק מוגדר בתקן TIA-232-F, ששמו המלא הוא:

Interface Between Data Terminal Equipment and Data Circuit-Terminating Equipment Employing Serial Binary Data Interchange.

במערכת תקשורת ספרתית, התקן DCE מקיים תקשורת (שידור וקליטה של סיביות) מול התקן DCE שמולו, ובמקביל מקים קשר עם ה-DTE המחובר אליו בממשק RS-232, ובנוסף להעברת המידע המשודר והנקלט מקיים עמו בקרה ותיאום, כמוצג באיור.



תרשים מלבנים של מערכת תקשורת עם ממשק RS-232

11 תקן ASCII זכה לתפוצה רחבה מאוד במחשבים ובאינטרנט. הוא הוחלף בשנת 2007 בתקן UTF-8, תקן Unicode המבוסס על מילה קבועה בת 8 סיביות, ששמר על תאימות לתקן ASCII (מה שמכונה Backward compatible). תקן Unicode תומך היום במילים של 8, 16 ו-32 סיביות (UTF-8, UTF-16 ו-UTF-32), וחשיבותו בתמיכה במספר רב של שפות (כולל עברית). התקן מכונה באיגוד הבזק הבין-לאומי בשם IA5 או IRA (International Reference Alphabet), ומוגדר בהמלצה ITU-T T.50 (09/92). המלצה ITU-T S.18 (1993) מציגה את אופן ההמרה בין קוד זה לקוד ITA2.

12 תקשורת טורית היא תקשורת בה סיביות נשלחות בזו אחר זו על אותו ערוץ, להבדיל מתקשורת מקבילית, בה כל הסיביות נשלחות יחד, בו-זמנית, על מספר ערוצים מקבילים.

תקן RS-232 מגדיר את הממשק בין ה-DCE ל-DTE, וכולל מספר מרכיבים: **תכונות מכניות:** התקן מגדיר את המחברים ואת תפקידו של כל פיין במחבר. המחברים המקובלים הם מחבר 25 פינים (המכונה DB-25) ומחבר 9 פינים (המכונה DB-9), אך מקובלים גם סוגי מחברים שונים (המשמשים בדרך כלל לממשק בו מופעלים רק חלק מקווי הבקרה).

תכונות חשמליות: קווי התקשורת וקווי הבקרה הם בממשק חשמלי אחיד: מתח נמוך מ-3 וולט הוא סיבית שערכה 1 (או, בקו בקרה, מצב מופעל - On); מתח גבוה מ-3+ וולט הוא סיבית שערכה 0 (או, בקו בקרה, מצב מופסק - Off).¹³ קצב הסיביות המירבי הוא 19,200 סל"ש, והמרחק המירבי בין ה-DCE ל-DTE הוא 15 מטר (בכבלים מיוחדים, ניתן להגיע לטווחים גדולים יותר).

תכונות תפקודיות (Functional): מתאר את תפקיד כל אחד מקווי הממשק.

נוהל תקשורת (Procedure): מגדיר את סדר האירועים בהקמת קשר, העברת מידע וניתוק הקשר.



מחברים D Type לממשק RS-232

מימין: מחבר 25 פינים DB25; משמאל: מחבר 9 פינים DB9

תפקיד קווי הממשק מוגדר בטבלה הבאה:

פין במחבר		כיוון		מעגל		
מחבר 9 פינים	מחבר 25 פינים	DTE	DCE	קיצור	שימוש אופייני	שם
4	20	מוצא	מבוא	DTR	המסוף (DTE) מודיע שהוא זמין לקיים תקשורת	Data Terminal Ready
1	8	מבוא	מוצא	DCD	המודם (DCE) מקבל גל נושא מהמודם הנגדי	Data Carrier Detect
6	6	מבוא	מוצא	DSR	המודם (DCE) מודיע שהוא זמין לקיים תקשורת	Data Set Ready
9	22	מבוא	מוצא	RI	המודם (DCE) מזהה 'צלצול' בקו הטלפון	Ring Indicator
7	4	מוצא	מבוא	RTS	המסוף (DTE) מבקש מהמודם (DCE) לקבל ממנו שידור	Request To Send
8	5	מבוא	מוצא	CTS	תגובה לבקשת RTS: המודם (DCE) מודיע שהוא מוכן לקבל מידע מהמסוף (DCE)	Clear To Send
3	2	מוצא	מבוא	TxD	שידור (מ-DTE ל-DCE)	Transmitted Data
2	3	מבוא	מוצא	RxD	קליטה (העברת מידע מ-DCE ל-DTE)	Received Data
5	7	משותף		GND	רמת ייחוס (הארקה) משותפת: מתח 'אפס' לייחוס לכל הממשקים החשמליים	Common Ground
	1	משותף		PG	הארקת מגן: מחובר לאֲשִׁית המכשיר	Protective Ground

יש לשים לב כי קו השידור וקו הקליטה הם קווים נפרדים, כך שניתן לקלוט ולשדר בו-זמנית, ולקיים קשר דו-מגמי מלא (ראו סעיף 1.4).

פרוטוקול הקמת הקשר בין המסוף (DTE) למודם (DCE) מבוסס על 'לחיצת יד' (Handshake) בין המסוף למודם, מכונה בקרת זרימת מידע באמצעות חומרה (Hardware flow control) ופועל כך:¹⁴

עם ההפעלה:

- המסוף משדר למודם אות DTR קבוע, והמודם משדר למסוף אות DSR קבוע (אות קבוע, פירוש: מתח שלילי קבוע).

בשידור:

- כאשר המסוף מבקש לשלוח נתונים למסוף הנגדי, הוא משדר למודם בקשת RTS. המודם מאשר שהמסוף יכול לשלוח נתונים בהודעת CTS.
- לאחר שהמסוף מקבל אישור CTS, הוא משדר למודם מידע בקו השידור TxD.

בקליטה:

- כאשר המודם מזהה גל נושא מהמודם הנגדי, הוא משדר למסוף הודעת DCD. המסוף מאשר שהוא מוכן לקלוט מידע בהודעת DTR.
- לאחר שהמודם מקבל אישור DTR, הוא משדר למסוף מידע בקו הקליטה RxD.

אותות RTS ו-CCTS הוגדרו במקור עבור תקשורת דו-מגמית לְמִחְצָה (Half duplex), בה היה תהליך של סינכרון בין שני המודמים. תקשורת כזו איננה עוד בשימוש, והתקשורת המודרנית היא דו-מגמית (Full duplex). משנות השמונים המאוחרות משתמשים במכשור מודרני (ובצידו חובבי רדיו) בבקרת זרימת מידע (Flow control) סימטרית באמצעות RTS/CTS, אם כי השם הנכון צריך להיות RTR/CTS, מאחר שאות RTS הוגדר מחדש כ-RTR (Ready To Receive), שמשמעותו שהמסוף (DTE) מוכן לקלוט מידע מהמודם (DCE). המסוף משדר RTS (למעשה – RTR) כאשר הוא מוכן לקלוט, והמודם משדר למסוף CTS כאשר הוא מוכן לשדר. בשונה מבעבר, כל אות כזה משודר ללא תלות במשנהו.

במחשבים מודרניים, ממשיק RS-232 הוחלף בידי ממשיק USB, המאפשר תקשורת בקצבים מהירים מאוד בהשוואה לממשיק RS-232, מאפשר הזנת מתח, וגודלו הפיזי של המחבר קטן מאוד.¹⁵

14 בעבר היה נהוג להשתמש במודם להקמת קשר באמצעות קווי טלפון, והפרוטוקול היה מורכב יותר: מערכת הטלפון שלחה 'צלצול' למודם. המודם שלח למסוף הודעת RI. השיחה התקיימה כל עוד המודם זיהה את המודם בקו הנגדי ושלה למסוף הודעת DCD. כאשר קו ה-DCD הופסק, המסוף הפסיק את ה-DTR, והשיחה התנתקה.

15 ממשיק USB, שיצא לשוק בשנת 1996 ומאז יצאו לשוק מספר דורות של הממשק, מבוסס על 4 גידים: שניים להעברת נתונים, שניים להעברת מתח. בממשק USB, מנהל הֶתְקָן (Driver) במחשב אישי יוצר פְתָחָה מְדֻמָּה (Virtual Port) המדמה את חיבורי ממשיק RS-232. ממשיק USB לא נכלל בחומר הבחינה.

יש לשים לב לכך שהממשק לא מגדיר את קצב התמסורת, פרוטוקול התקשורת או את הקוד הספרתי.

ממשק TTL (Transistor – Transistor Logic) דומה לממשק RS-232, אלא שהמתח החשמלי בקווי הממשק שונה: אפס מיוצג במתח של 0 וולט (באופן מעשי: בין 0 ל-0.8 וולט), 1 מיוצג במתח של +5 וולט (באופן מעשי: בין 2 ל-5 וולט).¹⁶ יתרונו של ממשק זה הוא בפשטותו ובעלותו הנמוכה. בהשוואה לממשק RS-232, חסרונו ברגישות לרעש חשמלי, המגבילה את טווח הממשק לטווח קצר מאוד. בטווח קצר ניתן להגיע לקצבי העברת מידע גבוהים.

1.4 אופני עבודה

תקשורת יכולה להיות תקשורת בין נקודה לנקודה (Point To Point) או בין נקודה למספר נקודות (Point To Multipoint), ולהיות תקשורת דו-מגמית (Duplex) או חד-מגמית (Simplex).

תקשורת דו-מגמית, המאפשרת לצדדים בתקשורת לשדר ולקלוט, יכולה להתבצע בשני אופנים:

- דו-מגמית (Full Duplex): הצדדים לקשר יכולים לשדר ולקלוט בו-זמנית. בתקשורת בין הצדדים יש שני ערוצים: ערוץ קליטה וערוץ שידור. דוגמה לתקשורת דו-מגמית היא שימוש בטלפון.
- דו-מגמית למחצה (Half Duplex): הצדדים לקשר יכולים לשדר ולקלוט, אך לא בו-זמנית. הערוץ בין הצדדים משמש או לשידור או לקליטה, אך איננו מאפשר שידור וקליטה בו-זמנית. דוגמה לתקשורת דו-מגמית למחצה היא תקשורת חובבי רדיו טיפוסית: החובב קולט בדרך כלל, וכשהוא מבקש לשדר הוא לוחץ על לחצן השידור (PTT – Push To Talk), עובר לשידור, ובעת השידור הוא איננו קולט.

תקשורת חד-מגמית (Simplex) היא תקשורת בה גורם אחד משדר, וגורמים אחרים רק קולטים. דוגמה לכך היא שידורי רדיו או טלוויזיה לציבור.

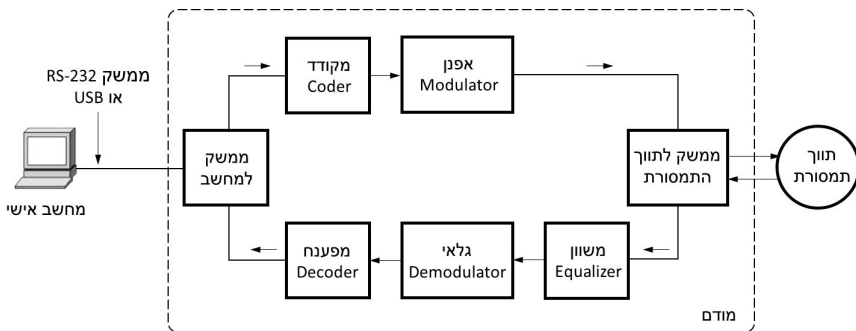
1.5 מודם

מודם (Modem – Modulator/Demodulator) הוא התקן אלקטרוני שייעודו העברת מידע ספרתי על תווך תמסורת אנלוגי (כמו קו טלפון או ערוץ רדיו).

מודמים מסווגים בדרך כלל על פי:

- אופן הפעולה: תקשורת דו-מגמית, דו-מגמית למחצה או חד-מגמית.
- תווח התמסורת: קו טלפון, ערוץ רדיו, וכדומה.
- קצב התמסורת.
- אופי התמסורת: תקשורת סינכרונית או תקשורת אסינכרונית.

