

פתרון מוצע לבחינת מה"ט בתקשורת

מועד א' תשע"ט , אביב 2019

מחבר: מר אדם גורפינקל, מכללת אורט סינגאלובסקי

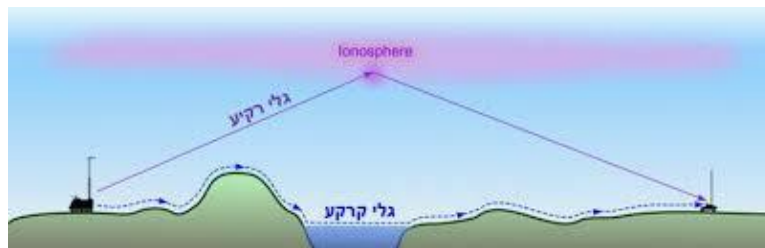
שאלה 1

- 4 נק' א. הסבר מהו גל קרקע (surface wave). העזר בתרשים מתאים.
- 4 נק' ב. הסבר מהו גל רקיע (sky wave). העזר בתרשים מתאים.
- 4 נק' ג. השווה בין גל קרקע לגל רקיע. התייחס לפרמטרים הבאים: טווח כיסוי, תדרי עבודה, חסינות להפרעות ורעשים.
- 4 נק' ד. הסבר מהי ההשפעה של עצם מפריע (גבעה, שטח בנוי) על התפשטות גל הקרקע.
- 4 נק' ה. הסבר אילו גורמים משפיעים על בחירת תדר השידור של גלי הרקיע.

פתרון:

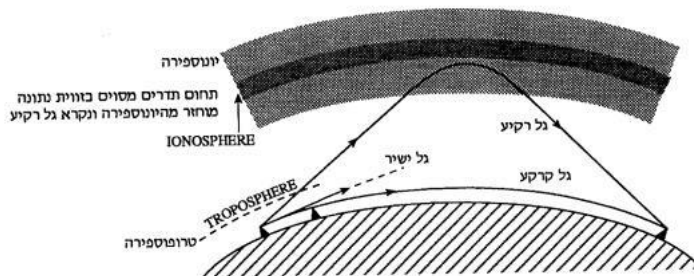
סעיף א':

גל קרקע זהו גל המתקבל מאנטנה קורנת כאשר גובה אנטנת השידור מעל הקרקע קטן ביחס לאורך הגל. גלי קרקע מתפשטים במקביל ובסמוך לפני כדור הארץ, ועוקבים אחר העקמומיות של כדור הארץ. גלים המתקדמים ביעילות בצורה זו הם בעלי תדירויות נמוכות מ- $3MHz$, זאת משום שהם מצליחים לבצע עקיפה מוצלחת יותר סביב מכשולים בדרכם, בשל אורך הגל הגבוה שלהם.



סעיף ב':

גלי רקיע הם המושג המתייחס להתפשטות גלי רדיו המוחזרים או משתקפים בחזרה לכיוון כדור הארץ מהיונוספירה, שהיא שכבה הטעונה חשמלית באטמוספירה העליונה. גלים אלו אינם מוגבלים על ידי עקמומיות כדור הארץ, ועל כן ניתן להשתמש בהם ליצירת תקשורת בין-יבשתית ולמרחקים ארוכים. מרבית השידורים לטווחים ארוכים המתבצעים בתדרים גבוהים, HF, $3MHz - 30MHz$, הם כתוצאה מהתפשטותם של גלי רקיע.



סעיף ג':

תכונה	טווח כיסוי	תדרי עבודה	חסינות להפרעות ורעשים
גל קרקע	טווח מוגבל – נדרש הספק שידור גבוה	קטן מ- 3 MHz	נמוכה
גל רקיע	גדול מאד – אלפי קילומטרים	תחום תדרי HF $3\text{ MHz} < f < 30\text{ MHz}$	טובה

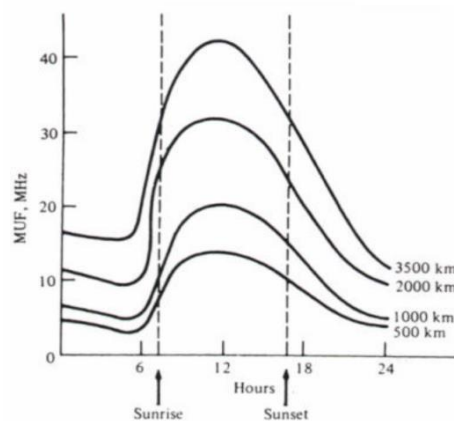
סעיף ד':

ככל שתדר גל הקרקע נמוך יותר, כך מצליח הגל לבצע עקיפה מוצלחת יותר סביב מכשולים בדרכו.

