

# ZAMAN PAYLAŞIMLI ÇOĞULLAMA VE LABORATUVARDA GERÇEKLENMİŞ OLAN 4 KANALLI BİR TDM/PAM SİSTEMİ

Müh. Fatma YARGICI  
Y. Müh. Türker CANBAZOĞLU

## ÖZET

Tüm telekomünikasyon ağları üzerinde bağlama merkezlerinin ve telefon santrallerinin olabildiğince ekonomik olarak arabağlaşımını yapabilmek için mevcut bulunmaktadır. Bu amacı gerçekleştirebilmek için çözümlerden biri, yaygın olarak kullanılan zaman paylaşımli çoğullama (TDM) tekniğidir. Bu yazıda TDM'de karşılaşılan genel kavramlar, sorunlar ve bunların çözümleri incelenecektir. Konuya bakış açımız genel bir tekrar niteliğinde olup, sonunda uygulanabilirliği olan, denenmiş, eşzamanlamanın kendi kendine kurulabildiği 4-kanallı bir TDM/PAM devresi verilecektir. (\*)

## SUMMARY

In all telecommunication networks there is a need to interconnect switching centres and telephone exchanges as economically as possible. One solution to

(\*) Yazı, İ.T.Ü. Elektrik Fakültesi Telekomünikasyon Tekniği Biriminde Araş. Gör. Türker Canbazoglu yönetiminde, Müh. Fatma Yargıcı tarafından yürütülen 'Bitirme Ödevi' projesinin bir parçasından yararlanarak hazırlanmıştır.

this, is the widely used time division multiplexing (TDM) technique. This article deals with general concepts, problems, and Solutions encountered in TDM. Our approach to the subject is one of a tutorial and review character in nature, at the of which a well tried complete 4-channel TDM/PAM circuit with a self-synchronizing facility is given.

## GİRİŞ

Tüm telekomünikasyon ağları (devreleri) üzerinde, bağlama merkezlerinin ve telefon santrallerinin olabildiğince ekonomik olarak, arabağlaşımını yapabilmek, bir gereksinim halinde tasarımcının karşısında durmaktadır. Bu yollar üzerindeki trafiğin hacmi, her bir kablo üzerinden mümkün olduğu kadar fazla bilgi iletilmesini çekici kılmaktadır. Açıktır ki, verici ile alıcı noktalar arasındaki uzaklık kısa ise, bilgi ileten kanalları birleştiren terminal cihazlarının maliyeti, ilave kablo çiftleri döşeyebilmek için gereken maliyeti aşabilir. Bu yüzden, belirli uzaklıkların altında, iletim amacı ile birleştirilmesi zahmetine değecek, telefon kanallarının sayısı üzerinde sınırlamalar getirilmiştir. •

Daha birçok başka durumda, tek bir iletim tesisi üzerinden birden fazla mesaj işaretinin iletilmesi arzu edilebilir. Çoğullama olarak adlandırılan, çoklu bilgi taşıyan kanalların tek bir hat veya radyo linki üzerinden gönderilmesi, iki biçimde yürütülebilir, (i) Frekans domeninde çalışan ve sürekli dalga modülasyonu (taşıyıcı işaretin sinüzoidal bir fonksiyon olduğu modülasyon türü) ile ilişkili olan, frekans paylaşımli çoğullama (FDM), (ii) zaman domeninde çalışan ve darbe modülasyonunun süresiz karakteri ile uyum sağlayan zaman paylaşımli çoğullama (TDM).

FDM de, telefon kanallarına ilişkin en küçük miktar (quantum) "grup" olarak bilinir ve 12 telefon kanalından oluşmuştur. Bu değer, TDM de ya 24 ya da 30 kanaldır. Avrupa'da en son kabul edilmiş olan standart 30 kanal olup, bu 2048 kbit/san'ye karşı düşer. Hiyerarşi içindeki daha ileri dereceler 8448 kbit/san, 34368 kbit/sap ve 139264 kbit/san'lik bilgi hızlarıdır.

Bu yazıda üzerinde yoğunlaşacağımız zaman çoğullama, radyoda, teletype'da, telefon alanlarında ve telemetre amaçları ile çok yaygın olarak kullanılmaktadır, örneğin uzay propları ile algılanan deneysel veriler, ortak bir biçimde örneklendikten sonra, ard arda iletilir. Böylece, yeryüzüne sıcaklık, elektron yoğunluğu, manyetik alan şiddeti ve daha başka algılayıcıların çıkışında elde edilen bilgileri iletmekte olan bir uzay aracının, sadece tek bir iletim kanalını kullanması yeterli olur.

Günümüzde kullanılan zaman çoğullamalı sistemlerin çoğu, sayısal olarak gerçekleşmektedir. Bu durumda, analog işaretler çoğullama işleminden önce sayısal biçime dönüştürülür. Sayısal biçime dönüştürülmekten kastedilen, analog işaretin bandının sınırlanması onu izleyen en az Nyquist hızında örnekleme işlemi ve son olarak da n-bitlik kodlamadır. Bu arada, veri terminaleri, bilgisayarlar, yazıcılar ve diğer sayısal kaynaklardan elde edilen işaretler mevcuttur ki bunların kendileri zaten çoğullama için gerekli olan sayısal biçimdedirler. Biz aşağıdaki incelememizde, işaretlerin sayısal veya analog olduklarını belirtmeden, işaretlerin zaman çoğullaması temel tekniğini, ilişkili sorunların ve bunların çözümlerini inceliyeceğiz. Konuya bakış açımız, genel bir tekrar niteliğinde olup, sonunda uygulama niteliği olan, denenmiş bir devre tasarımı verilerek, devre tasarımı ile uğraşan mühendislerin ilgisi çekilmeye çalışılmıştır.

#### ZAMAN PAYLAŞIMLI ÇOĞULLAMA

Tipik bir TDM sisteminin blok diyagramı Şekil 1'de

görülmektedir. Tüm darbe modülasyonu sistemlerinde olduğu üzere, bir TDM sistemindeki ilk işlem örneklemedir. Her bir giriş kanalı üzerinde yer alan alçak geçiren (veya band geçiren) filtre, örnekleme girişindeki işaret spektrumunun, belirli bir  $f_m$  frekansının altında kalmasını sağlar. Böylece, örnekleme teoreminin koşullarını yerine getiren, bir örnekleme hızı seçilebilir ve bu değer, bilgi taşıyan dalga şekli içindeki en yüksek frekanslı bileşenin ( $f_m$ ), en azından iki katına eşit olmalıdır (Nyquist hızı).

$$f_s \geq 2f_m \quad (1)$$

TDM'de dalga şekli örnekleme Şekil 1'de dönen bir anahtar ile gösterilmiş olan ve "birleştirici (harmanlayıcı) olarak adlandırılan bir giriş çeviricisi ile yürütülür. Dönen anahtar her bir devrinde, tüm N adet giriş işaretinden peşpeşe birer örnek almaktadır.

Alıcı uçtaki dönen anahtar, vericideki ile eşzamanlı (senkron) çalışmaktadır. Yani her iki anahtar aynı anda aynı sayılı kontaklara değmektedir. Alıcıdaki bu elemana yaptığı işleve bağlı olarak "Ayrıcı" (dağıtıcı) denmektedir.

Anlaşılabileceği üzere "birleştirici" çıkışında, darbe genlik modülasyonlu (PAM) bir işaret mevcuttur ve zaman eksenini üzerindeki tipik bir durum, tepesi düz örnekleme kullanılmış olması varsayımı altında, Şekil 2'de gösterilmiştir.

Açıktır ki N adet bilgi kanalının, zaman paylaşımli çoğullama ile tek bir iletim kanalı üzerinden aktarılma işlemi, her bir giriş kanalına ilişkin PAM işaretinin zaman içinde, birbirinin arasına yerleştirilmesi ile gerçekleşmektedir. Anahtarın tam dönüşünü  $T_s$  (saniye) de tamamladığı varsayımı altında, her bir giriş kanalına  $T_s/N$  (saniye)lik bir zaman aralığı ayrılmıştır. Bu süre, kanallara ilişkin,  $T_p$  darbe süresi ile, aşırı sınırlararası girişimi (bitişik kanallardaki darbelerin birbiri üzerine düşmesi) önlemek üzere boş bırakılmış,  $T_k$  (saniye) lik koruyucu sürenin toplamından oluşur.

