



ELK 307

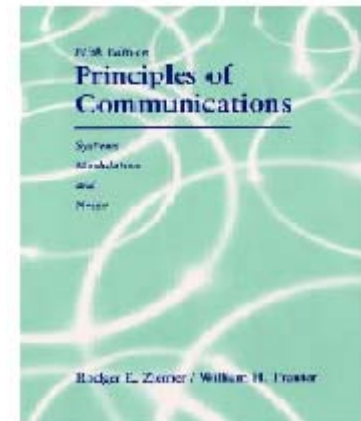
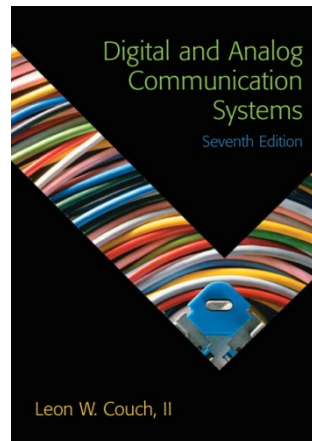
İletişim Kuramı-I

Nihat KABAOĞLU

Ders 1

Tavsiye Edilen Kitaplar

- Simon Haykin, “Communication Systems”, Fourth Edition, Wiley, 2001, ISBN: 047117869-1 (Derste takip edilecek).
- Digital & Analog Communication Systems, (7/E, PEARSON), Leon W. Couch, ISBN-10: 0131424920, ISBN-13: 9780131424920.
- R.E. Ziemer, W.H. Tranter, “Principles of Communication Systems, Modulation and Noise”, 5th Edition, ISBN: 0471392537.



Diğer Faydalı Kaynaklar

- Haluk Derin, Murat Aşkar, “İletişim Kuramı Modülasyon Yöntemleri, 2’inci baskı”, O.D.T.Ü., Yayınları.
- Demir Öner, “İletişim Kuramı-I Ders Notları”, Ağustos 2002.
- J.G.Proakis, M.Salehi, “Fundamentals of Communication Systems”, Prentice-Hall, 2005.

Dersin İçeriği

■ İletişim Sistemlerine Genel Bakış

- İletişim Sisteminin Öğeleri
- İletişim Sistemlerinin Kısıtlamaları
- Analog ve Sayısal Mesajlar
- Modülasyon ve Modülasyonun Gerekliliği
- Kodlama
- Sayısal Haberleşmenin Analog Haberleşmeye Olan Üstünlükleri

■ Sinyaller ve Sistemlerin Temelleri

- Sinyallerin Sınıflandırılması
- Trigonometrik ve Üstel Fourier Serileri ve Fourier Dönüşümü
- Sinyallerin Doğrusal Sistemlerden İletimi
- Enerji ve Güç Spektrumları, Öz ve Çapraz İlinti Fonksiyonları
- Hilbert Dönüşümü ve Özellikleri, Ön Zarf ve Kompleks Zarf Kavramları
- Bant Geçiren Sinyal ve Sistemler
- Faz ve Grup Gecikmesi

Dersin İçeriği

■ Modülasyon

□ Genlik Modülasyonu

- Çift Yanbant ve Tek yanbant Modülasyonları
- Modülatörler ve Demodülatörler
- Vericiler ve Alıcılar

□ Açı Modülasyonu

■ Frekans Modülasyonu

- Darbantlı Frekans Modülasyonu
- Genişbantlı Frekans Modülasyonu
- Frekans Modülasyonlu İşaret Üretimi ve Çözümü

■ Faz Modülasyonu

■ Örneklemeye ve Darbe Modülasyonları

- Örneklemeye Teoremi
- Zaman Bölmeli Çoğullama
- Frekans Bölmeli Çoğullama
- Darbe Modülasyonları: PAM, PPM, PWM, PCM
- Bantgenişliği, Bilgi İletim Hızı, Kanal Kapasitesi