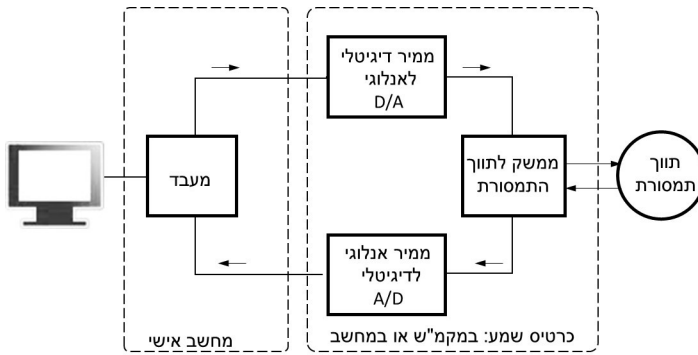
האיור הבא מתאר תרשים מלבנים עקרוני של מודם 'קונבנציונלי'. למודם יש שני ערוצים: ערוץ שידור וערוץ קליטה. ערוץ השידור מקודד את המידע (בדרך כלל: תוך שימוש בתיקון שגיאות FEC) ומבצע אפנון באחת מצורות המפתוח המקובלות.¹⁷ ערוץ הקליטה מעבד את האות בעזרת משוון, שתפקידו להתמודד עם עיוותי התווח, ומגישו לגלאי, במוצאו מחובר מפענח. המפענח ממיר את הקידוד הנקלט במוצא הגלאי לאות המקורי ששודר ומעביר את האות למסוף. המודם כולל גם ממשק למחשב (ממשק RS-232 או ממשק USB) וממשק לתווח התמסורת. במודם סינכרוני יש בדרך כלל גלאי נוסף, המחליף את השעון מהאות הנקלט, ומעבירו למפענח ולמסוף.



מודם: תרשים מלבנים עקרוני

בעבר היה מודם פריט חומרה, אך מודמים מודרניים המשמשים חובבי רדיו מבוססים על עיבוד אותות ספרתי בתוכנה, כאשר בדרך כלל החיבור למקמ"ש חובבים הוא בחיבור שמע, ההמרה מאות אנלוגי לאות דיגיטלי ומאות דיגיטלי לאות אנלוגי מבוצעת במחשב אישי (או במקמ"ש), המתפקד לצורך זה ככרטיס שמע של המחשב האישי, וכל עיבוד האותות נעשה בתוכנה על המחשב האישי, כמתואר באיור הבא.

17 ראו: רוזן, מדריך לבחינות, סעיף 4.1.

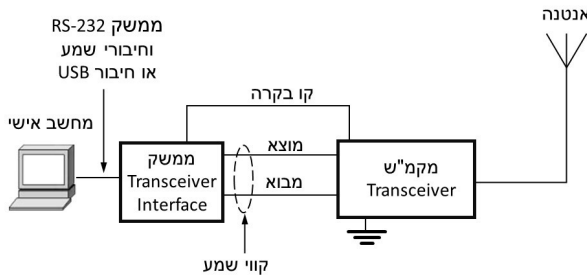


מודם ממומש בתוכנה: תרשים מלבנים עקרוני

1.6 חיבורים מערכתיים

בתחנות חובבים נהגו בעבר להשתמש במודמים שהיו מכשירי חומרה, ולחברם למחשבים אישיים בדומה לחיבור מחשבים אישיים למודמים טלפוניים. הדבר עבר מן העולם בשלהי המאה ה-20.¹⁸

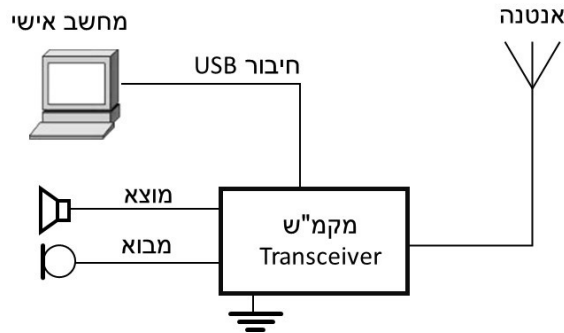
תחנה של חובב רדיו המשתמש במקמ"ש ת"ג מורשת (Legacy) מתוארת באיור. נדרש ממשק בין המחשב האישי למקמ"ש. הממשק מתחבר למוצא ולמבוא של מעגלי השמע (בחיבורי מיקרופון ואזניה, או בחיבורים מיוחדים לחיבור מכשור חיצוני, היכן שקיימים), ולמערכת הבקרה של המקמ"ש (לשליטה על התדר ומצבי העבודה ולהפעלת שידור – PTT).



מרשם חיבורים של תחנת חובבים ערוכה לתקשורת ספרתית, עם מקמ"ש מורשת (Legacy)

18 מודמים ייחודיים לחובבי רדיו נקראו TNC (Terminal Node Controller). הגם שחובבי רדיו השתמשו בתקשורת ספרתית משנות ה-80, מעבר מסיבי של חובבי רדיו לטכנולוגיות ספרתיות מודרניות בקשר ת"ג החל עם הופעת PSK 31 בשנת 1998. הטכנולוגיה של PSK 31 פותחה בידי החובב הבריטי פטר מרטינזו (Peter Martinez), G3PLX.

חובבים משתמשים גם בממשק המתפקד ככרטיס שמע של המחשב האישי ומחובר למחשב בממשק USB. אז נדרש כמובן להתקין במחשב תוכנת מנהל התקן (Driver) מתאימה, בדרך כלל סטנדרטית. חובבים משתמשים גם בדגמי ממשק מיושנים יותר, שמבצעים רק תאום רמות ועכבות (והפרדה בין הארקה המקמ"ש והארקה המחשב, להבטחת תאימות אלקטרומגנטית), ומחוברים למחשב האישי בחיבורי שמע (מיקרופון ואזניה), בנוסף לכבל הבקרה. השמע מטופל בכרטיס השמע של המחשב האישי. מקמ"שים מודרניים מוכנים מראש לתקשורת ספרתית. הם מתחברים למחשב בכבל USB, מתפקדים ככרטיס שמע של המחשב, ומאפשרים למחשב שליטה על מערכת הבקרה שלהם (כולל לחצן שידור, PTT). במקרה זה החיבור למחשב פשוט מאוד, בכבל USB, ונדרש כמובן להתקין במחשב תוכנת מנהל התקן (Driver) מתאימה, לתמוך בחיבור המקמ"ש הספציפי.¹⁹



חיבורי מודם, בקרה ומקמ"ש בתחנת חובבים עם מקמ"ש מודרני

תוכנה מתאימה במחשב האישי מבצעת את כל פונקציות המודם ומנהלת את פרוטוקול התקשורת. תוכנות מודרניות מבצעות גם ניתוח ספקטרלי של תחום השמע (או של התב"ם במקלט), ומקלט החובבים מקבל תכונות מתקדמות של נתח תדר.²⁰ בחיבור מהסוג המתואר מקובל להפעיל את מקמ"ש החובבים במצב USB, בכל פסי החובבים, ולהפעילו ברוחב פס רחב ככל האפשר, כדי שהתוכנה במחשב האישי תוכל לנתח תחום תדרים רחב.

19 בקרת מקמ"ש ממחשב אישי מכונה CAT (Computer Aided Transceiver). כל יצרן מפתח פקודות בקרה שונות, ותוכנות המיועדות לחובבי רדיו תומכות במגוון רחב של יצרנים ומקמ"שים. בחברת ICOM משתמשים במונח CI-V (Computer Interface No. 5).
 20 בעת כתיבת חוברת זו חובבי רדיו משתמשים במספר רב של תוכנות לאופני פעולה ספרתיים שונים, חלקן חגיגיות וחלקן תמורת תשלום.

1.7 קצבים וממשקים מקובלים בתקשורת חובבים

ערוצי רדיו ספרתיים של חובבי רדיו הם בקצבים נמוכים יחסית. בתקשורת ת"ג של חובבי רדיו משתמשים לתקשורת כתובה בקצבים של 6.25 בוד בפרוטוקול FT8,²¹ 31, 63 ו-125 בוד בפרוטוקול PSK (משך סיבית של 32, 16 ו-8 מילי שנייה, בהתאמה),²² ו-45, 50 ו-75 בוד בטלפרינטר אלחוטי (RTTY). בתקשורת לוויינים ספרתית של חובבי רדיו משתמשים כיום בקצבים בין 1,200 ל-9,600 בוד. הוצגו מספר חלופות לתקשורת דיבור ספרתית בת"ג, בקצבים בין 1,400 ל-2,400 סל"ש, אך תפוצתן איננה רחבה. בתג"ם ותא"ג נפוץ שימוש בתקשורת ספרתית – שיטת ה-DMR, הנפוצה בין חובבי הרדיו בישראל, מבוססת על שידור שני ערוצים בקצב 9,600 סל"ש (ריבוב TDMA, כל ערוץ הוא בקצב 4,800 סל"ש).

בחיבורים בין מחשב למקמ"ש בממשק USB משתמשים בקצבים גבוהים. בחיבור USB 2.0 משתמשים בדרך כלל בקצבים עד 115,200 קס"ש. בחיבור USB 3.0 משתמשים בקצבי תמסורת של מספר מס"ש.

תוכנות שימושיות של חובבי רדיו מאפשרות לחובב לקבוע שימוש בקוד של 5, 7 או 8 סיביות (חובבים מעדיפים קוד של 8 סיביות, כדי לקיים קשר רב-לשוני), לקבוע את אורך סיבית הפסק (STOP) כסיבית בודדת, סיבית וחצי או שתי סיביות, ולקבוע כיצד התוכנה תעביר את המשדר לשידור (PTT – Push To Talk), באמצעות קו DTR, קו CTS, קו בקרה ייעודי או אות השמע (VOX – Voice Operated Exchange).

חובבי רדיו משתמשים בבקרת זרימה בחומרה (ראו סעיף 1.3) או בבקרת זרימה בתוכנה (Software flow control), באמצעות אותות קוד DCI, ASCII (המכונה XON) ו-DC3 (המכונה XOFF), המתפקדים באופן דומה ל-RTR/CTS: המסוף משדר מידע רק לאחר שהוא קולט הודעת XON, ומפסיק לשדר מידע כשהוא קולט הודעת XOFF.

שאלה א – 1

- א. מה קצב הדגימה הנמוך ביותר בו יש לדגום אות שמע בתחום 300 עד 3,000 הרץ, כדי להעביר דרך ערוץ ספרתי מבלי לאבד מידע?
- ב. אם בקצב דגימה שנקבע לפי סעיף א נקודת כל דגימה במילה של 6 סיביות, מה יהיה קצב התמסורת הנדרש לשם העברת האות הספרתי?

21 בפרוטוקול זה משדרים 75 סיביות במשך 15 שניות, תוך שימוש באפנון 8-GFSK ובקוד FEC 'חזק', ברוחב סרט של 50 הרץ. הפרוטוקול מאפשר העברה מוגבלת של הודעות: החלפת אותות קריאה, דיווחי עוצמת אותות ומיקום התחנות.

22 בפרוטוקול זה משתמשים בקוד דומה לקוד ASCII בעל אורך משתנה בין 5 ל-10 סיביות (אותיות נפוצות וזכות לקוד קצר), הכולל את כל סימני קוד ASCII בשם Varicode. קוד זה מאפשר תיקון שגיאות יעיל והתכתבות חופשית בין התחנה הקולטת והתחנה המשדרת.

שאלה א – 2

מה השוני בין קוד בוד וקוד ASCII?

- א. בקוד בוד יש 4 סיביות לכל אות/סימן, בקוד ASCII יש 7 סיביות לכל אות/סימן. בקוד בוד יש סימנים למעבר בין מצב אותיות לבין מצב ספרות, בקוד ASCII אין סימנים כאלה.
- ב. בקוד בוד יש 5 סיביות לכל אות/סימן, בקוד ASCII יש 7 סיביות לכל אות/סימן. בקוד בוד יש סימנים למעבר בין מצב אותיות לבין מצב ספרות, בקוד ASCII אין סימנים כאלה.
- ג. בקוד בוד יש 6 סיביות לכל אות/סימן, בקוד ASCII יש 7 סיביות לאות/סימן. בקוד בוד אין סימנים למעבר בין מצב אותיות לבין מצב ספרות, בקוד ASCII יש סימנים למעבר בין מצב אותיות למצב ספרות.
- ד. בקוד בוד יש 7 סיביות לכל אות/סימן, בקוד ASCII יש 8 סיביות לאות/סימן. בקוד בוד אין סימנים למעבר בין מצב אותיות לבין מצב ספרות, בקוד ASCII יש שני סימנים למעבר בין מצב אותיות למצב ספרות.

שאלה א – 3

ציין יתרון אחד של שימוש בקוד ASCII לתקשורת ספרתית:

- א. יש בקוד תכונות של תיקון שגיאות.
- ב. יש פחות סיביות מידע לכל אות/סימן, בהשוואה לכל קוד אחר.
- ג. אפשר להשתמש באותיות גדולות (Upper Case) ובאותיות קטנות (Lower Case).
- ד. הקוד משתמש בסימן מיוחד כדי לעבור למצב של ספרות וסימני ניקוד.

