

# DARBE KOD MODÜLASYONLU (PCM) SİSTEMLERİN TEMELLERİ VE 30-KANALLI PCM SİSTEMİ

UDK : 621. 376. 56

deniz  
balkan

## Özet

Darbe Kod Modülasyon (PCM) sistemleri dünyanın birçok yerinde telefon şebekelerinin kapasitesini arttırmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu yazıda PCM'nin temel özellikleri ve Zaman Paylaşmalı Çoklama (TDM) kısaca anlatılmakta, TÜBİTAK Marmara Araştırma Enstitüsü Elektronik Ünitesi tarafından, CCITT'nin önerilerine uygun olarak geliştirilen 30 - kanallı PCM sistemi ayrıntılı olarak incelenmektedir.

## Summary

Pulse Code Modulation systems have been developed throughout the world for the purpose of increasing the information capacity of telephone networks. In this article, the basic properties of PCM and Time Division Multiplexing (TDM) are briefly reviewed. The main part of the article is devoted to a detailed exposition of the 30 - channel PCM system which has been developed by the Electronic Research Unit of TÜBİTAK's (Turkish Scientific and Research Council) Marmara Research Institute, according to the recommendations of CCITT.

## 1. GİRİŞ

Darbe Kod Modülasyon (PCM) sistemleri dünyanın birçok yerinde telefon şebekelerinin kapasitesini arttırmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Özellikle şehirlerde, haberleşme amacına yönelik yeraltı kabloları döşemek zor ve masraflı olmaktadır. Bunun yerine PCM sistemleri kullanılarak herhangi iki telefon santrali arasında daha önce döşenmiş bulunan kablolarla daha fazla sayıda konuşma kanalı yerleştirme yoluna gidilmiştir.

PCM sisteminin uygulamaya konulması hızlı sayısal tümleşik devrelerin geliştirilmesinden sonra mümkün olmuştur. Uygulamada analog haberleşme sistemlerine göre daha basit devrelerle gerçekleştirilebilir olmaları önemli üstünlüklerinden birisidir.

PCM haberleşmesinde iletim ortamındaki işaret sayısaldır. Hattın karakteristiği nedeniyle, bozulmaya uğrayan darbeler, tekrarlayıcılar (repetörler) yardımıyla yeniden üretilmektedir. Tekrarlayıcılar arasındaki uzaklık, tekrarlayıcıya ulaşan darbelerin var ya da yok oluşlarına karar verilemeyecek derecede bozulmuş olmamaları gereği göz önünde tutularak seçilmelidir. Böylece, hattaki sayısal konuşma işaretinin gürültüden etkilenebilirliği çok az olmaktadır.

## 2. DARBE KOD MODÜLASYONUN (PCM) TEMELLERİ

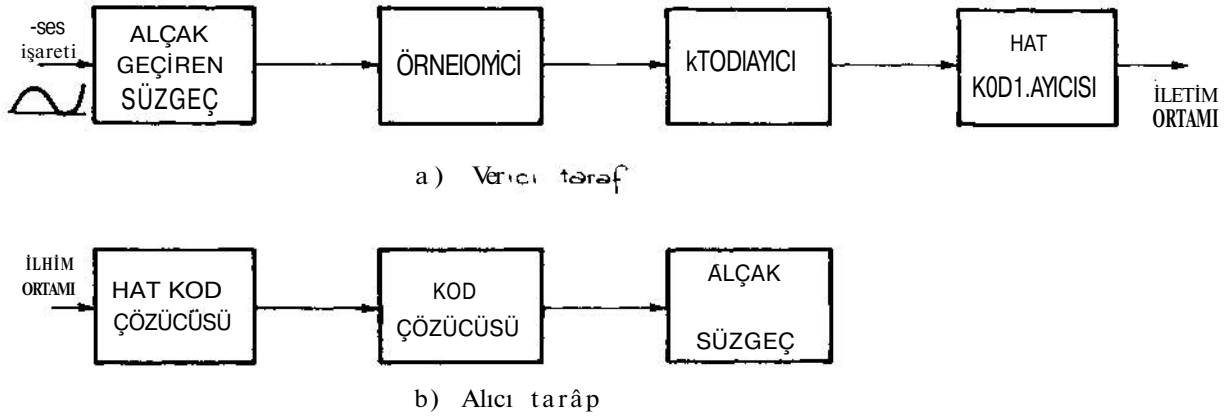
Bir Darbe Kod Modülasyonlu sistemin temel blok şeması Şekil -1 'de verilmiştir.

Fiziksel olarak gerçekleştirilebilen haberleşme sistemlerinde modüle eden işaret, alçak geçiren filtreden geçirilerek belirli bir üst kesim frekansına sahip olacaktır. Böyle sınırlı bir frekans bandına sahip olan işaret eşit aralıklarla ve üst kesim frekansının en az iki katı hızında örneklenirse, elde edilen örnekler orijinal işaretteki bilginin bütününe içerirler. Sözü geçen ilke "örnekleme teoremi" olarak bilinmektedir. Örnekleme teoremi, uygulamada sürekli değişen bir işaretin iletilmesi işleminin, bu işaretten alınmış örneklerin iletilmesine indirgenebileceğini göstermektedir. Daha açıkçası, band

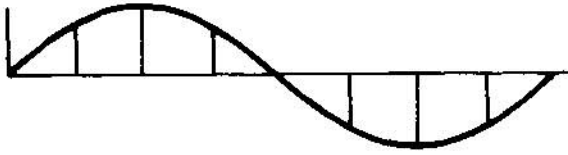
genişliği  $f_j$  olan sürekli bir işaret, birbirinden  $T = \frac{1}{2f_j}$

kadar aralıklarla alınmış örneklerle de belirlenebilir. Böylece işaretin kendisinin iletilmesi yerine, bir saniyede bu işaretten alınan  $2f_j$  sayısındaki birbirinden bağımsız örnek değerlerinin iletilmesi yeterli olacaktır.

PCM kanalının verici tarafında, sürekli ses işaretinin bandı öncelikle bir alçak geçiren filtre ile sınırlanmaktadır. Alçak geçiren filtrenin üst sınırı 3.4 kHz olarak seçilmektedir. Bu band sesin kalite kaybına uğramadan iletilmesi için gereklidir. Filtreden geçen işaret 3.4 kHz'in iki katından biraz fazla bir değerle (8 kHz) örneklendirilerek, darbe genlik modülasyonlu (PAM) işaret



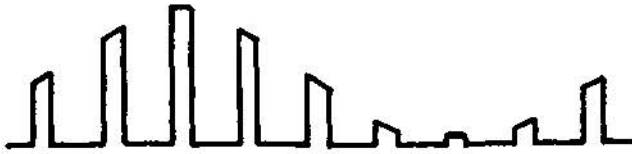
Şekil 1. Bir darbe kod modülasyonlu sistemin temel blok şeması.



a) sürekli ses işareti.

JUULfUULiLJiL

b) taşıyıcı darbeler



c) darbe genlik modülasyonlu işaret

Şekil 2. Darbe genlik modülasyon işlemi.

haline dönüştürülür. Şekil - 2'de görüldüğü gibi darbe genlik modülasyon işlemi, taşıyıcı darbelerin genliklerinin sürekli ses işareti tarafından modüle edilmesi olarak da yorumlanabilir.

Ses işaretini belirleyen örneklerin genliklerini olduğu gibi iletmeye çalışmak yerine, belirli sayıda bazı genlik değerlerinin gönderilebileceği düşünülebilir. Bu durumda, darbe genlik modülasyonlu ses işareti içindeki gerçek bir genlik yerine, buna en yakın olan belirli genlik değeri karşı düşecektir. Bu genlik değeri alıcı tarafa giderken iletimde karşılaştığı bozucu etkenler nedeniyle değişikliğe uğrayabilir. Eğer bu bozulma çok fazla değilse alıcı tarafta hangi genlik değerinin gönderilmiş olduğu anlaşılabilir ve bu değer yeniden oluşturulur.

Sürekli bir işareti bu biçimde sonlu sayıdaki belirli genlik değerleriyle belirlemeye "kuvantalama işlemi" adı verilir. Daha başlangıçta kuvantalama işleminin özelliği

nedeniyle, örneklerin genliklerine eklenen hatalar kuvantalama gürültüsünü doğurur.

