

## DENEY 5: GENLİK ve FREKANS MODÜLASYONU

**AMAÇ:** Genlik ve Frekans Modülasyonlu işaretlerin elde edilmesi ve demodülasyon aşamalarının incelenmesi

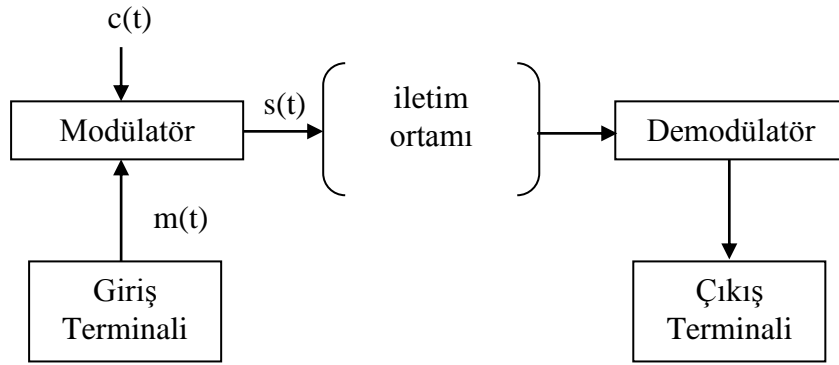
### ÖN BİLGİ

**Modülasyon:** Bilgi işaretinin, iletim kanalından verimli iletimi için, uygun biçime dönüştürülmesi işlemine denir. Modülasyon işlemi, taşıyıcı işaretin çeşitli parametrelerini (genlik,frekans,faz) bilgi işaretine bağlı olarak değiştirmektir.

**Demodülasyon:** Modüle edilen işaretin, alıcı tarafta yeniden bilgi işaretini elde etmek üzere dönüştürülmesine denir.

### Modülasyon işlemi:

1. Gürültü ve bozulmanın olumsuz etkilerini azaltır.
2. Aynı iletim hattında birden çok bilgi yollama olanağı sağlar
3. Çevresel etkilerin ortaya çıkardığı pek çok sınırlayıcı etkiyi ortadan kaldırır. (Anten tasarımı)



Şekil 5.1. Modülasyon ve demodülasyon işlemlerinin blok şeması.

Genel olarak bir modülatör, bilgi işareti  $m(t)$  ile taşıyıcı  $c(t)$  arasında

$$s(t) = f\{m(t), c(t)\}$$

işlevi olarak tanımlanabilir.

### 5.1. Çift Yanband Genlik Modülasyonu

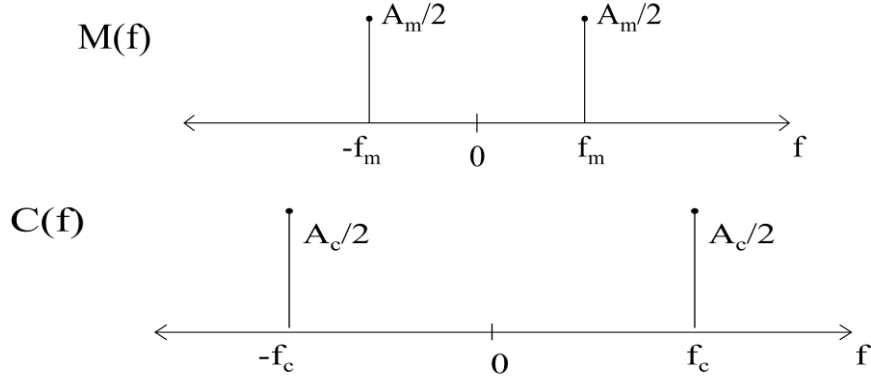
Çift Yanband (Double Sideband - DSB) genlik modülasyonu,

$$s_{DSB}(t) = m(t)c(t)$$

eşitliği ile tanımlanır. Modüle edilmiş işaret, zaman bölgesinde iki işaretin çarpımı, frekans bölgesinde ise bu iki işaretin dönüşümlerinin katlanması (konvolüsyonu) olarak ifade edilir. Frekans bölgesinde hem üst, hem alt yanbandlar oluşur.

$$S_{DSB}(f) = M(f) * C(f) = \int_{-\infty}^{\infty} C(\lambda)M(f - \lambda)d\lambda$$

Bilgi işareti  $m(t) = A_m \cos \omega_m t$  ve taşıyıcının  $c(t) = A_c \cos \omega_c t$  iki yanlı frekans spektrumunda gösterimi ( $f_c \gg f_m$  olmak üzere) Şekil 5.2 'de verilmiştir.



Şekil 5.2. Bilgi işareti ve taşıyıcının frekans spektrumları.