$$T_s/N = T_p + T_k \quad (2)$$

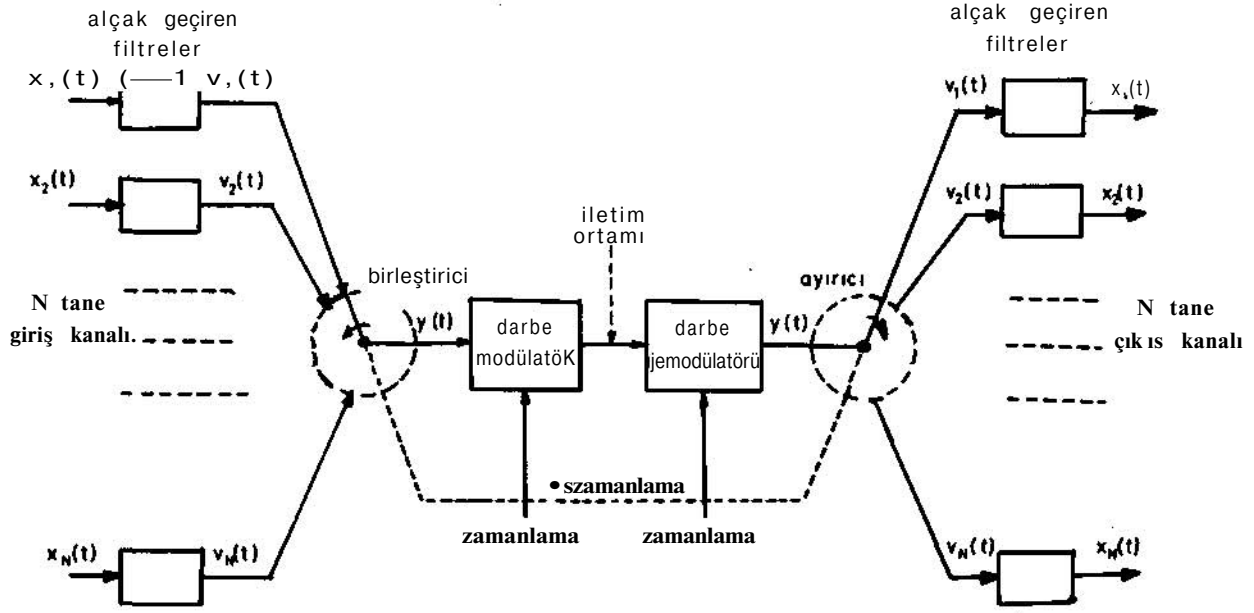
Anahtar dönüş hızı,  $f_s = 1/T_s$ , (1) denklemini sağlaması gerektiğinden, (burada  $f_m$ , tüm giriş kanalları arasındaki, en yüksek frekanslı bileşeni göstermektedir), her bir kanal için ayrılan zaman aralığı koşulunu sağlar.

$$T_p = T_s/N - T_k < 1/2Nf_m - T_k \quad (3)$$

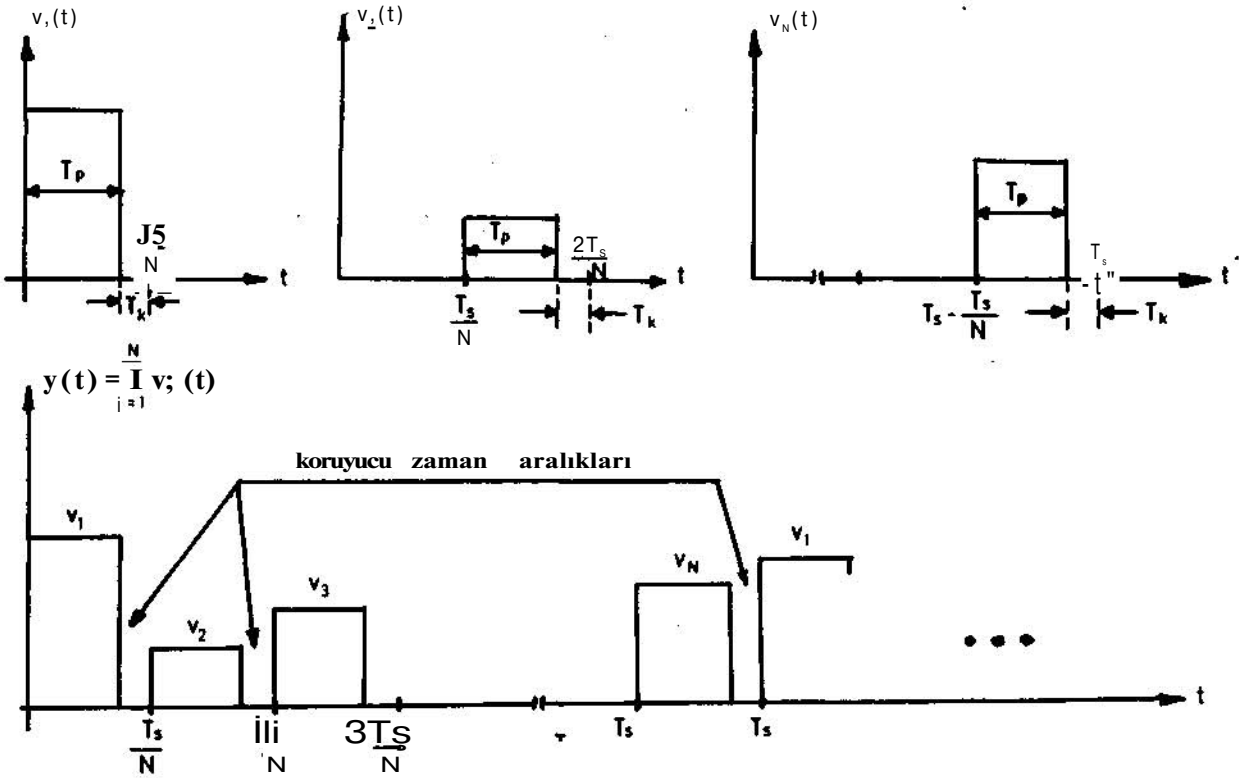
Böylece, i'inci kanal ile ilgili olan PAM dalgası doğal örnekleme ve tepesi düz örnekleme için, ayrı ayrı :

Doğal örnekleme

$$V_j(t) = m_j(t) \sum_{k=-\infty}^{\infty} p \left[ t - \left( k + \frac{j-1}{N} \right) T_s \right] \quad (4-a)$$



Şekil 1



Şekil 2

Tepesi düz örnekleme

$$V_j(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} m_j \left[ \left( k + \frac{i-1}{N} \right) T_s \right] \cdot p \left[ t - \left( k + \frac{i-1}{N} \right) T_s \right] \quad (4-b)$$

şeklinde yazılabilir.  $p(t)$ , iletim sırasında kullanılan temel darbenin dalga şeklini göstermektedir.

TDM/PAM dalgası, N tane PAM dalgasının birbirinin arasına sokulması ile ifade edilir. O halde :

$$y(t) = \sum_{i=1}^N V_j(t) \quad (5)$$

yazılabilir.

İstenirse,  $y(t)$  işaretini darbe konum modülasyonu (PPM) darbe süre modülasyonu (PDM) veya darbe kod modülasyonu (PCM) gibi modülasyon türlerinden birini kullanan darbe modülatörüne uygulanabilir. TDM/PAM'den, TDM/PPM, PDM.-PCM'e dönüşüm kesinlikle gerekli olmayıp PAM'in yetersiz kaldığı iletim ortamlarında, sözü edilen ikincil darbe modülasyon türlerine, geçilmelidir. Anlaşılacağı üzere, darbe de modülatörü çıkışı, (5) denklemi ile verilen  $y(t)$  işaretini sağlamak üzere kullanılmakta olup, eğer ikincil bir darbe modülasyonu kullanılmamışsa, bu blok iptal edilecektir.

Burada sadece sözünü ederek geçeceğimiz bir nokta şudur: ikincil darbe modülasyonlu (PPM, PDM, PCM) sistemlerin tümü için önemli bir üstünlük, iletim boyunca herhangi bir noktadaki işaretin gürültüye (S/N) oranını yükseltmek üzere, darbelerin tekrar şekillendirilip, düzeltildikten sonra kuvvetlendirilmesi olanağının varoluşudur. Söz konusu, "tekrar üretme" işleminde, gürültü son derece baskın olmadığı sürece, iletim gürültüsü ve bozucularının etkisini tümüyle ortadan kaldırmak olasıdır. Böylece, TDM işaretini tekrar güçlendirebilmek ve iletim yolu üzerindeki gürültüyü hemen hemen tümüyle giderebilmek için, iletim yolu boyunca, belirli aralıklarla çeşitli tekrarlayıcı istasyonlar (repetörler) yerleştirilir. "Tekrar üretme işlemi", bilinen nedenlerle (sadece kuvvetlendirme işlemi, işaretle birlikte, gürültünün de kuvvetlenmesine yol açar), analog işaret ileten sistemler için uygulanmaz.

#### TDM SİSTEMLERİNDE KARŞILAŞILAN SORUNLAR

Tüm mühendislik gelişmelerinde geçerli olduğu üzere, kişi, zaman çoğullamayı sisteme, bir bedel karşılığında katmaktadır.

Açıktır ki, TDM/PAM işaretinin iletimi için gerekli band genişliği, çoğullanacak olan işaretlerin sayısı ile artar, çünkü iletim band genişliği iletilen darbelerin genişliği ile ters orantılıdır. O halde, eğer genel olarak

N tane işaret çoğullanacaksa gerekli iletim band genişliği, tek bir kanal iletilmesi haline göre N defa daha büyük olacaktır. (Yani, seçilmiş olan darbe modülasyonu tekniğinde, tek bir kanalın iletilmesi için gerekli olan band genişliği  $B_0$  ise, TDM işaretinin iletimi için gerekli olan iletim band genişliği,  $B = N \cdot B_0$  olacaktır.)