Bir ses işaretinin belirlenmesi çok sayıda kuvantalanmış genlik değerlerinin kullanılmasını gerektirmektedir. Kuvantalanmış PAM darbelerini olduğu gibi iletmek, çok sayıdaki genlik değerlerini birbirinden ayırdedebilen ve gerçekleştirilmesi oldukça güç devrelerin kullanılmasını gerektirir. Darbelerin var ya da yok olduklarına karar verebilen devrelerin tasarımı daha kolaydır. Bu nedenle, kuvanta değerlerini kendilerine karşı gelen kod kelimeleriyle belirlemek uygun olacaktır. Bu işlem, kodlayıcı tarafından gerçekleştirilir. Bir kod kelimesi içindeki ikili evcik (*binary digit*) sayısı yükseldikçe işaret daha fazla sayıda kuvantalama değeri ile belirlenebilir. Bu durum ses işaretinin sadakatle iletilmesini mümkün kılar. Fakat bu işlem aynı zamanda sistem band genişliğini artırır. Bu iki çelişkili husus göz önünde tutularak yapılan araştırmalar sonunda, bir kuvanta değerini 8 BİT'ten oluşan kod kelimeleriyle yapmanın en optimum çözüm olduğu belirlenmiştir. Buna göre,  $2^8 = 256$  kuvanta değeri bulunacaktır.

Elde edilen tek polariteli sayısal işareti bu biçimiyle tekrarlayıcıları içeren iletim ortamına vermekte bazı sakıncalar vardır. Gerçekten, uzun bir "0" dizisi olduğu takdirde, tekrarlayıcılarda zaman bilgisinin elde edilmesi zorlaşmaktadır, öte yandan tek polariteli işaret alçak frekanslarda önemli ölçüde enerjiye sahip olduğundan, bir da düzeyinin ortaya çıkmasına neden olur ve bu durum tekrarlayıcılarda darbelerin varlığı ya da yokluğu hususunda karar verme açısından yanılgıya yol açar.

Uzun "0" dizilerini önlemek için sayısal işarete artık bilgi (*redundant information*) eklemek, de bileşenini yok etmek için de işareti iki polariteli hale dönüştürmek bir çaredir. Bu işlemler hat kodlayıcısı tarafından yapılır.

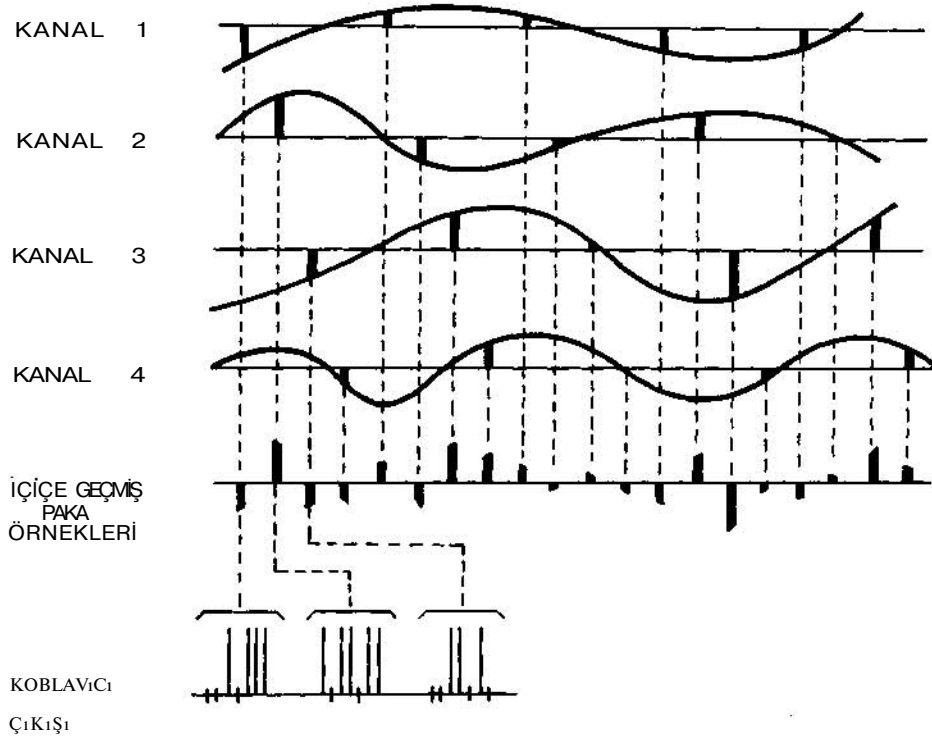
Hatta verilen işaret, hattın karakteristiği nedeniyle bozulmaya uğradığından hatta belirli aralıklarla konulmuş tekrarlayıcılarda yeniden üretilir. Tekrarlayıcı sadece darbenin var ya da yok olduğuna karar vereceğinden, işaretin gürültü bağıışıklığı yüksektir.

Alıcı tarafta öncelikle tek polariteli sayısal işaret yeniden üretilir. Kod çözücü sayısal işareti darbe genlik modülasyonlu işaret şekline dönüştürür. Darbe genlik modülasyonlu işaret alçak geçiren bir filtreden geçirildikten sonra orijinal ses işareti elde edilir. Kodlayıcıda sonlu sayıda kuvantalama değeri olduğundan, alıcı tarafta yeniden üretilen darbe genlik modülasyonlu işaret içinde

de sonlu sayıda genlik değeri bulunmaktadır. Bu nedenle orijinal ses işareti ile alıcıda yeniden oluşturulan işaret arasında farklılık görülür. Bu farklılık PCM haberleşmesinde en önemli işaret bozulması kaynağı olanı kuvantalamagürültüsüdür.

### 3. ZAMAN PAYLAŞMALI ÇOKLAMA (TDM)

Zaman paylaşmalı çoklama (TDM) tek bir iletim ortamının zaman içinde birden fazla işaret tarafından paylaşılmasıdır. Bu tür çoklamanın uygulanabilmesi için iletim ortamını paylaşan işaretlerin zamanda ayrık olmaları gerekir.



Şekil 3. TDM çoklama.

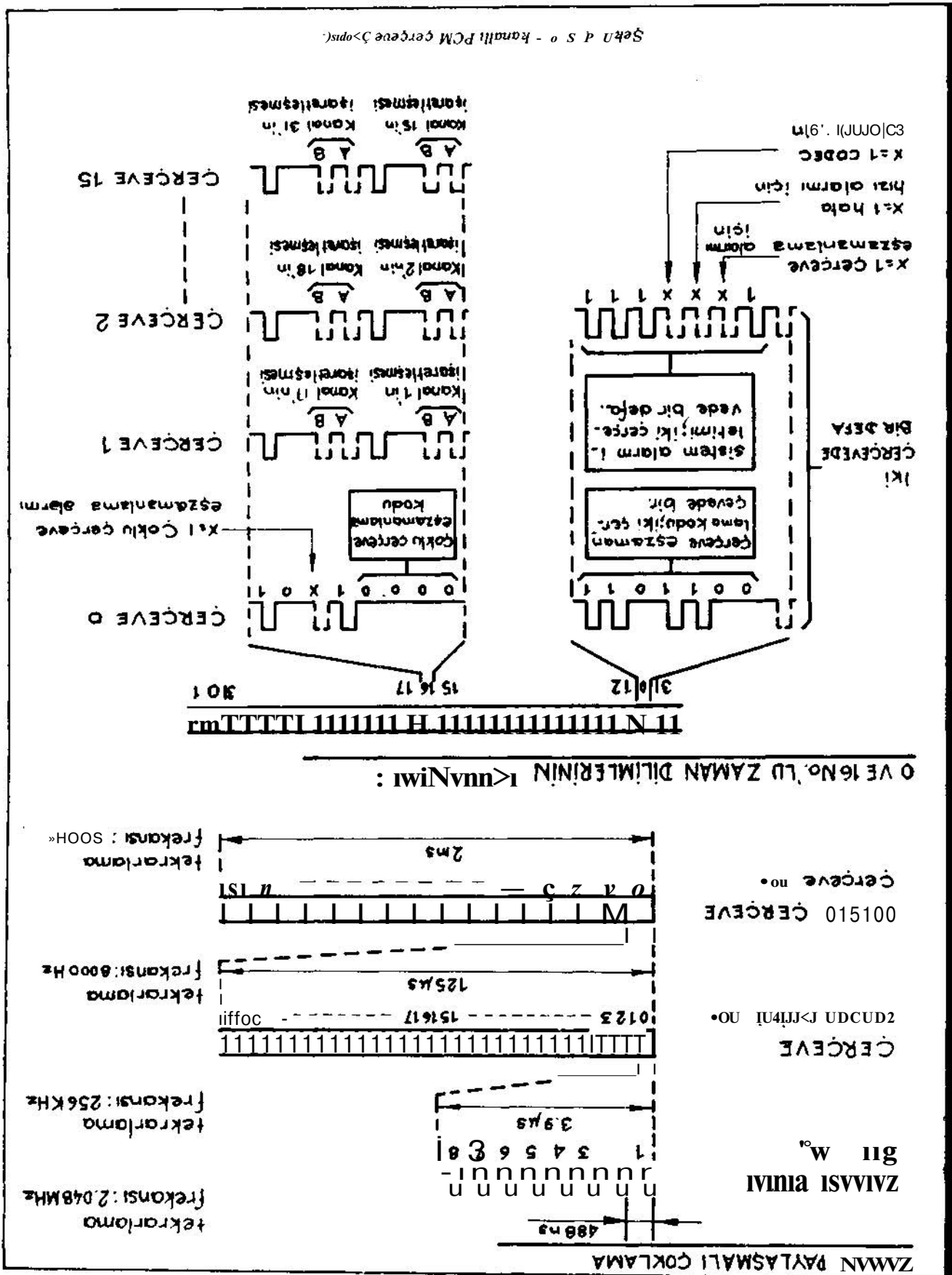
PCM sistemlerinde, çeşitli kanallara ait darbe genlik modülasyonlu işaretlerin, zaman paylaşımılı çoklama yoluyla iletimi uygulanmaktadır. Mevcut iletim ortamının kapasitesi, bu uygulama nedeniyle artırılabilmektedir. Şekil - 3'de herbirisi zamanda değişen ayrı işaretin zaman paylaşımılı çoklama yoluyla aynı PCM darbe dizisi içinde yer alma işlemi görülmektedir. Band genişlikleri alçak geçiren filtrelerle sınırlanmış olan işaretlerin herbirinden sırasıyla alınan örneklerin ortak hatta (BUS) verilmesiyle içiçge geçmiş darbe genlik modülasyonlu işaret oluşur. Kanallardan herhangi birine ait bir örnekleme aralığında öteki kanallara ait örnekler sıralanmıştır. İletim ortamında, aynı sırayla bu örnekleri ifade eden kod kelimeleri gönderilerek PCM darbe dizisi oluşturulur.