Verilen  $m(t)$  ve  $c(t)$ , DSB eşitliğinde yerine yazıldığında, Euler özdeşliğinden yararlanılarak

$$s_{DSB}(t) = m(t)c(t) = A_m A_c \cos \omega_m t \cos \omega_c t$$

$$= \frac{A_m A_c}{2} [\cos(\omega_c + \omega_m)t + \cos(\omega_c - \omega_m)t]$$

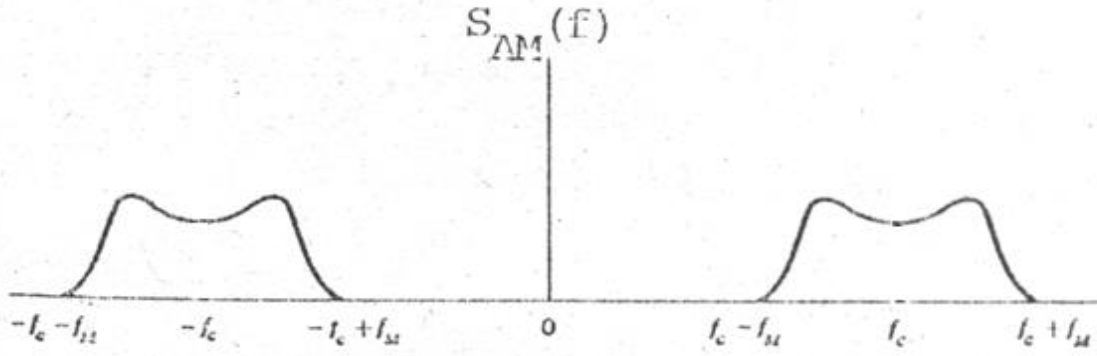
$$= \frac{A_m A_c}{2} [\cos 2\pi(f_c + f_m)t + \cos 2\pi(f_c - f_m)t]$$

$$= \frac{A_m A_c}{4} [e^{j2\pi(f_c + f_m)t} + e^{-j2\pi(f_c + f_m)t} + e^{j2\pi(f_c - f_m)t} + e^{-j2\pi(f_c - f_m)t}]$$

elde edilir.  $s(t)$  işaretinin frekans bölgesindeki karşılığı ise

$$S_{DSB}(f) = \frac{A_m A_c}{4} [\delta(f - f_c - f_m) + \delta(f + f_c + f_m) + \delta(f - f_c + f_m) + \delta(f + f_c - f_m)]$$

biçimindedir. Şekil 5.3' te görüldüğü üzere  $s_{DSB}(t)$ 'nin spektrumunda **hiçbir taşıyıcı yoktur**. Bu nedenle, bu modülasyon türü **taşıyıcısı bastırılmış çift yanband modülasyonu** olarak da bilinir. DSB işaretin band genişliği  $B_{DSB} = 2f_m$  'dir.



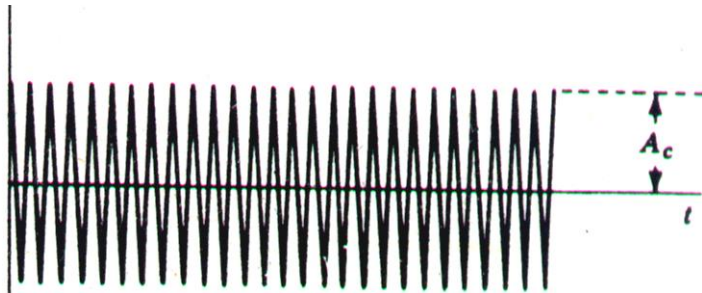
**Şekil 5.3.Çift yanband işaretin genlik modülasyonu (taşıyıcısız)**

## 5.2. Taşıyıcılı Genlik Modülasyonu (A.M.)

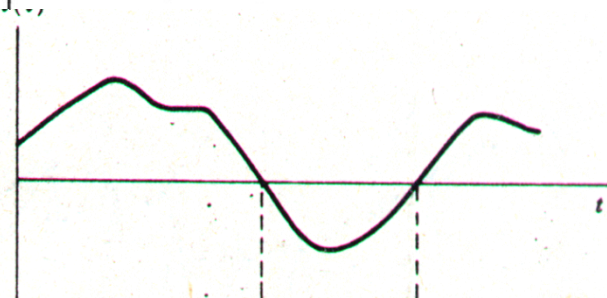
DSB işaretine taşıyıcı eklenerek taşıyıcılı genlik modülasyonlu işaret elde edilir. Bu modülasyon türü sadece **Genlik Modülasyonu** (AM) olarak da adlandırılır.  $m_a$ , modülasyon indeksi (bilginin taşıyıcıyı ne oranda modüle ettiği oranı) olmak üzere AM işaret,

$$s_{AM}(t) = [1 + m_a m(t)]c(t) = c(t) + s_{DSB}(t)$$

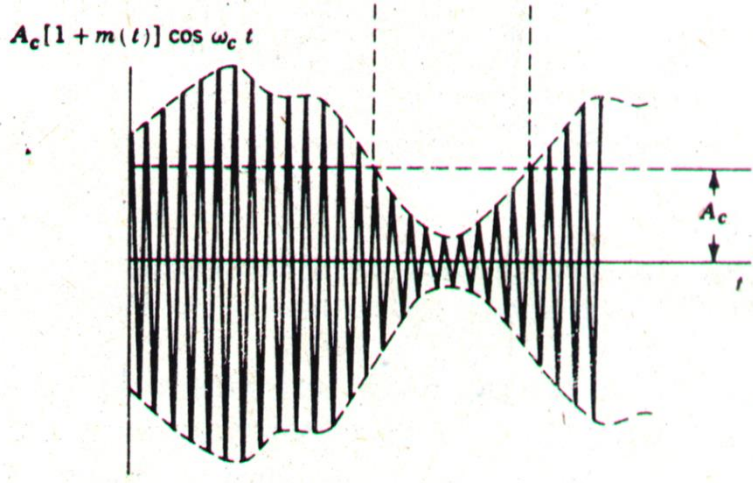
eşitliği ile tanımlanır.