Kısım-1

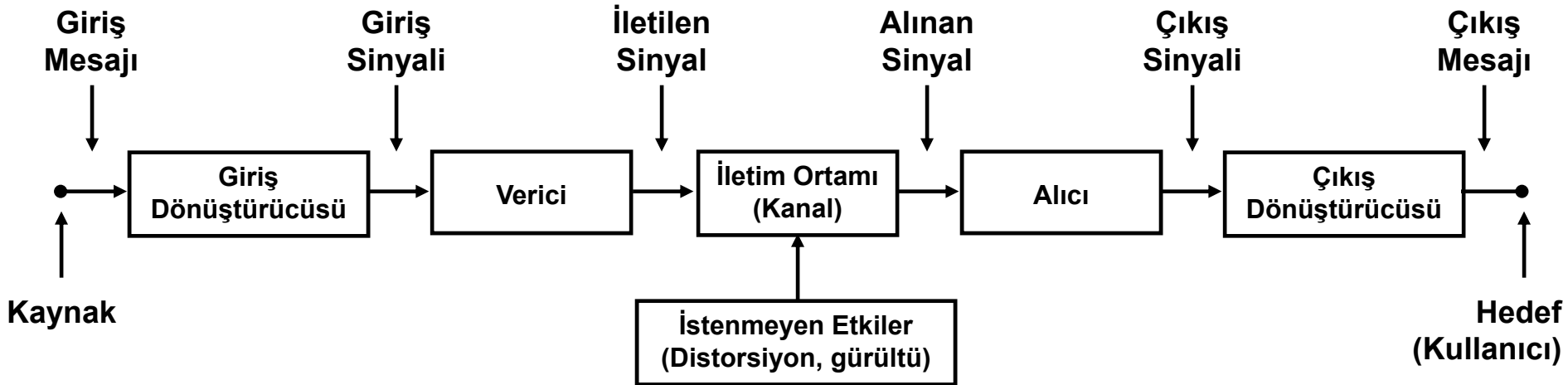
İLETİŞİM SİSTEMLERİNE GENEL BAKIŞ

Giriş

- Bir iletişim sisteminin amacı, KAYNAK adı verilen bir noktadan HEDEF adı verilen bir başka noktaya bilgi taşımaktır.
- Telefon, radyo ve televizyon haberleşme sistemlerine verilebilecek en alışılmış örneklerdir.
- Haberleşme sistemleri haberleşmenin türüne göre tasarlanırlar.
- Tasarımda, kaynak sayısı, kullanıcı sayısı, uzaklık, kullanıcıların durağan ya da gezgin oluşları, sistemin emniyeti, güvenlik gibi çeşitli faktörler göz önüne alınır.

İletişim sistemlerinin Öğeleri

- Tipik bir haberleşme sistemi aşağıdaki gibi modellenenebilir:



Bir İletişim Sisteminin Öğeleri

- **Kaynak** : İnsan sesi, ışık, ısı gibi mesajları oluşturur.
- **Giriş Dönüştürücüsü** : Elektriksel olmayan giriş mesajını elektriksel dalga formuna dönüştürür.
(Temel bant sinyal)
- **Verici** : Verimli iletim için temel bant sinyalde değişiklik yapar.
- **İletim Ortamı (Kanal)** : Verici çıkışının gönderildiği ortam (Koaksiyel kablo, dalga klavuzu, fiber optik hat, ya da boşluk gibi).
- **Alıcı** : Vericide ve kanalda yapılan değişikliklerin etkisini ortadan kaldırmak için alınan sinyali işler.
- **Çıkış Dönüştürücüsü** : Elektriksel dalga formunu kullanıcının ihtiyaç duyacağı orijinal yapısına dönüştürür.
- **Hedef** : Mesajın iletileceği birim. İnsan, bilgisayar gibi.

İletişim Sistemlerinin Kısıtlamaları

İletilen sinyal, iletim ortamının neden olduğu aşağıda sıralanan istenmeyen etkilere maruz kalır :

- **GÜRÜLTÜ** : Sistemin dışındaki ya da içindeki doğal süreçler tarafından üretilen, rasgele ve öngörülemeyen elektriksel sinyallerdir.
 - **Harici Gürültü Kaynakları** : Elektrikli cihazların kontrol anahtarları, otomobil ateşleme radyasyonu, floresan ışıkları, güneş ışınları, elektrik fırtınaları gibi. Gerekli önlem alındığında, harici gürültü en aza indirgenebilir hatta yok edilebilir.
 - **Dahili Gürültü Kaynakları** : İletkenlerdeki elektronların ısı hareketi (termal gürültü), elektronik aygıtlardaki yüklü taşıyıcıların rasgele emisyonu, difüzyonu ya da yeniden birleşmeleri (çarpma gürültüsü). Gerekli önlem alındığında, dahili gürültü azaltılabilir, ancak asla yok edilemez.

İletişim Sistemlerinin Kısıtlamaları

İletişim hızında sınırlama getiren en temel unsurlardan birisi gürültüdür.