Burada, her kanal için birbirinin aynı filtreler ve tasarımı analog devrelerin tasarımından daha kolay olan eşzamanlama (senkronizasyon) devrelerinin kullanılması TDM sistemlerinin seçiminde önemli rol oynar.

### 4. PCM'de ÇERÇEVE YAPISI

PCM sistemlerinde ses işaretlerinden alınan örnekleri temsil eden kod kelimeleri iletim ortamına TDM çoklama ilkesine göre gönderilmektedir. Bu darbe dizisi içinde ses işaretlerini ifade eden kod kelimelerinden başka, ses kanallarının işaretlenmesini ve ses işaretlerinin alıcıda ait oldukları ses kanallarına dağıtılmasını sağlamak amacıyla periyodik olarak bazı kod kelimeleri de yer almaktadır. Bu nedenle, hatta verilen darbe dizisi çerçe-

Şekil 4.5.0 - kanallı PCM gerçeve >ops<



ZAMAN PAYLAŞIMALI ÇOKLAMA

ve ve çoklu çerçeve adı verdiğimiz birimlerin tekrarlanmasından oluşan periyodik bir yapı içindedir.

Her iki yapının başka bir görevi de, dönüş yönündeki bazı çerçeve ya da çoklu çerçeve BIT'leri ile bazı hata durumlarının işaret edilmesini sağlamaktır. Hatalı durumlarda sistemin kullanıcıya uyarıda bulunması ve kullanıcının da sistemi servisten alakoyması gerekmektedir.

## 5. TÜBİTAK 30-KANALLI PCM SİSTEMİ

### 5.1. GİRİŞ

Bu bölümde TÜBİTAK, Marmara Araştırma Enstitüsü, Elektronik Ünitesinde CCITT'nin (*The International Telegraph and Telephone Consultative Committee*) önerilerine uygun olarak geliştirilmekte olan 30-kanallı PCM sisteminin özellikleri ve bu sistemin gerçekleştirilmesinde PCM'e ilişkin temel kavramların uygulanması açıklanmaktadır.

### 5.2. 30-KANALLI PCM ÇERÇEVE YAPISI

#### 5.2.1. GİRİŞ

30-kanallı PCM sisteminin çerçeve yapısı Şekil - 4 de gösterilmiştir. Bu sistemde, çerçeve adı verilen bir örnekleme periyodu, herbiri 8 BIT içeren ve 0-31 arasında numaralanmış olan 32 tane zaman dilimi içerir.

1-15 ve 17-31 numaralı zaman dilimlerinden herbiri sırasıyla TDM ilkesine göre çoklanırrv; alan 30 konuşma kanalından birine ayrılmıştır. 0 numaralı zaman dilimi çerçeve eşzamanlaması ve bu eşzamanlama kaybolduğu zaman verilmesi gereken alarm işaretini taşır. Çerçeve eşzamanlaması konuşma işareti taşıyan zaman dilimlerinin alıcıda doğru sırasıyla ait oldukları kanallara bağlanmasını sağlar.

0-15 arasında numaralanmış olan 16 ardışık çerçeve bir çoklu çerçeveyi oluşturmaktadır. 16 numaralı zaman dilimi kanal işaretlemesine çoklu çerçeve eşzamanlaması için kullanılır. Çoklu çerçeve eşzamanlaması kanal işaretleme bilgilerinin alıcıda doğru sırasıyla ait oldukları kanallara iletilmesini sağlar.

Sistemde kanal örnekleme hızı 8000 örnek/saniye olup, bir çerçeve içinde de herbiri 8 BIT içeren 32 zaman dilimi bulunduğundan, hatta verilen toplam BIT hızı 2.048 M.Bit/saniye olur.

#### 5.2.2. ÇERÇEVE EŞZAMANLAMASI

Çerçeve eşzamanlaması her çift numaralı çerçevenin, 0 numaralı zaman diliminin 2-8 numaralı evciklerine oturtulmuş olan 0011011 kodu ile gerçekleştirilir.

Bu kod arka arkaya 3 defa hatalı olarak alınırsa çerçeve eşzamanlaması kaçmış demektir. Bu halde sistemde bir alarm ortaya çıkacak ve yeniden eşzamanlama işlemi başlayacaktır. Eşzamanlama kodunun bir defa doğru olarak alınmasından sonra, bu kodu içinde bulundurmayan müteakip çerçevenin alınması ve bunu da takip eden çerçeve içindeki eşzamanlama kodunun tekrar doğru olarak alınması eşzamanlamanın yeniden sağlandığını gösterir.

#### 5.2.3. ÇOKLU ÇERÇEVE EŞZAMANLAMASI

Çoklu çerçeve eşzamanlaması her çoklu çerçevenin 0 numaralı çerçevesinin, 16 numaralı zaman diliminin, 14 numaralı evciklerine oturtulmuş olan 0000 koduyla sağlanır. Birbirini takipeden iki çoklu çerçevede bu kod doğru olarak alınamazsa çoklu çerçeve eşzamanlaması kaçmış demektir. Bu durumda eşzamanlanmanın tekrar sağlanması için işlemler başlayacak ve alarm verilecektir. 0000 kodunun tekrardan bir kere yakalanması çoklu çerçeve eşzamanlamasının yeniden sağlandığını gösterir.

#### 5.2.4 KANAL İŞARETLEŞME BİTLERİNİN YERLEŞTİRİLMESİ

Her kanal için, Boş, Yakalama, Cevap, Görüşme Sonu, Çözülme ve Kötü Niyetli Çağırma gibi işaretleme bilgileri sistem içinde bulunan bazı devrelerle santraldaki seviyelerinden PCM darbe katarına uygun seviyeli bilgiler haline dönüştürülür. İşaretleme bilgileri PCM darbe dizisinde 1-15 numaralı çerçevelerin 16'ncı zaman diliminde yer alır.

Her konuşma kanalı için A ve B olmak üzere iki tane işaretleme kanalı vardır. A kanalının iletim kapasitesi 1000 BIT/SANIYE, B kanalının iletim kapasitesi ise 500 BIT/SANIYE'dir. Her konuşma kanalı için işaretleme BIT'lerinin yerleri Şekil-4'de verilmiştir.

#### 5.2.5. SİSTEM ALARM İLETİMİ

Çerçeve eşzamanlama kodunun bulunmadığı çerçevelerin 0 numaralı zaman dilimleri uzak tarafa alarm durumlarını bildirmek için kullanılır.

