

TIQ TABANLI 8 BİT FOLDING A/D DÖNÜŞTÜRÜCÜ TASARIMI

M. Fatih TEKİN¹ Ali TANGEL² Oktay AYAR³ Anıl ÇELEBİ⁴

^{1,2,3,4}Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Mühendislik Fakültesi
Kocaeli Üniversitesi, 41040, Kocaeli

¹e-posta: mft@kou.edu.tr ²e-posta: atangel@kou.edu.tr
³e-posta: oktay@kou.edu.tr ⁴e-posta: anilcelebi@kou.edu.tr

Anahtar sözcükler: CMOS Flash ADC, Folding ADC, TIQ

ABSTRACT

This study introduces TIQ and folding techniques for analog-to-digital converter applications. The problems encountered in designing full-flash ADC, are eliminated using TIQ technique. It is difficult to adjust input signal quantization levels with TIQ technique for resolutions more than 7 bits. This problem is eliminated with folding technique. The study also includes a novel approach in traditional folding architecture.

1. GİRİŞ

Günümüzde dijital dünyanın bir çok alanında analog dijital dönüştürücüler hayati önem taşımaktadır. Gerçek dünya ile iletişim kurulmak istenildiğinde girişler ve çıkışlar analogdur. Bu girişleri işlemek için analog ve dijital teknikler kullanılarak veri işleme sistemleri oluşturulmuştur. Rekabet, teknolojideki gelişmeler ve sayısal sinyal işleme vb. gibi alanlardaki gereksinimler nedeniyle bu sistemlerin performans kriterleri yüksek seviyelere ulaşmıştır [7].

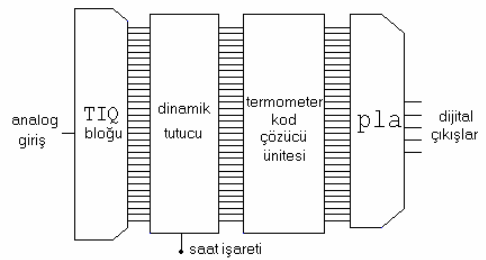
Genel olarak bir analog dijital dönüştürücü bir ön filtre, örnekleme tutma devresi, kuantalayıcı ve kodlayıcıdan oluşur. Ön filtre, yüksek frekanslarda analog sinyalin örtüşmesini önlemek için gereklidir. Ön filtreyi bir örnekleme tutma devresi takip eder. Bu devre A/D dönüştürücünün girişine dijital çıkış koduna eşit sürede sabit bir analog giriş sinyali iletilmesini sağlar [4].

2. TIQ TABANLI FLASH A/D DÖNÜŞTÜRÜCÜ

Yüksek hızlı A/D dönüştürücü yapmanın en basit yolu full-flash A/D dönüştürücü yapısını kullanmaktır. 8-bite kadar olan çözünürlüklerde karşılaştırıcı sayısının makul sayılabilecek düzeyde kalması ve karşılaştırıcıların ofset voltajlarının kritik düzeylere inmemesi nedeniyle uygun bir çözüm olarak görülebilir [1]. 8-bitten yüksek çözünürlüklerde ise;

karşılaştırıcı sayısının artması nedeniyle, güç tüketimi ve alan açısından etkili bir yöntem değildir. Ayrıca referans gerilimleri bir direnç dizisi yardımıyla elde edilmektedir. Bu yüzden karşılaştırıcı kısmı full-flash mimaride en kritik bölümdür. TIQ (Threshold Inverter Quantization) tekniği ile full-flash A/D dönüştürücülerdeki karşılaştırıcı tasarımı problemi halledilmiştir. Ayrıca direnç dizisi ortadan kalkmaktadır [2-3-5-6].

TIQ tabanlı 5 bit flash A/D dönüştürücü; TIQ, dinamik tutucu, termometre kod çözücü ve öncelik kodlayıcı biriminden oluşmuştur. Şekil 1'de de görüldüğü gibi TIQ çıkışları dinamik tutucuda tutulduktan sonra termometre kod çözücü birimine iletilir. Kod çözücünün çıkışları ise öncelik kodlayıcıya iletdikten sonra çıkışlar sayısal olarak alınır.

