

# DELTA MODÜLASYON YÖNTEMİ

UDK:621.376.6

Hilmi  
güngör

özeti

*Bu yazıda, işaretlerin sayısal olarak kodlanmaları ve analogdan sayısalı çevirilmeleri için kullanılan birçok yöntemden birisi olan Delta Modülasyon (DM) yöntemi, temel özellikleri ele alınarak incelenmektedir. Ardışık örneklerin korelasyon özelliklerinden ve taşıdıkları artık bilgiden yararlanarak Farksal Darbe Kod Modülasyonu (DPCM) yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemde, ardışık örnekler arasındaki genlik farkı kodlanır. DPCM'nin en basit hali, iki seviyeli kuvantalayıcı kullanarak 1-bit kodlama yapan Delta Modülasyondur.*

*Yazıda, uyarlamalı DM yöntemleri, eşzamansız DM ve DM sistemlerinin yeri, işaret gürültü oranı, gelişigüzel kanal hatalarının etkisi, doğrusal DM çıkışlarının zaman içinde çoklanması, süzgeçler ve gerçekleştirme kolaylığı göz önüne alınarak incelenmektedir.*

Summary

*in this article, Delta Modulation (DM) method, which is one of the many modulation techniques used in digital coding of signals and converting analog signals into digital ones in investigated emphasizing its basic properties.*

*Utilizing the correlation properties of consecutive samples and the redundant information, Difference Pulse Code Modulation (DPCM) techniques has been developed. in this technique, the amplitude difference between consecutive samples is coded. The most simple form of DPCM is the DM which makes 1-bit coding using two level quantizer.*

*in the article, adaptive DM, asynchronous DM and the role of DM is analyzed considering the signal to noise ratio, the effect of random channel errors, time-multiplexing of the linear DM outputs, filters and the easiness in realization.*

## 1. GİRİŞ

İşaretlerin sayısal olarak kodlanmaları ve analogtan sayısalı çevirilmeleri için birçok yöntemler vardır. Bunlar içinde, örnek genliğini 8 bitlik kelimelere kodlayan Darbe Kod Modülasyonu (PCM) yöntemi en yaygın

kullanılanıdır. Öte yandan, ardışık örneklerin korelasyon özelliklerinden ve taşıdıkları artık (redundant) bilgiden yararlanarak da Farksal Darbe Kod Modülasyonu (DPCM) yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemde, ardışık örnekler arasındaki genlik farkı kodlanır. Böylece, örnek başına bir ya da daha çok bit kazanılmış olur. DPCM'in en basit hali, iki seviyeli kuvantalayıcı kullanarak 1-bit kodla ma yapan Delta Modülasyonudur (DM).

Basitleştirilmiş bir kodlama yöntemi olan DM Avrupa'da geliştirilmiş, ilk patenti 1946 yılında Fransa'da alınmıştır [6]. İlk olarak 1952 yılında PHILIPS PUBLICATION'de tanıtılan DM ile ilgili çalışmaların büyük bir kısmı Hollanda'da Philips laboratuvarlarında yapılmıştır [2-3]. Gerçekleştirme basitliği ve düşük bit hızlarında öteki sayısal kodlama yöntemlerine göre üstünlükleri bir çok araştırmacının ilgisini çekmiştir. Bu tür kodlama yönteminin matematiksel analizi oldukça zordur. Halen bu konuda teorik ve pratik bir çok çalışmanın yayınlanmakta olması, bu yöntemin henüz karmaşık ve bilinmeyen yönlerinin bulunduğu işaretidir.

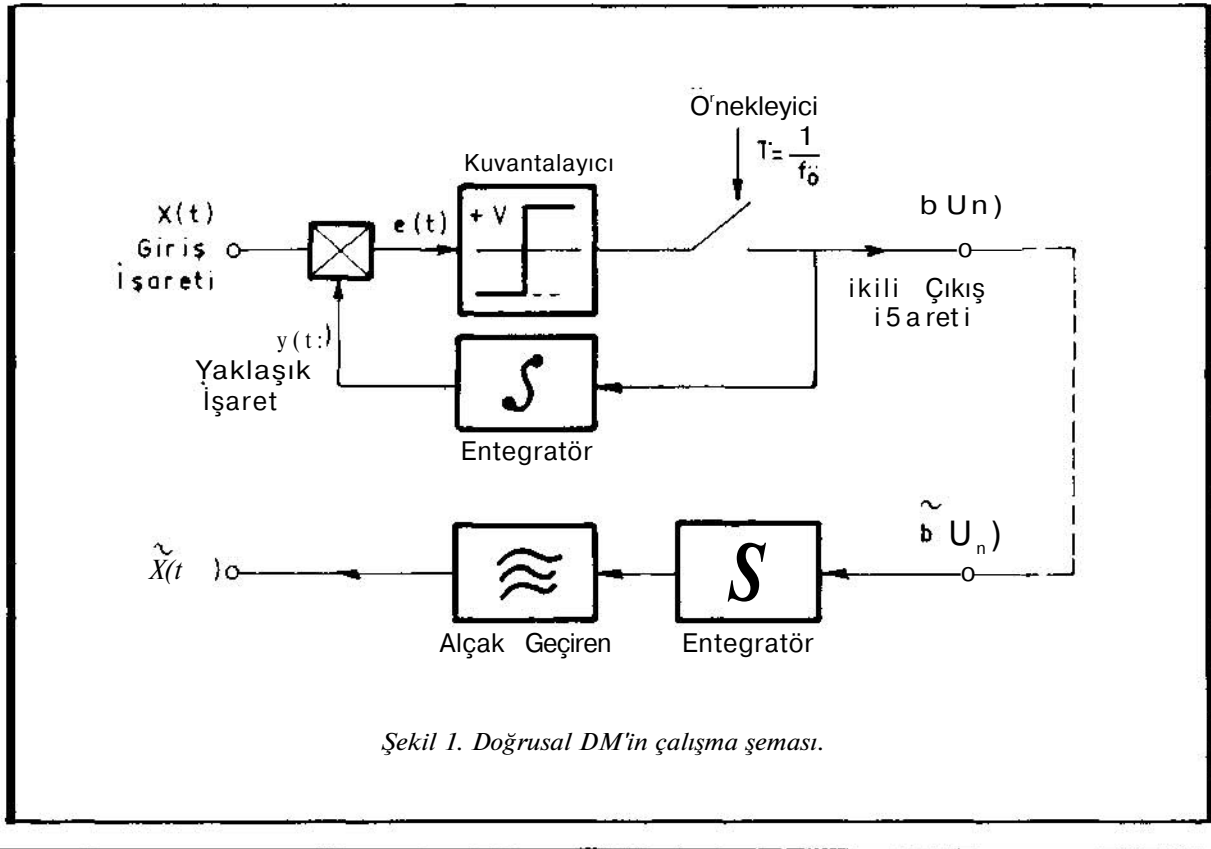
Delta Modülasyonunun özü, ardışık iki işaret örneğinin genlik farkının bir bit ile kodlanmasıdır. Bu biçimde

tanımlanan DM, doğrusal DM adını alır. PCM kadar yaygın kullanılmayışının nedeni, eğim izleme yeteneğinin sınırlı olmasındadır. DM'nin eğim izleme yeteneği sıkıştırma - açma (compand = compress + expand) yöntemleri ile artırılabilir [4]. Bu yöntemlerde basamak boyu, işaretin bölgesel eğim karakteristiğine uyarlanmaktadır.

## 2. DOĞRUSAL DM

Doğrusal DM'ün çalışma şeması Şekil - 1'de verilmiştir. Doğrusal DM kodlayıcısı bir kuvantalayıcı, bir örnekleyci ve geribesleme katında yer alan bir entegratörden; kod çözücü ise bir entegratör ile alçak - geçiren süzgeçten oluşur.

Doğrusal DM giriş işareti ile geribesleme katında oluşturulan yaklaşık işaret arasındaki farkın artı yada eksi olmasına göre ikili çıkış darbeleri üretir. Bu ikili darbelerden, geribesleme katında bir entegral alıcı devre yardımı ile, yaklaşık işaret elde edilir. Giriş işareti ile yaklaşık işaret arasındaki fark artı ya da eksi oluşuna göre iki mümkün seviyeden birine kuvantalanır. Ku-



vantalayıcı çıkışı Nyquist frekansının çok üstünde olan bir  $f_0$  frekansı ile örneklenecek ikili çıkış darbeleri elde edilir.

