

**T.C.
MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI**



MEGEP

**(MESLEKİ EĞİTİM VE ÖĞRETİM SİSTEMİNİN GÜÇLENDİRİLMESİ
PROJESİ)**

BİLİŞİM TEKNOLOJİLERİ

HABERLEŞME TEKNİKLERİ

ANKARA 2008

Millî Eğitim Bakanlığı tarafından geliştirilen modüller;

- Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığının 02.06.2006 tarih ve 269 sayılı Kararı ile onaylanan, Mesleki ve Teknik Eğitim Okul ve Kurumlarında kademeli olarak yaygınlaştırılan 42 alan ve 192 dala ait çerçeve öğretim programlarında amaçlanan mesleki yeterlikleri kazandırmaya yönelik geliştirilmiş öğretim materyalleridir (Ders Notlarıdır).
- Modüller, bireylere mesleki yeterlik kazandırmak ve bireysel öğrenmeye rehberlik etmek amacıyla öğrenme materyali olarak hazırlanmış, denenmek ve geliştirilmek üzere Mesleki ve Teknik Eğitim Okul ve Kurumlarında uygulanmaya başlanmıştır.
- Modüller teknolojik gelişmelere paralel olarak, amaçlanan yeterliği kazandırmak koşulu ile eğitim öğretim sırasında geliştirilebilir ve yapılması önerilen değişiklikler Bakanlıkta ilgili birime bildirilir.
- Örgün ve yaygın eğitim kurumları, işletmeler ve kendi kendine mesleki yeterlik kazanmak isteyen bireyler modüllere internet üzerinden ulaşılabilirler.
- Basılmış modüller, eğitim kurumlarında öğrencilere ücretsiz olarak dağıtılır.
- Modüller hiçbir şekilde ticari amaçla kullanılamaz ve ücret karşılığında satılamaz.

İÇİNDEKİLER

AÇIKLAMALAR	ii
GİRİŞ	1
ÖĞRENME FAALİYETİ-1	3
1.MODÜLASYON SİSTEMLERİ VE ÇOĞULLAMA.....	3
1.1. Modülasyon Sistemleri	5
1.1.1 Modülasyon	5
1.1.2 Genlik modülasyonu(Amplitude modulation)	6
1.1.3 Frekans Modülasyonu (Frequency Modulation).....	10
1.1.4 Faz Modülasyonu (Phase modulation)	14
1.2. Çoklama (Multiplexing).....	16
1.2.1 Frekans Bölmeli Çoklama (FDM Frequency Division Multiplexing).....	16
1.2.2 Zaman Bölmeli Çoklama (TDM Time Division Multiplexing)	17
UYGULAMA FAALİYETİ 1	20
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	22
ÖĞRENME FAALİYETİ-2	23
2. DARBE MODÜLASYONU (PULSE MODULATION)	23
2.1 Örneklemeye ve Sinyalin Tekrar Elde Edilmesi.....	27
2.2. Darbe Genlik Modülasyonu (PAM Pulse Amplitude Modulation)	29
2.3 Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM Pulse Width Modulation)	33
2.4 Darbe Konumu Modülasyonu (PPM Pulse Position Modulation)	36
2.5. Darbe Kod Modülasyonu (PCM Pulse Code Modulation)	38
2.5.1. Örneklemeye ve Tutma Devresi	39
2.5.2. Kuantalama İşlemi	42
2.5.3. Kodlama İşlemi.....	47
2.6. Diferansiyel Darbe Kodlamalı Modülasyon	47
UYGULAMA FAALİYETİ 2	49
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	51
MODÜL DEĞERLENDİRME	52
CEVAP ANAHTARLARI.....	53
ÖNERİLEN KAYNAKLAR.....	54
KAYNAKÇA	55

AÇIKLAMALAR

KOD	523EO0083
ALAN	Bilişim Teknolojileri
DAL/MESLEK	Bilgisayar Teknik Servisi
MODÜLÜN ADI	Haberleşme Teknikleri
MODÜLÜN TANIMI	Bu modül; öğrencinin gerekli ortam sağlandığında, haberleşme teknikleri ile modülasyon uygulamalarını yapabileceği öğrenme materyalidir.
SÜRE	40/32
ÖN KOŞUL	‘Osilatör’ modülünü almış olmak
YETERLİK	Modülasyon uygulamalarını yapmak
MODÜLÜN AMACI	<p>Genel Amaç Bu modül ile gerekli ortam sağlandığında, haberleşme teknikleri ile modülasyon uygulamalarını gerçekleştirebileceksiniz.</p> <p>Amaçlar:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Modülasyon sistemleri ve çoğullama prensibini öğrenip deney seti üzerinde uygulamalarını yapabileceksiniz.2. Darbe modülasyonu prensibini ve çeşitlerini öğrenip deney seti üzerinde uygulamalarını yapabileceksiniz
EĞİTİM ÖĞRETİM ORTAMLARI VE DONANIMLARI	Haberleşme sistemleri laboratuvarı DC güç kaynağı, modülasyon sistemleri deney seti, osilaskop, fonksiyon üretici, elektronik malzemeler ve malzeme çantası.
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	<p>Modül içinde yer alan her öğrenme faaliyetinden sonra verilen ölçme araçları ile kendinizi değerlendireceksiniz.</p> <p>Modül sonunda kazandığınız bilgi ve becerileri belirlemek amacıyla hazırlanacak ölçme aracıyla değerlendirileceksiniz.</p>

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 gelişmeler sayesinde, 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 adamlarını bu yeni hizmetlere duyulan gereksinimi karşılamak amacıyla yeni sistemler bulmaya itmiştir.

Bilgisayar kullanımının hızla yaygınlaşması, sayısal veri iletimine yönelik istekleri önemli ölçüde artırmıştır. Çoğu kez, büyük hacimli bilgilerin en etkin bir şekilde ve en az hata ile iletilmesi istenmektedir. Veri iletimine yönelik bu tür isteklerin gerçekte ses iletimi için tasarlanmış analog telefon şebekeleri ile yanıtlanması ise olanak dışıdır. Bu ve benzeri sorunların üstesinden gelmek için telefon şebekelerine sayısal iletim ve sayısal anahtarlama teknikleri uygulanmıştır. Böylelikle, şebekelerde sayısal anahtarlama modülasyonu ve PCM 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 (PCM) kullanıldığında analog iletime kıyasla çok 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

Modülasyon sistemleri ve çoğullama prensibini öğrenip deney seti üzerinde uygulamalarını yapabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

Bu faaliyet öncesinde yapmanız gereken öncelikli araştırmalar şunlardır:

- Haberleşme sistemlerinde kullanılan modülasyon tekniklerini araştırınız.
- Haberleşmede kablolu iletişim ile kablosuz iletişim arasındaki avantajlar ve dezavantajları araştırınız.
- Çokluma sistemlerinin nerelerde kullanıldığını araştırınız.
- Çokluma sistemleri kullanılmasının avantaj ve dezavantajlarını araştırınız.

Araştırma işlemleri için İnternet ortamını kullanınız, çevrenizde bulunan telekomünikasyon şirketlerini inceleyerek ön bilgi edininiz.

1.MODÜLASYON SİSTEMLERİ VE ÇOĞULLAMA

Son yıllarda, elektronik haberleşme teknolojisinde çok büyük gelişmeler olmaktadır. Haberleşme sisteminin görevi; bir haberleşme hattı üzerinden bilgi akışını sağlamaktır. İlk bilgi akışı, Mors kodları ile insan sesinin elektriksel olarak iletilmesidir. İnsanların istek ve arzuları ile teknolojik imkânlar sonucunda; radyo, televizyon, radar ve diğer haberleşme sistemleri bulunmuş ve insanlığın hizmetine sunulmuştur. Günümüzde de haberleşme konusu, en dinamik alanlardan biridir.

Genel olarak bir haberleşme sistemi, gönderilecek bilginin üretildiği kaynak ve giriş çeviricisi, gönderici, kanal, alıcı ve çıkış çeviricisinden oluşur. Kaynak tarafından üretilen bilgi, sesin bir şekli (ses kaynağı), bir resim (görüntü kaynağı) veya herhangi bir dilde metin olabilir. Giriş çeviricisi, kaynak çıkışındaki sinyalin gönderilmeye uygun formdaki elektrik sinyaline çevrilmesi için kullanılır. Elektronik haberleşme sisteminde, **verici, kanal ve alıcı** en önemli kısımlardır.

Verici Sistemi, gönderilecek elektrik sinyallerini modülasyon işlemiyle fiziki kanalda veya yayılım ortamında gönderilmeye uygun hâle çevirir. *Modülasyon işlemi genellikle sinüsoidal taşıyıcı üzerine simetrik olarak genlik, frekans veya faz şeklinde mesaj bilgisinin gönderilmesiyle yapılır ve Genlik Modülasyonu (AM), Frekans Modülasyonu (FM) ve Faz*

Modülasyonu (PM) şeklinde isimlendirilir. Gönderilecek sinyal, genel olarak vericide uygulanan genlik, frekans ve faz modülasyonu ile kanalın özelliklerine uygun hâle getirilir. Böylece gönderilecek bilgi sinyali kanalın tahsis edilmiş frekansına uygun frekansta gönderilmiş olur. Kullanılan modülasyon tipinin seçiminde, kanalın band genişliği, sinyalin gönderilmesi sırasında, etkileneceği gürültü ve sinyalin gönderilmeden önce yükseltme işlemine tabi tutulacağı cihaz tip gibi etkenler önemlidir. Modülasyon işlemi, her şartta, birden fazla sinyalin aynı kanal üzerinden gönderilmesini mümkün kılar. Modülasyon işleminin yanında, gönderilen modüle edilmiş sinyalin yükseltilmesi, filtrelenmesi ve telsiz haberleşmesi durumunda verici antenden yayınlanması gibi işlemler de verici ünitesinde yapılır. Telsiz vericileri 2W-600 W, radyo vericileri 1000 W-10KW, baz istasyonları 25W, cep telefonu 3W (beklemede 500 mw) çıkış gücüne sahiptirler.

***Alıcı sistemi,** alınan sinyaldeki mesajın gönderilmeden önceki hâliyle elde edilmesidir. Mesaj sinyali modüle edilmiş bir sinyal ise, demodülasyon işlemi ile mesaj sinyalinin sinüsoidal taşıyıcıdan elde edilmesi gerekir. Demodülasyon işlemi, çeşitli gürültü ve zayıflama etkileri ile muhtemelen bozulmuş bir sinyale uygulanacağından, demodüle edilmiş sinyaldeki mesaj, belli bir oranda bozulmuş olacaktır. Dolayısıyla, vericide alınan sinyalin güvenilirliği ve kalitesi, sinyaldeki gürültü şiddetine, etki eden diğer zayıflamalar ile kullanılan modülasyon tipi gibi etkenlere bağlıdır.*

***Bilgi sinyalleri,** verici ile alıcı arasında bir iletim ortamında taşınmalıdır. Ancak bilgi sinyalleri nadiren iletim için uygun bir biçimde bulunur. **Modülasyon,** bilgiyi başlangıcındaki biçiminden, verici ile alıcı arasında iletim için daha uygun bir biçime dönüştürme işlemi olarak tanımlanır. **Demodülasyon** ise bunun tersi bir işlemdir. Yani modülasyonlu sinyalin ilk biçimine dönüştürülme işlemidir. Modülasyon işlemi, modülatör adı verilen devrede, demodülasyon işlemi ise demodülatör adı verilen bir devrede gerçekleştirilir.*

***Haberleşme kanalı,** sinyalin vericiden alıcıya gönderilmesine yarayan fiziki bir ortamdır. Telsiz haberleşmesinde kullanılan kanal genellikle atmosfer (serbest uzay) olup telefon veya diğer telli haberleşme çeşitlerinde ise tel, koaksiyel kablo veya optik kablo gibi çeşitli fiziki ortamlardır. Kullanılan kanal, telli ortam da olsa gönderilen sinyal bazı rasgele zayıflama mekanizmalarına tabi olur. Sinyal zayıflamasının en yaygın tipi, vericide sinyal yükseltme işlemi sırasında görülen ve sinyalle birlikte yükseltme işlemine tabi tutularak yükseltilebilir gürültü çeşidi olup, çoğunlukla **termal gürültü** olarak bilinir. Telsiz haberleşmesinde ise, termal gürültüye ilave olarak insan eliyle meydana gelen gürültü ve kanalda varolan atmosferik gürültü de alıcı antene ulaşır. Telli veya telsiz haberleşmede, kanaldaki diğer kullanıcılardan kaynaklanan gürültülerin etkisi, sinyal zayıflamasına etki eden diğer bir gürültü çeşididir. Yüksek frekanslarda yapılan telsiz haberleşmesinde, sinyal seviyesinin düşmesine sebep olan tipik bir etki de çok yollu yayılım olup, zaman bağımlı olarak sinyal genliğinin değişimidir. Gönderilen sinyaldeki bütün bu rasgele değişim ve bozulmalar istatistik terimlerle ifade edilebilir. Bir haberleşme sistemi tasarlanırken sinyal bozulmalarının bütün etkileri göz önüne alınmalıdır.*

1.1. Modülasyon Sistemleri

1.1.1 Modülasyon

Bilgiyi kaynağında kullanmak, o bilginin sınırlı sayıda kişinin kullanımına sunulacağı anlamına gelir. Haberleşmede en önemli problem verinin sağlıklı, hızlı ve ulaşabileceği en uzak noktaya iletilmesi problemidir. *Örneğin bir ses bilgisi, bildiğiniz gibi mekanik özellik taşır. Havanın titreştirilmesi ile yayılır.* Gideceği mesafe de pratik olarak sınırlıdır. Kilometrelerce öteye sadece ses yükseltici ve hoparlör kullanarak sesi taşımak pek de akıllıca olmaz. Bu duruma çevreden karışan başka sesle ya da bozucu etkileri de katarsak başka bir yol düşünülmesi kaçınılmaz olacaktır. Çok geniş haberleşme sistemlerinin de yapısı gereği çok pahalı ya da gerçekleştirilmesi imkânsızdır. Örnek olarak genel telefon sisteminde her bir konuşma için bir tel bağlantısına ihtiyaç duyulacaktı. Radyo linki için de çok büyük ve devasa güçlü antenler gerekecekti. Bu durumda parazitlerden kaçınmak için engebesiz bir arazide tek bir istasyonun çalıştırılması gerekir. Bu gibi olumsuzluklardan dolayı genellikle iletilecek sinyal verici tarafından değiştirilmeden iletilemez. Bu sebeple bilgi sinyalinin daha yüksek seviyedeki taşıyıcı sinyal ile birleştirilerek iletilmesi çözümü ortaya atılmıştır. İletilecek sinyalin değiştirilerek oldukça uzak mesafelere iletimini mümkün kılmak, hızlı, verimli ve ekonomik haberleşme için sinyalin modüle edilmesi gerekmektedir. Modülasyon için genel anlamda iki metod kullanılır:

Frekans dönüştürme metodu ile bilgi sinyalinin tümünü daha yüksek frekansta bir sinyalin iletilecek bölgeye taşınmasıyla olur.

Sinyalin dijitalleştirme yani örnekleme yoluyla bilgi sinyalinin dijital formda **binary** sayı sistemi kullanarak değiştirilir.

Oxford İngilizce sözlükteki modülasyon tanımı, dalganın genlik veya frekansını değiştirerek farklı frekanslar için düzenlenmesidir. Bir özet biçiminde modülasyonun yararlarını yazacak olursak;

- 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. Yani modülasyon sayesinde aynı iletim hattında birden çok bilgi yollama olanağı sağlar.
- Çevresel etkilerin ortaya çıkardığı pek çok sınırlayıcı etkiyi ortadan kaldırır.
- Modülasyon çalışma frekansını yükselteceği için çalışılan dalga boyu (λ) ve buna bağlı olarak anten boyutu da küçülür.

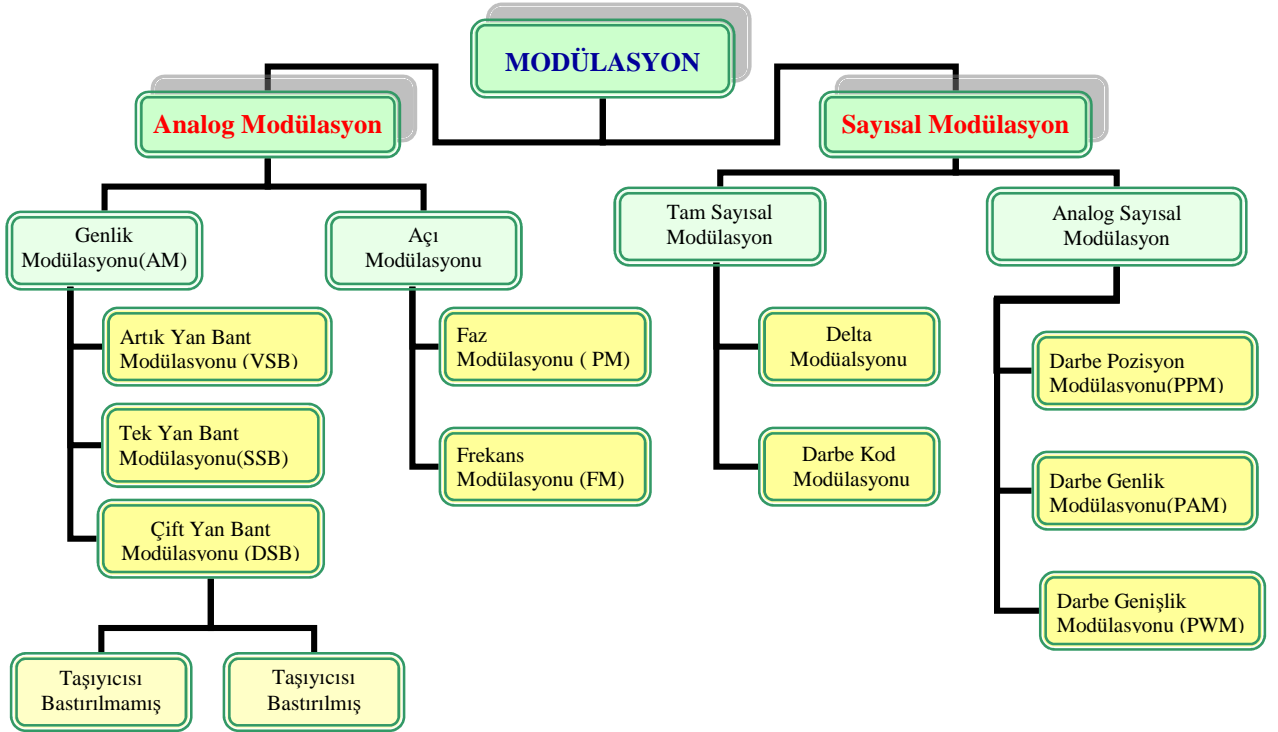
$$\lambda = c / f \quad \text{burada : } \lambda = \text{dalga boyu} , c = \text{ışık hızı} , f = \text{çalışma frekansı}$$

Örnek : Taşıma frekansı 3KHz ve 1Mhz olan iki taşıyıcı sinyal için kullanılacak anten boyutlarını hesaplayınız. ($c=300.000\text{km/sn}$)

Çözüm: Anten boyu $\lambda / 4$ olduğu için

$\lambda_1 = 300000 / 3000 = 100 \text{ km}$ ise birinci antenin boyu $100 / 4 = 25 \text{ Km}$ dir

