



باسمه تعالی

دانشگاه صنعتی شریف

دانشکده مهندسی برق

سیستم های مخابراتی - گروه دکتر پاکروان

نیم سال اول ۱۴۰۲-۰۳

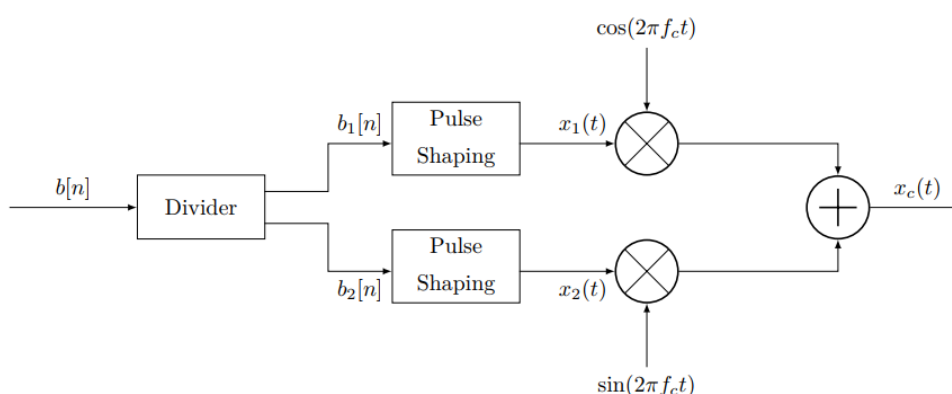
پروژه درس سیستم های مخابراتی

نام و نام خانوادگی: علی یداللهی

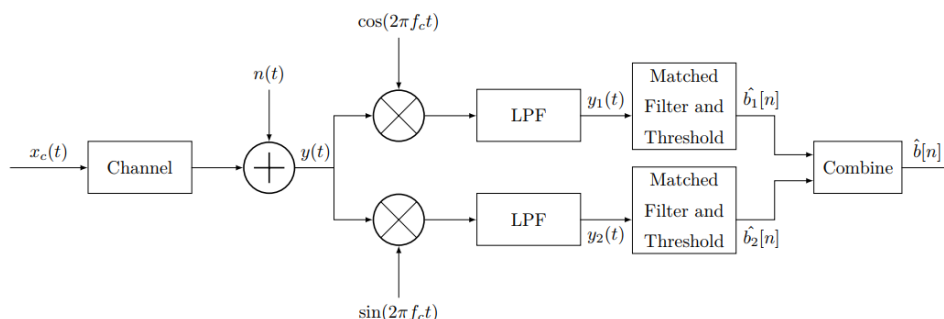
شماره دانشجویی: ۴۰۰۱۰۲۲۳۳

۱ مقدمه

در این پروژه قصد داریم یک سیستم مخابرات دیجیتال را به طور کامل شبیه سازی کنیم و تأثیر پارامترهای مختلف را بر عملکرد این سیستم مشاهده کنیم. دیاگرام بلوکی فرستنده و گیرنده در شکل های ۱ و ۲ نمایش داده شده اند.



شکل ۱: دیاگرام بلوکی فرستنده



شکل ۲: دیاگرام بلوکی گیرنده

۲ پیاده سازی بلوک ها به صورت مجزا

۱.۲

برای اینکه سیستم به یک سیستم real-time نزدیک شود؛ هر یک از بیت ها را به صورت یکی در میان به یکی از دنباله های خروجی می دهیم.

۲.۲

بنابر توضیحات هر وقت در ورودی یک داشتیم شکل پالس یک و هر وقت صفر داشتیم شکل پالس صفر را قرار می دهیم

۳.۲

سیگنال modulate را به صورت زیر تولید می کنیم:

$$x_1(t) \cos(2\pi f_c t) + x_2(t) \sin(2\pi f_c t)$$

۴.۲

از تابع bandpass متلب در این قسمت استفاده شده است.

۵.۲

سیگنال خروجی کانال (که ممکن است نویز هم به آن اضافه شده باشد) را یک بار در $\cos(2\pi f_c t)$ و یک بار در $\sin(2\pi f_c t)$ ضرب می کنیم و سپس از یک فیلتر lowpass با پهنای باند کانال عبور داده و سیگنال های $y_1(t)$ و $y_2(t)$ را تولید می کنیم.

۶.۲

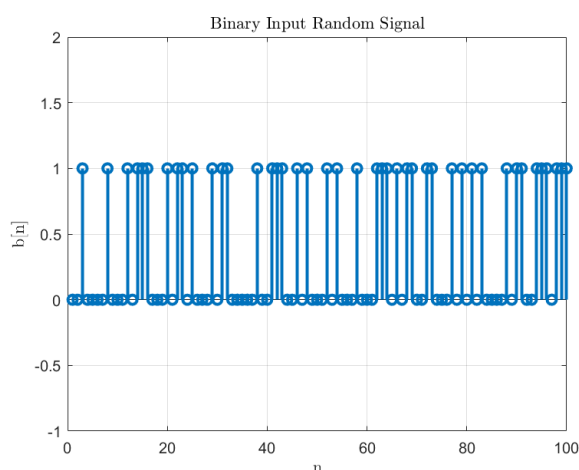
از آنجا که Matched Filter در واقع کانولوشن سیگنال ورودی با پالس های متناظر با صفر و یک است؛ روش تصمیم گیری را بر اساس مقدار کانولوشن در لحظات nT_b قرار می دهیم. به طوری که هر کجا سیگنال ورودی مقدار کانولوشن بیشتری با یکی از پالس های صفر یا یک داشت می توانیم تشخیص دهیم که در آن لحظه کدام بیت فرستاده شده است.

۳ انتقال دنباله تصادفی صفر و یک

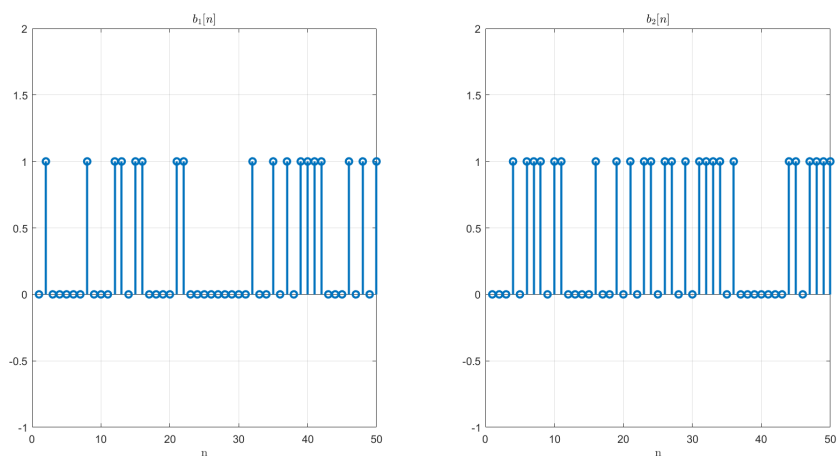
۱.۳ مولاسیون PAM

الف

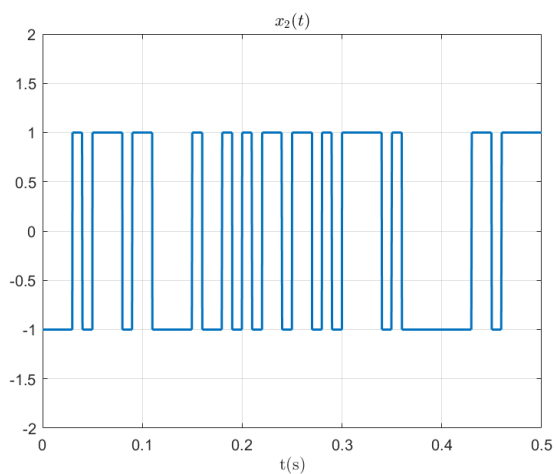
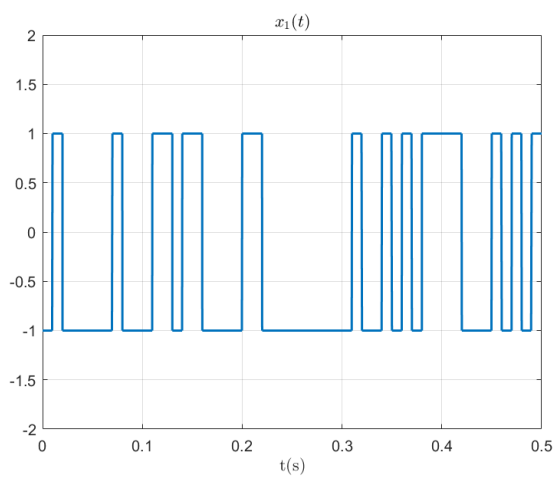
دنباله رندوم تولید شده به صورت زیر است:



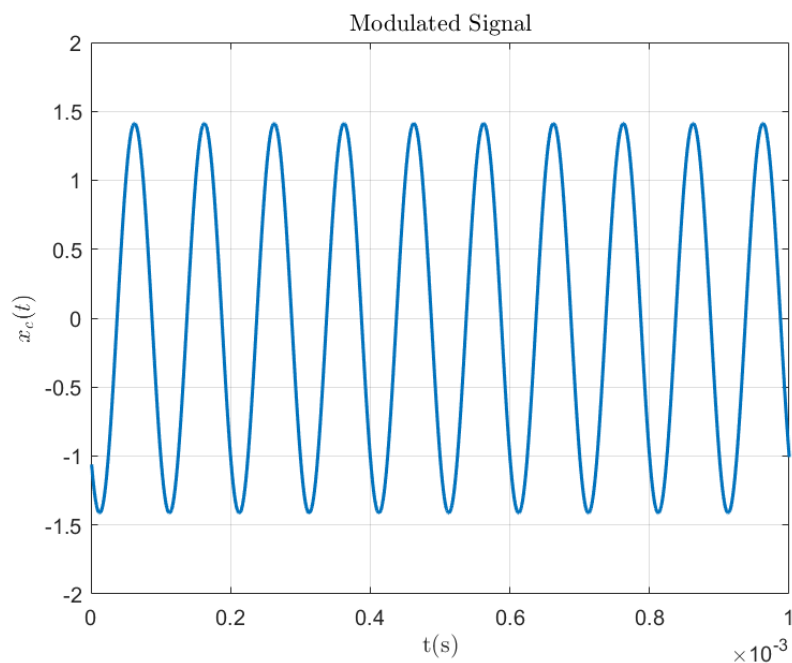
پس از عبور از Devider دو سیگنال $b_1[n]$ و $b_2[n]$ به دست می آیند.



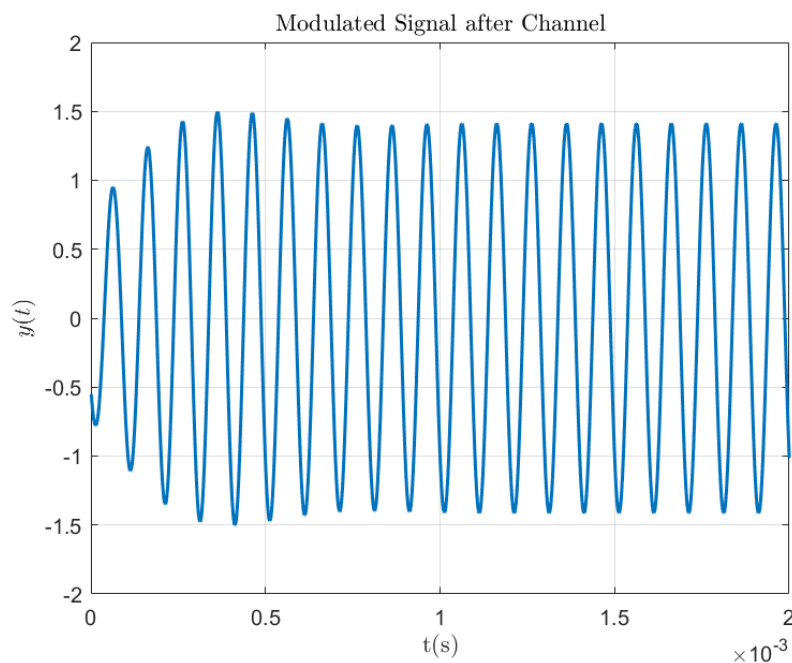
بعد از عبور از Pulse Shaping سیگنال های $x_1(t)$ و $x_2(t)$ به دست می آیند.