שאלה א – 4

מה היתרון של הוספת סיבית זוגיות (Parity bit), שערכה מסמן האם מספר הסיביות

שערכן '1' הוא זוגי או לא זוגי, לכל אות בקוד ASCII?

- א. קצב תמסורת גבוה יותר.
- ב. יכולת להתגבר על אותות מפריעים.
- ג. מאפשר לשלוח סימנים בשפות אחרות (בנוסף לאנגלית).
- ד. מאפשר זיהוי חלק מהטעויות בקליטה.

שאלה א – 5

מה אופן הפעולה המקובל של מקמ"ש ת"ג, כאשר מבצעים תקשורת טלפרינטר אלחוטי באמצעות מחשב אישי המחובר למקמ"ש חד-פס בכבל USB, ובתוכנה במחשב מתבצע מפתוח הסטת תדר בתדר שמע (AFSK)?

- א. חד-פס.
- ב. את"ן.
- ג. מורס.
- ד. את"ד.

שאלה א – 6

איזה מחבר יתאים לחיבור בממשק RS-232?

- א. PL-259.
- ב. סוג N.
- ג. סוג SMA.
- ד. 9 פינים.

שאלה א – 7

בקשר ספרתי אסינכרוני בין שתי תחנות, תחנה אחת משדרת עם סיבית פסק (Stop) במשך סיבית וחצי, והתחנה הנגדית משדרת עם סיבית פסק (Stop) באורך שתי סיביות. האם ייתכן קשר תקין בין שתי התחנות?

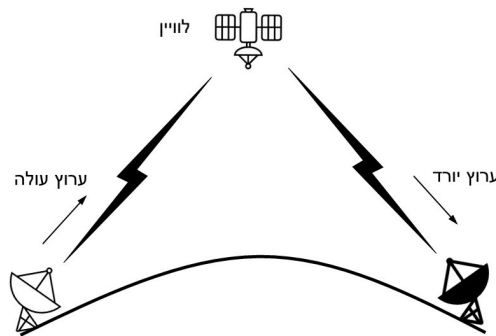
- א. לא, הסיביות חייבות להיות במשך זהה בשתי התחנות.
- ב. יתקיים קשר תקין בין שתי התחנות, ובלבד שהמקלטים יכולים להסתנכרן גם בסיבית פסק באורך 1.5 סיביות.
- ג. התחנה המשדרת סיבית פסק ארוכה תקלוט היטב את התחנה המשדרת סיבית פסק קצרה, אך התחנה המשדרת סיבית פסק קצרה לא תקלוט את התחנה המשדרת סיבית פסק ארוכה.
- ד. התחנה המשדרת סיבית פסק קצרה תקלוט היטב את התחנה המשדרת סיבית פסק ארוכה, אך התחנה המשדרת סיבית פסק ארוכה לא תקלוט את התחנה המשדרת סיבית פסק קצרה.

פרק ב

תקשורת לוויינים

2.1 מבוא

לוויין (Satellite) הוא עצם קטן הנע בחלל במסלול (Orbit) סביב עצם גדול יותר. הירח הוא לוויין טבעי של כדור הארץ, וכדור הארץ הוא לוויין טבעי של השמש. לוויין מאפשר קשר בין שתי תחנות קרקע, על פני כדור הארץ. הלוויין מתפקד בדרך כלל כמשיב (Transponder), הקולט את הערוץ העולה מכדור הארץ (Uplink) בתחום תדרים אחד, ממיר את האות הנקלט לתחום תדרים אחר ומשדרו חזרה לכדור הארץ בערוץ יורד (Downlink).



מערכת תקשורת לוויינית

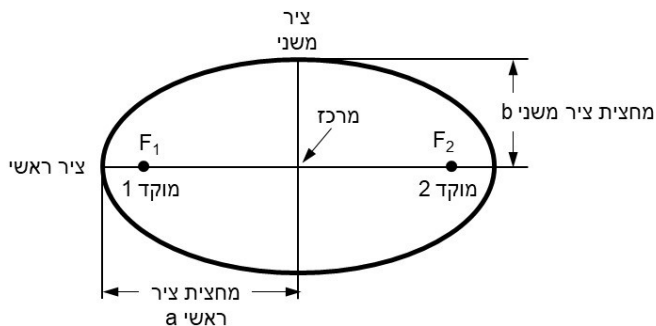
בכל עת, ניתן לצפות על לוויין רק מאזור מסוים על פני כדור הארץ. עקבת הלוויין (Footprint) היא האזור על פני כדור הארץ היכול לקלוט את אות הלוויין בעוצמה שימושית.

2.2 מסלולי לוויינים – מושגי יסוד

הפרמטרים העיקריים המגדירים את מרכיבי מסלול הלוויין בחלל (Orbital Elements), המכונים גם בשם Keplerian Elements, ועל פיהם ניתן לחזות את מסלול הלוויין ומיקום הלוויין במסלולו, הם אלה:

- מחצית הציר ראשי (Semi major axis).
- אקסצנטריות (Eccentricity).
- אנומליה ממוצעת (Mean anomaly).
- זווית הפריגאון (Argument of perigee).
- נטייה (Inclination).
- זווית עלייה ישרה של צומת העלייה (RAAN – Right Ascension of Ascending Node).

מסלול של לוויין הוא אליפסה, לה שני מוקדים (F_1 ו- F_2), ציר ראשי וציר משני, כמתואר באיור. אורך הצירים מגדיר לא רק את היקף המסלול, אלא את משך מעבר המסלול. מסלול מעגלי (Circular Orbit) הוא מקרה מיוחד, בו מחצית הציר הראשי היא רדיוס המסלול.

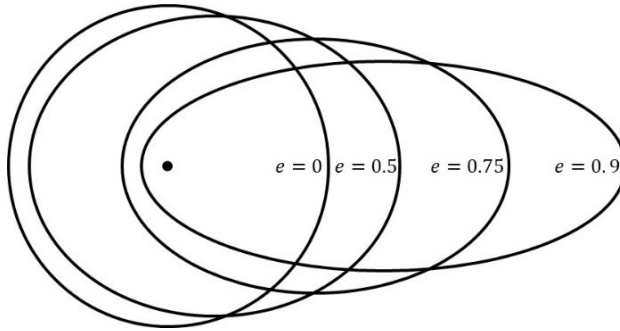


אליפסה

הפרמטר המכונה **אקסצנטריות** [e] מגדיר באיזה מידה המסלול שונה ממעגל מושלם. הביטוי המתמטי לאקסצנטריות e הוא:

$$e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$$

כאשר a הוא מחצית הציר הראשי, b הוא מחצית הציר המשני. האקסצנטריות נעה בין 0 ל-1. האקסצנטריות של עיגול מושלם היא 0.



אקסצנטריות

פְּרִיגֵאוֹן (Perigee) היא הנקודה במסלול הלוויין הקרובה ביותר לכדור הארץ.¹ **אנומליה ממוצעת** [M] היא 'זווית מדומה', אותה ניתן להמיר לאנומליה 'האמיתית' (True Anomaly), שהיא מיקום זוויתי (Angular position) של הלוויין ביחס לפריגאון. כאשר האנומליה היא אפס, הלוויין נמצא בפריגאון. במסלול מעגלי, האנומליה היא מיקום הלוויין במסלול. במסלול אליפטי, חישוב מיקום הלוויין במסלול בזמן מסויים הוא נושא מורכב (הנושא לא נכלל בחומר הבחינה).

מישור קו המשווה (Equatorial plane) נחתך בשתי נקודות בידי מסלול לווייני (שאיננו מסלול משווני). הנקודה הראשונה מכונה **צומת ירידה** (Descending node), והיא הנקודה בה הלוויין עובר מחצי הכדור הצפוני לחצי הכדור הדרומי. הנקודה השנייה מכונה **צומת עלייה** (Ascending node), בה הלוויין עובר מחצי הכדור הדרומי לחצי הכדור הצפוני.

זווית הפריגאון,² שסימונה ω , היא הזווית בין הקו המחבר בין צומת הירידה וצומת העלייה (Line of Nodes) לבין הקו המחבר את מרכז כדור הארץ לפריגאון. אם צומת הירידה והפריגאון הם באותו המקום, זווית הפריגאון היא 0 מעלות.

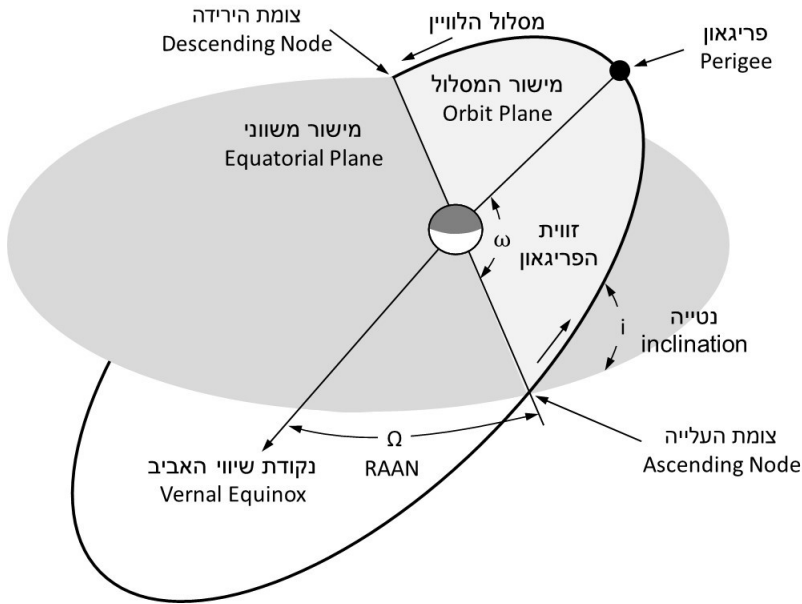
הזווית בין מישור המסלול (Orbital plane) לבין מישור קו המשווה מכונה בשם **נטייה**, וסימונה i. מבחינת זווית הנטייה, מבחינים בין ארבעה טיפוסים מסלולים:

- מסלול משווני (Equatorial orbit): זווית הנטייה היא 0 או 180 מעלות.
- מסלול קוטבי (Polar orbit): זווית הנטייה היא 90 מעלות.
- מסלול מתקדם (Prograde orbit): זווית הנטייה היא בין 0 ל-90 מעלות.
- מסלול נסוג (Retrograde orbit): זווית הנטייה היא בין 90 ל-180 מעלות.

1 אפוגאון (Apogee) הוא הנקודה המרוחקת ביותר מכדור הארץ.

2 יש המשתמשים במונח ארגומנט הפריגאון.

זווית עלייה ישירה של צומת העלייה (RAAN – Right Ascension of Ascending Node), שסימונה Ω , היא הזווית בין הקו המחבר בין נקודת ההטלה (נקודת שיווי האביב – Vernal Equinox) לבין צומת העלייה, כפי שנמדד לכיוון מזרח במישור קו המשווה.



פרמטרים של מסלול לוויין סביב כדור הארץ

כאשר לוויין נע סביב כדור הארץ פועל עליו כח צנטרפֶטָלִי (Centripetal force) המושך את הלוויין אל מרכז כדור הארץ. הכח הצנטרפֶטָלִי $[F_1]$ מקיים את המשוואה:³

$$F_1 = \frac{G \times M \times m}{R^2}$$

כאשר G הוא מקדם הגרביטציה האוניברסלי, $6.673 \times 10^{-11} \text{ [N} \times \text{m}^2/\text{kg}^2]$; M הוא מסת כדור הארץ, $5.98 \times 10^{24} \text{ [kg]}$; m הוא מסת הלוויין ו- R הוא המרחק מהלוויין למרכז כדור הארץ.

על הלוויין הנע סביב כדור הארץ פועל גם כח צנטרִיפוגָלִי, המרחיקו מכדור הארץ.⁴

3 משוואה זו נקראת משוואת הכבידה של ניוטון.

4 על הלוויין פועלים גם כוחות משיכה מהשמש ומהירח, אך בחישובים מקורבים ניתן להתעלם מהם.

הכח הצנטריפוגלי $[F_2]$ מקיים את המשוואה:

$$F_2 = \frac{m \times v^2}{R}$$

כאשר v הוא מהירות הלוויין במסלולו (Orbital velocity), שהיא מהירות הקפת כדור הארץ.

