

# **עיבוד אותות ספרתי**

## **פרויקט מטוטלת**

SCE

### **מנהל**

ד"ר דמיטרי בוחובסקי

### **קבוצת הפרויקט**

עובד מאדי - 207670621

עובד דיק - 318768264

מוחמד משעל - 206365777

וסים ותד - 206359424

תאריך :

15 ינואר 2023

## **תוכן העניינים**

<b>1</b>	<b>תקציר הפרויקט</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>מבוא</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>שלבי ביצוע</b>	<b>5</b>
3.1	קליטת נתונים והציגם	5
3.1.1	אופן ביצוע	5
3.1.2	תוצאות	5
3.1.3	ניתוח תוצאות	7
3.1.4	מסקנות	7
3.2	אינטראקטיבית ו שינוי תדר דגימה	8
3.2.1	אופן ביצוע	8
3.2.2	תוצאות	9
3.2.3	ניתוח תוצאות	11
3.2.4	מסקנות	11
3.3	התמרת פורייה בדידה והציגת ספקטרום האות	12
3.3.1	אופן ביצוע	12
3.3.2	תוצאות	13
3.3.3	ניתוח תוצאות	14
3.3.4	מסקנות	17
3.4	סינון אותות	18
3.4.1	אופן ביצוע	18
3.4.2	תוצאות	21
3.4.3	ניתוח תוצאות	24
3.4.4	מסקנות	24
3.5	השוואה בין ערכיהם נמדדים למחושבים	25
3.5.1	אופן ביצוע	25
3.5.2	תוצאות	27
3.5.3	ניתוח תוצאות	28
3.5.4	מסקנות	28
4	<b>סיכום ומסקנות כלליות</b>	<b>29</b>
5	<b>מקורות</b>	<b>30</b>

## 1. תקציר הפרויקט

בפרויקט היה שילוב בין החומרה לתוכנה כדי לבצע כל מיני שימושים אשר קשורים לעיבוד אותות ספרתי, השתמשנו בתוכנה שモתקנת במכשיר החכם MATLAB Mobile שבעזרתיה ניתן להשתמש בחישונים כמו תאוצה, שדה מגנטי וכו' ומכאן בחרנו לעבוד עם חישון התאוצה אשר תדר הדגימה שלו הוא 50 Hz לפי ההנחיות וכן כדי לבצע את הקלטת הנתונים על תאוצה המכשיר בזמן שהוא מתנדנד תלינו את המכשיר בחוט אורך מסוים ושהרנו אותו מזווית מסוימת וננתנו לו להתנדנד עד עצירה מוחלטת בזמן חישון התאוצה אוסף את המידע הרצוי ופועלה זו בוצעה על שלושה חוטים עם אורךים שונים 52cm, 77cm, 108cm על מנת לראות את השפעת אורך החוט על תדר התנודות.

ולאחר העברת הנתונים بصورة אוטומטית דרך MATLAB Drive לתוכנת MATLAB במחשב כדי לבצע פעולות שונות על אותן המתקבל כמו העלאת הנתונים ובחירה ציר התאוצה שנבצע עליו את כל הנתונים, הצגת אותן, שינוי תדר דגימה של אותן מ- 50Hz ל- 100Hz עם מרוחץ זמן אחד, ביצוע התמרת פורייה הצגת ספקטרום ויזיהו התדר הרצוי, סינון אותן מרעים ועוד כמה תתי שלבים שנרחיב עליהם בהמשך ובסוף נשווה את התדר המתתקבל נומריית של תדר התנודות לערך התאורטי שניתן לחשב אותו לפי הנוסחה המקורבת (1) וגם נשווה בין האורך הנמדד של מוטטלת לבין האורך מתתקבל ע"י חישוב התאורטי מトー' אותה המשוואה (1) תוך השימוש בתדר שהתקבל נומריית.

$$f \approx \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{L}} [\text{Hz}]$$

(1) : נוסחה לחישוב תדר התנודות

התוצאות שמצפים לקבל בסוף הפרויקט

תדרי התנודות :

- עבור מדידה עם אורך חוט 40.5 ס"מ  $F_1 = 0.7828(\text{Hz})$
- עבור מדידה עם אורך חוט 77 ס"מ  $F_2 = 0.5677(\text{Hz})$
- עבור מדידה עם אורך חוט 108 ס"מ  $F_3 = 0.4794(\text{Hz})$

אורךי חוטים :

- $L_1 = 40.5 (\text{cm})$
- $L_2 = 77 (\text{cm})$
- $L_3 = 108 (\text{cm})$

## 2. מבוא

באמצעות הכלים הנלונים בתוכנת MATLAB ניתן לבצע את כל הניתוחים המבוקשים על האות כדי לקבל את התוצאות הרצויות.

לאחר קליטת הנתונים מהמיכסיר והעברתם לתוכנת MATLAB במחשב הצגנו את האות המתקבל שהוא התאוצה בשלושה צירים X,Y,Z ובחרנו אחד מהם המתקבל מהקלטת החישון במכסיר נדגם בתדר Hz 50abel מרוחבי זמן דוגמה אינו אחיד וכך ע"י אינטרפולציה מסדר שלישי נהפוך את האות לדגום במרוחבי דוגימות אחיד ביחד עם זאת נעה תדר הדוגימה של האות ל- Hz 100, לאחר מכן נחשב התמרת פורייה לאות ונציג הספקטרום שלו, עשינו זאת באמצעות אלגוריתם מובנה ב MATLAB וכאשר הצגנו את הספקטרום של האות ניתן לראות את התדר הדומיננטי שהוא מהווה תדר התנודות שלו ובאמצעות המשנן המתאים עם הפרמטרים המתאימים ניתן לסנן אותו ונציג אותו לפני ואחריו סינון במישור הזמן וגם בתדר.

### 3. שלבי ביצוע

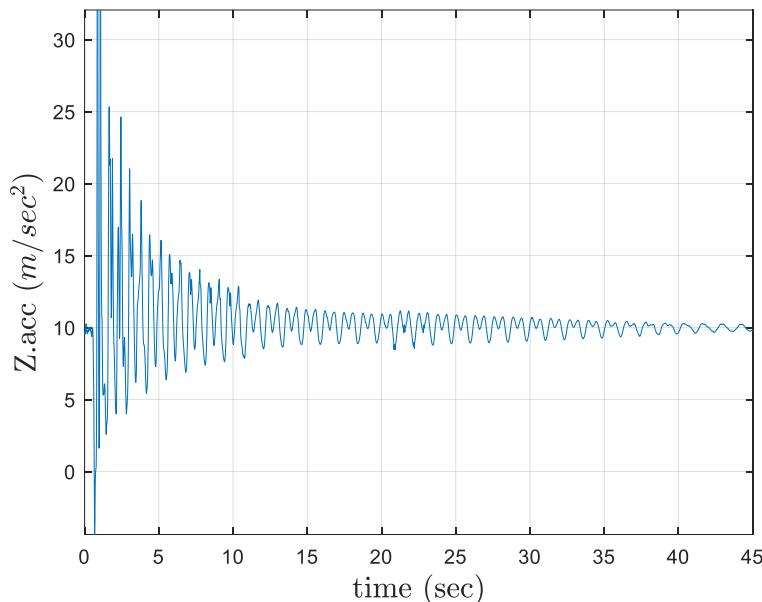
#### 3.1. קליטת נתונים והציגם

##### 3.1.1. אופן ביצוע

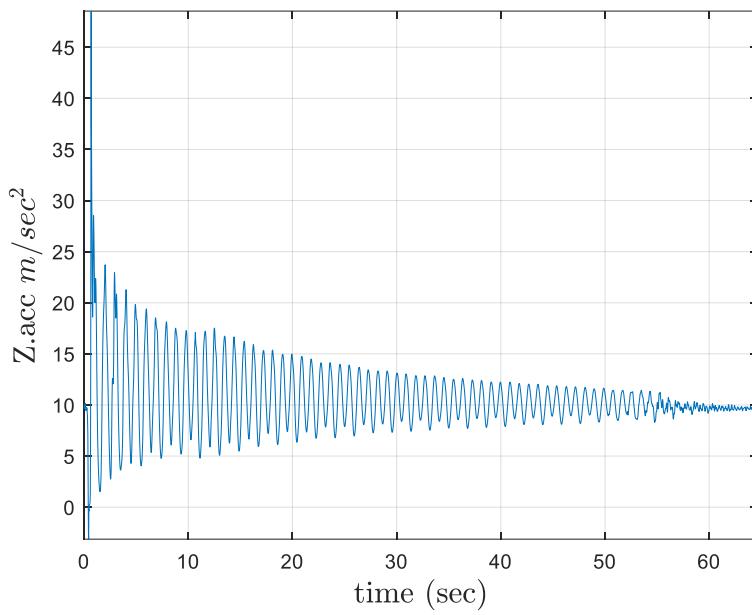
כמו שהזכרנו לפני, הקלטת הנתונים בוצעה בזמן שהמכשיר תלוי בחוט ומשוחרר מזווית מסוימת ומתנדנד עד עצירה מוחלטת ולפי הנחיה הפרויקט ביצענו הקלטת חישון התאוצה בתדר דגימה של (Hz) 50 כלום (sec) 0.02 החישון דוגם ומחזיר את המיקום של המכשיר זהה בעורת חישון שmotaken בתוך המכשיר הניד שנקרא IMU, חישון זה מחזיר את המיקום של המכשיר בכל רגע ורגע.