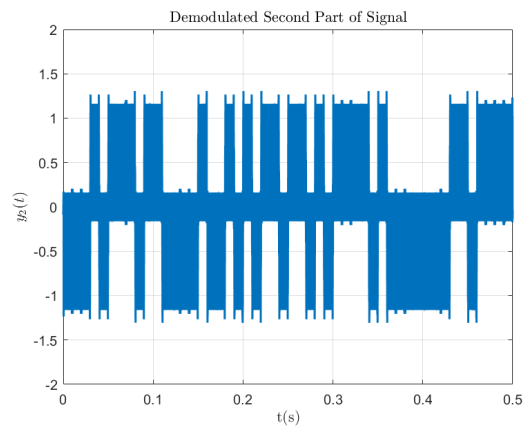
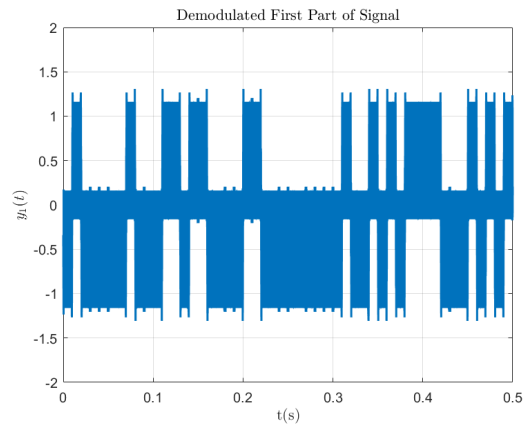
پس از عبور از AnalogMod ، $x_c(t)$ به دست می آید



بعد از عبور از کانال به سیگنال $y(t)$ خواهیم رسید.

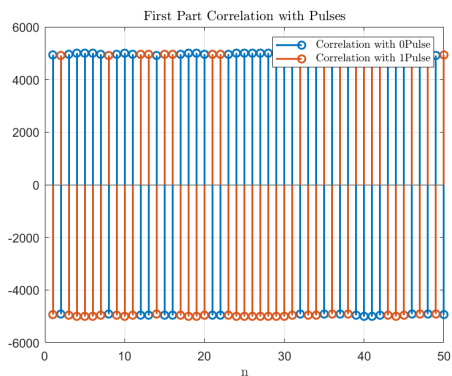


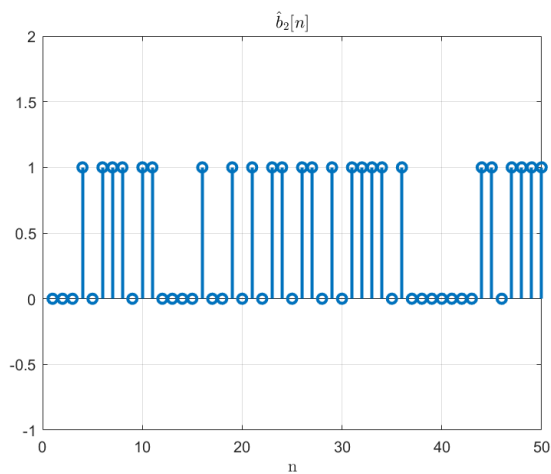
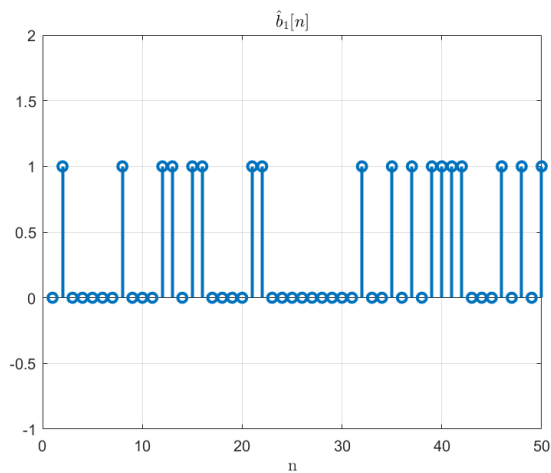
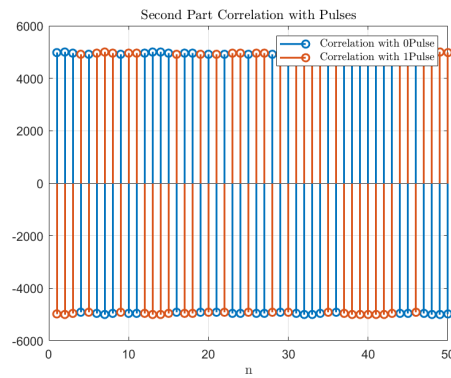
پس از عبور از AnalogDemod سیگنال های $y_1(t)$ و $y_2(t)$ به دست می آیند.



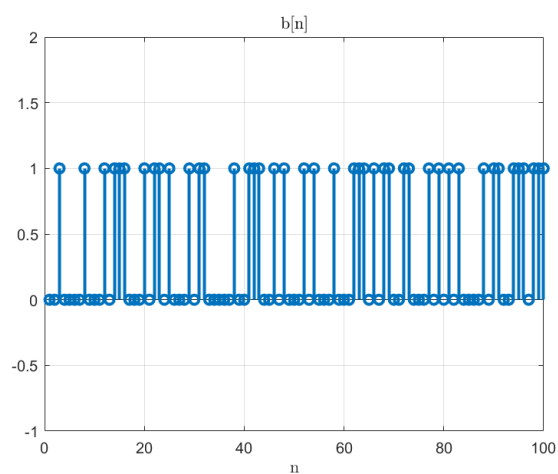
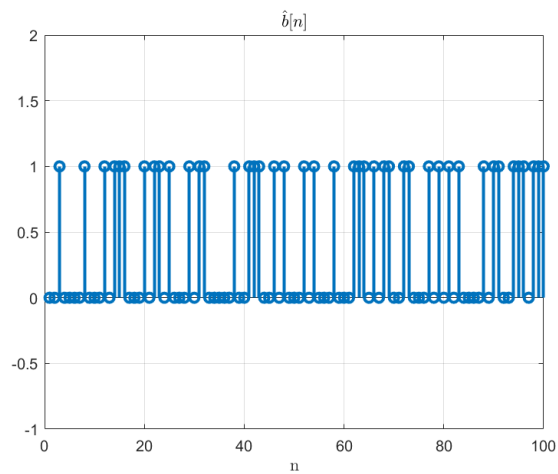
حال با استفاده از Matched Filter کورولیشن سیگنال ها را با پالس های صفر و یک به دست آورده و به سیگنال های $\hat{b}_1[n]$ و $\hat{b}_2[n]$ خواهیم رسید.

مشاهده می شود که هر کجا مقدار کورولیشن با پالس صفر (میله های آبی رنگ) بیشتر بوده مقدار صفر تخمین زده شده و همینطور برای پالس یک



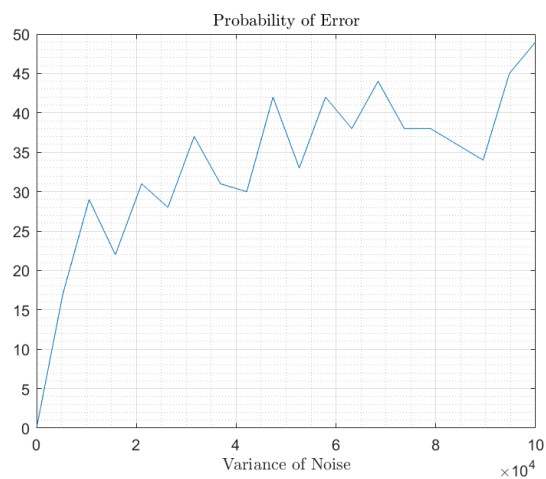


در نهایت با عبور از تابع Combine خروجی را به دست می آوریم و آن را درکنار ورودی رسم می کنیم. میبینیم که درحالت بدون نویز سیستم ما بدون خطا کار می کند.



ب

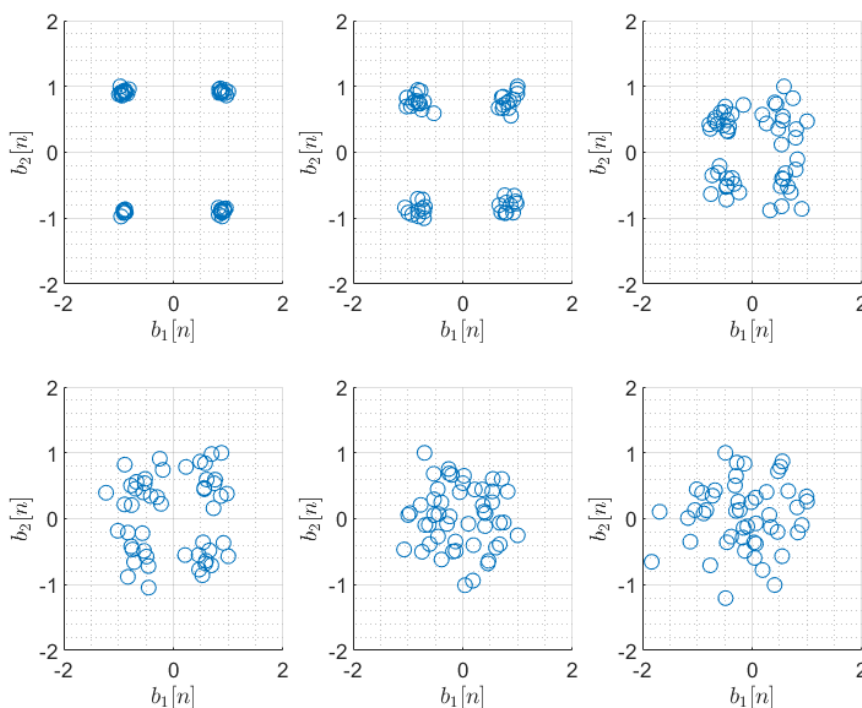
در این قسمت تابعی به نام DigitalSystem پیاده شده که کل فرایندهای قبل را به همراه نویز شبیه سازی می کند. به ازای مقادیر مختلف برای واریانس نویز یک نویز گاوسی به سیگنال $y(t)$ اضافه کرده و مقدار خطا را به دست می آوریم.



مشاهده می شود که برای مقادیر بسیار زیاد واریانس، احتمال خطا به حدود ۵۰ درصد می رسد!

ج

به ازای ۶ مقدار مختلف برای واریانس نویز Signal Constellation را رسم می کنیم.