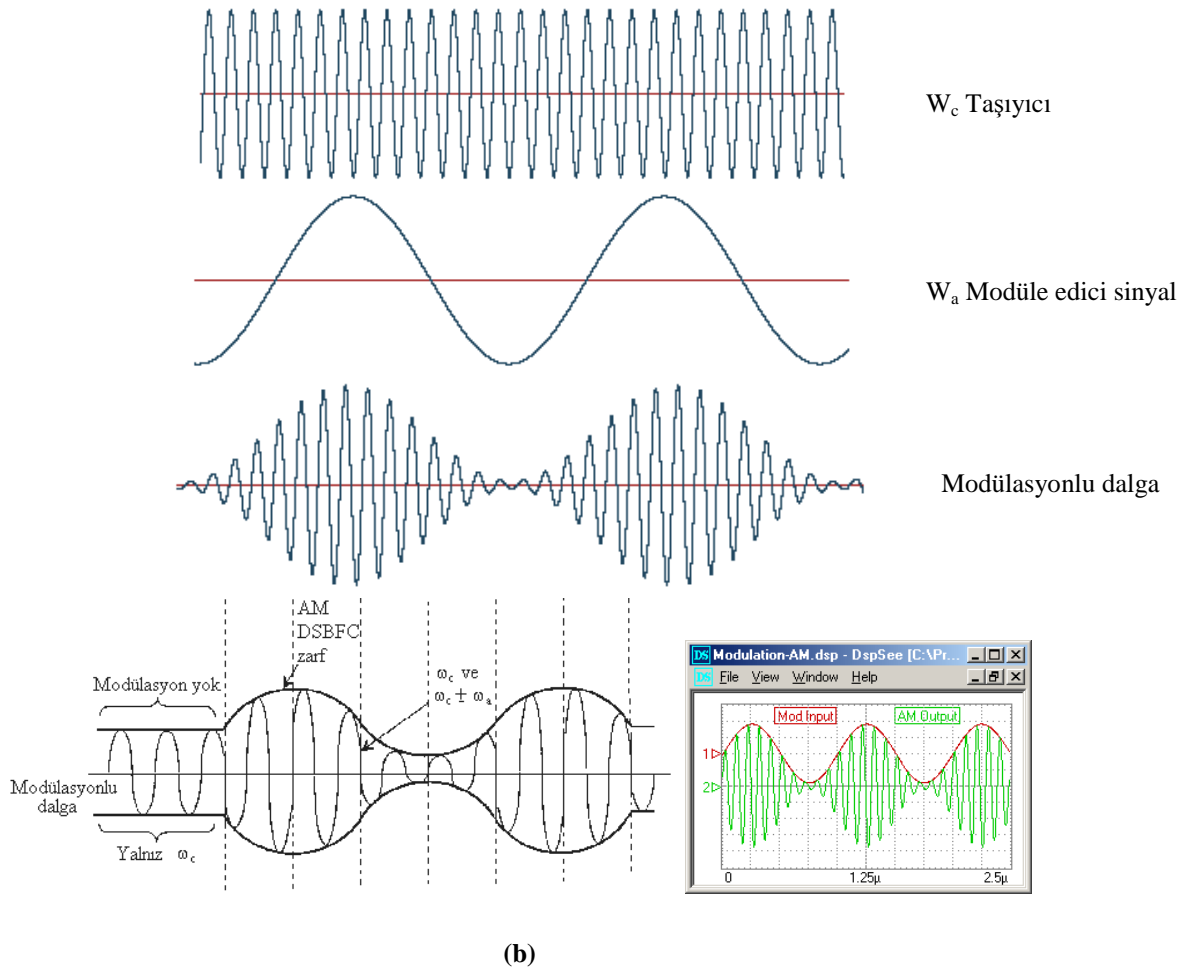
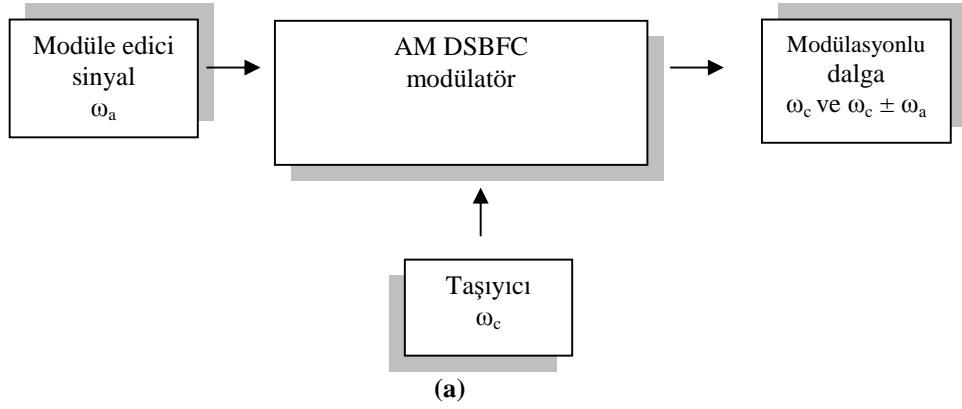
$\lambda_2 = 300000 / 100000 = 3 \text{ km}$ ise birinci antenin boyu $3 / 4 = 0,75 \text{ Km} = 750 \text{ metredir.}$



Şekil 1.1: Modülasyon türleri

1.1.2 Genlik modülasyonu(Amplitude modulation)

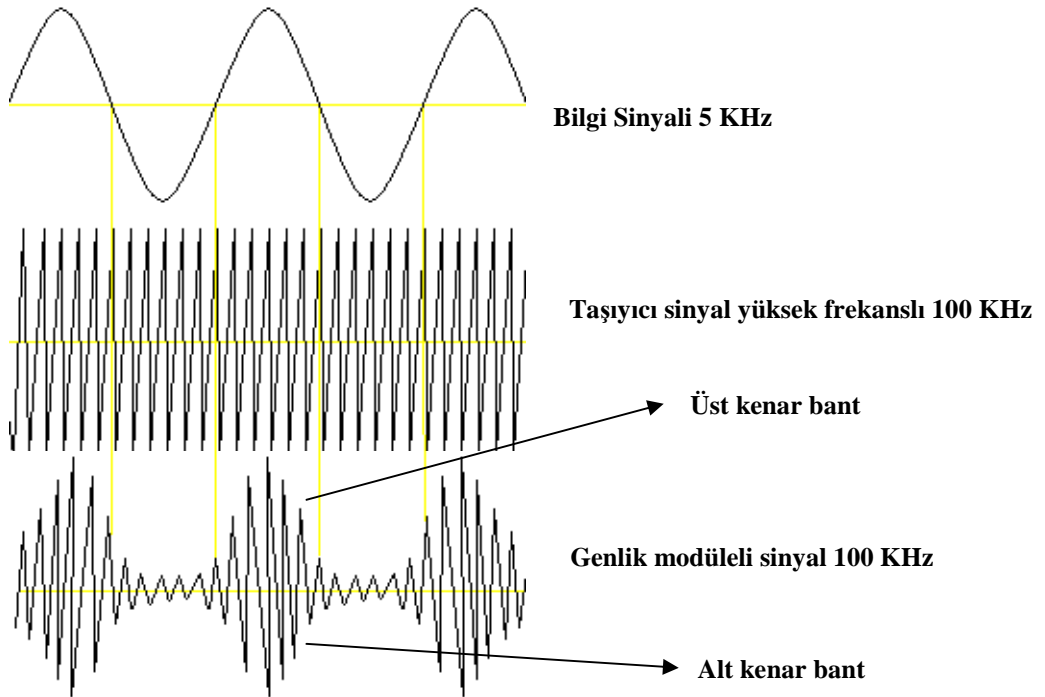
Alçak frekanslı bilgi sinyalleri ile yüksek frekanslı taşıyıcı sinyallerin elektronik devre elemanı içinde karıştırılarak, taşıyıcı sinyalinin altında ve üstünde olmak üzere iki tarafında yeni frekanslar elde etme işleminin **modülasyon** işlemi olduğunu anlatmıştık. Genlik Modülasyonu (A.M) ise; *yüksek frekanslı bir taşıyıcının genliğini, modüle edici bir sinyale (bilgi sinyaline) uygun olarak değiştirme işlemi olup bilgi taşıyıcıya, genlik değişiklikleri biçiminde bindirilir.* Genlik Modülatörü, iki girişi bulunan ve doğrusal olmayan bir devredir. Bu iki girişten biri tek frekanslı sabit genlikli taşıyıcı, diğeri ise bilgi sinyalidir. Taşıyıcıyı modüle eden bilgi sinyali, tek frekanslı veya çok frekanstan oluşan karmaşık bir dalga biçimi olabilir. Bilgi sinyaline, taşıyıcı üzerinde değişiklik yaptığı için modüle edici sinyal denir. Taşıyıcı, üzerinde etki edilen sinyaldir. Dolayısıyla modülasyonlu sinyal diye adlandırılır. Bilgi sinyalinin taşıyıcıyı değiştirmesi ile oluşan sinyale, modülasyonlu dalga denir. Matematiksel olarak çift yan bantlı tam taşıyıcı (A.M - DSB), en basit Genlik biçimi olup şekil 1.2.(a), A.M DSB bir modülatör ile taşıyıcı (ω_c), modüle edici sinyal (ω_a) ve modülasyonlu dalga arasındaki ilişkiyi göstermektedir.



Şekil 1.2 A.M üretimi; (a) A.M DSBFC modülör; (b) Zarf oluşumu

Şekil 1.2.(b); zaman düzleminde, Genlik modüleli dalganın tek frekanslı modüle edici bir sinyalden nasıl oluştuğunu ve simülasyon programının çıktısı ekranlarını göstermektedir. Modülasyonlu dalga, A.M sinyali oluşturan tüm frekansları içermekte olup, bilgiyi sistemde taşımakta kullanıldığı için A.M zarfı olarak adlandırılır.

Modüle edici sinyal girişi olmadığında, çıkan dalga sadece yükseltilmiş taşıyıcı olur. Modüle edici sinyal girişi olduğunda, çıkan dalganın genliği modüle edici sinyale uygun olarak değiştirilir. A.M zarfının şekli modüle edici sinyalin şekli ile özdeşdir. Ayrıca zarfın bir çevriminin süresi, modüle edici sinyalin periyodu ile aynıdır. Dolayısıyla zarfın tekrarlama hızı, modüle edici sinyalin frekansına eşittir.



Şekil 1.3 Genlik modülasyonunun incelenmesi

Genlik modülasyonunda esas olarak antenden yayınlanan frekanslar ; taşıyıcı , toplam ve fark frekanslar (AKB - Alt Kenar Band - ve ÜKB – Üst Kenar Band -) dir. Şekil 1.3 'te 5 KHz. 'lik bilgi ile 100 KHz. 'lik taşıyıcı sinyali genlik modülasyonuna tabi tutulmuş ve modülasyon neticesinde 105 KHz. 'lik bir üst kenar bant, 95 KHz. 'lik alt kenar bant oluşmuştur. Bilgi sinyalinin frekans ve genliğine bağlı olarak taşıyıcının genliği değiştirilerek genlik modüleli sinyal elde edilmiştir. Burada unutulmaması gereken nokta, genlik modüleli sinyalin frekansı da 100 KHz.'dir. Çünkü, modülasyon sonucunda taşıyıcının frekansı değil, genliği değiştirilir.

Taşıyıcı ve bilgi sinyali frekanslarının toplamı üst kenar bandı, frekansların farkı ise alt kenar bandı meydana getirir. Taşıyıcı sinyali, ses veya müzik işaretleri ile modüle edilirse, modülasyon sonunda taşıyıcı sinyali sabit kaldığına göre değişik frekans

değerlerindeki bilgi, sinyal (ses, müzik) frekansı adedinde alt ve üst kenar frekansları meydana gelir. Bu alt ve üst kenar frekanslarının frekans spektrumu üzerinde kapladığı alana **alt kenar veya üst kenar bant** adı verilir. Taşıyıcı frekansının üstündeki frekansların oluşturduğu banda "üst kenar bandı", taşıyıcı frekansının altında oluşan frekansların meydana getirdiği banda ise "alt kenar bandı" adı da verilir.

Genlik modülasyonu sonucunda meydana gelen alt ve üst kenar bantları ile taşıyıcının frekans spektrumu içerisinde kapladığı alana **kanal veya bant genişliği (BandWide – BW -)** denir ve en yüksek frekanslı modüle eden (bilgi) sinyalin iki katına eşittir. Yeryüzü atmosferinde yayılabilmesi için taşıyıcının üst ile alt yan bantlarda bulunan tüm frekansların RF (Radyo Frekansı) olması gerekir.

$$BW = 2.f_m$$

Modülasyon zarfının genliği ve genlik değişme oranı bilgi sinyalinin frekans ve genliğine bağlı olarak değişir. Modüle eden sinyalin (bilgi) genliği, taşıyıcı sinyal genliğindeki değişme miktarını, bilgi sinyalin frekansı ise taşıyıcı sinyal genliğindeki değişme hızını tayin eder.

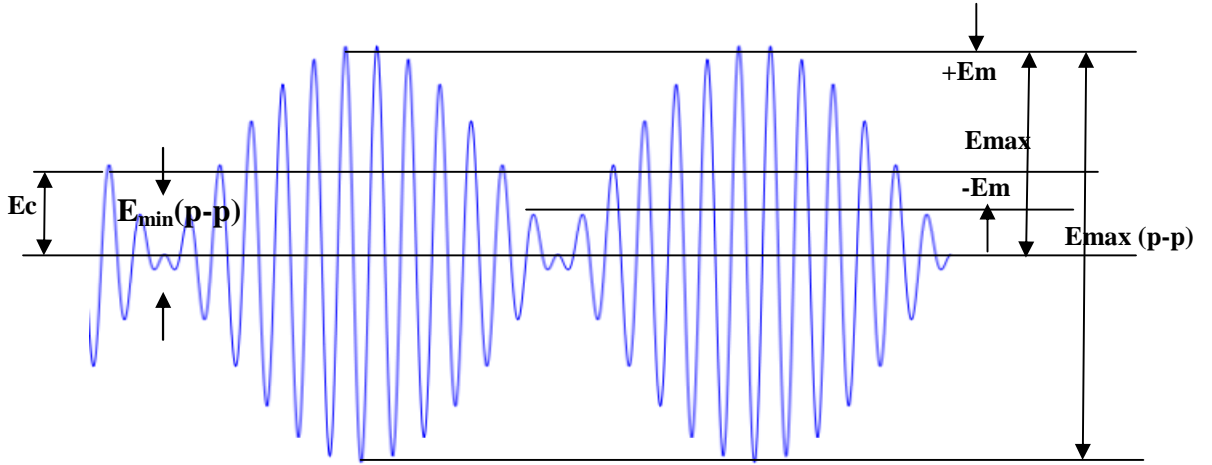
Bilgi sinyal genliğinin (E_m), taşıyıcı sinyal genliğine (E_c) oranına **modülasyon faktörü veya indeksi** denir ' m ' ile gösterilir. Birimi yoktur. (Volt/Volt = 1) Dikkat edilmesi gereken nokta bilgi sinyal genliği hangi birimden (tepeden tepeye, etkin, tepe) alınıyorsa, taşıyıcı sinyal genliği de aynı birimden alınmalıdır.

$$m = (E_m / E_c)$$

Modülasyon sistemlerinde modülasyon yüzdesi kavramı vardır. Bu yüzde modülasyon faktörünün 100 ile çarpımına eşittir. % m ile gösterilir. Modülasyon derinliği, modülasyon derecesi % $m = (E_m / E_c).100$ olarak da bilinir.

Aslında modülasyon yüzdesi; bilgi sinyalinin, taşıyıcının yüzde kaçını modüle edebildiğinin ifadesidir.

Örneğin; modülasyon faktörü 0,8 ise modülasyon yüzdesi % 80 'dir. Yani, bilgi sinyali taşıyıcının % 80 'ini modüle edebilmiştir. Geriye kalan % 20 'sini modüle edememiştir. Eğer; bilgi sinyali, taşıyıcının tamamını modüle etmişse % $m = \% 100$ 'dür. A.M 'de modülasyon yüzdesinin artması, o sinyalin anlaşılabilirliğini, iyilik derecesini artırır. Modülasyon yüzdesi başka yollardan da bulunur:



Şekil 1.3: A.M modülasyon yüzdesi hesabı

$E_{max} = E_C + E_m$ $E_{max} (p-p) = 2.E_{max}$ ve $E_{min} = E_C - E_m$ $E_{min} (p-p) = 2.E_{min}$ olduğuna göre;

$$m = (E_{max} - E_C) / E_C \quad m = (E_C - E_{min}) / E_C$$

$$m = (E_{max} - E_{min}) / (E_{max} + E_{min})$$

$m = [E_{max} (p-p) - E_{min} (p-p)] / [E_{max} (p-p) + E_{min} (p-p)]$ formülünden modülasyon faktörü bulunur.

* Modülasyon yüzdesi ile yukarıdaki formüllerin 100 ile çarpımına eşittir.

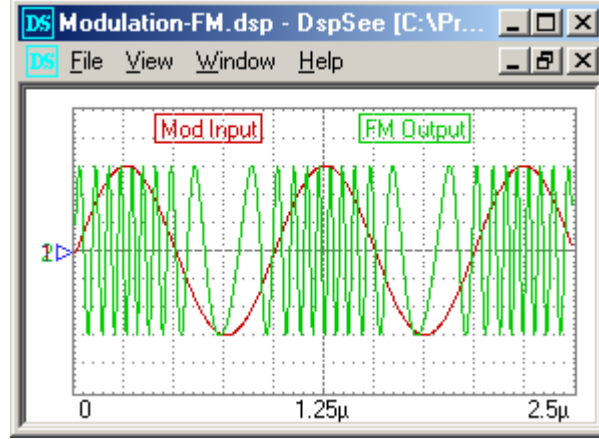
1.1.3 Frekans Modülasyonu (Frequency Modulation)

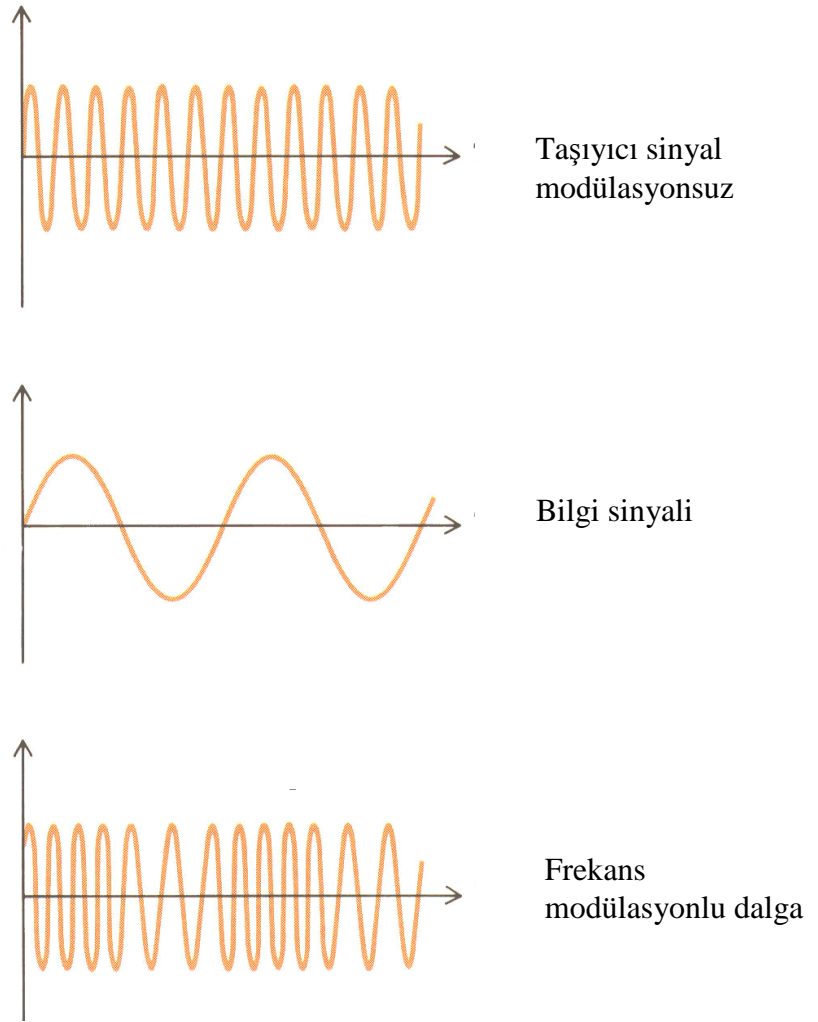
Frekans modülasyonu (frequency modulation - FM), taşıyıcı dalga frekansının, bilgi sinyalinin frekans ve genliğine bağlı olarak değiştirilmesidir. Frekans modülasyonu, genlik modülasyonundan daha günceldir. Günümüzde, ticari amaçla yayın yapan FM vericiler 87,5 MHz -108 MHz arasında yayın yaparlar. Genlik modülasyonu ile yayın yapan A-M vericilerde orta, uzun ve kısa dalgalar kullanılır. Orta dalgadan yayın yapan A-M vericiler 550-1600 KHz, uzun dalgadan 150-350 KHz, kısa dalgadan ise 6-18 MHz arasında yayın yaparlar.

Frekans modülasyonu için iki önemli sinyal vardır. Bunlar, alçak frekanslı bilgi ve yüksek frekanslı taşıyıcı sinyaldir. Modüle edilmemiş taşıyıcının frekansına, merkez ya da sükunet frekansı adı verilir. Örneğin, 3 KHz. 'lık bilgi sinyali ile 100 MHz. 'lık taşıyıcı, frekans modülasyonuna tabi tutulursa, buradaki 100 MHz. taşıyıcının merkez frekansıdır.

Modülasyon için gerekli olan sinyaller, şekil 1.4 'te bilgi ve merkez frekanslı taşıyıcı sinyali olarak gösterilmiştir. Modüle eden (bilgi) sinyalin (+) alternanslarında, taşıyıcının frekansı yükselir. Bu değer merkez frekansının üstündedir. Taşıyıcının en yüksek frekansı,

bilgi sinyalinin (+) max değerinde elde edilir. Bilgi sinyalinin (-) alternanslarında, taşıyıcının frekansı azalır. Bu değer merkez frekansının altındadır. En düşük taşıyıcı frekansı, bilgi sinyalinin (-) max değerinde elde edilir. Modüle eden sinyalin genliği sıfırda, taşıyıcı frekansı merkez frekansına eşittir.

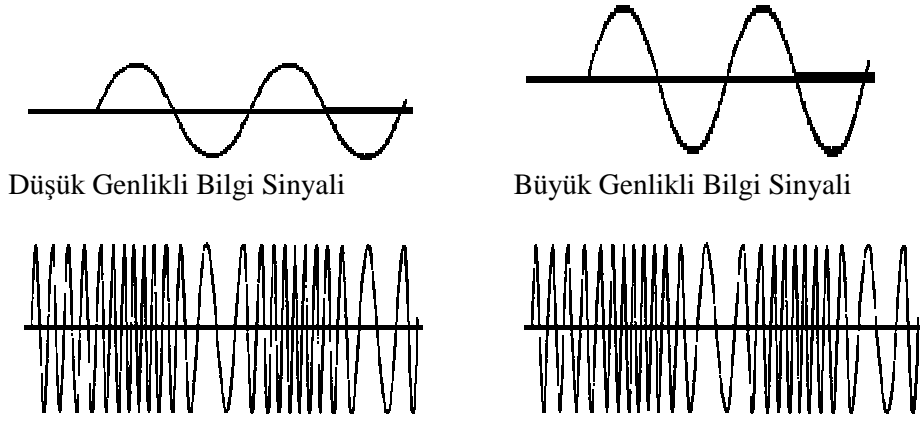




Şekil 1.4: Frekans modülyonlu sinyalin elde edilmesi

Şekil 1.4 'te görüldüğü gibi frekans modülyonlu dalğanın frekansı bir akordiyon misali merkez frekansının üstüne ve altına çıkar. Bir F-M 'lu dalğanın frekansı, modüle eden sinyal genliğinin değişimine bağlı olarak merkez frekansının altında ve üstünde değerler alır. İşte taşıyıcı frekansı modüle eden sinyalin (+) ve (-) tepe değerlerinin sebep olduğu frekans değişme miktarına **frekans sapması (değişme miktarı, deviasyonu)** denir.

