

# Dolaylı Örneksele/Sayısal Çeviriciler\*

Yazan :  
Hermann SCHMH

Çeviren :  
Kamil SAMÖt

## ÖZET

İçinde yaşadığımız dünya, esas olarak Ornekeeldir. Uzaklık, hız, basınç gibi doğal olayların değişimi süreklidir. Fakat dünyada denetim artık örneksel fonksiyonlarla değil, yaygın olarak sayısal bilgisayar ve sayısal denetim sistemleri ile yapılmaktadır. Gene de birçok örneksel büyüklükleri sayısala çevirememekteyiz. Bu yazıda, örneksel büyüklükleri sayısal büyüklüklere çeviren sistemlerin, son teknolojinin ışığı altında, yapılan bir incelenmesi anlatılmaktadır.

## SUMMARY

The world we live in is essentially an analog domain. The variables of distance, speed, pressure and so on are naturally occurring quantities that change continuously. But controlling this real world is becoming less of an analog function, now that digital computers and digital control systems are finding wide spread use. Still, we cannot change everything from an analog to digital domain in this article there are some A/D converting systems described in the light of modern technology.

## 1. GİRİŞ

Paralel ve seri geri beslemeli örneksel/sayısal çeviriciler aynı zamanda direkt kodlayıcı olarak anılırlar. Zira bu çeviriciler örneksel işaretleri doğrudan doğruya sayısal işaretlere çevirirler. Burada açıklanacak olan çeviriciler ise dolaylıdır. Çünkü bunlar önce örneksel işareti yan sayısal yarı örneksel bir ara işarete, sonra ikinci adımda bütünüyle sayısal işarete çevirirler. Dolaylı örneksel/sayısal çeviricilerin birçok üstünlükleri vardır. Bunlardan özellikle önemli olan devre basitliğidir. Çoğunlukla kritik olmayan elemanlar kullanılırlar ve seri geri beslemeli çeviriciler gibi yüksek hız problemi göstermezler. Sakıncası, yalnızca hız çevirme oranında çalışmalarındadır.

1 MHa saat darbeleri ile O'dan  $10^{12}$ 'ye kadar sayma işlemi 4096  $\mu$ s ister. Dolayısı ile çevirme oranı 250/s dir. Bu oran bir çok kontrol işlerinde yeterlidir. Eğer bu oranı arttırmak istersek günler düşünülebilir; (f.) saat darbeleri frekansını arttırmak veya sayısal kelimedeki bitleri azaltmak.

1 MHa saat darbeleri ile O'dan  $10^{12}$ 'ye kadar sayma işlemi 4096  $\mu$ s ister. Dolayısı ile çevirme oranı 250/s dir. Bu oran bir çok kontrol işlerinde yeterlidir. Eğer bu oranı arttırmak istersek günler düşünülebilir; (f.) saat darbeleri frekansını arttırmak veya sayısal kelimedeki bitleri azaltmak.

\* Electronic Design dergisi C. 16, S. 26, s. 57 - 64, Aralık 1968 sayısından çevrilmiştir.

## 2. BAŞİT EĞİM-KARŞILAŞTIRICI ÖRNEKSEL/SAYISAL ÇEVİRİCİ

Eğim ile bir çoğu doğru gerilim seviyesini karşılaştırma yöntemi dolaylı bütün kodlayıcılarda kullanılır. Bu yöntem çok basit ise de, şimdiye kadar fazla kullanılmamıştır.

Bunun nedeni genel olarak eğim-karşılaştırma yönteminin

- çok yavaş olması,
- gürültüye duyarlı olması,
- integrasyon kapasitesi hassaslığının fonksiyonu bir doğruluk vermesidir.

Fakat aşağıda yapılan açıklamalarla bu kabulün bugün doğru olmadığı görülecektir.

