

## THRESHOLD INVERTER QUANTIZATION TEKNİĞİ İLE 8-BİT 1Gs/s SEMI-FLASH ADC TASARIMI

Oktay AYTAR<sup>1</sup> Anıl ÇELEBİ<sup>2</sup> Ali TANGEL<sup>3</sup> Fatih TEKİN<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü  
Veziroğlu Kampusü, Mühendislik Fakültesi  
Kocaeli Üniversitesi, 41050, İzmit , KOCAELİ

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

Anahtar sözcükler: Semi-Flash ADC, Flash ADC, TIQ, DAC

### ÖZET

Bu çalışmada 0.5u CMOS teknolojisinde TIQ tekniği ile yapılan 8 bit semi-Flash ADC önerilmiştir. 0-3V, 30 MHz frekansındaki analog giriş 1Gs/s ile örneklenmiştir. Önerilen yapı 4 bitlik 2 adet Flash ADC, 1 adet 4bitlik DAC ve birim kazançlı bir fark yükseltecinden oluşmaktadır. Yapılan simülasyon sonuçlarına göre önerilen yapının hem çözünürlüğünün hem de hızının artırabileceği gözlenmiştir. Önerilen 8-bitlik semi-Flash ADC'nin layout olarak kapsadığı chip alanı oldukça küçüktür.

### 1.GİRİŞ

Günümüzde kullanılan elektronik sistemlerde, analog bilginin sayısala çevrilmesi, sayısal bilginin analog bilgiye çevrilmesi gerekmektedir. Bu sistemler yüksek performanslı analog-sayısal dönüştürücülere (ADC) ihtiyaç duyarlar. Analog bilginin sayısala çevrilmesinde kullanılan bir çok yapı vardır. Bu yapıları genel olarak harcamış oldukları güce göre dört değişik yapıda sıralayabiliriz ; pipeline(boru tipi), flash(hızlı), successive approximation(SAR) ve oversampled ADC.[1] Bir başka grupta Tablo-1'de gösterilmiştir. [2]

Tablo-1. Analog-Sayısal Dönüştürücülerin Sınıflandırılması

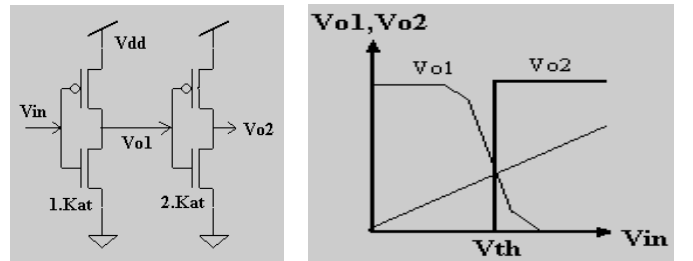
Değiştirme Hızı	Nyquist ADC	Oversampled ADC
Yavaş	Seri	Yüksek Çözünürlüklü>14bit
Orta	SAR 1-bit pipeline Algoritmik	Orta Çözünürlüklü>10bit
Hızlı	Flash Çoklu-bit pipeline Folding ve Enterpolasyon	Düşük Çözünürlüklü>6 bit

Yukarıda verilen tablodan da anlaşılacağı üzere yüksek çözünürlüğe çıkabilmek için hızdan , yüksek hızlı bir

ADC elde etmek içinde çözünürlükten feda ediyoruz. En hızlı ADC tipi paralel veya flash ADC'dir. Flash ADC analog sinyali sayısal bilgiye bir saat işaretinde çevirebilmektedir. Saat işaretinin birinci fazında analog giriş örneklenir ve karşılaştırıcıların girişine uygulanır. Saat işaretinin ikinci fazında ise örneklenen giriş işareti saat işaretine göre sayısal bilgiye çevrilip kaydedicidede depolanır. Buradaki çevirme hızı çok yüksek olmasına karşın, bu yapımda bir dezavantajı vardır. N bitlik bir Flash ADC yapmak için  $(2^N-1)$  adet karşılaştırıcıya ve  $2^N$  dirence ihtiyaç vardır. Fakat bu çalışmada önerdiğimiz yapıda karşılaştırıcılardan önce direnç kullanmaya gerek olmayacak bir teknik kullanılmıştır. Böylece sistemin güç harcamasını azaltılmıştır. Bu çalışmada iki adet 4-bit flash ADC yapısı kullanılarak 8-bitlik bir semi flash ADC yapılmıştır. Böylece hem hızlı hemde yüksek çözünürlüklü bir adc elde edilmiştir.

