

DENEY 8: SAYISAL MODÜLASYON VE DEMODÜLASYON

AMAÇ: Sayısal haberleşmenin temel prensiplerini, haberleşme sistemlerinde kullanılan modülasyon çeşitlerini ve sistemlerin nasıl çalıştığını deney ortamında görmektir. Bu deneyde Genlik Kaydırmalı Anahtarlama (ASK), Faz Kaydırmalı Anahtarlama (PSK) ve Frekans Kaydırmalı Anahtarlama (FSK) modülasyonlarının Matlab ortamında temel işleyişlerini incelenmesi üzerinde durulmuştur.

ÖN HAZIRLIK

1) Deneyde kullanılacak sayısal modülasyon ve demodülasyon türlerini açıklayınız...

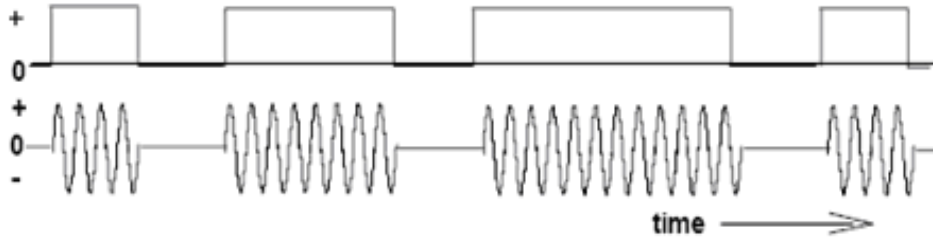
8.1 Genlik Kaydırmalı Anahtarlama (ASK) Modülasyon ve Demodülasyon

Bu Modülasyon tipinde, taşıyıcı işaretin genliği iki veya daha fazla değer arasında anahtarlanır. İkili durumunda genellikle var-yok anahtarlama kullanılır. Tipik olarak var durumu "1" koduna, yok durumu ise "0" koduna karşı düşmektedir. ASK işareti Şekil 1'deki gibidir.

Modülasyon indisi: Bilgi sinyal genliğinin taşıyıcı sinyal genliğine oranına modülasyon indisi denir.

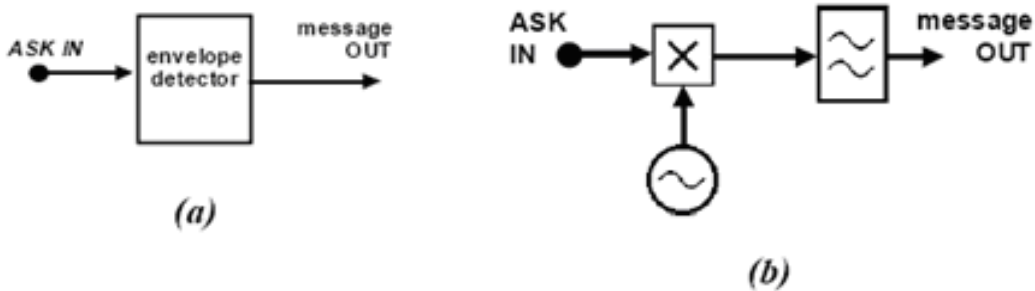
İkili "1" işareti için ASK dalga biçimi

$$\Phi(t) = \begin{cases} A \sin \omega_0 t & , 0 < t \leq T, 2T < t \leq 4T \\ \cdot & , T < t \leq 2T, 4T < t \leq \dots \end{cases} \quad (1)$$



Şekil 1. Mesaj (Bilgi) işareti ve ASK işareti

ASK demodülasyonunda orjinal işaretin elde edilmesi için uyumlu süzgeç yapısından yararlanılabilir. Bu dalgayı bir osilatör yardımıyla kolaylıkla elde etmek mümkündür. Bu deneyde ASK bir genlik modülasyonlu işaret olduğundan bir zarf detektörü veya product demodülatör ile demodülasyonu ele alınmıştır. Bu demodülasyon yapılarının blok diyagramları Şekil 2'de verilebilir.

