

Dergimizin geçen sayısında başlayan sayısal haberleşme konularına ilişkin ve bu sayıda 2. bölümü yayınlanan yazı dizisinin kapsamını ve amacını açıklamaya yönelik olarak TVBİTAK Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü (MAE)'nin Elektronik Araştırma Bölümünde hazırlanan bu yazıların hangi somut çalışmalardan kaynaklandığının ve çalışmaların kapsadığı konuların neler olduğunun açıklanması okuyucu için yararlı olacaktır. Bu amaçla MAE Elektronik Araştırma Bölümü Telekomünikasyon Grubu'na hazırlanan bir değerlendirme yazısını aşağıda sunuyoruz.

MAE Elektronik Araştırma Bölümü'nün temel çalışmaları, elektronik sistemler üzerine araştırma geliştirme ve bu sistemlerin imalata uygun bir düzeyde gerçekleştirilmesi yönündedir. Kaynakları sınırlı olan Elektronik Araştırma Bölümünde çalışmalar kaçınılmaz olarak belirli konularda yoğunlaşmaya, uzmanlaşmaya yönlendirilmiş olup, ülkedeki elektronik sistemlere olan gereksinimlerin ancak belirli bir kesimine ağırlık verilebilmektedir : Halen, görüntü işleme, uzaktan algılama, sayısal haberleşme, mikrodalga, çeşitli elektronik cihaz ve sistemlerin geliştirilmesi, bilgisayar yardımıyla devre tasarımı ve optimizasyonu v.b. konularında yapılan araştırma - geliştirme çalışmalarına öncelik verilmiştir.

Sayısal haberleşme sistemlerinin dünyada yaygınlaşmasına paralel olarak yurdumuzda da bu tür sistemlere olan gereksinim hızla artmaktadır. Türkiye'de haberleşme sistemlerinin en büyük uygulayıcısının PTT oluşu nedeniyle, Elektronik Araştırma Bölümündeki telekomünikasyon grubunun çalışmaları PTT ile sıkı bir işbirliği içinde PTT'nin gereksinimlerine bağlı olarak biçimlenmiştir.

Santraller arası bağlantılarında kapasite artışı sağlamak üzere, PTT'nin Darbe Kod Modülasyonlu (PCM) sayısal sistemlere yönelişi, bu tür sistemlerin Türkiye'de geliştirilmesine ve üretimine önem kazandırmıştır. Öte yandan, bilgisayar sistemlerinin verimli kullanımını sağlayabilmek için gerekli olan bir iletim ağının temelini oluşturan DATA MODEM'lerine ayrıca bir gereksinim duyul-

maktadır. Benzer biçimde, Türkiye'nin coğrafi ve yerleşim özellikleri nedeniyle, radyo - link iletim ortamlarından yararlanılarak sayısal sistemlerin kullanılabilmesi de giderek artan bir önem kazanmaktadır.

Bu gelişmelerin ve değerlendirmelerin ışığı altında, Bölümümüz telekomünikasyon grubunun temel çalışma alanları şu biçimde oluşmuştur:

- (a) 1. ve 2. mertebeden PCM sistemleri ve bu sistemlere uygun kablo iletim donanımı ;
- (b) 1200, 2400 ve son olarak 200 baud hızında çalışan DATA MODEM'leri ;
- (c) Sayısal işaretlerin radyo - link sistemleri üzerinden iletimini sağlayacak 11 GHz bandında çalışan sayısal sistemler.

Bu projelerin gerçekleştirilme çabası, sistem sorunlarının teorik tanımlamasından başlayarak, devrelerin laboatuvarlarda gerçekleştirilmesine kadar uzanan bir çalışma sürecini içerir. Giderek daha geniş bir alana yayılmakta olan sayısal haberleşme sistemlerinin geliştirilmesinde ve verimli olarak kullanılabilmesinde aşılması gereken engellerden biri de, ülkemizde bu konuda teorik bilgi ve deney birikimlerinin az olmasından kaynaklanmaktadır.

MAE'de bu yönde yapılan çalışmaları ve bu çalışmaların temelinde yatan teorik ve pratik sorunları açıklamaya yönelik olarak ele alınan bu yazı dizisinin, bu konuların yaygın biçimde kavranmasına ve bu konulara olan ilginin artmasına bir katkısı olacağını ummaktayız.

SAYISAL HABERLEŞME SİSTEMLERİNDE KODLAMA

UDK :621. 391

ali
akurgal

özet

Ses bilgisi ileten sayısal haberleşme sistemlerinde, modülasyon türünden bağımsız olarak, her zaman bir analog - sayısal dönüştürücü bulunur. Bu yazıda, gerek tek kanallı gerekse çok kanallı sayısal haberleşme sistemleri için kullanılabilir kodlayıcılar incelenmektedir. TÜBİTAK Marmara Araştırma Enstitüsü Elektronik Ünitesi'nce gerçekleştirilen PCM sisteminde kullanılan kodlayıcıların hangi ilkelere dayandığını anlamak için bir ön bilgi olarak, doğrusal, üstel ve yarı - üstel sıkıştırma yöntemleri karşılaştırmalı olarak anlatılmakta, CCITT tarafından sayısal ses bilgisi iletimi için tavsiye edilen başlıca iki sıkıştırma eğrisi, A - yasası ve M ~ yasası incelenmektedir.

Summary

in the systems developed for voice - Information transmission, there are always an analog - digital coder, regardless of the type of modulation. in this article, the coders which can be used both in one - channel and in many - channel digital transmission systems, are investigated.

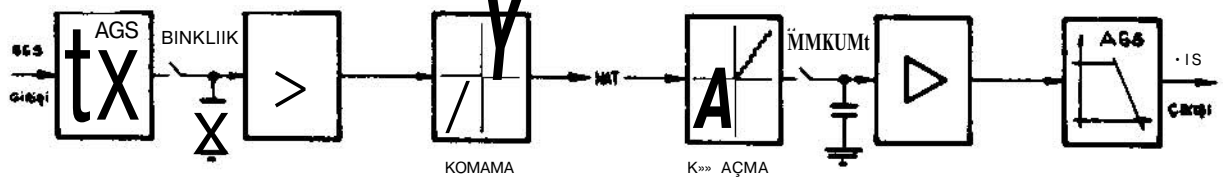
in order to understand the basic principles on which the coders (used in the PCM system developed by the Electronic Research Unit of TÜBİTAK's Marmara Research Institute), rest, a brief comparative analysis is given about linear, exponential and semi-exponential compression techniques. Also, two main compression curves, namely A - law and M - law which were recommended by CCITT for the transmission of digital voice - information, are investigated.

1. GİRİŞ

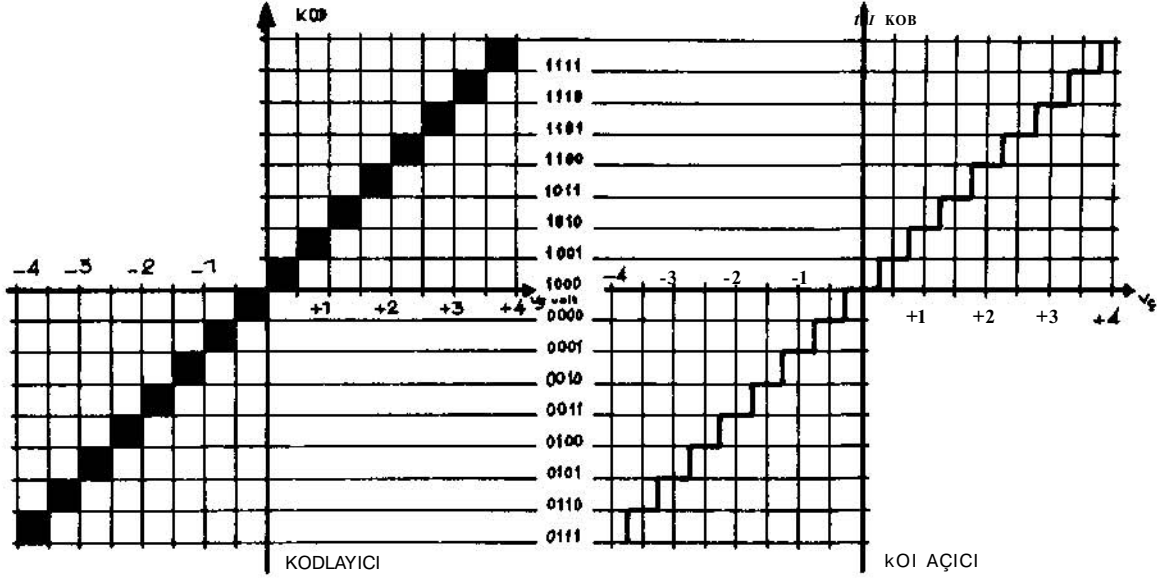
Genel olarak, ses bilgisi ileten sayısal haberleşme sistemlerinde, modülasyon türünden bağımsız olarak, her zaman, bir tür analog-sayısal dönüştürücü (kodlayıcı) bulunmaktadır. Ses işaretlerinden belirli zaman aralıklarıyla alınan örneklerin işlenerek bir sayı, ya da sayılar dizisine dönüştürüldüğü bu kodlayıcılar başlıca iki grupta toplanabilir:

- Sayısal değeri her örnek için tek tek belirleyerek gerçek değeri iletenler,
- Bir sayısal değeri belirlerken son iki ya da bir kaç örneği belli bir algoritmaya göre işleyip sadece fark bilgisini iletenler.

Bunlardan birinci grup PCM ailesini, ikinci grup ta delta modülasyon ailesini oluştururlar. Bu yazıda PCM ailesinden olan kodlayıcıların incelenmesi ele alınmıştır.



a) sistem blok f«mo«ı



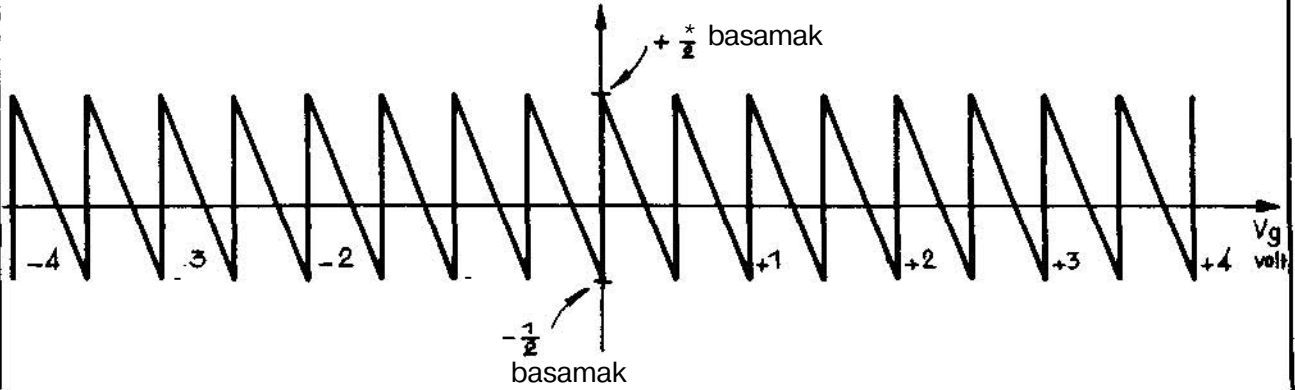
b) Kodlayıcı _ kod açıcı giriş-çıkış karakteri«fiği

Şekil 1. Doğrusal kodlamalı sayısal haberleşme sistemi.

0. DOĞRUSAL, ÜSTEL, YARI-ÜSTEL SIKIŞTIRMA VE A-YASASI

Örneklenmiş bir ses işaretinin alabileceği genlik değerlerinin tümü eşit aralıklı n tane pencereye bölünür ve her bir pencereye bir kod karşı düşürülürse, yapılan kod lama doğrusal bir kodlama olur (Bkz. Şekil—1)» Eğer ikili (binary) sayı sistemi kullanılıyorsa ve $m = 2^n$ tane pencere varsa, bu kod ayrıca n-bitlik bir kod olarak ta tanımlanabilir.

Bu biçimde kodlanan ses işaretlerinin belli bir pencere içerisine düşen tüm değerleri için sadece bir tek kod alıcıya iletilir. Bu kod alıcıya ulaştığında o pencerenin ortalama değerine eşit bir tek analog değere dönüşeceğinden, giriş ve çıkış işaretleri arasında bir farklılık ortaya çıkar. Ençok $\pm 1/2$ basamak değerinde olan bu farklılık, seste, "kuvantalama hatası" (*quantisation distortion*) adı verilen bozulmaya neden olur (Bkz. Şekil—2).



