

**BSM 422**

# **KABLOSUZ AĞ TEKNOLOJİLERİ VE UYGULAMALARI**

**Prof. Dr. Cüneyt BAYILMIŞ**



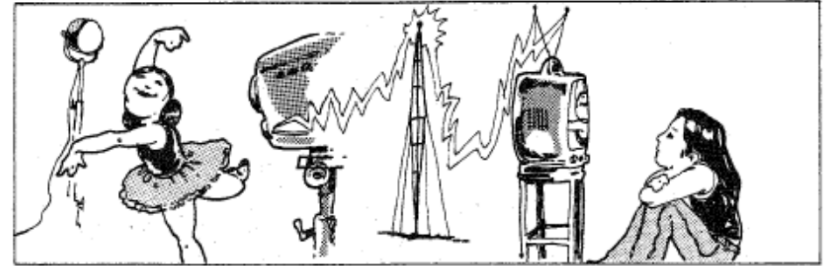
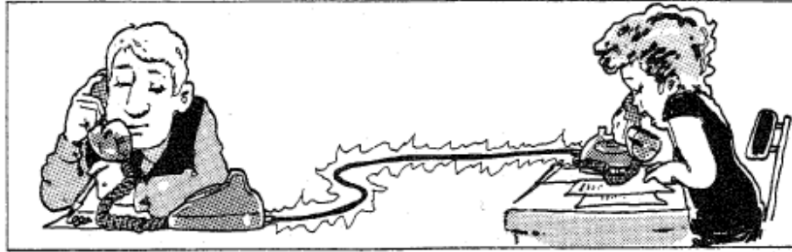
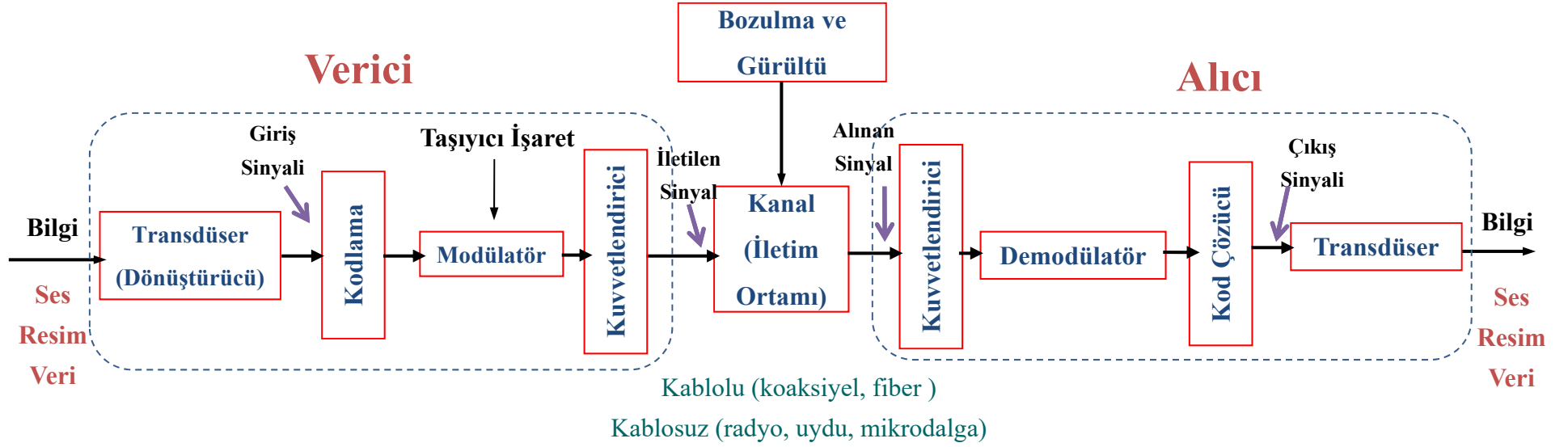
BSM 422  
KABLOSUZ AĞ TEKNOLOJİLERİ VE UYGULAMALARI

2. Hafta

ANALOG VE SAYISAL  
VERİ HABERLEŞMESİNİN TEMELLERİ



# Haberleşme Sistemi

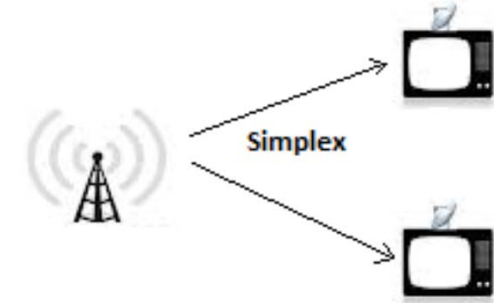


Temel Haberleşme Kriterleri: Performans, Güvenilirlik, Güvenlik

# İletim Türleri (Transmission Mode)

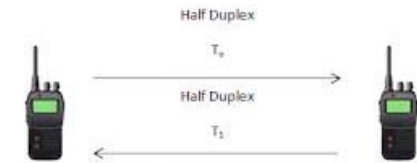
## ① Tek Yönlü İletim (Simplex)

- Alıcı ve verici arasında tek yönlü iletişim vardır.
- Örnek: Televizyon



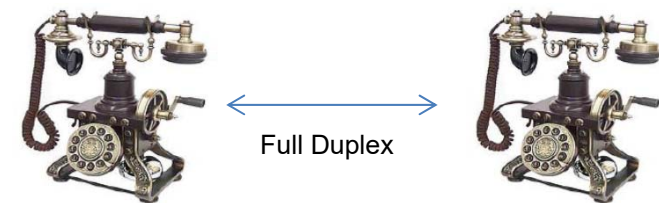
## ② Yarı Çift Yönlü İletim (Half Duplex)

- Alıcı ve verici arasında iki yönlü iletişim yolu vardır.
- Ancak, tek bir anda sadece bir yönde iletim vardır.
- Örnek: Polis Telsizi



## ③ Tam Çift Yönlü İletim (Full Duplex)

- Aynı anda her iki yönde de iletim vardır.
- Örnek: Telefon



# Bir Haberleşme Sisteminin Başarımını Etkileyen Temel Nedenler

## 1 Elektriksel Gürültü

- ☐ Alıcı çıkışında beliren her tür istenmeyen gerilim ve akım olarak tanımlanır.
- ☐ Gürültü işaretleri ortaya çıktıkları noktalarda genellikle çok küçüktür ( $\mu\text{V}$  mertebelerinde). Ancak kuvvetlendiricilerden geçerken genlikleri büyür ve ayrıca kuvvetlendiricilerin iç gürültüleri de bunlara eklenir.
- ☐ Gürültü insandan, doğadan, kullanılan cihaz/sistemden kaynaklanabilir
- ☐ Temel parametreler: Sinyal/Gürültü Oranı, Bit Hata Oranı

## 2 Ayrılan Frekans Bant Genişliği

- ☐ Bant genişliği ne kadar geniş olursa, iletilebilen haber/mesaj/bilgi miktarı da o kadar büyük olur.
- ☐ Ayrılan bant genişliği ile iletim süresinin çarpımı iletilecek haber miktarını verir. (**Hartley Kanunu**)
- ☐ Haber gönderme hızında ve frekans bandında değişiklikler yapabilmek için haberleşme sistemi ek donanımlara ihtiyaç duyar.
- ☐ Bazı haber türlerinin frekans bant değerleri:
  - Telefon, 300 – 3400 Hz
  - Orta Kalite Müzik, 100 – 6000 Hz
  - Yüksek Kalite Müzik, 30 – 15000 Hz
  - Siyah – Beyaz Televizyon, 0 – 5 MHz
  - Renkli Televizyon, 0 – 15 MHz



# İletim Ortamından Kaynaklanan Bozulmalar/Gürültüler

- **Sinyal Zayıflaması (attenuation):** İletişim mesafesi ile sinyal gücü ters orantılıdır. Mesafe arttıkça sinyal gücü zayıflar.
- **Sinyal Bozulması (distortion):** İletim ortamında ilerleyen sinyalin içerdiği farklı frekansların farklı zayıflamalarla alıcıya ulaşmasıdır. **İletilen veri bozulabilir. Genlik ve Faz distorsiyonu olarak sınıflandırılır.**
- **Gecikmeden Kaynaklanan Bozulma (dispersion):** Sinyali oluşturan farklı frekansların (ya da fiber optik kablo içerisindeki ışık ışınlarının) farklı yollar üzerinden alıcıya farklı zamanlarda ulaşmasından kaynaklanır.
- **Gürültü:** Gönderilen orijinal sinyali bozan ve sisteme istem dışı dahil olan herhangi bir enerji (işaret ya da sinyal).
- **Girişim-Parazit (Interference):** İstenmeyen işaretlerin sistemimize girerek sinyalimiz üzerinde yaptığı bozucu etkidir. **Çözüm istenmeyen işaret kaynaklarının sistemden uzaklaştırılmasıdır.**
- **Çapraz Konuşma (Crosstalk):** Aynı kılıf içerisinde yanyana bulunan kablolardaki sinyallerin birbirlerini etkilemeleridir. **Çözüm, bükümlü kablo kullanımı)**



# İşaret Gürültü Oranı (Signal Noise Ratio, SNR)

- Bir devrenin veya sistemin bir noktasındaki işaret ile gürültü düzeyi arasındaki matematiksel ilişkidir.
- Genelde logaritmik bir fonksiyon olarak ifade edilir.
- Birimi **dB**'dir.
- Bir radyo sisteminin performansını değerlendirmede en çok kullanılan ve en önemli bir parametredir.

$$SNR = \frac{Sinyal}{Gürültü}$$

➤ Telefon ses kalitesi  $SNR \approx 30$  dB

Aslına uygun müzik  $SNR \approx 50 - 60$  dB

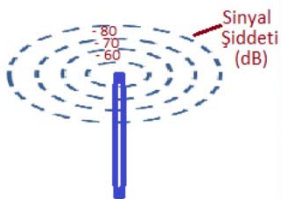
➤ Güç oranı;  $SNR_{db} = 10 \log \frac{P_{sin yal}}{P_{gürültü}}$

➤ Gerilim oranı;  $SNR_{db} = 20 \log \frac{V_{sin yal}}{V_{gürültü}}$

➤ **Örnek:** Bir kuvvetlendiricinin çıkış gerilimi 2 mv (rms) ve çıkıştaki gürültüde 0.5 mv (rms) ise SNR hesaplayınız?

$$SNR = \frac{Sinyal}{Gürültü} = \frac{(2 \cdot 10^{-3})^2}{(5 \cdot 10^{-4})^2} = 16$$

$$SNR_{db} = 10 \log \frac{P_{sin yal}}{P_{gürültü}} = 10 \log 16 = 12,04 \text{ dB}$$



**Desibel (dB):** Genelde ses şiddeti için kullanılır ve belirli bir referans güç ya da miktar seviyeye olan orandır. **Logaritmik** ve boyutsuz bir birimdir. Kısaca iki değer arasındaki karşılaştırmadır.

‘0 dB’ insan kulağının işitebileceği en düşük sestir.

