

פתרון מוצע לבחינת מה"ט בתקשורת

מועד ב' תשע"ט, אביב 2019

מחבר: מר אדם גורפינקל, מכללת אורט סינגאלובסקי

שאלה 1

נדרש לתאם בין מקור לקו תמסורת ובין קו התמסורת לעומס לצורך העברת הספק מירבי. התיאומים מתבצעים באמצעות שנאים רבע אורך גל. נתוני המערכת מובאים להלן:

תדר המקור: 450MHz.

עכבת המקור: $50 + j50 \Omega$.

עכבת הקו: 50Ω .

עכבת העומס: 60Ω .

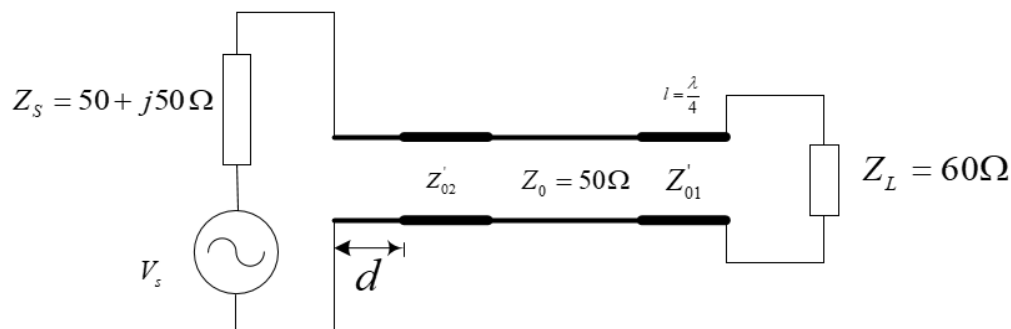
(5 נק') א. סרטט תרשים של קו התמסורת עם השנאים לתאום.

(5 נק') ב. חשב את העכבה ואת האורך של השנאי הדרוש לתאום בין העומס לקו התמסורת.

(5 נק') ג. מהו המרחק בין העומס לשנאי התאום שלו? נמק את תשובתך.

(5 נק') ד. חשב את עכבת השנאי לתאום בין המקור לקו התמסורת.

פתרון:
סעיף א':



סעיף ב':

בהנחה שמקדם הדיאלקטרי, ϵ_r , של השנאי הוא 1, אזי:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{450 \cdot 10^6} = \frac{2}{3} m = 66.7 \text{ cm}$$

אורך השנאי יהיה:

$$l = \frac{\lambda}{4} = \frac{\frac{2}{3}}{4} = \frac{2}{12} = 16.7 \text{ cm}$$

חישוב עכבת השנאי:

$$Z'_{01} = \sqrt{Z_0 \cdot Z_L} = \sqrt{50 \cdot 60} = 54.77 \Omega$$

סעיף ג':

היות ועכבת העומס היא אוהמית טהורה אזי מיקום השנאי הוא בקצה של קו תמסורת בדיוק כפי שמופיע באיור במצורף לסעיף א'.

סעיף ד':

תאום מקור:

$$\bar{z}_L = \frac{Z_L}{Z_0} = \frac{50 + j50}{50} = 1 + j$$

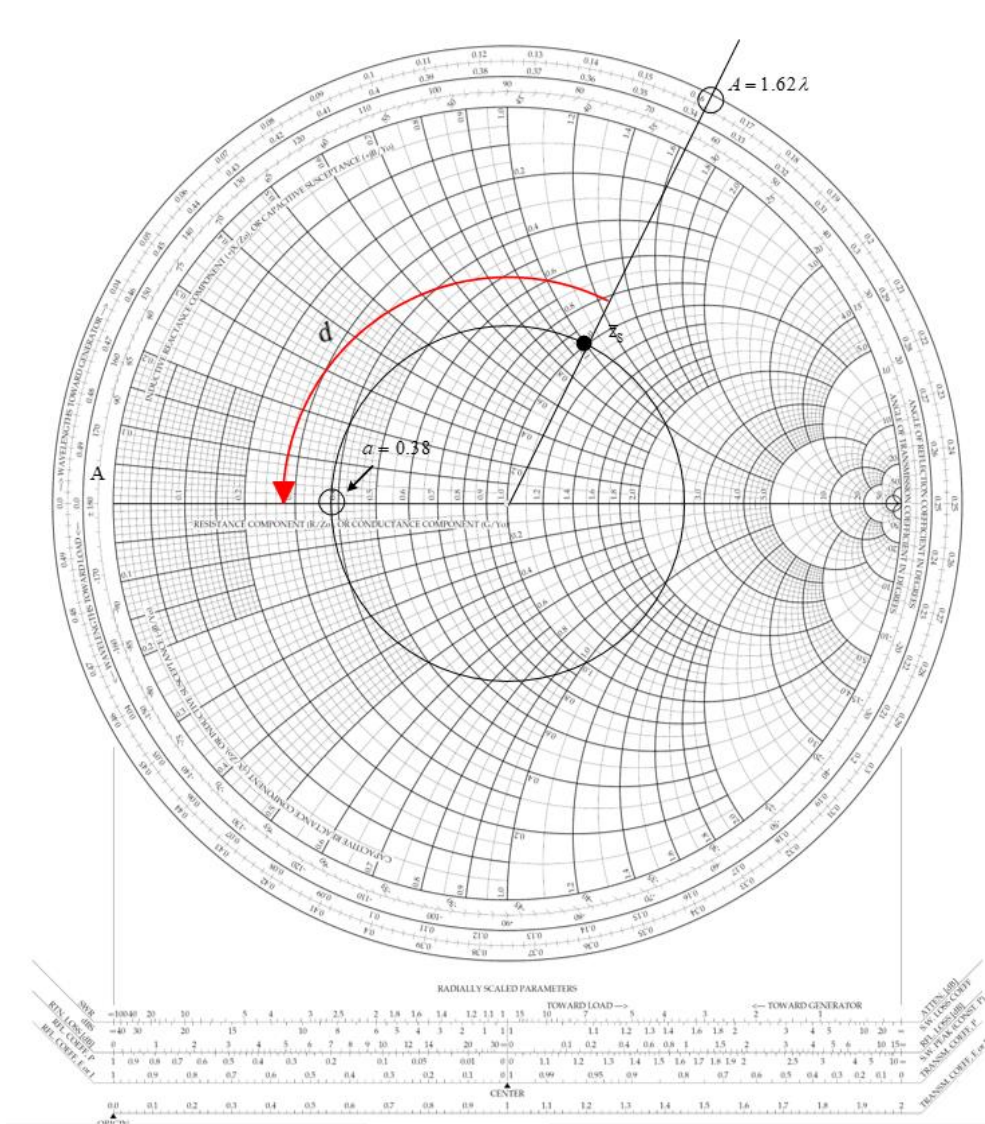
עכבת השנאי היא:

$$Z_{01} = Z_0 \cdot \sqrt{a} = 50 \cdot \sqrt{0.38} = 30.8 \Omega$$

מיקום השנאי:

שים לב לאופן חישוב המרחק (נגד כוון השעון)!

$$d = 0.162\lambda = 0.162 \cdot 66.7 = 10.8 \text{ cm}$$



שאלה 2

נתון גל מאופנן שביטוי הערך הרגעי שלו הוא:

$$X(t) = 15 \cos 2\pi 10^6 t + 3 \cos 2\pi 995 \cdot 10^3 t$$

התנגדות העומס היא 50Ω .

- (5 נק') א. מהו סוג האפנון? חשב את מקדם האפנון של הגל המאופנן.
 (5 נק') ב. רשום את הביטוי של הערך הרגעי של הגל הנושא ואת הביטוי של הערך הרגעי של הגל המאופנן.
 (5 נק') ג. חשב את ההספק של הגל הנושא ואת נצילות השידור.
 (5 נק') ד. סרטט את האות המאופנן במישור התדר וציין על גבי הסרטוט את ערכי התדרים והמתחים.

פתרון:

סעיף א':

התשובה איננה חד משמעית! קיימות ארבע אפשרויות והן:

- א. אות $SSB - LSB$ עם גל נושא
 ב. אות $SSB - USB$ עם גל נושא מונחת
 ג. אות $SSB - LSB$ מאופנן על ידי שני תדרים
 ד. אות $SSB - USB$ מאופנן על ידי שני תדרים
 לצורך המשך השאלה אתייחס למקרה א'.

$$V_{LSB} = 3V$$

$$V_C = 15V$$

$$m = \frac{V_m}{V_c} = \frac{2V_{LSB}}{V_c} = \frac{2 \cdot 3}{15} = 0.4$$

סעיף ב':

$$f_m = f_c - f_{LSB} = 1000 \cdot 10^3 - 995 \cdot 10^3 = 5 \text{ kHz}$$

$$V_C(t) = V_C \cos(2\pi f_c t) = 15 \cdot \cos(2\pi \cdot 1000 \cdot 10^3 t)$$

$$V_m(t) = V_m \cos(2\pi f_m t) = 6 \cdot \cos(2\pi \cdot 5 \cdot 10^3 t)$$

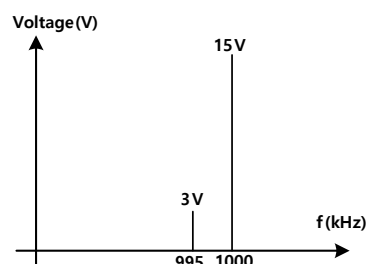
סעיף ג':

$$P_C = \frac{V_C^2}{2R_L} = \frac{15^2}{2 \cdot 50} = 2.25 \text{ W}$$

$$P_{LSB} = \frac{V_{LSB}^2}{2R_L} = \frac{3^2}{2 \cdot 50} = 0.09 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_{LSB}}{P_C + P_{LSB}} = \frac{0.09}{2.25 + 0.09} = 3.85\%$$