Tek bir iletim kanalı üzerinde birleştirilmiş olan, farklı giriş kanallarına ilişkin darbelerin alıcı uçta ayrıştırılabilmesi için, alıcıdaki anahtarın örnek alma hızının vericideki ile aynı olması yetmez. Ayrıca, bu anahtarların birbiriyle eşzamanlı (senkron) çalışarak, ardarda gelen darbeleri, alıcıda ait oldukları kanallara aktarabilmesi gerekir. Eğer verici ile alıcı arasında eşzamanlama kaybolacak olursa, giriş kanallarına ilişkin örnekler, yanlış çıkış kanal filtrelerine gönderilecek, dolayısıyla da, tüm çıkış kanallarında elde edilen mesaj dalga şekilleri, bir karışıklığa yol açacaktır. TDM sistemlerinde, belki de en önemli sorun, alıcıda eşzamanlama bilgisinin elde edilmesi ve çalışma süresince bunun izlenmesidir. Sorun, yüksek hızlı veri sistemlerinde ve birbirlerinden binlerce, hatta milyonlarca (km) uzaklıkta yer alan alıcı ve vericiler halinde daha da önem kazanmaktadır.

Uygulamada, eşzamanlama ve işaret örneklerinin ait oldukları kanallara gönderilmesi işlemleri, çeşitli yöntemlerle sağlanmaktadır:

1- İşaretlere ilişkin darbe örneklerinden kolayca ayırdedilebilmek üzere seçilmiş, periyodik olarak gönderilen, özel markalayıcı darbelerin, TDM'e işaretine ilave edilmesi ile.

2- Alıcıda, çok dar bantlı bir çentik filtre veya bir faz kilitlemeli çevrim yardımı ile çekip çıkarılan, bilinen faz ve frekansda sürekli bir sinüzoidal bir dalganın, TDM'e ilave edilmesi ile.

3- Alıcıya ulaşan TDM işaretinin çok uzun zaman aralıklarında ortalamasını alarak, gerekli zamanlama bilgisini, iletilen işaret darbelerinden elde edilen yöntemlerin kullanılması ile.

Bu arada, bazı TDM sistemlerinde, hem alıcı hem de vericide çok kararlı "saat devreleri" veya ana (merkezi) osilatörler kullanılarak, başlangıçta yürütülen bir işlem ile, verici ile alıcı arasında eşzamanlama sağlanmaktadır. Bu tür sistemler, doğaları gereği, eşzamanlamayı uzunca bir zaman aralığı boyunca sürdürürler.

TDM sistemlerinde, kanal ayırma ve eşzamanlama ile ilişkili sorunları biraz hafifletmenin yaygın yolu, darbeler arasında koruyucu boş zaman aralıkları bırakmaktır. Tabii, burada unutulmaması gereken nokta, koruyucu zaman aralıklarının, darbe genişliklerini daha azaltmak gibi bir etkisi olması, dolayısıyla, gerekli iletim band genişliğinin daha da artmasıdır.

Radyo linkleri üzerinde, darbelerin kendisi, GM veya FM modülasyonu kullanılarak, bir taşıyıcıya modüle eder. Bu işlem sırasında, çoğunlukla, hem pozitif hem de negatif darbelerle çalışılması arzu edilmez. Ayrıca, eğer darbeler hiçbir zaman sıfıra düşmüyorsa (sıfır dönüşsüz darbeler), yani tüm darbe süresince pozitif bir darbe mevcutsa, (senkronizasyon) eşzamanlama işlemi nisbeten kolaylaşır. Belirtilmiş olan bu iki hede, örnekleme işleminden önce, tüm işaretlere, umulan en büyük işaret genliğinden daha büyük bir D.A. (doğru akım) seviyesi ilave edilerek sağlatılabilir. Ortaya çıkan darbe trenine tek kutuplu TDM/PAM adı verilir. Verici gücünün ön plana çıktığı çok uzun mesafe haberleşmesinde ise, çift kutuplu (hem pozitif hem negatif) PAM'ın, tek kutuplu PAM'e göre, alıcıdaki aynı işaret/gürültü (S/N) oranı için, daha az işaret gücüne gereksinme duyduğu bilinmektedir ve kesinlikle tercih edilmelidir.

Çoğullanacak olan çeşitli işaretlerin band genişlikleri veya veri kaynaklarının veri üretme hızları birbirlerinden büyük ölçüde farklıysa, daha verimli bir iletim sistemi oluşturabilmek açısından iki yaklaşımdan biri tercih edilebilir. Band genişliği ya da veri hızı yüksek olan işaretlerden, orantılı olarak daha fazla örnek alınarak daha yavaş değişen işaretlerin örnekleri ile birleştirilir veya yavaş değişime sahip işaretler ilk önce kendi aralarında, frekans çoğullama tekniği ile (FDM) daha geniş bir band genişliğine sahip tek bir analog işaret haline getirilir. Daha sonra TDM'ye geçilir. Anlaşılacağı üzere, çift veya tek kutuplu PAM'ın kullanılması, birbiriyle çelişki yaratmakta olup, devre karmaşıklığı ve güç tasarrufu arasında uzlaşmaya gidilmesi kaçınılmazdır.

TDM sistemlerinde karşılaşılan diğer sorun, çapraz-konuşum olayıdır, (diyafoni). Bu sorunun çözümü, bizi, çoğullanacak olan giriş kanallarının sayısı N için bir üst sınıra götürür. Aşağıda, bu çözüm, ayrıntıları ile analiz edilecektir. Aşağıdaki incelemelerimizde basitlik açısından, tüm işaretlerin aynı hızda örneklenerek

birleştirildiği ve en hızlı değişen işaretin frekansının  $f_m$  olduğu varsayılacaktır.

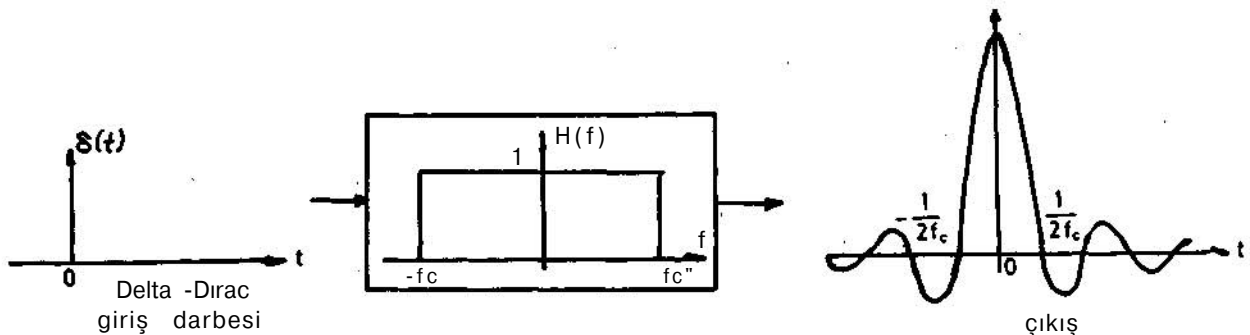
Çapraz konuşum, vericiden ayrı ayrı zamanlarda gönderilen darbelerin, alıcıya ulaştıklarında, birbirlerine bulaşması başka bir deyişle birbirlerinin üzerine düşmesi nedeniyle ortaya çıkar ve veri haberleşmesinde simgelerarası girişim adıyla bilinir. Böylece, bir kanaldaki işaret, komşu bir kanaldan duyulabilir. Aşağıda, ortaya çıkan girişim miktarının, iletim kanalının  $f_c$  ile gösterilen band genişliğine,  $f_m$  ve N değerlerine bağlı olduğunu göreceğiz. Bununla beraber, vericide kullanılan darbe şekli ve alıcının darbeleri sezinleyebilmek (dedekte edebilmek) için kullandığı yöntem, gibi etkenler de bu girişim miktarı üzerinde etkilidir. Fakat biz bunların ideal olarak yürütüldüğünü varsayacağız-

Giriş kanallarındaki işaretler,  $1/2f_m$  (san)'den uzun olmayan aralıklarla örneklendiklerinde, örnekleme teoremine uyulmuş olur. Birinci kanaldaki işaret örneklendikten sonra, bu işaretin ardışık örnekleri arasında, diğer kanallara ilişkin örnek değerleri yerleştirilecektir. N tane kanal girişi varsa, farklı giriş işaretlerine ilişkin ardışık örnekler arasında  $1/(2f_m N)$  saniyelik bir zaman aralığı bulunacaktır.

İletim kanalının band genişliği istenildiğince büyük yapılabiliyorsa, alıcı uçtaki dalga şekli vericideki dalga şeklinin aynısı olur, yani işaret bozulmaksızın elde edilebilir. Fakat, band genişliği sınırlı ise herhangi bir örnekleme anında alıcıdaki işaret, o andaki asıl örnek değeri ile diğer örnekleme anlarından kaynaklanan bir takım katkılardan oluşur.

Hem alıcıda hem de vericide ani örnekleme kullanıldığını ve iletim kanalının kesim frekansı  $f_c$  olan ideal bir alçak-geçiren filtreye eşdeğer olduğunu varsayalım.