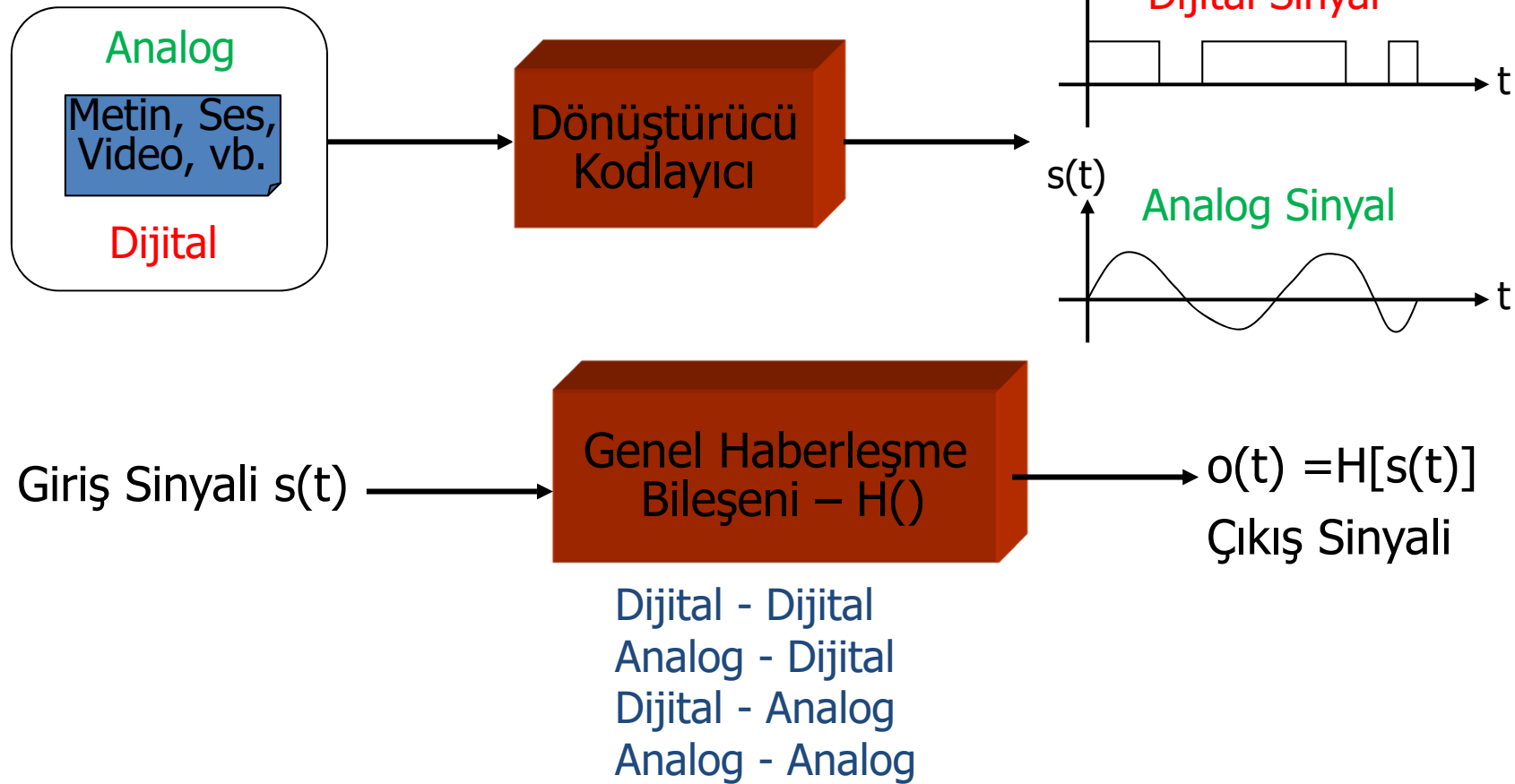
‘30 dB’ fısıltı, sessiz konuşma

‘120 dB’ uçağın havalanması, gece kulübü



# Sinyal (Analog & Sayısal)

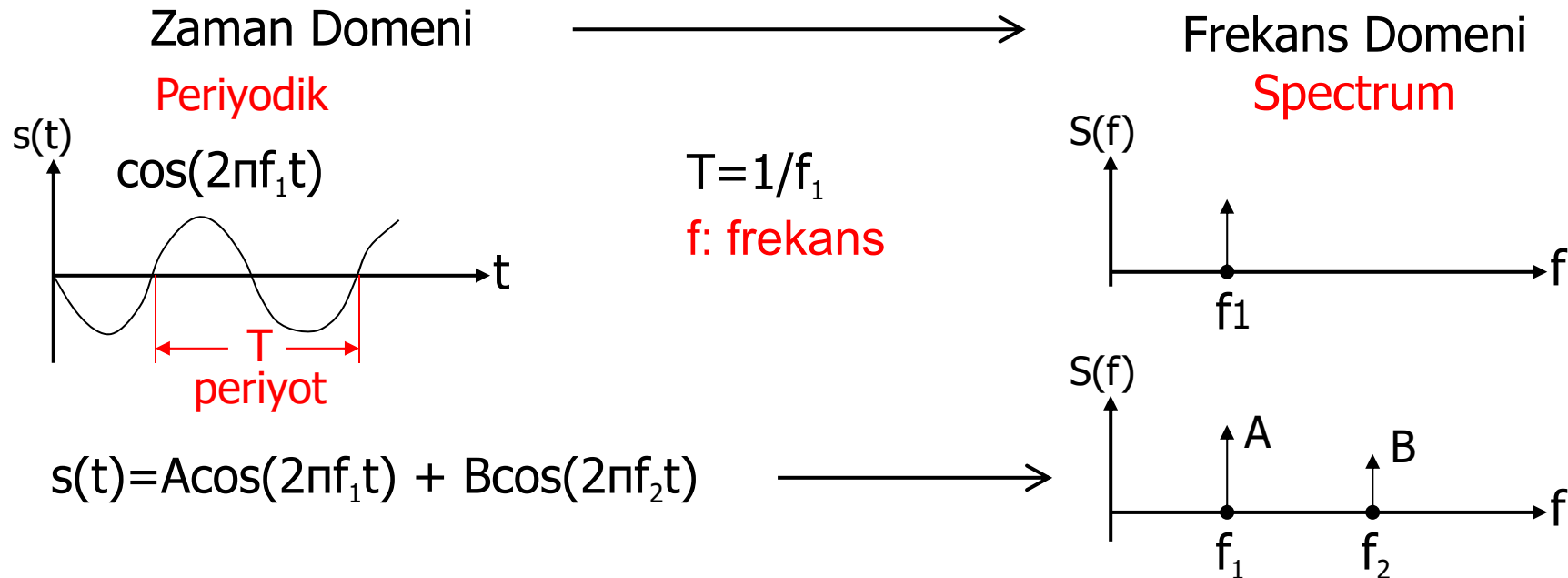
- Bilgi/veri iletilmeden önce **sinyal** olarak adlandırılan elektrik enerjisine çevrilmelidir.





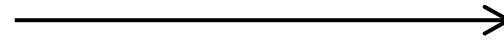
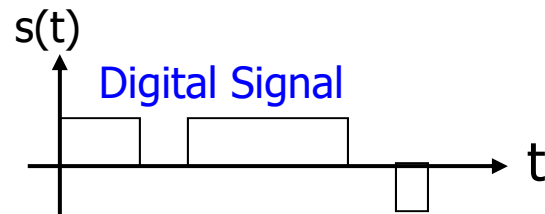
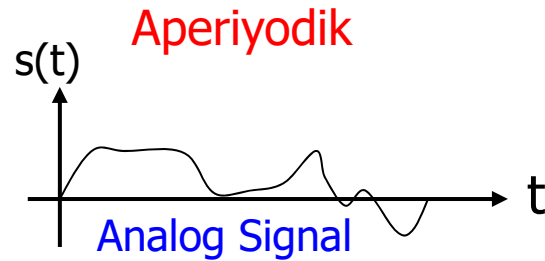
# Frekans, Periyot, Bant Genişliği

- **Frekans**, sinyalin 1 sn'deki tekrarlamaya sayısıdır (Hertz).
- **Periyot**, sinyalin bir saykılını tamamlama süresidir (sn).



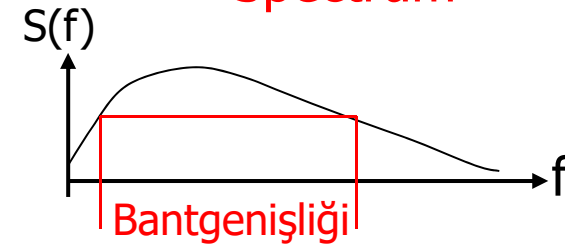
# Frekans, Periyot, Bant Genişliği

Zaman Domeni



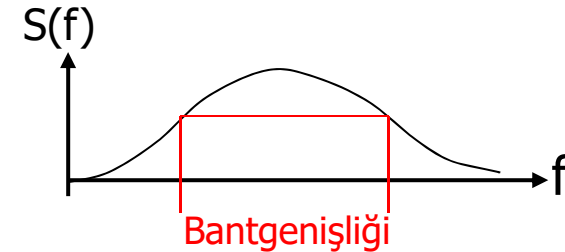
Frekans Domeni

Spectrum



Fourier Transform

$$S(f) = \int s(t) e^{-j2\pi ft} dt$$



- **Bantgeniřlięi**, kaynak bilgiyi sistemde iletmek için gereken en düşük geçiş bandıdır.

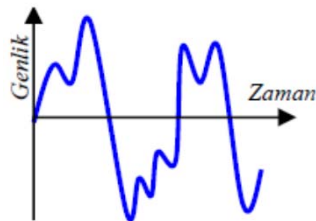
# Fourier Transformu

➤ Bir haberleşme sisteminde iletilecek **haber**; zamanın periyodik olan ya da olmayan bir fonksiyonudur.

❑ En basit periyodik fonksiyonlar sinüs ve kosinüs fonksiyonlarıdır.

➤ Fourier serileri yardımıyla belirli ve sınırlı olan bütün periyodik fonksiyonlar, sinüs ve kosinüs fonksiyonlar cinsinden ifade edilebilir. Böylece incelenmesi zor olan karmaşık sinyaller daha kolay incelenebilir.

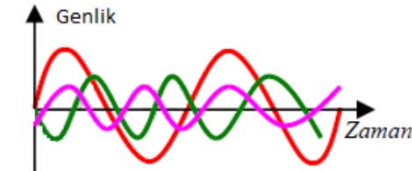
İşaret/sinyal



Fourier Serileri

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos k\omega_0 t + b_k \sin k\omega_0 t)$$

Değişik Genlik ve Frekanslarda Sinüsoidler



# Kanal ve Bant Genişliği

- **Kanal:** Elektrik sinyallerinin geętięi, frekanslardan oluřan **bant** ya da **yola** denir.
- **Kanal ya da Bilgi Kapasitesi :** Bir kanalda saniyede iletilebilecek maksimum bit miktarına kanal ya da bilgi kapasitesi denir. Genel olarak, belirli bir zamanda iletilebilecek bağımsız sembollerin sayısını gösteren değer olarakta ifade edilebilir.

## 1 Hartley Kanunu

$$C = B * T$$

**C:** Bilgi Kapasitesi (bps) **B:**Bant Genişliği (Hertz) **T:** İletim Süresi

## 2 Shannon Kanunu

$$C = B \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{\text{Sinyal}}{\text{Gürültü}} \right) \quad \text{ya da}$$

## 3 Nyquist Kanunu

$$C = 2B \log_2(M)$$

**M:** Sinyal Seviyesi (Bazı modemlerde 8'dir)

$$C = B \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{P_r}{N_0 \cdot B} \right)$$

$$P_r = E_b R_b$$

$P_r$  = Alınan sinyal gücü (watt)  
 $N_0$  = Tek taraflı gürültü güç yoğunluğu (watt/Hz)  
 $E_b$  = Ortalama bit enerjisi  
 $R_b$  = İletim bit oranı



# Kanal ve Bant Genişliği

- **Örnek:** 9,6 KHz bant genişliğine sahip bir iletim hattında S/N (sinyal/gürültü) oranı 1023 ise bu hattın kanal kapasitesini hesaplayınız?

$$C = B \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{\text{Sinyal}}{\text{Gürültü}} \right)$$

$$C = 9600 * \log_2 (1 + 1023) = 9600 * \log_2 1024 = 9600 * 10 = 96000 \text{ bps}$$

- **Örnek:** Standart bir telefon hattında (B = 3 KHz), S/N oranı 30 dB ise kanal kapasitesi nedir?

$$dB = 10 \log \frac{P_s}{P_n}$$

$$30 = 10 \log \frac{P_s}{P_n}$$

$$3 = \log \frac{P_s}{P_n}$$

$$\frac{P_s}{P_n} = 10^3$$

$$C = B * \log_2 \left( 1 + \frac{\text{Sinyal}}{\text{Gürültü}} \right)$$

$$C = 3 \cdot 10^3 * \log_2 (1 + 1000)$$

$$C = 3000 * 10$$

$$C = 30000 \text{ bps}$$

$$\log_2(1001) = \frac{\log_{10} 1001}{\log_{10} 2} = \frac{3}{0,3} = 10$$



# Kanal ve Bant Genişliği

- **Örnek:** 1 MHz bant genişliğine sahip bir haberleşme sisteminde,
- a) 30 dB Sinyal/Gürültü Oranında, kanal kapasitesi nedir?
  - b) Kanal kapasitesi hangi durumda/durumlarda yarı yarıya azalır, işlemle gösteriniz.

**Çözüm: a)**

$$SNR(dB) = 10 \log_{10} SNR$$
$$30 = 10 \log_{10} SNR$$
$$SNR = 10^{30/10} = 1000$$

$$C = B \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{\text{Sinyal}}{\text{Gürültü}} \right)$$
$$C = 10^6 * \log_2 (1 + 1000)$$
$$C = 10 \text{ Mbps}$$

b) Kanal kapasitesini yarıya indirmenin iki yolu vardır.

- ❶ SNR sabit tutulur, Bant genişliği değişirse kanal kapasitesi yarıya iner.

$$C = B \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{\text{Sinyal}}{\text{Gürültü}} \right)$$
$$B = \frac{C}{\log_2 (1 + SNR)} = \frac{5 \cdot 10^6}{10} = 500 \text{ KHz}$$

- ❷ Bant Genişliği (B) sabit, SNR değişirse kanal kapasitesi yarıya iner.