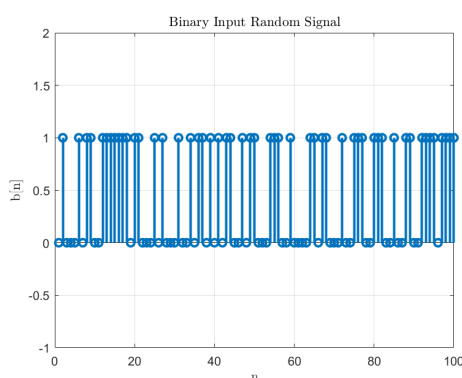


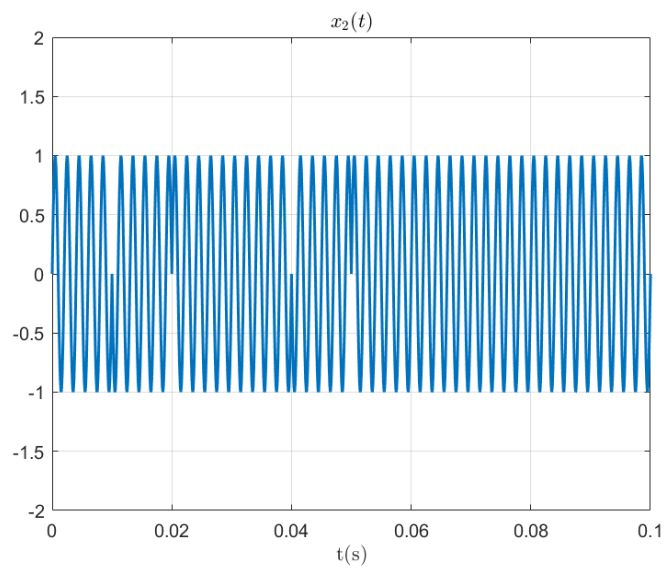
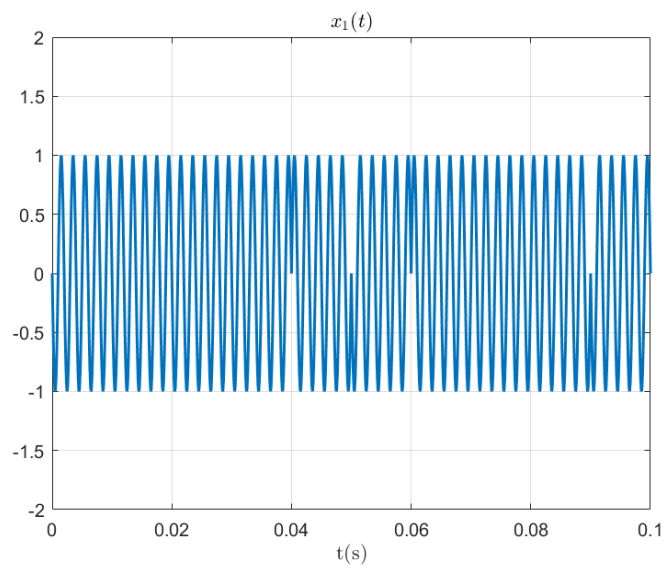
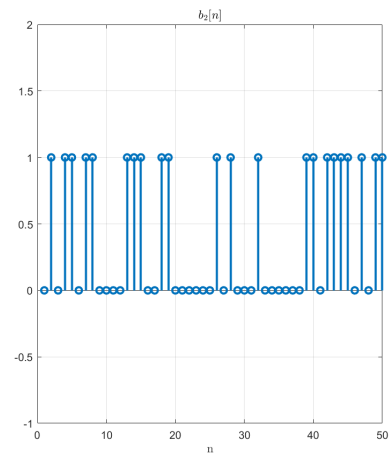
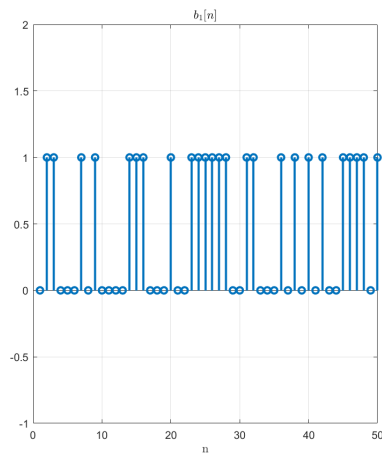
در نمودارهای بالا مقادیر حاصل از Matched Filter نرمالیزه شده اند تا نقاط حول نقطه های ± 1 متمرکز شوند. می توان مشاهده کرد که با افزایش واریانس پراکندگی نقاط بیشتر میشود و در نتیجه احتمال خطا هم افزایش پیدا خواهد کرد.

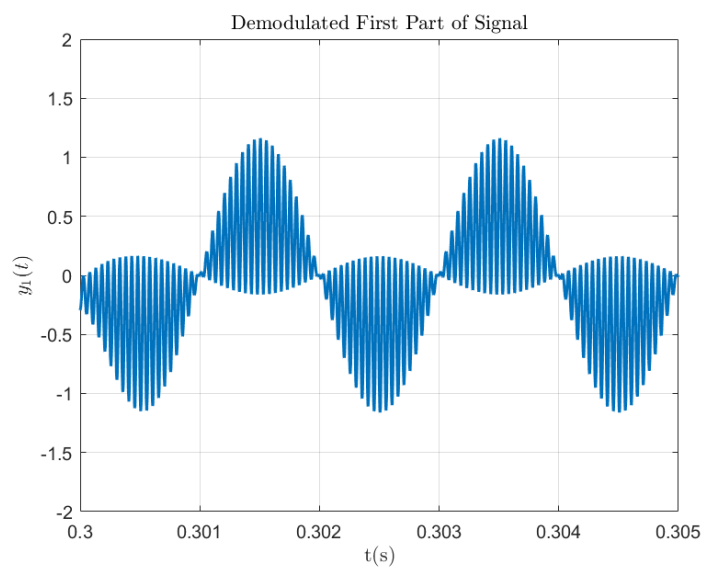
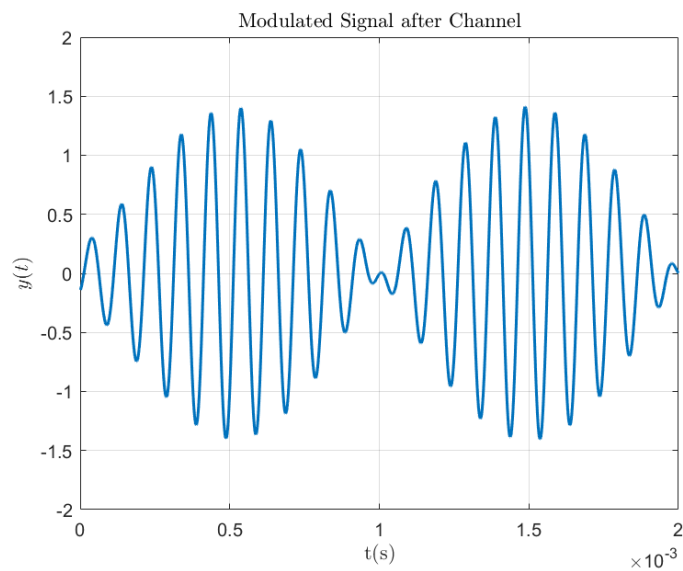
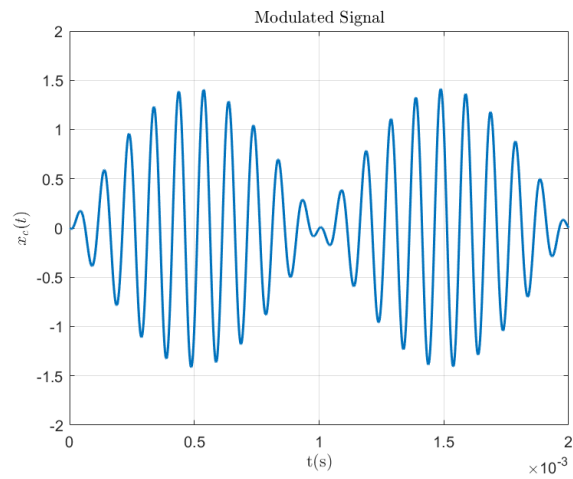
۲.۳ مدولاسیون PSK

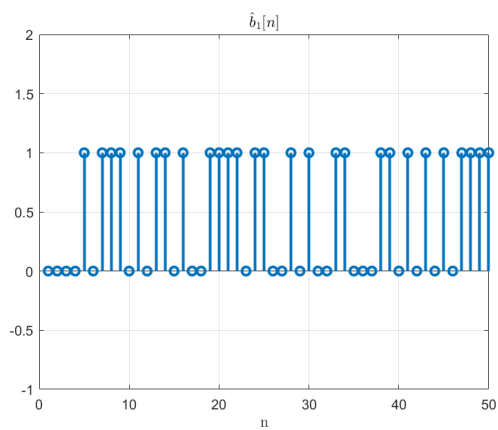
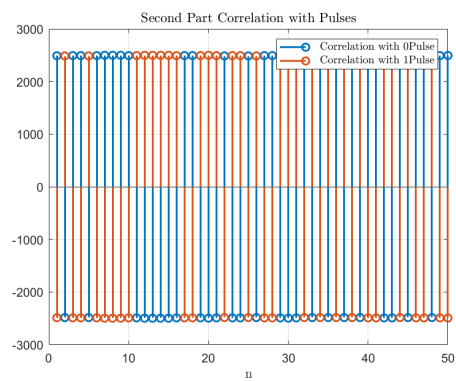
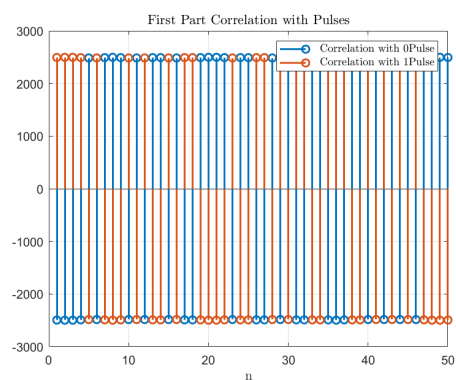
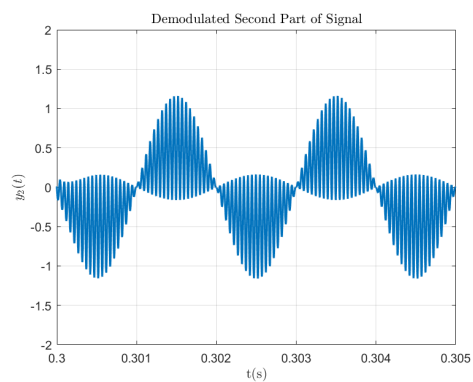
الف

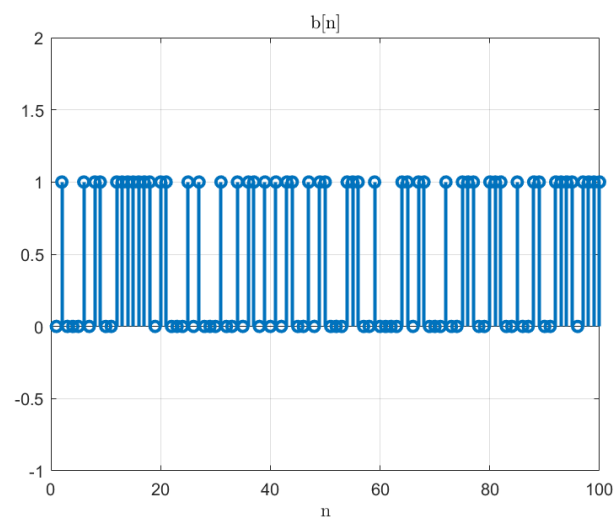
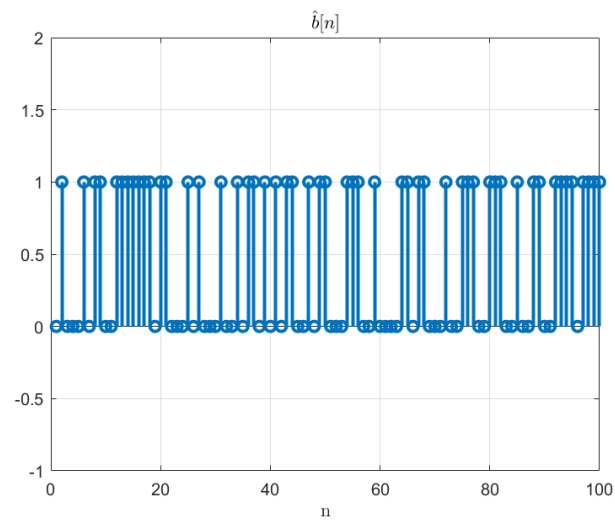
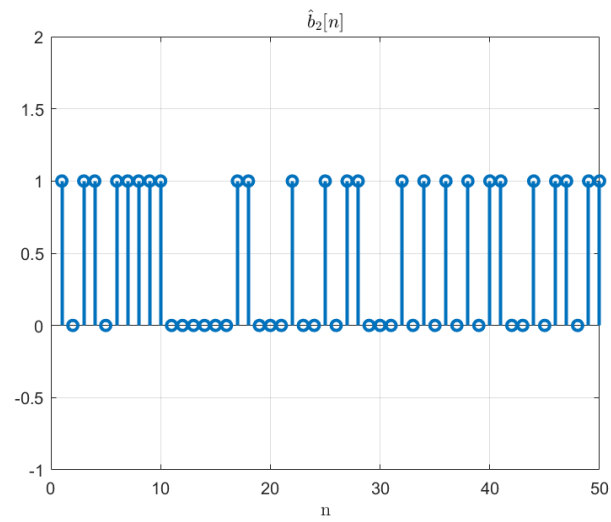
همانند قسمت قبل برای این بخش هم سیگنال ها را به دست آورده و رسم می کنیم. می توان مشاهده کرد که در این حالت هم در حالت بدون نویز سیگنال بدون خطا انتقال می یابد.