### 2. TIQ TEKNİĞİ İLE KARŞILAŞTIRICI DİZAYNI

Threshold İnverter Quantization (TIQ) tekniği ile geleneksel, direnç dizili karşılaştırıcılı flash A/D dönüştürücülerdeki direnç dizisi uygulaması ortadan kalkmaktadır. Böylece analog işareti kuantalamak için durağan güç harcamasını ortadan kalkan. TIQ, Şekil-1'de gösterilen ardışıl bağlı iki eviriciden oluşur. Analog giriş sinyalinin kuantalama seviyeleri giriş katındaki transistör boyutlarının değişimi ve bunun sonucunda gerilim transfer eğrilerinin değiştirilmesi ile ayarlanır.[3] Transistör performansının kontrolünde kanal genişliği (L) , kanal boyundan (W) daha etkili olduğu için  $(f_T \propto 1/L^2)$  tasarım boyunca "L" sabit tutulmuş, "W" değiştirilmiştir.



Şekil-1 (a) TIQ Şema

(b) Gerilim Geçiş Eğrisi

Burada ikinci evirici katı, kazancı yükseltmek ve içten ayarlanmış bir karşılaştırıcı katı gibi davranmak yani lojik seviye dönüşümünü yapmak için kullanılmıştır. İkinci kattaki transistör boyutları, dc eşik seviyesini sabit kılmak ve yüksek frekanslı giriş işaretlerinin salınım aralıklarına karşı doğrusallığı dengede tutmak için, birinci evirici katındaki transistör boyutları ile aynıdır.

Şekil-1.b'de gösterilen gerilim geçiş eğrisindeki  $V_{th}$  geriliminin denklemi yaklaşık olarak (1)'deki gibi hesaplanır.[4,5]

$$V_{th} = \frac{V_{dd} - |V_{tp}| + V_{tn} \sqrt{K_n / K_p}}{1 + \sqrt{K_n / K_p}} \quad (1)$$

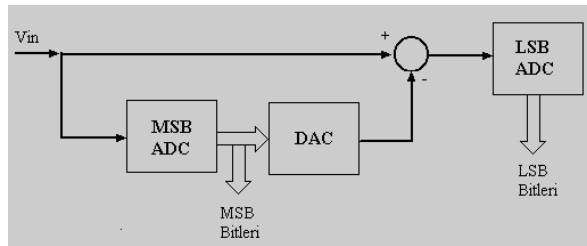
Buradaki  $V_{tn}$  ve  $V_{tp}$  sırası ile nmos ve pmos'un threshold gerilimleri,  $K_n$  ve  $K_p$ 'de (2)'de verilen eşitliklere eşittir.

$$K_n = (W/L)_n \mu_n C_{ox} \quad (2)$$

$$K_p = (W/L)_p \mu_p C_{ox}$$

### 3.SEMİ-FLASH ADC TASARIMI

Flash ADC'nin diğer bir türü olan semi-Flash ADC, iki basamaklı Flash dönüştürücü veya paralel ileri yönlü ADC olarakta isimlendirilebilir.[6,7] Semi-Flash ADC'nin blok diyagramı Şekil-2'de gösterilmiştir.

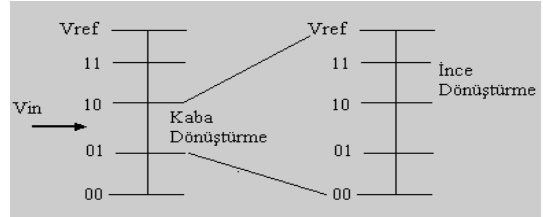


Şekil-2. Semi-Flash ADC Blok Diyagramı

Şekil-2'den de anlaşılacağı üzere semi-Flash ADC; 2 adet Flash ADC, bir adet sayısal-analog dönüştürücü(DAC) ve birim kazançlı bir fark yükselticiden oluşmaktadır. Birinci analog-sayısal dönüştürücü, analog girişin kaba değerlerini üretir. İkinci analog-sayısal dönüştürücü ise ince dönüştürmesini yapar. Bu yapının en önemli avantajı komparatör sayısını oldukça azaltmasıdır. N- bitlik bir Flash ADC için  $2^N-1$  adet komparatör gerekirken, semi-Flash ADC'de  $2(2^{N/2}-1)$  adet komparatöre ihtiyaç duyulur. Örneğin 8-bit Flash ADC için 255 adet komparatör kullanılırken, Semi Flash ADC için komparatör sayısı sadece 30'dur. Buradaki sistemin işleme kısaca şöyle anlatılabilir;