Şekil 2. Kuvantalama hatasının giriş gerilimine göre değişimi

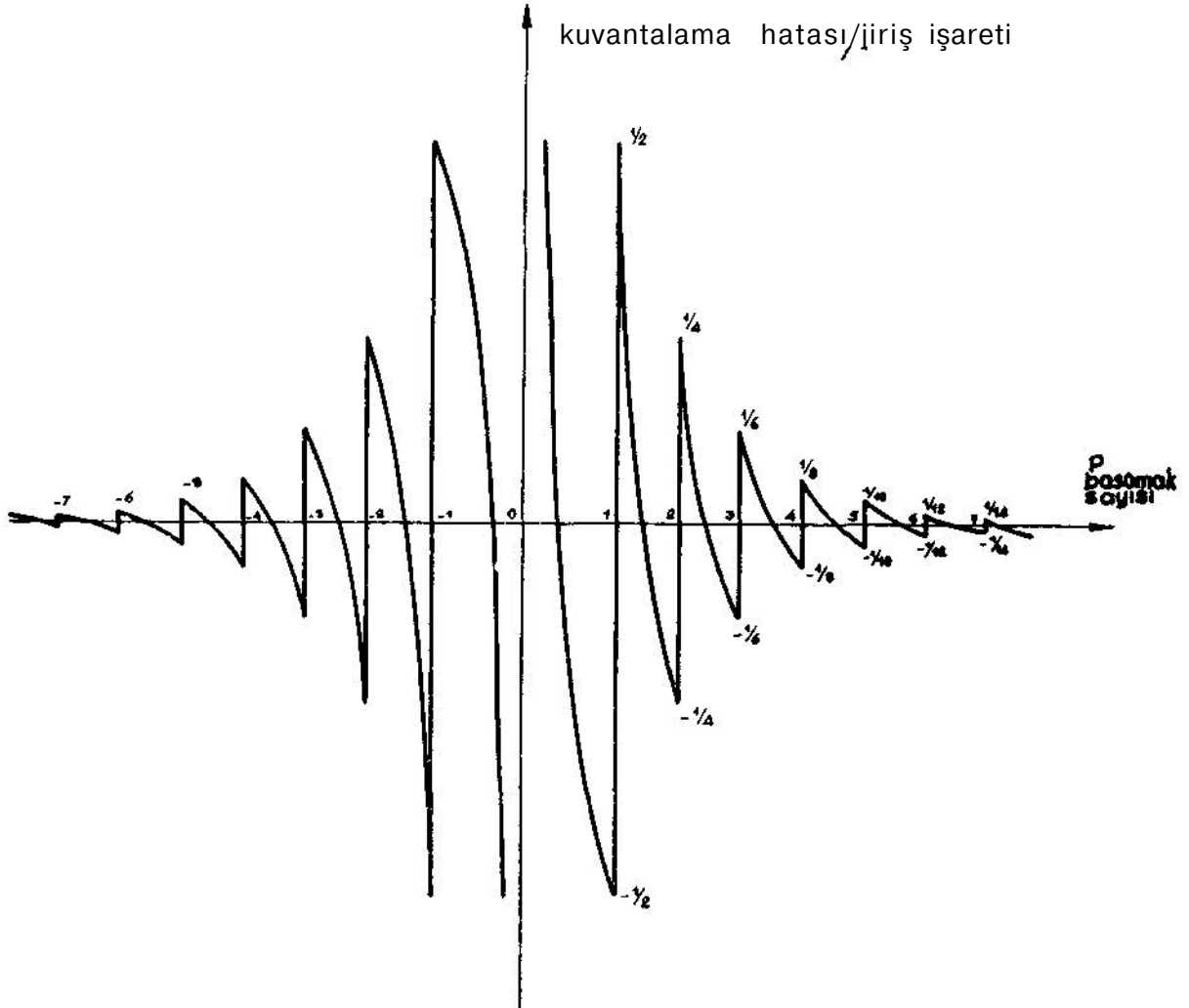
39S 'işareti giriş genliği V_g	belirlenen kod	kod açıcının elde ettiği değer $V_ç$	asıl dağeru olan fark. (kodlamû hatası)
0.95	100-t	0-70	-0.2
1.05	1010	-1.as	+0.2
1.13	1010	1.2S	+0.1
1.25	1010	1.25	0
1.35	101 0	1. 25	-0.1
1.45	1010	1. as	0.2
1.55	101 1	1.75	+0.2
1.65	1011	1.75	• 0.1

Tablo 1. Kuvantalama hatası.

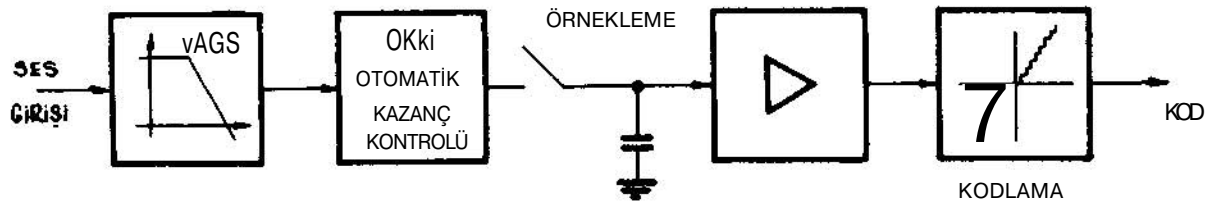
Şekil—1b'deki giriş-çıkış karakteristiğini ele aldığımızda, örneğin 1.0 ile 1.5 voltluk giriş işaretler için belirlenecek kodlar ve bu kodlar için alıcıda elde edilecek analog değerlerle, bu değerlerin aslına olan farklılığı Tablo-1 de verilmiştir. Tablo-1 ve Şekil-2'den görü-

leceği üzere doğrusal kodlayıcılardaki kuvantalama hatası, seçilen kod ile bir bağıntısı olmaksızın $\pm 1/2$ basamak içerisinde oynamaktadır, n pencereye sahip bir kodlayıcıda, bu hatanın giriş işaretine oranı,

$$\text{hata oranı } h_p = \frac{\pm 1/2}{p} \quad p=1,2,\dots,m$$



Şekil 3. Kuvantalama hatasının ses işaretine yansıyan oranı.



Şekil 4. Analog sıkıştırma haberleşme sistemi vericisi.

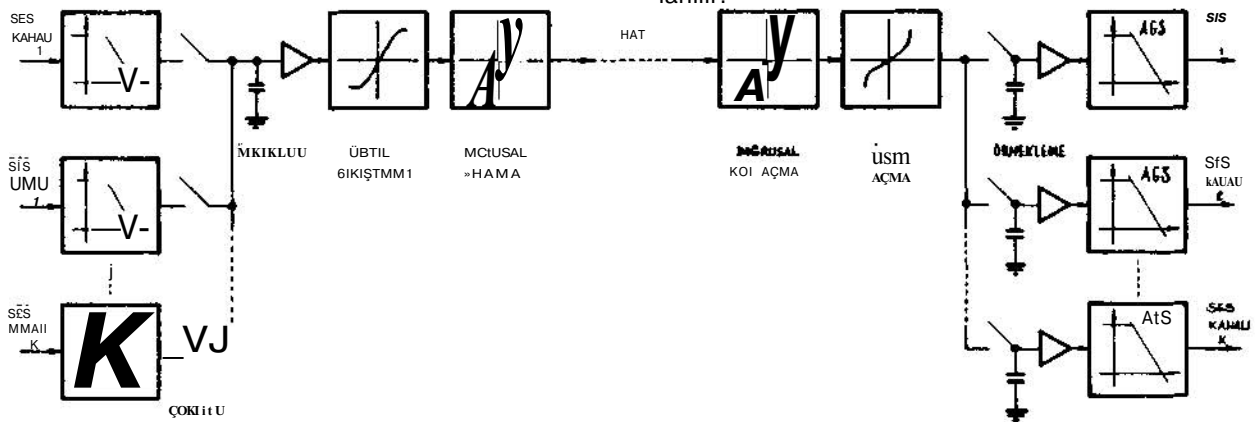
olacaktır. Örneğin 4 bitlik bir kodlayıcıda $n=4$, $m=2^n=16$ olduğundan, $b_1=\pm 1/2$; $b_2=\pm 1/4$... $b_{16}=\pm 1/32$ olacaktır (Bkz. Şekil-3).

Görülüyor ki, giriş genliğinin çok küçük olması halinde hata oranı, birden bire büyümekte, buna karışıklık giriş genliği yükseldikçe hata da azalmaktadır. Ses işaretlerinin ortalama gücü ile tepe gücü arasındaki büyük farklılık, bir konuşmacının her an aynı güçte konuşmaması, ya da değişik konuşmacıların kullandığı telefonlardan kodlayıcıya ulaşana kadar kullandıkları hatlardaki zayıflamanın aynı olmaması, ya da önceden bilinemesi nedenleriyle, doğrusal bir kodlama kullanıldığında, ya düşük seviyelere inilince çok kaba bir kodlama ile yetinilmesi gerekmekte, ya da gelebilecek ses işareti genliklerinin hepsinde belli bir orandan daha düşük hata sağlayabilecek kadar çok sayıda bir kod belirlenip bunların pek azının kullanılması gerekmektedir. Ayrıca, bu amaçla kod sayısı artırılınca, her örnek için daha uzun bir sayı dizisinin alıcıya gönderilmesinin gerekeceği ve iletim hattının gereksiz yere yükleneyeceği de göz önünde tutulmalıdır. Doğrusal bir kodlayıcıda sürekli olarak en iyi hata oranı ile kodlama yapılmak isteniyorsa, giriş işaretinin tepe değerini kodlayıcının genlik sınırına eşit tutmak gereklidir. Bunu sağlamak için haberleşme sistemlerinde genellikle bir sıkıştırma (companding) yapılmaktadır.

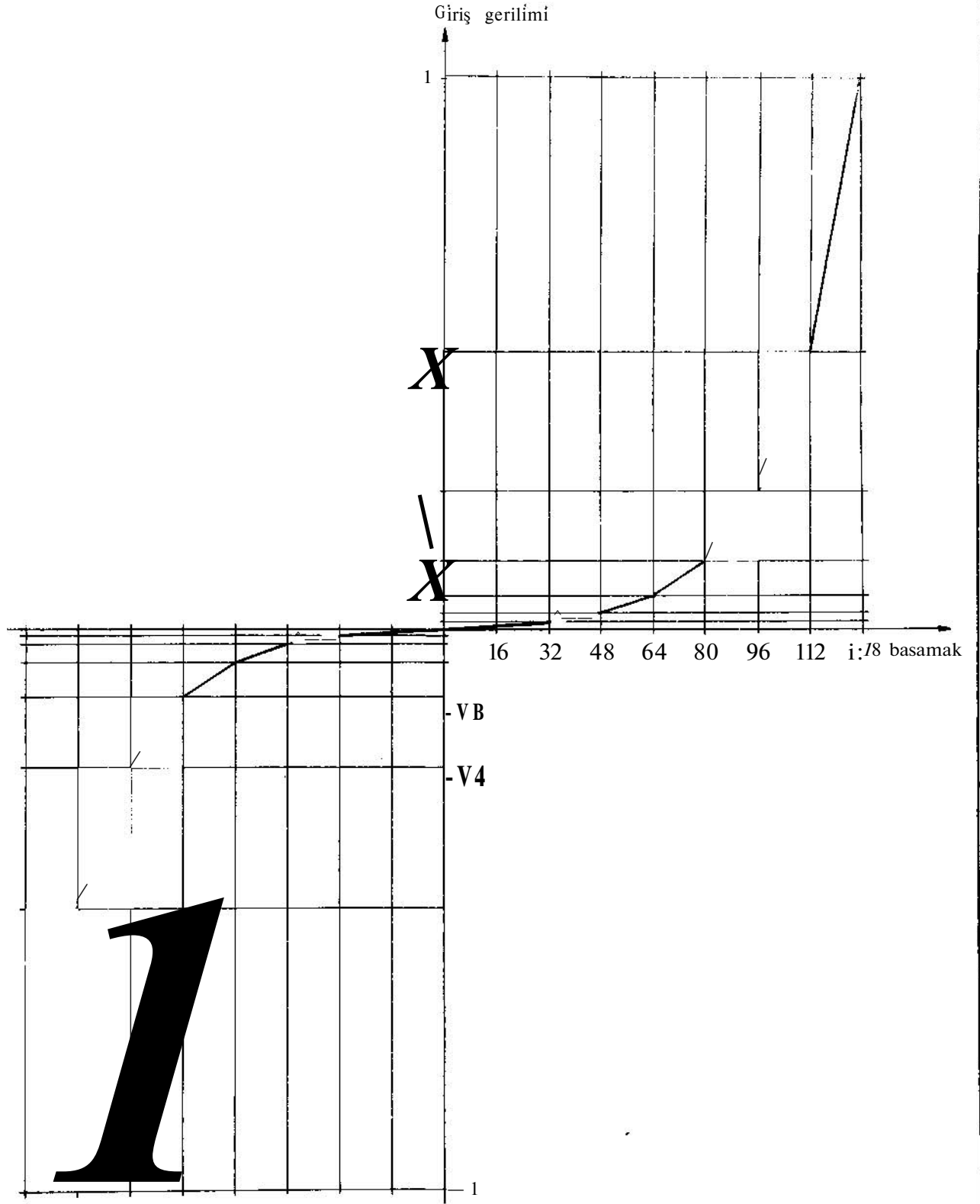
Bazı sistemlerde sıkıştırma analog ses işareti üzerinde yapılır (Bkz. Şekil-4). Otomatik kazanç ayarı (AGC) kontrolü ile seviyesi yaklaşık olarak kodlayıcının genlik sınırına yakın tutulan ses işareti, kodlayıcının mevcut pencerelerinin çoğunun kullanılmasına yol açarak, belli bir pencere sayısı için en iyi ses iletim kalitesinin elde edilmesini sağlar.