(a) taşıyıcı



(b) bilgi işareti

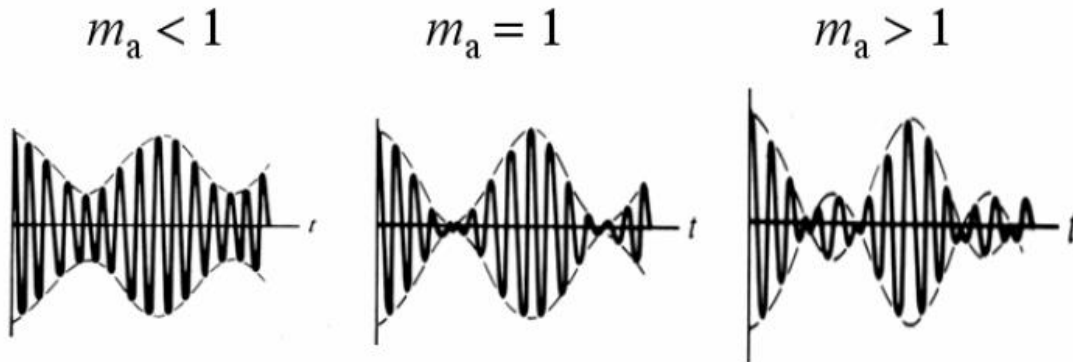


(c) AM işaret

Şekil 5.4. Genlik modülasyonu (AM).

Genlik modülasyonunda en önemli kısıtlama bütün  $t$  değerleri için  $\mathbf{1 + m_a m(t) \geq 0}$  olmasıdır.

$m(t)$  bilgi işaretinin ortalama değeri 0, maksimum uzanımı 1 ise  $0 \leq m_a \leq 1$  olmalıdır. Şekil.5.5' de  $m_a$  değişiminin AM işaret üzerindeki etkisi görülmektedir.



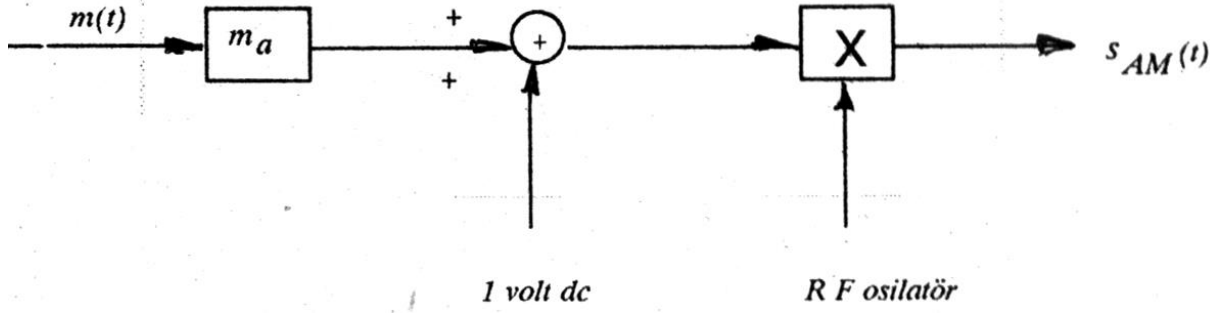
Şekil 5.5.

$m_a$  değişiminin AM işaret üzerindeki etkisi.

Eğer genlik modülasyonlu işaretin dalga şekli ya da maksimum uzanımı  $A_c(max)$  ve minimum uzanımı  $A_c(min)$  biliniyorsa

$$m_a = \frac{A_c(max) - A_c(min)}{A_c(max) + A_c(min)}$$

biçimindedir.



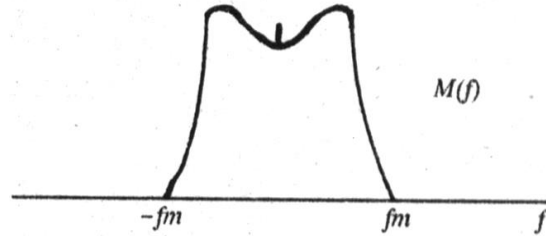
**Şekil 5.6.** Genlik modülasyonlu işaretin üretilmesi.

AM işaret için zaman ve frekans bölgesi ifadeleri sırasıyla

$$\begin{aligned}
 S_{AM}(t) &= [1 + m_a m(t)]c(t) \\
 &= c(t) + m_a m(t)c(t) \\
 S_{AM}(f) &= C(f) + m_a S_{DSB}(f) \\
 &= C(f) + (m_a A/2)M(f + f_c) + (m_a A/2)M(f - f_c)
 \end{aligned}$$

biçimindedir. Buradan da görüleceği üzere AM işaretin band genişliği DSB işaretin band genişliği ile aynıdır ( $B_{AM}=2f_m$ ). Genlik modülasyonlu işaretin spektrumu ile DSB işaretin spektrumu arasındaki tek fark taşıyıcının varlığından kaynaklanmaktadır.

Örneğin, anaband işareti  $m(t)$  için Fourier dönüşümü  $M(f)$  Şekil.5.7' deki gibi olsun. Buna göre, AM işaretin zaman ve frekans bölgesi ifadelerini elde edelim.

