

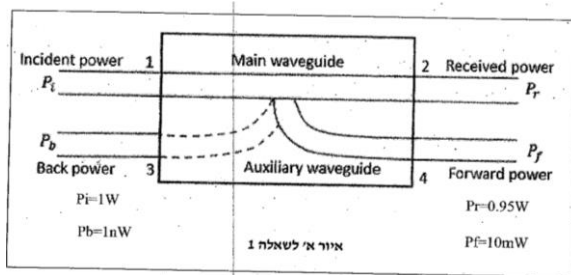
פתרון מוצע לבחינת מה"ט בתקשורת

מועד ב' תשע"ט, חודש אוקטובר 2019

מחבר: מר אדם גורפינקל, מכללת אורט סינגאלובסקי

שאלה מספר 1

סעיף א'



מצמד כיווני זהו התקן RF פסיבי בעל 4 פורטים כמצוין באיור הרצ"ב. אות המידע זורם מכניסה (מפורט 1) ליציאה (פורט 2). כאשר חלק קטן מאות המידע מוצמד גם לפורט 4 - זהו coupled port. האות בפורט 4 משמש לרוב למדידת האות הזורם בין כניסה ליציאה מבלי "להפריע". במצב תקין אין זרימה מכניסה לפורט 3.

במידה ויש החזרת האות מיציאה לכניסה (בגלל חוסר תאום) אזי חלק ממנו מופיע בפורט 3. אין זרימה מיציאה לפורט 4. לרוב, פורט 3 מסתיים בסיימת בת 50Ω .

סעיף ב'

הגדרת פרמטרים של מצמד כיווני:

$$\text{Insertion Loss} = 10 \log \left(\frac{P_i}{P_r} \right)$$

$$\text{Isolation} = 10 \log \left(\frac{P_i}{P_b} \right)$$

$$\text{Directivity} = 10 \log \left(\frac{P_f}{P_b} \right)$$

$$\text{Coupling} = 10 \log \left(\frac{P_i}{P_f} \right)$$

סעיף ג'

$$\text{Insertion Loss} = 10 \log \left(\frac{P_i}{P_r} \right) = 10 \log \left(\frac{1}{0.95} \right) = 0.22 \text{ dB}$$

$$\text{Isolation} = 10 \log \left(\frac{P_i}{P_b} \right) = 10 \log \left(\frac{1}{1n} \right) = 90 \text{ dB}$$

$$\text{Directivity} = 10 \log \left(\frac{P_f}{P_b} \right) = 10 \log \left(\frac{10m}{1n} \right) = 70 \text{ dB}$$

$$\text{Coupling} = 10 \log \left(\frac{P_i}{P_f} \right) = 10 \log \left(\frac{1}{10m} \right) = 20 \text{ dB}$$

סעיף ד'

במעגל הנתון, המצמד הכיווני מחובר בין מנחת הנמצא במוצא מחולל אות לעומס. האות מיציאת Coupled port של המצמד הכיווני עובר גילוי ומשמש כמתח בקרה של מנחת מבוקר מתח. חיבור המעגל באופן כזה מבטיח שעוצמת האות המסופקת לעומס תישאר קבועה ללא תלות באי תאום בין מחולל אות לעומס. באופן זה, VSWR בין מחולל אות לעומס נמוך בהרבה לעומת המקרה בו מחולל אות היה מחובר ישירות לעומס. חיבור המצמד הכיווני:

- מנחת מבוקר מתח מחובר ל- P_i (פורט 1)
- קו RF_o מחובר ל- P_r (פורט 2)
- גלאי מחובר ל- P_f (פורט 4)

שאלה מספר 2

סעיף א'

$$V_m = mV_c = 0.2 \cdot 20 = 4V$$

$$f_m = \frac{BW}{2} = \frac{8k}{2} = 4kHz$$

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

$$V_c(t) = V_c \cos(2\pi f_c t) = 20 \cos(2\pi \cdot 1.5 \cdot 10^6 t)$$

$$V_{AM}(t) = (V_c + V_m \cos(2\pi f_m t)) \cdot \cos(2\pi f_c t) = (20 + 4 \cos(2\pi \cdot 4 \cdot 10^3 t)) \cdot \cos(2\pi \cdot 1.5 \cdot 10^6 t)$$

סעיף ב'

$$P_C = \frac{V_c^2}{2R_L} = \frac{20^2}{2 \cdot 50} = 4W$$

$$P_{USB} = P_{LSB} = P_C \cdot \frac{m^2}{4} = 4 \cdot \frac{0.2^2}{4} = 0.04W$$