Basit bir eğim-karşılaştırmacı örneksel/sayısal çevirici ilk örneksel işaret  $V_x$ 'i,  $t$ , darbe genişliğine çevirir. Sonra bu darbe «genişliğini,  $X_p$  ikili sayıya çevirir (Şekil 1a).  $V_s$ , gerilimi darbe genişliğine çevrilirken, bir doğrusal eğim fonksiyonu veya testere dişi gerilimi ile mukayese edilir:  $V_s = t V_R$  (Şekil 1b). Eğer  $V_x$ ,  $V_s$ 'ten küçük ise karşılaştırmacı devrenin çıkışı «sıfır»dır ve eğer  $V_x$ ,  $V_s$ 'ten büyükse çıkış mantıksal «bir»dir. Testere dişi gerilimi periyodik olduğu için  $t_x$  de tekrarlanan bir dalga şekline sahiptir.  $t_m$  ile  $V_s$  arasındaki doğrusal bağıntı kolayca bulunabilir. Karşılaştırmacı çıkışı  $O$ 'dan  $I$ 'e geçtiği anda şu eşitlik yazılabilir:

$$v_x = t_x v_R$$

ve buradan

$$t_x^* = V_x / V_R$$

bulunur.

Burada  $V_R$  referans gerilimi olup sabittir,  $t_x$  darbe genişliği işaretinden  $X_p$  paralel ikili sayısına geçmek için genel olarak  $t_x$  zamanı zarfındaki  $f_c$  saat frekansı eayılır.

Şekil 1a'daki eğim-karşılaştırmacı örneksel/sayısal çevirici üç kısıma ayrılır. Eğim üretici, karşılaştırmacı devre ve sayısal devre. Eğim üretici; bir doğru gerilim yükseltici, bir örneksel anahtar, (bir direnç ve bir kapasiteden ibarettir. Bu elemanlar sıfırlanabilen bir integratör şeklinde bağlanmış,  $V_R$  sabit referans gerilimini devamlı olarak integre eder. Dolayısı ile yükselticinin çıkışındaki  $V_s$  gerilimi,  $S_1$  anahtarı açık kaldığı müddetçe doğrusal olarak artar.  $S_1$  kapandığı anda  $C$  integrasyon kapasitesi boşalır ve  $V_s$  çıkış gerilimi  $S_1$  kapalı kaldığı müddetçe sıfırda durur. Şekilde görüldüğü üzere  $S_1$  anahtarı 12 bitlik sayıcının bir katı tarafından kontrol edilir ve  $T_1$  periyodu boyunca kapalı tutulur.

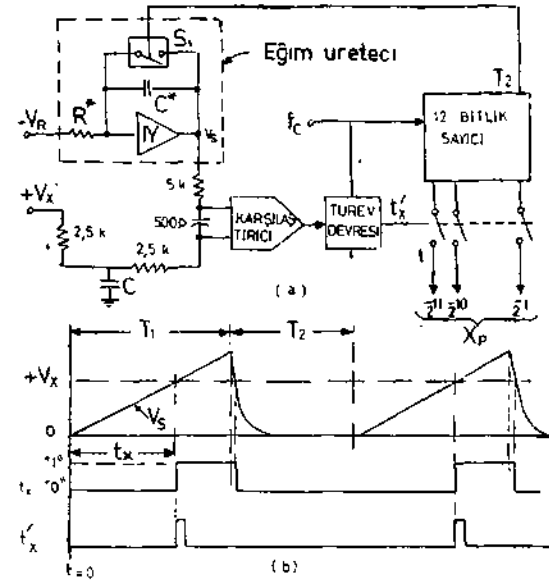
Testere dişi geriliminin  $V_s$  genişliği  $V_R$  ve zamanla doğru,  $R$  ve  $C$  ile ters orantılıdır. Dolayısı ile  $R$  ve  $CT$ 'nin (şekilde \* ile işaretli) büyüklükleri önemli ve hassastır.

Sıfırlama işlemi sıfır zaman içinde olmaz, belli bir zaman ister. Bu zaman yükselticinin sönmeye kabiliyetine, integre eden kapasitenin değerine ve anahtarın «kapalı\* direncine bağlıdır. Sıfırlama işleminin  $f_c$  saat darbe periyodundan ( $T_c$ ) az olması istenir. Fakat bu çok kısa bir zaman olduğundan  $T_2$  periyodu bu iş için ayırılmaz. Şekil 1a'daki çevirici 10 MHz saat darbeleri ile çalışabilir.

