

**T.C.  
MILLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI**

**BİLİŞİM TEKNOLOJİLERİ**

**HABERLEŞME TEKNİKLERİ**

**Ankara, 2013**

- Bu modül, mesleki ve teknik eğitim okul/kurumlarında uygulanan Çerçeve Öğretim Programlarında yer alan yeterlikleri kazandırmaya yönelik olarak öğrencilere rehberlik etmek amacıyla hazırlanmış bireysel öğrenme materyalidir.
- Millî Eğitim Bakanlığınca ücretsiz olarak verilmiştir.
- **PARA İLE SATILMAZ.**

# İÇİNDEKİLER

AÇIKLAMALAR .....	iii
GİRİŞ .....	1
ÖĞRENME FAALİYETİ-1 .....	3
1. MODÜLASYON SİSTEMLERİ VE ÇOĞULLAMA .....	3
1.1. Modülasyon Sistemleri.....	6
1.1.1. Modülasyon .....	6
1.1.2. Genlik Modülasyonu (Amplitude Modulation - AM) .....	8
1.1.3. Frekans Modülasyonu (Frequency Modulation - FM) .....	11
1.1.4. Faz Modülasyonu (Phase Modulation - PM).....	13
1.2. Çoklama (Multiplexing).....	14
1.2.1. Frekans Bölmeli Çoklama (Frequency Division Multiplexing - FDM) .	15
1.2.2. Zaman Bölmeli Çoklama (Time Division Multiplexing - TDM).....	15
UYGULAMA FAALİYETİ.....	17
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME.....	19
ÖĞRENME FAALİYETİ-2 .....	21
2. DARBE MODÜLASYONU (PULSE MODULATION) .....	21
2.1. Örnekleme ve Sinyalin Tekrar Elde Edilmesi.....	22
2.2. Darbe Genlik Modülasyonu (Pulse Amplitude Modulation - PAM).....	24
2.3. Darbe Genişlik Modülasyonu (Pulse Width Modulation - PWM).....	26
2.4. Darbe Konum Modülasyonu (Pulse Position Modulation - PPM).....	29
2.5. Darbe Kod Modülasyonu (Pulse Code Modulation-PCM).....	31
2.5.1. Örnekleme ve Tutma Devresi .....	31
2.5.2. Kuantalama İşlemi .....	32
2.5.3. Kodlama İşlemi.....	34
2.6. Diferansiyel Darbe Kodlamalı Modülasyon (Differential Pulse Code Modulation-DPCM) .....	35
UYGULAMA FAALİYETİ.....	36
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME.....	38
MODÜL DEĞERLENDİRME .....	40
CEVAP ANAHTARLARI.....	42
KAYNAKÇA .....	44

# AÇIKLAMALAR

<b>ALAN</b>	<b>Bilişim Teknolojileri</b>
<b>DAL/MESLEK</b>	<b>Bilgisayar Teknik Servis</b>
<b>MODÜLÜN ADI</b>	<b>Haberleşme Teknikleri</b>
<b>MODÜLÜN TANIMI</b>	Bu modül; haberleşme teknikleri ile modülasyon uygulamalarını yapabileceği öğrenme materyalidir.
<b>SÜRE</b>	40/16
<b>ÖN KOŞUL</b>	Bu modülün ön koşulu yoktur.
<b>YETERLİK</b>	Modülasyon uygulamaları yapmak
<b>MODÜLÜN AMACI</b>	<b>Genel Amaç</b> Bu modül ile gerekli ortam sağlandığında haberleşme teknikleri ile modülasyon uygulamalarını gerçekleştirebileceksiniz. <b>Amaçlar</b> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Çoklama devreleri uygulamalarını yapabileceksiniz.</li><li>2. Darbe kod modülasyonu uygulamalarını yapabileceksiniz.</li></ol>
<b>EĞİTİM ÖĞRETİM ORTAMLARI VE DONANIMLARI</b>	<b>Ortam:</b> Elektronik uygulamaları laboratuvarı <b>Donanım:</b> Güç kaynağı, sinyal üretici, osiloskop, entegre, direnç, kondansatör, potansiyometre, haberleşme deney seti
<b>ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME</b>	Modül içinde yer alan her öğrenme faaliyetinden sonra verilen ölçme araçları ile kendinizi değerlendireceksiniz. Öğretmen modül sonunda ölçme aracı (çoktan seçmeli test, doğru-yanlış testi, boşluk doldurma, eşleştirme vb.) kullanarak modül uygulamaları ile kazandığınız bilgi ve becerileri ölçerek sizi değerlendirecektir.

# GİRİŞ

## Sevgili Öğrenci,

Günümüzde teknoloji alanındaki hızlı gelişmeler, özellikle telekomünikasyon alanında büyük değişimlere sebep olmuştur. Tüm bunların sonucu olarak teknolojiye bu gelişmeler, insan hayatında da büyük değişikliklere sebebiyet vermektedir. Bu sayede, kullanıcılar tarafından yüksek hızlı veri, video, daha çok kanallı sistemler gibi yeni hizmetlerle insanların iletişim olanakları artmıştır.

Tüm dünyada telekomünikasyon alanında yeni teknolojilerin hızla gelişmesi ve kullanıcılar tarafından yüksek hızlı veri ihtiyacı, telekomünikasyonla uğraşan bilim insanlarını bu yeni hizmetlere duyulan gereksinimi karşılamak amacıyla yeni sistemler bulmaya yöneltmiştir.

Bilgisayar kullanımının hızla yaygınlaşması, sayısal veri iletimine yönelik istekleri önemli ölçüde artırmıştır. Çoğu kez, büyük hacimli bilgilerin en etkin şekilde ve en az hatayla iletilmesi istenmektedir. Veri iletimine yönelik bu tür isteklerin gerçekte ses iletimi için tasarlanmış analog telefon şebekeleriyle yanıtlanması ise olanak dışıdır. Bu gibi sorunların üstesinden gelmek için telefon şebekelerine sayısal iletim ve sayısal anahtarlama teknikleri uygulanmıştır. Böylelikle şebekelerde sayısal anahtarlama modülasyonu ve darbe kod modülasyonu sistemleri kullanılarak abone kesimleri dışında kalan bölümlerinin sayısallaştırılmasına başlanmıştır. Sayısallaşmanın sağladığı yararların başında, analog şebekelerde yapılamayan yüksek hızlı veri iletiminin yapılması gelir. Böylece yüksek hızlı veri iletimi yalnız veri şebekelerine özgü bir özellik olmaktan çıkmıştır.

Sayısal iletişim teknikleri, iletim olanaklarının kapasitesini artırmada son derece ekonomiktir. Özellikle jonksiyon kabloları yerine darbe kod modülasyonu kullanıldığında analog iletime kıyasla daha fazla eşzamanlı ses işareti taşıyabilmektedir. Bu da yeni kablo döşenmesi sorununu ortadan kaldırır.

Bu modülü bitirdikten sonra modülasyon kavramını ve temel haberleşme teknikleri için kullanılan modülasyon çeşitlerinin neler olacağını kolayca anlayabileceksiniz. Bu modülasyon çeşitlerinden yola çıkarak haberleşmede ileri düzey kodlama teknikleri içerisinde meydana gelen dönüşümleri kavramış olacaksınız.



# ÖĞRENME FAALİYETİ-1

## AMAÇ

Haberleşmede kullanılan modülasyon sistemlerini ve çoklama prensibini öğrenerek haberleşme deney seti üzerinde uygulamalar yapabileceksiniz.

## ARAŞTIRMA

Bu faaliyet öncesinde yapmanız gereken öncelikli araştırmalar şunlardır:

- Haberleşmenin tanımı araştırınız.
- Haberleşme türlerini araştırınız.
- Haberleşme sistemlerinde kullanılan analog ve dijital modülasyon tekniklerini araştırınız.
- Haberleşmede kullanılan iletişim yöntemlerini, avantajlarını ve dezavantajlarını araştırınız.
- Çoklama sistemlerini araştırınız.
- Çoklama sistemlerinin nerelerde kullanıldığını araştırınız.
- Çoklama sistem kullanımının avantajlarını ve dezavantajlarını araştırınız.

Araştırma işlemleri için internet ortamını ve haberleşme ile ilgili kitapları kullanınız, çevrenizde bulunan telekomünikasyon şirketlerinin kullandığı haberleşme tekniğini inceleyerek ön bilgi edininiz.

## 1. MODÜLASYON SİSTEMLERİ VE ÇOĞULLAMA

Haberleşme, bir bilginin karşılıklı alış veriş işlemine denir. Haberleşme sisteminin amacı, bir bilginin kaynaktan hedefe eksiksiz ve hatasız iletimidir.

Haberleşmenin tarihine bakıldığında 1844 yılında telgrafın icadıyla başladığı görülmektedir. Telgrafın icadından sonra, 17 Mayıs 1864 Uluslararası Telekom Birliği'nin (ITU - International Telecom Union) ilk toplantısı gerçekleşmiş ve burada telgraf sisteminde kullanılacak standartlar kayıt altına alınmıştır.

Telgraf sistemlerinde kullanılan haberleşme dili “Mors Alfabeti”dir. Bu yöntemle metinler elektriksel olarak iletilmiştir. Telgrafın icadını sırasıyla;

- Telefonun icadı (1876),
- Telefon santralinin yapılması (1889),
- Radyo yayınlarının başlaması (1895),
- Televizyonun keşfi (1923),
- İlk uydunun fırlatılması (1961),
- DARPA’da bilgisayarların birbirleriyle iletişim kurabilmesi (1965),
- Arpanet çerçevesinde internet haberleşmesi (1969),
- Apollo 11’ in aya inmesi ve uydu iletişim projelerinin yoğunlaşması (1969),
- TCP/IP protokolünün Arpanet içerisinde kullanılması (1983) izlemiştir.

Günümüzde haberleşme sistemleri ihtiyaçlar ve teknolojik gelişmeler doğrultusunda değişim ve gelişim göstermektedir.

Bir haberleşme sistemi; kaynak, giriş dönüştürücüsü, verici, iletim ortamı (kanal), alıcı, çıkış dönüştürücüsü ve hedef olmak üzere yedi bölümden oluşur. Bunlar;

- **Kaynak:** Aktarılacak bilginin (İnsan sesi, ışık, ısı) bulunduğu bölümdür.
- **Giriş Dönüştürücüsü:** Kaynak bilgilerini temel bant sinyaline çeviren bölümdür.
- **Verici:** Giriş dönüştürücüsünde elde edilen temel bant sinyalinin hatasız ve eksiksiz olarak iletilmesi için değişikliklerin yapıldığı bölümdür.
- **İletim Ortamı (Kanal):** Verici ile alıcı arasında bilginin aktarıldığı bölümdür. Kullanılan haberleşme yöntemine bağlı olarak iletim ortamları; koaksiyel kablo, dalga kılavuzu, fiber optik hat, boşluk vb.
- **Alıcı:** Vericiden gönderilen sinyallerin algılandığı ve bu sinyallerin tekrar temel bant sinyaline dönüştürüldüğü bölümdür.
- **Çıkış Dönüştürücüsü:** Alıcıdan gelen temel bant sinyallerinin istenilen türe dönüştürüldüğü bölümdür. (Ses, Işık, Isı vb.)
- **Hedef:** Çıkış dönüştürücüsünde elde edilen bilginin iletildiği bölümdür.



Şekil 1.1: İletişim sistemi



Elektronik haberleşme sistemlerinin en önemli kısımları verici sistemi, haberleşme kanalı ve alıcı sistemidir.

**Verici Sistemi:** Gönderilecek bilgiyi ortamda iletilecek hale getiren, gerekli kodlamaları ve kuvvetlendirmeyi yapan elektronik devrelerdir. Vericilerin gücüne göre iletim mesafeleri değişiklik gösterir. Günümüzde kullanılan telsiz vericileri 2W ile 600 W, radyo vericileri 1KW - 10 KW, baz istasyonları 25W, cep telefonu 3W (beklemede 500 mw) gücü sahiptir.

**Haberleşme Kanalı (İletim Ortamı):** Verici tarafından kodlanan sinyalin alıcıya iletilmesi için kullanılan ortamlardır. İletim ortamları kılavuzlu (kablolu - guided) ve kılavuzsuz (kablesiz - unguided) iletim ortamları olmak üzere ikiye ayrılır. Kılavuzlu iletim ortamları bakır kablo, bükümlü kablo, koaksiyel kablo, fiber optik kablo, mikrodalga gibi ortamları ifade etmek için kullanılır. Kılavuzsuz iletim ortamları ise hava, su, boşluk gibi doğal ortamları ifade etmek için kullanılır.

Verici tarafından gönderilen sinyallerde iletim ortamından kaynaklanan bozulmalar oluşur. Bunlar;

- **Sinyal Zayıflaması (Attenuation):** İletişim mesafesi arttıkça verici tarafından gönderilen sinyaller zayıflaması ve alıcıya yeterli enerjinin ulaşmamasıdır.
- **İşaret Distorsiyonu:** İletim ortamında ilerleyen sinyalin içerisinde bulunan farklı frekanslarda farklı zayıflamalarla hedefe ulaşmasıdır.
- **Gecikme Distorsiyonu (Dispersiyon):** Sinyali oluşturan farklı frekansların veya fiber optik kablo içindeki ışık ışınlarının farklı yollar takip etmesi sebebiyle hedefe ulaşması gereken zamandan farklı zamanlarda ulaşması sonucunda işaret şeklinde değişimler olmasıdır.