Ancak bir haberleşme sisteminde birden fazla kanal varsa, ve bu işaretler çoklanıp tek bir kodlayıcıda kodlanıyorsa, bu sıkıştırmanın her kanal için ayrı ayrı yapılacağı yerde, kodlayıcının girişinde ya da içinde yapılmasının getireceği devre sadeliği küçümsenemez. Fakat, kodlayıcıya verilen işaret, bu durumda tek bir ses işareti olmadığından, otomatik kazanç kontrolü kullanılması, bir kanalın kazancının ötekilerin genliklerince kontrol edilmesi sonucunu doğuracağından olanaksızdır. Dolayısıyla, birden fazla kanallı sistemlerde, analog sıkıştırma genellikle giriş çıkış karakteristiği üstel (logaritmik) olan bir devrenin doğrusal kodlayıcıdan hemen önce yer almasıyla sağlanır (Bkz. Şekil—5).

Bu tür üstel sıkıştırma ve açma devrelerinde genellikle ya logaritmik genlik-akım eğrileri olan diyotlardan, ya da birkaç diyot ile birbirinden ayrılmış değişik ağırlıklı zayıflatıcıların, örneklenmiş işaret (PAM)ın genliğine bağlı olarak devreye giriş çıkmasından yararlanılır.



Şekil 5. Üstel sıkıştırma hatlı sistem.

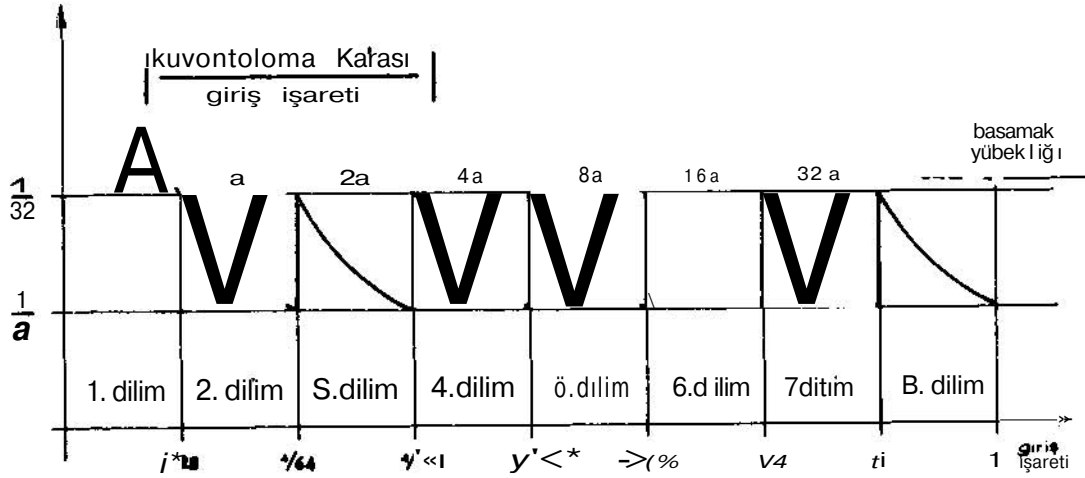


Şekil 6. A -yasası eğrisine göre giriş gerilimi - basamak bağıntısı.

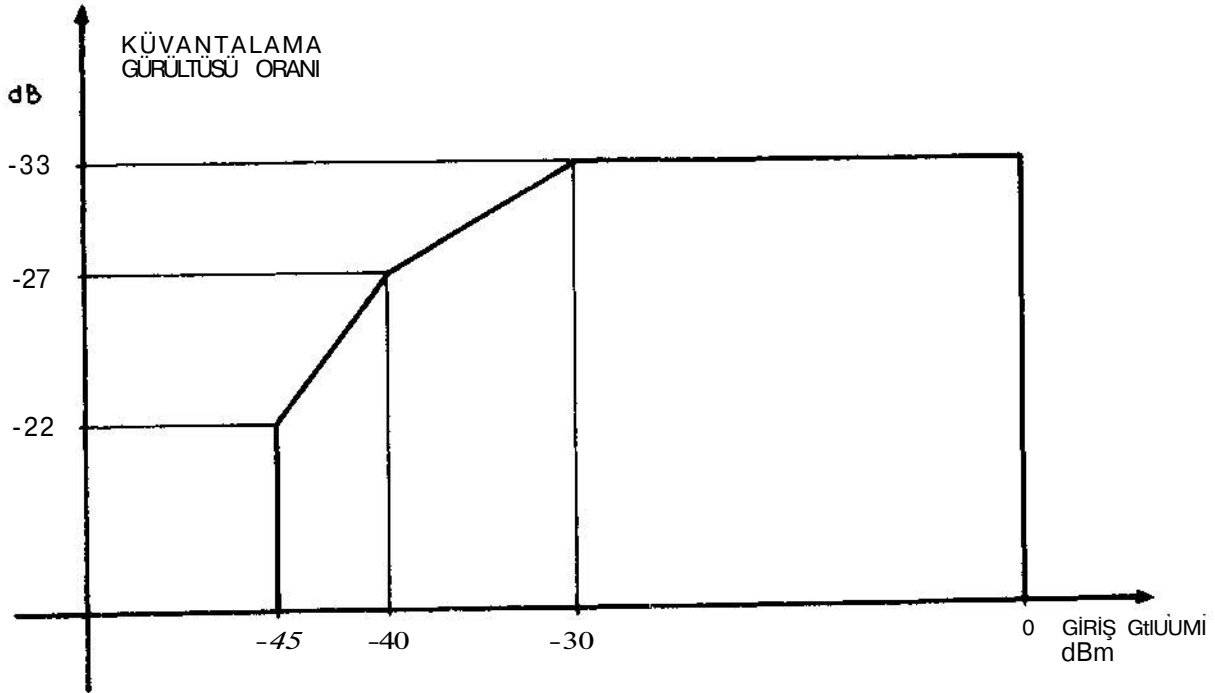
Ancak, diyod karakteristikleri ile elde edilen sıkıştırma ve açma eğrileri birbirine tam uymadıklarından, çok hassas kodlayıcılarda kullanışlı olmazlar. Bu durumda çoğunlukla doğrusal kodlama yapılarak kod elde edilir, daha sonra bu sayısal kod bir değiştiriciye verilerek, belli bir kuvantalama hata yüzdesinin üzerine çıkmayacak biçimde "ayıklanır" ve iletim hattına verilir. Bu düşüncelerden kaynaklanan ve CCITT tarafından sayısal ses bilgisi iletimi için tavsiye edilen başlıca iki sıkıştırma eğrisi vardır. A- yasası (A-law) ve μ - yasası (μ -law). Kuzey Amerika haricinde dünyanın hemen hemen her yerinde A-yasasına dayanan sıkıştırma eğrileri kullanılmakta olduğundan bu yazıda, bu eğri incelenecektir.

A-yasası eğrisi (-) ve (+) yönlü işaretler için eş özelliklere sahiptir (simetrik'tir). Bkz. Şekil—6. Giriş işaretinin en yüksek değerini 1 alırsak, 1 ile 1/2 arası en üst dilimi (segment), 1/2 ile 1/4 arası bir sonraki dilimi, ve giderek, 1/128 ile 0 arası da, en alt dilimi meydana getirirler. Her dilimde eşit aralıklı 16'şar basamak bulunur. Ancak basamak aralığı en alt dilimde a ise, bir üsttekinde gene a, üçüncüde 2a, dördüncüde 4a, beşincide 8a, giderek en üst dilimde 64a olarak değişir.

Burada amaç, giriş genişliğinin herhangi bir değeri için belli sınırlar içinde kalan bir kuvantalama hatası elde etmektir. Şöyle ki, her dilimde en yüksek hata, dilimin en altında, en düşük hata da dilimin en üstünde yer alır.



Şekil 7. A-yasasında kuvantalama hata oranının ses işaret genliğine bağıntısı



Şekil 8. A-yasası için kuvantalama gürültüsü oranı sınırları. CCITT G—712

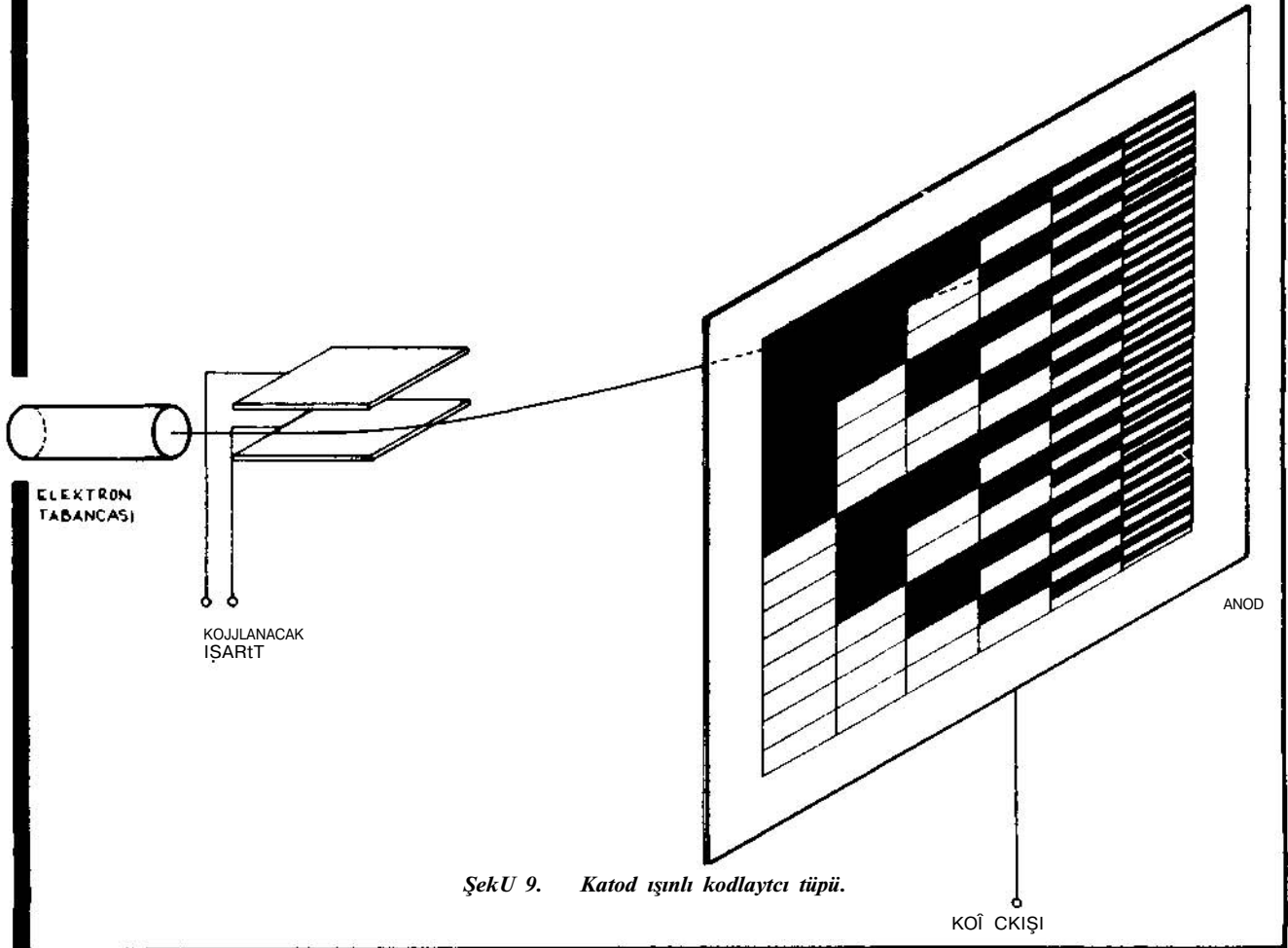
Örneğin en üst dilimde en düşük hata $\pm 32a$, en büyük hata $\pm \frac{2a}{1/2}$, bir alt dilimde en düşük hata $\frac{16a}{1/2}$, en büyük hata $\pm \frac{16}{1/2}$ olur. (Bkz. Şekil-7) A yasasında en küçük basamak aralığı $a = \frac{1}{2048}$ olduğuna göre, en düşük hata giriş işaretinin $\pm \frac{1}{64}$ 'ü kadar, en büyük hata da (en alt dilim dışında) giriş işaretinin $\pm \frac{1}{32}$ 'si kadar olacaktır. Bu teorik sınırlar göz önünde bulundurularak, CCITT tarafından öngörülen kuvantalama hatası eğrisi, giriş işaretinin 0 ile -30 dBm'lik kısmı için -33 dB'yle sınırlanmakta, bu sınırlama -30 dBm'den daha düşük değerlerde giderek -40 dBm'de -27 dB'ye indirilmekte ve -45 dBm'den daha düşük değerlerde de sınırlanmaktadır (Bkz. Şekil-8).

