

Project 2: DSB Transmitter/Receiver

#	Description	Max Grade
PB.1	Provide list of items to be discussed (and add numbers of relevant slides)	2
PB.2	Create 2 DSB signals by using the following message signals: 1. Single Tone; 2. Two Tones DTMF signal (Use Digit "0")	18
PB.3	Provide graphs of the above 2 DSB signals in the TD and in the FD	10
PB.4	Implement "Ideal Mixer" and "Ideal Diode". Use "Coherent detector" and "exact" carrier frequency for demodulation Provide graphs for above 2 signals in the TD and FD explaining operation of the "Coherent Detector"	10
PB.5	Select and implement filter that filters out non-desired components created by "Coherent Detector". Describe process of the filter selection. Describe process of selection of the filter parameters. Provide explanatory graphs for above 2 DSB signals in the TD and FD	10
PB.6	Add pseudo random noise to the modulated "Two Tones DTMF signal". Use two levels of noise. Repeat steps PB2..PB5 for the signals with noise (mark slides as PB2n..PB5n) Use MATLAB Goertzel function to evaluate if the digit "0" can be reliably recognized	10
PB.7	Discuss results by using graphs from the point of view of EE	20
	Quality of the code and graphs explanations	20
	Total	100

תוכן עניינים

• מבוא	4
• (PB.2) DSB – SC Modulation.....	5-6
• (PB.3) DSB – SC Modulation graphs.....	7-9
• (PB.4) “ideal mixer” and “ideal mixer” (coherent detector).....	10-16
• (PB.5) Filtration	17-23
• (PB.6) Addition of noise	24-34
• (PB2n-PB3n)Modulation	25-27
• (PB4n-PB5n) Demodulation	28-33
• Goertzel algorithm	34
• (PB.7) Conclusions.....	35

מבוא:

- אפנון DSB, הינו שיטת אפנון בתחום התקשורת האנלוגית, כאשר האות המאפן הינו אות סינוסואידלי, האות המאופנן מורכב משני פסויים בלבד, ולא גל נושא.
- התדרים הינם: $f_m - f_c$ (LSB), $f_m + f_c$ (USB)
- היתרונות של שיטת אפנון זו שהוא יעליה יותר מבחינות הספק, מכיוון שאין צורך לשדר את תדר הנושא.
- חסרונו של שיטה זו שהוא דרושת מתאם בנקודות הקלייטה לשחזר הנושא, מה שמקשה על תהליכי הדמודולציה.
- אפנון DSB נפוץ במערכות רדיו, טלוויזיה ותקשורת אנלוגית מסורתית, למשל יש דוגמא מפורסמת של מכשיר קשר ישן ששימש צבאות רבים בעולם, שהוא PRC-47/AN.
- שימש את הצבא האמריקאי במהלך מלחמת וייטנאם ובתקופה שלאחריה, תמרק בתדרים 1.5-12 MHz ושידר בשיטות SSB, DSB-SC.
- האות נוצר באמצעות מיקסר שכפול את אות המידע (X) עם אות הנושא, (Y) והنتוצאה היא אות אפנון כולל שני צדדים ללא הנושא.
- דמודולציה: מתבצעת על ידי גלאי קוורנטטי המשתמש באותו אות נשא כדי לשחזר את אות המידע המקורי.

PB.2

Create 2 DSB signals by using the following message signals:

1. Single Tone; 2. Two Tones DTMF signal (Use Digit "0")

```
1 clc; clear; close all;
2 fs = 150e3; % Sampling frequency
3 t_duration = 1;
4 t = 0:1/fs:t_duration-1/fs; % Time vector (10 ms duration)
5 carrier_freq = 25000;
6 dtmf_freqs_0 = [941, 1336]; % DTMF "0"
7 single_tone = cos(2 * pi * 1000 * t); % 1 kHz sine signal
8 dtmf_tone = cos(2 * pi * dtmf_freqs_0(1) * t) + cos(2 * pi * dtmf_freqs_0(2) * t);%dtmf '0' signal
9 carrier = cos(2 * pi * carrier_freq * t);%carrier
10
11 %% time domain of message
12 figure(1);
13 subplot(2, 1, 1);plot(t, single_tone);title("time domain of single tone message");
14 xlabel("time [sec]");ylabel("Amplitude");xlim([0 0.01]);
15
16 subplot(2, 1, 2);plot(t, dtmf_tone);title("time domain of DTMF tone message");
17 xlabel("time [sec]");ylabel("Amplitude");xlim([0 0.01]);
```

הקוד מגדר וממחיש אוטות שונים במשורר הזמן. תחילה, הוא מגדר את תדר הדגימה fs של 150 קילו-הרץ ואת וקטור הזמן t למשך שנייה אחת. לאחר מכן, הוא יוצר שלושה אוטות:

- אות סינוס יחיד (`single_tone`) בתדר של 1 קילו-הרץ.
- אות DTMF המיציג את הספירה "0" (`dtmf_tone`), הנווצר כסכום של שני אוטות סינוס בתדרים 941 הרץ ו-1336 הרץ.
- גל נשא (`carrier`) בתדר של 25 קילו-הרץ.

לבסוף, הקוד מציג גרף של אוטות הסינוס וה-DTMF במשורר הזמן.

PB.2

```
19 %% frequency domain of message
20 figure(2);
21 % Compute the FFT of single tone
22 N = length(single_tone); % Number of points
23 spectrum_ST = abs(fft(single_tone))/N; % Compute FFT
24 fd_st = (0:N-1)*(fs/N); % Frequency vector
25
26 % Compute the FFT of DTMF tone
27 N = length(dtmf_tone); % Number of points
28 spectrum_DTMF = abs(fft(dtmf_tone))/N; % Compute FFT
29 fd_DTMF = (0:N-1)*(fs/N); % Frequency vector
30
31 subplot(2, 1, 1);plot(fd_st, spectrum_ST);title("frequency domain of single tone masagge");
32 xlabel("Frequency [HZ]");ylabel("Amplitude");xlim([0 fs/50]);
33
34 subplot(2, 1, 2);plot(fd_DTMF, spectrum_DTMF);title("frequency domain of DTMF tone masagge");
35 xlabel("Frequency [HZ]");ylabel("Amplitude");xlim([0 fs/50]);
36
37 %tx_part_PB2
38 dsb_single_tone = single_tone .* carrier;
39 dsb_dtmf = dtmf_tone .* carrier;
```

קוד מחשב את התמרת פורייה (FFT) של שני האותות: האות הסינוסי (single_tone) ואות ה-DMTF. לאחר והتمרת פורייה נותנת ערכים מרוכבים, משתמשים בפונקציה `abs` כדי לקבל את הגודל (Amplitude Spectrum). לאחר מכן מחלקים את הערכים במספר הנקודות `N` כדי לנורמל את האמפליטודה. מגדרים וקטור תדרים `fd_st` ו- `fd_DTMF` בהתאם לתדר הדגימה `fs`. לאחר שהציגו את אותן המדיעות נבצע כפל של האותות עם גל נשא בתדר 25 קילו-הרץ, פעולה שמצויה את הספקטרום שלם לאזור תדרים גבוה יותר, כחלק משיטת שידור (DSB - Double Sideband Modulation).

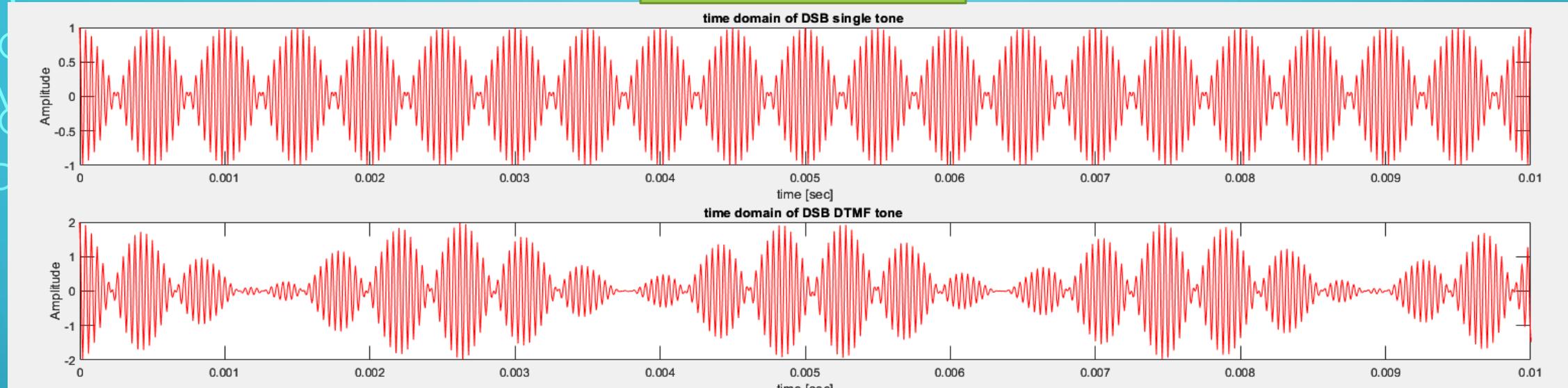
PB.3

Provide graphs of the above 2 DSB signals in the TD and in the FD

```
41 %PB3
42 %% DSB time domain
43 figure(3);
44 subplot(2, 1, 1);plot(t, dsb_single_tone,'r');title("time domain of DSB single tone ");
45 xlabel("time [sec]");ylabel("Amplitude");xlim([0 0.01]);
46
47 subplot(2, 1, 2);plot(t, dsb_dtmf,'r');title("time domain of DSB DTMF tone ");
48 xlabel("time [sec]");ylabel("Amplitude");xlim([0 0.01]);
49
50
51 %% DSB frequency domain
52 figure(4);
53 % Compute the FFT of single tone
54 N = length(dsb_single_tone); % Number of points
55 spectrum_DSB_ST = abs(fft(dsb_single_tone))/N; % Compute FFT
56 fd_st = (0:N-1)*(fs/N); % Frequency vector
57
58 % Compute the FFT of DTMF tone
59 N = length(dsb_dtmf); % Number of points
60 spectrum_DSB_DTMF = abs(fft(dsb_dtmf))/N; % Compute FFT
61 fd_DTMF = (0:N-1)*(fs/N); % Frequency vector
62
63 subplot(2, 1, 1);plot(fd_st, spectrum_DSB_ST,'r');title("frequency domain of DSB single tone");
64 xlabel("Frequency [HZ]");ylabel("Amplitude");xlim([20e3 fs/5]);
65
66 subplot(2, 1, 2);plot(fd_DTMF, spectrum_DSB_DTMF,'r');title("frequency domain of DSB DTMF tone");
67 xlabel("Frequency [HZ]");ylabel("Amplitude");xlim([20e3 fs/5]);
```

בקטע הקוד הבא אנו מציגים את האותות לאחר כפל בגל הנושא (DSB) ה-ן במרחב הזמן (Time Domain) והן במרחב התדר (Frequency Domain). ראשית, מוצגים הגרפים של האותות המשודרים במרחב הזמן. לאחר מכן, מחושב הספקטרום שלהם באמצעות התמרת פורייה (FFT), באופן דומה לחישוב שבוצע עבור אותות המידע המקוריים.

תמונה 3.1



מעטפת (Envelope) :

בגרף העליון (DSB של האות הסינוסי), ניתן לראות שמעטפת האות היא סינוס בעל תדר נמוך יחסית, בעוד שהתחון הפנימי (הרכיב התונודות) מורכב מתדר גבוה יותר, שהוא תדר הנשא (25 קילו-הרץ).

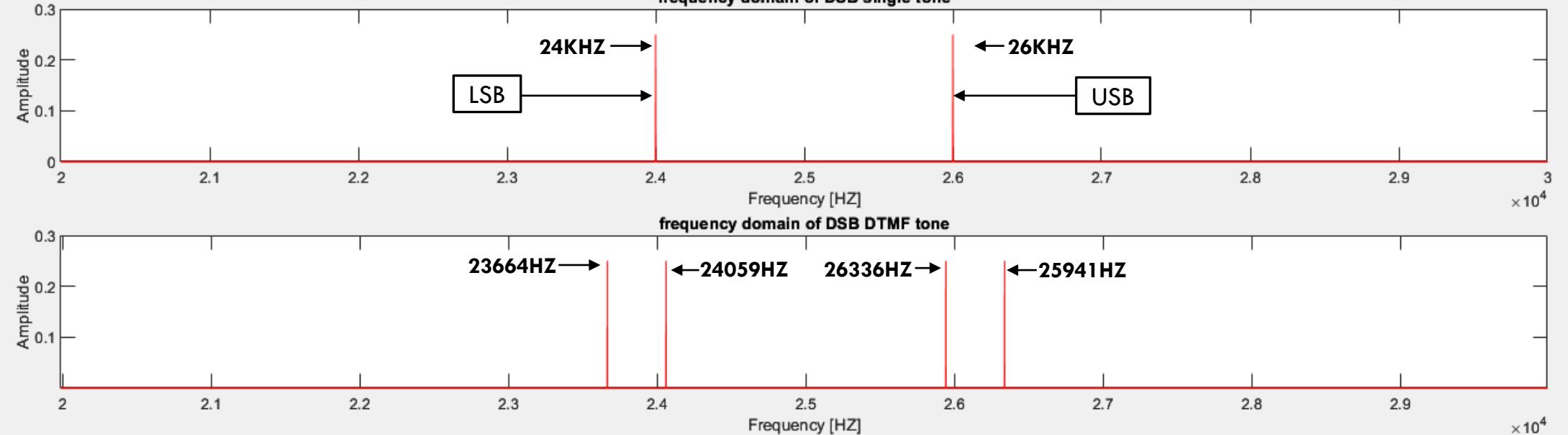
בגרף התחתון (DSB של אות ה-DTMF), המ�טפת נראית משתנה, מה שמעיד על כך שהיא מכילה שני תדרים שונים (941 Hz ו-1336 Hz), כפי שניתן לצפות מאות DTMF.