Verici tarafından gönderilen sinyallerde iletim ortamından kaynaklanan bozulmanın dışında sinyallerde gürültü oluşabilir. Gürültü; sistemin dışındaki ya da içindeki doğal süreçler tarafından üretilen, rasgele ve öngörülemeyen elektriksel sinyallerdir. Sistem dışı gürültü kaynaklarına güneş ışığı, floresan lambalar, motor ateşleme sistemler örnek olarak verilebilir. Sistem içi gürültü kaynakları ise, iletkenlerdeki elektronların ısıl hareketi (termal gürültü), elektronik aygıtlardaki yüklü taşıyıcıların rasgele emisyonu, difüzyonu ya da yeniden birleşmeleri örnek olarak verilebilir. Gerekli önlemler alınarak oluşan gürültüler en aza indirgenebilir ancak tamamen yok edilemezler.

**Alıcı Sistemi:** Verici tarafından kodlanmış olarak gönderilen ve iletim ortamından geçerek ulaşan sinyalin kodunu çözer ve bilgi sinyalini orijinal haline dönüştüren elektronik devrelerdir.

## 1.1. Modülasyon Sistemleri

### 1.1.1. Modülasyon

Bilgi kaynağında üretilen sinyalleri, bilgi kaynağının bulunduğu yerde kullanmak o bilginin sınırlı kişiler tarafından kullanılması demektir. Bilginin daha çok kişi tarafından kullanılabilmesi için bilginin iletmesi gerekir. Haberleşme sistemlerinin en önemli problemi ise verinin sağlıklı, hızlı ve ulaşılabilecek en uzak mesafelere iletimi problemidir. Örneğin, bir radyo yayını iletmesi için sadece birkaç hoparlör kullanmak teknik olarak mümkün gözükse de çevrede bulunan diğer sesler ve yayın yapılmaya çalışılan alanda bulunan engellerde ses iletimi güçleşir. Bu diğer temel bant sinyalleri içinde geçerlidir.

Bilginin uzak mesafelere sağlıklı, hızlı aktarılabilmesi için temel bant sinyalleri, daha yüksek frekanslı bir sinyal ile birleştirilerek iletilir. Temel bant sinyaliyle yüksek frekanslı taşıyıcı sinyalin birleştirilmesi işlemine modülasyon denir. Modülasyon işlemi; taşıyıcı sinyalin genlik, frekans, faz vb. özelliklerinin değiştirilmesi işlemidir. Modülasyon işleminin başlıca yararları şunlardır:

- Yayılımı kolaylaştırır. Elektromanyetik alanlar yaklaşık ışık hızında yayıldığı ve uygun şartlarda dağ tepe çukur gibi doğal engelleri kolaylıkla aşarlar. Uzayda ise uygun bir antenle çok uzaklara gidebilirler.
- Gürültü ve bozulmayı azaltır.
- Kanal ayrımı sağlar. Modülasyonla aynı iletim hattında birden çok bilgi yolları.
- Çevresel etkilerin ortaya çıkardığı pek çok sınırlayıcı etkiyi ortadan kaldırır.
- Modülasyon çalışma frekansını yükselteceği için çalışılan dalga boyu ( $\lambda$ ) ve dalga boyuna bağlı olarak verici antenin boyu da küçülür.

Verici sisteminin dalga boyu ve sistemde kullanılacak anten boyunu hesaplamak için aşağıdaki formüller kullanılır.

$$\text{Dalga Boyu } (\lambda) = \frac{\text{Işık Hızı } (c)}{\text{Çalışma Frekansı } (f)}$$

$$\text{Anten Boyu} = \frac{\text{Dalga Boyu } (\lambda)}{4}$$

**Örnek 1.1:** Bir radyo vericisinde modülasyon işleminde 10 KHz'lik sinyal taşıyıcı sinyal olarak kullanılmaktadır. Bu radyo vericisinin dalga boyunu ve kullanılması gereken anten boyunu hesaplayınız (Işık Hızı=300.000km/sn).

**Çözüm:**

$$\text{Çalışma Frekansı (f)} = 10 \text{ KHz} = 10.000 \text{ Hz}$$

$$\text{Işık Hızı(c)} = 300.000 \text{ km/sn}$$

$$\text{Dalga Boyu } (\lambda) = \frac{\text{Işık Hızı (c)}}{\text{Çalışma Frekansı (f)}} = \frac{300.000 \text{ km/sn}}{10.000 \text{ Hz}} = \mathbf{30 \text{ Km}}$$

$$\text{Anten Boyu} = \frac{\text{Dalga Boyu } (\lambda)}{4} = \frac{30 \text{ Km}}{4} = \mathbf{7,5 \text{ Km}}$$

**Örnek 1.2:** Bir radyo vericisinde modülasyon işleminde 1 MHz'lik sinyal taşıyıcı sinyal olarak kullanılmaktadır. Bu radyo vericisinin dalga boyunu ve kullanılması gereken anten boyunu hesaplayınız. (Işık Hızı=300.000 Km/sn)

**Çözüm:**

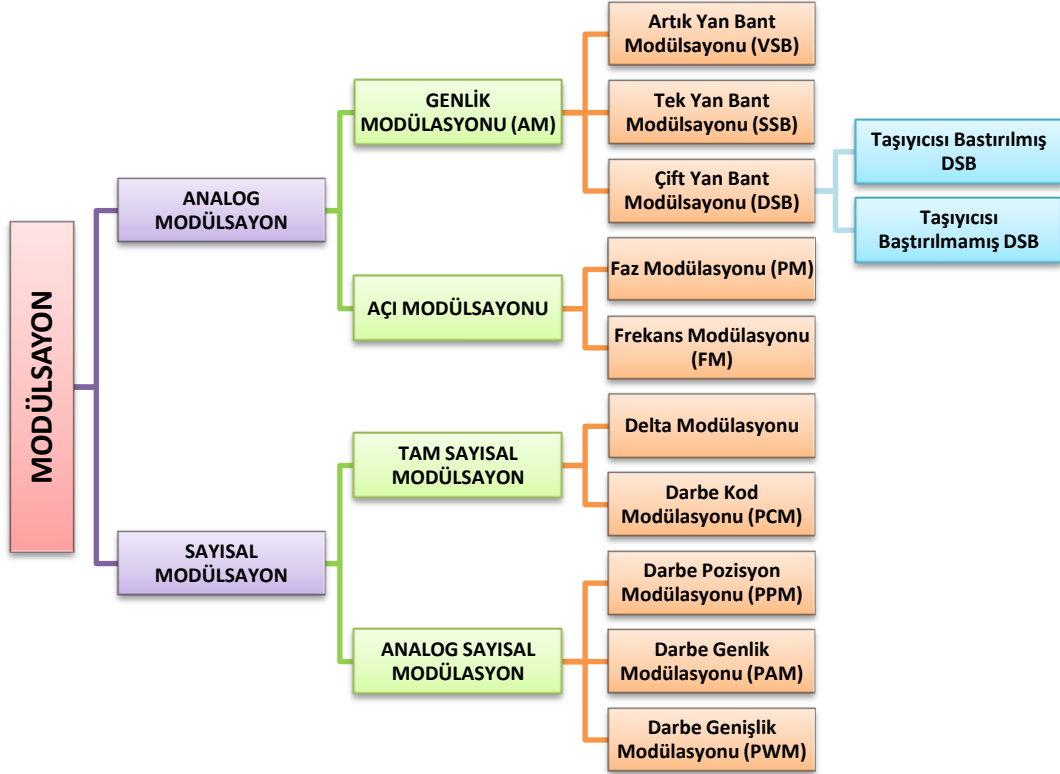
$$\text{Çalışma Frekansı (f)} = 1 \text{ MHz} = 1 \times 10^3 \text{ KHz} = 1 \times 10^6 \text{ Hz}$$

$$\text{Işık Hızı(c)} = 300.000 \text{ Km/sn} = 3 \times 10^5 \text{ km/sn} = 3 \times 10^8 \text{ m/sn}$$

$$\text{Dalga Boyu } (\lambda) = \frac{\text{Işık Hızı (c)}}{\text{Çalışma Frekansı (f)}} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/sn}}{1 \times 10^6 \text{ Hz}} = \mathbf{300 \text{ m}}$$

$$\text{Anten Boyu} = \frac{\text{Dalga Boyu } (\lambda)}{4} = \frac{300 \text{ m}}{4} = \mathbf{75 \text{ m}}$$

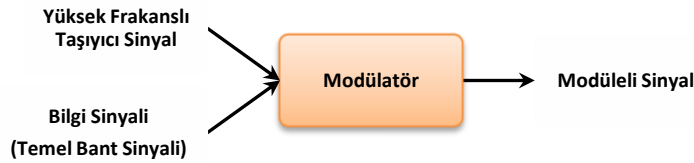
Modülasyon işlemi temel olarak analog modülasyon ve sayısal modülasyon olmak üzere ikiye ayrılır. Analog ve sayısal modülasyon türlerinin de Şekil 1.2'de görüldüğü gibi kendi içinde çeşitli türleri bulunmaktadır.



Şekil 1.2: Modülasyon türleri

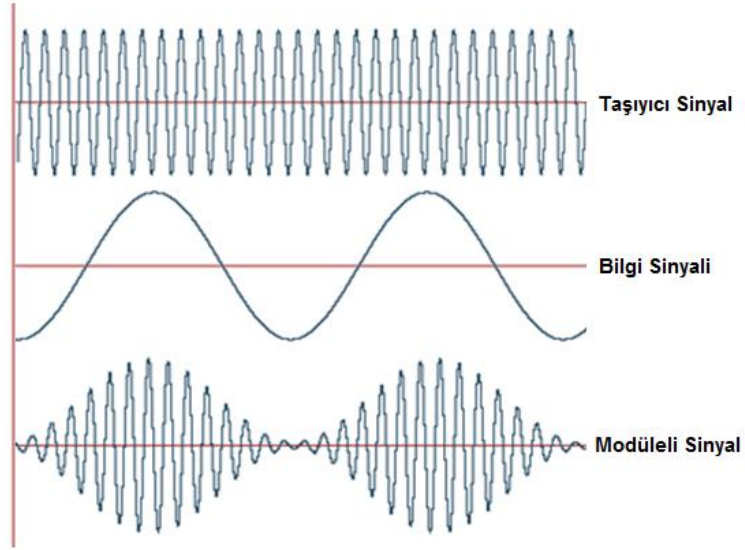
### 1.1.2. Genlik Modülasyonu (Amplitude Modulation - AM)

Genlik modülasyonu, yüksek frekanslı taşıyıcı sinyal genliğinin temel bant sinyalinin (bilgi sinyali) frekansına ve genliğine bağlı olarak değiştirilmesi işlemine denir. Bu işlemi gerçekleştiren elektronik devrelerin, taşıyıcı sinyal ve bilgi sinyali olmak üzere iki temel girişi vardır. Bu devrelere modülatör denir. Genlik modülasyonu işlemine ait blok şema Şekil 1.3’de gösterilmiştir.



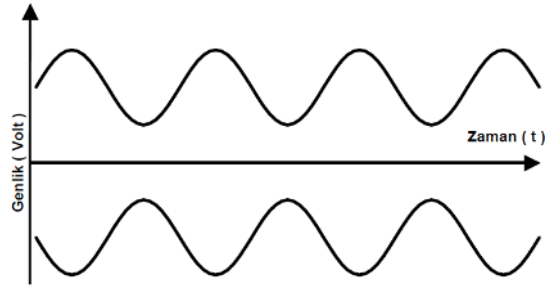
Şekil 1.3: Genlik modülasyonu blok şeması

Taşıyıcı sinyal, sabit genlikli ve yüksek frekanslı sinüs veya kosinüs sinyalidir. Bilgi sinyali, genliği ve frekansı değişen sinyaldir. Modüleli sinyal ise modülatör çıkışında elde edilen taşıyıcı sinyalle bilgi sinyalinin birleştirilmesi sonucunda elde edilen sinyaldir (Şekil 1.4).



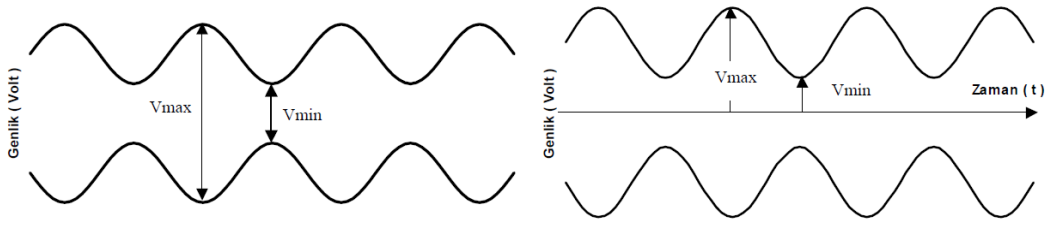
**Şekil 1.4: Genlik modülasyonu sinyalleri**

Modüleli sinyalin pozitif ve negatif bölgedeki tepe değerleri birleştirilerek elde edilen şekle modülasyon işaret zarfı denir (Şekil 1.5). Modülasyon zarfı yardımıyla modüleli sinyalin indisi (faktörü) hesaplanabilir. Modülasyon indisi modülasyon işleminin iyilik derecesini gösterir.



**Şekil 1.5: Modülasyon işaret zarfı**

Modüleli sinyalin indisi bulunabilmesi için verici antenin çıkışı osiloskopa bağlanır ve modüleli sinyal osiloskop ekranında elde edilir. Ekranda görülen sinyalin zarf sinyali Şekil 1.6'da olduğu gibi düşünülürse bu sinyalde  $V_{max}$  ve  $V_{min}$  değerleri ölçülür.



