

به نام خدا



دانشگاه تهران

پردیس دانشکده‌های فنی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

# گزارش تمرین کامپیوتری 1

اصول سیستم‌های مخابراتی

دکتر صباغیان

امیرمرتضی رضائی

810101429

نیمسال اول 1403-1404

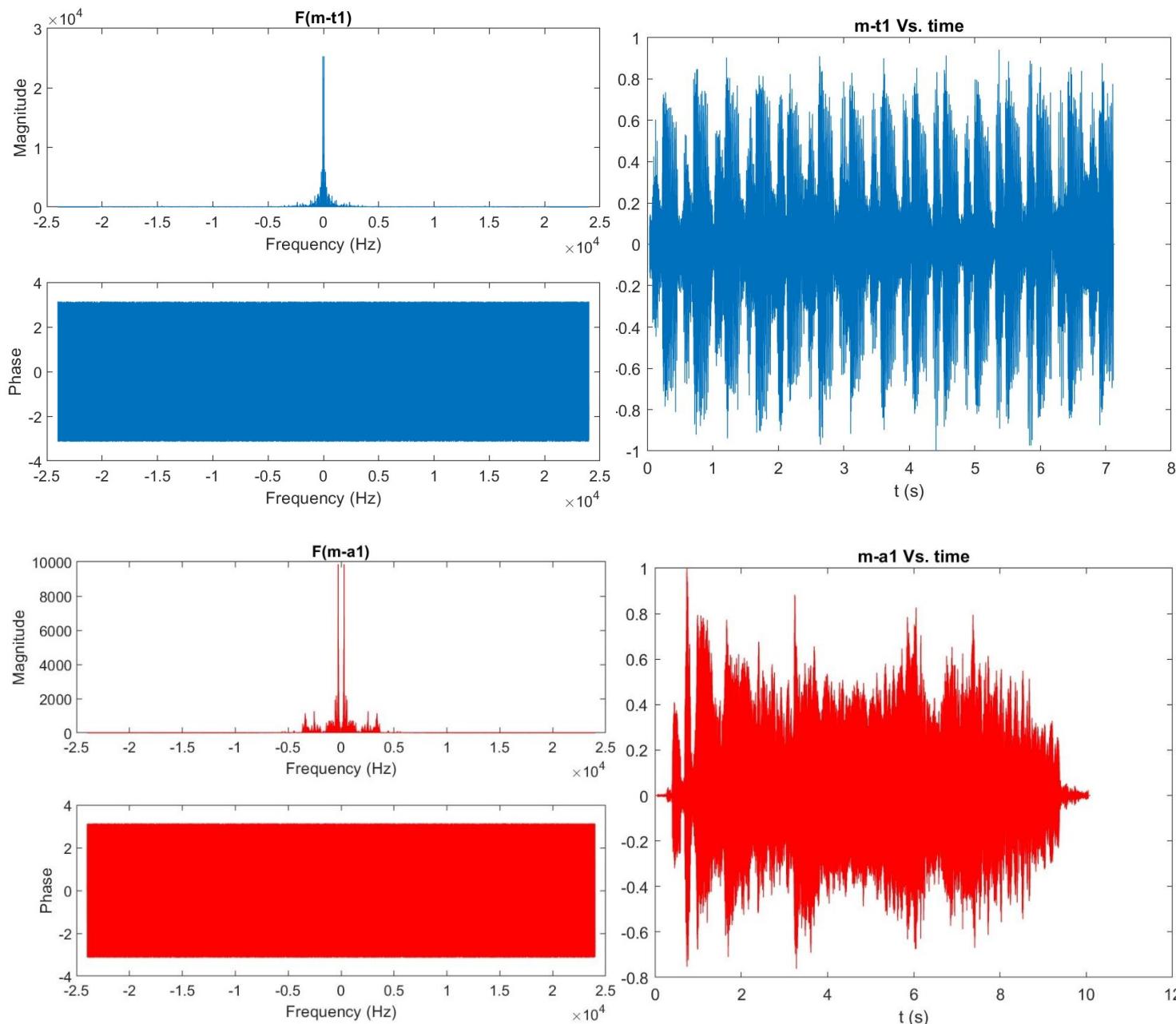
**فهرست:**

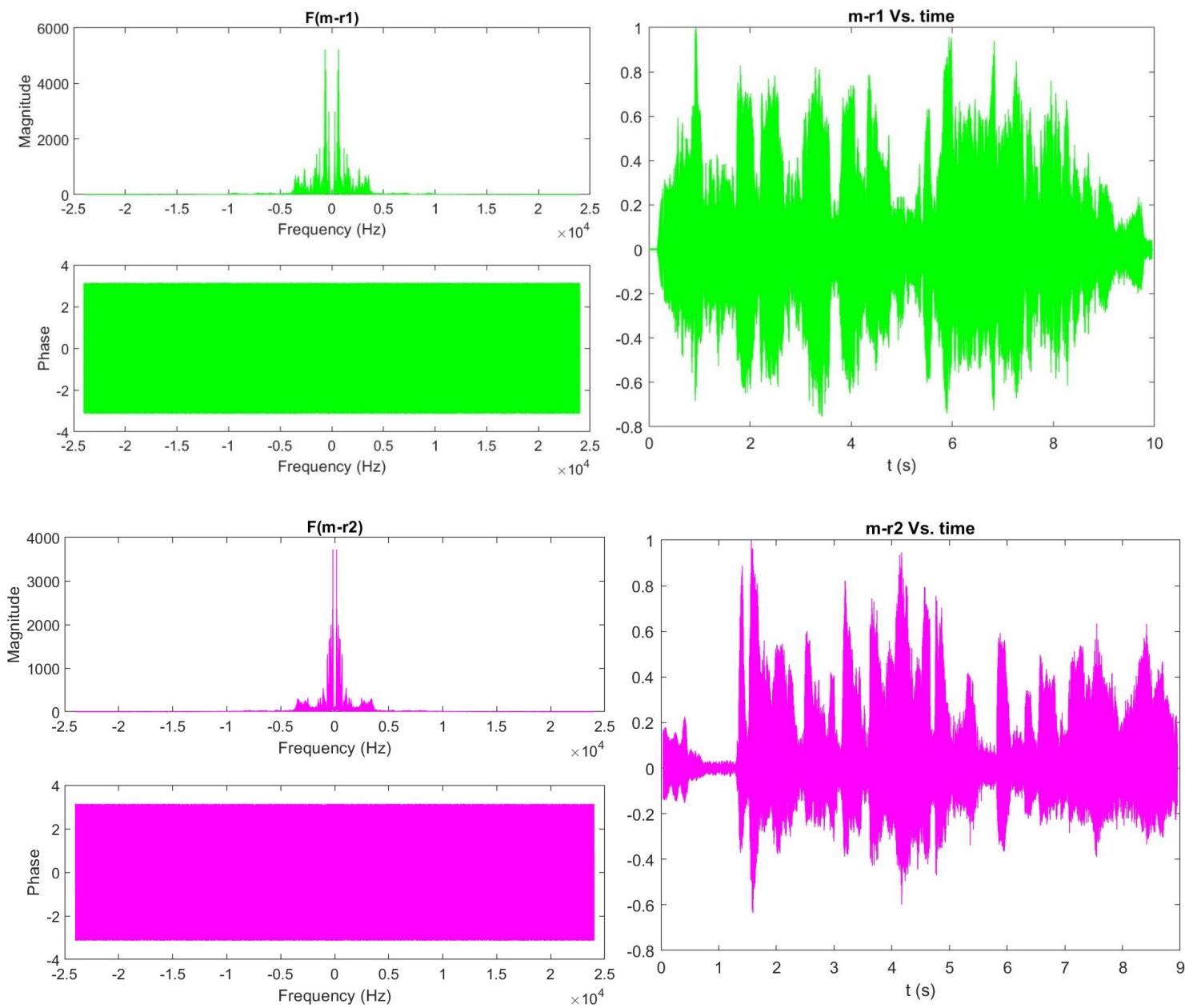
3.....	تمرین 1
6.....	تمرین 2
15.....	تمرین 3
17.....	تمرین 4

## تمرین ۱: پردازش سیگنال صوتی

### قسمت الف: مشاهده سیگنال در حوزه زمان و فرکانس

سیگنال‌های پیام مطابق روش بیان شده، خوانده شده و نرمالایز شدند. همچین تبدیل فوریه آنها توسط تابع  $\text{fft}$  محاسبه و رسم گردید.





تابع `fftshift` برای جابجایی مرکز تبدیل فوریه به کار می‌رود. در تبدیل فوریه، نتایج به طور معمول به‌طور متوالی از منفی به مثبت در فرکانس‌ها مرتب می‌شوند، به طوری که فرکانس‌های منفی در ابتدا و فرکانس‌های مثبت در انتهای قرار می‌گیرند. با استفاده از `fftshift`، این آرایه‌ها به گونه‌ای جابجا می‌شوند که فرکانس‌های صفر (فرکانس پایه) به مرکز بردار تبدیل فوریه منتقل شوند. در واقع `fftshift` برای انتقال صفر فرکانس به وسط آرایه‌ای است که تبدیل فوریه آن محاسبه شده است.

بیشترین فرکانسی که تبدیل فوریه در آن مقدار دارد، برای سیگنال  $m-t1$  با 20.5 کیلوهرتز و برای باقی سیگنال‌ها، چیزی در حدود 15 کیلو هرتز می‌باشد. می‌توان اینگونه استدلال کرد که این مقدار برای سیگنال‌های با محتوای مشابه (مثل صدای آواز انسان) تقریباً یکسان می‌باشد.

## قسمت ب: فیلتر کردن سیگنال

فیلتر پایین‌گذر، به صورت یک فانکشن با نام LPfilter پیاده‌سازی شد.