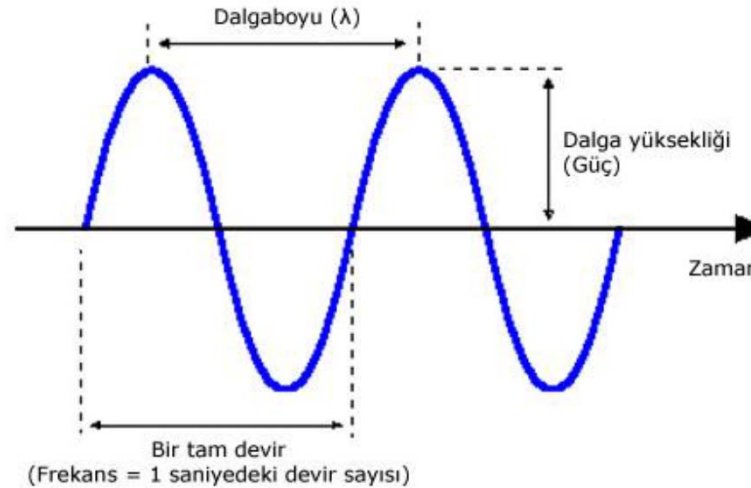
$$C = B \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{\text{Sinyal}}{\text{Gürültü}} \right)$$
$$\log_2 (1 + SNR) = \frac{C}{B} \Rightarrow 1 + SNR = 2^{C/B} \Rightarrow SNR = 2^{C/B} - 1$$
$$SNR = 2^{\frac{5 \cdot 10^6}{10^6}} = 32$$
$$SNR(dB) = 10 \log_{10} SNR = 10 \log_{10} (32) = 10 * 1.505 \approx 15 \text{ (dB)}$$



# Dalga Boyu (Wavelength)

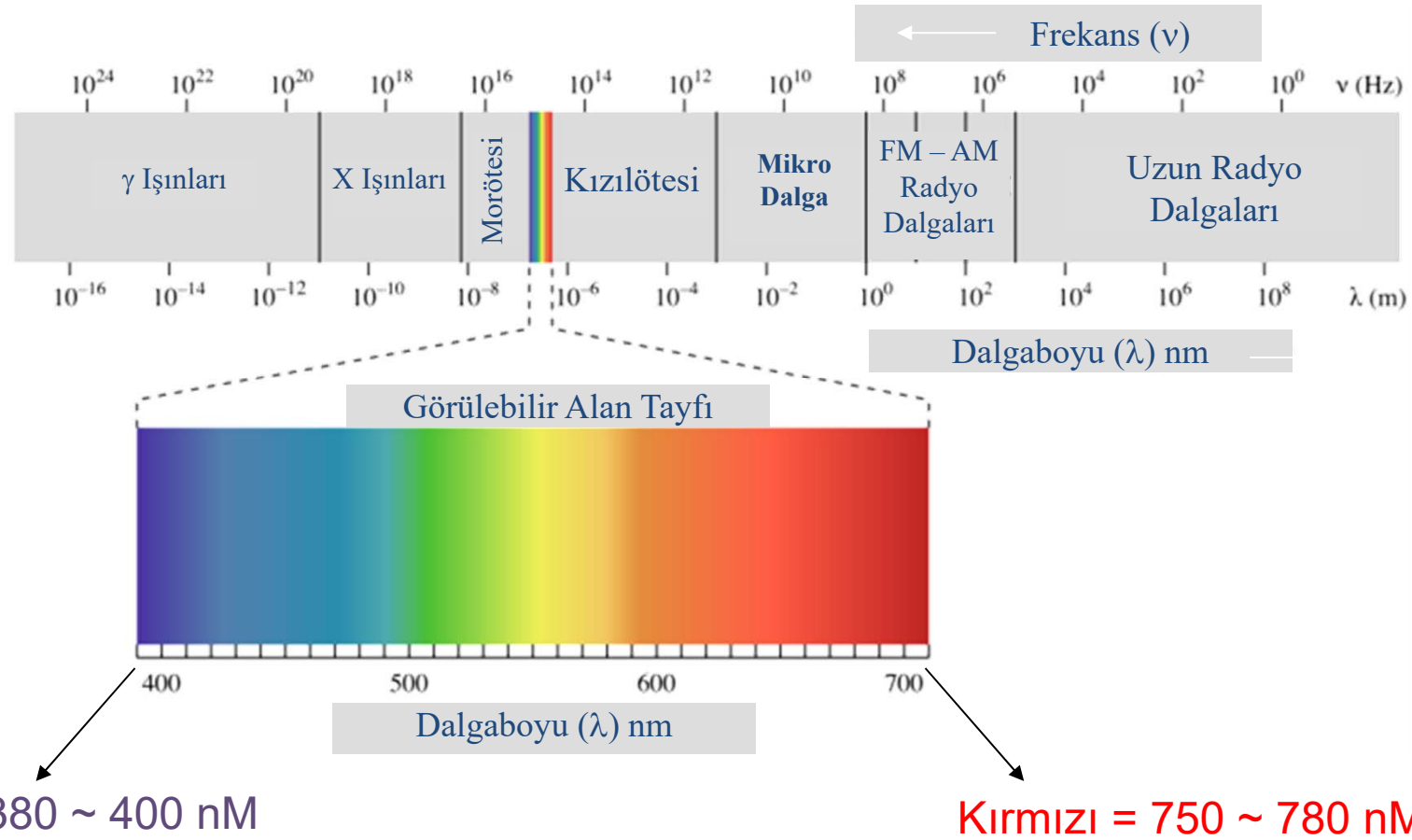
- Bir sinyalin/işaretin 1 saykılının aldığı yoldur.
- Ardışık iki saykıldaki aynı fazlı iki nokta arasındaki mesafedir.
- Birimi **m**'dir.

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{\text{ışık hızı}}{\text{frekans}}$$



# Elektromanyetik Tayf

Algılanabilir dalgaboyu aralığı 380nm ile 750 nm



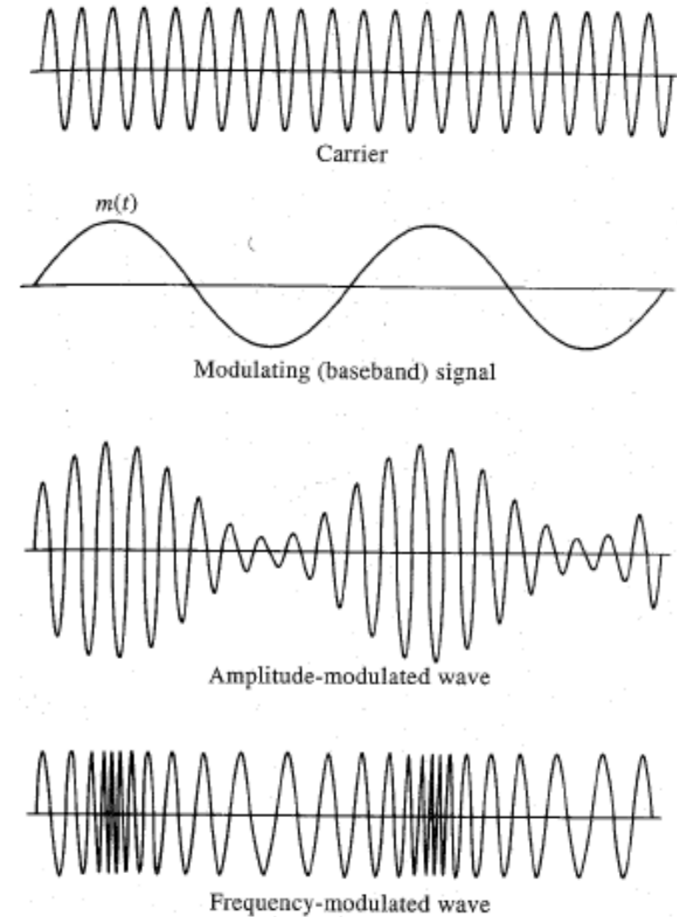


# Modülasyon

- Kelime anlamı olarak **değiştirmek** tir.
- Bilgi sinyalinin genellikle daha uzak mesafelere gönderilebilmesi amacıyla kendinden çok daha yüksek frekanslı bir taşıyıcının sinyal üzerine bindirilmesidir.
- Modülasyon sırasında taşıyıcı sinyalin **genlik**, **frekans**, **faz** v.b. gibi özellikleri, bilgi sinyaline ve modülasyon türüne göre değişime uğrar.
- **Taşıyıcı**; üzerinde değişiklik yapılan (modüle edilen) işarettir.
- Bir sinüs taşıyıcı dalga 3 parametre ile ifade edilir;

$$V(t) = A \sin(2\pi f t + \phi)$$

- ☐ Genlik (Amplitude),
- ☐ Frekans (Frequency),
- ☐ Faz (Phase)



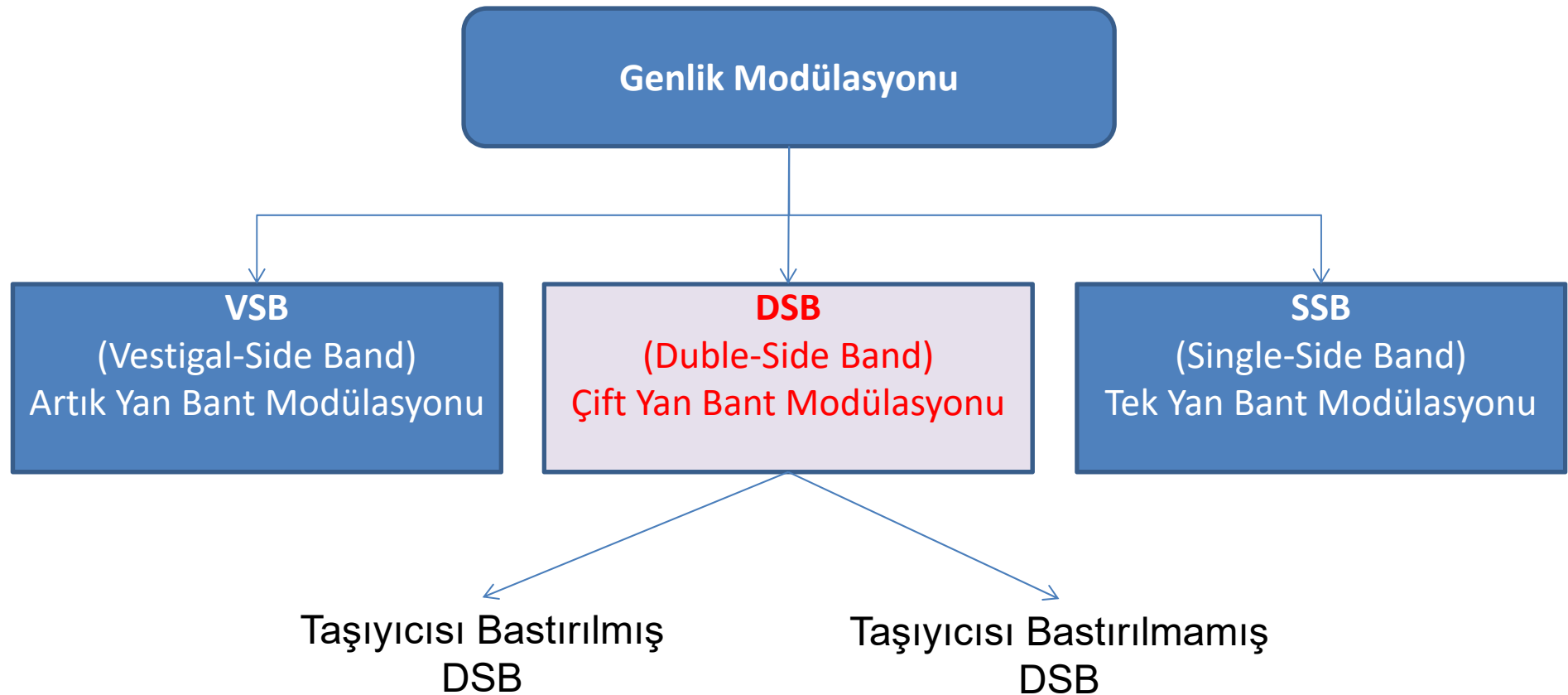
# Modülasyon Niçin Gereklidir?