**Şekil 1.6: Modüleli işaret zarfından modülasyon indisinin bulunması**

Modülasyon indisi (m);

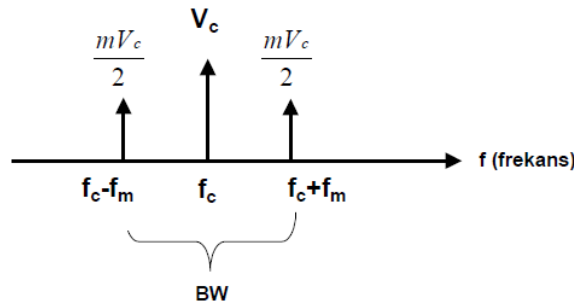
$$m = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{V_{\max} + V_{\min}}$$

formülüyle hesaplanır. Modülasyon indisinin değeri 1'den büyük ise Bozuk Genlik Modülasyonu, 1 ise İdeal Modülasyon, 0,5 ile 1 arasında ise İyi Bir Genlik Modülasyonu vardır denilmektedir. Modülasyon yüzdesiyse modülasyon indisinin 100'le çarpımıyla hesaplanır.

Modüleli sinyalin frekans spektrumu içerisinde kapladığı alana kanal veya bant genişliği (BandWide – BW) denir. Genlik modülasyonunda bant genişliği bilgi işaretinin frekansının 2 (iki) katıdır. Örneğin, bir ses sinyalinin frekansı 3 KHz olup iletilmesi durumunda kullanılacak bant genişliği 6 KHz'dir.

$$BW = 2 \cdot f_m$$

Modüleli sinyal taşıyıcı sinyal ( $f_c$ ), üst kenar bant sinyali ( $f_c + f_m$ ) ve alt kenar bant sinyali ( $f_c - f_m$ ) olmak üzere 3 farklı frekansta iletilirler. Bu frekansların yeryüzü atmosferinde yayılabilmesi için radyo frekansı (RF) olması gerekir. Modüleli sinyalin frekans spektrumunda görünümü Şekil 1.7'de gösterilmiştir.



**Şekil 1.7: Genlik modülasyonu için frekans spektrumu**

Genlik modülasyonu;

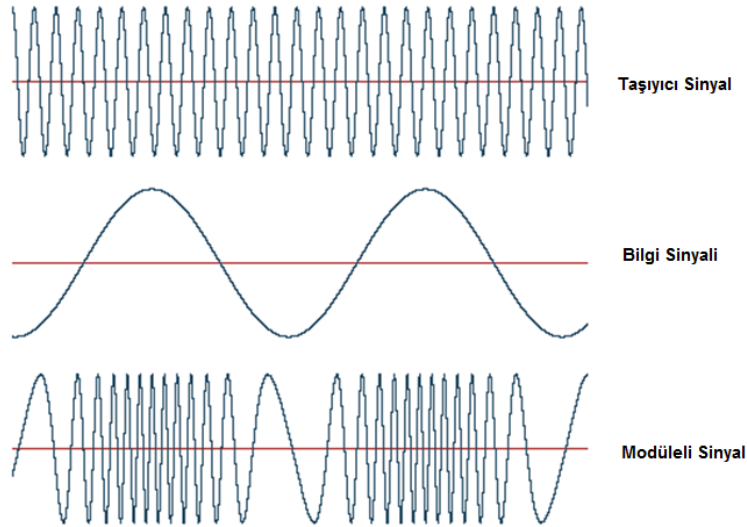
- Çift Yan Bant Modülasyonu (DSB),
- Tek Yan Bant Modülasyonu (SSB),
- Artık Yan Bant Modülasyonu (VSB), olmak üzere 3'e ayrılır. Bunlardan çift yan bant genlik modülasyonu ve tek yan bant genlik modülasyonu bir bilgi sinyalinin taşınması için kullanılan modülasyon yöntemidir. Radyo yayını, ses gibi bir bilgi sinyalinin gönderilmesi için kullanılırlar.

Çift yan bant genlik modülasyonu, modüleli sinyalin aynen iletilmesiyle elde edilir. Tek yan bant genlik modülasyonuysa modüleli sinyalin, alt ya da üst yan bantlarından birisinin filtrelenmesiyle elde edilir. Bu iki genlik modülasyonu arasındaki fark modüleli sinyal tek yan bant genlik modülasyonu ile daha uzak mesafelere iletilir.

Artık Yan Bant Genlik Modülasyonu ise birden fazla bilgi sinyalinin taşınması için kullanılan genlik modülasyon yöntemidir. Artık Yan Bant Genlik Modülasyonu, televizyon yayını gibi birden fazla bilgi sinyalinin bulunduğu yayın sistemlerinde kullanılırlar.

### 1.1.3. Frekans Modülasyonu (Frequency Modulation - FM)

Frekans modülasyonu, yüksek frekanslı taşıyıcı sinyal frekansının temel bant sinyalinin (bilgi sinyali) frekansına ve genliğine bağlı olarak değiştirilmesi işlemine denir (Şekil 1.8). Yüksek güçlü genlik modülasyonlu vericilerde sinyal gürültü oranı ( $SNR = \text{Sinyal Gücü} / \text{Gürültü Gücü}$ ), kimi zaman modüleli sinyalin aktarılmasında problem yaratacak kadar büyük olur. Oluşabilecek sinyal gürültü oranından kurtulmak için frekans modülasyonu geliştirilmiştir.



Şekil 1.8: Frekans modülasyonu sinyalleri

Frekans Modülasyonu (FM) vericiler 87,5 - 108 MHz arasında yayın yaparlar. Genlik modülasyonu (AM) vericileriye 6 - 18 KHz arasında kısa dalgadan, 150 - 350 KHz arasında uzun dalgadan ve 550 - 1600 KHz arasında orta dalgadan yayın yaparlar.

Frekans modülasyonunda da genlik modülasyonunda olduğu gibi yüksek frekanslı ve genliği değişmeyen bir taşıyıcı sinyal ile düşük frekanslı ve genliği değişen bilgi sinyali bulunur. Frekans modülasyonunda modüle edilmemiş taşıyıcı frekansına merkez frekans ya da sükûnet frekans denir. Örneğin, bir ses sinyalinin frekansı 3 KHz olup bu sinyali 90 MHz'lik taşıyıcıyla frekans modülasyonu yapılırsa oluşan modüleli sinyalin merkez frekansı 90 MHz'dir.

Modüleli sinyalin frekansı incelendiğinde bilgi sinyaline göre değişiklik gösterir. Modüleli sinyalin frekansı, bilgi sinyalinin artı (+) alternansta artarken, eksi (-) alternansta azalır. Modüleli sinyalde en yüksek frekans bilgi sinyalinin artı (+) maksimum değerinde, en düşük frekans ise bilgi sinyalinin eksi (-) maksimum değerinde elde edilir. Bilgi sinyalinin genliği sıfır ise modüleli sinyalin frekansı merkez frekansıdır.

Bilgi sinyaliyle modüle edilen taşıyıcı sinyal frekansı akordeon gibi açılıp kapanır. Modüleli sinyalin frekansı, bilgi sinyalinin genlik değişimine bağlı olarak merkez frekansının altında ve üstünde değerler alır. Taşıyıcı sinyalde meydana gelen frekans değişim miktarına frekans sapması (değişme miktarı, deviasyonu) denir. Bilgi sinyalinin genliği arttıkça taşıyıcı sinyalin frekans sapması da o oranda artar.

Genlik modülasyonunda 2 tane yan bant vardır. Frekans modülasyonunda ise her bilgi sinyali için bir çift yan bant oluşur. Frekans modülasyonu sonucunda, sonsuz sayıda yan bant vardır. Filtreler aracılığıyla genliği, taşıyıcı sinyalin genliğinin %1'inden daha düşük olan yan bantlar ihmal edilir. Modüleli sinyalin frekans sapmaları aynı zamanda üst ve alt yan bant frekanslarını oluşturur. Örneğin 3 KHz'lik bir ses sinyali ile modüle edilen taşıyıcı sinyalin frekans sapması  $\pm 3$  KHz olup bant genişliği 6 KHz'dir.

Askeri amaçla yayın yapan frekans modülasyonu vericilerde  $\pm 40$  KHz, sivil amaçlı yayın yapan frekans modülasyonu vericilerde ise  $\pm 75$  KHz'lik frekans sapması kabul edilmiştir. Frekans modülasyonu ile yayın yapan vericilerin bulunduğu ortamlarda kendi frekansları dışında komşu frekanslar olabilir. Bu frekanslar ile karışmaların önüne geçilebilmesi için  $\pm 75$  KHz frekans sapması  $\pm 100$  KHz yapılarak 25 KHz'lik bir emniyet bandı bırakılır. Böylece 150 KHz olan bant genişliği 200 KHz'dir. Askeri amaçlı frekans modülasyonu vericilerinde emniyet bant genişliği 10 KHz'dir.

Frekans modülasyonunda meydana gelen sapma genlik modülasyonunda modülasyon indisine denktir. Frekans modülasyonunda meydana gelen tam sapma genlik modülasyonunun %100 modülasyonuna denktir. Tam sapmanın aşılması durumunda aşırı modülasyon gerçekleşir. Örneğin 75 KHz'lik bir bilgi sinyalinin %50 modülasyon ile frekans sapması  $\pm 75 \text{ KHz} * 0,5 = \pm 37,5 \text{ KHz}$ , %20 modülasyon ile frekans sapması  $\pm 75 \text{ KHz} * 0,2 = \pm 15 \text{ KHz}$ 'dir. Genlik modülasyonunda olduğu gibi, frekans modülasyonunda da modülasyon yüzdesi, bilgi sinyalinin taşıyıcı sinyalinin yüzde kaçının modüle edebildiği ifade eder.



Genlik modülasyonu ile frekans modülasyonunun karşılaştırması Tablo 1.1'de verilmiştir.

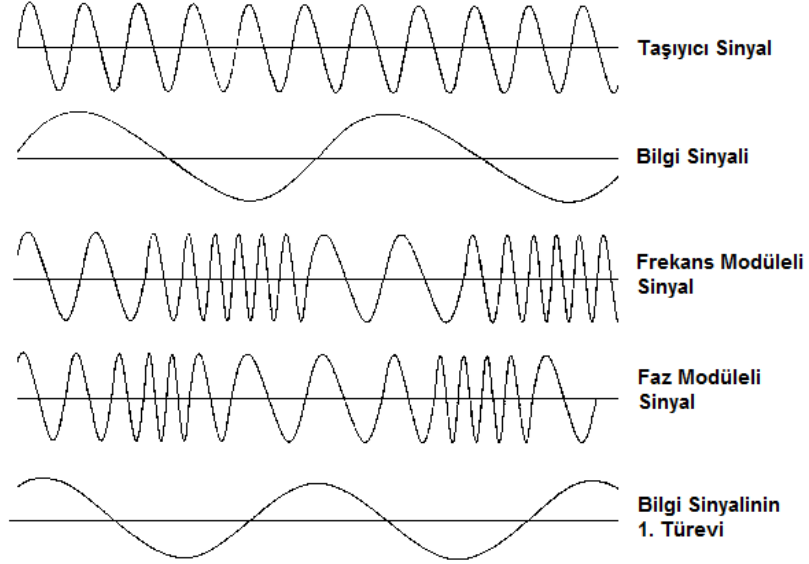
<b>GENLİK MODÜLASYONU</b>	<b>FREKANS MODÜLASYONU</b>
➤ Modülasyon anında taşıyıcının genliği değişir, frekansı ise sabittir.	➤ Modülasyon anında, taşıyıcının frekansı değişir, genliği ise sabittir.
➤ Modülasyon anında, taşıyıcının altında ve üstünde olmak üzere iki adet kenar bant oluşur.	➤ Modülasyon anında çok sayıda kenar bantları oluşur.
➤ Bant genişliği, modüle eden sinyal frekansının iki katına eşittir.	➤ Bant genişliği, modülasyon faktörüyle değişir.
➤ Genlik modülasyonu vericileri, güçlü vericilerdir.	➤ Frekans modülasyonu vericileri, genlik modülasyonu vericileri gibi çok güçlü değildir.
➤ Genlik modülasyonu ile ses sinyallerinin iletilmesinde önemli olan, sinyalin uzak mesafelerde dinlenmesidir. Bu yüzden ses kalitesi düşüktür.	➤ Frekans modülasyonunda ses sinyallerinin iletilmesinde önemli olan sesin bozulmadan en uzak mesafelere gönderilmesidir. Bu nedenle sesin kalitesi yüksektir, stereo yayın yapılabilir.
➤ Genlik modülasyonlu yayınları almak için ayrıca bir antene gerek yoktur.	➤ Frekans modülasyonu yayınlarını almak için bir antene ihtiyaç vardır.
➤ Genlik modülasyonu alıcılarının ara frekansı 455 KHz'dir.	➤ Frekans modülasyonu alıcılarda ara frekans değeri 10,7 MHz'dir.
➤ %100 modülasyonda modülasyon faktörü 1'e eşittir.	➤ Modülasyon faktörü genellikle 1'den büyüktür.
➤ Modülasyon sinyal frekansının yükselmesi, taşıyıcı dalga genliğinin çok hızlı değişmesine neden olur.	➤ Modülasyon sinyal frekansının yükselmesi, taşıyıcı frekansının değişme hızını artırır.
➤ Bilgi sinyalinin genliğinin artması, taşıyıcı dalga genliğinin çok yükselmesine neden olur.	➤ Bilgi sinyalinin genliğinin artması, taşıyıcının frekans değişme sınırını genişletir.