לאחר מכאנ העברנו את ההקלטה ל-MATLAB חילצנו את התאוצה בשלושת הצירים וגם כן חילצנו את הזמן כאשר היה נתון בווקטור عمودה ובאמצעות פונקציה שבנוינו וגם בעזרת פקודות מוכנות יצרנו את וקטור הזמן שמתאר את משך הזמן מאז שהמכשיר החל להתנדנד ועד לעצירתו ולאחר מכן מכן הצינו את התאוצה בשלושת הצירים X,Y,Z ובחרנו בתאוצה בציר Z ובחירה זו הייתה בשלושת המדידות השונות עברו אורכי חוטים שונים ונציג גרפים רק עבור התאוצה בציר שבחרנו.

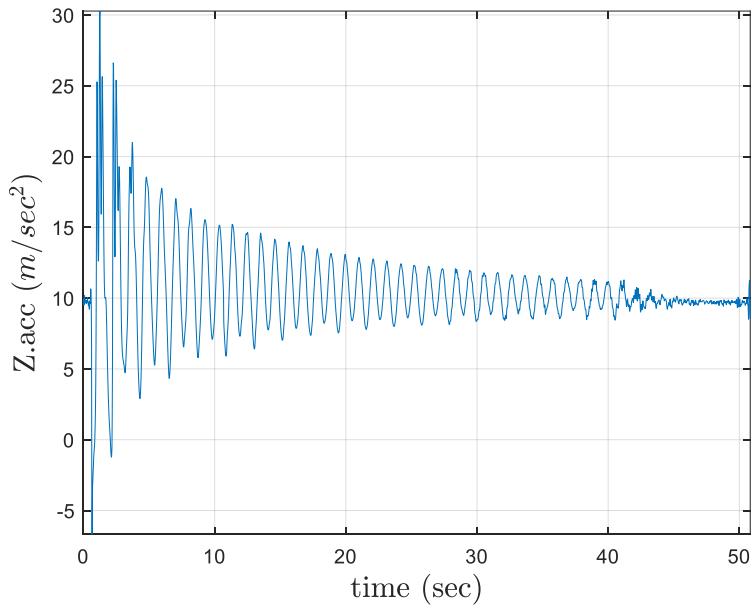
##### 3.1.2. תוצאות



איור 1 : התאוצה בציר Z עבור חוט באורך 40.5 ס"מ



איור 2 : תאוצה בציר Z עבור חוט באורך 77 ס"מ



איור 3 : תאוצה בציר Z עבור חוט באורך 108 ס"מ

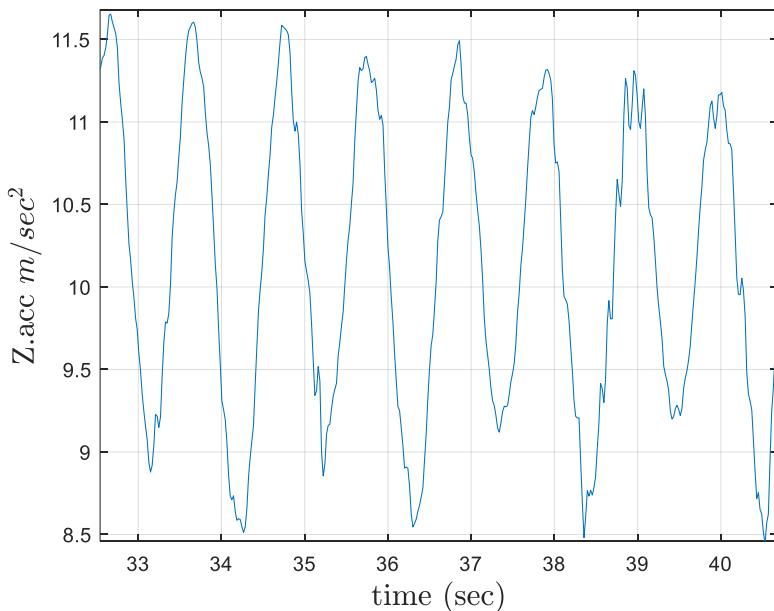
### 3.1.3. ניתוח תוצאות

בחרנו בתאוצה בציר Z כי הוא נראה יותר טוב לעין מאשר הזרים ונראה קל יותר לפועלות שנבצע עליו בהמשך, ובגלל שבחרנו בציר זה באחד המדידות لكن נCMDנו לבחירה זאת גם בשאר המדידות על מנת לראות את ההבדל ביניהם.

אורך זמן המדידות לא שווה בגלל הזמן ההתרנסנות של המכשיר שונה, צריך להציג שהזמן שבחרנו ממנה את המכשיר כאשר הוא תלוי בחוט שונה מדידה אחת לאחרת וגם כן אנו יודעים זמן דגימה של החישון אינם אחיד מה שיכל לגרום לעיוותים באות.

לפי מה שניתן לראות באיור 1, אנו רואים שבחלק של האות מזמן ( $t < 40$  sec) האות לא משלים את התנודות שלו כמו

רואים שבשלושת התנודות הן סיבוב 10 בערך ואם נקרב יותר לגרף נראה שזיה סיבוב 9.8 שערך זה הוא מהוות תאוצת הכובד בגלל כוח המשיכה שפועל על המכשיר וזה מה שרואים ב-



איור 4 : התאוצה בציר Z עבר חוט באורך 108cm לאחר הגדלה חלק מהאות.

### 3.1.4. מסקנות

- מרוחכי זמן דגימה לא אחיד יכול לגרום לעיוותים באות ועלול גם לאבד אינפורמציה על האות.
- תדר דגימה Hz 50 יחסית קטן לכן נוצרו עיוותים באות ואת זה רואים בבירור ב- איור 1.

## 3.2. אינטראפולציה ושינוי תדר דגימה

### 3.2.1. אופן ביצוע

אנו נתקלים כאן בבעיה שנוצרת עקב זמני דגימה לא אחידים של במדידה של החישון ולכן לא קיבל את האות בדיקת המבוקש لكن נטפל בבעיה זו ע"י פקודה שנקראת spline שהופכת את האות לדגם במרווחי زمنיים אחידים, וגם בשלב זה בוקש להעלות תדר הדגימה מ- (Hz) 50 ל- (Hz) 100 שגם פקודה זו יכולה לעשות באותו זמן.

כדי להשתמש בפקודה יצרנו וקטור זמן חדש שזמן ההתחלה והסיום שלו זהים לווקטור הזמן המקורי והשונה כאן הוא שקבענו מרוחבי זמן אחידים כך שבין כל "דגימה ודגימה" יש 0.01 שניות כמו שראאים ב, וכך יצרנו וקטור זמן חדש שנದגם ב Hz 100 .

```
t = מהוות וקטור זמן המקורי  
n_sample_rate = 100;  
m = n_sample_rate/sample_rate;  
new_t = 0:sample_time/m:t(end);  
new_t = וקטור זמן חדש
```

The original Sampling frequency : 50.11 Hz  
The New Sampling Frequency is : 100 Hz

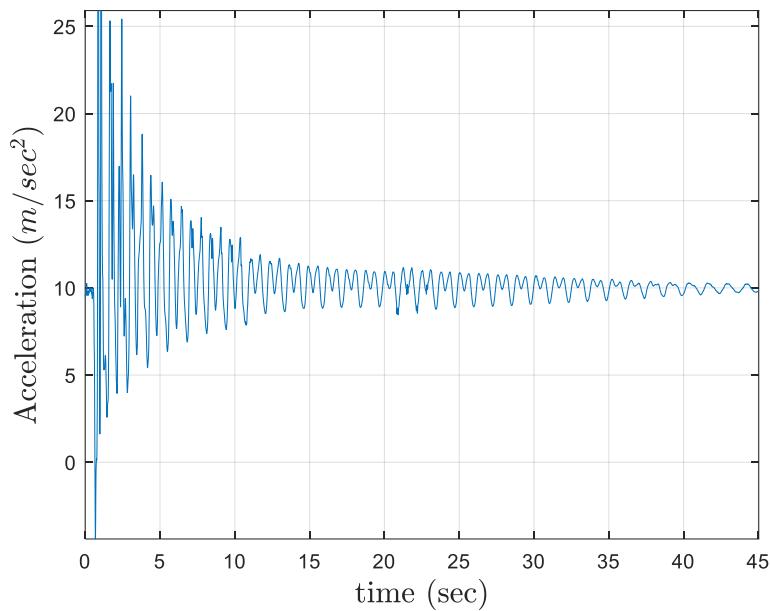
התוצאה המתבקשת :

קוד 1 : חישוב תדר דגימה של האות לפני ואחרי השינוי

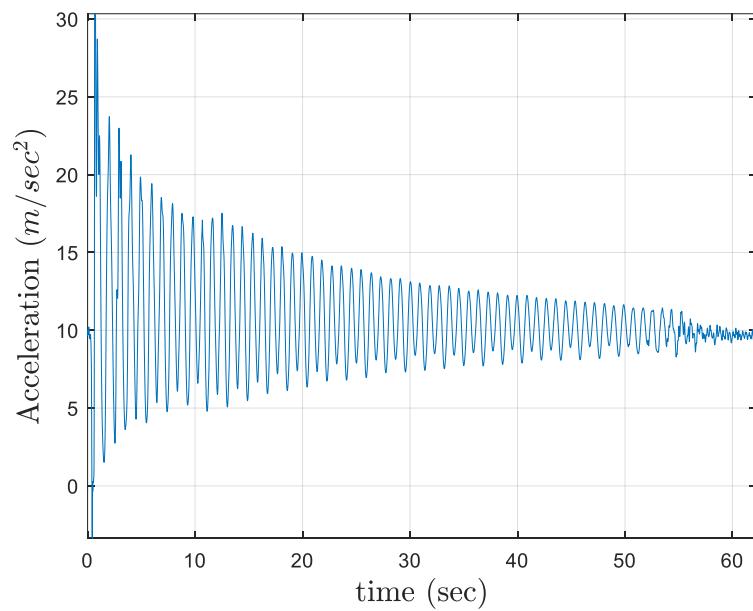
$$f(x) = a(x - x_1)^3 + b(x - x_1)^2 + c(x - x_1) + d$$