- 1) Giriş örneklendikten sonra, birinci Flash ADC en değerli ilk bitleri sayısalı dönüştürür.
- 2) Birinci ADC tarafından dönüştürülen bu bitler DAC yardımı ile tekrar analog işarete dönüştürülür.
- 3) DAC'ın çıkışındaki analog bilgi ile giriş bilgisinin farkı alınıp ikinci ADC'ye gönderilir.
- 4) İkinci ADC tarafından alınan fark bilgisi dijital bilgiye dönüştürülerek en az değerli bitler elde edilmiş olur.

Semi-Flash ADC'nin doğruluğu öncelikle ilk ADC'nin lineerliğine bağlıdır. Birinci ADC'de analog gerilimin kaba kısmı çevrilir.

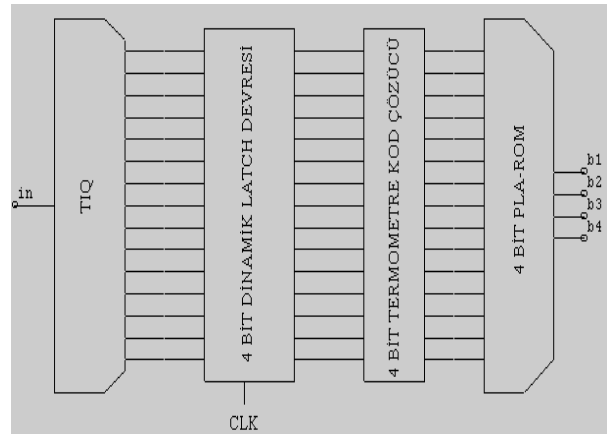


Şekil-3. Semi-Flash ADC kullanılarak kaba ve ince dönüşümler

İkinci ADC'de, ince dönüştürme dediğimiz kısımda da LSB'ler elde edilmiştir. Şekil-3'de kaba ve ince dönüştürmenin nasıl yapıldığı gösterilmiştir. Şimdi sırası ile 8 bit Semi-Flash ADC yapısında kullanılan devreler incelenecektir.

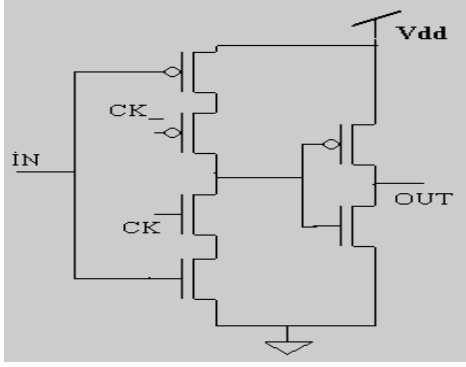
#### A. Flash ADC

Burada yapılan çalışmada 4-bitlik 2-adet flash ADC kullanılmıştır. Flash ADC kısmının dijital kısmı başlıca 4 temel bloktan oluşur ve bu da şekil-4'te verilmiştir. Bunlar sırası ile TIQ, tutucu birimi, termometre kod çözücü birimi ve öncelik kodlayıcı birimidir. TIQ çıkışları termometre kodu üretmektedir. Bu kod da devamlı 1'ler ve 0'lar dizisi bulunur. Burada blok diyagramda da gösterilen TIQ kısmı daha önce anlatılmıştır ve TIQ devre şeması şekil-1(a)'da gösterilmiştir. TIQ blok yapısı toplam 15 adet TIQ devresinden oluşmaktadır. TIQ yapısı dinamik tutucu devresi ile sürülür ve bu birim bir statik evirici ve bunun önünde bir dinamik devre içerir. Bu yapıda Şekil-5'de gösterilmiştir.