III. A-YASASI KODLAYICILARI

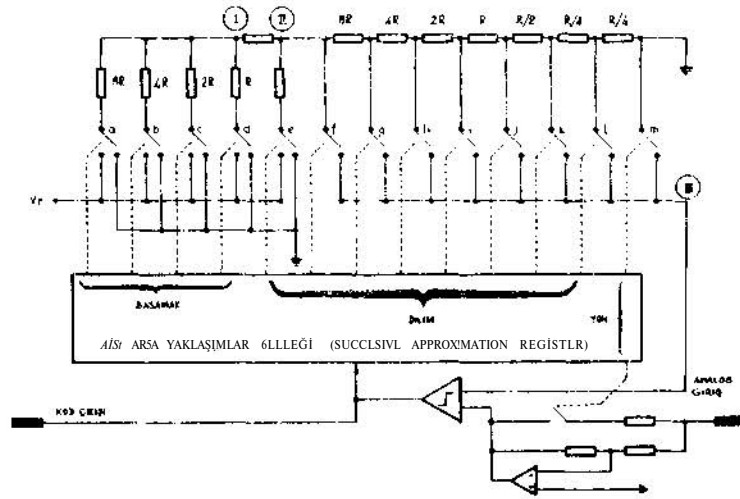
A. KATOD IŞINLI KODLAYICI, tarihteki ilk kodlayıcı örneklerindedir. Katod ışınli osiloskop tübünün çalışma prensibinden esinlenerek yapılmıştır. Bu tüpün elektron tabancasından çıkan odaklanmış bir elektron demeti

ti kodlanmak istenen işaretin yükselmiş olduğu yatay iki plaka arasından geçirilerek aynen osiloskop tübündeki gibi dikey bir elektostatik sapırmayla yönlendirilir, ve bu tüpte, osiloskop tübündeki ışılan ekrann yerini almış olan maskelenmiş elektroda (anod) çarpar (Bkz. Şekil-9). Böylelikle giriş genliğine orantılı olarak dikey sapma verilen elektron demetine bir de yatay sapma verilir ve maskelenmiş anod üzerindeki motifin taranması sağlanarak maskelenmemiş yerlerde anod uyarı I ip kod çıkışı elde edilmiş olur.

Katod ışınli kodlayıcının en önemli özelliklerinden birisi de anod üzerindeki maske motifinin değiştirilerek, doğrusal, üstel, ya da her ikisinin karışımı olan A-yasası, V-yasası gibi ağırlıklı, ya da çift-bitleri-evrilmiş (even-bit-inverted) kod gibi özel sayı dizilerini elde etmenin mümkün olmasıdır. Tüpün kullanımını sınırlandıran nedenler arasında, yatay tarama sırasında dikey yüksekliğin etkilenmesi, ya da odaklama bozulması dolayısıyla elektron demetinin dağılması sonucunda yanlış kod elde edilmesi olasılığı, maskenin çok hassas olarak hazırlanmış olması gereği (dişey yönde 4192 çizgi çizilmesi gerekir) verilebilir.



Şekil 9. Katod ışınli kodlayıcı tüpü.

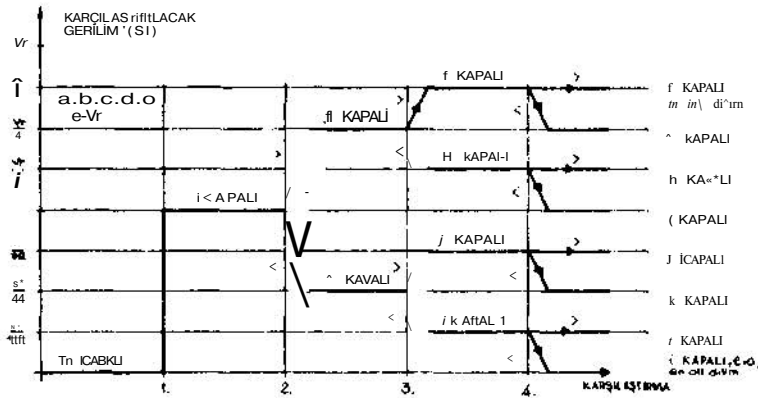


Şekil 10. Gerilim karşılaştırması yönlemlı kodlayıcı.

B. GERİLİM KARŞILAŞTIRMASI YÖNTEMİYLE YAPILAN KODLAMA da üç bölümden oluşan bir D/A dönüştürücü kullanılmaktadır (Bkz. Seki I-10). (I) ile gösterilen düğümde, a, b, c, d anahtarlarının açılıp kapanmasıyla sıfır ile referans gerilimi arasında, eşit aralıklarla yer alan 16 gerilim seviyesi elde edilir. Bunlar, A-yasası dilimleri içerisindeki 16'şar basamağı oluştururlar, (e) anahtarının açılıp kapanması (I)'deki bu 16 seviyenin ya sıfır ile $V_r/2$ ya da $V_r/2$ ile V_r arasında yansıyarak (II) de elde edilmesini sağlar. Bunlardan birinci konum en alt dilimi, ikinci konum ise öteki yedi dilimi oluştururken kullanılır. II'de oluşan bu dilimlerden V_r ile $V_r/2$ arasında olan en üst dilimdir. Dolayısıyla, D/A dönüşümünde bu dilim elde edilmek istendiğin-

de f anahtarı kapatılarak (III)'e verilir. Öteki dilimler için de, g den 1 ye kadar olan anahtarlardan biri kapatılarak, (II)'deki işaretin gerektiği oranda bölünmüş o la m (III)'e verilir. Bütün bu anahtarlara kumanda eden yaklaşım mantığının (*) ana hatları ise aşağıdaki gibidir

Kodmanın başlangıcında m anahtarı kapatılarak giriş işareti toprak ile karşılaştırılır ve yönü belirlenir, ikinci olarak e anahtarı V_r 'ye a, b, c, d anahtarları toprak çekilerek (II)'de $V_r/2$ olması sağlanır, i anahtarı kapalı olarak giriş işareti $V_r/16$ ile karşılaştırılır. Giriş işaretini değerine bağlı olarak, bundan sonra i anahtarı açılabilir ya g ya da k anahtarı kapanır. Yeniden giriş işareti ile bir karşılaştırma yapılır, bu üçüncü karşılaştırmannın so-



Şekil 11. A-yasası dilimi seçilmesi.

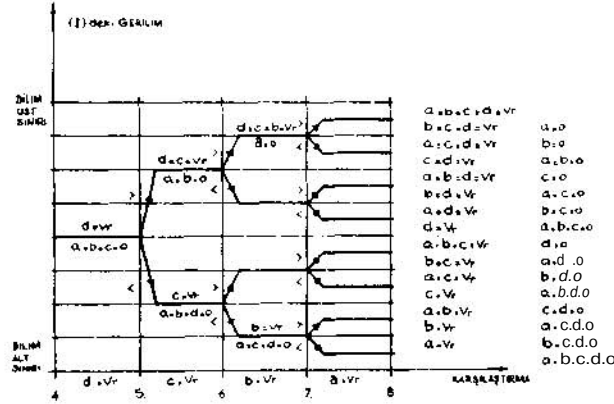
nucuna göre f, h, j, k anahtarlarından biri kapatılır. Meydana gelen gerilimin giriş işareti ile yapılan dördüncü karşılaştırma sonucu A-yasası dilimlerinden biri seçilmiş olur, ve f den 1 ye kadar olan anahtarlardan biri kapalı kalır (Bkz. Şekil-11). Bazı kodlayıcılarda, karşılaştırıcıya verilen işaretlerin düşük seviyelerde hatalı karşılaştırmalara neden olmasını önlemek ve bu noktadaki işaret-gürültü oranını daha yüksek tutabilmek

amacıyla, ikinci karşılaştırmada giriş işareti D/A dönüştürücü çıkışından az bulunursa, 16 ile çarpılır (Bkz. Şekil-23). Bu durumda j, k, l anahtarları kullanılmaz; bunların yerine sırasıyla f, g, h anahtarları kullanılır. En alt dilimi oluşturmak için ise, h anahtarı kapalı ve e = 0 olur.

(*) Bu yazıda "yaklaşım" sözcüğü İngilizcedeki "approximation" karşılığı kullanılmıştır.

Kodlanacak işaretin hangi dilimde bulunduğu böylece belirlendikten sonra, dilim içerisindeki doğrusal kodlamaya geçilerek a, b, c, d anahtarları gene yaklaşım mantığı kurallarına göre Şekil-12'de verilen sırayla V_i ya da toprağa bağlanır.

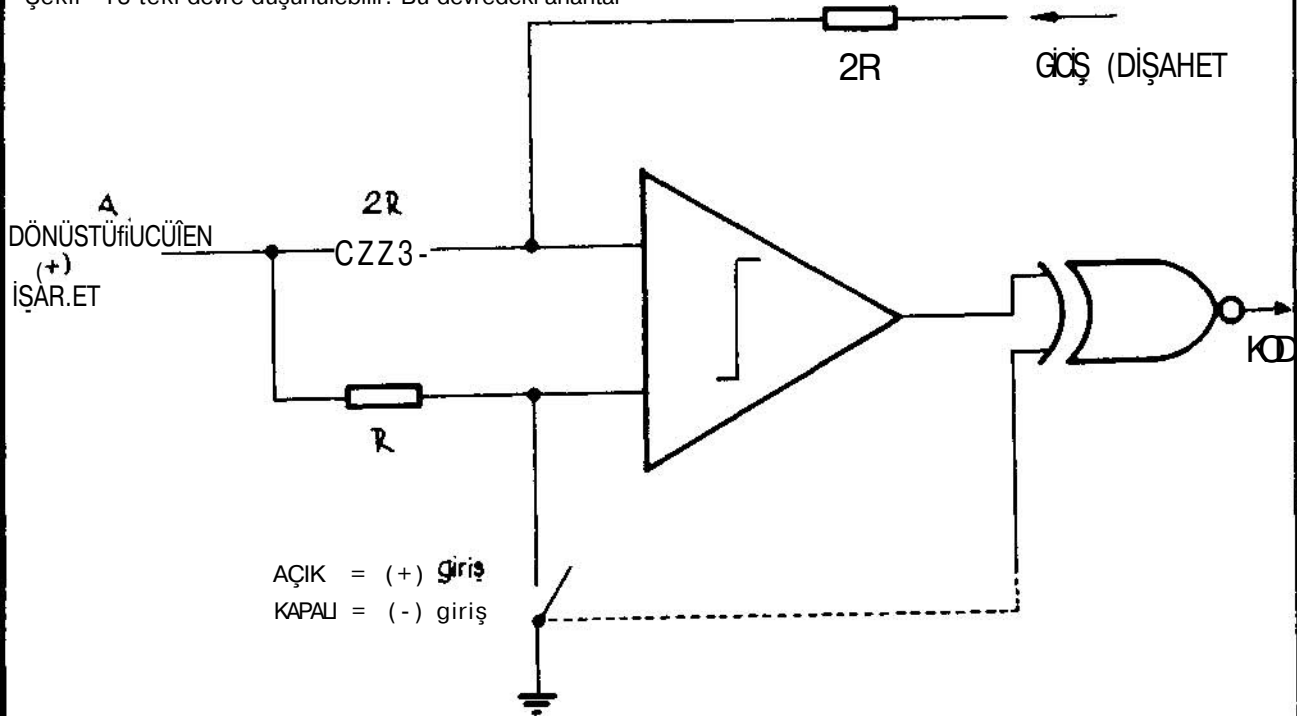
Yön, dilim ve basamak seçimi sırasmda yapılan 8 karşılaştırmada karşılaştırmacı çıkışındaki bilgi aynı zamanda kod olarak dışarı verilerek, kod ta ma işlemi tamamlanmış olur.



Şekil 12. A-yasası dilimi içinde doğrusal kodlama.

Bu tür kodlayıcılarda, prensip aynı kalmak koşuluyla, çeşitli devreler kullanılabilir. Örneğin, (I)'deki işareti elde etmek için ağırlıklı dirençlerle akım toplamı alan yıldız devre yerine, R—2R dirençleriyle kurulmuş merdiven türü devre (*ladder network*) kullanılabilir. Gene (II)'deki gerilimi bölen direnç dizisi yerine bir merdiven devresi kullanmak ve (II)'deki gerilimi bu devreye referans gerilimi olarak vermek mümkündür. Giriş işaretinin yönüne göre ya doğrudan ya da evrilerek (*inverting*) karşılaştırılmasına bir ikinci seçenek olarak Şekil—13 teki devre düşünülebilir. Bu devredeki anahtar

kapalı iken, (—) yönlü giriş işaretiyle (+) yönlü D/A dönüştürücü çıkışının toplamı toprakla karşılaştırılarak iki işaretin eş değerli fakat zıt yönlü olması koşulu sağlanmaya çalışılır. Anahtar açık iken, D/A dönüştürücü çıkışı, girişle D/A dönüştürücünün ortalamasıyla karşılaştırılarak, aradaki farkın sıfır olması koşulu sağlanmaya çalışılır. Bu sırada koda meydana gelen evrilme (*inversion*), kumandasını anahtarı süren işarettten alan bir "dışaran yada" (*exclusive-or*) geçidiyle düzeltilir.