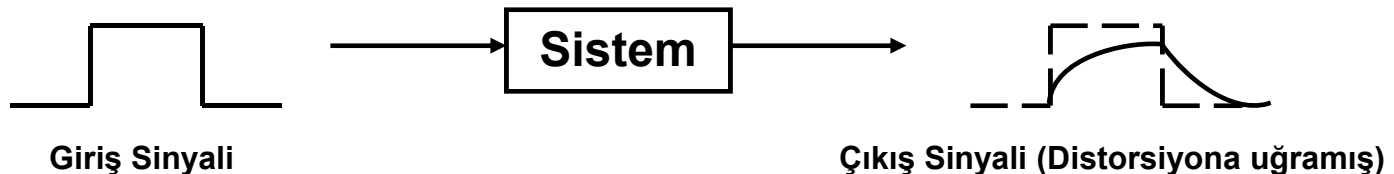
Sinyal Gürültü Oranı (SNR)

$$SNR = \frac{\text{Sinyal Gücü}}{\text{Gürültü Gücü}}$$

Vericiden uzaklaştıkça gürültü seviyesi artarken işaretin gücü azalır. Bu nedenle SNR kanal boyunca sürekli azalır. Zayıflamayı önlemek amacıyla alınan sinyali kuvvetlendirmek gürültüyü de kuvvetlendirir. Ayrıca, böyle bir durumda, yükselteç devresinin oluşturacağı gürültü nedeniyle SNR daha da kötüleşecektir. SNR'ı iyileştirmek için alıcıda bazı özel filtreler kullanılır.

İletişim Sistemlerinin Kısıtlamaları

- **ZAYIFLAMA** : Sinyalin iletim ortamında ilerlerken gücünde meydana gelen azalma olarak tanımlanır. ***İletim kaybı*** olarak da adlandırılır. Uzaklık ve frekansla doğru orantılıdır. İletim ortamı olarak atmosferin kullanılması durumunda yağmur ve kar da zayıflamayı artıran bir etki yapar. İletim ortamı boyunca repetörler kullanılarak, alıcıda ise kanalın genlik ve faz karakteristiğinin tam tersi genlik ve faz karakteristiğine sahip özel filtreler(equalizer: denkleştirici) kullanılarak zayıflama önlenabilir.
- **DİSTORSİYON** : Sistemin kusurlu cevabının neden olduğu dalga şeklindeki değişiklikler olarak tanımlanır. Distorsiyon iletilen sinyalin şeklini bozar.



İletişim Sistemlerinin Kısıtlamaları

Distorsiyonu önlemek için sistemin bantgenişliği sistem cevap karakteristiğinin sabit olduğu bölgede seçilmelidir ve sistemin bantgenişliği sinyalin bantgenişliğinden büyük olmalıdır. Ancak, pratik uygulamalar için bu koşulları yerine getirmek genelde mümkün değildir. Doğrusal distorsiyon olması durumunda, distorsiyon ortadan kaldırılabilir, ya da alıcıda denkleştirici kullanılarak en aza indirgenebilir.

