

Analog Dijital Çeviricilerin İncelenmesi

Nisa NACAR ÇIKAN^{1*}, Murat AKSOY², Bülent BÜYÜKGÜZEL¹

¹ Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye.

² Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye.

ÖZET: Analog dijital çeviriciler analog dünya ve dijital dünya arasında bağlantı kurmamıza yardımcı olur. Analog dijital çeviriciler küçük bir elektronik aletten tıbbi görüntüleme cihazları ve uydu gibi cihazlara kadar kullanılır. Bu çalışmada en popüler olan analog dijital çeviriciler incelenerek, performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Çözünürlük, bit sayısı, güç tüketimi gibi parametreler analog dijital çeviricilerin performansını değerlendirmek için yaygın olarak kabul edilen bazı parametrelerdir ve bu parametreler dikkate alınarak analog dijital çevirilerin performansı değerlendirilmesi yapılmıştır. Ayrıca, Tablo 1’de verilen çizelge ile analog dijital çeviricilerin özellikleri özetlenmiş ve sınırları tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Boru Tipi, Paralel, Ardışık Yaklaşımlı, Sigma-Delta Analog Dijital Çeviriciler, Çözünürlük, Hız, Güç Tüketimi, Bant Genişliği*

A Review Study of Analog to Digital Converters

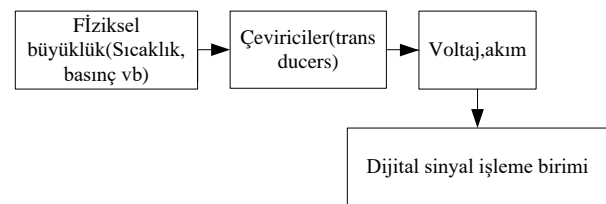
ABSTRACT: Analog to Digital Converters help us to connect between analog world to digital world. ADCs have function from a tiny electronic device to medical imaging and satellites. This paper presents a review study of most popular types of ADCs. Resolutions, Sampling rate, Effective Number of Bits, Power dissipation are some of the commonly accepted parameters to evaluate ADC performances. In addition, Table 1 is given that summarizes and discusses popular types of ADC limits.

Keywords: *Pipeline, Flash, Successive Approximation, Sigma-Delta Analog Digital Converters, Resolution, Speed, Power Consumption, Bandwidth*

1. GİRİŞ

Doğada bulunan büyüklüklerin çoğu zaman ve genlik ekseninde sürekli konumdadır. Doğada sürekli halde bulunan sinyallere ısı, basınç, ağırlık gibi örnekler verilebilir. Doğadaki büyüklüklerin çoğu analog değer olmasına rağmen, bilgisayarlar gibi bilgiyi güvenli ve hızlı bir şekilde işleyerek değerlendiren cihazlar dijitaldir. Dış dünyaya bilgi aktarımı, dijital ya da analog formda olabilir. Bundan dolayı analog-dijital çeviricilere ihtiyaç duyulmaktadır[1-3]. Analog dijital çeviriciler(A/D çevirici) doğada sürekli halde bulunan analog büyüklükleri, dijital işleme ve iletimi için dijital forma çevirir. Dış dünyada bulunan fiziksel büyüklükler çeviriciler ve algılayıcılar yardımıyla analog elektrik gerilimine çevirirler. Elde edilen analog gerilim, analog-dijital çevirici yardımı ile dijitale çevrilir. Daha sonra dijital bilgi, dijital işlem biriminde işlenerek bir sonuç elde edilir. Bu sonuç, bilgisayar ortamı gibi dijital bir ortamda kullanılır ya da analog olarak da kullanılmak istenebilir. Analog olarak kullanılmak istendiğinde tekrar dijital analog çeviriciye ihtiyaç duyulur[4,5].

Analog dijital çevirici blok diyagramı Şekil 1 de görüldüğü gibidir.