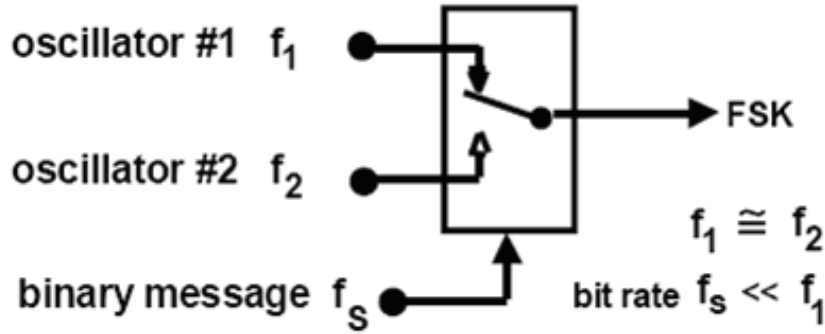


Şekil 2. ASK demodülasyon metodları

8.2 Frekans Kaydırmalı Anahtarlama (FSK) Modülasyon ve Demodülasyon

Frekans kaydırmalı anahtarlama (FSK) modülasyonu, iletilmesi amaçlanan sayısal mesaj işaretine karşı düşen ayrık bir frekans değerine sahip bir dalga formunun üretilmesi esasına dayanmaktadır. Yüksek güçlü vericilerde sinyal/gürültü(SNR) oranının çok küçük olması istenir. Yüksek güçlü genlik modülasyonlu vericilerde SNR oranı problem yaratacak kadar büyük olur. Bu problemden kurtulmak için frekans modülasyonu geliştirilmiştir. Frekans modülasyonunda bilgi işaretinin genliğine göre taşıyıcı işaretin frekansı değişir. Temel band işaretin sadece iki değerden birini aldığı varsayıldığından, modülasyon işlemi bir anahtarlama operasyonu olarak düşünülebilir. FSK' da taşıyıcı işaretin ani frekansı, sayısal işarete bağlı olarak iki veya daha çok değer arasında anahtarlanır. FSK işaretin üretimine ilişkin blok diyagram Şekil 3' de verilmiştir.

$$\Phi_1(t) = \begin{cases} A \sin \omega_1 t & , 0 < t \leq T, 2T < t \leq 4T \\ A \sin \omega_2 t & , T < t \leq 2T, 4T < t \leq \dots \end{cases} \quad (2)$$



Şekil 3. FSK üretimi

$$s_i(t) = g(t) \cos(2\pi f_i t) \quad (3)$$

Burada $g(t)$ darbe şekillendirme fonksiyonu ve $f_i = f_c + \Delta f(i-1)$, $i=1,2, \dots, M=2^k$ her bir dalga formunun frekansını göstermektedir. Burada faz uyumlu demodülasyon durumunda $\Delta f = 1/2T_s$ değerini alırken, faz uyumsuz demodülasyon durumunda ise $\Delta f = 1/T_s$ değerini almaktadır.

➤ Üstünlükleri;

- Sinyal üzerine binen gürültü seviyesi kesilebildiği için ses kalitesi yüksektir.
- Frekans modülasyonunun gürültü bağıışıklığı genlik modülasyonundan daha iyidir.
- FM in yakalama etkisi vardır. Bu etkiden dolayı istenmeyen sinyalleri kolaylıkla yok edebilir. Aynı frekanstaki iki sinyalden hangisinin çıkış gücü fazla ise o sinyalin alıcı tarafından alınmasına *yakalama etkisi (Capture)* denir.

➤ Sakıncaları;

- FM çok büyük bant genişliği kullanır.
- FM devreleri daha pahalıdır.

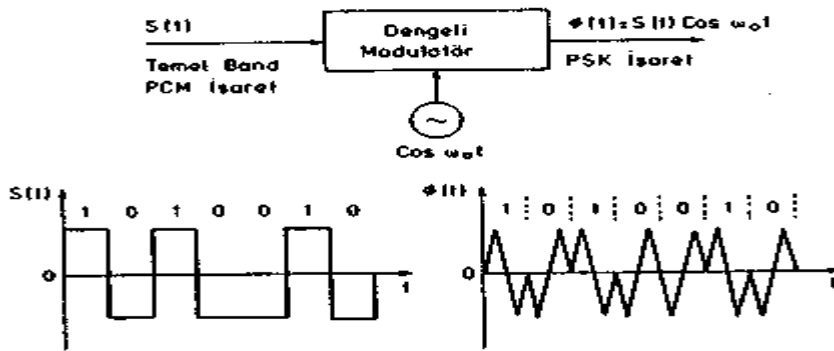
8.3 Faz Kaydırmalı Anahtarlama (PSK) Modülasyon ve Demodülasyon