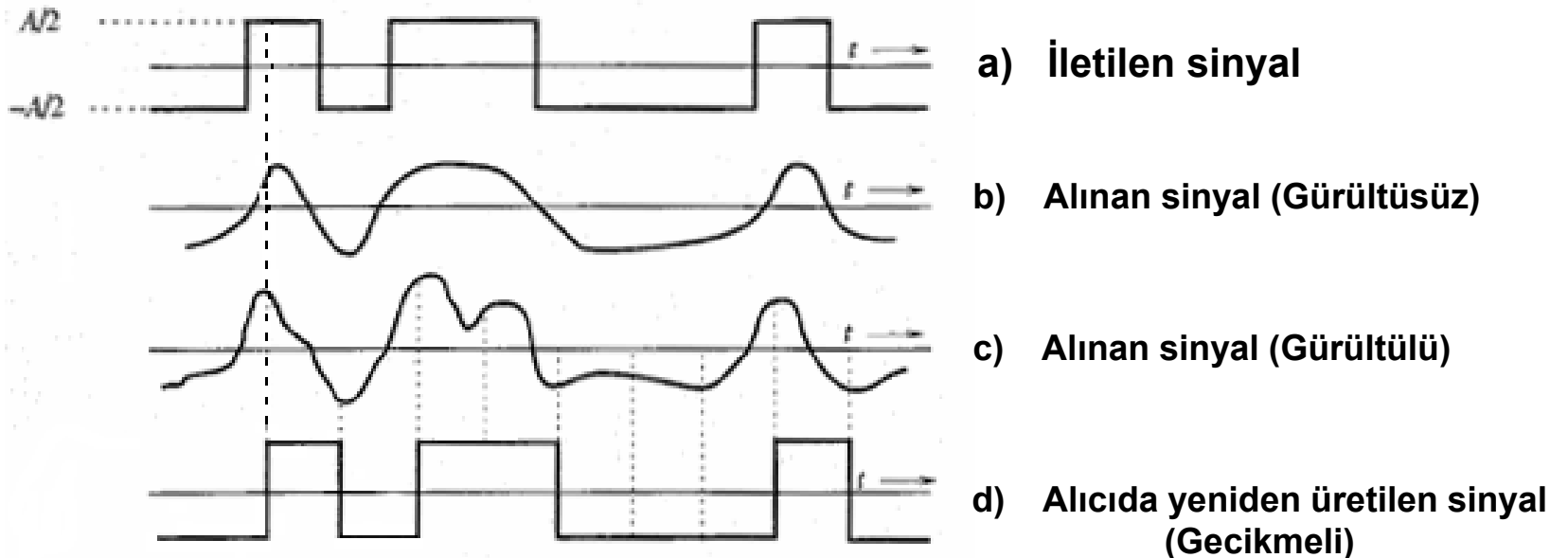
- **GİRİŐİM** : Aynı frekans bandındaki iki ya da daha fazla sinyalin kombinezonu nedeniyle oluşur. Giriőim, eklenmiő iki sinyal sonucu oluşan daha kuvvetli bir sinyal meydana getirebileceği gibi birbirinin gücünü azaltan bir etkileőim sonucunda daha zayıf bir sinyal de meydana getirebilir.

Analog ve Sayısal Mesajlar

- **Analog Mesajlar** : Değerleri sürekli bir bölgede değişen veriler ile karakterize edilirler.
 - Analog Mesajlara Örnekler
Belli bir bölgenin atmosferik basıncı ya da sıcaklığı, mikrofonun çıkışındaki ses sinyali gibi
 - **Sayısal Mesajlar** : Sonlu sayıdaki semboller ile oluşturulurlar.
 - Sayısal Mesajlara Örnekler
Morse alfabesi ile kodlanmış telgraf mesajı, bilgisayar mesajları gibi
- Not** : *İkili Sayısal Mesaj* iki sembolden meydana getirilir.
M-li Sayısal Mesaj M sembolden meydana getirilir.

Analog ve Sayısal Mesajlar

- Alıcının görevi, kanalın çıkışındaki gürültülü ve bozulmuş olan sinyalden mesajı elde etmesidir.
- Sayısal mesajlar sonlu sayıda elektrik sinyal kümesi kullanılarak iletildikleri için sayısal sinyallerden mesajın çıkarılması analog olanlara göre daha kolaydır.



Modülasyon

- Çeşitli bilgi kaynaklarından üretilen temel band sinyallerin verilen bir kanal üzerinden her zaman doğrudan iletimi mümkün değildir. Bu yüzden, temel band sinyali yüksek frekanslı taşıyıcı sinyalin bazı parametrelerini değiştirmek için kullanılır. Bu işlem MODÜLASYON olarak bilinir.
- Alıcıda ise, temel band sinyali elde edebilmek için DEMODÜLASYON adı verilen vericideki modülasyon işleminin tersi bir işlemde geçer.

Modülasyon

Taşıyıcı dalga tipine bağlı olarak iki tür modülasyon vardır :

- **Sürekli Dalga Modülasyonu** : Burada taşıyıcı yüksek frekanslı bir sinüstür. Bu sinüsün parametrelerinden biri (genlik, frekans ya da faz) temel bant sinyalin genliği ile orantılı olarak değiştirilir.
 - **Analog Sürekli Dalga Modülasyonu** : Burada modüle eden sinyal analogtur. Genlik Modülasyonu(AM), Frekans Modülasyonu(FM)¹ ve Faz Modülasyonu(PM)¹ bu modülasyon türüdür.

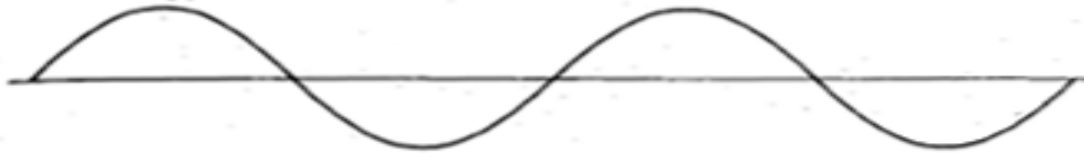
¹ : Bazen FM ve PM birlikte Açık Modülasyonu (Angle Modulation) olarak da adlandırılır.