Doğrusal DM kodlayıcısı aşağıdaki denklemlerle belirlenir:

$$y(t_n) = \sum_{i=0}^{n-1} b(t_i) \cdot A \quad (1)$$

$$b(t_n) = \text{sgn} [x(t_n) - y(t_n)] = \text{sgn} [e(t_n)] \quad (2)$$

$$t_n = t_0 + nT \quad T = 1/f_0 \quad t_0 \geq 0 \quad (3)$$

$$\text{sgn} [\xi] = \begin{cases} +1 & \xi \geq 0 \\ -1 & \xi < 0 \end{cases} \quad (4)$$

Bu denklemlerde  $x(t)$  giriş işareti,  $y(t)$  yaklaşık işaret,  $e(t)$  hata işareti,  $b(t_n)$  ikili çıkış darbeleri,  $A$  basamak boyu,  $t_0$  başlangıç zamanı,  $T$  örnekleme aralığı,  $f_0$  örnekleme frekansı,  $t_n$  örnekleme anıdır.

Doğrusal DM ye ilişkin eğriler Şekil - 2'de gösterilmiştir. DM Şekil - 2(d)'de gösterilen örnekleme anlarında (a)'da gösterildiği gibi yaklaşık işareti  $A$  basamak

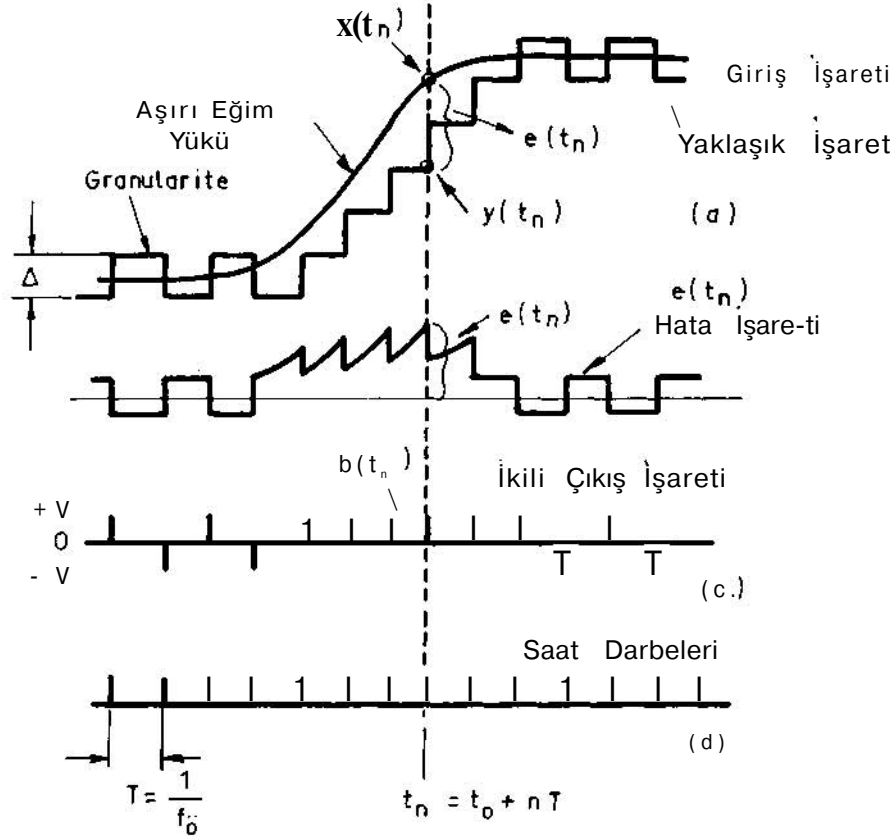
boyu kadar arttırıp yada eksilterek giriş işaretini izlemeye çalışmaktadır. Şekil - 2(b)'de giriş işareti ile yaklaşık işaret arasındaki farka eşit olan hata işareti, 2(c)'de ise örnekleme anlarında belirlenen ikili çıkış darbeleri gösterilmektedir.

Şekil - 2'de iki tür gürültü göze çarpmaktadır.

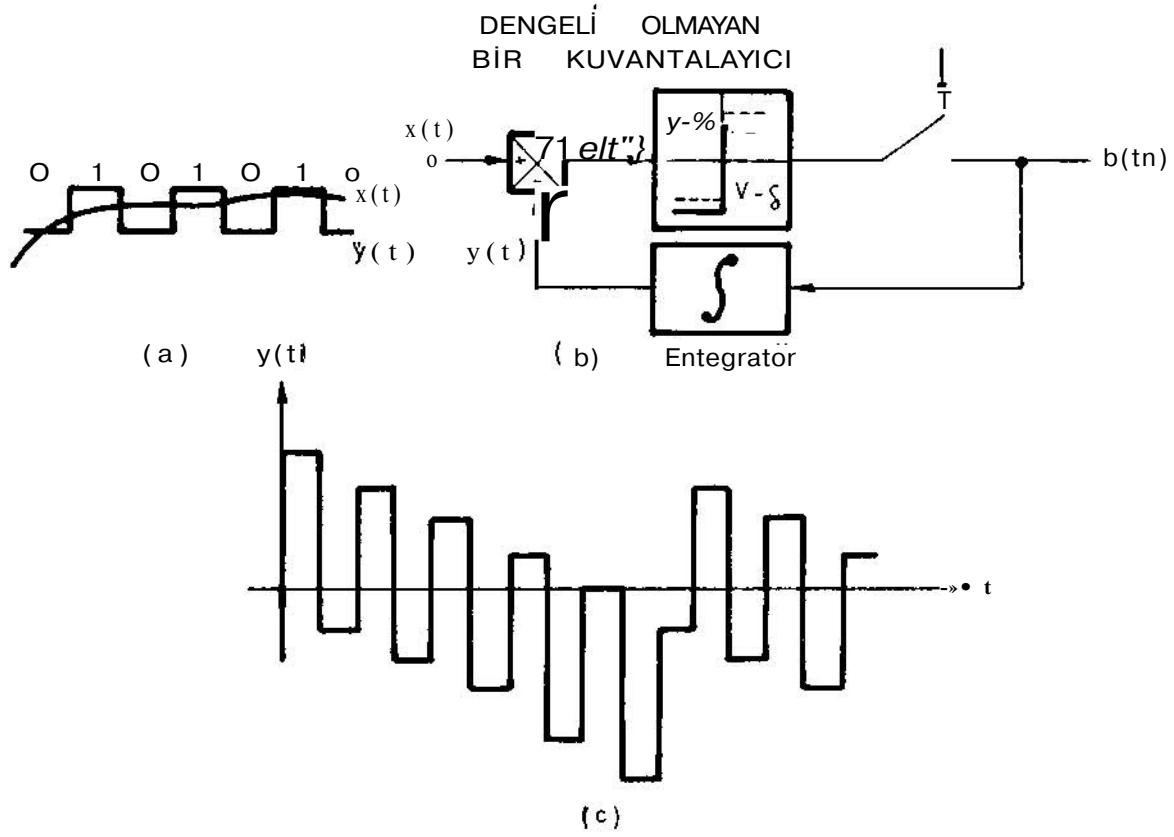
- 1- Kuantalama gürültüsü (ya da granüler gürültü).
- 2- Aşırı eğim yükü gürültüsü.

Kuantalama gürültüsü: Yaklaşık işaretin değişmeyen bir  $A$  basamak boyunun yalnız tam sayı katları olarak oluşturulması nedeniyle, giriş işaretinin az değişen bölgelerinde bu tür gürültüye raslanır. Kuantalama gürültüsü giriş işareti ile korelasyonu olmayan, bağımsız bir geniş bant gürültüsü olarak modellenabilir. Bu tür gürültü, seste hisirtir, görüntüde ise karlanma olarak belirir.

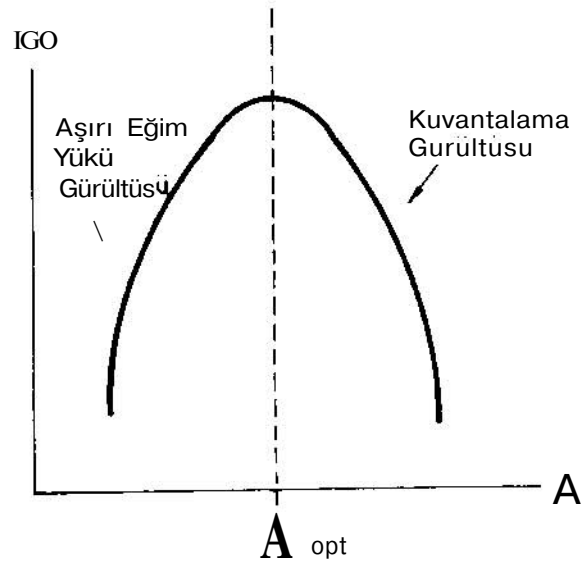
Aşırı eğim yükü gürültüsü: Bu gürültünün nedeni, DM'un izleyebileceği en büyük eğimin  $A / T$  ( $T = 1/f_0$ ) ile sınırlı olmasıdır. Giriş işareti bölgesel eğimin  $A / T$  değerinden daha büyük olduğu anlarda bu tür gürültüye raslanır. Aşırı eğim yükü gürültüsü ile giriş işareti arasında



Şekil 2. Doğrusal DM'e ilişkin eğriler.