לוויין לא סוטה ממסלולו כאשר הכח הצנטריפטי והכח הצנטריפוגלי מאזנים זה את זה, ומתקיימת הנוסחה:

$$\frac{G \times M \times m}{R^2} = \frac{m \times v^2}{R}$$

ומהמשוואה נגזר כי מהירות הלוויין במסלולו v היא:

$$v = \sqrt{\frac{G \times M}{R}}$$

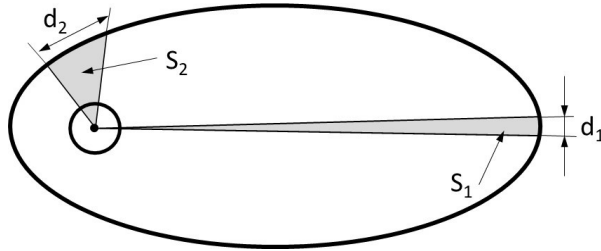
ואנו למדים כי מהירות הלוויין במסלול תלויה רק במרחק מכדור הארץ, שכן יתר הפרמטרים במשוואה הם קבועים.

2.3 חוקי קפלר

לוויינים נעים סביב כדור הארץ באופן דומה לזה שכדור הארץ מסתובב סביב השמש, והחוקים האסטרונומיים של קפלר,⁵ המתארים את תנועת גרמי השמיים, מאפשרים לתאר את תנועה הלוויינים בחלל.

שלושת חוקי קפלר, ב'תרגום' מעולם האסטרונומיה לעולם הלוויינים, הם:

- חוק האליפסה (החוק הראשון): מסלול לוויין סביב כדור הארץ הוא בצורת אליפסה, כשמרכז כדור הארץ נמצא באחד ממוקדיה.
- חוק השטחים השווים (החוק השני): במרווחי זמן שווים, הקו המחבר את הלוויין למרכז כדור הארץ מכסה שטחים שווים.



חוק השטחים השווים

בהנחה שהלוויין עובר את המרחקים d_1 ו- d_2 באותו מרווח זמן Δt , שטחי המשולשים S_1 ו- S_2 זהים

המשמעות היא כי ככל שלוויין קרוב יותר לכדור הארץ, מהירותו גדלה.

- החוק ההרמוני (החוק השלישי): ריבוע זמן המחזור של המסלול האליפטי יחסי לחזקה השלישית של מחצית הציר הראשי של האליפסה המתארת את המסלול, a :

$$T^2 \propto a^3$$

כאשר T הוא זמן המחזור של תנועת הלוויין במסלול.

או:

$$T^2 = \left(\frac{4 \times \pi^2}{\mu} \right) \times a^3$$

כאשר μ הוא מקדם קפלר, $3.986005 \times 10^{14} \text{ [m}^3/\text{sec}^2]$

וניתן לרשום את המשוואה כך:

$$1 = \left(\frac{2 \times \pi}{T} \right)^2 \times \left(\frac{a^3}{\mu} \right)^2$$

או:

$$1 = n^2 \times \left(\frac{a^3}{\mu} \right)$$

או:

$$a^3 = \frac{\mu}{n^2}$$

כאשר n הוא המהירות (הזוויתית) הממוצעת של הלוויין בֶּרָדִיאַנִים לשנייה.

המשמעות היא שלווין רחוק מכדור הארץ הוא בעל זמן מחזור ארוך ומהירות קטנה, בהשוואה ללוויין קרוב לכדור הארץ.

2.4 מסלולי לוויינים

בשיגור לוויין, יש להציבו במסלול מתאים בחלל, ומפעיל הלוויין נדרש לנקוט בצעדים לייצוב הלוויין במסלולו.⁶

שלושת המסלולים החשובים של לוויינים סביב כדור הארץ הם:⁷

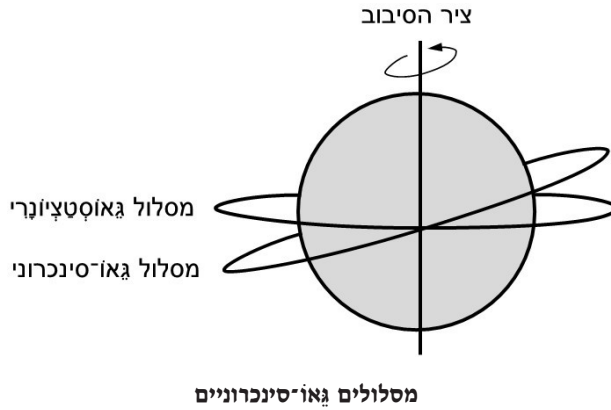
- **מסלול גאוסִינְכְרוֹנִי (GEO Geo-synchronous Earth Orbit):** מסלול גאוסִינְכְרוֹנִי הוא מסלול מעגלי בגובה כ-36,000 ק"מ (42,164 ק"מ ממרכז כדור הארץ). המהירות הזוויתית של לוויין במסלול זה זהה למהירות הסיבוב של כדור הארץ סביב צירו (23 שעות ו-56 דקות). המסלול יכול שיהיה בעל נטייה. למתבונן מכדור הארץ, הלוויין חוזר לאותו מיקום מדי יממה. כאשר המסלול מעגלי מעל קו המשווה, הוא נקרא **מסלול גאוסִינְכְרוֹנִי** (Geostationary Orbit). למתבונן מכדור הארץ, הלוויין נראה קבוע במקומו. תיאורטית ניתן להשיג כיסוי גלובלי עם 3 לוויינים במסלול גאוסִינְכְרוֹנִי, אם כי הכיסוי באזור הקטבים ילקה בחסר. באופן מעשי נדרשים לצורך כיסוי גלובלי 5 או 6 לוויינים. רוב לווייני התקשורת והטלוויזיה הם במסלול גאוסִינְכְרוֹנִי. חלק גדול מלווייני החיזוי המטאורולוגי הם במסלול גאוסִינְכְרוֹנִי.

6 על פי אמנת איגוד הבזק הבין-לאומי, שיגור לוויינים מחייב תיאום בין-לאומי. כללי התיאום כוללים את כללי ייצוב הלוויין במסלולו ואת כללי הוצאת הלוויין ממסלולו בתום תקופת חייו המועילה, כדי לא לגרום נזק ללוויינים אחרים.

מיקום לוויינים במסלול גאוסִינְכְרוֹנִי מכונה בשם Orbital Slot. היום ממוקמים לוויינים במיקומים בהפרש של 2 מעלות.

ייצוב לוויין כולל גם מנגנונים המבטיחים שהאנטנות של הלוויין יצפו תמיד לאזורי הכיסוי המתוכננים על פני כדור הארץ, וכי המערכת הפוטו-וולטאית המזינה את מצבריו תפנה תמיד לכיוון השמש.

7 קיימת גם משפחת מסלולים נוספת, מסלול גבוה (HEO – High Earth Orbit), המיועדים לכיסוי באזורי הקוטב הצפוני או הדרומי. במשפחת מסלולים זו שוגרו כבר שלושה לווייני חובבים (AO-10, AO-13 ו-AO-40). הנושא לא נכלל בחומר הבחינה.



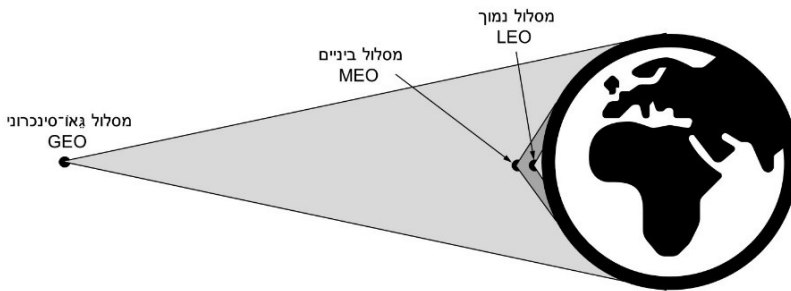
הטווח הגדול בין לוויין במסלול גא־סינכרוני לבין כדור הארץ יוצר הֶשְׁיָה (Delay או Latency) לאותות המשודרים מכדור הארץ עד קליטתם בלוויין, ולאותות המשודרים מהלוויין עד קליטתם בכדור הארץ. זמן הסבב (Round Trip Delay) נע בין 240 ל-280 מילי-שנייה.

- **מסלול ביניים (MEO – Middle Earth Orbit):** מסלול מעגלי בגובה בין כ-2,000 עד 36,000 ק"מ. לוויין במסלול כזה מקיף את כדור הארץ כל שעתיים עד 24 שעות. הטווח הקצר יותר לכדור הארץ, בהשוואה ללוויינים במסלול גא־סינכרוני, מאפשר שימוש באנטנות עם שבה נמוך יותר ובהספקי שידור קטנים יותר, ומקטין את זמן הסבב לכ-100 מילי-שנייה.
- **מסלול נמוך (LEO – Low Earth Orbit):** מסלול מעגלי בגובה בין כ-180 עד 2,000 ק"מ. לוויין במסלול כזה מקיף את כדור הארץ כל 90 עד 120 דקות. הסמיכות לכדור הארץ מאפשרת שימוש באנטנות בעלות שבה קטן ובהספקי שידור נמוכים, וזמן הסבב קטן לכ-50 מילי-שנייה.⁹ אזור הכיסוי של הלוויין (עֶקְבַת הלוויין – Footprint) מוגבל.

8 לווייני מערכת ה-GPS הם בפריגאון בגובה 20,200 ק"מ, ומקיפים את כדור הארץ במשך 12 שעות.

9 בתקשורת באמצעות לוויינים הנעים במסלול זה יש להתחשב בסטיית תדר עקב אפקט דופלר (Doppler shift), הגורם לשינוי בתדר האות הנקלט ביחס לאות המשודר. סטית התדר מגיעה עד ± 3 קה"ץ בתחום 2 מטר, ± 10 קה"ץ בתחום 70 ס"מ, ולמעלה מזה בתדרים יותר גבוהים. סטיית

לוויינים במסלול נמוך הם לרוב לוויינים קטנים, וניתן לשגר כמה לוויינים יחד. כדי להשיג כיסוי גלובלי הוקמו מספר מערכות המבוססות על קונסטלציה של לוויינים הפועלים יחד כמערכת אחת (Satellite constellation), כאשר בכל מערכת כזו כמה עשרות לוויינים (ומתכונות מערכות עם אלפי לוויינים), במסלולים עם נטייה שונה או במסלולים עם נטייה זהה אך עם מיקום שונה של צומת העלייה, כך שבכל עת ניתן לראות לוויין מכל מקום באזור הכיסוי על פני כדור הארץ. מסלול לוויינים אלה הוא בדרך כלל מסלול עם אקסצנטריות נמוכה, כדי שהפריגאון לא יתקרב לכדור הארץ יתר על המידה, מה שיקטין את אורך חיי הלוויין בחלל. לווייני צילום וחיזוי מזג אוויר הם במסלול נמוך. להמחשה: לוויין החובבים הראשון, OSCAR 1, ששוגר בדצמבר 1961, ולצערנו שרד בחלל רק 22 יום, נע במסלול אליפטי נמוך, עם פריגאון בגובה 245 ק"מ ואפוגאון בגובה 474 ק"מ, בזווית נטייה של 81.2 מעלות ואקסצנטריות של 0.01698. הלוויין הקיף את כדור הארץ במשך 91.1 דקות.¹⁰



טחי כיסוי של לוויינים במסלולים שונים - להתרשמות
רדיוס כדור הארץ הוא 6,378 ק"מ

בנוסף למסלולים העיקריים שתוארו לעיל, לווייני תקשורת עושים שימוש גם במסלולים הבאים:

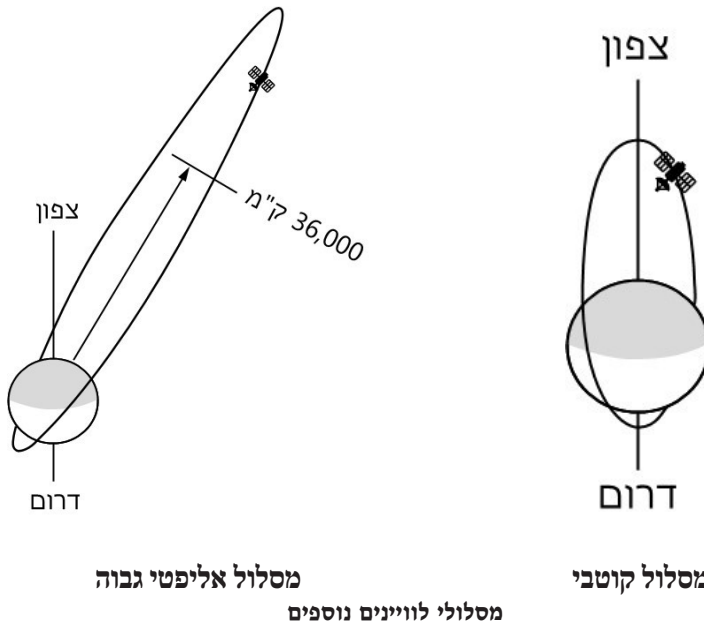
- **מסלול קוטבי (Polar Orbit):** מסלול נמוך בזווית נטייה של 90 מעלות (או קרוב ל-90 מעלות. סטייה של עד 30 מעלות עדיין נחשבת כמסלול קוטבי), שמסלולו עובר מעל הקוטב הצפוני והקוטב הדרומי. בכל הקפה המסלול חוצה את קו המשווה בקו אורך אחר. בחצי מהמסלול הלוויין 'רואה' את המחצית המוארת של

התדר בתחנת הקרקע היא כלפי מעלה כאשר הלוויין מתקרב אל תחנת הקרקע, וכלפי מטה כאשר הלוויין מתרחק.