אפיון המודולציה:

התופעה שבה ניתן לראות את המ�טפת אך בפנים יש תנודות מהירות מצבעה על כך שהמודולציה בוצעה בהצלחה.

תמונה 3.2

frequency domain of DSB single tone



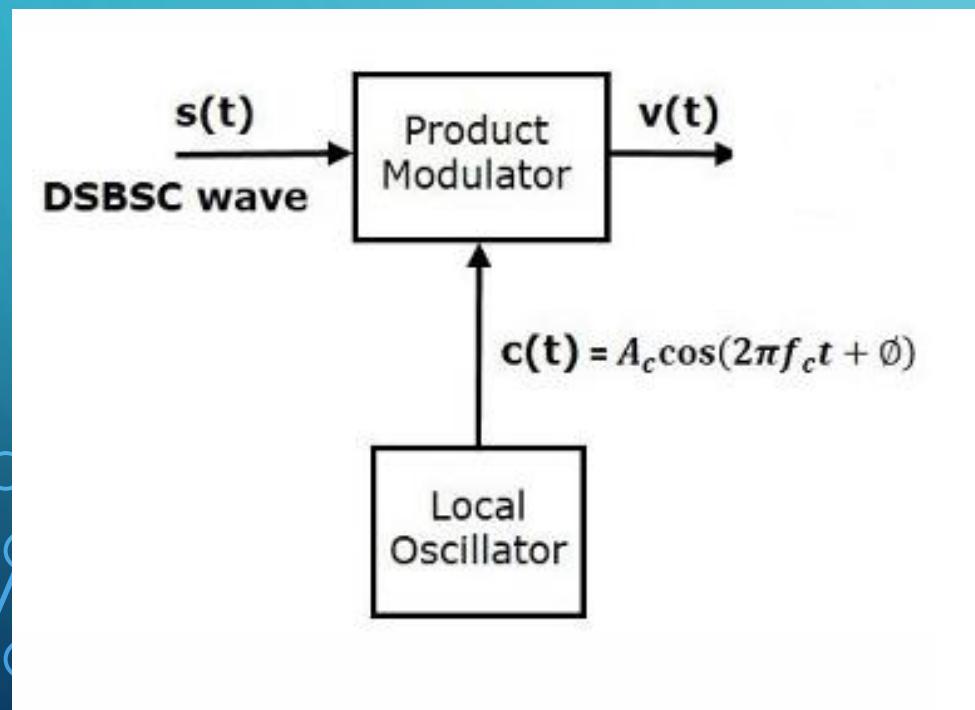
מכיון שהאותות הוכפלו בגל נושא בתדר 25 קילו-הרץ, הספקטרום שלהם מוזז לאזור תדרים גבוה יותר, ולכן הצגת הגрафים בתחום התדר מתמקדת בטוויה שמתחל מ-20 קילו-הרץ ומעלה.

נראה שזה מתקיים גם מבחינה תאורתית :

$$\cos(1K \cdot 2\pi t) \cdot \cos(25K \cdot 2\pi t) = 0.5 \cdot (\cos(26K \cdot 2\pi t) + \cos(24K \cdot 2\pi t))$$

ומכאן לאחר התמרת פורייה נקבל הלמים בתדרים של 24kHz ו-26kHz.

PB.4



זהו חלק מטהילר הדמודולציה (גלאי קוהרנטי).

- (t) S זה הסינגל שמקבל במקלט.
- (t) c זה נבחר את אותו תדר נשא כך שנוכל לזהות את המידע, בנוסף נדרש נדרש את אותה הפאזה.

לכן תדר הנשא יהיה 25000 הרץ.
הפאזה 0.

$$v(t) = s(t) * c(t)$$

(t) הינו פלט המיקסר
*-מסמן כפל, ולא קונבולוציה.

$$v(t) = \frac{A_c^2}{2} \cos \phi m(t) + \frac{A_c^2}{2} \cos(4\pi f_c t + \phi) m(t)$$

PB.4

Implement “Ideal Mixer” and “Ideal Diode”. Use “Coherent detector” and “exact” carrier frequency for demodulation
Provide graphs for above 2 signals in the TD and FD explaining operation of the “Coherent Detector”

```
69 %*****PB4*****
70 %rx_part
71 %% DIODE
72 diode_st=max(0,dsb_single_tone);
73 diode_dtmf=max(0,dsb_dtmf);
74
75 %% diode time domain
76 figure(5);
77 subplot(2, 1, 1);plot(t, diode_st,'g');title("time domain of Rectified Signal for Single Tone");
78 xlabel("time [sec]");ylabel("Amplitude");xlim([0 0.01]);
79
80 subplot(2, 1, 2);plot(t, diode_dtmf,'g');title("time domain of Rectified Signal for DTMF Tone");
81 xlabel("time [sec]");ylabel("Amplitude");xlim([0 0.01]);
82
83 %% diode frequency domain
84 figure(6);
85 % Compute the FFT of single tone
86 N = length(diode_st); % Number of points
87 spectrum_diode_ST = abs(fft(diode_st))/N; % Compute FFT
88 fd_st = (0:N-1)*(fs/N); % Frequency vector
89
90 % Compute the FFT of DTMF tone
91 N = length(diode_dtmf); % Number of points
92 spectrum_diode_DTMF = abs(fft(diode_dtmf))/N; % Compute FFT
93 fd_DTMF = (0:N-1)*(fs/N); % Frequency vector
94
95 subplot(2, 1, 1);plot(fd_st, spectrum_diode_ST,'g');title("frequency domain of Rectified Signal for Single Tone");
96 xlabel("Frequency [HZ]");ylabel("Amplitude");xlim([0 fs/2.5]);
97
98 subplot(2, 1, 2);plot(fd_DTMF, spectrum_diode_DTMF,'g');title("frequency domain of Rectified Signal for DTMF Tone");
99 xlabel("Frequency [HZ]");ylabel("Amplitude");xlim([0 fs/2.5]);
```

בקטע קוד זה, מבוצע שלב ראשוני בקליטת אותות
לאחר ששורדו באמצעות מודולציה DSB. השלב כולל
ישור (separation) באמצעות דiode ולאחר מכן הצגת
האותות בזמן ותדר.

הישור מתבצע על ידי לקיחת הערכים החיבויים בלבד של
האותות `dsb_single_tone` ו- `dsb_dtmf`, כלומר חלק
האות השליליים הופכים ל-0.

פעולה זו מדמה את התנהגות הדiode ברדיו AM: היא
אפשרת מעבר של המתח החיבוי בלבד.

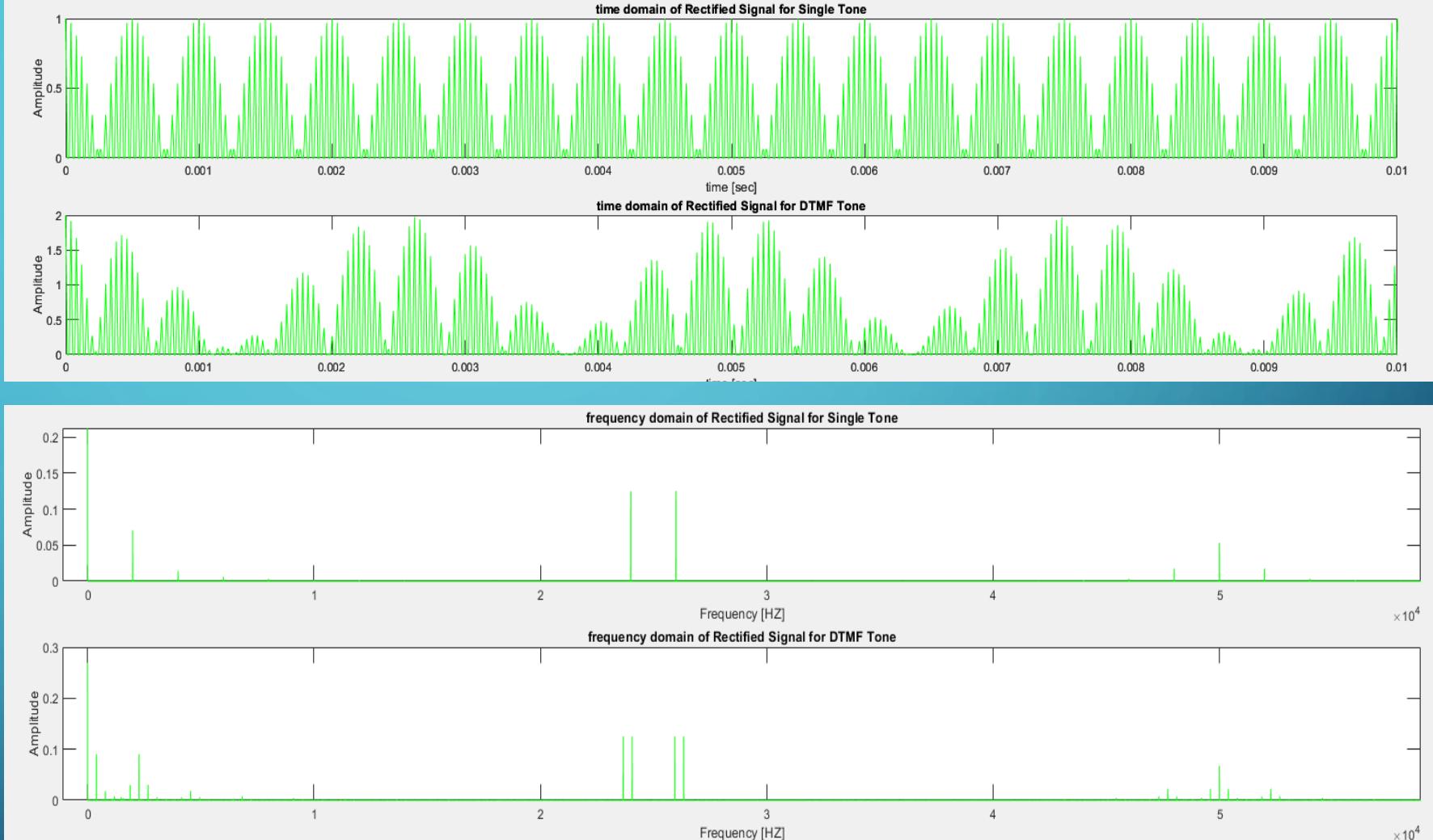
תוצאה זו משמרת את המעטפת של האות, אך עדין
מכילה את התדר הגובה של הנשא.

בקוד מימוש הדiode האידיאלית המבצעת בעזרת
פונקציית max(signal,0)

כאשר כל ערך קטן מ-0 באוטות DSB שהתקבלו הוא
מוחזק 0 ובכך מימשנו את הדiode האידיאלית.

תמונה 4.1

ניתן לראות שהאותות נחתכו בחלקים השליליים, כלומר כל הערכים השליליים הפכו לאפס. הצורה הכללית של האות דומה למעטפת המקורית של המידע. לאחר שנעשה מיקסר לאותות האלו נקבל תמונה ברורה יותר לתדרי האות.



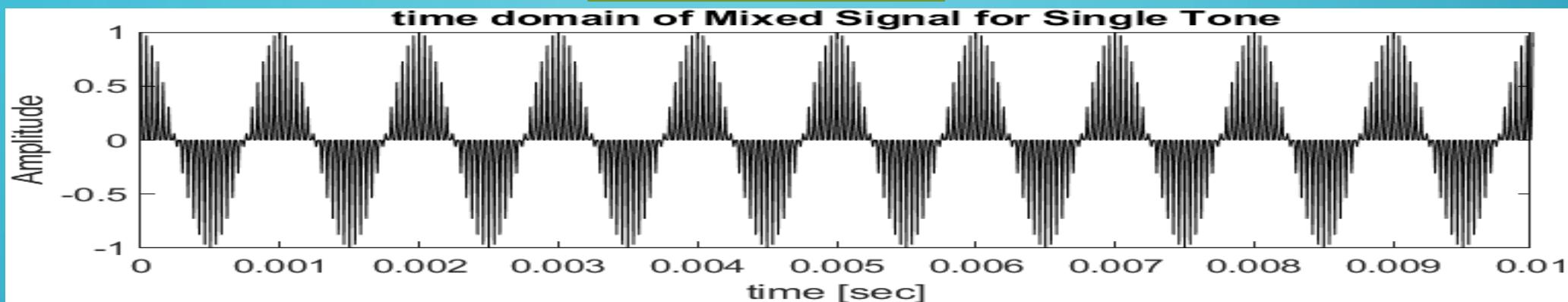
PB.4

```
106 %demodulation (Coherent detector)
107 mixer_single_tone=diode_st.* carrier;
108 mixer_dtmf=diode_dtmf.* carrier;
109
110
111 %%% MIXER time domain
112 figure(7);
113 subplot(2, 1, 1);plot(t, mixer_single_tone, 'k');title("time domain of Mixed Signal for Single Tone");
114 xlabel("time [sec]");ylabel("Amplitude");xlim([0 0.01]);
115
116 subplot(2, 1, 2);plot(t, mixer_dtmf, 'k');title("time domain of Mixed Signal for DTMF Signal");
117 xlabel("time [sec]");ylabel("Amplitude");xlim([0 0.01]);
118
119 %%% MIXER frequency domain
120 figure(8);
121 % Compute the FFT of single tone
122 N = length(mixer_single_tone); % Number of points
123 spectrum_mixer_ST = abs(fft(mixer_single_tone))/N; % Compute FFT
124 fd_st = (0:N-1)*(fs/N); % Frequency vector
125
126 % Compute the FFT of DTMF tone
127 N = length(mixer_dtmf); % Number of points
128 spectrum_mixer_DTMF = abs(fft(mixer_dtmf))/N; % Compute FFT
129 fd_DTMF = (0:N-1)*(fs/N); % Frequency vector
130
131 subplot(2, 1, 1);plot(fd_st, spectrum_mixer_ST, 'k');title("frequency domain of Mixed Signal for Single Tone");
132 xlabel("Frequency [HZ]");ylabel("Amplitude");xlim([0 fs/2.5]);
133
134 subplot(2, 1, 2);plot(fd_DTMF, spectrum_mixer_DTMF, 'k');title("frequency domain of Mixed Signal for DTMF Signal");
135 xlabel("Frequency [HZ]");ylabel("Amplitude");xlim([0 fs/2.5]);
```

בקטע קוד זה אנו מבצעים דמודולציה קוורנטית באמצעות מיקסר (כפל עם גל נושא) ולאחר מכן ננתח את התחום הזמן והתחום התדר של האותות המעורבים.