(2) נוסחה לאינטראפולציה מסדר שלישי

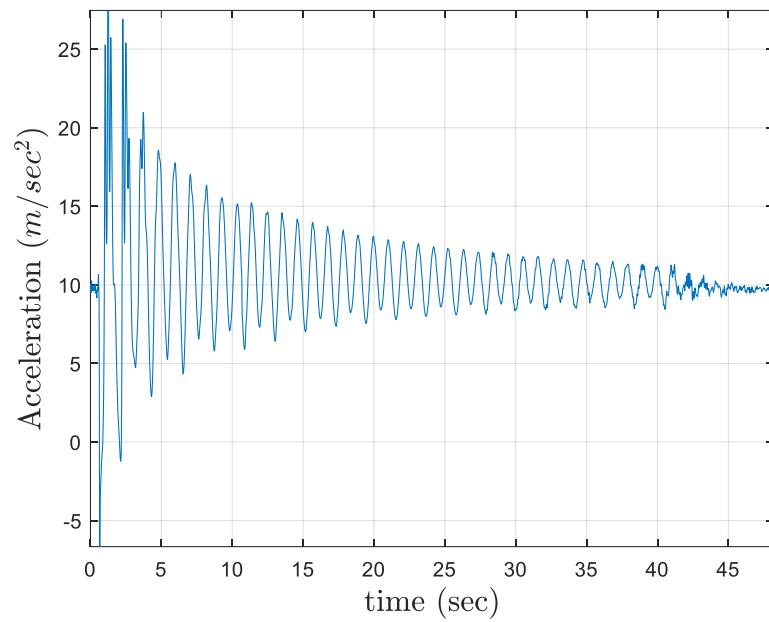
### 3.2.2. תוצאות



איור 5 : תאוצה בציר Z עבור חוט באורך 40.5 ס"מ  
אחרי איטרפולציה ושינוי תדר דגימה ל 100 Hz



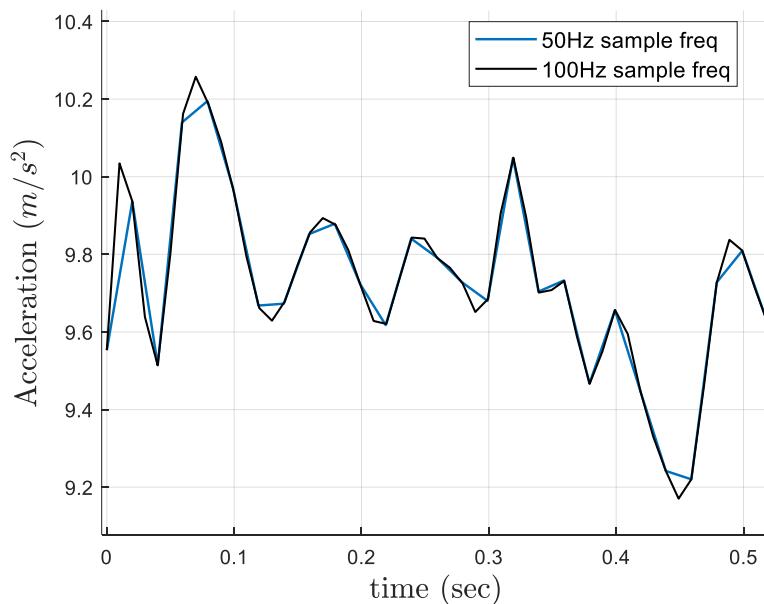
איור 6 : תאוצה בציר Z עבור חוט באורך 77 ס"מ  
אחרי איטרפולציה ושינוי תדר דגימה ל 100 Hz



איור 7 : תאוצה בציר Z עבור חוט באורך 108 ס"מ  
אחרי אינטרפולציה ושינוי תדר דגימה ל 100 Hz

### 3.2.3. ניתוח תוצאות

כמובן ולפי הגרפים שצורפו (איור 5 , איור 6 , איור 7) לא ניתן להבחין בהבדל בין אותן התוצאות לפניו ואחרי אינטראפולציה ושינויי תדר דגימה וכן נציג גרפ' תאוצה של אחת המדידות עם הגדלה על חלק מסוים מהגרף כדי לראות את השוני שנוצר ונראה את זה ב- איור 8.



איור 8 : גרפ' התאוצה עם הגדלה לקטע מסוים ,  
הגרף שייך למדידה עם אורך חוט של 108 ס"מ

הערה : בכל הגרפים צריך לעשות הגדלה כדי לראות את ההבדל בין שני הממצבים.  
וכשיו ניתן לראות ב- איור 8 , את ההבדל בין שני הממצבים לפניו ואחרי שינוי תדר דגימה מ- 50 Hz ל- 100 Hz עם מרוחבי דגימה אחידים , מה שמתרכש כאן שבעתם התווסף לנו עוד דגימות וכל ידי שימוש באינטראפולציה שמשתמשת בקירוב מסדר שלישי ניתן ליצור אותן יותר חלק מהאות המקורי , גם במקרה זה ההבדל לא כזה ממשמעותי והסיבה גם שתדר הדגימה המקורי הוא נחשב כגדול יחסית ولو היוינו מעלים תדר הדגימה מוגדר שהוא נמוך יחסית כמו לדוגמה 10 Hz במקרה זה נוכל לראות הבדל עצום בין שני הממצבים .

### 3.2.4. מסקנות

- מרוחבי דגימה לא אחידים יכולים להוביל לשגיאות בעיבוד האות . כאשר המרווחים בין הדגימות אינם קבועים, יכול להיות קשה לשחזר בבדיקה את האות המקורי באמצעות טכניקות אינטראפולציה ובקרה שלו השתמשנו באינטראפולציה מקירוב סדר שלישי. במקרה לא אחידה עלולה להוביל לאובדן מידע ויכולת להקשות על ניתוח האות באמצעות טכניקות טכניות במישור התדר .
- ע"י פקודה `spline` הצלחנו לקבל את יותר " חלק " מהאות המקורי בגלל הדגימות שהתווסףו .
- אינטראפולציה מסדר שלישי מדויקת במידה טובה וועוזרת לשפר את התוצאות .

### 3.3. התמרת פורייה בדידה והציגת ספקטרום האות

#### 3.3.1. אופן ביצוע

לאחר שסיימנו עם האינטראולציה ובעיקר תיקנו בעית מרוחхи זמן לא אחידים, הינו צריכים להעביר את האות שלנו למישור התדר על מנת לראות את התדרים המרכזיים את האות.

ביצענו התמרת DFT בעזרת אלגוריתם מובנה ב MATLAB שנקרא FFT ואת זה הינו צריכים לבצע כמו וכמה פעמים על מדידות שונות וכי לשמור על הסדר בקוד בניינו פונקציה אשר מקבלת נתונים כמו האות שרצאים לחשב לו התמרת פורייה ותדר הדגימה שלו וחזירה לנו שלושה וקטורים שהם

האות לאחר התמירה, האות שמכפל בחילון Hamming ולאחר התמירה ולביצוע פעולה זו יש סיבה שנסביר בהמשך והפלט האחרון הוא ציר התדר אשר תיאמנו אותו שייהי ביחידות של Hz.

בביצוע התמירה החלפנו שנציג רק את התדרים החשובים ומciוון וגם ריבדנו באפסים כך שהספקטרום יראה בקרוב כמו התמרת DTFT וייהי חלק יותר וקטע קוד זה רואים באIOR קוד 2, פעולה זו לא תפגע באות שלנו ובתדרים שלו הדבר היחיד שימושה כאן זה הרזולוציה בספקטרום של האות.

```
function [x ,z ,y] = DFT(Fs,func)

N = length(func);
Nfft = length(func);% detect the length of the vector
Nfft = 2^nextpow2(Nfft*4);% zero padding
Zz1 = fft(func,Nfft);% DFT using fft algorithm
Zz1 = Zz1(1:Nfft/2);% taking a one side of the DFT vector
Zz1 = abs(Zz1);% calc the abs values of the DFT to plot the spectrum
```

קוד 2 : שלבי ביצוע התמרת DFT לאות התאוצה בציר Z

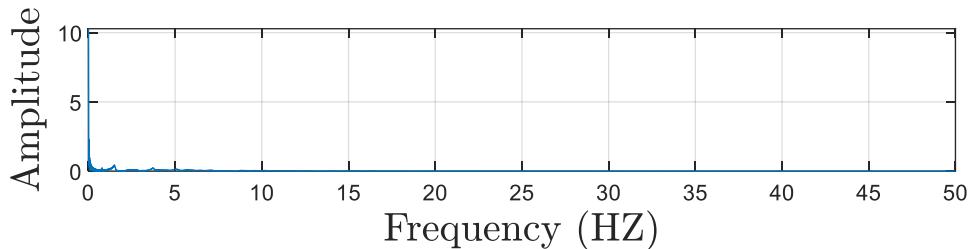
כמו שניתן לראות בקוד חישבנו את אורך ווקטור התאוצה בציר Z על מנת לבצע את של ריפוד באפסים הניל

בסוף ולאחר סידור אורכי הווקטורים לקחנו את האות המותמר בערך מוחלט כדי להציג את הספקטרום זה היה עבור שלוש מדידות שונות באורכי חוטים שונים.