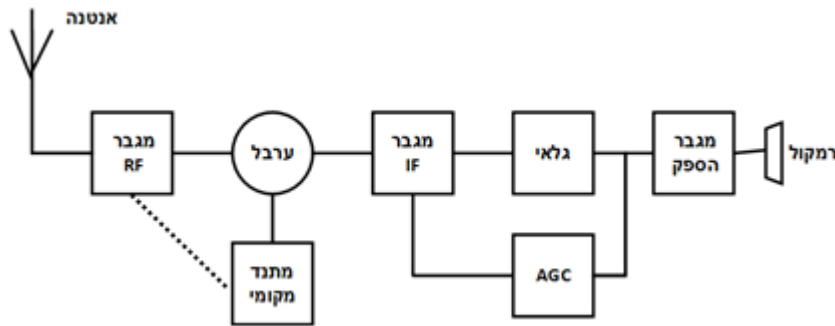
סעיף ד':



שאלה 3

- 5 נק' א. סרטט תרשים מלבנים של מקלט AM סופרהטרודיין עם AGC.
 5 נק' ב. תדר התחנה הנקלטת במקלט הוא 960kHz. תדר הביניים הוא 455kHz. מהם התדרים שיופיעו במוצא הערבלי?
 5 נק' ג. מגבר דרגת הביניים כולל מעגל תהודה בעל גורם טיב 90. חשב את רוחב הסרט של דרגת הביניים.
 5 נק' ד. הסבר את הצורך בחיבור המכני בין מעגל המתנד המקומי למגבר ה-RF.

פתרון:
סעיף א':



סעיף ב':

$$f_{RF} = 960 \text{ kHz}$$

$$f_{IF} = 455 \text{ kHz}$$

$$f_{LO} = f_{RF} + f_{IF} = 960 + 455 = 1415 \text{ kHz}$$

במוצא הערבלי מתקבלים כל התדרים מהצורה: $\pm mf_{LO} \pm nf_{RF}$ $m, n = 0, 1, 2, 3 \dots$

כאשר הדומיננטים (בעלי עוצמת מתח משמעותיים) הם:

$$f_{LO} = 1415 \text{ kHz}$$

$$f_{RF} = 960 \text{ kHz}$$

$$f_{LO} + f_{RF} = 1415 + 960 = 2375 \text{ kHz}$$

$$f_{LO} - f_{RF} = 1415 - 960 = 455 \text{ kHz}$$

כמובן, התדר האחרון הוא הרצוי.

סעיף ג':

$$Q = 90$$

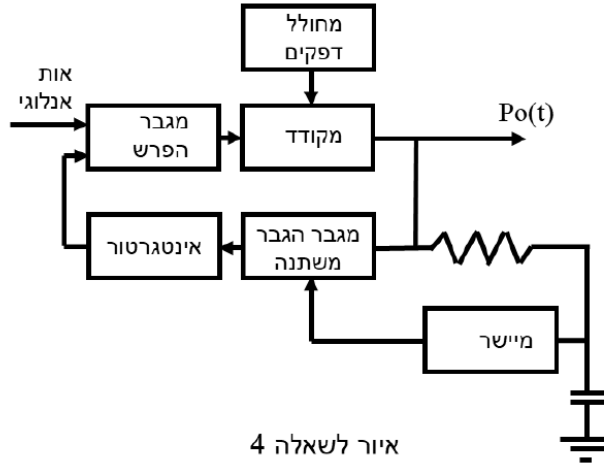
$$BW_{IF} = \frac{f_{IF}}{Q} = \frac{455}{90} = 5.06 \text{ kHz}$$

סעיף ד':

החיבור המכני בין מגבר RF לבין מתנד מקומי מורה על כך שהקבלים המהווים את מעגלי התהודה בשתי היחידות נמצאים על ציר מכני אחד. כל שינוי בתדר RF גורם לשינוי זהה במתנד מקומי, כך שהפרש בין שני התדרים נשאר קבוע ושווה בדיוק לתדר הביניים.