סעיף ה':

בחירת תדר שידור של גלי רקיע מושפעת ממספר גורמים כאשר המשמעותיים הם:

- ריכוז יונים בכל אחת משכבות יונוספרה – מושפע משעת שידור, עונת השנה, מחזור השמש
- מרחק שידור נדרש – מאיזה שכבת יונוספרה נדרש החזר באיור המצורף ניתן לראות את ערכו של תדר שימושי עליון עבור מרחקי שידור שונים.



שאלה 2

להלן נתוני משדר AM:

עוצמת הגל הנושא: 50 V

תדר הגל הנושא: 600 kHz

תדר הגל המאפן: 4 kHz

מקדם האפנון: 0.4

עכבת האנטנה: $50\ \Omega$

- חשב את ההספק של פסי הצד, את ההספק הגל הנושא ואת נצילות השידור.
- רשום את נוסחת הגל המאפן ואת נוסחת הגל המאופן.
- סרטט את האות המאופן במישור התדר וציין על גבי הסרטוט את ערכי התדרים והמתחים.
- סרטט את האות המאופן במישור התדר ורשום את ביטויי בשני המקרים הבאים:

1. האות משודר ללא גל נושא (suppressed carrier).

2. האות משודר עם גל נושא ופס צד עליון בלבד.

פתרון:
סעיף א':

$$P_C = \frac{V_c^2}{2R_L} = \frac{50^2}{2 \cdot 50} = 25W$$

$$P_{LSB} = P_{USB} = P_C \cdot \frac{m^2}{4} = 25 \cdot \frac{0.4^2}{4} = 1W$$

$$P_{LSB} + P_{USB} = 2 \cdot 1 = 2W$$

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{2}{m^2}} = \frac{1}{1 + \frac{2}{0.4^2}} = 7.41\%$$

$$V_m = mV_C = 0.4 \cdot 50 = 20V$$

$$m(t) = V_m \cos(2\pi f_m t) = 20 \cos(2\pi \cdot 4 \cdot 10^3 t)$$

$$V_{AM}(t) = V_C (1 + m \cos(2\pi f_m t)) \cdot \cos(2\pi f_c t)$$

$$V_{AM}(t) = 50 \cdot (1 + 0.4 \cos(2\pi \cdot 4 \cdot 10^3 t)) \cdot \cos(2\pi \cdot 600 \cdot 10^3 t)$$

סעיף ב':

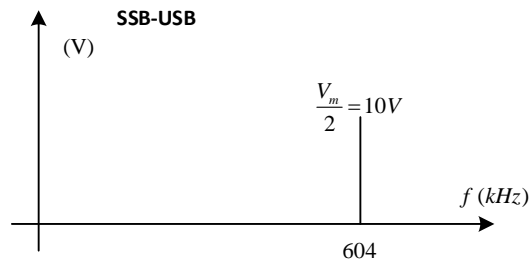
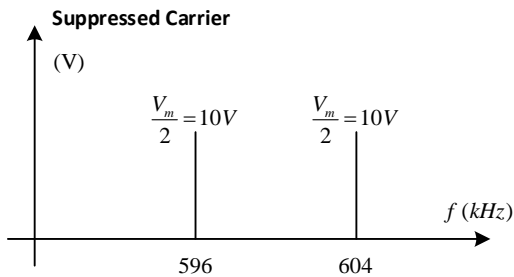
$$V_{LSB} = V_{USB} = \frac{V_m}{2} = \frac{20}{2} = 10V$$

$$f_{LSB} = f_c - f_m = 600 - 4 = 596 kHz$$

$$f_{USB} = f_c + f_m = 600 + 4 = 604 kHz$$

סעיף ג':

סעיף ד':



שאלה 3

נתון משדר FM בעל הנתונים הבאים:

עוצמת הגל הנושא: 50V

תדר הגל הנושא: 60MHz

תדר הגל המאפן: 10kHz

מקדם האפנון: 4

עכבת האנטנה: 50Ω

5 (נק') א. סרטט תרשים מלבניים של משדר FM והסבר את פעולתו.