Modüle eden sinyalin genliği ne kadar büyük ise frekans modülyonlu sinyalin, frekans değişme miktarı da o kadar fazladır. Örneğin, düşük genlikli modüle eden sinyal, 100 MHz.'lik bir taşıyıcı frekansını 99,99 MHz ile 100,01 MHz. arasında değiştiriyorsa, buradaki frekans sapması ± 10 KHz dir. Yani, taşıyıcının frekansı merkez frekansının 10 KHz üstüne ve 10 KHz altına düşer.



Şekil 1.5: - Frekans sapmasının bilgi sinyal genliğiyle ilişkisi

Aynı merkez frekanslı taşıyıcı sinyali, büyük genlikli modüle eden sinyalle modülasyona tabi tutulup, taşıyıcı frekansını 99,95 MHz. ile 100,05 MHz arasında değiştiriyorsa buradaki frekans sapması ± 50 KHz.dir. Frekans sapma değerlerine bakılarak, bilgi sinyal genliği hakkında bilgi sahibi olunabilir.

Frekans modülasyonunda, askeri amaçla yayın yapan FM vericilerde ± 40 KHz, sivil amaçla yayın yapan FM vericilerde ise ± 75 KHz. 'lik frekans sapması kabul edilmiştir. FM yayını yapan vericilerin, frekans bantları dışında komşu kenar bant frekansları bulunabileceğinden istasyonlar arası karışma sebebiyet verilmemesi için sivil amaçlı FM vericilerde ± 75 KHz. (150 KHz) 'lik bandın alt ve üst kısımlarında yirmi beşer KHz. 'lik emniyet bandı bırakılmıştır. Böylece band genişliği 200 KHz. 'e çıkarılmıştır. Buna benzer bir şekilde, askeri amaçla yayın yapan vericilerde mevcut band genişliğinin alt ve üst kısımlarına onar KHz. 'lik emniyet bandı ilave edilerek toplam 100 KHz. 'lik bir band genişliği tahsis edilmiştir.

Frekans modülasyonunda modülasyon yüzdesi tam sapma, genlik modülasyonundaki % 100 modülasyonunun karşılığıdır. (Sivil amaçlı yayınlarda ± 75 KHz.) Tam sapmanın aşılması durumunda **aşırı modülasyon** gerçekleşir.

$$\% 50 \text{ modülasyonda, } \pm 75 \text{ KHz} \cdot 0,5 = \pm 37,5 \text{ KHz.}$$

$$\% 30 \text{ modülasyonda, } \pm 75 \text{ KHz} \cdot 0,3 = \pm 22,5 \text{ KHz. 'lik frekans sapması olur.}$$

Genlik modülasyonundan olduğu gibi, frekans modülasyonunda modülasyon yüzdesi, bilgi sinyalinin taşıyıcının yüzde kaçının modüle edebildiğinin ifadesidir. Modülasyon yüzdesi,

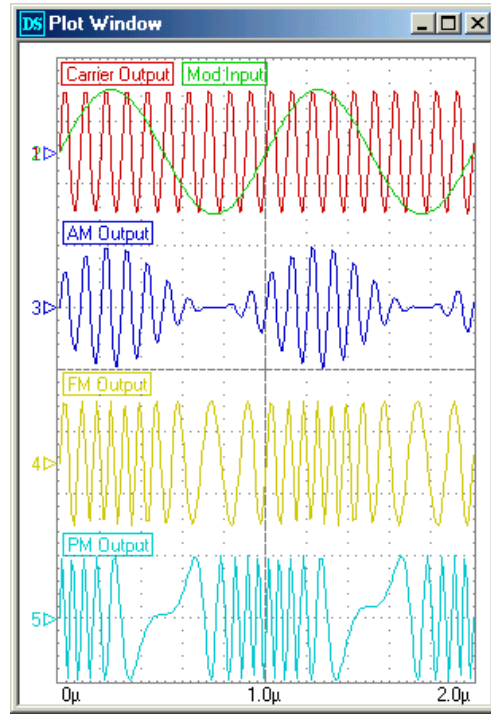
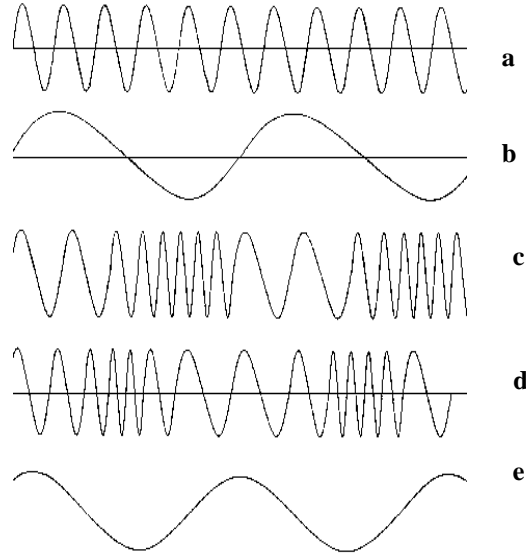
$$\% m = (\pm 50 \text{ KHz.} / \pm 75 \text{ KHz.}) \cdot 100 = \% 66,7 \text{ olarak bulunur.}$$

Genlik modülasyonu ile frekans modülasyonunu genel olarak karşılaştıracak olursak aşağıdaki tabloyu elde ederiz.

Genlik Modülasyonu	Frekans Modülasyonu
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.
BW, modüle eden sinyal frekansının iki katına eşittir.	BW, modülasyon faktörüyle değişir.
A-M vericiler, güçlü vericilerdir.	F-M vericiler, A-M vericiler gibi çok güçlü değildir.
A-M 'de önemli olan sinyalin uzak mesafelerde dinlenmesidir. Bu yüzden ses kalitesi düşüktür.	F-M 'de önemli olan sesin bozulmadan en uzak mesafelere gönderilmesidir. Sesin kalitesi yüksektir, stereo yayın yapılabilir.
A-M yayınlarını almak için ayrıca bir antene gerek yoktur.	F-M yayınları almak için bir antene ihtiyaç vardır.
A-M alıcıların ara frekansı 455 KHz. dir.	F-M alıcılarda ara frekans değeri 10,7 MHz.dir.
% 100 modülasyonda modülasyon faktörü bire 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.
Modülasyon sinyal genliğinin yükselmesi, taşıyıcı dalga genliğinin çok yükselmesine neden olur.	Modülasyon sinyal genliğinin büyümesi, taşıyıcının frekans değişme sınırını genişletir.

1.1.4 Faz Modülasyonu (Phase modulation)

Taşıyıcı sinyal fazının, bilgi sinyal genlik ve frekansına bağlı olarak değiştirilmesidir. Frekans modülasyonuna çok benzer. Bir taşıyıcının frekansı değiştirildiğinde fazı, fazı değiştirildiğinde de frekansı değişir. Bundan dolayı FM ile PM birbirine benzer. Modüle edici sinyale uygun olarak doğrudan değiştirilen, taşıyıcının frekansı olursa FM, modüle edici sinyale uygun olarak doğrudan değiştirilen taşıyıcının fazıysa PM meydana gelir. Direkt FM, endirekt PM; direkt PM ise endirekt FM 'dir.



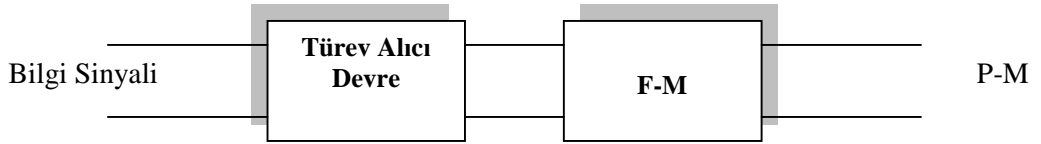
Şekil 1.6 Sinüsoidal bir taşıyıcının faz ve frekans modülasyonu
(a) modülesiz taşıyıcı, (b) modüle eden sinyal,
(c) FM dalga, (d) PM dalga, (e) modüle eden sinyalin ilk türevi.

Şekil 1.6 'da hem FM, hem de PM sinyal şekilleri gösterilmiştir, (b) şeklindeki modüle edici (bilgi) sinyalin ilk türevi (e) şeklinde olduğu gibi cosinüs dalgasıdır. Ekran görüntüsünde sinyallerin simülasyon görünüşleri verilmiştir. Yani sinüsün türevi cosinüs sinyalidir. Bu sinyal, sinüs sinyalinden 90° ileridedir, (e) şeklindeki türevi alınmış bilgi

sinyalinin (-) alternanslarında taşıyıcının frekansı artar, (+) alternanslarında ise taşıyıcının frekansı azalır. Özetle;

- Bilgi sinyalinin (-) alternansında, taşıyıcının fazı artar. Fazın artması demek, taradığı açı miktarının fazlaşması ve taşıyıcı sinyalinin aynı periyodu daha kısa sürede tamamlaması demektir. Bu da frekansın artmasıdır.
- Bilgi sinyalinin (+) alternansında, taşıyıcının fazı azalır. Fazın azalması demek, taradığı açı miktarının azalması ve taşıyıcı sinyalinin aynı periyodu daha uzun sürede tamamlaması demektir. Bu da frekansın azalması demektir.

Faz modüleli sinyalin elde edilmesi için Şekil 1.7 'deki blok diyagramda görüldüğü gibi bilgi sinyalinin türev alıcı devrede türevi alınan ve F-M modülatöre uygulanır. F-M modülatörün çıkışından P-M elde edilir. F-M de frekans sapması söz konusu iken P-M 'de faz sapması söz konusudur.



Şekil 1.7: Faz Modüleli Sinyalin Elde Edilmesi

1.2. Çoklama (Multiplexing)

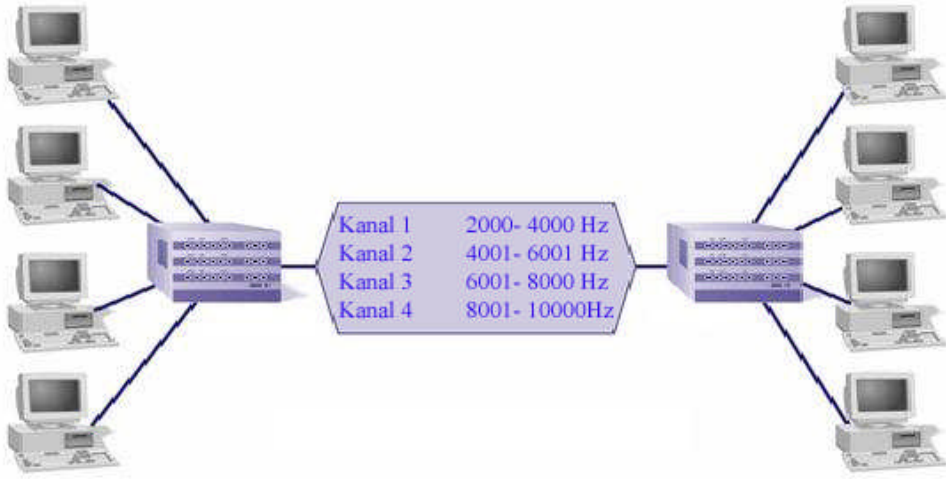
Bir iletim hattının birçok telefon konuşma kanalı tarafından aynı anda bölüşümlü olarak kullanılmasına çoklama denir. Telefon konuşma kanallarında uluslararası prensip olarak 300Hz. - 3.4KHz. arasındaki bant genişliği kullanılır. Konuşma kanallarının tek tek iletimi, hem pahalı hem de pratik değildir. Bu nedenle telefon kanalları çoklama yapılarak örneğin 12, 24, ..., yada 900 kanal bir arada aynı iletim hattını kullanabilir. Çoklama tekniği olarak iki yöntem kullanılır:

- Frekans bölmeli çoklama (FDM)
- Zaman bölmeli çoklama (TDM)

1.2.1 Frekans Bölmeli Çoklama (FDM Frequency Division Multiplexing)

Frekans bölmeli çoklama tekniğinde iletim hattının toplam bant genişliği her bir konuşma kanalı için 4 KHz.lik bölümlere ayrılır. Her kanal 4KHz.lik farkla ardışık artan farklı taşıyıcı frekanslarını modüle eder. Örneğin ilk konuşma kanalının taşıyıcı frekansı başlangıcı 62KHz. olsun. Bu durumda 2.kanal için $(62+4=)$ 66KHz., 3.kanal için 70KHz., ..., ve 12. kanal için taşıyıcı başlangıç frekansı 106KHz. olur. Ancak bir kanalın bitiminden sonra diğeri hemen başlamaz. Çünkü taşıyıcı bant genişliği 4KHz. olmasına rağmen konuşma kanalı bant başı ve bant sonu değerleri 300-3400Hz.dir. Taşıyıcı bant genişliğinden konuşma kanalı bant sonu değeri çıkarılıp ikiye bölündüğünde her iki yandan bırakılacak boşluk bulunur. $(4000-3400)/2 = 300$, bulunan değer taşıyıcı bant başına eklenir.

Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi 4 kanal FDM için 1000Hz. bant genişliği gerekmektedir. Band genişliği artıkcı iletim problemleri artmaktadır. Sistemlere göre bu band genişlikleri farklılıklar göstermektedir. Bu sebeple TDM ler kullanılmaya başlamıştır.



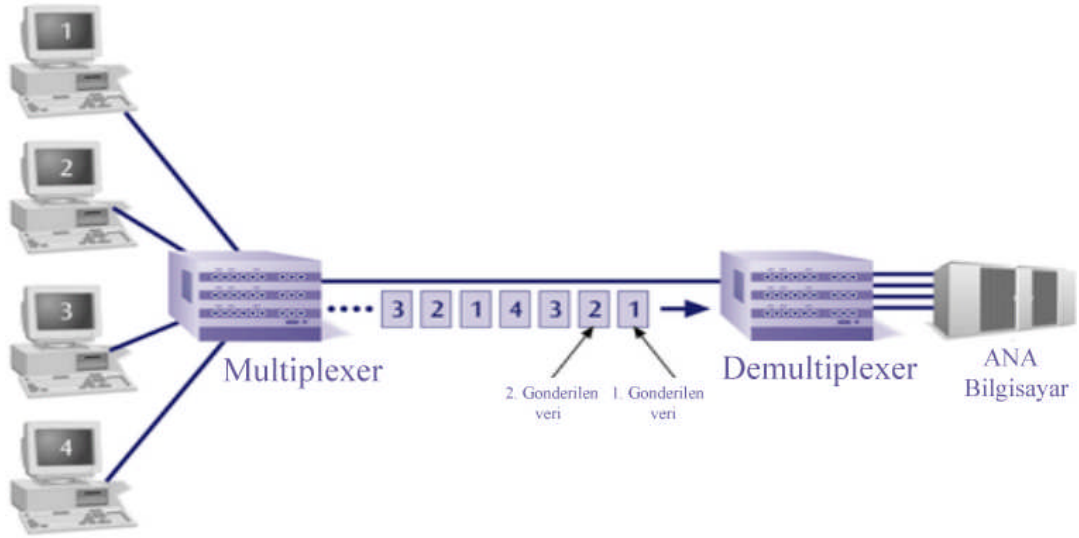
Şekil 1.20 Frekans bölmeli çoklama

1.2.2 Zaman Bölmeli Çoklama (TDM Time Division Multiplexing)

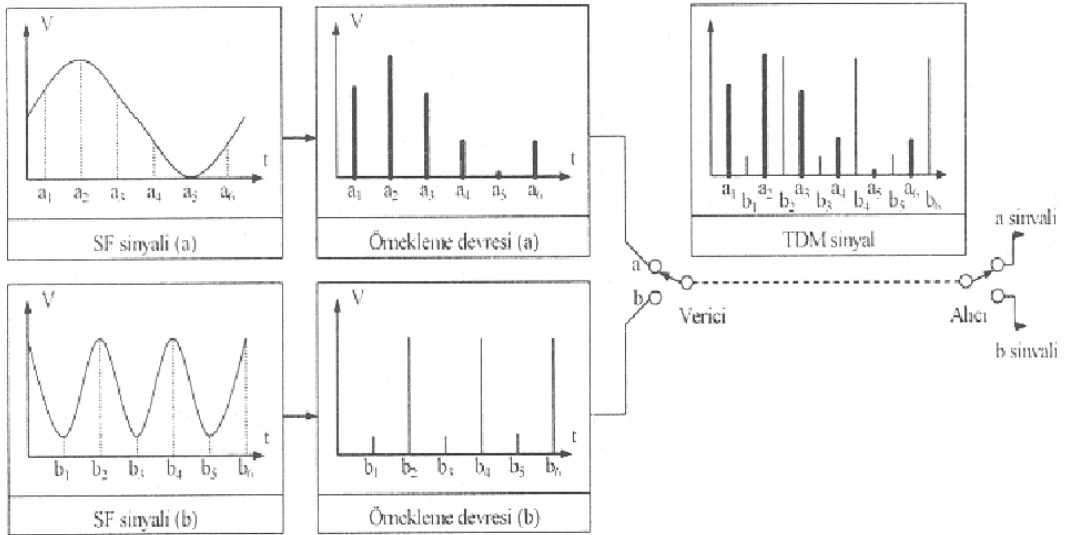
Her bir konuşma kanalının belli aralıklarla örnekleme yapılarak iletim hattının bant genişliği içerisinde sırayla taranmasına ve aynı iletim hattını kullanmasına zaman bölmeli Konuşma kanalının örnekleme işlemi zaman bölüşümlü anahtarlama ile yapılır. Ortak bir kaynağı çok sayıda kullanıcı tarafından kısa süreli aralıklarla kullanımına uygun şekilde düzenlenmiş anahtarlama sistemine zaman bölüşümlü anahtarlama denir. Yani her konuşma kanalı, aynı iletim hattını kısa süreli olarak tek başına kullanır. Bu işlem için belli bir uyum gerekir. Gönderici ve alıcı tarafı senkronizeli olarak çalışır. Analog bir sinyalin orijinali kesintisizdir. Belli aralıklarla örnekleme yapılarak çeşitli değerler alındığında kesintiye uğrar. Bu örnekler alıcı tarafına ulaştığında bir alçak getiren filtreden geçirildiğinde kesintiye uğramış kısımlar orijinaline uygun şekilde doldurulur. Ancak verici tarafında alınan örnekleme sayısı gereğinden az sayıda ise elde edilen sinyal orijinaline uygun olmaz. Örnekleme frekansı data bileşenleri içerisindeki en yüksek frekans değerinin (3400Hz.) en az iki katı değerinde (8Khz) olmalıdır.

Şekil 1.22’te görüldüğü gibi iki aynı analog sinyal örneklendikten sonra zaman bölüşümlü anahtarlama ile aynı iletim hattına yerleştirilmektedir. Bu işlem için SF sinyali (a)’dan örnekleme devresi yardımıyla a1, a2,, a3 , a4 , a5 ,a6 zamanlarında aralıklı olarak örnekleme sinyalleri alınır. Aynı işlem SF sinyali (b) için de tekrarlanır. (b)’den alınan Örnekleme sinyalleri b1, b2, b3, b4, b5, b6 olsun. Aynı yöntemle istenilen sayıda SF sinyalinden örnekleme yapılabilir. Burada temel şart analog SF sinyallerinin tümünün eşit aralıklarla ancak farklı zamanlarda örnekleme işlemine tabi tutulmasıdır. Örnekleme devreleri ve anahtarların çalışması birbirleriyle senkronize olmalıdır. Devreye göre verici

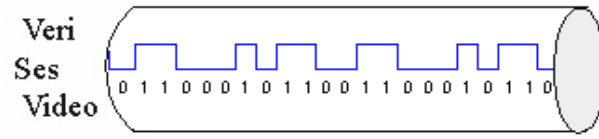
anahtar önce a1 örnek palsini almak için a konumuna, sonra b1 örnek palsini almak için b konumuna ayarlanır. Anahtarın sürekli senkronize bir şekilde konum değiştirmesi sonucu iletim hattına örnek palslerin yerleşimi A1, b1, a2, b2, a3, b3, a4, b4, a5, b5, a6, b6 şeklinde olur. İletim hattının verici tarafında anahtar yardımıyla a ve b sinyallerine ait örnekler ayrıştırılır. Ayrı ayrı elde edilen örnekler alçak geçiren filtreden geçirilerek orijinaline uygun analog SF sinyaline dnüşürölür.



