

## 6.0 SİNYAL KODLAMA

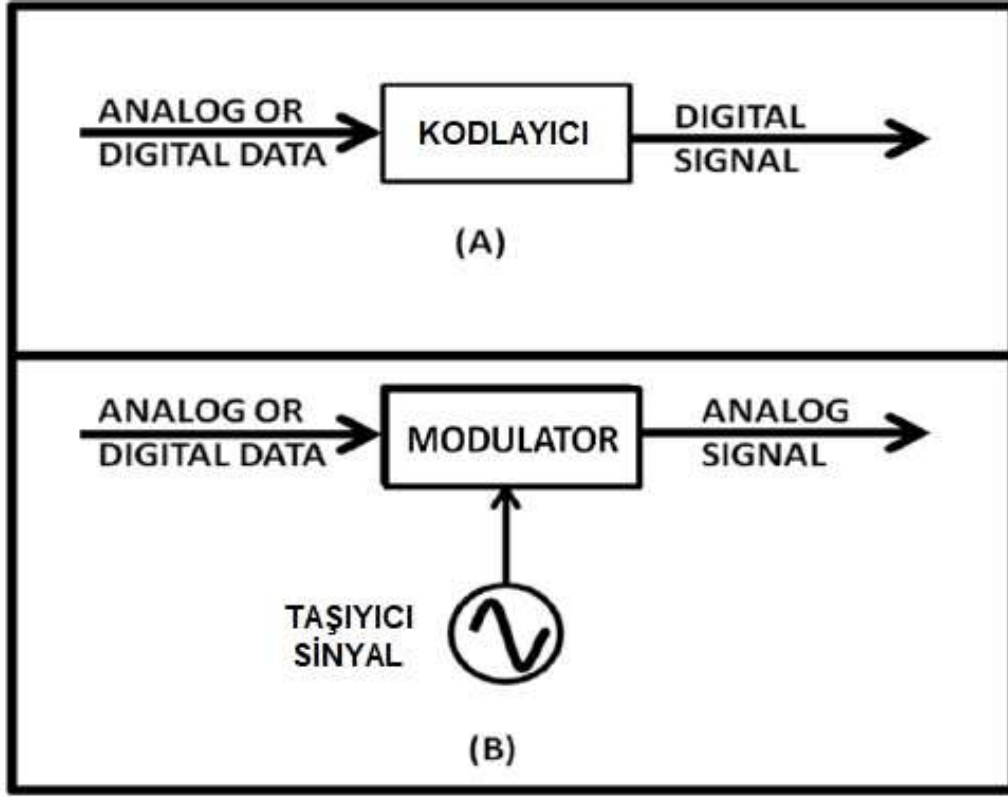
Bu bölümün amaçları şunlardır:

1. Sinyal kodlamanın ne olduğunu anlamak,
2. Analog sinyali dijitale dönüştürme yöntemleri,
3. Dijital sinyali analoga dönüştürme yöntemleri,
4. Modülasyon tanımı, yöntemleri.

## 6.1 SİNYAL KODLAMAYA GİRİŞ

Veriler analog veya dijital olabileceği gibi onu temsil eden sinyal de analog veya dijital olabilir.

Sinyal kodlama, analog/dijital verinin, belirli bir amaca yönelik olarak analog/dijital sinyale dönüştürülmesidir.



Şekil: Sinyal Kodlaması

Yukarıdaki şekilde,

A) Analog/dijital kaynaktan gelen verilerin Dijital Sinyale kodlandığı Dijital Sinyallemeyi gösterir

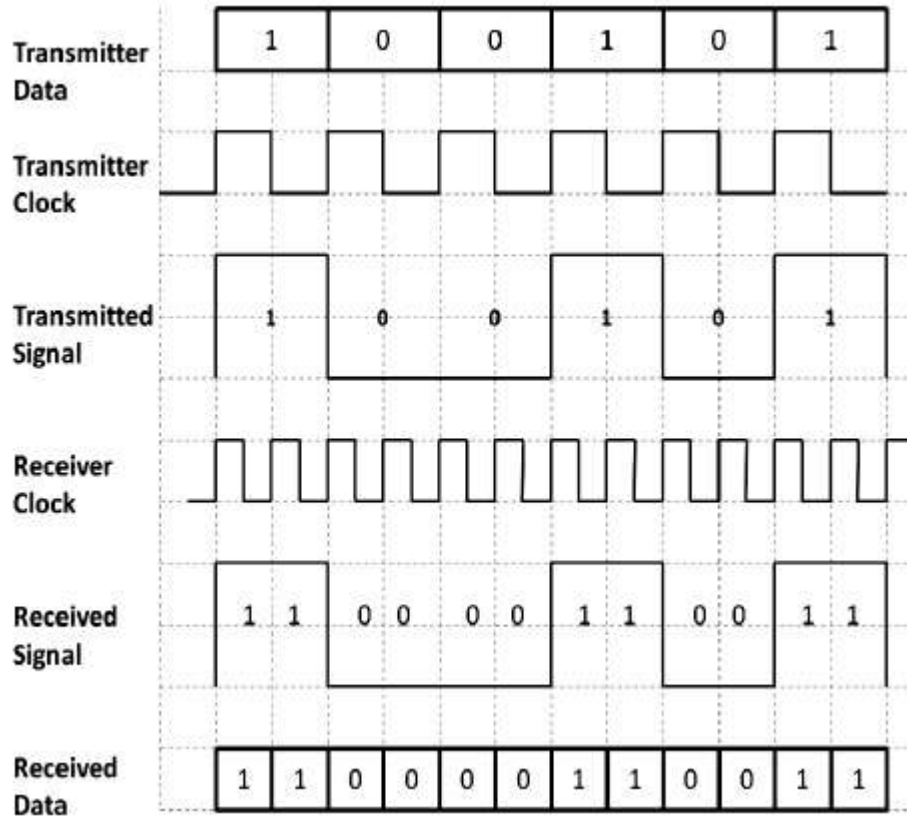
B) Analog/dijital kaynağın bir analog sinyal üretmek için sürekli bir taşıyıcı sinyal ile modüle ettiği Analog sinyalleme gösterir.

Olası kodlamalar şunlardır:

1. Analog Veriden Analog Sinyale
2. Dijital Veriden Analog Sinyale
3. Analog Veri Dijital Sinyale
4. Dijital Veriden Dijital Sinyale

## 6.2 SENKRONİZASYON

- Sinyallerin doğru şekilde alınabilmesi için alıcının bit aralıklarının, gönderenin bit aralıklarına tam olarak karşılık gelmesi gerekir.
- Vericinin ve alıcının saat frekansı aynı olmalıdır.
- Alıcıdaki saat frekansının bit aralıklarından daha yavaş veya daha hızlı olması durumunda, bit aralıkları eşleşmez ve alınan sinyal iletilen sinyalden farklı olur.



Şekil: Senkronizasyon

Yukarıdaki şekilde alıcı saat frekansı verici frekansının iki katıdır. Dolayısıyla alınan veri iletilen veriden tamamen farklıdır

Bunu önlemek için alıcı ve verici saatlerinin senkronize edilmesi gerekir.

Bunu başarmak için iletilen dijital sinyalin senkronizasyonu zorlayan zamanlama bilgisini içermesi gerekir.