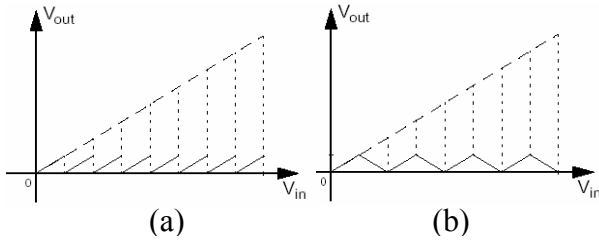


Şekil 1. TIQ tabanlı 5 bit flash A/D dönüştürücünün gösterimi.

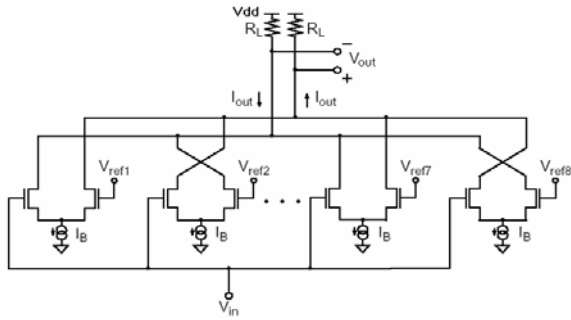
3. FOLDING DEVRESİ

Bu çalışmadaki folding A/D dönüştürücü; katlama işleminin yapıldığı analog ön işleme devresi, 3-bit hassas A/D dönüştürücü, 5-bit kaba A/D dönüştürücüden oluşmaktadır. Giriş işareti; folding devresi ve 5-bit kaba dönüştürücünün girişine bağlanmıştır. Folding devresinin çıkışındaki işaret 3-bit hassas dönüştürücüye iletdikten sonra 3-bit ve 5-bit dönüştürücülerin çıkışlarından eşzamanlı bir

şekilde işaret alınmaktadır. Folding mimarisinin tümüyle paralel olma özelliği buradan gelmektedir. Folding devresinin idealde olmasını istediğimiz transfer eğrisi Şekil 2.a'da verilmiştir [8]. Bu transfer eğrisini, özellikle de eğimlerden sonraki dik inişleri herhangi bir analog devre ile elde etmek imkansızdır. Bunun için Şekil 2.b'deki gibi düşünülebilir [1]. Folding sinyallerini üretmek için Şekil 3'deki devre kullanılmıştır. Devre 8 fark yükseltici çiftinin tek ve çift numaralı diferansiyel çıkışlarının çapraz bağlanması ile oluşmuştur. Bunların girişleri dönüştürücü giriş gerilimine ve bir direnç dizisi tarafından oluşturulmuş referans gerilimlerine ($V_{ref1} \dots V_{ref8}$) bağlıdır.

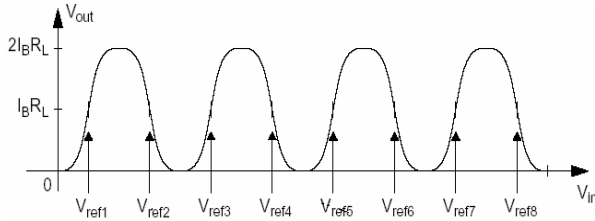


Şekil 2. Folding devresinin transfer eğrileri.

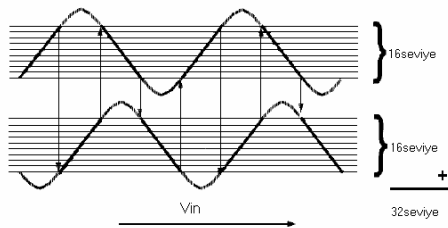


Şekil 3. Bir folding yükseltecin basit gösterimi

Şekil 3'teki devreye ait giriş gerilimine göre farksal çıkış gerilimi Şekil 4'de çizilmiştir.



Şekil 4. Pratik folding devresinin transfer eğrisi.