Modülasyon



$m(t)$

Taşıyıcı



Modüle edici (temel bant) sinyal



Genlik modüleli dalga

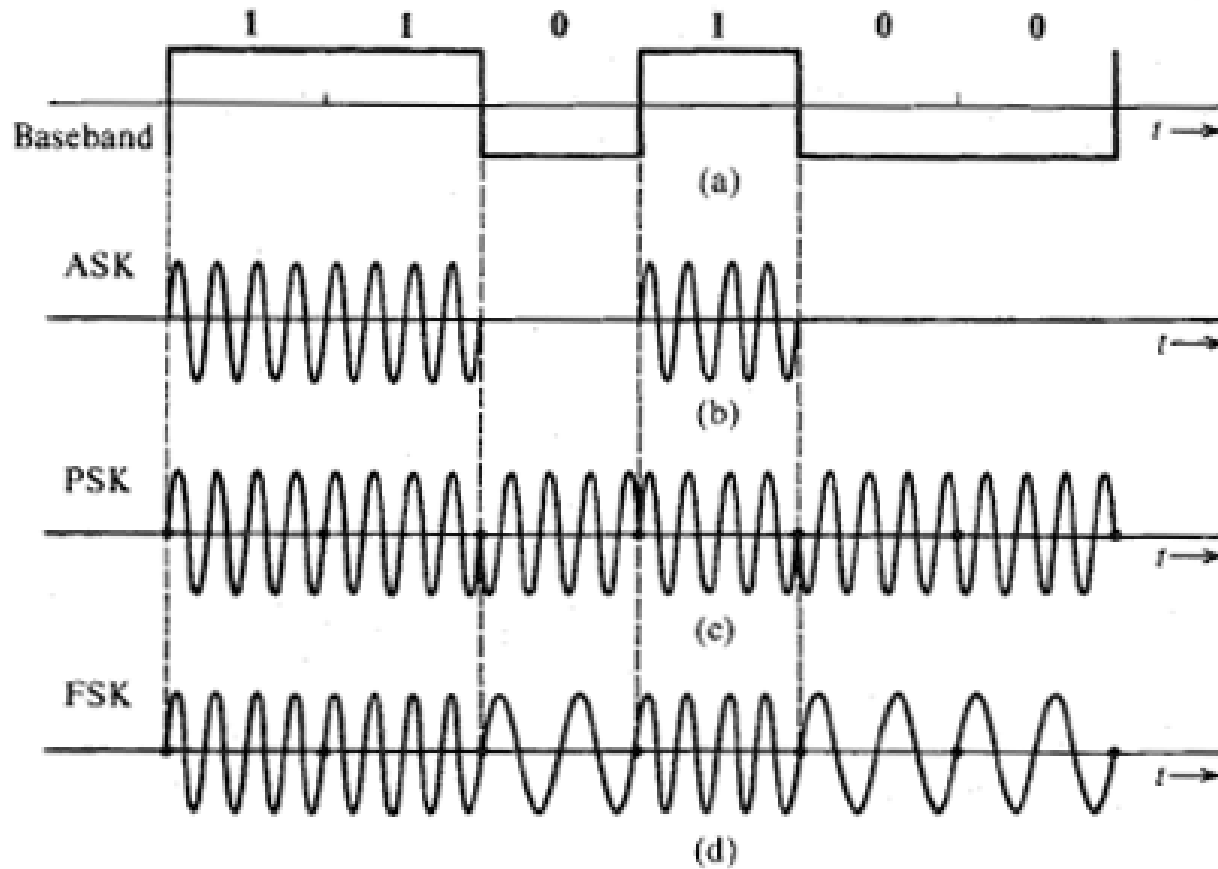


Frekans ya da Faz modüleli dalga

Modülasyon

- **Sayısal Sürekli Dalga Modülasyonu** : Burada modüle eden sinyal sayısaldir ve bu sinyal sinüzoidal taşıyıcının genlik, frekans ve fazını kendi genliğiyle orantılı olarak değiştirir. Modüle edici sinyalin ikili ya da M' li oluşuna bağlı olarak sayısal sürekli dalga modülasyonu iki türdür.
 - İkili Modülasyon : Burada, modüle edici sinyal sıfıra dönmeyen (NRZ) dikdörtgen darbelerden oluşur. Modüle edilen parametre bir ayrık değerden diğerine anahtarlanır. Bu sayede aşağıdaki modülasyon yöntemleri elde edilir :
 - Genlik Kaydırmalı Anahtarlama (ASK)
ya da On-Off Anahtarlama (OOK)
 - Frekans Kaydırmalı Anahtarlama (FSK)
 - Faz Kaydırmalı Anahtarlama (PSK)
ya da Tersine Faz Çevirmeli Anahtarlama (PRK)