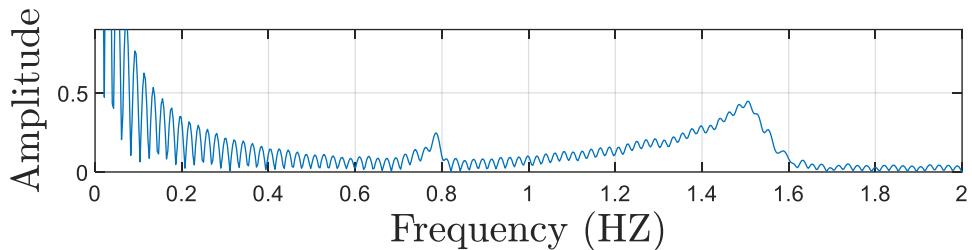
### 3.3.2. תוצאות

הערה : האמפליטודה מנורמלת בכל הספקטרומרים .

1. עבר אורק חוט 40.5 ס"מ :

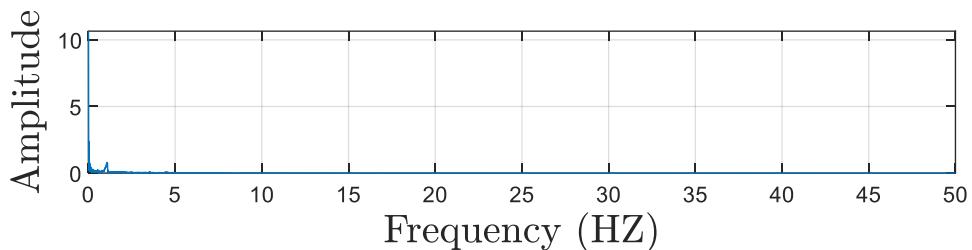


איור 9 : ספקטרום אות התאוצה

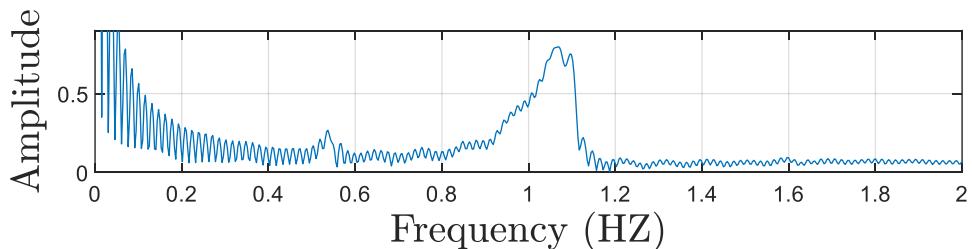


איור 10 : ספקטרום אות התאוצה אחרי הגדלה

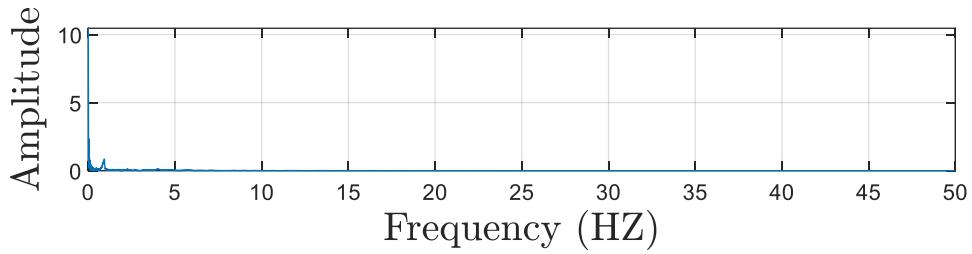
2. עבר אורק חוט 77 ס"מ :



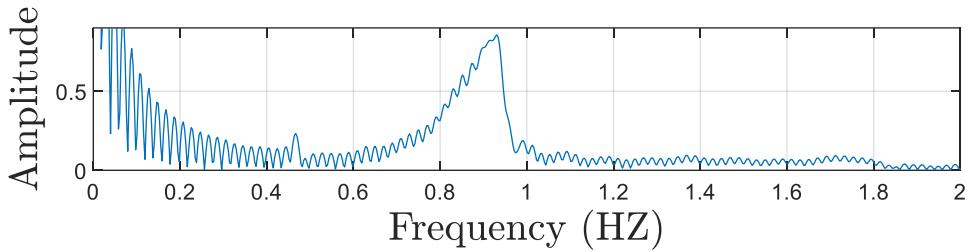
איור 11 : ספקטרום אות התאוצה



איור 12 : ספקטרום אות התאוצה אחרי הגדלה



איור 13 : ספקטרום אות התאוצה



איור 14 : ספקטרום אות התאוצה אחורי הגדרה

### 3.3.3. ניתוח תוצאות

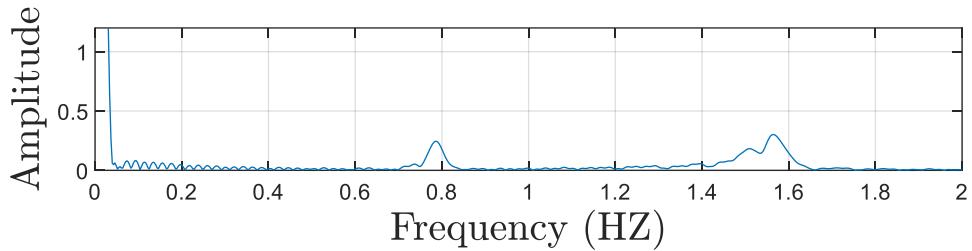
התוצאות שהתקבלו הן לאחר נרמול אמפליטודה ע"י חילוק באורך הווקטור, ובכל זאת היינו צריכים לעשות הגדלה על מנת שנוכל לראות את הפיקים אשר יכולים להוות את התדר שanedנו מחפשים .

לאחר שביצענו הגדלה כמו שראאים לדוגמה איור 12 : ספקטרום אות התאוצה אחורי הגדרה, נתקלנו בבעיה והיא הגליות שיש לנו בספקטרום שנוצרת בגלל שהיא בזמן שלנו הוא סופי בזמן והוא אוט שמסוגל בחולון מלבני וסוג זה של חלונות יוצר המון גליות עם היוצרות לא יכולנו לבדוק בין הפיקים וממי מהוות את תדר התנודות הרלוונטי ובשביל זה הלכנו לפי הדרך הזאת , על מנת להקטין את הגליות הכפלו את האות שלנו בזמן בחולון hamming כמו שראאים ב- קוד 2 .

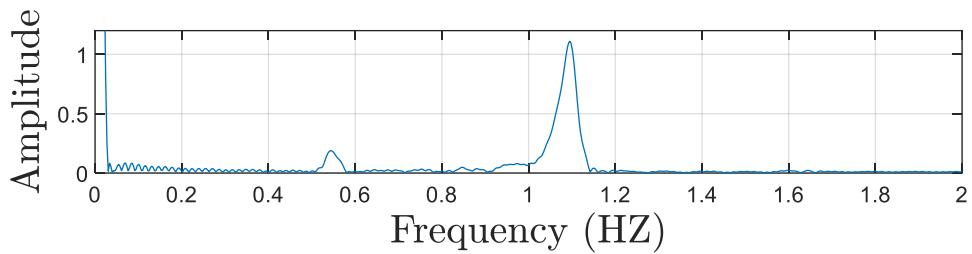
```
% We multiplied by the Hamming window to reduce the undulations
% and after that we divided the result after the DFT
% by the sum of the length of the window in order to keep the amplitude
Zz2_hamming = fft(func.*hamming(N)',Nfft)/sum(hamming(N));
Zz2_hamming = Zz2_hamming(1:Nfft/2);
Zz2_hamming = abs(Zz2_hamming);
xfft = Fs*(0:Nfft/2-1)/Nfft;
```

קוד 3 : הכפלה בחולון לפני ביצוע התמרת DFT

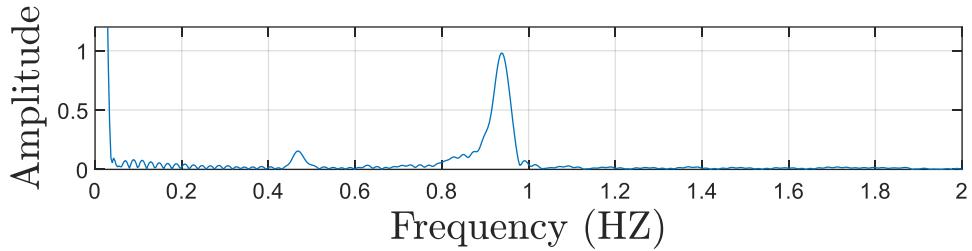
לאחר הכפלת חלון : hamming



איור 15 : ספקטרום אות התאוצה עברו מדידה באורך  
חוט של 40.5 ס"מ ולאחר הכפלת חלון hamming



איור 16 : ספקטרום אות התאוצה עברו מדידה באורך  
חוט של 77 ס"מ ולאחר הכפלת חלון hamming



איור 17 : ספקטרום אות התאוצה עברו מדידה באורך  
חוט של 108 ס"מ ולאחר הכפלת חלון hamming

כעת אנו רואים שהഗליות בשלושת הספקטrogramים קטנה בצורה משמעותית ויכולמים להבחין בצורה יותר ברורה בפיק הדומיננטי (הלא DC) איור 15, איור 16, איור 17, חשוב להציג שהכפלת חלון וריפוד באפסים לא פגעו באות ולא גרמו להזוזות בתדר וכל השוני הוא רזולוציה יותר טובה ופחות גליות, חשוב להציג שאחרי שהתגברנו על הבעיה זאת נשאר בספקטרום "רעשים" שצריך לטפל בהם ואת זה נשאיר לשלב של הסינו .