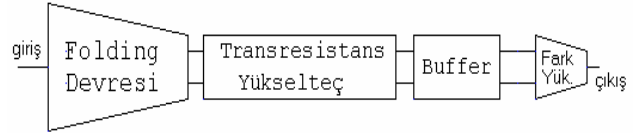


Şekil 5. Her biri 16 seviyeli iki folding işareti

Şekil 4'deki folding işaretlerinin tepelerinin yuvarlak olması probleminden kurtulmak için Şekil 5'deki ikili katlama yaklaşımını düşünebiliriz. Şekil 5'de giriş işaretine göre çizilmiş farklı ofsetlerde iki tane folding sinyali vardır. Eğer bir folding işareti doğrusal olmayan bölgesinde ise, diğeri doğrusal bölgesindedir. Eğer doğrusal bölgesinde ise, diğeri doğrusal olmayan bölgesindedir. Böylece 32 seviyeli iyi bir folding işareti yerine, her biri 16 seviyeli 2 folding işareti alabiliriz. Bu düşünce her sinyal için sadece bir seviyenin algılanması ile 32 folding işaretine kadar genişletilebilir [1].

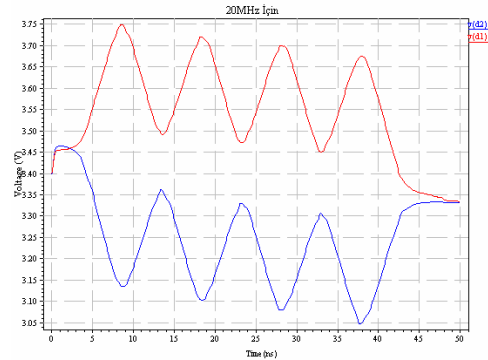
Folding Devresinin Pratik Uygulaması:

Folding devresinin çıkış düğümlerinde oluşan kapasitif etkilerden dolayı yüksek frekanslarda devrenin çıkışı Şekil 4'deki gibi olmamaktadır. Bu etkileri gidermek için devre Şekil 6'daki gibi düzenlenmiştir [1]. Yeni oluşan sistem fark yükselteçleri çiftlerinden oluşan bir folding devresi, kapasitif etki gidermek için düşünülmüş transresistans yükselteç, empedans uyumlayıcı buffer ve bir fark yükseltecinden oluşmaktadır.



Şekil 6. Folding bloğu.

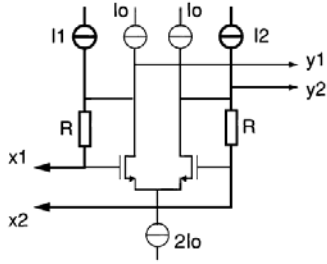
Şekil 3'deki devreye ait olan transient analiz 20 MHz'lik giriş işareti için Şekil 7'de gösterilmiştir. Şekil 7'deki 20 MHz'lik AC analiz için devrenin çıkış düğümlerindeki kapasitelerden dolayı zaman ilerledikçe bir bozulma görülmektedir.



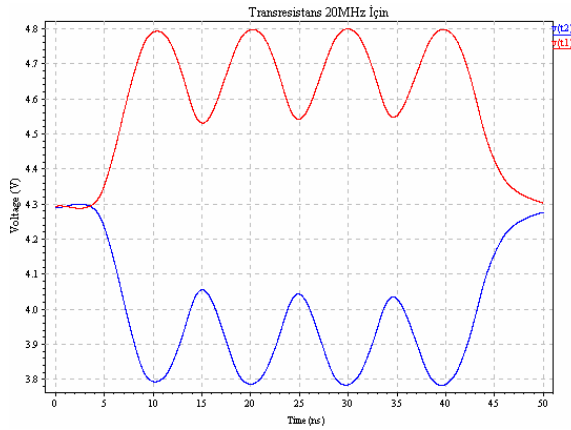
Şekil 7. Folding devresinin 20MHz'lik giriş işaretine cevabı.