**Tablo 1.1: Genlik modülasyonu ile frekans modülasyonunun karşılaştırması**

#### **1.1.4. Faz Modülasyonu (Phase Modulation - PM)**

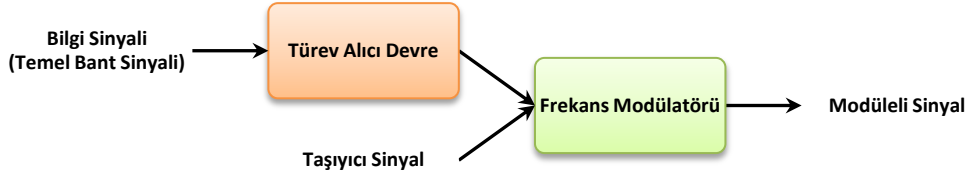
Faz modülasyonu, yüksek frekanslı taşıyıcı sinyal fazının temel bant sinyalinin (bilgi sinyali) frekansına ve genliğine bağlı olarak değiştirilmesi işlemine denir (Şekil 1.9). Faz modülasyonu frekans modülasyonuna benzer. Faz modülasyonunda bilgi sinyalinin frekansı değiştiğinde taşıyıcının fazı, bilgi sinyalinin fazı değiştiğinde taşıyıcının frekansı değişir. Bu özelliği ile frekans modülasyonu ile faz modülasyonu birbirine çok benzerler. Frekans modülasyonunda bilgi sinyaline uygun olarak taşıyıcı sinyalin frekansı değiştirilirken frekans modülasyonunda bilgi sinyaline uygun olarak taşıyıcı sinyalin fazı değiştirilir. Kısaca direkt

frekans modülasyonu indirekt faz modülasyonuna, indirekt frekans modülasyonu direkt faz modülasyonudur.



**Şekil 1.9: Faz ve frekans modülasyonu sinyalleri**

Faz modülasyonu işleminde; bilgi sinyalinin türevi alınarak taşıyıcı sinyalle birlikte frekans modülatörü ile modüle edilir (Şekil 1.10).



**Şekil 1.10: Faz modülasyonu blok şeması**

Bir sinüs sinyalinin türevi kosinüs sinyalidir. Bilgi sinyali bir sinüs sinyali ise taşıyıcı sinyal kosinüs sinyali ile modüle edilir. Faz modülatörünün frekans modülatörü ile arasındaki tek fark frekans modülatöründe frekans sapması olabilirken faz modülatöründe faz sapması olmaz.

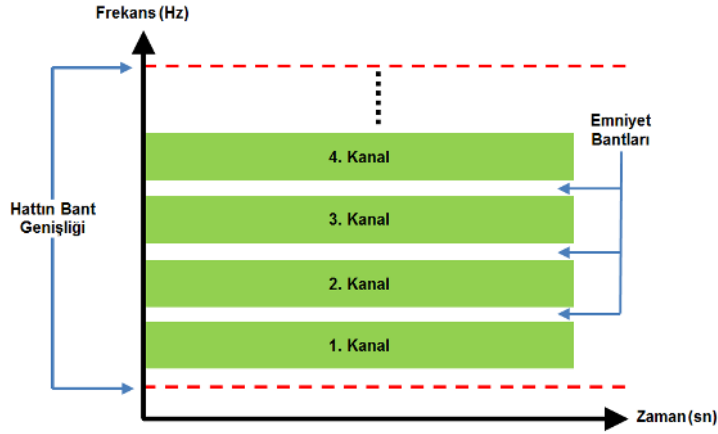
## 1.2. Çoklama (Multiplexing)

Birden fazla bilgi sinyalinin birleştirilerek tek bir sinyal haline getirilmesine çoklama (multiplexing) denir. Çoklama yapıma işleminin temelinde bir bilgi kanalından birden fazla bilginin aktarılmasıdır. Aktarılacak bilgiler analog ya da dijital olabilir. Telefon sistemlerinde konuşmalar için kabul edilen uluslararası bant genişliği 300 Hz – 3,4 KHz'dir. Her bir konuşma tek tek iletilmesi hem pahalı, hem de pratikte zordur.

Bu nedenle çoklama işlemi kullanılarak bir hat üzerinden birden fazla telefon hattı iletilir. Çoklama tekniğinde frekans bölmeli ve zaman bölmeli olmak üzere iki yöntem kullanılır.

### 1.2.1. Frekans Bölmeli Çoklama (Frequency Division Multiplexing - FDM)

Frekans bölmeli çoklama tekniğinde bant genişliği iletilecek bilgi sinyali sayısına göre değişir. Telefon sistemlerinde kullanılan bant genişliği 300 Hz – 3,4 KHz olmasının rağmen frekans bölmeli çoklama tekniğinde her kanal için 4 KHz'lik bir bant ayrılır. Bunun nedeni komşu kanallardaki bilgilerin birbiri ile karışmaması için 600 Hz'lik bir emniyet bandı bırakılmıştır. (Şekil 1.11)

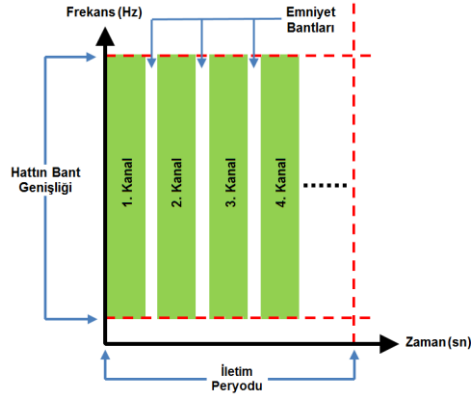


Şekil 1.11: Frekans bölmeli çoklama (FDM)

Telefon sistemlerinde her bilgi kanalı 4 KHz'lik ardışık farkla artan taşıyıcı frekansı ile modüle eder. Örneğin 4 kanallı bir çoklayıcıda 1.kanalın taşıyıcı frekansı 60 KHz olsun. Bu durumda 2.kanalın taşıyıcı frekansı  $60+4=64$  KHz, 3.kanalın taşıyıcı frekansı  $64+4=68$  KHz, 4.kanalın taşıyıcı frekansı  $68+4=72$  KHz olur. Bu yöntem çoğunlukla analog haberleşme sistemlerinde kullanılır.

### 1.2.2. Zaman Bölmeli Çoklama (Time Division Multiplexing - TDM)

Zaman bölmeli çoklama tekniğinde her kanala, düzenli zaman aralıklarında ayrı ayrı bant genişliğinin tanımlanır ve bu zaman aralığında o kanala ait bilgiler aktarılır. Zaman aralıkları, hattı paylaşan kanal sayısına bağlı olarak değişir. Frekans bölmeli çoklama yönteminde olduğu gibi komşu kanalların birbirleriyle karışmaması için zaman bölmeli çoklama yönteminde de emniyet bantları vardır. Sistemde bulunan tüm kanalların iletilmesi için geçen zamana İletim Periyodu (Time Slot) denir. (Şekil 1.12)



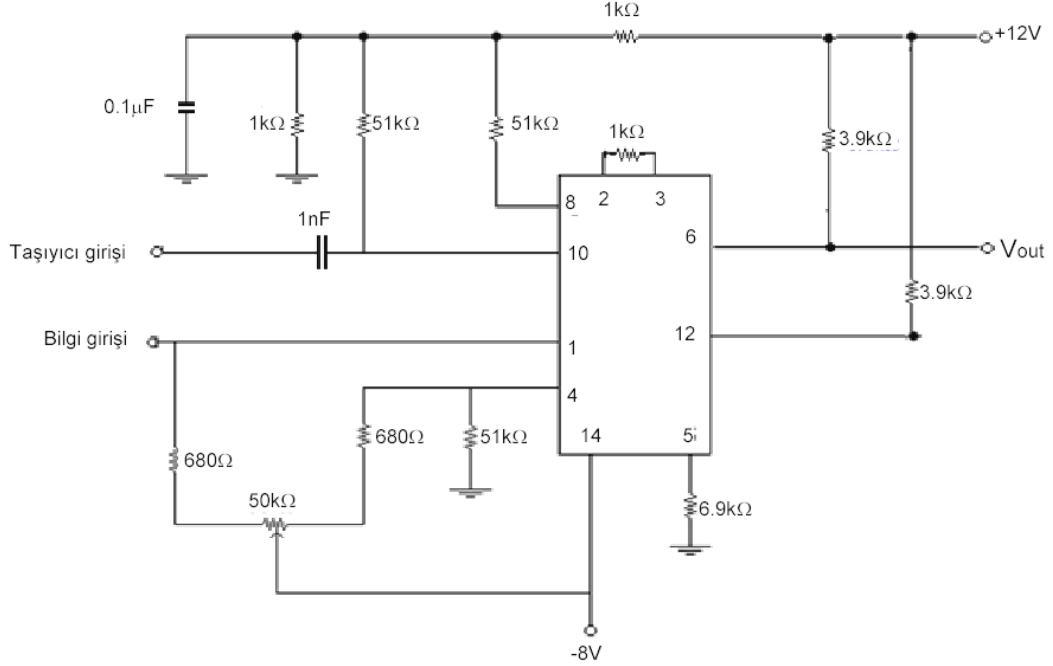
**Şekil 1.12: Zaman bölmeli çoklama (TDM)**

Vericiden gönderilen sinyal alıcıda tekrar ayrı ayrı kanallara ayrıştırılır ve her bir kanal bir filtreden geçirilerek kesintiye uğramış kısımlar orijinaline uygun şekilde doldurulur. Ancak alıcıda orijinaline uygun sinyalin oluşabilmesi için verici tarafında alınan örnekleme sayısı önemlidir. Aksi takdirde alıcıda oluşan sinyal orijinaline uygun olmaz. İletim periyodu (örnekleme teoremi), kanal frekanslarının en yüksek frekans değerinin en az iki katı değerinde olmalıdır. Bu sayede alıcıda oluşan sinyal orijinaline yakın olur. Bu yöntem çoğunlukla sayısal (dijital) haberleşme sistemlerinde kullanılır.

Zaman bölmeli çoklama yönteminin frekans bölmeli çoklama yöntemine göre üstünlükleri şunlardır;

- Kanal sayısı daha fazladır.
- Gürültü oranı daha düşüktür.
- Güvenilirliği daha yüksektir.
- Fiziki boyutları daha küçüktür.
- Maliyeti daha düşüktür.
- İşletme kolaylığı sağlar.

## UYGULAMA FAALİYETİ



Şekil 1.13: Genlik modülasyonu devresi

- Entegre** : 1 adet MC 1496 (LM 1496)  
**Direnç** : 3 adet 51KΩ, 2 adet 680Ω, 2 adet 3.9KΩ, 3 adet 1KΩ, 1 adet 6.9KΩ,  
1 adet 11.5KΩ, 1 adet 10 KΩ,  
**Potansiyometre** : 1 adet 50KΩ  
**Kondansatör** : 1 adet 1nF, 4 adet 100 nF  
**Diyot** : 1 adet 1N4148  
**Güç kaynağı** : 1 Adet +12V , -8V çıkışlı  
**Sinyal üretici** : 2 adet  
**Osiloskop** : 1 Adet

İşlem Basamakları	Öneriler
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Şekil 1.13'teki devreyi bord üzerine kurunuz.</li> <li>➤ Taşıyıcı sinyalin üretileceği sinyal jeneratörünün çıkış frekansını 500 KHz, genliği tepeden tepeye 1V olan sinüzoidal işaret olacak şekilde ayarlayınız.</li> <li>➤ Bilgi sinyalin üretileceği sinyal jeneratörünün çıkış frekansı 200 Hz, genliği tepeden tepeye 0,4 V sinüzoidal işaret olacak şekilde ayarlayınız</li> <li>➤ Taşıyıcı ve bilgi sinyallerini devre girişine uygulayınız.</li> <li>➤ Çıkış sinyalini (Modüleli sinyali) osiloskop yardımıyla inceleyiniz.</li> <li>➤ İncelediğiniz işareti çiziniz.</li> <li>➤ Devrede bulunan potansiyometrenin direnç değerini değiştirerek çıkış işaretindeki değişimi gözlemleyiniz.</li> <li>➤ Meydana gelen değişimin nedenini açıklayınız.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Gerilim uygulamadan önce (-8V) , (+12V) ve toprak bağlantılarını kontrol edin.</li> <li>➤ Sinyal jeneratörlerinin çıkış sinyallerine dikkat edin. Sinyallerin sinüzoidal olmasına ve osiloskop probunun x1 konumunda olmasına dikkat edin.</li> <li>➤ Modülasyonlu işaret entegrenin 6. ucundan görülecektir.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Haberleşme deney setinde bulunan genlik, frekans ve faz modülasyonu modüllerini alınız.</li> <li>➤ Her bir modülasyon işlemi için gerekli modül deney seti kitapçığında belirtildiği gibi kurunuz.</li> <li>➤ Her modül çıkışını osiloskopa bağlayarak çıkış dalga şekillerini ayrı ayrı çiziniz.</li> <li>➤ Deney setinin çoğullama (Multiplexing) modülünü alınız.</li> <li>➤ Modülü deney seti kitapçığında belirtildiği gibi kurarak devreye enerji veriniz.</li> <li>➤ Verilen iki bilginin iki farklı çoğullama teknolojisine göre iletimini inceleyip sonucunu bir rapor hâlinde veriniz.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Deney setinde deney yaparken her uygulama için ayrı bir rapor hazırlayınız.</li> <li>➤ Deney setinin uygulama kitapçığına göre uygulamaları yapınız.</li> </ul>

## ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Aşağıdaki modülasyon çeşitlerinden hangisi analog modülasyon **değildir**?  
A) Genlik Modülasyonu (AM)  
B) Frekans Modülasyonu (FM)  
C) Faz Modülasyonu (PM)  
D) Darbe Kod Modülasyonu (PCM)
2. Aşağıdakilerden hangisi modülasyonun yararlarından **değildir**?  
A) Yayılımı kolaylaştırır.  
B) Gürültü ve bozulmayı azaltır.  
C) Anten boyutu büyür.  
D) Kanal ayrımı sağlar.

Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerlere doğru sözcükleri yazınız.