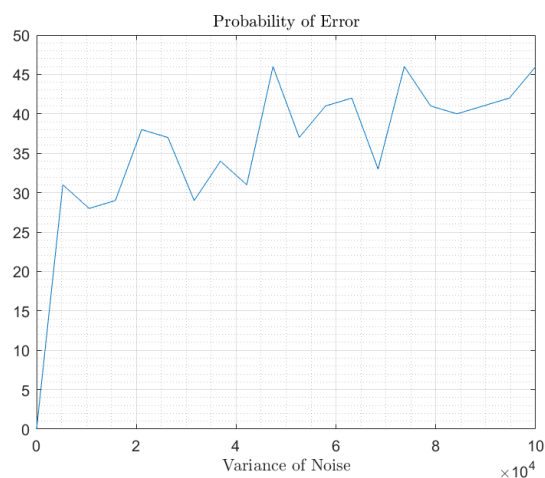






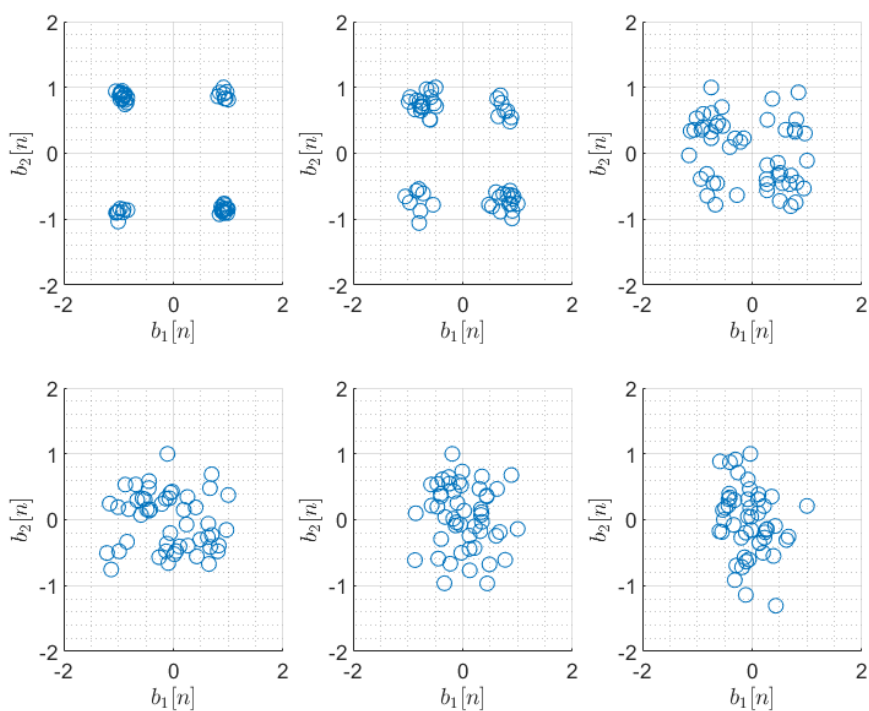
ب

می توان مشاهده کرد که همانند حالت قبل به ازای مقادیر خیلی بزرگ واریانس ، خطا به حدود ۵۰ درصد می رسد.



ج

می بینیم که همانند حالت قبل با افزایش واریانس پراکندگی افزایش یافته و احتمال خطا بیشتر می شود.



۳.۳ مدولاسیون FSK

الف

بله دو سیگنال متعامد هستند و تعامد آنها به این صورت اثبات می شود:

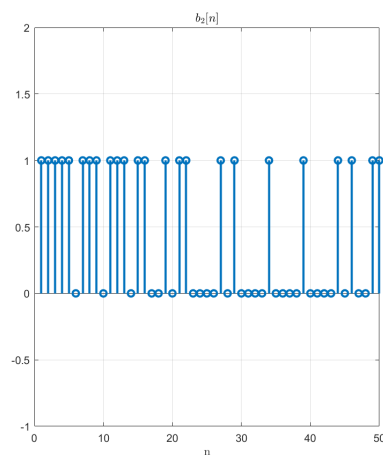
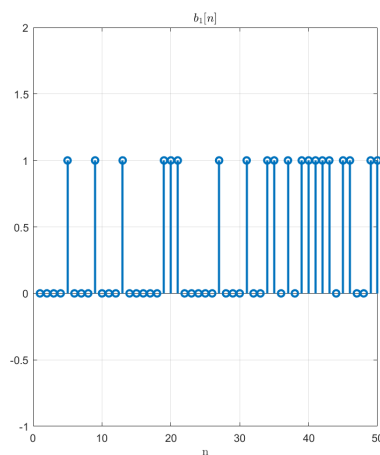
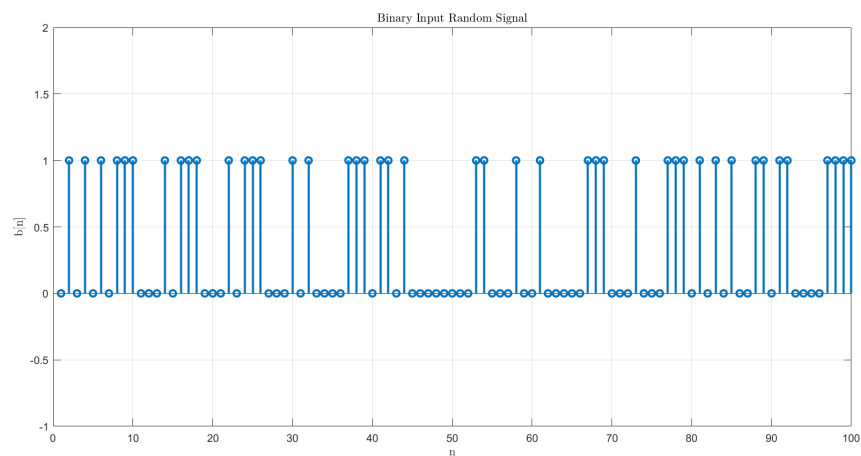
$$P_0 = \sin(2\pi 1000t)$$

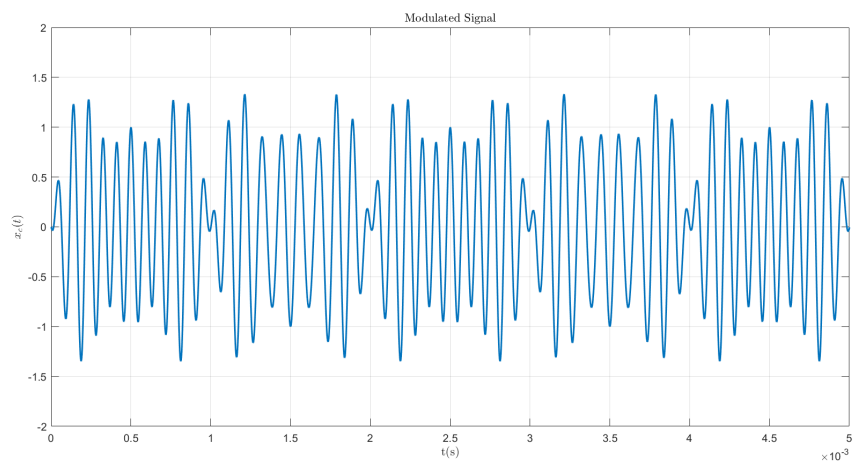
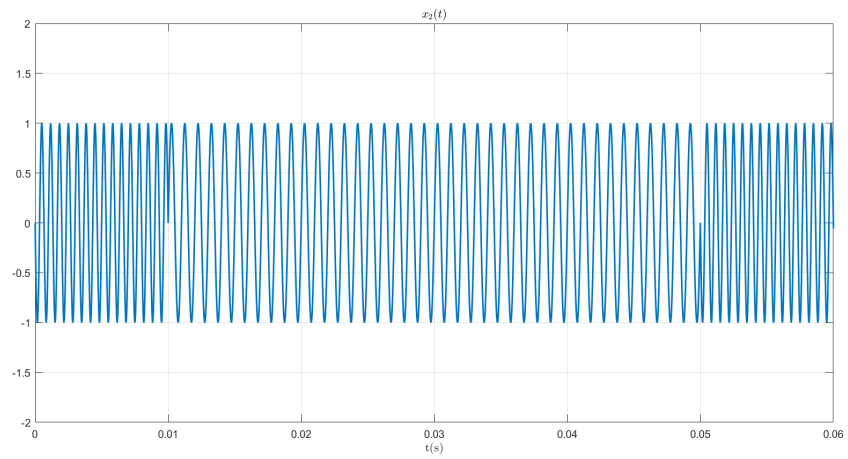
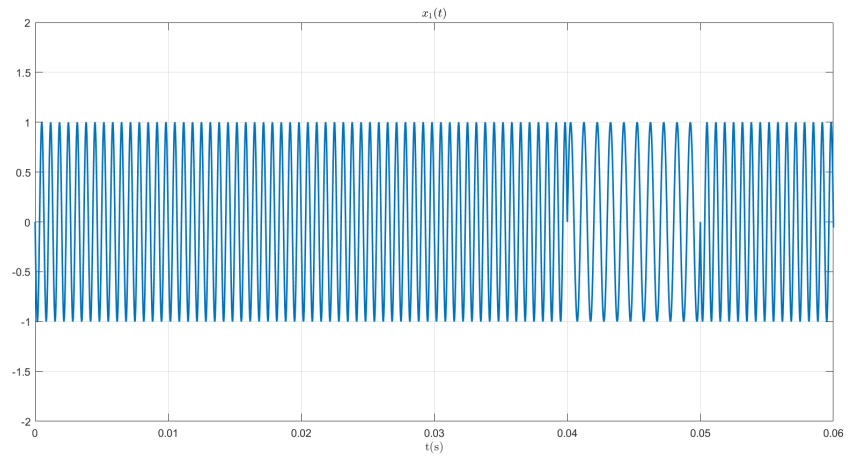
$$P_1 = \sin(2\pi 1500t)$$