Şekil 7'de görülen bu bozulmayı bant genişliği sınırlaması olarak tanımlarız. Bu sorundan kaçınmak için transresistans yükselteç kullanılmıştır. Transresistans yükseltecin iç yapısı Şekil 8'de görülmektedir. Transresistans yükselteç eklendikten sonra devrenin transient analiz (20 MHz'lik giriş işareti için) sonucu Şekil 9'da gösterilmiştir. Ayrıca

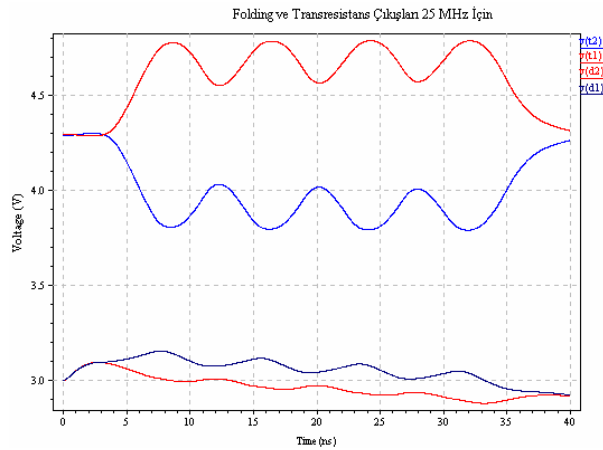
Şekil 10'da 25 MHz için folding ve transresistans yükselteç çıkışları karşılaştırılmıştır.



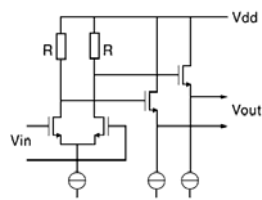
Şekil 8. Şekil 6'da kullanılan transresistans yükseltecin iç yapısı.



Şekil 9. Transresistans yükselteç devresinin 20MHz'lik giriş işaretine cevabı.



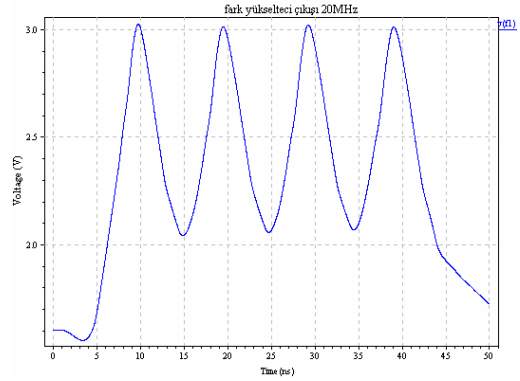
Şekil 10. Folding ve transresistans yükselteç devresinin 25MHz'lik giriş işareti için çıkışlarının karşılaştırılması.



Şekil 11. Şekil 6'daki buffer devre şeması.

Şekil 6'daki buffer devresinin asıl görevi, empedans uyumlamayı sağlamaktır. Devrenin iç yapısı Şekil 11'de gösterilmiştir.

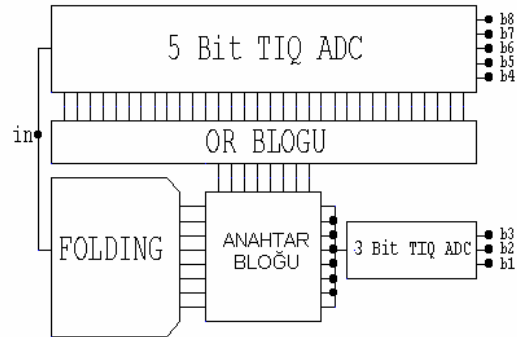
Buffer'ın çıkışına ise çıkış işaretinin farkını alan fark alıcı devre konulmuştur. Böylelikle çıkış işareti TIQ devresine iletilebilecek duruma gelmiştir. Devrenin transient analiz (20MHz'lik giriş işareti için) sonucu Şekil 12'de verilmiştir. Fark yükseltecinin çıkışı 3-bit TIQ A/D dönüştürücünün girişine iletilecektir.



Şekil 12. Fark yükselteci devresinin 20 MHz'lik giriş işaretine olan cevabı.