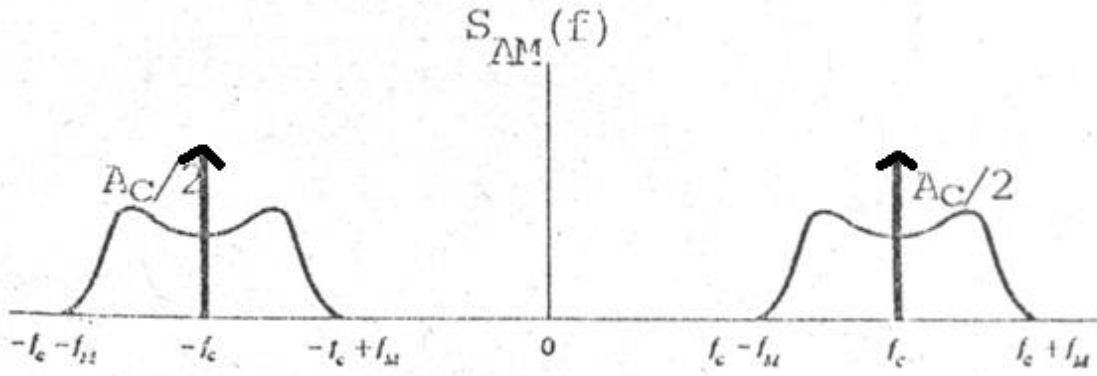


**Şekil 5.7.** Ana band işareti  $m(t)$ 'nin Fourier dönüşümü.

Taşıyıcı  $c(t) = A_c \cos \omega_c t$  olduğuna göre,

$$\begin{aligned}
 S_{AM}(t) &= [1 + m_a m(t)]c(t) = A_c [1 + m_a m(t)] \cos \omega_c t \\
 &= A_c \cos \omega_c t + A_c m_a m(t) \cos \omega_c t \\
 S_{AM}(f) &= C(f) + (m_a A_c/2)[M(f + f_c) + M(f - f_c)] \\
 &= (A_c/2)[\delta(f - f_c) + \delta(f + f_c)] + (m_a A_c/2)[M(f + f_c) + M(f - f_c)]
 \end{aligned}$$

elde edilir.



**Şekil 5.8.** AM işaretin genlik modülasyonu

### 5.3. Tek Yan Band Modülasyonu

DSB ve AM modülasyonu mesaj bant genişliğinin iki katı iletim bant genişliği gerektirmektedirler. Hem üst hem de alt yan bant bilgi işareti hakkında tüm bilgiyi içerdiğinden bilgi iletimi için yalnızca bir yan bant yeterlidir. Sadece bir yanband iletildiğinde modülasyon tek yanband modülasyonu (single sideband –SSB) olarak adlandırılır. DSB modülasyonlu işaretin,

$$s_{DSB}(t) = m(t)c(t) = A_m A_c \cos \omega_m t \cos \omega_c t$$

$$= \frac{A_m A_c}{2} [\cos(\omega_c + \omega_m)t + \cos(\omega_c - \omega_m)t]$$

yan bantlarından biri filtre ile süzülerek

$$s_{SSB}(t) = \frac{A_m A_c}{2} [\cos(\omega_c + \omega_m)t]$$

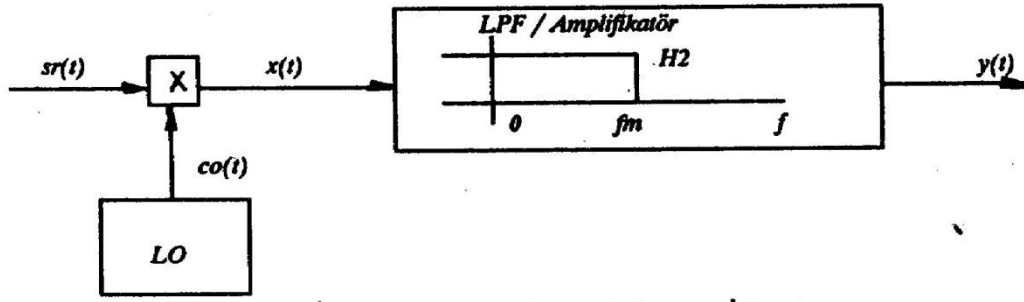
elde edilir.

### 5.4. Genlik Modülasyonlu İşaretin Demodülasyonu

**Demodülasyon:** Haberleşme sisteminin alıcı ucunda orijinal temel bant işaretinin tekrar elde edilmesi olayıdır.

#### Senkron(eş zamanlı) Demodülasyon

Alıcıda demodülasyon için kullanılan taşıyıcı frekansı, vericide kullanılan taşıyıcı frekansına senkronize edilmiştir.



Şekil 5.9. Senkron demodülasyon.

