KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ

SAYISAL HABERLEŞME LABORATUVARI

ARA SINAV

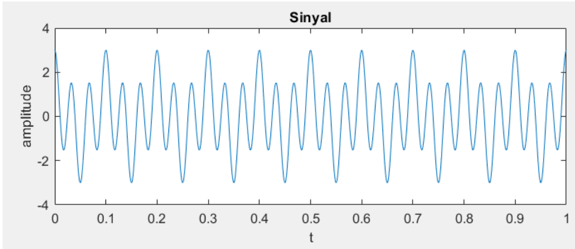
Zeynep SAKLI
160207013

2020

BÖLÜM A

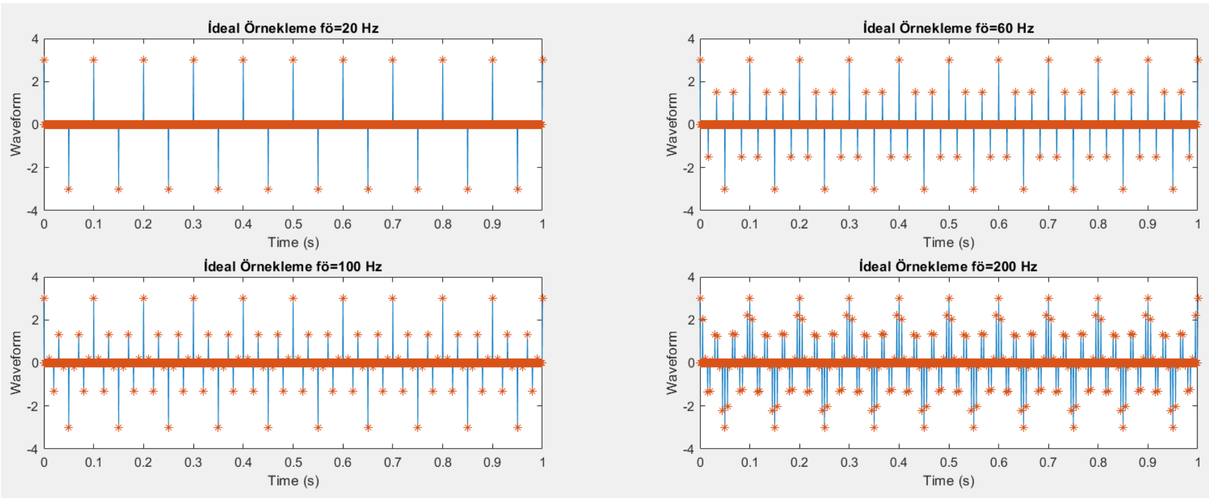
1) $x(t) = cos(2\pi 10t) + 2cos(2\pi 30t)$ **işaretini üretiniz.**

```
%% x(t) işareti çizdirelim
fa=1500  %Ödev pdf'inde söylendi
tx=0:1/fa:1 %periuyod ayarladım
y=cos(2*pi*10*tx)+2*cos(2*pi*30*tx) %Orjinal Sinyal
subplot(321)
plot(tx,y)
xlabel('t')   %x ekseni
ylabel('amplitude') %y ekseni
title('Sinyal') %baslik
```



2) Ürettiğiniz işareti; $f\ddot{o} = 20, 60, 100, 200$ Hz değerlerinde,

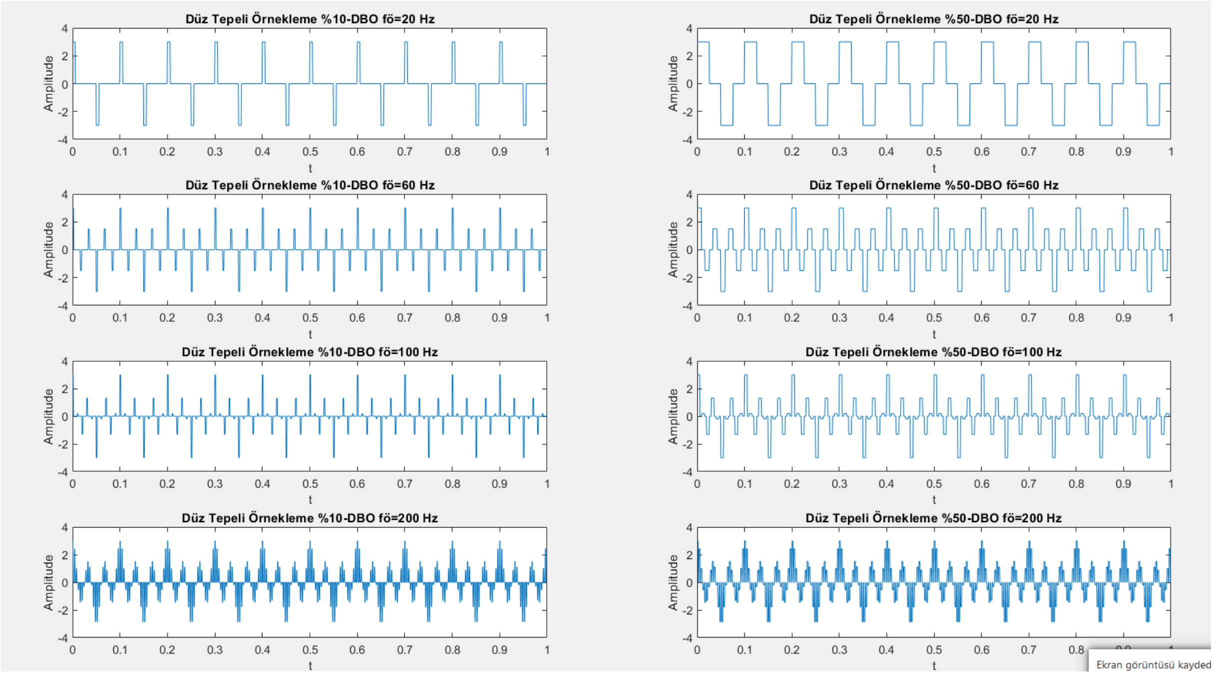
a) İdeal Örnekleme ile ;




```
%% x(t) işareti çizdirelim
fa=1500  %Ödev pdf'inde söylendi
tx=0:1/fa:1 %periuyod ayarladım
y=cos(2*pi*10*tx)+2*cos(2*pi*30*tx) %Orjinal Sinyal

%% fö=20Hz
% dürtü katarı oluşturuyoruz.
t = 0 : 1/1500 : 1; % 1 saniye için 1 kHz örneklemne frekansı
impulseTrain=zeros(size(t)); %ÖDevde söylendi
impulseTrain(1:fa/20:end)=1; %fö=20 olarak dürtü
xlabel 'Time (s)', ylabel Waveform
subplot(321)
Sampled=y.*impulseTrain; %ideal örnekleme için çarpıyoruz
plot(t,Sampled)
hold on
plot(t,Sampled,'*') %noktalar koysun diye
title('İdeal Örnekleme fö=20 Hz')
```