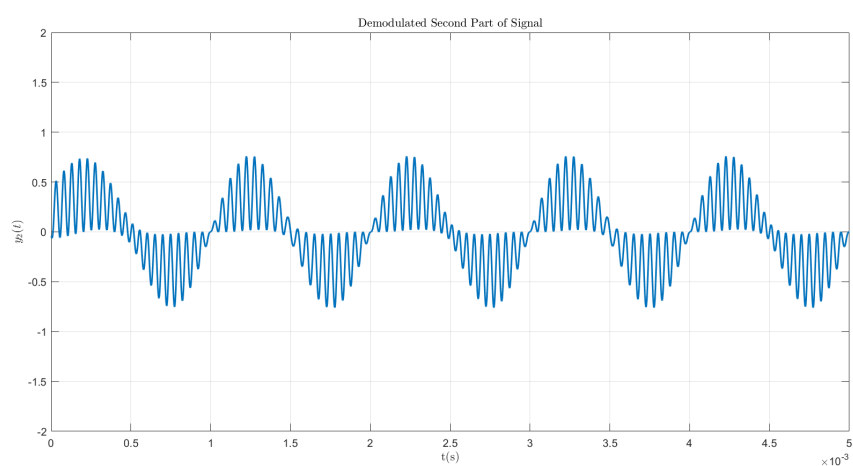
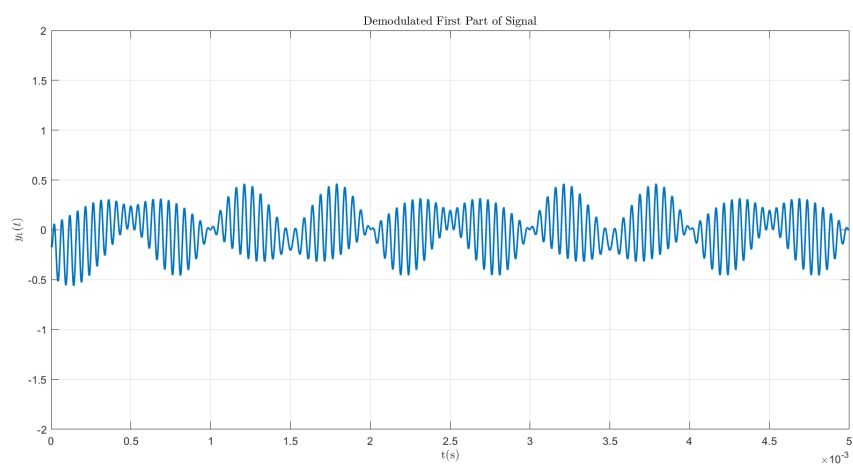
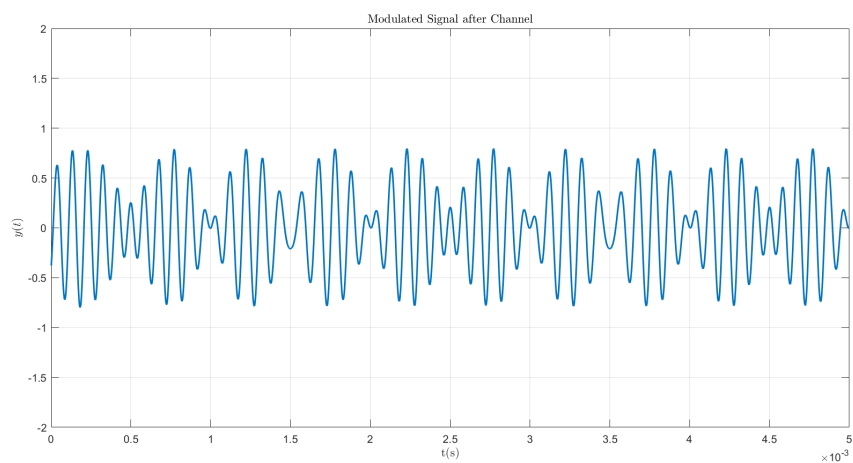
$$\langle P_0, P_1 \rangle = \int_0^T \sin(2\pi 1000t) \sin(2\pi 1500t) dt = 0$$

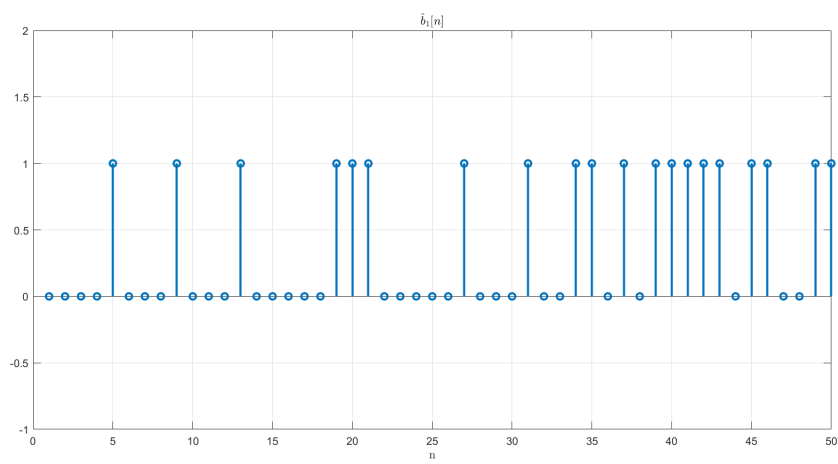
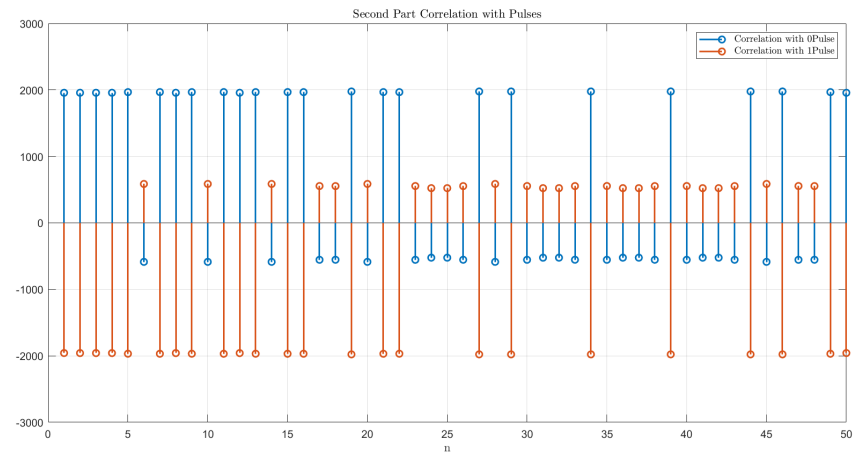
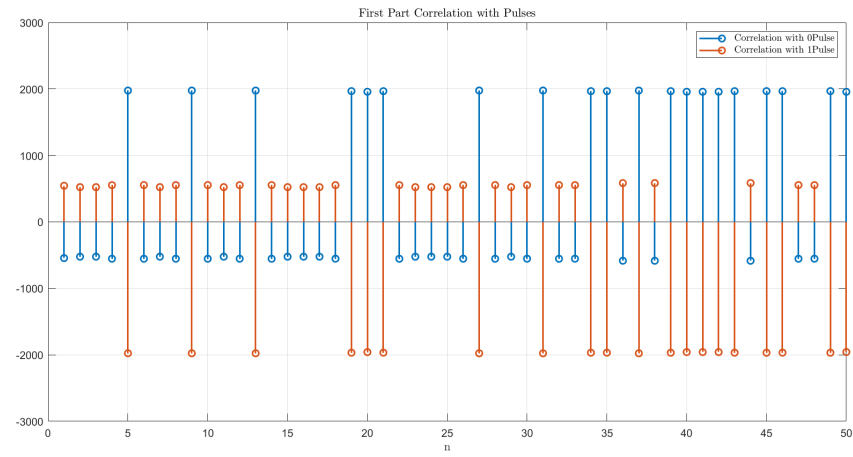
ب

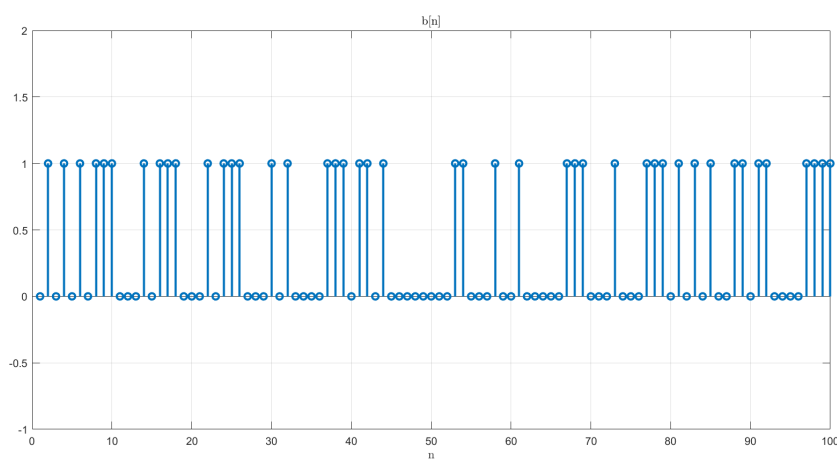
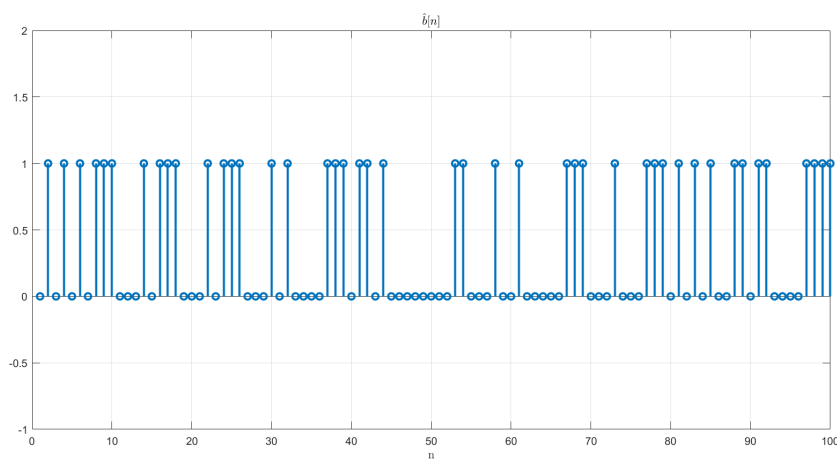
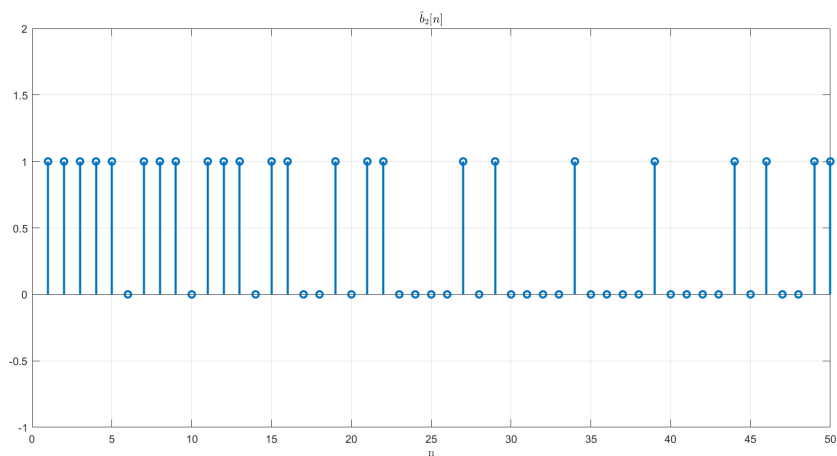
همانند حالت های قبل سیگنال ها را رسم می کنیم





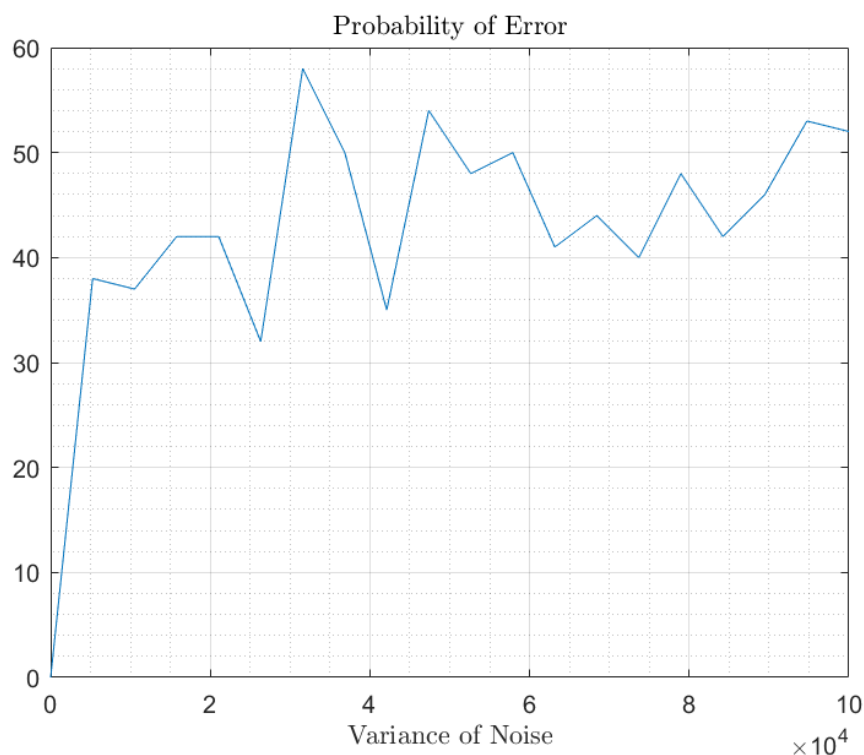






می توان دید که در این مدولاسیون هم در حالت بدون نویز سیگنال بدون خطا منتقل می شود.