Durum Şekil 3'de gösterilmiştir. Böyle bir kanalın impuls yanıtı :



Şekil - 3

$$h(t) = \frac{27rf_c}{n} \cdot \frac{\text{Sin}(2f_c t)}{27rf_c t} \cdot \frac{\text{Sin}(27rf_c t)}{27Tf_c t} = \frac{2f_c \text{Sin}C(2f_c t)}{n} \quad (6)$$

olacaktır, burada :

$$\text{Sin} C(u) = \frac{\text{Sin}(Tu)}{Tu}$$

t : 0 anında maksimum değerini alırken,

t :  $\pm k/2f_c$  (k = 1, 2, 3 ...) anlarında sıfır olmaktadır. O halde, vericide ilk kanaldan t : 0 anında 1<sup>5</sup> (t) örneği alınıp, kanala verilecek olursa, alıcıda,

$$S_1(t) = 2f_c I_1 \text{Sin}C(2f_c t) \quad (7)$$

elde edilir. Benzer şekilde t : 1/2f<sub>c</sub> anında ikinci kanal örneklenecek iletim kanalına  $\text{Sin}C(t - 1/2f_c)$  uygulanınca,

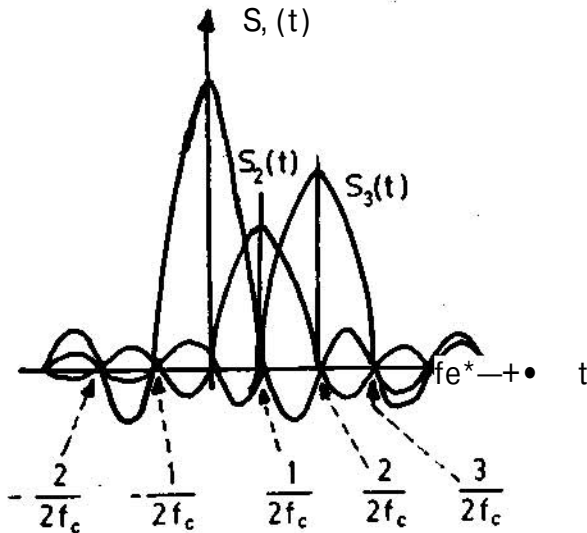
alıcı tarafta :

$$S_2(t) = 2f_c I_2 \text{Sin}C(2f_c(t - 1/2f_c)) \quad (8)$$

bulunur. Bu fonksiyonun maksimumu t : 1/2f<sub>c</sub> anında, sıfırları da t : k/2f<sub>c</sub> (k : ... -1, 0, 1, 2...) de yer alır. Bu şekilde devam edilirse, t : N/2f<sub>c</sub> anında N inci giriş kanalından alınan 1<sup>5</sup> (t - N/2f<sub>c</sub>) örneği iletim kanalı çıkışında :

$$S_N(t) = 2f_c I_N \text{Sin}C(2f_c(t - N/2f_c)) \quad (9)$$

işaretini oluşturur. N : 3 için ortaya çıkan durum Şekil 4'de görülmektedir.



Şekil 4

Anlaşılabacağı üzere, S<sub>1</sub>(t) nin maksimum değerini aldığı sırada tüm diğer S<sub>j</sub>(t) (j ≠ 1) ler sıfır olmaktadır.

Yani simgelerarası girişim olmamaktadır. Aslında, simgelerarası girişim olmaması için sağlanması gereken genel koşullar, Nyquist, Gibby, Smith tarafından sistematik bir biçimde ortaya konmuştur. Burada varılan netice bunların özel bir halidir. Bununla beraber, elde edilmiş olan sonuç amaca hizmet etmektedir.

İlk örnek ile son Örnek arasındaki zaman farkı N/2f<sub>c</sub> dir. Ve bu değer açıktır ki örnekleme teoremini sağlamalıdır.

Yani, örnekleme periyodu : N/2f<sub>c</sub> < 1/2f<sub>m</sub>

$$N < f_c / f_m \quad (10)$$

bulunur. (10) denklemine göre : N adet giriş kanalı varsa, TDM ile iletilen ve bantları f<sub>m</sub> frekansı ile sınırlanmış olan, bu işaretlerin, iletildikleri kanalın bant genişliği en az f<sub>c</sub> = N · f<sub>m</sub> olmalıdır. (Daha önce yazılmış olan B = NB<sub>0</sub> bağıntısında B'nin f<sub>c</sub>'ye, B<sub>0</sub>'nda f<sub>m</sub>'e karşı düştüğü anlaşılır)

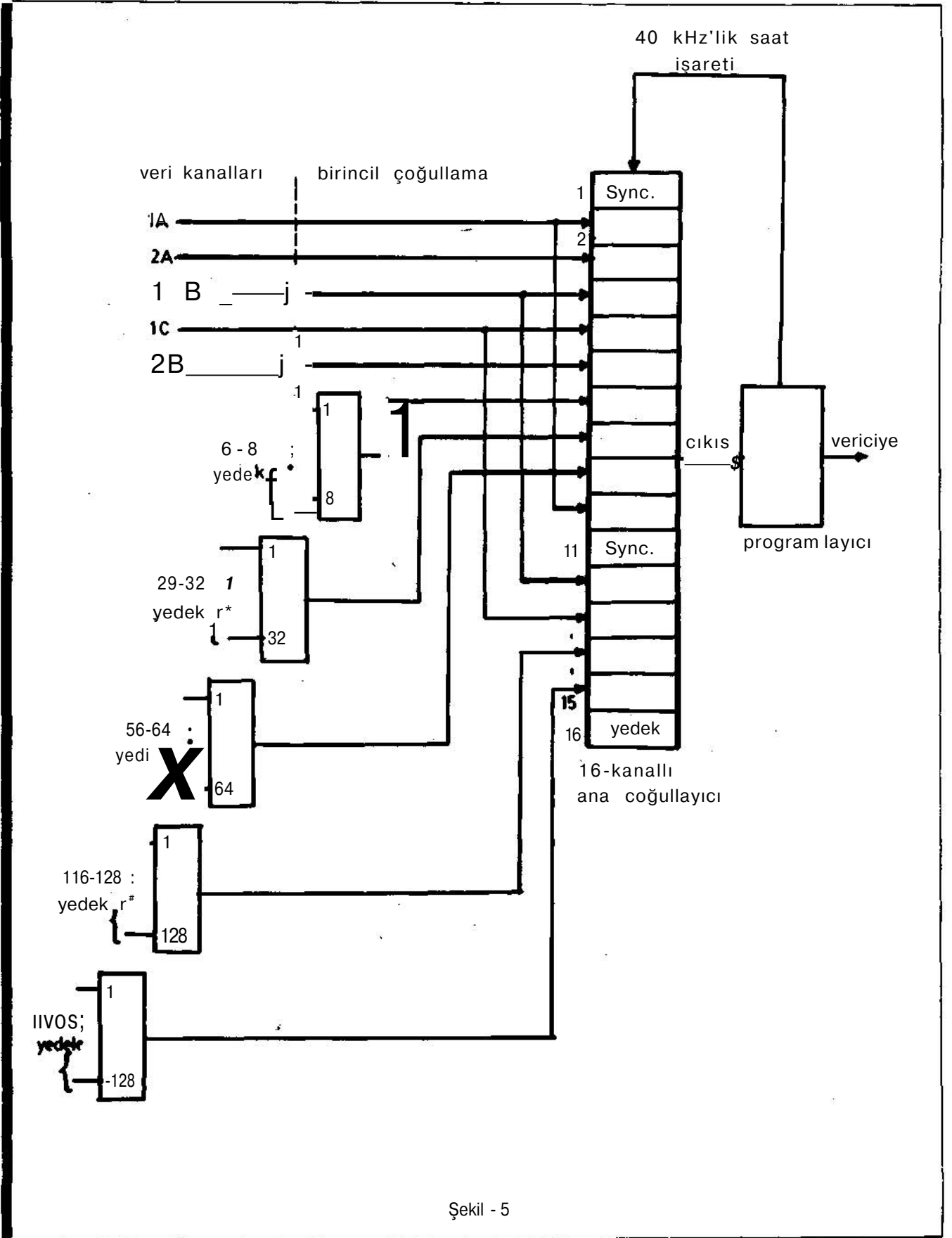
#### TDM UYGULAMALARI

TDM, uygulamada, kendisini iki biçimde gösterir : (i) TDM/PAM ve (ii) TDM/PCM

PAM sistemleri nispeten daha eski olup, günümüzde PCM teknikleri bunların yerini almaktadır. TDM/PAM sistemleri, yakın geçmişte başarılı bir biçimde radyo telemetre sisteminde kullanılmıştır. Böyle bir sistem veri hızları veya bant genişlikleri birbirinden büyük ölçüde farklı olan çok sayıdaki veri kanallarının çoğullanabilmesine olanak tanır. Çoğullama işlemi iki adımda yürütülür: İlk önce alçak veri hızına sahip kanallar, daha geniş bant genişliğine sahip bileşik veri kanalları oluşturmak üzere zaman çoğullanır. Daha sonra, bileşik kanallar daha geniş bant genişliğine sahip kanallarla zaman çoğullanarak, ana (esas) çoğullanmış işaret elde edilir, özel olarak, tipik bir uygulamada 318 adet farklı veri kanalının örneklenebilmesi, zaman çoğullanması ve radyo iletilmesi gerekmiştir. Çeşitli veri kanalları bunların bant genişlikleri, örnekleme hızları ve yapılan grup atamaları Tablo 1'de, TDM/PAM vericisinin tümüne ilişkin blok diyagram ise Şekil 5'de gösterilmiştir.