Şekil 1. Analog dijital çevirici temel blok diyagramı

Günümüzde yüksek bant genişlikli, hızlı, düşük voltajlı ve düşük güçlü analog dijital çeviricilere olan ihtiyaç artmıştır[1-20]. Analog dijital çeviriciler mixed sinyal uygulamalarında temel blok olduğu için, sistem performansı için çok önemli rol almaktadır. Bu çalışmada, Paralel Karşılaştırmalı(Flash),Sigma-Delta, Ardışık Yaklaşımlı(Successive Approximation),BoruHattı Tipi(Pipeline) gibi farklı tipte analog dijital çeviricilerin [1,2] temel çalışma prensipleri ve performans karşılaştırılması yapılmıştır.

*Sorumlu Yazar: Nisa NACAR ÇIKAN, ncikan@cu.edu.tr

2. ANALOG DİJİTAL ÇEVİRİCİ MİMARİSİ VE ÇALIŞMA PRENSİBİ

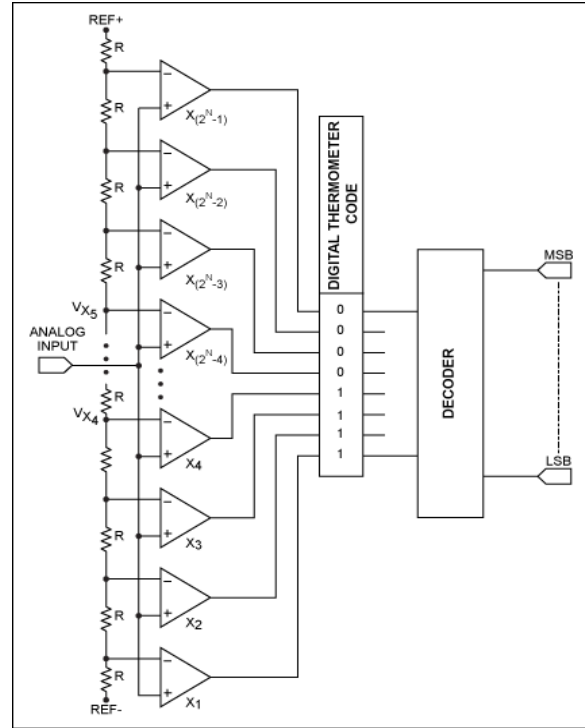
Günümüzde farklı mimaride, çözünürlükte, örnekleme frekansında, güç tüketiminde, sıcaklık oranında, hassaslıkta ve fiyatında A/D çeviriciler bulunmaktadır. Tüm bu A/D çeviriciler uygulama yerine göre seçilir. Uygulama yerine göre seçim yapmayı kolaylaştırmak için, farklı tipte A/D çeviricilerin önemli bazı özelliklerini incelemek gerekir. Farklı tipte olan en popüler A/D çeviricilerin performansını belirleyen bazı özellikler incelenmiştir. Analog dijital çeviriciler genel olarak herhangi bir analog sistem diyagramının sonunda bulunan alıcı içinde yer alır. Analog dijital çevirme işlemi temel olarak örnekleme ve kuantalama olmak üzere iki durumdan oluşur[1.2.3]. Örnekleme ve kuantalama sırasında oluşan gürültü, A/D çeviricilerin performansını etkileyen en önemli etkidir. Örnekleme teorisine göre B bant genişliğine sahip bir sinyalin örnekleme frekansı $f_s \geq 2B$ örnekleme/saniye şeklinde olmalıdır. Minimum $f_N = 2B$ örnekleme/saniye olması gereken bu orana Nyquist frekansı denir ve Nyquist frekansındaki çeviriciler denir. Buradan da anlaşılacağı gibi yüksek bant genişliğine sahip sinyaller daha yüksek örnekleme frekansı gerektirir. A/D çeviricilerin performansını sınırlayan tüm etkileri göz önünde bulundurarak, uygulanacağı yere göre doğru A/D çeviriciyi seçmek önemlidir.

