

## BÖLÜM 4

### 4. HABERLEŞME SİSTEMLERİNDE TEMEL KAVRAMLAR-4

#### 4.1. 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 yatkındır. 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.

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 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(düzlem) 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.

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

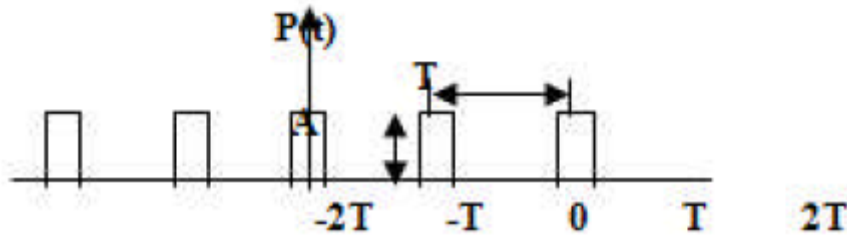
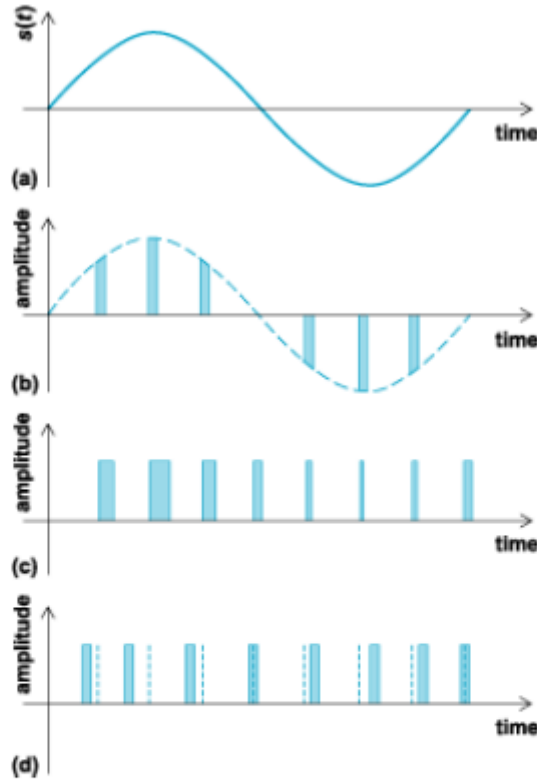
Darbe Modülasyonu, genel olarak belirli bir darbe katarının, genlik, süre veya diğer parametrelerinin mesaj işaretinin bir fonksiyonu olarak değiştirilmesi sonucu elde edilir. Şekil-4.1'de gösterilen darbe katarının  $T$  darbe süresi, darbeler arasındaki süreye (periyoda) göre çok küçük seçilir.

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

- Sürekli dalga modülasyonu (Continuous-wave modulation)
- Darbe Modülasyonu (Pulse modulation) olarak adlandırılır.

### Sürekli Dalga Modülasyonu (Continuous-Wave Modulation)

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



Şekil-4.1:

(a- Analog sinyal , b- darbe genlik modülasyonu, c- darbe genişlik modülasyonu, d- darbe pozisyon modülasyonu, e- darbe modülasyonunda taşıyıcı işaret)

### Darbe Modülasyonu (Pulse modulation)

Sürekli dalga modülasyonunun aksine, darbe modülasyonu sürekli olmayan ayrık zamanlı bir işlemdir. Şekil-4.1'de görüleceği gibi, darbeler zamanın ancak belli  $T$  aralıklarında  $\tau$  süresince vardır. Bu özelliğinden dolayı, darbe modülasyonu doğal olarak ayrık mesaj işaretleri için uygundur.

Mesaj işaretine göre sınıflama yapıldığında iki tip modülasyon ortaya çıkmaktadır:

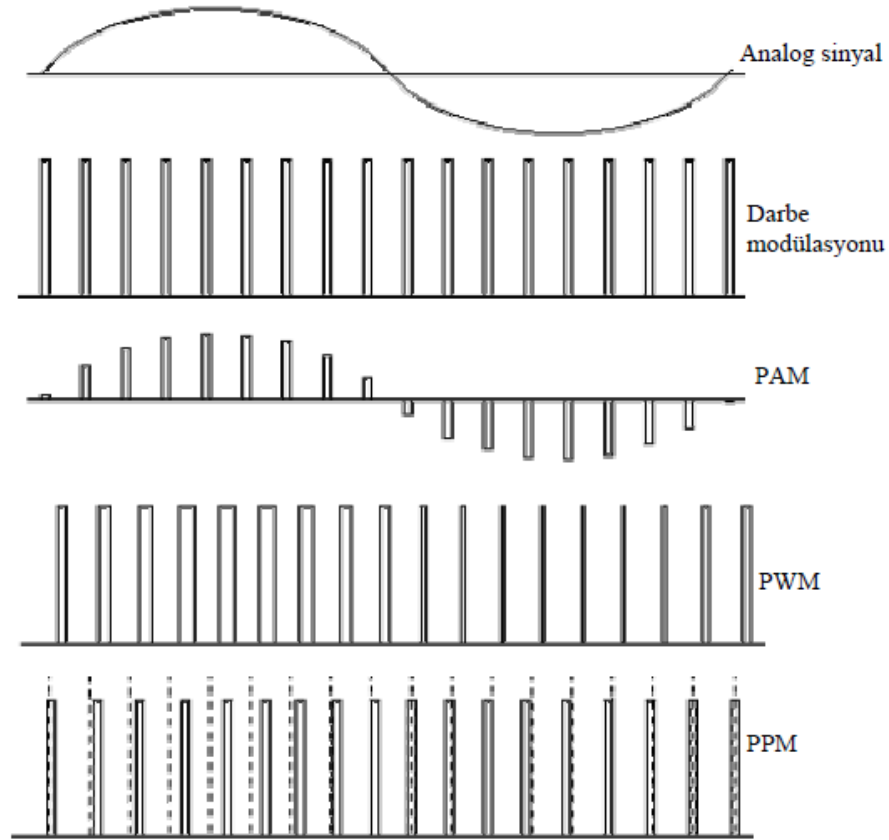
- **Analog modülasyon:** Sürekli bir mesaj işaretinin modülasyonu ile elde edilen modülasyon türüdür.
- **Sayısal modülasyon:** Ayrık bir mesaj işaretinin modülasyonu sonucu elde edilen modülasyon türüdür.

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. 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; AM ve FM'de 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 paylaşım sistemi esasını oluşturur. Telefon sistemindeki zaman paylaşımı ile birden fazla kişinin bir bilgisayarı 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.

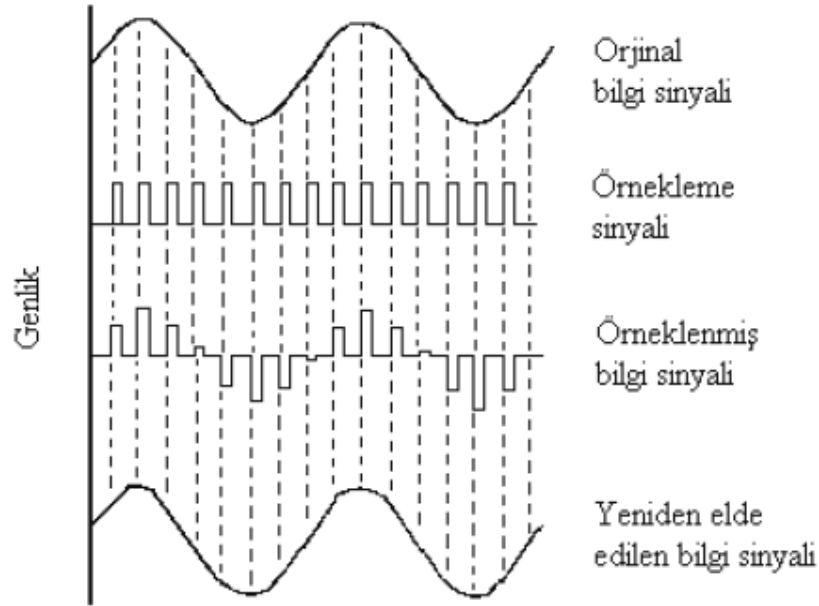


Şekil-4.2: Darbe modülasyonu çeşitleri

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-4.2'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.