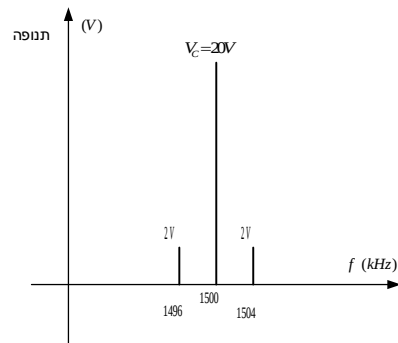
$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{2}{m^2}} \cdot 100\% = \frac{1}{1 + \frac{2}{0.2^2}} \cdot 100\% = 1.96\%$$

סעיף ג'

$$f_{LSB} = f_c - f_m = 1500 - 4 = 1496 kHz$$

$$f_{USB} = f_c + f_m = 1500 + 4 = 1504 kHz$$

$$V_{LSB} = V_{USB} = \frac{V_m}{2} = \frac{4}{2} = 2V$$



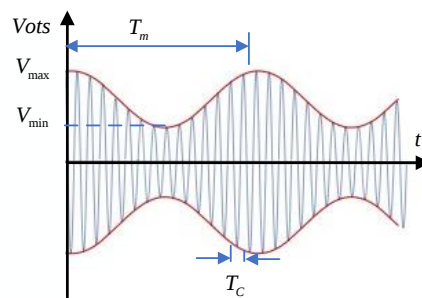
סעיף ד'

$$V_{\max} = V_c + V_m = 20 + 4 = 24V$$

$$V_{\min} = V_c - V_m = 20 - 4 = 16V$$

$$T_c = \frac{1}{f_c} = \frac{1}{1.5 \cdot 10^6} = 666.7 \text{ n sec}$$

$$T_m = \frac{1}{f_m} = \frac{1}{4 \cdot 10^3} = 250 \mu \text{ sec}$$



שאלה מספר 3 נתונים:

$$V_c = 20V$$

$$\Delta f = 50 \text{ kHz}$$

$$f_c = 120 \text{ MHz}$$

$$f_m = 10 \text{ kHz}$$

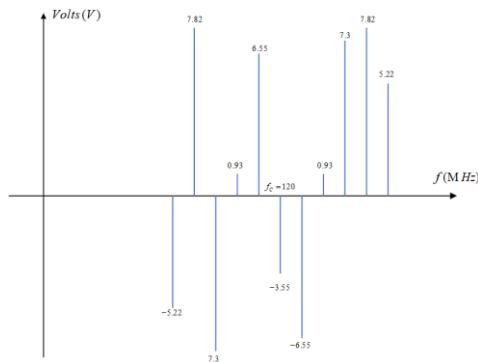
$$R_L = 50 \Omega$$

$$\beta = \frac{\Delta f}{f_m} = \frac{50}{10} = 5$$

סעיף א'

סעיף ב'

$$\begin{aligned} J_0(5) \cdot V_c &= -0.1776 \cdot 20 = -3.55 \text{ V} \\ J_1(5) \cdot V_c &= -0.3276 \cdot 20 = -6.55 \text{ V} = -J_1(5) \cdot V_c \\ J_2(5) \cdot V_c &= 0.0466 \cdot 20 = 0.932 \text{ V} = J_2(5) \cdot V_c \\ J_3(5) \cdot V_c &= 0.3648 \cdot 20 = 7.3 \text{ V} = -J_3(5) \cdot V_c \\ J_4(5) \cdot V_c &= 0.3912 \cdot 20 = 7.82 \text{ V} = J_4(5) \cdot V_c \\ J_5(5) \cdot V_c &= 0.2611 \cdot 20 = 5.22 \text{ V} = -J_5(5) \cdot V_c \end{aligned}$$



מרחק בין פסי צד הוא: $f_m = 10 \text{ kHz}$

סעיף ג'

$$P_{FM} = \frac{V_c^2}{2R_L} = \frac{20^2}{2 \cdot 50} = 4 \text{ W}$$

סעיף ד'

תפקידו של מגבל במקלט FM היא להבטיח שעוצמת האות המגיע לגלאי היא פחות או יותר קבועה. ללא מגבל, שינויים בעוצמת האות יפוענחו בגלאי שיפע או שיפוע כפול (טרואיס) כאות מידע והדבר יתבטא כרעש.