שאלה 4

- 5 נק') א. הסבר מהו אפנון דלתא ליניארי ומהי בעיית הרעש באפנון מסוג זה.
 5 נק') ב. אות אנלוגי בתחום תדירויות עד 5kHz נדגם באפנון דלתא ליניארי. נתונים שלושה תדרים לביצוע הדגימה: 9kHz, 10kHz ו-100kHz. איזה תדר מתאים לביצוע הדגימה? הסבר את תשובתך.
 5 נק') ג. הסבר מהו אפנון דלתא מסתגל וכיצד הוא מפחית את כמות הרעש לעומת אפנון דלתא ליניארי.
 5 נק') ד. באיור לשאלה 4 נתון מעגל. ציין את מטרת המעגל והסבר את פעולתו.



איור לשאלה 4

פתרון:

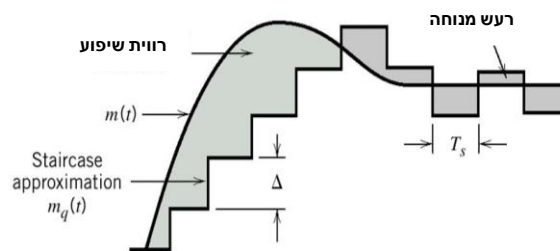
סעיף א':

אפנון דלתא ליניארי הוא סוג של אפנון ספרתי. הדפקים משודרים באפנון דלתא נושאים מידע אודות שינוי שחל באות המאפנן (האנלוגי) מאז הדגימה הקודמת.

באפנון דלתא, האות הבינארי שנוצר מכיל סיבית אחת עבור כל דגימה של האות האנלוגי המקורי. כאשר הדגימה הנוכחית של האות האנלוגי מצביעה על עליה בעוצמת האות ביחס לערכו בדגימה הקודמת, ישודר אופק חיובי. אם הדגימה הנוכחית מצביעה על ירידה בעוצמת האות האנלוגי, ישודר דופק שלילי. במקלט דופק חיובי מתורגם למדרגת מתח חיובית ואילו דופק שלילי מתורגם למדרגת מתח שלילית. המתח המשוחזר במקלט מעלה או מוריד מערכו הנוכחי בגודל מדריגת מתח.

באפנון דלתא קיימים שני סוגי רעשים:

- א. רעש רווית שיפע – רעש זה נוצר כאשר האות המאפנן (אות המידע) משתנה מהר כך שהאות המשוחזר במקלט אינו מצליח להשיג אתו ולכן נוצרת שגיאה.
 ב. רעש מנוחה – רעש זה נוצר בשעה שאות המידע כמעט קבוע ואילו במקלט האות המשוחזר במקלט מורכבת מדופק חיובי ודופק שלילי לסירוגין.

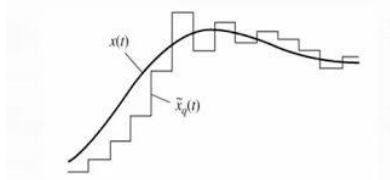


סעיף ב':

באפנון דלתא תדר הדגימה הנדרש חייב להיות גבוה בהרבה מתדר נייקוויסט היות והדגימה מיוצגת על ידי סיבית אחת בלבד. אם תדר מידע הוא 10kHz אזי נבחר ב-100kHz כתדר דגימה. בחירה נכונה של תדר דגימה תלויה בצורת האות המידע.

סעיף ג':

באפנון דלתא לינארי נוצרים רעשים כפי שפורטו בסעיף א'. ניתן לצמצם את הבעיה על ידי יצירת מנגנון הסתגלות של המערכת. מנגנון זה אמור לזהות מקרים של שינוי מהיר באות המאפנון ובמקרה זה להגדיל את מדריגת המתח כדי שאות הדלתא ישיג ויעקוב טוב יותר אחר אות המידע, כך שתימנע רווית השיפוע. שימוש בדלתא מסתגל מאפשר לעבוד עם מדריגת מתח נמוכה כאשר אות המידע יציב ולעלות את גודל המדרגה כאשר אות מידע משתנה מהר. באיור המצורף ניתן לראות כיצד הגדלת גודל מדרגה מקטינה את רווית השיפוע ובו בעת מקטינה גל את רעש מנוחה.



סעיף ד':

תרשים מלבנים שבאיור הנו משדר דלתא מסתגל, שבו ההחלטה בדבר רווית שיפוע (רצף "1" - ים או "0"-ים) נעשית באמצעות מעגל RC בתוספת מיישר.

בשעה שאות המבוא האנלוגי כמעט קבוע, מופקים במוצא המקודד דפקים חיוביים ושליילים לסירוגין; לכן מתח הקבל C יהיה אפס, והגבר המגבר המשתנה יהיה קטן. לכן, גובה המדרגה במוצא מעגל אינטגרציה יהיה קטן.