## 6.3 Dijital Veriden Dijital Sinyale

**Kodlama yöntemleri:** Kodlama yöntemleri, dijital verileri dijital sinyallere dönüştürmek için kullanılır.

İki tür kodlama yöntemi vardır:

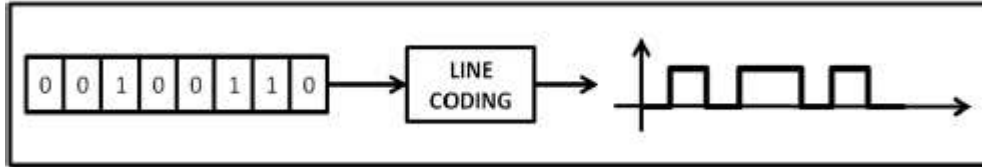
1. Hat Kodlama
2. Blok Kodlama

Karıştırma da dijital verileri dijital sinyallere dönüştürmenin yollarından biridir ancak kullanılmaz.

### 6.3.1 Hat Kodlama

Dijital verilerin dijital sinyale dönüştürülmesi işlemidir.

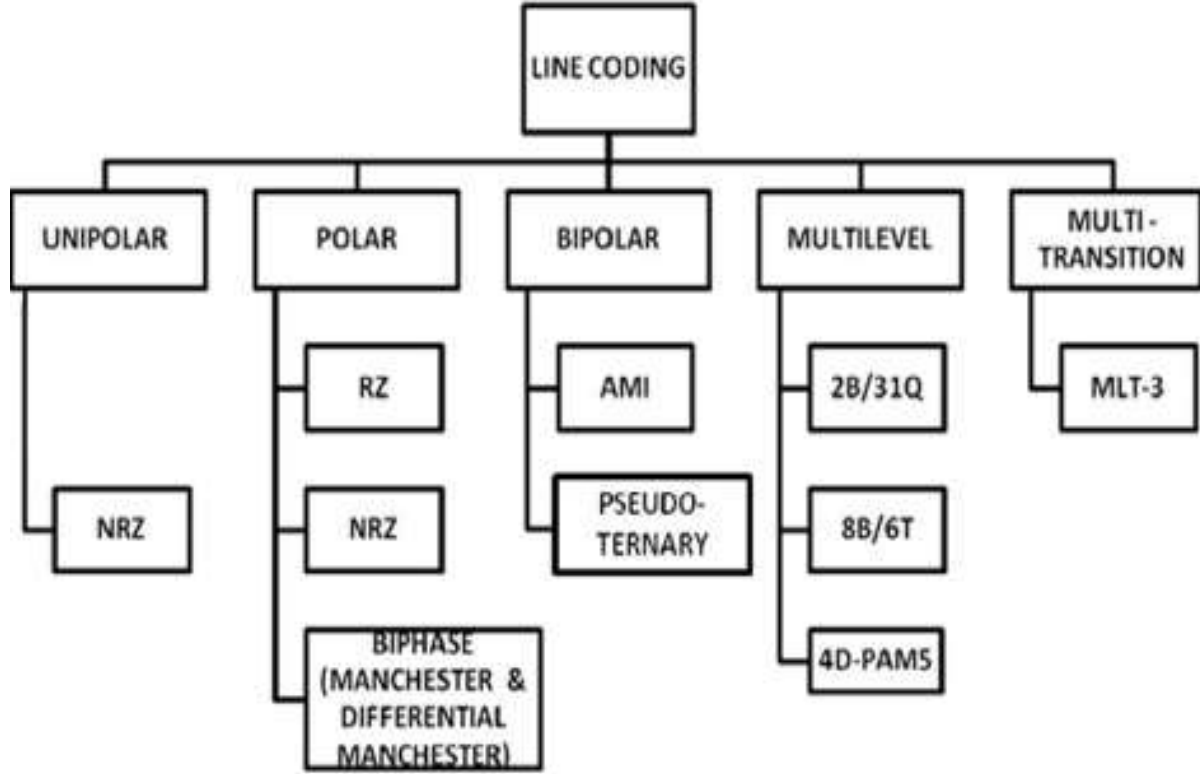
Başka bir deyişle, ikili verilerin (yani bir bit dizisi) dijital sinyale (yani ayrı, süreksiz voltaj darbeleri dizisi) dönüştürülmesidir.



Şekil: Hat Kodlaması

### 6.3.2 Hat Kodlarının Sınıflandırılması

Aşağıdaki şekil Hat kodlama şemalarının sınıflandırmasını göstermektedir:



Şekil : Hat kodlama şemalarının sınıflandırılması

#### 6.3.2.A Tek Kutuplu (Unipolar)

- Tüm sinyal seviyeleri zaman ekseninin üstünde veya altındadır.
- Non-Return Zero, NRZ - Sıfıra Dönüş Yok şekli bu kodun bir örneğidir. Sembol iletimi sırasında sinyal seviyesi sıfıra dönmez.

#### 6.3.2.B Kutuplu (Polar)

- **NRZ voltajları** zaman ekseninin her iki tarafındadır.
- Polar NRZ şeması iki voltajla uygulanabilir.

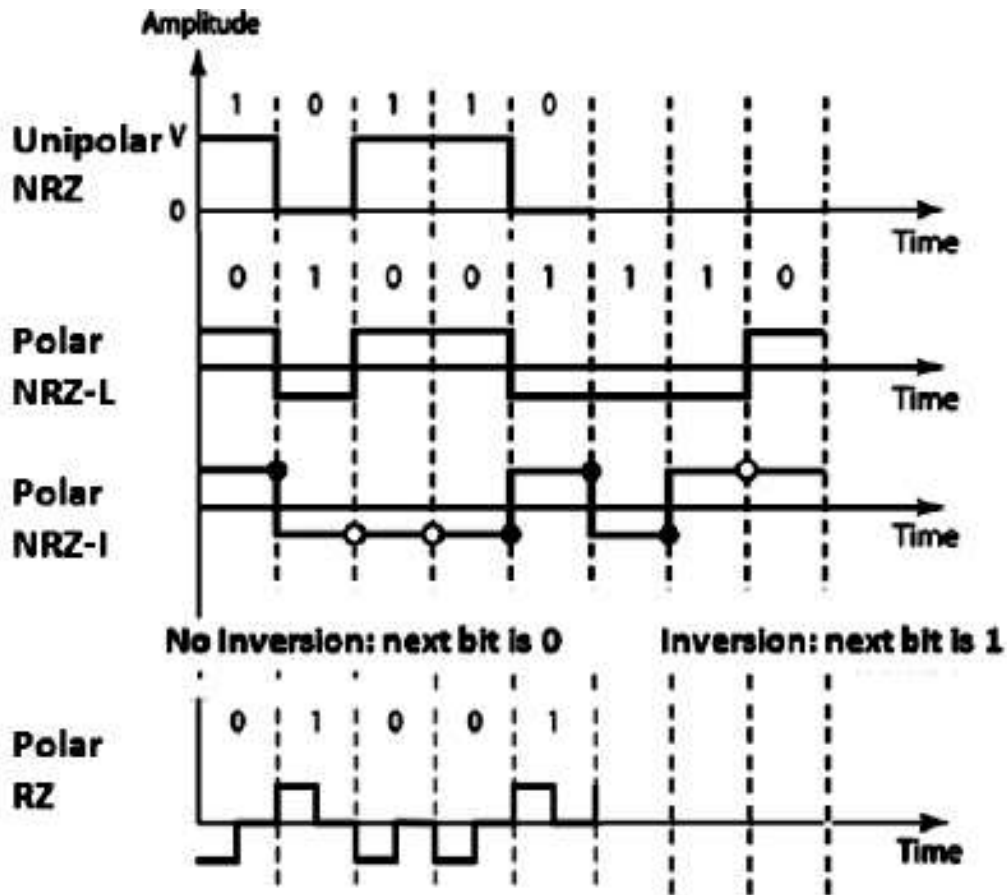
Örneğin. 1 için +V ve 0 için -V.