שאלה מספר 4

סעיף א'

$$v_{n_{R_1}} = \sqrt{4kTBR_1}$$

$$v_{n_{R_1}} = \sqrt{4 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot (27 + 273) \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^3}$$

$$v_{n_{R_1}} = 1.287 \mu V$$

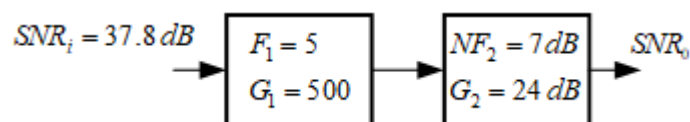
סעיף ב'

הנחה: המגבר מתואם כלומר התנגדות הכניסה היא: $R_{in} = 10 k\Omega$. לכן, מחת הרעש הטרמי בנגד R_1 מתחלק שווה בשווה בין הנגד לכניסת דרגת ה-RF.

$$v_{n_i} = \frac{v_{n_{R_1}}}{2} = \frac{1.287 \mu}{2} = 0.6435 \mu V$$

$$SNR_i = 20 \log \left(\frac{v_{S_i}}{v_{n_i}} \right) = 20 \log \left(\frac{50 \mu}{0.6435 \mu} \right) = 20 \log 77.7 = 37.8 dB$$

סעיף ג'



$$F_2 = 10^{\left(\frac{NF_2}{10}\right)} = 10^{\left(\frac{7}{10}\right)} = 5$$

$$G_2 = 10^{\left(\frac{G_2(dB)}{10}\right)} = 10^{\left(\frac{24}{10}\right)} = 281$$

$$F_T = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} = 5 + \frac{5 - 1}{500} \approx 5$$

$$NF_T = 7 dB$$

$$SNR_0 = SNR_i - NF_T = 37.8 - 7 = 30.7 dB$$

סעיף ד'

$$SNR_0 = SNR_i - NF_T = 37.8 - 7 = 30.7 dB$$

שאלה מספר 5

סעיף א'

אפנון דלתא זהו אפנון ספרתי בו משווים בין ערך הדגימה הנוכחית לערך הדגימה קודמת ובהתאם לכך נשלח לקו "1" או "0", כלומר כל דגימה מיוצגת על ידי **סיבת אחת** בלבד. מקלט מקבל את סדרת הסיביות ועל כל סיבית מעלה או מוריד את מתח המוצא במדרגת מתח קבועה – בהתאם לסיבית. העלה או הורדת המתח נעשית בסוכם – אינטגרטור. מתח במוצא אינטגרטור, לאחר מעבר דרך LPF, זהו בקירוב אות המידע.

סעיף ב'

באפנון דלתא, המתח יכול, כאמור, לעלות או לרדת בפרק זמן של דגימה אחת במדרגת מתח אחת בלבד. אם נעבוד עם מדרגת מתח קטנה, יכול להיווצר מצב שבו מתח הכניסה משתנה מהר ואילו מתח דלתא לא יצליח לעקוב אחרי אות המידע. הספק השגיאה הנוצרת במקרה זה נקרא רעש רווית שיפוע. כדי להקטין את רווית השיפוע נדרש שגודל מדרגה יהיה **גדול**. מצד שני, כאשר אות המידע יציב, אות הדלתא נע סביבו. הספק השגיאה הנוצרת במקרה זה נקרא רעש מנוחה. כדי להקטין את רעש מנוחה נדרש שגודל מדרגה יהיה **קטן**. הפתרון לשתי דרישות סותרות אלה, הוא אפנון דלתא מסתגל. כאשר סיביות המידע מתחלפות המערכת עובדת עם מדרגת מתח נמוכה. אבל, כאשר מתגלה מצב שבו מתקבל רצף של "1" או רצף של "0" מגדילים את גודל המדרגה עד אשר אות הדלתא ישיג את אות המידע. במילים אחרות, שיטת דלתא מסתגלת מקטינה את שני סוגי הרעשים הקיימים לעומת דלתא לינארי.

סעיף ג'

כדי שלא ייווצר רעש מסוג רוויית שיפוע נדרש ששיפוע אות הדלתא יהיה גדול משיפוע מירבי של אות המידע.

$$\frac{S}{T_s} = S \cdot f_s \quad \text{חישוב שיפוע אות הדלתא:}$$

S – גודל מדרגת דלתא
 T_s – זמן בין שתי דגימות

חישוב שיפוע אות מידע עבור אות מידע מסוג **סינוס**:

$$m(t) = V \sin(2\pi f_m t)$$

$$|m'(t)|_{\max} = V \cdot 2\pi f_m$$

כדי שלא ייווצר רעש רוויית שיפוע:

$$S \cdot f_s > V_m \cdot 2\pi f_m$$

$$f_s > \frac{V_m \cdot 2\pi f_m}{S}$$

סעיף ד'

המערכת באיור מתארת באופן עקרוני את מבנה של משדר דלתא (החלק השמאלי) ומקלט דלתא (החלק הימני).