- İletilmek istenen bilgi düşük frekanslıdır. (dalga boyu yüksek)
  - **Örnek:** İnsanın algılayabildiği ses 20 Hz – 20 KHz
- Anten boyları, dalga boylarının katları olmak zorunda olduğundan bilgi işaretini modülesiz iletebilmek için kullanılacak anten boyları çok büyük olmak zorundadır.
  - **Örnek:** İnsanın algılayabildiği ses için dalga boyu  $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{300.10^6}{20.10^3} = 15 \text{ km}$
  - Yarım dalga anten kullanılsa 7,5 km anten boyutu
- Düşük frekanslarda gürültü ve parazit vardır.
- Düşük ya da dar frekans bandında çalışan vericilerin yayınlarını seçmek zordur.
- **Çözüm;**
  - Bilgi sinyalinin kendinden çok yüksek frekanslı bir taşıyıcı sinyal ile **modüle** edilerek transfer edilmesidir.
  - Antenler çok küçülecektir.
  - Anten ve diğer elektronik devreler için tasarım kolaylığı



# Analog Modülasyon

## Genlik Modülasyonu



# Analog Modülasyon

## Genlik Modülasyonu

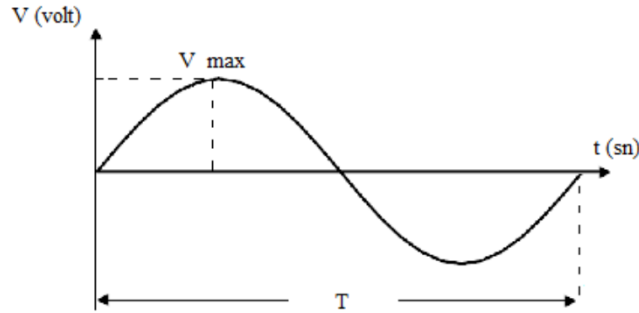
---

- Taşıyıcı işaretin genliğinin, bilgi işaretinin genliğine göre değiştirildiği modülasyon şeklidir.
- Bilgi; taşıyıcıya **genlik değişiklikleri** biçiminde bindirilir.
- Modülasyon işlemi sırasında bilgi sinyalinde yer alan bütün frekanslar **üst** ve **alt** yan bantlar olarak elde edilir.
- Verinin iletimi sırasında her iki yan bantta kullanılırsa **çift yan bant** modülasyon olarak adlandırılır.
- Ticari ses ve görüntü yayınında kullanılan nispeten ucuz ve düşük kaliteli bir modülasyon biçimidir. (535 – 1605Hz)
- Radyo ve TV yayınlarında kullanılır.
- Kısa mesafeli haberleşmelerde kullanılır.

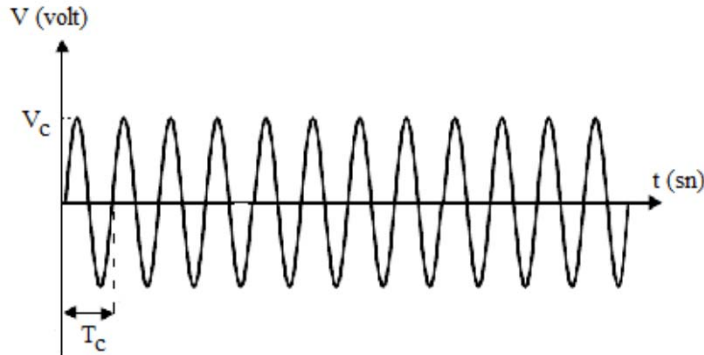


# Analog Modülasyon – Genlik Modülasyonu

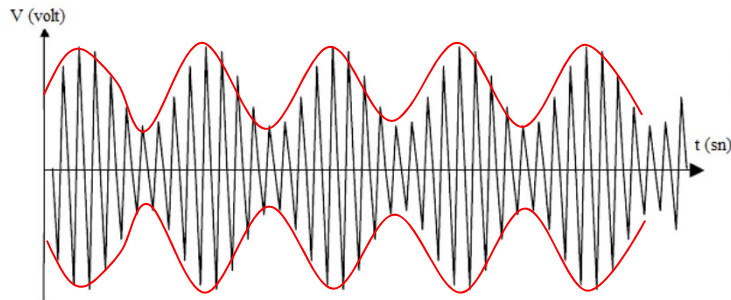
## Genlik Modülasyonu Sürecinde Sinyaller



➤ **Bilgi Sinyali**, iletilmek istenen düşük frekanslı sinyaldir.



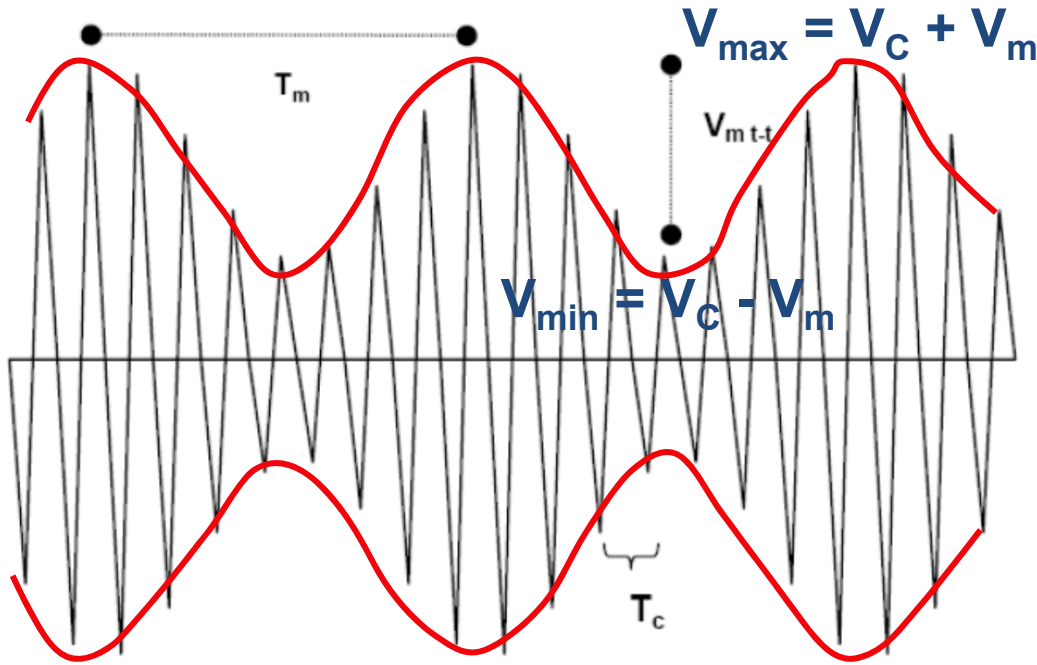
➤ **Taşıyıcı işaret** yüksek frekanslı sinüs ya da cosinüs işarettir.



➤ **Modüle edilmiş işaret**, taşıyıcı işaret ile bilgi işaretinin birleştirilmiş halidir.

# Analog Modülasyon – Genlik Modülasyonu

## Genlik Modüleli İşaretin İncelenmesi



➤  $T_c$ , taşıyıcı işaretin periyodu;

$$f_c = \frac{1}{T_c}$$

➤  $T_m$ , bilgi işaretinin periyodu

$$f_m = \frac{1}{T_m}$$

➤  $V_{mt-t}$ , bilgi işaretinin tepeden tepeye genlik değeri

$$V_m = \frac{V_{mt-t}}{2}$$

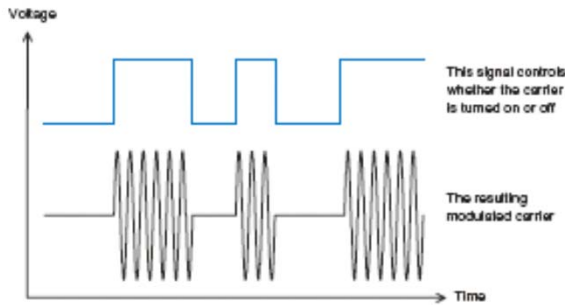
❑ **Modülasyon Zarfı**; modüleli sinyalin pozitif ve negatif tepe değerleri üzerinden çizilen hat modüle edici (**bilgi**) sinyale eşittir ve modülasyon zarfı olarak adlandırılır.

# Analog Modülasyon – Genlik Modülasyonu

## Genlik Modülasyonu

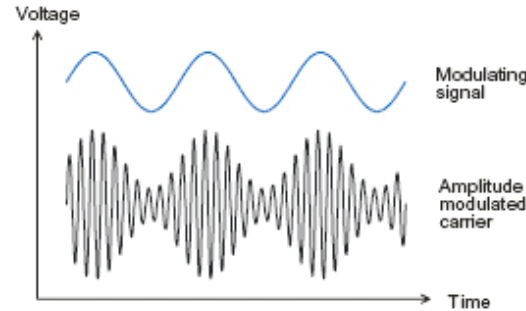
### Amplitude modulation (AM)

- Simplest case of AM is where carrier is just turned on or off.



### Amplitude modulation

- Continuous amplitude modulation (eg AM radio)
- Information contained in the envelope shape



### Amplitude modulation

- Modulation by a sine wave:

$$v(t) = A_C \cos(2\pi f_C t) \{1 + m \cos(2\pi f_m t)\}$$

$A_C$  = unmodulated peak carrier amplitude

$f_C$  = carrier frequency

$f_m$  = modulation frequency

$m$  = modulation index ("degree" of modulation)

- $m$  must be between 0 and 1

- If  $m > 1$  get overmodulation (bad ...distortion)

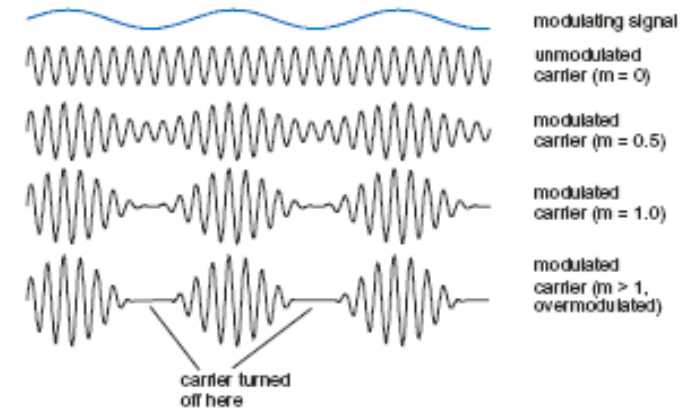
- Modülasyon Katsayısı (indisi);  $m = \frac{V_m}{V_C}$  bilgi sinyal genliğinin, taşıyıcı sinyal genliğine oranıdır.

- Yüzde olarak ifadesi modülasyon yüzdesi olarak adlandırılır.

- Modülasyonun derecesini belirler.

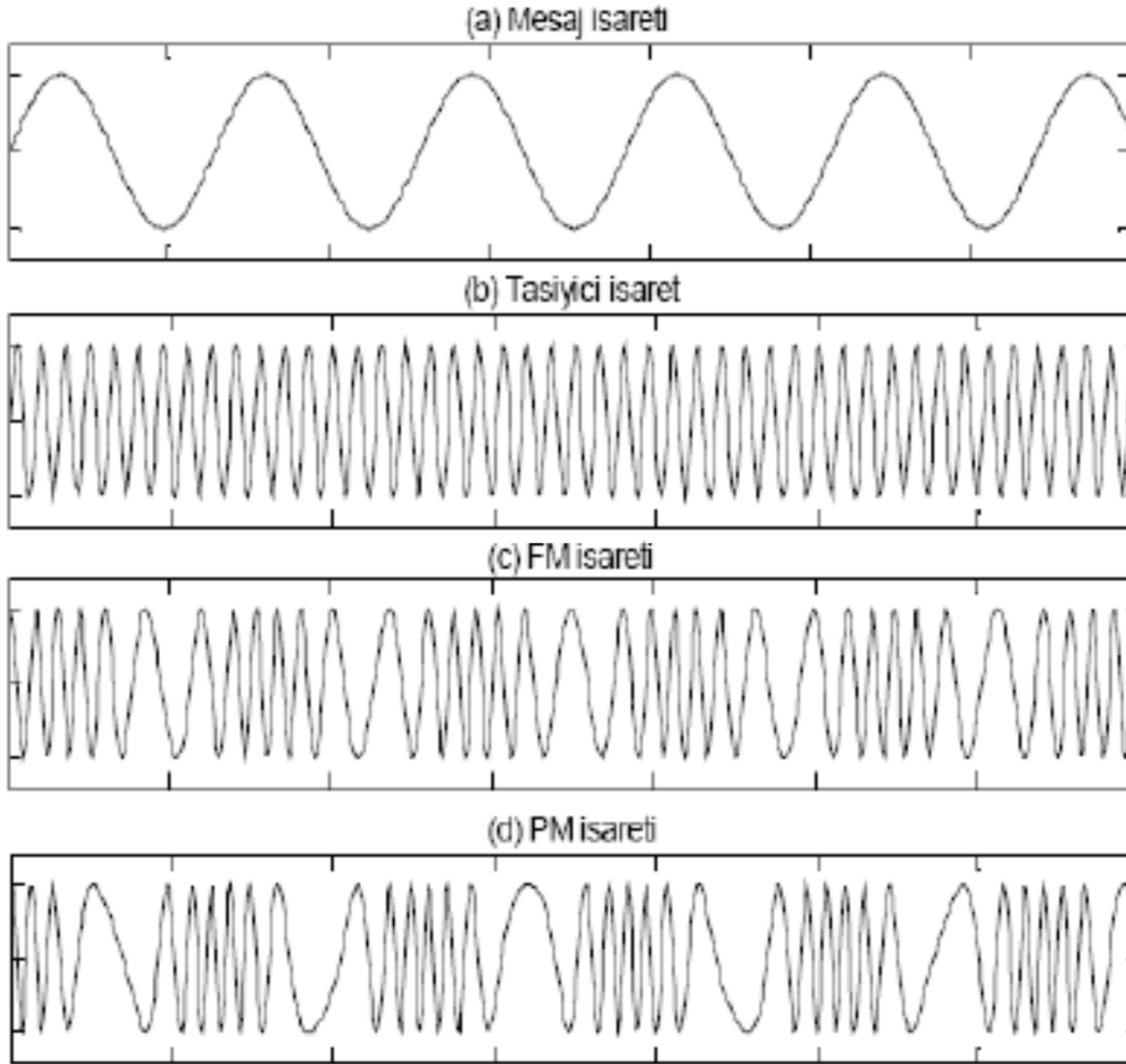
- ☐  $m > 1$  bozuk (aşırı modülasyon)
- ☐  $m=1$  %100 genlik modülasyonu (ideal)
- ☐  $0,5 < m < 1$  iyi bir modülasyon
- ☐ %90 ila %95'lik modülasyon endeksi ile modülasyon yapılması uygundur.