10 הלוויין, ששקל 5 ק"ג, נשא משדר מורס בתחום 2 מטר, ששידר 'HI'.

כדור הארץ, ובמחצית השנייה של המסלול הוא 'רואה' את הצד החשוך של כדור הארץ.¹¹

- מסלול אליפטי גבוה (HEO – High Elliptical Orbit): מסלול עם אקסצנטריות גבוהה וזווית נטייה גבוהה, שהאפוגאון שלו הוא מעל 36,000 ק"מ. מסלול זה נותן כיסוי של מעל עשר שעות (באזור הכיסוי).¹²

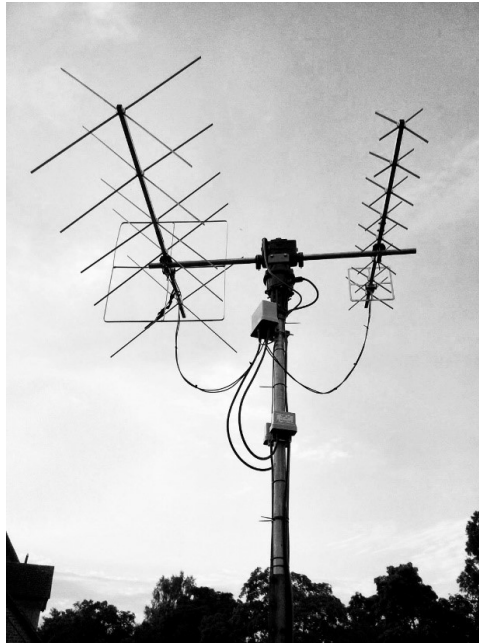


תחנת קרקע המבקשת לקיים תקשורת באמצעות לוויין חייבת להשתמש באנטנה כיוונית בעלת שבח מתאים, ולכוון את האנטנה ללוויין. הפרמטרים לכיוון האנטנה בתחנת הקרקע הם זווית ההגבהה (Elevation angle) וזווית הציידוד ביחס לצפון (Azimuth). זוויות אלה קבועות כאשר מתכווננים ללוויין במסלול גאוסטֶצִינֶרִי,

11 מסלול קרוב למסלול קוטבי הוא מסלול מסונכרן שמש (SSO – Sun-Synchronous Orbit), שיתרונו בכך שהוא עובר מעל כל נקודה בכדור הארץ באותה שעה מקומית. מסלולים כאלה הם עם זווית נטייה של 96.6 עד 142.1 מעלות, פריגאון של 280 עד 5,200 ק"מ, ומקיפים את כדור הארץ במשך כ-100 עד 195 דקות.

12 סדרת הלוויינים הסובייטית/רוסית Molniya (ברק), ששוגרה בין השנים 1965 עד 2004, נעה במסלול עם זווית נטייה של 63.4 מעלות וזווית פריגאון של 270 מעלות. הפריגאון היה בגובה של כ-600 ק"מ והאפוגאון היה בגובה של כ-40,000 ק"מ. לוויין הקיף את כדור הארץ במשך כ-12 שעות. מסלול זה נתן כיסוי של מעל עשר שעות בקווי רוחב גבוהים, וסיפק כיסוי טוב של חצי כדור הארץ הצפוני.

וכאשר מבקשים להתקשר ללוויין במסלול אחר, נדרשת מערכת עקיבה. חובבי רדיו משתמשים במסובב אנטנה דו-צירי (Az-El Rotator) ותוכנה מתאימה במחשב אישי, המאפשרת לשלוט על הציוד וההגבהה של האנטנה כדי לעקוב אחר מעוף הלוויין, מ'זריחתו' עד 'שקיעתו'.



זוג אנטנות, לתחום 2 מטר ותחום 70 ס"מ, עם מסובב אנטנה השולט על צידוד והגבהה

האנטנות משמשות לתקשורת באמצעות לוויינים במסלול נמוך (LEO). באדיבות 2M0SQL.

אנטנות יאגו מוצלבות יוצרות אות בקיטוב מעגלי, והן בזווית 45° כדי לצמצם את ההפרעה שיוצר המוט האנכי המחבר את האנטנות למסובב האנטנה.

במשך השנים נעו לווייני חובבים בעיקר במסלולים נמוכים, וחלקם נעו במסלולי ביניים. בשנים האחרונות החלה פעילות לווייני חובבים במסלולים גאו-סינכרוניים. משנת 1961 עד מועד כתיבת חוברת זו שוגרו לחלל כ-400 לוויינים של חובבי רדיו, ובעת כתיבת חוברת זו פעילים בחלל כ-150 לווייני חובבים.¹³ כ-50 מהם מאפשרים תקשורת באמצעות ערוץ עולה, רובם עם משיבים לינאריים, וחלקם מפעילים מערכות אחסן ושֶׁלַח (Store and forward).¹⁴

¹³ ראו פירוט באתר <https://www.n2yo.com/satellites/>

¹⁴ מערכת אחסן ושֶׁלַח היא מערכת הקולטת מידע המיועד ליעד/נמען, מאחסנת אותו, ומעבירה את המידע לייעודו כאשר הוקם קשר עם היעד או כאשר הנמען מבקש זאת.

להמחשה: מעבר תחנת החלל הבין-לאומית (International Space Station) מעל ישראל ב-25 במאי 2020 בין השעות 1353 עד 1403 זמן אוניברסלי מתואם (1752 עד 1803 זמן ישראל), כמוצג בטבלה הבאה (יש לשים לב כי משך הקשר היעיל במעבר זה היה 10.50 דקות בלבד).¹⁵

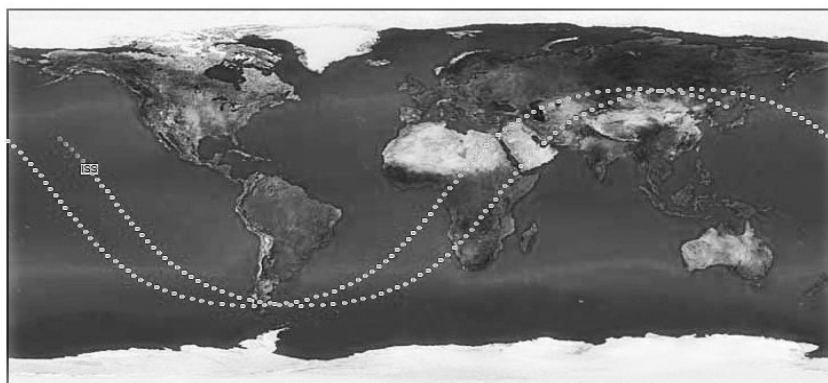
AMSAT Online Satellite Pass Predictions - ISS							
View the current location of ISS							
Date (UTC)	AOS (UTC)	Duration	AOS Azimuth	Maximum Elevation	Max El Azimuth	LOS Azimuth	LOS (UTC)
25 May 20	12:19:24	00:05:53	156	3	130	89	12:25:17
25 May 20	13:53:09	00:10:50	220	73	131	47	14:03:59
25 May 20	15:31:07	00:09:08	272	12	332	27	15:40:15
25 May 20	17:11:41	00:04:26	325	2	351	13	17:16:07
25 May 20	18:50:26	00:04:25	347	2	13	35	18:54:51
25 May 20	20:26:19	00:09:07	333	12	34	88	20:35:26
25 May 20	22:02:33	00:10:53	313	75	227	139	22:13:26
25 May 20	23:41:05	00:06:11	273	4	247	203	23:47:16
26 May 20	13:05:35	00:10:32	207	33	113	54	13:16:07
26 May 20	14:42:44	00:09:56	259	18	318	31	14:52:40

טבלת מעבר של לוויין: מעבר תחנת החלל הבין-לאומית מעל ישראל, 25 מאי 2020 אחרי הצהריים

מקרא לטבלה: AOS (Acquisition of Signal) הוא 'זריחת' הלוויין (עליית הלוויין מעל האופק); LOS (Loss of Signal) הוא 'שקיעת' הלוויין (ירידת הלוויין מתחת לאופק); Azimuth הוא זווית צידוד במעלות ביחס לצפון האמיתי (True North); Elevation היא זווית הגבהה מעל האופק (90 מעלות היא ישר מעליו); הזמנים הם ב-UTC (Universal Time, Coordinated). הטבלה חושבה למיקום במרכז תל אביב.
מקור: AMSAT

15 תחנת החלל הבין לאומית נושאת משיבים לינאריים ולא לינאריים של חובבי רדיו, ובנוסף: ערוצי קשר המאפשרים תקשורת לחובבי רדיו בין אנשי הצוות. התחנה נעה בחלל משנת 1998, במסלול נמוך (ממערב למזרח), עם אקסצנטריות של 0.0001771, אנומליה ממוצעת של 9 מעלות, פריגאון של 417 ק"מ, נטייה של 51.6 מעלות וזווית RAAN של 95.6 מעלות. החללית מקיפה את כדור הארץ כל כ-93 דקות.

Current Position of ISS
 Mon. 25 May 2020 11:24:08 GMT (14:24:08 local time)
 Current Location: 144W 13N



מפת מסלול לוויין

מסלול תחנת החלל הבין-לאומית מעל תל אביב, 25 במאי 2020, שעה 1424 זמן מקומי
 מקור: AMSAT



תקשורת לוויינית באמצעות משיב את"ד, מכיכר התזמורת בתל אביב

החובבת משתמשת במקמ"ש את"ד תוצרת Yaesu, מתוכנת לקליטה בתחום 70 ס"מ ולשידור בתחום 2 מ' (רגישות קליטה: 122 - דב"ס; הספק שידור: 5 וואט). האנטנה היא אנטנה לוג פרידית תוצרת חברת Elk, עם שבח של 7 ד"ב בתחום 70 ס"מ, 6.6 ד"ב בתחום 2 מ'. לומדים מראש את זווית ומועד ה'זריחה' וה'שקיעה' של הלוויין, ומנסים לעקוב אחרי אותותיו. משתמשים באוזניות ומפסיקים את פעולת המשקט, כדי להקל בעקיבה אחרי אותות הלוויין. מאחר ששתי הידיים 'תפוסות', רצוי להקליט את הקשרים כדי לנהל יומן.

2.5 משיבים

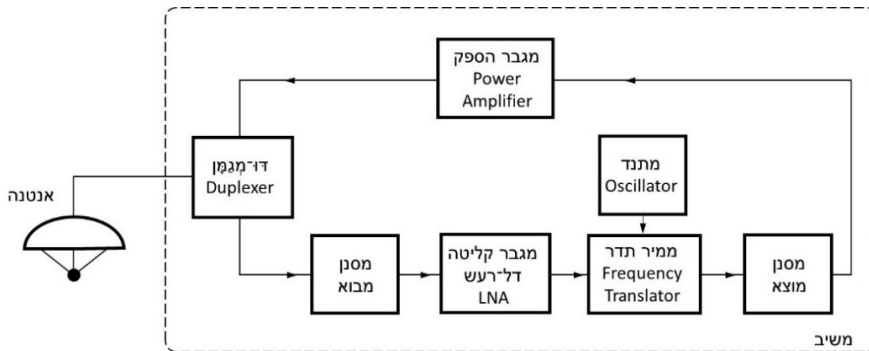
מְשִׁיב (Transponder) הוא המערכת שלווין תקשורת נושא, המחברת בין אנטנת הקליטה ואנטנת השידור.