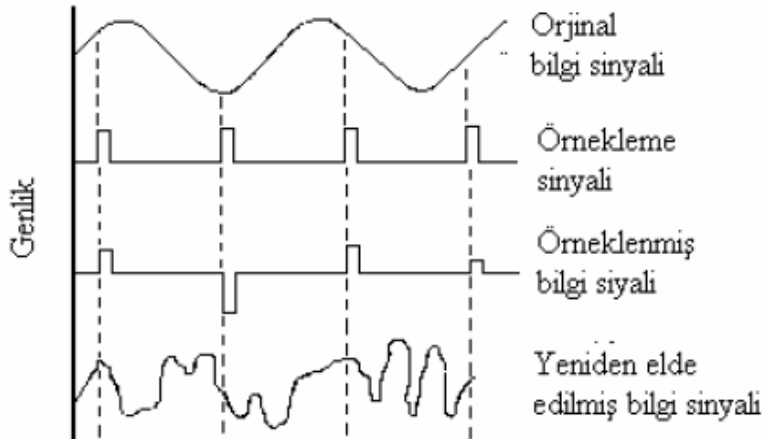
#### 4.1.1. Örnekleme ve Sinyalin Tekrar Elde Edilmesi

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 4.3).



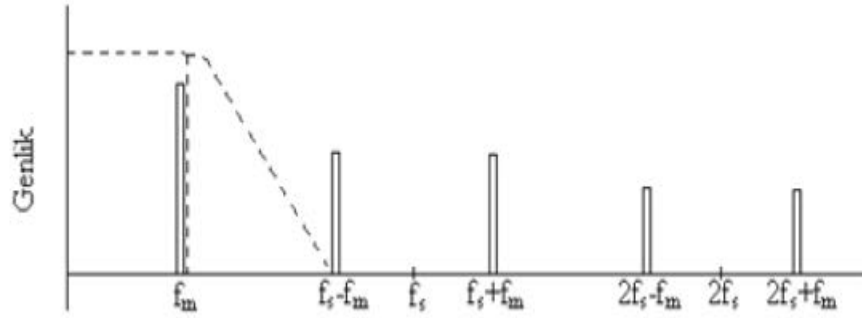
Şekil 4.3: Yeterli sayıda örneklenmiş sinyal

Bant genişliği yaklaşık 300 Hz – 3 KHz arasında olan telefon kanalları üzerinden yapılan konuşmalar için tipik darbe modülasyon örnekleme oranı saniyede 8000 örnektir. 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-4.4 yetersiz örneklemenin sonuçlarını göstermektedir.



Şekil-4.4: Yetersiz sayıda örneklenmiş sinyal

Yeniden elde edilen sinyalin şekli, orijinal şekle benzememektedir. Sinyalin yeniden elde edişi, 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 edilmesinde, iki ana faktörden birisi, örnekleme sinyal frekansı, bilgi işaretinin maksimum frekansının iki katından daha büyük olması idi. Diğer ise alçak geçiren filtrenin kesim frekansının, maksimum bilgi işareti frekansını geçecek kadar yüksek ve örnekleme sinyal frekansının yan bant frekanslarını bastırarak kadar düşük olması gerektiğidir. Şekil-4.5, örneklenmiş bilgi işaretinin frekans spektrumunu göstermektedir.



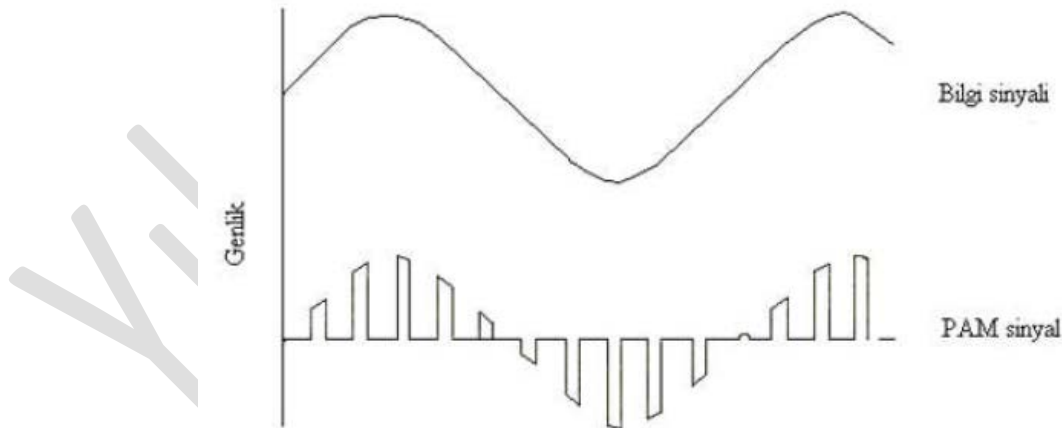
Şekil-4.5: Örneklenmiş sinyalin frekans spektrumu

“ $f_m$ ”, alçak geçiren filtrenin geçirmesi gereken maksimum bilgi sinyali frekansıdır.  $f_s$  ( $f_s - f_m$  ve  $f_s + f_m$ ), örnekleme sinyal frekansının etrafında merkezlenen  $2f_s$  ( $2f_s - f_m$  ve  $2f_s + f_m$ ) ve  $3f_s$  ( $3f_s - f_m$  ve  $3f_s + f_m$ ) yan bant frekans çiftleri, alçak geçiren filtre tarafından bastırılmalıdır.