במצב אחר, כאשר אות המבוא משתנה מהר נוצרים במוצא המקודד דפקים בעלי קוטביות קבועה (חיוביים או שליליים). מתח הקבל C עולה (או יורד). מתח במוצא המיישר עולה, והגבר המגבר ישתנה כך שיתקבלו מדרגות גבוהות יותר במוצא מעגל האינטגרציה.

שאלה 5

בסיב אופטי מסוים נתון שמקדם הניחות הוא 4.58dB/km.

7 נק' א. חשב את הספק המבוא לסיב הנתון אם ידוע שאורכו הוא 100 מטר והספק המוצא הוא 9mW.

7 נק' ב. חשב את המרחק המירבי שאפשר לשדר בסיב האופטי הנתון אם נדרש שהפסד ההספק לא יעלה על 6dB.

נתון שהפסדי הצימוד הכוללים הם 0.8dB.

6 נק' ג. הסבר את תפקיד המעטה בסיב אופטי.

פתרון

סעיף א':

$$L = 4.58 \text{ dB/km} = 0.458 \text{ dB/100m}$$

$$P_0 = 9 \text{ mW} = 9.542 \text{ dBm}$$

$$P_{in} = P_0 + L = 9.542 + 0.458 = 10 \text{ dBm} = 10 \text{ mW}$$

סעיף ב':

$$L_T = L_{FO} + L_{coupling}$$

$$L_{FO} = L_T - L_{coupling} = 6 - 0.8 = 5.2 \text{ dB}$$

מכאן, אורך מירבי $I_{FO_{max}}$ של סיב יהיה:

$$L\left(\frac{dB}{m}\right) = 0.00458$$

$$l_{FO_{max}} = \frac{L_{FO}(dB)}{L\left(\frac{dB}{m}\right)} = \frac{5.2}{0.00458} = 1335 m$$

סעיף ג':

הסיב מורכב מליבה (core) ומעטפת (cladding). מקדם השבירה של הליבה גבוה מעט מזה של המעטפת החיצונית ובכך יוצר מצב בו קרני האור "לכודות" בתוך הסיב ונעות לאורכו גם בפניות או בפיתולים. המעטפת מצופה בשכבת מגן דקה נוספת (jacket) עשויה מפלסטיק, שמטרתה להגן על המעטפת מפני שריטות ומכות (האור אינו מתקדם בתוך שכבה זו אלא רק בתוך שכבות הזכוכית הפנימיות). חוזק מכני מוקנה על ידי עטיפה בשכבת מגן נוספת, ששומרת על שלמות השכבות הפנימיות ומונעת כיפוף יתר.

שאלה 6

- 5 (נק') א. הסבר את שיטת העברת הנתונים באמצעות מיתוג מנות. ציין יתרון אחד וחסרון אחד של שיטה זו.
- 5 (נק') ב. הסבר את שיטת העברת הנתונים באמצעות מיתוג מעגלים. ציין יתרון אחד וחסרון אחד של שיטה זו.
- 5 (נק') ג. השווה בין פרוטוקול RS232 לפרוטוקול RS422. התייחס לתכונות הבאות: מתחי הפעולה, צורת הממשק (מאוזן או לא מאוזן), טווח העברת הנתונים, החסינות לרעשים.
- 5 (נק') ד. האם ניתן להשתמש בחיבור RS232 להעברת מידע בין נתבים? הסבר תשובתך.

פתרון:

סעיף א':

מיתוג מנות, Packet switching, היא שיטה להעברת תשדורות אשר בה, בכל פעם שנוצרת הודעה המיועדת למשלוח מצד אחד לאחר היא נשלחת תוך שהיא מחולקת למנות Packet הנושאות בראשן "תווית כתובת היעד" ומנותבת במסלול המיטבי לאותו רגע בין צמתי תקשורת שונים, אל הצד השני. כך יתכן שהודעת תקשורת שלמה בין שני צדדים תעבור בכמה מסלולים פסיים שונים. זאת בשונה משיטת "מיתוג מעגלים", אשר בה מקצים מראש מסלול פיזי ייחודי בין המקור ליעד עד לסיום בשיחה בניהם.

יתרונות:

- א. אין צורך להשקיע זמן ביצירת מעגל פיזי
- ב. אפשר לנצל כל קו תקשורת להעברה של שיחות אחדות בו זמנית

חסרונות:

- א. יש צורך בזיכרון לאחסון של מנות בצמתים
- ב. נדרשת עוצמת מחשוב גדולה יותר בכל צומת
- ג. נדרש להרכיב ביעד מסר שלם ממנות המגיעות בזמנים שונים ואף ייתכן שחלק ממנות הולכות לאיבוד.