אנו רואים גם שבשלושת הספקטrogramים ( איור 15, איור 16, איור 17), שתדר DC עם אמפליטודה הגבוהה ביותר וכמו שהראינו בגרפים של התאוצה בזמן איור 4 ראיינו שתנודות הן סביב ערך קבוע שבערך

9.8 ואנו יודעים שערך קבוע, התדר שלו הוא אפס ולכן קיבלנו אותו בתדר הכי דומיננטי בכל הספקטרומים, ומוגובן שאנו יכולים להתעלם ממנו כי אנחנו יודעים שתדר התנודות של המכשיר שונה מ-0.

נדון כעת בתדרים של שלושת המדידות שמהווים תדרי התנודות, התדרים קיבלנו לפי הספקטרום הם :

**הערה :** כמו שהזכרנו לפני, תיאמנו את ציר התדר כך שייהיה ביחידות של Hz

- עבר מדידה עם אורך חוט 40.5 ס"מ  $F_1 = 1.5594(\text{Hz})$
- עבר מדידה עם אורך חוט 77 ס"מ  $F_2 = 1.09252(\text{Hz})$
- עבר מדידה עם אורך חוט 108 ס"מ  $F_3 = 0.93384(\text{Hz})$

התדר שמתתקבל בספקטרום אוט התאוצה גדול פי-2 מהתדר התנודות של המטוטלת כיוון שמחזור אחד של אוט התאוצה הוא בעצם כולל שתי תנודות של המטוטלת ולכן על מנת לקבל את התדרים הנכונים צריך לחלק ב2 את התדרים שהתקבלו.

התדרים לאחר שחילקנו ב-2 :

- עבר מדידה עם אורך חוט 40.5 ס"מ  $F_1 = 0.7797(\text{Hz})$
- עבר מדידה עם אורך חוט 77 ס"מ  $F_2 = 0.54626(\text{Hz})$
- עבר מדידה עם אורך חוט 108 ס"מ  $F_3 = 0.46692(\text{Hz})$

השוואה עם התדר שמתתקבל מהנוסחה (1) המקורבת :

- עבר מדידה עם אורך חוט 40.5 ס"מ

$$F_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{9.8 \left[ \frac{m}{s^2} \right]}{0.405 [m]}} = 0.7828(\text{Hz})$$

- עבר מדידה עם אורך חוט 77 ס"מ

$$F_2 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{9.8 \left[ \frac{m}{s^2} \right]}{0.77 [m]}} = 0.5677 (\text{Hz})$$

- עבר מדידה עם אורך חוט 108 ס"מ

$$F_3 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{9.8 \left[ \frac{m}{s^2} \right]}{1.08 [m]}} = 0.4794 (\text{Hz})$$

**הערה :** הטעיה בין הערכים התאורטיים לנומריים היא צפואה בגללuai שאי אפשר להתפטר בצורה מלאה מהשגיאות במדידה או בחישוב וגם בגלל כל מיני קירובים שנעשים תוך כדי שימוש אותן.

### 3.3.4. מסקנות

- ע"י האלגוריתם המובנה FFT ב- MATLAB שמבצע התמרת DFT על האות ניתן לקבל את הספקטרום ולראות את התדרים שמרכיבים את האות , ועל מנת לקבל רזולוציה יותר טובה ניתן לרפד באפסים וכך גם נוכל לקבל בקרוב התמרת DTFT אבל כאן הסתפקנו להציג את הספקטרום בצד החובי ועם מחזור אחד בלבד ותיאמנו ציר תדרים שייהה ב- Hz.
- ריפוד באפסים גם נותן רזולוציה יותר טובה לספקטרום האות, והכפלת בחלון hamming לפני ביצוע התמרת עוזר להפחית את הגלויות בספקטרום ונוטן מה שנוטן דיווק יותר טוב לתדרים הרלוונטיים ועוזר לזהות אותם מתוך "הפייקים" האחרים שצמודים שאינם קשורים לאוות.
- הסטייה בין ערכיהם נמדדים לתאורתיתים תמיד צפואה מוחסר אידאליות במדידות, חישובים וכל מיני ניתוחים שיכולים להשפיע על התוצאות.

## 3.4. סינון אותות

### 3.4.1. אופן ביצוע

במשימה הקודמת עשינו התמורה לאות התואча בשלושת המדידות ועשינו כל מיני פעולות על האות על מנת לקבל את הספקטרום שלו ולזהות את תדר הרלונטי, לפי איור 15, אייר 16, אייר 17, ניתן לראות שמסביב לתדר שרוצים לסן יש עוד תדרים עם אמפליטודה גבוהה יחסית, תדרים אלו נחברים כרעים והמטרה בשלב זה המטרה היא להנחות אותן ככל האפשר על מנת לקבל בסוף אותן התואча נקי.

כעת אנו מעוניינים לסן אותן בתורה ככל האפשר משאר התדרים, כמוון שלא יהיה סינון מושלם ותמיד אפשר לשפר את הכלים ולקבל תוכאות יותר טובות ובסביל זה בחרנו להשתמש במסנן מעביר פס אשר נமמש אותו בשיטת החלונות ובחרנו בחלון מהן Hann ולמיימוש השטמשנו בפונקציה designfilt.

פונקציה זו נותנת לנו את האפשרות לבנות מסננים בכל הסוגים האפשריים ובשיטות השונות ולקבוע את הפרמטרים לפי הדרישה.

ישנם כמה פרמטרים שנitinן לקבוע ואילו הם הפרמטרים שהשתמשו על מנת לבנות שלושת המסננים שבאמצעותם נסן את אותן התואות שלנו.

הפרמטרים הם :

- סוג המן (LPF,HPF,BPF,BSF)
- תגובת ההלם של המסנן (IIR,FIR)
- סדר המסנן (Order)
- תדר קיטועו ראשון ושני  $F_{C_1}, F_{C_2}$
- תדר דגימה של אותן  $F_s$
- שיטת סינון (...,...,Window)
- סוג החלון (במידה וממשים את המסנן בשיטת חלונות) כמו (...,...,Hamming, Hann, kaiser,...)

לאחר שבחרים את הפרמטרים שצריכים הפונקציה תיתן לנו קוד מוכן ולאחר מכן לסן את אותן השתמש בפונקציה filter אשר מכניסים לה את אותן שרוצים לסן והMSN המתאים ותחזיר אותן מסון, ובשביל לבצע את כל הפעולות שהזכרנו יצרנו פונקציה אשר מקבלת את אותן שרוצים לסן, ובעזרת משתנה גלובלי שנותן את אורך החוטות נתאים כל מסון לאות.

שלושת המדידות הן באורך זמן שונה ולכן יצרנו עוד פונקציה שמחשבת את אורך החוטות לפי אורך וקטור הזמן שלה ודבר זה קבוע עבור שלושת המדידות שנשתמש ובסוף נשמר את התוצאה במשתנה הגלובלי.

```
% Designing a filter
hd1 = designfilt('bandpassfir','FilterOrder',500,'CutoffFrequency1',...
    ,0.88,'CutoffFrequency2',0.94,'SampleRate',100,'window','hann');
% filtering the signal
FilteredSignal = filter(hd1, signal2filt);
```

קוד 4 : דוגמה לאופן יצירת מסנן וביצוע הסינון

הערה : קביעת הפרמטרים של התדר ב designfilt ניתן לעשות גם ביחידות של Hz.

כעת נפרט יותר על הפרמטרים שבחרנו לכל מסנן, ישנים פרמטרים שימושתיים בשלושת המנסננים נרחב

- עליהם בהמשך והסיבה לבחירתם.

I. מסנן ראשון עבר מדידה עם אורך חוט 40.5 ס"מ :

- סוג המן : BPF
- תגובת הלם שלו : FIR
- תדר קיטועו ראשון ושני Hz  $F_{C_1} = 1.53$  Hz,  $F_{C_2} = 1.6$  Hz
- במקרה כאן בחרנו ברוחב פס רחב יחסית אבל היינו צריכים לזה כדי למנוע את העיוותים שנוצרו לנו מרוחב הפס הקטן.
- תדר דגימה של האות  $F_s = 100$  Hz
- שיטת סינון : Window
- סוג החלון : Hann
- סדר המسانן(Order) : 500

II. מסנן ראשון עבר מדידה עם אורך חוט 77 ס"מ :

- סוג המן : BPF
- תגובת הלם שלו : FIR
- תדר קיטועו ראשון ושני Hz  $F_{C_1} = 0.8$  Hz,  $F_{C_2} = 1.4$  Hz
- במקרה כאן בחרנו במסנן עם רוחב פס רחב יחסית והינו זוקקים לזה על מנת למנוע מעיוותים שנוצרו באות.
- תדר דגימה של האות  $F_s = 100$  Hz
- שיטת סינון : Window
- סוג החלון : Hann
- סדר המسانן(Order) : 500

III. מסנן ראשון עבר מדידה עם אורך חוט 77 ס"מ :

- סוג המן : BPF
- תגובת הלם שלו : FIR
- תדר קיטועו ראשון ושני Hz  $F_{C_1} = 0.88$  Hz,  $F_{C_2} = 0.94$  Hz
- תדר דגימה של האות  $F_s = 100$  Hz
- שיטת סינון : Window
- סוג החלון : Hann
- סדר המسانן(Order) : 500