3 numaralı BIT çerçeve eşzamanlaması alarmını,

4 numaralı BIT hata hızının yüksek olması alarmını,

5 numaralı BIT kodlama/kod çözme işleminin yanlış olduğu alarmını taşır.

Çoklu çerçeve eşzamanlamasının bozulduğunu gösteren alarm ise, 0 numaralı çerçevenin 16'ncı zaman diliminin 6 numaralı BIT'i ile taşınır.

Yukarıda belirtilen bütün BIT'ler normal olarak "0", alarm durumunda ise "1" durumundadır.

### 5.2.6. KULLANILMAYAN BİT'LER

0 numaralı bütün zaman dilimlerinde 1 numaralı BIT; "0" ya da "1" olabilir.

Sistem alarm iletimi için kullanılan 0 numaralı zaman dilimlerinin 2,6,7 ve 8 numaralı BIT'leri "1" durumundadır.

Çoklu çerçeve eşzamanlama işaretini içeren 16 numaralı zaman dilimlerinde 5,7 ve 8 numaralı BIT'ler "1", "0" ve "1" durumundadır.

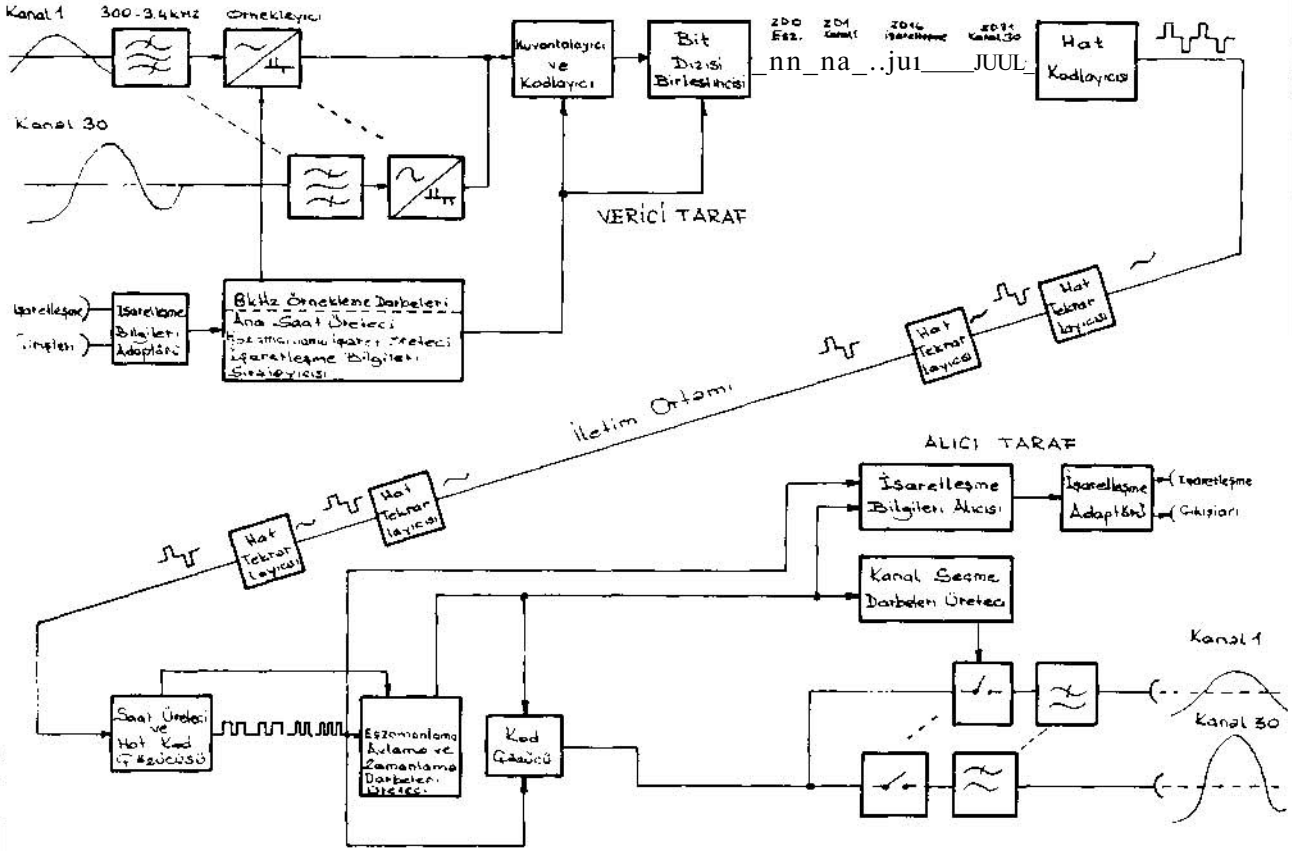
Kanal işaretlemesine ayrılan öteki bütün 16 numaralı zaman dilimlerinde 4 ve 8 numaralı BIT'ler "1" durumundadır.

### 5.3.1. 30-KANALLI PCM BLOK DİYAGRAMI

30-Kanallı PCM sisteminin blok diyagramı Şekil-5'de verilmiştir. 30 konuşma kanalından gelen ses işaretleri sırasıyla 8 kHz hızında örneklenir. Sonuçta, TDM ilkesine göre çoklanmış darbe genlik modülasyonlu işaretler elde edilir. Darbe genlik modülasyon darbeleri genlik değerlerine en yakın kuvanta seviyelerini temsil eden 8 BIT'lik kod kelimeleriyle ifade edilirler.

Bit Dizisi Birleştiricisi devresinde konuşma kanallarına ait kod kelimeleriyle işaretlenme ve eşzamanlama bilgileri birleştirildikten sonra, bileşik işaret hat kodlayıcısına verilir. Hat kodlayıcısı bu işareti HDB3 kodu şekline çevirir.

İletim ortamında bozulan işaret yaklaşık olarak 1800 m aralıklarla hatta konmuş olan tekrarlayıcılarda yeniden üretilir.



Şekil 5. PCM sistem blok diyagramı.

Alıcı tarafta verici terminaldeki işlemlerin tersi yapılmaktadır: Hattan gelen işaret yeniden tek polariteli sayısal işaret şeklinde dönüştürülür. Bu işareten konuşma kanallarına ait kod kelimeleri çözüldükten sonra ait oldukları kanallara dağıtılır ve alçak geçiren filtrelerden geçirildikten sonra her orijinal konuşma işaretinin benzeri olan bir işaret elde edilir.

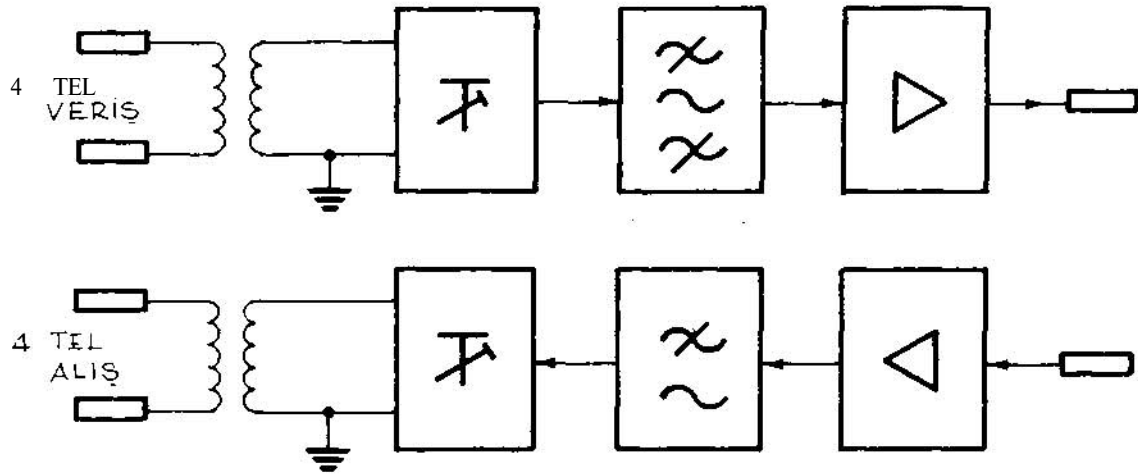
### 5.3.2. KANAL ÜNİTELERİ

Sistemin verici ve alıcı yanlarında her konuşma kanalı için Şekil-6'da görüldüğü gibi bir kanal ünitesi bulunur. Verici yandaki 4 tel veri yolu üzerindeki bir kanal ünitesi, bir yalıtım transformatörü, değişken zayıflatıcı, filtre ve kuvvetlendiriciden oluşur. Kuvvetlendiricinin

kazancı, minimum giriş seviyesinde, en yüksek giriş işareti genliği kuvvetlendirici çıkışında maksimum gerilim salınmasına erişebilecek biçimde hesaplanmıştır. Değişken zayıflatıcı, işletmelerdeki giriş seviyeleri farklılıklarını ortadan kaldırır. Ses işaretini süzmek için alt

ve üst kesim frekansları 300 Hz ve 3400 Hz olan Cauer türü band geçiren bir filtre tasarlanmıştır. Filtrenin giriş ve çıkış empedansları 600 n' dir.