- İki varyasyon vardır:
  - **NZR - Seviye (NRZ-L)** - bir sembol için pozitif voltaj, diğeri için negatif voltaj
  - **NRZ - Ters Çevirme (NRZ-I)** - polaritedeki değişiklik veya değişiklik eksikliği, bir sembolün değerini belirler.

Örnek: "1" sembolü polariteyi tersine çevirir, "0" ise çevirmez.

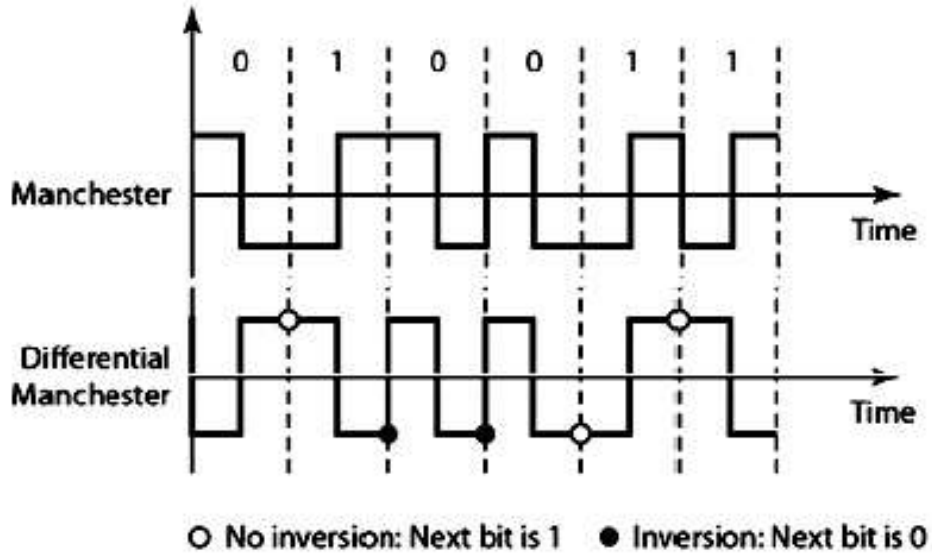
- **Polar – RZ**

- Sıfıra Dönüş (RZ) şeması üç voltaj değeri kullanır. +, 0, -.
- Her sembolün ortasında bir geçiş vardır. Yüksekten sıfıra ya da alçaktan sıfıra
- Üç voltaj seviyesi kullandığı için daha karmaşıktır. Hata tespit algılamaya özelliği yoktur



Şekil: Tek Kutuplu (NRZ) ve Polar(RZ ve NRZ) Kodlama

- **Polar - İki Fazlı: Manchester ve Diferansiyel Manchester**
  - **Manchester kodlaması**, NRZ-L ve RZ şemalarının bir kombinasyonudur.
    - Her sembolün ortasında bir seviye geçişi vardır: yüksekten düşüğe veya alçaktan yükseğe.
    - Yalnızca iki voltaj seviyesi kullanır.
  - **Diferansiyel Manchester kodlaması**, NRZ-I ve RZ şemalarının birleşiminden oluşur.
    - Her sembolün ortasında bir seviye geçişi vardır. Ancak sembolün başlangıcındaki seviye sembol değerine göre belirlenir. Bir sembol seviye değişikliğine neden olur, diğeri bunu yapmaz.

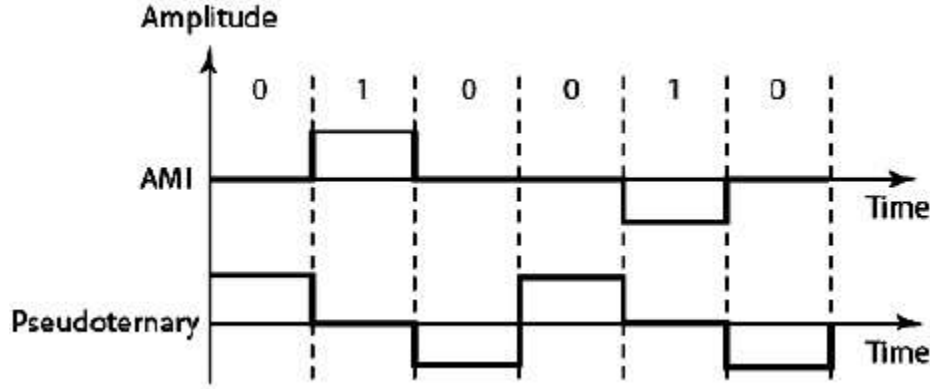


Şekil: Polar iki fazlı: Manchester ve diferansiyel Manchester kodlama

### 6.3.2.C İki Kutuplu - (Alternate Mark Inversion, AMI) ve Sözde üçlü (Pseudoternary)

- Bu kodlama şeması, sembolleri temsil etmek için 3 voltaj seviyesi kullanır: -, 0, +
- Bir sembolün voltaj seviyesi "0" dır ve diğeri + & - arasında değişir.

- **Bipolar Alternatif İşaret Tersine Çevirme AMI** – “0” sembolü sıfır voltajla temsil edilir ve “1” sembolü +V ile -V arasında değişir.
- Sözcükte üçlü AMI'nin tersidir.



Şekil: İki Kutuplu kodlama şekli - AMI ve Pseudoternary

#### 6.3.2.D Çok Seviyeli (Multilevel)

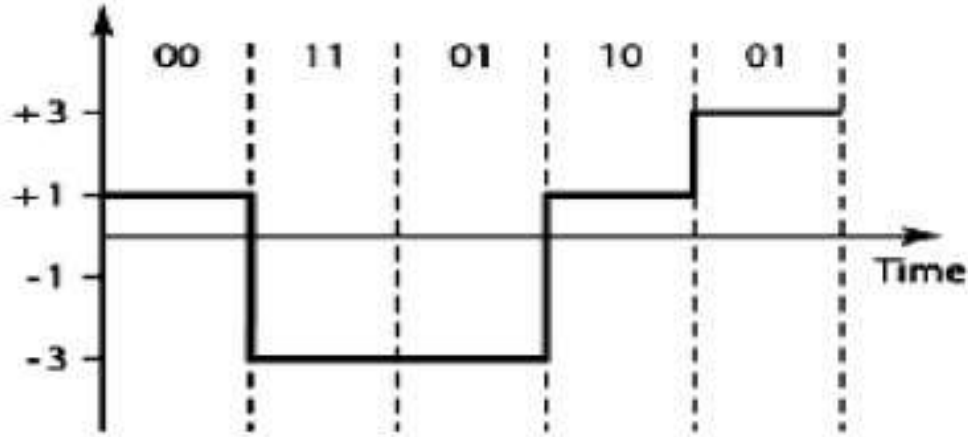
- Burada bit hızını artırmak için sembol başına veri bitlerinin sayısı artırılır.
- 1 veya 0 olmak üzere 2 tip veri ögesi mevcuttur;  $2^m$ 'lik semboller oluşturmak için n öğeden oluşan bir desen halinde birleştirilebilir.
- L sinyal seviyelerini kullanarak,  $L^n$  sinyal elemanı oluşturmak için n sinyal elemanına sahip olabiliriz. Aşağıdaki olasılıklar ortaya çıkabilir:
- $2^m$  sembol ve  $L^n$  sinyalleriyle:
  - Eğer  $2^m > L^n$  ise veri elemanlarını temsil edemeyiz, yeterli sinyalimiz yok.
  - Eğer  $2^m = L^n$  ise, bir sinyal üzerinde bir sembolün tam eşleşmesini elde etmiş oluruz.
  - Eğer  $2^m < L^n$  ise sembollerden daha fazla sinyalimiz olur ve sembolleri temsil etmek için daha belirgin olan sinyalleri seçebiliriz ve dolayısıyla bazı sinyaller geçerli olmadığından daha iyi gürültü bağışıklığına ve hata algılamaya sahip olabiliriz.