סעיף ב':

מיתוג מעגלים, Circuit switching, שיטת תקשורת המחייבת בנית מעגל (או ערוץ תקשורת) ייעודי להתקשרות (Session) בין שני צידי התקשורת. התקשורת מתחילה רק לאחר הקמת

ערוץ/מעגל תקשורת. ערוץ/מעגל התקשורת נשמר באופן ייחודי כל עוד מתקיימת התקשורת בין שני הצדדים. רשתות הטלפונים הישנות הן דוגמה למיתוג מעגלים (היה מוקצה קו פיסי ממש למימוש השיחה כל עוד התקיימה).

יתרונות:

א. לאחר הקמת מעגל אין השהיות נוספות בשיחה

ב. הודעות מגיעות לפי אותו הסדר שנשלחו

חסרונות:

א. מעגל מוקצה באופן בלעדי, גם כאשר למשוחרים אין מידע להעביר.

סעיף ג':

השוואה בין פרוטוקול RS-232 לבין פרוטוקול RS-422 :

תכונה	RS-232	RS-422
מתחי פעולה	"1": $-15 \div -3V$ "0": $15 \div 3V$	"1": $-2 \div -6V$ "0": $2 \div 6V$
צורת הממשק	לא מאוזן	מאוזן
טווח נתונים	15m	1200m
קצב העברת נתונים	20kbps	100kbps עבור כבל באורך 1200 מ'
חסינות לרעשים	נמוכה	גבוהה

סעיף ד':

נתב הינו התקן המיועד לחבר בין מספר רשתות נתונים. כמות המידע שנדרשת לעבור ביו הרשתות היא גבוהה מאד. על כן, לא ניתן בפועל לחבר בין נתבים בפרוטוקול RS-232 היות ופרוטוקול זה מוגבל לקצב של 20kbps.

שאלה 7

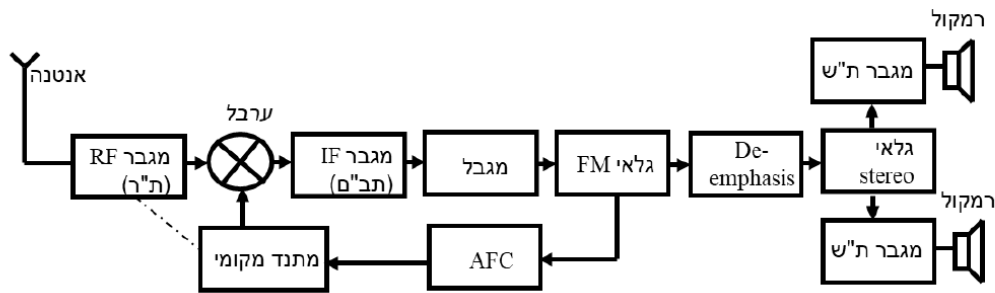
באיור לשאלה 7 נתון מקלט רדיו FM סטריאופוני.

(5 נק') א. הסבר את תפקיד מעגל גלאי ה-Stereo.

(5 נק') ב. הסבר את תפקיד המגבל.

(5 נק') ג. הסבר את תפקיד מעגל ה-De-emphasis.

(5 נק') ד. הסבר את פעולת המקלט. הסבר כל מרכיב/מלבן בנפרד.

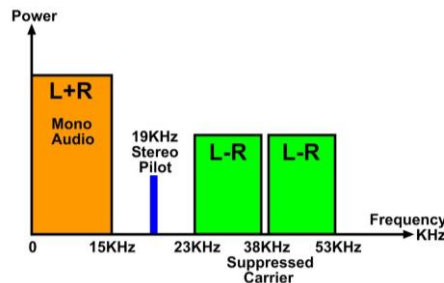


איור לשאלה 7

פתרון:

סעיף א':

גלאי ה- stereo ואולי נכון יותר לקרוא לו בשם מפענח stereo, תפקידו לשחזר את שני ערוצי המידע: ערוץ L וערוץ R מתוך אות ה- FM stereo. הספקטרום הבסיסי של מידע FM stereo המשודר הוא כדלקמן:



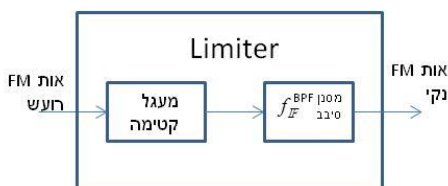
הפיענוח של ערוצי L ו-R מחייב תחילה לזהות את אות ה- Pilot בתדר של 19 kHz. בהנחה שתדר זה קיים, המפענח מכפיל אותו לקבלת תדר של 38 kHz. הכפלה של 38 kHz באות DSB L-R, תעתיק אתו לתחום בין 0-15 kHz.