PB.4

תמונה 4.2



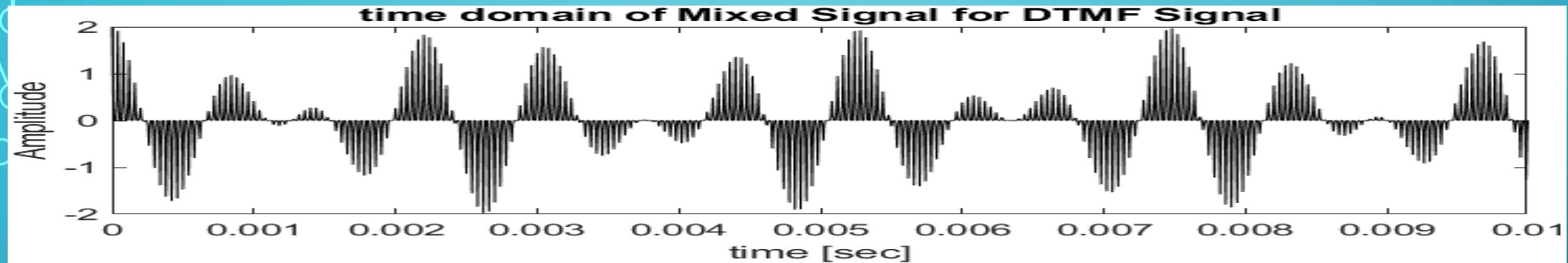
בגרף זה מוצג האות לאחר הכפלת בנושא (Carrier), מה שמכונה מיקסר (Mixer):
זהו האות המעורב של טון יחיד (Single Tone).

ניתן לראות תבנית מחזוריית ברורה, שבה יש מעטפות (Envelopes) בקצב נמוך יותר מהתדר הגבוה של הגל המונופ.

התוצאה היא שכפול של התדרים, הכולל את סכום והפרש התדרים של האות המקורי ושל הנושא.

PB.4

תמונה 4.3



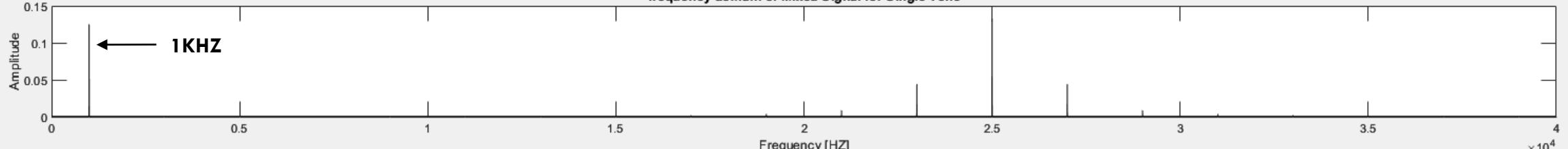
ניתן לראות כי הצורה יותר מורכבת מהגרף של טוֹן יחיד (Single Tone) , מכיוון שהוא מורכב משני תדרים שונים, וכאן בתוצאה מתקיים רכיבי תדר נוספים.

תדרות המשתנות של המעטפת תלויות בהפרש בין אותן המקור והנושא.

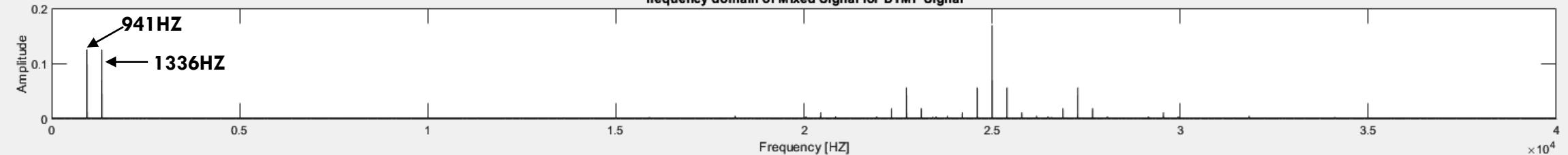
PB.4

תמונה 4.4

frequency domain of Mixed Signal for Single Tone



frequency domain of Mixed Signal for DTMF Signal



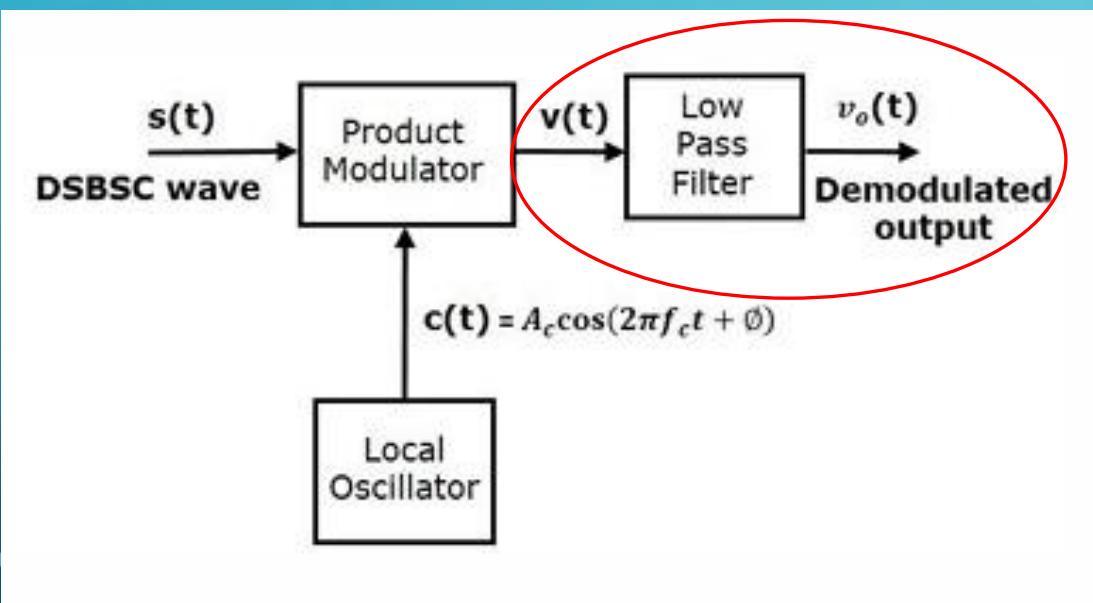
בגרפים ניתן לראות את הרכיב בתדר המקורי (Baseband) – זהו אותו המידע שמכיל את התדרים הרצויים לאחר הדМОודולציה.

בנוסף, ניתן לראות רכיבי תדר נוספים שמופיעים סביב תדר הנושא (25KHZ). רכיבים אלו נוצרים כתוצאה מתהילר הערבול (Mixing), שבו אותן מוכפל בתדר הנושא.

כדי לשחזר את אותו המידע המקורי, נשתמש במסנן מעביר נמוכים (Low-Pass Filter - LPF). המסנן יסיר את הרכיבים הגבוהים שנוספו על ידי המיקסר וישאיר רק את התדרים הנמוכים הרלוונטיים, המכילים את המידע המקורי.

PB.5

פה התייחסות לעיגול האדום.



המטרה היא שבמוצא הגלאי הקוורנטו הואות שיתקבל הוא יהיה זהה לאות המידע שישדרנו

$$v(t) = \frac{A_c^2}{2} \cos \phi m(t) + \frac{A_c^2}{2} \cos(4\pi f_c t + \phi)m(t)$$

ה-LPF, מסנן החוצה את החלק זהה.



המוצא שיוצא מה LPF הינו:

$$\frac{A_c^2}{2} \cos \phi m(t)$$

אצלו הזווית הינה שווה ל-0, לכן זהה **אות המידע חלק 2**, כי $AC=1$

PB.5

Select and implement filter that filters out non-desired components created by "Coherent Detector". Describe process of the filter selection. Describe process of selection of the filter parameters. Provide explanatory graphs for above 2 DSB signals in the TD and FD.

```
%*****PB5*****  
% Parameters for the LPF  
lpf_cutoff_freq = 1500; % Cutoff frequency for LPF (Hz) - Adjust based on your signal  
lpf_order = 6; % Filter order  
  
%Design the LPF using a Butterworth filter  
[b, a] = butter(lpf_order, lpf_cutoff_freq / (fs / 2), 'low'); % Normalize cutoff frequency  
%Apply the LPF to demodulated signals  
filtered_single_tone = filtfilt(b, a, mixer_single_tone);  
filtered_dtmf = filtfilt(b, a, mixer_dtmf);  
%fvtool(b, a, 'Fs', fs);  
  
%% filtered message time domain  
figure(9);  
subplot(2, 1, 1);plot(t, filtered_single_tone, 'm');title("time domain of filtered Single Tone");  
xlabel("time [sec]");ylabel("Amplitude");xlim([0 0.01]);  
  
subplot(2, 1, 2);plot(t, filtered_dtmf, 'm');title("time domain of filtered DTMF Tone");  
xlabel("time [sec]");ylabel("Amplitude");xlim([0 0.01]);  
  
%% filtered message frequency domain  
figure(10);  
% Compute the FFT of single tone  
N = length(filtered_single_tone); % Number of points  
spectrum_filtered_ST = abs(fft(filtered_single_tone))/N; % Compute FFT  
fd_st = (0:N-1)*(fs/N); % Frequency vector  
  
% Compute the FFT of DTMF tone  
N = length(filtered_dtmf); % Number of points  
spectrum_filtered_DTMF = abs(fft(filtered_dtmf))/N; % Compute FFT  
fd_DTMF = (0:N-1)*(fs/N); % Frequency vector  
  
subplot(2, 1, 1);plot(fd_st, spectrum_filtered_ST, 'm');title("frequency domain of filtered Single Tone");  
xlabel("Frequency [HZ]");ylabel("Amplitude");xlim([0 fs/50]);  
  
subplot(2, 1, 2);plot(fd_DTMF, spectrum_filtered_DTMF, 'm');title("frequency domain of filtered DTMF Tone");  
xlabel("Frequency [HZ]");ylabel("Amplitude");xlim([0 fs/50]);  
  
% Plot frequency response of the LPF  
figure(11);  
freqz(b, a, 1024, fs); % Frequency response of the filter  
disp("")  
title('Frequency Response of the Low-Pass Filter');  
xlabel('Frequency (Hz)');  
ylabel('Magnitude (dB)');  
xlim([0 2500])  
grid on;
```

הקוד מבצע סינוןאותות דמודולציה כדי להסיר את רכיבי תדר גבוהים שהתווסף במהלך תהליך הערבול.

הוא משתמש במסנן Butterworth מעביר נמוכים (LPF) עם תדרות חיתוך של 1500Hz כדי להשאיר רק את האותות בתדרים הנמוכים הרלוונטיים.