TABLO - 1

Grup	Veri kanının sayısı	Her bir kanala ilişkin bant genişliği	Örnekleme hızı Omek sayısı/s	Gerekli dan doğruluk*	Ana çoğullama konumu
1	3	2Khz	spoo	10	2ve 10,4 ve 12 5 ve 13
2	2	1Khz	2,500	5	35
3	S	100Hz	312,5	2	7
4	28	25Hz	78	22	8
5	55	5Hz	39	1	9
6	115	5Hz	19,5	2	14
7	110	1Hz	19,5	2	15



Şekil - 5

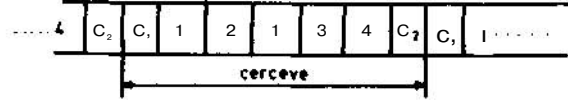
Günümüzde, TDM uygulamalarının büyük çoğunluğu, sayısal işaretler üzerindeki sistemlerle ilgilidir ve eğilim, bir sistemdeki analog işaretleri, olabildiğince önceden (ön katlarda), sayısal çevirmek yönünde gelişmektedir. Çoğullanacak olan sayısal işaretin kaynağının ne olduğu hiç önemli değildir. Bu işaret, bir veri çıkışı, bilgisayar çıkışı, sayısallaştırılmış konuşma işareti, sayısal faksimile veya TV bilgisi, uzaktaki bir noktaya iletilecek olan telemetre bilgisi vs. Çoğullama işlemi tüm işaretlere aynı şekilde davranır. Amaç, bit hızları büyük bir olasılıkla farklı olan sayısal işaretleri birleştirerek birleştirilmiş olan işaret katarını, daha yüksek bir bit hızında, tek bir, daha yüksek band genişlikli/daha yüksek bit hızlı bir hat üzerinden, ardışık olarak göndermektir.

Veri (alphanumeric symbols : abece sayısal simgeler) ve iletilebilecek, diğer sayısal işaretler arasında dolaylı olarak sürdürülen tek ayırım, sayısal işaretlerin, birbirlerinin arasına, karakter mi yoksa bit bazına göre mi yerleştirileceğidir. Düşük hızlı veri terminalleri (normal olarak 1200 bit/san.'e kadar) veriyi genel olarak, karakter'ler biçiminde ve asenkron olarak iletirler. Bir karakterin uzunluğu, terminalin tipine ve kullanılan koda bağlı olarak S ile 10 bit arasında değişir. Diğer taraftan PCM işaretlerinin doğal bir karakter yapısı olmadığından, işaretler bit bit (bit bazına göre) çoğullanır. Yüksek hızlı veri terminalleri de (1200 bit/san, ve daha yukarısı) bazen bit bit çoğullanmaktadır.

Sayısal işaretlerin çoğullanma işlemi nasıl yürütülürse yürütülsün, bir takım temel noktalardan söz edebiliriz:

- i - Herhangi bir şekilde, işin içine "çerçeve" yapısı katılmalıdır. Çerçeve, çoğullanacak olan tüm işaretlere en azından bir kere hizmet verildiği, en küçük zaman birimini temsil eder.
- ii - Çerçeve her bir veri kaynağına tek olarak ayrılmış olan, zaman aralıklarına parçalanmıştır. O halde, her bir veri kaynağını, çerçeve içindeki uygun anlarda örnekleyecek olan ve alışlagelmiş periyodik örnekleme işlemi kadar basit olan, bir zamanlama tekniği geliştirilmelidir.
- iii - Alıcının, zaman içinde her bir çerçevenin başlangıcı ile, çerçeve içindeki her bir zaman aralığı ile ve aralık içindeki her bir bit ile tek olarak eşzamanlanabilmesini sağlamak üzere, çerçeve ve eşzamanlama oluşturma bitleri ilave edilmelidir. İlave edilen bu bitlerin tümünün kontrol (denetleyici) bitleri adı verilir.
- iv - Çoğullanmak üzere gelen sayısal işaretlerin bit hızlarındaki küçük farklılıklarla başedebilmek için, bir takım ön hazırlıklar yapılmalıdır.

Tipik bir çerçevenin düzenlenişi Şekil 6'daki gibi olacaktır.



Şekil 6

Burada C<sub>1</sub> ve C<sub>2</sub>, kontrol bitlerine ilişkin dizileri göstermektedir. Bu örnek için, söz konusu bitler çerçevenin başlangıcına ve bitimine yerleştirilmişlerdir. Çerçeve dört adet veri kaynağını içermektedir. Bunlardan biri, diğerlerinin iki katı hızda çalıştığından, çerçeve içinde bu veri kaynağı için iki tane zaman aralığı ayrılmıştır. Örnek olarak, temel zaman aralığının on bitlik bir veri dizisinden, C<sub>1</sub> 3 bitlik, C<sub>2</sub>'nin de 2 bitlik bir diziden oluştuğunu varsayalım. O halde, bu örnek için, toplam çerçeve uzunluğu 55 bitdir. 1 inci veri kaynağı 2400 bit/san de, 2, 3, 4 üncü veri kaynakları da 1200 bit/san hızında iletilmekteyse, toplam veri bit hızı 6000 bit/san olacaktır. Bununla beraber ilave edilmiş olan kontrol bitleri nedeniyle, çoğullayıcı 6600 bit/san lik iletim hızında çalışmalıdır. Verilen örnek hayali bir sisteme ilişkin olmakla beraber, olayın prensibini açıkça ortaya koymaktadır.

Bu arada zaman çoğullama sistemleri eşzamanlı (senkron) ve eşzamanlı olmayan (asenkron) çalışanlar olmak üzere ikiye ayrılır. Eğer tüm bit dizileri aynı, bit hızında ise, yani ortak bir saat frekansına sahiplerse, eşzamanlı sayısal çoğullamadan söz edilir.

Eğer birleştirilecek olan bit dizileri, nominal olarak aynı saat frekansına sahip olmakla birlikte, birbirlerinden milyonda birkaç kısım kadar farklıysalar, eşzamanlı olmayan sayısal çoğullama sözkonusudur. Uygulamada, herbiri 64 kbit/san hızındaki PCM telefon kanallarının birleştirilmesinde yaygın olarak kullanılan çoğullama biçimi, eşzamanlı çalışandır. Eşzamanlı çoğullama, eğer, örnek alma işlemi yapan tüm donanım, coğrafi olarak birbirine yakın olarak gruplanmışsa, mümkündür. Prensipten, bir ülkedeki tüm çoğullayıcılar ortak bir saat devresinden çalıştırılabilirse de, farklı uzaklıklar ve zaman gecikmeleri gibi nedenlerin yol açtığı pratik zorluklar, böyle bir uygulamayı olanaksız kılmıştır. Zaman gecikmesi sorununun üstesinden gelebilmek için çoğullayıcı çıkışının 2 Mbit/san'i aştığı eşzamanlı olmayan sayısal çoğullama tekniklerinin kullanılması yoluna gidilmiştir.