İkili işaretler için faz kaydırmalı anahtarlama (Phase Shift Keying-PSK), bir taşıyıcının fazı sayısal işaretin iki seviyesine bağlı olarak iki değer arasında değiştirilir. Örneğin Şekil 4'deki PCM kodu için, "0" ve "1" işaretlerini iletmek için PSK işaretler;

$$\Phi_1(t) = A \sin(\omega_1 t + \theta_1) \quad 0 < t \leq T, 2T < t \leq 3T, 5T < t \leq 6T \quad (4)$$

$$\Phi_1(t) = A \sin(\omega_0 t + \theta_0) \quad T < t \leq 2T, 3T < t \leq 5T, 6T < t \leq 7T \quad (5)$$

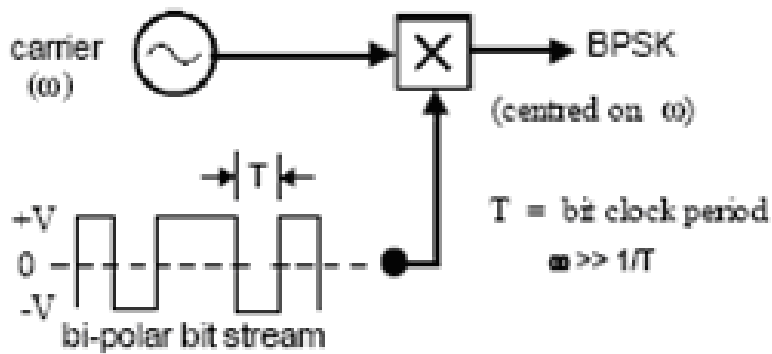
olarak seçilebilir. θ_0 ve θ_1 sabit faz kaymalarıdır. İkili PCM işaret için, $\theta_0 - \theta_1 = 180^\circ$ olması modülatör tasarımını basitleştirmektedir.



Şekil 4: PSK işaretin üretilmesi

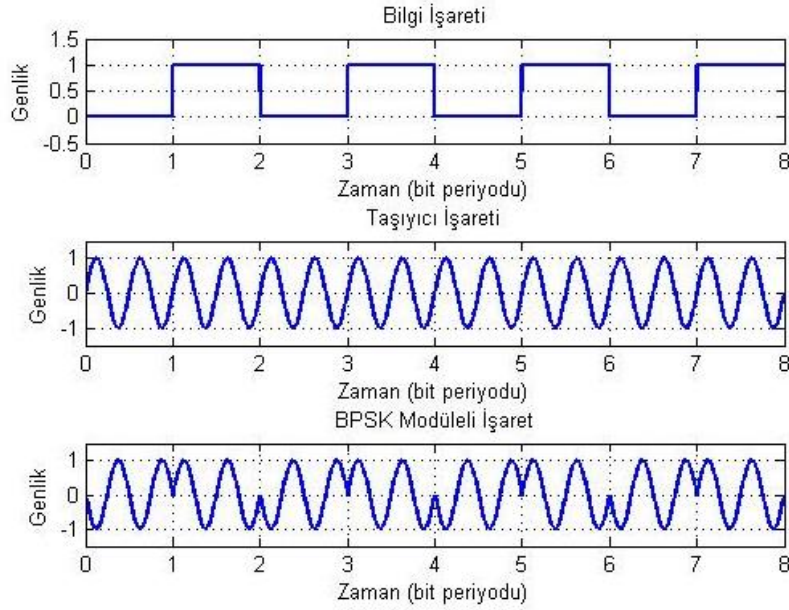
8.3.1 İkili Faz Kaydırmalı Anahtarlama (BPSK) Modülasyon ve Demodülasyon

Tek bir taşıyıcı frekansı için iki çıkış faz söz konusudur: (0 ve π) veya ($\frac{\pi}{2}$ ve $\frac{3\pi}{2}$). Girişteki sayısal işaret değiştiğinde taşıyıcının fazı iki açı değeri arasında kayar. Eğer sinüsoidal taşıyıcı iki durumlu bit dizisi tarafından modüle edilecekse çıkış işaretinin polaritesi bit dizisinin polaritesinin değiştiği noktada değişecektir. Bunu ifade eden blok diyagramı Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 5. BPSK işaretinin üretilmesi

Bit dizisi hakkındaki bilgi gönderilecek BPSK işaretinin fazının değişimlerini içermektedir. Bir senkron demodülatör bu faz değişimlerine duyarlı olması gerekmektedir. BPSK işaretinin zaman ifadesi Şekil 6’de verilmiştir.



