

מעבדה מספר 1:

חלק 1:

1. אפנון מתייחס לתהליך של שינוי המאפיינים של גל מחזורי (המכונה גל הנשא) בעזרת גל אות (המכונה הגל המווסן), המכיל את המידע שיש להעביר. לאחר מכן ניתן להעביר את האות המאופן דרך ערוץ תקשורת, כגון תדר רדיו (RF) או סיב אופטי.

סיבות לאפנון:

- שימוש יעיל ברוחב הפס - אפנון מאפשר העברת אותות מרובים על ערוץ בודד, מה שמגביר את יעילות ניצול רוחב הפס. על ידי שימוש בטכניקות אפנון כגון ריבוי חלוקת תדרים (FDM) או ריבוי חלוקת זמן (TDM) ניתן לשלב אותות מרובים ולהעביר אותם על ערוץ אחד.
- אפנון מאפשר העברת אותות למרחקים ארוכים יותר על ידי הפחתת השפעת הנחתת (היחלשות האות כשהוא עובר בערוץ התקשורת) ורעש (אותות לא רצויים). טכניקות אפנון כמו אפנון משרעת (AM) ואפנון תדר (FM) משמשות בדרך כלל להעברת אותות למרחקים ארוכים.
- איכות אות משופרת: אפנון יכול לשפר את איכות האות המשודר על ידי הפחתת עיוותים והפרעות. לדוגמה, בטכניקות אפנון אנלוגיות כמו אפנון משרעת, האות עובר אפנון על גבי גל נושא, מה שעוזר להפחית רעש והפרעות.

באופן כללי, אפנון הוא היבט בסיסי של טכנולוגיית תקשורת מודרנית, המאפשרת העברת מידע ביעילות, למרחקים ארוכים, באיכות גבוהה.

2. באותות אנלוגיים, בכל שלושת האפנונים AM, FM, PM, גל הנשא משתנה ביחס לאמפליטודה של האות המאפן, הסבר:
- אפנון משרעת (AM): ב-AM, משרעת גל הנשא משתנה ביחס לאמפליטודה של האות המאפן. האות המאפן הוא בדרך כלל אות שמע, וגל הספק הוא בדרך כלל גל רדיו בתדר גבוה. האמפליטודה המשתנה של גל הנושא נושאת את המידע מהאות המאפן. AM משמש בדרך כלל בשידורי רדיו להעברת אותות שמע למרחקים ארוכים.
 - אפנון תדר (FM): ב-FM, התדר של גל הנשא משתנה ביחס לאמפליטודה של האות המאפן. כמו AM, האות המאפן הוא בדרך כלל אות שמע, וגל הנשא הוא בדרך כלל גל רדיו בתדר גבוה. התדירות המשתנה של גל הנושא נושאת את המידע מהאות המאפן. FM משמש בשידורי אודיו בנאמנות גבוהה ובמערכות רדיו דו-כיווניות רבות. אפנון פאזה: (PM) ב-PM נמצא בשימוש נפוץ בתקשורת לוויינית ובמערכות סלולריות דיגיטליות.
 - אפנון פאזה (PM): ב-PM, הפאזה של גל הנושא משתנה ביחס לאמפליטודה של האות המאפן. האות המאפן יכול להיות אנלוגי או דיגיטלי, וגל הנשא יכול להיות כל גל מחזורי. השלב המשתנה של גל הנשא נושא את המידע מהאות המאפן. PM נמצא בשימוש נפוץ בתקשורת לוויינית ובמערכות סלולריות דיגיטליות.