#### LABORATUVARDA GERÇEKLENMİŞ 4 KANALLI TDM/PAM DEVRESİ

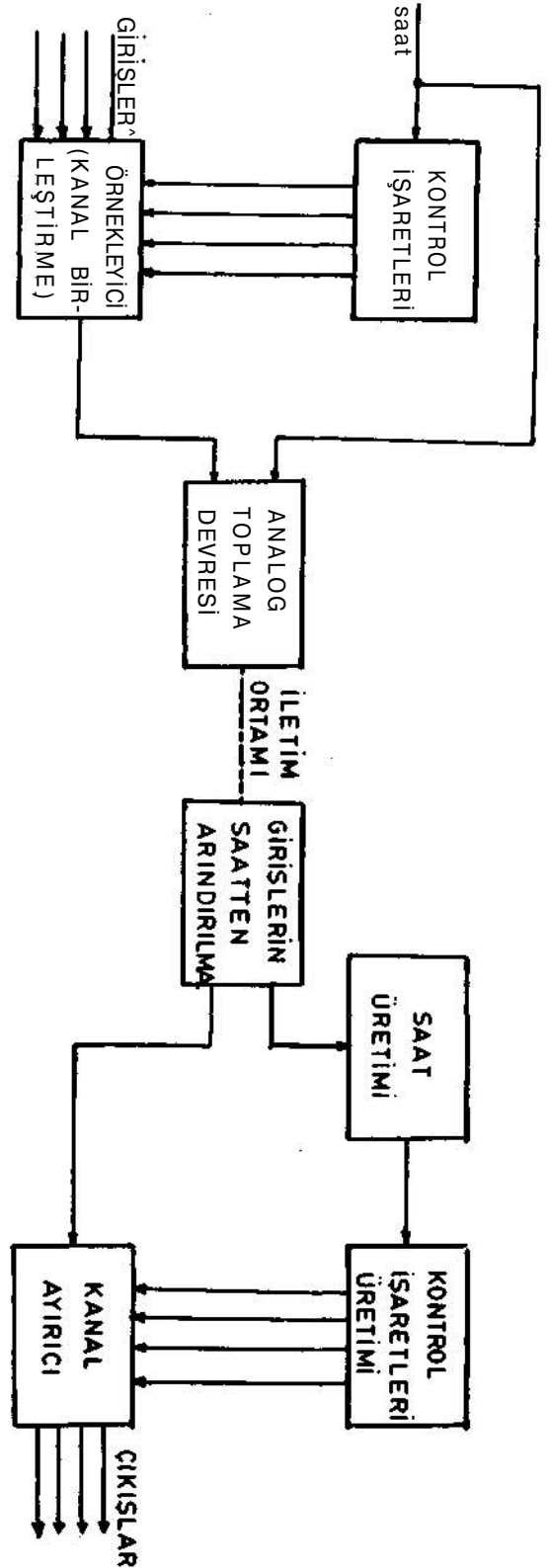
Her ne kadar TDM/PAM devresi dört kanallı olarak gerçekleştirilmişse de, devrenin TDM yaratan temel parçası, hiç açıklamaya gerek duyulmayacak kadar açıktır. Devrenin en ilginç yanı eşzamanlamanın kendi kendine otomatik olarak sağlanmasıdır. Bu amaçla, TDM iletimi başlamadan önce, vericide yürütülen ve çok kısa süren bir dizi işlemle eşzamanlama sağlanır ve hemen arkasından normal iletim başlatılabilir.

Pratik sisteme ilişkin blok diyagramı Şekil-7'de görülmektedir.

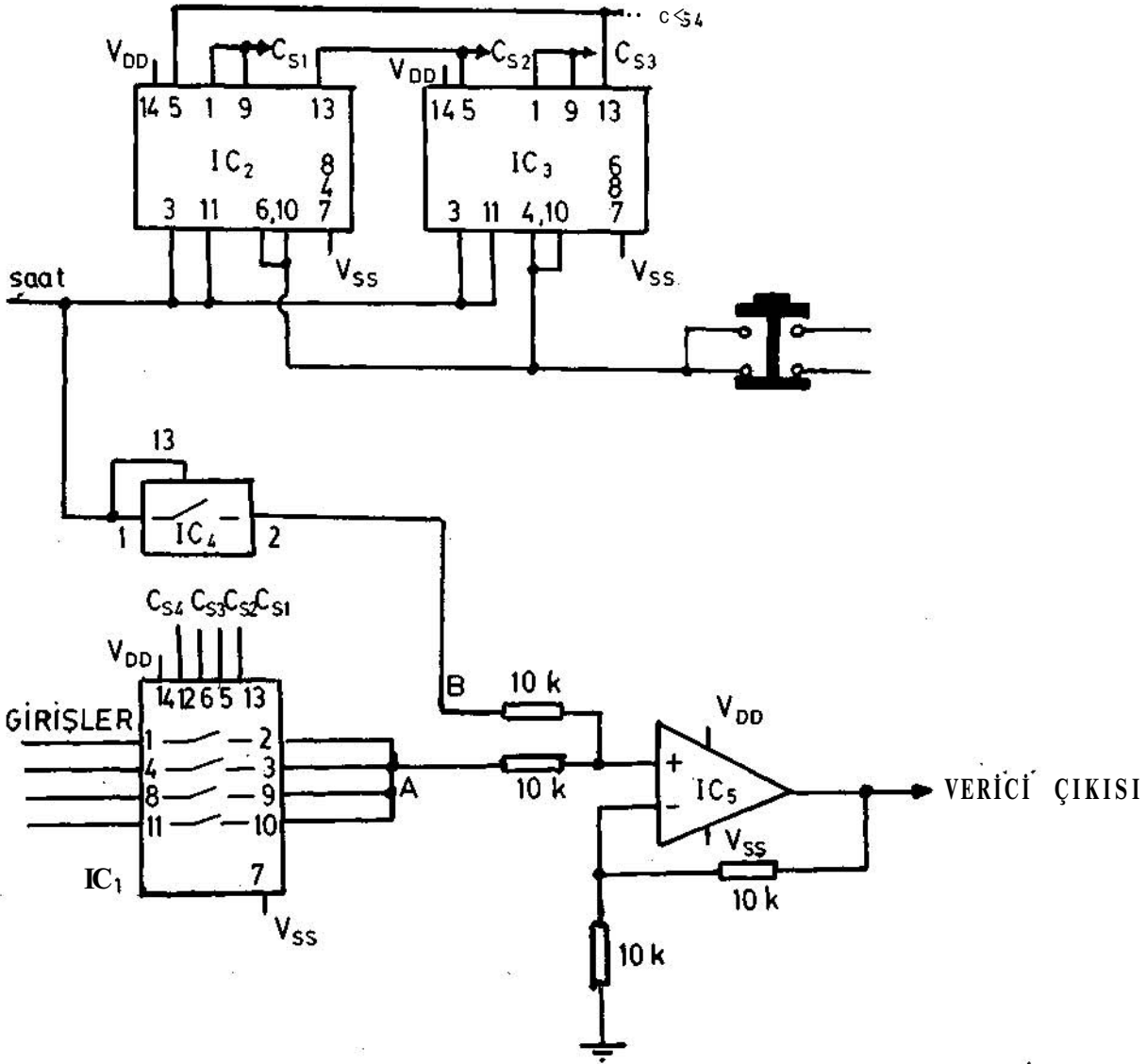
Diyagramdan derhal anlaşılın, sistemde PCM, PDM, PPM gibi ikincil darbe modülasyon yöntemlerinin kullanılmamış olmasıdır. Fakat istenirse bu tür modülasyon türü ve demodülatörler derhal araya sokulabilir.

Aşağıda sistemin tüm ayrıntıları vericiden alıcıya doğru adım adım incelenecektir. Bu amaçla ilk önce Şekil-8'deki eksiksiz verici devresini gözönüne alalım. Girişteki dört kanallı "birleştirici" için, 4066, birbirinden bağımsız olarak çalışan dörtlü elektronik anahtar tümdevresi (IC-j) kullanılmıştır. 4066 anahtar tümdevresi, iletim direncinin düşük oluşu nedeniyle tercih edilmiştir. Anahtarın iletimdeki direnci  $V_{QQ}$  ve  $V_{55}$  besleme gerilimlerine bağlı olup,  $V_{55} = -V_{pp}$  olması halinde, iletim direncinin nispeten sabit kalacağı belirtildiğinden (4066 ya ilişkin katalogtan),  $V_{QQ} = +7,5$   $V_{55} = -7,5$  Volt seçilmiştir.

Anahtar çıkışları, aynı iletim hattı üzerinde birleşmeyi sağlayacak şekilde A noktasında birleştirilmiştir. Şekil 1'deki dönen anahtarın görevi C51, C52, C53, C54 kontrol işaretlerinin Şekil-9'daki gibi zamanlanmış olması ile sağlanabilir. Bu dört kontrol işaretini üreten devre parçası, en son katı girişe bağlı dört katlı bir ötelemeli yazıcı devresinden ibarettir, ötelemeli yazıcı devresi D-tipi çift kararlı ikili devreleri ile gerçekleştirilmiş olup, bu amaçla iki adet 4013 tümdevresi kullanılmıştır. (IC<sub>2</sub>, IC<sub>3</sub>) Şekil-9'daki kontrol etmek için 4013 tümdevresinin yazma (set) ve silme (reset) uçlarına uygun mantık seviyeleri uygulanır. Bizim durumumuz da yazılmak istenen bit dizisi '1000' olacaktır. Bir kere 1000 dizisi yazıldıktan sonra, sisteme saat işareti verildiğinde dizi saat frekansında otelenir. 1000 dizisini üretmek üzere bir puşbuton anahtar kullanılmıştır. Bu anahtar yardımıyla, S<sub>j</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>, R<sub>4</sub> uçlarına, 2 - 2' kontaktları kısa devre iken  $V_{rjD}$  (v<sup>a</sup> ni mantık 1) ve 1 - 1' kontaktları kısa devre iken de (yani mantık 0) V<sub>55</sub> uygulanırsa, ötelemeli yazıcıya 1000 dizisi yazılmış olur, ve böylece verici sistemi çalışmaya başlar.