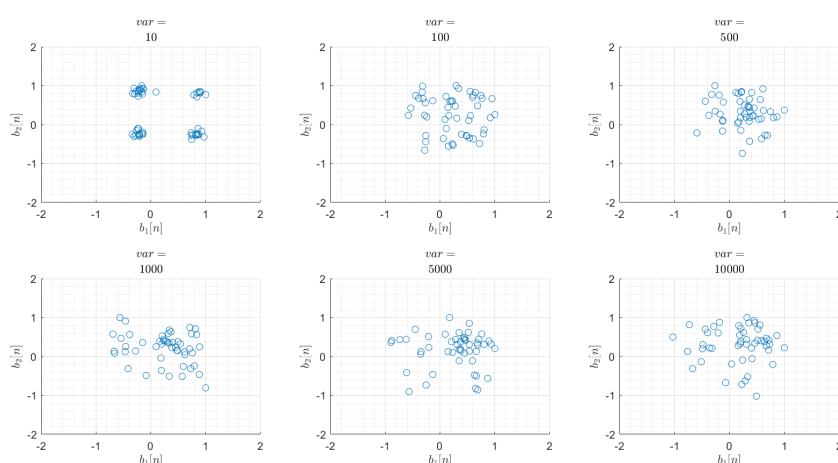
ج



می بینیم که در مدولاسیون FSK خطا حتی تا حدود ۶۰ درصد هم می رسد و از دو مدولاسیون قبلی بیشتر است.

د

می توان مشاهده کرد که در این مدولاسیون نسبت به مدولاسیون های قبلی خطا بیشتر است و به ازای واریانس های کمتر نسبت به حالت های قبل پراکندگی و خطای نسبتا زیادی داریم.



۴.۳

مدولاسیون FSK نسبت به دو مدولاسیون دیگر به پهنای باند بیشتری نیاز دارد. برای حالت معرفی شده در این پروژه برای مدولاسیون FSK نیاز به حداقل ۳ کیلوهرتز پهنای باند داریم درحالی که پهنای باند کانال برابر ۱ کیلوهرتز است و برای

استفاده از مدولاسیون FSK چندان مناسب نیست. همچنین دیدیم که در مدولاسیون FSK خطا بیشتر است و به بیان دیگر حساسیت بیشتری به نویز نسبت به دو مدولاسیون دیگر داریم.

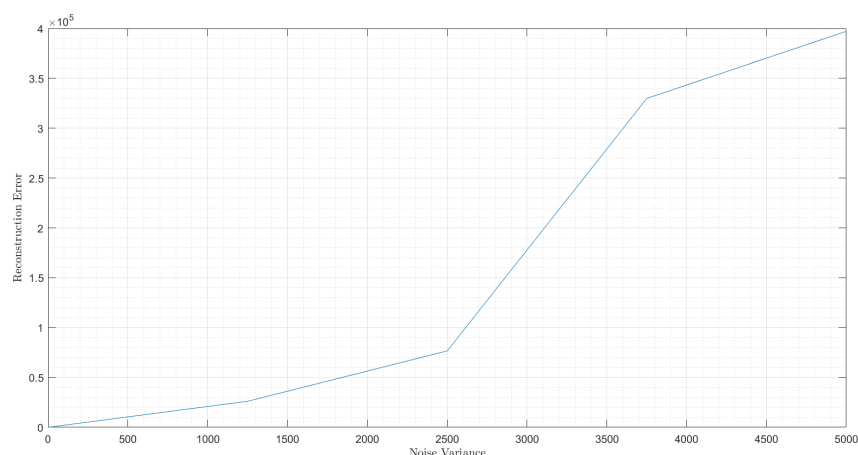
۴ انتقال دنباله ای از اعداد ۸ بیتی

۱.۴

تابع های مورد نظر با کمک تابع های de2bi و bi2de متلب پیاده سازی شدند.

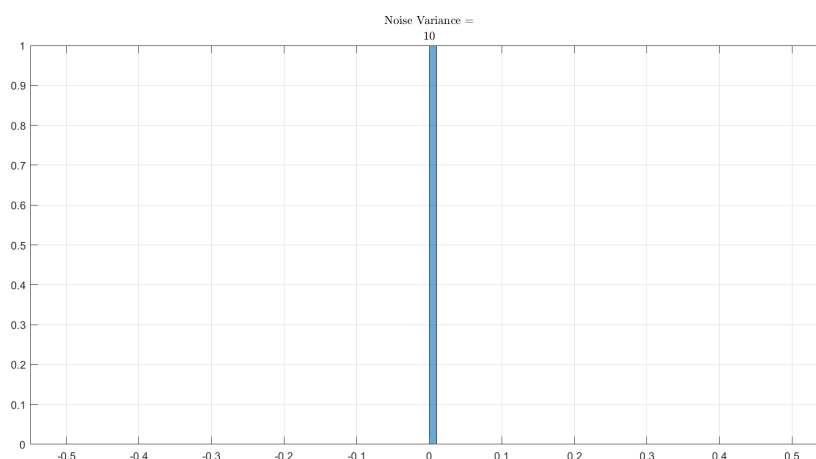
۲.۴

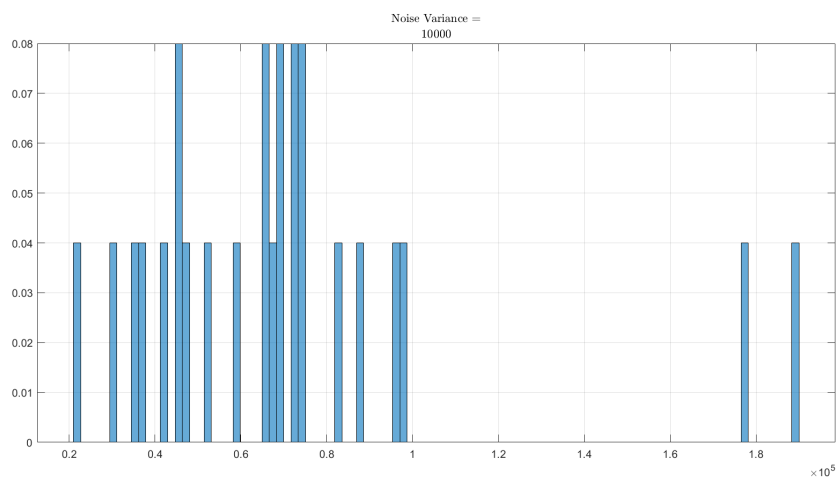
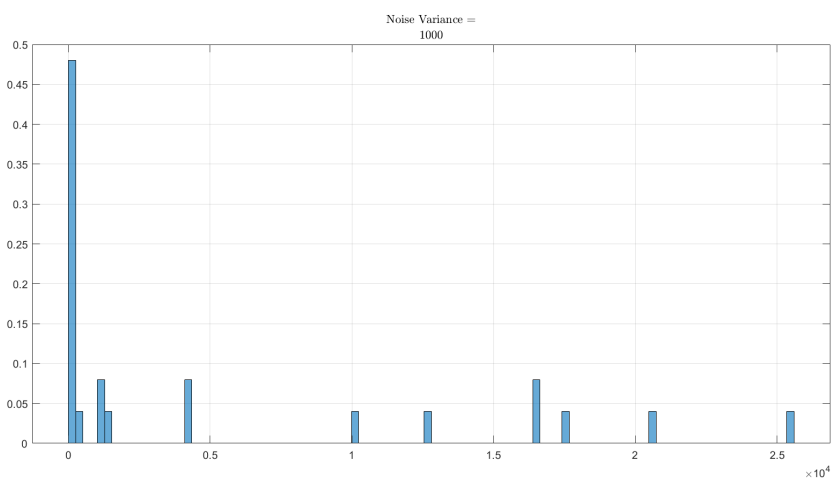
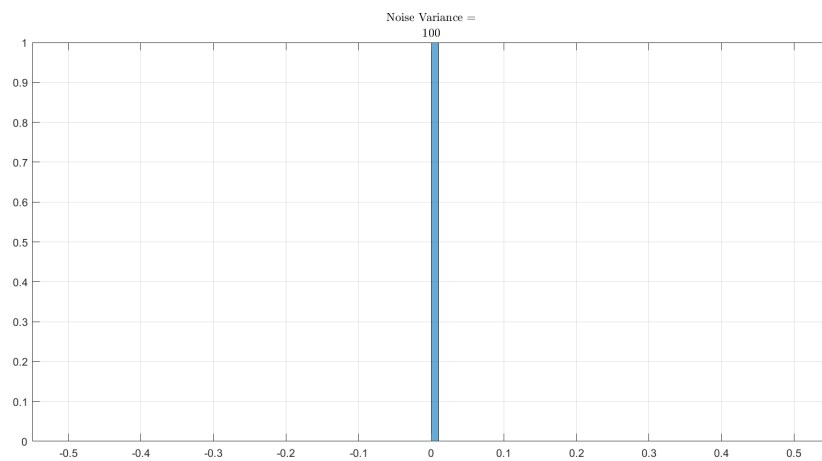
مشاهده می شود که با افزایش واریانس خطا افزایش پیدا می کند.