Şekil 6. BPSK işareti

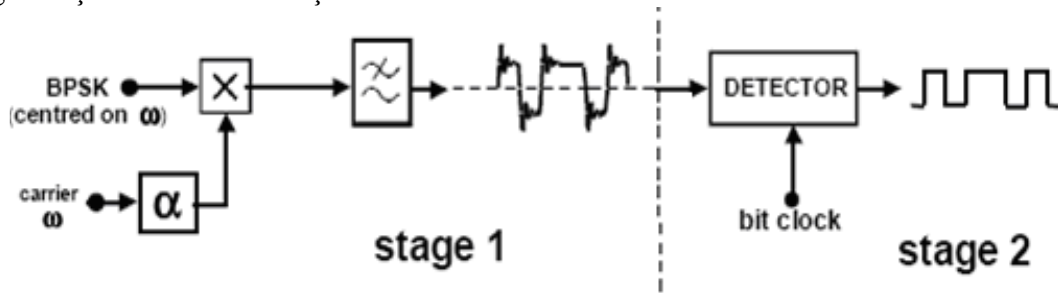
Üsteki işaret ikili bilgi işaretidir. Şekil 6’daki dalga şekli hakkında önemli bir bilgi var. Dalga şekli her faz değişikliğinde simetrik bir yapı oluşturmaktadır. Bunun sebebi bit hızının taşıyıcı frekansının ($\frac{\omega}{2\pi}$) alt katları olmasıdır. Bu normalde özel bir durum olarak bakılabilir ve hezaman pratikte gözlemlenemeyebilir. Bu durum bize alınan işaretten kolay bir şekilde bit dizisinin elde edilmesini sağlamaktadır. Verimli haberleşme sağlamak için bir band sorunu olabilir, bu sorun (band sınırlanması) ise ya temel-band’da ya da taşıyıcı frekansında halledilmektedir.

BPSK işaretinin demodülasyonunu iki evrede inceleyebiliriz.

I. Band sınırlı bilgi işaretinin elde edilmesi ile temel band’ a dönüş.

II. Band sınırlı dalga biçiminden tekrar bit dizisinin elde edilmesi.

Yalnızca bunlardan birincisi bu deneyde ispatlanacaktır. Bu deneyde temel banda dönüş işlemi bir lokal senkronizasyonlu taşıyıcı (çalınmış taşıyıcı) ile sağlanacaktır. Bu yapının blok diyagramı Şekil 7’ de verilmiştir.

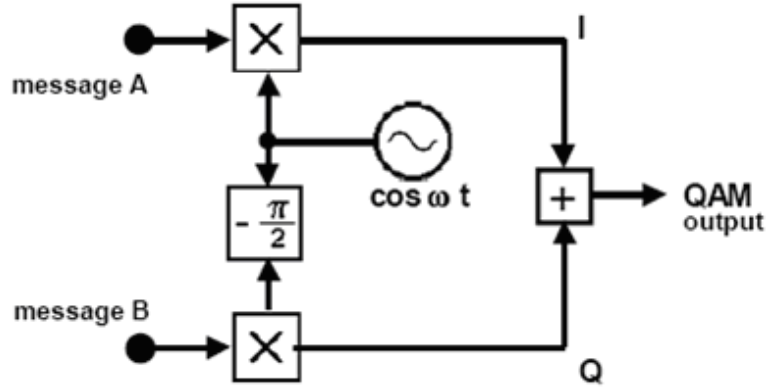


Şekil 7. BPSK senkronizasyon demodülasyonu

Dönüşüm süreci orjinal bit dizisini bize vermez fakat orijinal bit dizisinin band sınırlı biçimini verir. Bu deneyde alınan işaret gönderilen işaretle karşılaştırılıp ne kadar başarılı bir demodülasyon yapıldığı tartışılacak.

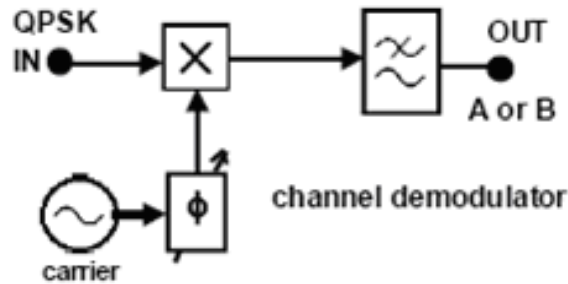
8.3.2 QPSK Modülasyon ve Demodülasyon

Birbirinden bağımsız iki tane A ve B analog işaret modülatörün girişine uygulanmaktadır. Modülatör önceleri QAM modülatörü olarak adlandırılıyordu. Daha sonra QPSK modülatörü olarak adlandırılmaya başlandı. Bunun blok diyagramı Şekil 9’da verilmiştir.