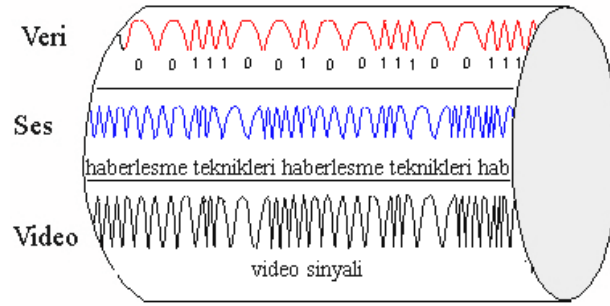
şekil 1.21 Zaman bölmeli oklama



şekil 1.22 İki kanallı TDM sinyal iletimi



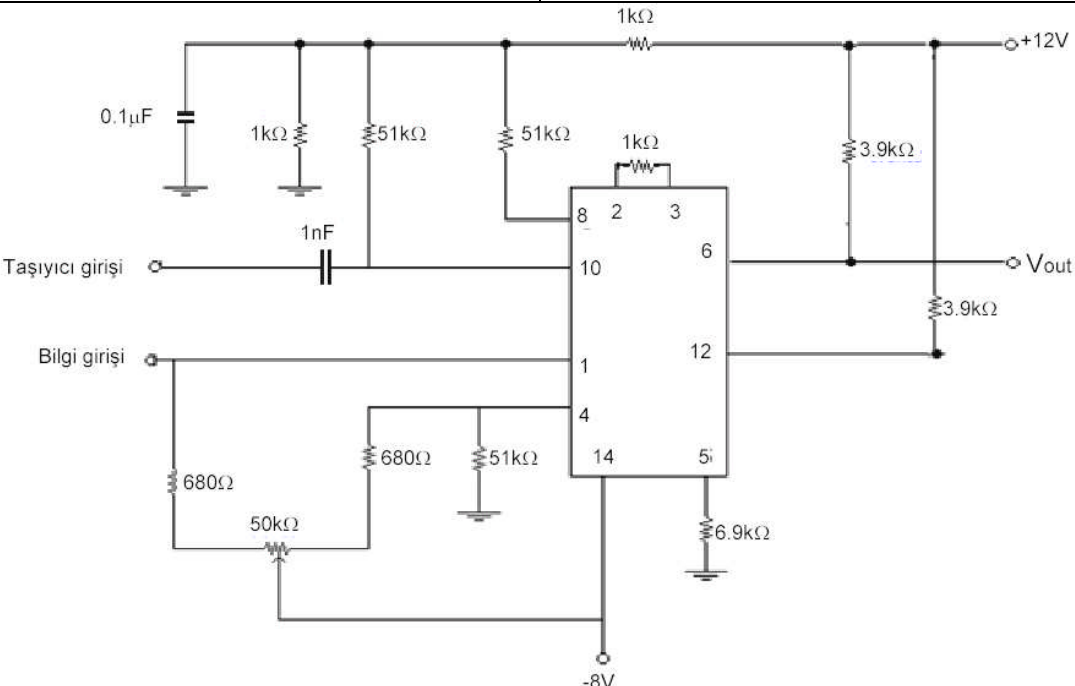
(a) TDM



(b) FDM

Şekil 1.23 TDM ile FDM in karşılaştırılması

UYGULAMA FAALİYETİ

İşlem Basamakları	Öneriler
 <p>Osiloskop, Güç kaynağı (+12, -8 V verebilecek), İşaret üretici (2 adet) Entegre: 1 tane MC 1496 (LM 1496) (1 tane de yedek alın) Dirençler: 3 x 51K., 2 x 680., 2 x 3K9., 3 x 1K., 1 x 6K9., 1 x 50K pot, 1 x 11.5K., 1 x 10 K. Kapasiteler: 1 x 1nF, 4 x 100 nF Diyot: 1N4148</p> <p style="text-align: center;">Şekil 1.24 Genlik Modülasyonu Devresi</p>	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Şekil 1.24 deki devreyi kurunuz ve gerilim uygulamadan önce (-8V) , (+12V) ve toprak bağlantılarını kontrol ediniz. ➤ Modülatör taşıyıcı girişi için frekansı 500KHz genliği tepeden tepeye 1V olan sinüzoidal işareti uygulayınız. ➤ Bilgi işareti için, frekansı 200 Hz, genliği tepeden tepeye 0,4 V olan bir sinüzoidal uygulayınız. ➤ Gözlemlediğiniz işareti çiziniz. ➤ Potun direncini değiştirerek çıkış işaretindeki değişimi gözlemleyerek, değişimin nedenini açıklayınız. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Sinyal jeneratörünün verdiği sinyale dikkat edin sinyalin sinüzoidal olması ve osiloskop probunun x1 konumunda olmasına dikkat edin. ➤ Modülasyonlu işaret entegrenin 6. ucundan görülecektir.

İşlem Basamakları	Öneriler
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Deney setinde bulunan AM-FM ve PM modüllerini alınız. ➤ Deney seti kitapçığında belirtildiği gibi her bir modül için kurunuz. ➤ Her modül çıkışını osilaskoba bağlayıp çıkış dalga şekillerini ayrı ayrı çiziniz. ➤ Deney setinin Multiplexing modülünü alınız. ➤ Modülü kurup devreye enerji uygulayınız. ➤ Verilen iki bilginin iki farklı çoğullama teknolojisine göre iletimini inceleyip sonucunu bir rapor hâlinde veriniz. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Deney setinde deney yaparken her uygulama için ayrı bir rapor hazırlayınız. ➤ Deney setinin uygulama kitapçığına göre uygulamaları yapınız.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki sorulara uygun cevapları veriniz.

1. Aşağıdaki modülasyon çeşitlerinden hangisi analog modülasyon değildir?
A)AM B)FM C)PM D)PCM
2. Aşağıdakilerden hangisi modülasyonun yararlarından değildir?
A)Yayılmı kolaylaştırır. B)Gürültü ve bozulmayı azaltır.
C) Anten boyutu büyür. D) Kanal ayrımı sağlar.
3. Alçak frekanslı bilgi sinyalleri ile yüksek frekanslı taşıyıcı sinyallerin elektronik devre elemanı içinde karıştırılarak, taşıyıcı sinyalinin altında ve üstünde olmak üzere iki tarafında yeni frekanslar elde etme işleminin denir.
4. Modülasyonlu dalga, AM sinyali oluşturan tüm frekansları içermekte olup, bilgiyi sistemde taşımakta kullanıldığı içinolarak adlandırılır.
5. Günümüzde, ticari amaçla yayın yapan FM vericilerMHz arasında yayın yaparlar.
6. Taşıyıcı frekansının, modüle eden sinyalin (+) ve (-) tepe değerlerinin sebep olduğu frekans değişme miktarınadenir.
7. Frekans modülasyonunda modülasyon yüzdesi tam sapma, genlik modülasyonundaki % 100 modülasyonunun karşılığıdır.Tam sapmanın aşılması durumundagerçekleşir.
8. Bir iletim hattının birçok telefon konuşma kanalı tarafından aynı anda bölüşümlü olarak kullanılmasınadenir.
9. Frekans bölmeli çoklama tekniğinde iletim hattının toplam bant genişliği her bir konuşma kanalı içinbölümlere ayrılır.
10. Çoklama(çoğullama) ve olmak üzere ikiye ayrılır.

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarı ile karşılaştırınız. Doğru cevap sayınızı belirleyerek kendinizi değerlendiriniz. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt yaşadığınız sorularla ilgili konuları faaliyete dönerek tekrar inceleyiniz.

Tüm sorulara doğru cevap verdiyseniz diğer faaliyete geçiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ-2

AMAÇ

Darbe kod modülasyonu prensibini öğrenip deney seti üzerinde uygulamalarını yapabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

Bu faaliyet öncesinde yapmanız gereken öncelikli araştırmalar şunlardır:

- Haberleşmede kodlama sistemlerinin önemini araştırınız.
- Kuantalama nedir, haberleşmede neden kullanılması gerekmektedir? Araştırınız.

Araştırma işlemleri için İnternet ortamını kullanınız, çevrenizde bulunan telekomünikasyon şirketlerini inceleyerek ön bilgi edininiz.

2. DARBE MODÜLASYONU (PULSE MODULATION)

Sayısal iletim, bir iletişim sisteminde iki nokta arasında sayısal darbelerin iletimidir. Başlangıçtaki kaynak bilgi, sayısal ya da analog biçimde olabilir; kaynak bilgi analog ise, iletimden önce sayısal darbelere, alma ucunda ise tekrar analog biçime dönüştürülmelidir. Sayısal iletim sistemlerinde, sistemdeki iki noktayı bağlamak üzere metalik tel çifti, koaksiyel kablo ya da fiber optik kablo gibi fiziksel bir malzeme kullanmak gerekir. Darbeler, fiziksel malzemenin içinde yayılım yaparlar. Sayısal iletimin avantajlarını sıralayacak olursak;

- Sayısal iletimin en önemli avantajı, gürültüden fazla etkilenmemesidir. Analog sinyaller, sayısal darbelere oranla arzu edilmeyen genlik, frekans ve faz değişimlerine daha yatkındırlar. Bunun da nedeni, sayısal iletimde, bu parametreleri analog iletimde olduğu kadar tam ve kesin olarak değerlendirmenin gerekli olmamasıdır. Sayısal iletimde, alınan darbeler bir örnekleme aralığında değerlendirilir ve darbenin belli bir eşiğin üstünde mi yoksa altında mı olduğu belirlenir.
- Sayısal darbeler, işleme ve çoğullama için analog sinyallerden daha uygundur. Sayısal darbeler kolayca saklanabilir ancak analog sinyalleri saklamak kolay değildir. Ayrıca, sayısal bir sistemin iletim hızı, değişik ortamlara uyum gösterecek ya da değişik tür donanımlara arabirim üzerinden bağlanacak şekilde kolayca değiştirilebilir. Çoğullama, daha sonraki bölümlerde ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

Sayısal iletimin dezavantajları ise;

- Sayısal olarak kodlanmış analog sinyallerin iletimi, analog sinyalleri oldukları gibi iletmeye oranla daha fazla bant genişliği gerektirir.
- Analog sinyaller, iletimden önce sayısal kodlara, alıcıda ise tekrar analog biçime dönüştürülmelidir.
- Sayısal iletim, verici ile alıcının saat darbeleri arasında duyarlılık senkronizasyon gerektirir.
- Sayısal iletim sistemleri, günümüzde kullanılmakta olan analog sistem donanımı ile uyumlu değildir.

Analog mesaj işaretinin sayısal metotlar kullanılarak bir noktadan diğerine gönderilmesine sayısal haberleşme denir. Bu tanımlamadan anlaşılmaktadır ki, analog işaret sayısal işarete dönüştürülmelidir. Analog domenden sayısal domene geçiş zaman örnekleme ile mümkün olmaktadır.

Oldukça geniş sınırlamalar altında, şaşırtıcı bir teorem, örnekleme işleminin herhangi bir enformasyon kaybı olmadan yapılabileceğini ifade etmektedir. Sayısal işaret işleme kapsamında bulunan ayrıntılı incelediğimiz bu teorem, Shannon örnekleme teoremi olarak adlandırılır. Bu bölümde tekrar anlatılacak ve ispat edilecektir.

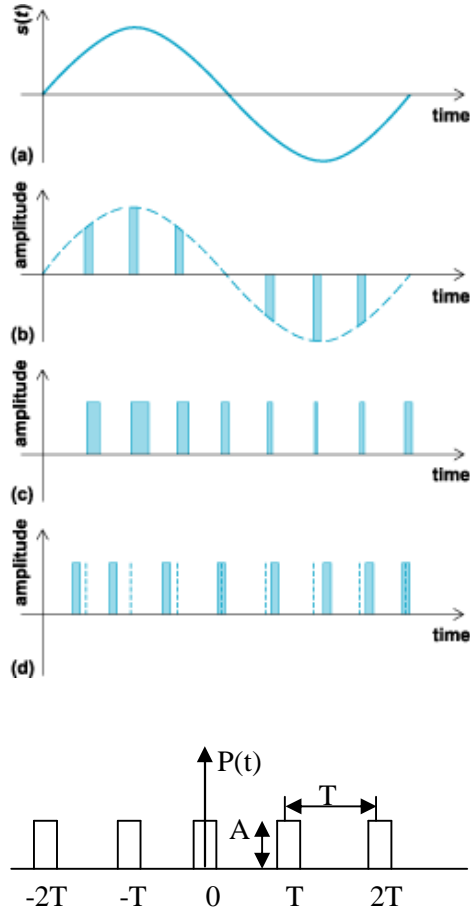
Analog haberleşmenin sürekli dalga modülasyonunda mesaj işareti, taşıyıcı adı verilen bir sinüzoidal dalganın genlik, faz veya frekansını değiştirerek modüle edilmişti. Sayısal (dijital) haberleşme sistemlerine geçmeden önce, değişik bir tür modülasyon üzerinde durmak gerekmektedir. Bu bölümde darbe modülasyonu çeşitlerinin incelenmesini takiben sayısal haberleşme sistemleri üzerinde geniş olarak durulacaktır.

Darbe Modülasyonu, genel olarak belirli bir darbe katarının, genlik, süre veya diğer parametrelerinin mesaj işaretinin bir fonksiyonu olarak değiştirilmesi sonucu elde edilir. Şekil 2.1'de gösterilen darbe katarının T darbe süresi, darbeler arasındaki süreye (periyoda) göre çok küçük seçilir.

Kısaca özetlersek taşıyıcı dalganın türüne göre yapılan sınıflama sonucunda iki tip modülasyon elde edilmektedir. Bunlar ;

- Sürekli dalga modülasyonu (Continuous-wave modulation):

Burada taşıyıcı dalga belli frekansta tek bir sinüzoidal işareten ibarettir. Analog işaretlerin modülasyonu için uygundur.



Şekil 2.1: a- Analog sinyal b- darbe genlik modülasyon c- darbe genişlik modülasyon d- darbe pozisyon modülasyon e- darbe modülasyonunda taşıyıcı işaret.

➤ Darbe Modülasyonu (Pulse modulation)

Taşıyıcı periyodik bir katarıdır. Sürekli dalga modülasyonunun aksine, darbe modülasyonu sürekli olmayan ayırık zamanlı bir işlemdir. Şekil 2.1'de görüleceği gibi, darbeler zamanın ancak belli T aralıklarında τ süresince vardır. Bu özelliğinden dolayı, darbe modülasyonu doğal olarak ayırık mesaj işaretleri için uygundur.

Mesaj işaretine göre sınıflama yapıldığında iki tip modülasyon ortaya çıkmaktadır:

- Analog modülasyon: Sürekli bir mesaj işaretinin modülasyonu ile elde edilen modülasyon türüdür.
- Sayısal modülasyon: Ayırık bir mesaj işaretinin modülasyonu sonucu elde edilen modülasyon türüdür.

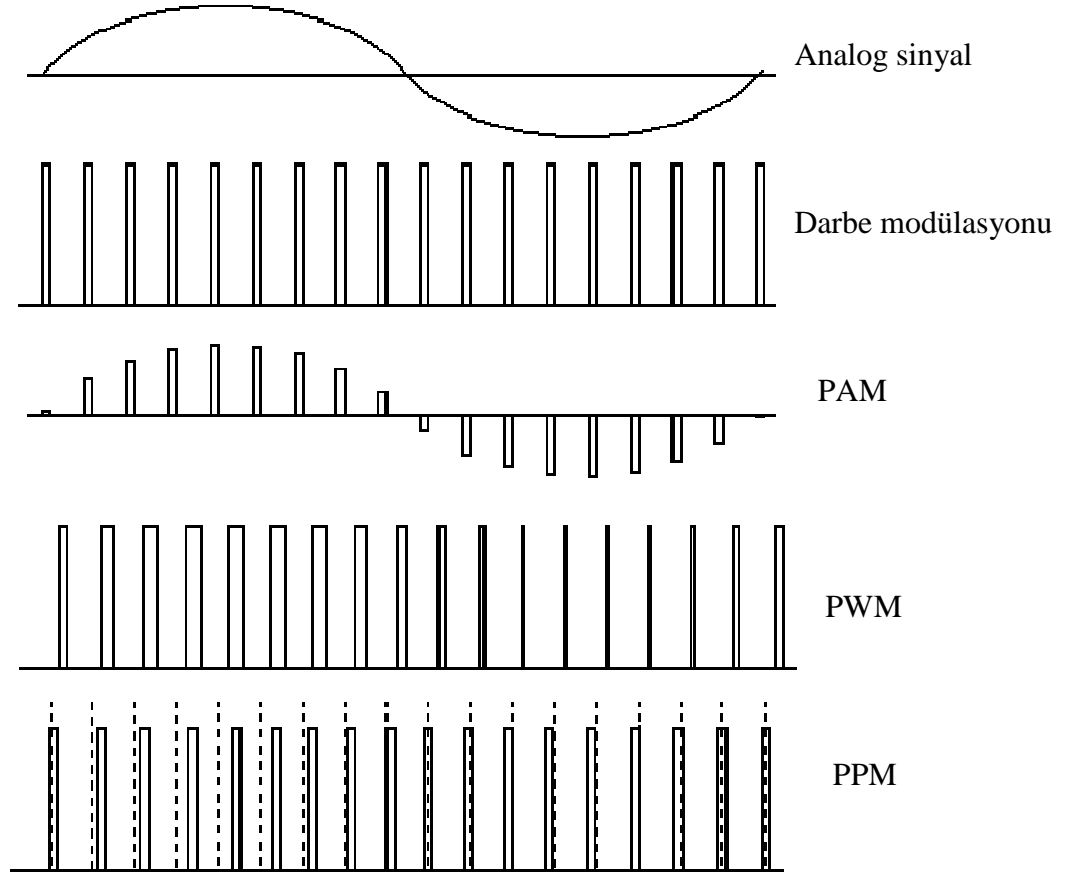
Analog haberleşmede kullanılan genlik, faz ve frekans modülasyonlarında işaret türü belirtilmemektedir. Bu nedenle, sürekli dalga modülasyonu için elde edilen sonuçlar hem sürekli zamanlı hem de ayrık zamanlı işaretler için geçerlidir. Bu bölümde darbe modülasyonu türleri ayrıntılı incelenecektir. Darbe modülasyonunda, taşıyıcının darbe katarı olması nedeniyle, sürekli dalga modülasyonuna yani analog modülasyona göre üstünlükleri şöyle özetlenebilir:

- 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 ile AM ve FM arasındaki temel fark; iletilecek bilgiye bağlı olarak taşıyıcının bazı parametreleri sürekli olarak değişir, hâlbuki darbe modülasyonunda; bilgi numunelerine bağlı olarak darbeler şeklinde bir etki söz konusudur. Darbe süresi çok kısa olduğu için, darbe modülasyonlu dalga, uzun süre boştur. Boşalan darbe aralarında ise başka bilgiler iletilir. Yine bu özelliğe bağlı olarak aynı kanal üzerinden çok sayıda farklı bilginin aynı anda iletilmesi mümkündür. Bu zaman paylaşımli sistemin esasını oluşturur. Telefon sistemindeki zaman paylaşımı ile birden fazla kişinin bir bilgisayar zaman paylaşımı ile beraber kullanması benzer olaylardır.

Matematik olarak ispat edilmiştir ki; bir işaretin en yüksek frekansının iki katı frekansı oranında bir sıklık ile numune alındığında, alıcı tarafta orijinal işaretin büyük bir doğrulukla elde edilmesi mümkündür. Bu olayı şöyle ifade etme imkânı vardır: Belirli bir bant genişliğine sahip bir kanal ile iletilebilecek işaretin frekansı, kanal bant genişliğinin yarısı kadardır. Bu oran Nyquist oranı olarak bilinir. Ses iletiminde standart numune alma frekansı 8Khz'dir. Bu değer, iletilen max ses frekansının iki katından biraz fazladır. Tek veya daha az sayıdaki çok büyük genlikli işaretleri çok daha küçük güçlerle iletmek mümkündür. İşaretlerin büyük genliklerle iletilmesi işaret gürültü oranının çok yüksek olacağını gösterir.

Kanal bant genişliğinin ve kazancın büyük olması, devrenin daha karmaşık ve maliyetin daha yüksek olmasına neden olur. Eğer, 3Khz'lik bir işaret genlik modülasyonuna tabi tutulacak ise 6 Khz'lik bir bant genişliği gerekecektir.



Şekil 2.2 Darbe modülasyonu çeşitleri

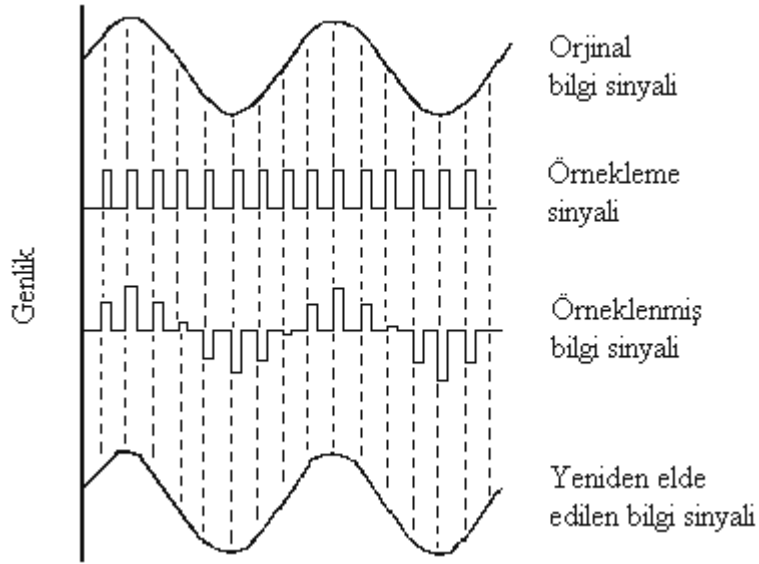
Darbe modülasyonu, modülasyondan ziyade bir bilgi işleme tekniğidir. İletilecek bilgi, önce darbe numunelerine dönüştürülür. Daha sonra bu darbeler ile taşıyıcı işaret, genlik veya frekans modülasyonuna tabi tutulur. Şekil 2.2'de üç farklı modülasyon tipi gösterilmiştir. Çok değişik sayıda darbe modülasyonu vardır. PAM; PSK, QAM ve PCM ile bir ara modülasyon biçimi olarak kullanılır; tek başına ise nadiren kullanılır. PWM ve PPM, özel amaçlı iletişim sistemlerinde (genelde askeri amaçlı) kullanılır. Bu bölümde önce PAM, PWM, PPM ve PCM modülasyonlarını görecektir. PCM tartışmasız olarak en çok kullanılan darbe iletimi biçimi olduğundan daha çok PCM üzerinde durulacaktır.