Alıcı yanda da vericiye benzer şekilde 4 tel alış yolu



Şekil 6. Kanal ünitesi.

üzerinde bir kuvvetlendirici, filtre, değişken zayıflatıcı ve yalıtım transformatörü bulunmaktadır. Kuvvetlendiricinin kazancı, girişindeki ses işaretinin maksimum tepeden tepeye değeri için transformatör çıkışında istenen en yüksek seviye elde edilecek biçimde hesaplanmıştır. Burada alçak geçiren bir filtre ile çıkış seviyesini ayarlayan değişken zayıflatıcı kullanılmıştır. Kanal ünitesinin karakteristikleri aşağıda verildiği gibidir:

4TEL VERİŞ :

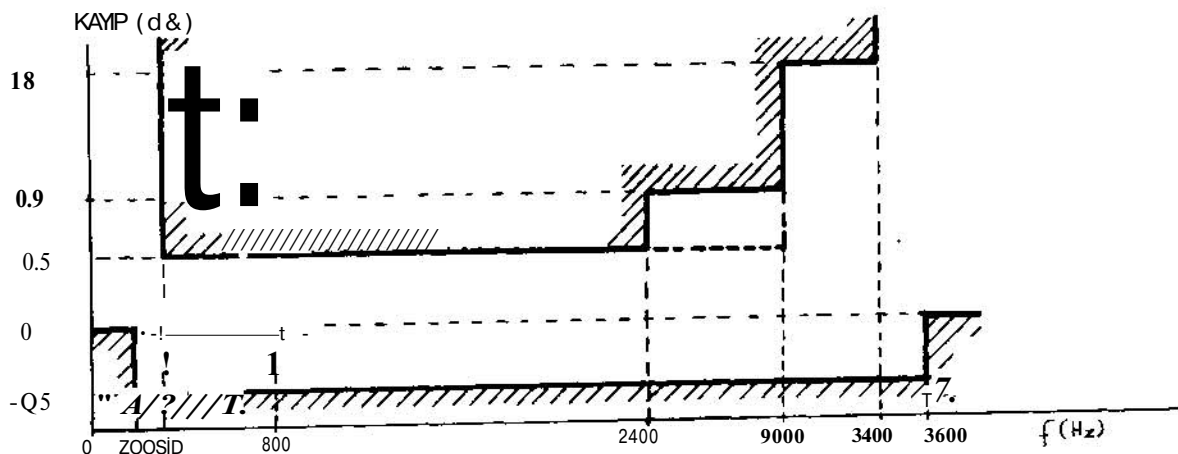
|              |           |
|--------------|-----------|
| Empedans     | : 600 Ω   |
| Seviye (Max) | : -1 dBm  |
| (Min)        | : -16 dBm |
| Ayar adımı   | : 1 dB    |

4TEL ALIŞ :

|              |          |
|--------------|----------|
| Empedans     | : 600 n  |
| Seviye (Max) | : +7 dBm |
| (Min)        | : -8 dBm |
| Ayar Adımı   | : 1 dB   |

İki PCM terminali karşılıklı bağlandığında, herhangi bir kanalın frekans ile zayıflama bozulması eğrisinin CCITT tarafından öngörülen Şekil-7'deki gabarinin içinde kalması gerekmektedir.

4 tel alış yolu girişine, kod açıcı çıkışındaki örneklerden oluşmuş değişken işaret uygulanır. Alıcı yanda işaretin örneklerinin saklanarak uzunca bir süre (125 µs) kulla-



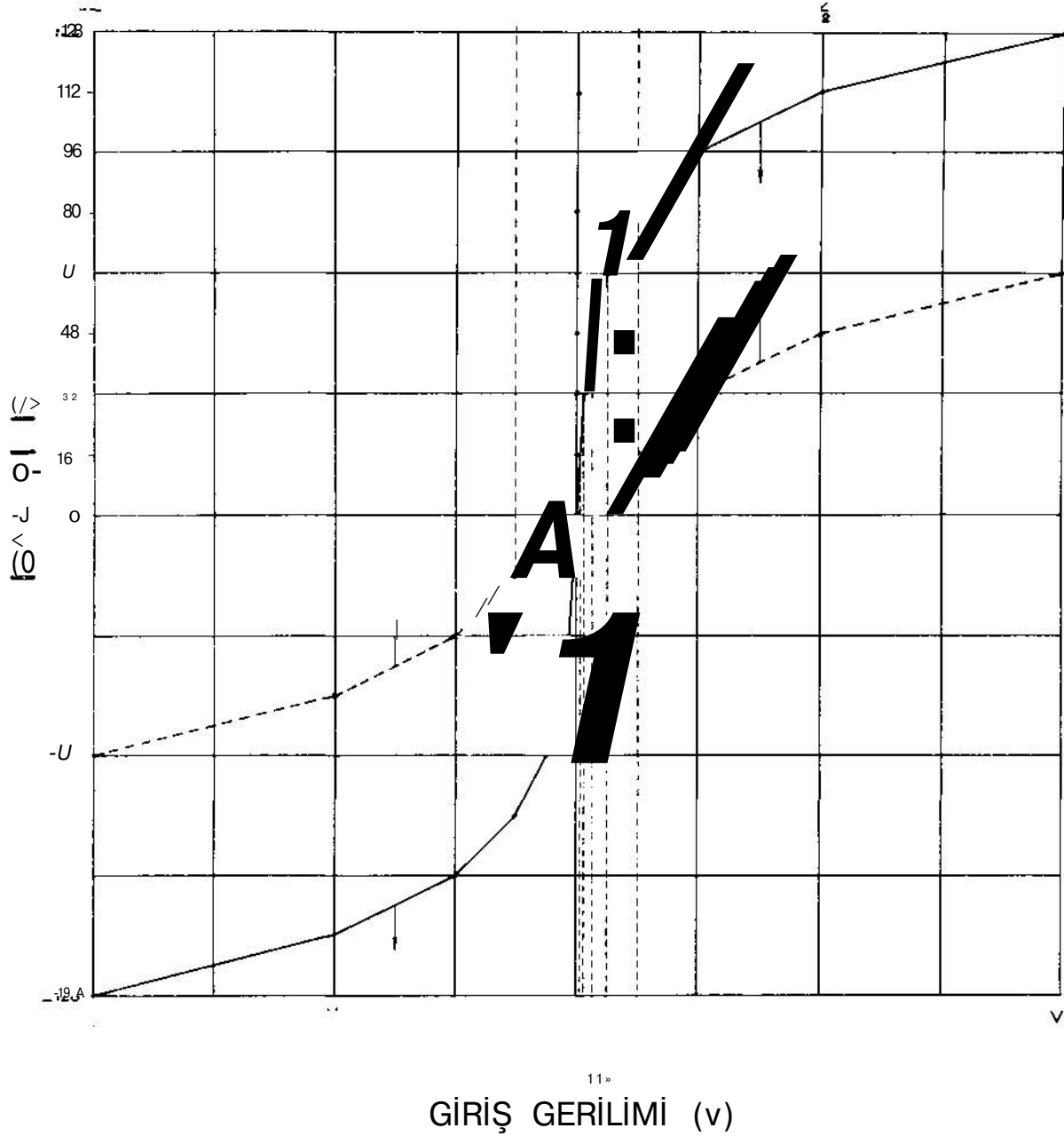
Şekil 7. Frekans ile zayıflama bozulması.

nilması Sin x/x biçiminde bir genlik bozulmasına neden olur. Alış yolu üzerine konan bir RC devre ile bu bozulma giderilir.

### 5.3.3. ÖRNEKLEYİCİ VE KODLAYICI

Sistemde konuşma kanallarının herbirisinden 8 kHz hızında örnekler alabilmek amacıyla, her ses kanalında bu frekanstaki bir darbe dizisiyle kumanda edilen bir örnekleme anahtarı bulunmaktadır. TDM çoklamalı PAM işaretlerini elde edebilmek için anahtarlar sırasıyla kapanır açılır. Herhangibir anda anahtarlardan sadece bir tanesi iletimde, geri kalanları kesimdedir.