### Varying modulation index



# Analog Modülasyon – Açık Modülasyonu

## Frekans ve Faz Modülasyonu

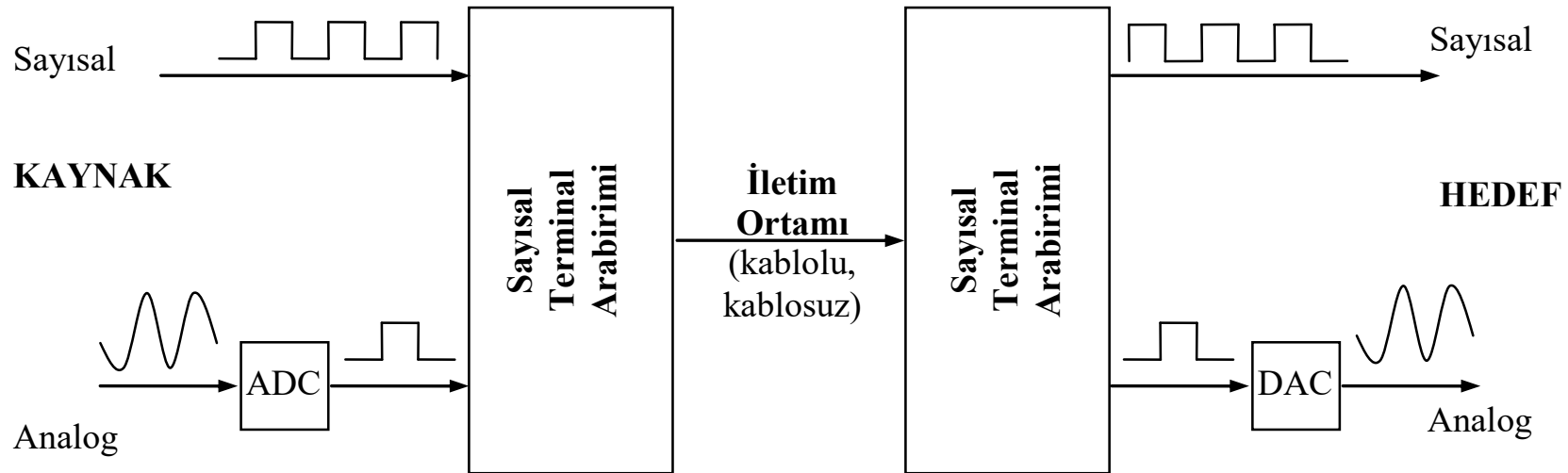


- **Açık Modülasyonunda**, bilgi sinyali sabit genlikli taşıyıcı sinyalin açı değişimleri içerisinde.
- Açısal değişim **Frekans ve Faz** değişimleri ile gerçekleştirilir.
- FM'de frekans değişim miktarı, PM'de ise faz değişim miktarı bilgi işaretinin genliği ile orantılıdır.
- Açık modülasyonunda **haber** (mesaj/bilgi) taşıyıcı işaretin genliğinde değil, sıfırdan geçiş anlarında saklıdır.



# Sayısal Haberleşme

- Sayısal haberleşme,
  - ❑ Genel olarak **analog işaretlerin sayısal yöntemlerle ve sayısal işaretlerin sayısal veya analog yöntemlerle** iletilmesini kapsar.
- Sayısal iletim,
  - ❑ Bir iletişim sisteminde 2 nokta arasındaki sayısal darbelerin iletimidir. Bir başka deyişle haberleşme kanalı üzerinden bilgi bitlerinin sıralı transferidir.
- Sayısal işaret,
  - ❑ Zamana bağlı olarak süreklilik yerine, belirli zaman aralıklarında tanımlı ve yine belirli değerleri alabilen işaretlerdir.



# Analog / Sayısal Dönüştürme İşlemi

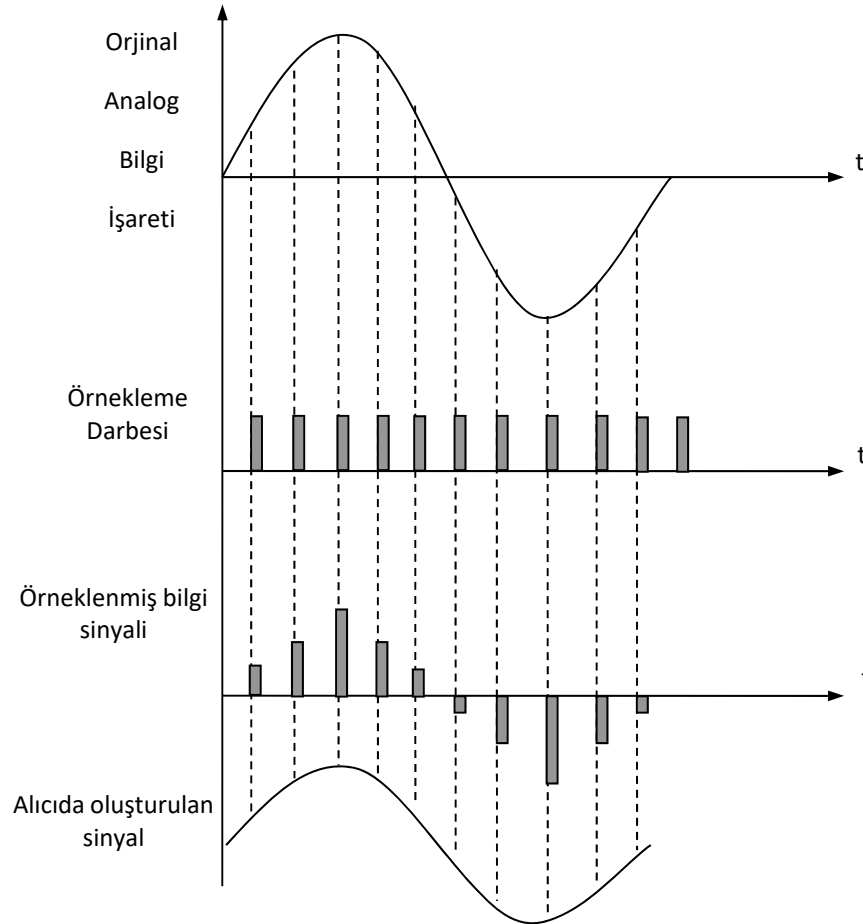
## (Analog Digital Converter)

- Analog/Sayısal Dönüştürme işlemi, Darbe Kod Modülasyonu (Pulse Code Modulation, PCM) olarak bilinir.
  - ❑ PCM'de, analog sinyal örneklenir ve iletim için sabit uzunlukta seri ikili (binary) sayıya dönüştürülür.
  - ❑ Analog sinyalden örneklenen darbenin genliğini, binary sayının değeri gösterir.
  - ❑ ADC işlemi 3 temel aşamada gerçekleşir.
- ❶ **Örnekleme**; analog bilgi sinyalin örneklenerek darbe dizisi haline dönüştürülür.
- ❷ **Kuantalama**; örnekleme aşamasında elde edilen her bir örnek değer, önceden belirlenmiş seviyelerdeki değerlere yakınlaştırılma işlemidir.
- ❸ **Kodlama**; her bir örnek değer, kuantalama seviyesinin bir binary dizisi (kod sözcüğü) ile kodlanmasıdır.



# Analog / Sayısal Dönüştürme İşlemi (Analog Digital Converter)

❶ **Örnekleme**; analog bilgi sinyalin örneklenerek darbe dizisi haline dönüştürülür.



➤ Anahtarlama hızı ne kadar yüksek olursa, örneklenen işaret orijinal işarete o kadar yakın olur.

➤ Örnekleme için aşağıdaki denklemin sağlanması gerekmektedir.

❑  $f_s \geq 2f_m$

❑  $f_s$  : örnekleme frekansı,

❑  $f_m$  : bilgi sinyali bant genişliği.

➤ Bir işareti iletmek için gereken minimum bant genişliğine Nyquist Bant Genişliği ( $f_n$ ) denir.

❑  $f_n = 2f_m$

➤ Örneğin ses için standart örnekleme hızı 8 KHz'dir. Yani darbe frekansı 8 KHz, periyodu ise 125  $\mu s$ 'dir.

# Analog / Sayısal Dönüştürme İşlemi

## (Analog Digital Converter)

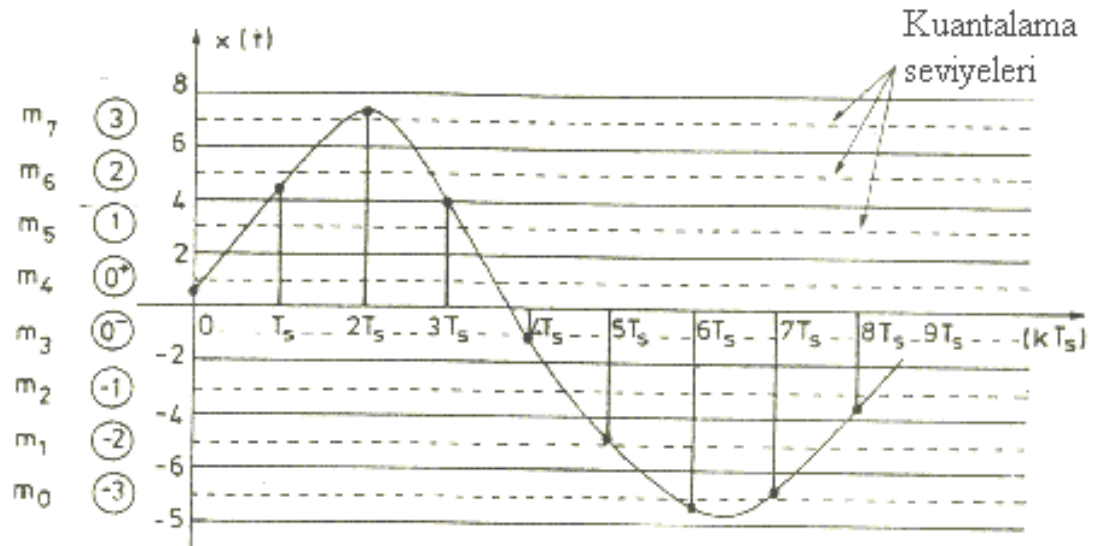
② **Kuantalama;** örnekleme aşamasında elde edilen her bir örnek değerin, önceden belirlenmiş seviyelerdeki değerlere yakınlaştırılma işlemidir.

- Kuantalama bir analog işaretin alabileceği en küçük genlik ile en büyük genlik arasını basamaklara ayırmak ve işaretten alınan örnek değer genliklerinin bu basamaklarla yaklaşığını elde etmektir.
- Kuantalama aralığı (adımı): analog işaretin genlik değerlerinin bölümlendirildiği her bir seviyedir.  $\pm A_{\max}$  genlik aralığında değişen  $x(t)$  analog işaretinin genlik değerleri  $Q=2^n$  adet eşit kuant seviyesine bölünmek istenirse kuantalama aralığı veya adımı;

$$a = 2A_{\max}/2^n \quad \text{ile tanımlanır.}$$

- Kuantalama dilim sayısı  $Q$  arttıkça, kuantalama gürültüsünün etkisi azalmaktadır.