2.1 Örnekleme ve Sinyalin Tekrar Elde Edilmesi

Darbe modülasyon teknikleri kullanılarak bilgi gönderme ve almada iki önemli işlem; örnekleme ve sinyalin yeniden elde edilmesidir. Sinyalin tekrar elde edilebilmesi, vericide işaretin ne kadar sık örneklendiğine ve alıcıda ne kadar keskin frekans tepkisine sahip bir alçak geçiren filtre kullanıldığına bağlıdır. Ne örnekleme sinyal frekansı ne de alçak geçiren filtrenin frekans tepkisi, tek başına bilgi işaretinin en iyi şekilde tekrar elde edilmesi için yeterli değildir. Her ikisinin birlikte olması gerekir.

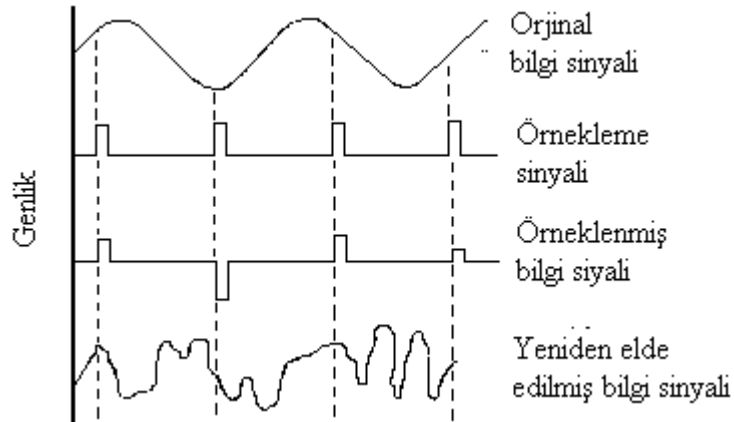
Bir örnekleme sinyal frekansının seçiminde önemli olan bir özellik; bilgi işaretinin yeniden elde edilebilmesi için, örnekleme sinyal frekansının (f_s), bilgi işaretinin maksimum frekansının (f_m) iki katından daha büyük olmasının gerektiğidir ($f_s > 2f_m$). Bu şart, bir alçak geçiren filtre kullanılarak, bilgi işaretinin gürültüsüz veya çok az gürültülü olarak yeniden elde edilmesi için yeterli örnek sağlar (Şekil 2.3).

Bant genişliği yaklaşık 300 Hz – 3 KHz arasında olan telefon kanalları üzerinden yapılan konuşmalar için tipik darbe modülasyon örnekleme oranı saniyede 8000 örnektir.



Şekil 2.3: Yeterli sayıda örneklenmiş sinyal

Bilgi işaretinin maksimum frekansının iki katına eşit veya daha az bir oranda örneklemeden kaçınılmalıdır. Bu oranlarda örnekleme, elde edilen bilgi işaretinin distorsiyonuna sebep olur. Şekil 2.4 yetersiz örneklemenin sonuçlarını göstermektedir.



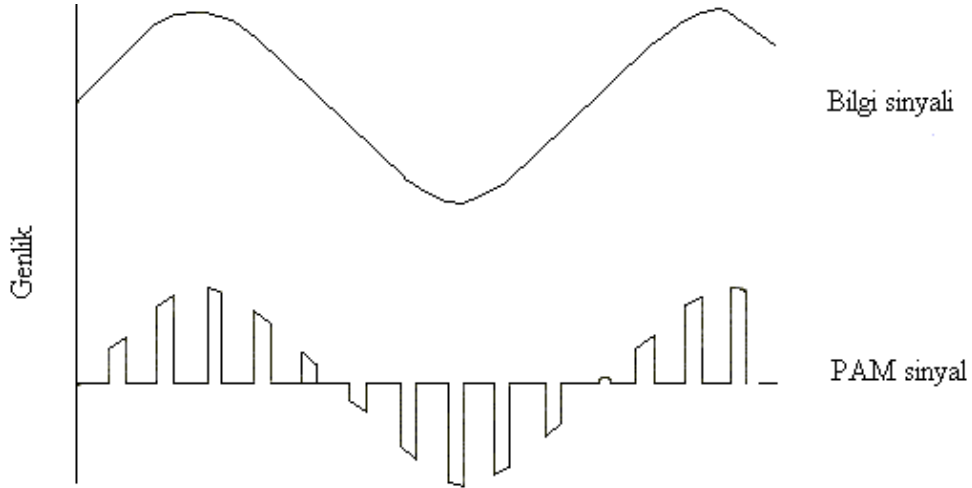
Şekil 2.4: Yetersiz sayıda örneklenmiş sinyal

Yeniden elde edilen sinyalin şekli, orijinal şekle benzememektedir. Sinyalin yeniden elde edilişı, işaretin örneklenmiş bir sinyalden tekrar elde edilmesi işlemidir. Alıcıda bir alçak geçiren filtre, örneklenmiş sinyali süzer ve distorsiyonsuz orijinal işaretin bir benzerini yeniden oluşturur. Sinyalin yeniden elde edilişinde, iki ana faktörden birisi, örnekleme sinyal frekansı, bilgi işaretinin maksimum frekansının iki katından daha büyük olması idi. Diğerisi ise alçak geçiren filtrenin kesim frekansının, maksimum bilgi işareti frekansını geçecek kadar yüksek ve örnekleme sinyal frekansının yan bant frekanslarını bastıracak kadar düşük olması gerektiğidir. Şekil 2.5, örneklenmiş bilgi işaretinin frekans spektrumunu göstermektedir.

Şekil 2.5: Örneklenmiş sinyalin frekans spektrumu

Eğer alçak geçiren filtrenin frekans tepkisi, şekil 2.5'te görüldüğü gibi fm ile fs – fm arasına düşerse, yeniden elde edilen bilgi sinyali, distorsiyonsuz olur. fs –fm üzerindeki frekansların bilgi işareti fm ile birlikte filtreden geçmesine müsaade edildiğinde, yeniden elde edilen bilgi, distorsiyona uğrayacaktır. Bu durumda ilave bir filtre veya sinyal düzeltici gerekir.

Bir PAM sinyali, bir dizi darbeden oluşan örneklenmiş sinyaldir. Her bir darbenin genliği, tekabül ettiği örnekleme noktasındaki analog sinyalin genliği ile orantılıdır. Şekil 2.6, tabii örneklenmiş bir PAM sinyalini göstermektedir.

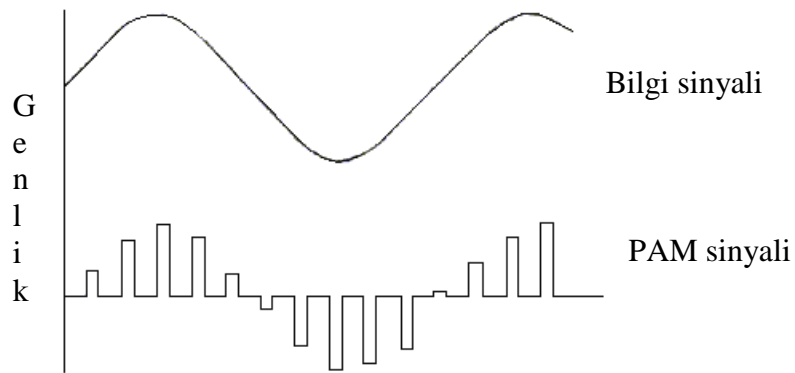


Şekil 2.6 Tabii örneklenmiş PAM sinyal

Görülen PAM sinyali, tabii sinyal örnekleme metodu tanımına uyup daha önce açıklanmıştır. Her bir örnek darbenin genliği, örnekleme sinyalinin darbe genişliği süresince bilgi sinyalini takip eder. Bilgi örneklenmediğinde her bir örnekleme periyodunun geri kalan kısmı sıfırdır.

PAM sinyalinin bir başka türü, şekil 2.7’ de görülen düz tepe (Flat-Top) örneklenmiş PAM sinyaldir. Bu sinyal, genlikleri örnekleme aralığında (genellikle başlangıçta) özel bir noktadaki bilgi sinyalini temsil eden dikdörtgen darbelerden oluşur. Darbeler, örnekleme aralıkları boyunca bilgi sinyalinin genliğini takip etmezler. Bu aralık boyunca tek bir genlik seviyesine sahiptirler.

Darbe genişliği (W), örnekleme periyoduna (T) göre azaldıkça bu distorsiyon da azalır. Darbe genişliği büyük olduğunda dahi yeniden elde edilen sinyal bir filtreden geçirilmek suretiyle distorsiyon düzeltilebilir.

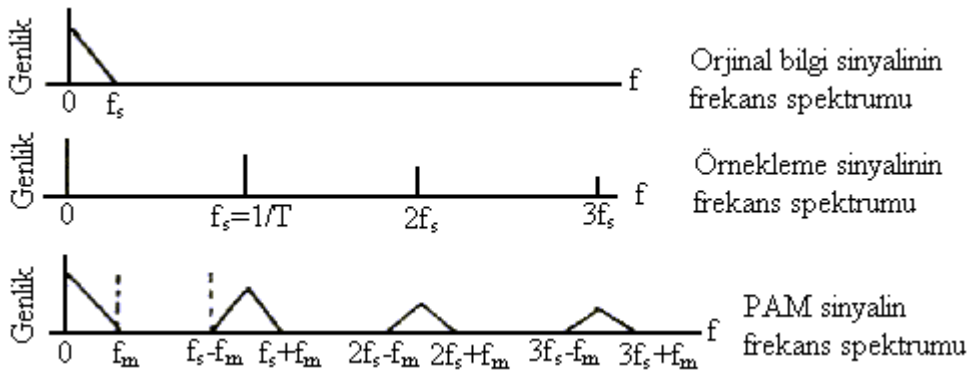


Şekil 2.7: Düz tepe örneklenmiş PAM sinyal

PAM'ın amacı FM veya GM metotlarından farklıdır. GM veya FM'de ilk amaç sinyal harmoniklerini, elektromanyetik iletişimin mümkün olduğu bir frekans aralığına dönüştürmektir. Darbe modülasyon işleminin ilk amacı ise, gönderme ortamını diğer sinyallerle paylaşmak amacıyla kullanılan, zaman bölmeli çoğullayıcılarda bilgi sinyalini bir örnekler dizisine dönüştürmektir. Bazı PAM sinyaller hat üzerinden direkt olarak gönderilirler. Fakat RF iletişimi gerektiğinde, PAM sinyaller bir RF taşıyıcıyı modüle etmede kullanılırlar. Bu amaçla bir devre, bilgi sinyalini örneklere çevirirken diğer bir devrede PAM sinyal spektrumunu RF aralığına kaydırır.

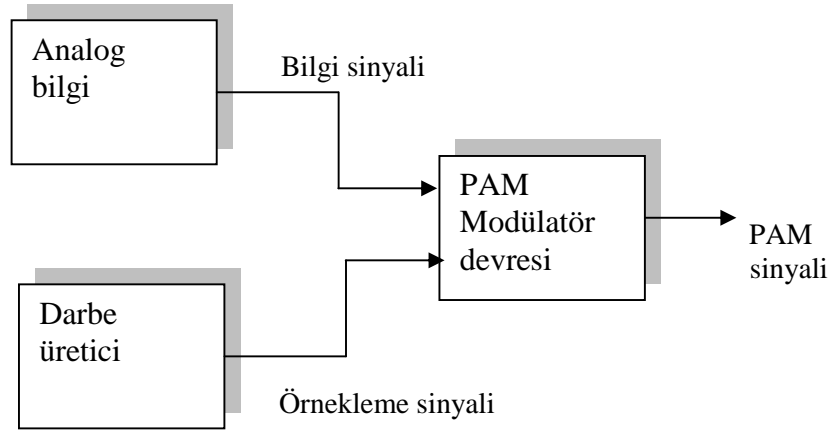
Düz-tepe örneklenmiş PAM sinyalden yeniden elde edilen bilgi sinyali, tabii örneklenmiş PAM sinyalden elde edilene göre daha fazla distorsiyonludur. Darbe genişliği (W), örnekleme periyoduna (T) göre azaldıkça bu distorsiyon da azalır. Darbe genişliği büyük olduğunda dahi, yeniden elde edilen bilgi sinyali bir filtre devresinden geçirilmek suretiyle distorsiyon problemi giderilebilir.

Sinyali yeniden elde etme, PAM sinyali göndermede kullanılan metoda bağlı olarak bir veya iki seviyeli demodülasyon gerektirir. İki seviyeli demodülasyon, PAM sinyal bir RF taşıyıcıyı modüle ettiğinde gerekir. Bu durumda bir devre RF taşıyıcıyı atar ve PAM sinyali bırakır. İkinci bir devre ise örnek darbelerden bilgiyi elde eder. PAM sinyallerin direkt olarak gönderilebilmesi için genellikle bir modülasyon katı gerekir. Bir PAM sinyalden bilginin yeniden elde edilmesi, şekil 2.8'deki frekans spektrumundan görülebilir. DC'den FM'e örneklenmiş spektrum kısmı orijinal spektrumun tamamıyla aynıdır. Eğer FM'in üzerindeki tüm frekanslar yok edilirse, orijinal bilgi spektrumu kalacaktır. PAM sinyal uygun bir alçak geçiren filtre içerisinde geçirilerek, orijinal bilgi sinyali yeniden elde edilir. Filtre, DC' den fm'e düz bir geçiş bandına ve FM ve FS-FM arasında keskin bir kesime sahip olmalıdır. Bu FM ve FS-FM arasında bir koruma bandı olması için gereklidir. Uygun bir koruma bandı olmaksızın hiçbir filtre, istenilen frekans bileşenlerini distorsiyonsuz geçiremez ve örnekleme sinyalinin istenmeyen frekans bileşenlerini yok edemez.



Şekil 2.8: PAM sinyal frekans spektrumu

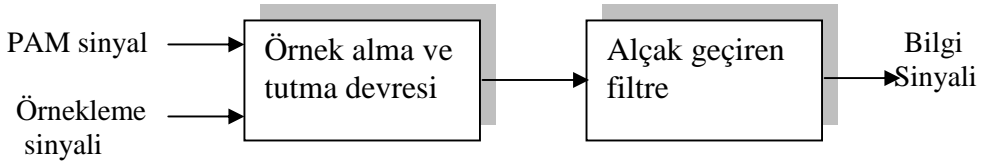
Yeniden elde edilen bilgi sinyalinin gerçek genliği, filtredeki enerji kaybı sebebiyle orijinal bilgi sinyaline göre oldukça küçüktür. Örnek alma ve tutma devreleri, filtrelenen sinyaldeki enerji seviyesini kabul edilebilir bir seviyede tutmak için filtre ile kullanılır.



Şekil 2.9: PAM modülatörü blok diyagramı

Bir PAM sinyal, çeşitli farklı devrelerle üretilebilir. Bunlar, elektronik anahtar metodu kullanan basit devreler olabileceği gibi, çeşitli tümleşik devreler kullanılmış daha karmaşık devreler de olabilir. Temelde her birinin çalışması aynıdır. Bir PAM modülatör blok diyagramı, şekil 2.9’da görülmektedir. Bilgi sinyali, örnekleme darbeleri süresince periyodik olarak örneklenir. Darbe üreticiden çıkan bu darbe dizisi, bilgi sinyalinin ne zaman ve nasıl örnekleneceğini belirleyen örnekleme sinyalidir. Sonuç olarak çıkışta üretilen bir PAM sinyalidir.

PAM’ın demodülasyonu, orijinal bilgi sinyalini yeniden elde etme işlemidir. Demodülatör veya sezme devresi, orijinal bilginin parçalarını temsil eden örnekleme palslerini, orijinal bilgi sinyalinin distorsiyonsuz bir benzerine çevirmelidir. Şekil 2.10 sezme devresinin bir blok diyagramını göstermektedir. Bir PAM sinyalden orijinal bilgi sinyalinin yeniden elde edilmesini sağlamaktadır.



Şekil 2.10: PAM demodülatörü blok diyagramı

Örnek alma ve tutma devresi, PAM sinyali ve PAM sinyalin darbeleri ile senkronlu bir örnekleme sinyalini alır. Senkronsuz olarak yeniden elde edilen bilgi sinyali sıfır olacaktır. Örnek alma ve tutma devresi, PAM sinyali bir merdiven dalga şekline dönüştürür. Eğer işaret örneklenmiş PAM sinyali ise, örnek alma ve tutma devresine gerek yoktur. Sinyal, daha sonra bir alçak geçiren filtreden geçirilerek orijinal bilgi sinyaline dönüştürülür.

2.3 Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM Pulse Width Modulation)

Darbe süre (genişlik) modülasyonu (Pulse Duration (Width) Modulation – PDM (PWM)), taşıyıcı darbe katarındaki her darbe genişliğinin mesaj işareti ile orantılı olarak değiştirilmesi sonucu elde edilir. Şekil 2.11’de gösterildiği gibi bu modülasyon türü üç farklı biçimde gerçekleştirilebilir.

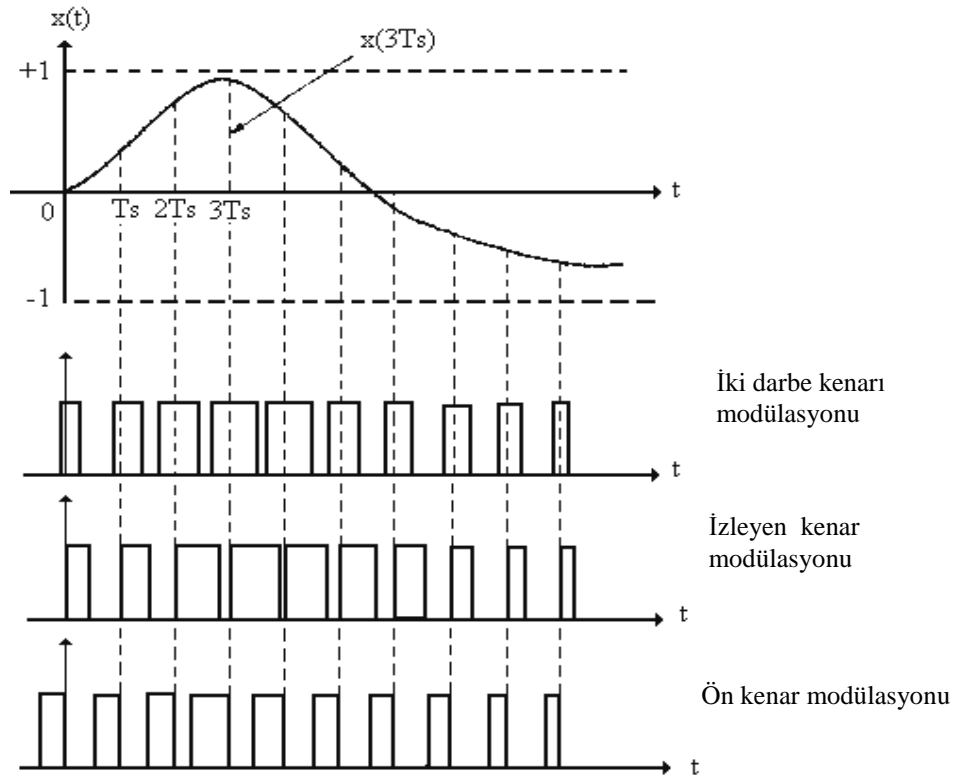
PWM işareti yaklaşık olarak, sürekli dalga modülasyonunun bir türü olan açılı modülasyonuna benzetilmektedir. Bu sebeple, zaman ve frekans domenindeki (düzlem) ifadelerini kesinlikle analitik olarak ifade etmek mümkün değildir. Ancak büyük bir ihtimalle, fourier serisi açılımından yararlanarak bazı sonuçlar elde edilebilir.

Bu ihtimallerin dayandığı iki gözlem sonucu vardır. Bunlar:

- Mesaj işareti $x(t)$ ’nin komşu örnek değerleri arasında büyük değer farkları yoktur. Yani $x(t)$ ’nin frekans bileşenleri genellikle W bant genişliğinin çok altında yoğunlaşır.
- Pratikte modülasyonlu darbeler için izin verilen maksimum darbe genişliği darbeler arasındaki süreden çok küçüktür.

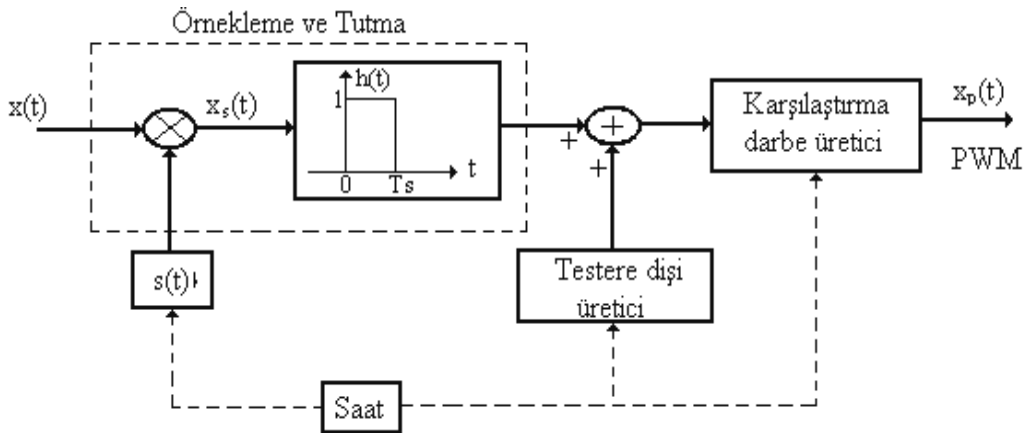
Bu gözlemlerin sonucunda yaklaşık olarak PWM dalgası, periyodu T_s olan periyodik darbe katları biçiminde düşünülebilir.