3. Alçak frekanslı bilgi sinyalleriyle yüksek frekanslı taşıyıcı sinyallerin elektronik devre elemanı içinde karıştırılarak, taşıyıcı sinyalinin altında ve üstünde olmak üzere iki tarafında yeni frekanslar elde etme işlemine ..... denir.
4. Modülasyonlu dalga, AM sinyali oluşturan tüm frekansları içermekte olup bilgiyi sistemde taşımakta kullanıldığı için ..... olarak adlandırılır.
5. Günümüzde, ticari amaçla yayın yapan FM vericiler ..... MHz arasında yayın yaparlar.
6. Taşıyıcı frekansının, modüle eden sinyalin (+) ve (-) tepe değerlerinin sebep olduğu frekans değişme miktarına ..... denir.
7. Frekans modülasyonunda modülasyon yüzdesi tam sapma, genlik modülasyonundaki %100 modülasyonunun karşılığıdır. Tam sapmanın aşılması durumunda ..... gerçekleşir.
8. Bir iletim hattının birçok telefon konuşma kanalı tarafından aynı anda bölüşümlü olarak kullanılmasına ..... denir.
9. Frekans bölmeli çoklama tekniğinde iletim hattının toplam bant genişliği, her bir konuşma kanalı için ..... bölümlere ayrılır.
10. Çoklama (çoğullama) ..... ve ..... olmak üzere ikiye ayrılır.

---

## **DEĞERLENDİRME**

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz.



# ÖĞRENME FAALİYETİ-2

## AMAÇ

Darbe kod modülasyonu sistemlerinin çalışma prensibini öğrenerek haberleşme deney seti üzerinde uygulamalar yapabileceksiniz.

## ARAŞTIRMA

- Haberleşmede kodlama sistemlerinin önemini araştırınız.
- Örnekleme teoremini araştırınız.
- Kuantalama'yı araştırınız.
- Kuantalama haberleşmede neden kullanılır? Araştırınız.

Araştırma işlemleri için internet ortamını ve haberleşmeyle ilgili kitapları kullanınız, çevrenizde bulunan telekomünikasyon şirketlerinin kullandığı haberleşme tekniğini inceleyerek ön bilgi ediniz.

## 2. DARBE MODÜLASYONU (PULSE MODULATION)

Bazı sistemlerde dönüştürücü, sistemin her iki ucundaki insanlar veya makineler tarafından anlaşılan ve önceden belirlenmiş kod darbeleri veya değerleri şeklinde elektronik sinyaller üretir. Bu tip sinyallere *sayısal sinyal (dijital sinyal)* adı verilir.

Analog haberleşme bilgi sinyalinin sinüzoidal taşıyıcı bir sinyal ile modüle edilmesidir. Sayısal haberleşme ise bilgi sinyalinin dikdörtgen veya kare dalga bir sinyal (darbe katranı) ile modüle edilmesidir. Sayısal haberleşme, analog haberleşmede olduğu gibi bilgi sinyali taşıyıcı sinyalin parametrelerinde değişiklik yapar. Taşıyıcı darbe katranı parametrelerinin bilgi sinyaline göre değiştirilmesi işlemine *darbe modülasyonu* denir.

Darbe modülasyonu avantajları şunlardır:

- Darbe modülasyonunda iletilen güç, yalnız kısa darbeler içinde yoğunlaşmıştır. Sürekli dalga modülasyonundaki gibi sürekli olarak dağılmamıştır. Bu özellik tasarımcılara önemli kolaylıklar sağlamaktadır. Örneğin, yüksek güçlü mikrodalga tüpleri ve lazerler darbe biçiminde çalışmaya elverişli elemanlardır.

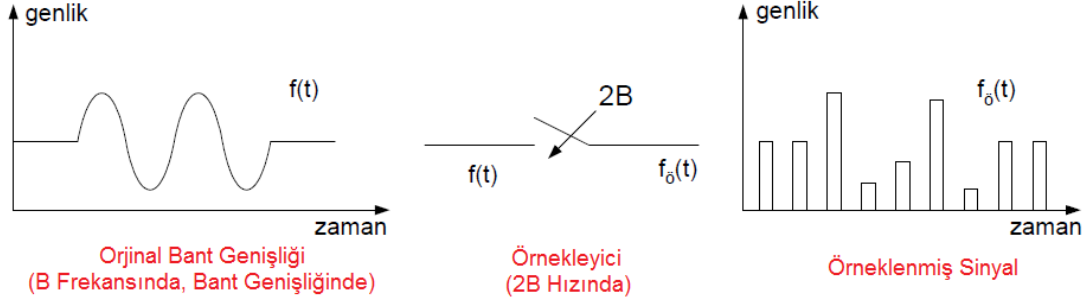
- Darbeler arasındaki boşluklar, diğer mesajlara ait örneklerle doldurularak tek bir haberleşme sistemi üzerinden birden fazla mesaj işaretinin iletilmesi sağlanabilir.
- İşlemler ayrık türden işaretlerle yapıldığı için son yıllarda tümleşik devre teknolojisindeki büyük gelişmeler, sayısal haberleşme devrelerinin gerçekleşmesini kolaylaştırmıştır.
- Sayısal işaret işleme tekniklerindeki ilerlemeler, sayısal işaretlerin daha yaygın kullanılmasını sağlamıştır.
- Bazı darbe modülasyonlu sistemler gürültü ve diğer bozucu işaretler açısından, sürekli dalga haberleşmesinden daha güvenilir bulunmaktadır.

Darbe Modülasyonu Dezavantajları şunlardır:

- Analog bir bilgi sinyalinin, sayısal olarak iletilebilmesi için kullanılan bant genişliği, sinyalin analog olarak iletilmesi için kullanılacak bant genişliğinden daha fazladır.
- Analog sinyaller, iletimden önce sayısal kodlara, alıcıda ise tekrar analog biçime dönüştürülmelidir.
- Sayısal haberleşmede, vericiyle alıcının saat darbeleri arasında duyarlıklı senkronizasyon gerekir.
- Sayısal haberleşme sistemleri, günümüzde kullanılmakta olan analog haberleşme sistemi donanımlarıyla uyumlu değildir.

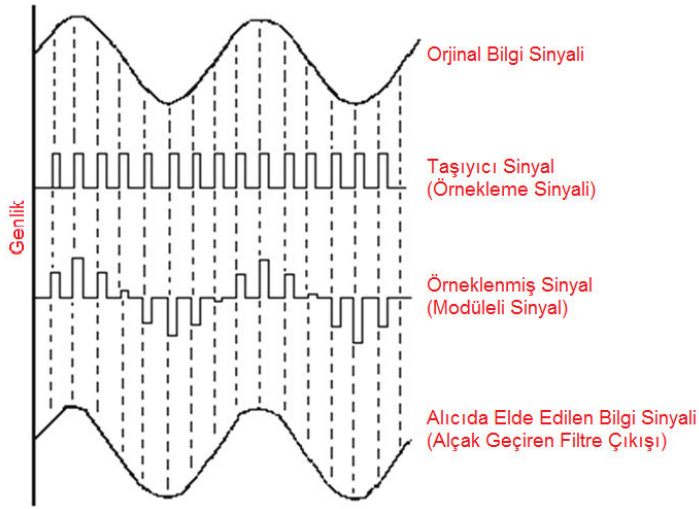
## 2.1. Örnekleme ve Sinyalin Tekrar Elde Edilmesi

Analog bilgi sinyalinin sayısal sinyale çevrilerek iletilmesi için kullanılan teoreme *örnekleme teoremi* denir (Şekil 2.1). B bant genişliğine sahip analog bilgi sinyali,  $2B$  hızıyla örneklenecek sayısal sinyale çevrilir. Oluşan sinyal, iletim hattına verilirse alıcıda orijinal bilgi sinyali elde edilebilir. Bu teoreme, *Shannon Örnekleme Teoremi* veya *Nyquist Oranı* da denir.



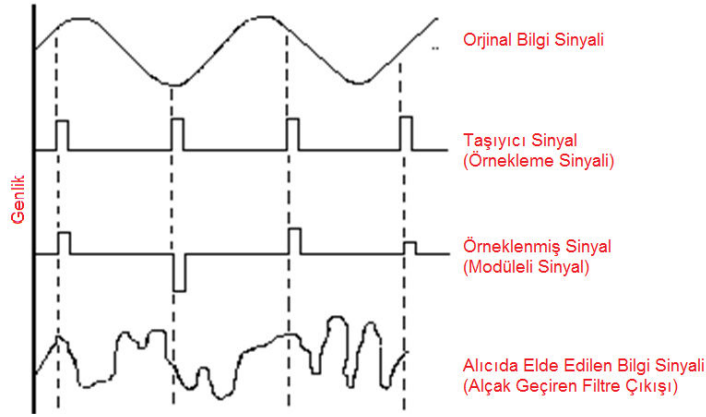
**Şekil 2.1: Örnekleme teoremi**

Örnekleme frekansı arttıkça alıcıda elde edilen sinyal gürültüsüz veya çok az gürültülü olarak elde edilir. Telefon sistemlerinde konuşmalar için kabul edilen uluslararası bant genişliği 300 Hz - 3,4 KHz'dir. Ancak Telefon sistemlerinde her bir kanal için emniyet bantlarıyla birlikte 4 KHz bant kullanırlar. 4 KHz (4000 Hz)'lik bant genişliğine sahip bir bilgi sinyalinin darbe modülasyonu örnekleme oranı saniyede 8000 ( $4000 \cdot 2$ ) adettir.



**Şekil 2.2: Darbe modülasyonunda örnekleme ve sinyalin tekrar elde edilmesi**

Örnekleme sayısı bant genişliğinin iki katından daha az olmasından kaçınılmalıdır. Aksi takdirde alıcıda elde edilen bilgi sinyalinin distorsiyonuna (bozulmasına) neden olur. Şekil 2.3'de yetersiz sayıda örnekleme sonucunda alıcıda oluşan sinyal görülmektedir. Yetersiz örnekleme sonucunda alıcıda yeniden elde edilen sinyalin şekli, orijinal bilgi sinyaline benzememektedir.



Şekil 2.3: Yetersiz sayıda örneklenmiş sinyal

Örneklenmiş bir bilgi sinyalinin, alıcıda bir alçak geçiren filtreyle süzülmesi ve distorsiyonsuz orijinal sinyalin bir benzerinin yeniden oluşturulmasına sinyalin tekrar elde edilmesi denir. Bilgi sinyalinin tekrar elde edilmesinde iki ana faktör vardır. Bunlardan biri örnekleme sinyal frekansının (örnekleme sayısının) bilgi sinyalinin frekansının iki katından daha büyük olmasıdır. Diğeryse alçak geçiren filtrenin kesim frekansının, bilgi işaretinin maksimum frekansının geçebileceği kadar yüksek ve örnekleme sinyal frekansının yan bant frekanslarının bastırılabilceği kadar düşük olması gerektiğidir.

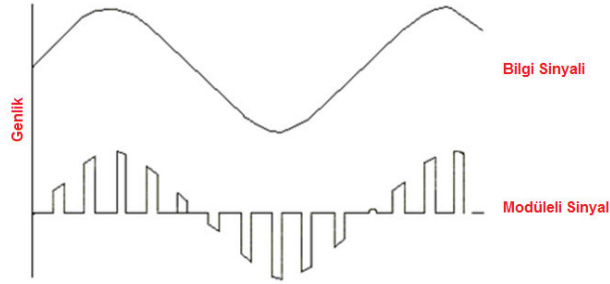
## 2.2. Darbe Genlik Modülasyonu (Pulse Amplitude Modulation - PAM)

Dikdörtgen veya kare dalga (dikdörtgen katranı) taşıyıcı sinyal genliğinin bilgi sinyalin genliğine bağı olarak değıştirilmesine “*Darbe Genlik Modülasyonu*” (*Pulse Amplitude Modulation - PAM*) denir. Darbe genlik modülasyonuna ait blok şema Şekil 2.4’de görölmektedir.



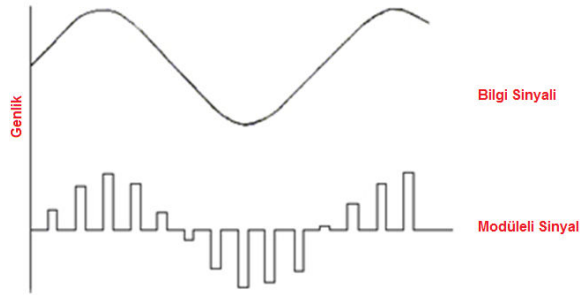
Şekil 2.4: Darbe genlik modülasyonuna blok şeması

Darbe genlik modülasyonu, taşıyıcı sinyal ile bilgi sinyalinin çarpımıdır. Bu darbe genlik modülasyonu yöntemine tabi örnekleme yöntemi denir. (Şekil 2.5)



**Şekil 2.5: Tabii örneklenmiş darbe genlik modülasyon sinyali**

Tabii örneklenmiş darbe genlik modülasyonu yöntemi haricinde düz tepe (flat-top) örneklenmiş darbe genlik modülasyonu yöntemi de vardır. Bu yöntemde darbeler örnekleme süresince bilgi sinyalinin genliğini izlemez. Örnekleme süresinde tek bir genlik değerine sahiptir. Bu genlik değeri örnekleme aralığında (genellikle başlangıçta) özel bir noktadaki bilgi sinyalini temsil eden dikdörtgen darbelerden oluşur. (Şekil 2.6)



**Şekil 2.6: Düz tepe örneklenmiş darbe genlik modülasyon sinyali**

Düz tepe örneklenmiş darbe genlik modülasyon sinyalinden elde edilen bilgi sinyali, tabii örneklenmiş darbe genlik modülasyon sinyalinden elde edilen bilgi sinyaline göre daha fazla distorsiyonludur. Örneklenmiş sinyallerde darbe genişliği ( $W$ ), örnekleme periyoduna ( $T$ ) göre azaldıkça bu distorsiyon da azalır. Darbe genişliği büyük olsa da yeniden elde edilen bilgi sinyali bir filtre devresinden geçirilmek suretiyle distorsiyon problemi giderilebilir.