4. TIQ TABANLI 8 BİT FOLDING A/D DÖNÜŞTÜRÜCÜ

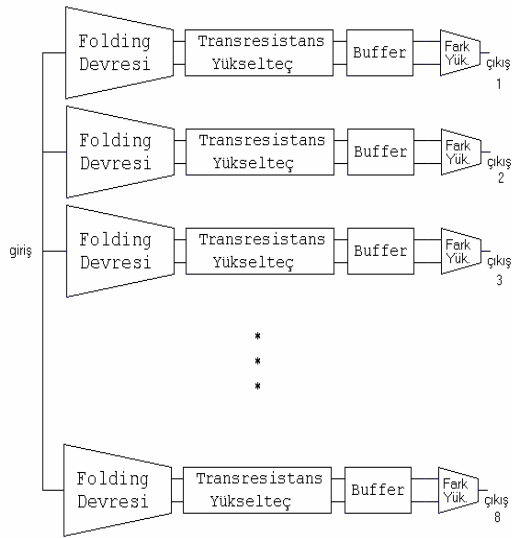
Önceki bölümlerde, 5bit TIQ A/D dönüştürücü ve folding devresi tasarımı yapıldı. Bu bölümde ise bu devreler birleştirilerek tüm sistem incelenecektir. Şekil 13'de TIQ tabanlı 8 bit folding A/D dönüştürücünün blok diyagramı gösterilmiştir. Sistem 5-bit TIQ A/D dönüştürücü, folding birimi, 'veya' bloğu, anahtarlar ve 3-bit TIQ A/D dönüştürücüden oluşmaktadır. 5-bit TIQ A/D dönüştürücü ve folding devresine verilen giriş işareti eş zamanlı olarak çıkışta gözlenmektedir. Folding biriminin iç yapısı Şekil 6'da görülen 8 adet folding devresinden oluşmaktadır. Bu folding devrelerinin eşik gerilimleri uygun şekilde ayarlanmıştır.



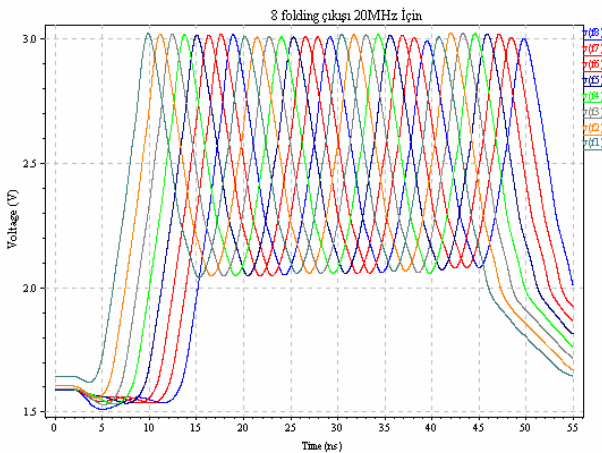
Şekil 13. TIQ tabanlı 8 bit folding A/D dönüştürücünün blok diyagramı.

5bit TIQ A/D dönüştürücünden ‘veya’ bloğuna giden düğümler, 5 bit TIQ’nun kod çözücü çıkışlarıdır. Bu çıkışlar sırayla lojik ‘1’ olarak ‘veya’ bloğuna iletilmekte ve burada veya işleminden geçmektedirler. ‘veya’ bloğunun çıkışında ise ‘anahtarlar’ için 8 adet seçme girişi oluşturulmaktadır. Bu seçme girişleri sırayla 8 adet folding devresinin çıkışını anahtarlamaktadır. Böylece 3 bit TIQ A/D dönüştürücüde işlenebilecek zig-zag şeklinde bir eğri elde edilmiş olur.

Veya bloğu 5-bit TIQ A/D dönüştürücünün 32 kod çözücü çıkışını 8’e indirmek için kullanılmıştır. Bloğun iç yapısında 8 adet ‘veya’ devresi vardır. Analog anahtar bloğu, TIQ’nun kod çözücüsünden gelen lojik ‘1’ seviyeleri sayesinde 8 adet folding devresini sırayla çalıştırmayı sağlar. Şekil 13’deki folding bloğu, 8 adet folding devresinden meydana gelmektedir (Şekil 14).