Eğer alçak geçiren filtrenin frekans tepkisi, Şekil-4.5’te görüldüğü gibi  $f_m$  ile  $f_s - f_m$  arasına düşerse, yeniden elde edilen bilgi sinyali, distorsiyonsuz olur.  $f_s - f_m$  üzerindeki frekansların bilgi işareti  $f_m$  ile birlikte filtreden geçmesine müsaade edildiğinde, yeniden elde edilen bilgi, distorsiyona uğrayacaktır. Bu durumda ilave bir filtre veya sinyal düzeltici gerekir.

#### 4.1.2. Darbe Genlik Modülasyonu (PAM : Pulse Amplitude Modulation)

Bir PAM sinyali, bir dizi darbeden oluşan örneklenmiş sinyaldir. Her bir darbenin genliği, tekabül ettiği örnekleme noktasındaki analog sinyalin genliği ile orantılıdır. Şekil-4.6, tabii örneklenmiş bir PAM sinyalini göstermektedir.

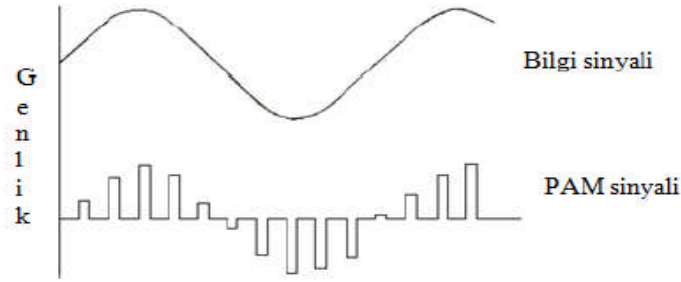


Şekil-4.6 Tabii örneklenmiş PAM sinyal

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

PAM sinyalinin bir başka türü, Şekil-4.7’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.

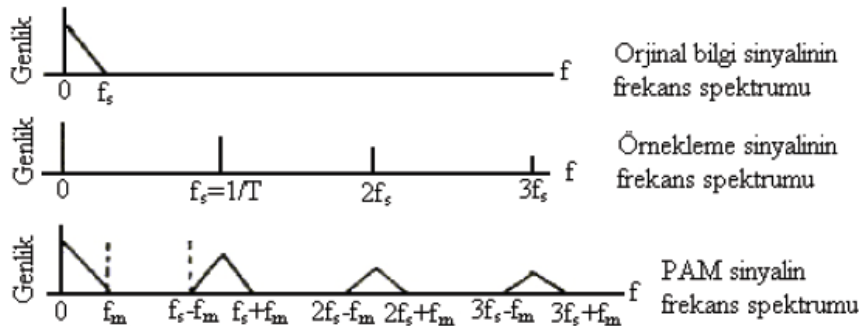


Şekil-4.7: Düz tepe örneklenmiş PAM sinyal

PAM'ın amacı FM veya AM metotlarından farklıdır. AM 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 örneklerle çevirirken diğer bir devrede PAM sinyal spektrumunu RF aralığına kaydırır.