סוגי אפנון דיגיטליים:

- ASK - אפנון אמפליטודה, כל רמת אמפליטודה בכל הנושא מציינת 'מילה' של גל המידע.
 - FSK - אפנון תדר, משתמשים בתדר מסויים עבור כל 'מילה', לפי התדר ששודר באותו רגע יודעים איזה מילה שודרה.
 - PSK - אפנון פאזה, על אותו רעיון.
 - QAM - שילוב של אפנון פאזה ואמפליטודה ביחד.
- לסיכום אפשר לראות כי טכניקות האפנון השונות משמשות מידע ממקור כמו אות אודיו או נתונים דיגיטליים על פני ערוץ תקשורת, כגון תדר רדיו או כבל סיבים אופטיים, על ידי אפנון גל נושא. הבחירה בטכניקת אפנון תלויה באפליקציה, במאפייני ערוץ התקשורת, בדרישות לנאמנות האות המשודר, ברוחב הפס ועלות יישום.

3. נתונים:

- אפנון OOK: $X \in \{0, A\}$
- סימבולים משודרים באותה הסתברות
- תוספת רעש לבן גאוס עם סטיית תקן σ .
- המקלט משווה את האות הרועש ל $\frac{A}{2}$ - וגם נתון כי $X=A$ אם המשרעת גדולה יותר, אחרת $X=0$.

כדי למצוא את Bit-error-rate של המערכת: (כאשר נתייחס ל- X, N, Y נתון לאמפליטודה שלהם) ניתן לסדר את האות המתקבל עם רעש: $Y = X + N$ כך ש X הוא סימבול משודר, N הוא הרעש ו Y הוא האות המתקבל. אם $X=0$ משודר, האות המתקבל הוא N , והמפענח מוציא לנו $X=0$ אם המשרעת של Y קטנה מ- $\frac{A}{2}$. אם $X=A$ משודר, האות המתקבל הוא $A+N$, והמפענח מוציא לנו $X=A$ אם המשרעת של Y גדולה מ- $\frac{A}{2}$. לכן, ההסתברות לטעות עבור $X=0$ היא: $P(X \neq 0 | X = 0) = P(Y > \frac{A}{2} | X = 0) = P(N > \frac{A}{2})$. השוויון האחרון נכון כי אם $Y > \frac{A}{2}$, זה אומר $N > \frac{A}{2}$ שכן הסימבול המועבר הוא 0. באופן דומה, ההסתברות לטעות עבור $X=A$ היא: $P(X \neq A | X = A) = P(Y < \frac{A}{2} | X = A) = P(N < 0)$. ובמצב הפוך, אם $Y < \frac{A}{2}$, זה אומר $N < 0$ שכן הסימבול המועבר הוא A .

מכיוון שהסמלים משודרים בהסתברות שווה, ה-BER הכולל הוא הממוצע של שתי הסתברויות השגיאה:

$$BER = \frac{1}{2}P\left(N > \frac{A}{2}\right) + \frac{1}{2}P(N < 0)$$

באמצעות פונקציית צפיפות ההסתברות גאוסית, נוכל לחשב את ה-BER:

$$BER = \frac{1}{2}\left(f\left(\frac{A}{\sigma}\right) + f\left(-\frac{A}{\sigma}\right)\right)$$

כאשר $f(x)$ היא פונקציית השגיאה המשלימה, המוגדרת כ:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

לכן, ה-BER של המערכת המשתמשת באפנון OOK עם רעש והמפענח הנתון הוא:

$$BER = \frac{1}{2}\left(f\left(\frac{A}{\sigma}\right) + f\left(-\frac{A}{\sigma}\right)\right)$$