Sayma  $2^n$  kadarsa  $2^{12} = 4096$ 'dır ve 10 MHz  $0.1 \mu s$ 'e karşılık olduğundan  $2^{12}$  yaklaşık olarak 400  $\mu s$ 'de sayılır; yani tekrarlama periyodu da 400  $\mu s$ 'dir Bu durumda  $R$  ve  $C$  için:

$$V_s \max = \frac{V_R T / 2}{RC}$$

yazılır



Şekil 1.



Karşılaştırıcının iki girişten birine bilinmeyen  $V_x$  gerilimi, diğerine de  $V_n$  testere dişi gerilim uygulanır.  $V_x$  gerilimi  $V_n$ 'e eşit ve 'büyük olduğu andan itibaren karşılaştırıcı çıkışında bir konum değişikliği olur, bu türetici çıkışında dar bir darbe şekline dönüştürülür. Bu darbe 12 bitlik ana sayıcı üzerindeki sayıyı 12 bitlik birleştirme devresine aktaracak anahtarları kapar. Ana sayıcı 00...00'dan 11...11'e kadar devamlı olarak sayar. Burada 0...0'a maksimum negatif referans gerilimi, 11...11'e maksimum pozitif referans gerilimi ve 100...00'ada sıfır gerilimi tekabül eder. Ana sayıcı 11...11'e ulaştıktan sonra kendiliğinden 00...00'a sıfırlanmalıdır.

Ana sayıcıdan alınan sayısal işaretleri bir sayısal/örneksel çevirici testere dişi gerileme çevirir. Uygun bir öngerilim ile sayısal/örneksel çevirici  $-V_R$  den  $+V_R$ 'ye kadar değişim yapılabilir.

Ana sayıcıda sayılar zamanla doğrusal olarak arttığından istenen bir anda geçen zamanla orantılı olarak bir sayı 12 bitlik biriktiriciye aktarılır. Bu aktarma  $t$ 'in anahtarları kapaması ile olur. Şekil 1b'den görüldüğü üzere  $V_x = 0$  olsa  $t_x = 0$  ve  $t^{\wedge}$  de  $t=0$  anında çıkacağından Şekil 3'teki ana sayıcı üzerine hiç bir sayı yazılmayacağı gibi biriktiriciye aktarılan sayı da olmayacaktır.  $V_x = +V_R$  olsa  $t_x$  maksimum değerde olacak ve  $t_x$  geçitleri kapayana kadar ana sayıcı 11...11'i saymış olacak ve bu biriktiriciye aktarılacaktır.

İyi bir hassasiyet ve hız için direnç-basamaklı veya çevrik basamaklı sayısal/örneksel çeviricileri kullanılabilir. Yalnız sayısal/örneksel çeviricisi çıkışındaki n'likselteç, n adet karşılaştırıcıya akım verebilecek yetenekte olmalıdır. Diğer karşılaştırma ve türev alma devreleri bir evvelki çeviricinin benzeridir. Toplam doğruluk  $\pm 0,05$  kadardır.