- Bu tür kodlamalar **mBnL** şekilleri olarak sınıflandırılır. **mBnL** şekilleri m veri elemanından oluşan bir desen,  $2^m \leq L^n$  olmak üzere n sinyal elemanından oluşan bir desen olarak kodlanır.
- **2B1Q** (iki ikili, bir dördlü)
- Burada m = 2; n = 1; Q = 4. Boyutu 2 olan veri desenlerini kullanır ve 2 bitlik desenleri dört seviyeli bir sinyale ait bir sinyal elemanı olarak kodlar.

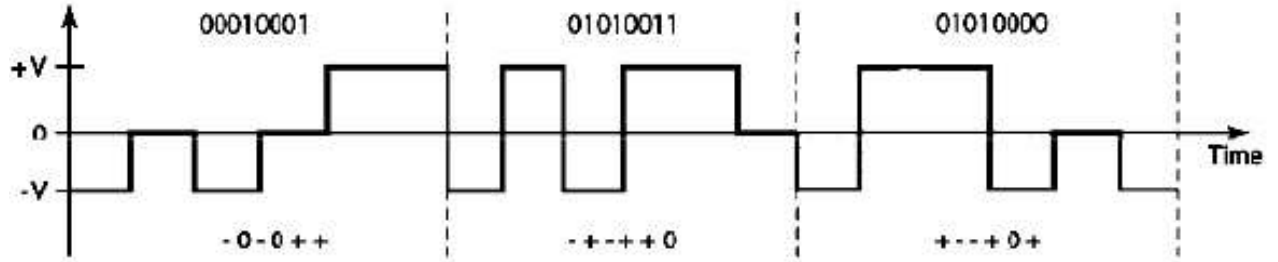
	Positive level	Negative level
<b>Next Bits</b>	<b>Next Level</b>	<b>Next Level</b>
00	+1	-1
01	+3	-3
10	-1	+1
11	-3	+3

**Transition Table**



Şekil: Çok düzeyli kodlama şeması: 2B1Q

- **8B6T**(sekiz ikili, altı üçlü)
  - Burada 8 bitlik bir desen, sinyalin üç seviyeye sahip olduğu 6 sinyal elemanından oluşan bir desen kodlanmıştır.
  - Burada  $m = 8$ ;  $n = 6$ ;  $T = 3$
  - Yani  $2^8 = 256$  farklı veri desenine ve  $3^6 = 478$  farklı sinyal desenine sahip olabiliriz.



Şekil: Çok düzeyli kodlama şekli: 8B6T

- **4D-PAM5** (Dört Boyutlu Beş Seviyeli Darbe Genlik Modülasyonu)
  - **4D**, verilerin aynı anda dört kanal üzerinden gönderilmesi anlamına gelir.
  - -2, -1, 0, 1 ve 2 gibi beş voltaj seviyesi kullanır.

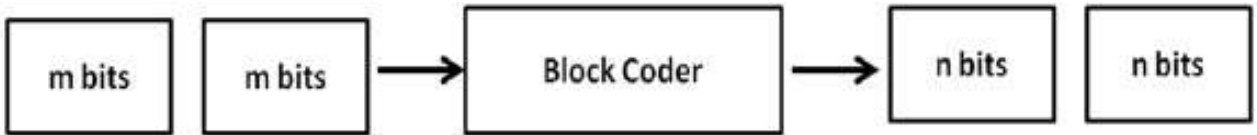
### 6.3.2.E Çoklu Geçiş (Multitransition)

- Senkronizasyon gereksinimleri nedeniyle geçişleri zorluyoruz. Bu, çok yüksek bant genişliği gereksinimleriyle sonuçlanabilir -> bitlerden daha fazla geçiş (örneğin, ters çevirmeli orta bit geçişi).
- Bit sınırlarında geçişleri zorlayan, bit seviyesinde diferansiyel olan kodlar oluşturulabilir. Bu, bit hızına eşdeğer bir bant genişliği gereksinimiyle sonuçlanır.
- Bazı durumlarda, periyodik bir sinyale yol açan tekrarlayan desenler nedeniyle bant genişliği gereksinimi daha da düşük olabilir.
- MLT-3
  - Sinyal hızı NRZ-I ile aynıdır

- Seviyeler arasında geçiş yapmak için üç seviye (+v, 0 ve - V) ve üç geçiş kuralı kullanır.
  - Bir sonraki bit 0 ise geçiş yoktur.
  - Bir sonraki bit 1 ise ve mevcut seviye 0 değilse bir sonraki seviye 0'dır.
  - Bir sonraki bit 1 ve mevcut seviye 0 ise, bir sonraki seviye sıfırdan farklı olan son seviyenin tersidir.

### 6.3.3 Blok Kodlama

- Blok kodlama, hata tespitinin uygulanabilmesi için satır kodlamaya artıklık ekler.
- Blok kodlama, m bitlik bir bloğu n bitlik bir bloğa dönüştürür; burada n, m'den büyüktür.
- Blok kodlamaya mB/nB kodlama tekniği denir.
- Orijinal “m bitlerine” eklenen ek bitlere eşlik bitleri veya kontrol bitleri adı verilir.



m : mesaj bitleri

Şekil : Blok Kodlama

Örnek: 4B/5B kodlama

Burada 4 bitlik kod 5 bitlik koda dönüştürülür

## 6.4 Verileri Analog Sinyalle Taşıma

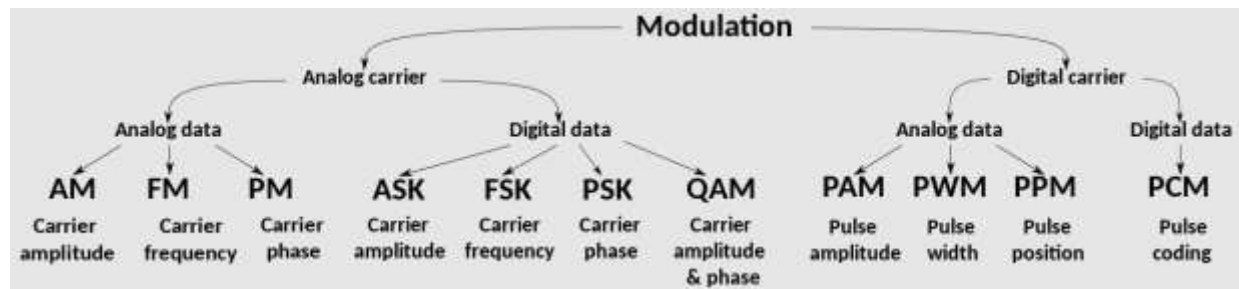
### 6.4.1 Modülasyon

Modülasyon, yüksek frekanslı bir periyodik dalga formunun bir veya daha fazla özelliğini değiştirme işlemidir.