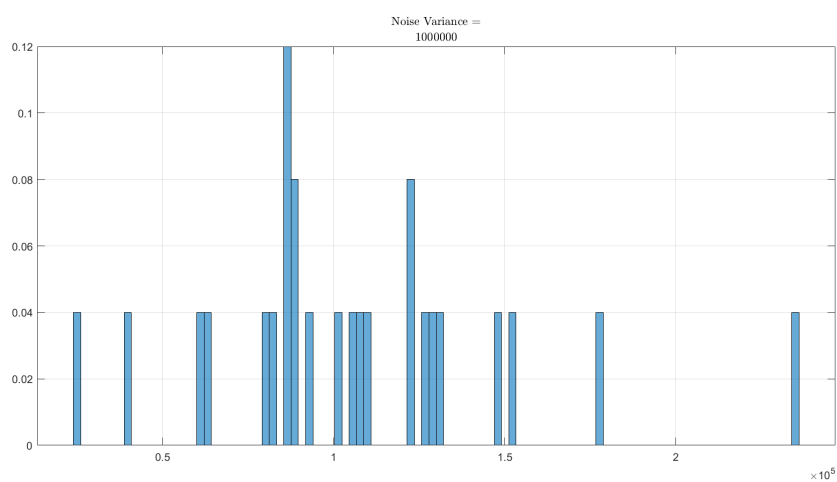
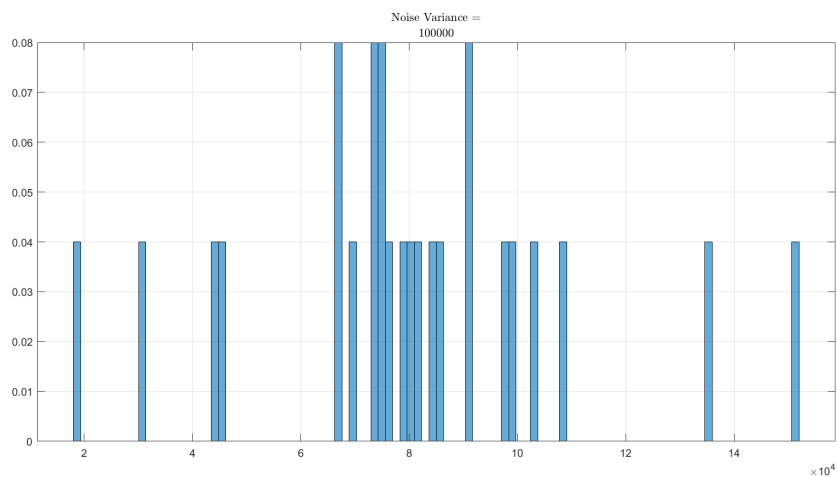


۳.۴

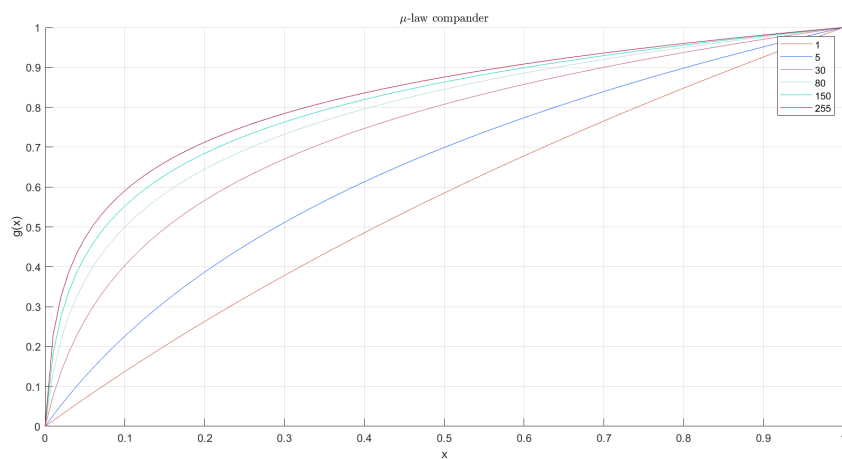
به ازای چند مقدار مختلف واریانس توزیع خطا را رسم می کنیم.







۵ فشرگستر!
۱.۵



مشاهده می شود که به ازای μ های کوچک نمودار تقریباً خطی است و با افزایش μ نمودار غیرخطی تر می شود.

۲.۵

در این قسمت از حکایت شماره ۱۴ از باب هفتم گلستان سعدی با صدای زیبای خسرو شکیبایی استفاده شده است و از سیگنال نمونه برداری شده است.

۳.۵

توان سیگنال بعد از بهنجار شدن برابر با -15.8426db است.

۴.۵

تابع پیاده سازی شده به این صورت است:

```
1 function output = ulaw_compressor(x , mu)
2 output = sign(x) .* (log(1 + mu.*abs(x)) / log(1 + mu));
3 end
4
```

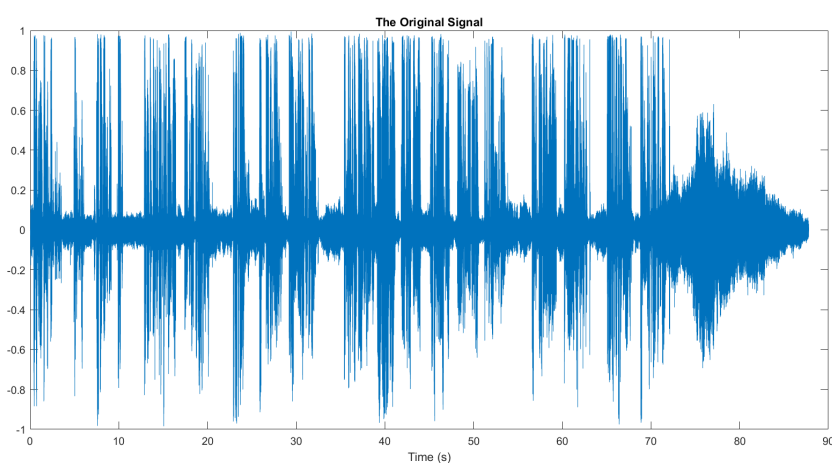
۵.۵

تابع پیاده سازی شده در این بخش سیگنال اصلی را از سیگنال فشرده شده استخراج می کند.

```
1 function x = ulaw_expander(y , mu)
2 x = sign(y) .* (1/mu) .* ((1 + mu) .^ abs(y) - 1);
3 end
4
```

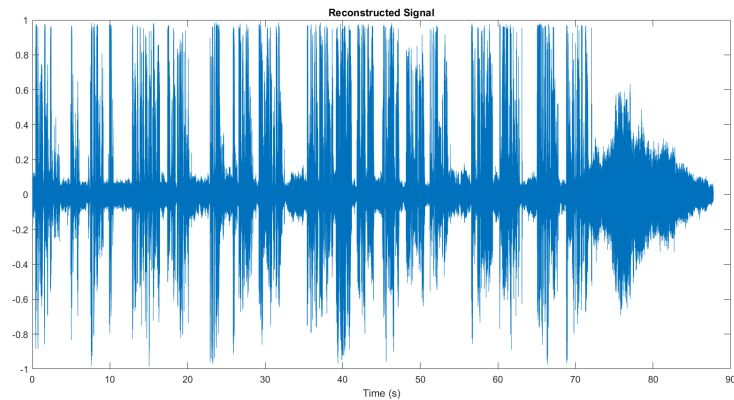
۶.۵

سیگنال ورودی به این شکل است:



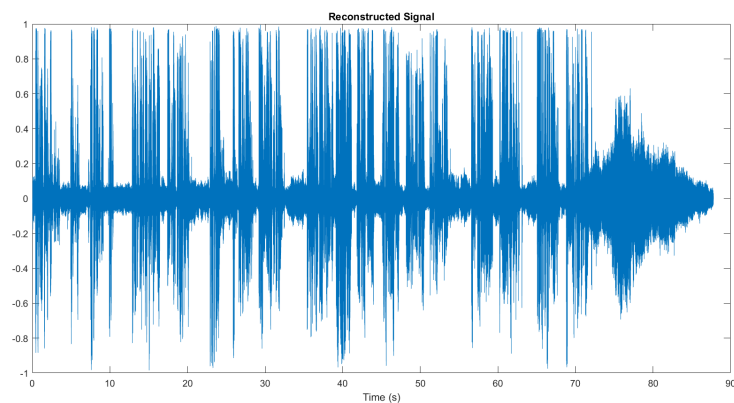
به ازای چند مقدار μ سیگنال بازسازی شده را رسم می کنیم و مقدار خطای RMS را به دست می آوریم.

$$\mu = 1 \bullet$$



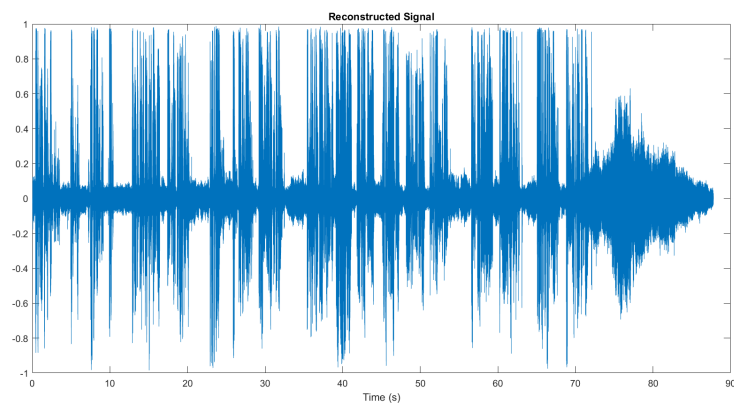
$$RMSError = 6.6058e - 17$$

$$\mu = 30 \bullet$$



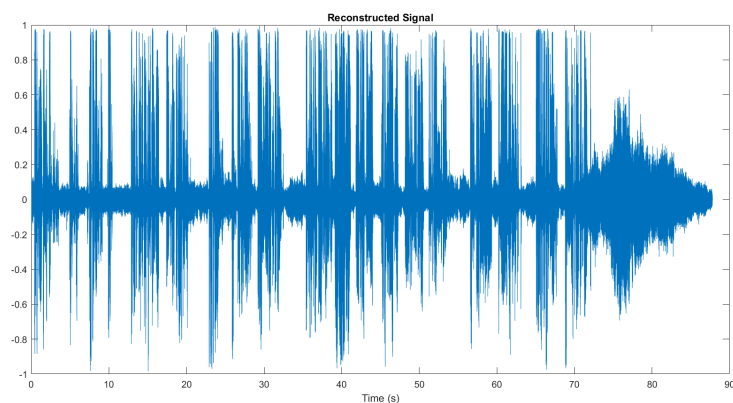
$$RMSError = 3.1926e - 17$$

$$\mu = 80 \bullet$$



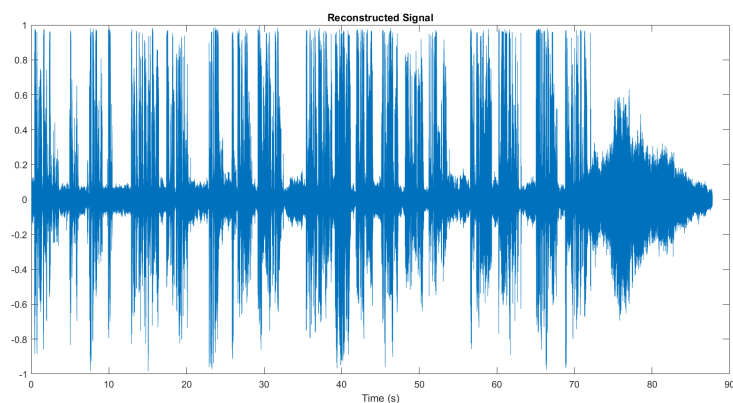
$$RMSError = 5.5173e - 17$$

$$\mu = 150 \bullet$$



$$RMSError = 4.8456e - 17$$

$$\mu = 255 \bullet$$



$$RMSError = 5.4743e - 17$$

۷.۵

تابع پیاده شده به این صورت است:

```

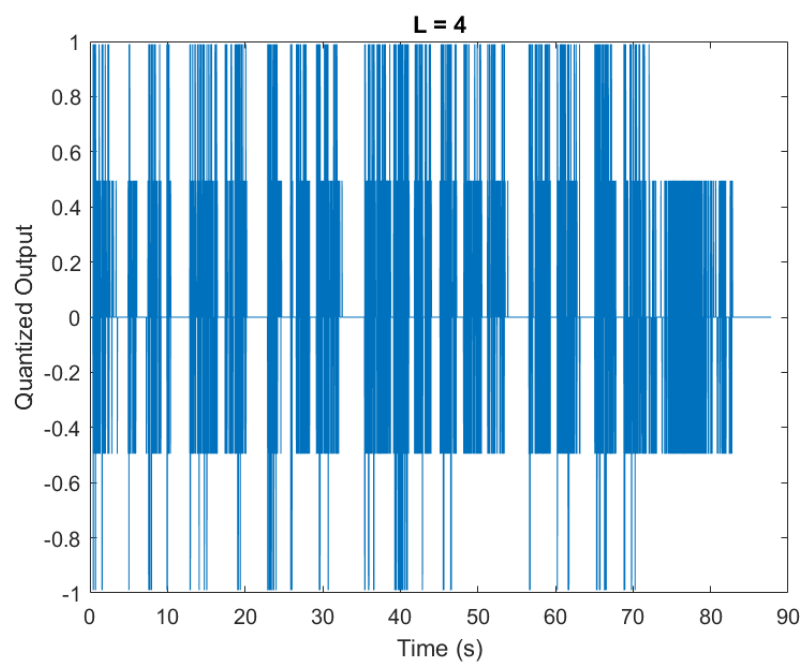
1 function quantized_signal = quantizer(signal, L)
2 max_val = max(signal);
3 min_val = min(signal);
4 delta = (max_val - min_val) / L;
5 quantized_signal = round(signal / delta) * delta;
6 end
7

```

۸.۵

سیگنال کوانتیزه شده و مقدار SNR برای مقادیر مختلف L در ادامه آورده شده است.