Alıcı tarafa ulaşan DSB modülasyonlu işaret ve taşıyıcı

$$s_r(t) = m(t)c_r(t)$$

$$c_r(t) = A_r \cos(\omega_c t + \varphi_c)$$

olmak üzere, alıcıdaki yerel osilatör  $c_o(t) = \cos(\omega_o t + \varphi_o)$  ise karıştırıcı çıkışı

$$x(t) = A_r m(t) \cos(\omega_c t + \varphi_c) \cos(\omega_o t + \varphi_o)$$

şeklinde. Yüksek frekanstaki terimler süzgeç ile ayrılırsa, alıcı çıkışında yalnızca fark terimleri kalır.

$$y(t) = (A_r m(t) / 2) \cos[(\omega_c - \omega_o)t + (\varphi_c - \varphi_o)t]$$

Eğer sistemde gürültü yoksa, tüm bozulmalar frekans ve faz uyumsuzluğundan kaynaklanır. Faz hatasına karşılık gelen durum  $\omega_c = \omega_o$ ,  $\varphi_c \neq \varphi_o$  olarak belirtilebilir. Bu durumda çıkış işareti,

$$y(t) = ((A_r / 2) \cos \Delta\varphi) m(t) \quad \Delta\varphi = \varphi_c - \varphi_o$$

olur ve faz farkı  $\pi$ 'nin katları ise işaret bozulmasız elde edilir,  $\pi/2$  veya katları ise işaret tamamen kaybolur. Diğer değerler için kosinüslü terim, bir zayıflatma katsayısıdır.

Frekans hatasına karşılık gelen durum ise  $\omega_c \neq \omega_o$ ,  $\varphi_c = \varphi_o$  olarak belirtilebilir. Bu durumda çıkış işareti

$$y(t) = ((A_r / 2) \cos \Delta\omega) m(t) \quad \Delta\omega = \omega_c - \omega_o$$

olur ki, burada işaretin halen bir modülasyon taşıdığı görülür.

### Asenkron Demodülasyon

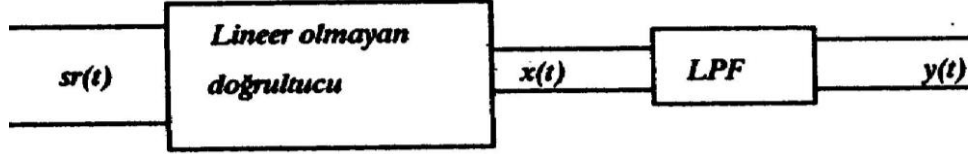
Alıcıda üretilen taşıyıcı frekansı yoktur ya da demodülasyon için kullanılan taşıyıcı frekansı vericinin taşıyıcı frekansından tamamen bağımsızdır.

Senkron modülasyon, faz ve frekans hatalarından fazlaca etkilendiğinden bu hatalardan etkilenmeyen bir demodülasyon türüne ihtiyaç vardır. Genlik demodülasyonunda alıcıya ulaşan işaret ve zarf ifadeleri aşağıdaki gibidir:

$$s_r(t) = V(t) \cos(\omega_c t + \varphi_c)$$

$$V(t) = A_r[1 + m_a m(t)]$$

Bu işaret, lineer olmayan bir doğrultucu devresine uygulandığında çıkış işareti zarfı ve zarfın harmoniklerini içerir. Bu harmonikler bir alçak geçiren süzgeçle temizlendiğinde kalan işaret  $m(t)$ 'nin bir kestirimidir. Asenkron demodülatörün dezavantajı, yalnızca AM modülasyonlu işaretlere uygulanabilmesidir.



Şekil 5.10. Asenkron demodülasyon.

### Örnek:

Alıcıya ulaşan işaret  $s_r(t) = V(t) \cos(\omega_c t + \varphi_c)$  AM modülasyonludur.

Karesel düzen demodülatör çıkışında

$$\begin{aligned} x(t) &= k s_r^2(t) = k V^2(t) \cos^2(\omega_c t + \varphi_c) \\ &= k A_r^2 [(1/2) + m_a m(t) + (m_a^2/2) m^2(t)] + k V^2(t) \cos^2[2(\omega_c t + \varphi_c)] / 2 \end{aligned}$$

elde edilir. Alçak geçiren filtre çıkışında elde edilen eşitlik

$$y(t) = h_1(t) * k A_r^2 [(1/2) + m_a m(t) + (m_a^2/2) m^2(t)]$$

olup bu ifadenin spektrumunu

$$Y(f) = k A_r^2 [(1/2) \delta(f) + m_a M(f) + (m_a^2/2) M(f) * M(f)] H_1(f)$$

şeklindedir ve  $m^2(t)$  gibi bir terimi de içermektedir. Katsayıların uygun seçilmesiyle ihmal edilebilir boyutlara çekilen bu terim, kare alma işleminden kaynaklanan 2. Harmonik bozulmayı gösterir.

## 5.5. Frekans Modülasyonu

Açı modülasyonu, faz ve frekans modülasyonunu kapsamaktadır. Taşıyıcının frekansı veya fazı mesaj işaretine göre değiştirilerek iletilmek istenen mesaj işareti modüle edilir. Genlik modülasyonundaki bant genişliği mesaj işaretinin en fazla iki katı olurken (ÇYB) açı modülasyonunda bu ifadenin (bant genişliği) mesaj işaretiyle olan ilişki bu kadar basit değildir. Genellikle bant genişliği mesaj işaretinin bant genişliğinin iki katıdır. Bant genişliği ve sistem karmaşıklığının artması ise sistemin gürültüye karşı olan başarımını arttırmaktadır.