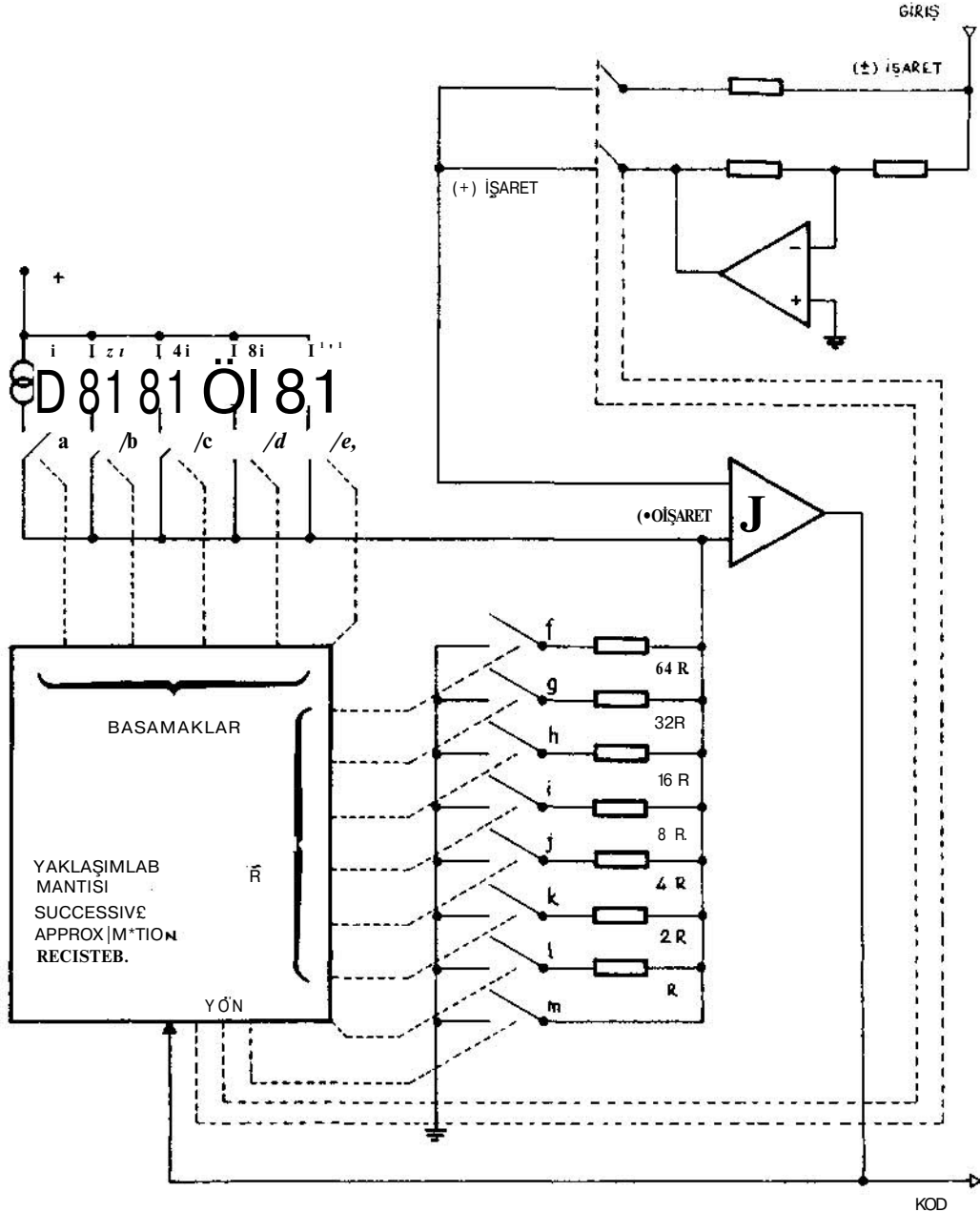


Şekil 13. Giriş işaretinin (+) ve (—) yönlerine göre karşılaştırma-

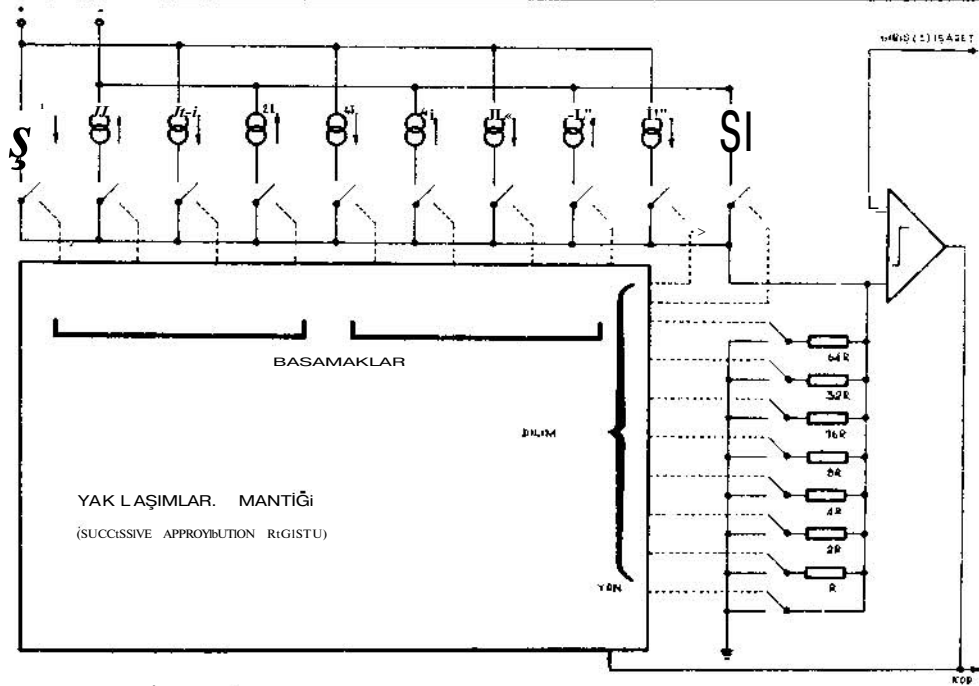
C. AKIM TOPLAMLARI YÖNTEMLİ KODLAYICI
 da, A--yasası dilimi içerisinde kalan doğrusal kodlama için dört akım kaynağı, en alt dilimi meydana getirmek üzere beşinci bir akım kaynağı, öteki dilimleri meydana getirmek üzere de anahtarlanan sonlandırma dirençleri bulunur. Devre bir önceki bölümde anlatılan devrenin yaklaşık olarak "dual"idir (Bkz. Şekil—14). Yaklaşım mantığı ve çalışma prensibi, bir önceki bölümde anlatı-

lan kodlayıcının aynıdır. Ancak giriş işareti ile karşılaştırılacak olan dönüştürücü çıkışı, a'dan e'ye kadar olan anahtarların sağladığı akımların toplamının, f den, m'ye kadar olan anahtarlardan birinin bağlı olduğu direnç üzerinden toprağa akıtılmasıyla oluşur.

Bu yöntemde, giriş işaretinin evrilmesi için Şekil—13'te gösterilen devreyi kullanmak mümkün değildir. Ancak,



Şekil 14. Akım toplamları yöntemi kodlayıcı.

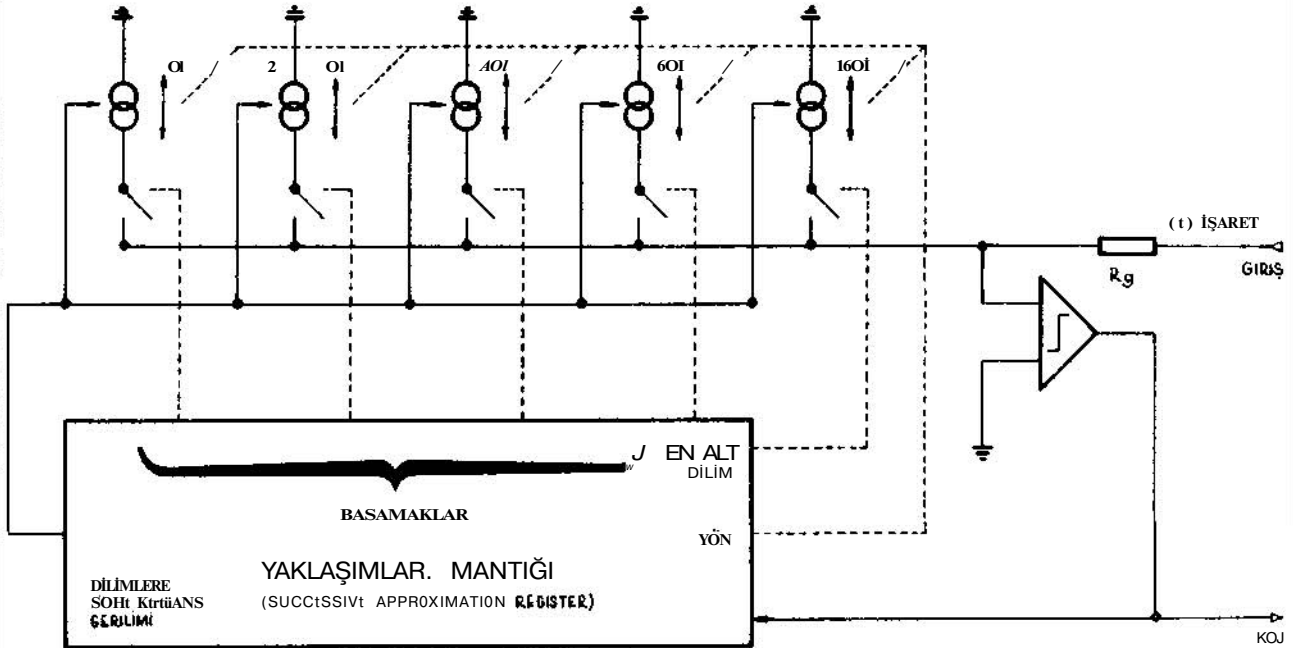


Şekil 5. Çift yönlü akım toplamları yöntemiyle kodlama.

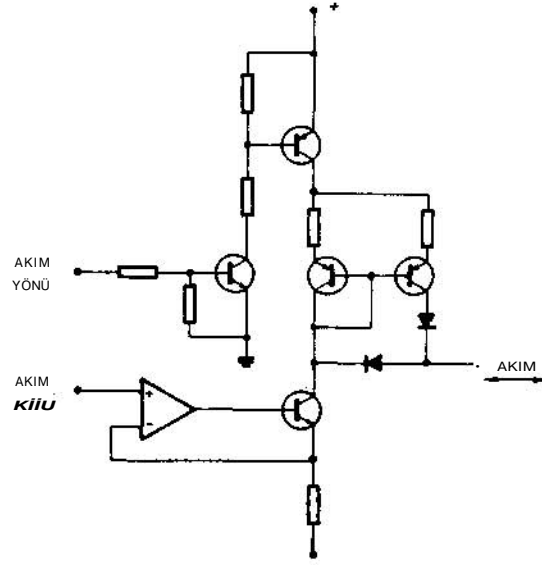
akım kaynakları çift yönlü yapıldığı takdirde, girişte herhangi bir evirme yapmaya gerek kalmaz (Bkz. Şekil-15).

Akım toplamları yöntemiyle çalışan başka bir kodlayıcıda ise, sabit akım kaynakları yerine, bir referans gerilimine bağlı akım üreten kaynaklar kullanılır. (Bkz.

Şekil-16,17). Yaklaşımlar mantığı tarafından seçilen dilime orantılı olarak üretilen bir referans gerilimi bütün akım kaynaklarının kat sayısını değiştirir. Böylece en alt dilim için * mA üreten bir kaynak, en üst dilim için 64x mA üretir. Basamak seçiminde yöntem gene diğer kodlayıcılarda olduğu gibidir.



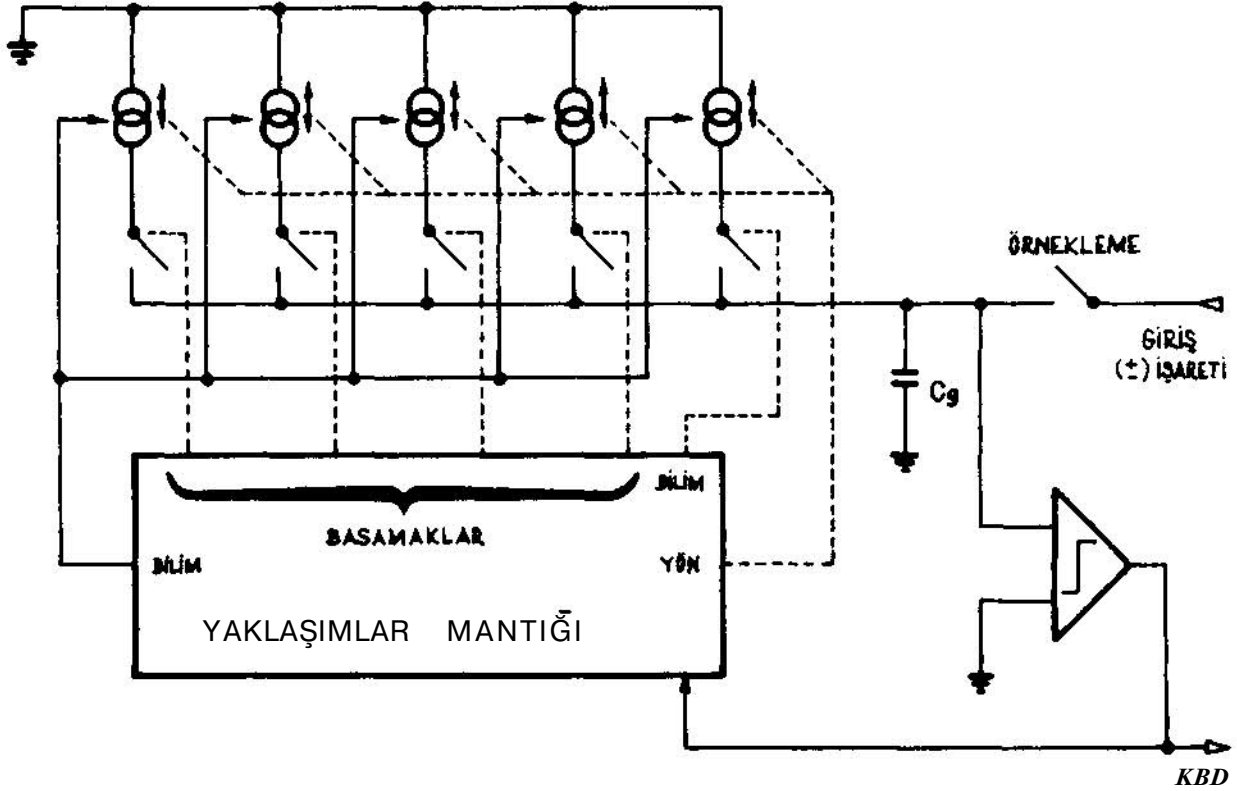
Şekil 16. Çift yönlü, değişken akım kaynakları yöntemiyle kodlama.