סביר את הבחירה שלנו לפרמטרים המשותפים בשלושת המסננים :

- **סוג החלון : BPF**

לפי האירוסים אייר 15, אייר 16, אייר 17, הדרך היחידה לסנן את התדר שורצים היא רק ע"י BPF והוא מושתמש במסנן מעביר נמכרים יכנס לנו רעשיות לאות המסונן ולזה אין תועלת ואותו הדבר אם נשימוש במסנן מעביר גבוהים, لكن בחרנו בו על מנת לסנן פס מסויים וקטן ככל האפשר וambilי לפגוע באופטימיזציה של התדר שצרכיכים, כמובן שרוחב פס זה יכניס רעשיות כלומר תדרים שאינם קשורים אבל הבעיה היא, לו היינו לוקחים פס צר יותר סיכוי גדול שנפגע במידה גודלה בתדר שלנו ולכן לא נוכל לשחזר את אותן התאוצה.
- **תגובה להלם : FIR**

מה שבידיל את מסנני FIR זה התגובה הסופית להם ויציבותם וגם הפאזה הליינארית שלהם כולמר שההיה הפאזה קבועה בכל התדרים .
- **תדר דגימה של האות  $F_s = 100 \text{ Hz}$** 

לקחנו כאן תדר הדגימה החדש ולא המקורי שהוא  $50 \text{ Hz}$  והסיבה לכך היא בכל השלבים אחרי שעשינו אינטראפלוציה והעלוינו תדר הדגימה לאות התאוצה היה עדיף לעבוד עם אותן אשר דגום במרקורי זמן אחידים ותדר הדגימה לא משפיע על תדר התנודות.
- **שיטת סינון : Window**

בשיטת זו יש יותר גמישות במימוש המסנן ויש המון סוגים של חלונות עם פרמטרים שונים שנייתן למש אוטם לפי הדרישה, כמו אם נדרש הנחתה חזקה, קבועה וכו' וכמובן זה בא על חשבונו דברים אחרים כמו כמות החישובים רוחב העונה הראשית.
- **סוג החלון : Hann**

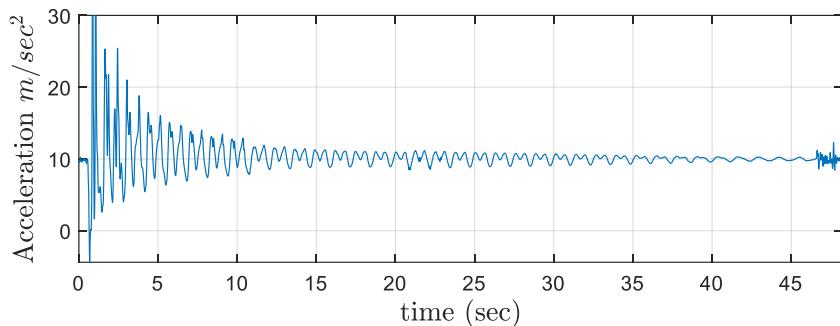
חלון זה כי יש את הנחתה החזקה מאוד לתדרים מסביב לתדר התנודות אבל זה בה על חשבונו כמות החישובים אבל בגל שהתדר שורצים לחץ קרוב מאוד מרעשיים ומתרד DC השתמשנו בו על מנת למנוע מתדרים אלו לעبور במסנן.
- **סדר המסנן : 500**

לאחר כמה ניסויים ושינויים בסדר המסנן היינו צרכיכים להשתמש בסדר גדול על מנת שתהייה הנחתה חזקה ככל האפשר לרעשיים וסדר מסנן זה ספק לנו את הדרישה ועזר להנחתת את הרעשיים בצורה טובת אבל לא מושלמת.

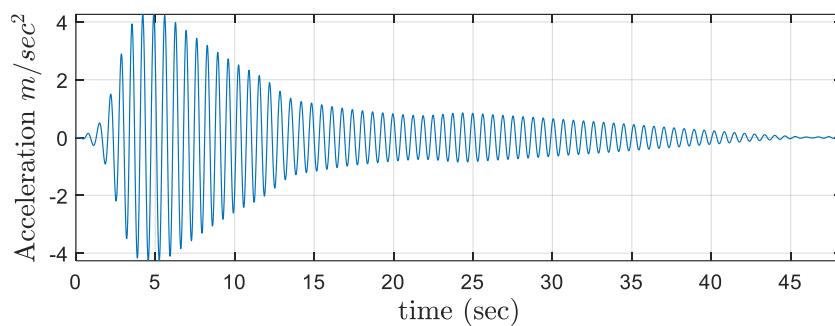
### 3.4.2. תוצאות

נציג עבור כל מדידה את האות לפני ואחרי סינון בזמן וบทדר.

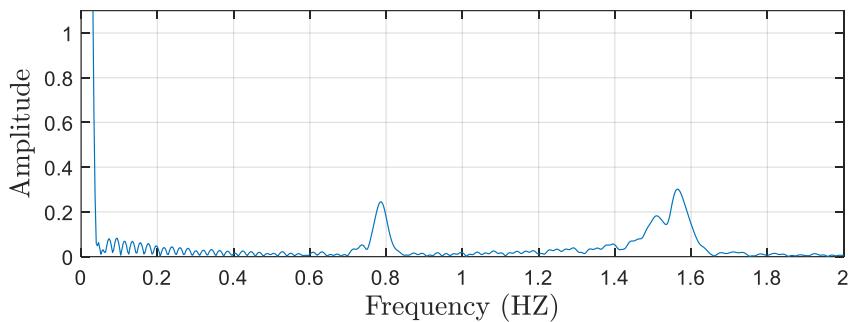
1. עبور מדידה באורך חוט 40.5 ס"מ :



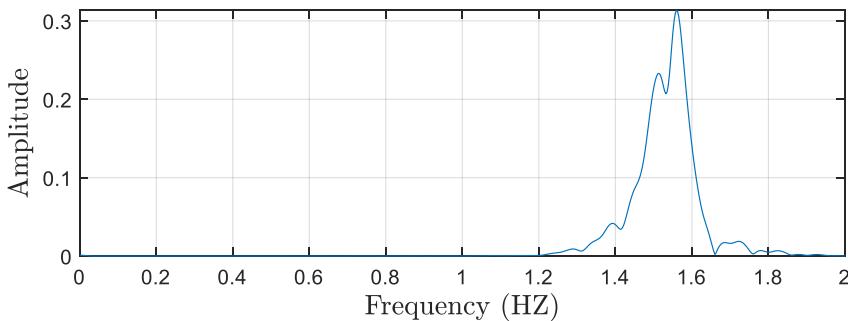
איור 18 : אות התאוצה לפני סינון



איור 19 : אות התאוצה אחרי סינון

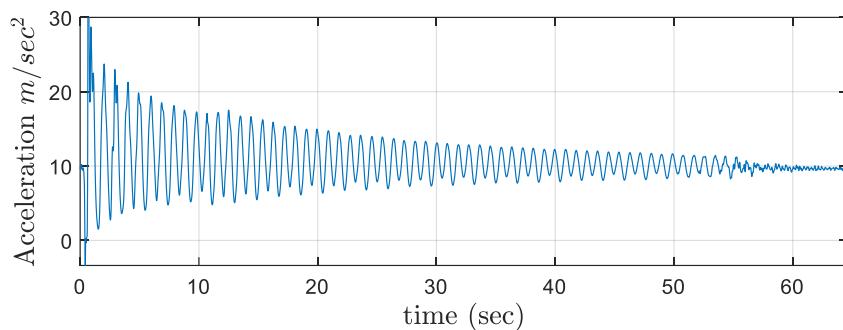


איור 20 : ספקטרום אות התאוצה לפני סינון

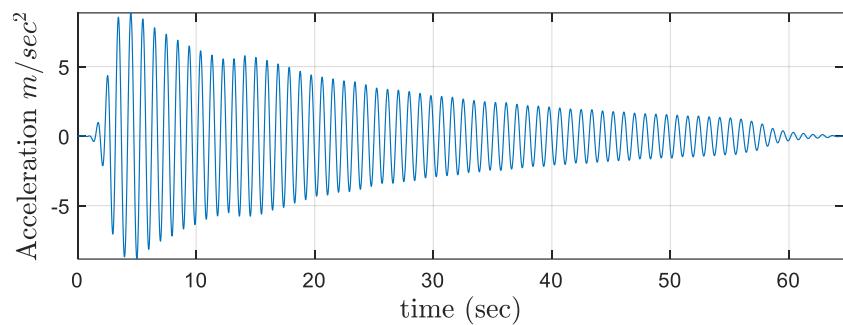


איור 21 : ספקטרום אות התאוצה אחרי סינון

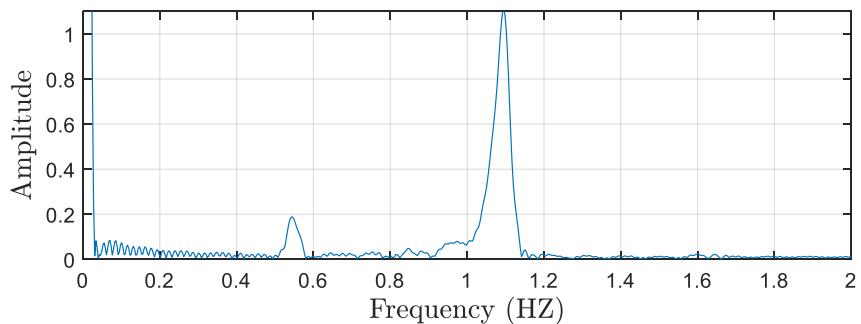
.2. עבור מדידה באורך חוט 77 ס"מ :