Sistemde kodlayıcı her bir PAM darbesini belirli bir kod kelimesi ile ifade etmektedir. Burada band genişliğini arttırmadan kuantalama gürültüsünü azaltmak amacıyla gerçekleştirilmiş, eşit adimli olmayan (non-uniform) bir kodlayıcı bulunmaktadır. Konuşma işaretlerinin kodlanmasında en elverişli kodlayıcı eşit adimli kodlayıcı değildir. Konuşma işaretinin genlik dağılımı uniform değildir. Belirli bir konuşma içinde küçük genlikli işaretlerin olasılığı büyük genlikli olanlarınkinden daha yüksektir. Bu nedenle, olasılığı yüksek olan genliklerdeki hatayı azaltmak yüksek genliklerdeki hatayı arttırmak pahasına da olsa işaret/gürültü oranını azaltacaktır. Ayrıca, konuşma işaretleri yaklaşık olarak 40 dB'lik



Şekil 8. Üstel kodlama karakteristiği.



bir dinamik aralığa (*range*) sahiptir. Eşit adımlı bir kodlama kod çözme düzeni kullanıldığı takdirde zayıf işaretlerin işaret/gürültü oranı kuvvetli işaretlerinkine göre 40 dB daha aşağıda olur.

Sistemde kullanılan eşit adımlı olmayan (non-uniform) kodlama karakteristiği ile zayıf işaretlerin işaret/gürültü oranını arttırmak mümkündür. Şekil-8'de verilmiş olan bu karakteristik logaritmik bir sıkıştırma ilkesinden hareketle elde edilmiştir. Kuvanta seviyelerinin sayısı düşük genlikler civarında yoğunlaştırılmıştır.

Gerçek logaritmik eğri sonsuz bir dinamik aralık (*range*) ve sonsuz sayıda kuvanta seviyeleri içereceğinden devre tasarımı imkansızdır. Bu nedenle, bu eğriye doğrusal dilimlerle yaklaşan bir karakteristik kullanılmaktadır. Bu karakteristik A-yasasına uyar ve CCITT tarafından önerilmiştir. Kod kelimelerinden herbirisi 8 BİT ile kodlanmaktadır. Buna göre 256 kuvanta değeri vardır. 13-dilimden oluşan bu karakteristiğin bir diliminin içindeki kuvanta aralıkları birbirine eşittir. Sıfır civarından dışarıya doğru gittikçe, bir dilim içindeki kuvanta aralığı bir önceki dilimin iki katıdır.

#### 5.3.4. BİT DİZİSİNİN OLUŞTURULMASI

Sistemde konuşma kanallarına ait kodlanmış işaretler, eşzamanlama amacıyla üretilmiş olan işaretler ve kanal işaretleşme bilgileri BİT dizisi birleştiricisi devrelerinde daha önce açıklanmış olan çerçeve yapısına göre birleştirilir.

İşaretleşme bilgileri santrallar arasında her kanal için Boş, Yakalama, Cevap, Görüşme Sonu, Çözülme ve Kötü Niyetli Çağırma durumlarını taşımaktadır. Bu bilgiler santralda Toprak ve -48 V şeklinde ifade edilmektedir, sistem içindeki işaretleşme bilgileri adaptörü, bu bilgileri sayısal devrelere uygun şekle dönüştürmektedir.

#### 5.3.5. HAT KODLAMASI

Bit Dizisi Birleştiricisi Panosundan gelen ikili PCM darbe dizisini hat üzerinden uygun biçimde iletebilmek için bir kod dönüşümü gerekmektedir. Sistemde bu kod, en fazla üç ardışık sifıra izin verilen yüksek yoğunlukta iki kutuplu (*HDB3 High Density Bipolar*) olarak seçilmiştir.

Gönderilen darbe katarında peşpeşe birçok sıfır varsa, hatta darbesiz uzun bir boşluk durumu olacaktır. Alisha gelen " 1 " lerin fazla aralanması ana osilatörün eşzamanlamasını gevşetir. Özellikle, ana frekansın bir osilatör kullanılmaksızın, gelen darbelerden doğrudan üretildiği hat darbe tekrarlayıcılarında " 1 " lerin arasının fazlaca açılması tehlike doğurur. Bu nedenden dolayı, uzun

sıfır katarlarının arasına özel bir yöntemle ana örnek bilgisinde bulunmayan " 1 " ler eklenerek darbe yoğunluğu artırılır. Alıcının bu ek " 1 " leri gerçek "1 "lerden ayırabilmesi için "1 "lerin yönü, ardışık darbelerin işaretinin değiştirilmesi (AMI) ilkesini bozacak biçimde seçilir. Buna karşın, toplam darbe katarında (+) ve (-) toplamlarının eş kalmasını sağlamak için katarı bir tane " 1 " veya iki tane " 1 " eklemek gerekir.

Hat kodlamasını gerçekleştiren devrenin girişi 2.048 MHz frekansında sifıra dönüşsüz ve TTL seviyesinde bir darbe katarıdır. Çıkışında ise görev süresi (*DUTY CYCLE*) %50, HDB3 biçiminde kodlanmış  $\pm 2.37$  V  $\pm$  %10 seviyesinde 75 12 empedanslı bir darbe katarı elde edilir.

#### 5.3.6. DARBE KATARININ HATTA TEKRARLANMASI

PCM vericisinin çıkışındaki işaret, bir tekrarlayıcıya ulaşmadan önce aradaki hat boyunca iletimi sırasında bozulmaya uğrar.

Bu bozulmanın nedenleri:

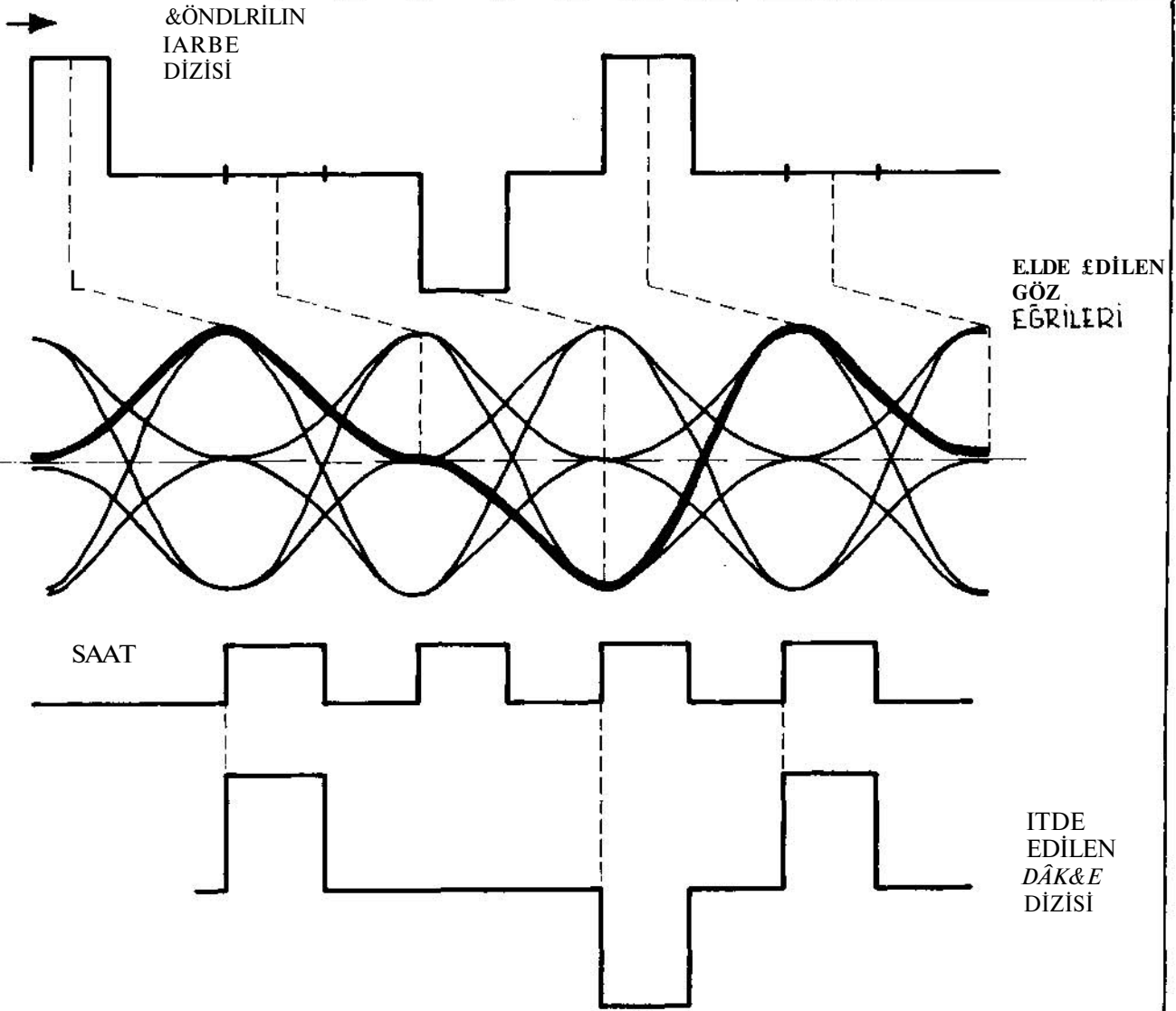
- 1) Zayıflama
- 2) Darbe dizisinin güç spektrumundaki frekans bozulması
- 3) Kablo içindeki öteki PCM işaretlerinin iletiminden gelen çapraz karışımın (*CROSSTALK*) eklenmesi.