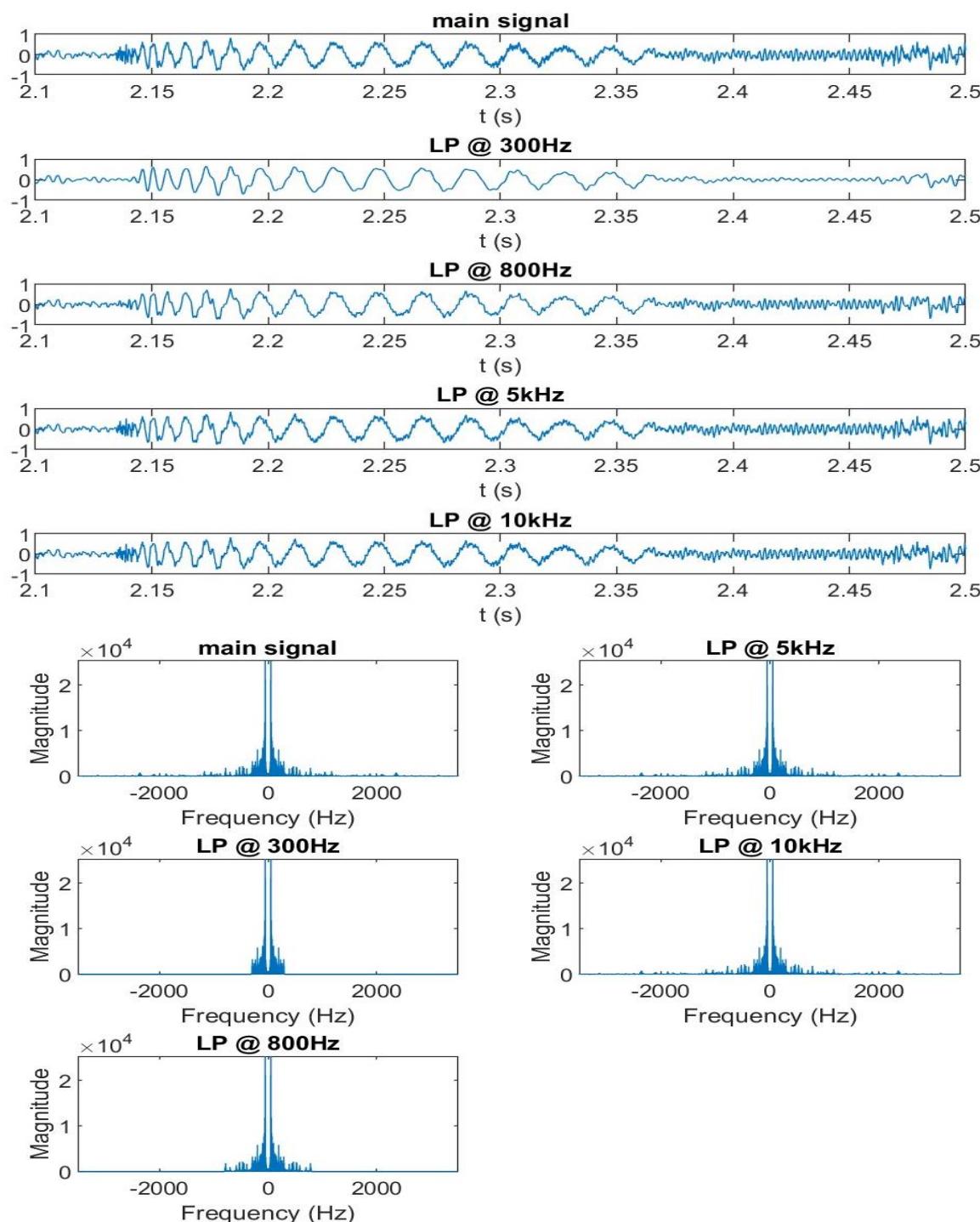
در پهنهای باند 10kHz، تقریباً سیگنال اصلی به طور کامل شنیده می‌شود؛ با این تفاوت که حجم صدای زیر، اندکی کاهش پیدا می‌کند!

در پهنهای باند 5kHz، کاهش صدای زیر چشم‌گیر تر است.

در پهنهای باند 800Hz، نتهای زیر به طور کامل حذف شده‌اند و تنها صدای بیس و نتهای بم ویولن شنیده می‌شوند.

در پهنهای باند 300Hz، صدای ویولن کاملاً حذف شده‌است.

برای تمامی پهنهای باند فیلتر پایین‌گذر، سیگنال در حوزه‌ی زمان و فرکانس نمایش داده شد.

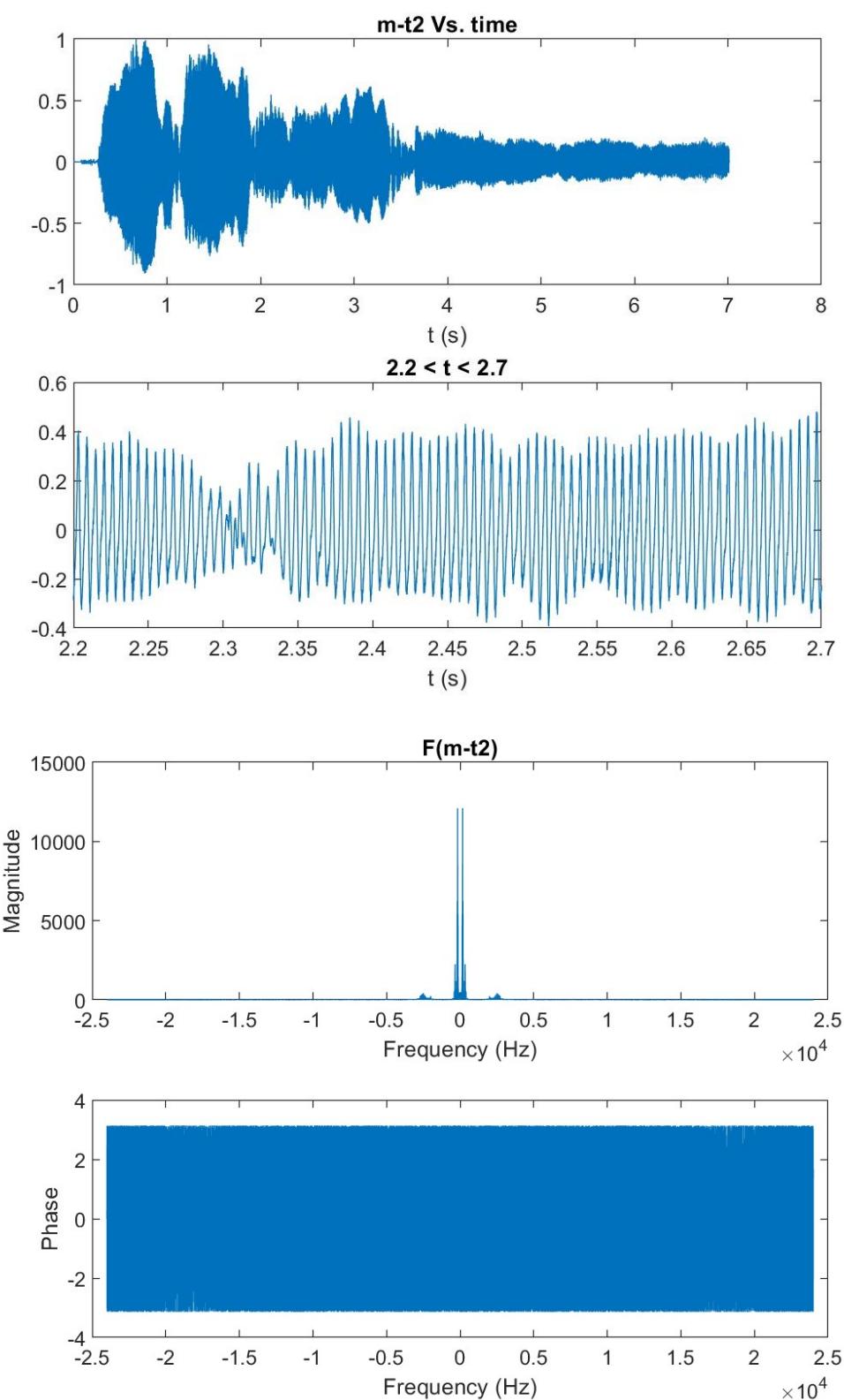


## تمرین ۲: مدولاسیون دامنه DSB

در این تمرین به مدولاسیون و دمودولاسیون DSB می‌پردازیم.

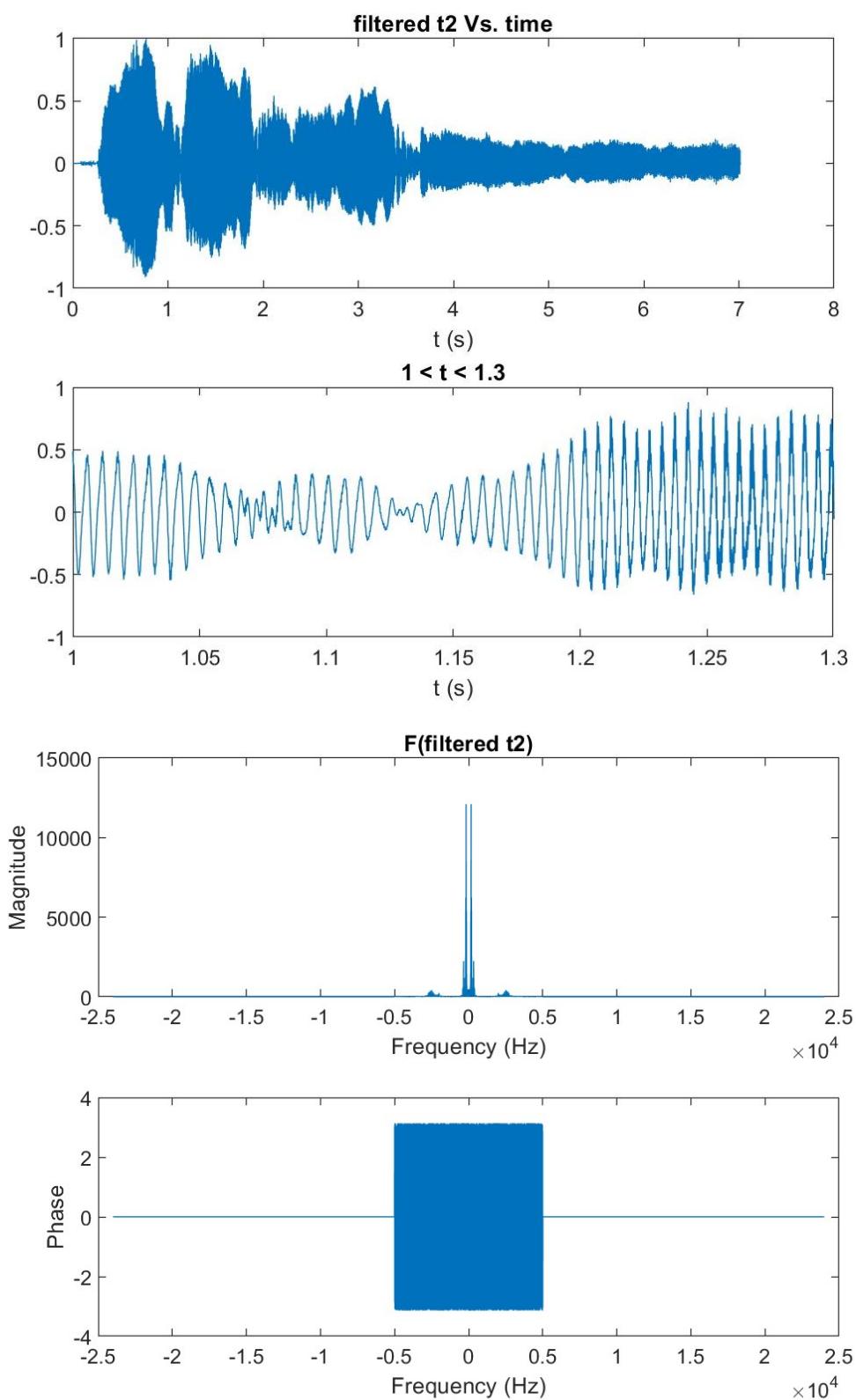
**قسمت الف:** مشاهده سیگنال در حوزه زمان و فرکانس

سیگنال  $m_{t2}$  خوانده و نرمالایز شد. همچنین اندازه و فاز تبدیل فوریه آن نیز محاسبه و رسم گردید.