פעולת המשדר:

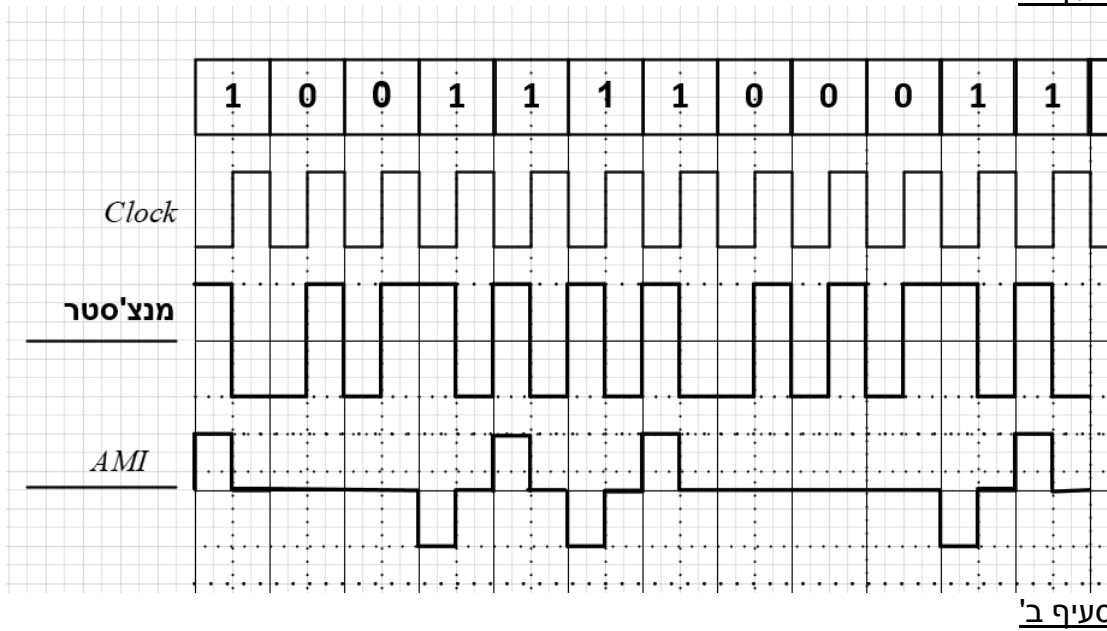
מוצא האינטגרטור מהווה בקירוב את ערך האות בזמן הדגימה הקודמת. משוואה Σ , מפיק מתח $+V_C$ או $-V_C$ בהתאם להפרש בין שתי דגימות של אות המידע. Quantizer הופך את מתח מוצא המשוואה ל- "1" או "0" בהתאמה. האינטגרטור מקבל את סיביות המידע ומעדכן את עצמו לערכו החדש (מעלה או מוריד במדרגת מתח). פעולה זו חוזרת על עצמה עבור כל סיבית וסיבית.

פעולת המקלט:

המקלט מקבל את סיביות המידע והאינטגרטור מעדכן את עצמו לערכו החדש (מעלה או מוריד במדרגת מתח). פעולה זו חוזרת על עצמה עבור כל סיבית וסיבית. צורת המתח במוצא האינטגרטור מורכבת ממדרגות מתח וכדי להוריד את התדרים הגבוהים (שינוי מתח פתאומי) מעבירים את אות ממוצא אינטגרטור דרך LPF. במוצא מתקבל, בקירוב, אות המידע.

שאלה מספר 6

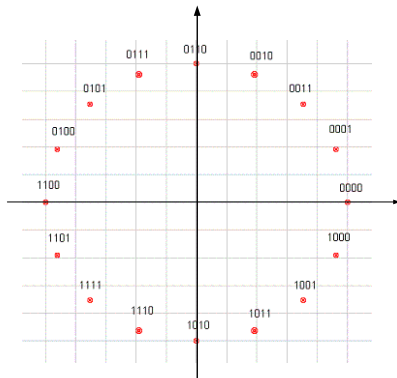
סעיף א'



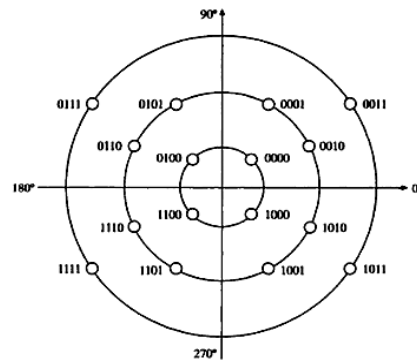
סעיף ב'