fö=20 Hz için ideal örnekleme kodu

b) Düz Tepeli Örnekleme ile;




```
clear all
close all
clc
%% 60
fs=1500  %Ödev pdf'inde söylendi
tx=0:1/fs:1
y=cos(2*pi*10*tx)+2*cos(2*pi*30*tx) %Orjinal Sinyal
t = 0 : 1/1500 : 1; % 1 saniye için 1 kHz örneklemne frekansı
impulseTrain=zeros(size(t));
impulseTrain(1:fs/60:end)=1;
Sampled=y.*impulseTrain; %ideal örnekleme için çarpıyoruz
t = 1;
n = [0:1/fs:t];
n = n(1:end - 1);
fc=60;
duty=10; %   yüzde 10 doluluk boşluk
s = square(2*pi*60*n,10); %% darbe katarı için
s(find(s<0)) = 0;
period_samp = length(n)/fc;
ind = [1:period_samp:length(n)];
on_samp = ceil(period_samp * duty/100);
pam = zeros(1,length(n));            %%çizdirme işlemi darbe katarına göre
for i = 1 : length(ind)
   pam(ind(i):ind(i) + on_samp) = Sampled(ind(i));
end
subplot(421);plot(n,pam);ylim([-4 4]); %%çizim ayarladım
title('Düz Tepeli Örnekleme %10-DBO fö=60 Hz')
xlabel 't', ylabel Amplitude
```

```
s2 = square(2*pi*60*n,50); % yüzde 50 doluluk boşluk için darbe katarı
s2(find(s2<0)) = 0;
period_samp = length(n)/fc;
ind = [1:period_samp:length(n)];
on_samp = ceil(period_samp * 50/100);
pam = zeros(1,length(n));
for i = 1 : length(ind)
   pam(ind(i):ind(i) + on_samp) = Sampled(ind(i));
end
subplot(422);plot(n,pam);ylim([-4 4]);
title('Düz Tepeli Örnekleme %50-DBO fö=60 Hz')
xlabel 't', ylabel Amplitude
```

Düz tepeli örnekleme kodu %10 ve %50 için

c) Doğal örnekleme ile düz tepeli örneklemeyi karşılaştırın. Doğal örneklenmiş işaret ile düz tepeli örneklenmiş işareti birbirinden nasıl ayırt edebilirsiniz?

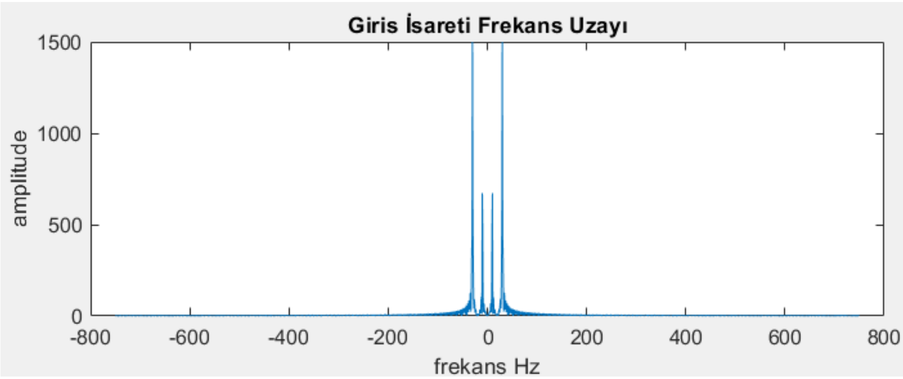
Düz tepeli örneklemede örnekleme işlemi boyunca her örnek tek bir sabit değer alır. Doğal örneklemede ise, her örnek birden fazla değer alabilmektedir ve kuantalama aşamasında olumsuzluklar yaşanmaktadır. Bu nedenle doğal örnekleme yerine düz tepeli örnekleme uygulamalarda daha çok tercih edilir.

İki işareti birbirinden ayırt etmek için bilinmesi gereken; düz tepeli örneklemede örneklenen işaretin tepeleri sabit kalır ve sinyalin başlangıçtaki anlık değerine eşittir fakat doğal örneklemede, örneklenen işaretin tepeleri dalga formunu alır.

BÖLÜM B

3) 2a ve 2b şıkları için giriş işaretinin, örnekleme işaretlerinin ve örneklenmiş işaretlerin frekans bölgesindeki gösterimlerini elde edin.

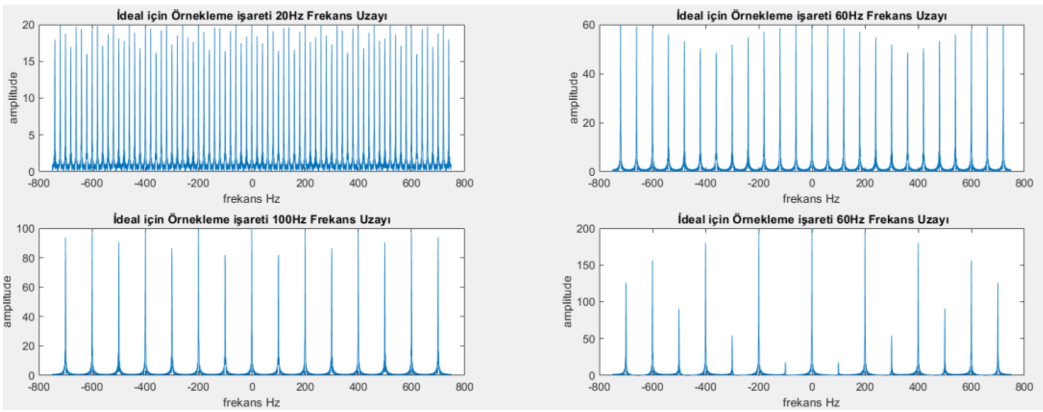
Grafik 1: Giriş işareti frekans uzayı gösterimi




```
%% giriş frekans uzayı
Fs=1500;
t=0:1/Fs:1-1/Fs;
yt=(cos(2*pi*10*t)+2*cos(2*pi*30*t));

NF=2048;     %%Frekans ayarı için
 df=-NF/2:1:NF/2-1;
y=Fs/NF;
fY=y*df;

frequency=fftshift(fft(yt,NF)); %%orjinal sinyalin fft'si
y_mag=abs(frequency); %abs değeri ile çizdirmek için
subplot(321)
plot(fY,y_mag);
title('Giris İsareti Frekans Uzayı')
xlabel('frekans Hz')
ylabel('amplitude')
```