Şekil 9. Quadrator Modülatör (QPSK Modülatörü)

QPSK demodülatörü verici kısımda bilgi işaretinin A ve B gibi iki diziye ayrılıp sonra PSK işareti elde edildiği kabul etmektedir. Daha sonra her iki PSK işareti taşıyıcıları ile fazları birbirine dik olacak şekilde eklenilmektedir. Bu demodülatör yapısı iki tane PSK demodülatöründen oluşmaktadır. Demodülatör çıkışları analog - sayısal dönüştürücüden sonra paralel-seri dönüştürücüsüne girmektedir. Bu deneyde demodülatör yapısı olarak tek bir işareti veren yapı kullanılacaktır. Bu demodülatör yapısı Şekil 10’da verilmiştir.



Şekil 10. QPSK demodülatör yapısı

Bu basit yapıda A/D ve paralel-seri dönüştürücüler kullanılmamaktadır. Bu yapı için A ve B işaretlerini elde etmek için uygun bir faz kaydırıcı kullanılacaktır.

8.4 Bit Hata Oranı (BER)

Sayısal bilgi iletiminde gönderilen veri içindeki bozulan ya da yanlış algılanan bit oranını ifade eder. Bit hata sebepleri dahili ve harici sebepler iki gruba ayrılır.

- Dahili sebepler; bağlantı yapılırken, sistemin bileşenlerinden, dizaynından oluşan sebeplerdir.
 - İç gürültü, kalitesiz elektrik bağlantıları, optik sürücü, optik alıcı, konnektör, optik fiber bağlantıları yapılırken kullanılan malzemeler Kısaca zayıflama ve dispersiyon vs.
- Harici sebepler; dış kaynaklardan meydana gelir.
 - Güç kaynağındaki dalgalanmalar, elektrostatik boşalma, elektromanyetik parazitler, kablo veya konnektörün titreşmesi vs.

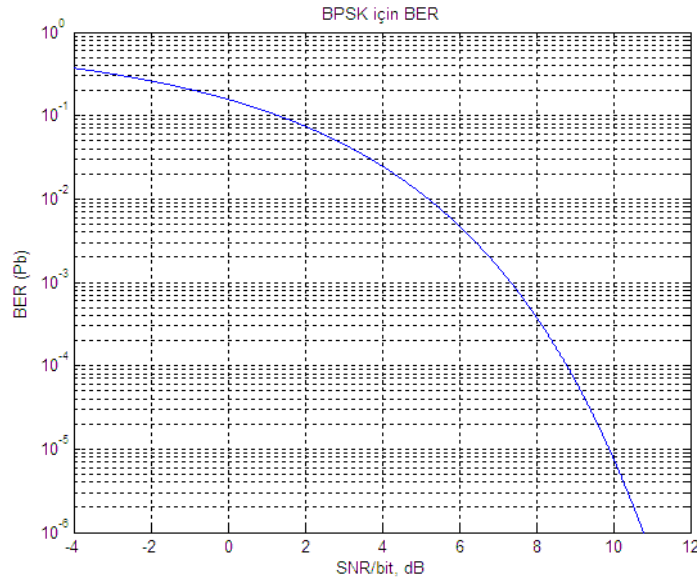
$$BER = \frac{t \text{ zamanda alınan hatalı bit}}{t \text{ zamanda alınan toplam bit}} \quad (7)$$

AWGN kanalı kullanılarak BPSK modülasyonu için bit hata oranı aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilir.

$$P_b = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) \quad (8)$$

$$BER = \frac{1}{2} \left[1 - \operatorname{erf}\left(\frac{\sqrt{SNR}}{2\sqrt{2}}\right) \right] \quad (9)$$

Denklem'de $Q(x)$, Q fonksiyonu olup E_b bit başına enerjiyi, N_0 ise gürültü güç spektral yoğunluğunu göstermektedir.



Şekil 8. BER ve SNR

Yüksek BER 'de yani düşük SNR 'de gecikme artar ve iş yapabilme yeteneği azalır. BER 'in olabildiğince düşük olması istenir.