PWM dalgasını üretmek için popüler bir yöntem şekil 2.12’de gösterilmiştir. Burada kullanılan testere dişi üreticinin tepeden tepeye genliği $x(t)$ mesaj işaretinin maksimum genliğinden biraz büyük seçilir.

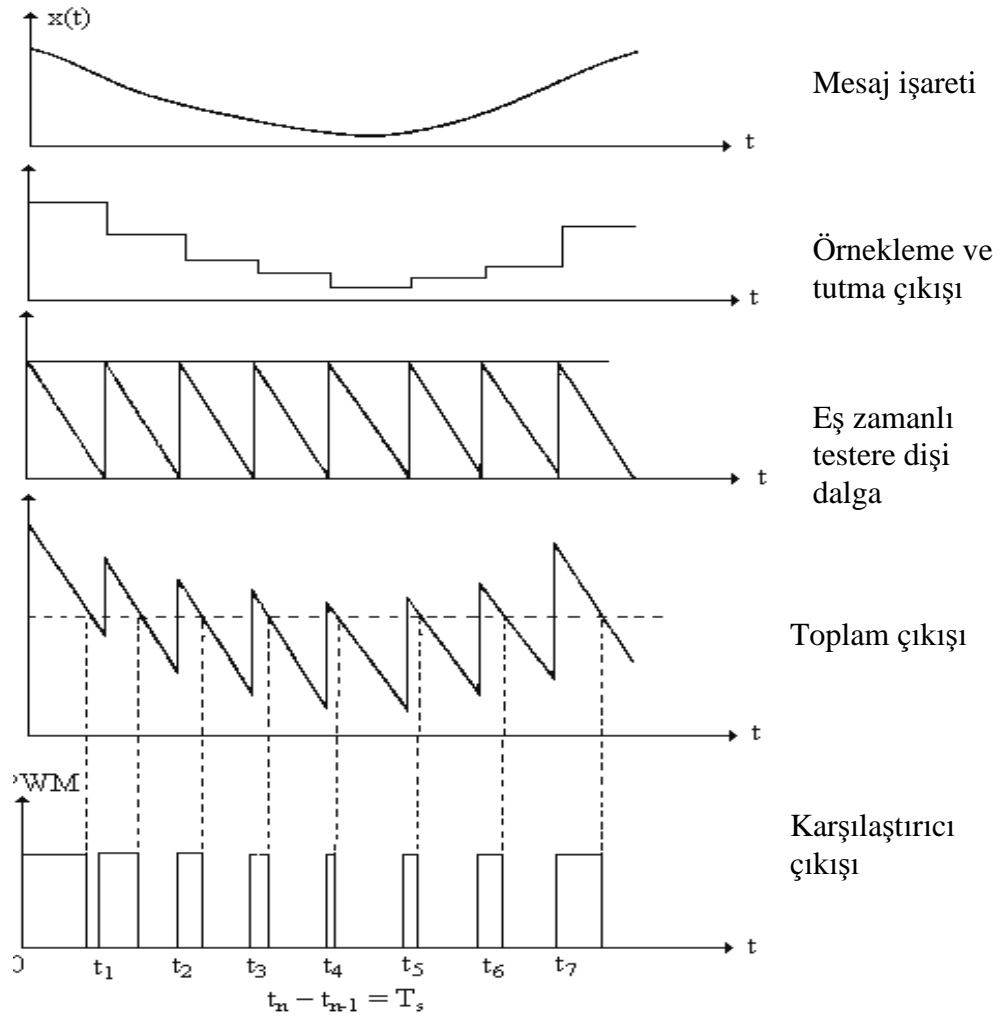


Şekil 2.11: PWM modülasyonu dalga biçimleri

Şekil 2.1.3'teki örnekten görüleceği üzere bu testere gerilimi, genlikten zamana olan dönüşümün temelini oluşturmaktadır. Bu sebeple tam olarak bilinmelidir. Karşılaştırıcı ise, yüksek kazançlı ve iki durumlu bir kuvvetlendiricidir. Eğer giriş işareti, referans seviyesinden büyük ise bir durumda (verilen bir gerilimde), referans seviyesinden küçük ise diğer bir durumda (diğer gerilimde) olur. Şekil 2.13'ün incelenmesi ile yukarıda açıklanan özellikler açıkça gözlenebilir.



Şekil 2.12: PWM dalgasının üretiminin blok diyagramı

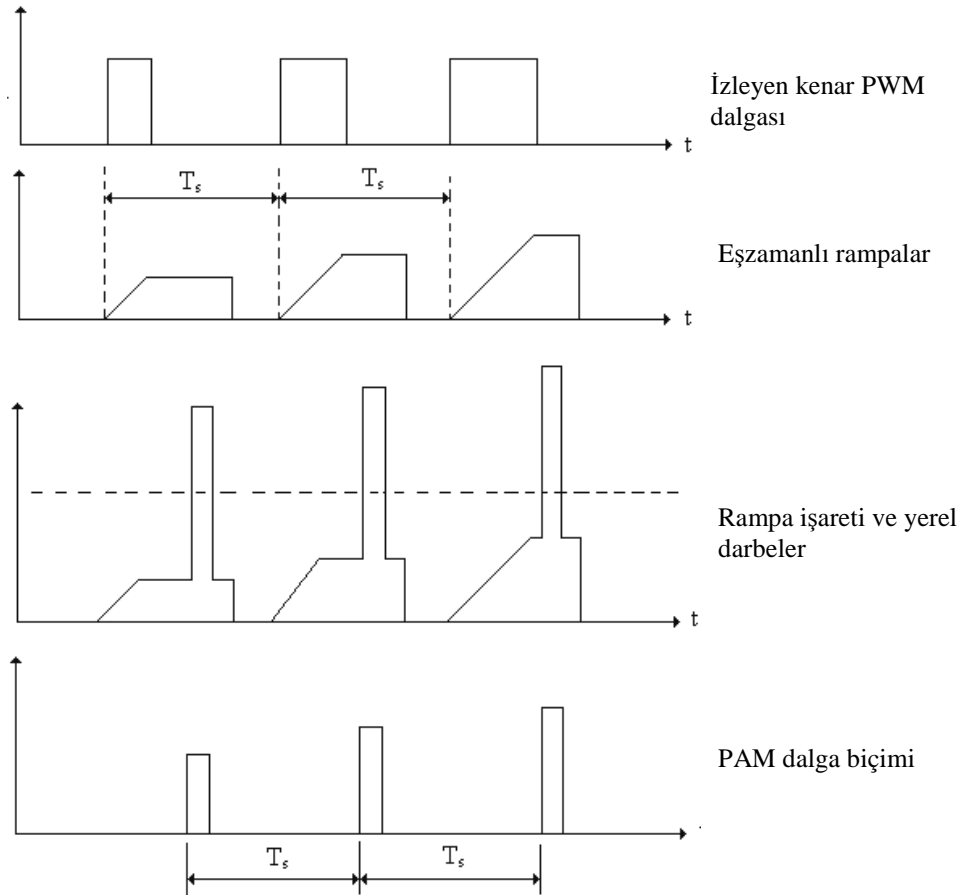


Şekil 2.13: PWM işaretinin üretilmesi

PWM genellikle iki şekilde üretilir;

- Yöntem 1 : 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.
- Yöntem 2 : PWM dalgası önce PAM dalga biçimine dönüştürülür. Sonra, PAM dalgası alçak geçiren bir filtreden geçirilerek $x(t)$ mesaj işareti elde edilir.

Şekil 2.14’te birbirini izleyen üç PWM’li darbe için ikinci yöntemi gösterelim. Buna göre, PWM darbelerinin ön kenarı ile bir lineer rampa işareti üretilmektedir. Bu rampanın yükselişi diğer darbenin düşen kenarında son bulmaktadır. Bu sebeple rampanın yüksekliği darbe süresi ile orantılıdır. Rampanın aldığı son değer, belirli bir süre daha bu değerde tutulur. Daha sonra bu rampalar demodülatörde üretilen bir darbeler dizisine eklenir. Bu eklenen darbelerin genlikleri ve süreleri sabit olup zamanlaması, darbeler birbiri üzerine tam oturacak biçimde ayarlanmıştır. Sonuçta elde edilen dalga biçimi, bir kıyıcı devresine uygulanarak belirli bir eşiğin üstündeki bölümü iletebilir. Bu da tipik bir PAM dalgasıdır.



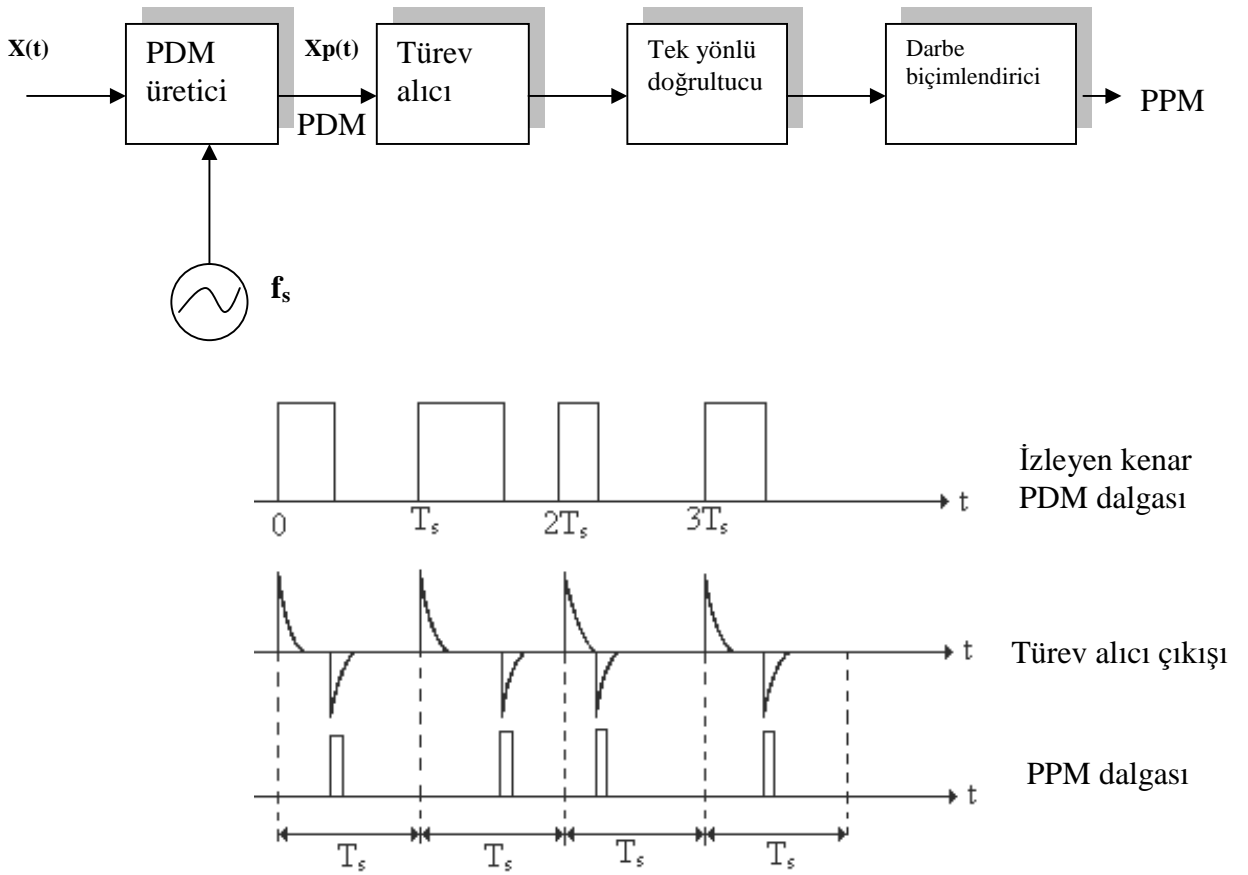
Şekil 2.14: PWM dalgasının PAM dalgasına dönüştürülmesi

2.4 Darbe Konumu Modülasyonu (PPM Pulse Position Modulation)

Darbe konum (yeri) modülasyonu (Pulse Position Modulation – PPM) ve darbe genişlik modülasyonu (PWM) birbirine çok yakın iki modülasyon türüdür. Genellikle PPM dalgası, PWM modülasyonundan sonra ilave işlemle üretilir. Bunun için PWM işaretinin önce integrali ve daha sonra diferansiyeli alınır. Pozitif darbelere karşı duyarlı olan bir

schmitt trigger kullanılarak, darbe genliği ve darbe süresi sabit olan darbeler elde edilir. PWM işaretinde gürültü az olduğu için, böyle bir işaretten PPM işaretinin elde edilmesi gürültü açısından büyük fayda sağlar. Aslında tıpkı faz modülasyonunda olduğu gibi, PWM'nin temel kullanım alanlarından birisi PPM üretmektir. PPM mesaj iletimi yönünden PWM'den daha üstündür.

PPM işaretin üretimi şekil 2.15'te gösterilmiştir. Buna göre, önce PWM dalgası daha önce açıklanan bir yöntemle elde edilir. Daha sonra bu dalganın türevi alınarak peş peşe artı ve eksi impuls (darbe) dizileri elde edilir. Artı impulslar PWM darbelerinin arka kenarını göstermektedir. İki impuls (darbe) arasındaki süre, PWM dalgasının darbe genişliğine eşittir.



Şekil 2.15: PPM dalganın üretim aşamaları

PPM'de $x(t)$ mesaj işaretine ait bilgi, T_s periyodu içinde darbelerin konumlarında saklıdır. Bu sebeple genlik modülasyonunda, taşıyıcı bileşenin boşuna güç taşımaya benzer biçimde PAM ve PWM dalgalarındaki güç de, boşuna harcanan güçtür. Dolayısıyla, PPM'in düşük güçlerde çalışabilmesi, PWM'ye göre en belirgin özelliğini ve üstünlüğünü oluşturmaktadır.

PPM doğrusal olmayan bir modülasyon olması sebebiyle, PPM işaretin frekans spektrumu son derece zordur. Alıcı tarafta detekte edilen PPM darbeleri, önce PWM darbelerine dönüştürülür. Daha sonra integrasyon işlemi yapılarak orijinal işaret elde edilir.

2.5. Darbe Kod Modülasyonu (PCM Pulse Code Modulation)

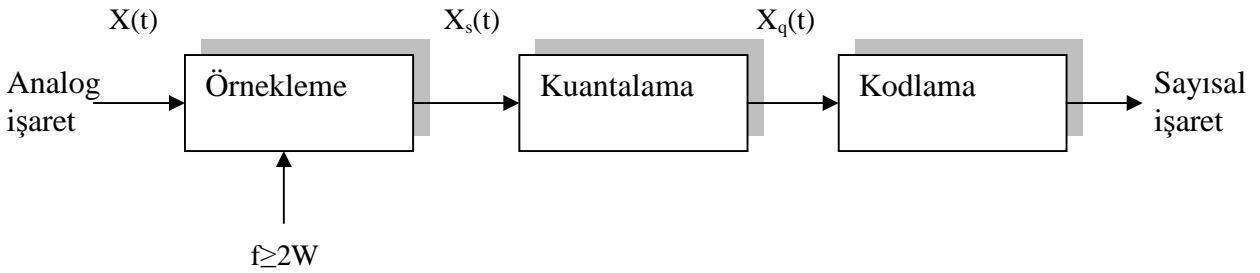
Darbe kod modülasyonu (PCM), daha önce bahsi geçen darbe modülasyonu teknikleri arasında, tek sayısal iletim sistemi tekniğidir. PCM’de, darbeler sabit uzunlukta ve sabit genliktedir. PCM ikili bir sistemdir; önceden belirlenmiş bir zaman bölmesi içinde bir darbenin bulunması ya da bulunmaması, 1 ya da 0 mantık durumunu gösterir. PWM, PPM ve PAM’da, tek bir ikili sayıyı (bit) göstermez.

Şekil 3.15, tek kanallı, simpleks (tek yönlü) bir PCM sisteminin basitleştirilmiş blok diyagramını göstermektedir. Bant geçiren filtre, analog giriş sinyalini 300 Hz ile 3400 Hz arasındaki standart ses bandı frekans aralığına sınırlar. Örnekleme ve tutma devresi, analog girişi periyodik olarak örnekler ve bu örneklemeleri çok düzeyli bir PAM sinyale dönüştürür. Analog / sayısal dönüştürücü (ADC), PAM örneklemeleri iletim için seri ikili veri akışına dönüştürür. İletim ortamı genelde metalik bir tel çiftidir.

Alma ucunda, sayısal / analog dönüştürücü (DAC), seri ikili veri akışını çok düzeyli bir PAM sinyale dönüştürür. Örnekleme ve tutma devresi ile alçak geçiren filtre, PAM sinyali tekrar başlangıçtaki analog biçimine dönüştürür. PCM kodlamayı ve kod çözme yapılandıran entegre devreye kodek (kodlayıcı / kod çözücü) denir.

Daha önceki bölümde, analog mesaj işaretinin ayrık zamanlı örneklerinin kullanımı ile gerçekleştirilen darbe modülasyon türleri ayrıntılı olarak incelenmiş bulunmaktadır. Darbe modülasyonunda, analog enformasyonun ayrık zamanda iletişimi söz konusudur. PAM, PWM ve PPM modülasyonlarıyla darbenin sırasıyla genliğinin, genişliğinin ve bir periyot içindeki pozisyonunun sürekli olarak tüm işaret değerleri için değişimine izin verilmektedir. Bu aşamadan sonra bir iyileştirme de, zamanda ayrık duruma getirilmiş (örneklenmiş) işaretin genliğinin de belirli sayıda ayrık seviyelere ayrılarak kuantalanmasıdır (kuantalama; belirli örnekleme zamanlarında elde edilen genlik numuneleri). M seviye sayısını gösterirse, PAM sistemlerinde kullanılan bu yönteme “M’li PAM” adı verilmektedir.

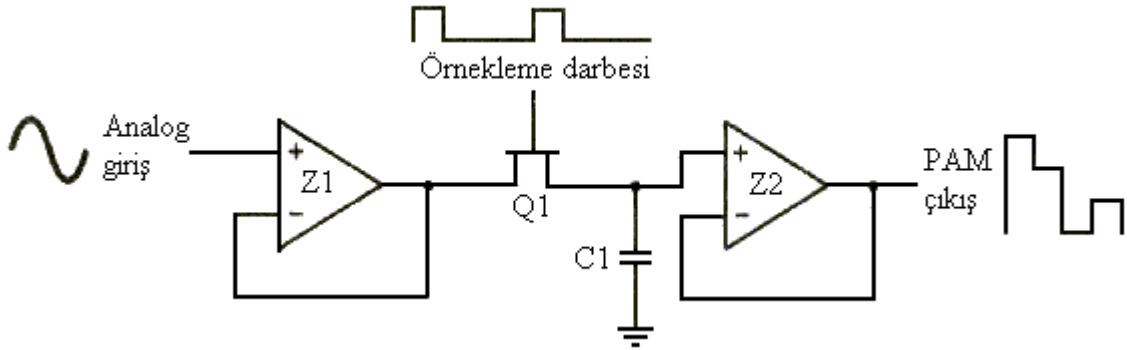
Bu bölümde, örneklenmiş sürekli genlikli işareti, belirli seviyelere kuantalamakla kalmayıp bir örnek anında her seviye için bir kod kullanılacaktır. Bu türden modülasyon darbe kod modülasyonu (pulse code modulation – PCM) olarak adlandırılır. PCM’de enformasyon taşıyan $x(t)$, işareti önce uygun bir örnekleme frekansı ile örneklenir. Daha sonra bu örnek değerler, belirli kuantalama seviyelerine kuantalanır. Buna kuantalama işlemi adı verilir. Son olarak, her kuantalama seviyesi bir ikili kod kelimesi ile, yani sonlu sayıda (0,1) dizisi ile gösterilir. İkili kod kelimeler dizisine dönüştürülen bu işarete PCM dalgası adı verilir. Şekil 2.16’da PCM sistemi verici bölümünün blok diyagramı görülmektedir.



Şekil 2.16: PCM’de verici bölümün 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. ADC’nin bir sinyali sayısal bir koda doğru olarak dönüştürebilmesi için, sinyalin nispeten sabit olması gerekmektedir. Yoksa ADC daha dönüştürmeyi gerçekleştiremeden analog sinyal değişir. Bu durumda, ADC analog değişiklikleri devamlı izlemeye çalışır ve hiçbir PCM kodunda kararlı hâle gelemez.