Modülasyon



Sayısal Modüleli Dalga Şekilleri; (a) Temel bant işaret (b) ASK (c) PSK (d) FSK

Modülasyon

Diğer ikili modülasyon türleri şunlardır :

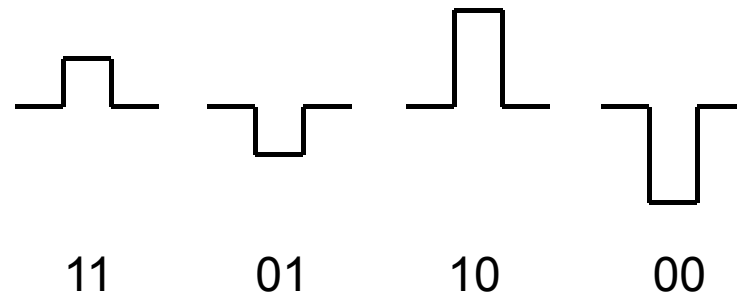
- Türevsel PSK (DPSK)
- Minimum Kaydırmalı Anahtarlama (MSK)
ya da Hızlı FSK ya da Sürekli Fazlı PSK

■ Dörtlü Taşıyıcılı Modülasyon : Birbirine dik fazlı iki taşıyıcı kullanan bir modülasyon. Bu modülasyon türü için Dörtlü Genlik Modülasyonu (QAM) tipik bir örnektir.

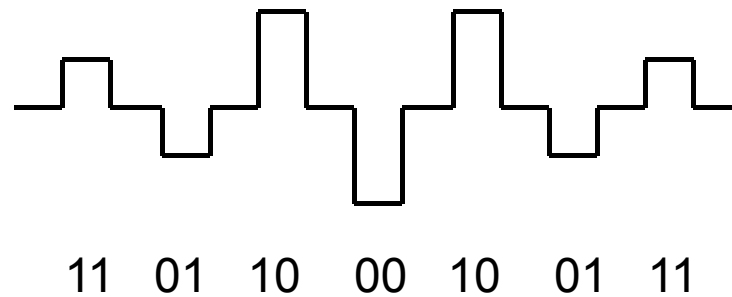
■ M' li Modülasyon : Haberleşmek için M sembol kullanan modülasyon türü. M sembol şunlardan oluşabilir:

- M farklı genlik seviyesi (Çok genlikli sinyalleşme)
- M farklı faz (Çok fazlı sinyalleşme)
- M farklı genlik ve faz kombinasyonu (M'li APK)