כדי למנוע הפרעות בין הערוץ העולה והערוץ היורד, מקובל להפעיל בלוויינים את הערוץ העולה והערוץ היורד בתחומי תדרים שונים. תפקיד המשיב הוא לקלוט את האות המשודר מתחנה על כדור הארץ, להגבירו, להמיר את התדר שלו (מתחום תדר של ערוץ העולה לתחום התדר של הערוץ היורד) ולשדרו חזרה לכדור הארץ.

קיימים שני סוגים עיקריים של משיבים:¹⁶

- משיב לינארי** (המכונה גם משיב 'קונבנציונלי'): המבצע פונקציות של הגברת והמרת תדר לתחום מעבר (Passband) מוגדר (מאות קה"ץ עד מספר מה"ץ). גרסה ספציפית של משיב לינארי הוא משיב 'צינור מכופף' (Bent Pipe), משיב לינארי חד-ערוצי, המשמש כ'ממסר' לתקשורת את"ד (בשונה מממסר 'דגיל', הוא קולט בתחום תדרים אחד ומשדר בתחום תדרים אחר).

המשיב כולל את אבני הבניין הבאות: מסנן מעביר תחום במבוא, מגבר דל-רעש (LNA – Low Noise Amplifier), ממיר תדר (Frequency Translator) הניזון ממתנד, מסנן מעביר תחום במוצא הממיר ומגבר הספק. יש לוויינים עם אנטנות נפרדות לקליטה ולשידור ויש לוויינים עם אנטנה אחת המשמשת גם לקליטה וגם לשידור, ואז כולל המשיב דו-מְגָמָן (Duplexer), המאפשר זאת.¹⁷

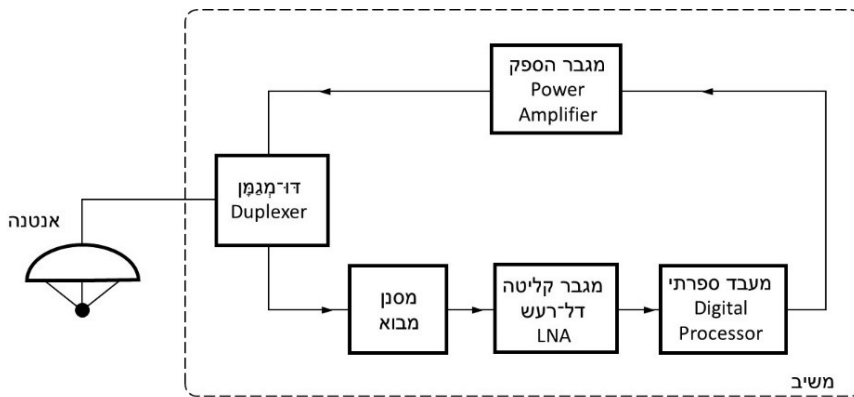


תרשים מלבנים של משיב לינארי

16 יש לוויינים בהם יש מערכות אחרות, כמו מערכות אֶחָסֵן וְשֶׁלַח (Store and forward).
 17 בלוויין המשמש באנטנות שונות לשידור ולקליטה אין צורך בדו-מְגָמָן.

רוב המשיבים הלינאריים מבצעים 'היפוך' תדר (Frequency inversion), כך שערוץ עולה בפס צד תחתון הופך להיות ערוץ יורד בפס צד עליון. בשימוש במשיב לינארי יש להשתמש בהספק המזערי האפשרי, שכן הספק השידור של הלוויין 'מתחלק' בין כל המשתמשים. השיטה המקובלת היא שהלוויין משדר משואה קבועה (Beacon), ובתחנת הקרקע קולטים את השידור המוחזר מהלוויין, ועוצמתו אסור שתהיה גבוהה מעוצמת המשואה.

- **משיב לא-לינארי** (המכונה גם משיב רגנרטיבי - Regenerative או משיב ספרתי - Digital) מבצע, בנוסף לפונקציות של הגברה והמרת תדר, גם פונקציות של מְהַדָּר דְּפָקִים (Pulse Repeater): גילוי (Demodulation), פענוח (Decoding), קידוד (Re-encoding) ואפנון (Modulation). משיב לא-לינארי מתאים במיוחד לאותות ספרתיים, כי הוא משפר את יחס האות לרעש של האות. מבנה המשיב דומה למשיב לינארי. עיבוד האותות נעשה במעבד ספרתי, ויכולת עדכון התוכנה מכדור הארץ מאפשרת גמישות רבה בשימוש בלוויין.

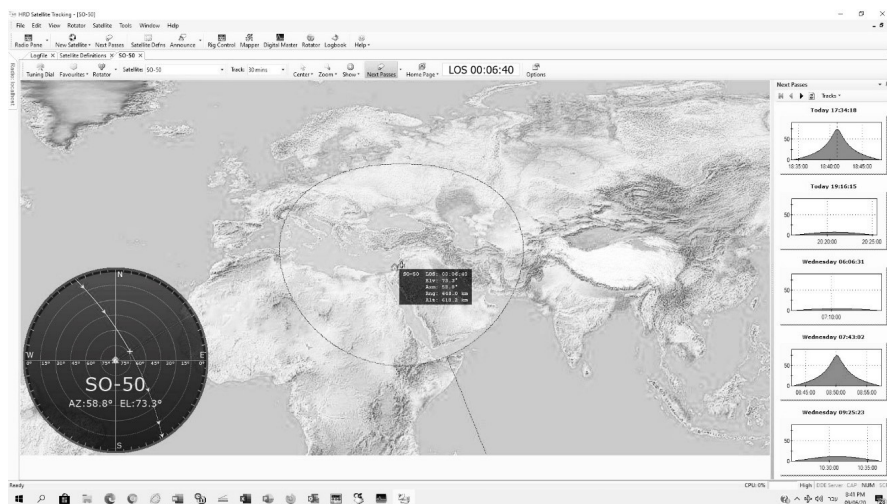


תרשים מלבנים של משיב לא-לינארי

בעת כתיבת חוברת זו פעילים בשירות חובבי רדיו מספר לוויינים מסוגים שונים. להמחשה נציג את הלוויין SO-50, לוויין ניסיוני זעיר (קובייה שכל אחת מצלעותיה היא 25 ס"מ) במשקל 10 ק"ג, שהורכב בידי חובבי רדיו מערב הסעודית ושוגר בשנת 2002. הלוויין נע במסלול עם נטייה של 64.56 מעלות, פריגאון של 609 ק"מ, אקסצנטריות של 0.0048994 ו-RAAN של 40.53 מעלות. הלוויין מקיף את כדור הארץ 14.7 פעמים ביממה. בלוויין משיב לינארי חד-ערוצי לאת"ד, ברוחב סרט של 15 קה"ץ, מקלט ברגישות של 124 דב"ם, משדר של 250 מילי וואט ואנטנות אנכיות רבע אורך גל (אחת

לקליטה, שנייה לשידור). הערוץ העולה הוא ב-2 מ' והערוץ היורד ב-70 ס"מ. המשיב משתמש במשקט צלילי בתדר 67 הרץ. המשדר מפסיק לשדר לאחר 10 דקות, וכדי 'להתניעו' יש לשדר צליל של 74.4 הרץ במשך 2 שניות.^{18, 19}

תוכנה מתאימה מאפשרת לדעת מראש את נתוני מסלול הלוויין בכל הקפה: את זווית הציידוד לאופק, למקום בו 'זורח' הלוויין, את הציידוד וההגבהה לנקודה הגבוהה של הלוויין ואת זווית הציידוד לאופק, למקום בו 'ישקע' הלוויין, ואת עיתוי ה'זריחה' והשקיעה, וכך לאפשר מעקב ידני אחרי הלוויין. התוכנה יכולה גם לשלוט על מסובב אנטנה.



מעבר הלוויין SO-50 מעל תל אביב, 9 יוני 2020, 2041 זמן מקומי

תצוגת תוכנה למעקב אחר לוויינים HRD Satellite Tracking, המציגה את עקבת הלוויין ומסלולו. בתחתית משמאל מוצג דימוי של תצוגת מכ"ם, המראה את מסלול הלוויין בהקפה זו, מ'זריחה' עד 'שקיעה', ואת זווית הציידוד וההגבהה מתחנת הקרקע בכל עת שתחנת הקרקע נמצאת תחת עקבת הלוויין. העוקם מצד ימין למעלה מראה את משך הזמן שניתן לצפות בלוויין בהקפה זו.

- 18 שידור צליל (מתחת תחום השמע) המלווה את כל משך השידור מכונה בעגת חובבי הרדיו PL Tone, ובשמו הרשמי CTCS (Continuous Tone Coded Squelch System).
 19 בתקשורת באמצעות לוויין זה יש להתחשב בסטיית התדר עקב אפקט דופלר (ראו הערה 9). כדי להתגבר על האפקט מתכנתים במקמ"ש הקרקעי 5 ערוצי קליטה בהפרש של 5 קה"ץ זה מזה, כאשר הערוץ האמצעי הוא תדר השידור/קליטה של הלוויין, ותוך כדי מעקב אחרי הלוויין משנים את הערוץ. נושא אפקט דופלר לא נכלל בחומר הבחינה.

2.6 חישוב ניחות נתיב

חיזוי ביצועי תקשורת באמצעות לוויין מחייב עריכת 'תקציב' לנתיב (Link budget), בדומה למקובל בערוצים קרקעיים.²⁰

בתקשורת לוויינית יש להתחשב במקורות רעש ומקורות ניחות נוספים, ונדרשים שני 'תקציבים' נפרדים: אחד לערוץ העולה, מתחנת קרקע ללוויין (Uplink), שני לערוץ היורד, מהלוויין לתחנת קרקע (Downlink), שכן במקרים רבים הערוץ איננו סימטרי, עקב הספקי שידור שונים ואנטנות שונות, בתחנה הקרקעית ובלוויין, ותחומי תדרים שונים לערוץ העולה ולערוץ היורד.²¹

בחישוב 'תקציב' נתיב בתקשורת לוויינית, יש להתחשב בפרמטרים הבאים:

- הספק שידור יעיל (EIRP – Effective Isotropic Radiated Power): ביחידות ד"ב-ווט (ד"ב מעל נקודת ייחוס של 1 ווט, דהיינו 30 דב"ם) שהוא הספק השידור בתוספת שבח האנטנה, בלוויין ובתחנת הקרקע:²²

$$EIRP[dBW] = G + P_s$$

כאשר G הוא שבח האנטנה מעל אנטנה איזוטרופית [ד"ב], P_s הוא, כאשר P הוא הספק השידור [ווט].

- ניחות התפשטות האות בחלל החופשי (Free Space Loss), המחושב לפי הנוסחה:

$$FSL[dB] = 32.45 + 20 \times \text{Log}(d) + 20 \times \text{Log}(f)$$

כאשר FSL הוא ניחות הנתיב [ד"ב]; d הוא טווח הנתיב [ק"מ]; f הוא התדר [מה"ץ].

הצבה בנוסחה לעיל תאפשר לנו להתרשם מניחות אופייני בחלל חופשי, בתדרים המשמשים חובבי רדיו לקשר לווייני, במסלולים שונים:²³

20 ראו: רוזן, מדריך לבחינות, סעיף 7.7.

21 באתר AMSAT נמצא גיליון חישובים מקצועי לחישוב 'תקציב' נתיב, שהועמד לשימוש קהילת החובבים בידי ז'אן קינג, VK4GEY/W3GEY.

ראו <http://www.amsatuk.me.uk/iaru/spreadsheet.htm>.

22 באנטנה פרבולית עם נצילות סבירה ($\eta=0.55-0.75$), שבח האנטנה G [ד"ב] הוא בקירוב:

$$G = \eta \times (10.472 \times f \times D)^2$$

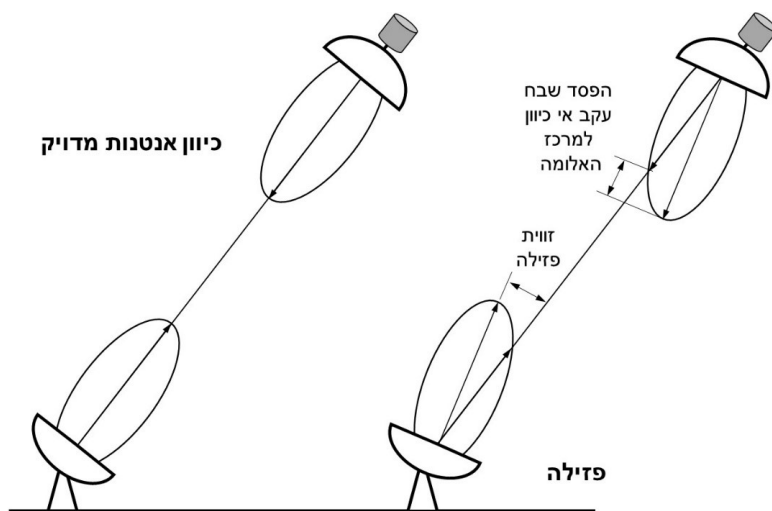
כאשר f הוא תדר [גה"ץ], D הוא קוטר האנטנה [מטר].