## قسمت ب: مدولاتور DSB

سیگнал مذکور با استفاده از همان فیلتر سوال قبل، فیلتر شد و نتیجه در حوزه زمان و فرکانس رسم گردید.

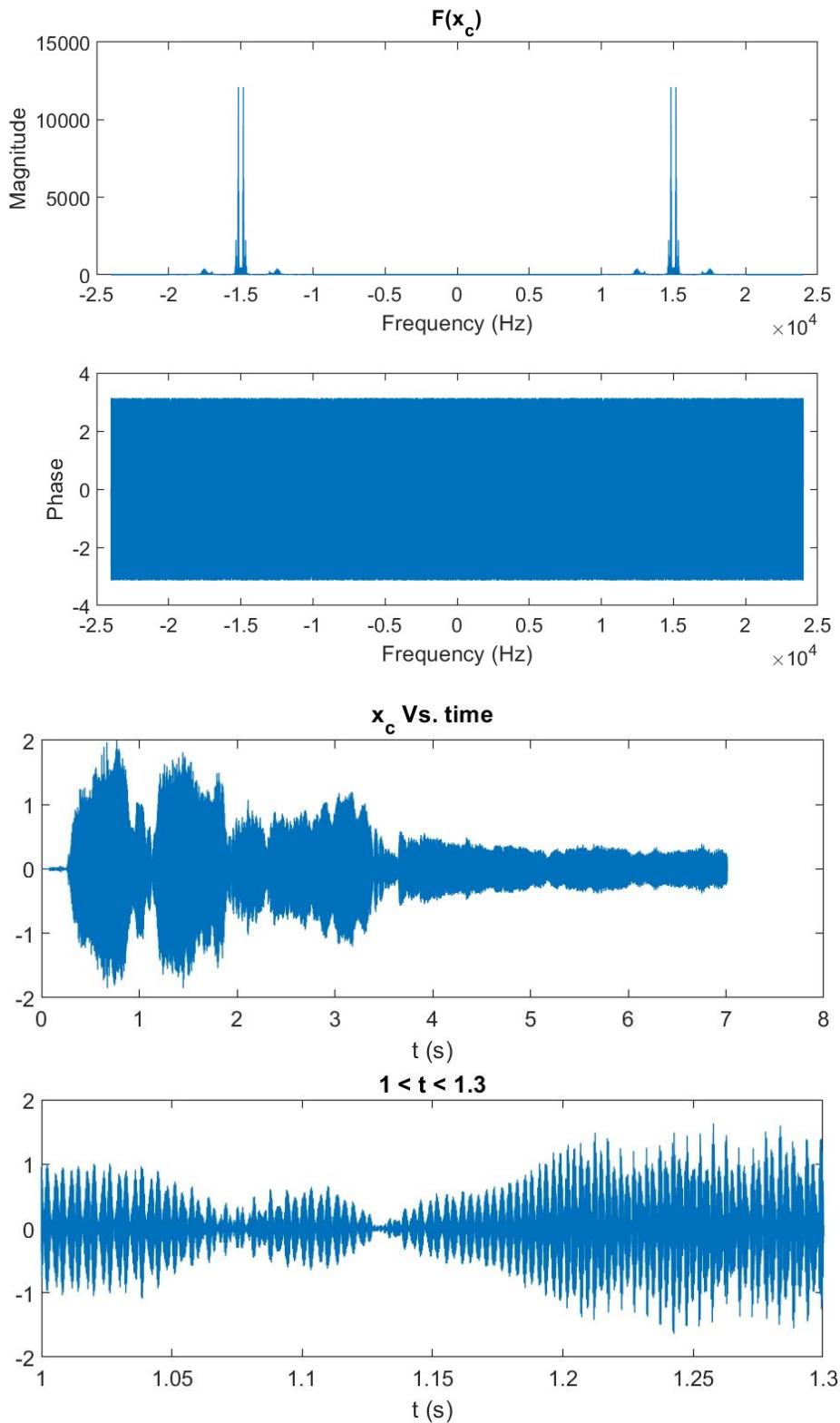


سیگنال فیلتر شده به صورت زیر مدوله شد:

$$x_c(t) = 2 \cos(2\pi \times 15000 \times t) \times x_{filtered}(t)$$

$$\rightarrow \mathcal{F}\{x_c(t)\} = X_{filtered}(f - 15000) + X_{filtered}(f + 15000)$$

رسم سیگنال مدوله شده در حوزه فرکانس نیز همین معادله را تایید می‌کند.



## قسمت چ: دمودلاتور DSB

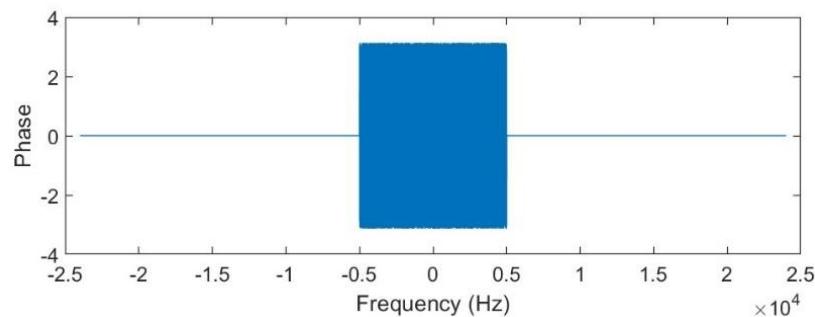
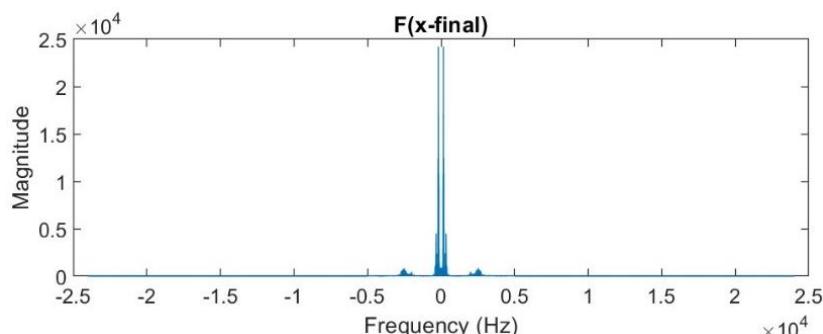
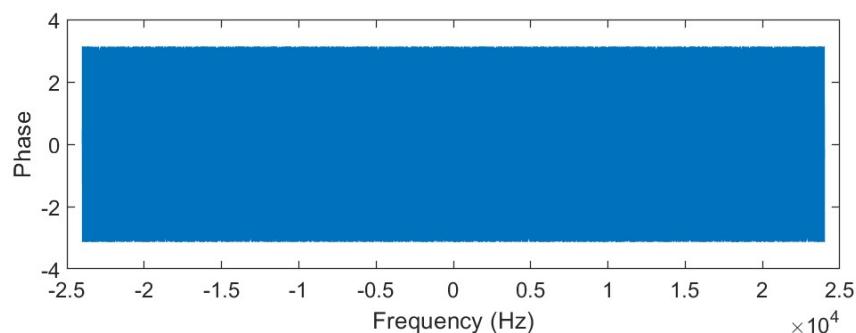
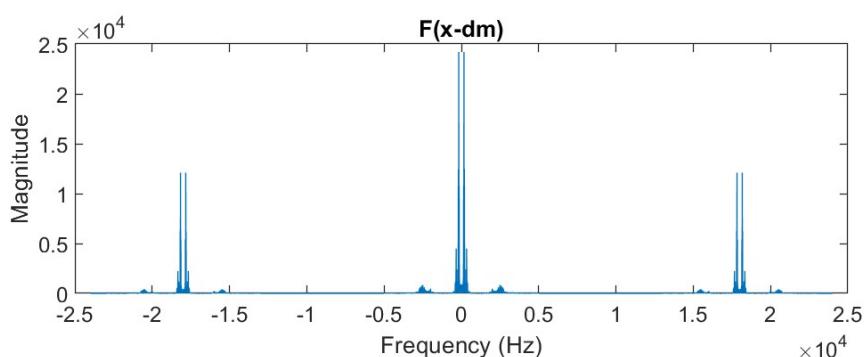
برای دمودلasiون از دمودلاتور سنکرون به صورت زیر استفاده شد:

$$x_{dm}(t) = x_c(t) \times \cos(2\pi \times 15000t)$$

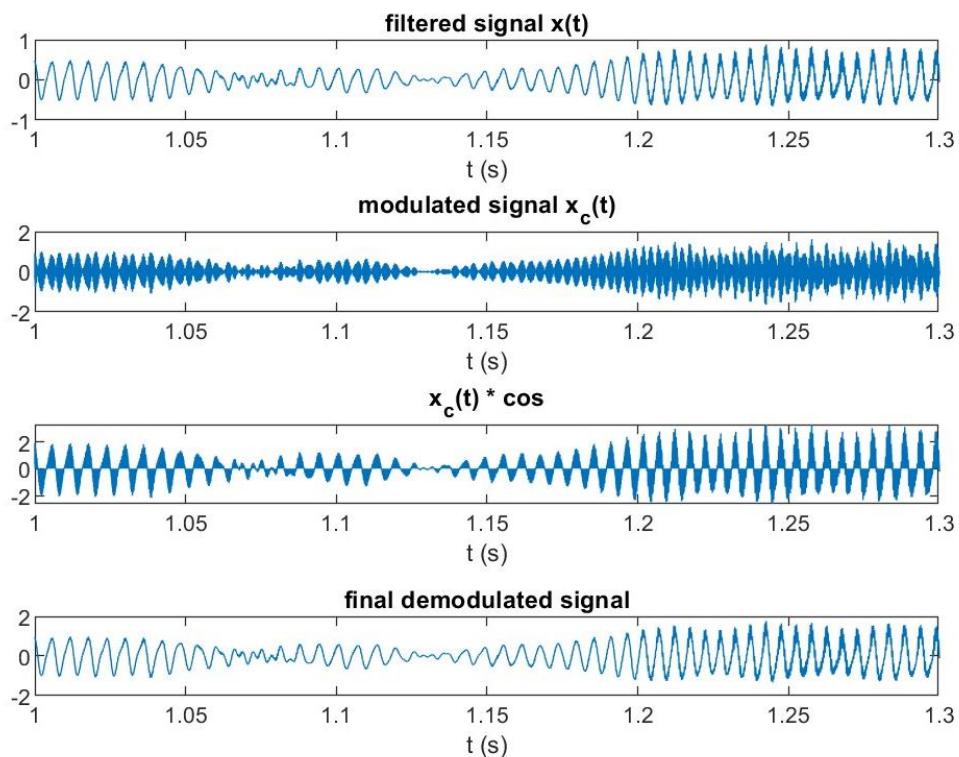
$$\rightarrow \mathcal{F}\{x_{dm}(t)\} = \frac{1}{2}X_{filtered}(f - 30000) + X_{filtered}(f) + \frac{1}{2}X_{filtered}(f + 30000)$$

$$\mathcal{F}\{x_{dm}(t)\} \rightarrow LP @ 5kHz \rightarrow \mathcal{F}\{x_{final}(t)\}$$

رسم سیگنال‌های دمودله شده و نهایی در حوزه فرکانس نیز همین معادله را تایید می‌کند.