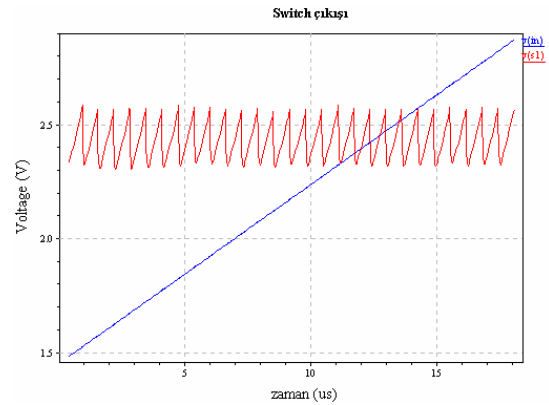
Şekil 14. Şekil 13’de kullanılan folding bloğunun yapısı.



Şekil 15. 8 folding devresinin 20 MHz’lik giriş işaretine cevabı.

Bu folding devrelerinin ofsetleri, önceki devrenin kullanılabilir bölgesinin bittiği noktada diğerindeki başlayacak şekilde ayarlanmıştır. Böylece ideal olarak elde etmek istediğimiz zig-zag şeklindeki transfer eğrisini elde etmiş oluruz. Devrenin çıkış gerilim seviyeleri 2 ile 3 V arasında ayarlanmıştır. Şekil 16’da (20 MHz için transient analizi) 8 adet folding devresinin çıkışı gözükmemektedir.

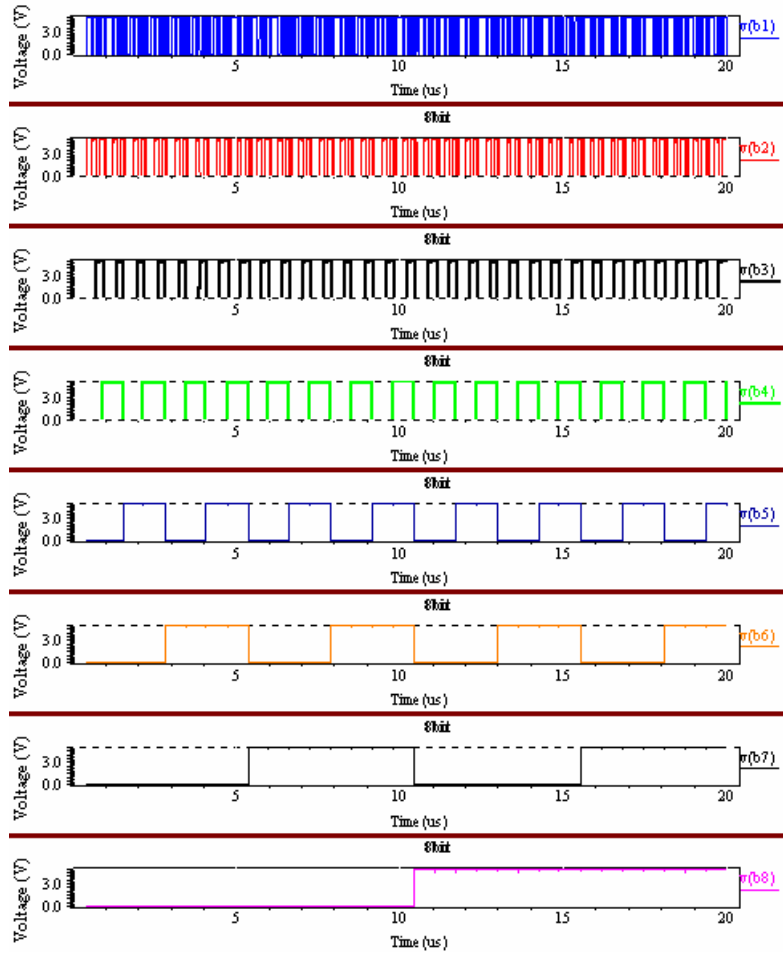
Folding devresinin çıkışları, TIQ A/D dönüştürücüsündeki kod çözümler yardımıyla anahtarlandıktan sonraki hali Şekil 16’da gösterilmiştir.