Giriş işareti frekans uzayı gösterimi kodu

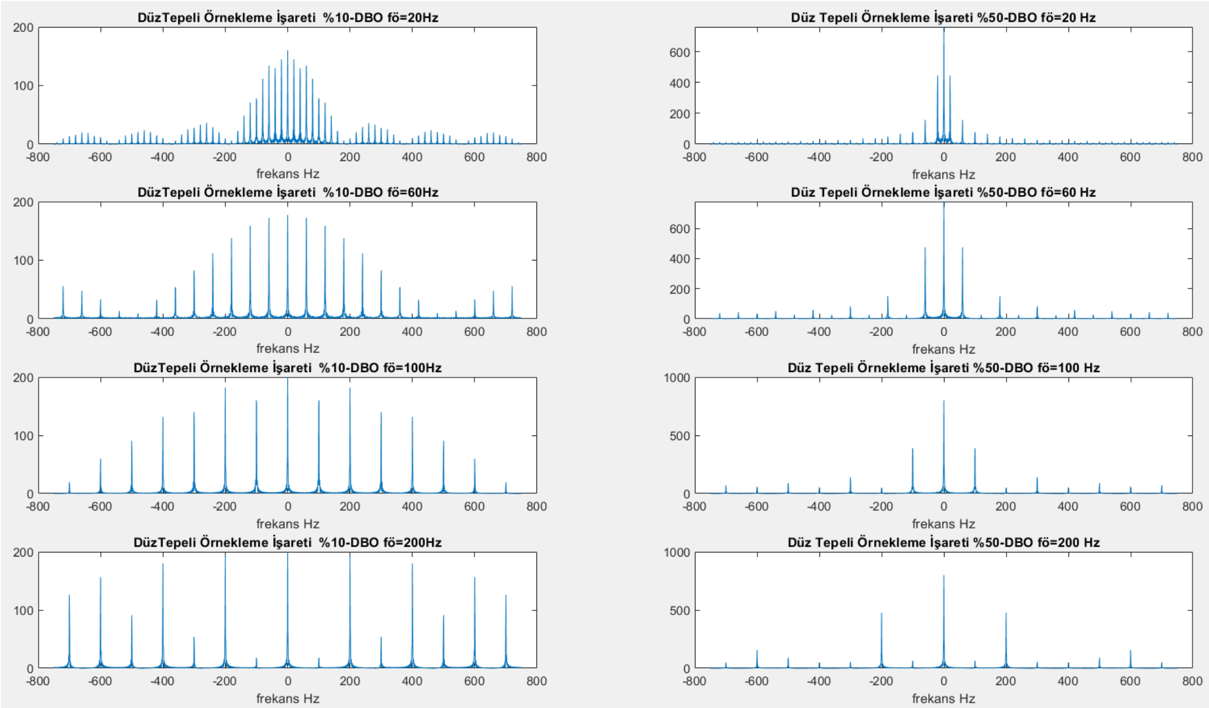
Grafik 2: Örnekleme işareti frekans uzayı gösterimi




```
t = 0 : 1/1500 : 1-1/1500; % 1 saniye için 1 kHz örneklemne frekansı
impulseTrain=zeros(size(t));
impulseTrain(1:fs/60:end)=1; %%60 Hz için dürtü katarı
```

→İdeal örnekleme için örnekleme işareti dürtü katarıdır.

→Düz tepeli örnekleme için örnekleme işareti ise darbe katarıdır.

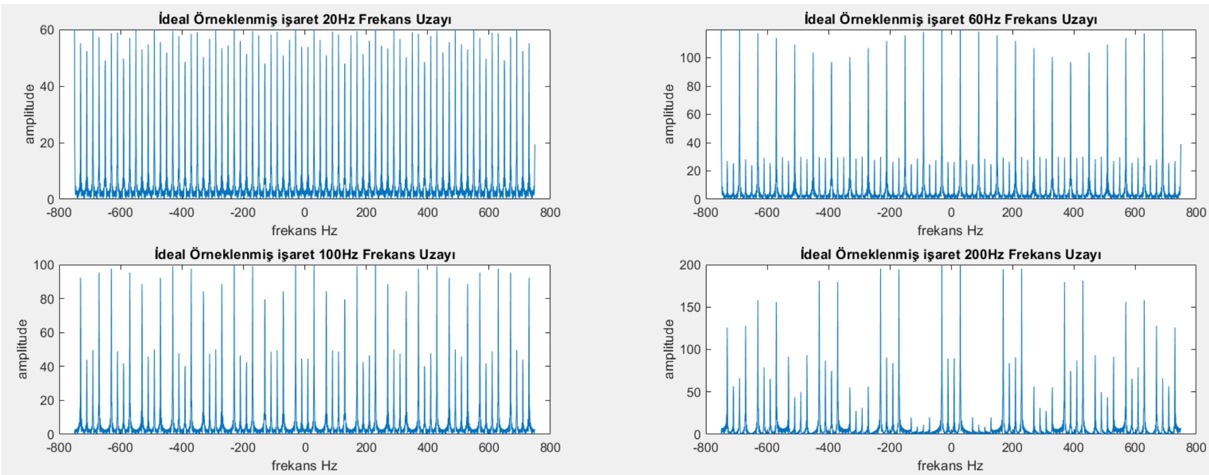



```
fc=60
duty=10
s = square(2*pi*60*n,10);    % darbe katarı %10 DBO
s(find(s<0)) = 0;
```