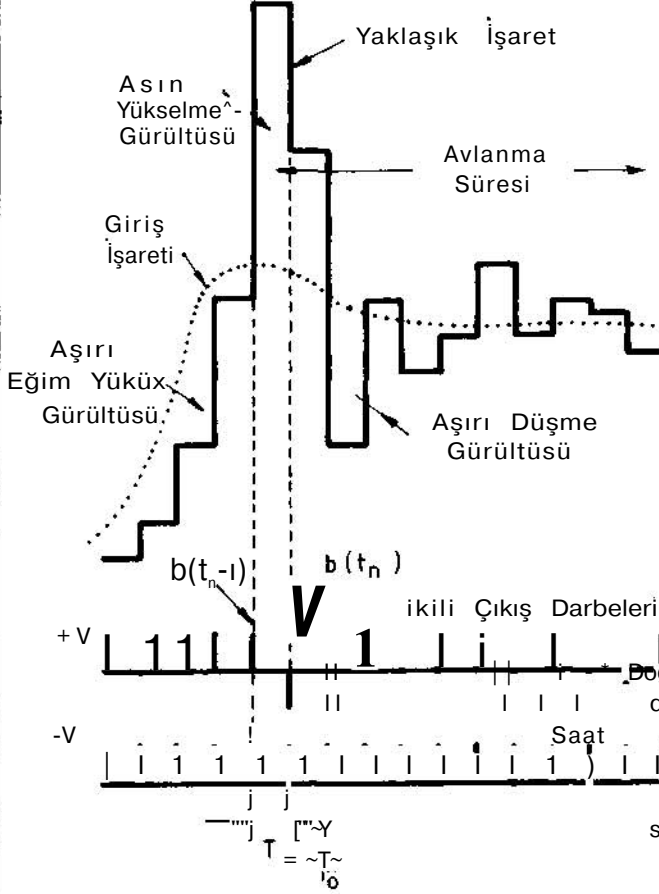
Şekil/ 3. (b)'de gösterilen dengeli olmayan DM kuvantalayıcı girişine (a)'daki gibi az değişim gösteren ya da hiç değişmeyen bir işaret uygulandığında yaklaşık işarete (c) 'de gösterilen türde salınımlar meydana gelir. Alçak - geçiren süzgeç ile önlenemeyen bu salınımlara boş kanal gürültüsü denir, ve sert, kesik sesler olarak belirir.



Şekil 4.

Doğrusal DM, belirli bir örnekleme hızında, genel performans eğrisi, eğer basamak boyu optimum basamak boyundan,  $opt'$  küçük ise sistem performansı giriş işaretini izleyemekten dolayı düşer. Çok büyük basamak boylarında ise kuvantalama gürültüsü artar, performans gene düşüş gösterir.

korelasyon büyüktür. Seste daha zararlı bir bozulma, görüntüde ise kenarların bozulması olarak belirir. Kuantalama gürültüsü ile, aşırı eğim yükü gürültüsü, ses kodlamasında kulakta aynı rahatsız edici bir etki yaparlarsa da, eşit güç seviyelerinde aşırı eğim yükü gürültüsü daha az rahatsız edicidir [5].



Bu iki türden başka, bir de Şekil — 3'de gösterilen, boş kanal gürültüsü (*idle channel noise*) vardır. Giriş işaretinin az değişen bölgelerinde, yaklaşık işaret, giriş işareti çevresinde salınımlar yapar. Sonuçta 10 10 10..... şeklinde bir çıkış darbe dizisi üzetir. Bu dizi alçak geçiren bir filtre ile etkisiz duruma getirilebilir; ancak kuantalayıcı dengeli değilse, çrkiştaki salınım önlenemez. Buna boş kanal gürültüsü denir. Bu gürültü, telefon kanalında istenmeyen sert ve kesik sesler (*clicks*) olarak duyulur

Görülüyor ki, basamak boyu sistemdeki gürültü türü üzerinde doğrudan etkindir. Verilen varyansı belli giriş işareti ve örnekleme hızı için, toplam gürültü gücünün en aza indiren, optimum basamak boyu  $A_{opt}$  hesaplanmıştır [6]. Şekil - 4'de Doğrusal DM'ün genel performansı işaret gürültü oranı (IGO) cinsinden basamak boyuna karşı gösterilmiştir. Doğrusal DM en yüksek IGO.yu optimum basamak boyundan sapma halinde koruyamamaktadır. Eğer basamak boyu, optimum basamak boyundan daha küçük ise, sistem performansı işareti izleyememekten dolayı düşer, ve eğer optimum basamak boyundan daha büyük ise kuantalama gürültüsünün artması aynı etkiyi yaratır.

### 3. UYARLAMALI DM YÖNTEMLERİ

Doğrusal DM, sınırlı eğim izleme yeteneği nedeniyle, durağan olmayan (*nonstationary*) işaretlerin kodlanması için uygun değildir. Daha iyi performans elde etmek için çeşitli sıkıştırma - açma yöntemleri önerilmiştir [4]. Bu tür sistemler basamak boyunu giriş işaretinin bölgesel eğim karakteristiğine göre ayarlamaktadır. Basamak boyunu ayarlayan işaret ya alıcıya ayrı bir biçimde

Şekil 5. 1 - bit bellikli uyarlamalı DM kodlayıcı sınır blok diyagramı ve buna ilişkin eğriler. Kodlayıcı aşırı eğim yükü algıladığında  $b(t_n) = b(t_{n-1})$  basamak boyunu değiştirerek, kodlayıcının eğim izleme yeteneğini arturmaktadır. Fakat ani değişimleri izleyen bölümlerde aşırı yükselme ve alçalmalar nedeniyle yeni bir tür gürültü oluşmaktadır.

iletilmektedir (ki, buna sürekli uyarlamalı DM denilmektedir [7] ) ve bu işaret ile basamak boyu ayarlanmaktadır,, ya da ikili çıkış darbeleri dizisinden, alıcı ve vericide bulunan, mantık devreleri yardımıyla basamak boyu ayarlanmaktadır (ki, buna ayırık uyarlamalı DM denilmektedir [8] ). İkinci yöntemde ayrı bir kontrol işareti gönderilmediğinden, daha yaygın olarak uygulanmaktadır. Literatürde bir çok uyarlama algoritmaları ortaya atılmıştır; bunlardan bazıları Şekil 9'da gösterilmiştir. Bunların içinde en basit olanı, Jayant tarafından tanıtılan 1 - bit bellekli uyarlamalı DM'dir [10].

### 3a. 1 - BİT BELLEKLİ UYARLAMALI DM

1 - Bit bellekli uyarlamalı DM'in algoritması aşağıdaki biçimde açıklanabilir: Her örnekleme anında en son iki darbe, bölgesel aşırı eğim yükünü ya da granülariteyi bulmak için, karşılaştırılır. Böylece, basamak boyu her örnekleme anında yenilenmektedir. 1 — bellekli uyarlamalı DM kodlayıcısı

$$A_n = A_{n-1} \cdot x^p \quad (p > 1) \quad \text{eğer } b(t_n) = b(t_{n-1}) \quad (5)$$

$$A_n = A_{n-1} \cdot x^q \quad (q < 1) \quad \text{eğer } b(t_n) \neq b(t_{n-1}) \quad (6)$$

basamak boyu uyarlamasını yapar. 1 - bit bellekli uyarlamalı DM'in blok diyagramı ve kendine özgü eğrileri Şekil - 5'de verilmiştir. Bu şekilde gösterildiği gibi, kodlayıcı aşırı eğim yükü algıladığında basamak boyunu değiştirerek, kodlayıcının eğim izleme yeteneğini arttırmaktadır. Fakat ani değişimleri izleyen aşırı yükselmeler (*overshoot*) ve yakalama süresi (*hunting period*) nedeniyle yeni bir gürültü oluşur. Bu istenmeyen durum gecikmeli kodlama yöntemleri ile giderilebilir [11].