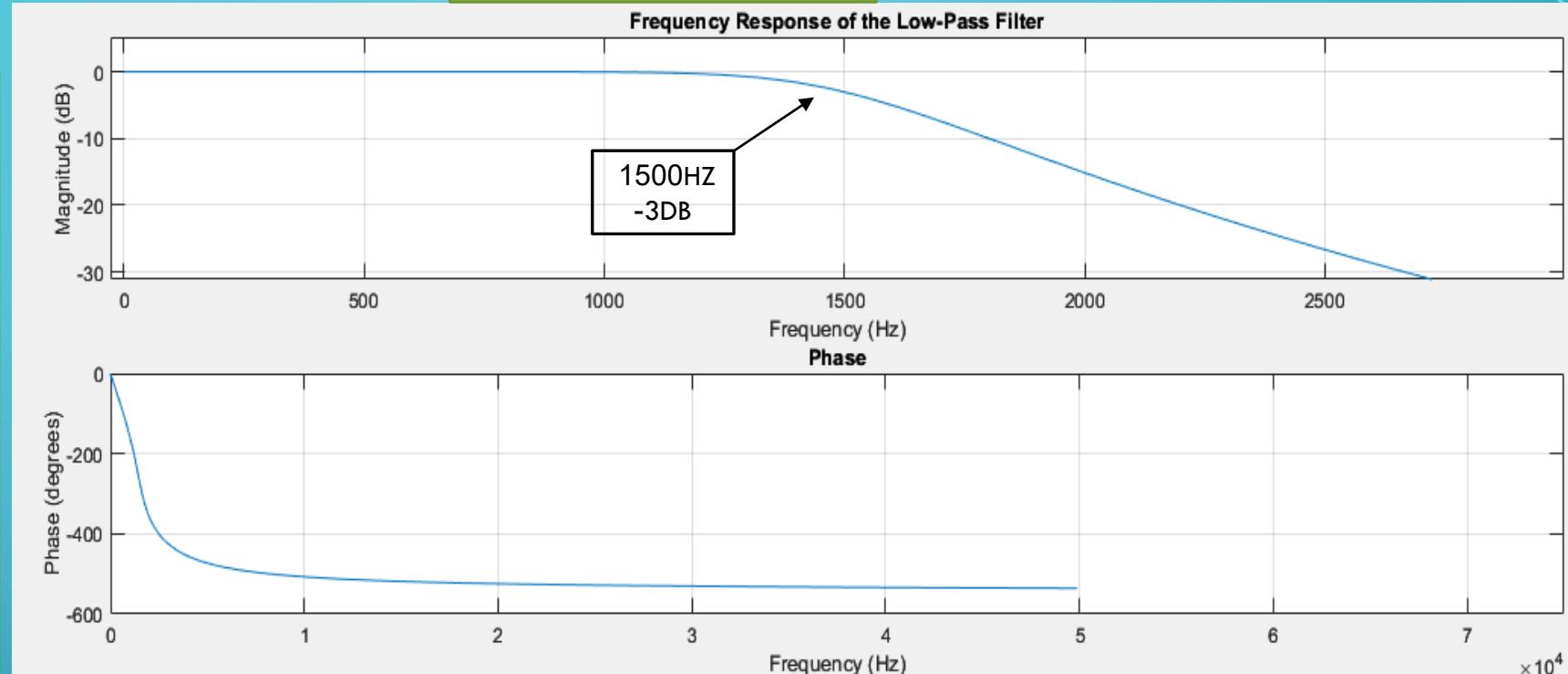
לאחר הסינון, מוצגים האותות המסוננים למרחב הזמן והתדר, ובנוסף מוצגת תגובה התדר של המסנן כדי להמחיש את ביצועיו.

PB.5

הגרף העליון מציג את תגובת העוצמה בדציבלים (dB) כפונקציה של תדר (Hz):

- בתדרים נמוכים (0-1000 הרץ), התגובה שטוחה על 0 דציביל, ככלומר תדרים אלו עוביים ללא שינוי העוצמה היא 0 דציביל (מסומנת בגרף)
- לאחר 1500 הרץ, יש ירידת הדרגתית, ככלומר תדרים גבוהים יותר מונחתים יותר
- הגרף התחתון מציג את תגובת הפאזה במלות כפונקציה של תדר:
- מתחילה ב-0 מעלות בתדרים נמוכים מאוד
- יש שינוי פאזה חד בהתחלה
- הפאזה ממשיכת לרדת (נהיה יותר שלילית)
- ככל שהתדר עולה מתחילה מינימום של -540 מעלות
- בסופו מתיצבת בסביבות 540 מעלות בתדרים הגבוהים

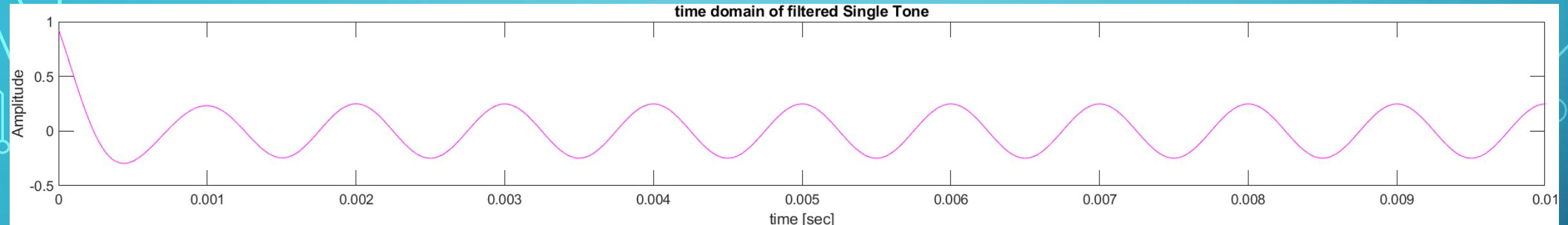
תמונה 5.1



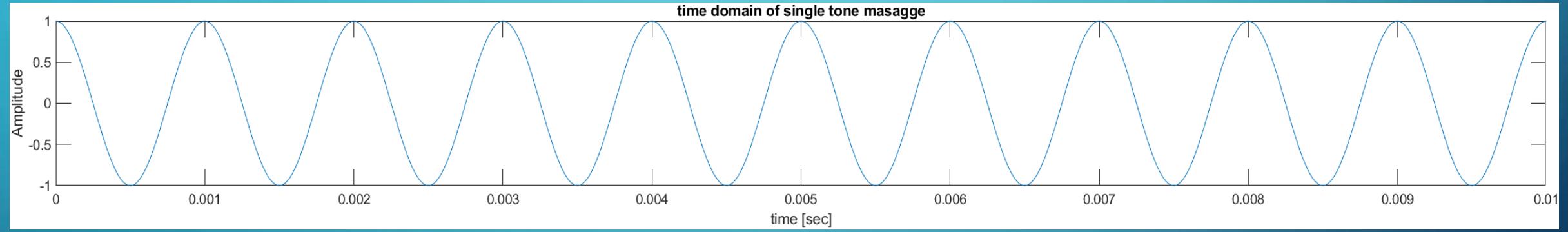
פרמטר	משמעות	הסיבה לבחירה
<code>lpf_order = 6</code>	סדר המסן קובע כמה חזק ומהר הוא מוחית את התדרים מעל לתדרות הקטוען.	אייזון בין סינון אפקטיבי לייציבות המסן, בלי לגורם לעיכוב גדול.
<code>lpf_cutoff_freq = 1500</code>	תדר קטוען	מסנן את הרכיבים מעל 1500 הרץ, כך שהאות המקורי נשאר נקי.
<code>butter(lpf_order, lpf_cutoff_freq / (fs/2), 'low')</code>	יצירת מסן Butterworth שהוא מסוג II ומסנן מעביר נמוכים LPF	מסנן חלק ללא גלים חדים בתחום המעבר. וסיבת הבחירה למסנן מעביר נמוכים מכיוון שאותות המידע נמצאים באיזור ה-baseband.

תמונה 5.2

time domain of filtered Single Tone



time domain of single tone masage

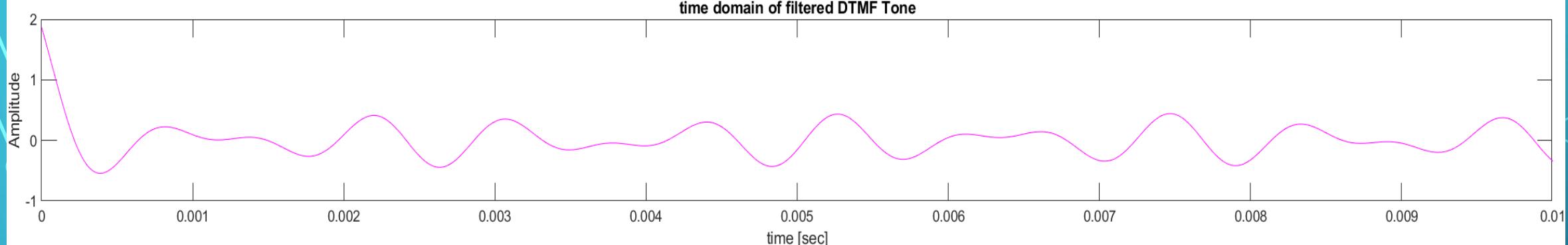


במהלך אפנון DSB, המידע שעובר נשאר זהה לאות המקורי, כפי שציפינו. ההבדל היחיד בין אות המקור לאות שעבר את האפנון הוא במשרעת האות, שהיא השתנה. הגраф העליון הוא האות שעבר אפנון DSB והגרף התחתון זה האות המקורי.

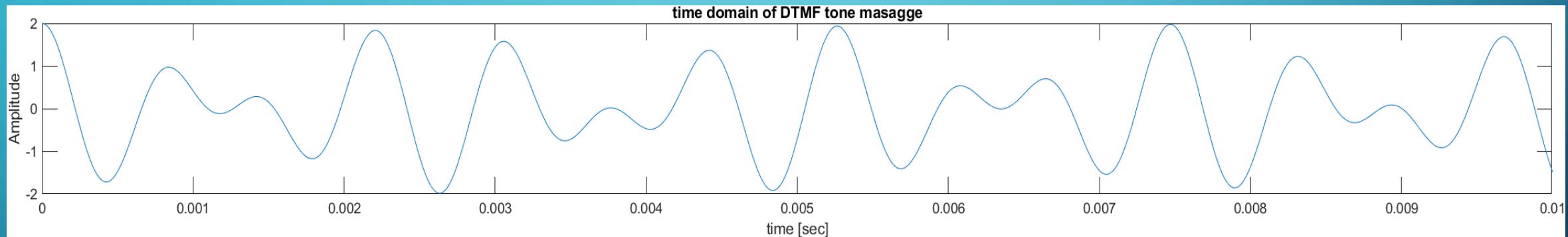
PB.5

תמונה 5.3

time domain of filtered DTMF Tone



time domain of DTMF tone masage

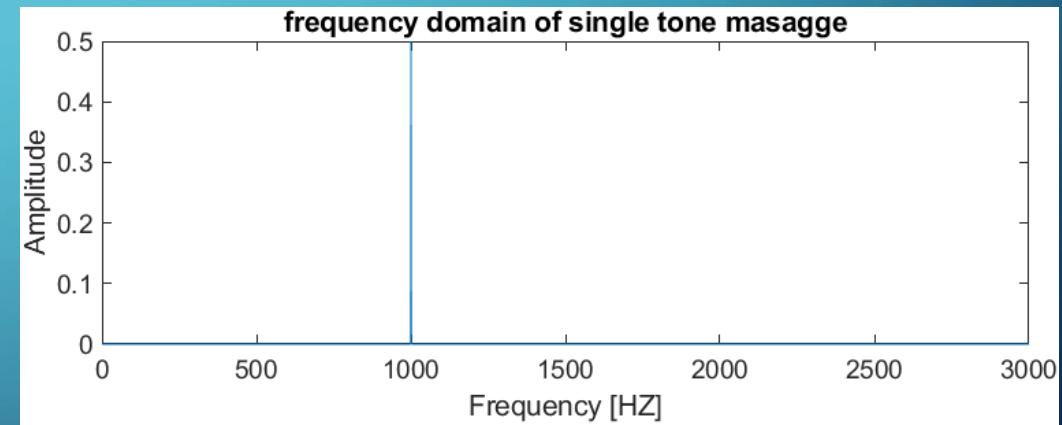
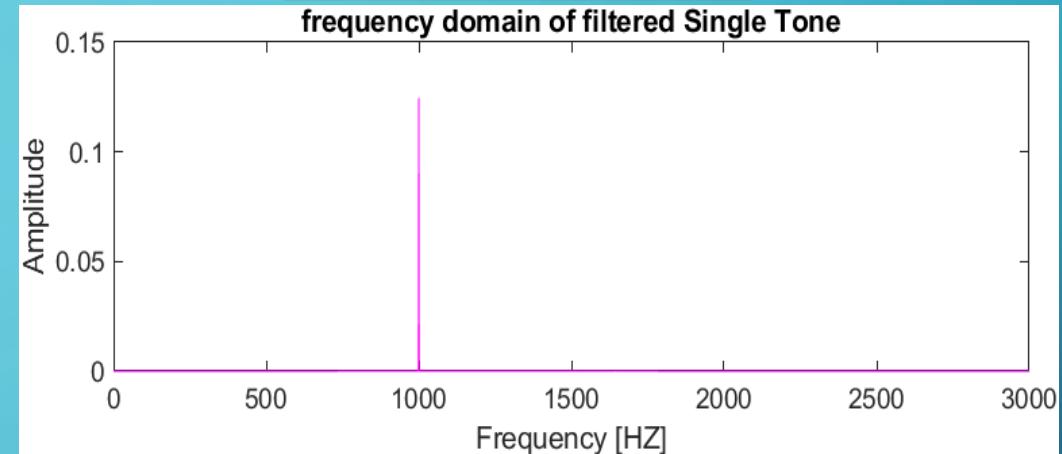


במהלך אפנון DSB, המידע שעובר נשאר זהה לאות המקורי, כפי שציפינו. ההבדל היחיד בין אותן המקור לאות שעבר את האפנון הוא במשרעת האות, שהיא השטנהה.
הגראף העליון הואאות שעבר אפנון DSB והגראף התחתון זהאות המקורי .