Modülasyon



4'lü çok genlikli alfabe



4'lü çok genlikli sinyal

Modülasyon

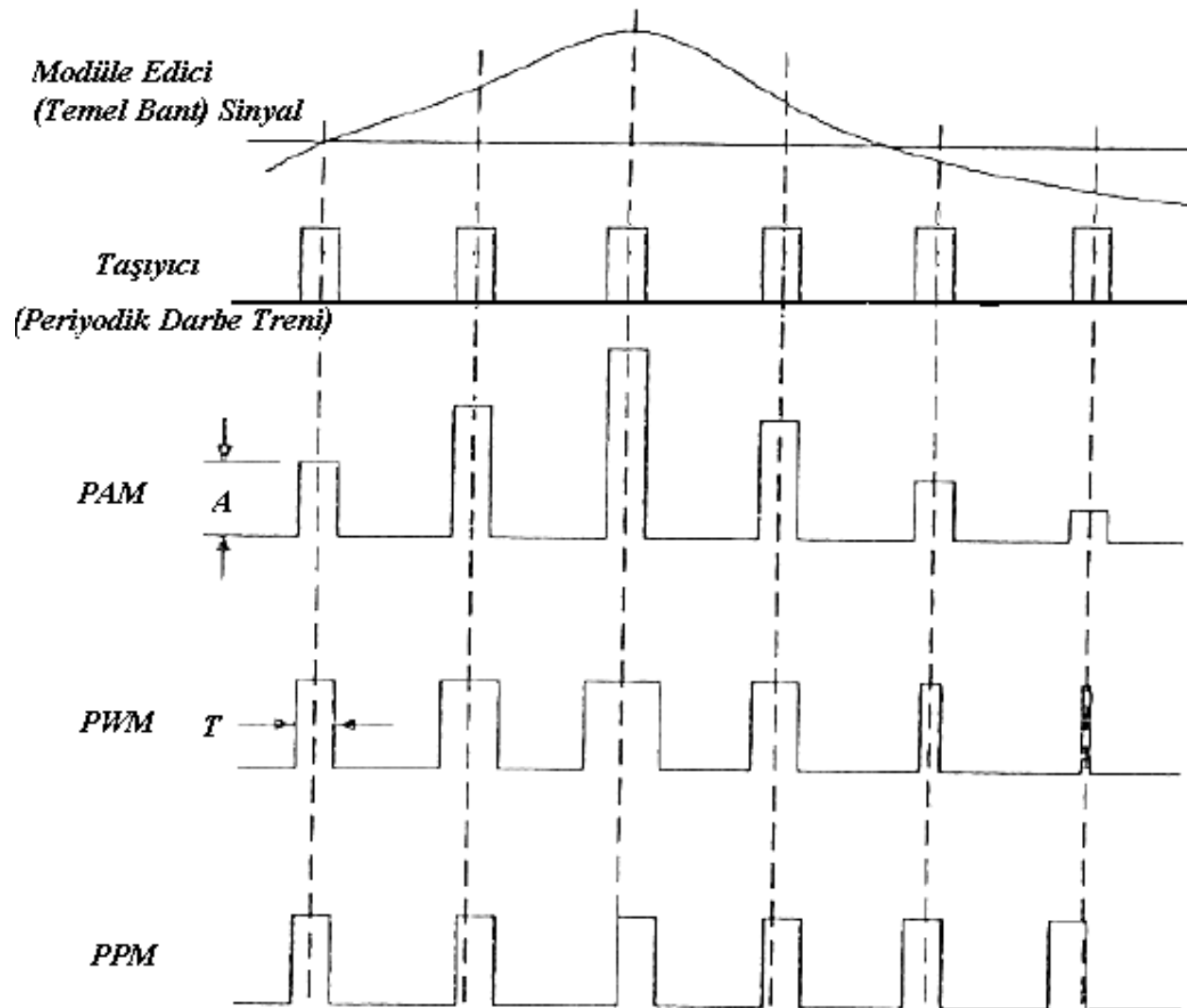
- **Darbe Modülasyonu** : Burada taşıyıcı periyodik darbe trenidir. Darbelerin genlik, genişlik ve pozisyonları temel bant sinyalin genliğiyle orantılı olarak değiştirilerek aşağıdaki modülasyon türleri elde edilebilir :

- **Darbe Genlik Modülasyonu (PAM)**
- **Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM) ya da Darbe Süre Modülasyonu (PDM)**
- **Darbe Konum Modülasyonu (PPM)**

PAM sinyalinin uygun bir şekilde kodlanmasıyla

- **Darbe Kod Modülasyonu (PCM)**
- **Türevsel Darbe Kod Modülasyonu (DPCM)**
- **Delta Modülasyonu (DM)**
- **Uyarlamalı Delta Modülasyonu (ADM)**

Modülasyon



Modülasyonun Gerekliliği

■ Modülasyon Etkin Yayılım Sağlar

Elektromanyetik enerjinin etkin bir şekilde yayılabilmesi için verici antenin boyutları yayılacak sinyalin dalga boyunun onda biri mertebelerinde ya da daha fazla olmalı.

$\lambda = c/f$ ($c = 3 \times 10^8$ m/sn) eşitliği dikkate alındığında, taşıyıcı frekansı arttıkça anten boyutunun küçüleceği görülebilir.

Örneğin, $f = 100\text{Hz}$ ile 3000Hz arasındaki bir bantta bulunan ses sinyalinin dalga boyu $\lambda = 3000\text{km}$ ile 100km arasındadır. Eğer bu ses sinyali $f = 100\text{MHz}$ 'lik bir taşıyıcıyı modüle ederek iletilirse, dalga boyu $\lambda = 3\text{m}$ 'ye düşer.

Bu nedenle, temel bantlı sinyalin frekans bileşenlerini taşıyıcı sinyalin frekansına kaydırılabilmesi için modülasyona ihtiyaç vardır.