Bu bozulmuş işaretten, tekrarlayıcı, iletimin zamanlama bozulmasının ve sayısal hatanın en az olacak şekilde tekrarlanması için, darbeleri algılayıp tekrar ortaya çıkarmalıdır. Bunu yapmak için, tekrarlayıcı işaret darbelerinin var ya da yok olduğunu kontrol etmeden önce giriş işaretini bu iş için hazırlar. Bu hazırlık şu iki ana ilke çerçevesi içinde yapılır.

- 1) Bir zayıflama dengeleyicisiyle frekans bozulmasını ortadan kaldırmak,
- 2) Çapraz karışımı, işaretin özelliklerine zarar vermeyecek biçimde en aza indirmek.

Zayıflama dengelemesi işlemi darbe şekillerini düzeltirse de, darbeleri kare dalgaya çevirmek gibi bir özelliği yoktur.

İşaretin güç spektrumundaki, yarım bit hızının üzerindeki frekanslardaki zayıflamalar, işarete etkisi olmaksızın çapraz karışım gürültüsünün azaltılmasını sağlar. Çünkü darbe dizisine AMI (Alternate-mark-inversion) uygulanır ve içerdiği en yüksek ana frekans yarım bit hızına eşittir. Bütün kodlanmış bilgiler, bu frekansın altındaki bandtan taşınır.



Şekil 9. PCM göz eğrileri.

Yukarıda açıklanan nedenlerden dolayı, dengeleme işlemi sadece bu frekansın altında gereklidir. Spektrumdaki gürültüyü atmak için bu frekansın üzeri alçak geçiren filtre ile süzülür.

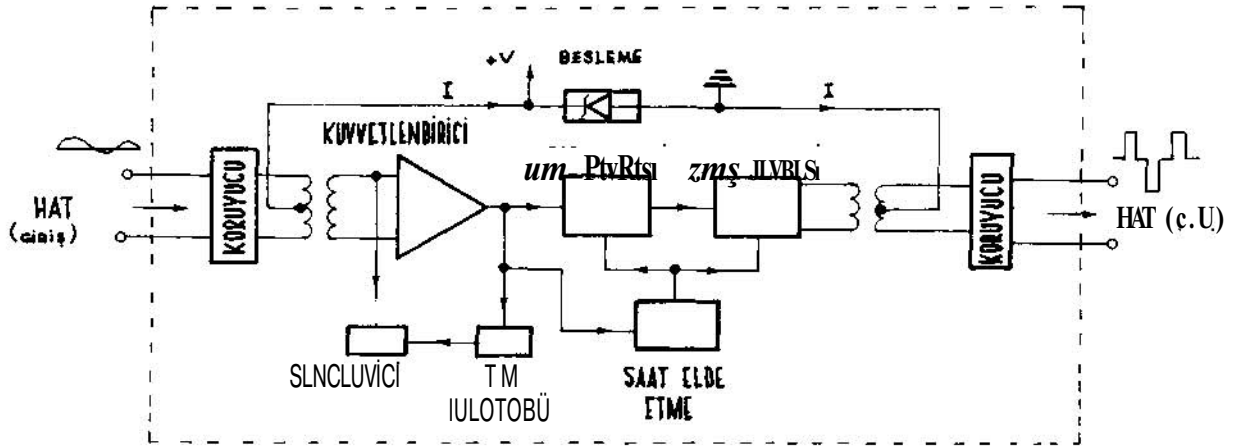
İşaret, yüksekliği, darbe dizisinin tekrar ortaya çıkarılması işleminin gerçekleşmesi için önceden belirlenmiş olan bir seviyeye yükselmesi ile son olarak hazırlanmış olur. Göz eğrileri (*eye diagmm*) diye bilinen bu hazırlanmış işaretin idealleştirilmiş bir görüntüsü Şekil -9'da görülmektedir. Kalın olarak çizilmiş olan iz, en üstte çizilmiş darbe dizisi tarafından oluşturulmakta ve bu dalga şekli tekrarlayıcı içerisinde giriş işaretinin dengelemesi, yüksek frekansların kesilmesi ve kuvvetlendirilmesi ile elde edilmektedir.

Tekrarlayıcı blok şeması Şekil - 10'da verilmiştir. Yukarıda belirtildiği şekilde hazırlanmış olan işaretten, bit hızı frekansında zamanlama darbeleri bir saat elde

etme devresinde oluşturulur. Hazırlanan işaret, içerdiği darbelerin ortaya çıkarılması için her zamanlama darbesinin periyodu süresinde gözlenir. Böylece, tekrarlayıcı çıkışında, PCM vericisinin çıkışındaki darbe katarı yeniden ortaya çıkarılır.

Tekrarlayıcılar iletim hattına 1.8 km aralıklarla yerleştirilirler. Giriş ve çıkış işaretleri 2.048 mbit/s hızında, iki kutuplu, %50 çalışma süreli kare dalgalarıdır. Çıkış seviyesi 120 fi üzerinde  $\pm 3V \pm \%10$  ya da 75 $\Omega$  üzerinde  $\pm 2.37V \pm \%10$ 'dur. Tekrarlayıcıya dengeli 120 $\Omega$  empedansla girilir. Otomatik kablo dengelemesinin sınırları 1 MHz'de 5-36dB'dir.

Hat darbe tekrarlayıcılarının güç beslemeleri, hat üzerinden fantom devre yolu ile sağlanır. Bu amaçla hat darbe tekrarlayıcısının giriş ve çıkış transformatörleri orta uçludur.



Şekil 10. Tekrarlayıcı blok şeması.

### 5.3.7. PCM İŞARETİNİN ALINMASI

PCM sisteminin alıcı yanında hattan gelen işaret hat darbe tekrarlayıcısına eş yapıda bir terminal darbe tekrarlayıcısına gelmektedir. Burada yeniden üretilen darbe katarı hat kod çözücüsü tarafından sıfıra dönüşsüz ikili (BINARY) hale dönüştürülür.

Hat kod çözücüsüne gelen iki kutuplu işaret HDB3 koduna uygun olduğundan, ikili işarete dönüştürülürken bu kodun gerektirdiği ilkeleri gözönüne almak gerekmektedir. Gelen işaretin içinde bir iki kutuplu bozulmanın olması, ikili "0"ların bir grubunda dördüncü sıfırın alındığını gösterir. Bu nedenle kodu açarken gelen "1" in yerine "0" yerleştirmek gerekir. Benzer biçimde, grubun ilk "0"ının darbe olarak gönderilmiş olabileceği gözönüne alınarak birinci "0"ı her durumda "0" varsaymak ta gerekmektedir. Bütün bu işlemler işaretin bir kaydırmalı kaydediciden geçirilmesini gerektirir.

Hattan gelen iki kutuplu HDB3 işaretin içinde hat hatalarından dolayı oluşabilecek sahte bozucuların varlığı HDB3 ilkelerine uygunluğu araştırılarak denetlenir ve bu tür bozucular gerçeklerinden ayırtdedilir. Böylelikle, hem kod açma işleminde yanlış ortadan kalkar, hem de hat hataları hakkında bilgi edinilir. Bu bilgi yardımıyla, hata sıklığı sürekli olarak gözlenir ve belirli hata oranının üzerinde devre uyarı işareti verir.