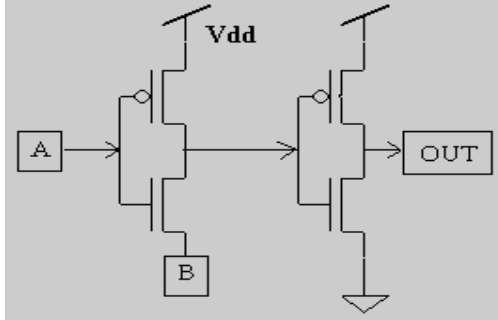


Şekil-4. 4-Bit Flash ADC'nin Blok Gösterimi

Tutucu devresi saat işaretleri ile kontrol edilmektedir. Bu çalışmamızda 15 adet dinamik tutucu devresine ihtiyacımız vardır. Termometre kod çözücüsü, 1'ler ve 0'lar dizisinin sınırlarını belirlemek için kullanılır. Bunun için en basit yol  $\overline{AB}$  lojik devresinin ardıl dizilişiyle elde edilen kod çözücüsüdür. Bu kod çözücüsünde şekil-6'daki gibidir.



Şekil-5. Dinamik Tutucu Devresi



Şekil-6. A\*B Lojik Devresi

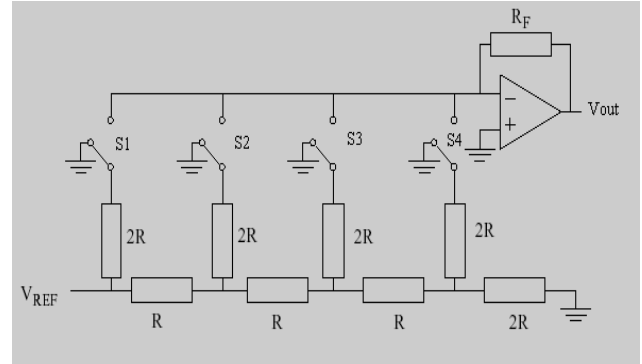
Termometre kod çözücünün çıkışı, girişindeki lojik (1)'lerin ya da lojik (0)'ların bittiği yerde lojik (1) olur. Öncelik kodlama devresi, termometre kod çözücü çıkışından ikili bir çıkış elde etmek için kullanılır. Burada PLA(Programmable Lojik Array) ROM öncelik kodlayıcısı olarak kullanılmıştır. Bu yapıda Pseuda lojik dizayn yapısı kullanılmıştır. Termometre kod çözücüsünden gelen lojik (1) bağlı olduğu kodlayıcı girişindeki n-mosfetleri aktif etmektedir ve kodlayıcı çıkışındaki eviricilerin girişini toprağa çeker. Böylece girişleri toprağa çekilen eviricilerin, çıkışları lojik (1) olur.

#### B. SAYISAL - ANALOG DÖNÜŞTÜRÜCÜ

Sayısal bilgiyi analog bilgiye çevirmek için kullanılmakta olan DAC'lar için dönüştürme hızı uygulanan analog gerilim seviyesi ile orantılıdır.[8] Çünkü uygulayacağınız referans gerilimine göre D/A dönüştürücü, maksimum genliği uygulanan referans gerilimi olan bir analog sinyal vermektedir. Tipik D/A dönüştürücü için dört önemli unsur vardır; lojik devre, direnç ya da kapasite ara yüzü, gelen her sayısal bilginin giriş ucuna uygulanmış olduğu gerilim veya aktırdığı akım ve referans gerilimidir. Sayısal - Analog dönüştürücülerde dönüştürme performansına göre gruplandırılabilir.[2]

Bu çalışmada kullanılan sayısal-analog dönüştürücü Şekil-7'de gösterilen R-2R türünden ikili ağırlıklı bir DAC'tır. Burada gelen sayısal bilginin değerine göre veya R-2R'nin üzerine düşen gerilime göre analog bilgiye dönüşmektedir. Bu DAC'ın en önemli özelliği yüksek doğruluğu ve yüksek frekanslarda uygulanabilir

olmasıdır. Tek dezavantajı diğer DAC türlerine göre daha fazla güç harcaması olarak söylenebilir.

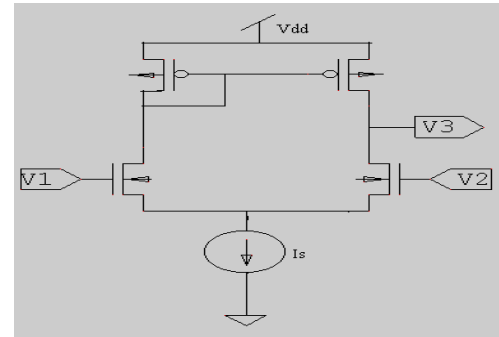


Şekil-7. R-2R Sayısal-Analog Dönüştürü

Şekil-7'de belirtilen sayısal-analog dönüştürücü, analog anahtar ve op-amp'tan oluşmaktadır. Burada yüksek hızlı girişlere, yüksek doğruluklu cevap verebilmek ve cip alanının büyüklüğü küçük tutabilmek için direnç değerleri ve op-ampta kullanılan transistör boyutları önemlidir.