PB.5

ניתן לראות כי קיבלנו תדר זהה לאות המקור,
כאשר הגרפ' העליון הוא האות שעבר אפנון
DSB והגרף התחתון זה האות המקורי.
התדר של האות שעבר אפנון הוא 1000
הרץ כמו האות המקורי

תמונה 5.4



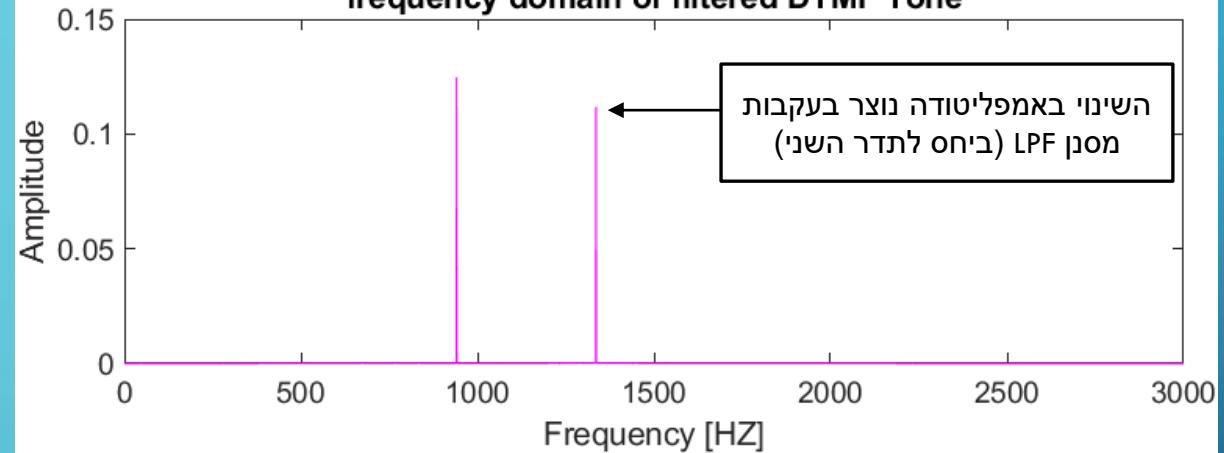
PB.5

ניתן לראות כי בלבו תדר זהה לאות המקור, כאשר הגראף העליון הואאות שעבר אפנון DSB והגראף התחתון זהאות המקורי.

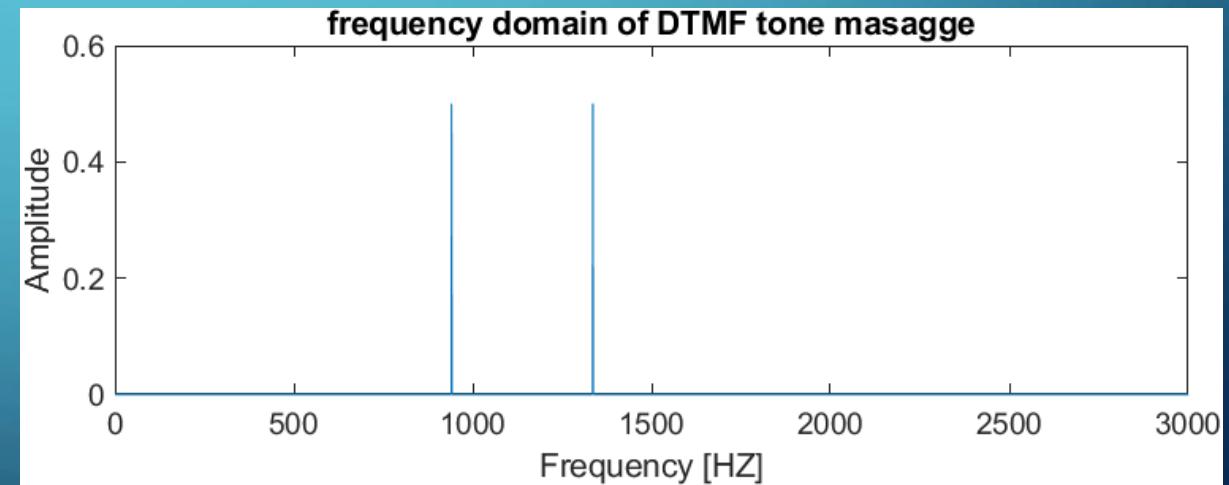
התדר של אות שעבר אפנון הוא 1336 הרץ ו- 941 הרץ כמו אות המקורי

5.5

frequency domain of filtered DTMF Tone



frequency domain of DTMF tone masagge



PB.6

Add pseudo random noise to the modulated "Two Tones DTMF signal". Use two levels of noise.
 Repeat steps PB2..PB5 for the signals with noise (mark slides as PB2n..PB5n)
 Use MATLAB Goertzel function to evaluate if the digit "0" can be reliably recognized

```

191 % PB6 %%%%%%%%%%%%%%
192 noise_levels=[1 100];
193 for i = 1:length(noise_levels)
194     % Add noise to signal
195     noise = noise_levels(i) * randn(size(dsb_dtmf));
196     noisy_dsb_dtmf = dsb_dtmf + noise;
197
198     %% DSB time domain
199     figure(11+i);
200     subplot(4, 2, 1);plot(t, noisy_dsb_dtmf,'r');
201     title(['time domain of noisy DSB DTMF tone (Noise Level = ' num2str(noise_levels(i)) ')']);
202     xlabel("time [sec]");ylabel("Amplitude");xlim([0 0.01]);
203
204     %%DSB frequency domain
205     % Compute the FFT of single tone
206     spectrum_DSB_DTMF = abs(fft(noisy_dsb_dtmf))/N; % Compute FFT
207     subplot(4, 2, 2);plot(fd_DTMF, spectrum_DSB_DTMF,'m');
208     title(['frequency domain of noisy DSB DTMF tone (Noise Level = ' num2str(noise_levels(i)) ')']);
209     xlabel("Frequency [HZ]");ylabel("Amplitude");xlim([20e3 fs/5]);
210
211     %% diode time domain
212     diode_dtmf=max(0,noisy_dsb_dtmf);
213     subplot(4, 2, 3);plot(t, diode_dtmf,'g');
214     title(['time domain of Rectified Signal for noisy DTMF Tone (Noise Level = ' num2str(noise_levels(i)) ')']);
215     xlabel("time [sec]");ylabel("Amplitude");xlim([0 0.01]);
216
217     %%diode frequency domain
218     spectrum_diode_DTMF = abs(fft(diode_dtmf))/N; % Compute FFT
219     subplot(4, 2, 4);plot(fd_DTMF, spectrum_diode_DTMF,'m');
220     title(['Frequency domain of Rectified Signal for noisy DTMF Tone (Noise Level = ' num2str(noise_levels(i)) ')']);
221
222     xlabel("Frequency [HZ]");ylabel("Amplitude");xlim([0 fs/2]);ylim([0 0.3]);
223
224     %% MIXER time domain
225     %demodulation (Coherent detector)
226     mixer_dtmf=diode_dtmf.* carrier;
227     subplot(4, 2, 5);plot(t, mixer_dtmf,'k');
228     title(['time domain of Mixed noisy Signal for DTMF Signal (Noise Level = ' num2str(noise_levels(i)) ')']);
229     xlabel("time [sec]");ylabel("Amplitude");xlim([0 0.01]);

```

```

230
231     %%MIXER freqency domain
232     spectrum_mixer_DTMF = abs(fft(mixer_dtmf))/N; % Compute FFT
233     subplot(4, 2, 6);plot(fd_DTMF, spectrum_mixer_DTMF,'m');
234     title(['Frequency domain of Mixed noisy Signal for DTMF Signal (Noise Level = ' num2str(noise_levels(i)) ')']);
235     xlabel("Frequency [HZ]");ylabel("Amplitude");xlim([0 fs/3.75]);ylim([0 0.3]);
236
237     %Apply the LPF to demodulated signals
238     filtered_dtmf = filtfilt(b, a, mixer_dtmf);
239     %% filtered massage time domain
240     subplot(4, 2, 7);plot(t, filtered_dtmf,'m');
241     title(['time domain of filtered noisy DTMF Tone (Noise Level = ' num2str(noise_levels(i)) ')']);
242     xlabel("time [sec]");ylabel("Amplitude");xlim([0 0.01]);
243
244     %%filtered dtmf freqency domain
245     spectrum_filtered_DTMF=abs(fft(filtered_dtmf))/N; % Compute FFT
246     subplot(4, 2, 8);plot(fd_DTMF, spectrum_filtered_DTMF,'m');
247     title(['Frequency domain of filtered noisy DTMF Tone (Noise Level = ' num2str(noise_levels(i)) ')']);
248     xlabel("Frequency [HZ]");ylabel("Amplitude");xlim([0 fs/50]);
249
250     %part6_goertzel
251     %Apply Goertzel Algorithm
252     N = length(filtered_dtmf);
253     y = abs(goertzel(filtered_dtmf))/N;
254     f_dm = (0:N-1)*(fs/N); % Frequency vector
255
256     figure(14);
257     subplot(2, 1, i);
258     plot(f_dm, y,'-o');
259     title(['Goertzel Output (Noise Level = ' num2str(noise_levels(i)) ')']);
260     xlabel('Frequency (Hz)');
261     ylabel('Amplitude');
262     xlim([0 fs/50])
263     grid on;
264 end

```

בקטע קוד זה עשינו את אותם השלבים כפי
 שעשינו בסעיפים הקודמים אך בקטע קוד זה אנו
 מוסיפים רעש והשוואת אות שמתתקבל בעזרת
 פונקציית goertzel ונבצע את השלבים רק עבור
 אות ה-DTMF.

PB2n

```
191 % PB6 %%%%%%
192 noise_levels=[1 100];
193 for i = 1:length(noise_levels)
194     % Add noise to signal
195     noise = noise_levels(i) * randn(size(dsb_dtmf));
196     noisy_dsb_dtmf = dsb_dtmf + noise;
```

בקטע קוד זה הוספנו רעש לאות DTMF המאופן

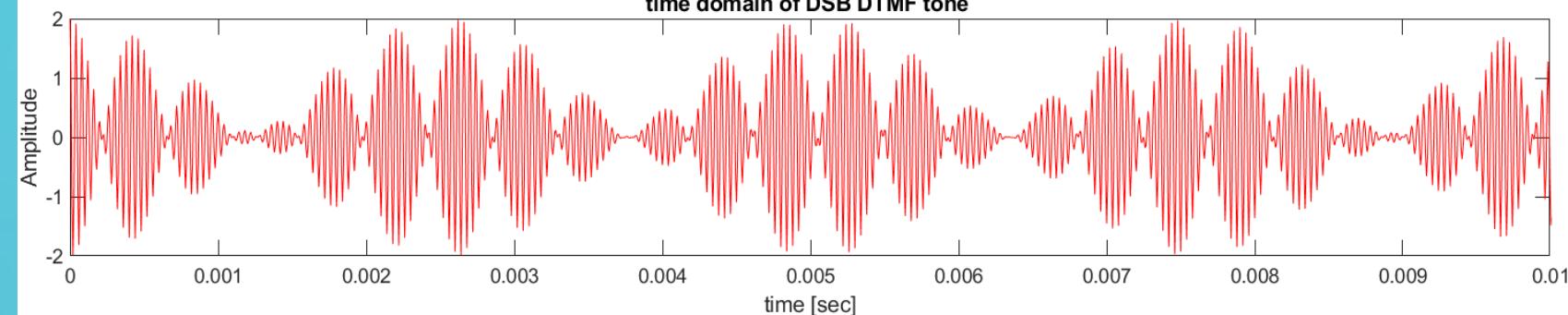
הגרף העליון – זהו האות המקורי ללא רעש. ניתן לראות צורת גל יחסית מסודרת, המורכבת משני תדרים שונים, כפי שמאפיין אותן DTMF.

הגרף האמצעי – האות לאחר הוספת רעש ברמה 1. ניתן לראות שהרעש מתחילה לעוזת את האות, אך עדין ניתן לזהות חלקים ממנו.

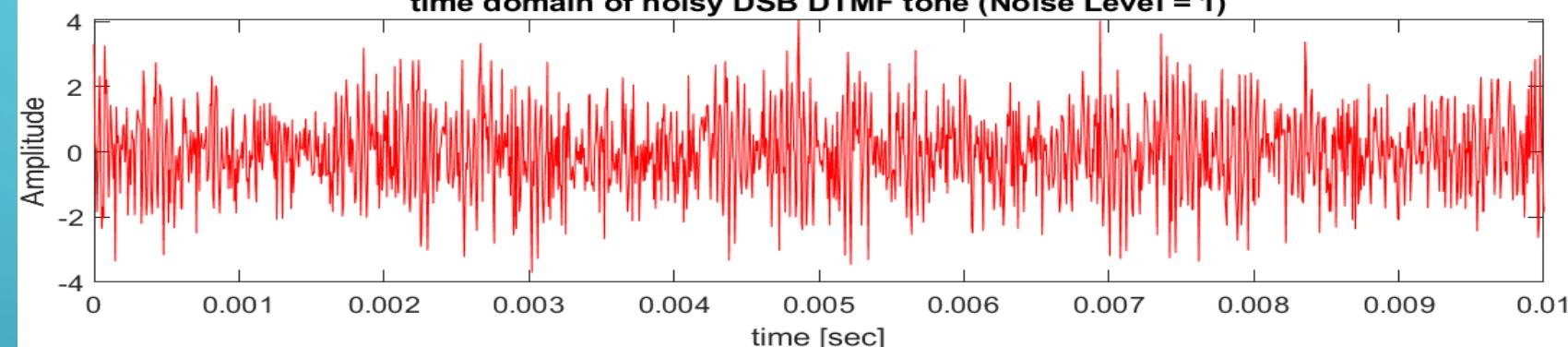
הגרף התיכון – האות לאחר הוספת רעש ברמה 100. כאן הרעש משמעותית מאוד ומשתלט על האות, כך קשה מאוד לזהות את התדרים המקוריים.