**Örnek:**  $\pm 8\text{v}$  arasında değişen bir  $x(t)$  işareti 8 kuant seviyesine ayrılmak istiyorsa, her bir adım kaç birim olmalıdır.  
 $a=2.8/2^3 = 2$  birim



# Analog / Sayısal Dönüştürme İşlemi

## (Analog Digital Converter)

### ③ **Kodlama;** her bir örnek değerin kuantalama seviyesinin bir binary dizisi (kod sözcüğü) ile kodlanmasıdır.

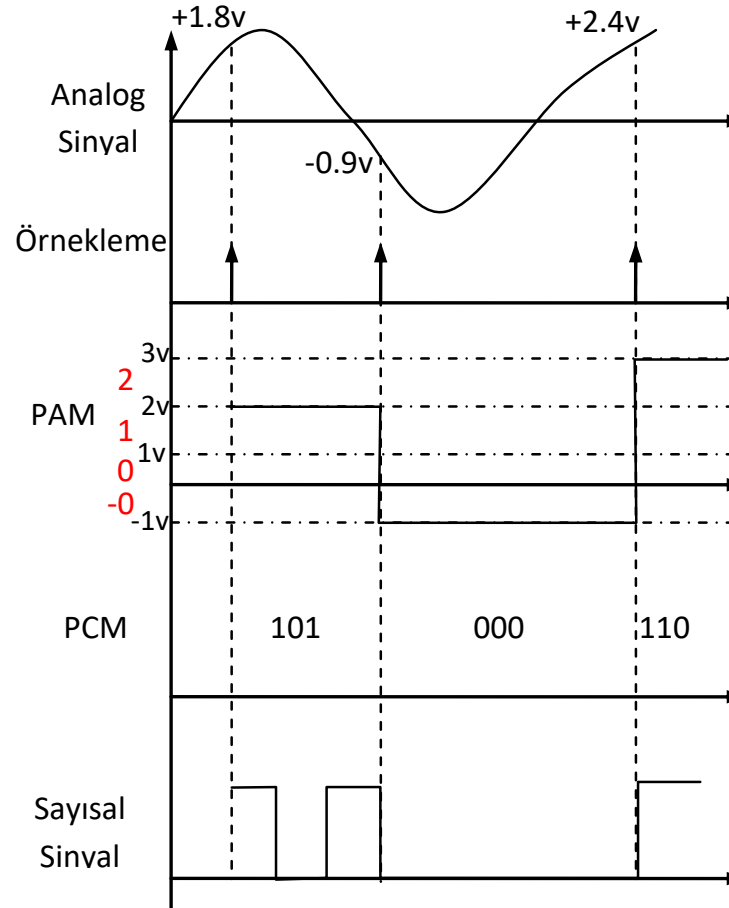
- Her bir kuantalama seviyesinin **binary** kodlar ile ifade edilmesi işlemine **kodlama** denir.
- Kodlama işlemi yapılırken, kuantalama işlemi gerçekleştirildikten sonra sinyalin pozitif alternansta mı yoksa negatif alternansta mı olduğuna bakılır.
- Eğer pozitif alternansta ise ikili kodlama değeri '1' ile, negatif alternansta ise '0' ile başlar.
- Bir başka deyişle, kodlamanın ilk değeri sinyalin bulunduğu alternansı gösterir. Daha sonra kuantalama seviyesinin binary karşılığı yazılarak kodlama tamamlanır.

**Önceki Örnek Devam:** Önceki şekildeki kuantalama seviyelerinin kod karşılıkları

İşaret Genlik Değeri (v)	Kuanta Seviyesi	Kod Kelimesi
0.7	+0	100
4.3	+2	110
7.2	+3	111
3.8	+1	101
-1.1	-0	000
-4.7	-2	010
-7.3	-3	011
-3.7	-1	001

# Analog / Sayısal Dönüştürme İşlemi (Analog Digital Converter)

- **Örnek:** Analog bir sinyalin PCM modülasyon kullanılarak sayısal sinyale çevrilme işlemi görülmektedir.



# Sayısal Haberleşmenin Avantajları

---

- 1 Sayısal sinyaller analog sinyallere göre gürültü ve parazitlerden daha az etkilenir.
- 2 Sayısal sinyallerdeki bozulmalar tekrar ediciler (regenerative repeaters) tarafından giderilebilir.
- 3 Hata sezme (error detection) ve düzeltme (correction) teknikleri sayesinde az hata oranlı sinyal iletimi yapılabilir.
- 4 Sayısal sinyallere parazit ve karıştırıcı sinyal etkilerinden korunabilmek için güvenlik ve kriptolama gibi sinyal işleme teknikleri uygulanabilir.
- 5 Sayısal devreler analog devrelere göre daha esnek, daha dayanıklı ve daha az maliyetli olarak tasarlanabilir.
- 6 Sayısal biçimdeki işaretler, belleklerde kolayca saklanabilir ve yazılım ya da donanım ile işlenebilir.
- 7 Sayısal bir sistemin iletim hızı kolaylıkla değiştirilebilir.

# Sayısal Haberleşmenin Dezavantajları

---

- ❶ Sayısal olarak kodlanmış analog sinyallerin iletimi, orijinal analog sinyali iletmeye oranla daha fazla bant genişliği gerektirir.
- ❷ Analog sinyallerin iletimi için kaynakta ADC, hedefte ise DAC devrelerine ihtiyaç duyarlar.
- ❸ Kaynak ve hedef arasında sağlıklı iletim için senkronizasyon gerektirir.



# SAYISAL HABERLEŞME

## Temel Kavramlar

### ➤ Bit,

- ❑ Sayısal haberleşmede tüm işlemler lojik 0 ve lojik 1 ile ifade edilir. 0 ve 1 bilgisinin her birine **bit** denir.

### ➤ Bit iletim hızı,

- ❑ Sayısal iletim esnasında saniyede iletilen bit sayısıdır. Bit iletim hızının birimi bit/s'dir (Bit per Second, bps).

- ❑ **Örnek:** Bir bitin iletim süresi 40 µsn ise saniyedeki iletilen bit sayısı nedir?

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{40 \cdot 10^{-6}} = 25000 \text{ bps}$$



# SAYISAL HABERLEŞME

## Temel Kavramlar

### ➤ Baud,

- ❑ Modem ve benzeri cihazların sinyalleşme sırasında gönderdiği bilginin (hızın) ölçüsüdür. Örneğin bir cihaz her bir sinyalleşme sırasında 3 bitle kodlanmış bilgi gönderiyorsa 1 baud 3 bittir.

### ➤ Baud hızı (rate),

- ❑ Bir saniyede iletilen baud (sembol) değişikliğine baud hızı denir ve baud/s ile gösterilir. Baud hızı sinyalin anahtarlama hızını gösterir.
- ❑ **Örnek:** Bir veri iletim hattının iletim hızı 4800 baud/s ve her baud 4 bit kodlanmış veri içeriyorsa, bu hattan transfer edilen saniyedeki bit sayısı nedir?

Bit iletim hızı = baud hızı \* kodlanmış bit sayısı =  $4800 * 4 = 19200$  bps.



# SAYISAL HABERLEŞME

## Temel Kavramlar

### ➤ Bit Hata Oranı (Bit Error Rate, BER)

- ❑ İletilen veri içerisinde bozulan ya da hatalı algılanan bit sayısının, toplam iletilen bit sayısına oranıdır.
- ❑ Sayısal haberleşmedeki en önemli performans kriteridir.

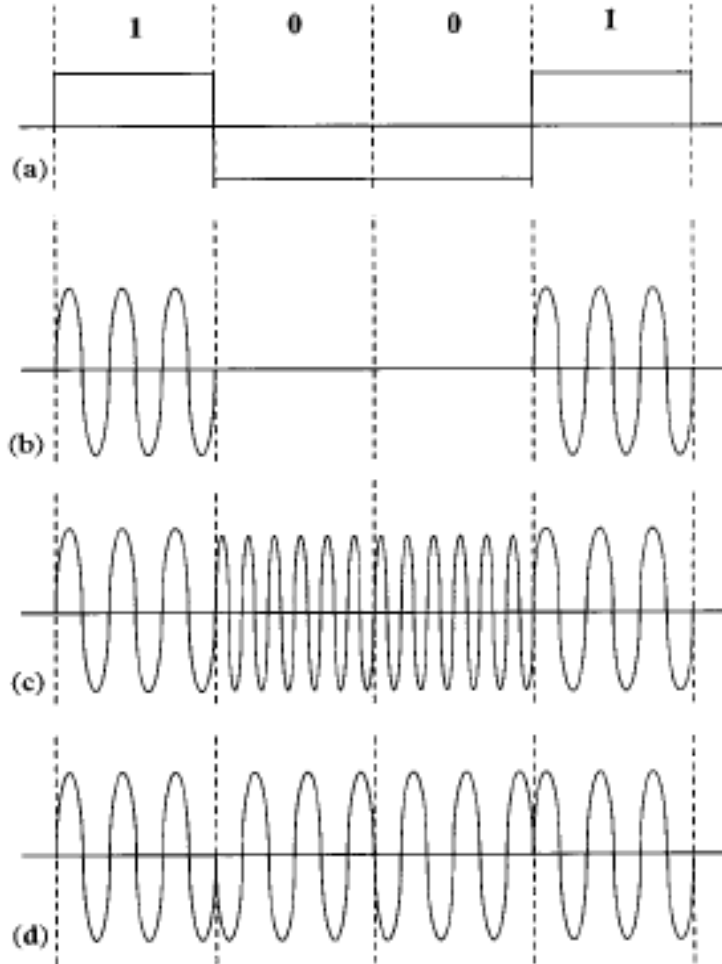
$$\text{BER} = \frac{\text{İletilen Hatalı Bit Sayısı}}{\text{İletilen Toplam Bit Sayısı}}$$

- ❑ **Örneğin**  $\text{BER} = 10^{-6}$ , bir milyon bitte bir bitin hatalı iletildiğini gösterir.



- BER ile SNR ters orantılıdır.
- BER ne kadar küçükse SNR o kadar yüksektir ve kaliteli bir iletim sağlanmış demektir.

# Sayısal Anahtarlama Teknikleri



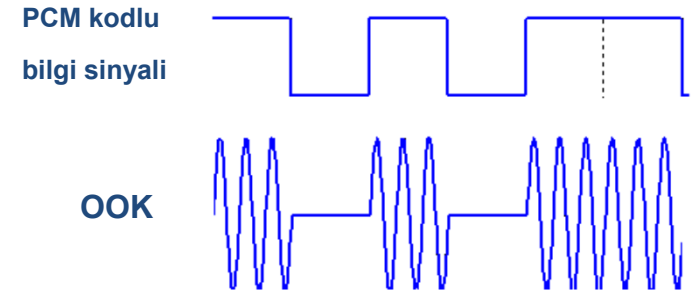
a) ikili, b) Genlik (ASK), c) frekans (FSK),  
d) faz (PSK) kaydırmalı anahtarlama

- Genelde üç temel sayısal modülasyon tekniği **genlik**, **frekans** ve **faz** modülasyon teknikleridir.
- Genlik modülasyonu için;
  - ❑ **Genlik Kaydırmalı Anahtarlama (Amplitude Shift Keying, ASK)**,
- Faz modülasyonu için;
  - ❑ **Faz Kaydırmalı Anahtarlama (Phase Shift Keying, PSK)**, ve
- Frekans modülasyonu için ise
  - ❑ **Frekans Kaydırmalı Anahtarlama (Frequency Shift Keying, FSK)**,
- Temel sayısal modülasyon tekniklerinin her biri çok sayıda değişik biçimlere sahiptir. (**BPSK, 8PSK, 16PSK vb.**)
- Ayrıca melez (**hybrid**) sayısal tekniklerde mevcuttur. (Quadrature Amplitude Modulation, QAM).