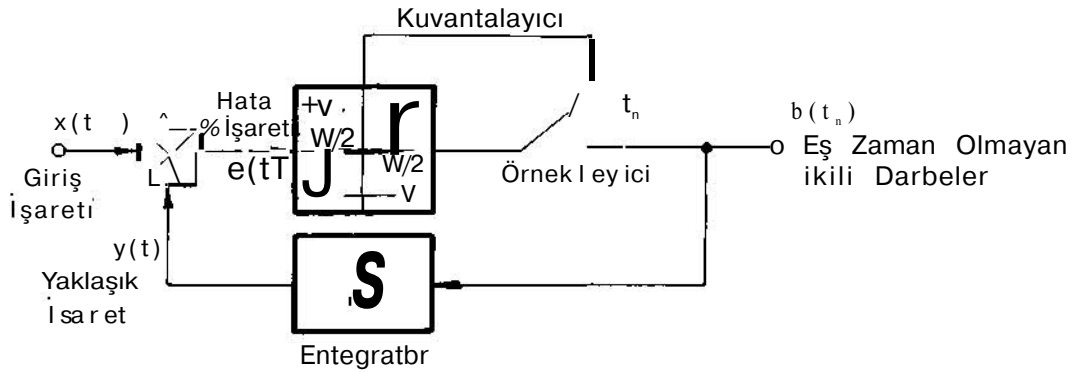
### 3b. DİĞER UYARLAMALI DM YÖNTEMLERİ

Kuvantalama hatasını azaltmak için daha karmaşık DM yöntemleri önerilmiştir. Belirli bir bit hızında işaret gönderebilmek için, kuvantalama hatasının daha da azaltılamayacağı bir sınır vardır [12]. Sayısal kodlama sistemlerinde bu, IGO oranında bir üst sınır belirtir. Bu üst sınıra yalnız blok kodlama ile ulaşılır. Genel olarak, blok kodlama çok karmaşık bir yöntemdir. Kayanblok kodlama (*sliding — block coding*) [13] ve ağaç kodlaması [14 - 16] gibi altopimum (*suboptimum*), fakat daha basit olarak gerçekleştirilebilen yöntemlerle bu üst sınıra yaklaşılabilmektedir [17]. DM'in çekici yönünün kodlayıcı basitliği olduğunu akıldan çıkarmamak gerekir.

### 4. EŞZAMANSIZ (ASENKRON) DM

Şimdiye kadar tanıtılan DM yöntemlerinde ikili çıkış darbeleri belirli aralıklarla daha açıkçası eşzamanlı (*senkron*) olarak üretilmektedir. Bu zaman aralıkları sistem saati ile belirlenmiştir. Bu sistemlerden başka, sistem saatinin belirlediği anlarda ikili çıkış darbeleri üreten ya da üretmeyen, ya da tamamen serbest olarak, sistem saati olmaksızın, belirli bir kritere göre darbe üreten ve eşzaman olmayan DM türleri de bulunmaktadır [18-21].

Tamamen serbest çalışan ve eşzamanlı olmayan DM'de örnekleme aralıkları, işaretin bölgesel eğim karakteristiğine göre değişir. Sistem eşzamanlı çalışarak, işaretin az değişen bölgelerinde daha az, hızlı değişen bölgelerinde daha sık darbe üreterek işareti izler. Duraklamalı konuşmalarda ve doğru akım bileşenli görüntü kodlanırken özellikle yararlı olduğu gösterilmiştir. Şekil - 6'da tamamen serbest çalışan ve eşzaman olmayan DM blok diyagramı gösterilmiştir. Sistem düzeni oldukça basittir.



Şekil 6. Eşzaman olmayan DM blok diyagramı. Doğrusal DM'den yapısal farkları : Sıfırdan farklı eşik seviyesi bir kuvantalayıcı ve buna bağlı olarak çalışan eşzaman olmayan örnekleyicinin, sıfır eşik seviyesi kuvantalayıcı ve bağımsız, eşzamanlı çalışan örnekleyicinin yerini almasıdır.

Bir sistem saatine gereksinimi yoktur. Eşikli bir kuvantalayıcı ve besleme devresinde bir entegral alıcı devreden oluşan yapıya sahiptir. Çalışma algoritması şöyle özetlenebilir: Giriş işareti çevresinde bir 'duyarlılık' koridoru tanımlanır. Yaklaşık işaret bu koridor içinde hareket eder. Yaklaşık işaret koridor dışına çıktığı, daha açıkçası hata işaretinin eşik seviyesini aştığı anlarda, hatanın artı ya da eksi oluşuna göre, bir ikili darbe üretilir. Bu anlarda yaklaşık işarete düzeltmeler yapılır. Şekil -7'de buna ilişkin eğriler verilmiştir. Yaklaşık işaret bir basamak fonksiyonu ise, yaklaşık işaret zaman ekseninde düzgün dağılımı olmayan (*nonuniformly distributed*) örnekleme anlarında yapılan A basamak boylu düzeltmelerle,

$$y(t_n) = \sum_{n=0}^{W-1} A \cdot b(t_n) \quad (7)$$

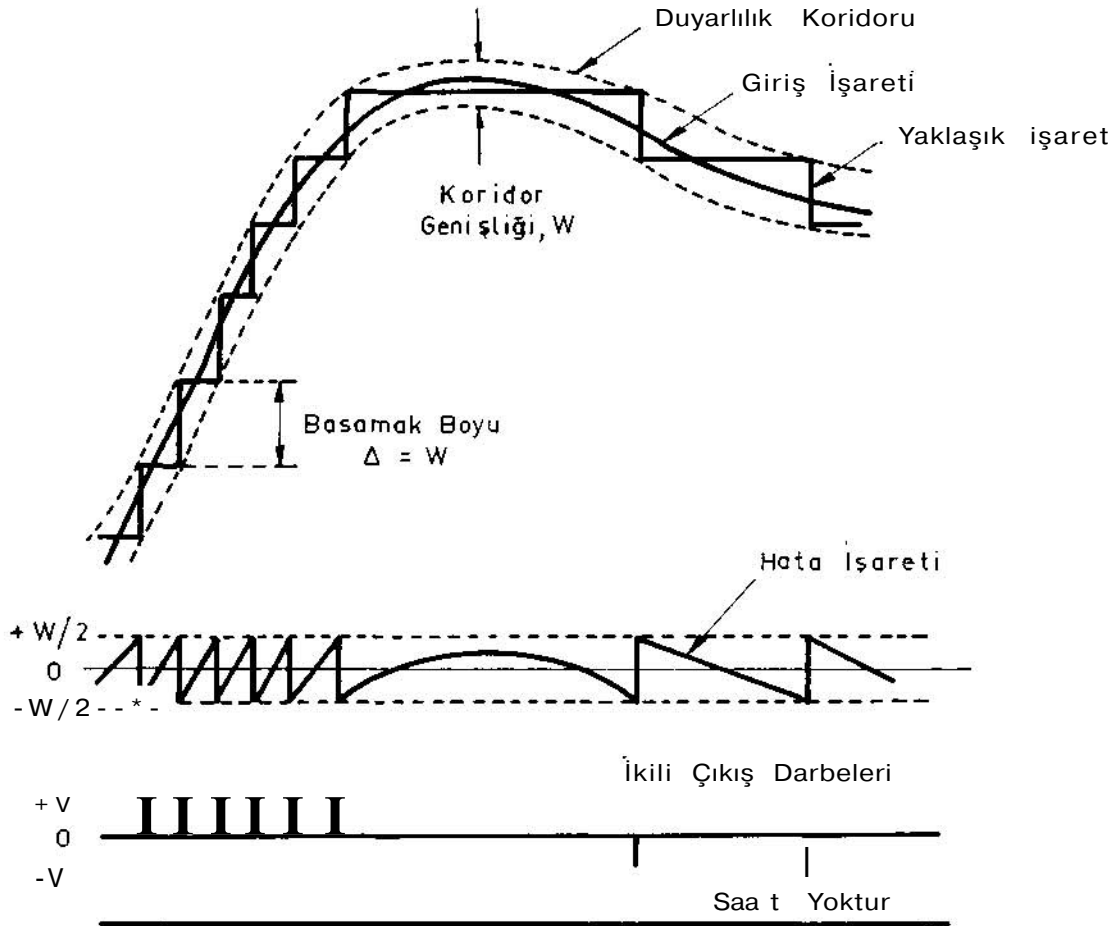
olarak gösterilebilir. Burada, ikili çıkış darbeleri

$$b(t_n) = \text{sgn} \{ e(t_n) \} \text{ eğer } |e(t_n)| \geq E \quad (8)$$

bağıntısı ile belirlenir. E, kuvantalayıcının eşik seviyesi olup, 'duyarlılık' koridorunun yarısı olarak tanımlanır,  $E = W/2$ . Böylece, 'duyarlılık' koridoru ile yapılabilecek en büyük kuvantalama hatası belirlenmiş olup, her türden giriş işareti için belirli bir koridor genişliğinde aynı IGO değeri elde edilir.