Modüleli sinyalden orijinal bilgi sinyalini yeniden elde etme işlemine *demodülasyon* denir. Bu işlemi yapan devrelere de *demodülatör* denir. Darbe genlik modülasyonunda demodülasyon işlemini demodülatör veya sezme devresiyle gerçekleştirilir. Bu devre, orijinal bilginin parçalarını temsil eden örnekleme palslerini, orijinal bilgi sinyalinin distorsiyonsuz bir benzerine çevirmelidir. Şekil 2.7'de darbe genlik modülasyonu sezme devresinin blok diyagramını göstermektedir.



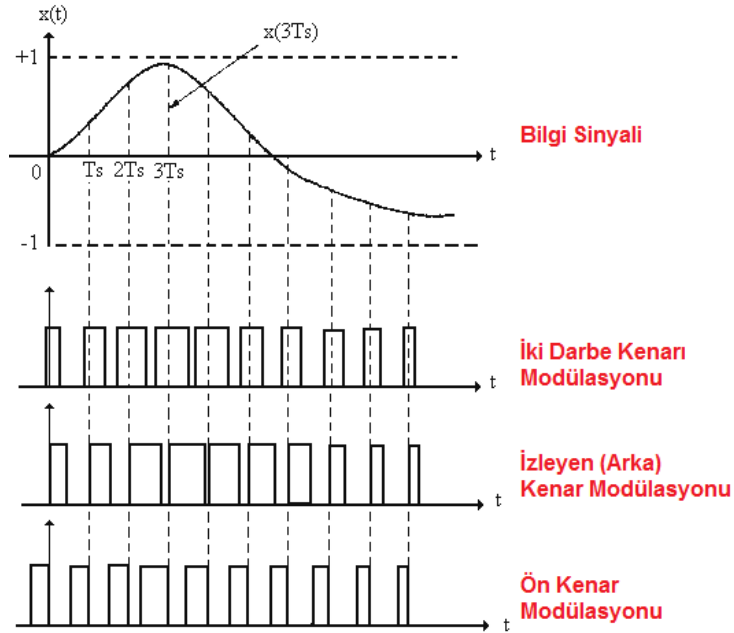
**Şekil 2.7: Darbe genlik modülasyonu demodülatör blok diyagramı**

Filtre çıkışında yeniden elde edilen bilgi sinyalinin gerçek genliği, filtredeki enerji kaybı sebebiyle orijinal bilgi sinyaline göre oldukça küçüktür. Filtrelenen sinyaldeki enerji seviyesini kabul edilebilir bir seviyede tutmak için örnek alma ve tutma devreleri kullanılır.

### 2.3. Darbe Genişlik Modülasyonu (Pulse Width Modulation - PWM)

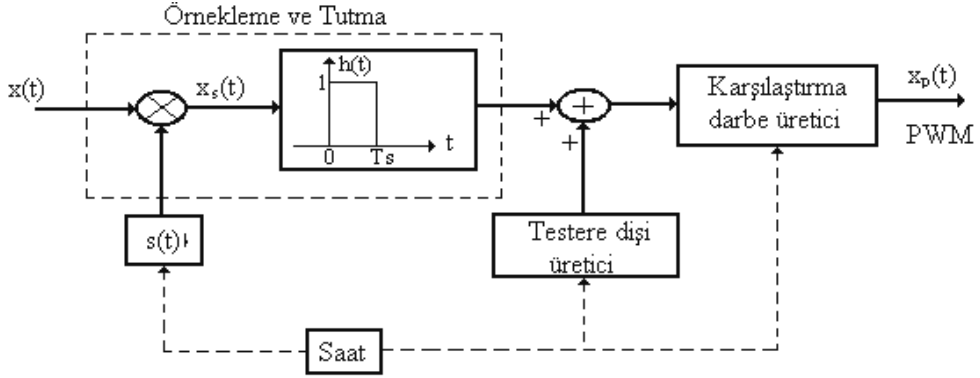
Dikdörtgen veya kare dalga (dikdörtgen katranı) taşıyıcı sinyalin darbe genişliği ( $W$ ) bilgi sinyalin genliğine bağlı olarak değiştirilmesine *Darbe Genişlik Modülasyonu (Pulse Width Modulation - PWM)* veya *Darbe Süresi Modülasyonu (Pulse Duration Modulation - PDM)* denir. Darbe genlik modülasyon sinyalinin zayıflama ve parazit gibi bozulmalarına karşı darbe genişlik modülasyonu geliştirilmiştir.

Darbe genişlik modülasyonunda örnekleme sinyal süresinin genişliği ön, arka veya her iki kenarı birden olmak üzere üç farklı biçimde değiştirilebilir. (Şekil 2.8)



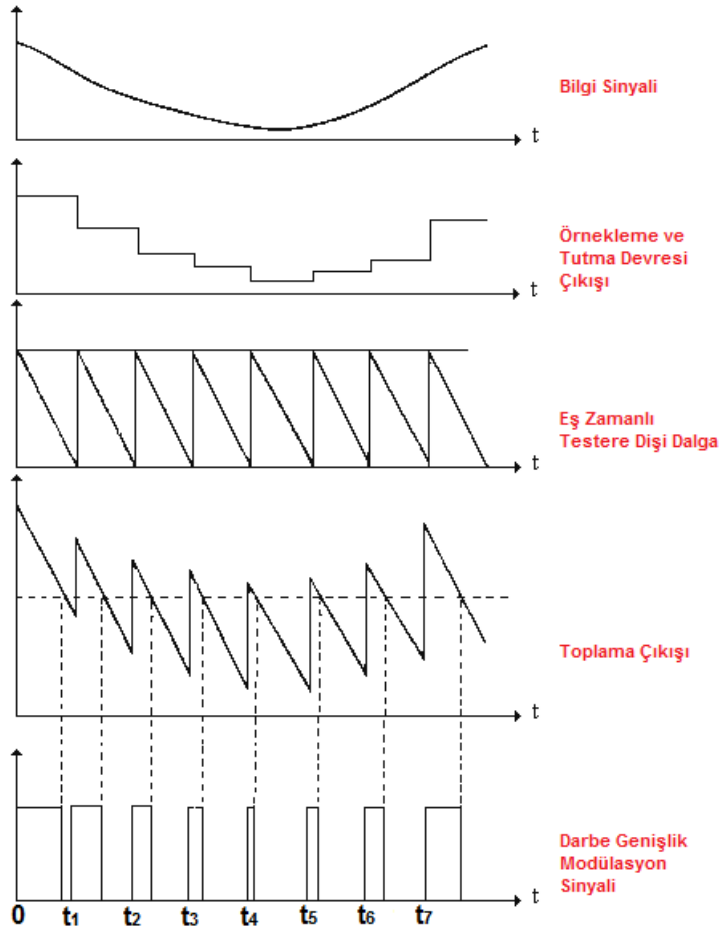
**Şekil 2.8: Darbe genişlik modülasyonu dalga biçimleri**

Yapılan çalışmalar ve deneyler sonucunda örnekleme sinyalinin dikdögen veya kare dalga sinyali olması yerine üçgen olması (testere dişi) modülasyon işlemini kolaylaştırdığı görülmüştür. Testere dişi darbe sinyalinde dikkat edilmesi gereken en önemli şey, darbe sinyali genliğinin bilgi sinyali genliğinden büyük olması gerekir. Şekil 2.9’da darbe genişlik modülasyonu blok diyagramı görülmektedir.



**Şekil 2.9: Darbe genişlik modülasyonu blok diyagramı**

Testere sinyalinin gerilimi, genlikten zamana olan dönüşümün temelini oluşturmaktadır. Karşılaştırıcı ise yüksek kazançlı ve iki durumlu bir kuvvetlendiricidir. Eğer giriş işareti, referans seviyesinden büyük ise bir durumda (verilen bir gerilimde), referans seviyesinden küçükse diğer bir durumda (diğer gerilimde) olur (Şekil 2.10).



Şekil 2.10: Darbe genişlik modülasyon işaretinin üretilmesi

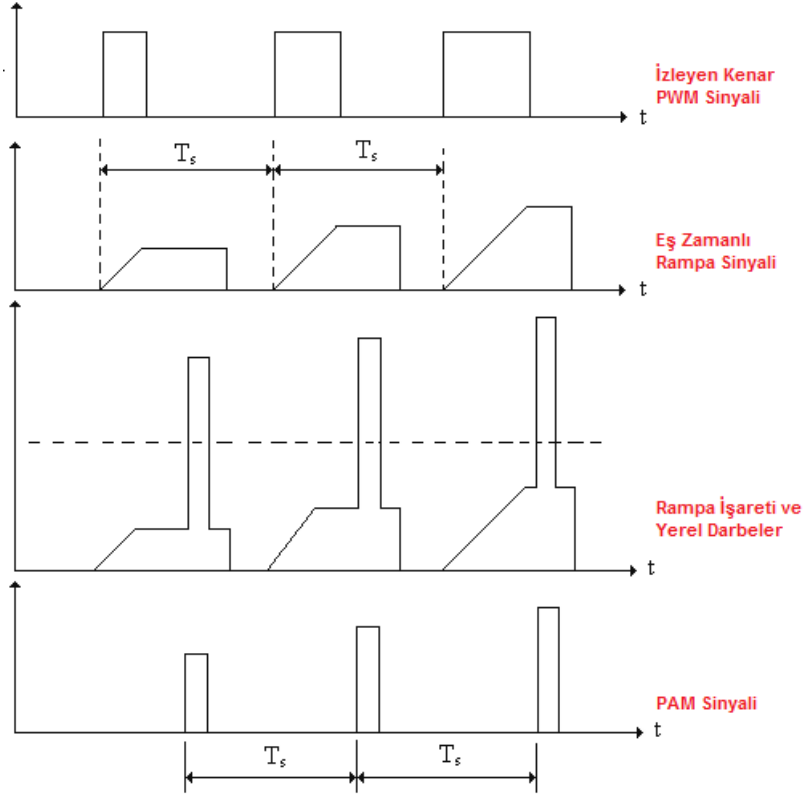
PWM sinyali iki yöntemle bilgi sinyaline dönüştürülebilir:

- PWM dalgası bant genişliği  $W$  olan bir alçak geçiren filtreden geçirilir. PWM dalgasının harmonikleri elde edilir. Ancak bu yöntemin önemli bir sakıncası, demodülasyon sonucu elde edilen  $x(t)$  mesaj işaretinin distorsiyonlu olmasıdır. Bunun sebebi, spektrumdaki harmoniklerin yan bantların kuyruklarının temel banda kadar uzanmasından kaynaklanmaktadır.
- PWM dalgası önce PAM dalga biçimine dönüştürülür. Sonra, PAM dalgası alçak geçiren bir filtreden geçirilerek  $x(t)$  mesaj işareti elde edilir.

İkinci yöntemde, PWM sinyalleri ön kenarı ile bir lineer rampa işareti üretilir. Bu rampaların yükselişi diğer darbenin düşen kenarında son bulur. Bu nedenle rampaların yüksekliği darbe süresiyle orantılıdır. Rampanın almış olduğu maksimum değer belirli bir süre daha bu değerde kalır. Demodülatörde genliği ve periyodu sabit, zamanlama olarak rampanın sabit değerine oturacak biçimde oluşturulmuş bir sinyal üretilir. Bu sinyal ile



rampa sinyali toplanarak birleştirilir. Bu işlem sonucunda elde edilen sinyal bir kıyıcı yardımıyla belirli bir eşik değeri altında kalan kısım kırılır. Bu işlem sonucunda PAM (Darbe Genlik Modüleli) sinyal elde edilir. (Şekil 2.11)



Şekil 2.11: PWM sinyalinin PAM sinyaline dönüştürülmesi

## 2.4. Darbe Konum Modülasyonu (Pulse Position Modulation - PPM)

Dikdörtgen veya kare dalga (dikdörtgen katranı) taşıyıcı sinyalin başlangıç konumunu bilgi sinyalin genliğine bağlı olarak değiştirilmesine *Darbe Konum Modülasyonu (Pulse Position Modulation - PPM)* denir.

Darbe konum modülasyonu ile darbe genişlik modülasyonu birbirine çok benzerler. Darbe genişlik modülasyon sinyalinde, alıcıda yüksek parazitler karşısında elde edilen sinyalde bozulmalar olmaktadır. Bu bozulmalardan kurtulmak için darbe konum modülasyonu geliştirilmiştir. Darbe konum modülasyonu, izleyen kenar darbe genişlik modülasyon sinyali kullanılarak elde edilir.

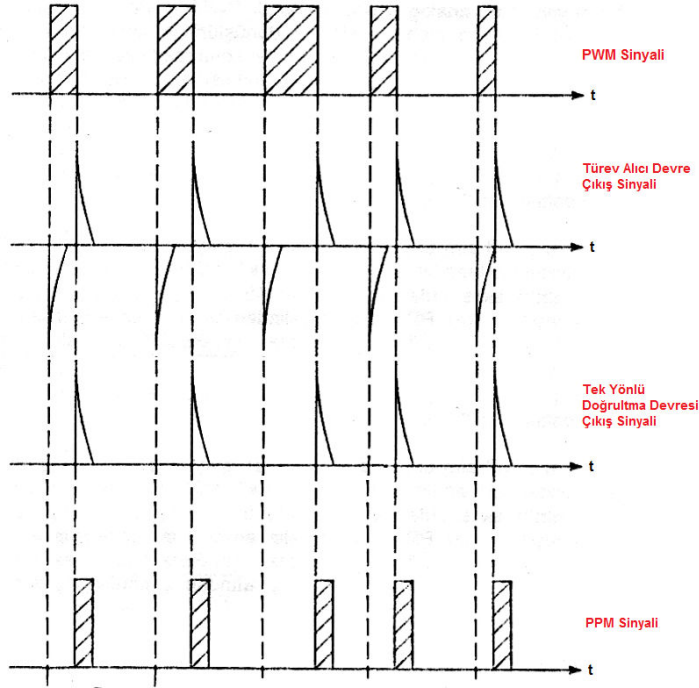
Darbe genişlik modülasyon sinyalinin tekrar modüle edilmesi gereksiz gibi görünse de diğer modülasyon türlerine (PAM ve PWM) göre parazitlere karşı korunmada daha iyidir. Çifte modülasyon işlemi darbe konum modülatörü ve demodülatörünün maliyetini artırır.