Şekil 7



Şekil 8

Alıcının vericiden, uzakta bir yerde bulunduğu ve bu yüzden aynı saat üreticiden yararlanamayacağı durumunu düşünerek, alıcı'nın saat işaretini herhangi bir yoldan yeniden üretmesi sağlatılmıştır. Bu amaçla, saat işareti, çoğullanmış işaretlere ilave edilerek alıcıya gönderilir. Bu iş için IC4, IC5 (IC4 anahtar, IC5 işlemsel kuvvetlendiricidir) kullanılmıştır. IC4'ün giriş ve çıkışındaki dalga şekilleri sırası ile Şekil-10a ve 10b de gösterilmiştir. IC5'le gerçekleştirilmiş olan toplama işlevi, sadece dirençlerle yapılabilirdi, fakat A ve B noktalarındaki işaretlerin etkileşimini minimuma indirebilmek için bu yola gidilmiştir. A noktasındaki işaretin Şekil-10c deki gibi olması varsayımı altında verici çıkışındaki toplanmış işaret Şekil-10d de gös-

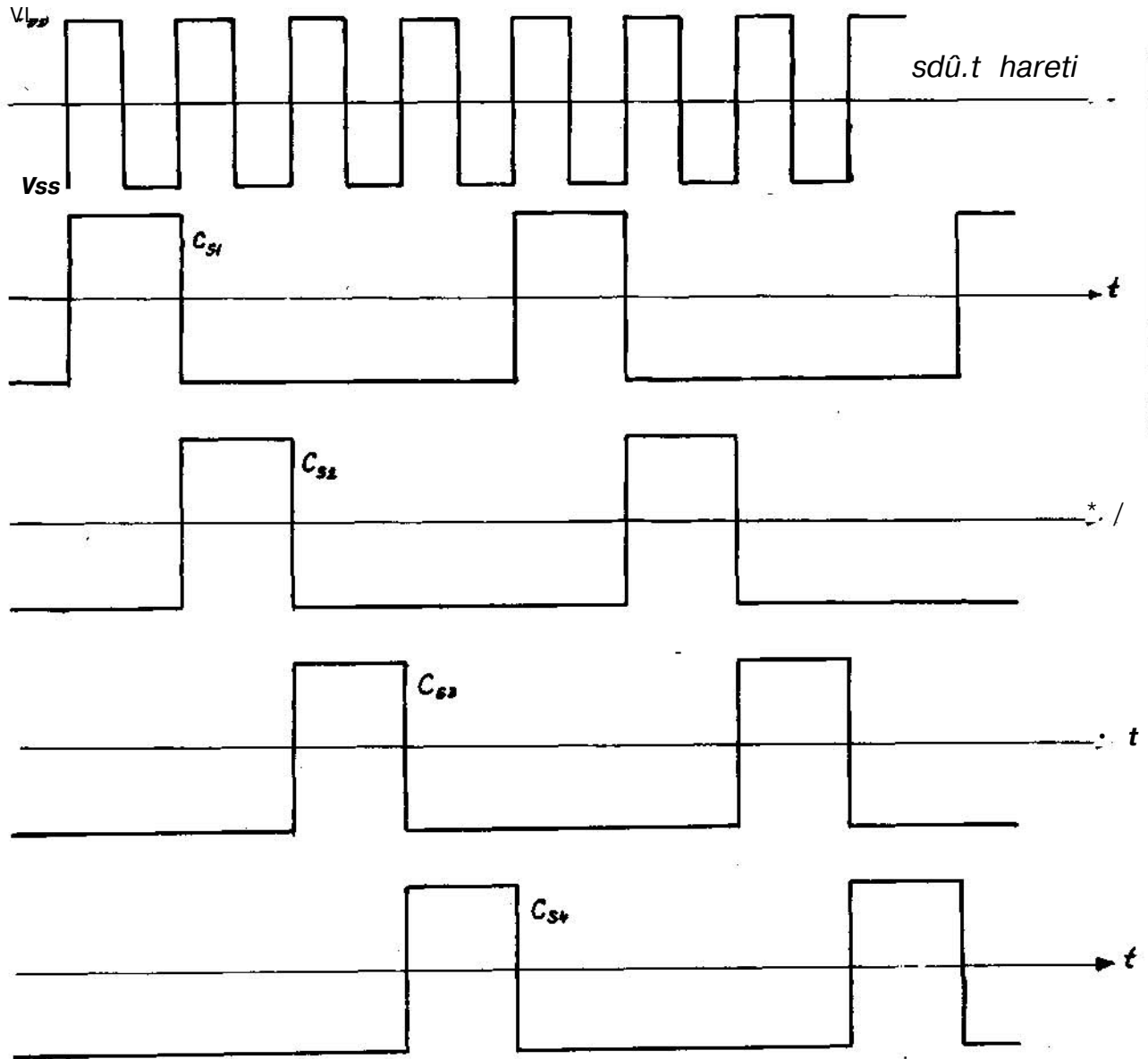
terilmiştir. Şekillerin incelenmesinden şu özellik dikkati çekmektedir ve saat işaretlerinin yeniden üretilmesinde önemli rol oynar.

$(t_0 - t_1)$  zaman aralığında verici çıkışındaki toplam işaret değeri  $V_{DD} + x(t)$  dir ve  $(t_1 - t_2)$  zaman aralığında da  $x(t)$  dir. Yani saat periyodunun ilk yarısında giriş işaretine sabit bir  $V_{DD}$  miktarı ilave olurken, ikinci yarısında sadece giriş işareti mevcuttur. Eğer alıcıda kullanılan mantık kapısının, mantık 1'i mantık 0'dan ayırtmasına ilişkin eşik gerilimini  $V_e$  ile gösterecek olursak,  $|V_{DD} + x(t)| > V_e$  olmalıdır. Böylece devredeki tek sınırlamanın giriş işareti genliğinin belli bir değerin üzerine çıkarılmaması olduğu anlaşılır.

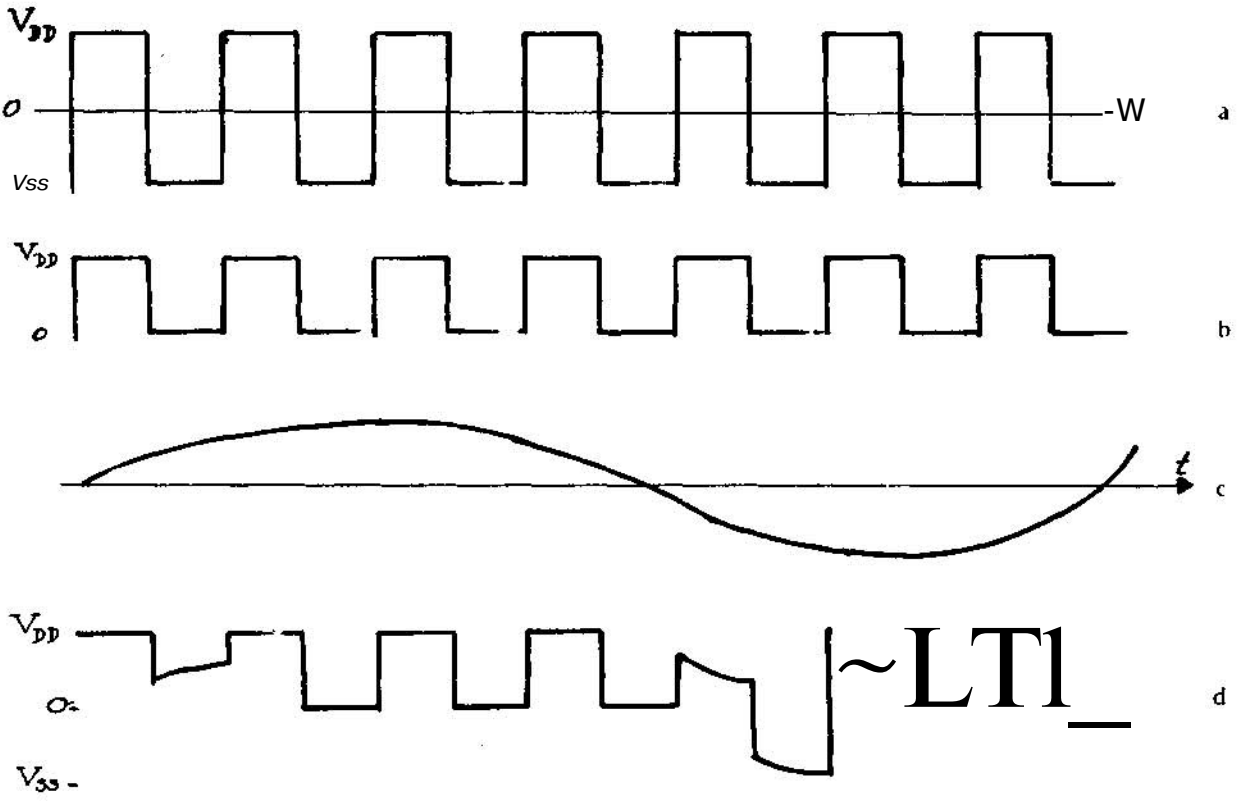
Alicının devre şeması Şekil 11 'de görülmektedir.