## 5. DM SİSTEMLERİNİN YERİ

Delta Modülasyonunun analogtan sayısala çevirme yöntemleri arasındaki yerinin belirlenmesi için, şimdiye kadar bu alanda başarılı olduğu bilinen PCM ile,



Şekil 7. Yaklaşık işaret bir 'duyarlılık' koridoru içinde hareket eder. Örnekleme anları bu yaklaşık işaretin bu koridor dışına çıktığı anlar, daha açıkçası hata işaretinin eşik seviyesini aştığı anlardır. Zaman içinde eşzamansız dağılmışlardır.

çeşitli kriterlere göre, karşılaştırmak gerekir. Önerilen DM ve PCM sistemlerinin çokluğu nedeniyle bu karşılaştırmayı ayrıntılı yapmak mümkün. Bu nedenle, DM ve PCM sistemleri ya genelde karşılaştırılacaklar ya da Doğrusal DM ve ona karşı düşen Doğrusal PCM yöntemleri karşılaştırılacaktır.

### 5a. İŞARET GÜRÜLTÜ ORANI (IGO)

Genel olarak, işaret kuvantalama gürültüsü oranı, doğrusal DM için, giriş işaret gücünün, kod çözücü sonrasındaki gürültü gücüne oranı olarak tanımlanabilir. Eğer giriş işareti beyaz, bant içinde sınırlı,  $\sigma^2$  gücünde ise, işaret-kuvantalama gürültüsü - oranı (IGO):

$$IGO = \frac{1}{K} \left( \frac{f_s}{f_k} \right)^2 \quad (9)$$

bağıntı ile verilir. Burada  $K_k$  bir orantı katsayısı, A basamak boyu,  $f_i$  bant kesim frekansı,  $f_o$  ise kodlayıcının örneklemefrekansıdır. Bu bağıntıda aşırı eğim yükünün meydana gelmediği varsavılmıştır.  $r(t) = E_s \sin 2\pi f_s t$  şeklinde bir giriş işareti için

$$IGO = \frac{f_s}{2K_k} \sqrt{f_k} \left( \frac{E_s}{\Delta} \right)^2 \quad (10)$$

bağıntısı geçerlidir. Burada girişin gücü  $E^2/2$  dir. Doğrusal PCM için IGO tepe noktası  $n$  - bitlik kod kelimesi kullanıldığında,

$$IGO = 1.8 + 6n \quad (11)$$

bağıntısıyla verilir. Bu anda doğrusal PCM'nin iletim hızı  $2nf_k$ 'dir. 1.8'i 3.0 değiştirirsek bu denklem için üst sınır bulunur [4].

Eşzaman olmayan DM için benzer IGO alt sınırı

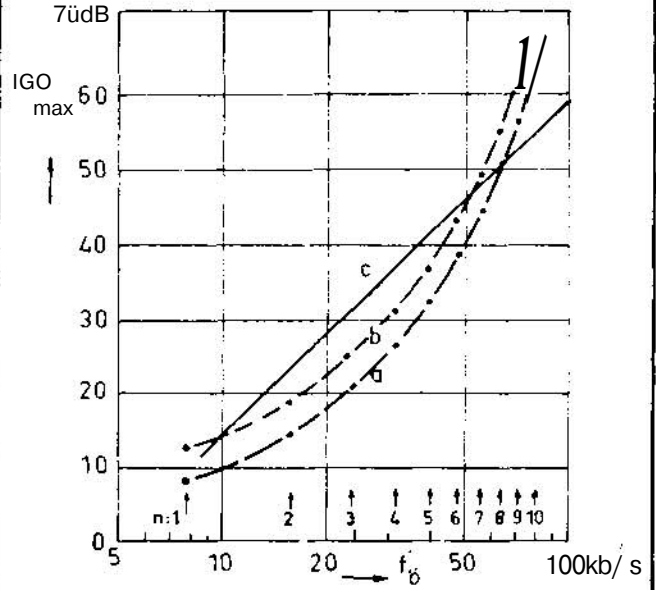
$$IGO = 10 \times \log_{10} \left( \frac{1.2}{P^3} \right) \text{dB} \quad (12)$$

bağıntısı ile verilir. Burada P orantı katsayısı  $\sigma$  rms değerli bir giriş işareti için

$$P = \frac{w}{\sigma} \quad (13)$$

ifadesiyle tanımlanır.

$E_s \sin 2\pi f_s t$  sinusoidal giriş işareti için doğrusal DM ile doğrusal PCM yukarıdaki kriter ışığı altında karşılaştırılabilir. Gerçekten,  $f_s = 800$  Hz,  $f_k = 3400$ Hz ve doğrusal PCM'in örnekleme hızı 8 kHz olduğunda, Çift tümleyicili DM ve doğrusal PCM sistemlerinin kazandığı en büyük IGO değerlerindeki değişim, iletim hızındaki



Şekil 8. Düşük iletim hızında IGO performansı daha yüksek olan çift tümleyicili DM'un doğrusal PCM'e üstünlüğü hızın artması ile kaybolur, (a) doğrusal PCM (b) DPCM ve (c) çift tümleyicili DM içindir. 8000 örnek/s darbe kod kelime uzunluğu  $n$  ile gösterilmiştir.

değişime karşılık Şekil - 8'de gösterilmiştir [23J. Kaliteli kodlamasında IGO en az 35-40 dB olmalıdır. Bu kalite için 8 KHz örnekleme frekansında çalışan Doğrusal PCM'nin iletim hızı 56 kbit/s dir. Bu durumda 7-bitlik kelime kodlaması gerekmektedir. Bu 40 dB'lik IGO'ya 40 kbit/s hızla çalışan bir çift tümleyicili DM sistemiyle ulaşılabilir. Daha az IGO değerine sahip bir performans için karşılaştırıldıklarında, DM daha dar bir kanal genişliği gereksinimi nedeniyle, doğrusal PCM'e göre daha üstündür. Düşük iletim hızındaki DM üstünlüğü hızın artması ile kaybolur.

Yukarda bir performans ölçütü olarak IGO ele alınmıştır. Ancak, IGO bir değerlendirme ölçütü olarak yetersizdir. Bunu bir örnekle açıklayalım [23]. 1-bit bellekli uyarımalı DM'de IGO'yu enbüyük değerine ulaştıran basamak boyu uyarılama katsayısı  $p = 1.5$  yerine  $p=1.2$  kullanılırsa: 20-40 KHz arasında, toplam gürültü gücünün büyük bir kısmını aşırı eğim yük gürültüsü meydana getirir. 20 KHz'de aşırı eğim yükü gürültüsünde %40 oranında artışa karşılık, IGO'da yalnız 1 dB'lik düşüş görülür. Fakat, toplam gürültü gücünün %2'sini oluşturan, kuvantalama gürültüsü gücündeki düşüş  $p = 1.2$  kullanımıyla %30'u bulur. Sonuçta, kulağa daha hoş gelen



	DM	PCM
Kanallararası k.ıdlay ıcınm zaman içinde paylaşılması için	uygun değildir.	uygundur.
Kodlanan işaretin frekans bileşenlerine bakımlılık	yüksek frekans, büyük genlikli bileşenlerde aşırı yükleme	bağımsız
Maliyet	PCM'den ucuz	DM'den pahalı
Kelime eşzamanlama gereksinimi	yok	var
İletim hatalarına dayanıklılık	iyi	zayıf
Düşük bit hızlarında İGO	PCM'den yüksek	
Yüksek bit hızlarında İGO		DM'den yüksek
Kriptolamaya uygunluk	PCM'den daha iyi	
Verici ve alıcıda hassas eşzamanlarına gereksinimi	yok	var
Filtre gereksinimi	basit	karmaşık

Şekil 9. DM PCM genel karşılaştırma.

bir ses elde edilir. Görülüyor ki, işaret ile korelasyonu bulunmayan kuvantalama gürültüsüne göre, kullanılan iletim hızında, aşırı eğim yükü gürültüsü daha az rahatsız edicidir. IGO'nun yetersizliği karşısında, tüm kodlayıcılar için tek bir performans kriteri koyulmak istenmiştir. Ancak, bu kolay olmamakta, her kodlayıcı için değişik gürültü türleri önem kazanmaktadır; Genlik korelasyonlu gürültü, eğim korelasyonlu gürültü, zarf korelasyonlu gürültü gibi. Değerlendirme için örneğin ses kodlamasında, ses kalitesindeki bozulma seviyelerinin alınması düşünülebilir: Sezilebilen bozulma, rahatsız edici bozulma, anlaşılabilirliği bozan bozulma gibi