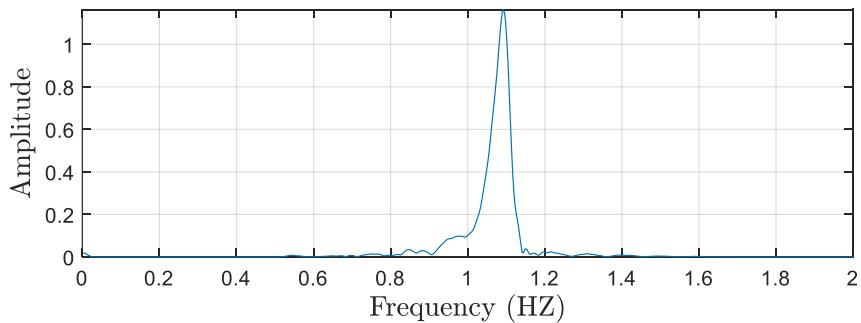
איור 22 : אות התאוצה לפני סינון



איור 23 : אות התאוצה אחרי סינון

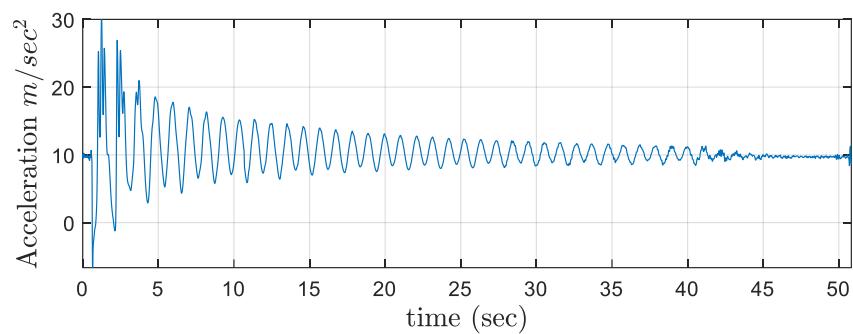


איור 24 : ספקטרום אות התאוצה לפני סינון

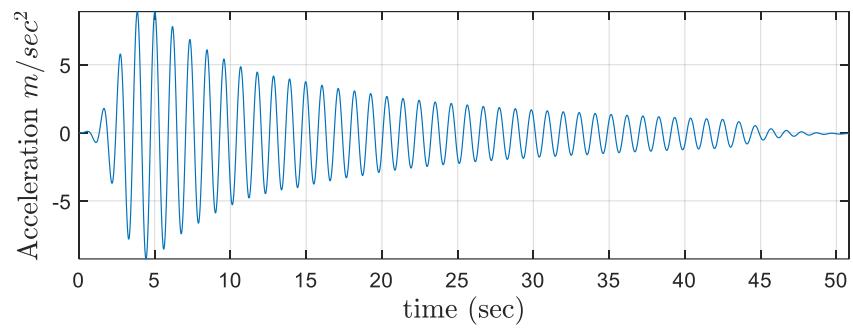


איור 25 : ספקטרום אות התאוצה אחרי סינון

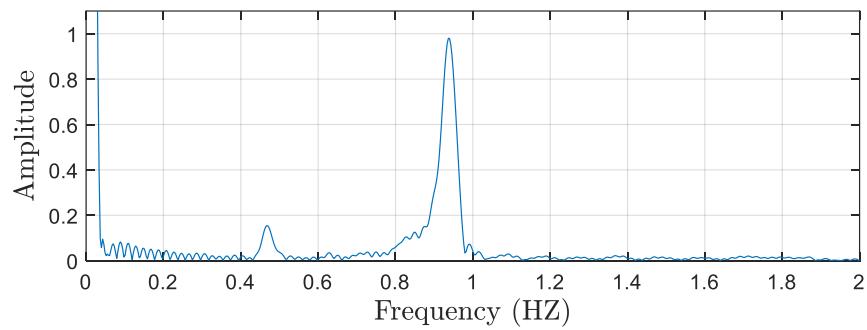
.3. עבור מדידה באורך חוט 108 ס"מ :



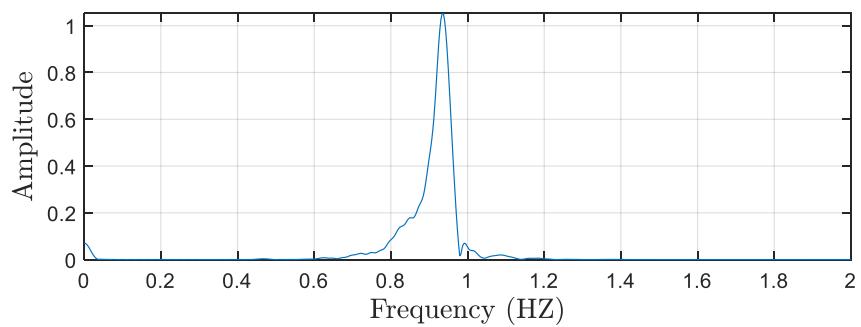
איור 26 : אות התאוצה לפני סינון



איור 27 : אות התאוצה אחרי סינון



איור 28 : ספקטרום אות התאוצה לפני סינון



איור 29 : ספקטרום אות התאוצה אחרי סינון

### **3.4.3. ניתוח תוצאות**

ניתן לראות שהצלחנו במידה טובה להוריד את הרעש מאות התאוצה בשלושת המדידות, הסיכון לא הכי מושלם ונשארו קצת רעשים שצמודים לאות לדוגמה איור 21, נשאר עוד פיק קטן שלא יכולנו לסנן בגלל המוגבלות ברוחב הפס של המサン שבמדיה והיינו מקטינים אותו יותר היה עלול להנחתה בצורה משמעותית את התדר הרלוונטי. לאחר שסינונו גם תדר DC התנודות של אות התאוצה בשלושת המדידות הפך להיות סביר האפס לדוגמה רואים איור 27.

לעתנו הסיכון המצליח ביותר יהיה עבור המדידה الأخيرة איור 27, האות סונן בלי עיוותים ורואים את התאוצה במדידה זו דועכת בצורה חלקה יותר מאשר המדידות.

רוב הסיכוי שבעיה זו נוצרת בגלל החוט הקצר יחסית וככל שהחוט קצר תדר התנודות גדול ונימנע להסתיק את זה מהנוסחה המקורבתת (1), מה שגורם לריבוד אינפורמציה על האות וליצור את העיוותים שהזכרנו.

האמפליטודה של תדר התנודות נשמר ולא הושפע כי רוחב הפס שבחרנו בשלושתם היה מספיק טוב כדי לסנן רעשים ולא לפגוע באמפליטודה של תדר זה.

### **3.4.4. מסקנות**

- בעורת התמרת פורייה ניתן לנתח את האות לפי התדרים שמרכיבים אותו וזה מקל את ביצוע הסיכון כאשר יודעים את התדרים שצורך לסנן.
- לא יתכן סינוון מושלם בגלל המוגבלות ברוחב פס, וסוג המサン שימושיים.
- ככל שאורך החוט קטן נוצרו עיוותים באות מה שגורם לאי דיווק בשזוזר מושלם.
- השימוש בחילון מסווג מהן Han עוזר להנחתה בצורה משמעותית את הרעשים שקרובים מאוד לתדר התנודות מבלי לפגוע באמפליטודה וכਮובן זהה גם תלוי בבחירה פרמטרים נכונים למサン.

### 3.5 השוואת בין ערכיהם נמדדים למחושבים

#### 3.5.1 אופן ביצוע

התחלנו את המשימה בחישוב האורכים של החוטים ע"י הנוסחה המקורבת (1) במקרה כאן חילכנו את המשטנה  $L$  שמהווה האורך, החישובים בוצעו לפי התדרים שקיבלו משלבים קודמים כלומר הערכים הנומריים ולאחר מכן יצרנו גרפ' אשר ציר  $X$  שלו הוא הערך הנמדד של החוטים וציר  $Y$  הערך המוחשב ויצרנו קו יחות  $X = Y$  וגם ביצענו השוואה זו על התדרים שהתקבלו אנליטית ונומרית כאשר ציר  $X$  הערך המוחשב אנליטית ו $Y$  הערך המוחשב נומרית וגם כן הוספנו קו יחות על מנת לראות את הסטייה.

$$L = \frac{g}{(2 \cdot \pi \cdot F)^2} [m]$$

3. נוסחה לחישוב אורך החוט.