Darbe katarı için square fonksiyonu kullanımı

Grafik 3: Örneklenmiş işaret frekans uzayı gösterimi

İdeal Örneklenmiş İşaret Frekans Uzayı Gösterimi

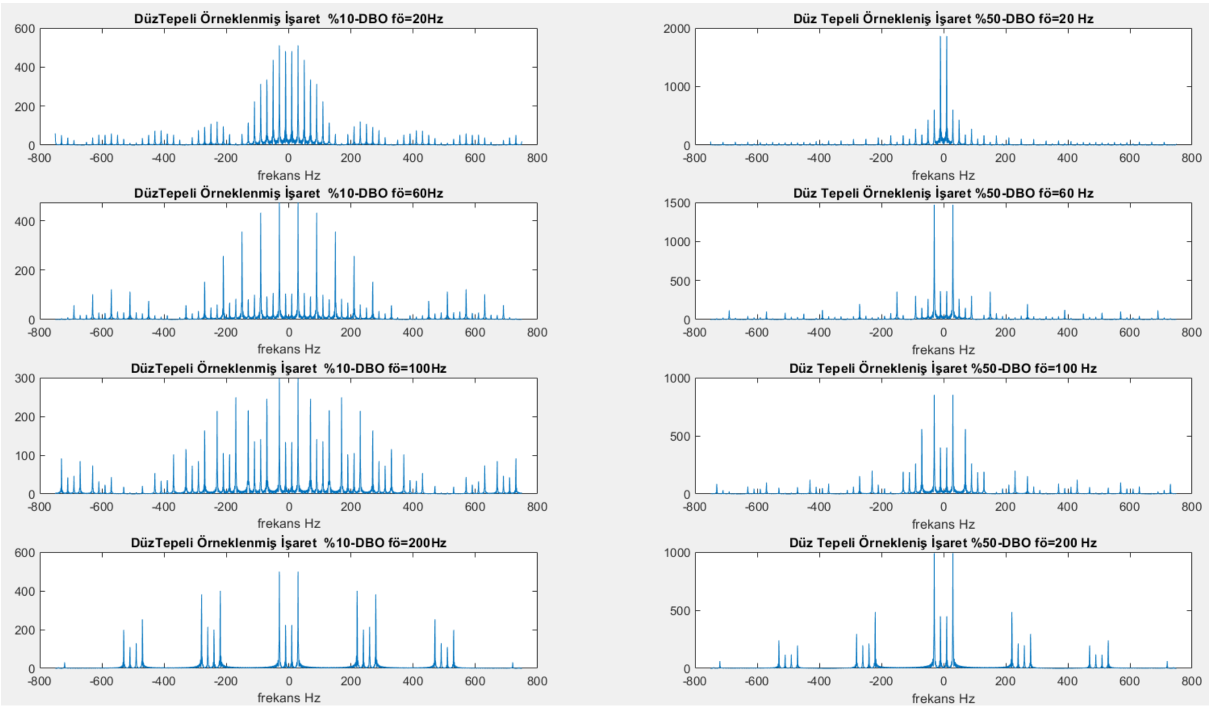


→İdeal örnekleme için orijinal sinyal ile oluşturulan dürtü katarı değişken fö değerlerine göre çarpıldı.

```
Fs=1500;
t=0:1/Fs:1-1/Fs;
yt=(cos(2*pi*10*t)+2*cos(2*pi*30*t));

NF=2048;     %%Frekans ayarı için
 df=-NF/2:1:NF/2-1;
y=Fs/NF;
fY=y*df;

%% 60
impulseTrain=zeros(size(t));
impulseTrain(1:Fs/60:end)=1; %fö=60 dürtü katarı
Sampled2=yt.*impulseTrain; %ideal örnekleme için çarpıyoruz

frequency2=fftshift(fft(Sampled2,NF)); %fft islemi
y2_mag=abs(frequency2); %abs değeri ile çizdirmek icin

subplot(322)
plot(fY,y2_mag);
title('İdeal Örneklenmiş işaret 60Hz Frekans Uzayı')
xlabel('frekans Hz')
ylabel('amplitude')
```

İdeal örneklenmiş işaret fö=60 Hz frekans uzayı gösterim kodu

Düz Tepeli Örneklenmiş İşaret Frekans Uzayı Gösterimi



→Düz tepeli örneklenmiş işaret için ideal örneklenmiş işaret ile darbe katarı convolüsyonu gerçekleşmektedir.

```
NF=2048;     %frekans ayarlandı
df=-NF/2:1:NF/2-1;
y=fs/NF;
fY=y*df;

frequency=fftshift(fft(pam2,NF)); % düz teplei örnelenmiş isaretin fftsi
y_mag=abs(frequency); %abd değeri olarak cizdirilmek icin

subplot(423)
plot(fY,y_mag);
title('DüzTepeli Örneklenmiş İşaret  %10-DBO fö=60Hz')
xlabel('frekans Hz')
s2 = square(2*pi*60*n,50); %fö=60 %50 doluluk-bosluk
s2(find(s2<0)) = 0;
period_samp = length(n)/fc;
ind = [1:period_samp:length(n)];
on_samp = ceil(period_samp * 50/100);
pam3 = zeros(1,length(n));
for i = 1 : length(ind)
   pam3(ind(i):ind(i) + on_samp) = Sampled(ind(i));
end
frequency=fftshift(fft(pam3,NF));
y_mag=abs(frequency);
subplot(424)
plot(fY,y_mag)
 title('Düz Tepeli Örnekleniş İşaret %50-DBO fö=60 Hz')
xlabel('frekans Hz')
```

Düz tepeli örneklenmiş işaret fö=60 Hz frekans uzayı gösterim kodu

Tablo 1: Örtüşme frekansları için birer tablo oluşturun

İteratif olarak örtüşme frekansı kitapta da bu şekilde oluşturulmuştur.

(2*fmax)/n<=fö<=(2*fmin)/(n-1) formülünden yola çıkarak 60 Hz'in altında örtüşme olacağı görülmektedir.

n=1	60<=fö
n=2	~~30<=fö<=20~~

a) Elde ettiğiniz tüm sonuçları yorumlayın. Her grafikte gördüğünüz frekans bileşenleri için yorum yapınız. Frekans bileşenlerin spektrumdaki yerleri ve büyüklükleri hangi değişkenlerden etkilenmektedir?

Örnekleme frekansının artışı ve örnekleme biçimine göre değişkenlik görüyorum sonuçlarımda. İşaretin değişim hızına bağlı olarak gelen bilgide kayıp olmaması için uygun örnekleme frekansı seçilmelidir. Kayıp ve örtüşmelerin önlenmesi için analog işaretin maximum frekans değerinin iki katına eşit veya büyük olması gerekir ve bu Nyquist Kriteri'dir. Buna bağlı kalarak fö=20 Hz iken sinyalin frekans uzayında çakışma oluştuğu görülür. Teorik olarak örnekleme frekansı Nyquist oranından düşük olduğunda işaretten alınan örnek sayısı da düşük olacak demektir bu yüzden de bilgi kaybı gözlemlenecektir. Düz tepeli işaretin bant genişliği darbe katarının frekans spektrumu tarafından belirlenmektedir. Düz tepeli örnekleme için doluluk-boşluk oranına göre %10'dan %50'ye geçince örtüşmeden dolayı kayıplar görülmektedir ve genlikler bu aralıkta artmıştır.

Frekans bileşenlerin spektrumdaki yerleri örnekleme frekansının bant genişliği oranına bağlı olarak değişmektedir.

b) Örnekleme frekansı değiştiğinde işaretin kopyalarına ne oldu?

Örnekleme frekansı için Nyquist örnekleme oranına uyulduğunda herhangi bir kayıp olmadığını biliyorduk. Yani fö >=2*(Fmax) seçilmelidir. Örnekleme frekansı 20 Hz iken çakışma meydana geleceği için bilgi kaybı daha fazla olacaktır. Örnekleme frekansı 60,100 ve 200 Hz için her frekans değerinin arasındaki frekans boşluğu artmaktadır ve sinyalde giderek bilgi kaybı azalmaktadır. Çünkü örnekleme frekansı arttıkça işaretten alınan örnek miktarı artmaktadır işaretin taşıdığı bilgide daha az kayıp meydana gelmektedir.

c) Örnekleme periyodu giriş işaretinin frekansının iki katı seçilmesi durumunda en düşük frekanstaki işaret kopyasına ne olur?

İşaretin frekansının iki katı alındığı taktirde; frekans spektrumda çakışma meydan gelecektir çünkü örnekleme frekansında azalmaya sebep olacaktır. Zaman uzayında gereğinden az örnek alındığı için işarette bilgi kaybı yaşanacaktır. En düşük frekanstaki işaret diğer frekans bileşenleri tarafından üzeri örtülecektir.

d) Örnekleme periyodu yeterince büyük seçilmez ise hangi problem ile karşılaşılır? Ödevde ilgili problem ile karşılaştınız mı? Karşılaştı iseniz hangi örnekleme frekansında/frekanslarında karşılaştınız?