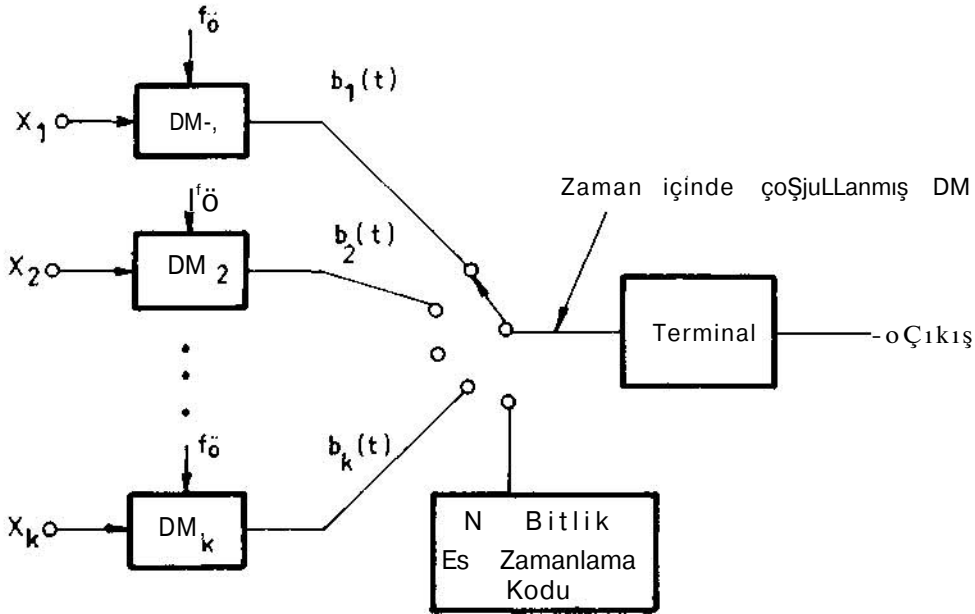
### 5b. GELİŞİGÜZEL KANAL HATALARININ ETKİSİ

İletilen darbe dizisinde, hiyerarşik bir sıralama sözü olmadığından, gelişigüzel kanal hatalarının ortaya çıkması halinde, doğrusal DM oldukça iyi performansa sahiptir. Bir sayısal hata, tümleyici çıkışında yaklaşık işarette  $\pm 2A$  kadar bir sapma yaratır. Hataların yaklaşık işaret üzerindeki etkisi birikimseldir (kümülatif), ancak hata patlaması (*error burst*) olduğunda ciddi bir problem yaratır. Sessiz aralıkları bulunan bir konuşmayı kodlarken, bu birikimsel etki önemini kaybeder. PCM'de bir kanal hatası doğrudan işaret genliği ile ilişkilidir. Bir hata yaklaşık işaretle sıfırla en büyük arasında herhangi bir değer almasına neden olur. Bu değer, DM'de olduğu gibi işaretin aldığı en son değerle değil, hatanın kod kelimesinin hangi bitinde olduğuyla ilişkilidir. Şekil - 9'da her iki durum gösterilmiştir.

### 5c. DOĞRUSAL DM ÇIKTILARININ ZAMAN İÇİNDE ÇOKLANMASI

DM kodlayıcısında, geri besleme devresinin bulunması, onun bir işaret izleyen kodlayıcı olmasına neden olur. Birden fazla giriş işareti için kodlayıcı görevi yapamaz, yalnız bir tek işareti izler ve kodlar. PCM kodlayıcısı ise birçok işaret için kodlayıcı görevini yapabilmektedir. Şekil - 11'de  $x_1, x_2, \dots, x_k$  giriş işaretleri k adet DM tarafından kodlanmaktadır. Her kodlayıcı çıkışı, DM'in çalışma periyodu T içinde bir kez örneklenir ve bu çıkışa T zaman aralığında n -bitlik eşzamanlama kodu eklenir. Bunun için  $(k+n) \cdot f^*$  hızında çalışan bir terminale gereksinim vardır.

Şekil - 10'da DM'in zaman içinde çoklanma yöntemi gösterilmiştir. 1960'larda, DM kodlayıcısı abone sayısının az olduğunda kodlayıcı başına maliyetin düşük olması nedeniyle, PCM kodlayıcısının abone sayısının çok olduğunda zaman içinde paylaşılması daha yararlı olacağı kabul edilmekteydi. Fakat Geniş Çapta Tümleşme (LSI) tekniğinin gelişmesiyle bu durum tersine dönmüştür. LSI tekniği, kodlayıcı ve kod - çözücü maliyetlerini daha az önemli kılarak, bu sorunu ikinci sıraya sokmuştur ve bir PCM kodlayıcısının zaman içinde paylaşımı sırasında kanallar arasındaki arılog çapraz konuşmanın (*cmsstalk*) önüne geçmek için, her abone için ayrı bir PCM kodlayıcı kullanma fikri önem kazanmıştır. Koşulların bu yönde gelişimi, eskiden bir kodlayıcıdan beklenen, zaman içinde paylaşma özelliğinin ele alınmamasına yol açmıştır [4].



Şekil 10. DM sistemlerinin zaman içinde çoşullanması.

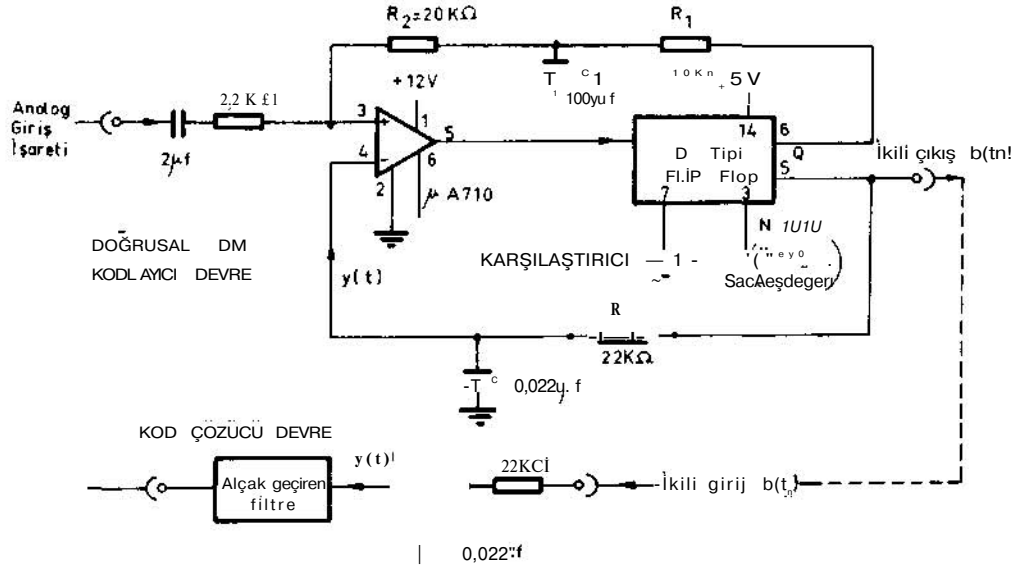
## 5d. SÜZGEÇLER

DM sisteminde kullanılan süzgeçler için kesin ve katı sınırlamalar yoktur. Bu durum özellikle giriş işaretinin örnekleme frekansının yarısından büyük frekanslı bileşenlerini bastırmak için vericide kullanılan süzgeçler için geçerlidir. Alıcıda, kod-çözücü çıkışındaki işaretle, örnekleme frekansının artmasıyla, frekansları artan bir takım istenmeyen bileşenler vardır. Bu istenmeyen

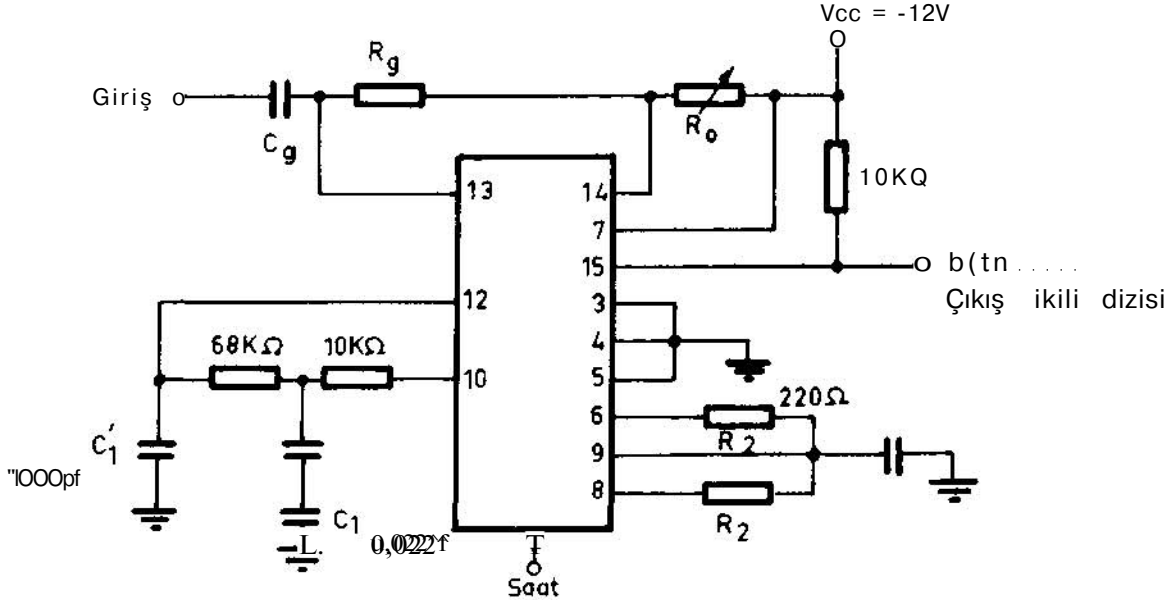
bileşenleri ortadan kaldırmak için kullanılan süzgeç, yüksek örnekleme frekanslarında daha basit olarak geçeklenebilir.