23 בערוץ מעשי יש להוסיף להפסדי התפשטות האות בחלל החופשי הפסדים נוספים עקב מעבר האות ביונוספירה ובטרופוספירה, הפסדים עקב אי דיוק בכיוון האנטנות (Pointing Losses) והפסדים מקומיים.

ניחות חלל חופשי [ד"ב]				תדר
מסלול גאוס-סינכרוני טווח: 36,000 ק"מ	מסלול ביניים טווח: 2,000 ק"מ	מסלול נמוך טווח: 300 ק"מ	קשר קרקעי בטווח 40 ק"מ	
166.74	141.63	125.15	107.65	144 מה"ץ
176.24	151.14	134.66	117.16	430 מה"ץ
191.18	166.07	149.59	132.09	2,400 מה"ץ
203.57	178.47	161.99	144.49	10.0 גה"ץ

ניחות התפשטות בחלל חופשי [ד"ב], בטווחים ותדרים שונים

- תוספת ניחות נתיב עקב בליעה באטמוספירה (Atmospheric Loss), כמוצג בסעיף 2.8.
- תוספת ניחות עקב שינוי קוטביות האות במעברו ביונוספירה (Polarization Loss).
- תוספת ניחות נתיב עקב אי-דיוק בכיוון האנטנות, הקולטת והמשדרת (Misalignment Losses). התופעה מכונה פזילה (Squint).



פזילת אנטנות, המוסיפה ניחות

- פרמטרי הקליטה והשידור בלוויין ובקרקע. אחד הפרמטרים החשובים הוא ספרת הרעש (Noise Figure) של המקלט בלוויין ובתחנה הקרקעית.²⁴

24 ראו: רוזן, מדריך לבחינות, סעיף 5.5.

- בעבודה בתדרים גבוהים, (מעל 10 גה"ץ), יש לתכנן שוליים מתאימים לדעיכה עקב גשם.

Total Losses, ההפסד הכולל של נתיב לווייני (ערוץ עולה או ערוץ יורד) [ד"ב], הוא:

$$Total Losses [dB] = FSL + RFL + AA + PL + AML$$

כאשר FSL הוא ניחות התפשטות האות בחלל חופשי [ד"ב], RFL הוא סך ההפסדים במחברים וקווי הזינה [ד"ב], AA הוא ההפסד עקב בליעה באטמוספירה [ד"ב], PL הוא ההפסד עקב שינוי קוטביות האות במעברו ביונספירה [ד"ב], AML הוא תוספת הניחות עקב אי התאמה בכיוון האנטנות [ד"ב].

חישוב יחס אות לרעש של ערוץ תקשורת לווייני איננו בחומר הבחינה.²⁵ להמחשה, להלן חישוב של 'תקציב' ערוץ (Link budget) לתקשורת באמצעות הלוויין SO-50, שהוצג בסעיף הקודם, כאשר בתחנה בקרקע משתמשים במקמ"ש נייד נישא ואנטנה לוג-פריודית עם 5 אלמנטים תוצרת ELK, מוחזקת ביד (כך שאין הפסדים על קו הזן). הפסדי הנתיב חושבו לטווח של 2,500 ק"מ (קצה הטווח, כאשר הלוויין 'זורח' מעל האופק) ולטווח של 630 ק"מ (הטווח הקצר ביותר ללוויין). ההפסד באטמוספירה הוערך לזווית הגבהה נמוכה (כאשר זווית ההגבהה 90 מעלות, הניחות באטמוספירה בתדרים אלה הוא אפסי):

- 25 במערכות לווייניות מקובל להשתמש ביחס בין שבח G לטמפרטורת הרעש האקויוולנטית T_e (מעלות קלווין) כפרמטר המציג ביצועי מקלט:

$$\frac{G}{T_e} [dB/^\circ K] = \frac{G_{ant} + G_{LNA}}{T_e}$$

כאשר G_{ant} הוא שבח האנטנה מעל אנטנה איזטרופית [ד"ב], G_{LNA} הוא הגבר מגבר דל רעש [ד"ב] (LNA – Low Noise Amplifier) במבוא המקלט. יחס האות לרעש של נתיב לווייני C/N_0 [ד"ב] הוא:

$$\frac{C}{N_0} = EIRP + \frac{G}{T_e} - Total Losses - Log(k) - Log(B)$$

כאשר k הוא קבוע בולצמן, $1.38 \times 10^{-23} [J/^\circ K]$; B הוא רוחב הסרט [הרץ]. בחישוב יחס האות לרעש, יש לקחת בחשבון מקורות רעש נוספים מעבר לרעש התרמי, המוצגים בסעיף 2.8.

ערוץ עולה – 145.85 מה"ץ		ערוץ יורד – 436.795 מה"ץ	
נושא	ערך	נושא	ערך
הספק שידור (5 ואט)	37 דב"ם	הספק שידור (250 מילי ואט)	24 דב"ם
שבח אנטנת שידור	8.7 דב"א	שבח אנטנת שידור	2.15 דב"א
הפסד נתיב:		הפסד נתיב:	
טווח מירבי, 2,500 ק"מ	143.7 ד"ב	טווח מירבי, 2,500 ק"מ	153.2 ד"ב
טווח מזערי, 630 ק"מ	131.7 ד"ב	טווח מזערי, 900 ק"מ	141.2 ד"ב
ניחות באטמוספירה	1.7 ד"ב	ניחות באטמוספירה	1.4 ד"ב
הפסדי אנטנות (כיוון, קוטביות)	1 ד"ב	הפסדי אנטנות (כיוון, קוטביות)	1 ד"ב
שבח אנטנת קליטה	2.15 דב"א	שבח אנטנת קליטה	9 דב"א
אות במבוא המקלט:		אות במבוא המקלט:	
טווח מירבי, 2,500 ק"מ	97.25 דב"ם	טווח מירבי, 2,500 ק"מ	120.85 דב"ם
טווח מזערי, 630 ק"מ	87.25 דב"ם	טווח מזערי, 630 ק"מ	108.85 דב"ם
רגישות המקלט (יחס אות לרעש של 10 ד"ב)	124 דב"ם	רגישות המקלט (יחס אות לרעש של 12 ד"ב)	122 דב"ם

הפסד הנתיב הוא ההפסד המהותי, והגידול בעוצמת האות הנקלט בערוץ היורד עקב קיצור הטווח כאשר הלוויין מתקרב אלינו הוא משמעותי. בסגנון זה של הפעלה (מכשיר נישא ואנטנה מוחזקת ביד), מעדיפים חובבי רדיו להשתמש בסוג אחר של אנטנה בערוץ היורד – אנטנת יאגי מרובת אלמנטים (10 אלמנטים בתחום 70 ס"מ, עם שבח של כ-13 דב"א). החישוב לעיל ממחיש כי התוספת של 4 ד"ב בשבח האנטנה בערוץ היורד היא תוספת משמעותית. הניחות באטמוספירה משתנה לפי מזג האוויר. כמובן שבעת שהניחות גדל, יכולת הקמת קשר באמצעות לוויין זה מצטמצמת.

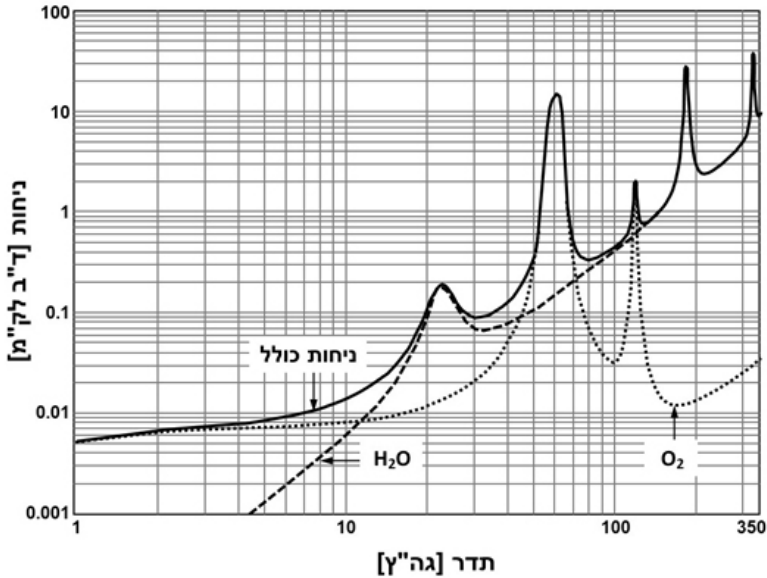
2.7 ניחות באטמוספירה

בתקשורת לוויינים יש להוסיף לניחות החלל החופשי גם את הפסדי האות ביונוספירה, הנגרמים בעיקר עקב ניחות האות במעבר שכבות מיוננות,²⁶ וניחות האות בטרופוספירה,

26 האות ביונוספירה גורם למגוון רחב של תופעות, כולל בליעה, שינוי בקיטוב האות, נצנוצים

גורמי הניחות העיקריים הם:

- בליעה: הניחות הנגרם עקב אדי חמצן (O_2) ואדי מים (H_2O).
 - הסטת קיטוב האות: עקב אפקט פאראדיי²⁷ ומעבר בשכבות אטמוספירה מיוננות.
- ניחות הבליעה באטמוספירה נגרם עקב אדי חמצן (O_2) ואדי מים (H_2O). הניחות תלוי בתדר, כפי שניתן לראות בגרף הבא:



ניחות אדי חמצן ומים בטרופוספירה, בתלות בתדר

מקור: ITU-R P.676-12 (08/2019)

הגרף מראה כי הניחות איננו משמעותי בתדרים מתחת 10 גה"ץ. בגרף בולטים שני שיאים: ניחות אדי מים בתדר 22.3 גה"ץ וניחות אדי חמצן בתדר 60 גה"ץ. על האפקט של שינוי בקיטוב ניתן להתגבר באמצעות שימוש בקיטוב מעגלי,²⁸ שהשימוש בו נפוץ בתקשורת באמצעות לוויין.

(שינויים מהירים בעוצמת האות - Scintillation), שינוי כיוון האלומה, השהיה, נפיצה (Dispersion) ושינוי תדר.

27 אפקט בו שינוי שדה מגנטי יוצר סיבוב במישור הקיטוב של שדה חשמלי.

28 קיטוב מעגלי יכול להיות ימני (עם כיוון השעון - Right Hand Circular Polarization) או שמאלי (Left Hand Circular Polarization). קיטוב הוא מזווית ראיית המשדר. הנושא איננו בחומר הבחינה.

2.8 מקורות רעש

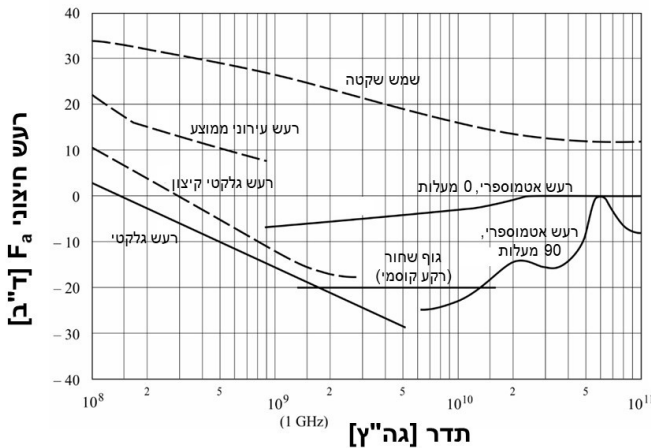
בנוסף למקורות רעש המלווים תקשורת קרקעית, שהבולט בהם הוא רעש תרמי,²⁹ בתקשורת לוויינית יש להתחשב במקורות רעש נוספים: רעש השמש (במיוחד בשימוש באנטנות כיוונית המכוונות לשמש או לגרמי שמיים אחרים), רעש אטמוספרי (Atmospheric noise), הנובע בעיקר מיוניזציה של מולקולות החמצן והמים ביונוספירה ותלוי בזווית ההגבהה של האנטנה, ורעש גלקטי (Galactic noise), שמתחיל להיות מורגש בתדרים מעל 15 גה"ץ.