سیگنال پیام فیلتر شده، سیگنال مدوله شده، سیگنال کسینوس و سیگنال دمدوله شده نهایی به صورت زیر رسم گردید.



### بررسی تاثیر اختلاف فاز:

در صورت وجود اختلاف فاز در دمودولاتور، روابط به صورت زیر تغییر خواهند کرد.

$$x_{dm}(t) = x_c(t) \times \cos(2\pi \times 15000t + \varphi)$$

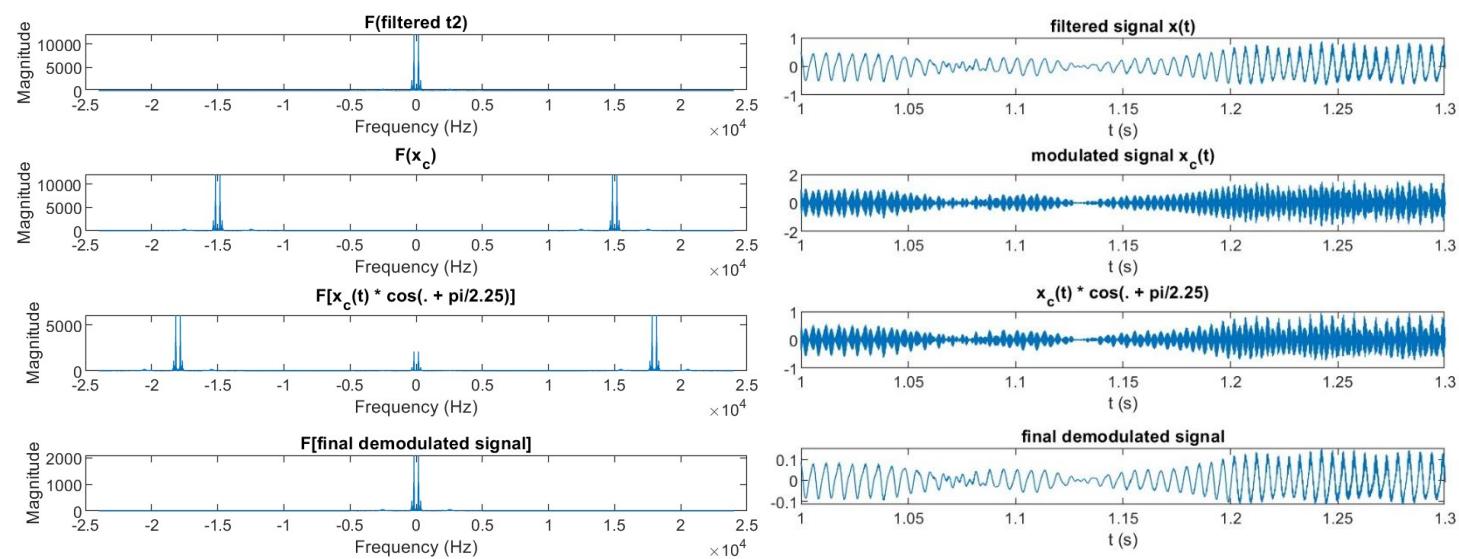
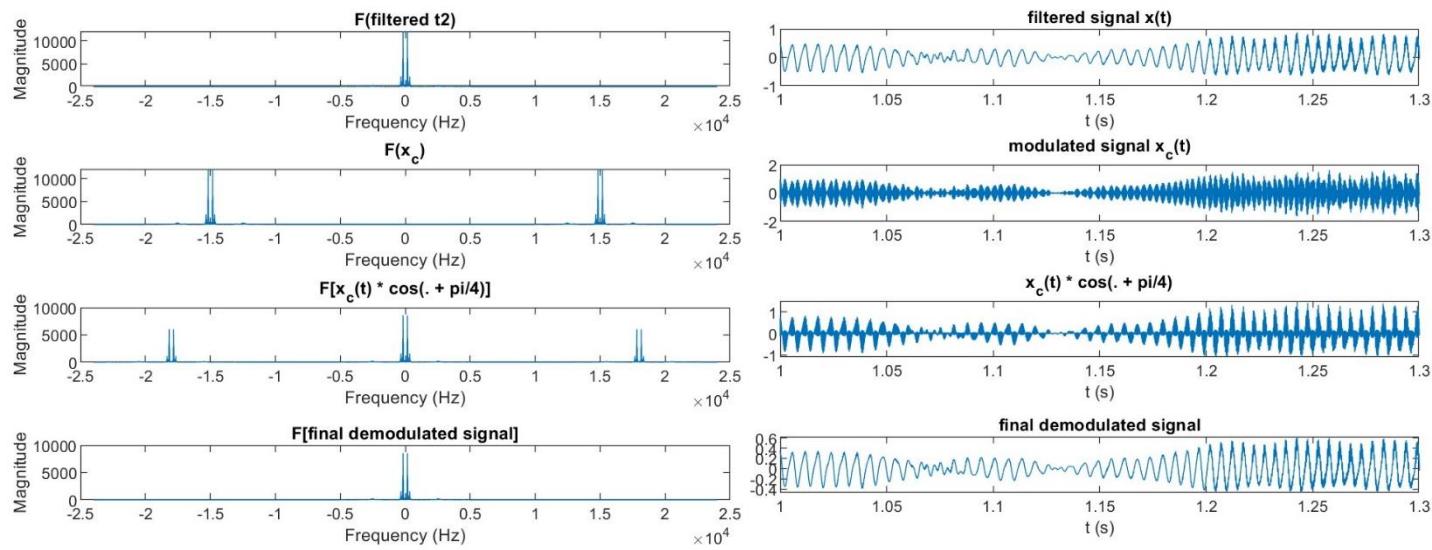
$$x_{dm}(t) = x_c(t) \times [\cos(2\pi \times 15000t) \cos(\varphi) - \sin(2\pi \times 15000t) \sin(\varphi)]$$

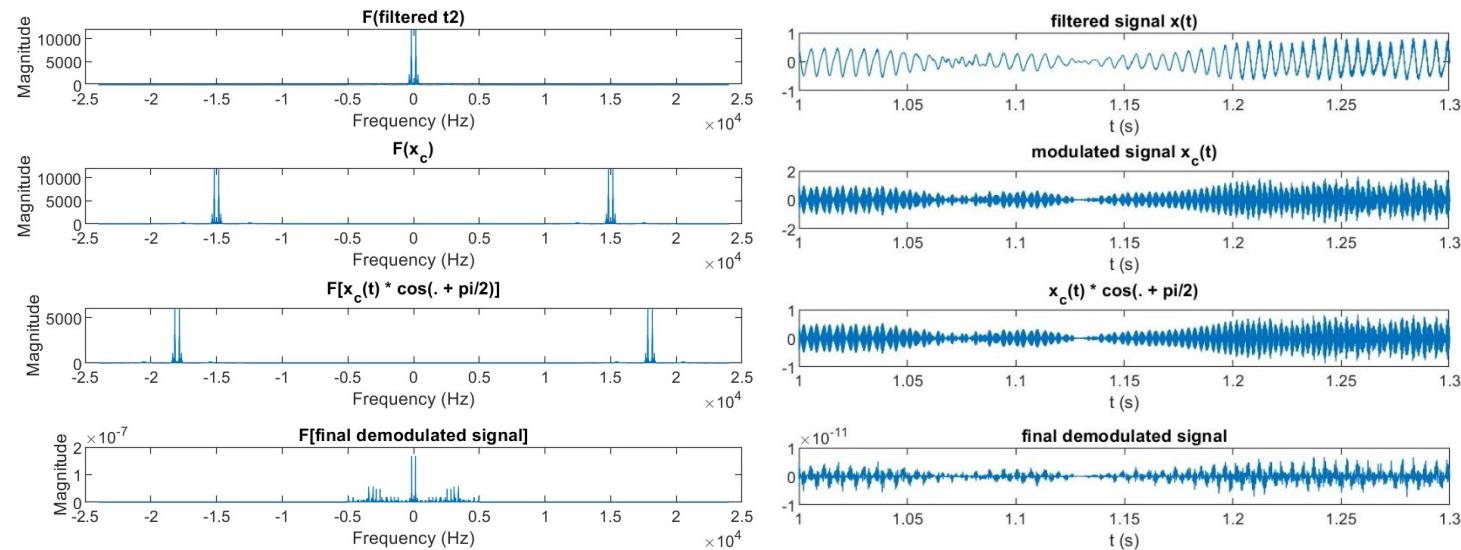
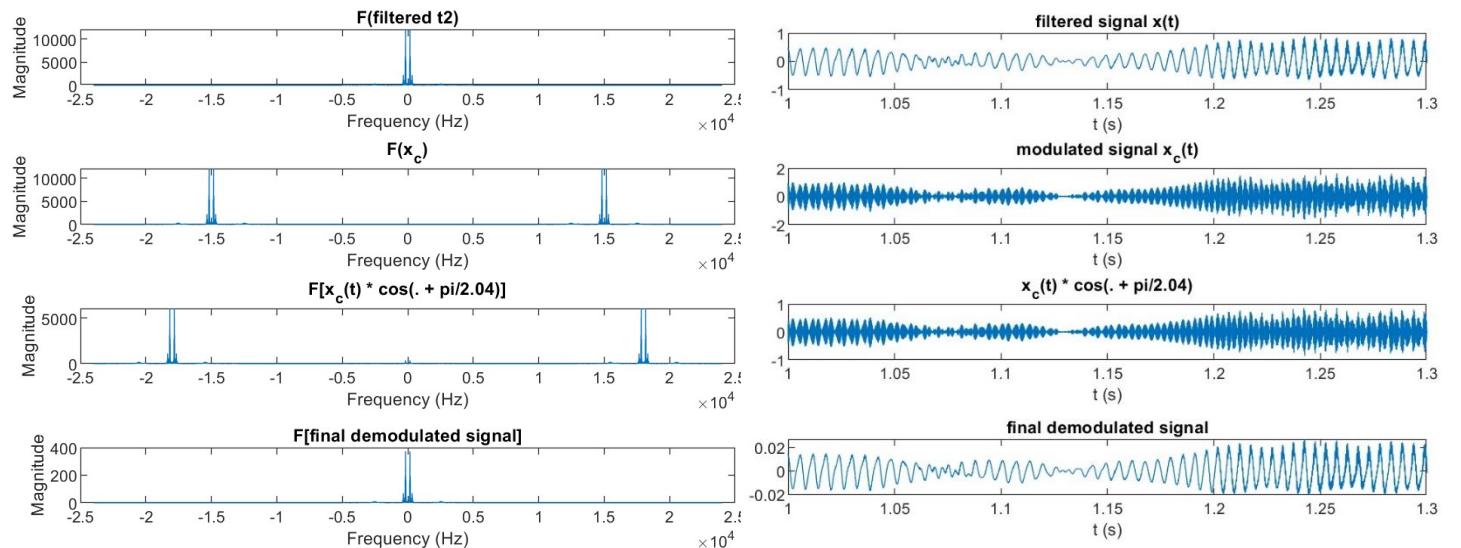
$$\rightarrow \mathcal{F}\{x_{dm}(t)\}$$

$$\begin{aligned} &= \cos(\varphi) \times \left[ \frac{1}{2} X_{filtered}(f - 30000) + X_{filtered}(f) + \frac{1}{2} X_{filtered}(f + 30000) \right] \\ &\quad - \sin(\varphi) \times \left[ \frac{1}{2j} X_{filtered}(f - 30000) - \frac{1}{2j} X_{filtered}(f + 30000) \right] \end{aligned}$$

که پس از گذر از فیلتر پایین‌گذر، تنها تفاوتی که اختلاف فاز ایجاد می‌کند، آن است که دامنه آن در ترم  $\cos(\varphi)$  ضرب می‌شود. پس انتظار داریم دامنه صدای شنیده شده، با نزدیک شدن اختلاف فاز به  $\frac{\pi}{2}$ ، کاهش یافته و در نهایت تقریباً چیزی شنیده نشود. که همینطور هم شد!