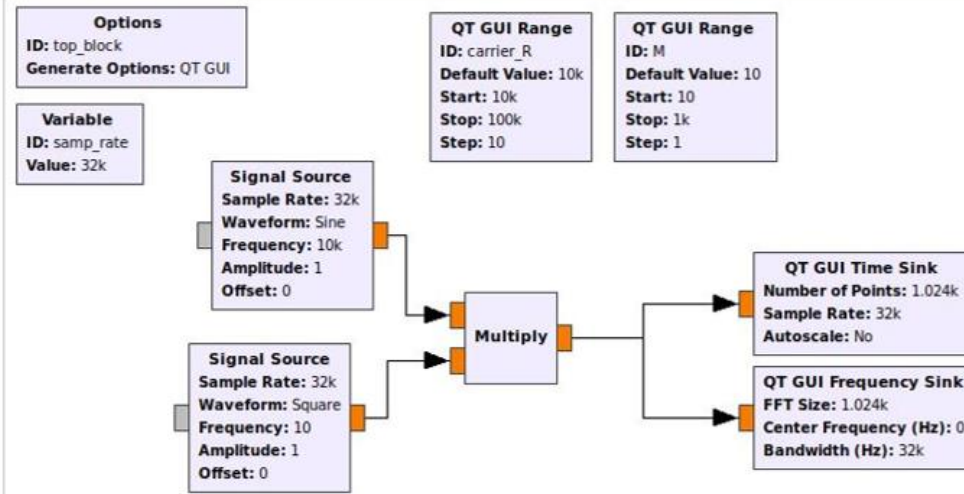
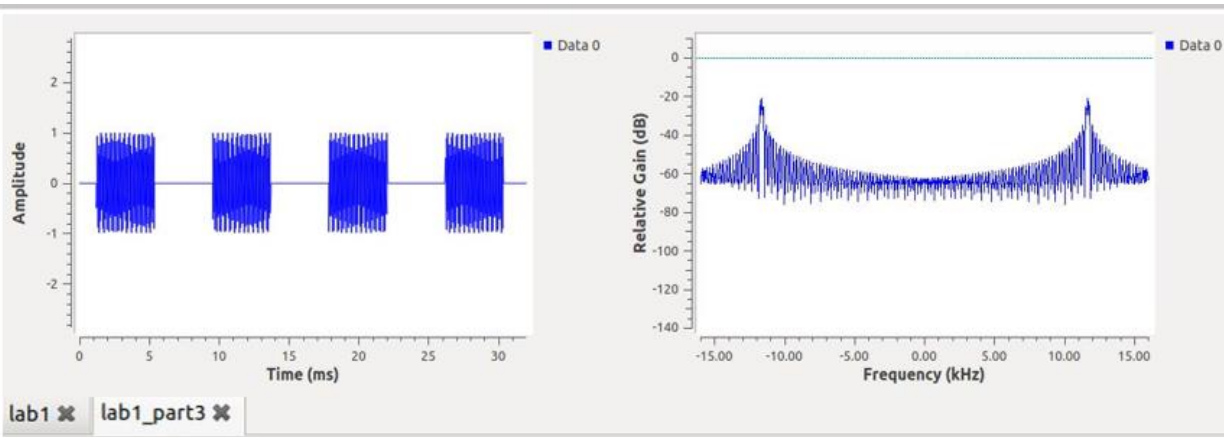
4. הגורם העיקרי ביותר המשפיע על קצב שגיאות (BER) של ערוץ הוא יחס האות לרעש (SNR), הקשור למונח $(A/\sigma)^2$. ה- $(A/\sigma)^2$ הוא היחס בין הספק האות המתקבל הממוצע להספק הרעש הממוצע, והוא מייצג את איכות האות המתקבל ביחס לרמת הרעש. גבוה יותר $(A/\sigma)^2$ מרמז על SNR טוב יותר ומכאן BER נמוך יותר, ולהיפך. לכן, הגדלת ה-SNR על ידי הגדלת ההספק המשודר או הפחתת רמת הרעש היא הדרך היעילה ביותר לשיפור ביצועי ה-BER של מערכת תקשורת.
5. הגדל של רוחב הפס: הגדלת רוחב הפס הזמין יכולה להגדיל את קצב הנתונים המרבי שניתן להשיג. ניתן להשיג זאת על ידי שימוש בערוץ רחב יותר או על ידי הטמעת טכניקות עיבוד אותות מתקדמות כגון אפנון. בנוסף הגדלת מספר רמות הקוואנטיזציה תגדיל את העלות אך גם את קצב שידור המידע. ניתן להשתמש בסכימות אפנון מתקדמות: סכימות אפנון מתקדמות יותר כגון אפנון פאזה (PSK) יכולות להציע יעילות ספקטרלית גבוהה יותר ולאפשר קצבי נתונים גבוהים יותר בהשוואה ל-OOK. אפשר להבין מכך ששיפור היכולת להעביר נתונים הוא למקסם את ה-SNR והיעילות הספקטרלית תוך מזעור שגיאות ועיוות ערוץ. על ידי השקעה בחומרה מתקדמת ויישום טכניקות מתקדמות, ניתן להשיג שיפורים משמעותיים בקצבי העברת הנתונים.