- Modülasyon, periyodik bir dalganın bazı özelliklerini, taşıyıcı sinyal adı verilen diğer bir sinyalle değiştirme işlemidir.
- Modülasyon, bilgi taşıyan bir sinyali uzun mesafelere göndermek için kullanılır.
- Taşıyıcı sinyaller yüksek frekanslı sinyallerdir ve hava yoluyla kolaylıkla iletilebilmekte ve uzun mesafelere gidebilmektedirler.
- Modülasyonda, taşıyıcı sinyalin özellikleri (genlik, frekans veya faz), bilgi taşıyan sinyale (analog veriler) göre değiştirilir.
- Bilgi taşıyan sinyal aynı zamanda modülasyon sinyali olarak da bilinir.
- Modülasyon sinyali, hızla değişen taşıyıcı frekansına karşı yavaş yavaş değişen bir sinyaldir.

### 6.4.2 Modülasyon Türleri:

Sinyal modülasyonu aşağıdaki şekilde gruplara ayrılabilir:



By Michel Bakni - Own work, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=109678259>

#### 1. Analog modülasyon

Analog modülasyonda modülasyon, analog bilgi sinyaline yanıt olarak sürekli olarak uygulanır.

#### 2. Dijital modülasyon.

Dijital modülasyonda, analog taşıyıcı sinyal ayrı bir sinyal tarafından modüle edilir.

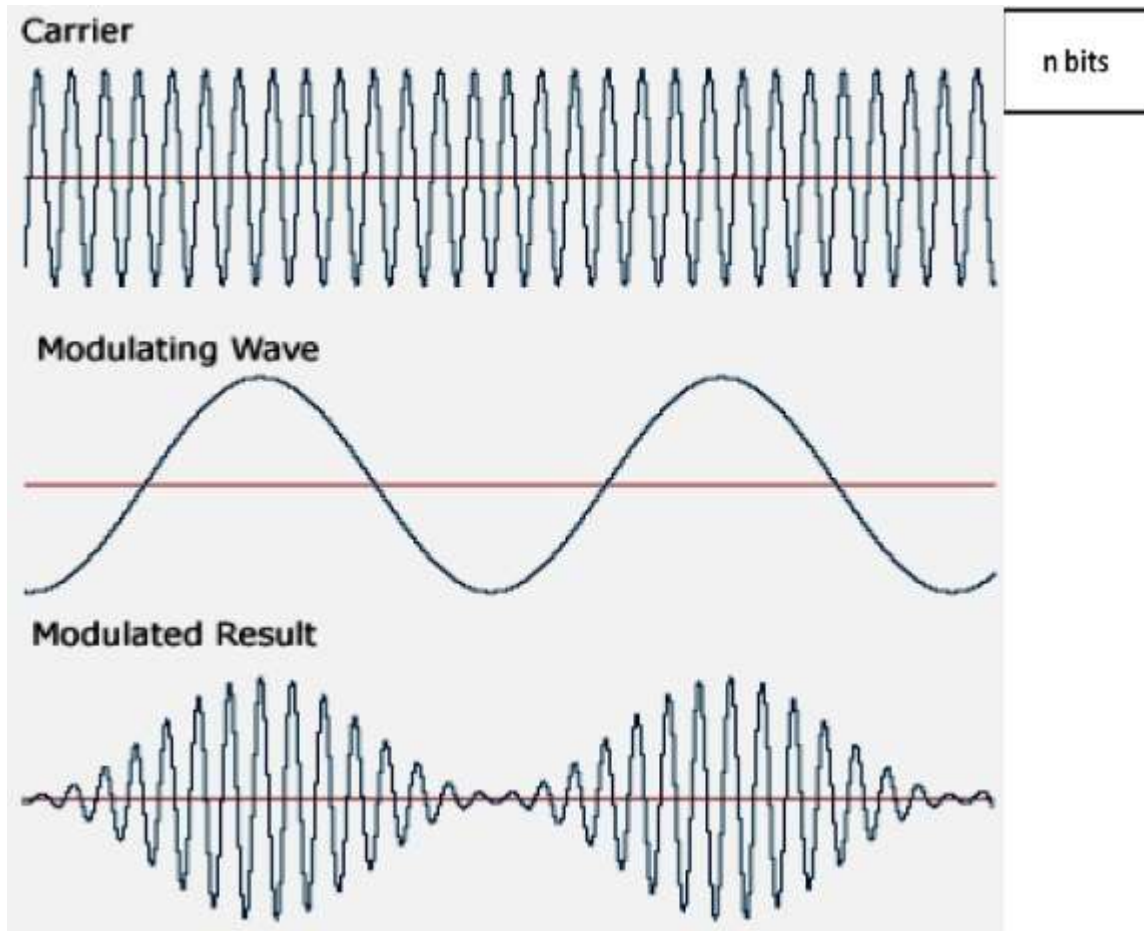
### 6.4.2.1 Analog Verinin Modülasyonu

Üç şekilde gerçekleştirilebilir:

1. Genlik modülasyonu (AM)
2. Frekans modülasyonu (FM)
3. Faz modülasyonu (PM).

#### 6.4.2.1.1 Genlik modülasyonu (AM)

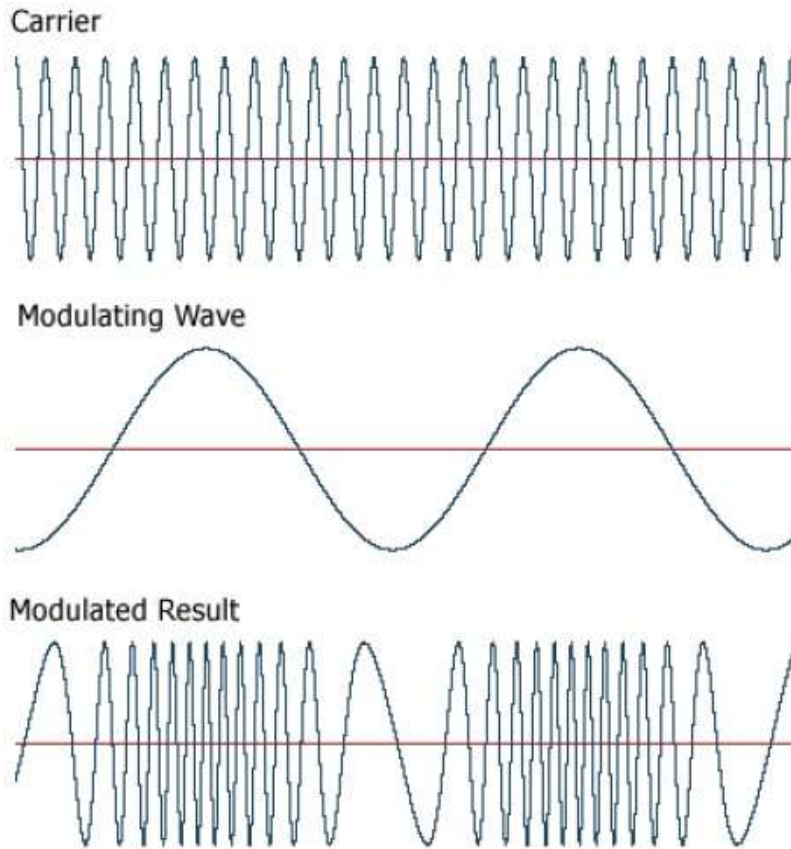
- Genlik modülasyonu, taşıyıcı sinyalin genliğinin modülasyon sinyaline göre değiştirildiği bir modülasyon türüdür.
- Genlik modülasyonlu sinyalin zarfı veya sınırı modülasyon sinyalini içerir.
- Genlik Modülasyonu AM olarak kısaltılır.