هر چهار سیگنال گفته شده در بخش قبل، به ازای هر چهار اختلاف فاز بیان شده، در حوزه‌ی زمان و فرکانس رسم گردید.





### بررسی تاثیر اختلاف فرکانس:

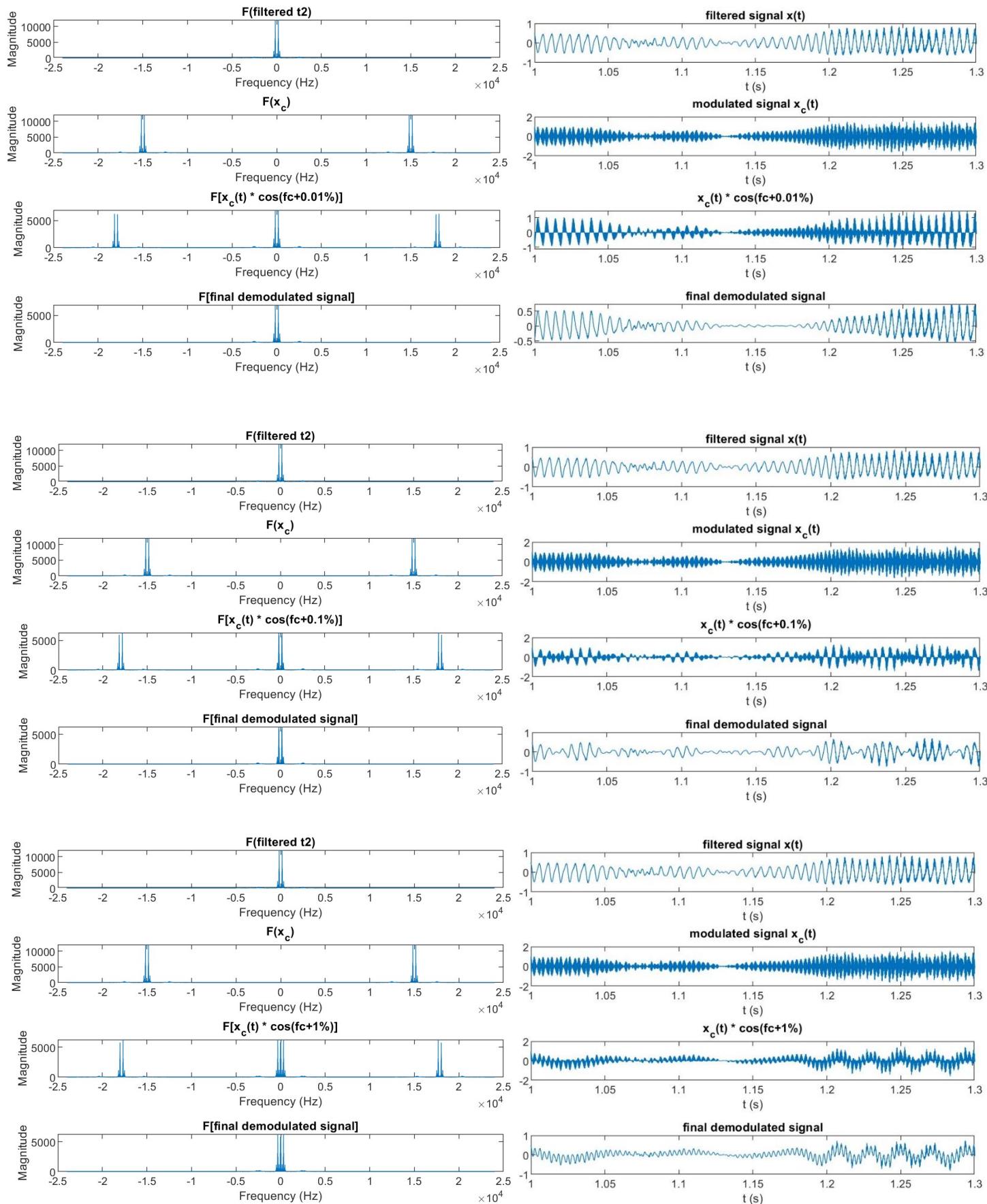
در صورت وجود اختلاف فرکانس در دمودولاتور، روابط به صورت زیر تغییر خواهد کرد.

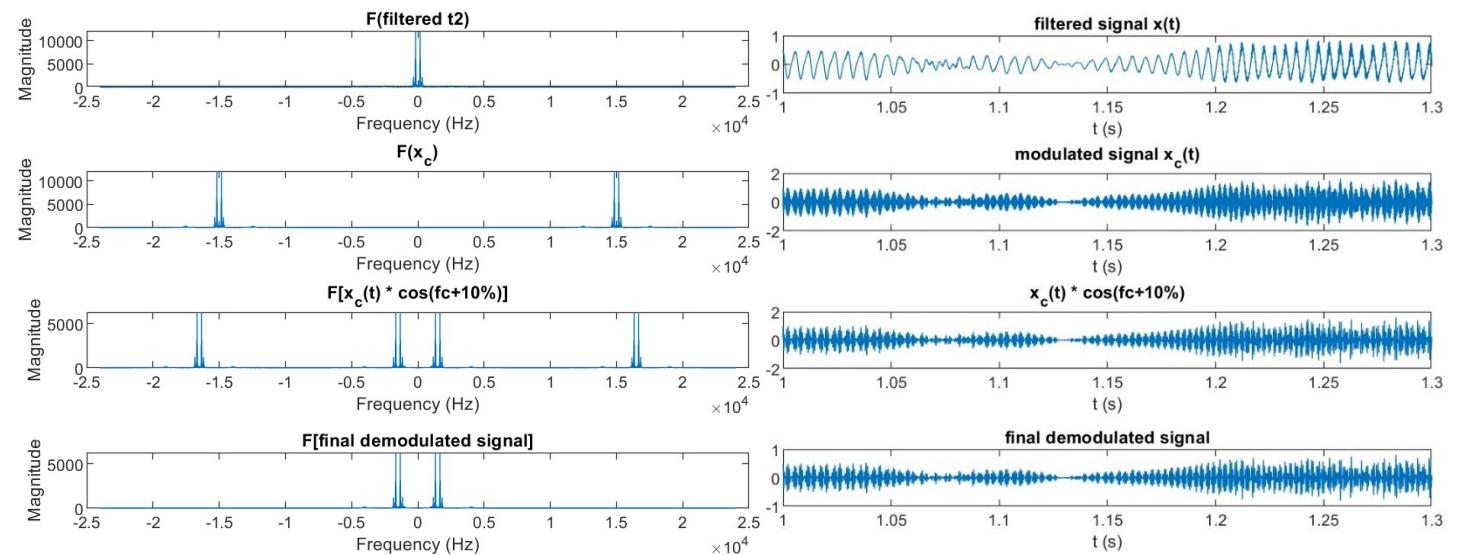
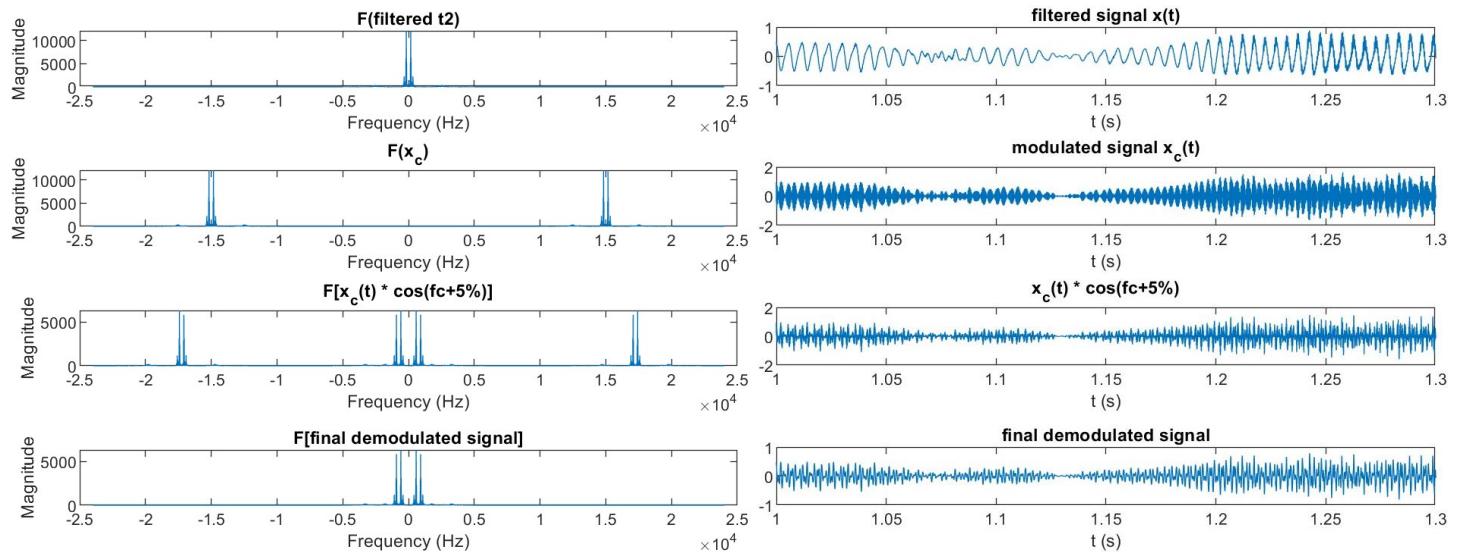
$$x_{dm}(t) = x_c(t) \times \cos(2\pi \times (15000 + \Delta f)t)$$

$$\begin{aligned} \rightarrow \mathcal{F}\{x_{dm}(t)\} &= \frac{1}{2}X_{filtered}(f - 30000 - \Delta f) + \frac{1}{2}X_{filtered}(f + \Delta f) + \frac{1}{2}X_{filtered}(f - \Delta f) \\ &\quad + \frac{1}{2}X_{filtered}(f + 30000 + \Delta f) \end{aligned}$$

که پس از گذر از فیلتر پایین‌گذار، دو ترمی که در فرکانس پایه هستند باقی خواهد ماند. ولی همانطور که دیده می‌شود، دیگر به سیگنال اصلی نمی‌رسیم. در واقع با افزایش اختلاف فرکانس، سیگنال بیشتر از بین خواهد رفت.