# SAYISAL ANAHTARLAMA TEKNİKLERİ

## Genlik Kaydırmalı Anahtarlama (ASK)

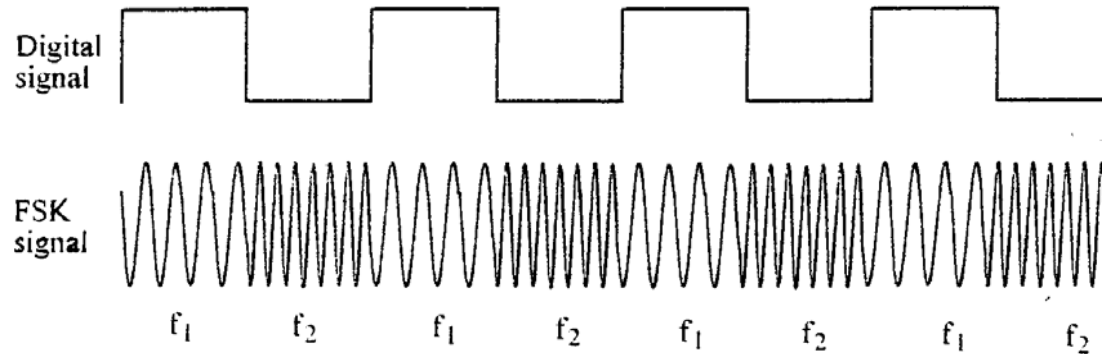
- ❑ Genlik Kaydırmalı Anahtarlama (Amplitude Shift Keying, ASK)
  - Taşıyıcının farklı genliklerdeki değerleri ile ifade edilir. Lojik '1' ve '0'
  - Taşıyıcı sinyal Lojik 1 için sabit genlik, frekans ve faza sahiptir.
  - Lojik 0 için ise sinyal yoktur.
  - On-Off Keying (OOK) olarakta adlandırılır.
- ❑ En büyük avantajı basit olmasıdır.
- ❑ Dezavantajları
  - Ani kazanç değişimlerinden hızlı etkilenmesi
  - Gürültüden yüksek oranda etkilenmesi
  - Verimli olmaması
- ❑ Kullanım alanları
  - Fiberoptik, 1200 bps'e kadar telefon hatlarında, telemetri vb.
  - Yirminci yüzyıl başlarında kablosuz telgraf haberleşmesinde kullanılmıştır.



# SAYISAL ANAHTARLAMA TEKNİKLERİ

## Frekans Kaydırmalı Anahtarlama (FSK)

- ❑ Frekans Kaydırmalı Anahtarlama (Frequency Shift Keying, FSK)
  - Taşıyıcı sinyal iki farklı frekansta anahtarlınır. Taşıyıcı sinyal sabit genlik ve faza sahiptir.
  - Taşıyıcı sinyal **Lojik 1** için düşük frekanslıdır.
  - **Lojik 0** için ise yüksek frekanslıdır.
- ❑ ASK'ya göre gürültüye karşı bağıışıklığı daha yüksektir.
- ❑ FSK da, ASK gibi verimli değildir.
- ❑ Kullanım alanları
  - Yüksek frekanslı telsiz iletişimi, düşük hızlı modem



# SAYISAL ANAHTARLAMA TEKNİKLERİ

## Faz Kaydırmalı Anahtarlama (PSK)

- ❑ PSK (Phase Shift Keying), faz modülasyonunun (PM) özel bir durumu olarak görülebilir.
- ❑ Girişteki sayısal bilgi ile orantılı olarak taşıyıcının fazı değişir.
- ❑ PSK, uydu haberleşmesi, CDMA gibi modern haberleşme alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır.
- ❑ Ayrıca PSK, sabit zarflı doğrusal (lineer) modülasyon tekniklerinden biridir.
- ❑ PSK'nın alt türleri arasında,
  - BPSK (Binary PSK),
  - QPSK (Quadrature PSK),
  - 8 PSK,
  - 16 PSK sayılabilir.

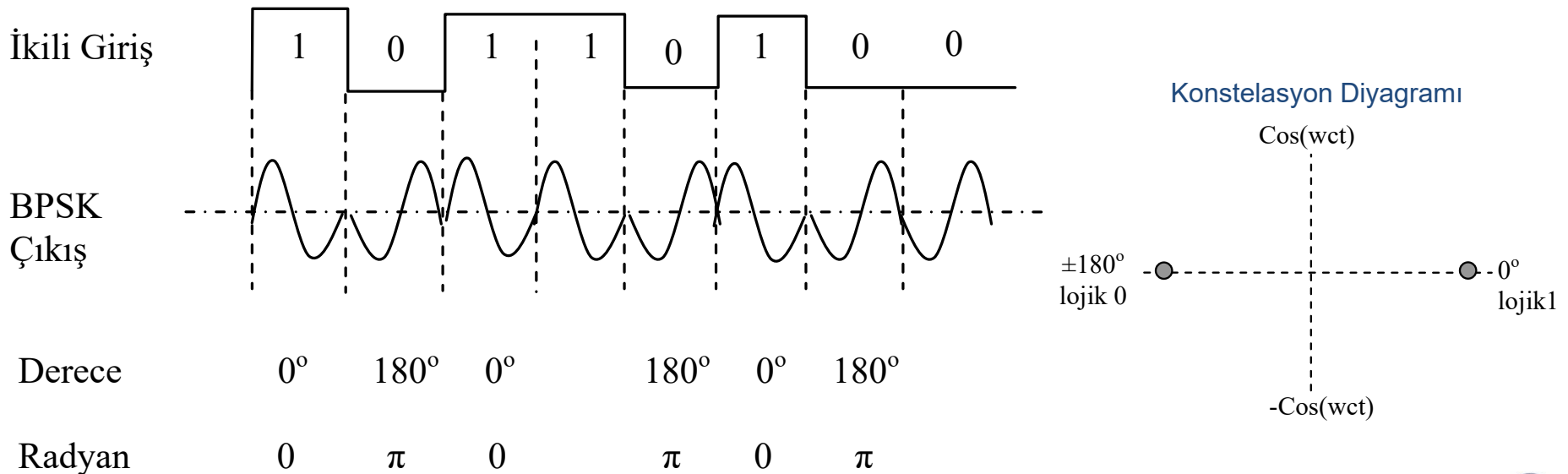


# SAYISAL ANAHTARLAMA TEKNİKLERİ

## İkili Faz Kaydırmalı Anahtarlama (BPSK)

- Faz kaydırmalı anahtarlama tekniklerinin en iyi bilinenidir. Adından da anlaşılacağı üzere taşıyıcı fazı  $0^\circ$  ve  $180^\circ$  olmak üzere iki durumda kaydırılır. ( $0$  ve  $\pi$ ) veya ( $\frac{\pi}{2}$  ve  $\frac{3\pi}{2}$ )
- Girişindeki sayısal işaret değıştikçe taşıyıcının fazı iki açı değeri arasında kayar.

$$i(t) = \begin{cases} A \cos(\omega_c t) & \text{bilgi sin yali 1} \\ A \cos(\omega_c t + \pi) & \text{bilgi sin yali 0} \end{cases}$$

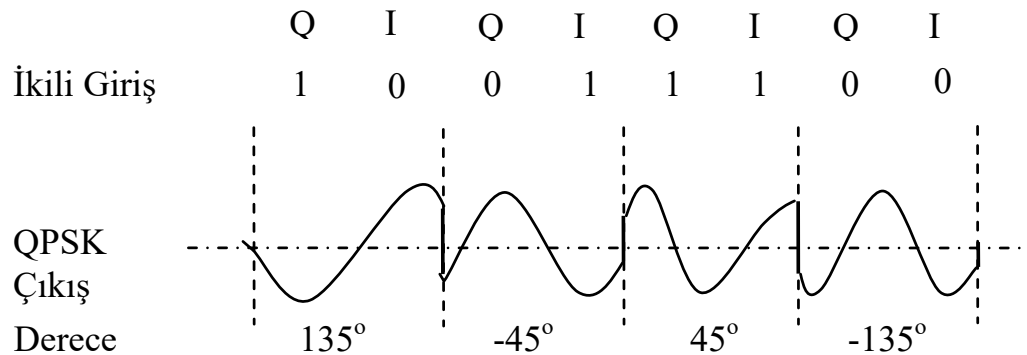




# SAYISAL ANAHTARLAMA TEKNİKLERİ

## Dört Faz Kaydırmalı Anahtarlama (QPSK)

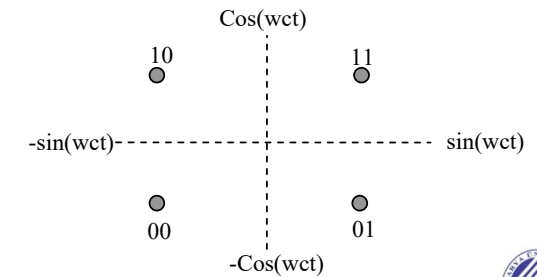
- ❑ QPSK'da bitler 2'li grup halinde okunur
- ❑ Her sembol 2 bit ile ifade edilir. 2'li bit grubuna **dibit** denir.
- ❑ 2 bit değeri bir faz (sembol) değişikliğine karşı gelir.
- ❑ QPSK girişindeki 2 bit, çıkışında taşıyıcı fazında 4 değişikliği gösterir.
- ❑ QPSK, dört ya da çeyrek (**Quadrature**) faz kaydırmalı anahtarlama olarakta ifade edilir.
- ❑ Çıkış baud hızı girişle aynı değildir ( $F_n = \frac{f_b}{2}$ ).



Doğruluk Tablosu

İkili Giriş		Çıkış Fazı
Q	I	
0	0	-135°
0	1	-45°
1	0	135°
1	1	45°

Konstelasyon Diyagramı



# SAYISAL ANAHTARLAMA TEKNİKLERİ

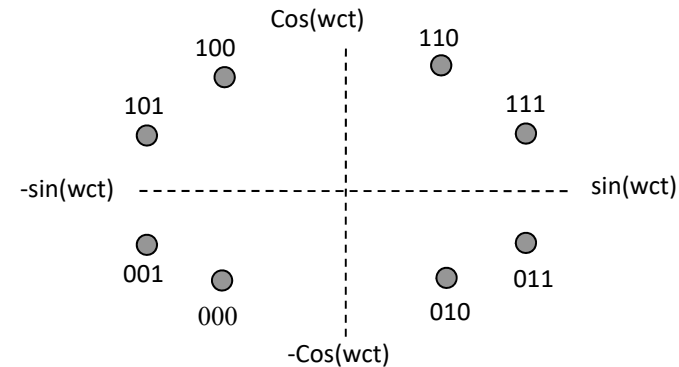
## Sekiz Faz Kaydırmalı Anahtarlama (8PSK)

- Her sembol 3 bit ile ifade edilir.
- QPSK'ya göre %50 daha fazla bit iletim hızı sağlanmaktadır.
- Fazörlerde QPSK'da (4'lüde)  $90^\circ$ , 8PSK (8'lide)  $45^\circ$  ve 16PSK'da (16'lida)  $22.5^\circ$  faz farkı vardır.

8PSK Doğruluk Tablosu

Q	İkili Giriş		Çıkış Fazı
	I	C	
0	0	0	$-112,5^\circ$
0	0	1	$-157,5^\circ$
0	1	0	$-67,5^\circ$
0	1	1	$-22,5^\circ$
1	0	0	$112,5^\circ$
1	0	1	$157,5^\circ$
1	1	0	$67,5^\circ$
1	1	1	$22,5^\circ$

Konstelasyon Diyagramı



# SAYISAL ANAHTARLAMA TEKNİKLERİ

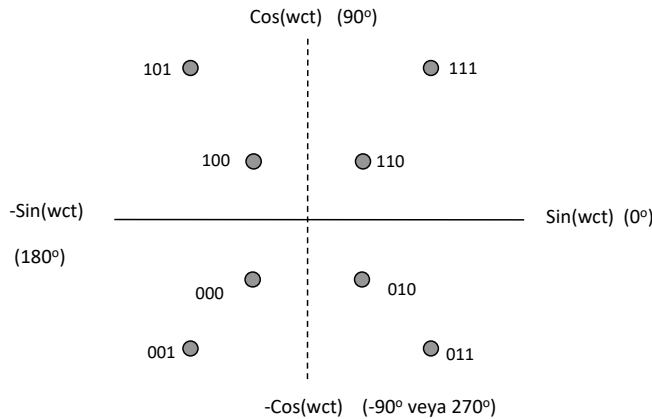
## Dik Açı Genlik Modülasyonu (Quadrature Amplitude Modulation, QAM)

- ❑ Dik açı genlik modülasyonunda sayısal bilgi, taşıyıcının hem **genliğinde** hem de **fazında** modüle edilmektedir.
- ❑ Bu tür sistemlere genlik-faz anahtarlama sistemler de denilmektedir.
- ❑ İletim için gerekli bant genişliğini azaltır.
- ❑ Sınırlı frekans spektrumunun daha verimli kullanılmasını sağlar.
- ❑ QAM en iyi performansı sağlar.
- ❑ Karesel olarak yerleştirilen genlik-faz anahtarlama sistemler QAM olarak adlandırılır.