DENEY 8

- 1) a) Aşağıda ASK ile ilgili verilen kodların devamı olarak taşıyıcı, mesaj ve çıkış işaretlerini aynı tablo üzerinde grafiklerini gösteriniz.

```
%ASK
F1=30;
F2=5;
A=input('genlik değerini giriniz = ');
t=0:.001:1;
x=A.*sin(2*pi*F1*t); %Taşıyıcı işaret
u=A/2.*square(2*pi*F2*t)+(A/2); %Mesaj işareti
output=x.*u;
.....
```

- b) Aşağıda PSK ile ilgili verilen kodlarla çıkış işaretini bulup mesaj işaretiyle karşılaştırarak yorumlayınız.

```
%PSK
A=input('genlik değerini giriniz = ');
t=0:.001:1;
f1=10;
f2=2;
x=A.*sin(2*pi*f1*t); %Taşıyıcı
u=square(2*pi*f2*t); %Mesaj
.....
```

- 2) QPSK modülasyonu için verilen kodlar ile ilgili olarak giriş için üretilen bitlerle çıkışta demodüle edildikten sonra oluşan bitleri karşılaştırarak çizdiriniz.

```
clear all; close all
SNR=[4 6 8 10 12];
N=10;
a=randint(1,N);
for kk=1:5
    k=1;
    for j=1:2:N
        if a(1,j)==0 && a(1,j+1)==0
            an(1,k)=0;
        elseif a(1,j)==0 && a(1,j+1)==1
            an(1,k)=1;
        elseif a(1,j)==1 && a(1,j+1)==0
            an(1,k)=2;
        elseif a(1,j)==1 && a(1,j+1)==1
            an(1,k)=3;
        end
        k=k+1;
    end
    varyans=1/(2*(10^((SNR(kk))/10)));
    noise=sqrt(varyans).*(randn(1,N/2)+sqrt(-1)*randn(1,N/2));
    r=sn+noise;
    for m=1:N/2
        if r(m)<-2/sqrt(5)
            ann(m)=2;
        elseif -2/sqrt(5)<=r(m) && r(m)<0
            ann(m)=3;
        elseif 0<=r(m) && r(m)<2/sqrt(5)
            ann(m)=0;
        elseif 2/sqrt(5)<=r(m)
            ann(m)=1;
        end
    end
    x=1;
    for k=1:N/2
        if ann(k)==0
```

```

        a1(1,x)=0; a1(1,x+1)=0;
    elseif ann(k)==1
        a1(1,x)=0; a1(1,x+1)=1;
    elseif ann(k)==2
        a1(1,x)=1; a1(1,x+1)=0;
    elseif ann(k)==3
        a1(1,x)=1; a1(1,x+1)=1;
    end
    x=x+2;
end
end
...

```

3) BPSK modülasyonu için verilen kodların ile ilgili olarak, modüle edilen işareti ve taşıyıcıyı tek bir eksen üzerinde çizdiriniz.

```

d=[1 0 1 1 0]; % Data bitleri
b=2*d-1;
T=1;
Eb=T/2;
fc=3/T; % Taşıyıcı frekansı
t=linspace(0,5,1000);
N=length(t); % Örnek sayısı
Nsb=N/length(d); % here bit için örnek sayısı
dd=repmat(d',1,Nsb);
bb=repmat(b',1,Nsb);
dw=dd';
dw=dw(:)';
bw=bb';
bw=bw(:)';
w=sqrt(2*Eb/T)*cos(2*pi*fc*t); % taşıyıcı
bpsk_w=bw.*w; % modüle edilmiş işaret

% plot
...

```

4) Aşağıda verilen kodlardan oluşacak olan teorideki BER ile simulasyon sonucu oluşan BER'i semilogy komutu kullanarak çizdiriniz ve karşılaştırınız.

```

clc; clear all; close all
n=100000;
SNR=2:2:8;
a=randint(1,n);
s=2*a-1;
for kk=1:length(SNR)
    varyans=1/(2*(10.^((SNR(kk))/10)));
    noise=sqrt(varyans)*(randn(1,n)+sqrt(-1)*randn(1,n));
    r(kk,:)=s + noise;
    for i=1:n;
        if r(kk,i)<=0
            an(kk,i)=0;
        elseif r(kk,i)>0
            an(kk,i)=1;
        end
    end
end
for jkk=1:length(SNR)
    [Xa,Ya]=biterr(a,an(jkk,:));
    simBer(1,jkk)=Ya; % ber Simulasyon
end
theoryBer = 0.5*erfc(sqrt(10.^(SNR/10))); % ber teori
...

```