هر چهار سیگنال گفته شده در بخش قبل، به ازای هر پنج اختلاف فرکانس بیان شده، در حوزه زمان و فرکانس رسم گردید.





### تمرین ۳: مدولاسیون دامنه SSB

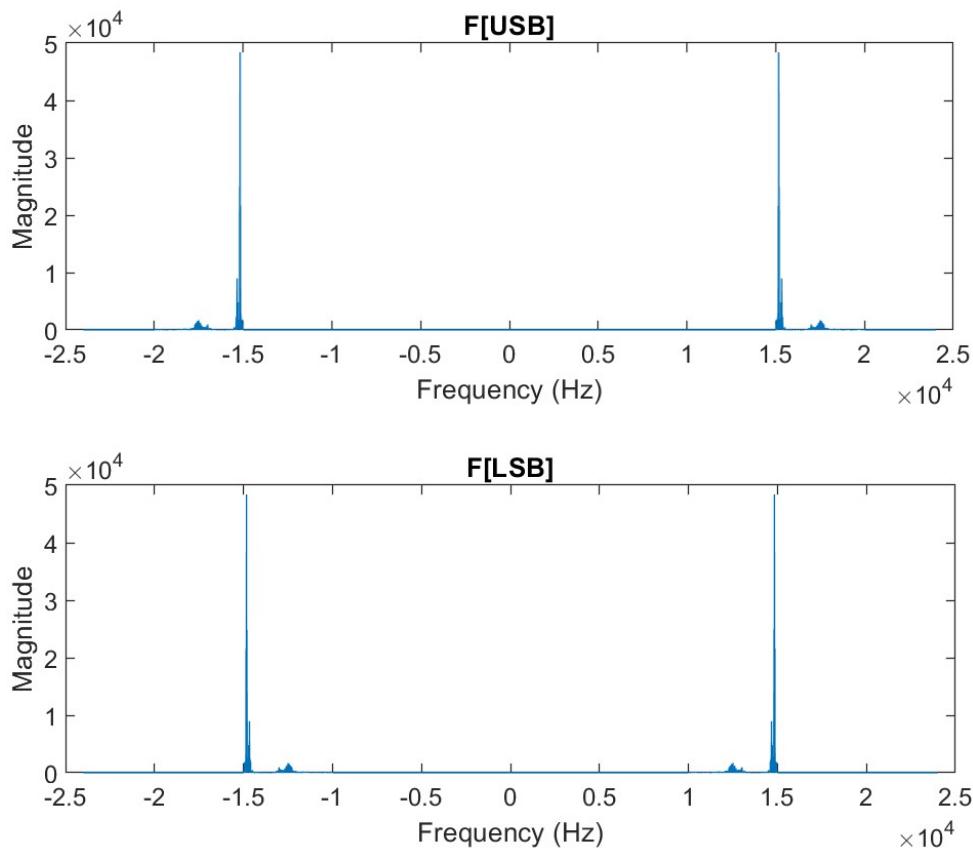
سیگنال  $m_t$  خوانده و نرمالایز و فیلتر شد. همچنین اندازه و فاز تبدیل فوریه آن نیز محاسبه و رسم گردید. تبدیل هیلبرت نیز در به صورت یک فانکشن در حوزه فرکانس تعریف شد و  $x_{\tilde{t}}$  خروجی اینتابع در حوزه زمان می‌باشد.

مدولاسیون SSB به صورت زیر انجام شد:

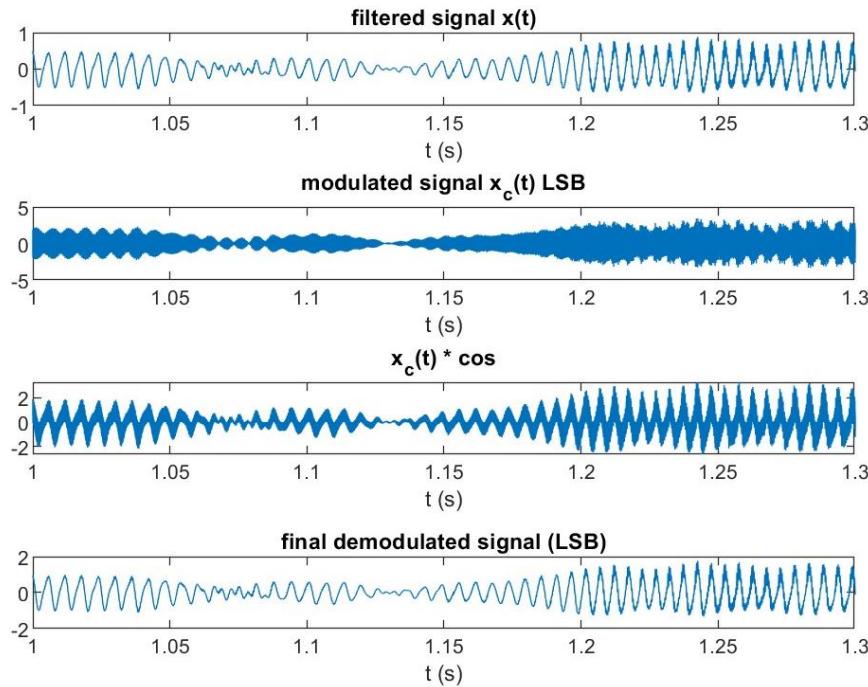
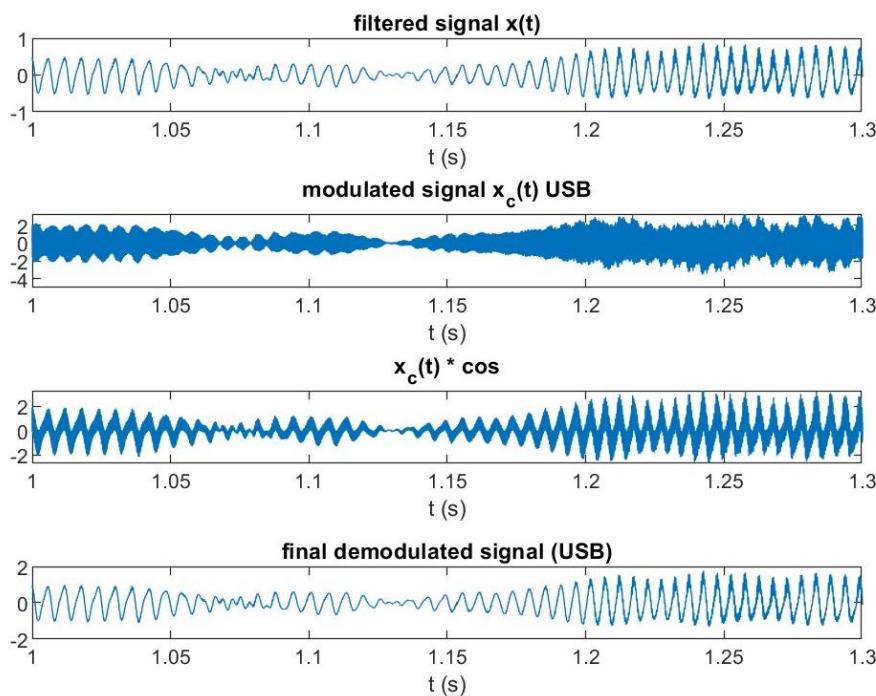
$$\begin{aligned}x_1(t) &= A_c \times \cos(2\pi f_c t) \times x_{\text{filtered}}(t) \\x_2(t) &= A_c \times \sin(2\pi f_c t) \times x_{\tilde{t}}(t) \\ \rightarrow \mathcal{F}\{x_1(t)\} &= \frac{A_c}{2} \times [X_{\text{filtered}}(f - f_c) + X_{\text{filtered}}(f + f_c)] \\ \rightarrow \mathcal{F}\{x_2(t)\} &= \frac{A_c}{2j} \times [X_{\tilde{t}}(f - f_c) - X_{\tilde{t}}(f + f_c)]\end{aligned}$$

توجه: در رسم تبدیل فوریه  $x_2$  چون از  $\text{abs}$  استفاده شده است، مقادیر منفی این سیگنال نیز به صورت مثبت رسم شده‌اند.

در نهایت برای خروجی USB، دو سیگنال  $x_1(t)$  و  $x_2(t)$  را از هم کم کرده و نتیجه را در حوزه فرکانس رسم می‌کنیم. برای LSB نیز این دوسیگنال را با هم جمع کرده و نتیجه را در حوزه فرکانس مشاهده می‌کنیم:



برای دمدولاسیون سیگنال‌های بدست آمده نیز دقیقاً از دمدولاتور سنکرون سوال قبل استفاده کرده و پس از فیلتر کردن، هر چهار سیگنال خواسته شده را برای USB و LSB رسم می‌کنیم.



توجه: بدليل خواص تابع  $\text{ifft}$ , نتایج نهایی در حوزه زمان، دارای ترم موهومی هستند. از آنجا که این ترم‌های موهومی نسبت به ترم حقیقی بسیار کوچک و قابل صرف نظرند، در رسم و شنیدن این سیگنال‌ها از  $\text{real}$  آن‌ها استفاده شد.

## تمرین ۴: مدولاسیون زاویه FM

سیگنال  $m_t$  خوانده و نرمالایز و فیلتر شد. همچنین اندازه و فاز تبدیل فوریه آن نیز محاسبه و رسم گردید.