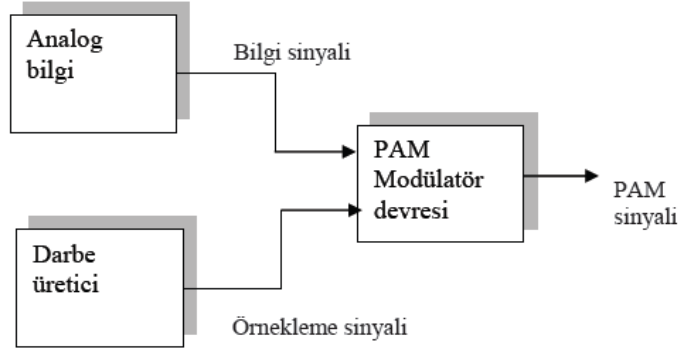
Düz-tepe örneklenmiş PAM sinyalden yeniden elde edilen bilgi sinyali, tabii örneklenmiş PAM sinyalden elde edilene göre daha fazla distorsiyonludur. Darbe genişliği (W), örnekleme periyoduna (T) göre azaldıkça bu distorsiyon da azalır. Darbe genişliği büyük olduğunda dahi, yeniden elde edilen bilgi sinyali 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-4.8'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 içerisinden geçirilerek, orijinal bilgi sinyali yeniden elde edilir. Filtre, DC' den  $f_m$ 'e düz bir geçiş bandına ve  $F_M$  ve  $F_S - F_M$  arasında keskin bir kesime sahip olmalıdır. Bu FM ve  $F_S - F_M$  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-4.8: PAM sinyal frekans spektrumu

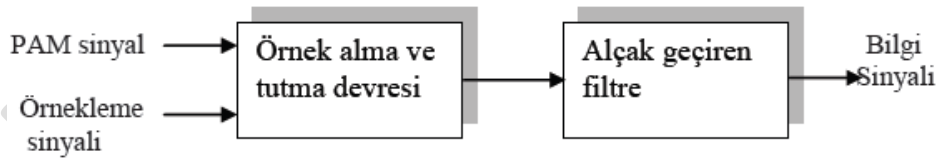
Yeniden elde edilen bilgi sinyalinin gerçek genliği, filtredeki enerji kaybı sebebiyle orijinal bilgi sinyaline göre daha küçüktür. Örnek alma ve tutma devreleri, filtrelenen sinyaldeki enerji seviyesini kabul edilebilir bir seviyede tutmak için filtre ile kullanılır.



Şekil-4.9: 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-4.9'da görülmektedir. Bilgi sinyali, örnekleme darbeleri süresince periyodik olarak örneklenir. Darbe üreticinden 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 palserini, orijinal bilgi sinyalinin distorsiyonsuz bir benzerine çevirmelidir. Şekil-4.10 sezme devresinin bir blok diyagramını göstermektedir. Bir PAM sinyalden orijinal bilgi sinyalinin yeniden elde edilmesini sağlamaktadır.



Şekil-4.10: 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.

#### 4.1.3 Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM: PulseWidth 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-4.11'de gösterildiği gibi bu modülasyon türü üç farklı biçimde gerçekleştirilebilir.

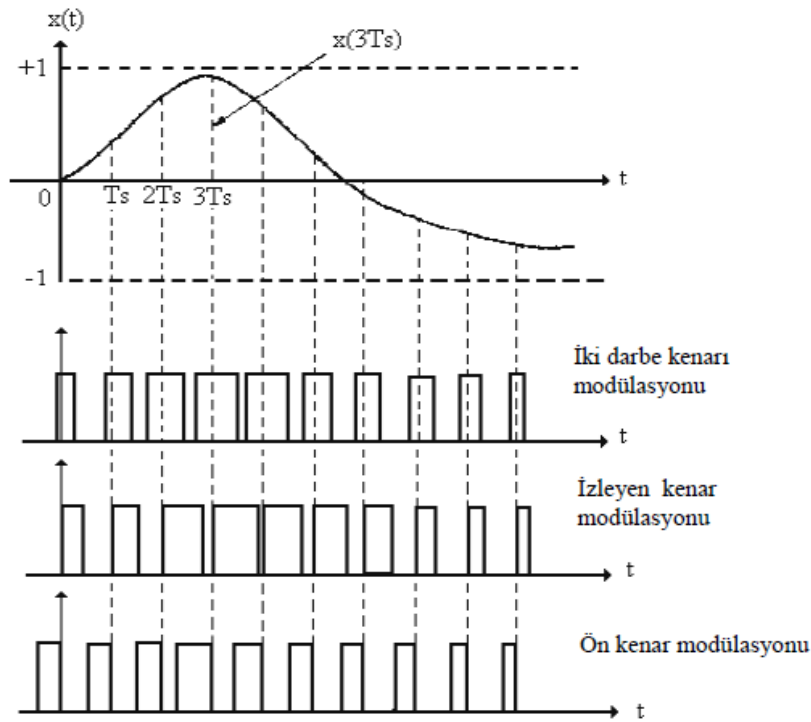
PWM işareti yaklaşık olarak, sürekli dalga modülasyonunun bir türü olan açılı modülasyonuna benzemektedir. Bu sebeple, zaman ve frekans domenindeki (düzlem) ifadelerini kesinlikle analitik olarak ifade etmek mümkün değildir. Ancak büyük bir ihtimalle,



fourier serisi açılımından yararlanarak bazı sonuçlar elde edilebilir. Bu ihtimallerin dayandığı iki gözlem sonucu vardır. Bunlar:

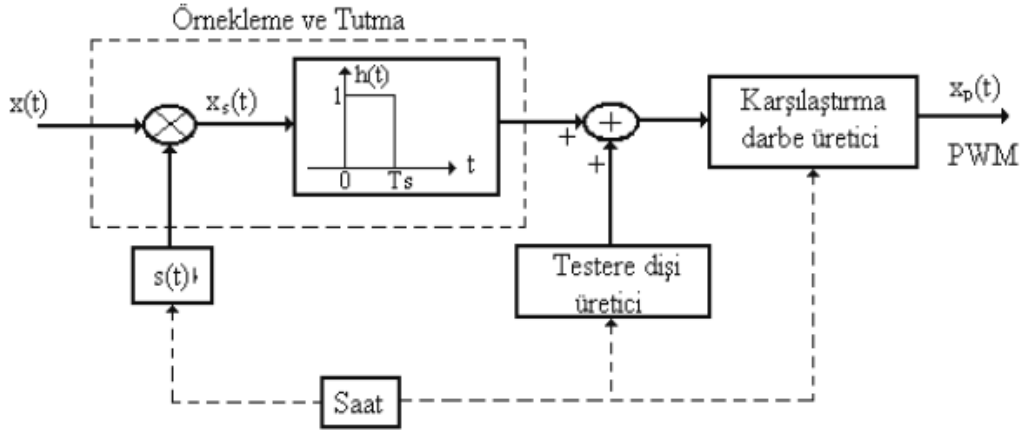
- Mesaj işareti  $x(t)$ 'nin komşu örnek değerleri arasında büyük değer farkları yoktur. Yani  $x(t)$ 'nin frekans bileşenleri genellikle  $W$  bant genişliğinin çok altında yoğunlaşır.
- Pratikte modülasyonlu darbeler için izin verilen maksimum darbe genişliği darbeler arasındaki süreden çok küçüktür.

Bu gözlemlerin sonucunda yaklaşık olarak PWM dalgası, periyodu  $T_s$  olan periyodik darbe katları biçiminde düşünülebilir. PWM dalgasını üretmek için popüler bir yöntem Şekil-4.12'de gösterilmiştir. Burada kullanılan testere dişi üreticinin tepeden tepeye genliği  $x(t)$  mesaj işaretinin maksimum genliğinden biraz büyük seçilir.