להלן מרחב האותות של שיטות מפתוח הבאות:

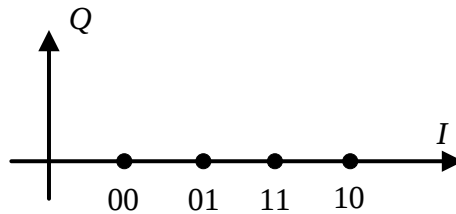
16PSK



16QAM



4ASK



שאלה מספר 7

סעיף א'

המעגל שבאיור משמש כמרכיב תדרים מבוסס PLL, קרי מייצר קבוצה של תדרים

בדילוג תדר קבוע השווה ל: $f_r = \frac{f_{LO}}{K}$. תדר במוצא המעגל יהיה:

$$f_o = f_r \cdot N = \frac{10^6}{K} \cdot N$$

פעולת המעגל:

ה-PLL עובד, כמובן, בנעילה כלומר שני תדרי הכניסה שלו שווים בתדר, אך לא במופע:

$$f_r = \frac{f_{LO}}{K} = \frac{f_o}{N}$$

- מתנד ומחלק תדר ב-K: מייצרים תדר יחוס - f_r ל-PLL.
- גלאי מופע, PD, מפיק מתח DC יחסי להפרש מופע וגם הרמוניות של תדר ייחוס.
- LPF חוסם את התדרים הגבוהים, הרמוניות של התדר היחוס, ומעביר רק את הרכיב ה-DC.
- VCO, מתנד תדר משתנה, משנה את תדרו בהתאם לעוצמת מתח ה-DC המתקבל מ-PD.

במוצא המעגל מתקלים תדרים בדילוג תדר קבוע השווה ל- f_r ?

סעיף ב'

ה-PLL, כמובן, בנעילה לכן שני תדרי הכניסה שווים:

$$\frac{f_{LO}}{K} = \frac{f_o}{N}$$

$$K = \frac{f_{LO} \cdot N}{f_o} = \frac{10^6 \cdot 500}{20 \cdot 10^6} = 25$$

סעיף ג'

הנחה: $K = 25$

$$N = \frac{f_o \cdot K}{f_{LO}}$$

$$N_{\min} = \frac{f_{0_{\min}} \cdot K}{f_{LO}} = \frac{50 \cdot 10^6 \cdot 25}{10^6} = 1250$$

$$N_{\max} = \frac{f_{0_{\max}} \cdot K}{f_{LO}} = \frac{100 \cdot 10^6 \cdot 25}{10^6} = 2500$$

סעיף ד'

המרכיב שקובע את הדיוק והיציבות של תדר המוצא הוא מתנד. כדי לשפר את יציבות המתנד, נשתמש במתנד גבישי.

שאלה מספר 8

סעיף א'

להלן נתוני פרוטוקול RS232C:

20 kbps	קצב העברת נתונים
15m (50 ft)	מרחק העברה מירבי
"0": $3V \div 15V$ "1": $-3V \div -15V$	תחום מתחי הפעלה

סעיף ב'

מודם הפועל בתקן RS232C עובד במתחים $\pm V$. לעומת זאת רכיבי מחשב עובדים ברמות מתח בין 0 ל- $+V$. כדי לחבר בין מחשב לבין מודם הפועל בתקן RS232 נדרש להשתמש ברכיב שמתאם את רמות המתחים ביניהם.

סעיף ג'

כאשר נדרש להעביר מידע ספרתי דרך ערוץ תקשורת שהינו אנלוגי ומוגבל סרט, משתמשים במודמים. **חייבים** להשתמש במודמים כאשר המרחקים בין מקלט ומשדר גדולים, כאשר התווך מוגבל סרט ויש צורך להעביר מידע בקצב גבוה. במקרה האחרון ניתן לייצג מספר סיביות מידע על ידי סימבול אנלוגי אחד ובכך להעביר מידע ספרתי מהיר דרך ערוץ אנלוגי מוגבל סרט.

סעיף ד'

- RTS – זהו אות שכוונו מיחידת קצה (DTE) אל יחידת תקשורת (DCE). באמצעות RTS יחידת קצה מודיעה לצידוד תקשורת כי בכוונתה להתחיל בשידור מידע. השידור לא יתחיל כל עוד לא התקבל CTS.
- CTS – זהו אות שכוונו מיחידת תקשורת (DCE) אל יחידת קצה (DTE). באמצעות CTS צידוד תקשורת מאשר לצידוד קצה לשלוח אליו מידע.