Örtüşmeden dolayı bilgi kaybı ve bozulmalar oluşmaktadır. Ödevde 20 Hz'de problem yaşadım çünkü örnekleme frekansı , örnekleme periyodundan etkilenir. Nyquist oranına bakarsak sinyalimiz için uygun örnekleme frekansı pratikte 2.2*30 Hz'dir. Ödevdeki fö=20 hz için koşulu sağlamamaktadır ve sinyalde bozulmalar meydan gelmektedir.

e) Düz tepeli örneklemiş işaretlerin frekans spektrumdaki kopyaların güçleri yüksek frekanslara gidildikçe nasıl değişmektedir? Sebebini açıklayınız.

Örnekleme frekansı arttıkça Tö azalır ve güç hesabında 1/Tö ye göre Fö artarsa güç azalır. A/Tö bizim gücümüz oluyor ters orantılı olduğu için Tö arttıkça yüksek frekanslara gidildikçe güç azalır. Doluluk boşluk sabitken örnekleme frekansı arttıkça aynı frekans değerindeki genliklerde azalmakta genlik değeri A/Tö gücü verdiği için sinyalin gücü azalmakta. Örnekleme frekansı 60 Hz dikkate alındığında frekans spektrumundaki frekans değeri arttıkça genlik değeri azalmakta sinyalin gücü gittikçe azaldığı gözükmekte.

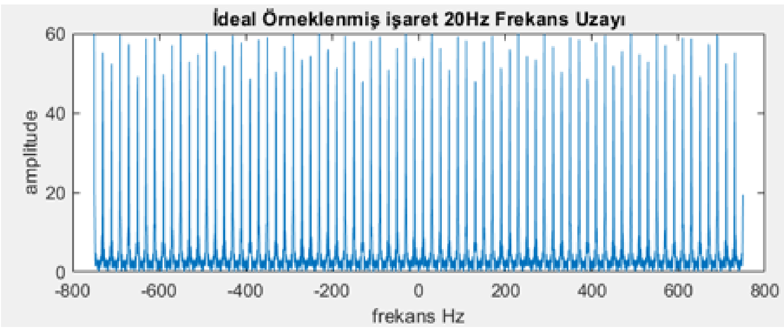
f) Verilen bilgi işareti için kabul edilebilir en düşük teorik örnekleme frekansı nedir?

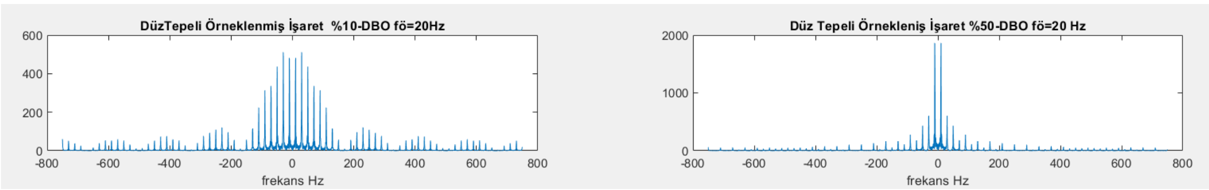
Nyquist oranına göre örnekleme frekansı teoride 2*fmax olduğu için fmax=30 ise en düşük teorik örnekleme frekansı 60 Hz'dir. Pratikte ise 2.2xfmax yani fö=66. Geri Çatma süzgeci uygulandığında da bu frekansta herhangi bir bilgi kaybı ve örtüşme meydana gelmediğini test ettim.

g) En düşük örnekleme frekansı için örneklenmiş işaretin spektrumunu çizdiriniz ve kopyalar hakkında yorum yapınız.

Minimum teorik örnekleme frekansı demediğiniz için bu soruyu 20 Hz'den bahsettiğinizi anlayarak cevaplayacağım.

İdealde yaklaşık olarak dürtünün genliği kadar tek sabit bir değer alırken, düz tepeli de ise %10 ve %50 DBO'ya göre değişmekle birlikte sinyalin başlangıç değeri alınıp sabit tutulduğundan dolayı her frekans değeri için farklı genlik değerleri almaktadır.

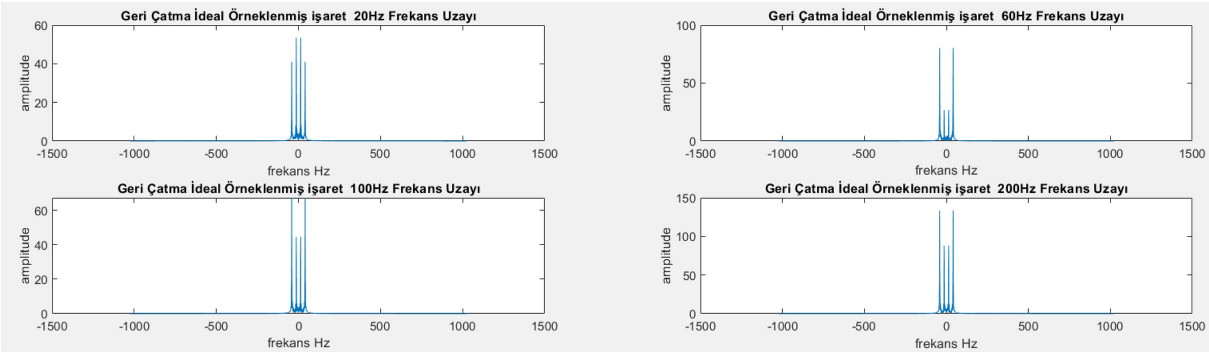




BÖLÜM C

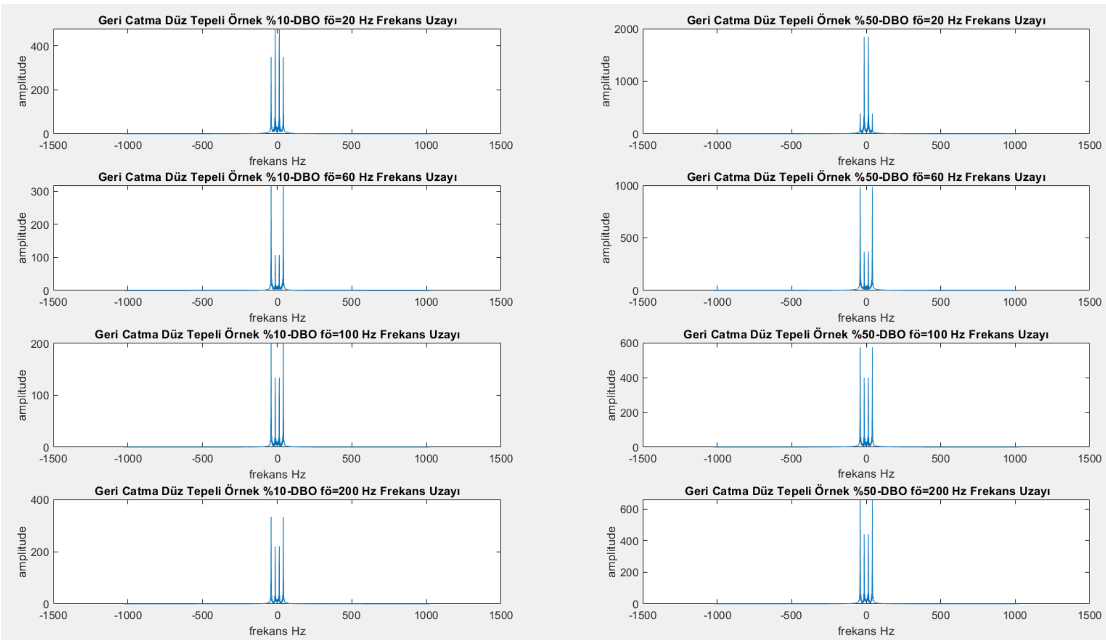
4) Geri çatma süzgeci ile zaman bölgesindeki ilk ürettiğiniz işareti elde etmeye çalışın.