### 5.3.8. ALICI YANDA DARBE KATARININ ÇÖZÜLMESİ

Alıcı yanda darbe katarı hat kod çözücüsü tarafından sıfıra dönüşsüz ikili işaret haline dönüştürüldükten sonra, içerdiği bilgiler çeşitli devreler tarafından değerlendirilir.

Eşzamanlama avlama devreleri gelen işarettaki çerçeve ve çoklu çerçeve sıralama işaretlerini gözleyerek iki tarafın eşzamanlı olarak çalışması için gerekli olan zamanlama darbelerini üretmektedir. Ayrıca, bu devreler sıralama işaretlerinin hatalı olması durumunda gerekli uyarı işaretlerini üretmektedir. Karşı taraftan gelen uyarı işaretlerini de gene bu devreler açığa çıkarır.

Darbe katarındaki işaretleşme bilgileri, işaretleşme bilgileri alıcısı tarafından değerlendirildikten sonra işaretleşme adaptörüne verilir. Bu adaptör sayısal bilgileri santaldaki toprak ve -48V düzeyinde ifade eder.

Alıcı yanda, vericideki kodlayıcının ters işlemini yapan bir kod çözücü yer alır. Gelen darbe katarı içindeki konuşma kanallarına ait örnekleri temsil eden kod kelimeleri kod çözücü tarafından kendilerine karşı gelen kuvanta değerlerine dönüştürülür. Bu süratle kod çözücü çıkışında TDM ilkesine göre çoklanmış PAM darbeleri elde edilir.

PAM darbeleri ait oldukları kanallara bir çoklama açıcısı (DEMULTIPLEXER) tarafından dağıtılır. Çoklama açıcısında her kanal için bir anahtar ve bir işaret tutma kondansatörü bulunmaktadır. 125 µs

süresince bir anda sadece bir anahtar olmak üzere kanal anahtarları sırasıyla kapanır. Bir kanala ait bir PAM darbesi ortak hatta bulunduğu sırada, o kanala ait anahtar kapanarak kanal kondansatörünü örnek değerine doldurur. Herhangi bir örnek, kondansatör üzerinde 125 µs tutulur. 125 µs sonunda kondansatör yeni bir örnek değeri ile dolmaya başlar. Kanal anahtarlarını kapayıp açan darbe dizileri kanal darbeleri üreticinde elde edilir. Daha önce de belirtildiği gibi, örneklerin kon-

dansatör üzerinde uzunca bir süre bekletilmesi Sin x/x biçiminden bir genlik bozulmasına neden olur. Bu bozulma bir RC devre ile giderildikten sonra işaret bir alçak geçiren filtreden geçirilerek gönderilen işarete benzer işaret elde edilir.

#### 6. PCA UYGULAMASININ SAĞLADIĞI KAPASİTE ARTIŞI

PCM iletiminde, iki kablo çiftine, iki fizik devre yerine 30 telefon kanalı yerleştirilebilmektedir. Kablo çiftleri arasındaki çapraz karışım (*CROSSTALK*), bir sınırlama faktörü olarak, çift yönlü bir jonksiyon kablosu içindeki çiftlerden yaklaşık olarak %30—%70 kadarının kapasitesi 5—10 kat artırılabilir.

#### 7. YÜKSEK MERTEBEDEN SAYISAL ÇOKLAMA SİSTEMLERİNE KISA BİR BAKIŞ

30-Kanallı PCM sistemi daha yüksek mertebeli sayısal iletim sistemlerinin ilk temel taşıdır. Az sayıda kanal içeren alçak kapasiteli sayısal sistemlerin çoklanması yoluyla, çok sayıda kanal içeren yüksek mertebeli sistemler oluşturulur. Birinci mertebeyi oluşturan 2.048 MBit/s-30 TK sisteminin 4'lü çoklanmasıyla 8.448 MBit/s-120 TK sistemi elde edilir. 2.048 MBit/s ve 8.448 MBit/s hızındaki sistemler sayısal çoklama hiyerarşisinde alçak kapasiteli sistemlerdir. 8.448 MBit/s-120 TK sisteminin 4'lü ve 16'lı çoklanmasıyla sırasıyla 3. mertebeyi oluşturan 34.368 MBit/s-480 TK ve 4. mertebeyi oluşturan 139.264 MBit/s-1920 TK sistemleri elde edilir. 139.264 MBit/s hızındaki sistem 34.368 MBit/s hızındaki sistemin 4'lü çoklanmasıyla de elde edilir. 4. mertebeye kadar olan çoklama hiyerarşisi CCITT tarafından belirlenmiştir. Bazı ülkelerde 5. mertebeden 565 MBit/s hızındaki sistemler üzerinde de çalışmalar yapılmaktadır.

Yüksek mertebeden sayısal işaretlerin iletimi çiftli kablolar, koaksiyal kablo ve radyo-röle sistemleri üzerinden gerçekleştirilmektedir. Dalga kılavuzu optik elyaf ve uydu ortalamalarının bu amaçla kullanımları üzerinde araştırmalar sürmektedir.

1. mertebeden 2.048 MBit/s hızındaki işaretler halen kağıt izoleli çiftli kablolar üzerinden geçirilmektedir. 8.448 MBit/s hızındaki işaretler ekranlı kablo çiftlerinden 4.3 km aralıklı tekrarlayıcılar yerleştirmek suretiyle geçirilmektedir. Geniş band nitelikleri dolayısıyla sayısal haberleşmede koaksiyal kablolar çok uygun bir iletim ortamı oluştururlar. 34.368 MBit/s hızındaki işaretleri 2 km aralıklı tekrarlayıcılar kullanmak suretiyle koaksiyal kablolarla iletmek mümkündür. Gene koaksiyal kablolar üzerinden ve 2 km aralıklı tekrarlayıcılar kullanmak yoluyla 4. mertebeden işaretlerin iletimi dünya çapında sağlanmıştır.

Radyo-röle sistemleri uzak mesafe ve engebeli araziler için elverişlidir. Bir çok ülkede 2GHz ve 10GHz arasındaki spektrumu analog iletim sistemleri işgal etmektedir. Bu nedenle sayısal iletim için daha yüksek frekansların kullanılması kaçınılmaz olmuştur; çalışmalar 11 GHz ve 19 GHz bandlarında çalışan radyo-röle sistemleri üzerinde yoğunlaştırılmıştır.

#### 8. SONUÇ

TÜBİTAK Marmara Araştırma Enstitüsü, Elektronik Ünitesi'nde, 1. mertebeden PCM sistemi ile başlatılan mevcut iletim ortalamalarının kapasite artırımı çalışmalarına, 2. mertebeden sistemler üzerindeki çalışmalarla devam edilmektedir. 2. mertebeden sistemlerin daha önce döşenmiş olan çiftli simetrik kablolar ya da koaksiyal kablolar üzerinden iletimi mümkün olacaktır. Ayrıca, ülke çapında yerleşmiş bir kablo şebekesinin bulunmaması nedeniyle, bazı yerlerde, birçok üstünlükleri olan radyo-röle sistemlerinin kullanılması uygun görülmüştür. Bu amaçla, 11 GHz bandında çalışan alçak kapasiteli bir radyo-röle sistemi üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Geliştirilmekte olan radyo-röle sisteminin, farklı şebeke düzenlemelerine ve daha yüksek mertebeden sayısal sistemlere de uyarlanabilecek bir esneklikte olması üzerinde özellikle durulmaktadır.

#### KAYNAKLAR

1. BYLANSKI, P. and INGRAM, D.G.WV."Digital Transmission Systems" IEE Telecommunications Series 4
2. - C.C.I.T.T. SIXTH PLENARY ASSEMBLY "Line Transmission" ORANGE BOOK, Volume II 1.2.
3. MEMBERS OF THE TECHNICAL STAFF "Transmission Systems for Communications" Bell Telephone Laboratories.
4. PHILIPS TELECOMMUNICATIE INDUSTRIE "PCM System for 30-Telephone Channels, 8TR 602/15" Parti-II.
5. SÜER, S., YETİŞ, Ö., KOÇAK, S. TÜBİTAK, Marmara Araştırma Enstitüsü Elektronik Ünitesi, 30-Kanallı PCM Sistemi Raporları.
6. Navaro, D. "8.448 MBit/s Frekans Doğrulamalı İkinci Mertebeden Sayısal Çoklama Sisteminin Temelleri" ÜNİTE İÇİ RAPOR NO: UI-78-1
7. BEYGU, A. ARF, S., NAVARO, D. "11 GHz Bandında Çalışan Bir Sayısal Radyo-röle Sistemi Proje Önerisi" ÜNİTE İÇİ RAPOR NO: UI-78/8