Şekil 16. Analog anahtarların çıkışının giriş işaretine karşılaştırılması.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmadaki A/D dönüştürücü tasarımında 0.5u teknoloji ve 3. düzey spice model parametreleri kullanılmıştır. Devre tasarımında karşılaşılan zorluklar; özellikle folding ön işleme devresinin tasarımında meydana gelmiştir. Bir katlayıcının çıkışındaki bant genişliği, giriştekenden daha büyüktür. Örneğin folding faktörü 8 ve giriş işaretimiz 50 MHz ise folding devresi 400 MHz hızında hatta daha yüksek hızda çalışmak zorundadır. Folding devresinin çıkışında, bu kadar yüksek frekanslarda kapasitif etkilerden dolayı zaman ilerledikçe bir DC seviye kayması görülmektedir. Bunu gidermek için transresistans yükselteç devresi kullanılmıştır. Transresistans yükseltecin giriş ve çıkış direnci çok küçüktür. Böylece transresistans yükselteç folding devresinin çıkışındaki bu problemi belli ölçüde gidermiştir. Daha sonraki aşamada ise folding devresinin çıkışındaki işaretin farkını alıp hassas A/D dönüştürücüye iletmemiz gerekmektedir. Bu aşamada, fark yükseltici devresinin çıkışındaki işaret istenilen sınırlar içinde elde edilememektedir. Bunun için fark yükseltici devresinden önce empedans uyumlayıcı bir buffer kullanılmıştır. Bu problemler halledildikten sonra folding devresinin çıkışı 5 bit kaba TIQ A/D dönüştürücüsünün kod çözücü çıkışları yardımı ile elde edilmiştir.



Şekil 17. TIQ tabanlı folding A/D dönüştürücünün 50 KHz'lik işarete cevabı.

Tüm sistemin çıkışına ait sayısal veri Şekil 17'de verilmiştir. Folding bloğunun çıkışı ile analog anahtar bloğunun girişi arasındaki uyumsuzluk nedeni ile sistem şimdilik istenilen hızda çalışmamaktadır. Daha yüksek performans için çalışmalar devam etmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Tübitak 102E001 nolu ve Kocaeli Üniversitesi Araştırma Fonu 2003/70 nolu araştırma projeleri kapsamında desteklenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Nauta B., VENES A. G. W., A 70-MS/s 100-mW 8-b CMOS folding and interpolating A/D converter, IEEE J. SOLID-STATE CIRCUITS, Vol. 30, pp. 1302-1308, Dec. 1995.
- [2] Tangel A., Choi K., The CMOS Inverter as a Comparator in ADC Designs, ANALOG INTEGRATED CIRCUITS AND SIGNAL PROCESSING, Volume 39, Issue 2, pp 147-155, May 2004.

- [3] Aytaç O., Çelebi A., Tangel A., Tekin F., 8 Bit 1Gs/S Semi-Flash ADC Based On Threshold Inverter Quantization Technique", 11th International Conference Mixed Design of Integrated Circuits and Systems, MIXDES'2004, pp 121-125, June 2004.
- [4] Allen P.E, Holberg D.R, CMOS Analog Circuit Design, Oxford University Press, 2002
- [5] Yoo J., Choi K., Tangel A., 1-GSPS CMOS Flash Analog-to-Digital Converter for System-on-Chip Applications, PROC. IEEE COMPUTER SOCIETY WORKSHOP ON VLSI, pp.135-139, 2001.
- [6] Yoo J., Lee D., Choi K., Tangel A., Future Ready Ultrafast 8-bit CMOS ADC for System-on-Chip Applications", 4th ANNUAL IEEE INTERNATIONAL ASIC/SOC CONFERENCE, pp. 789-793, Sept. 2001.
- [7] Gilbert D., Understanding D/A Accuracy Specs., Electronic Products, Vol. 24, No.3, pp, 61-63, 1981.
- [8] Flynn M. P., Allstot D. J., CMOS Folding A/D converters with current-mode interpolation, IEEE J. SOLID-STATE CIRCUITS, Vol. 31, pp. 1248-1256, 1996