Grafik 1: Geri çatılmış işaretin frekans uzayı gösterimi




```
%% 60 Hz
Fs=1500;
t=0:1/Fs:1-1/Fs;
NF=2048;
df=-NF/2:1:NF/2-1;
y=Fs/NF;
fY=y*df;
s=cos(2*pi*10*t)+2*cos(2*pi*30*t);
tx = 0 : 1/1500 : 1-1/1500;
impulseTrain=zeros(size(t));
impulseTrain(1:Fs/60:end)=1;
Sampled=s.*impulseTrain;

[B,A] = butter(10,30/(1500/2)); %% 30 cuttof frekanslı lpf filtre
rend=filter(B,A,Sampled);
frequency1=fftshift(fft(rend,NF));
y1_mag=abs(frequency1);

subplot(421)
plot(df,y1_mag);
title('Geri Çatma İdeal Örneklenmiş işaret  60Hz Frekans Uzayı')
xlabel('frekans Hz')
ylabel('amplitude')
```

İdeal örneklenmiş işaret Geri Çatma Süzgeci 60 Hz

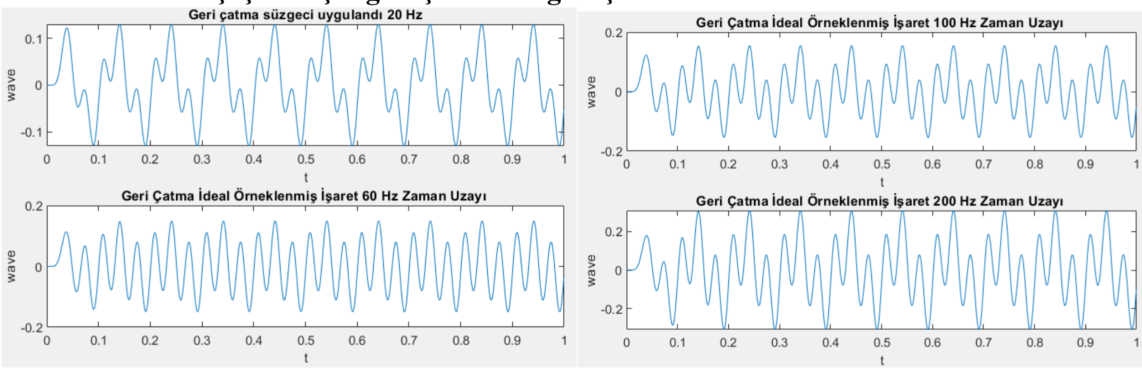


```
%% 60 Hz %50 doluluk boşluk oranına göre geri çatma süzgeci
s2 = square(2*pi*60*n,50);
s2(find(s2<0)) = 0;
period_samp = length(n)/fc;
ind = [1:period_samp:length(n)];
on_samp = ceil(period_samp * 50/100);
pam = zeros(1,length(n));
for i = 1 : length(ind)
   pam(ind(i):ind(i) + on_samp) = Sampled(ind(i));
end
[B,A] = butter(10,30/(1500/2));
%freqz(B,A)
rend=filter(B,A,pam);
frequency1=fftshift(fft(rend,NF));
y1_mag=abs(frequency1);

subplot(424)
plot(df,y1_mag);
title('Geri Catma Düz Tepeli Örnek %50-DBO fö=60 Hz Frekans Uzayı')
xlabel('frekans Hz')
ylabel('amplitude')
```

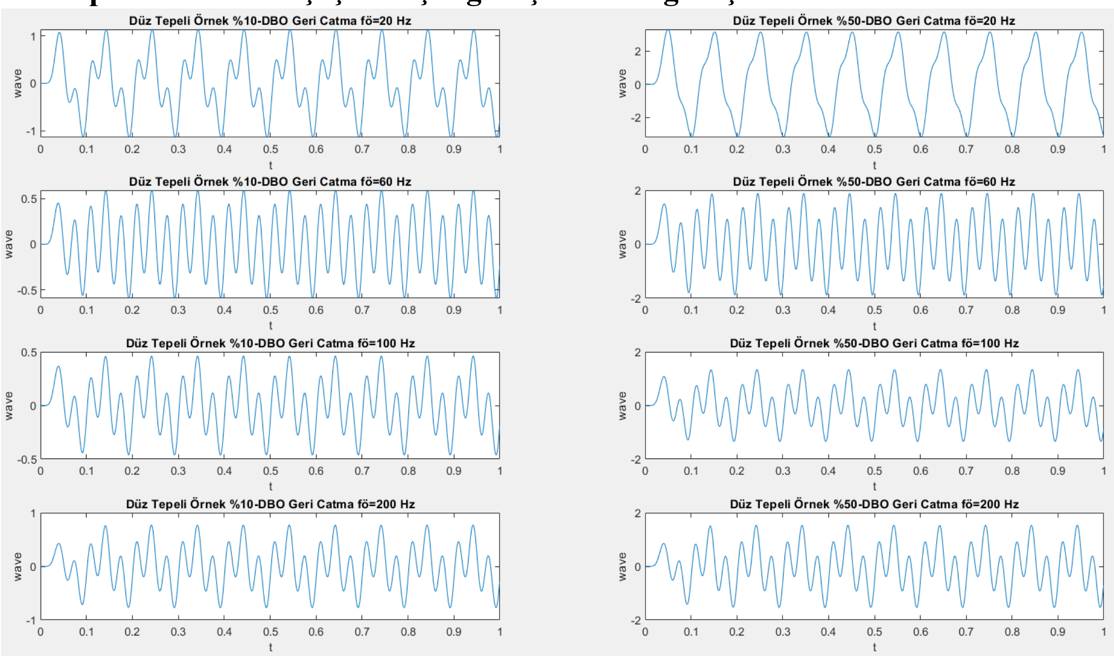
Fö=60 Hz %50 duty cycle Düz tepeli örneklenmiş işarete geri çatma süzgeci uygulandı

Grafik 2: Geri çatılmış işaretin zaman uzayı gösterimi

İdeal örneklenmiş işaret için geri çatma süzgeci çıktıları



Düz tepeli örneklenmiş işaret için geri çatma süzgeci çıktıları



a) Doluluk boşluk oranı değiştikçe geri çatılmış işaretin genliği nasıl değişmektedir? Nedenini açıklayınız.