İzleyen kenar darbe genişlik modülasyon sinyalinden darbe konum modülasyon işlemine ait blok şema Şekil 2.12’de gösterilmiştir.



**Şekil 2.12: Darbe konum modülasyonu blok diyagramı**

Blok şemaya göre, bilgi sinyali önce PWM (darbe genişlik modülasyonu) sinyaline dönüştürülür. Elde edilen PWM sinyali Türev alıcı bir devreye uygulanır. Türev alıcı devre, PWM sinyal palselerinin başlangıç noktaları için eksi impuls (darbe), arka kenarları için artı impuls (darbe) üretir. Her bir çift impuls arasındaki süre, üretildikleri PWM sinyalinin genişliğine eşittir. Türev alıcıda elde edilen sinyal tek yönlü (yarım dalga) doğrultma devresine uygulanarak oluşan eksi palsler yok edilir. Tek yönlü doğrultma devresi çıkışı sinyal biçimlendirici ile darbe katranına dönüştürülerek PPM sinyali elde edilir (Şekil 2.13).



**Şekil 2.13: PWM sinyalinden PPM sinyalinin elde edilmesi**

Sistemin  $t_s$  peryotlu olduğu düşünülürse, darbe konum modülasyonunda dikdörtgen katranların konumu bilgi sinyalinin değerini göstermektedir. Darbe genlik modülasyonunda iletilen genlik değerinden ve darbe genişlik modülasyonunda iletilen sinyal sürelerinden dolayı harcanan gücü, sadece konum bilgisinin iletilmesi nedeniyle harcamaz. PPM’u, PAM ve PWM’a göre daha düşük güçlerde çalışır.

Demodülasyon işleminden modülasyon işleminin tam tersidir. Yani PPM sinyalinden önce PWM sinyali elde edilir. Elde edilen PWM sinyalinden PAM sinyali elde edilir.

## 2.5. Darbe Kod Modülasyonu (Pulse Code Modulation-PCM)

Darbe genlik modülasyonu (PAM), darbe genişlik modülasyonu (PWM) ve darbe konum modülasyonu (PPM) yöntemlerine aynı zamanda analog darbe modülasyon yöntemleri de denir. Bilgi sinyalinin kodlanmış bir grup dijital (keskin genlik) pulslar tarafından temsil edilmesiyle gerçekleştirilen dijital modülasyona *Darbe Kod Modülasyonu (Pulse Code Modulation-PCM)* denir. Darbe kod modülasyonu, ikili sayı sisteminde üretilmiş bir modülasyon şeklidir. Bu sistemde önceden belirlenmiş bir zaman bölgesinde darbenin bulunup bulunmamasına bakarak 0 ya da 1 bilgisi gönderir. PAM, PWM ve PPM yöntemlerinde elde edilen modüleli sinyal ikili sayı sisteminde bir değer ifade etmezler.

PAM, PWM ve PPM yöntemlerinde modüleli sinyal parametreleri bilgi sinyaline bağlı olarak değişir ve bilgi sinyaline göre herhangi bir değeri alabilir. Ayrıca modüleli sinyal parazit tarafından bozulmuş ise alıcının parazit sinyalini tam olarak ayırt edebilmesi imkânsızdır. Sinyal biçiminin 0 ya da 1 olması parazit etkilerinin yok edilmesini kolaylaştırır.

Darbe kod modülasyonu; örnekleme ve tutma devresi, kuantalama ve kodlama olmak üzere üç temel bölümden oluşur (Şekil 2.14).



Şekil 2.14: Darbe kod modülasyonu blok diyagramı

### 2.5.1. Örnekleme ve Tutma Devresi

Örnekleme ve tutma devresinin amacı, değişen analog giriş sinyalini periyodik olarak örnekleme ve örnekleme, bir dizi sabit genlikli PAM düzeyine dönüştürmektir. Dijital haberleşmede analog bilgi sinyali, analog dijital dönüştürücüler (ADC) aracılığıyla dijital sinyale dönüştürülür. Hızla değişen analog bilgi sinyalini dönüştürmeye çalışan ADC kararlı bir şekilde çalışmaz ve devre çıkılında elde edilen PCM kodu da kararlı olmaz. Hızlı bir şekilde değişen analog bilgi sinyalinin sabit bir değerde olması için kullanılan devrelere *Örnekleme ve Tutma Devresi* denir.

Nyquist örnekleme teoremi, bir PCM sistem için kullanılacak minimum örnekleme hızını ( $f_s$ ) belirler. Bir örneklemenin alıcıda doğru olarak tekrar oluşturulabilmesi için, analog giriş sinyalinin ( $f_a$ ) her çevrimi en az iki kez örneklenmelidir. Dolayısıyla minimum örnekleme hızı, en yüksek ses giriş frekansının iki katına eşittir.  $f_s$ ,  $f_a$ 'nın iki katından daha küçükse bozulma meydana gelir. Bu bozulmaya katlama bozulması denir. Minimum Nyquist örnekleme hızı, matematiksel olarak,  $f_s \geq 2f_a$  ifade edilir.

## 2.5.2. Kuantalama İşlemi

Bir analog sinyalin dijital sinyale dönüştürme işlemine kuantalama denir. Kuantalama işleminde bilgi sinyalinin alabileceği en küçük genlik ile en büyük genlik arasında basamaklara ayrılır. Örneklenen bilgi sinyalinin değeri rasgele bir değer yerine kuanta basamaklarından hangisine denk geliyorsa o basamak değerini veya kodunu alır.

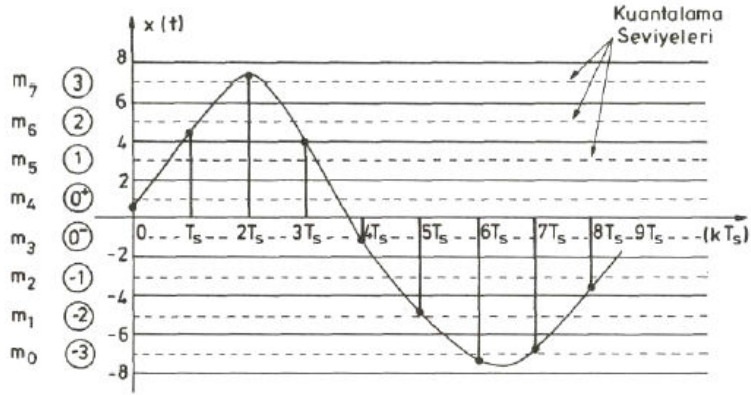
Analog bilgi sinyalinin genliği maksimum genliği ( $V_{MAX}$ ) ve minimum genliği ( $-V_{MAX}$ ) aralığında değişiyorsa ve bu aralıkta  $Q = 2^n$  oranında eşit kuanta seviyesine bölünmek isteniyorsa kuantalama aralığı (adımı);

$$a = \frac{2V_{MAX}}{2^n}$$

formülüyle hesaplanır. Örneğin +8 V ve -8V arasında değişen genliğine sahip bir bilgi sinyali, 8 kuant seviyesine ayrılmak isteniyor. Kuantalama aralığı

$$a = \frac{2V_{MAX}}{2^n} = \frac{2 \cdot 12}{8} = \frac{24}{8} = 3 \text{ birim}$$

olur. Bu örneğe ait kuantalama seviyeleri Şekil 2.15’de verilmiştir.



Şekil 2.15: Kuantalama seviyeleri

Herhangi bir anda örnekleme devresinden gelen değer Şekil 2.15’de verilen kuant değerine çevrilir.

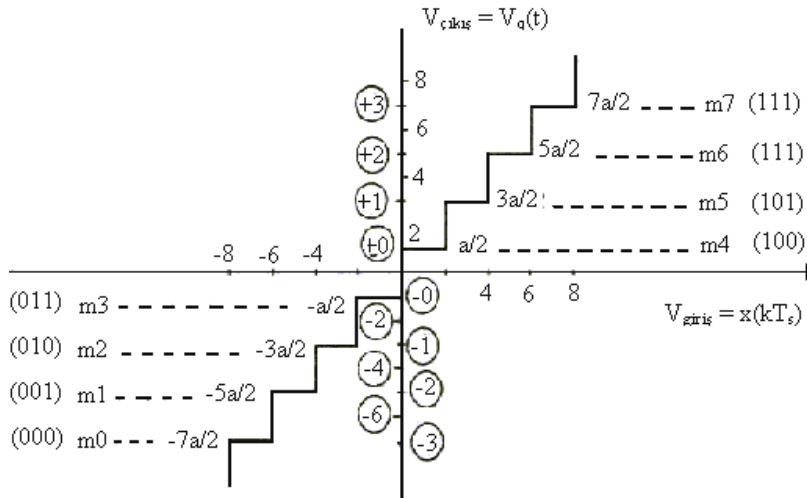
Örneklenen Sinyal Genliği	Kuanta Aralığı	Kuanta seviyesi
-2.768	-2V , -4V	-1
2.432	2V , 4V	+1
6.536	6V , 8V	+3
-0.025	0V , -2V	-0

**Tablo 2.1: Çeşitli işaret genliklerine karşılık gelen kuanta seviyeleri ve kod kelimeleri**

Kuantalama adım sayısı (Q) arttıkça, kuantalama gürültüsü de azalır. Ancak adım sayısının artması kodlamada kullanılacak bit sayısını artırır.

### 2.5.2.1. Düzgün Kuantalama

Bir sinyalin genliği eşit oranlarda bölünerek yapılan kuantalama yöntemine düzgün kuantalama denir. Düzgün kuantalamada her bir kuanta aralığı eşittir. Şekil 2.16'da +8 V ve -8V arasında değişen genliğine sahip bir bilgi sinyali, 8 kuanta seviyesine ayrılmasıyla elde edilen kuantalama eğrisi gösterilmiştir.



**Şekil 2.16: Düzgün kuantalama eğrisi**

### 2.5.2.2. Kuantalama Hataları

Kuantalama değerlerinden örnekleme sinyalinin tekrar elde edilmesi mümkün değildir. Bu da bilginin bir kısmının kaybolması ve orijinal örnek sinyaline yaklaşık bir sinyalin elde edilmesidir. Orijinal örnekleme sinyalinde kuantalama işlemleri sonucunda meydana gelen bozulmaya Kuantalama Hatası denir. Orijinal bilgi sinyali ile kuantalama işlemi sonucunda elde edilen sinyal arasındaki farka Kuantalama Gürültüsü denir.

### 2.5.2.3. Düzgün Olmayan Kuantalama

Düzgün kuantalama yönteminde eğer işaret en küçük dilimden daha küçük ise, gürültü işaretten daha büyük olur, buna Boş Kanal Gürültüsü denir. Bu gürültünün yok edilmesi amacıyla +0 ve -0 kuantalama değerleri 0 kabul edilir.

Ses sinyali incelediğinde küçük genlikli sinyallere sıkça rastlanır. Bu da boş kanal gürültüsü meydana getirebilir. Bu gürültüden kurtulmak için kullanılacak yöntemlerden biri adım sayısını (Q) artırmaktır. Bu işlem bilgi aktarımı için kullanılacak bit sayısını ve maliyeti artırır. Ayrıca nadiren oluşacak büyük genlikli sinyaller için gereksiz kuantalama adımları ayrılmış olacaktır. Kuantalama adım aralığını değiştirmeden kuantalama sayısı azaltılırsa yüksek genlikli sinyaller kırılmış olur.

Kuantalanan sinyalde düzgün kuantalama yerine, büyük işaretler için büyük adım, küçük işaretler için de küçük adım kullanılarak, işaret gürültü oranının aynı olması sağlanabilir. Bunu gerçekleştirebilmek için, haberleşme sistemlerinde, gönderici tarafında sıkıştırma (compressing) işlemi yapılır. Sıkıştırma işlemiyle bilgi sinyali düzgün kuantalama yapılabilecek bir sinyal haline dönüştürülür. Sıkıştırılan sinyale alıcı tarafında Genleştirme (Expanding) işlemi yapılır. (Şekil 2.17)



Şekil 2.17: Düzgün olmayan kuantalama yöntemi blok şeması

### 2.5.3. Kodlama İşlemi

Örnekleme sinyalinin kuantalama işlemiyle kuantalama değeri bulunur. Bu değer iletilmesi için kullanılan yöntem kodlama denir. Kodlama yönteminde ikili sayı sistemi kullanılır.

Örnekleme bir analog sinyal analog sayısal dönüştürücüler (ADC) yardımıyla dijital işarete dönüştürülür. Kodlama düzgün kuantalama sonucunda elde edilir.