6.3.1

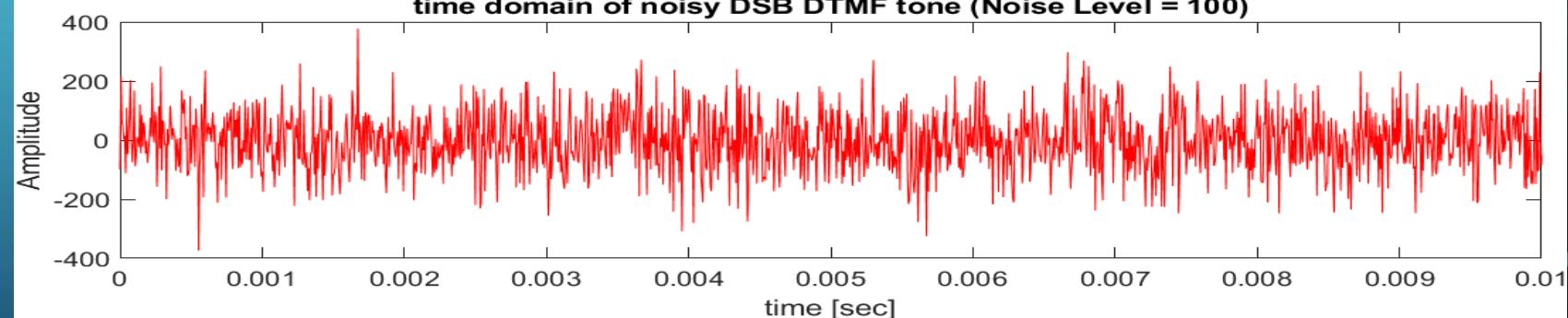
time domain of DSB DTMF tone



time domain of noisy DSB DTMF tone (Noise Level = 1)



time domain of noisy DSB DTMF tone (Noise Level = 100)



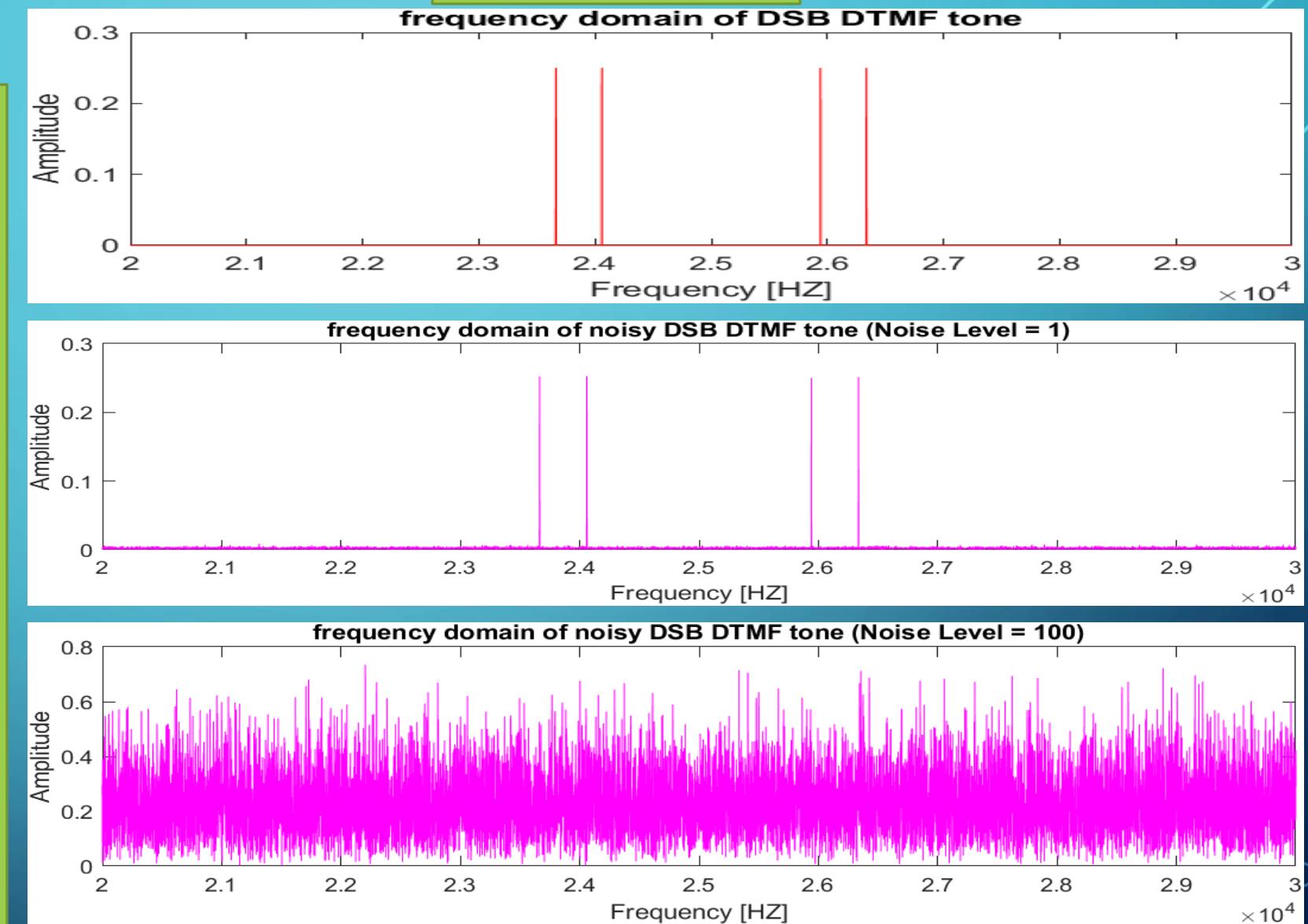
BB3n

הגרף העליון – זהו הספקטרום של האות ללא רעש. ניתן לראות שתי פסגות ברורות באזורי 24 קילו הרץ - 26 קילו הרץ, שהן התדרים של אות ה-DTMF. מאחר ומדובר באות DSB, ניתן לראות גם את התדרים הסימטריים ביחס לנקודות המרכז.

הגרף האמצעי – זהו הספקטרום של האות עם רעש ברמה 1. ניתן לראות שהפסגות המקוריות עדין קיימות וברורות, אך יש מעט הפרעות ורעש ברקע.

הגרף התחתון – זהו הספקטרום של האות עם רעש ברמה 100. הרעש דומיננטי מאוד, והפסגות של האות המקורי כמעט נבלעות בתוכו. ניתן לראות שהספקטרום הפך לרחב מאוד, דבר שמצויב על רעש חזק המשפיע על כל תחום התדרים.

6.3.2 תמונה



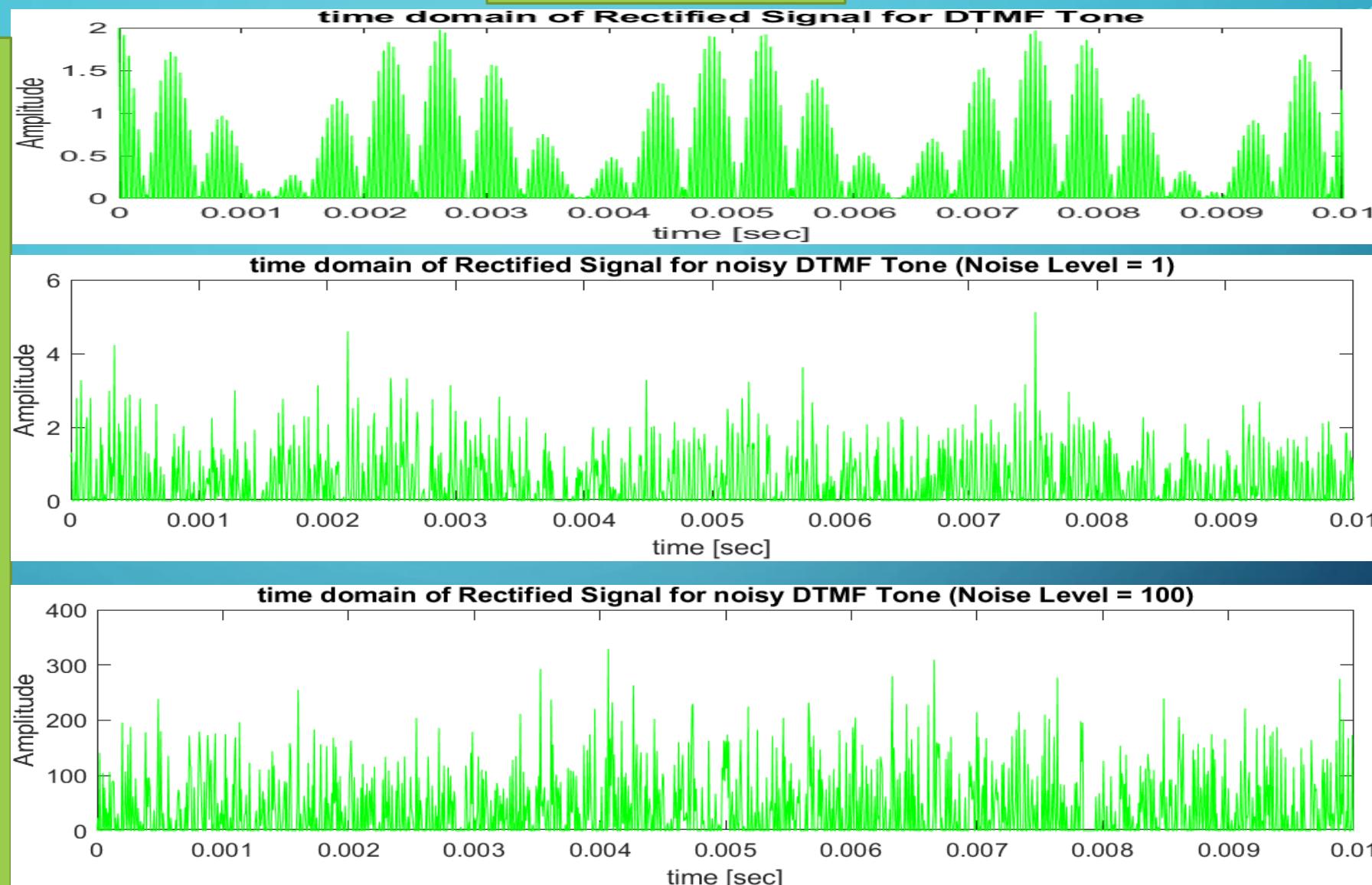
תמונה 6.4.1

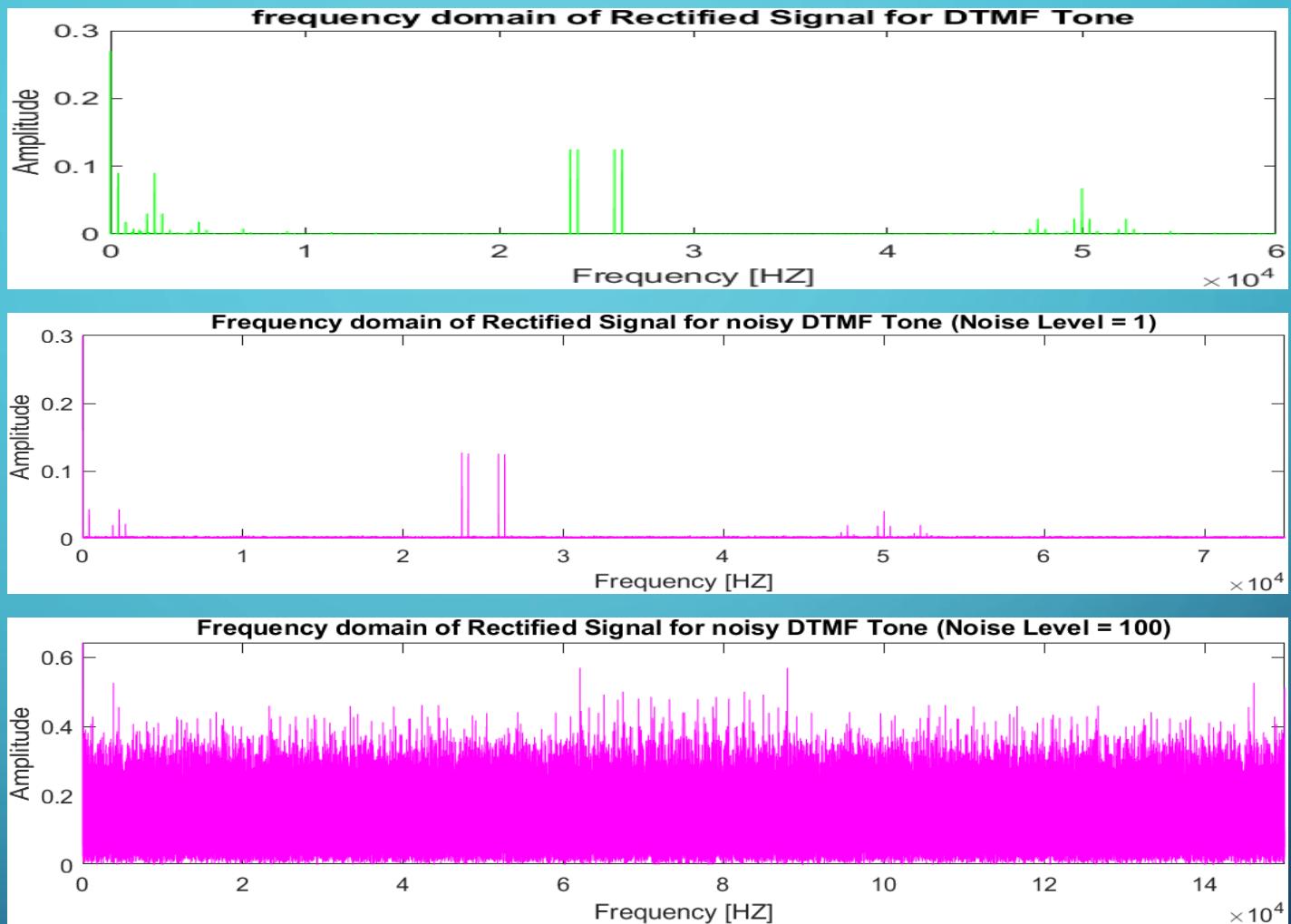
הגרפים מציגים את האות DTMF לאחר יישור (Rectification)

הgraf העליון – מציג את האות ללא רעש. ניתן לראות דפוס ברור של האותיות, עם עצמות משתנות לאורך הזמן, המשקפות את שילוב התדרים של ה- DTMF.