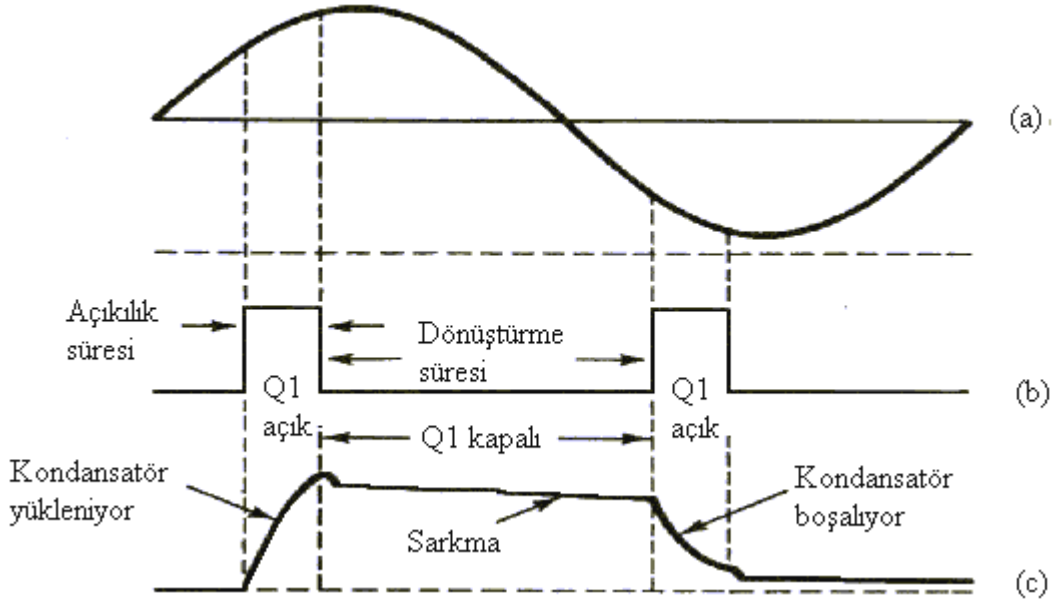


Şekil 2.17: Örnekleme ve tutma devresi

Şekil 2.17, bir örnekleme ve tutma devresinin şematik diyagramını göstermektedir. FET (Q1), basit bir anahtar gibi hareket eder. FET açık hâle getirildiğinde, analog örnekleme C1 üzerinde oluşturmak üzere düşük empedanslı bir yol sağlar. Q1’in açık kaldığı süreye apertür süresi veya yakalama süresi denir. Temel olarak C1, tutma devresidir. Q1 kapalı olduğunda, kondansatörün boşalması için tam bir yol bulunmaz; dolayısıyla kondansatör örneklenen gerilimi saklar. Kondansatörün saklama süresine A / D dönüştürme süresi de denir. Çünkü ADC, örneklenen gerilimi bu süre içinde sayısal bir koda dönüştürür. Yakalama süresi çok kısa olmalıdır. Bu, analog sinyal C1 kondansatörünün üzerinde oluşturulurken, sinyalde minimum değişikliğin gerçekleşmesini sağlar. ADC dönüştürmeyi gerçekleştirirken girişi değişiyorsa, bozulma meydana gelir. Bu bozulmaya apertür bozulması denir. Dolayısıyla örnekleme ve tutma devresinde apertür bozulması, yakalama

süresini kısa, ADC'nin girişini ise nispeten sabit tutmak suretiyle azaltılır. Analog sinyalin kısa bir süre boyunca örneklendiği ve A / D dönüştürme süresi sırasında, örnekleme geriliminin sabit genlikte tutulduğu örneklemeye düz tepe örnekleme denir. Örneklemenin daha uzun sürede gerçekleştiği ve analog / sayısal dönüştürmenin, değişen bir analog sinyal meydana geldiği örneklemeye doğal örnekleme denir. Doğal örnekleme, düz tepe örneklemesinden daha fazla açıklık bozulmasına yol açar ve daha hızlı bir A / D dönüştürücü gerektirir.

Şekil 2.18, analog giriş sinyalini, örnekleme darbesini ve C1 üzerinde oluşan dalga biçimini göstermektedir. Gerilim takip edici Z1'in çıkış empedansının ve Q1'in "açık" direncinin mümkün olduğu kadar küçük olması önemlidir. Bu empedansların küçük olması, kondansatörün RC yüklem zaman sabitinin çok kısa olmasını sağlayarak, kısa yakalama süresi sırasında kondansatörün yüklenmesine ve boşalmasına imkân verir. Her örnekleme darbesinden hemen sonra kondansatör gerilimindeki hızlı düşüş, C1 üzerindeki yükün devrede tekrar dağılmasından kaynaklanır. FET'in (FET'lerde gerilimler Gate (kapı), Source (geçit) ve Drain (akaç) rotasyonu şeklinde gösterilir.) akacı ile geçidi arasındaki elektrotlar arası kapasitans, FET "kapalı" olduğunda C1 ile seridir; dolayısıyla bu kapasitans, kapasitif gerilim bölücü bir ağ gibi hareket eder.



Şekil 2.18: Örneklem ve tutma devresinde dalga biçimleri; (a) analog giriş; (b) örnekleme darbesi; c) kondansatör gerilimi

Ayrıca şekil 2.17'de, dönüştürme süresi sırasında kondansatörün tedrici olarak boşaldığına dikkat edin. Buna sarkma denir. Sarkmaya, kondansatörün kendi sızıntı direnci ile gerilim takip edici Z2'nin giriş empedansı üzerinden boşalması yol açar. Dolayısıyla, Z2'nin giriş empedansının ve C1'in sızıntı direncinin mümkün olduğu kadar yüksek olması önemli bir husustur. Temel olarak, Z1 ve Z2 gerilim takip edicileri, örnekleme ve tutma devresini (Q1 ve C1), giriş ve çıkış devrelerinden yalıtır.

Nyquist örnekleme teoremi, bir PCM sistem için kullanılabilecek 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. Burada;

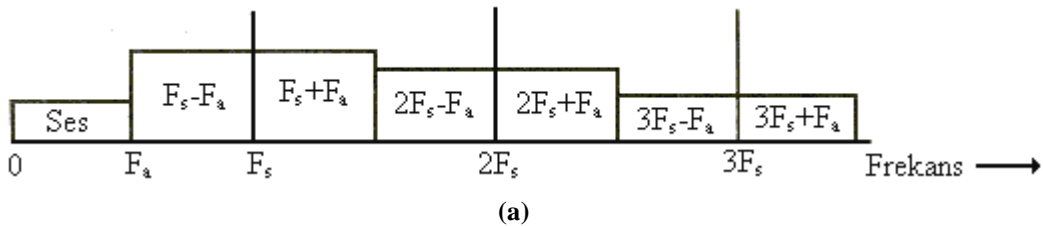
$$f_s = \text{Minimum Nyquist örnekleme hızı}$$

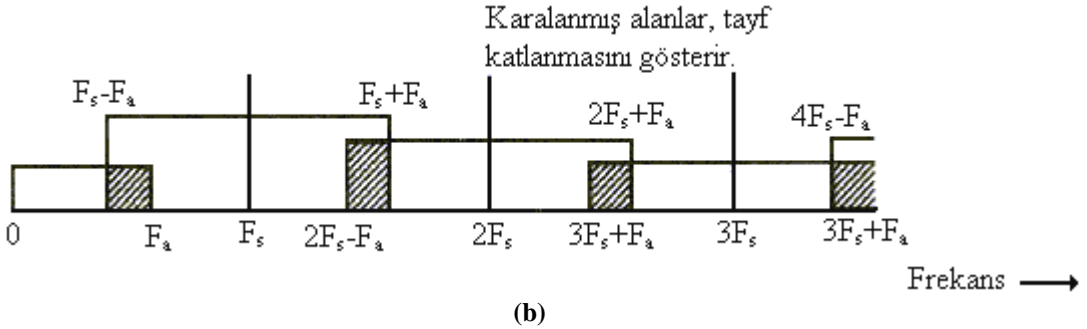
$$f_a = \text{Örneklenebilecek en yüksek frekans}$$

Temel olarak, örnekleme ve tutma devresi bir A.M modülatördür. Anahtar, iki girişi olan (örnekleme darbesi ve analog giriş sinyali) doğrusal olmayan bir aygıttır. Dolayısıyla, bu iki sinyal arasında doğrusal olmayan karıştırma (heterodinleme) meydana gelir. Şekil 2.19.(a), bir örnekleme ve tutma devresinin çıkış tayfının frekans düzleminde temsilini göstermektedir. Çıkış, başlangıçtaki iki girişi (ses frekansı ve örnekleme darbesinin temel frekansı), bu iki sinyalin toplam ve fark frekanslarının ($f_s \pm f_a$), f_s 'nin ve f_a 'nın tüm harmoniklerini ($2f_s$, $2f_a$, $3f_s$, $3f_a$, vb.) ve bu harmoniklerle ilgili yanbantları ($2f_s \pm f_a$, $3f_s \pm f_a$, vb.) içerir.

Örnekleme darbesi tekrarlamalı bir dalga biçimi olduğundan harmonik bağıntılı bir sinüs dalgalar serisinden oluşur. Bu sinüs dalgalarından her biri, analog sinyal tarafından genlik modülasyonuna tabi tutulur ve f_s 'nin her harmoniğinin etrafında, simetrik toplam ve fark frekanslarını oluşturur. Üretilen her toplam ve fark frekansı, kendi orta frekansından f_a kadar uzaktadır. f_s , f_a 'nın en az iki katı olduğu sürece, bir harmoniğin yan frekanslarından hiçbiri, başka bir harmoniğin yan bantlarına geçmez ve katlanma oluşmaz.

Şekil 2.19.(b), $f_s / 2$ ' den daha büyük bir analog giriş frekansı f_s 'yi modüle ettiğinde, oluşan çıkış tayfını göstermektedir. Bir harmoniğin yan frekanslarının, başka bir harmoniğin yan bandına katlandığı görülmektedir. Katlanma bozulması adı da buradan gelmektedir. İlk harmoniğin yan frekanslarından biri giriş tayfına katlanırsa bu frekansı filtrelemek ya da başka bir teknikle ses tayfından çıkarmak mümkün olmaz.





(b)
Şekil 2.19: Bir örnekleme ve tutma devresinin çıkış tayfı:
(a) Katlanma yok (b) Katlanma bozulması

2.5.2. Kuantalama İşlemi

Darbe genlik modülasyonunda, örneklenmiş değerler belirli kuantalama seviyelerine yuvarlatılmadan iletilmektedir. Ancak, bu işlem işaretin gürültüye olan bağışıklığı açısından bir yarar sağlamayacaktır. Bunun yerine, işaret genliğini belirli kuantalama seviyelerine yuvarlatmak ve her kuantalama seviyesi için, uygun bir kod kelimesi kullanmak daha uygun olmaktadır.

$x(t)$ işaretinin maksimum ve minimum genlikleri A_{\max} ile $-A_{\max}$ arasında değişiyorsa ve bu aralıkta değişen genlik değerleri $Q = 2n$ adet eşit kuantalama seviyesine bölünmek isteniyorsa kuantalama aralığı veya adımı;

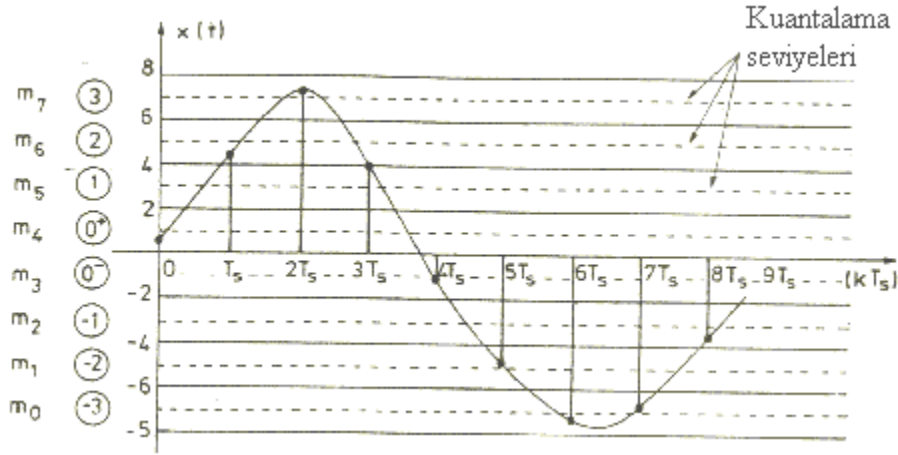
$$a = 2A_{\max} / 2^n$$

olarak tanımlanmaktadır. Kuantalama işleminde örnek değerlerin bulunduğu dilim belirlenir. Örneğin, -8 ve +8 volt arasında değişen bir $x(t)$ işaretini ele alalım. Bu aralık 8 kuantalama seviyesine ayrılırsa, kuantalama aralığı $a = (16/8) = 2$ birim olacaktır.

Şekil 2.20’de gösterildiği gibi, her örnek değeri 8 seviyeden birine yuvarlatılır. Bu örnek için kuantalama seviyeleri, $\pm 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3$ olmaktadır. Her örnekleme anında elde edilen değeri, en yakın kuantalama seviyesine kuantalanır. Tablo 2.1’de çeşitli işaret genliklerine karşılık düşen kuantalama seviyeleri ve kod kelimeleri görülmektedir.

Giriş işareti genliği	Kuantalama seviyesi	Kod kelimesi
2.768	+1	001
2.051	+1	001
6.767	+3	011
-0.025	-0	100

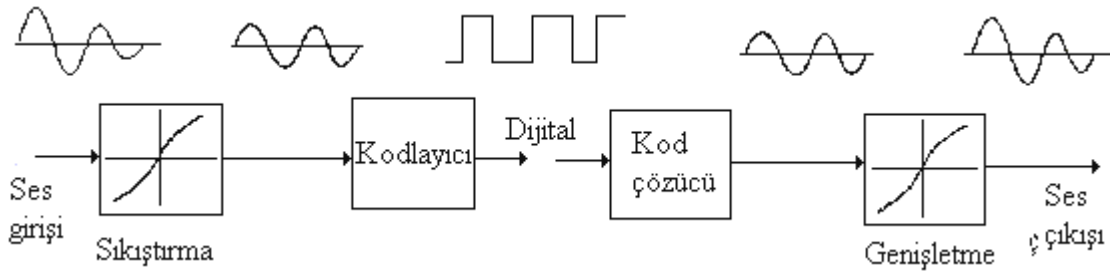
Tablo 2.1: Çeşitli işaret genliklerine karşılık gelen kuantalama seviyeleri ve kod kelimeleri



Şekil 2.20: Kuanta seviyeleri

Kuantalama dilim sayısı Q arttıkça, kuantalama gürültüsü de azalacaktır. Buna karşılık bir örneği belirlemek için kullanılması gerekli bit sayısı da artacaktır.

PCM sistemindeki kuantalama hatası, kuvvetli işaretlerde ihmal edilebilecek kadar küçük olmasına rağmen, zayıf işaretlerde kuantalama seviyesi ne olursa olsun önemlidir. Bu hatayı önlemek amacı ile verici tarafta; sıkıştırma ve alıcı tarafta; genişletme işlemleri yapılmaktadır. Şekil 2.21'de sıkıştırma ve genişletme işlemleri gösterilmiştir. Sıkıştırma işlemi ile büyük genlikler zayıflatılarak küçük genliklerin seviyesine düşürülür. Bu teknik PCM ve delta modülasyon tekniklerinin temelini oluşturur.

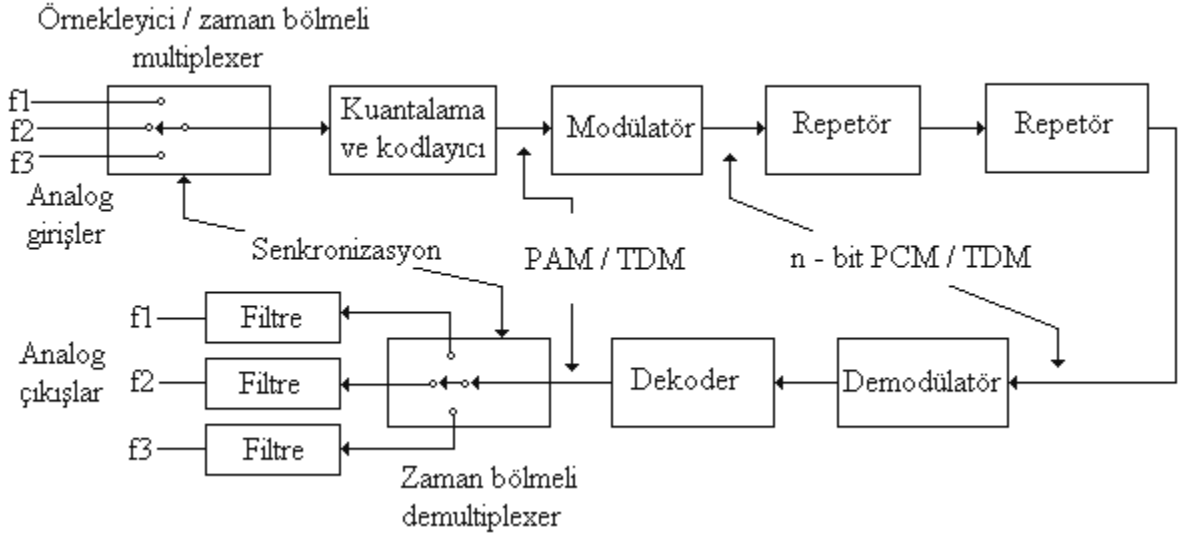


Şekil 2.21: Sıkıştırma ve genişletme işlemi

PCM sistemi, gürültüden az etkilenen bir haberleşme sistemidir. Kullanılan entegre devreler sayesinde, mikroişlemci kontrollü haberleşme sistemlerine kolay bağlanabilir ve dijital bilgi iletiminde rahatlıkla kullanılabilir. PCM sisteminin diğer bir kullanım alanı ise kablolu TV işaretlerinin dağılımındaki uygulamalardır. İşaret dağılımında 20 –30 mil aralıklarla mikrodalga röle istasyonları kullanılarak zayıflamalar takviye edilir. Her röle istasyonuna gelen işaret, gürültüden ayıklanıp kuvvetlendirildikten sonra ikinci istasyona gönderilir. Bu röle istasyonları repetör olarak da isimlendirilir. PCM sisteminde işaret – gürültü oranı 21 dB veya daha düşük ise repetöre gerek vardır.

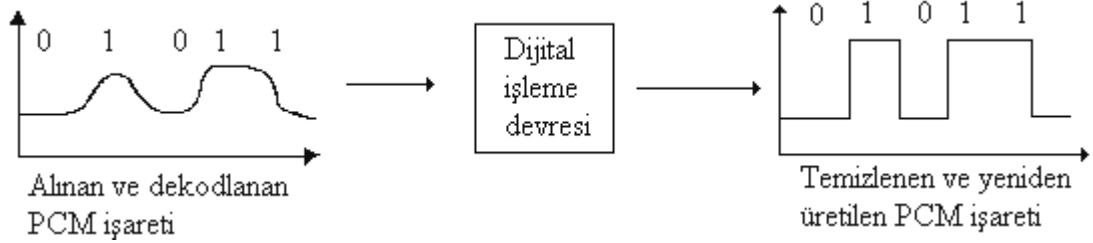
PCM / TDM repetör sisteminin blok diyagramı şekil 2.22’de gösterilmiştir. Şekilden görüleceği gibi örnekleyci olan ilk blok, TDM örnekleme devresi ile birlikte darbe genlik modüleli işareti (PAM) meydana getirmektedir. Bu işaret daha sonra, kuantalama ve dekode devresi ile n-bitlik PCM / TDM işaretine dönüşür. Bir taşıyıcı ile modüle edildikten sonra ilk repetöre iletilir. Repetör sayısı burada iki tane gösterilmesine rağmen daha çok sayıda olabilir.

TV işaretlerinin dağılımında kullanılan repetör sayısı 100’ler mertebesinde. Alıcıdaki demodülatör çıkışındaki işaret, ikili veya **binary** kodlu işaretler şeklindedir. Dekoder çıkışı ise, PAM / TDM şeklinde işaretlerdir. Zaman bölmeli demultiplexer devresinin çıkışında elde edilen üç tane analog işaret, alçak geçiren filtre devrelerinden geçirilir. Üç işaretin birbirinden ayrılabilmesi için multiplexer ile demultiplexer arasında bir senkronizasyon işaretine gerek vardır.