### 8 QAM

8 taşıyıcının 4 bir genlik seviyesinde diğer 4'ü diğer genlik seviyesinde yerleştirilir.

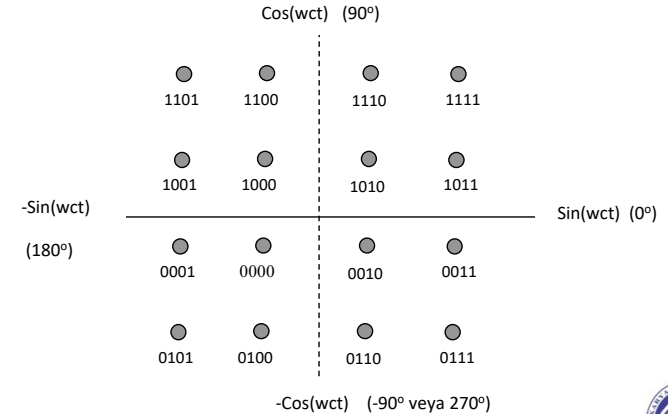
#### 8 QAM Konstelasyon Diyagramı



### 16 QAM

16 taşıyıcının 8 bir genlik seviyesinde diğer 8'i diğer genlik seviyesinde yerleştirilir.

#### 16 QAM Konstelasyon Diyagramı



# SAYISAL ANAHTARLAMA TEKNİKLERİ

## Bant Genişliği Verimliliği

$$\text{BW Verimliliği} = \frac{\text{İletim Hızı}}{\text{Minimum Bant Genişliği}} = \frac{\text{bps}}{\text{Hz}} = \frac{\text{bit / sn}}{\text{çevrim / sn}} = \frac{\text{bit}}{\text{çevrim}}$$

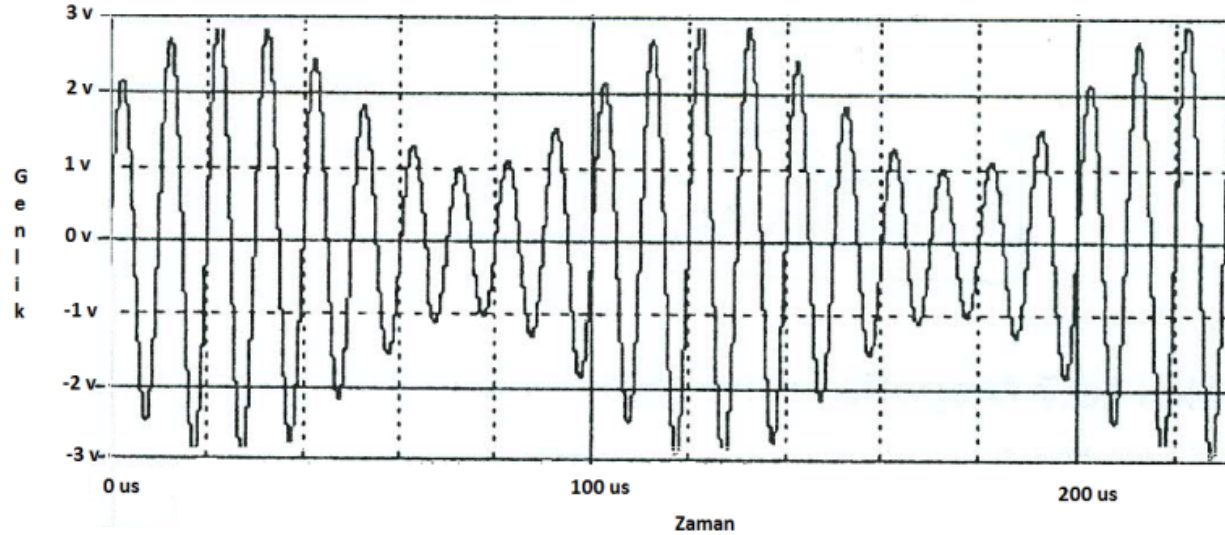
Modülasyon	Kodlama	Bant Genişliği (Hz)	Baud	BW Verimliliği
FSK	Tek bit	$\geq F_b$	$F_b$	$\geq 1$
BPSK	Tek bit	$F_b$	$F_b$	1
QPSK	2'li bit	$F_b/2$	$F_b/2$	2
8PSK	3'lü bit	$F_b/3$	$F_b/3$	3
8QAM	3'lü bit	$F_b/3$	$F_b/3$	3
16PSK	4'lü bit	$F_b/4$	$F_b/4$	4
16QAM	4'lü bit	$F_b/4$	$F_b/4$	4

# Bilmemiz Gerekenler

- ☐ Bir haberleşme sistemi hangi bileşenlerden oluşur?
- ☐ Bir haberleşme sisteminin temel kriterleri nelerdir?
- ☐ Bir haberleşme sisteminin başarımını etkileyen temel nedenler nelerdir?
- ☐ Modülasyonu kısaca açıklayınız?
- ☐ Fourier transformunu niçin kullanırız.
- ☐ Analog modülasyon türleri nelerdir?
- ☐ Sayısal anahtarlama teknikleri nelerdir?
- ☐ 3100 Hz bant genişliğine sahip bir haberleşme sisteminde sinyal  $M=8$  seviye ile ifade ediliyorsa kanal bant genişliği nedir?
- ☐ 3KHz bant genişliğine sahip bir telefon hattında  $S/N=25$  dB ise maksimum bit iletim hızını hesaplayınız (bps).
- ☐ 4 MHz bant genişliğine sahip bir sayısal haberleşme sisteminde 20 Mbit/s veri iletim hızının sağlanabilmesi için Sinyal/Gürültü Oranı (SNR) kaç dB olmalıdır?



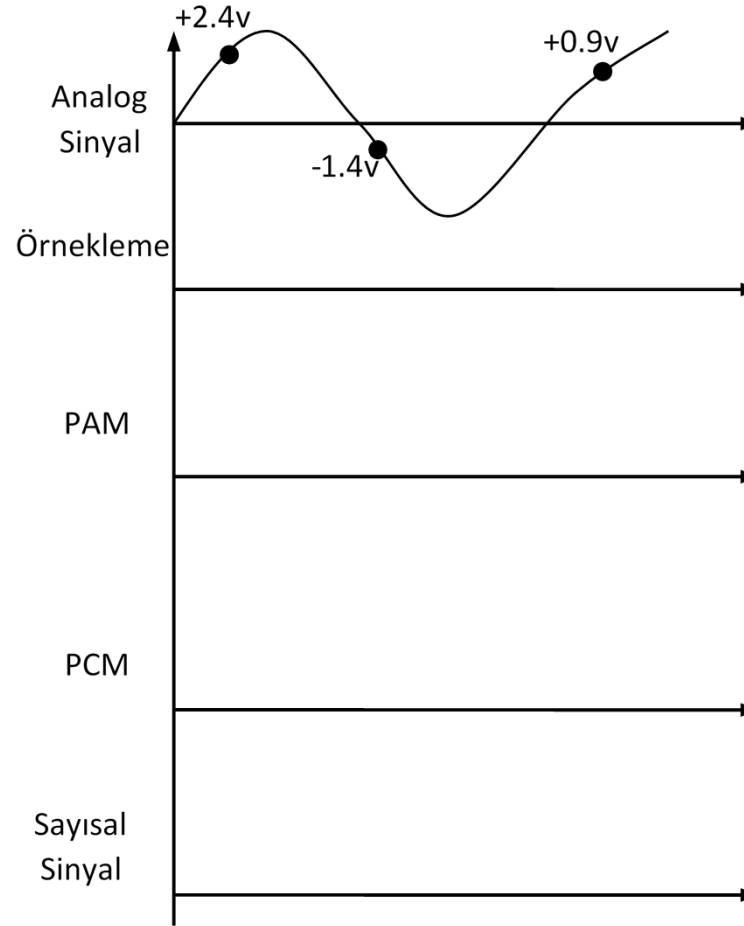
# Çalışma Sorusu 1



- Yukarıda verilen genlik modülasyonlu (AM) sinyale göre aşağıdaki soruları cevaplandırınız.
- Bilgi/Haber işaretinin genliği = ..... V
  - Bilgi/Haber işaretinin frekansı = ..... KHz
  - Taşıyıcı işaretin genliği = ..... V
  - Taşıyıcı işaretin frekansı = ..... KHz
  - Modülasyon indeksi yüzdesi  $m$  = .....
  - Bant genişliği = ..... KHz

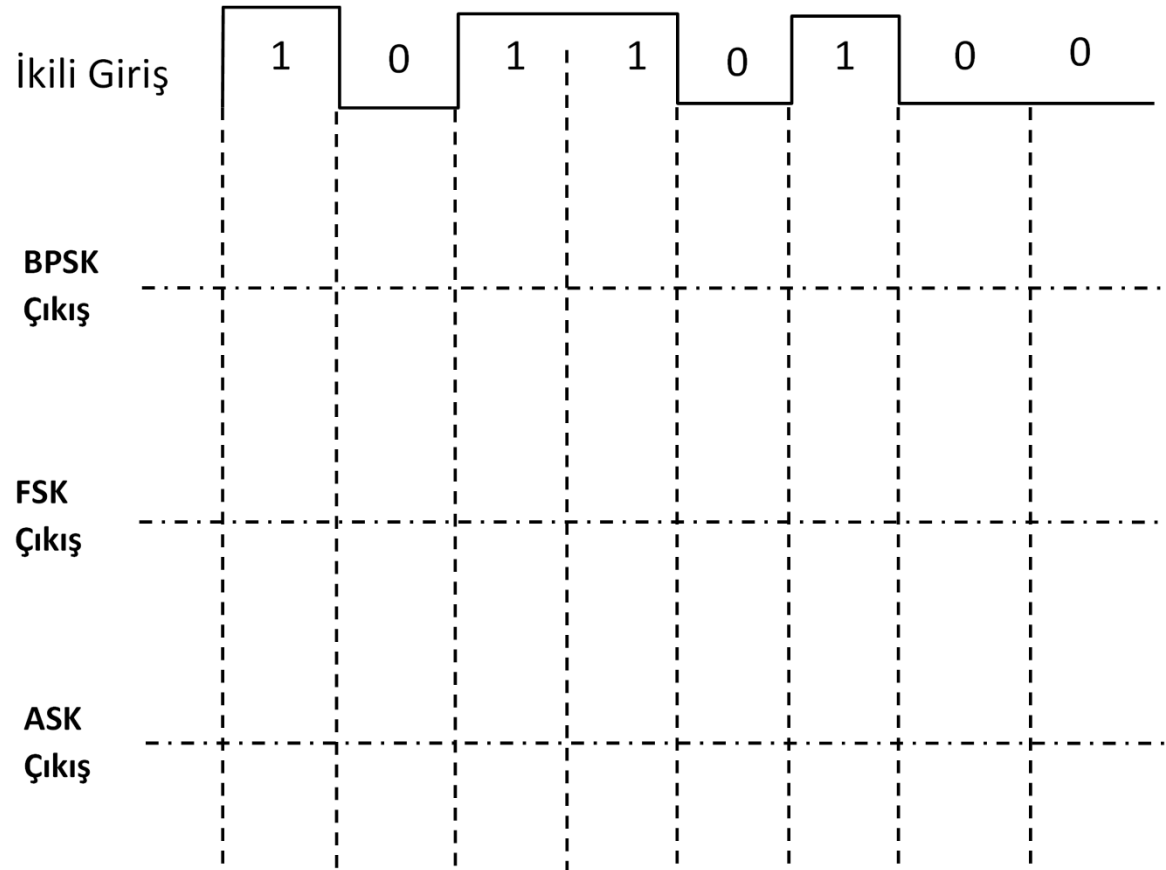
## Çalışma Sorusu 2

- ❑ Aşağıda  $\pm 4\text{v}$  arasında değişen analog sinyal, 8 kuant seviyesine ayrılarak sayısal sinyale dönüştürülmesi için gerekli tüm aşamaları **grafik üzerinde çiziniz.**



# Çalışma Sorusu 3

- ❑ Aşağıda verilen sayısal giriş sinyaline göre ilgili anahtarlama tekniği uygulandığında elde edilebilecek **çıkışı çiziniz**.





# KAYNAKLAR

---

- Modern Digital & Analog Communication Systems  
B.P. Lathi, HRW, Inc., Chicago, 1989
- **Andreas F. Molisch**, “*Wireless Communications*”, Wiley, 2005
- **Andrea Goldsmith**, “*Wireless Communications*”, Stanford University
- **Vijay Kumar Garg**, “*Wireless Communications and Networking: An Introduction*”,
- **Bruce Fette, Roberto Miron, B. Douglas**, “*RF and Wireless Technologies: Know it All*”