חלק 2:

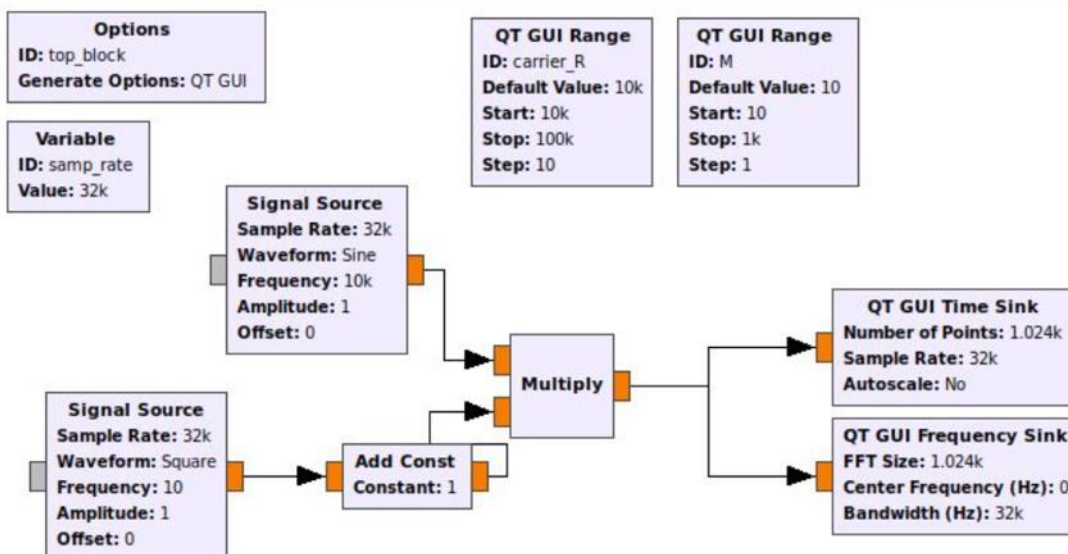
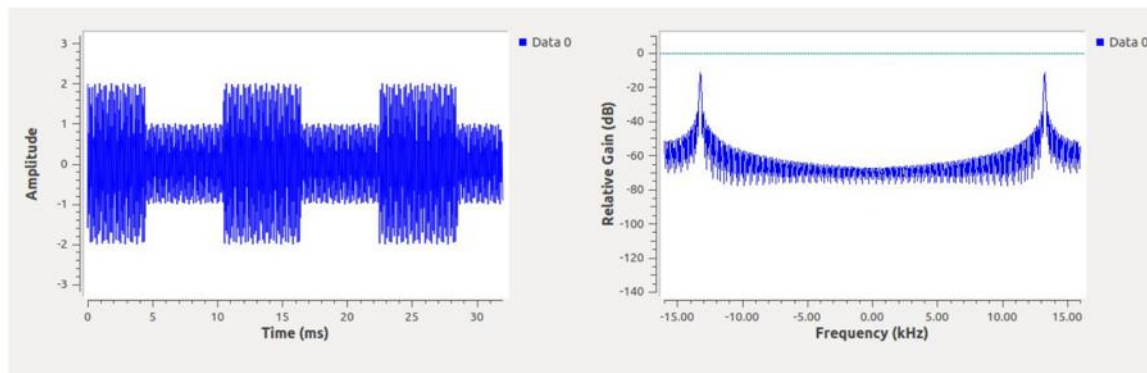
1. נוכל לזהות שגיאה מקוד כאשר הבלוק בו קיימת שגיאה יודגש בצבע אדום ולא נוכל להריץ סימולציה. בכדי לזהות שגיאה עצמה בקוד, נוכל להיכנס להגדרות של הבלוק ובתחתית קיים תיאור השגיאה.
2. תיבת החיפוש בצד נכתוב multiply ונמצא את הרכיב שאנו מחפשים, נוכל גם לבצע ctrl + F.
3. ברכיב ה-Signal Source יש לנו פורט אפור הנקרא freq ללא שימוש כפורט כניסה, פורט זה הוא "message passing" ports המייצג כניסה ספציפית של אות מידע שמאפשר להוסיף רכיב אנלוגי ספציפי שנבחר, הישתמש כהודעה וכל מחזור מסוים של זמן תשודר.
4. פורט צהוב משמעותו Short כלומר מספר של עד 16 ביט. בכל שנייה יש 10 דגימות, כל דגימה יש 16 ביט ולכן יועברו 160 ביט.
5. לפי נייקוויסט, נוכל לבחור תדר של 16KHz ולכן קצב תדגימה יהיה $\frac{1}{16 \cdot 10^3}$.
6. נתון לנו אות עם רוחב פס של 200KHz ממורכז בתדר 100KHz, בשביל לדגום לפי תדר נייקוויסט לאותות Bandpass כמו שלמדנו זה פעמיים רוחב הפס, בהנחה שרוחב הפס מתחלק חלוקה מלאה בתדר הגבוהה, כלומר 100.1, במקרה שלנו זה לא מתקיים חלוקה של 100.1 בשתיים לא מספר שלם, ולכן נרחיב את רוחב הפס שלנו ואז נקבל חלוקה שלמה, $2 \cdot 202KHz = 404KHz$ ואז קצב הדגימה יהיה $\frac{1}{404 \cdot 10^3}$.