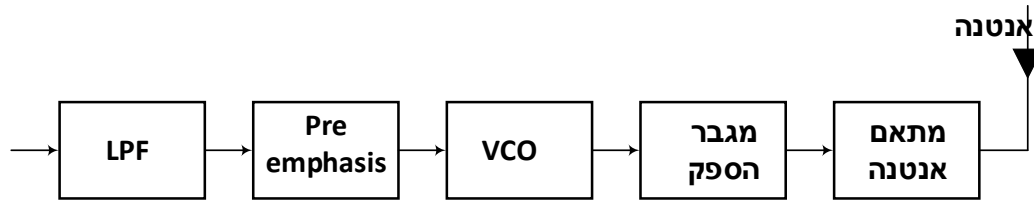
5 (נק') ב. רשום את נוסחת הערך הרגעי של מתח גל ה-FM הנתון.

5 (נק') ג. חשב את סטיית התדר המרבית ואת רוחב הסרט.

5 (נק') ד. חשב את הספק האות המאופן.

פתרון:
סעיף א':

סכמת בלוקים של משדר FM באפנון ישיר:



מסנן LPF – תפקידו להגביל את תדר מידע לערך מירבי המותר.

Pre emphasis – תפקיד מעגל זה הינו להדגיש (להגביר) את תחום התדרים הגבוהים בזמן השידור. פעולה זו תאפשר במקלט לבצע את הפעולה ההפוכה (De emphasis) ובכך לשפר את יחס אות לרעש.

מתנד VCO – מתנד מבוקר מתח שתפקידו לשמש כאפנון ישיר. שינויים במתח אות המידע בכניסה למתנד ה-VCO ממוצא מעגל הקדם הבלט (pre emphasis) גורמים לשינויים בתדר המתנד. במוצא ה-VCO מתקבל אות FM.

מגבר הספק – הספק המוצא מהאפנון נמדד בחלקי וולטים. בכדי לשדר הספק משמעותי יש להגביר את אות ה-FM לרמה הדרושה. הגברה זו נעשית במגבר הספק.

מתאם אנטנה – תפקידה לתאם עכבות בין מוצא מגבר ההספק לבין עכבת האנטנה כדי למנוע עד כמה שאפשר הספק חוזר לתוך המשדר ויצירת גלים עומדים בקו או במילים אחרות לדאוג להעברת הספק מירבי לאנטנה.

אנטנה – תפקידה להמיר את המתח החשמלי המתפתח על האנטנה ולהפוך אותו לקרינה אלקטרומגנטית.

סעיף ב':

$$V_C = 50V$$

$$f_C = 60MHz$$

$$f_m = 10kHz$$

$$\beta = 4$$

$$R_L = 50\Omega$$

$$V_{FM}(t) = V_C \cos(2\pi f_C t + \beta \sin 2\pi f_m t)$$

$$V_{FM}(t) = 50 \cos(2\pi \cdot 600 \cdot 10^6 t + 4 \sin 2\pi \cdot 10 \cdot 10^3 t)$$

סעיף ג':

$$\Delta f = \beta \cdot f_m = 4 \cdot 10 \cdot 10^3 = 40kHz$$

$$BW = 2f_m \cdot (\beta + 1) = 2 \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot (4 + 1) = 100kHz$$

סעיף ד':

$$P_{FM} = \frac{V_c^2}{2R_L} = \frac{50^2}{2 \cdot 50} = 25W$$

שאלה 4

דרגת ה-RF של מקלט AM היא בעלת הנתונים הבאים:

הגבר: 20dB

ספרת רעש: 6dB

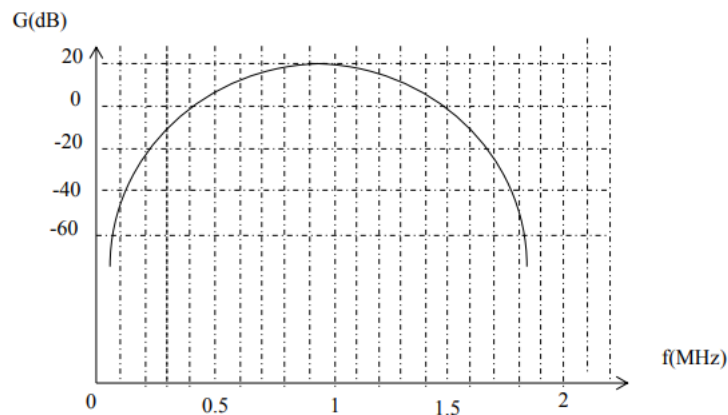
סף הרעש במבוא למגבר: -110dBm

עכבת המבוא: 50Ω

עקום ההענות של המגבר, כשהוא מכוון לקליטת אות מבוא בתדר 1MHz ובעוצמה של -82dBm,

נתון באיור לשאלה 4.