Şekil 17. Çift yönlü değişken akımlı kaynak.

Bu tür kodlayıcıların bir benzeri de kapasitif kodlayıcıdır. Yöntem olarak Şekil-16'daki kodlayıcının hemen hemen aynı olmakla beraber, örnekleme işlemini de kapsadığı için bir çok tasarımda kullanılmaktadır (Bkz. Şekil-18). Bir önceki örnekte, D/A dönüştürücü-

nün aktığı akımın, giriş işaretinin giriş direnci üzerinden aktığı akıma eş değerde, fakat zıt yönde olmasını sağlamaya çalışan yaklaşım mantığı, bu kodlayıcıda, giriş işaretinde alınan ve giriş kapasitesi üzerinde saklanan örnekten akım çekerek ya da akım basarak

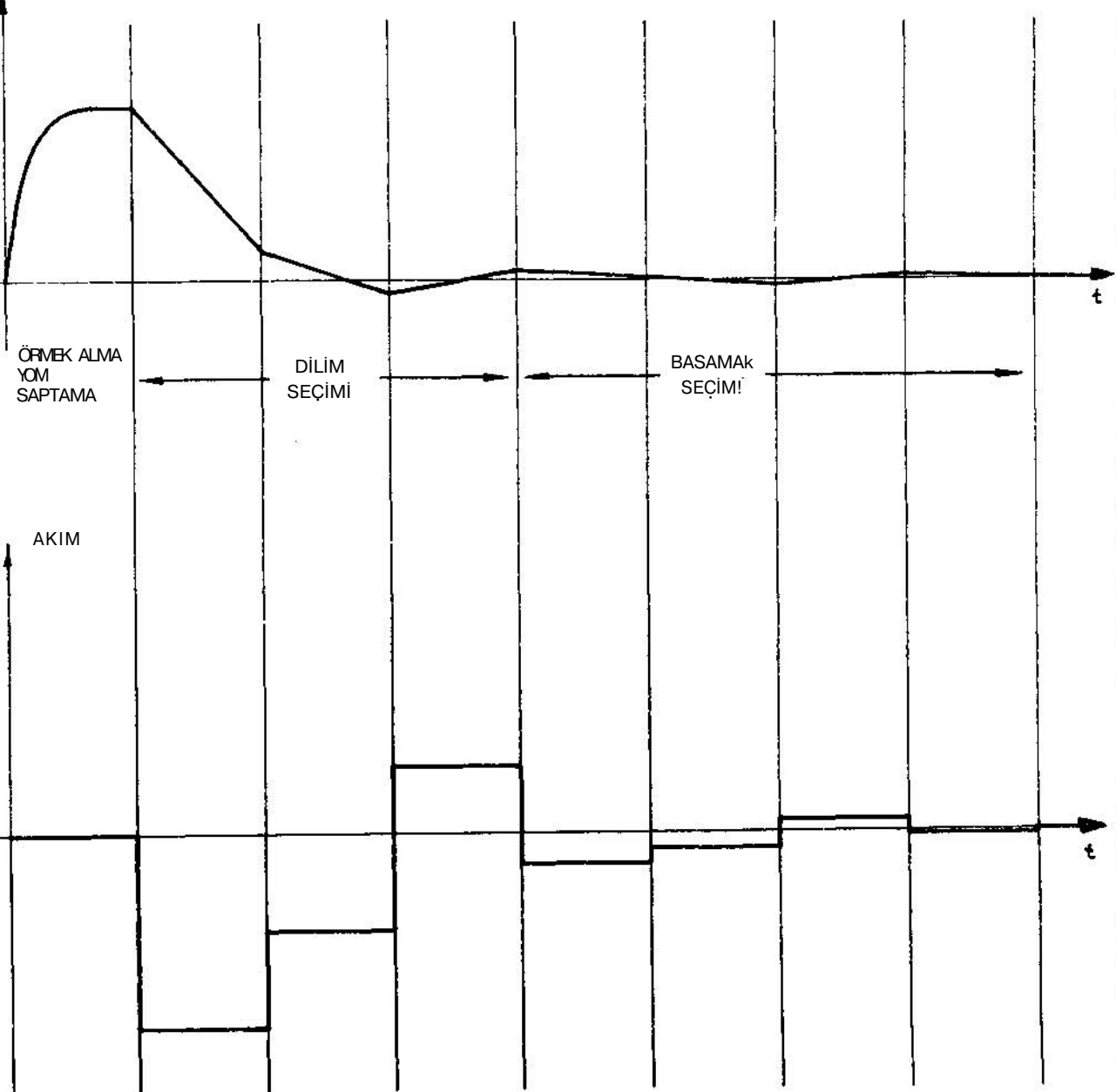


Şekil 18. Kapasitif kodlama.

bu kapasite üzerindeki gerilimi sifıra yaklaştırmaya çalışır. Bundan önceki örneklerde, akım kaynaklarının yönü, giriş işaretinin yönünün belirlenmesi ile kesinlik kazanıp kodlama süresince aynı kalmaktayken, bu kodlayıcıda, bir kodlama süresince bir akım kaynağı bir yöne, bir başkası da ters yöne akım akıtabilir. Örneğin giriş kapasitesi üzerine giriş işaretinden V_0 gibi bir örnek alınmış olsun, ilk önce hiçbir akım kaynağı bağlı olmaksızın bu örneğin yönü belirlenir. İkinci olarak, en yüksek ağırlıklı akım kaynağı, ilk karşıla-

tırmada belirlenen yönün tersine, belli bir süreyle çalıştırılır. Bu süre sonunda eğer giriş kapasitesi hala aynı yönde yük taşıyorsa, bir düşük değerli akım kaynağı gene ilk karşılaştırmada belirlenen yönün tersine ve gene aynı süreyle çalıştırılır. Bu işleme, giriş kapasitesinin üzerindeki yükün yönü değişene kadar devam edilir. Herhangi bir yaklaşım sonunda bu yükün yönü değişmişse, bir sonraki yaklaşımda, akımın da yönü değiştirilerek, bir evvelki yaklaşımdaki akımın tersine akım akıtılır (Bkz. Şekil—19).

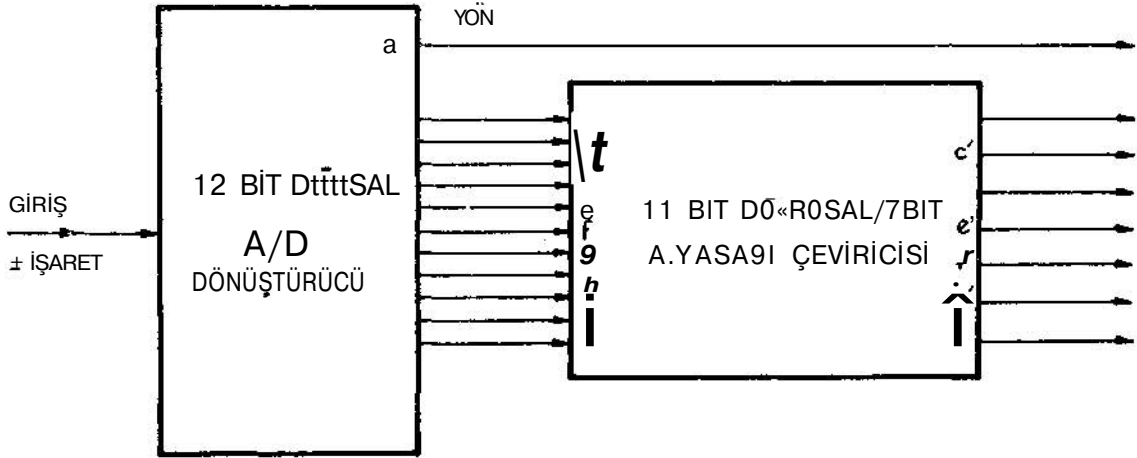
OR.NLK GERİLİMİ



Şekil 19. Kapasitif kodlayıcı dalga şekilleri.

Bu yöntemle kodlanmış bir örnek, eğer kodlayıcı gerilim sınırları içerisinde yer alıyorsa, kodlama sonunda sifra indirilmiş olmakta, kanallar arası karışmayı önlemek üzere giriş kapasitesinin yeni bir örnek alınmadan

önce sıfırlanması işlemine gerek kalmamaktadır. Ayrıca, akım toplamları yöntemiyle çalışan ötekikodlayıcılarda en büyük akımın en küçük akıma oranı 64 misli olması gerekirken, bu yöntemde, akım süre çarpımının 64 misli



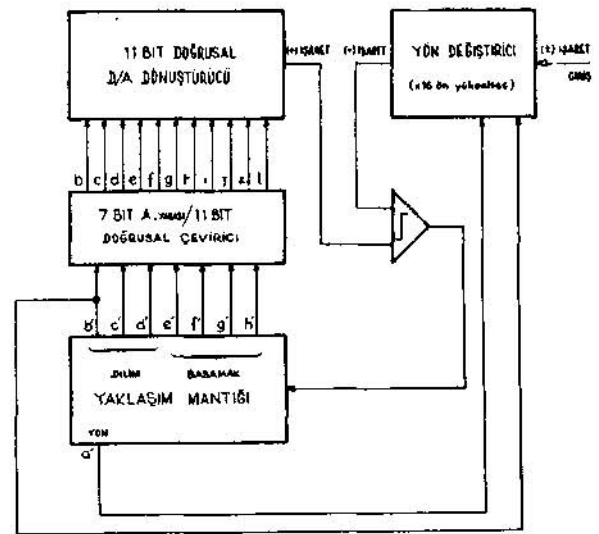
Şekil 20. 12 bit süratinde çalışan sayısal sıkıştırılmalı kodlayıcı

11 BIT GİRİŞ İŞARETİ											SILIM	7 BIT ÇIKIŞ İŞARETİ						
b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l		b'	d'	e'	f'	g'	h'	
1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	EH ÜST	1	1	1	c	d	e	f
0	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x		1	1	0	d	e	f	g
0	0	1	x	x	x	x	x	x	x	x		1	0	1	e	f	g	h
0	0	0	1	x	x	x	x	x	x	x		1	0	0	f	g	h	i
0	0	0	0	1	x	x	x	x	x	x		0	1	1	g	h	i	j
0	0	0	0	0	1	x	x	x	x	x		0	1	0	h	i	j	k
0	0	0	0	0	0	1	x	x	x	x	>> H	0	0	1	i	i	k	1
0	0	0	0	0	0	0	1	x	x	x	EN ALT	0	0	0	i	j	k	1

Tablo 2. 11 bit - doğrusal koddan 7 bit A - yasası koda çevirme tablosu

olması yeterli olduğundan, düşük akım—süre çarpımları için akım darbe süresi kısaltılarak çok farklı değerdeki akımları toplamadan ileri gelen hata olasılığı da azaltılabilir.

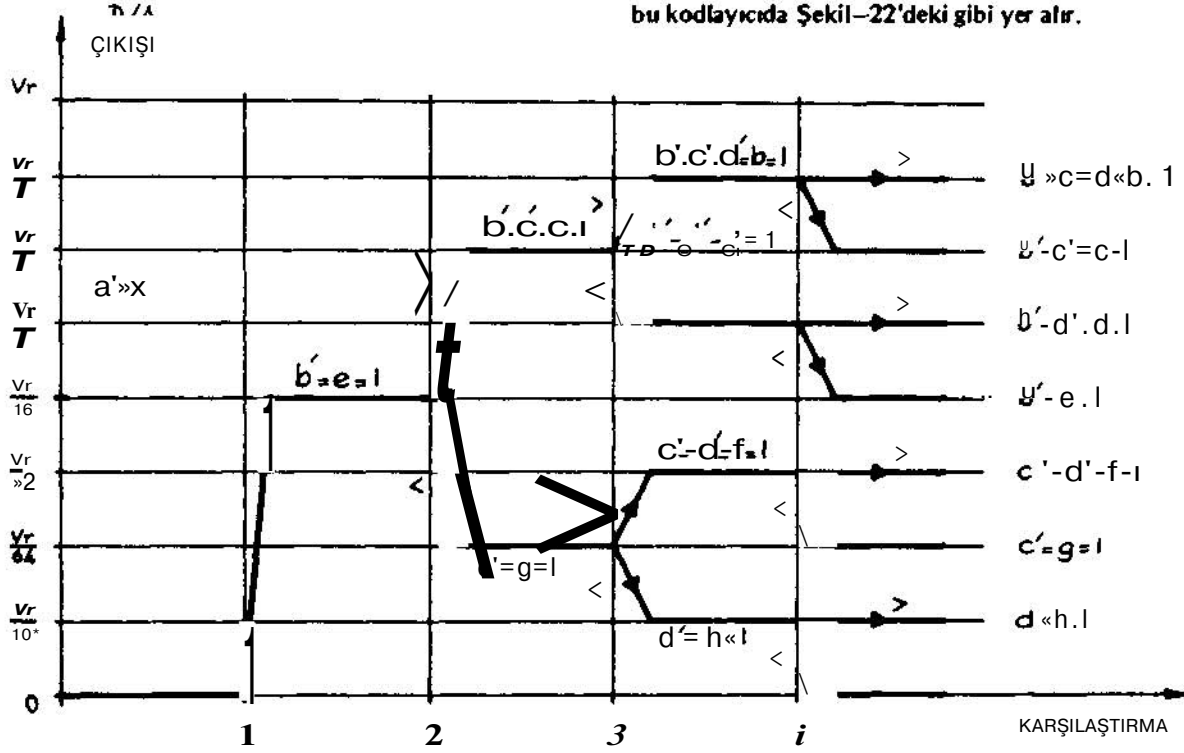
D.SAYISAL SIKIŞTIRMAM KODLAYICILAR da kod elde edilirken kullanılan D/A dönüştürücü doğrusal olarak çalışır; ancak, elde edilen kod, sayısal işlemlerle (*digital companding*) A—yasası eğrisine uydurulur, bu tür kodlayıcıların en yaygın olanı 12 bitlik bir doğrusal kodlayıcı kullanarak giriş işaretini sayısala dönüştürür. (Bkz. Şekil-20). Ardından, salt sayısal işlemlerle, yön bilgisi dışında kalan 11—bitlik bilgi, 7 bitlik A—yasası eğrisine uyacak ağırlıklarla çarpılır. Tablo-2'de bu çeviricinin mantık tablosu verilmiştir. 7 bitlik A—yasasına uygun çıkış elde etmek için tabloda sol yandaki blokta gösterildiği gibi b,c,d,e,f,g,h, girişlerini gözetleyerek dilim belirleyen bir devre ile, belirlenen dilime göre sağ yandaki blokta gösterilen girişi çıkışa bağlayan bir yol verme devresi yeterlidir.