הרעש החיצוני F_a [ד"ב], אותו יש להוסיף לרעש התרמי, הוא:

$$F_a = 10 \times \text{Log} \left(\frac{P_n}{k \times T_0 \times b} \right)$$

כאשר P_n הוא הרעש מאנטנה ללא ניחות (Equivalent lossless antenna), k הוא קבוע בולצמן, $1.38 \times 10^{-23} [\text{J}/^\circ\text{K}]$, T_0 הוא הטמפרטורה [מעלות קלווין], b היא רוחב הסרט של המקלט [הרץ].

רמת הרעש החיצוני F_a בתלות בתדר, בתחום התדרים 100 מה"ץ עד 100 גה"ץ, לקטגוריות שונות של מקורות רעש, מוצגת באיור הבא. הרעש המזערי מוצג בקו מלא.

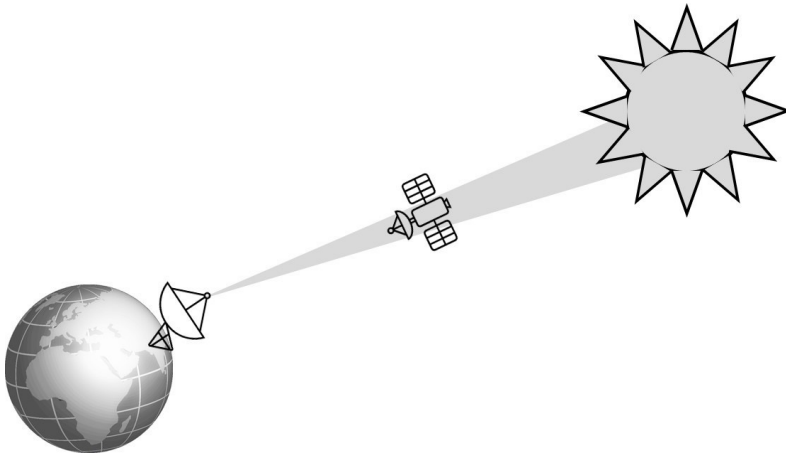


מקורות רעש בתחום התדרים 100 מה"ץ עד 100 גה"ץ

מקור: ITU-R P.372-14 (08/2019)

29 ראו: רוזן, מדריך לבחינות, סעיף 1.13. רעש תרמי ניתן להקטין על ידי קירור דרגת המבוא של המקלט, והדבר היה מקובל בעבר. בשימוש ברכיבים דלי-רעש מודרניים אין צורך בקירור.

כאשר אנטנה קרקעית עם שבח מכוונת לשמש, הרעש התרמי מהשמש גבוה מאוד, חזק פי כמה מאותות הנקלטות מלוויין, וחוסם את הקליטה (התופעה מכונה בשם Sun outage). תקשורת ללוויינים במסלול גאוסטציונרי חווה תופעה זו באביב ובסתיו, כאשר זווית השמש חוצה את קו המשווה. הפרעות כאלה מתקיימות במשך כשבועיים, ומשכן נע מדקות בודדות ביום עד לשיא של כ-30 דקות ביום.



אי-זמינות במסלול גאוסטציונרי עקב הפרעה מהשמש

2.9 תחומי תדר

לווייני חובבים חייבים בתאום בין-לאומי באיגוד הבזק הבין-לאומי (ITU), ולפעול בתחומי תדרים המיועדים לשירות לווייני לחובבים (Amateur-satellite service) על פי תקנות הרדיו. הועדות תדרים במעמד ראשי מוגנות מהפרעות של שירותים אחרים.³⁰

30 ההקצאה במדינת ישראל היא על פי רישיונות משרד התקשורת. פירוט התדרים המוקצים לחובבי רדיו, הספקי השידור המירביים ותנאי השימוש מוצגים בטבלה המצורפת לרישיון החובב. הערה 5.282 לתקנות הרדיו קובעת את חובת המינהלים במדינות השונות לפעול כך שפעולת חובבי רדיו בתחום זה תופסק אם ייגרמו הפרעות לשירותים במעמד ראשי. הערה 5.561A מגדירה שתחום זה מוקצה לשירות חובבי רדיו על בסיס משני.

תחום	אורך גל	כינוי (Designator)	פס תדרים	מעמד	הערות
ת"ג HF	40 מ'		7,000 עד 7,100 מה"ץ	ראשי	תקנות הרדיו מקצות את כל התחום במעמד ראשי לשירות חובבי רדיו ושירות לווייני של חובבי רדיו. בעת כתיבת חוברת זו מגביל איגוד חובבי הרדיו הבין-לאומי IARU את הפעילות הלוויינית בתחומי ת"ג אלה.
	20 מ'		14,000 עד 14,250 מה"ץ	ראשי	
	17 מ'		18,068 עד 18,168 קה"ץ	ראשי	
	15 מ'	H	21,000 עד 21,450 קה"ץ	ראשי	
	12 מ'		24,890 עד 24,900 קה"ץ	ראשי	
	10 מ'	A	28 עד 29.7 מה"ץ	ראשי	
תג"ם VHF	2 מ'	V	144 עד 146 מה"ץ	ראשי	השימוש בפועל הוא בהתאם להחלטות איגוד חובבי הרדיו הבין-לאומי. ³¹
תא"ג UHF	70 ס"מ	U	435 עד 438 מה"ץ	משני	הערה 5.282.
	23 ס"מ	L	1,260 עד 1,270 מה"ץ	משני	הערה 5.282, ערוץ עולה.
	13 ס"מ	S	2,400 עד 2,450 מה"ץ	משני	הערה 5.282, ערוץ עולה.
SHF	9 ס"מ	S2	3,400 עד 3,410 מה"ץ	משני	באזורים 2 ו-3. הערה 5.282.
	5 ס"מ	C	5,650 עד 5,670 מה"ץ	משני	הערה 5.282, ערוץ עולה.
	5 ס"מ	C	5,830 עד 5,850 מה"ץ	משני	ערוץ יורד.
	3 ס"מ	X	10.45 עד 10.5 גה"ץ	משני	
	1.2 ס"מ	K	24 עד 24.05 גה"ץ	ראשי	
EHF	6 מ"מ	R	47 עד 47.2 גה"ץ	ראשי	
	4 מ"מ		76 עד 77.5 גה"ץ	משני	
			77.5 עד 78 גה"ץ	ראשי	
			78 עד 81.5 גה"ץ	משני	הערה 5.561A.
	2 מ"מ		134 עד 136 גה"ץ	ראשי	
			136 עד 141 גה"ץ	משני	
	1 מ"מ		241 עד 248 גה"ץ	משני	
		248 עד 250 גה"ץ	ראשי		

תחומי תדרים לתקשורת לוויינית של חובבי רדיו

31 תקנות הרדיו מקצות את כל התחום במעמד ראשי לשירות חובבי רדיו ושירות לווייני של חובבי רדיו. בעת כתיבת חוברת זו מגביל איגוד חובבי הרדיו הבין-לאומי IARU את הפעילות הלוויינית של חובבי רדיו לתחומים 144.0 עד 144.025 (ערוץ יורד) ו-145.8 עד 146 מה"ץ.

בעת כתיבת חוברת זו, לווייני חובבים פעילים בתחומי התדרים מ-2 מ' עד 1.2 ס"מ, ובשנים הקרובות נראה ודאי שימוש בתחומי התדרים היותר גבוהים. בלווייני חובבים מגדירים את אופן הפעולה (Mode) לפי תחומי התדרים, באמצעות שתי אותיות: האות ראשונה היא תחום התדרים של הערוץ העולה, האות השנייה היא תחום התדרים של הערוץ היורד.³² לדוגמה: אופן פעולה VU הוא ערוץ עולה בתג"ם, ערוץ יורד בתא"ג; אופן פעולה SX הוא ערוץ עולה בתחום 13 ס"מ, ערוץ יורד בתחום 3 ס"מ.

שאלה ב – 1

זמן מחזור של מסלול לוויין הוא:

- א. משך הזמן שהלוויין מקיף את כדור הארץ.
- ב. משך הזמן שהלוויין שוהה בפריגאון.
- ג. משך הזמן שהלוויין שוהה באפוגאון.
- ד. אורך החיים של הלוויין בחלל.

שאלה ב – 2

במסלול אליפטי של לוויין סביב כדור הארץ, מיקום כדור הארץ הוא:

- א. במרכז האליפסה.
- ב. באחד ממוקדי האליפסה.
- ג. בפריגאון.
- ד. באפוגאון.

שאלה ב – 3

מה שונה בין מסלול גאוס-סינכרוני ובין מסלול גאוסטציונרי?

- א. אין שוני, אלה שמות נרדפים לאותו מסלול.
- ב. גובה המסלול מעל כדור הארץ.
- ג. האקסצנטריות של המסלול.
- ד. זווית הנטייה של המסלול.

שאלה ב – 4

האם בליעה באטמוספירה היא פרמטר מהותי בחישוב 'תקציב' נתיב לוויני בתדר 2.4 גה"ץ?

- א. וודאי, הבליעה באטמוספירה היא פרמטר מהותי בחישוב 'תקציב' של כל נתיב לוויני.
- ב. וודאי, בתדר מעל 1 גה"ץ הבליעה באטמוספירה היא פרמטר מהותי.
- ג. לא.
- ד. הבליעה באטמוספירה היא פרמטר חשוב רק במסלולים עם זווית נטייה גבוהה.

שאלה ב – 5

בערוץ יורד בתדר 440 מה"ץ, בהשוואת ניחות נתיב מהלוויין לקרקע כאשר האנטנה בתחנת הקרקע מכוונת לזווית הגבהה של 30 מעלות, ביחס לניחות נתיב מהלוויין לתחנת קרקע בה האנטנה בזווית הגבהה של 60 מעלות, האם יש שוני בניחות האטמוספירה בין שני הנתיבים?

- א. אין שוני, הניחות תלוי בהתנהגות האטמוספירה ולא בזווית האנטנה.
- ב. בזווית הגבהה נמוכה הניחות גדול יותר, שכן האות עובר באטמוספירה מרחק גדול יותר.
- ג. הניחות גדל ככל שזווית ההגבהה גדלה.
- ד. זווית ההגבהה משפיעה על הרעש הנקלט באנטנה, ולא על הניחות באטמוספירה.

שאלה ב – 6

בערוץ יורד בתדר 2.4 גה"ץ, בתחנת קליטה הנמצאת באזור עירוני צפוף, מה מקור הרעש המהותי בקליטה?

- א. רעש השמש.
- ב. רעש גלקטי.
- ג. רעש הרקע הקוסמי.
- ד. הרעש העירוני (מעשה ידי אדם).

תשובות לשאלות

תשובה א – 1

6 קה"ץ (תדר השמע הגבוה ביותר $\times 2$)

36 קס"ש (6×6)

תשובה א – 2

ב

תשובה א – 3

ג

תשובה א – 4

ד

תשובה א – 5

א

תשובה א – 6

ד

תשובה א – 7

ב

תשובה ב – 1

א

תשובה ב – 2

ב

תשובה ב – 3

ד

תשובה ב – 4

ג

תשובה ב – 5

ב

תשובה ב – 6

ד

עמידה בבחינות חובבי רדיו דרגה א' של משרד התקשורת, דרגת הרישיון הגבוהה בישראל לחובבי רדיו, מחייבת ידע ברמה גבוהה בחומר של דרגה ב' וידע בנושאים טכניים נוספים: תקשורת ספרתית ותקשורת לוויינים.

חברת זו משלימה את הספר **מדריך לבחינות חובבי רדיו (דרגה ג' ודרגה ב')**, בהוצאת אגודת תקשורת הרדיו הישראלית, תל אביב, התשפ"ה - 2024, ומיועדת לסייע בלמידה של הנושאים הטכניים הנוספים, על פי דרישות משרד התקשורת, בהתאם לתוכן (סילבוס) שפורסם בשנת 2020.

החברת נועדה ללמידה עצמית, וכוללת שאלות לבחינה עצמית. הלומדים יכולים להשוות את תשובותיהם לתשובות המופיעות בסוף החוברת.

הספר והחוברת נכתבו בידי חובב הרדיו הוותיק דניאל רוזן, 4X1SK, מהנדס אלקטרוניקה, לשעבר מנכ"ל משרד התקשורת וממובילי ענף התקשורת בישראל במשך שנים רבות.

אגודת תקשורת הרדיו הישראלית מסייעת לנבחנים בקורס מתוקשב להכנה לבחינות ובהשתלמות מרוכזת לקראת הבחינות.

אגודת תקשורת הרדיו הישראלית

www.iarc.org