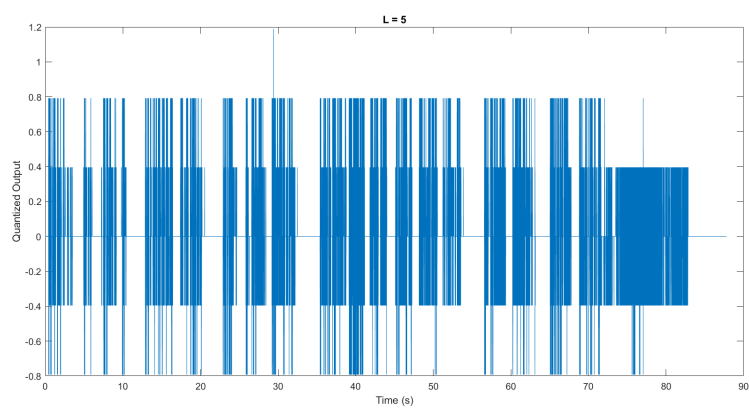
$L = 4$ ●



$$SNR = 3.0005$$

$$SNR_{db} = 4.7719$$

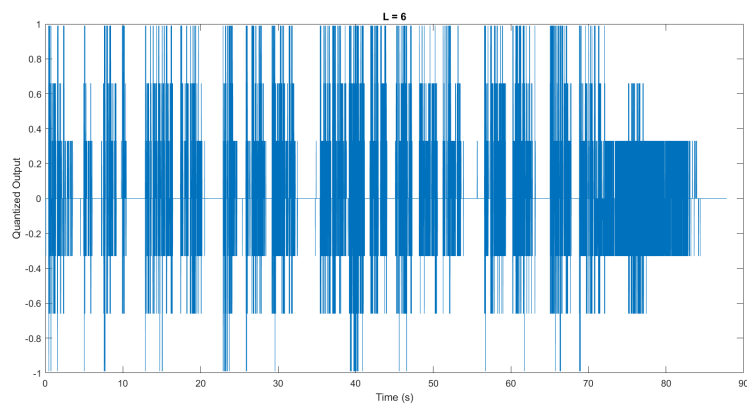
$L = 5$ ●



$$SNR = 4.0843$$

$$SNR_{db} = 6.1111$$

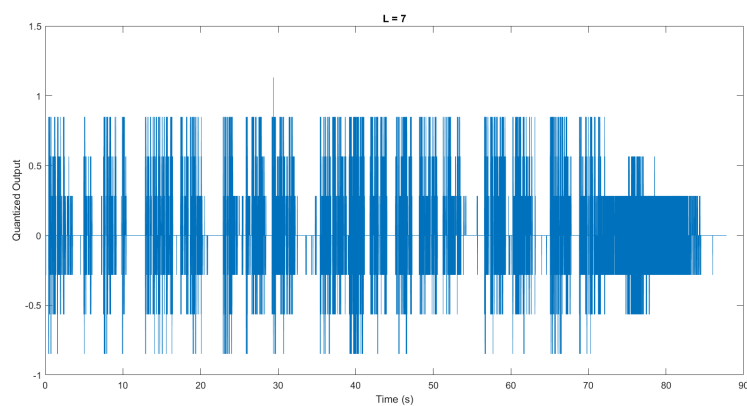
$L = 6$ ●



$$SNR = 5.2863$$

$$SNR_{db} = 7.2315$$

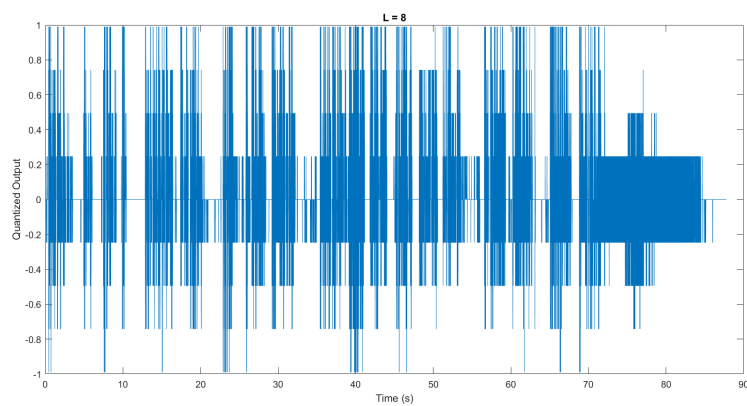
$$L = 7 \bullet$$



$$SNR = 6.6556$$

$$SNR_{db} = 8.2319$$

$$L = 8 \bullet$$



$$SNR = 8.1239$$

$$SNR_{db} = 9.0976$$

می بینیم که با افزایش سطوح مقدار SNR افزایش پیدا می کند که برای ما مطلوب تر است.

۹.۵

$$L = 4 \quad ۱.۹.۵$$

$$\mu = 1 \bullet$$

$$SNR = 3.5905$$

$$SNR_{db} = 5.5516$$

$$\mu = 5 \bullet$$

$$SNR = 3.9337$$

$$SNR_{db} = 5.9480$$

$$\mu = 30 \bullet$$

$$SNR = 2.1398$$

$$SNR_{db} = 3.3037$$

$$\mu = 80 \bullet$$

$$SNR = 1.2403$$

$$SNR_{db} = 0.9354$$

$$\mu = 150 \bullet$$

$$SNR = 0.8718$$

$$SNR_{db} = -0.5956$$

$$\mu = 255 \bullet$$

$$SNR = 0.6579$$

$$SNR_{db} = -1.8181$$

$$L = 5 \quad ۲.۹.۵$$

$$\mu = 1 \bullet$$

$$SNR = 5.1848$$

$$SNR_{db} = 7.1474$$

$$\mu = 5 \bullet$$

$$SNR = 6.3970$$

$$SNR_{db} = 8.0598$$

$$\mu = 30 \bullet$$

$$SNR = 5.0393$$

$$SNR_{db} = 7.0237$$

$$\mu = 80 \bullet$$

$$SNR = 3.9879$$

$$SNR_{db} = 6.0074$$

$$\mu = 150 \bullet$$

$$SNR = 3.4606$$

$$SNR_{db} = 5.3915$$

$$\mu = 255 \bullet$$

$$SNR = 3.0947$$

$$SNR_{db} = 4.9062$$

$$L = 6 \quad ۳.۹.۵$$

$$\mu = 1 \bullet$$

$$SNR = 6.9027$$

$$SNR_{db} = 8.3902$$

$$\mu = 5 \bullet$$

$$SNR = 8.6262$$

$$SNR_{db} = 9.3582$$

$$\mu = 30 \bullet$$

$$SNR = 6.0284$$

$$SNR_{db} = 7.8020$$

$$\mu = 80 \bullet$$

$$SNR = 3.8335$$

$$SNR_{db} = 5.8359$$

$$\mu = 150 \bullet$$

$$SNR = 2.8065$$

$$SNR_{db} = 4.4816$$

$$\mu = 255 \bullet$$

$$SNR = 2.1732$$

$$SNR_{db} = 3.3710$$

$$L = 7 \quad ۴.۹.۵$$

$$\mu = 1 \quad \bullet$$

$$SNR = 8.9386$$

$$SNR_{db} = 9.5127$$

$$\mu = 5 \quad \bullet$$

$$SNR = 11.8991$$

$$SNR_{db} = 10.7551$$

$$\mu = 30 \quad \bullet$$

$$SNR = 9.8743$$

$$SNR_{db} = 9.9450$$

$$\mu = 80 \quad \bullet$$

$$SNR = 7.2001$$

$$SNR_{db} = 8.5734$$

$$\mu = 150 \quad \bullet$$

$$SNR = 5.8732$$

$$SNR_{db} = 7.6888$$

$$\mu = 255 \quad \bullet$$

$$SNR = 5.0471$$

$$SNR_{db} = 7.0304$$

$$L = 8 \quad ۵.۹.۵$$

$$\mu = 1 \quad \bullet$$

$$SNR = 11.0240$$

$$SNR_{db} = 10.4234$$

$$\mu = 5 \quad \bullet$$

$$SNR = 14.9818$$

$$SNR_{db} = 11.7556$$

$$\mu = 30 \quad \bullet$$

$$SNR = 11.5073$$

$$SNR_{db} = 10.6098$$

$$\mu = 80 \quad \bullet$$

$$SNR = 7.7416$$

$$SNR_{db} = 8.8883$$

$$\mu = 150 \bullet$$

$$SNR = 5.9050$$

$$SNR_{db} = 7.7122$$

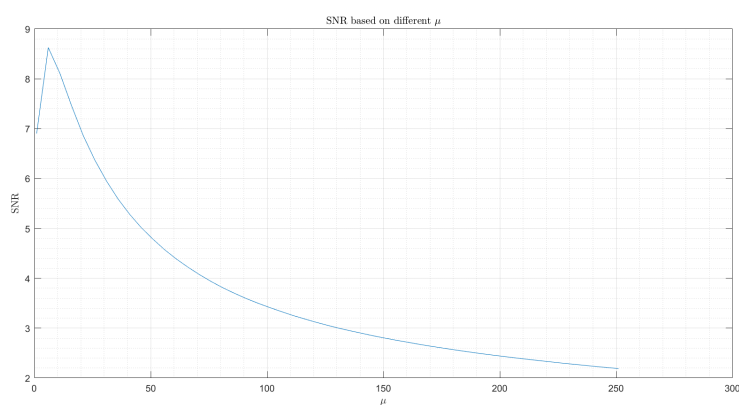
$$\mu = 255 \bullet$$

$$SNR = 4.6961$$

$$SNR_{db} = 6.7174$$

می توان دید که افزایش μ ابتدا باعث افزایش و سپس باعث کاهش SNR می شود؛ درحالی که افزایش L باعث افزایش SNR می شود.

۱۰.۵



۱۱.۵

به عنوان مثال حالت $L=6$ را بررسی می کنیم.

$$\mu = 1 \bullet$$

$$SNR = 3.9498$$

$$SNR_{db} = 5.9657$$

$$\mu = 5 \bullet$$

$$SNR = 2.5306$$

$$SNR_{db} = 4.0322$$

$$\mu = 30 \bullet$$

$$SNR = 1.6017$$

$$SNR_{db} = 2.0457$$

$$\mu = 80 \bullet$$

$$SNR = 1.3898$$

$$SNR_{db} = 1.4297$$

$$\mu = 150 \bullet$$

$$SNR = 1.3115$$

$$SNR_{db} = 1.1778$$

$$\mu = 255 \bullet$$

$$SNR = 1.2624$$

$$SNR_{db} = 1.0118$$

می توان مشاهده کرد که مقدار SNR نسبت به حالت قبل کاهش پیدا کرده است. این یعنی نسبت توان سیگنال به توان نویز کاهش پیدا کرده است که مطلوب نیست بنابراین بهتر است از همان ترتیب قبل استفاده کنیم.