Açı modüleli bir işaret için modüle edilmiş taşıyıcı:

$$x_c(t) = A \cos[w_c t + \phi(t)] \quad (1)$$



şeklinde. Burada  $A$  ve  $w$  sabit sayılar,  $\phi(t)$  ise mesaj işaretinin bir işlevidir. (1) eşitliği aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$x_c(t) = A \cos(\theta(t))$$

$$\theta(t) = w_c t + \phi(t)$$

(2)

Buna göre  $x_c(t)$  'nin açısal ani frekansı  $w_i$ ,

$$w_i = \frac{d\theta(t)}{dt} = w_c + \frac{d\phi(t)}{dt}$$

(3)

olarak elde edilir. Burada

$\phi(t)$  : ani faz değişimi

$\frac{d\phi(t)}{dt}$  : ani frekans değişimi

olarak tanımlanır. Ayrıca maksimum açısal frekans değişimi  $\Delta w = |w_i - w_c|_{\max}$  şeklinde verilmiştir.

**Açı modülasyonun temel olan iki çeşidi faz ve frekans modülasyonudur.** Faz modülasyonunda (phase modulation, PM) taşıyıcının ani faz değışintisi mesaj sinyali ile orantılıdır.

$$\phi(t) = k_p m(t)$$

(4)

Burada  $k_p$  faz değışim sabiti olup birimi rad/V'dur.

Frekans modülasyonunda (frequency modulation, FM) taşıyıcının ani frekans değışintisi mesaj işaretiyle orantılıdır.

$$\frac{d\phi(t)}{dt} = k_f m(t) \quad \text{veya} \quad \phi(t) = k_f \int_{t_0}^t m(\lambda) d\lambda + \phi(t_0)$$

(5)

Burada  $k_f$  frekans değışintisi sabiti olup birimi Hz/V'dur.  $\phi(t_0)$ ,  $t = t_0$  için başlangıç fazıdır. Genel olarak  $t_0 = -\infty$  ve  $\phi(-\infty) = 0$  olarak alınır. Faz Modülasyonu ve Frekans Modülasyonu için genel ifadeler

$$x_{PM}(t) = A \cos[w_c t + k_p m(t)]$$

(6)

$$x_{FM}(t) = A \cos \left[ w_c t + 2\pi k_f \int_{-\infty}^t m(\lambda) d\lambda \right]$$

(7)

şeklinde verilebilir. PM ve FM için Ani frekans değışimleri aşağıdaki şekildedir.

$$w_i = w_c + k_p \frac{dm(t)}{dt} \text{ PM}$$

(8)

$$w_i = w_c + 2\pi k_f m(t) \text{ FM}$$

(9)

## 5.6. FM İŞARETLERİN BANTGENİŞLİĞİ

Genel olarak frekans modülasyonlu bir işaretin etkin bant genişliği sinyalin gücünün yaklaşık %98' ini içermektedir. Bant genişliği ifadesi

$$B_c = 2(\beta + 1)f_m$$

(10)

şeklinde verilmektedir (Carson Kuralı).

Örnek olarak,  $m(t) = a \cos(2\pi f_m t)$  işareti için FM yapıda

$$\phi(t) = 2\pi k_f \int_{-\infty}^t m(\tau) d\tau = \frac{k_f a}{f_m} \sin(2\pi f_m t)$$

(11)

olup,  $\Delta f = k_f a$  “frekans sapma indeksi” olarak adlandırılır. Frekans sapması  $\Delta f$  'in modülasyon frekansı  $f_m$  'e oranı “modülasyon indeksi” dir.  $\beta$  ile gösterilen modülasyon indeksi

$$\beta = \frac{\Delta f}{f_m}$$

(12)

eşitliği ile tanımlanır. Frekans modülasyonlu işaret

$$s(t) = A_c \cos(2\pi f_c t + \beta \sin(2\pi f_m t))$$

(13)

olarak elde edilir.

## 5.7. BANTGEÇİREN İŞARETLERİN TEMEL BANT EŞDEĞERİ

Merkez frekansı  $f$  etrafında yoğunlaşan bant geçiren bir işaretin “ $x(t)$ ” temel bant eş değeri aşağıdaki şekilde bulunabilir.

$$z(t) = x(t) + j\hat{x}(t)$$

$$(14) \quad x_1(t) = z(t) \exp(-j2\pi f_0 t)$$

(15)

Tersten düşünersek

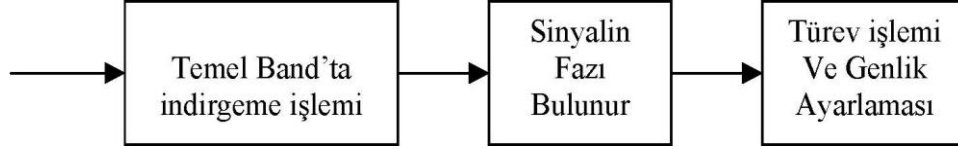
$$x(t) = \text{Re} [x_1(t) \exp(-j2\pi f_0 t)]$$

$$(16) \hat{x}(t) = \text{Im} [x_1(t) \exp(-j2\pi f_0 t)]$$

$$(17)$$

şeklinde yazılabilir.

### 5.8. FM DEMODÜLASYON İŞLEMİ



(13) eşitliğinde verilen  $s(t)$  için faz bilgisi  $2\pi k_f \int_{-\infty}^t m(\lambda) d\lambda$  şeklinde bulunur. Buradan çıkan sonucun türevi alınıp  $\frac{1}{2\pi k_f}$  ile çarpılırsa  $m(t)$  elde edilebilir.