Şekil 2.22: PCM / TDM repetör sisteminin blok diyagramı

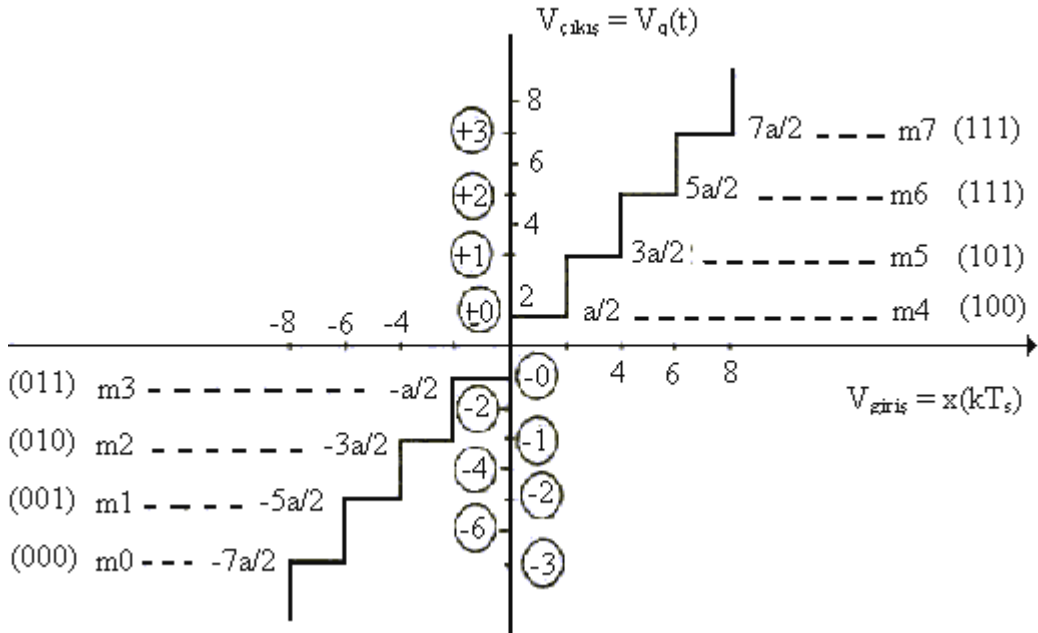
PCM sisteminde kullanılan repetörler yardımı ile orijinal işaret, gürültüden arınmış olarak yeniden üretilir. Bu işlem sonsuz defa arka arkaya tekrar edilebilir. Şekil 2.23’de gürültülü bir PCM işaretinin repetörler yardımı ile nasıl temizlendiği ve tekrar üretildiği gösterilmiştir. Gürültülü PCM işareti 01011 lojik seviyelerine sahip olup, tanınabilecek seviyededir. Darbenin genliği, genişliği ve yeri gürültüden etkilenebilir. Devrenin bant genişliğinin az olması ile de darbenin yükselme ve düşme zamanında gözle görülür bir kayma oluşabilir. Böyle bir işaret dijital işleme devresinden geçirilir. Gürültüden temizlenerek orijinal şekline dönüşür. Burada, gürültü seviyesinin lojik 1 ve 0 seviyeleri tanınmayacak kadar fazla olmadığı kabul edilmiştir. Böyle bir temizleme veya tekrarlama işlemi AM, FM, PAM, PWM ve PPM işaretlerine uygulanamaz. Yani gürültüden dolayı darbenin genlik, frekans, genişlik ve pozisyonunda bir değişiklik meydana gelmiş ise bunun böyle bir yöntem ile anlaşılması ve düzeltilmesi mümkün değildir.



Şekil 2.23: Repetörlerde PCM işaretinin tekrar üretilmesi

2.5.2.1. Düzgün Kuantalama

Şekil 2.24'te gösterilen türden kuantalamaya düzgün kuantalama adı verilir. 8 seviyeli düzgün bir kuantalayıcıya ait giriş çıkış eğrisi şekil 3.20'de gösterilmiştir. -3, -2, -1, -0, +0, +1, +2, +3 deki, 8 kuantal seviyesi sırasıyla $m_0, m_1, m_2, \dots, m_7$ olarak simgelenmektedir. Bu simgeler, ikili kod kelimeler kullanılarak kodlandırılır. Bu kodlama işleminde, üretilecek kod kelime uzunluklarının en kısa uzunlukta olması arzu edilir. Örneğin, verilen örnekte 8 kuantal seviyesi için $8 = 2^3$ olduğundan, ikili kodlamada kelime uzunluğu $n = 3$ olacaktır. Tablo 2.2'de kaynak seviyeleri ve ikili kod kelimeleri görülmektedir.



Şekil 2.24: Düzgün kuantalama eğrisi

Kaynak seviyeleri	İkili kod kelimesi	Kaynak seviyeleri	İkili kod kelimesi
m0	000	m4	100
m1	001	m5	101
m2	010	m6	110
m3	011	m7	111

Tablo 2.2:Kaynak seviyeleri ve ikili kod kelimeleri

Darbe dizisi biçiminde oluşacak PCM dalgaları, doğrudan kablolar üzerinden veya analog modülasyon yöntemleri kullanılarak iletilir. Alıcı tarafta, PCM işareti demodüle etmek için yapılması gereken işlem oldukça basittir. Dalganın biçimine veya genliğine bakılmaksızın, sadece bir dalganın varlığının veya yokluğunun belirlenmesi yeterli olacaktır. İkili işaret dizisi elde edildikten sonra, kod çözümlenerek kuantalanmış örnek değerler bulunabilir.

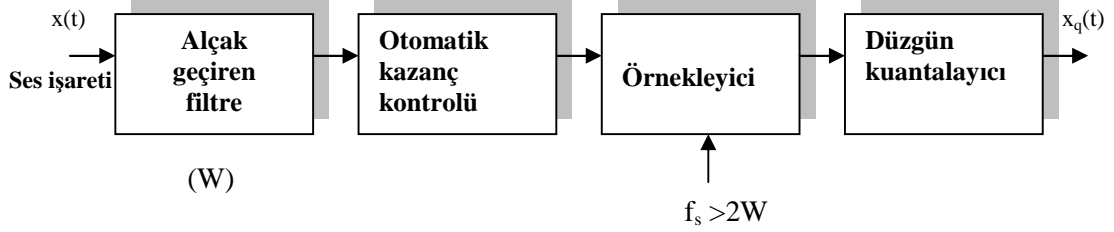
2.5.2.2. Düzgün olmayan kuantalama

Ses işaretlerinin istatistikleri incelendiğinde, küçük genliklere daha sık rastlanıldığı görülmektedir. Oysa, yukarıda küçük işaretlerde kuantalama gürültüsünün rahatsız edici boyutlarda olacağı gösterilmiş bulunmaktadır.

Bu gürültüyü azaltmak için başvurulacak ilk yöntem, adım büyüklüğünün azaltılması veya dilim sayısının artırılmasıdır. Ancak, bu durumda her bir örneği göstermek için kullanılması gereken bit sayısı artacağından, bu yöntem her zaman uygun ve ekonomik değildir. Diğer taraftan, çok seyrek olarak ortaya çıkan yüksek genlikli işaretler için gereksiz yere bir miktar dilim ayrılmış olacaktır. Eğer en büyük genlik küçük tutulursa, bu defa da kırılmalar meydana gelecektir.

Örneğin, dinamiği 36 dB olan bir ses işareti ele alınırsa, en küçük işaretle 36 dB işaret gürültü oranı elde etmek için, $n = 12$ bitlik kelime uzunluğunda bir PCM kullanmak gerekecektir. Böyle bir kuantalayıcı da, en küçük işaret için 36 dB işaret gürültü oranı sağlanırken, en büyük işaret için gereksiz yere 72 dB'lik bir işaret gürültü oranı elde edilecektir. Bununla beraber, büyük işaretler için büyük adım, küçük işaretler için de küçük adım kullanılarak, işaret gürültü oranının aynı olması sağlanabilir. Bunu gerçekleştirebilmek için, haberleşme sistemlerinde bir sıkıştırma (compressing) yapılmaktadır.

Bazı sistemlerde sıkıştırma işlemi, doğrudan analog ses işareti üzerinde yapılır. Şekil 2.25'te gösterilen sistemde, otomatik kazanç ayarı kontrolüyle işaret seviyesi yaklaşık olarak kodlayıcının genlik seviyesine yakın tutulmaktadır. Bunun sonucu, kuanta seviyelerinin büyük çoğunluğunun kullanılması sağlanarak, belirli bir kuantalama seviyesi sayısında sistemin en iyi biçimde çalışması gerçekleştirilir.



Şekil 2.25: Haberleşme sisteminde işaret seviyesinin değiştirilmesi

Ancak, haberleşme sisteminde birden fazla kanal varsa ve bu işaretler çoğullanıp tek bir kuantalayıcı ve kodlayıcıya uygulanıyorsa, sıkıştırma işlemi her kanal için ayrı ayrı yapılacak yerde, kuantalayıcı ve kodlayıcı girişinde yapılması, sistem tasarımı açısından daha verimlidir.

2.5.3. Kodlama İşlemi

Örneklenmiş analog işareti kuantaladıktan sonra, sayısal (dijital) işarete dönüştürmek için kodlanması gerekmektedir. Genellikle bir analog işareti sayısal (dijital) işarete dönüştürmek için, analog / sayısal dönüştürücüler (ADC) kullanılır. Bu dönüştürme işlemi sonucunda kodlanmış işaret elde edilmektedir.

Ancak bu kodlama, düzgün (uniform) bir kuantalama sonucu elde edilen genliklerin kodlanması olup, düzgün olmayan kuantalama sonucu bulunan örneklerin kodlanması için ikinci bir kodlama işlemine ihtiyaç olacaktır.

Uygulamada kullanılan analog / sayısal dönüştürücü (ADC) tiplerini üç gruba ayırmak mümkündür.

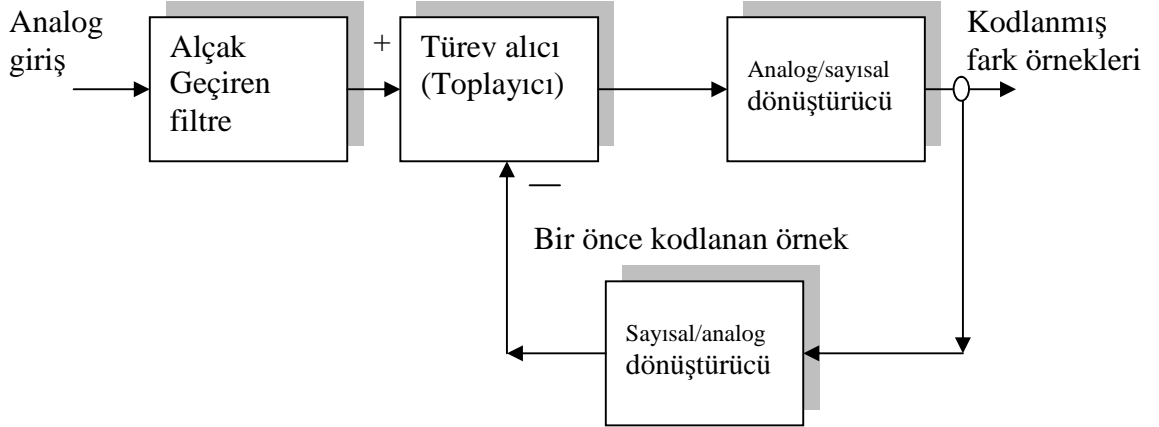
- Basamaklı dönüştürücü
- Ardışıl yaklaşımlı dönüştürücü
- Paralel dönüştürücü

Değişik tekniklerde çalışan bu analog / sayısal dönüştürücüleri, tüm devreler biçiminde piyasada bulmak mümkündür. Bu tip tüm devrelerde genellikle, örnekleme, kuantalama ve kodlama birlikte gerçekleştirilir.

2.6. Diferansiyel Darbe Kodlamalı Modülasyon

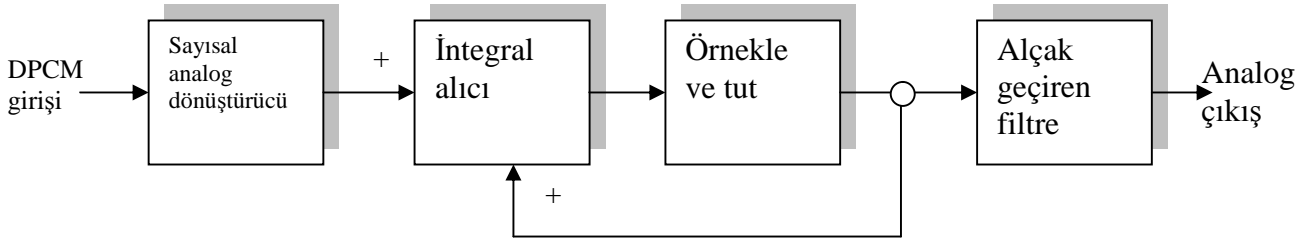
Tipik PCM kodlanmış bir konuşma dalga biçiminde, birbirini izleyen örneklemelerde iki örneklemenin genlikleri arasında az bir farkın bulunması, sık karşılaşılan bir durumdur. Bu da, bir çok birbirine benzer PCM kodunu iletme ihtimalini artırır. Benzer kodları iletme fazladan yapılan bir işlem olmuş olur. Diferansiyel darbe kod modülasyonu (DPCM), özel olarak tipik konuşma dalga biçimlerinde, örneklemeler arasındaki benzerliklerden yararlanmak üzere tasarlanmıştır. DPCM’de, örnekleme yerine, iletilecek örneklemeyle bir önceki örnekleme arasındaki fark iletilir. Örneklemelerin arasındaki fark aralığı, tek tek örneklemelerin aralığından daha az olduğu için, DPCM’yi iletme için PCM’yi iletmeyle oranla daha az bit gerektirir.

Şekil 2.26, bir DPCM vericinin basitleştirilmiş blok diyagramını göstermektedir. Analog giriş sinyalinin bandı, örnekleme hızının yarısına sınırlanır, sonra türev alıcıda bir önceki DPCM sinyalle karşılaştırılır. Türev alıcının çıkışı, iki sinyal arasındaki farktır. Fark, PCM koduna dönüştürülür ve iletilir. Analog / sayısal dönüştürücü, örnekleme başına tipik olarak daha az bit gerektirmesi dışında klasik PCM sistemde olduğu gibi çalışır.



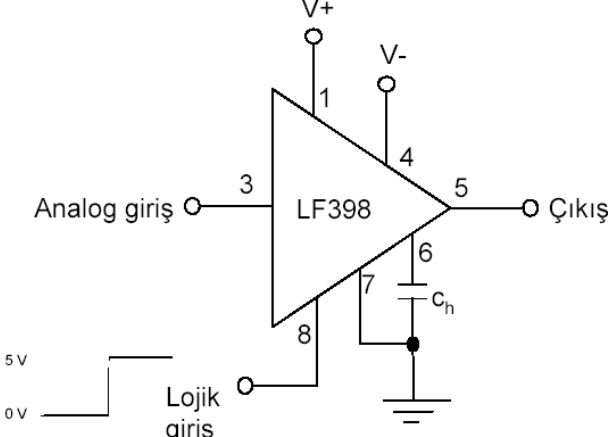
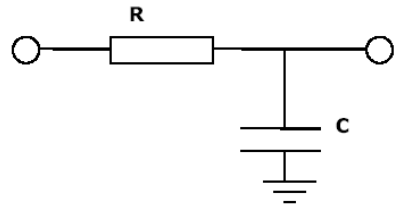
Şekil 2.26: DPCM verici

Şekil 2.27, bir DPCM alıcının basitleştirilmiş blok diyagramını göstermektedir. Alınan her örnekleme, tekrar analog sinyale çevrilir, saklanır ve alınan bir sonraki örneklemeyle toplanır. Şekil 2.27’de gösterilen alıcıda, integral alma, sayısal olarak da gerçekleştirilebilmesine rağmen, analog sinyallerle gerçekleştirilmiştir. (4)



Şekil 2.27: DPCM alıcı

UYGULAMA FAALİYETİ

İşlem Basamakları	Öneriler
 <p>Osiloskop, güç kaynağı, işaret üretici Entegre: 1 x LF398 Direnç: 1 x 1K . Kapasiteler: 1 x 100nF, 1 x 1µF</p> <p>(a) Örnekleme ve tutma devresi (b) Alçak geçiren filtre</p> <p>Şekil 2.28: Örnekleme ve tutma devresi</p>	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Şekil 2 28(a) da verilen devreyi kurunuz. ➤ Analog girişe 500 Hz frekanslı ve 1 V genlikli sinüs dalga uygulayınız. Giriş işaretini çiziniz. ➤ Lojik girişe 10 KHz frekanslı ve 5 V genlikli kare dalga uygulayınız. Çıkışı gözleyip çiziniz. ➤ Analog girişe üçgen dalga verildiğinde çıkış gözleyip çiziniz. ➤ Örnekleme darbe frekansının 2xF olduğu durumda çıkışı gözleyip çiziniz. ➤ Şekil 2.28(b)'de verilen devreyi kurulu devreye ekleyiniz. ➤ Örnekleme darbe frekansının 10 KHz olduğu durumda alçak geçiren filtre çıkışını çiziniz. Bu işaretle giriş işaretini karşılaştırıp yorumlayınız. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Sinyal jeneratörünün sinyal şeklini önce osilaskopta görünüz. ➤ Çizimleri yaparken ölçüm ve osilaskoptaki değerleri not almayı unutmayınız. ➤ Örnekleme frekansını 1000Hz çıkardığınızdaki durumu ile 500H'deki durumu not etmeyi unutmayınız.

İşlem Basamakları	Öneriler
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Deney setinde bulunan PAM-PWM ve PPM modüllerini alınız. ➤ Deney seti kitapçığında belirtildiği gibi her bir modül için kurunuz. ➤ Her modül çıkışını osilaskoba bağlayıp çıkış dalga şekillerini ayrı ayrı çiziniz. ➤ Deney setinin PCM modülünü alınız. ➤ Modülü kurup devreye enerji uygulayınız. ➤ PCM modülünün her bir kat çıkışındaki sinyali osilaskopla ölçüp çiziniz. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Deney setinde deney yaparken her uygulama için ayrı bir rapor hazırlayınız. ➤ Deney setinin uygulama kitapçığına göre uygulamaları yapınız

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki sorulara uygun cevapları veriniz.

1. Sürekli bir mesaj işaretinin modülasyonu ile elde edilen modülasyon türüne denir.
2. Bir işaretin en yüksek frekansının oranında bir sıklık ile numune alındığında; alıcı tarafta orijinal işaretin büyük bir doğrulukla elde edilmesi mümkündür.
3. Bant genişliği yaklaşık 300 Hz – 3 kHz arasında olan telefon kanalları üzerinden yapılan konuşmalar için tipik darbe modülasyon örnekleme oranı saniyede örnektir.
4. Aşağıdakilerden hangisi sayısal bir modülasyon türü değildir?
a)PWM b)PCM c)PAM d)PM
5. Örnekleme ve tutma devresinin amacı, değişensinyalini periyodik olarak örneklemek ve örneklemeyi, bir dizi sabit genliklidüzeyine dönüştürmektir.
6.örnekleme teoremi, bir PCM sistem için kullanılabilecek 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, örneklemeler arasındaki benzerliklerden yararlanmak üzere tasarlanmıştır.
10. Analog mesaj işaretinin sayısal metotlar kullanılarak bir noktadan diğerine gönderilmesinedenir.

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarı ile karşılaştırınız. Doğru cevap sayınızı belirleyerek kendinizi değerlendiriniz. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt yaşadığınız sorularla ilgili konuları faaliyete dönerek tekrar inceleyiniz.

MODÜL DEĞERLENDİRME

Modül ile kazandığınız yeterliği aşağıdaki kriterlere göre değerlendiriniz.

Değerlendirme Ölçütleri	Evet	Hayır
İşlem Basamakları		
Modülasyon kavramını öğrendiniz mi ?		
Sayısal ve Analog modülasyon arasındaki farkları öğrendiniz mi?		
Darbe modülasyonu çeşitleri ve kullanım alanlarını öğrendiniz mi?		
Modülasyon çeşitlerini ve tercih sebeplerini öğrenebildiniz mi?		
Çoğullama çeşitlerini ve kullanım yerlerini öğrendiniz mi?		
Modülasyon deneylerini eksiksiz bir şekilde yapabildiniz mi ?		
Düzenli ve kurallara uygun çalışma		
Mesleğe uygun kıyafet (önlük) giydiniz mi?		
Çalışma alanını ve aletleri tertipli-düzenli kullandınız mı?		
Laboratuvar ortamının temizlik düzenine dikkat ettiniz mi?		
İşlem basamakları sırasına uygun davrandınız mı?		
Zamanı iyi kullandınız mı?		

DEĞERLENDİRME

Teorik bilgilerle ilgili soruları doğru cevapladıktan sonra, yeterlik testi sonucunda, tüm sorulara “Evet” cevabı verdiyseniz bir sonraki modüle geçiniz. Eğer bazı sorulara “Hayır” şeklinde cevap verdiyseniz eksiklerinizle ilgili bölümleri tekrar ederek yeterlik testini yeniden yapınız.

CEVAP ANAHTARLARI

ÖĞRENME FAALİYETİ-1 CEVAP ANAHTARI

1	D
2	C
3	Modülasyon
4	A.M zarfı
5	87,5 MHz -108
6	FREKANS SAPMASI
7	AŞIRI MODÜLASYON
8	çoklama
9	4 KHz
10	TDM/FDM

ÖĞRENME FAALİYETİ-2 CEVAP ANAHTARI

1	Analog modülasyon
2	İki katı frekansında
3	8000
4	D
5	Analog giriş/ PAM
6	Nyquist
7	Kuantalama hatası
8	PCM
9	DPCM
10	Sayısal haberleşme

ÖNERİLEN KAYNAKLAR

- Çölkesen R., **Bilgisayar Haberleşmesi ve Ağ Teknolojileri**, Papatya Yayınları, İstanbul 2002.
- KAPLAN Y., **Veri Haberleşmesi Temelleri**, Papatya Yayınları, İstanbul 2002.
- Wayne TOMASI, **Elektronik İletişim Teknikleri**, Millî Eğitim Basımevi, İstanbul 1997.

KAYNAKÇA

- PASTACI Halit, **Modern Elektronik Sistemler**, Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik – Elektronik Fakültesi, İstanbul 1996.
- VURDU H, KOCAAY Ç, NALBANTOĞLU M, **Sayısal İletişim Ve PCM Sistemleri**, PTT Meslek Geliştirme Başmüdürlüğü, Ankara 1987.
- J.G. Proakis, **Digital Communications**, McGraw – Hill, New York, 1983.
- John Ronayne, **Sayısal Haberleşmeye Giriş** , Ceng, FİEE Communications Consultant, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul 1997.
- Cole, M., **Telecommunications**, Prentice Hall, N.J. USA 1994.
- Yılmaz, M., **Modülasyon Teorisi**, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon 1986.