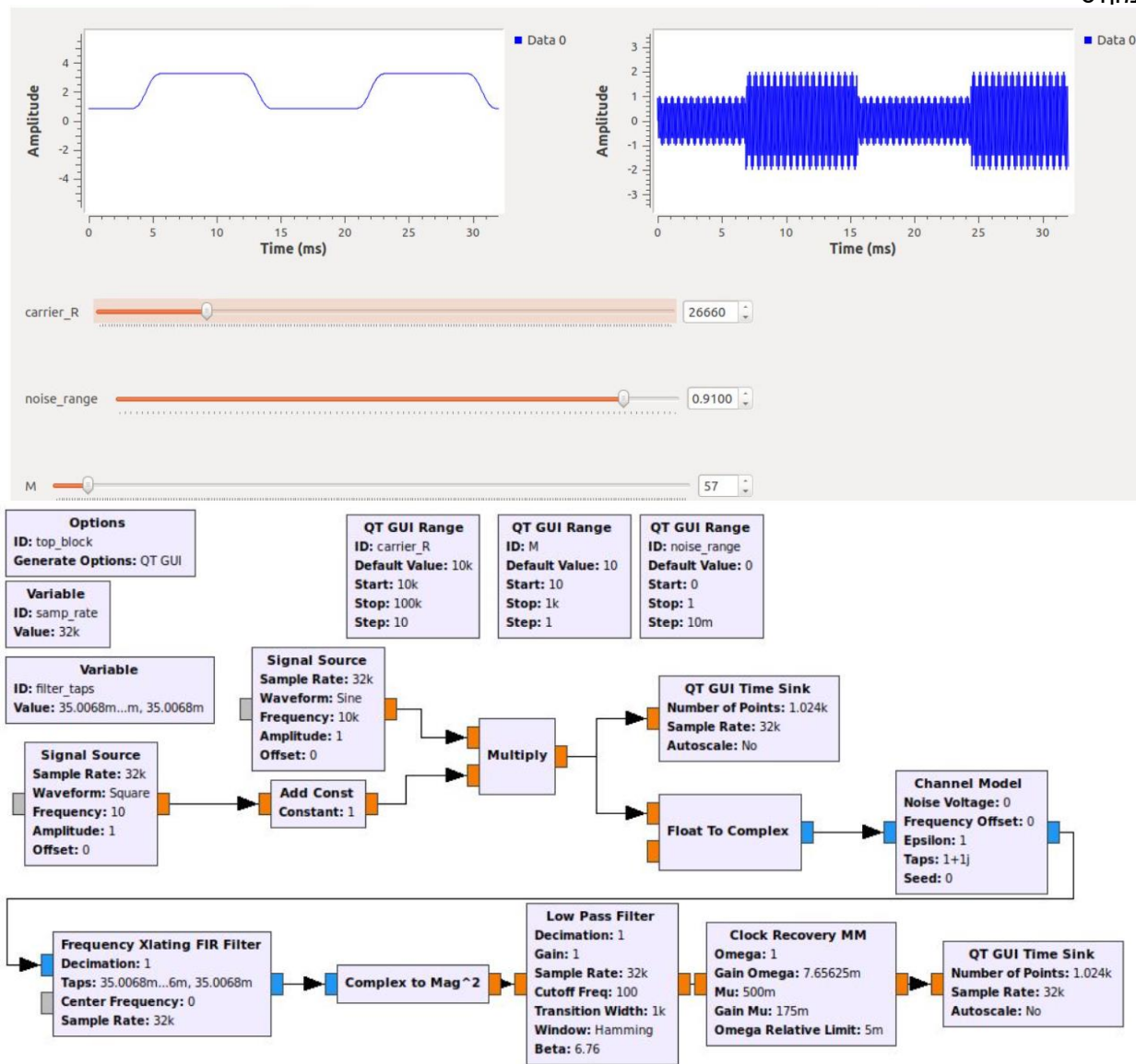
חלק 3:

1. צילום מסך של OOK:



2. צילום מסך עבור ASK, כאן ממשנו את מודולציה זו על ידי הוספת $Const = 1$.





שאלות תאורטיות

- התדר של הגל הנושא שאנחנו משדרים הוא 10 KHz של LPF היא שנוכל לסנן את התדרים ה"מיותרים" ולהישאר עם התדר של הגל הנושא שלנו וכך לקלוט רק את המידע הרצוי בלי רעשים נוספים בספקטרום שיפריעו לנו. ה- cutoff קובע תיקרה המנחיתה את התדרים הגדולים ממנה ל 0, אם הוא יהיה נמוך מידי, נאבד מידע מהאות.
- במידה ואנחנו לא יודעים את תדר גל הנושא נאלץ לנחש את ה- cutoff בו נשתמש ב LPF ובכך אנחנו עלולים לאבד מידע חיוני כפי שצויין בסעיף קודם או לקלוט מידע לא רצוי (רעש). כלומר במילים אחרות אם לא נדע את התדר של הגל הנושא, לא נוכל בעצם לקלוט את המידע בשלמותו. נוכל לרוץ על טווח התדרים הרלוונטיים עד שנמצא את התדר המתאים בתקווה לקבל את האות בשלמותו (הכוונה לבצע Brute force), יעבוד אך לא יעיל. דרך נוספת נוכל להשתמש בגלאי אסינכרוני Envelope Detector.
- אפנון אמפליטודה הוא הכי פחות טוב כי הוא הכי רגיש לרעשים, ולכן פתרונות אחרים כמו אפנון FSK או אפנון PSK שפחות רגישים.
- נוכל להשתמש ביותר מ 2 רמות אמפליטודה וכך להעביר יותר מידע בשידור והגדלת הקצב.
- נוכל לצרף ממדים נוספים לאפנון למשל פאזה או תדר. יתרונות:
 - קצב שידור גבוהה יותר
 - העברת יותר מידע
 - עמידות גדולה יותר לרעשים ושגיאות
 חסרונות:
 - עלייה במורכבות וזמן הפיענוח
 - מחיר בעולם הפיזי גדול יותר, כלומר מכשור שמותאם והספק גבוהה יותר, מה שאנחנו מנסים להימנע.