## i. YUKARI/AŞAĞI İNTEGRASYONLU ÖRNEKSEL/SAYISAL ÖZVİRİCİ

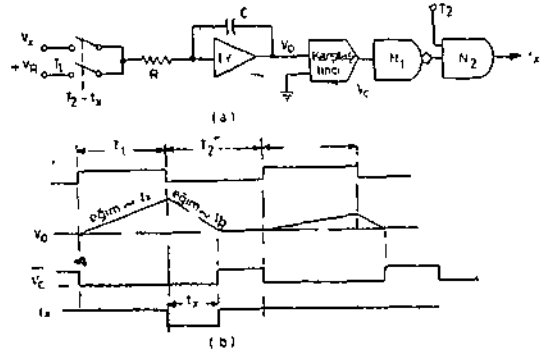
Yukarı/aşağı integrasyon çeviricisi bugün birçok sayısal voltmetrelerde kullanılan ve en ileri örneksel/sayısal çevirme yöntemidir. İntegrasyon. RC zaman sabiti büyüklüğüne bağlı olan  $t_x$  darbe genişliğinin tesirini giderir. Dolayısıyla ile integrasyon kapasitesi  $t_x$ 'in değerine bağlı olma dan büyük sınırlar arasında değişebilir. Ayrıca yukarı/aşağı integrasyon örneksel/sayısal çeviricisi diğer eğim-karşılaştırıcı çeviricilere nazaran gürültüden daha az etkilenir. Çünkü  $V_x$  bağıl olarak uzun bir zamanda integre edilir. Diğer bir üstünlük şudur :  $t_x$  integrasyon kapasitesi üzerindeki ilk (evvelen kalan) gerilime bağılı değildir. Yani gerilim, veya akım dengesizliği karşılaştırıcıda bir hata yaratmaz. Bu çeviricinin diğer bir üstünlüğü herhangi bir dengesizliğin, oldukça basit bir kayma düzeltici (offset-correction) devre ile düzeltilebilmesidir.

Bu yukarı/aşağı integratörün kalbi Şekil 4'te basitçe çizilen bir darbe-genişlik modulatörüdür. Bu modulatörde  $V_x$  gerilimi T, sabit zamanı zarfında gayet hassas olarak integre edilir. Bu sabit  $T_j$  periyodu esnasında integratörün  $V_0$  çıkışı zamana göre doğrusal değişir. Eğer  $T_1$  zamanı zarfında  $V_x$  sabit ise,  $T_x$  zamanı sonunda çıkış :

$$V_{01} = V_H - V_x \frac{T}{RC}$$

olur.

Burada  $V_0$  integratörün üstündeki ilk gerilimdir.  $T_2$  periyodu esnasında  $V_x$ 'e zıt yöndeki  $V_R$  referans gerilimi; integratörün çıkışı tekrar  $V_0$  olana kadar integre edilir, tşte bu ikinci işlem zamanı arzu edilen  $M$ lgii bize verebilecek zamandır.



Şekil 4.

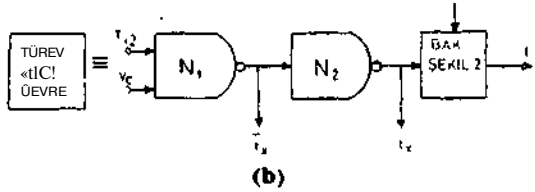
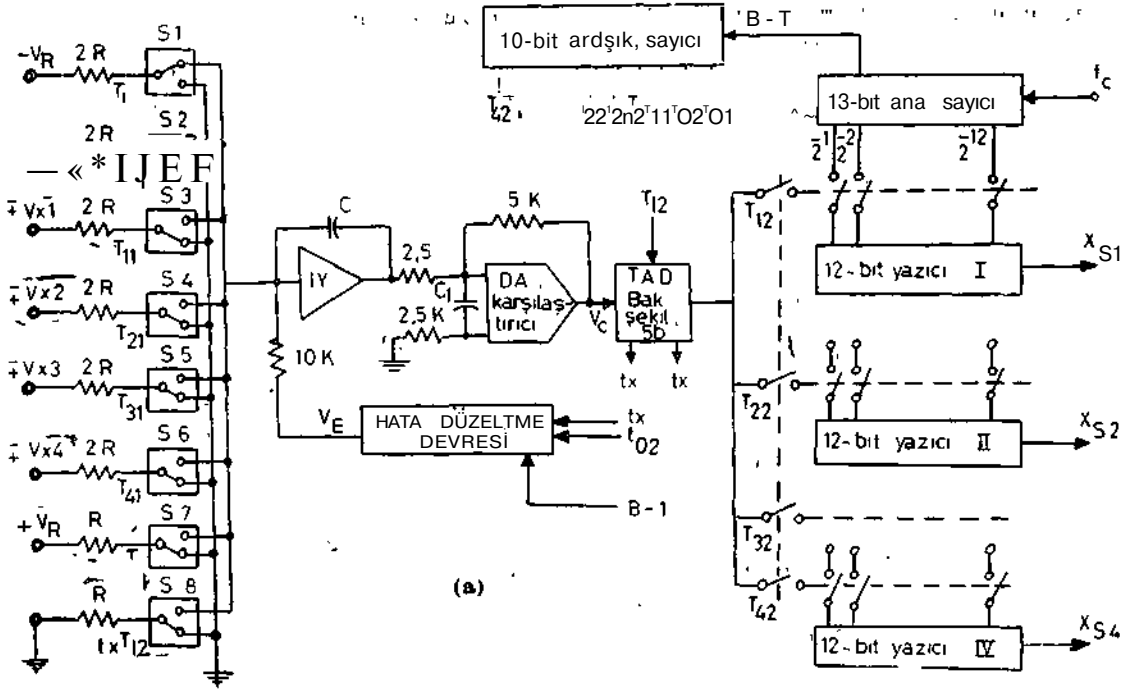
Bu ikinci integrasyon sonucu