תדר הביניים של המקלט הוא 400kHz.



איור לשאלה 4

7 נק' א. חשב את עוצמת הרעש ואת יחס האות לרעש במוצא המגבר.

7 נק' ב. מצא את תדר הבבואה ואת הגבר דרגת ה-RF בתדר הבבואה.

6 נק' ג. חשב את העוצמה המירבית של תחנה המשדרת בתדר הבבואה, כך שלא תפריע לקליטה, אם נדרש

שהפרש העוצמות בין האות הנקלט לאות ההפרעה יהיה לפחות 30dB.

פתרון:

סעיף א':

$$N_i = -110 dBm$$

$$S_i = -82 dBm$$

$$G = 20 dB$$

$$NF = 6 dB$$

$$S_0 = S_i + G = -82 + 20 = -62 dBm$$

$$N_0 = N_i + G + NF = -110 + 20 + 6 = -84 dBm$$

סעיף ב':

$$f_{IM} = f_{RF} + 2f_{IF} = 1 \cdot 10^6 + 2 \cdot 400 \cdot 10^3 = 1.8 MHz$$

from drawing :

$$G_{RF}(f = f_{IM}) = -50 dB$$

סעיף ג':

אני מניח שהכוונה להפרש של 30dB במוצא מגבר RF. אי לכך:
הספק האות במוצא מגבר RF הוא: $-62 dBm$.
הספק האות בתדר ראי במוצא מגבר RF הוא:

$$S_{IM} + G_{RF}(f = f_{IM}) = S_{IM} + (-50) = S_{IM} - 50 (dBm)$$

כנדרש, עוצמת האות גדולה ב- 30dB מעוצמת האות בתדר ראי, על כן:

$$-62 - 30 = S_{IM} - 50$$

$$S_{IM} = -42 dBm$$

שאלה 5

מרבב הפועל בשיטת PCM הוא בעל הנתונים הבאים:

מספר הערוצים במבוא למרבב: 15

קצב הנתונים בכל ערוץ: 9600bps

אותות המבוא הם אנלוגיים ונדגמים לפי חוק נייקויסט. כל דגימה מיוצגת באמצעות ארבע סיביות.

5 נק' א. הסבר מהי שיטת הקידוד PCM וציינ שני יתרונות לעומת שיטת PAM.

5 נק' ב. חשב את קצב הנתונים במוצא המרבב.

5 נק' ג. מהו התדר המירבי של אותות המבוא האנלוגיים?

5 נק' ד. חשב את משך הזמן שבין שתי דגימות סמוכות.

פתרון

סעיף א':

אפנון דופק מקודד Pulse-Code Modulation - או בקיצור PCM היא שיטה לייצוג דיגיטלי של אותות אנלוגיים. בשיטה זו, עוצמת האות אנלוגי נדגמת בתדירות קבועה ודגימה מיוצגת על ידי מילה ספרתית באורך n סיביות. בתהליך זה יש צורך בקירוב ערך הדגימה על כן נוצרת שגיאה הקרויה שגיאת כימוי. כמוכן, שככל שדגימה מיוצגת על ידי סיביות, כך שגיאת כימוי קטנה יותר.
יתרונות PCM לעומת PAM:
א. חסינות טובה יותר לרעשי תנופה
ב. PCM היא שיטה סטנדרטית על כל המשתמע (עלות, אמינות, ריבוי יצרנים, ..)