$$(L + R) + (L - R) = 2L \quad \text{יצירת ערוץ L}$$

$$(L + R) - (L - R) = 2R \quad \text{יצירת ערוץ R}$$

סעיף ב':

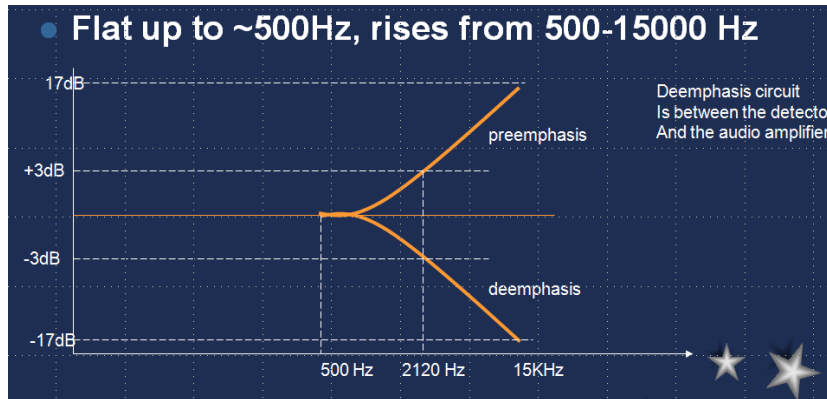
מעגל המגבל קוטם את האות המאופנ FM, על ידי כך מסלק את הרעשים/דעיכות "המתלבשים" על האות המאופנ תדר ומשאיר את השינוי התדר במקומם. כך לא נפגע אות המידע אך מצד שני מקבלים את מאופנ תדר בעל תנופה קבועה. ללא פעולת המגבל, גלאי FM היה מתרגם את השינויים בעוצמת האות ה-FM כאות מידע.



המעגל באמצעותו מבוצעת הפעולה נקרא Limiter והוא ממוקם בין מגבר תב"מ לבין הגלאי. המעגל כולל: מעגל קטימה ומסנן BPF.

סעיף ג':

כאשר מנתחים את עוצמת אות הרעש במוצא גלאי FM מסתבר כי צורת הרעש היא פארבולית כלומר ככל שתדר גדול יותר כך הרעש גדל באופן ריבועי. על מנת לשפר את יחס אות לרעש של מערכת מבצעים פעולה במשדר שנקראת הדגשת תדרים גבוהים (הגברה) **pre-emphasis** ואילו במקלט את הפעולה ההפוכה – דיכוי תדרים גבוהים **de-emphasis**. כך עוצמת האות נשארת ללא שינוי אך עוצמת הרעש הונחתה באופן משמעותי וכמובן יחס אות לרעש השתפר.



סעיף ד':

- אנטנה
 - מגבר RF
 - מתנד מקומי
 - ערבל
 - מגבר IF
 - מגבל
 - גלאי FM
 - AFC
 - De-emphasis
 - מגבר ת"ש
 - רמקול
- ממירה את הקרינה האלקטרומגנטית לאות חשמלי
- מגביר את האות הנקלט, מבצע ברירות ראשונית וגם מנחית תדרים מפריעים חזקים ידועים וקבועים בתדר. דיכוי של תדר ראי נעשית אף היא במגבר RF.
- מייצר תדר קבוע הגדול בתדר ביניים מתדר RF הנקלט.
- $f_{LO} = f_{RF} + f_{IF}$. מתנד מקומי הוא מסוג VCO כלומר שניתן לשנות את תדרו באמצעות מתח המתקבל מיחידת AFC.
- ערבל הינו רכיב לא ליניארי אשר במוצאו מתקבלים כל התדרים מהצורה: $\pm mf_{LO} \pm nf_{RF}$, $m, n = 0, 1, 2, 3, 4..$. האות הרצוי המוצא הערבל הוא: $f_{LO} - f_{RF}$. במילים אחרות, הערבל מעתיק את האות הנקלט סביב f_{RF} לאות בעל ספקטרום זהה אך סביב f_{IF} .
- מגביר את האות הרצוי סביב f_{IF} לרמה של חלקי וולטים ומנחית את האותות הבלתי רצויים שמתקבלים במוצא הערבל. רוחב סרט של מגבר ה-IF שווה בדיוק לרוחב סרט של תחנה, על כן בחירת התחנה או דיכוי של ערוצים שכנים נעשה במגבר תב"מ.
- הוסבר בסעיף ב'.
- ממחה את אות המידע מתוך אות המאופנן FM.
- מייצר מתח DC יחסי לעוצמת מתח DC המתקבל במוצא גלאי FM. רמת מתח DC במוצא גלאי FM מצביעה על סטייה של תדר ביניים מערכו הרצוי. תפקידו של AFC לביא למצב שתדר ביניים יהיה מדויק. במקלט FM מסחרי ערכו של תדר ביניים הוא 10.7 MHz.
- הוסבר בסעיף ג'.
- מגבר שמע המגביר את אות המידע העוצמה רצויה.
- ממיר את האות החשמלי לאות אקוסטי

שאלה 8

6 נק') א. סרטט את האות הספרתי 101001111010 כשהוא משודר לקו בשיטת RZ ובשיטת מנצ'סטר.