$$V_{02}(t) = V_{01}(T_1) - \frac{1}{RC} \int_0^t V_R dt$$

veya  $t = t_x$  için  $V_{02}(t_x) = V_0$  olduğundan

$$t_x = T_1 \frac{V_0}{V_R}$$

bulunur.



Şekil 5.

Görülüyor ki burada  $t_x$  sadece doğrusal olarak  $V_x$  'e bağlı kalmıyor, RC zaman sabitinden ve ilk integratör geriliminden de bağımsız kalıyor. Şekil öte dört kanallı bir yukarı/aşağı integratörlü örneksel/sayısal çeviricisi görülmektedir. Bu çok kanallı sistemin çalışması tek kanallının çalışma prensibinin aynıdır.

$V_{x1}, V_{x2}, \dots, V_{x4}$  dört giriş işaretini, örneksel kısım, dört  $t_{x1}, t_{x2}, \dots, t_{x4}$  darbe genişliği şekline sokar. Bu 4 işlem zamana göre sıra ile yapılır. Sonra sayısal kısım bu dört darbe genişliği işaretini dört seri ikili  $x_{s1}, x_{s2}, \dots, x_{s4}$  işaretlerine çevirir.

Ana (master) ve ardışık (sequence) sayıcıları zamanla ve kontrol işaretlerini üretirler. Bunlar hangi giriş işaretinin çevrileceğini tayin eder

ve bu çevirme işlemine bağlı bütün geçitleri açıp kapatırlar. Böylece yukarı/aşağı integratör ile ana sayıcı eşzamânlanmıştır. Doly'ası ile ana sayıcının istenen belli bir andaki çıkışı,  $t_x$  darbe genişliği işareti ve  $V_x$  örneksel giriş işaretine bağlıdır.

$V_{x1}, \dots, V_{x4}$  çevirecek dört zaman periyoduna ( $T_1, \dots, T_4$ ) ek olarak  $t_x$  periyodu daha vardır ki bu zaman periyodu zarfında giriş işareti sıfırdır. Bu zaman esnasında darbe genişliği  $t_{x0}$  dir ve bu bir referans darbe genişliği ile ( $F_j^p$ ) mukayese edilir.  $T_{REF}$  ile  $t_x$  arasındaki fark bir hata gerilimi yaratır ve bu bir kapasite üzerinde bekletilir.  $T_{x1}, \dots, T_{x4}$  periyodları esnasında kaçma hatasını düzeltmek için integratörün girişine uygulanır.

Şekil 6'da zaahan eksenine göre dalga şekilleri verilmektedir. Görüldüğü gibi her bir çevirme periyodu iki kısma ayrılmıştır. Birinci yarıda giriş işareti, ikinci vanda ise  $V_R$  referans gerilimi integre edilir. Şekil aynı zamanda ana sayıcının ihtiva ettiği değerleri 12 bit biriktirme kaydedicisine aktarma anlarını da göstermektedir.

yukarı/aşağı İntegratör çevircisinin örneksel kısmı Şekil 4'teki modülatörün genişletilmiştir. Şekil 5'teki giriş dirençleri çeşitli girişleri ve referans gerilimini akıma çevirirler. Çeşitli girişler S, örneksel anahtarları ile integratörün girişine 10 bitlik ardışık sayıcı ile seçilerek bağlanırlar. Giriş dirençleri aynı zamanda skala değiştirmekte kullanılır; dolayısı ile istenen toir değerdeki girig, çevirici tarafından kabul edilebilir, sadece akımın büyüklüğü önemlidir. Mesele bu akım değeri 100  $\mu$ A olsun isteniyor ise; tatbik edilen gerilimin maksimum değeri  $V_x = 100$  V ise,  $R = 1$  Mj ve eğer  $V_x = 10$  V ise,  $R = 100$  k $\Omega$  olmalıdır.