סעיף ב':

נתונים:

• מספר ערוצי מידע: $n_1 = 15$

• מספר סיביות לדגימה: $n_2 = 4$

• קצב נתונים בכל ערוץ מידע: $R_{SC} = 9600 bps$

• תדר דגימה: $f_s = f_N$

$$R_{PCM} = n_1 \cdot R_{SC} = 15 \cdot 9600 = 144 kbps$$

סעיף ג':

$$R_{SC} = f_s \cdot n_2$$

$$f_s = \frac{9600}{4} = 2400 Hz$$

$$f_s = f_N = 2f_{m_{max}}$$

$$f_{m_{max}} = \frac{2400}{2} = 1200 Hz$$

סעיף ד':

משך הזמן בין דגימות הוא למעשה הזמן הדרוש להעביר 2 סיביות של דגימה אחת.

$$t_b = \frac{1}{R_{PCM}} = \frac{1}{144 \cdot 10^3} = 6.944 \mu \text{ sec}$$

$$t_{CH} = 4 \cdot t_b = 4 \cdot 6.944 \mu = 27.78 \mu \text{ sec}$$

שאלה 6

במערכת בקרה משתמשים בממיר A/D בעל הנתונים הבאים:
מתח מבוא בין 0 ל-10V
מספר הדקי המוצא: 10

- 5 נק' א. הסבר את עקרון הפעולה של ממיר A/D, הפועל בשיטת הקירוב העוקב (successive approximation).
- 5 נק' ב. חשב את מספר רמות המתח בממיר.
- 5 נק' ג. מצא את ערכי הדקי המוצא עבור מתח מבוא של 7.32V.
- 5 נק' ד. חשב את שגיאת הכימוי בממיר זה ב-dB.

פתרון:

סעיף א':

ממיר A/D או ADC הינו מעגל המבצע המרה של האות האנלוגי לאות ספרתי: Analog to Digital Converter. בשיטת קירוב עוקב ערכם של הסיביות הספרתיות נקבעות בזו אחר זו החל הסיבית המשמעותית ביותר (MSB) ועד לסיבית הפחות משמעותית (LSB) בזו אחר זו.

סעיף ב':

$$M = 2^n = 2^{10} = 1024$$

סעיף ג':

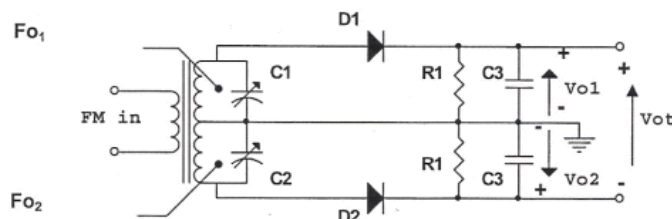
$$q = \frac{\Delta V_{in}}{M} = \frac{10-0}{1024} = \frac{5}{512} = 9.766V$$

$$N = \left\lfloor \frac{V_{in}}{q} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{7.32}{\frac{5}{512}} \right\rfloor = 749_{Dec} = 1011101101$$

סעיף ד':

$$|e|_{max} = \frac{q}{2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{5}{512} = 4.88mV$$

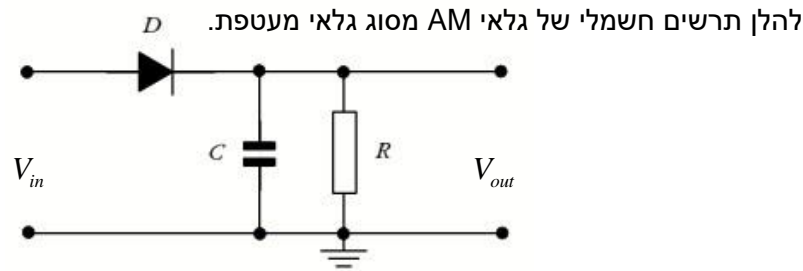
שאלה 7



איור לשאלה 7

- 5 נק' א. סרטט גלאי AM, הסבר את פעולתו וציין את השיקולים בבחירת רכיבי המעגל.
- 5 נק' ב. באיור לשאלה 7 נתון גלאי FM. רשום את שם הגלאי והסבר את פעולתו.
- 5 נק' ג. הסבר את תפקיד מעגל ה-AGC במקלט AM.
- 5 נק' ד. הסבר את תפקיד מעגל ה-AFC במקלט FM.