## DENEYİN YAPILIŞI

### 1. Çift Yanband Modülasyonu (D.S.B.)

---

#### %% 1a) Çift Yanband İşareti (DSB) ve Yorumlanması

```
% Fs : İşareti MATLAB ortamında analog gibi işlemek için  
%      kullanılan örnekleme frekansı (Fc ' nin 100 katı)  
% Fc : Taşıyıcının frekansı
```

```
close all,clear all,clc
```

```
Fs = 5000;      Ts = 1/Fs;  
Fc = 50;  
A = 1;
```

```
t = -1:Ts:1;
```

```
input = A*exp(-5*t.^2);      % bilgi isareti  
carrier = A*cos(2*pi*Fc*t);  % taşıyıcı
```

```
output = (input.*carrier);
```

```
figure,  
subplot(311),plot(t,input),title('_____!?'),grid on  
xlabel('Zaman [sn]'),ylabel('Genlik [V]')  
subplot(312),plot(t,carrier),title('_____!?'),grid on  
xlabel('Zaman [sn]'),ylabel('Genlik [V]')  
subplot(313),plot(t,output),title('_____!?'),grid on  
xlabel('Zaman [sn]'),ylabel('Genlik [V]')
```

#### %% 1b) Çift Yanband İşaretinin (DSB) Frekans Analizi

```
??  
??  
??
```

---

**a.(1a)** deneyinde ki kodu çalıştırınız. **Title** komutu olan yerlere gerekli başlıkları yazınız. Grafikleri yorumlayınız (10P).

**b.(1b)** deneyinde **giriş**, **taşıyıcı** ve **çıkış** işaretlerinin eksen düzenli genlik spektrumlarını hesaplayan kodu yazınız. Üç işaretin genlik spektrumlarını **subplot ile tek figure** çizdiriniz. **title** komutu ile başlık yazınız. Grafikleri yorumlayınız (15P).

## 2. Taşıyıcılı Çift Yanband Modülasyonu (A.M.)

---

### %% 2a) Taşıyıcılı Genlik Modülasyonu (A.M.) ve Yorumlanması

```
close all,clear all,clc

Fs = 5000;    Ts = 1/Fs;
Fc = 100;    % taşıyıcı frekans - Hz
Fm = 10;

t = -1:Ts:1;
A = 1;    ma = 1;

input = A*cos(2*pi*Fm*t);    % bilgi isareti
carrier = cos(2*pi*Fc*t);    % taşıyıcı
s_am = (1 + ____ * ____).* ____

figure,
subplot(311),plot(t,input),title('.....!?' ),grid on
xlabel('Zaman [sn]'),ylabel('Genlik [V]')
subplot(312),plot(t,carrier),title('.....!?' ),grid on
xlabel('Zaman [sn]'),ylabel('Genlik [V]')
subplot(313),plot(t,s_am),title('.....!?' ),grid on
xlabel('Zaman [sn]'),ylabel('Genlik [V]'),xlim([-0.5 0.5])

%% 2b) s_am İşaretinin Frekans Analizi ve Yorumlanması
*****
*****
*****
```

---

- (2a) deneyinde ki kodu çalıştırınız. Kod içerisinde “\_\_\_\_” ile eksik olan yerleri tamamlayınız. **Title** komutu olan yerlere gerekli başlıkları yazınız. Grafikleri yorumlayınız (10P).
- (2a) deneyinde “ma” parametresi [0.1, 0.5, 3] değerleri için ayrı ayrı kodu çalıştırınız. Çıkan grafikleri yorumlayınız (10P).
- (2b) deneyinde ma = 1 değeri için **giriş, taşıyıcı ve çıkış** işaretlerinin eksen düzenlilgenlik ve faz spektrumlarını hesaplayan kodu yazınız. Üç işaretin genlik spektrumlarını subplot ile tek figüre, xlim[-3\*Fc 3\*Fc] ile grafiklerin x eksenini sınırlandırarak çizdiriniz. **title** komutu ile başlık yazınız. Grafikleri yorumlayınız (15P).
- A.M. ve DSB işaretlerinin farklarını söyleyiniz (10P).

### 3.Senkron Demodülasyon

```
%% 3a) Senkron Modülasyon
close all;
lo = A*cos(2*pi*Fc*t); %lokal osilatör
x = lo.*s_am;

figure,plot(t,x),grid on,title('Taşıyıcı İşareti ile Çarpma')
xlabel('Zaman [sn]'), ylabel('Genlik [V]')

% 3b) X İşaretinin Frekans Analizi
.....

% 3c) Filtre Tasarımı
fc = 2*(Fm/Fs); % Kesim frekansının tespit edilmesi
f1 = 3*fc; % Filtre ideal olmadığı için kesim frekansının ayarlanması
f2 = 6*fc; % 40dB düşüş frekansının ayarlanması

[N,Wn] = buttord(f1,f2,1,40); % Verilen parmt. göre min. filtre tasarımı
[b,a] = butter(N,Wn); % Filtre katsayılarının hesaplanması
[H,w] = freqz(b,a,ceil(length(x)/2)); % Filtrenin oluşturulması

F = Fs/2*(w/pi); % Çizim için eksen ayarlaması

figure,plot(F,abs(H)),grid on,xlim([0 20*Fm])
title('Tasarlanan AGF nin Genlik Spektrumu')
xlabel('Frekans [Hz]'),ylabel('Genlik [V]')

y=filter(b, a, x);
figure,plot(t,y),grid on,
title('____?!'),xlabel('Zaman [sn]'),ylabel('Genlik [V]')
```