ICg-a vericisi ve ICya tek kararlı ikili devresi saat işaretinin yeniden üretilmesi görevini görmektedir. Yeniden üretme işini gerçeklerken, ICg - a, IC7 - a devre parçası, saat periyodunun ilk yarısını mantık 1, ikinci yarısını da mantık 0 olarak niteler. Tabii bunun yapılabilmesi için, giriş işareti genliğinin fazla artırılamaması gerekir. Saat periyodunun ilk yarısı, alıcıda saat işaretini üretme görevi gördükten sonra, bu zaman parçasındaki dalga şekli ortadan kaldırılmalı-

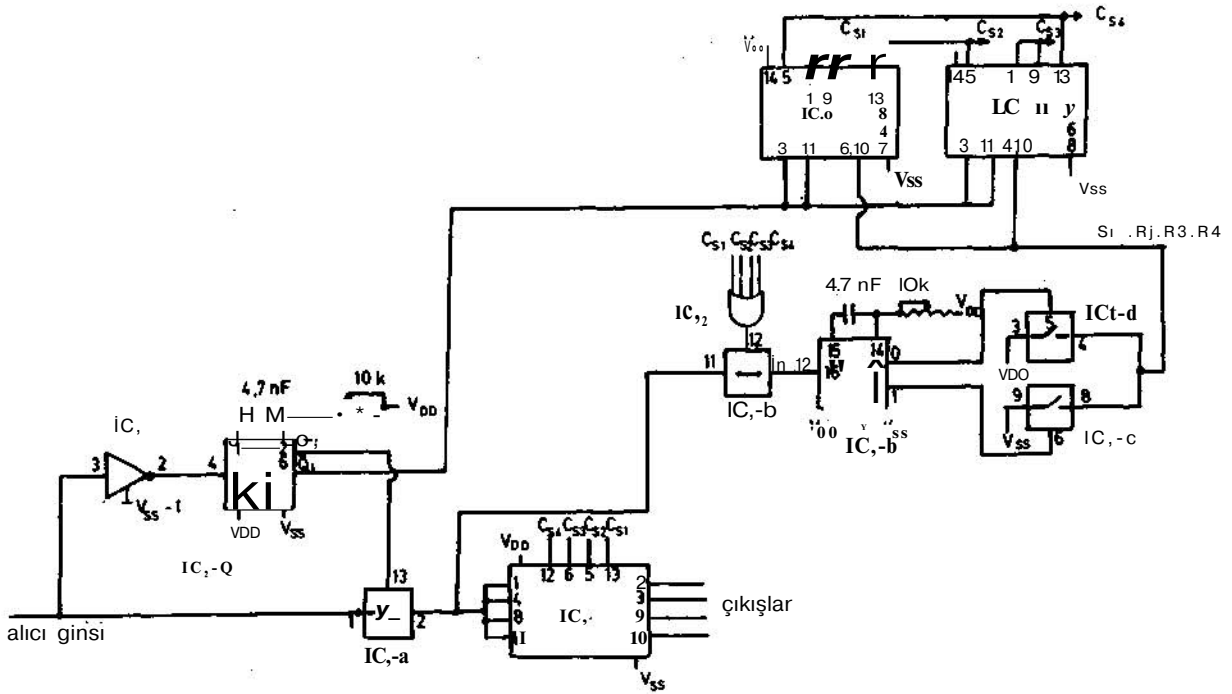
dır. Fakat, sadece giriş işareti dalga şeklinin bulunduğu, saat periyodunun ikinci dilimi aynen korunmalıdır. Saat periyodunun ilk yarısında işaret sıfırlanırken, ikinci yarısındaki aynen geçirilmesi, ICg-a anahtar tümdevresi ile gerçekleşir. Aslında ICy-atümdevresine gerek yokmuş gibi düşünülebilir. Gerçekten de ilk gerçekleştirme sırasında  $\setminus C-j-a$  kullanılmamış ve bu durumda ayırıcı girişindeki dalga şeklinde, sıfırlanmak istenen, saat periyodunun ilk dilimine ilişkin kısımdan, bir miktar sızıntıların olduğu gözlenmiştir. Durum Şekil-12'de gösterilmiştir.



Şekil 9



Şekil 10a , 10b , 10c , 10d



Şekilli



Şekil 12

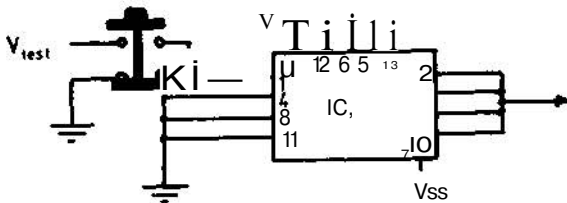
Anlaşılabileceği gibi sözkonusu sızıntılar, asıl saat işareti ile alıcıda üretilen saat işareti arasındaki faz farkından (zaman gecikmesi) kaynaklanmaktadır. Sızıntıyı gidermek için, ICg-a anahtarının açıldığı ve kapandığı süreler, ICg-a tek kararlısı ile ayarlanmıştır. Bu ayar osiloskop üzerindeki dalga şekli gözlenerek yürütülmüştür.

IC9 ayırıcısı, IC-Q ve IC-J kontrol işareti üreten devreleri vericidedekinin aynı olup, her şey bir açıklamaya gerek duyulmayacak kadar açıktır.

Alıcıda üzerinde durulabilecek en can alıcı kısım otomatik olarak eşzamanlamaya yönelik devre parçasıdır. Daha önce belirtildiği gibi, verici bir pusbuton anahtara basılarak çalışmaya başlatılıyordu. O halde, biz, pusbuton anahtara basma işlemini (veya eşdeğerini) ve bu, otomatik çalışma için yeterli olacaktır.

Bu işlemi yapan devre parçası,  $\sqrt{C-j-b}$  tek kararlısı, ICg-c ve ICg-d elektronik anahtarlarından oluşmuştur. Daha önce belirttiğimiz gibi verici bir pusbuton anahtara basılarak çalışmaya başlatılıyordu. O halde biz bu işlemi, otomatik olarak, vericiden gönderilen bir uyarı ile alıcıda da yapabilmemiz gerekir.

Şimdi eşzamanlamanın nasıl kurulduğunu görelim. Verici çalışır hale getirildikten sonra tüm giriş kanalları bir tanesi hariç olacak şekilde topraklanır. Geri kalan giriş kanalı da bir S2 anahtarı üzerinden (pusbuton anahtarı tercih edilmeli) normal olarak toprakta tutulur. Eşzamanlama kurulmak istendiğinde S2 anahtarına basılarak kısa bir süre için alıcıya doğru gerilim ( $V_{test} = 3$  Volt) değeri iletilir. Şekil-13'te bu durum gösterilmiştir.



Şekil 13

S2 ye basıldığında, negatiften pozitive doğru giden bir geçiş durumu (darbenin yükselen kenarı) ICy tek kararlısını tetikler ve böylece vericide pusbuton anahtarının yaptığı görev elektronik anahtarlarla yapılmış olur. Bu şekilde, vericideki ilgili kanallar, alıcıda ilişkili oldukları kanallara ve her defasında aynı biçimde gösterilmiş olur.

Açıktır ki eşzamanlama kurulmaya çalışılırken, ICg-b tek kararlısına giden yolun kesilmemiş olması gerekir. İlk başta, tüm kontrol işaretleri mantık 0 seviyesinde olduklarından IC<sub>12</sub> VEYA DEĞİL (4002) kapısının çıkışı mantık 1 seviyesinde olup, bu işaret ICg-b yi iletimde tutar. Daha sonra eşzamanlama sağlandığında, her defasında kontrol işaretlerinden biri mantık 1 seviyesinde olacağından (sıra ile), VEYA DEĞİL kapısının çıkışı sürekli olarak mantık 0 da kalır. Böylece ICg-b anahtarı kesime gider. Dolayısıyla, normal veri iletimi başladığında, giriş işaretlerinin ICy tetikliyerek, hatalı bir çalışmaya yol açması önlenmiş olur.

Bir kere eşzamanlama sağlandıktan sonra, asıl giriş işaretleri kullanılarak, TDM iletimi başlatılabilir. Her ne kadar alıcı devresinde gösterilmiş olmamasına karşılık, giriş işaretinin kapsadığı frekans bandına göre ayırıcı çıkışlarında alçak geçiren ya da band geçiren filtreler kullanılacaktır.

Devre, otomobillerde, kaset kayıt cihazlarında ve sanayide çeşitli amaçlarla kullanılabilir. Burada, devrenin kullanım alanının kişinin hayal gücü ile sınırlı olduğunu söylemekle yetineceğiz.

#### KAYNAKLAR

1. Fatma Yargıcı, "örnek alma ve tutma, aktif filtre, zaman paylaşımli çoğullama alıcı ve verici devreleri ve ses güç katı modüllerinin gerçekleştirilmesi"; Temmuz 1983 Bitirme ödevi; İ.T.Ü. Elektrik Fakültesi.
2. T.R. Rowbotham; P.B. Johns; CM. Bolton, "Laboratory Course in Telecommunications" Tecquipment Ltd.
3. M.Schwartz, "Information Transmission, Modulation and Noise"; McGraw-Hill, 1980.
4. H.Taub; D.L. Schilling, "Principles of Communication Systems"; McGraw-Hill, 1971.
5. S.Stein; J.J. Jones, "Modern Communication Principles"; McGraw-Hill, 1967.
6. D.Balkan, "PCM Sistemlerin Temelleri ve 30-Kanallı PCM Sistemi"; Elektrik Müh. Dergisi, 1981/2,276,26.