3. ANALOG DİJİTAL ÇEVİRİCİ ÇEŞİTLERİ

Paralel Karşılaştırıcı, Tek Eğimli, Çift Eğimli, Ardışık Yaklaşımlı, Sayısal Eğimli(Basamak Rampalı), Girişi İzleyen, Delta-Sigma, Şarj Dengeleme Sistemli, Ayrık Zamanlı, Boru Tipi, Gerilim/Frekans Dönüştürücülü olmak üzere birçok tipte A/D çevirici mevcut. Bunlar arasından en popüler olarak kullanılan delta-sigma, ardışık yaklaşımı(SAR),boru hattı tipi(Pipeline) ve paralel karşılaştırıcı(Flash) A/D çeviricilerin performans analizi ve karşılaştırılması yapılmıştır.

3.1 Paralel Karşılaştırıcı(Flash) A/D Çevirici

Paralel Karşılaştırıcı A/D çevirici blok diyagramı Şekil 2'de gösterildiği gibidir.



Şekil 2. Paralel karşılaştırıcı(Flash) A/D Çevirici(4)

Paralel Karşılaştırıcı A/D çeviriciyi diğer A/D karşılaştırıcılardan ayıran en önemli özelliği Şekil 1. de görüldüğü gibi paralel karşılaştırıcı(comparator) mimarisinin sağladığı avantajdan dolayı hızlı ve kısa çevrim zamanına sahip olmasıdır. Bundan dolayı paralel karşılaştırıcı A/D çevirici yüksek hız ve geniş bant genişliği gerektiren dijital osiloskoplar, uydu iletişimi, disk sürücüler gibi uygulamalarda kullanılır.

Şekil 1 temel paralel karşılaştırıcı A/D blok diyagramını göstermiştir. Şekilden anlaşılacağı gibi n bitlik bir A/D elde etmek istediğinde, kullanılması gereken karşılaştırıcı sayısı $2^n - 1$ sayısı kadardır. Örneğin 5 bitlik bir çevirici için 31 karşılaştırıcıya ihtiyaç vardır ve bu çok maliyet ve yer gerektirir. Devreye giriş ve referans gerilimi olmak üzere iki gerilim uygulanarak, karşılaştırıcılar yardımıyla karşılaştırma sağlanır. Devreye tek giriş gerilimi eşzamanlı olarak bütün karşılaştırıcılara uygulanır ve bu da aynı anda bütün karşılaştırıcılardan sonuç alınmasına yardımcı olur. Dışardan uygulanan referans gerilimi, merdiven direnç diyagramı sayesinde eşit aralıklarla her bir karşılaştırıcıya en büyük değerlikli bitten(MSB) başlayarak, en küçük değerlikli bite(LSB)' e kadar değerler alınır. Alınan bu referans değerleri ile giriş voltajı karşılaştırılarak termometre(thermometer) kodlar elde edilir. Kodlayıcı(encoder) yardımı ile termometre kodları binary koda çevrilir[5].

3.1.1 Paralel Karşılaştırıcıda Oluşan Hatalar

Paralel Karşılaştırıcıda kodlama süresince bazı hatalar ortaya çıkar ve bu hataları düzelterek karşılaştırıcının en iyi şekilde çalışmasını sağlamak gerekir[4]. Yarı kararlı(metastability), parlayan

Ardışık yaklaşım A/D çevirici, dijital analog çevirici ve kaydediciden oluşmaktadır. Kaydedici sırasıyla en ağırlıklı bittten başlayarak, en düşük bite doğru çıkışı 1 yaparak ve her adımda dijital analog çevirici ile dijitalle çevrilerek, çıkan sonuç giriş sinyali ile karşılaştırılır. Giriş sinyalinin büyük olduğu durumda 1 diğer durumda 0 çıkışı alınarak kaydedilir[2,13,14].