- (3a) kısmında ki kodu **ayrı bir m-file** çalıştırınız. Senkron modülasyonu açıklayınız (**10P**).
- (3b)' de x işaretinin genlik spektrumunu hesaplayınız. (2b)' de elde ettiğiniz s\_am işaretinin genlik spektrumu ile aynı figure ekranında eksen düzenlenmiş şekilde çizdiriniz. Grafikleri yorumlayınız (**20P**).
- (3c) kodunda tasarlanan filtreyi geçiş frekanslarına göre yorumlayınız. **title** komutundaki eksik yerleri doldurunuz.
- Ayrı bir **m-file** içerisinde (3a) kısmında bulunan lo işaretinin Fc frekansını ( $F_c + 20$ ) yaparak osilatörün senkron olmaması durumunda ki çıkışı gözlemleyiniz.

#### 4.Asenkron Demodülasyon

---

```
% 4a) Asenkron Modülasyon

x1 = s_am.^2;
y1 = filter(b, a, x1);

figure,
subplot(211), plot(t,x1),grid on,
subplot(212), plot(t,y1),grid on,
title('Asenkron Demodülatör Çıkış İşareti'),
xlabel('Zaman [sn]'),ylabel('Genlik [V]')

% 4b) İşaretlerin Frekans Analizi
```

```
*****
*****
*****
```

---

- a. **(4a)** kısmındaki kod ile  $s_{am}$  işaretini demodüle ediniz. Çıkışı gözlemleyiniz. Çıkışın  $x1$  işaretinin zarfı olduğuna dikkat ediniz.
- b. **(4b)** yerinde  $s_{am}$ ,  $x1$  ve  $y1$  işaretlerinin genlik spektrumlarını hesaplayınız. Tek figure ekranında subplot ile alt alta çiziniz.
- c. **y** ve **y1** işaretlerini tek figure ekranında subplot ile alt alta çiziniz. Senkron ve asenkron demodülasyon sonuçlarını karşılaştırınız.

### 5.1. Frekans Modülasyonu

```
clc
close all;
clear all;
fs=1000;
t=???
fm=10;
fc=100;
A=5;

m=A*cos(???); %Mesaj Sinyali
c=???; %Taşıyıcı Sinyali
```

```
subplot(3,1,1),plot(t,m);
xlabel('_____');
ylabel('_____');
legend('_____');
```

```
subplot(3,1,2),plot(t,c);
xlabel('_____');
ylabel('_____');
legend('_____');
```

```
beta=???; %Modülasyon İndeksi
```

```
fm_mod=???;
subplot(3,1,3)
plot(t,fm_mod);
xlabel('_____');
ylabel('_____');
legend('_____');
```

- Üstte Soru ve Tire işaretleri ile belirlenmiş Alanları Doldurunuz.
- Fm değerinin [0.1, 1, 5, 20] değerleri için ayrı ayrı kodu çalıştırınız. Çıkan grafikleri yorumlayınız.

### 5.2. Frekans Modülasyonu

```
clc
close all;
clear all;
fs=1000;
t=???
fm=500;
fc=500000;
A=10;
Beta = 0.1;
Kp=10;

m(x) = 0,01 * Sin(?? * pi * x);
```



- a) Mesaj işaretini çizdiriniz.
- b) Faz modülasyonu yapılan sinyali çizdiriniz.

$K_f = 10\pi$ ;  
 $m(y) = 10 \cdot \cos(?? \cdot \pi \cdot y)$ ;

- c) Mesaj işaretini çizdiriniz.
- d) Frekans modülasyonu yapılan sinyali çizdiriniz.
- e) Hem frekans hem de faz modülasyonu yapılan sinyalleri bir figüre içine çizdirip karşılaştırınız.

## 6. Demodülasyon

```
clear all;
close all;
clc;
```

```
Fs = 10000;
ts=??
```

```
t = -0.04:ts:0.04;
Ta = 0.01;
t1 = -0.02:ts:0;
t2 = 0:ts:0.02;
fc = 200;
```

```
m1 = 1 - abs((t1+Ta)/Ta);
m1 = [zeros([1 200]),m1,zeros([1 400])];
m2 = 1 - abs((t2-Ta)/Ta);
m2 = [zeros([1 400]),m2,zeros([1 200])];
```

```
msg = m1 - m2;
```

- a) Mesaj işaretini zaman domaininde çizdiriniz.
- b) Mesaj işaretini frekans domaininde çizdiriniz.

```
kf = 160*pi;
fm = ?? %Frekans Modülasyonlu İşaret
(İpucu :  $fm = \cos(wc \cdot t + \text{integralli ifade})$ ;  

Not: İntegral İşlemi Matlab İle Yapılacaktır.
```

- c) Frekans Modülasyonlu işareti zaman domaininde çizdiriniz.
- d) Frekans Modülasyonlu İşareti frekans domaininde çizdiriniz
- e) Modülasyonlu İşareti Demodüle Ediniz ve çizdiriniz. (İpucu : Türev)
- f) Demodülasyonlu işareti frekans domaininde çizdiriniz
- g) Demodülasyonlu işareti Yüksek Geçiren Filtreden geçirin ve mesaj sinyalini elde etmeye çalışınız. Elde ettiğiniz sinyali çizdiriniz.
- h) Elde ettiğiniz sinyali frekans domaininde çizdiriniz.