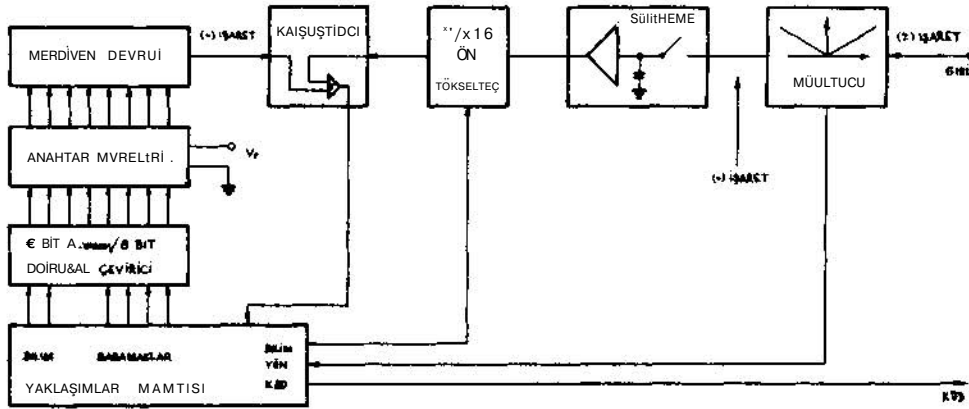
Şekil 21. 7 bitlik sürede 11 bit doğrusal D/A dönüştürücü kullanılarak kodlama.

Burada dikkat edilmesi gereken bir nokta, bu kod laycinin bir kod lama islemini 12 adımda gerçekleştirebildiğidir. PCM sistemlerinde bir kanala ayrılan kod lama süresi belirli olduğundan, böyle bir kodlayıcı kullanıldığında, ya kanal süresi içerisindeki adım sayısı 8'den 12 ye çıkartılarak kodlayıcının daha hızlı çalıştırılması

ya da iki kodlayıcı kullanılıp paralel kod lama yapılması gerekir. Bu sakıncaları ortadan kaldıran çözümlerden biri de 11 bit doğrusal/7bitA-yasası çeviricisini D/A dönüştürücüsün başına, kod lama zincirinin içine almaktır (Bkz.Şekil-21). Doğrudan A-yasa sı eğrisine göre yapılan kodlamadaki dilim seçimi (Bkz. Şekil-11), bu kodlayıcıda Şekil-22'deki gibi yer alır.



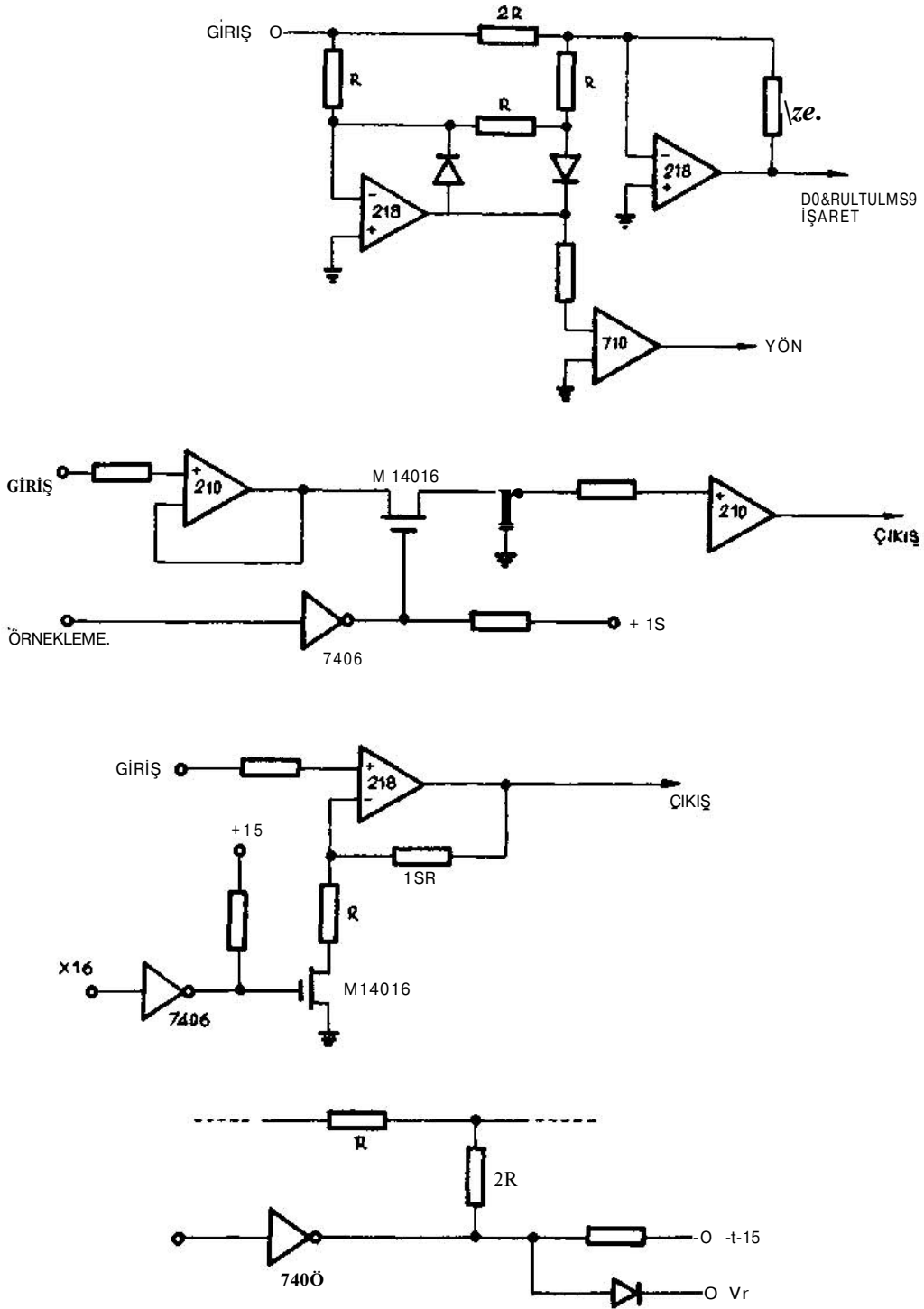
Şekil 22. Şekil 21'deki kodlayıcı için dilim seçme mantığı.



Şekil 23. Marmara Araştırma Emittüsü'nde geliştirilen PCM sisteminde kullanılan kodlayıcı.

ilk karşılaştırmadan sonra $b' = 1$ değerini alarak $e = 1$ olmasına ve D/A çıkışında $V_r/16$ geriliminin elde edilmesine neden olur. 2. Karşılaştırmada giriş $V_r/16$ 'dan büyük ise, $b' = c' = 1$ olarak $c = 1$ değerini almasını ve D/A çıkışında $V_r/4$ geriliminin elde edilmesini; küçük ise, $c' = 1$ değerini almasını $g = 1$ olmasını ve D/A çıkışında $V_r/64$ oluşmasını sağlar. 3. ve 4. karşılaştırmalarda da gene Şekil-11'deki seçim mantığının benzeri, Tabk-2'

de gösterilen çevirim çerçevesinde uygulanır. Dilim seçildikten sonra, yol verme devresi e' ile h' arasındaki yaklaşım mantığı çıkışlarını c ile l arasındaki D/A çevirici girişlerine bağlar. Örneğin, en üst dilim seçilmiş ise $e' = c$; $f = d$, $g' = e$, $h' = f$; en alt iki dilim için ise $e' = i$, $f = j$, $g' = k$, $h' = l$ olur. Eğer düşük işaret seviyelerinde karşılaştırmaya gelen işareti yükseltmek ama-



Şekil 24. Marmara Araştırma Enstitüsü'nde geliştirilen kodlayıcıda kullanılan;
a) yön doğrultusu, b) örnekleyci, c) x1/x 16 yükselteç ve devreleri
d) merdiven devresi sürücü anahtar devreleri.

ciyle giriş işaretini 16 ile çarpma devresi kullanılıyor ise, o zaman 2. karşılaştırmanın sonucuna bağlı olarak x 16 devresinin kullanılıp kullanılmayacağı belirlenir, fakat, her iki halde de, yaklaşımlar mantığı $b' = e = 1$; $b' = c' = c = 1$; $b' = c' = d' = b = 1$ ya da $b' = d' = d' = d = 1$; dilimlerini sırayla deneyerek $b' = c' = d' = b = 1$ ya da $b' = c' = c = 1$ ya da $b' = d' = d = 1$ ya da $b' = e = 1$ dilimlerinden birine karar verir.

Prensip olarak bu tür kodlayıcıların her türlü D/A dönüştürücüsüyle kullanılması mümkün olmakla beraber, Marmara Araştırma Enstitüsündü PTT için geliştirilen PCM sisteminde merdiven devresi kullanılmıştır (Bkz. Şekil—23). Kodlayıcının çalışma yöntemi şöyledir:

30 ses kanalından kodlanma sırası geleni, çoklayıcı tarafından kodlayıcı girişine bağlanır. Burada sürekli çalışan bir doğrultucuya girer ve (—) yönde gelen işaretler (+) yöne çevirilir. Bu işlemle kaybolan yön bilgisi doğrultucudan ayrı bir çıkışla yaklaşımlar mantığı devresindeki belleğe verilir. Ancak bir sinüs ya da ses işaretinin en hızlı değişen kısmının sıfır civarındaki kısmı olduğu göz önüne alınırsa, henüz örneklenmemiş olan işaretin alınan örneği ile belirlenen yönünün birbiri ile uyumlu olması için yön bilgisi, yönü doğrultulmuş işarettten örnek alma işleminin hemen bitiminde belleğe aktarılır.

Böylece alınan örnek x1 devresinden geçerek karşılaştırıcıya gelir ve $V_r/16$ ile karşılaştırılır. Karşılaştırma sonucu örneğin daha büyük olduğunu belirlemiş ise x1 durumu korunur. Örneğin $V_r/16$ 'dan küçük olması halinde ise, önyükselteç x16 kazancına getirilir. Dilim seçimi için geriye kalan iki bit, 6 bit A-yasası/8bit doğrusal çeviricide kodu çözülerek dört bit şekline dönüştürülür ve daha önce gösterildiği şekilde belirlenir (Bkz. Şekil-22). Basamakların belirlenmesi ise, doğrusal olarak gerçekleşir. Seçilen dilimin taşıdığı ağırlığa göre merdiven devresine kumanda eden anahtarlar bağlanmış olan dört bit belli bir sırayla (Bkz. Şekil—12) denenerek, karşılaştırın girişinde örnek seviyesine $\pm 1/2$ basamak içerisinde yaklaşmış olur.

Geliştirilen devrede, yön doğrultucu olarak iki μA 218, kuvvetlendirici çıkış yalıtımı (izolasyonu) için bir pA 210 ve yön belirlemesi için bir /JA 710 karşılaştırıcı, örnekleme için bir M 14016 CMOS anahtar, ve bir fiA 210 gerilim kazançsız yükselteç, x16/x1 önyükselteç için debir juA 218 yükselteç ile bir M14016SMOS anahtar ve karşılaştırıcı için de bir /iA 710 kullanılmıştır (Bkz. Şekil—24). Merdiven devresi 1K-2K % 1'lik dirençlerle gerçekleştirilmiş olmasına rağmen, gelecek yıllarda kalın film baskı imkanlarının gelişmesiyle bu yöntemle yapılacaktır. Merdiven devresini ve bu arada M 14016 CMOS anahtarları sürmekte 7406 TTL açık kollektörlü eviriciler kullanılmıştır. 6 bit A-yasası/8 bit doğru-

sal çevirici ve yaklaşımlar mantığı ve bütün bu devrelerin zamanlama işlemi için kullanılan zamanlayıcıda çeşitli TTL tümleşik devreler yer almıştır.