#### C. FARK YÜKSELTECİ

Yapılan çalışmada kullanılan fark yükselteci devresi Sayısal-Analog dönüştürücü çıkışındaki analog bilgi ile giriş bilgisinin, birim kazançlı farkını alarak LSB bitlerini bulduğumuz ADC girişine uygulanır.

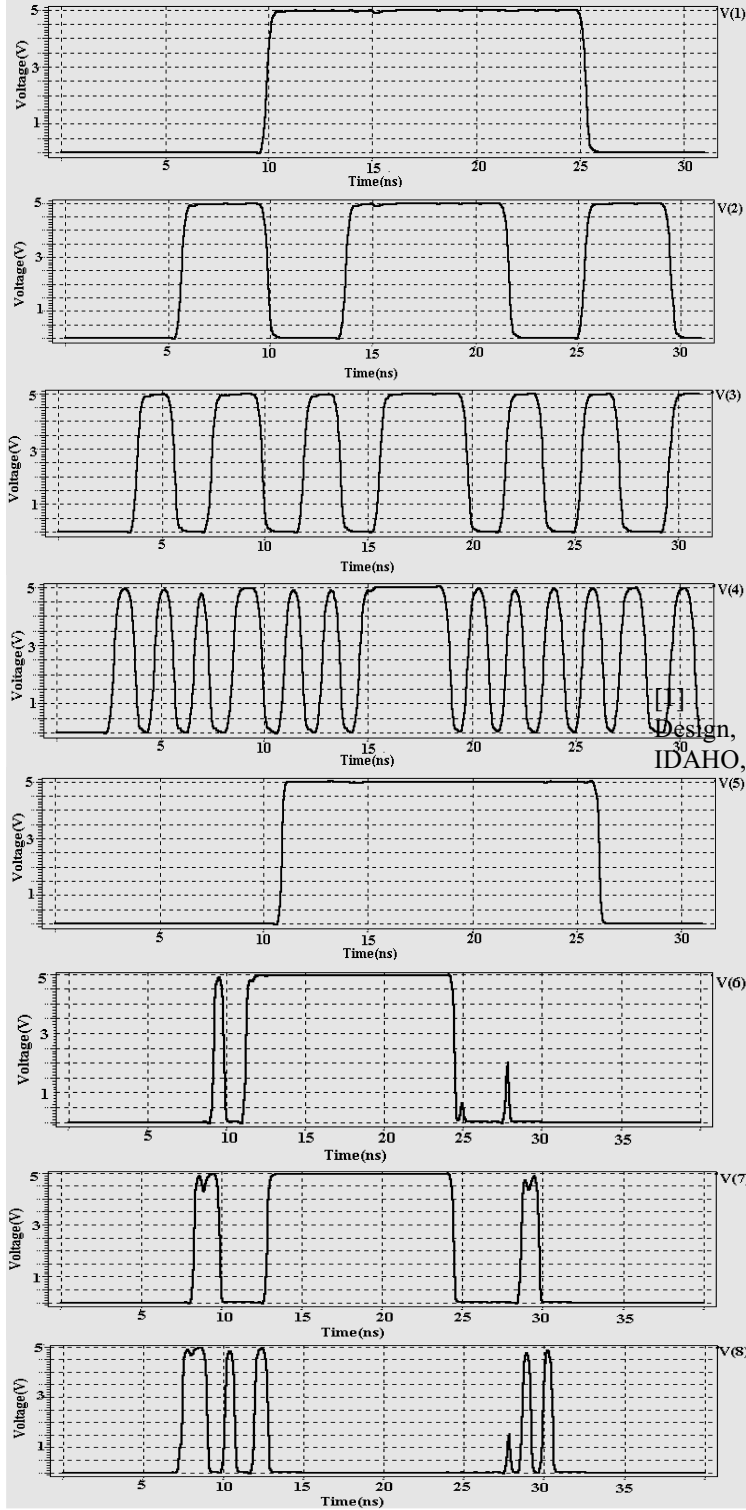


Şekil-8. Fark Yükselteci Devresi

Şekil-8'de gösterilen fark yükselteci temel basit bir fark yükseltecidir. Birim kazancın elde edilmesi için mos çiftlerinin boyutları ve akım kaynağının değeri önemlidir. Burada bir diğer önemli durum ise fark yükseltecinin birebir çıkarma işlemi yapabilmesi ve birim kazançla sahip olmasıdır. Fakat mV'lar seviyesinde tam olarak istenen fark işareti alınamamıştır.