Doluluk boşluk oranı arttıkça genliği artmaktadır. Geri çatılmış işaretin genliği böylelikle ilk baştaki sinyalimize benzerliği daha çok artmıştır.

b) İdealde geri çatma süzgecinin kazancını nasıl hesaplarsınız? Hesap örnekleme biçime göre değişir mi, nasıl değişir?

Örnekleme biçimine göre değişir. İdeal de süzgecin geçirme bandı işaretin bant genişliğine eşit seçildiği durumda, süzgecin kazancı da örnekleme periyoduna **(Tö)** eşit alınırsa işaretin frekans düzlemi doğru şekilde hesaplanabilir. Düz tepeli örneklemede ise sinyalin yeniden oluşturulması için geri çatma süzgecinin kazancının $1/\tau \mathrm{sinc}(f\tau)$ olması gerekmektedir.

c) Geri çatma süzgeci için kesim frekansı olarak hangi frekansı seçtiniz? Sebebini açıklayınız? Daha yüksek veya alçak kesim frekansı seçmeniz halinde hangi problemlerle karşılaşmanız olasıdır?

Taban bant işaretin bant genişliği fmax'tır. Yani x(t) sinyaline göre 30 Hz, geri çatma süzgecinin geçirme bandına eşit olmalıdır. Böylelikle kesim frekansını 30 Hz olarak seçtim. Eğer yüksek veya alçak olursa işaret eksik, kayıplı ya da istenmeyen frekans bileşenleri elde edilebilir.

BÖLÜM D

5) 2. sorunun b şıkkında % 50 doluluk boşluk durumu için elde ettiğiniz örneklenmiş işaretleri,

a) n=3 bit

b) n=4 bit ile bir biçimli orta yükseltili kuantalayıcı ile kuantalayın.

Tablo 1: n=3 bit için giriş çıkış ilişkisi (Yalnızca en yüksek 4 kuantalama seviyesi için)

Girişler	Çıkışlar
$[0, \Delta] = [0, (0.7500)]$	$\Delta/2 = 0.3750$
$[-\Delta, 0] = [-(0.7500), 0]$	$-\Delta/2 = -0.3750$
$[\Delta, 2\Delta] = [0.7500, 1.500]$	$3\Delta/2 = 1.1250$
$[-2\Delta, -\Delta] = [-1.500, -0.7500]$	$-3\Delta/2 = -1.1250$
$[2\Delta, 3\Delta] = [1.500, 2.2500]$	$5\Delta/2 = 1.8750$
$[-3\Delta, -2\Delta] = [-2.2500, -1.500]$	$-5\Delta/2 = -1.8750$
$[3\Delta, \infty] = [2.2500, \infty]$	$7\Delta/2 = 2.6250$
$[-\infty, -3\Delta] = [-\infty, -2.2500]$	$-7\Delta/2 = -2.6250$

1	2	3	4	5	6	7	8
-2.2500	-1.5000	-0.7500	0	0.7500	1.5000	2.2500	
-2.6250	-1.8750	-1.1250	-0.3750	0.3750	1.1250	1.8750	2.6250

Matlab Giriş ve Çıkış çıktıları

Tablo 2: n=4 bit için giriş çıkış ilişkisi (Yalnızca en yüksek 4 kuantalama seviyesi için)

Girişler	Çıkışlar
$[0 , \Delta] = [0 , (0.3750)]$	$\Delta/2 = 0.1875$
$[-\Delta, 0] = [-0.3750) ,0]$	$-\Delta/2 = -0.1875$
$[\Delta, 2\Delta] = [0.3750, 0.7500]$	$3\Delta/2 = 0.5625$
$[-2\Delta ,-\Delta] = [-0.7500, -0.3750]$	$-3\Delta/2 = -0.5625$
$[2\Delta ,3\Delta] = [, 0.7500 ,1.12500]$	$5\Delta/2 = 0.9375$
$[-3\Delta ,-2\Delta] = [-1.12500 , -0.7500]$	$-5\Delta/2 = -0.9375$
$[3\Delta , 4\Delta] = [1.2500 , 1.500]$	$7\Delta/2 = 1.3125$
$[-4\Delta ,-3\Delta] = [-1.500 , -1.12500]$	$-7\Delta/2 = -1.3125$
$[4\Delta , 5\Delta] = [1.500 , 1.8750]$	$9\Delta/2 = 1.6875$
$[-5\Delta , -4\Delta] = [-1.8750 , -1.500]$	$-9\Delta/2 = -1.6875$
$[5\Delta , 6\Delta] = [1.8750, 2.2500]$	$11\Delta/2 = 2.0625$
$[-6\Delta , -5\Delta] = [-2.2500 , -1.8750]$	$-11\Delta/2 = -2.0625$
$[6\Delta , 7\Delta] = [2.2500, 2.6250]$	$13\Delta/2 = 2.4375$
$[-7\Delta , -6\Delta] = [-2.6250 , -2.2500]$	$-13\Delta/2 = -2.4375$
$[7\Delta , \infty] = [2.6250 , \infty]$	$14\Delta/2 = 2.8125$
$[-\infty, -7\Delta] = [-\infty, -2.6250]$	$-14\Delta/2 = -2.8175$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
-2.6250	-2.2500	-1.8750	-1.5000	-1.1250	-0.7500	-0.3750	0	0.3750	0.7500	1.1250	1.5000	1.8750	2.2500	2.6250

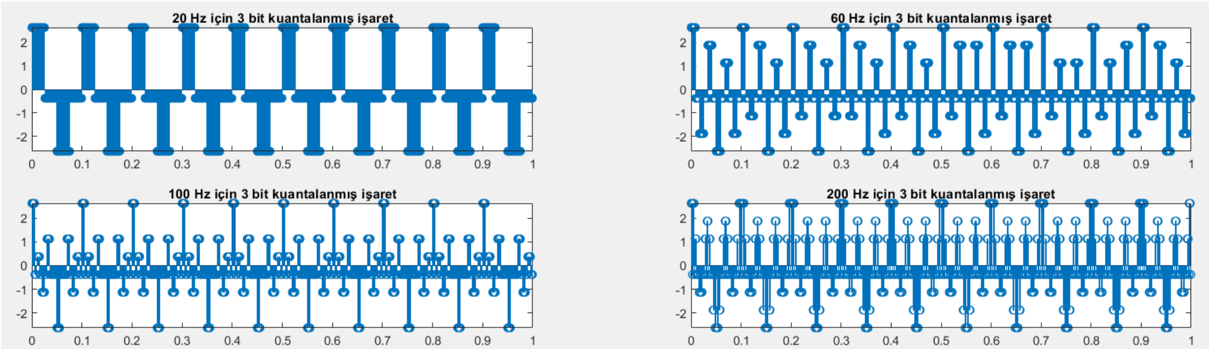
-2.8125	-2.4375	-2.0625	-1.6875	-1.3125	-0.9375	-0.5625	-0.1875	0.1875	0.5625	0.9375	1.3125	1.6875	2.0625	2.4375	2.812