הgraf האמצעי – מציג את האות עם רעש קל. ניתן לראות שהצורה של האות עדין קיימת, אך יש יותר קפיצות ורעשים קטנים.

הgraf התיכון – מציג את האות עם רעש חזק מאוד. האות המקורי כמעט נבלע בתוך הרעש, והאmplיטודה קופצת לערכים גבוהים מאוד





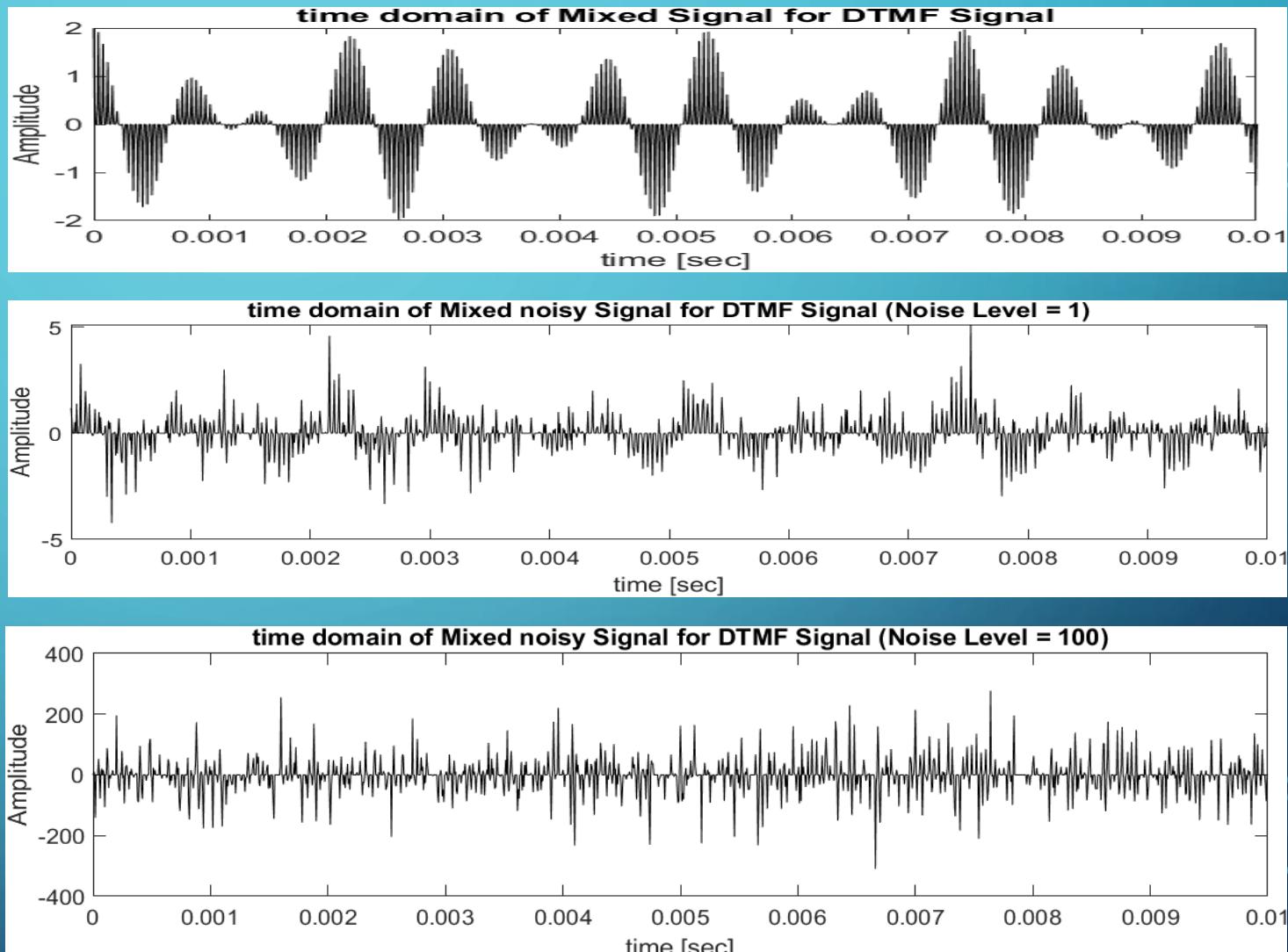
פה ניתן לראות ככל שעוצמת הרעש גדלה
לא ניתן להבין את התדרים שקיבלנו
לאחר השימוש בדיזודה.

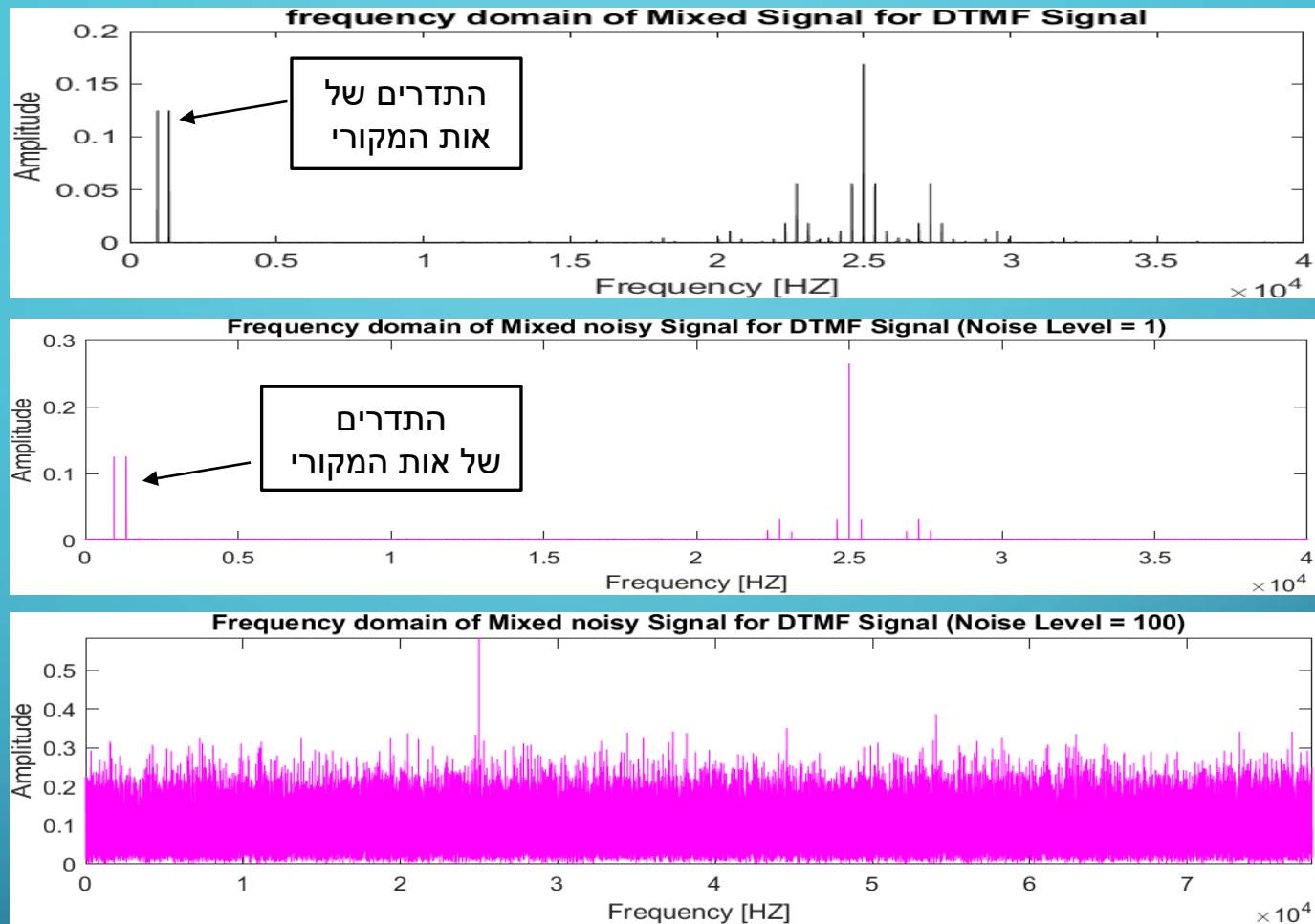
תמונה 3

הגרף העליון – זהו האות DTMF ש עבר תהליך של המיקסר לאחר שביצענו לאות ה -DSB שלו יישור, ניתן לראות את המבנה המחרורי של אותן הטוונ המשולב (כל מקטע מייצג ציליל מסוים בלוח המשקדים). האות נראית ברור ולא הפרעתו.

הגרף האמצעי – זהו האות לאחר הוספת רעש. ניתן לראות שהמבנה הכללי של האות עדין קיימת אר הרעש מוסיף עייפות קטנים באמפליטודה.

הגרף התיכון – במקרה הזה, הרעש חזק במיוחד. האות כמעט מוצף ברעש, וקשה לזהות בעין את התבנית המקורית.





הגרף הראשון מתאר לנו את התוצאה לאחר ביצוע המיקסר ללא רעשים.

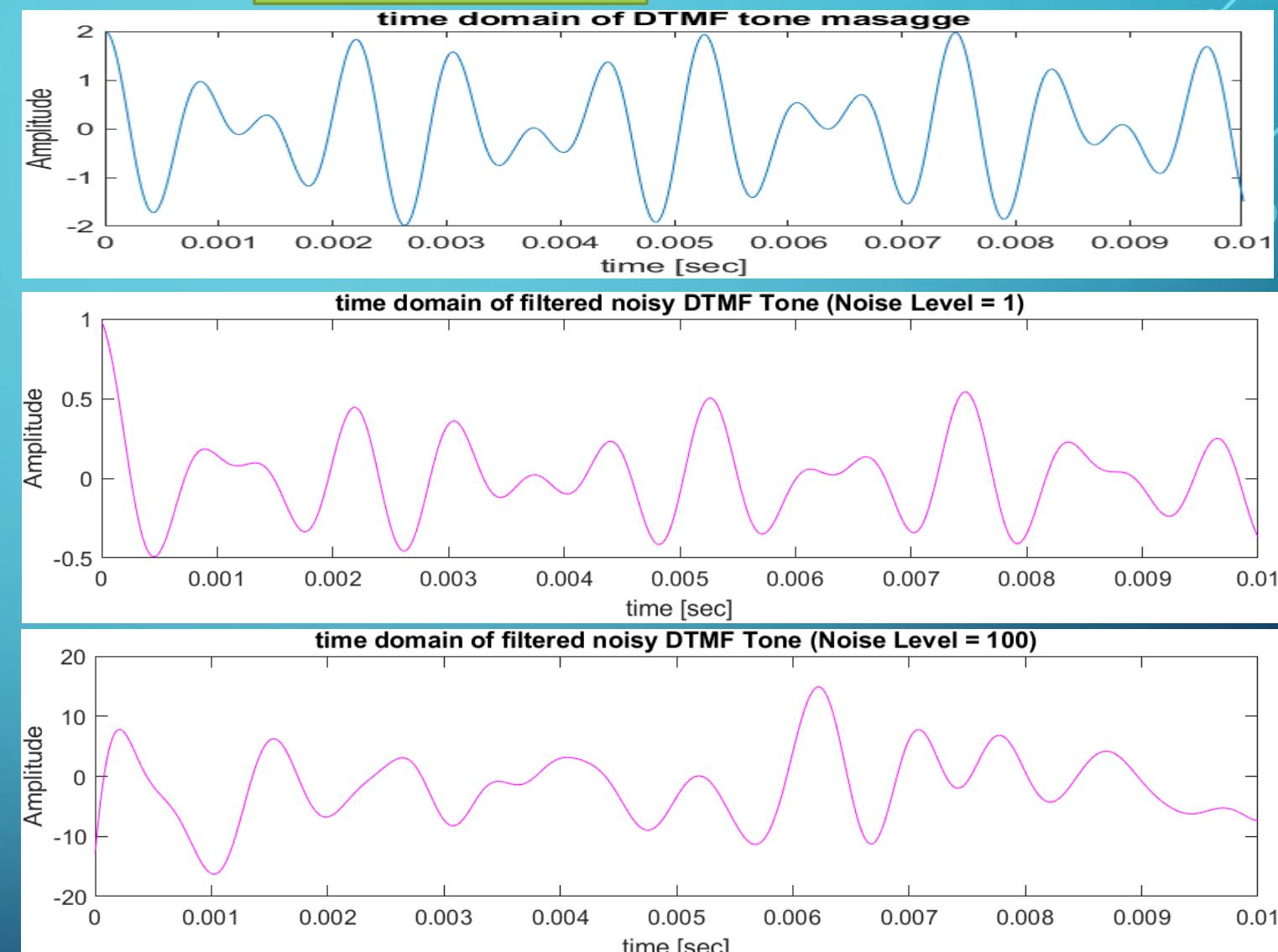
בgraf השני אפשר לראות את התדרים הרצויים שלנו. אפשר לבדוק ה�ן ה�ן האמצעי את התדרים של האות למורות הרעש, אך בgraf השלישי כאשר הגדלנו את הרעש לא ניתן לזהות את אות המקור, וכך שלאחר הסינוון לא נזהה את האות ששידרנו.