#### 4.SİMÜLASYON SONUÇLARI

8-bit TIQ tekniği ile Semi-Flash ADC'nin simülasyonları 0.5-µm Cmos temel parametreleri baz alınarak yapılmıştır. 1Ghz örnekleme işareti ve 0-3 V genlikli 30Mhz giriş işareti uygulanmıştır. Çıkış sonuçları şekil-9'da gösterildiği gibidir. Fakat önerilen semi-flash ADC'nin LSB'lerini elde ederken kod kayıpları meydana gelmektedir.



Şekil-9. 8-Bit Semi-Flash ADC Sonuçları

Şekil-9'da gösterilen çıkışların V(1)-V(4) arası 4-bitlik MSB'yi göstermektedir. V(5)-V(8) gerilimlerinde 4-bit LSB'dir. Şekildende anlaşılacağı üzere 4-bitlik LSB kısmında kod kayıpları meydana gelmektedir. Bunun nedeni DAC çıkışının yeterince lineer olamayıp 4-bitlik ince dönüştürmedeki TIQ kısmındaki CMOS yapının iletme girmesi için gerekli olan minimum threshold gerilimini sağlayamamasıdır.

## 5.SONUÇ

Yapılan bu çalışmada 8-bit TIQ tekniği ile yapılan semi-Flash ADC tasarımı önerilmiştir. Burada yapılan Semi-Flash ADC'nin bir kaç avantajı vardır. Bunlardan en önemlisi yüksek çözünürlüğe yüksek hızda çıkabilmemizdir. Ayrıca karşılaştırıcı sayısının çok az olması ve çip alanının az yer kaplamasıdır. Fakat birkaç dezavantajı vardır. Bunlardan en önemlisi birkaç farklı referans gerilimi uygulamak zorunda kalmamız ve kod kayıplarıdır. Ayrıca fark yükselteci devresinin mV'lar seviyesinde birim kazancın tam olarak elde edilememesidir.

Bundan sonraki hedefimiz 8-bit çözünürlükteki kod kayıplarını azaltarak çözünürlüğü 10-bit veya 12-bit yapmaktır. Şimdiye kadar yapılan semi-flash uygulamalarından çok daha hızlı olan bu çalışmanın analog gerilim frekansını artırarak giriş band genişliğini artırmak olacaktır.

## 6.KAYNAKLAR

Boker R.J., Li H.W., Boyce D.E., CMOS Circuit Design, Layout, and Simulation, THE UNIVERSITY OF IDAHO, New York, 1998

[2] Allen P.E, Holberg D.R, CMOS Analog Circuit Design , OXFORD UNIVERSITY PRESS, 2002

[3] Tangel A., Choi K., "The CMOS Inverter" as a Comparator in ADC Designs, ELECO'2001 SECOND INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING, Vol 1, pp. 1-5, 2001

[4] Sedra A.S. and Smith K.C., Microelectronics Circuits, OXFORD UNIVERSITY PRESS, New York, 1998

[5] Segura J., Rossella J.L., Mora J., Sigg H., A variable Threshold Voltage Inverter for CMOS Programmable Logic Circuits, IEEE JOURNAL SOLID-STATE CIRCUITS, Vol. 33, pp. 1262-1265, Aug 1998

[6] Shiwoku N., A rail to rail Video Band Full Nyquist 8-bit A/D Converter, PROCEEDINGS OF THE 1991 CUSTOM INTEGRATED CIRCUITS CONFERENCE.

[7] Razavi B., Wooley B.A., A 12-bit 5 Msample/s Two Step CMOS A/D Converter, IEEE JOURNAL OF SOLID STATE CIRCUITS, Vol.27, No.12, pp.1667-1678, December 1992

[8] Hoeschele D.F.Jr., Analog-to Digital And Digital to Analog Conversion Techniques, A WILEY-INTERSCIENCE PUBLICATION, New York, 1994

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu , TÜBİTAK, tarafından EEEAG-102E001 nolu araştırma projesi kapsamında desteklenmiştir.