Şekil: Genlik modülasyonu (AM)

#### 6.4.2.1.2 Frekans modülasyonu (FM)

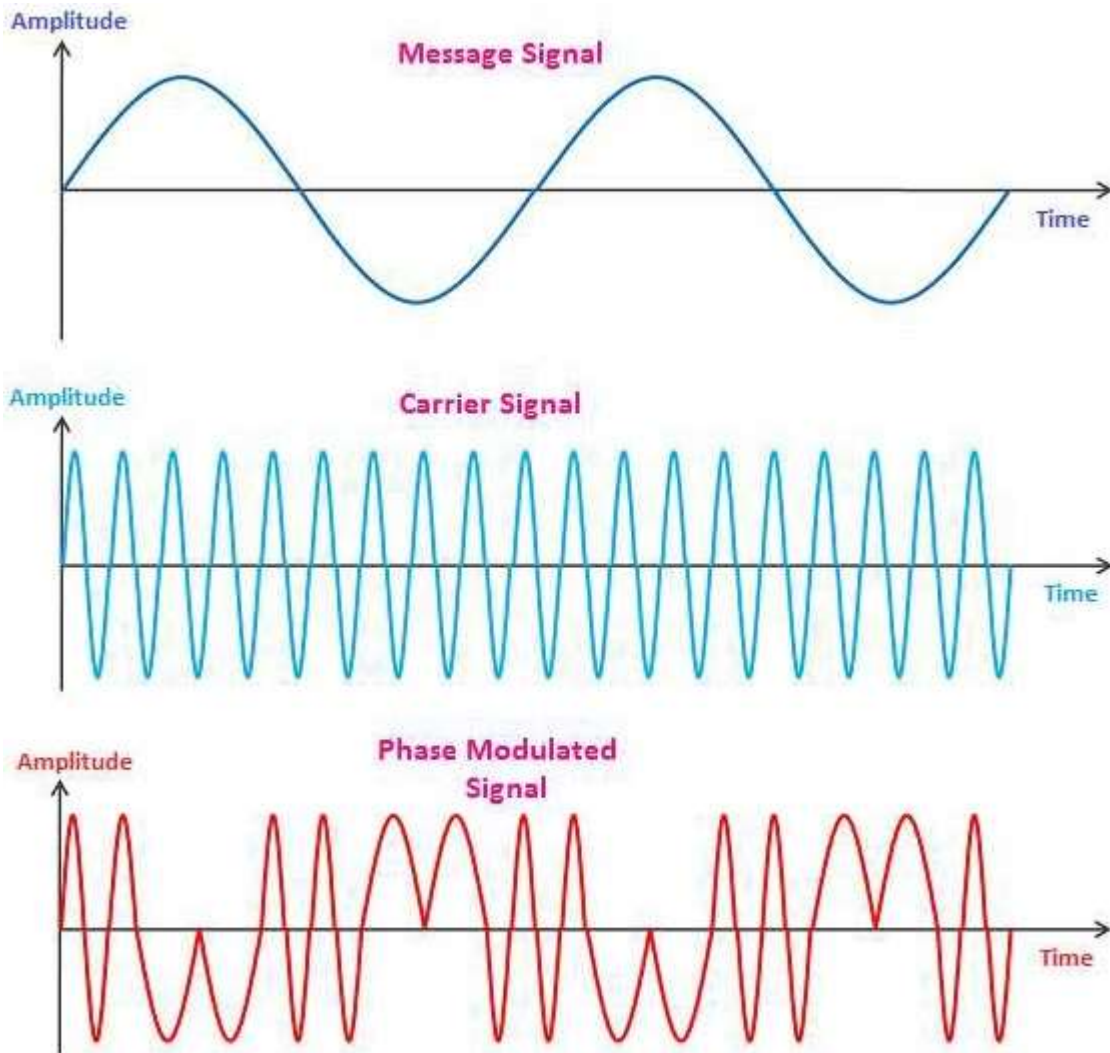
- Frekans modülasyonu, taşıyıcının frekansının modülasyon sinyaline göre değiştirildiği bir modülasyon türüdür. Taşıyıcının genliği sabit kalır.
- Frekans modülasyonu, bilginin (mesaj sinyalinin), mesaj sinyalinin genliğine göre frekansı değiştirilerek bir taşıyıcı dalga üzerinden iletildiği bir modülasyon türüdür.
- Bilgi taşıyan sinyal (modüle edici sinyal), taşıyıcının anlık frekansını değiştirir. Genlik sabit tutulduğu için FM modülasyonu düşük gürültülü bir işlemdir ve yüksek kaliteli yayınlarda müzik ve konuşma için kullanılan yüksek kaliteli bir modülasyon tekniği sağlar.
- Frekans Modülasyonu, FM olarak kısaltılır.



Şekil: Frekans modülasyonu (FM)

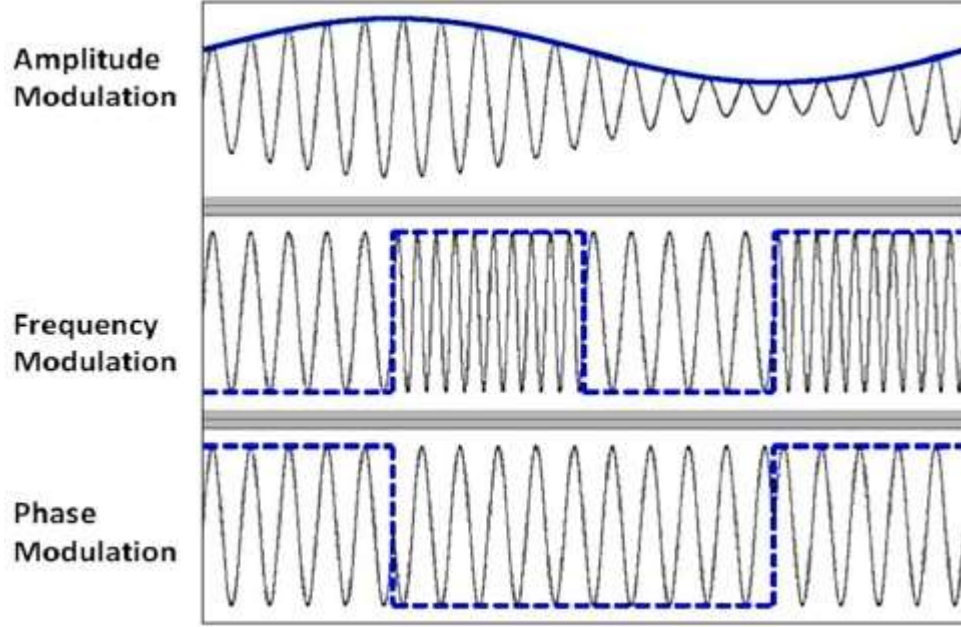
### 6.4.2.1.3 Faz modülasyonu (PM).