IV. SONUÇ

Bu yazıda, gerek tek kanal gerekse çok kanallı sayısal haberleşme sistemleri için kullanılacak kodlayıcılar incelenmiştir. Ses işareti için verilen bir hattı en az meşgul ederek ve belli bir kalitenin altına düşmeden iletim yapmak için nasıl bir kuantalama ve kodlama yapılması gerektiği; CCITT tarafından bu konuda dünya çapında nasıl bir standart konulduğu açıklamıştır. Bu standart'a uygun kodlama yapabilecek çeşitli yöntemlerle çalışan kodlayıcılarla, bütün bu bilgiler ışığında Marmara Araştırma Enstitüsünde geliştirilen PCM sisteminde kullanılan kodlayıcı incelenmiştir. Bu konuda ileride daha fazla inceleme yapmak isteyenlere bir ön bilgi verilmeye çalışılmıştır. A-yasası ya da /i-yasası sıkıştırımlı, doğrudan hat frekansında çıkış veren, örnekleyicisi içerisinde olan, kısacası CCITT'nin bütün koşullarını sağlayan, National tp 3002, Intel 2911 ya da Nitron ne 341, 342 gibi tek tümleşik devre kodlayıcı ve kod "açıcıların yavaş olmak ve dolayısıyla her kanal için bir tane kullanmak gerekmesine" rağmen $f > .10.00$ gibi düşük fiyatlarla piyasaya sürülmüş olmasına da burada dikkati çekmek yerinde olur.

Abone telefonlarının içerisinde birer kodek (kodlayıcı—kod açıcı) koyarak telefonların çıkışını doğrudan sayısal yapmak, mevcut santrallerle uyuşmayacağından, şimdilik düşünülmemektedir. Ancak, yakın gelecekte, santrallerarası (hatta giderek santral içi) bütün konuşmaların sayısal yöntemlerle yönlendirileceği düşünülürse, bu sistemlerin çalışma prensipleri ne olursa olsun, sonunda gene hepsinin telefonda ses işareti alıp gene telefona ses işareti vermek için ya bünyelerinde, ya da ayrı olarak 30—kanal PCM ya da benzeri bir cihaza bağlanması gerekeceği gözönünde tutulursa, kodlayıcı ve kod açıcı üzerinde daha uzun yıllar pek çok inceleme yapılması gereği kendiliğinden ortaya çıkmaktadır.

REFERANSLAR

- 1) Cattermole., KAV, Principles of Pulse Code Modulation.
- 2) Electronics September 14, 1978, pp. 105-114, Technologies, architectures compete for huge codec market.
- 3) CCITT orange book Volume III-2, Recommendation G.711, G.712.
- 4) Precision Monolithics Linear and Conversion I.C products catalogue 1978, Bölüm 10-11.
- 5) Analog Devices product guide 1973, pp. 66-100.

yanlış-doğru cetveli

Dergimizin 273 — 274 sayılı ve Eylül — Ekim 1979 tarihli sayısında 'Sayısal imlerin Jonksiyon Kabloları Üzerinde İletimi ve Tekrarlayıcı Tasarımı' ve Temelband Sistemlerinde Sayısal İletim' başlıklı yazılarda çok sayıda yanlışlıkları olmuştur. Bu yanlışlardan bazıları içerisinde bulunduğu ifadelerin anlamlarını değiştirmemektedir. Bu nedenle bunların doğruları yer darlığından verilmemiş, ancak önemli anlam farklaşmasına yol açabilecek olan yanlışlar, sayfalarda yer alışı sırasıyla aşağıda düzeltilmiştir.

Bu yanlışlardan ötürü makale yazarları ve tüm okuyucularımızdan özür dileriz.

Sayfa	Yanlış	Doğru
596	Sermet SÜMER	Sermet SÜER
603	e) Singelerin çapraz karışımı:	e) Singelerin çapraz karışımı (Diyafoni) :
604	$P(s) = (1/S) [1 - \exp(-S \text{ to } I2)] 2 a_n \exp(-ns T_0)$ $n \rightarrow 0$	$P(s) = (1/S) [1 - \exp(-s \text{ to } I2)] 2 a_n \exp(-ns T_0)$ $n = 0$
605	$R(s) = (G(s)/S) [1 - \exp(-S T_0/2)] 2 a_n \exp(-ns T_0)$ $n = 0$ $= L [W(t)]$	$R(s) = (G(s)/S) [1 - \exp(-s T_0/2)] 2 a_n \exp(-ns T_0)$ $n = 0$ $= L [r(t)]$
605	$N(s) = (H(s)/S) [1 - \exp(-(S T_0/2))] 2 b_n \exp(-nST_0)$ $n = 0$ $= L [r(t)]$	$N(s) = (H(s)/s) [1 - \exp(-s T_0/2)] 2 b_n \exp(-ns T_0)$ $n = 0$ $= L [n(t)]$
605	$N(s) = k(G(s)/C(s)) [1 - \exp(-(S T_0/2))]$ $n = 0$ $2 b_n \exp(-nST_0)$ $n = 0$	$N(s) = k(G(s)/C(s)) [1 - \exp(-s T_0/2)]$ $n = 0$ $2 b_n \exp(-ns T_0)$ $n = 0$
605	Durum 4	Durum 1
606	PTT tarafından kullanılan 0.63 mm'lik kablolar içinde C biçimindedir. PTT tarafından kullanılan 0.63 mm'lik kablolar içinde Q>, w, ve w, değerleri kablo uzunluğuna göre TABLO 3.1 'de verilmiştir.	PTT tarafından kullanılan 0.63 mm'lik kablolar için Q>, w, ve w ₂ değerleri kablo uzunluğuna göre TABLO 3.1 'de verilmiştir.
607	S = - [MU + RJMUI ⁰ C,]	s = - [(r(1) + R _n)/r(1)R _n C,]

Sayfa	Yanılış	Doğru
608	Z' nin herhangi bir değeri için K Z = 0 iken (kısa devre durumu) K _k Z = ∞ iken (açık devre durumu) K _a ise, N _y = N _o + N _a [(m-1)/M + 1]	Z' nin herhangi bir değeri için K Z = 0 iken (kısa devre durumu) K _k Z = ∞ iken (açık devre durumu) K _a ise, N _y = N _o + N _a [(m-1)/(m+1)]
630	Bu yazının giriş kısmında belirtildiği üzere, bu frekans bandı temel bandtır ve dolayısıyla, Şekil 3'te görüldüğü gibi, sayısal frekans spektrumu 0 Hz'den belirli bir (f) frekansına kadar yayılır.	Bu yazının giriş kısmında belirtildiği üzere, bu frekans bandı temel bandtır ve sayısal imler bu ortamdaki hiçbir taşıyıcıya bindirilmeden iletilir. Dolayısıyla, Şekil 3'te görüldüğü gibi, sayısal imin frekans spektrumu 0 Hz'den belirli bir (f) frekansına kadar yayılır.
630	Bu devreler iletim ortamından gelen işaret içinden simge iletim frekansını çıkartarak bulunur (3).	Bu devreler iletim ortamından gelen işaret içinden simge iletim frekansını çıkartırlar.
631	2.3. R _n (T) = E _n (t).n(t + T).	2.3. R _n (r) = E(n(t).n(t + r))
631	2.4. N(jw) = ∫ _{-∞} [∞] R _n (r)exp(-jGj)dr	2.4. N(jw) = ∫ _{-∞} [∞] R _n (T)exp(-jwT)dT
632	2.6. p(n) = [1/(aV25)exp[-(n-n)²/2a²]	2.6. p(n) = [V(0y/2 it)]exp [-(ei-n)² a]
632	2.8. P(e) = p _o Pwto) < E-g, (tö) + (1-Po) P[n(tö) < E-go(to)J	2.8. P[G] = Po.P [n(tö) < E _o (to)] + (1 - p _o). P[n(to) > E -go(to)]
632	7 = f E-(1/2). [gr(tf6)+8b(lb)] / b(lb)-go(«o)] & = i n(lb)/[gr(«b)-fc(lo)] f	y = E-(1/2)[g, (to) +go(to)]/[g, (lo)-go(to)] & ==n(to)/[g, (to)-go(to)]
632	2.9.P(e)=P _o Pt/3 < (S-1/2)] + (1-P _o)P[/3 > (5+1/2)]	2.9. P[S] = P _o .P [0 < (6 - 1/2)] + (1 - p _o). P [0 > (5+ 1/2) /
632	-0,5+8 «> 2.10. P(G)=P _o /p(P)d0 + 0 - 0) / P (W 6+0,5	2.10. P [£] = p _o / ∫ _{-∞} [∞] p (0)d/j + (1 - p _o) / P(p)dj3 5+0,5
632	dP(G)/d7=0 ve P _o p(5-0,5)-(1-P _o)P(8+0.5)=0	dP(£)/d5 = 0 ve p _o . P {6 - 0.5) - (1 - p _o) p (g + 0.5) = 0
632	P(0) = [V(ö/3 V ^{2*}) 1 ^{ex} P W / (².² f³) 1	P(P) = [V(00 V2 [^])]ex _p - {3² / (2 a * 0)]

Sayfa	Yanlış	Doğru
632	$O_0 = a/[g_1(t_0) - g_0(t_0)]$	$OQ = \int [g_1(t) - g_0(t)]$
632	Eğer $P_0 = 1 - P_0$ ise,	Eğer $P = 1 - P_0$ ise,
633	2.18. $(P_s/N_0)_{dB} = (10.65 + 11.42 \log_{10} x) dB$	2.18. $(P_s/N_0)_{dB} = 10.65 + 11.42 \log_{10} x$ dB
633	0 halde, kanal $s(t)$ impulsunu bir $k(t)$ fonksiyonuna dönüştürmektedir.	0 halde, kanal $S(t)$ impulsunu bir $k(t)$ fonksiyonuna dönüştürmektedir.
634	0 halde, frekans cevabındaki bu süreksizlik yumuşatıldığında zamanaki yayılmanın bir miktar önüne geçilebilecektir.	0 halde, frekans cevabındaki bu süreksizlik yumuşatıldığında zamandaki yayılmanın bir miktar önüne geçilebilecektir.
634	2.27. $H(j\omega) = \begin{cases} T, & 0 < \omega < \pi/T(1-a) \\ T/2 J_1 - \sin [T/2a(\omega - \pi/T)] / \pi T(1-a) < \omega < \pi T/T(1+a) \end{cases}$	2.27. $H(j\omega) = \begin{cases} T, & 0 < \omega < \pi/T(1-a) \\ T/2 \{1 - \sin [T/2a(\omega - \pi/T)]\} / \pi T(1-a) < \omega < \pi T/T(1+a) \end{cases}$
634	2.28. $h(t) = (\sin(7\pi t/T))/(7\pi t/T) \cdot (\cos(a 7\pi t/T)/14a^2 t^2)$	2.28. $h(t) = (\sin(7\pi t/T))/(7\pi t/T) \cdot (\cos(a 7\pi t/T)/(1-4a^2 t^2)/T^2)$
635	$y(kT + t) = y_k$,	$y(kT + t_0) = y_k$
635	2.31. $y_k = 2 \sum_n a_n g_{k-n} + 7$	2.31. $y_k = 2 \sum_n a_n g_{k-n} + T J_k$
636	2.32. $y_k = g_k a_k + \sum_n J_n a_n g_{k-n} + r?$	2.32. $y_k = g_k a_k + \sum_n a_n g_{k-n} + T?$
636	2.33. $y_0 = \sum_n a_n g_{-n}$	2.33. $y_0 = \sum_n a_n g_{-n}$

Sayfa	Yanlış	Doğru
637	2.35. $y_0 = k + \sum_{n=0}^{\infty} 2^{-n} g^n / g_0$	2.35. $y_0 = k + \sum_{n=0}^{\infty} 2^{-n} g^n / g_0$
637	2.36 $D = 1 / \sum_{n=0}^{\infty} g_n $	2.36. $D = \sum_{n=0}^{\infty} g_n $
638	3.3. $o / = kTz_0 / F 1 (f).df$	3.3. $o / = kTz_0 / F.G^2 df$
639	3.10. $o / = kTz_0 / F [H^2(f)/\sin^2(7rf_n T)] irf^2$	3.10. $o / = kTz_0 / F [H^2(f)/\sin^2(7rf_n T)] (nf)^2 \exp 2\lambda a y_j^2 df$
640	1. sütunun üstten 10. satırında (b) alt başlığı unutulmuş	b) Yüksek Frekans Spektral Enerjinin Etkileri
641.	5.1. $y(t)-y(t-T) \sim Y(j\omega) - Y(j\omega)e^{-j\omega T} = Y(M[1-e^{-j\omega T}])$	5.1. $y(t)-y(t-T) \rightarrow v_{OcoJ-YO^{\wedge}Je-J^{\omega T}} = Y(j\omega)[1-e^{-j\omega T}]$
645	$F(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt$	$F(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt$
645	Bu dönüşüm kısaca $f(t) F(j\omega)$ olarak da gösterilebilir.	Bu dönüşüm kısaca $f(t) F(j\omega)$ olarak da gösterilebilir.
645	5 (t) $F 5 (t) = 1$ olacaktır.	5(t) * $F 5 (t) = 1$ olacaktır.
645	$f_R(t) + (jf_x(t))$	$f_R(t) + jf_x(t)$
645	$f(t) = \begin{cases} V & -T/2 < t < T/2 \\ 0 & t < T/2 \end{cases}$	$f(t) = \begin{cases} V & -T/2 < t < T/2 \\ 0 & t > T/2 \end{cases}$