9 נק') ב. תאר במרחב האותות את שיטות המפתוח הבאות:

3 נק') 1. QPSK

3 נק') 2. 8PSK

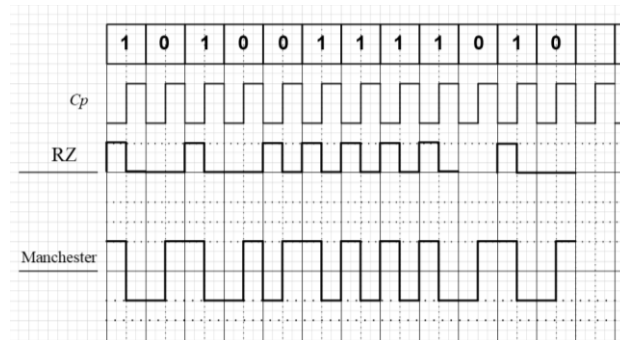
3 נק') 3. 8ASK

5 נק') ג. האות הספרתי שבסעיף א' משודר בשיטת המפתוח 8PSK. חלק את האות לקטעים וציין בכל קטע את

הזווית של האות ביחס לראשית הצירים.

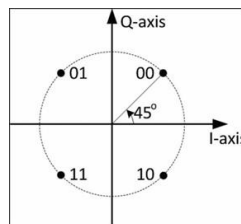
פתרון:

סעיף א':

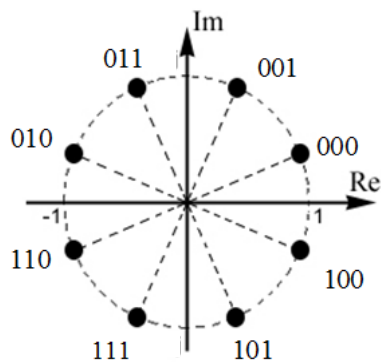


סעיף ב':

מרחב האותות בשיטת QPSK:

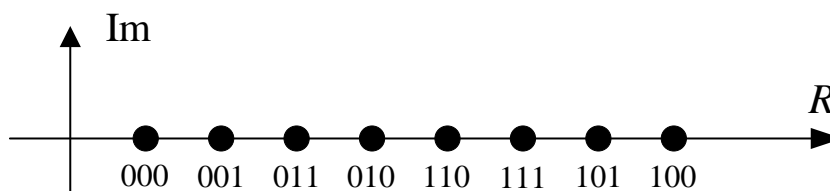


מרחב האותות בשיטת 8-PSK



- 000 → $A_c \cos(\omega_c t + \frac{\pi}{8}) = A_c \cos(\omega_c t + 22.5^\circ)$
- 001 → $A_c \cos(\omega_c t + \frac{3\pi}{8}) = A_c \cos(\omega_c t + 67.5^\circ)$
- 011 → $A_c \cos(\omega_c t + \frac{5\pi}{8}) = A_c \cos(\omega_c t + 112.5^\circ)$
- 010 → $A_c \cos(\omega_c t + \frac{7\pi}{8}) = A_c \cos(\omega_c t + 157.5^\circ)$
- 110 → $A_c \cos(\omega_c t + \frac{9\pi}{8}) = A_c \cos(\omega_c t + 202.5^\circ)$
- 111 → $A_c \cos(\omega_c t + \frac{11\pi}{8}) = A_c \cos(\omega_c t + 247.5^\circ)$
- 101 → $A_c \cos(\omega_c t + \frac{13\pi}{8}) = A_c \cos(\omega_c t + 292.5^\circ)$
- 100 → $A_c \cos(\omega_c t + \frac{15\pi}{8}) = A_c \cos(\omega_c t + 337.5^\circ)$

מרחב האותות בשיטת 8-ASK



סעיף ג':

בשיטת 8-PSK על כל 3 סיביות נשלח לקו אות שצורתו : $A \cos(2\pi f_c t + \alpha_i)$.

1 0 1	0 0 1	1 1 1	0 1 0
$\alpha_i = 292.5^\circ$	$\alpha_i = 67.5^\circ$	$\alpha_i = 247.5^\circ$	$\alpha_i = 157.5^\circ$