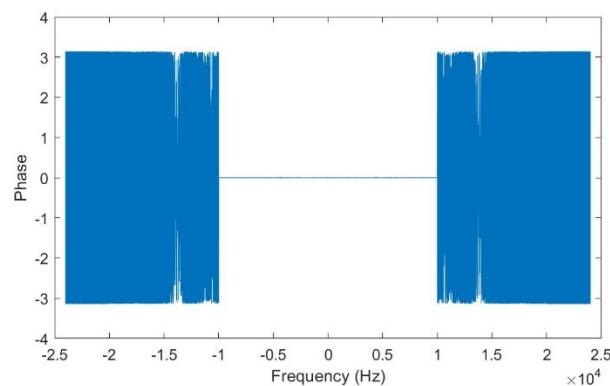
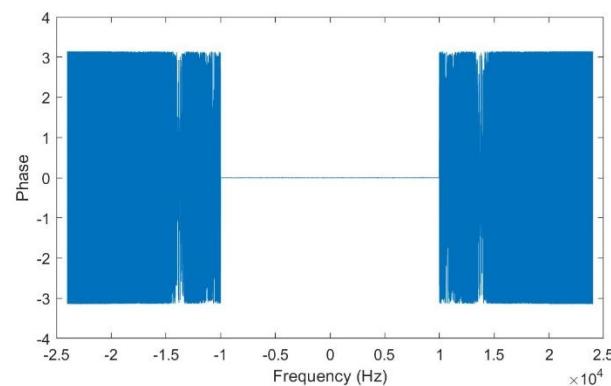
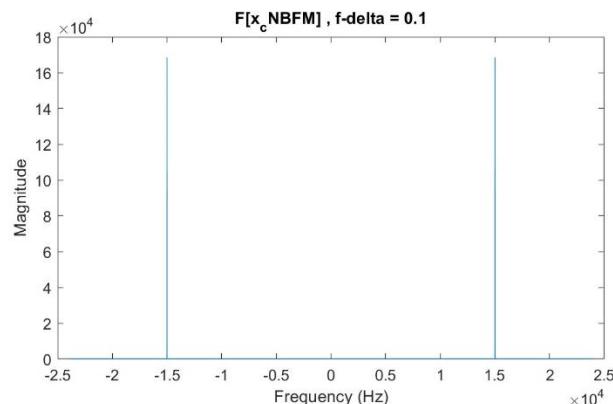
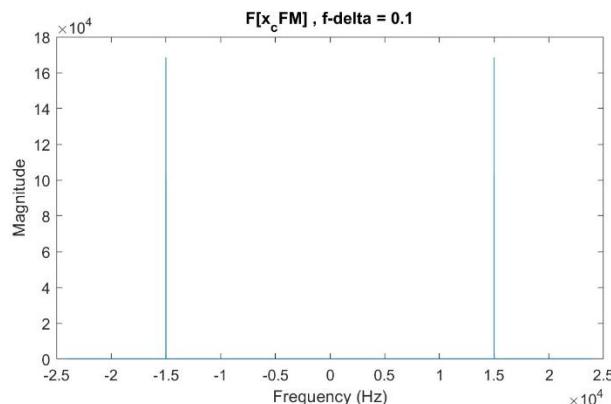
مدولاتورهای FM و NBFM، به صورت دو فانکشن با همین نامها پیاده سازی شدند. برای ترم انتگرال گیر نیز ازتابع cumsum استفاده شد که با ضرب حاصل آن در هر بازه زمانی ( $T_s$ ) گویی انتگرال سیگنال را محاسبه کرده‌ایم. مدولاسیون طبق روابط زیر در این توابع محاسبه می‌گردد.

$$x_{c\_FM} = Ac \cos (2\pi f_c t + 2\pi f_\Delta \int m(\lambda) d\lambda)$$

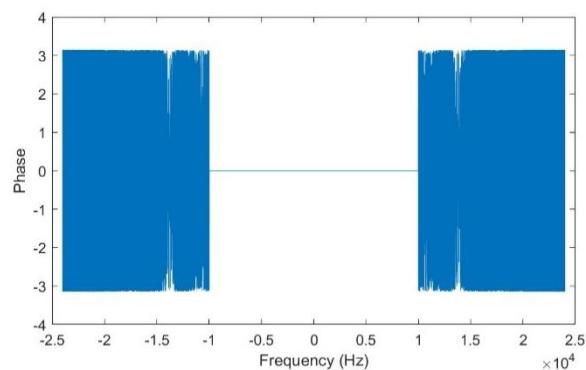
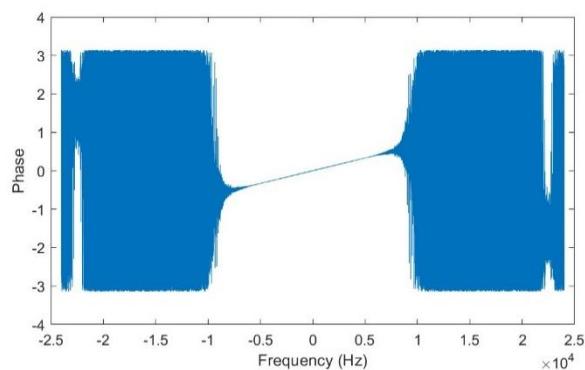
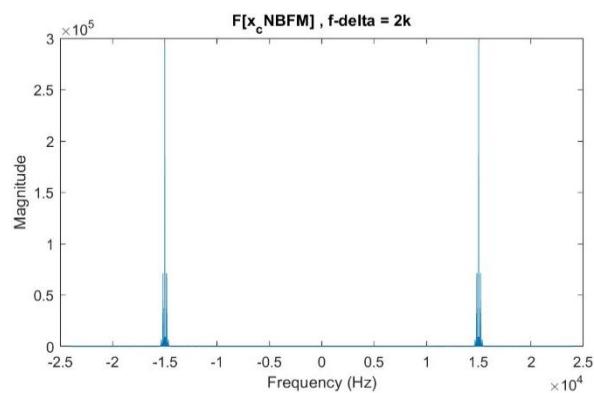
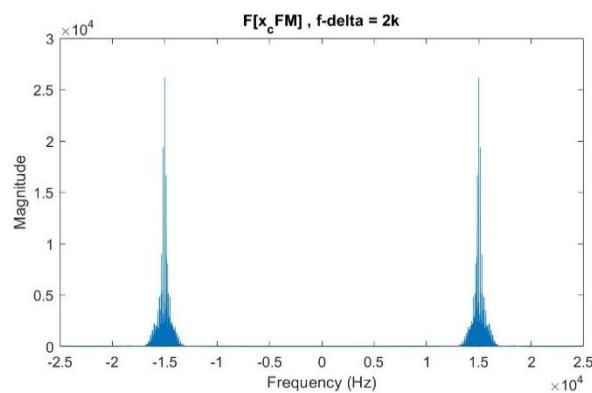
$$x_{c\_NBFM} = Ac \cos(2\pi f_c t) - Ac 2\pi f_\Delta \int m(\lambda) d\lambda \sin(2\pi f_c t)$$

همانطور که می‌دانید، NBFM زمانی تقریب مناسبی از FM است که مقدار  $f_\Delta$  به اندازه‌ی کافی کوچک باشد. بنابراین انتظار داریم با افزایش مقدار  $f_\Delta$ ، مقدار خطا mse برای NBFM افزایش یافته و دیگر شباهتی به WBFM ندارد.

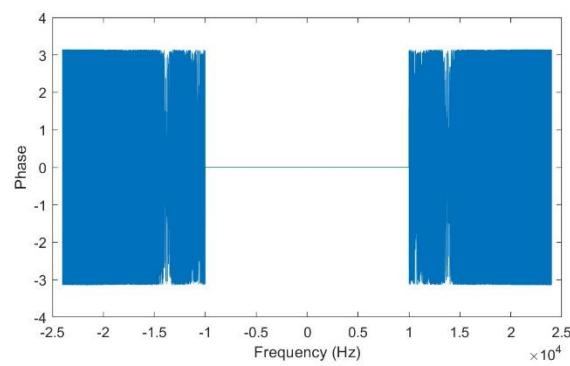
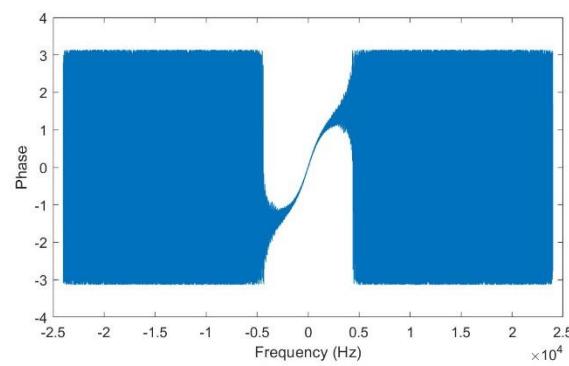
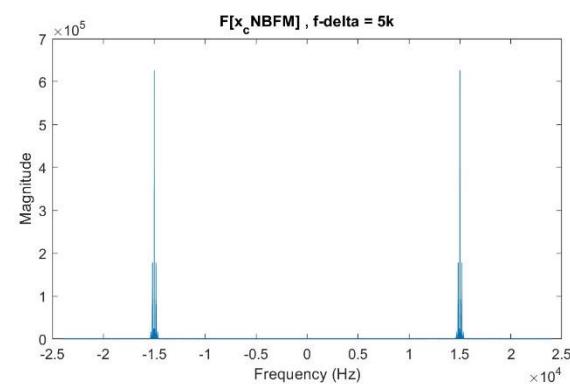
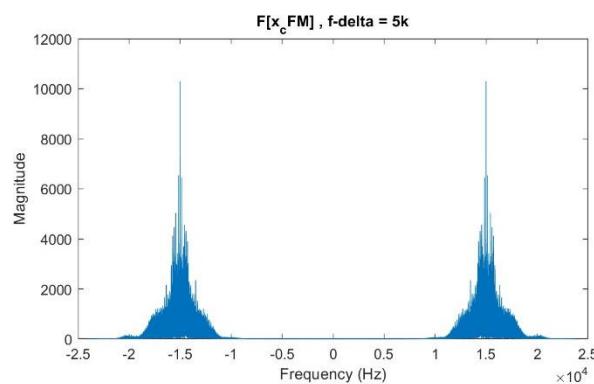
**بررسی نمودارها در حوزه فرکانس:**



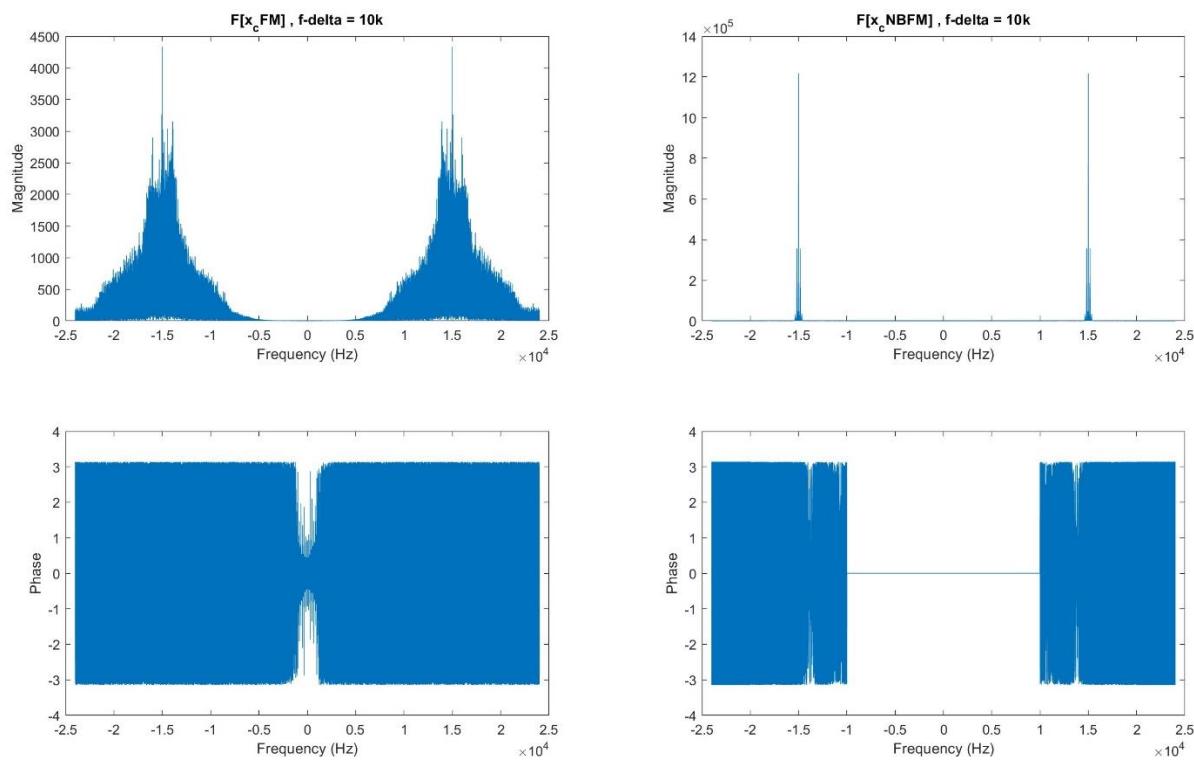
$f\text{-delta} = 0.1$ :  
mse for NBFM : 1.912816e-16