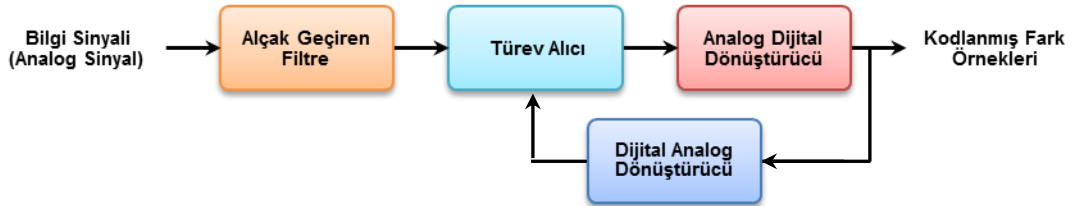
Kuantalama işleminde basamaklar 0'dan başlayarak  $2^n - 1$ 'e kadar numaralandırılır. Ölçülen değer basamak değeri ikili sayı sistemine n basamak olacak şekilde gönderilir. Şekil 2.16'da verilen eğride kuantalama kod değerleri gösterilmiştir.

Uygulamada kullanılan analog sayısal dönüştürücüler (ADC) basamaklı dönüştürücü, ardışıl yaklaşımlı dönüştürücü ve Paralel dönüştürücü olmak üzere üç gruba ayırmak mümkündür. Piyasada örnekleme, kuantalama ve kodlama birlikte gerçekleştirebilen analog sayısal dönüştürücüler de bulunmaktadır.

## 2.6. Diferansiyel Darbe Kodlamalı Modülasyon (Differential Pulse Code Modulation-DPCM)

Darbe kod modülasyonunda, her örneklenmiş sinyalin değeri ayrı ayrı gönderilir. Her bir örneğin genlik değerinin gönderilmesi yerine örnekleme sinyallerinde meydana gelen genlik değişimleri (farkları) gönderilebilir. Birbirini izleyen örnekler arasındaki genlik farklarının kodlanarak gönderilmesi yöntemine *Diferansiyel Darbe Kodlamalı Modülasyon (Differential Pulse Code Modulation-DPCM)* denir.

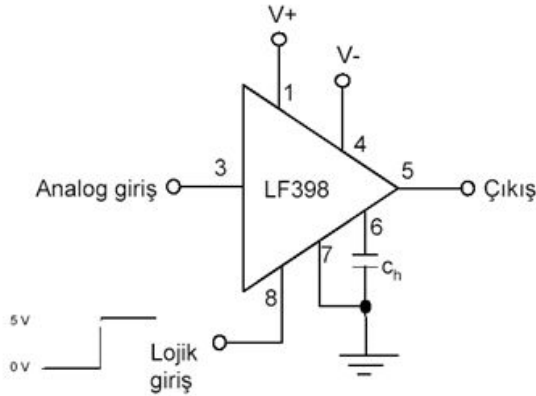
Diferansiyel darbe kodlamalı modülasyonunda fark değerlerinin gönderilmesi, her bir örnek için gönderilen bit sayısının azalmasını sağlar. Bu yöntem, hızı çok değişen sinyaller için uygun değildir. Bunun nedeni diferansiyel algılayıcının izleme yeteneğinin sınırlı olmasıdır. Hızlı değişen sinyaller için sıkıştırma ve genişletme metoduyla diferansiyel algılayıcının izleme yeteneği artırılabilir. Şekil 2.18'de Diferansiyel darbe kodlamalı modülasyonun blok diyagramı verilmiştir.



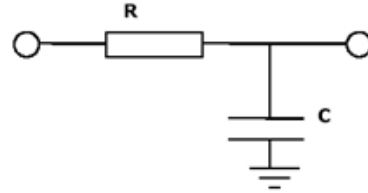
Şekil 2.17: Diferansiyel darbe kodlamalı modülasyon yöntemi verici blok şeması

Analog bilgi sinyali örneklenir, örneklenmiş sinyal türev alıcıda bir önceki DPCM sinyalle karşılaştırılır. Türev alıcının çıkışı, iki sinyal arasındaki farktır. Fark, PCM koduna dönüştürülür ve iletilir.

## UYGULAMA FAALİYETİ



(a) Örnekleme ve Tutma Devresi



(b) Alçak Geçiren Filtre

Şekil 2.18: Örnekleme ve tutma devresi

<b>Entegre</b>	: 1 adet LF398
<b>Direnç</b>	: 1 adet 1K $\Omega$
<b>Kondansatör</b>	: 1 adet 1nF, 1 $\mu$ F
<b>Güç kaynağı</b>	: 1 Adet +12V , -12V çıkışlı
<b>Sinyal üretici</b>	: 2 adet
<b>Osiloskop</b>	: 1 Adet

İşlem Basamakları	Öneriler
<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Şekil 2.18’de verilen örnekleme ve tutma devresini board üzerine kurunuz.</li><li>➤ Analog girişe 500 Hz frekanslı ve 1 V genlikli sinüs dalga uygulayınız. Giriş işaretini çiziniz.</li><li>➤ Lojik girişe 10 KHz frekanslı ve 5 V genlikli kare dalga uygulayınız. Çıkışı gözleyip çiziniz.</li><li>➤ Analog girişe 500 Hz frekanslı ve 1V genlikli üçgen dalga uygulayınız. Çıkışta meydana gelen değişimi gözlemleyerek çiziniz.</li><li>➤ Örnekleme darbe frekansının 2 KHz olduğu durumda çıkışı gözleyip çiziniz.</li><li>➤ Şekil 2.18’de verilen alçak geçiren filtre devresini örnekleme ve tutma devresine ekleyiniz.</li><li>➤ Örnekleme darbe frekansının 10 KHz</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Sinyal üreticinin sinyal şeklini önce osiloskop ekranında görünüz.</li><li>➤ Çizimleri yaparken ölçüm ve osilaskoptaki değerleri not almayı unutmayınız.</li><li>➤ Örnekleme frekansını 1000 Hz çıkardığımızdaki durum ile 500 Hz’deki durumu not etmeyi unutmayınız.</li></ul>



<p>olduğu durumda alçak geçiren filtre çıkışını çiziniz. Bu işaretle giriş işaretini karşılaştırıp yorumlayınız.</p>	
<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Deney setinde bulunan PAM - PWM ve PPM modüllerini alınız.</li><li>➤ Her bir modülasyon işlemi için gerekli modülü deney seti kitapçığında belirtildiği gibi kurunuz.</li><li>➤ Her modül çıkışını osiloskopa bağlayarak çıkış dalga Şekillerini ayrı ayrı çiziniz.</li><li>➤ Deney setinin PCM modülünü alınız.</li><li>➤ PCM modülünü deney seti kitapçığında belirtildiği gibi kurarak devreye enerji uygulayınız.</li><li>➤ PCM modülünün her bir kat çıkışındaki sinyali osiloskopa ölçüp çiziniz.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Deney setinde deney yaparken her uygulama için ayrı bir rapor hazırlayınız.</li><li>➤ Deney setinin uygulama kitapçığına göre uygulamaları yapınız</li></ul>

## ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Aşağıdakilerden hangisi sayısal bir modülasyon türü değildir?
  - A) Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM)
  - B) Darbe Kod Modülasyonu (PCM)
  - C) Darbe genlik modülasyonu (PAM)
  - D) Faz modülasyonu (PM)

Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerlere doğru sözcükleri yazınız.

2. Sürekli bir mesaj işaretinin modülasyonu ile elde edilen modülasyon türüne ..... denir.
3. Bir işaretin en yüksek frekansının ..... oranında bir sıklık ile numune alındığında, alıcı tarafta orijinal işaretin büyük bir doğrulukla elde edilmesi mümkündür.
4. Bant genişliği yaklaşık 300 Hz – 3 KHz arasında olan telefon kanalları üzerinden yapılan konuşmalar için tipik darbe modülasyon örnekleme oranı saniyede ..... örnektir.
5. Örnekleme ve tutma devresinin amacı, değişen .....sinyalini periyodik olarak örnekleme ve örnekleme, bir dizi sabit genlikli ..... düzeyine dönüştürmektir.
6. .... örnekleme teoremi, bir PCM sistem için kullanılacak minimum örnekleme hızını (fs) belirler.
7. PCM sistemindeki....., kuvvetli işaretlerde ihmal edilebilecek kadar küçük olmasına rağmen, zayıf işaretlerde kuantalama seviyesi ne olursa olsun önemli olmaktadır.
8. .... sisteminin diğer bir kullanım alanı ise kablolu TV işaretlerinin dağılımındaki uygulamalardır.
9. .... özel olarak tipik konuşma dalga biçimlerinde, örnekleme arasındaki benzerliklerden yararlanmak üzere tasarlanmıştır.
10. Analog mesaj işaretinin sayısal metotlar kullanılarak bir noktadan diğerine gönderilmesine .....denir.

## **DEĞERLENDİRME**

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise “Modül Değerlendirme”ye geçiniz.

# MODÜL DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Aşağıdakilerde hangisi bilgi sinyalinin genliğine bağlı modülasyon yapar?  
A) PM  
B) PPM  
C) PAM  
D) PCM
2. Aşağıdakilerden hangisi genlik modülasyonu için doğrudur?  
A) Modülasyon anında bilgi sinyaline göre taşıyıcının genliği değişir, frekansı ise sabittir.  
B) Genlik modülasyonlu yayınları almak için bir antene ihtiyaç vardır.  
C) Bant genişliği, modülasyon faktörüyle değişir.  
D) Modülasyon anında, taşıyıcının altında ve üstünde olmak üzere iki adet kenar bant oluşur.
3. Aşağıdakilerden hangisi zaman bölmeli çoklama yönteminin frekans bölmeli çoklama yöntemine göre üstünlüklerinden **değildir**?  
A) Kanal sayısı daha fazladır.  
B) Maliyeti daha düşüktür.  
C) Fiziki boyutları daha küçüktür.  
D) Güvenilirliği düşüktür.
4. Aşağıdakilerden hangisi darbe kod modülasyonu işlemi bölümlerinden **değildir**?  
A) Örnekleme ve Tutma  
B) Kodlama  
C) Türev Alıcı  
D) Kuantalama
5. Aşağıdakilerden hangisi düzgün olmayan kuantalama işlemi bölümlerinden **değildir**?  
A) Kodlama  
B) Örnekleme ve Tutma  
C) Otomatik Kazan Kontrolü  
D) Alçak geçiren Filtre

**Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerlere doğru sözcükleri yazınız.**

6. ...., modüleli sinyalin parazit tarafından bozulmasının engellenebildiği tek yöntemdir.
7. Orijinal bilgi sinyaliyle kuantalama işlemi sonucunda elde edilen sinyal arasındaki farka ..... denir.
8. Düzgün kuantalama yönteminde eğer işaret en küçük dilimden daha küçük ise, gürültü işaretten daha büyük olur. Buna ..... denir.
9. Büyük işaretler için büyük adım, küçük işaretler için de küçük adım kullanılarak, işaret gürültü oranının aynı olması için kullanılan kuantalama yöntemine ..... denir.
10. Birbirini izleyen örnekler arasındaki genlik farklarının kodlanarak gönderilmesi yöntemine ..... denir.

## **DEĞERLENDİRME**

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki modüle geçmek için öğretmeninize başvurunuz.

# CEVAP ANAHTARLARI

## ÖĞRENME FAALİYETİ-1'İN CEVAP ANAHTARI

1	D
2	C
3	Modülasyon
4	Genlik Modülasyonu Zarfı
5	87,5 MHz -108
6	Frekans Sapması
7	Aşırı Modülasyon
8	Çoklama
9	4 KHz
10	TDM/FDM

## ÖĞRENME FAALİYETİ-2'NİN CEVAP ANAHTARI

1	D
2	Analog Modülasyon
3	İki Katı Frekansında
4	8000
5	Analog Giriş / PAM
6	Nyquist
7	Kuantalama Hatası
8	PCM
9	DPCM
10	Sayısal Haberleşme

## MODÜL DEĞERLENDİRMENİN CEVAP ANAHTARI

1	C
2	B
3	D
4	C
5	A
6	<b>Darbe Kod Modülasyonu</b>
7	<b>Kuantalama Gürültüsü</b>
8	<b>Boş Kanal Gürültüsü</b>
9	<b>Düzensiz Olmayan Kuantalama</b>
10	<b>Diferansiyel Darbe Kodlamalı Modülasyon</b>

## KAYNAKÇA

- ALPER A.Turan, **Analog Haberleşme**, <http://www.mersin.edu.tr>, (05.07.2012/14.25)
- ALPER A.Turan, **Sayısal Haberleşme**, <http://www.mersin.edu.tr>, (05.07.2012/14.25)
- COLE Marion, **Telecommunications**, Prentice Hall, N.J. USA, 1994.
- ÇIBUK Musa, **Haberleşme Sistemlerinde Kullanılan Temel Kodlama ve Sıkıştırma Teknikleri**, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2004.
- ÇÖLKESEN Rifat, Bülent ÖRENCİK, **Bilgisayar Haberleşmesi ve Ağ Teknolojileri**, Papatya Yayıncılık, İstanbul, 2002.
- KAPLAN Yasin, **Veri Haberleşmesi Temelleri**, Papatya Yayınları, İstanbul, 2002.
- PASTACI Halit, **Modern Elektronik Sistemler**, Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik - Elektronik Fakültesi, İstanbul, 1996.
- PROAKİS Joh G, **Digital Communications**, McGraw – Hill, New York, 1983.
- RONAYNE John, **Sayısal Haberleşmeye Giriş**, Ceng, FIEE Communications Consultant, Millî Eğitim Basımevi, İstanbul, 1997.
- VURDU H, Ç. KOCAAY, M. NALBANTOĞLU, **Sayısal İletişim ve PCM Sistemleri**, PTT Meslek Geliştirme Başmüdürlüğü, Ankara, 1987.
- WAYNE Thomas, **Elektronik İletişim Teknikleri**, Millî Eğitim Basımevi, İstanbul 1997.
- YILMAZ Mümtaz, **Modülasyon Teorisi**, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 1986.
- <http://www.moz.ac.at/sem/lehre/lib/ks/lib/fm/frequency-modulation.html> (15.07.2012/ 13.00)