6.5.1

הגרף העליון – זהו האות המקורי של DTMF, ללא רעש או לאחר עיבוד ראשון. הוא נראה חלק וברור.

הגרף האמצעי – זהו האות הרועש לאחר סינון. ניתן לראות שהאמפליטודה ירדה משמעותית, כמו כן ניתן לראות סטיות קטנות בגרף מה שהתרחש בעקבות הרעש שנכלל באותן ארכידין ניתן לזהות את האות.

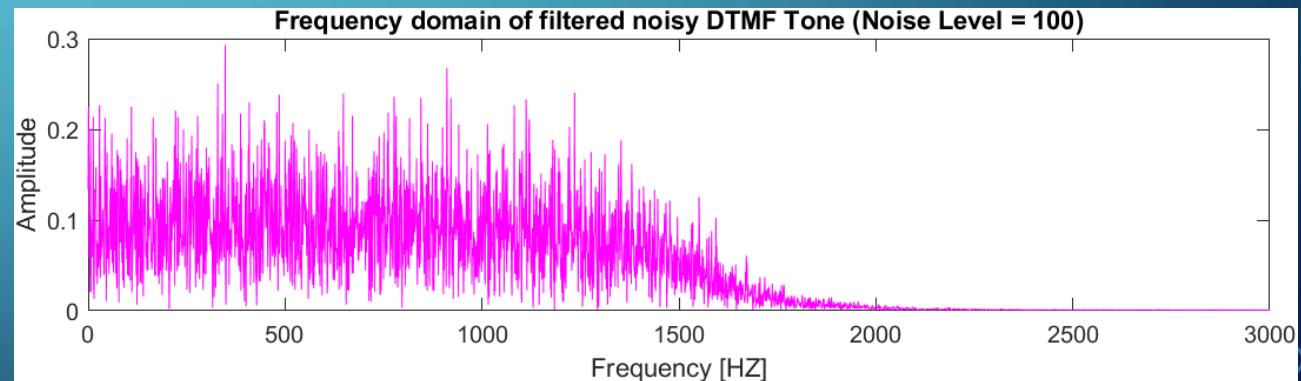
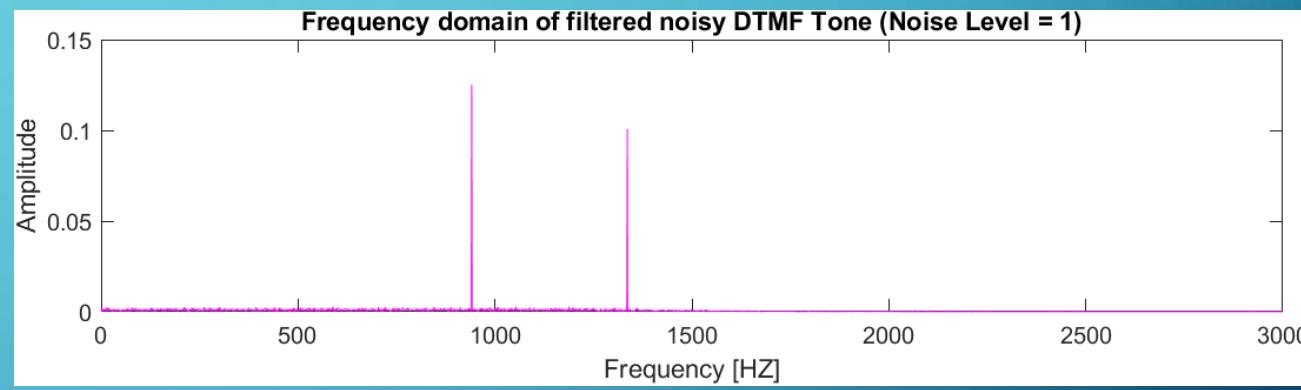
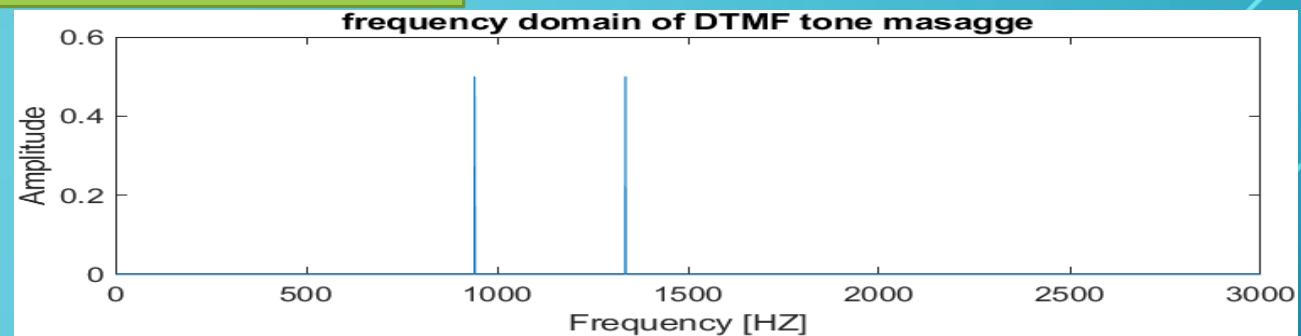
הגרף התחתון – בעקבות עוצמת הרעש הגבוה שיתווסף לאות ניתן לראות שאמפליטודה די גבוהה ולא ניתן לזהות את התצורה של האות DTMF המקורי כתוצאה מרמה גבוהה של רעש.



PB5n

כפי שציינו בשקף 32 ניתן לראות שלאחר הסינון של האות אנחנו יכולים לזהות בגרף השני את האות המקורי, אך בגרף השלישי לא נזהה בכלל את האות המקורי כפי שציפינו שיקריה בעקבות עצמת רעש גבוהה יותר.

תמונה 6.5.2



PB.6

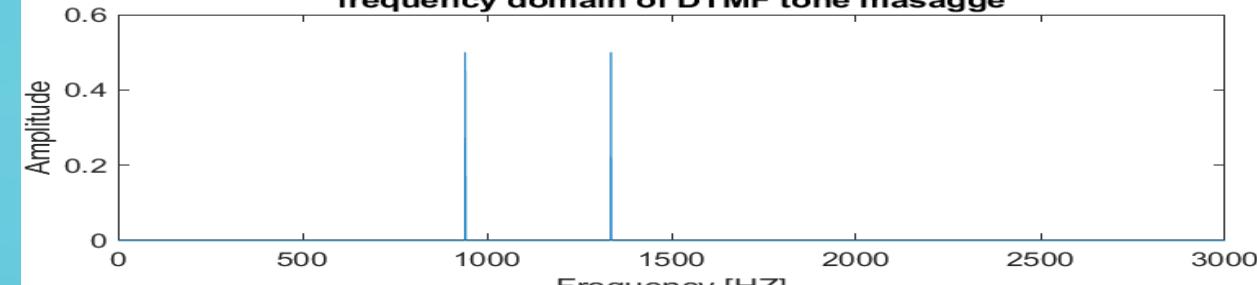
הגרף העליון – זהו ספקטרום ה-FFT של אות ה-DTMF המקורי. ניתן לראות בבירור שני רכיבי תדר עיקריים (שם התדרים של ה-DTMF שנשלח).

הגרף האמצעי (Goertzel עם רעש נמוך) – כאן ה- GOERTZEL זיהה היטב את שני התדרים של ה-DTMF למחרות רעש נמוך, מה שਮעיד על יעילות הזיהוי בתנאים טובים.

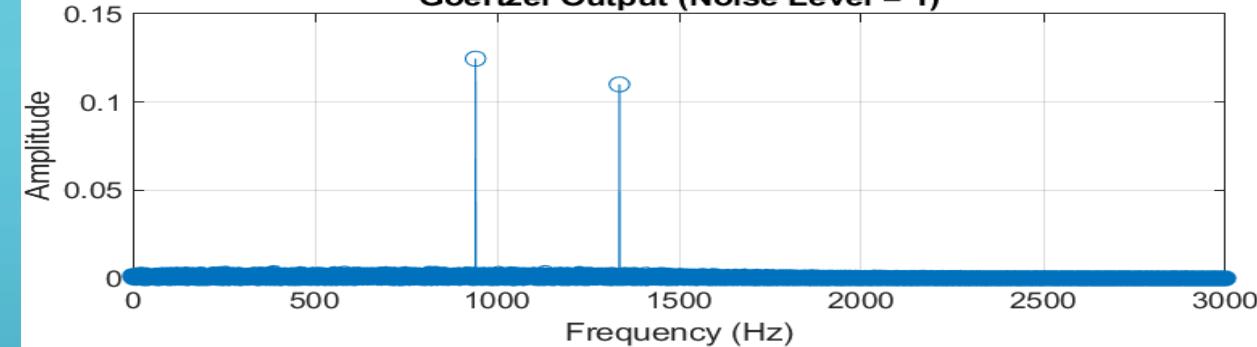
הגרף התחתון (Goertzel עם רעש חזק) – ניתן לראות שהרעש מתפשט על פני כל הספקטרום, וקשה יותר להבחין בתדרי ה-DTMF.

תמונה 6.6.1

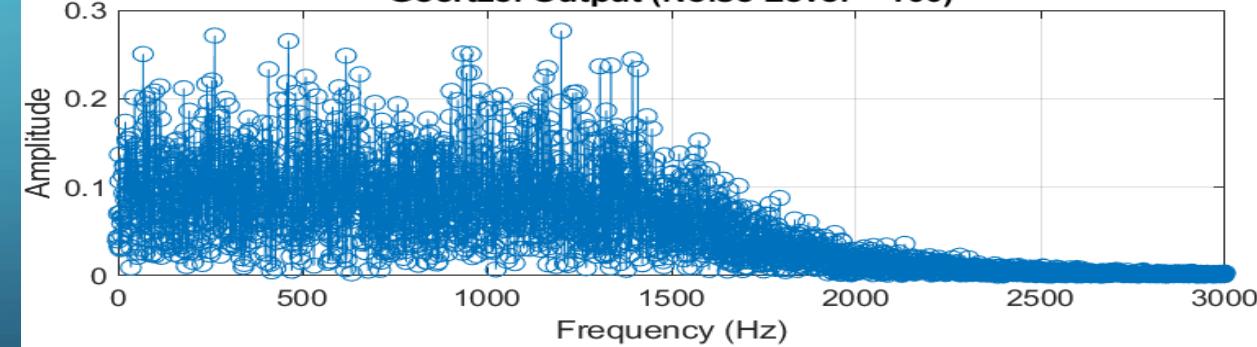
frequency domain of DTMF tone masage



Goertzel Output (Noise Level = 1)



Goertzel Output (Noise Level = 100)



סיכום:

בחלק הראשון של הקוד, ראיינו כי אוט שuber אפנון DSB זהה בהצלחה ללא עיונות משמעותיים, בהתאם לציפיות. עם זאת, יש לזכור כי היגלי הקוורנט בוצע בתנאים אידיאליים. במערכת אמיתית, הפרשי פaza ותדר בין הנושא המשוחזר לנשא המשודר עלולים לגרום לעיונות משמעותיים באוט המשוחזר. לכן, בעת יישום מעשי, יש לוודא סנכרון מדויק של הפaza והתדר כדי להבטיח שחזור תקין של האות.

בחלק השני של הקוד, כאשר הוספנו רעש לאוט, ראיינו שcacל שרתם הרעש עלתה, כך הפר הזיהוי של האות המקורי לקשה אף בלתי אפשרי. זאת מושם שהרעש פוגע ביחס אות-לרעש (SNR) ופוגע במידע הקויים באוט, בנוסף, כאמור, כאשר השתמשנו בפונקציית Goertzel לזיהוי תדרי ה-DTMF, שמננו לב שהזיהוי הפר לפחות מדויק ככל שרתם הרעש עלתה. הסיבה לכך היא שהתדרים הרלוונטיים נתמעים ברעש, מה שמקשה על האלגוריתם להפריד ביניהם.