$f\text{-delta} = 2k:$   
mse for NBFM : 4.941559

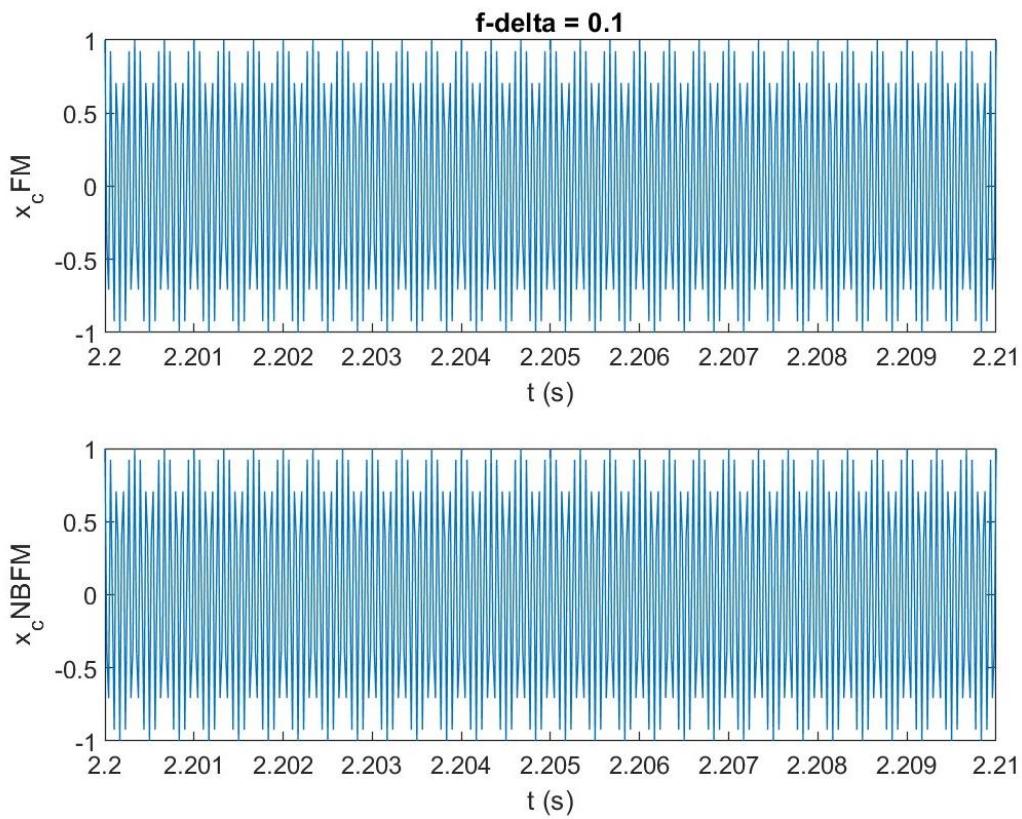


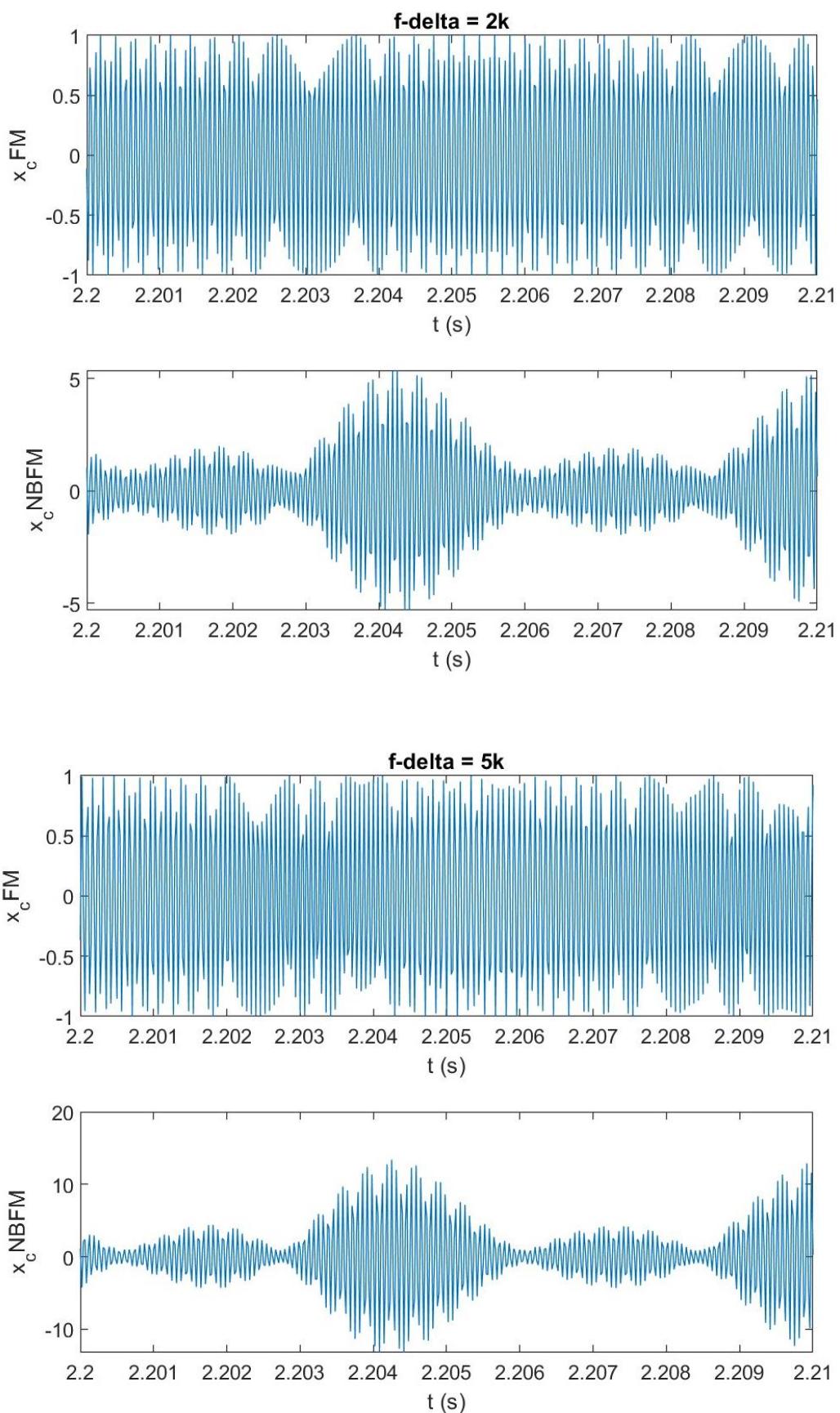
$f\text{-delta} = 5k:$   
mse for NBFM : 27.286130

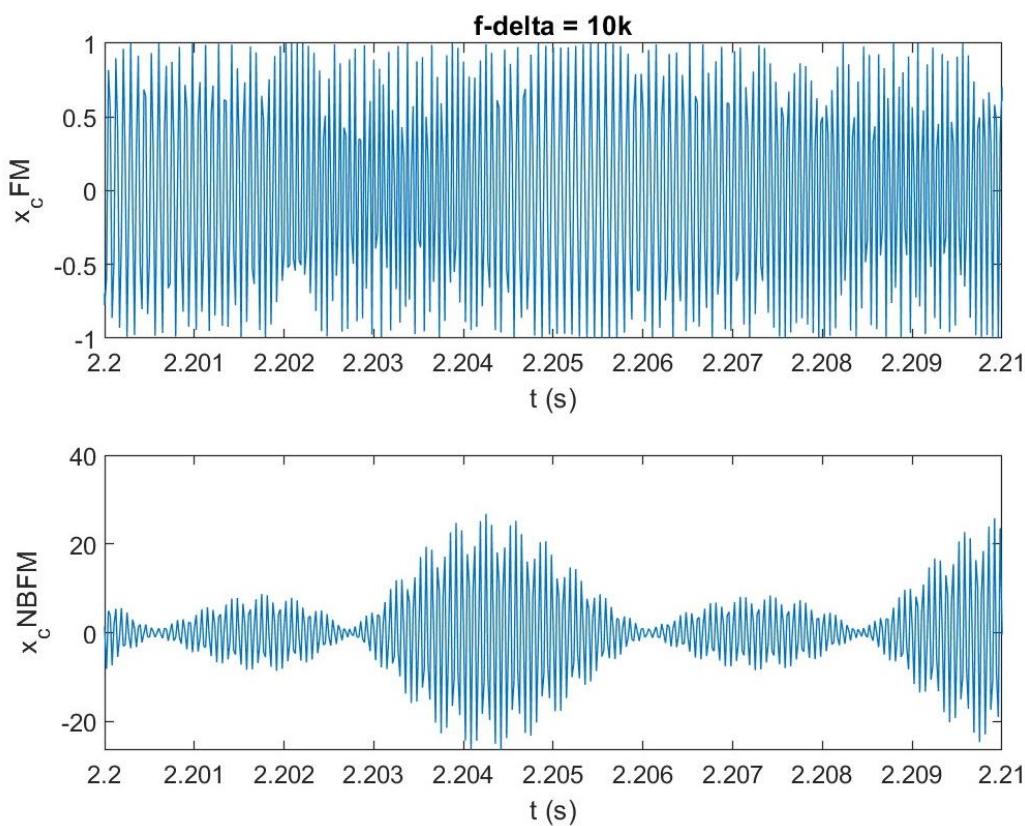


$f\text{-delta} = 10k$ :  
mse for NBFM : 107.683651

بررسی نمودارها در حوزه زمان:







توجه: برای مشخص کردن تفاوت سیگنال‌ها در حوزه زمان، یک بازه زمانی خیلی کوتاه (0.1 ثانیه) را در نظر گرفته‌ایم.