Matlab Giriş ve Çıkış çıktıları

```
L=8; %n=3bit 2^n=8 seviye

t=0:1/1500:1;
xmax=abs(max(pam)); %xmax=4;

adim_araligi=2*xmax/L;
partition=-(L/2-1)*adim_araligi:adim_araligi:(L/2-1)*adim_araligi; %giriş seviyesi

codebook=-((L-1)*adim_araligi/2):adim_araligi:((L-1)*adim_araligi/2); %çıkış seviyesi

[indx xq]=quantiz(pam,partition,codebook);
%pam sinyalini giriş ve çıkışa göre kuantalama islemi
figure, stem(nx,xq);
hata=pam-xq;   %hatayı hesaplatan kısım

ortalama_hata=sum(hata.^2)./length(hata);   %ortalama kuantalama hatası

SNR_hesaplat=10*log10(var(pam)/var(hata)) %snr hesabı(Ps/P(n,q))

P=var(pam); %%P(s) görmek icin
```

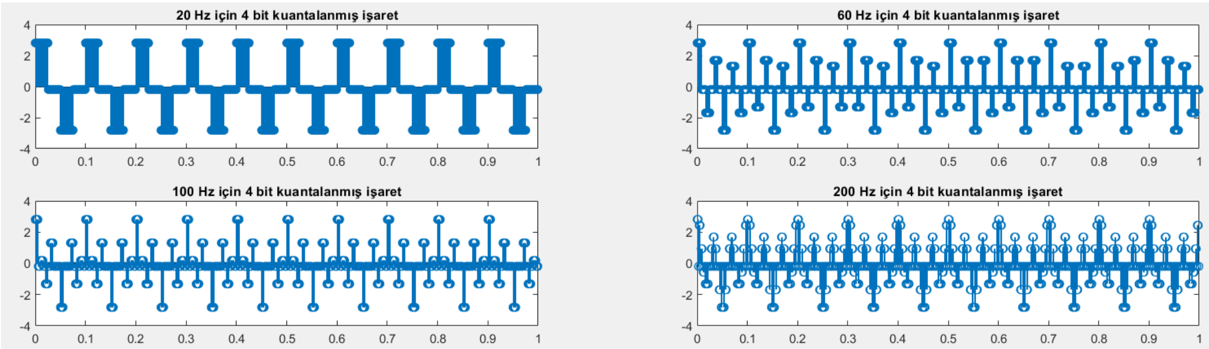
Giriş ve Çıkış seviyelerini elde edip kuantalama yapan kod

Grafik 1: 5a durumu için kuantalanmış işaret(n=3Bit)



→ L=2^n olduğu için 3 bit kuantalama için seviye 8 seçilmiştir.

Grafik 2: 5b durumu için kuantalanmış işaret(n=4Bit)



→L=2^n olduğu için 3 bit kuantalama için seviye 8 seçilmiştir.

6) 5a ve 5b şıklarında elde ettiğiniz kuantalayıcı çıkışları ile kuantalayıcı girişleri arasındaki farka bakınız.

→Tüm giriş ve çıkış arasındaki değerlerin arasındaki fark delta/2'dir.

a) Bu farkın maksimum değerini elde ettiğiniz sonuçlarda gösteriniz.

n=3 bit için;

giriş seviyesi-çıkış seviyesi =0.375 hata oranı veriyor. Maximum hata oranı (adımaralığı/2) olarak hesaplanır. n=3 bit için 0.75/2=0.375 gelir yine.

hata

1x1500 double

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.3750	0.3750	0.3750	0.3750	0.3750	0.3750	0.3750	0.3750

n=4 bit için;

Giriş seviyesi - Çıkış seviyesi =0.1875 hata oranı veriyor. Maximum hata oranı (adımaralığı/2) olarak hesaplanır. n=4 bit için 0.375/2=0.1875 gelir.

hata

1x1500 double

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0.1875	0.1875	0.1875	0.1875	0.1875	0.1875	0.1875	0.1875	0.1875	0.1875	0.1875	0.1875	0.1875	0.1875	0.1875	0.1875

b) Bu farkın karesel beklendik değerini hesaplayınız ve toplam karesel beklendik değeri (Pn,q) bulunuz.

n=3 bit için Farkın Karesel Beklendik Değeri ((0.375)^2)/12=0.0117

Toplam karesel beklendik değer=ortalama hata =0.1406 kodda da bu doğrulandı.

n=4 bit için Farkın Karesel Beklendik Değeri ((0.1875)^2)/12=0.0029

Toplam karesel beklendik değer=ortalama hata =0.0352 kodda da bu doğrulandı.

```
ortalama_hata=sum(hata.^2)./length(hata);   %ortalama kuantalama hatası
```

c) 1. soruda ürettiğiniz sinyalin gücünü (Ps) hesaplayınız ve kuantalayıcı çıkışı SNR değerini (Ps/(Pn,q)) hesaplayınız. Sonucun 6.02n değeri ile örtüşüp örtüşmediğini belirtiniz.

İşaretin gücü karesel beklendik değerine eşit gelmektedir.Varyans ise (karesel beklendik değer – beklendik değerin karesi)dir. Ders kitabında da görüldüğü gibi işaretin beklendik değeri sıfırdır bu yüzden güç için yalnızca varyansı hesaplatmak yetecektir.

```
P=var(pam); %%P(s) görmek icin
```

Var fonksiyonu kullanarak gücün 4.68 W çıktığı görülmektedir.

n=3 bit 20 hz için;

SNR_hesaplat=10*log10(var(pam)/var(hata)) %snr hesabı(Ps/P(n,q))
SNR_hesaplat=16.3592 dB çıktısı geldi.

Sonucu 6.02*n ile kontrol ettim ve 6.02*3=18.06 dB

n=4 bit 20 hz için;

SNR_hesaplat=10*log10(var(pam)/var(hata)) %snr hesabı(Ps/P(n,q))

SNR_hesaplat= 22.3797 dB çıktısı geldi.

Sonucu 6.02*n ile kontrol ettim ve 6.02*3=24.08 dB

d) c şıkkını farklı örnekleme frekansları için deneyiniz. Simülasyon ve teorik hesap arasındaki farkı örnekleme frekansına göre yorumlayınız.

n=4 bit için, 20 hz'de SNR 22.3797 dB

60 hz'de SNR 19.4027 dB

100 hz'de SNR 20.7359 dB

200 hz'de SNR 20.0448 dB

n=3 bit için, 20 hz'de SNR 16.3592 dB

60 hz'de SNR 13.3821 dB

100 hz'de SNR 13.5080 dB

200 hz'de SNR 13.4781 dB

Teorik hesaplar simülasyon hesabına yakın değerlerde geldi.

Bit sayısı arttıkça SNR oranının arttığını görüyorum. Teoride de böyle öğrenmiştik zaten çünkü SNR ne kadar fazla olursa bozulma miktarı o kadar az olmaktadır.