Modülasyonun Gerekliliği

■ **Modülasyon Eşzamanlı İletim Olanakları Sunar**

Modülasyon aynı iletim ortamı üzerinden aynı anda birçok temel bant sinyalin iletilebilmesi için gereklidir.

Eşzamanlı iletim için aşağıdaki yöntemler kullanılır:

□ Frekans Bölmeli Çoğullama (FDM)

Her bir temel bant sinyali modüle etmek için farklı taşıyıcı frekansları kullanılır. Bu yöntemde, taşıyıcı frekansları modüleli sinyallerin spektrumlarının birbiri ile örtüşmesini ve girişmesini engelleyecek kadar uzak seçilir.

Alıcıda ise, arzu edilen istasyon ya da sinyali seçmek için ayarlanabilir bant geçiren süzgeçler kullanılır.

Bu sayede kanalın bant genişliği herhangi bir örtüşme olmadan çeşitli sinyallerce paylaşılmış olur.

Modülasyonun Gerekliliği

□ Zaman Bölmeli Çokkullama (TDM)

Temel bant sinyaller dar darbelerden oluşan PAM sinyallerine dönüştürülür. Bir sinyalin darbeleri arasındaki boşluk diğer sinyallerin darbeleri için kullanılır.

Böylece, çeşitli sinyal darbeleri birbiri arasına sokularak, iletim zamanı belirli bir sayıdaki sinyal tarafından paylaşılmış olur.

Alıcıda ise, darbe trenleri yerleştirildikleri sıralamaya uygun bir şekilde birbirinden ayrılır.

■ **Modülasyon Gürültü ve Girişimin Etkisini Azaltır**

Frekans ve faz modülasyonları iletim bandının ve SNR'ın kontrol edilmesine olanak sağlar.

Kodlama

- Kodlama güvenli sayısal iletim için gerekli olan bir sembol işleme işlemidir.
 - Kodlama(Encoding) sayısal mesajı yeni bir sembol dizisine dönüştürür.
 - Kod Çözme(Decoding) kodlanmış diziyi orijinal haline (mesaja) geri dönüştürür. Bu dönüşüm sırasında belki iletim sırasında meydana gelen veri bozulması nedeniyle birkaç hata da oluşabilir.
 - Hata Kontrol Kodları kanal gürültüsü ya da bir takım eksiklikler nedeniyle oluşması muhtemel hataların etkisini ortadan kaldırmak için kullanılır. Her bir ikili kod sözcüğüne ekstra “kontrol bitleri” ekleyerek hataların büyük bir çoğunluğunu sezmek hatta düzeltmek mümkündür. Aslında bu yöntemle mesaja bir fazlalık eklenerek sinyal bant genişliği artırılır, ancak bu iletişim emniyetini de artırır.
 - Örnek: 0001 kod sözcüğüne 1’ lerin sayısını çift yapmak için 1 eklenirse, yeni kod sözcüğü 00011 olur. Alıcıdaki kod çözücü birlerin sayısının çift olup olmadığını kontrol eder. Bu sayı çift değilse alıcı iletim esnasında bir hata oluştuğunu anlar ve mesajın yeniden iletilmesini ister. Bu yöntem çift parite kontrolü olarak bilinir.

Sayısal Haberleşmenin Analog Haberleşmeye Olan Üstünlükleri

- Sayısal haberleşme kanal gürültüsü ve distorsiyona karşı daha dayanıklıdır.
- İletim yolu boyunca kullanılan repetörler sayısal sinyali sezer ve gürültüden arındırılmış olarak sinyali yeniden iletir. Bu sayede, iletim yolu boyunca gürültünün birikmesi önlenir. Bu analog haberleşmede mümkün değildir.
- Sayısal devre uygulamaları esnek bir yapıya sahiptir ve mikroişlemcilerin, sayısal anahtarlamanın ve büyük ölçekli entegre devrelerin kullanımına olanak sağlar.
- Sayısal sinyaller oldukça düşük hata oranıyla, yüksek doğrulukla ve gizlilikle kodlanabilirler.
- Sayısal sinyallerin çoğullanması oldukça kolay ve daha verimlidir.
- Sayısal iletişim, bant genişliği ve SNR' ın kontrol edilmesi bakımından analog haberleşmeye göre oldukça üstündür.

Yukarıdaki tüm bu nedenlerden ötürü genellikle sayısal iletişim analog iletişimden daha çok tercih edilir.