Toplam doğruluk bu ölçek değiştirme dirençlerinin doğruluğuna bağlıdır. Mutlak doğruluk istenmemekte fakat çeşitli giriş dirençleri arasındaki oranın sabit olması istenmektedir.

J—FET veya MOSFET akım anahtarları bu iş için gayet uygundur. Bu anahtarların çoğu 10 bit ardışık sayıcı çıkışları ile kontrol edilir. Gösterilebilir ki bu çevircinin çalışması bu anahtarların kapalı-direncine bağlı değildir. Sadece bu kapalı-dirençlerinin ne kadar iyi derecede karşılaştırılmış olmasına bağlıdır. Bu  $R_{kapalı}$  dirençlerinin birbirlerinden maksimum farkı,  $R_s$  ölçek değiştirme direncinin % 0,01'inden az olmalıdır.

İntegrasyon yükseltecinden istenen tek önemli şey yüksek kazanç (10.000'den büyük) ve integrasyon kapasitesini sürebilme kabiliyetidir. Bu kapasite genel olarak 5.000 ile 20.000 pF arasında olabilir.

İntegrasyon kapasitesinin gerilim sabiti küçük ve kaçak direnci büyük olmalıdır. Küçük sıcaklık katsayılı ve çok hassas olmasına lüzum yoktur.

Şekil 5'teki karşılaştırmalı devre A 710 monolltik karşılaştırıcı etrafında kurulmuştur. Sayısal kısım ise bir ana sayıcı, bir ardışık sayıcı, dört çıkış yazıcısı, bir türev alıcı devre ve bir çıkıştan ibarettir.

Yukarı/aşağı integratörün başlıca şu üç hatası vardır :

- Dengesizlik (ofüset) hatası,
- Doğrusallık hatası,
- Kazanç hatası.

Dengesizlik hatasını meydana getiren iki ana kaynak vardır, bunlar akım ve gerilim dengesizlikleridir. Diğer dengesizlik hataları ise mantık devrelerinin ve karşılaştırıcı önündeki süzgecin geciktirmeleridir.

Sonlu kazanç ve sonlu frekans band genişliğinden dolayı yukarı/aşağı integratörde bir doğrusallık hatası meydana gelebilir.

Son olarak referans gerilimindeki değişimler, giriş dirençleri oranındaki değişimler ve örneksel anahtarların kapalı dirençlerindeki farklar bir kazanç hatası meydana getirirler. % 0,05 gibi

yüksek bir doğruluk elde etmek için yukarıda sayılan üç parametre devamlı kontrol edilmelidir.

## KAYNAKLAR

- H. Schmid; «Practical A/D Conversion» Electronic Design, Oct. 24, 1968, 49-88.
- R. W. GÜbert; «Pulse Train Encoding Apparatus», U.S. Patent No. 3074057, Jan. 15. 1963.
- P. M. Garratt; «Investigation of Integrated Circuit A/D Converters for Digital Transducers», General Electric TIS Report 67C116, March, 1967.
- H. Schmid; «Digital Meters for Under \$/100 Electronics», Nov. 28, 1966, 88-94.
- «Digital Volt-Ohm-Ratiometer, Model 7110», Technical Specifications, Fairchild Semiconductor Co., Mountain View, Calif.
- P. Barr; «Voltage to Digital Converters» Electromechanical Design. Systems Designers' Handbook, Jan. 1964.
- F. D. Daley; «Analog-to-Digital Conversion Techniques», Electronic Technology, May 1967
- «Analog to Digital Converters Catalog», Computer Labs, Greensboro, N. C, 1967.