## 5e. GERÇEKLEŞTİRME KOLAYLIĞI

DM sistemi, kullanılan birimlerin hem basit, hem de kullanılmaları konusunda kesin ve katı bazı çalışma şartlarına bağlı olmaması nedeniyle, PCM'e üstündür.



Şekil 11. Düşük hızda çalışacak bir DM kodlayıcısı için gerekli olanlar sadece bir karşılaştırıcı, D - türü flip flop RC(direnç - kapasite) entegratörüdür. Kod çözücü ise, basit bir RC entegratörü ve alçak geçiren filtreden oluşur.



Şekil 12. Aktif devre kullanarak gerçekleştirilen doğrusal DM kodlayıcısı.

Örneğin, DM'de kullanılan fark kuvvetlendiricilerinin (*Differential amplifiers*) doğrusal olması gerekmez; çünkü hata işaretinin genliğinin büyüklüğü değil, onun artı ya da eksi olması önemlidir. Fakat PCM'de örnekleyici, darbe genişliği modulatörü gibi birimlerin doğrusal olarak çalışmaları gerekmektedir.

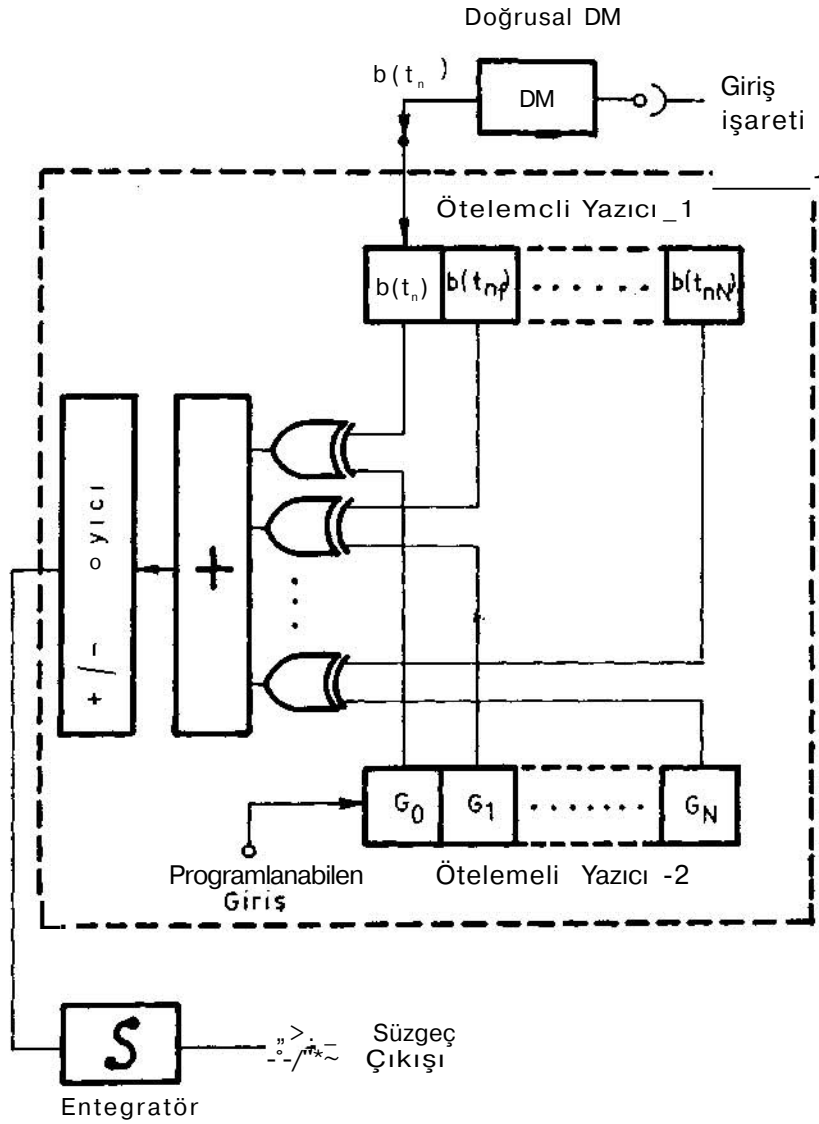
Çeşitli firmalar tek bir kırkık (*chip*) tümleşik devre halinde uyarlanabilir DM'ler satışa çıkarmışlardır. Bu devreler, tüm aktif analog ve sayısal devrelere sahip olup, fiyatı da git gide ucuzlamaktadır. Bu tümleşik devreler kullanıcıya, belirli bir uygulama için direnç ve kapasite seçiminden başka bir tasarım sorunu bırak-

mamıştır. Şekil-11'de bu tür bir tümleşik devre ile payılan uygulama, Şekit-12'de ise çeşitli aktif devreler kullanılarak gerçekleştirilen doğrusal DM tasarımı gösterilmektedir.

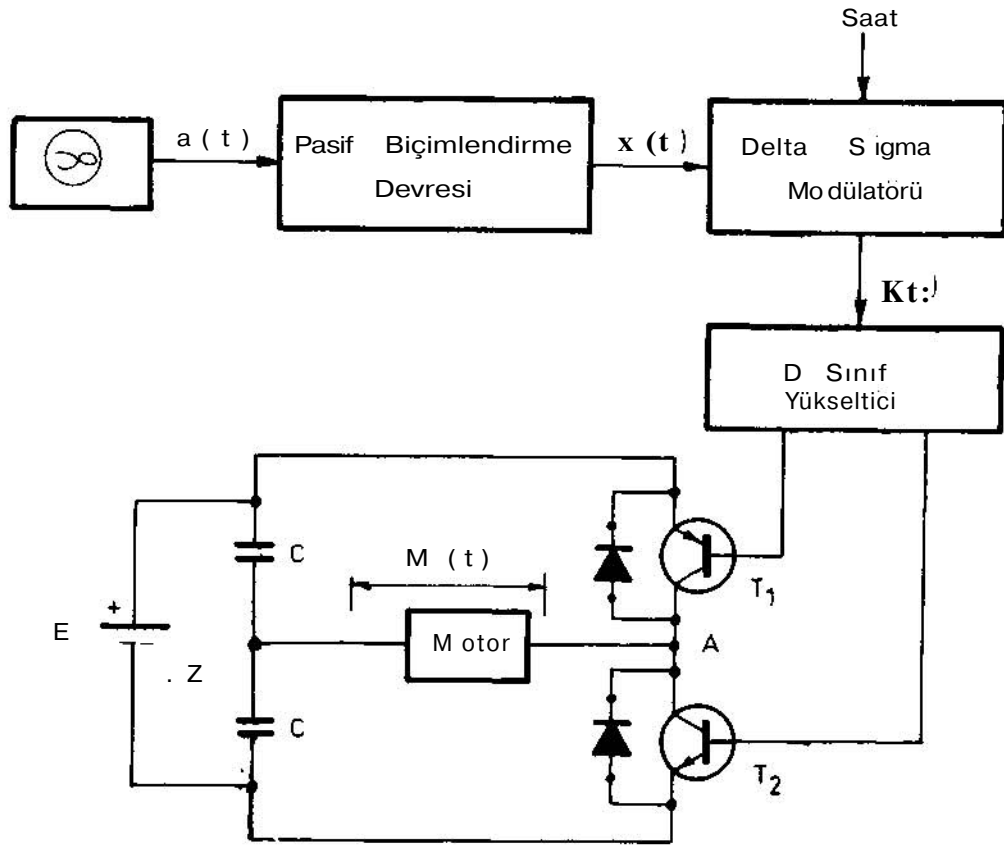
## 6. UYGULAMALAR

DM sistemleri, işaretlerin haberleşme için ikili kodlayan yöntemler olarak ortaya çıkmasına karşın, haberleşme endüstrisinin dışında da, kontrol, ölçü cihazları gibi yan dallarda da geniş kullanım alanlarına sahiptir.