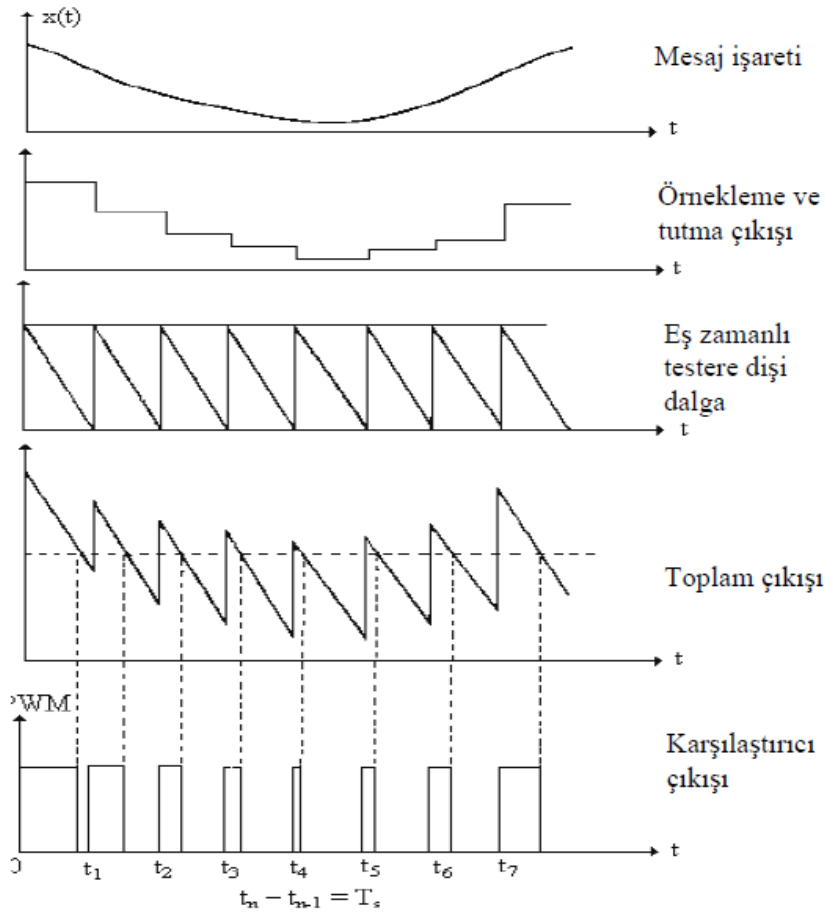


Şekil-4.11: PWM modülasyonu dalga biçimleri

Şekil-4.13'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-4.13'ün incelenmesi ile yukarıda açıklanan özellikler açıkça gözlenebilir.



Şekil-4.12: PWM dalgasının üretiminin blok diyagramı

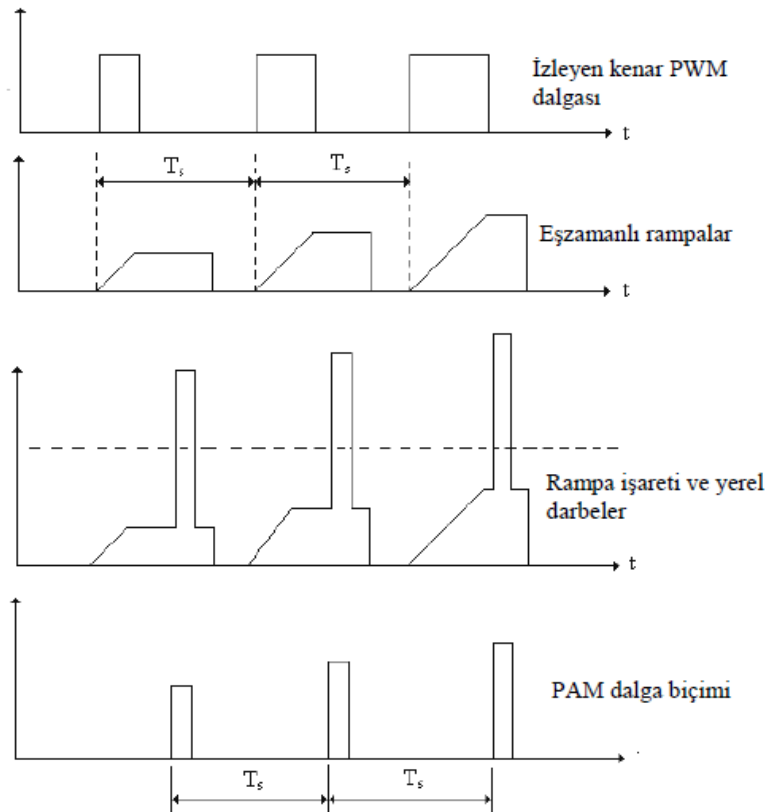


Şekil-4.13: PWM işaretinin üretilmesi

PWM genellikle iki şekilde üretilir;

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

Şekil-4.14'te birbirini izleyen üç PWM'li darbe için ikinci yöntemi gösterelim. Buna göre, PWM darbelerinin ön kenarı ile bir linear 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 eşığın üstündeki bölümü iletilebilir. Bu da tipik bir PAM dalgasıdır.

