

# מאלגברה לינארית לאייפון (1)

## תרגול 8

### חלק I

## שיטות אפנון - חזרה מהירה

### 1 שידור אנלוגי

אות אנלוגי הוא אות רציף. אמנם ניתן לשדר אות רציף "כמו שהוא" מבלי להוסיף אפנון אך מסיבות רבות שדיברנו עליהם בשיעורים הקודמים אנחנו נעדיף לעבוד בסביבת תדרים שאינה סביב  $0$  ולכן נאפנון את האות. באופן כללי, נסמן את האות שאנחנו רוצים לשדר ב- $f(t)$ . ראינו מספר שיטות אפנון לאות אנלוגי:

#### 1. אפנון AM

הכפלה של האות המשודר בקוסינוס בתדר גבוה. התוצאה היא הזזה של הספקטרום להיות סביב התדר הנושא במקום סביב  $0$ .

$$S(t) = [1 + m \cdot f(t)] \cdot \cos(\omega_c t)$$

#### 2. אפנון AM - SSB

מכיוון שכל האותות שאנחנו משדרים הם ממשיים, אזי הטרנספורם שלהם הוא זוגי. כיוון שכך, כאשר אנחנו מזיזים באפנון AM את הספקטרום להיות סביב התדר  $\omega_c$  אנחנו מקבלים אות שהוא סימטרי סביב  $\omega_c$ , לכן מספיק לשדר רק חצי מרוחב הפס ועדיין נוכל לשחזר את כל המידע. בהנתן אות מאופנן אמפליטודה ניתן להבחין בין AM רגיל ובין AM - SSB בעזרת מענה על השאלה: האם הספקטרום סימטרי סביב התדר הנושא?

#### 3. אפנון FM

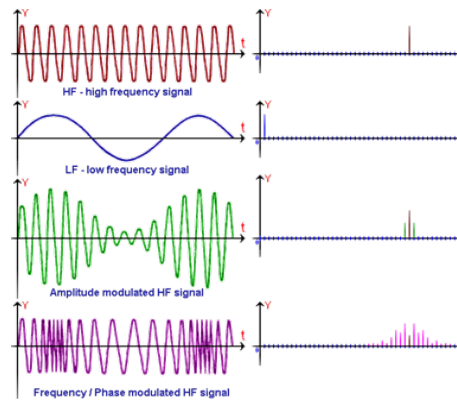
דרך נוספת להעביר את המידע האנלוגי היא בעזרת אפנון על גבי התדר. בצורה כזאת האמפליטודה של האות קבועה לכל אורך התהליך.

$$S(t) = \cos \left( \int_0^t [\omega_c + m \cdot f(t')] dt' + \phi \right)$$

#### 4. אפנון PM

דומה מאוד לאפנון FM אלא שהפעם מאפננים על הפאזה.

$$S(t) = \cos(\omega_c t + m \cdot f(t) + \phi_c)$$



איור 1: סיכום של שיטות האפנון האנלוגי השונות במרחב הזמן ובמרחב התדר.

## 2 שידור דיגיטלי

מידע דיגיטלי הוא מידע המיוצג באמצעות רצף של ביטים. בעזרת מוסכמה שנקבעת בין האדם המסדר והאדם הקולט ניתן להפוך את הביטים למידע בעל תוכן. כאשר אנחנו רוצים לשדר אות דיגיטלי יש צורך להעביר אותו לאות אנלוגי כדי שיהיה אפשר לשדר אותו על גבי תווך פיזיקלי. את רצף הביטים ניתן לדחוס לרצף קטן יותר של סמלים, כאשר סמל מוגדר על ידי אמפליטודה, תדר ופאזה ייחודיים. למשל, נוכל לקבוע 4 רמות שונות אפשריות של מתח לכל סמל וכך כל סמל ייצג 2 ביטים. באופן כללי נסמן בתור הזמן בו משודר סמל בודד, נסמן ב- $a_n$  את הסמל ה- $n$ . אפנון של אות דיגיטלי פירושו העברה של האות מרצף של ביטים לרצף של סמלים המיוצגים בעזרת אות רציף. ההבדל בין האפנונים השונים נמצא בשיטות השונות לבחירת הסמלים. ראינו בעבר מספר שיטות של אפנון דיגיטלי:

### 1. אפנון B-ASK

לכל הסמלים יש תדירות ופאזה זהות. ההבדל בין הסמלים הוא רק באמפליטודה שלהם, ערך אחד מייצג את הביט 1 והערך השני את 0. בשיטה הזאת סמל אחד מייצג ביט אחד בלבד. לכן, בשיטה זו  $a_n$  יהיה 0 או 1 והאות המאופנן יהיה:

$$S(t) = \frac{1}{2}[1 - m \cdot a(t)]\cos(\omega_c t)$$

כאשר  $a(t)$  הוא הרכבה של ה- $a_n$  עם על חלונות זמן ברוחב  $T_s$ . כלומר, בחלון הזמן ה- $n$  יתקיים  $a(t) = 1 \iff a_n = 1$ .

### 2. אפנון B-PSK

כל הסמלים באמפליטודה ותדירות שוות. ההבדל בין הסמלים הוא רק בפאזה שלהם. בדומה ל-B-ASK גם כאן כל סמל מייצג ביט אחד בלבד, האות הכולל יהיה:

$$S(t) = a(t) \cdot \cos(\omega_c t) + [1 - a(t)] \cdot \cos(\omega_c t + \pi) = [2a(t) - 1] \cdot \cos(\omega_c t)$$

### 3. אפנון M-PSK

הרחבה של B-PSK ל- $M$  למספר גדול יותר של פאזות ( $M$ ). כל סמל מייצג  $\log_2 M$  ביטים. כל סמל מקבל פאזה שונה והאות המשודר הוא בעצם רצף של חלונות זמן באורך  $T_s$ , כאשר בחלון הזמן ה- $n$  משודר אות בפאזה המתאימה לסמל  $a_n$ .

הרחבה דומה ניתן לעשות גם מ-B-ASK ל-M-ASK.

### 4. אפנון M-QAM

שילוב של M-PSK ו-M-ASK, בשיטה הזו לכל הסמלים נבדלים בניהם גם באמפליטודה וגם בתדר. בצורה כזאת ניתן לנצל טוב יותר את מרחב הסמלים.

## חלק II תרגיל

העלנו לאתר הקורס תיקייה עם הקבצים הרלוונטיים, בשם `exercise_7_resources`.  
בתרגיל זה תקבלו אות שבו מספר סוגים של אפנונים (חמישה בדיוק). עליכם להבין מה כל אפנון, ולפענח אותו.

קצת על תהליך האפנון של הקובץ שקיבלתם: השתמשנו בקבצי אודיו שדגומים בתדר  $f_s = 44100\text{Hz}$ . אם היינו רוצים לאפנן את האות,  $s(t)$  (הדגום ב  $f_s = 44100\text{Hz}$ ), ב  $AM$  לתדר נושא של  $100\text{kHz}$ , לא היינו יכולים בגלל משפט הדגימה של נייקוויסט. היינו רוצים שהאות יהיה דגום ביותר מ  $200\text{kHz}$  (נניח  $400\text{kHz}$  יהיה טוב מספיק). הבעיה היא שכרגע האות שלנו נתון בתדר דגימה של  $f_s = 44100\text{Hz}$ . מה נעשה? האות  $s(t)$  הדגום הוא ווקטור של מספרים. אם נשכפל כל ערך בווקטור הזה  $n = 8$  פעמים, ו"נשמיע אותו פי 8 יותר מהר", עדיין נשמע את אותו האות (אותה המוזיקה). מה יהיה תדר הדגימה החדש?  $f_{new} = f_s \times n$ . תדר דגימה זה מאפשר להכפיל בגלל נושא בתדר של  $100\text{kHz}$ ! (לשם כך, כתבנו והשתמשנו בפונקציה `mult_samples_by_n(y, F_s, n)` שנתונה לכם).