פתרון:
סעיף א':



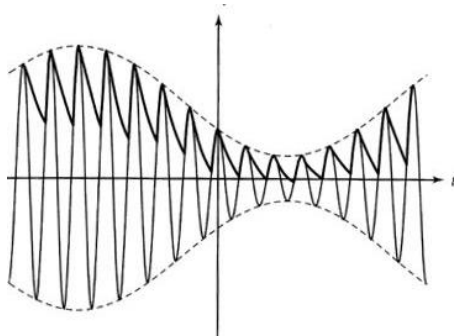
הסבר אופן פעולת הגלאי

מתח הכניסה לגלאי V_{in} , הינו אות מאופנן AM, אות בתדר הגל הנושא אשר האמפליטודה שלו עולה ויורדת על פי שינויי המתח של אות המידע. כאשר המתח כניס עולה על מתח הקבל C , דיודה D מוליכה והקבל C עוקב אחר מתח הכניסה. כאשר המתח הכנסה נמוך ממתח הקבל, הדיודה D נמצאת במימתח הפוך ולכן היא במצב נתק. בפרק הזמן הזה הקבל מתפרק דרך נגד R . תהליך הפריקה מסתיים כאשר מתח האות המאופנן שוב עולה שוב על מתח הקבל.

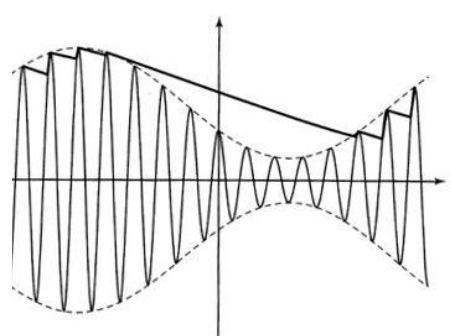
באפנון AM צורת המעטפת היא למעשה צורת אות המידע. כאשר גלאי מעטפת מתוכנן נכון, מתח על הקבל עוקב אחר המעטפת או במילים אחרות המתח על הקבל הוא סופרפוזיציה של אות המידע, מתח DC ועוד רכיבי תדר גבוה. מתח ה DC נחסם בקבל במוצא הגלאי ואילו מרכיבי תדר גבוה מסוננים ב- LPF המחובר במוצא הגלאי.

כדי שגלאי מעטפת יפעל כהלכה קיימת חשיבות רבה לבחירה נכונה של קבוע זמן RC . כאשר קבוע זמן גדול מידי או קטן מידי, מתח על פני הקבל לא יעקוב אחר המעטפת. בשרטוטים המצורפים מוצג מתח על פני הקבל (הקו השחור הבולט) בשני המקרים הנ"ל.

קבוע זמן, RC , קטן מידי

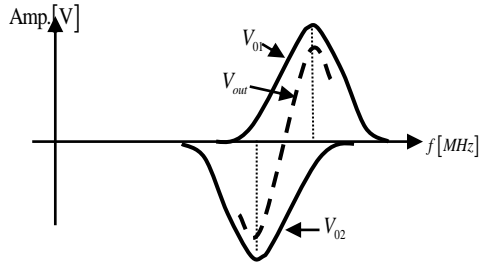


קבוע זמן, RC , גדול מידי



סעיף ב':

תרשים המלבנים הינו של גלאי FM על שם טרביס [Travis] או בשמו האחר - גלאי שיפוע כפול. תכנון המעגל נעשה במגמה להתגבר על החסרון של גלאי השיפוע היחיד. המעגל מבוסס על שני גלאי שיפוע המחוברים גב אל גב. מעגלי התהודה של כל גלאי מכוונים לתדרים שונים. החיבור יוצר שמתח V_{01} היוצא מהמעגל שמכוון לתדר f_{01} הוא חיובי ואילו המתח V_{02} המופק מהמעגל המכוון לתדר f_{02} הוא שלילי. סכום שני המתחים יוצר שקול המתקבל במוצא V_{out} . שהוא בעל ליניאריות טובה מאוד בתחום תדרים רחב יחסית.



$$V_{out} = V_1 + (-V_2) = V_1 - V_2$$

- יתרונותיו של גלאי טרביס ביחס לגלאי שיפוע יחיד הם:
- מתקבלת עקומת S המשתרעת על פני מתחים חיוביים ושלייליים.
 - מרכז העקומה עובר במתח 0V.
 - מתקבלת ליניאריות בתחום תדרים גדול יחסית.
 - הליניאריות טובה.