- Faz modülasyonu, taşıyıcı sinyalin fazının, mesaj sinyalinin genlik değişimlerine göre değiştiği bir modülasyon türüdür.
- Faz modülasyonu, taşıyıcı sinyalin toplam faz açısının, mesaj sinyalinin genliğine göre değiştirildiği bir açı modülasyonu türüdür.
- Faz modülasyonu, mesaj sinyalinin genliğine göre fazını değiştirerek bir taşıyıcı dalga üzerinden bilgi aktarma işlemidir.
- Faz Modülasyonu PM olarak kısaltılır.



Şekil: Faz modülasyonu (PM).





Şekil: AM, FM ve PM'nin karşılaştırılması

#### 6.4.2.2 Dijital Verinin Modülasyonu

Dijital modülasyon, dijital verileri analog sinyale dönüştürmek için kullanılır. Bu aşağıdaki yollarla gerçekleştirilebilir:

1. ASK
2. FSK
3. PSK
4. QAM

##### 6.4.2.2.1 Genlik Kaydırmalı Anahtarlama (Amplitude Shift Keying, ASK)

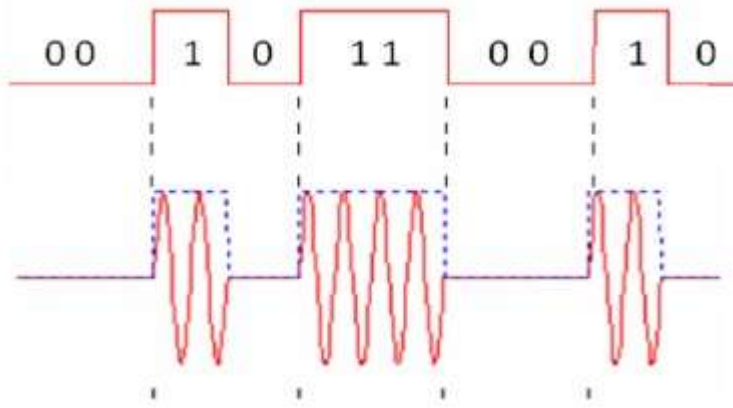
- Genlik kaydırmalı anahtarlama, taşıyıcı sinyalin genliği, sinyal elemanları oluşturacak şekilde değiştirilir.
- Genlik değişirken hem frekans hem de faz sabit kalır.
- **İkili ASK (BASK)**

ASK normalde yalnızca iki seviye kullanılarak uygulanır ve bu nedenle ikili genlik kaydırmalı anahtarlama olarak adlandırılır.

Bit 1, belirli bir genliğe sahip bir taşıyıcı tarafından iletilir.

Bit 0'ı iletmek için frekansı sabit tutarak genliği değiştiririz



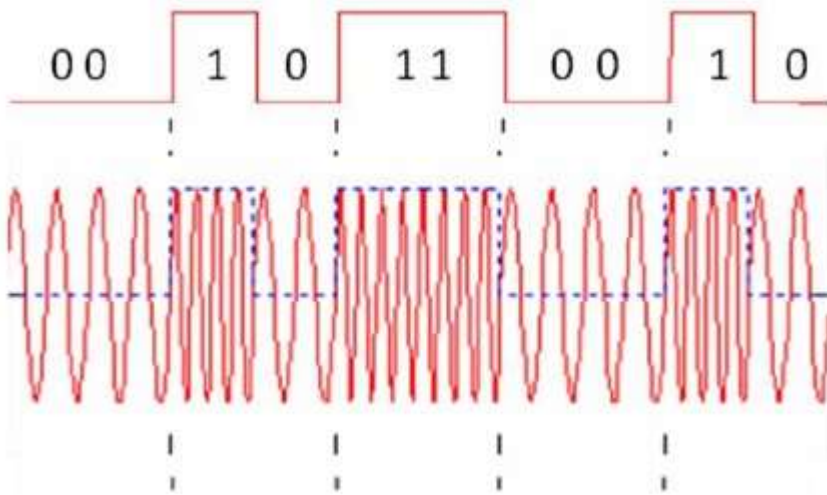


Şekil: Genlik Kaydırmalı Anahtarlama (ASK)

#### 6.4.2.2 Frekans Kaydırmalı Anahtarlama (Frequency Shift Keying, FSK)

- Frekans kaydırmalı anahtarlama taşıyıcı dalganın frekansını değiştiririz.
- Bit 0 belirli bir frekansla temsil edilir ve bit 1 farklı bir frekansla temsil edilir.

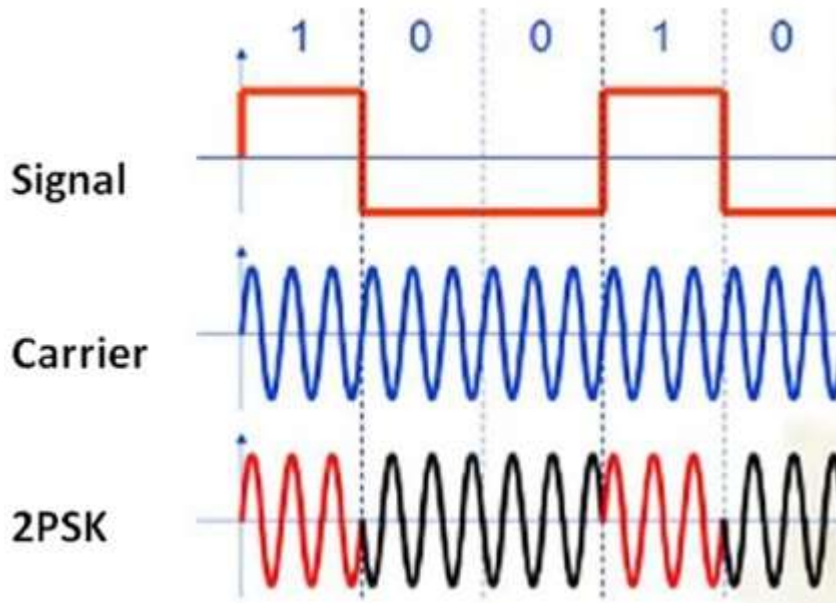
Aşağıdaki şekilde bit 1 için kullanılan frekans, bit 0 için kullanılan frekanstan daha yüksektir



Şekil: Frekans Kaydırmalı Anahtarlama (FSK)

### 6.4.2.2.3. Faz Kaydırmalı Anahtarlama (Phase Shift Keying, PSK)

- Faz kaydırmalı anahtarlama (PSK), iletilen bir sinyalin fazının bilgi iletmek için değiştirildiği dijital sinyallerin iletilmesi ve alınmasına yönelik bir yöntemdir.
- Faz değiştiğinde hem genlik hem de frekans sabit kalır.
- PSK'nın en basitinin yalnızca iki aşaması vardır; 0 ve 1.
- Dalganın fazı değişmezse sinyal durumu aynı kalır (düşük veya yüksek).
- Dalganın fazı 180 derece değişirse yani faz tersine dönerse sinyal durumu değişir (alçaktan yükseğe veya yüksekte alçağa)



Şekil: Faz Kaydırma Anahtarlaması (PSK)

### 6.4.2.2.4 • Dörtlü Genlik Modülasyonu (Quadrature Amplitude Modulation, QAM)

- Dörtlü Genlik Modülasyonu (QAM) kavramı, her taşıyıcı için farklı genlik seviyelerine sahip, biri faz için, diğeri kareleme için olmak üzere iki taşıyıcının kullanımını içerir.
- ASK ve PSK'nın birleşimidir.