שימו לב שהמחשב שלכם (והפונקצייה `sound` של `Matlab`) לא מסוגל להשמיע בתדר דגימה כל כך גבוהה. לכן כדי להשמיע את האות נצטרך לחזור לתדר דגימה סביר ( $f_s$  המקורי), באמצעות שימוש בפונקציה `de_mult_samples_by_n` (שגם היא נתונה לכם).

### פונקציות המטלב שאתם מקבלים:

1. `LPF` - אולי יהיה שימושי
2. `HPF` - אולי יהיה שימושי
3. `BPF` - ישמש אתכם כדי להפריד בין תחנות
4. `calc_fft` - ישמש אתכם כדי להציג דברים בתדר (שימו לב שאם מכניסים לה 3 ארגומנטים, היא מציירת את הספקטרום)
5. `mult_samples_by_n` - מפורט קודם
6. `de_mult_samples_by_n` - מפורט קודם
7. סקריפט `demod_main` - הקוד לפתיחת הקובץ כבר שם. בנוסף יש שם את הנתונים על תדר הדגימה ועל  $n$  שבו השתמשנו עבור `mult_samples_by_n` כאשר אפנו את הסיגנלים.

**עבור אפנונים אנלוגיים** עבור שיטות אפנון אנלוגיות - בצעו דה־מודולוציה לאות ושמרו את התוצר שתקבלו בתור קובץ סאונד (בעזרת הפונקציה `audiowrite`). מה התדר הנושא? מה סוג האפנון? מה תוכן ההקלטה? השמיעו באמצעות הפונקציית `sound`. הרגישו חופשי להשתמש בפונקציות `amdemod`, `fmdemod`, `pmdemod` של מטלב (תהיו מדויקים בתדרים).

**עבור אפנונים דיגיטליים** עבור שיטות אפנון דיגיטליות - שחזרו את הסמלים המכילים את האות (שימו לב שיש חשיבות לפאזה בשיטות הפענוח. רמז - הפאזה פשוטה. נסו לשחק עם הפאזה של הגלאי ותראו מה קורה). הפכו את רצף הסמלים לרצף ביטים, ואת רצף הביטים למידע באופן הבא:  
פירוט על ה"שפה":

אפנונו מילים של 4 אותיות בעברית. יש 22 אותיות ולכן צריך 5 ביטים כדי לייצג כל אות.  
דוגמא: האות 'כ' היא האות ה־11 באלף־בית. לכן הייצוג שלה יהיה 01011 (כאשר הביט הימני הוא ה־`LSB`).  
כאשר אנו משדרים את האות 'כ', את שולחים את רצף הביטים: 0 ואז 1 ואז 0 ואז 1 ואז 1. כלומר 11010, הפוך בכיוון מהייצוג הסטנדרטי (כעת ה־`LSB` מצד שמאל). כדי לשלוח את המילה 'כלב', נשלח את רצף הביטים: 110100011001000. הקוד במטלב שמייצר את רצף הביטים עבור המילה 'כלב':

```

bits_per_letter = 5;
CAF = de2bi(11, bits_per_letter);
LAMED = de2bi(12, bits_per_letter);
BET = de2bi(02, bits_per_letter);
KELEV = [CAF, LAMED, BET];
bit_stream = KELEV;
disp(bit_stream)

```

לסיום, כדי להפוך את רצף הביטים למידע, חלקו את הביטים לקבוצות של 5 ביטים, כל 5 ביטים מייצגים אות בעברית. מה המילה שקיבלתם?

### **הגשה - הגישו תיקיית zip עם :**

1. קובץ PDF שמסביר מה עשיתם. עבור על ערוץ מידע, תכתבו איך הבנתם מה סוג האפנון, ענו על השאלות שנשאלו לעיל וצרפו גרפים רלוונטים. שמרו על סדר!

2. קבצי השמע שקיבלתם

3. הקוד (רק קובץ demod.m, ועוד קבצים אחרים עם יצרתם כאלה)

**התרגיל להגשה ביחיד או בזוגות. גם אם אתם מגישים בזוגות, כל אחד צריך להגיש את הקובץ zip שמכיל את התשובות הסופיות.**