סעיף ג':

מעגל ה- AGC הינו מעגל שתפקידו לשמור על רמה קבוע של עוצמת השמע במוצא המקלט. מעגל זה קיים גם במקלטי AM וגם במקלטי FM. מעגל AGC דוגם את העוצמה הממוצעת במוצא גלאי ומתרגם מתח זה למשוב שלילי של דרגת IF. כאשר מתח ממוצע במוצא הגלאי עולה, נוצר משוב שלילי גדול יותר ולכן ההגבר של דרגת ה- IF יורד ולכן רמת המתח הממוצע יורדת.

סעיף ד':

מעגל ה- AFC הינו מעגל בקרת תדר אוטומטית - Automatic frequency control. תפקידו של מעגל AFC במקלט הוא לוודא שתדר ביניים הינו מדויק. תכונה זו נדרשת במיוחד במקלט FM וגם במקלטי SSB. מתנד מקומי במקלט המכיל AFC הוא מסוג VCO – מתנד מבוקר מתח כלומר שתדרו ניתן לשינוי על ידי מתח תיקון. את מתח התיקון ניתן לממש בשתי דרכים:

- על ידי דגימת תדר המתקבל במוצא מגבר IF ותרגומו למתח תיקון.
- על ידי דגימת מתח DC המתקבל במוצא גלאי ותרגומו למתח תיקון.

כאשר תדר בעניים שונה מהערך המדויק, נוצר מתח תיקון אשר גורם ל- VCO לשנות את תדרו כך שתדר ביניים יחזור לערכו המדויק.

שאלה 8

- 5 נק' א. הסבר את עקרון לחיצת היד (handshake) בתקשורת נתונים והבא דוגמה מתקן RS232.
 5 נק' ב. הסבר כיצד ניתן לגלות שגיאות בשיטת VRC+ LRC (בלוק נתונים).
 10 נק' ג. נתון בלוק הנתונים הבא שבו מיושמת שיטת ה-VRC+ LRC.

1	0	0	0	1	1	1	0	1	0
0	0	0	1	1	0	1	1	0	1
1	1	1	0	0	1	0	1	0	0
1	0	1	0	1	1	1	1	1	0
0	1	1	0	0	1	1	0	0	1
0	1	1	1	0	1	1	0	0	1
0	1	1	1	1	0	1	1	1	0
0	1	0	1	1	0	1	1	0	0

- 5 נק' 1. האם ארעה שגיאה בבלוק הנתונים? ציין שורה ועמודה (אם מצאת).
 5 נק' 2. כמה שגיאות ניתן לגלות וכמה שגיאות ניתן לתקן בשיטת ה-VRC+ LRC?

פתרון:

סעיף א':

בתקשורת נתונים בטרם העברת מידע נדרש להקים קשר בין מקור ליעד. תהליך הקמת הקשר כולל החלפה של מידע, הקצאת זיכרון ואתחול של משתנים בשני הצדדים. נהוג לקרוא לתהליך הקמת הקשר "לחיצת יד" – handshaking. בשלב לחיצת היד נקבעים פרמטרים שונים של איכות הקשר. דוגמה לפרמטרים אלו הם: שיטת גילוי השגיאות, הזמן המירבי להעברת הודעה ורמת הבטיחות של המידע (אם למשל יש להצפין את המידע).

סעיף ב':

בדיקת גילוי שגיאות בשיטת VRC+LRC נעשית על ידי בדיקת זוגיות בכל שורה ובכל עמודה בבלוק מידע המשודר. במידה ותמצאנה לפחות שורה או עמודה שגויות אזי נדע שמשהו שגוי בתוך הבלוק. מרחק המינג של שיטה זו הוא 4.

סעיף ג':

מבדיקת הקובץ ניתן להסיק שהוא נבנה עם זוגיות אי זוגית בכל שורה ועמודה. בבדיקה פרטנית של הבלוק הנתונים נמצאה שגיאה בשורה 6 מלמעלה ועמודה 4 משמאל. אי לכך הבלוק הינו שגוי. כאמור, מרחק המינג של שיטת VRC+LRC הוא 4 על כן חוזק השיטה הוא:

$$t = d_H - 1 = 4 - 1 = 3 \quad \text{יכולת גילוי שגיאות} - 3 \text{ לפי החישוב הבא:}$$

$$t = \left\lfloor \frac{d_H - 1}{2} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{4 - 1}{2} \right\rfloor = 1 \quad \text{יכולת תיקון שגיאות} - 1 \text{ לפי החישוב הבא:}$$