## 6.4 Verileri Dijital Sinyalle Taşıma

### 6.4.1. Analog Verilerin Modülasyonu

Burada 3 modülasyon tekniğini anlatıyoruz:

1. PAM
2. PWM
3. PPM

#### 6.4.1.1 PAM (Darbe Genlik Modülasyonu)

Darbe Genlik Modülasyonu (Pulse Amplitude Modulation, PAM), bir darbe dizisi üzerinde bilgi taşıma yöntemini ifade eder; bilgi, darbelerin genliğinde kodlanır.

#### 6.4.1.2 PWM (Darbe Genişliği Modülasyonu)

Darbe Genişliği Modülasyonu (Pulse Width Modulation, PWM), bir darbe dizisi üzerinde bilgi taşıma yöntemini ifade eder; bilgi, darbelerin genişliğinde kodlanır. Hareket kontrolü uygulamalarında kodladığımız şey tam olarak bilgi değildir. Motorlardaki gücü (önemli) kayıp olmadan kontrol etme yöntemidir.

Örnek: Pil sistemlerinde PWM, sistem denetleyicisinin güç cihazlarını açıp kapatarak pil şarjı için sabit bir voltaj elde etmenin en etkili yoludur.

#### 6.4.1.3 PPM (Darbe Konum Modülasyonu)

Darbe konumu modülasyonu (Pulse-Position Modulation, PPM), M mesaj bitinin,  $2^M$  olası gerekli zaman kaydırmasından birinde tek bir darbe iletilerek kodlandığı bir sinyal modülasyonu biçimidir. Bu, iletilen bit hızının saniyede M/T bit olacağı şekilde her T saniyede bir tekrarlanır. Öncelikle çok yollu girişimin çok az olduğu veya hiç olmadığı optik iletişim sistemleri için kullanışlıdır.

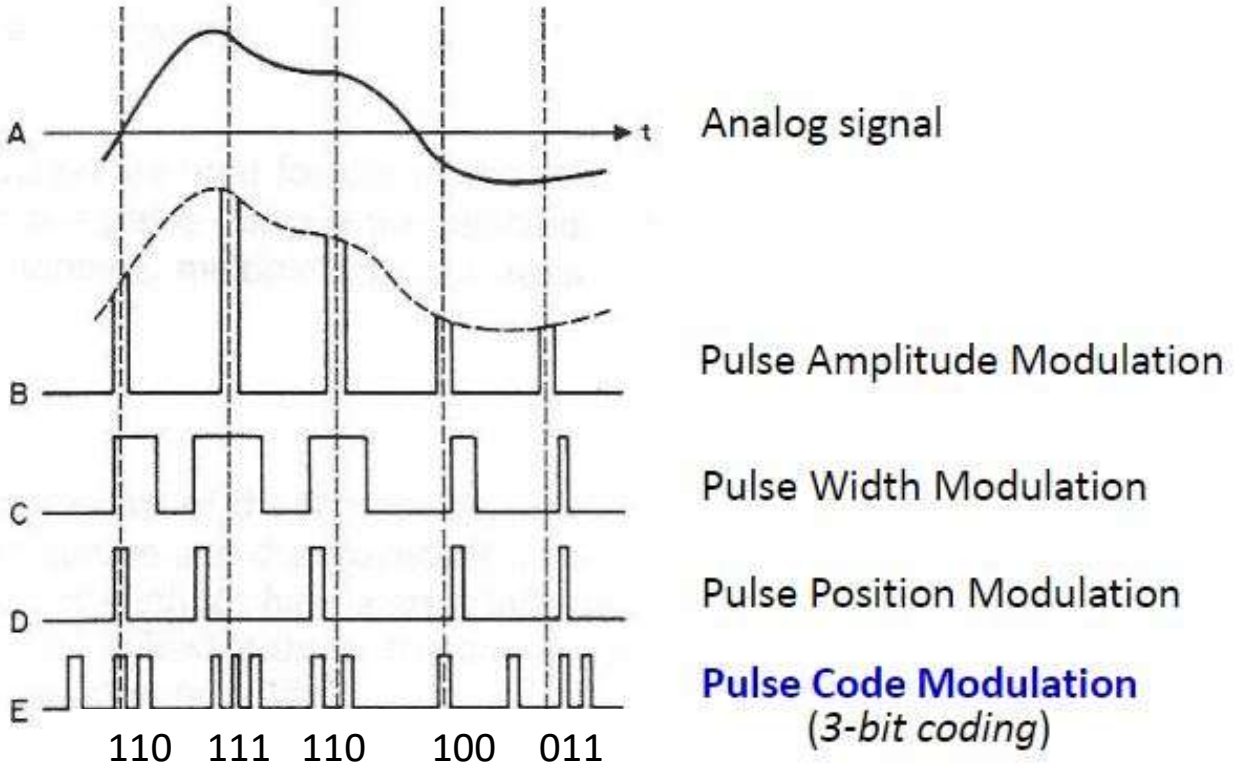
## 6.4.1. Dijital Verilerin Modülasyonu

### 6.4.2.1. PCM (Darbe Kodu Modülasyonu)

Darbe kodu modülasyonu (Pulse Code Modulation, PCM), örneklenmiş analog sinyalleri dijital olarak temsil etmek için kullanılan bir yöntemdir. Bilgisayarlarda, kompakt disklerde, dijital telefonda ve diğer dijital ses uygulamalarında dijital sesin standart biçimidir. Bir PCM akışında, analog sinyalin genliği eşit aralıklarla örneklenir ve her örnek, bir dizi dijital adım dahilinde en yakın değere nicelenir (kuantizasyon).

- Kaynaktaki (verici) analog dalga formundan PCM elde etmek için analog sinyalin genliği düzenli zaman aralıklarında örneklenir. Örnekleme hızı (saniyedeki örnek sayısı), analog dalga formunun maksimum frekansının birkaç katıdır. Her örnekteki analog sinyalin genliği en yakın ikili seviyeye yuvarlanır (kuantizasyon).

Aşağıda PAM, PWM, PPM ve PCM için örnek dalga şekilleri verilmiştir.



## SORULAR

1. Veriyi sinyale ve tersini dönüştürmenin farklı yollarını açıklayınız?
2. Sinyal kodlamanın ne olduğunu ayrıntılı olarak açıklayınız?
3. Analog verileri dijital verilere dönüştürmenin farklı yolları nelerdir?
4. Modülasyon nedir? İki türü nedir? Kısaca açıklayınız?

## KAYNAKLAR

1. Data and Computer Communications, Eighth Edition, William Stallings 2007.
2. Computer networks and internets, Sixth edition, Douglas E. Comer, Pearson Education Limited, 2015.
3. Digital Communication Systems, Simon Haykin, John Wiley & Sons, 2014.
4. Fundamentals of Telecommunications. Roger L. Freeman, John Wiley & Sons, Inc., 1999.
5. Data Communications and Networking, Behrouz A Forouzan, McGraw-Hill, 2006.
6. Mikroişlemci Sistemleri, Tuncay UZUN, Nobel Yayın., 2022.
7. «Intel HEX,» Wikipedia, 3 Haz. 2022. [Çevrimiçi]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Intel\\_HEX](https://en.wikipedia.org/wiki/Intel_HEX). [Erişildi: 3 Tem. 2022].
8. Wikipedia contributors., «Modulation.,» 16 October 2023. [Çevrimiçi]. Available: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Modulation&oldid=1180475990>. [Erişildi: 4 November 2023].