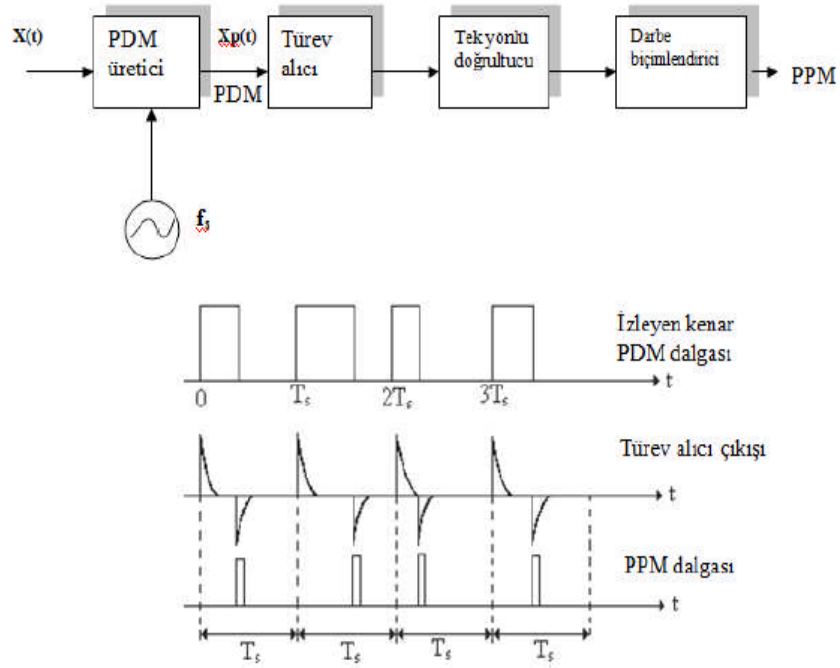


Şekil-4.14: PWM dalgasının PAM dalgasına dönüştürülmesi

#### 4.1.4 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-4.15'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.



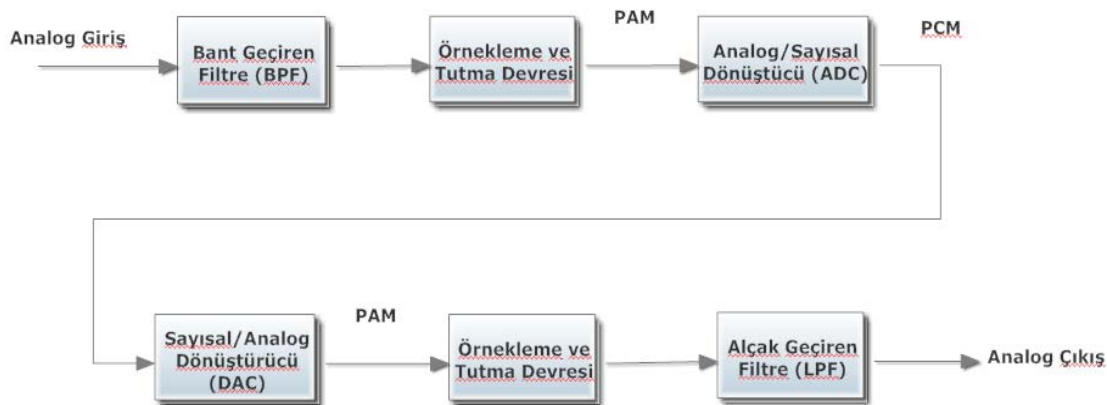
Şekil-4.15. PPM dalganın üretim aşamaları

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.

#### 4.1.5. 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 bölümü 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-4.16: PCM sisteminin basit blok diyagramı

Şekil-4.16, 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 örnekleme çok düzeyli bir PAM sinyale dönüştürür. Analog / sayısal dönüştürücü (ADC), PAM örnekleme 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 çözümü gerçekleştiren 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 yöntem "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.

## Kaynaklar

1. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Haberleşme Teknikleri, Ankara, 2011
2. COLE, M., **Telecommunications**, Prentice Hall, N.J. USA, 1994.
3. ÇÖLKESEN R., **Bilgisayar Haberleşmesi ve Ağ Teknolojileri**, Papatya Yayınları, İstanbul, 2002.
4. VURDU H, KOCAAY Ç, NALBANTOĞLU M, **Sayısal İletişim Ve PCM Sistemleri**, PTT Meslek Geliştirme Başmüdürlüğü, Ankara, 1987.
5. KAPLAN Y., **Veri Haberleşmesi Temelleri**, Papatya Yayınları, İstanbul, 2002.
6. J.G. Proakis, **Digital Communications**, McGraw – Hill, New York, 1983.
7. John Ronayne, **Sayısal Haberleşmeye Giriş**, Ceng, FIEE Communications Consultant, Millî Eğitim Basımevi, İstanbul, 1997.
8. PASTACI Halit, **Modern Elektronik Sistemler**, Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik – Elektronik Fakültesi, İstanbul, 1996.
9. YILMAZ, M., **Modülasyon Teorisi**, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 1986.
10. WAYNE Thomas, **Elektronik İletişim Teknikleri**, Millî Eğitim Basımevi, İstanbul 1997.