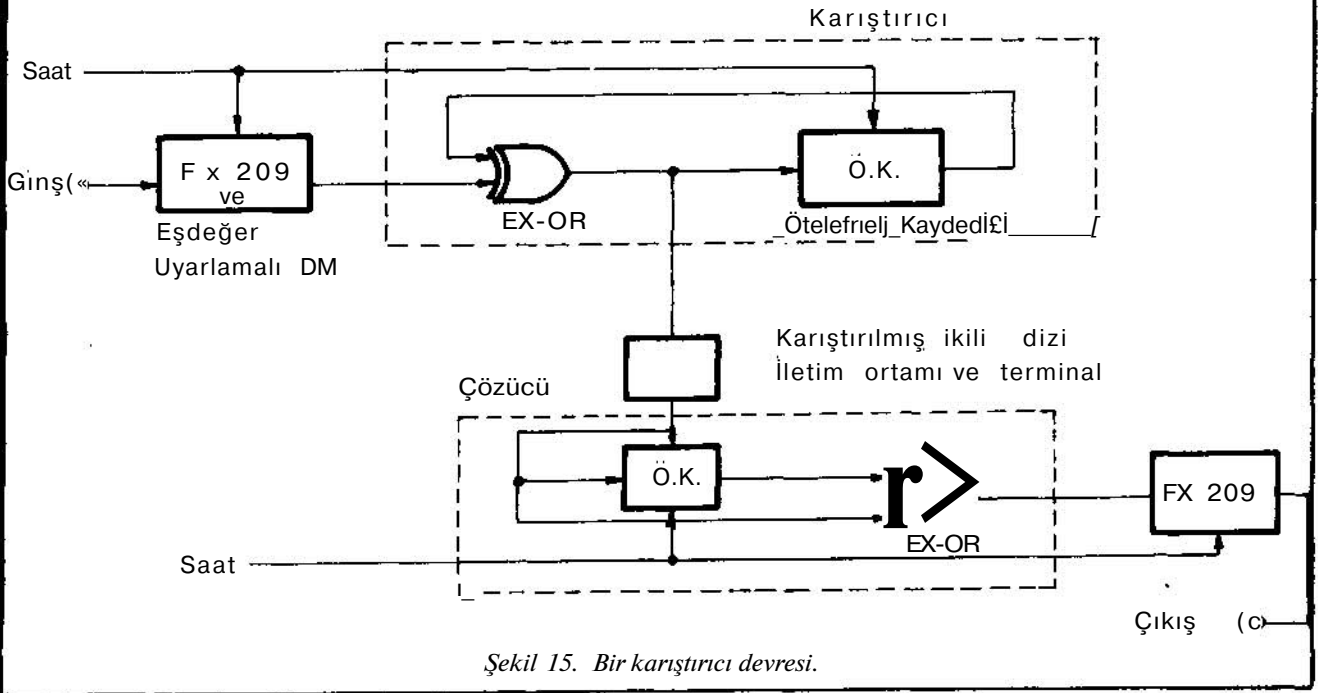
Bu uygulama alanları şöyle özetlenebilir:



Şekil 13. Doğrusal DM ile sayısal süzgeç. DM'ün ikili çıkışı filtre girişine uygulanır. Toplam süzgeç karakteristiği ötelemeli yazıcı -2'ye uygulanan programın değiştirilmesi ile yenilenir.



Şekil 14. Uzaktan kumanda. Bir endüksiyon motorunun delta - sigma modülörü ile uzaktan kumandasının üstünlükleri vardır. Motorun Hız - Moment karakteristiği, gürültülü bir iletim ortamında bile rahatlıkla uzaktan kontrol edilebilmektedir.



Şekil 15. Bir karıştırıcı devresi.

- 1- Sayısal süzgeçler. (Şekil-13)
2. Elektrik Motorlarının uzaktan kontrolü. (Şekil-14)
3. Ses işareti karıştırılması. (Şekil-15)
4. Analog işaretlerin saklanması ve ekranda gösterilmeleri için kodlanması
5. Elektronik ölçü cihazları

## 7. SONUÇ

Bu yazıda DM hakkında temel bilgilerin verilmesine çalışılmıştır. Bu konuda literatürde çok sayıda yayın vardır. Bunlardan geniş kapsamlı ve temel bilgileri veren aşağıdaki iki kaynak bu konu hakkında yeterli görülebilir,

- [4] **Steele, R.**, *Delta Modulation System*, Wiley, New York, 1975.
- [22] Jayant, N.S., *Waveform Quantization and Coding*, IEEE Press, New York, 1976.

## KAYNAKLAR

- [1] Deloraine, E., et. al, French Ref. Patent, 932140.
- [2] de Jager F. and Greefkes, J.A. "Delta Modulation A New Modulation System for Telecommunication", *Philips Tech. Rev.*, Vol. 13, pp. 237-268, 1952.
- [3] de Jager, F., "Delta Modulation" *Philips Res. Rept.*, Vol. 7, pp 442-446, 1952.
- [4] **Steele, R.**, *Delta Modulation System*, Wiley, New York, 1975.
- [5] Jayant N.S. And Rosenberg, A.E., "The Preference of Slope Overload to Granularity in Delta Modulation of Speech", *Bell Syst. Tech. Jour.*, Vol 50, pp. 3117-3125, Dec. 1971
- [6] Abate, J.E., "Linear and Adaptive DM", *Proc. IEEE*, Vol. 55, pp. 298-308, March 1967.
- [7] Greefkes, J.A. and de Jager, F., "Continuous Delta Modulation", *Philips Res. Rept.*, Vol 23, pp 223-246, 1968.
- [8] Winkler, M.R., "High Information Delta Modulation", *1963 IEEE International Conv. Record*, pt. 8, pp. 260-269.
- [9] **Aktar, M.**, *Application of Dynamic Programming to Predictive Quantizing Systems*, M.S. Thesis, **Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, 1978.**
- [10] Jayant, N.S. "Adaptive Delta Modulation with one-bit Memory", *Bell Systems Tech. Jour.*, pp. 321-342, March 1970.
- [11] Koubanitsas, T.S., "Application of Viterbi Algorithm to Adaptive Delta Modulation with Delayed Decision", *Proc. IEEE*. Vol. 63. pp. 1076-1077, July 1975.
- [12] Shannon, C.E., "Coding Theorems for a Discrete Source with a Fidelity Criterion", *IRE Nat. Conv. Record*, Part 4, pp. 142-163, 1959.
- [13] Berger, T. and Lan, J.K.Y., "On Binary Sliding Block Codes", *IEEE Trans. on Info. The.*, pp. 343-354, 1977.
- [14] Jelinek, F. and Anderson, J.B., "Instrumentable Tree Encoding of Information Sources" *IEEE Trans. Info. Th.*, pp. 118-119, Vol. IT-17, Jan. 1971.
- [15] Anderson, J.B. and Bodie, J.B., "Tree Encoding of Speech", *IEEE Trans. Info Th.*, Vol. IT-21, pp. 379-387, July 1975.
- [16] Gallego, R.G., "Tree Encoding for Sources with Distortion Measure", *IEEE Trans. Info. Th.*, Vol. IT-20, pp. 65-76, Jan. 1974.
- [17] Jelinek, F., "Tree Encoding of Memoryless Time Discrete Sources with a Fidelity Criterion", *IEEE Trans. Info. Th.*, Vol. IT-15, pp. 584-590, Sept. 1969.
- [18] Inose, H., Aoki, T. Watanabe R., "Asynchronous Delta Modulation System", *Electronic Letters*, Vol. 2, No.3, pp. 95-96, March 1966.
- [19] Hawkes, T.A. and Simonpieri, P.A. "Signal Coding Using Asynchronous Delta Modulation", *IEEE Trans. on Comm.*, Vol. 22, pp. 346-348, March 1974.
- [20] Binal, M.E., "Variable Time-Scale Information Processing": Ph. D. Thesis, University of Aston in Birmingham. Dept. of Electrical Eng'g, 1974.
- [21] Güngen, H. "Analysis of Asynchronous Delta Modulation System", M.S. Thesis, Boğaziçi Üniversitesi İstanbul, 1978.
- [22] Jayant, N.S., *Waveform Quantization and Coding*, IEEE Press, New York, 1976.
- [23] Greefkes, J.A. and Riemens. K. "Code Modulation with digitally controlled companding for speech transmission", *Philips Technical Review*, Vol. 31, No.11/12, pp. 335-353, 1970.