התדרים שקיבלו ע"י חישוב אנליטי לפי הנוסחה (1)

- $F_1 = 0.7828$  (Hz) עבר מדידה עם אורך חוט 40.5 ס"מ
- $F_2 = 0.5677$  (Hz) עבר מדידה עם אורך חוט 77 ס"מ
- $F_3 = 0.4794$  (Hz) עבר מדידה עם אורך חוט 108 ס"מ

התדרים שקיבלו נומրית ואותם נציב בנוסחה (3)

- $F_1 = 0.7797$ (Hz) עבר מדידה עם אורך חוט 40.5 ס"מ
- $F_2 = 0.54626$ (Hz) עבר מדידה עם אורך חוט 77 ס"מ
- $F_3 = 0.46692$ (Hz) עבר מדידה עם אורך חוט 108 ס"מ

ערכים נמדדים של אורך החוטים :

$$L_1 = 40.5 \text{ (cm)} \quad \bullet$$

$$L_2 = 77 \text{ (cm)} \quad \bullet$$

$$L_3 = 108 \text{ (cm)} \quad \bullet$$

ערכים מחושבים של אורך החוטים :

•

$$L_1 = \frac{9.8}{(2 \cdot \pi \cdot 0.7797)^2} = 40.83 \text{ (cm)}$$

•

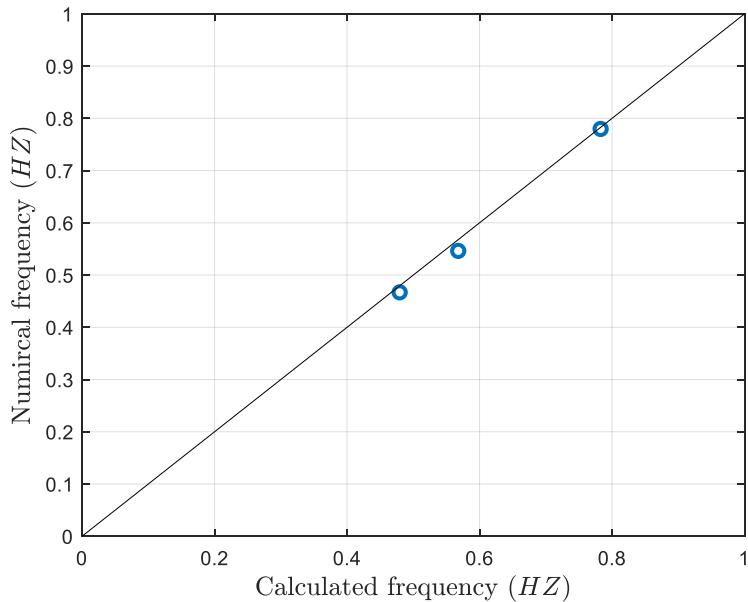
$$L_2 = \frac{9.8}{(2 \cdot \pi \cdot 0.54626)^2} = 83.189 \text{ (cm)}$$

•

$$L_3 = \frac{9.8}{(2 \cdot \pi \cdot 0.46692)^2} = 113.8626 \text{ (cm)}$$

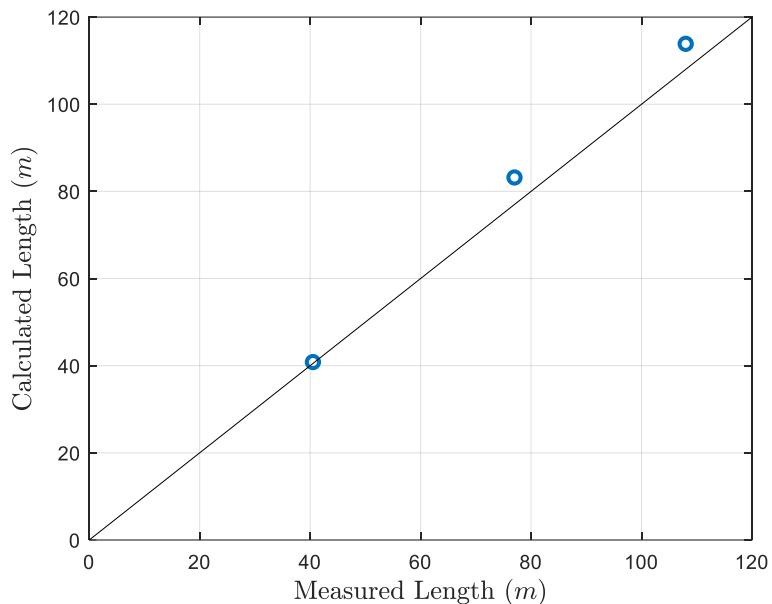
### 3.5.2. תוצאות

גרף שהתקבל עבור התדרים



איור 30 : גרף שמשווה בין הערכים התאורטיים  
לנומריים של תדרי התנודות שהתקבלו

גרף שהתקבל עבור אורך החוטים :



איור 31 : גרף שמשווה בין הערכים הנמדדים  
למחושבים של אורך החוטים

### **3.5.3. ניתוח תוצאות**

קיבלו סטייה קטנה בין הערך הנמדד למחושב של אורכי החוטים וגם בתדרים ואת זה רואים לפי קו הייחס וזו תוצאה צפואה כי גם יתכן ויש שגיאה במידידה עצמה וגם מחוסר דיק בчисובים וגם כן התוצאות הנומריות שאנו מקבלים לא אמורים להיות הcy מדויקות, וזו המטרה מכל הקירובים שאנו מבצעים ע"י החישובים הנומריים כך שבסוף אנו צריכים התוצאה במדויק ולא המושלמת.

### **3.5.4. מסקנות**

- הסטייה בין ערכיהם נמדדים למחושבים קטנה יחסית שיכולה לנבוע מאי דיק במידידות או בчисובים.
- אנו רואים לפי התוצאות שהתקבלו ולפי הנוסחה (1) שתדר התנוזות תלוי רק באורך החוט.
- לא יכולנו להסיק את המיקום של החישון במכשור מתוך התוצאות שהתקבלו.

## 4. סיכום ומסקנות כליות

### סיכום

במשימה אחרונה שלנו שסיכמה את מטרת הפרויקט ואת כל שלבי העבודה שעבר אותן והכלים שהשתמשנו בהן חומרה והן תוכנה, קיבלנו את התוצאות הצפויות ברמת דיווק טובה ולכל שלב ושלב בפרויקט היה לו חשיבות באותו מידה, תחילת באופן ביצוע הפרויקט וחולקת המשימות בין חברי הקבוצה, בחירת ארכיטקטורת החוטים שהשתמשנו בהם על מנת לתלות את המכשיר הנידוד ולתת לו להתנדנד עד עצירה מלאה, למקורות שהשתמשנו בהם ובנקודה זו חוברת ההקורס לῆח את הגדול בהבנת החומר והפעולות שאנו מבצעים על אותן ולאחר מכן בחירת החישון שקלטנו ממנו את התונונים שבוצעו באפליקציה מطلب במכשיר הנידוד ומארח מן העברותם לתוכנת מطلب במחשב ומכאן התחלו חלקו של התוכנה נטו.

התחלו אותו בחילוץ המידע שאנו צריכים מתוך קובץ המדידות הצגת אותן שהתקבלו כמו התואצה בשלושת הציריים, ובחירת ציר מסוים כדי לבצע עליו את כל המשימות כמו איחוד מרוחחי זמן דגימה והעלאת תדר הדגימה ע"י הפקודה `spline` והציג אותן לפני ואחרי איטרפולציה, חישוב התמרת פוריה בדידה דרך האלגוריתם המובנה `fft` והציג ספקטרום אותן, הפחתת הגליות בספקטרום ע"י הכפלת אותן שלנו שהוא סופי בזמן בחלון `hamming` והשווות הספקטרום המתתקבל עם הקודם, ונקודת זו עזרה לנו להבחן בתדר שמחפשים ולאחר מכן בניה מסנן שייננה על הדרישה לסייע给她 אותן מרשע, וגם השווינו בין הספקטרום לפני ואחרי סינון ובסוף הגיעו לשימורה לאחרונה שזכרנו אותה בתחלת הסיכום ובשלב זה השווינו בין הערכיים המוחשבים לנמדדים, גם תדרי התונודות וגם ארכיטקטורת החוטים שהתקבלו כמו הנ"ל קיבלנו סטייה קטנה שיכולה לנבוע מאי דיווק בחישובים או במידידות, וגם כן ייתכן ובחירהנו לפרמטרי המננים שהשתמשנו גרמה לסטייה זו ובגදול קיבלנו תוצאות טובות.

### מסקנות

- דגימה במרוחחי זמן לא אחד יכול לגרום לעיוותים באות ולאבד אינפורמציה עליו.
- בעזרת אינטראפלציה מסדר שלישי ניתן לתקן את השגיאות שנגרמו מרוחחי זמן דגימה לא אחד ולקבל תוצאות מדויקות במידה טובה.
- ע"י העברת אותן ממישור הזמן למידור התדר, ניתן לראות את התדרים שמרכזים את אותן ולנתח אותן לפי הדרישה שלנו וגם כן לראות את הרושים שנכללים בו.
- אותן סופי בזמן מוכפל בחלון מה שיצרך לנו בעיית הגליות בתדר, אשר תפיע עלנו בניתוח במישור התדר.
- ככל שכמות הגליות גדולה מספר החישובים גדול בהתאם וכמות החישובים של גליות קבועה קטן מגליות משתנה, ואת זה רואים כאשר בוחרים לדוגמה במסנן עם הנחתה חזקה באיזור שרוצים לנו.
- הכפלת בחלון לא מבני יכול לעזור בהפחחת הגליות ולשפר את יכולת הבדיקה בין אותן המדידות לגליות ורושים מסביב.
- בחירת סוג המסנן, שיטת הסינון ופרמטרי המסנן הינו חלק חשוב בהצלחת הניסוי ולקבלת התוצאות הצפויות.
- התוצאות שמתתקבלות לאחר כל המדידות, פעולות, חישובים וקירובים שבוצעו לא בהכרח מדויקות המאה אחוז אלה תהיה סטייה וככל שנדיק בביטויים נקבל תוצאות מדויקות יותר.

## 5. מקורות

מחברת הקורס [https://bykhov.github.io/dsp/DSP\\_Book.pdf](https://bykhov.github.io/dsp/DSP_Book.pdf) :

אתר <https://www.mathworks.com> : Mathworks