3.1.1 Ardışık Yaklaşımlı A/D Çevirici Özellikleri

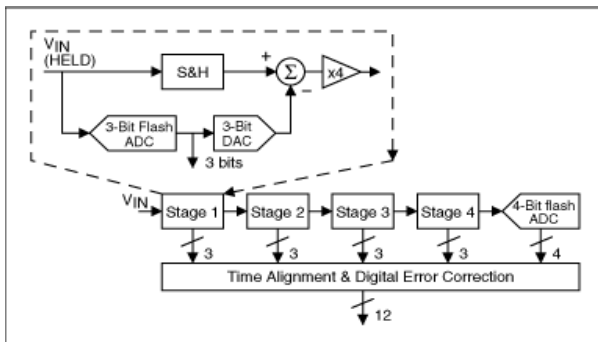
Ardışık yaklaşım A/D çevirici bir karşılaştırıcı ve bir dijital analog çevirici içeren basit bir mimariden oluşur. N bit ardışık yaklaşım A/D çevirici N tane karşılaştırma periyodu geçirir ve test eder ama bütün işlem tamamlanmadan bir diğerine geçmez. N tane karşılaştırma periyodu sonunda sadece bir tane çevrim gerçekleştirmiş olur[13,14]. Bundan dolayı yüksek çözünürlükte ve düşük hız gerektiren uygulamalarda kullanılır[2,3,13,14].

.Sınırlamalar:

Ardışık yaklaşım A/D çeviricinin seri mimariye sahip olması, hızının azalmasına sebep olmaktadır. Ayrıca karşılaştırma sırasında ortaya çıkan gürültü, ardışık yaklaşım çeviricinin performansının düşmesine sebep olur. Bu sorunu gidermek için karşılaştırıcı önüne yükseltici konulabilir fakat bu da güç tüketimini artıracaktır[13].

3.4 Boru Tipi(Pipeline) A/D Çevirici

Boru tipi A/D çeviriler yüksek frekanslı sinyallerin çevriminde ortaya çıkan problemleri aşabilmek için en az iki veya daha fazla çözünürlüğe sahip paralel A/D çeviriciler ile ardışık yaklaşım A/D çeviricilerin tekniği birleştirilerek yapılmıştır. Blok diyagramı şekil 6 da görüldüğü gibidir[17].



Şekil 6. Boru tipi A/D çevirici blok diyagramı

Blok diyagram incelendiğinde boru tipi A/D çeviricinin birbiri ardına gelen aşamalardan oluştuğu görülmektedir. Dijital çıkış bit sayısı kadar aşama vardır. İlk aşamada giriş sinyali maksimum değerinin yarısı bir referans ile karşılaştırılmakta ve elde edilen sonuç en yüksek değerlikli bittir. Elde edilen bu değer dijital analog çevirici ile analog sinyale dönüştürülerek giriş sinyalinden çıkarılmaktadır. Kalan değer ise örnekle ve tut (S/H) devresi ile bir sonraki aşamaya geçmektedir.

Bir sonraki aşamanın referans değeri, bir önceki aşamanın yarısı kadardır. Bütün aşamalar tamamlandıktan sonra bir çevrimlik analog dijital çevrim işlemi tamamlanmış olur[17,18].

. Sınırlamalar:

Bit sayısı kadar olan aşamalar boru tipi A/D çeviricide sinyal gecikmesine sebep olmaktadır. Oluşan hatalara karşı hassas olması, kazanç, kaydırma ve diğer parametrelerdeki lineerliği bozmaktadır. Bütün çıkışların senkronizasyonu için kritik tutucu(latch) zamanlaması gerekmektedir. Diğer mimarilere göre daha hassastır[2,16,17,18].

4. ANALOG DİJİTAL ÇEVİRİCİ KARŞILAŞTIRILMASI

Bu bölümde en yaygın olarak kullanılan dört analog dijital çeviricinin çözünürlük, kapladığı alan, hız, güç tüketimi, analog dijital çevrim sırasında gereken zaman gibi parametrelerin karşılaştırılması yapılmıştır[1-20].

Tablo 1. Analog dijital çeviricilerin karşılaştırılması

A/D Çevirici Mimarisi	Çözünürlük(Endüstriyel Limit)	Kapladığı Alan
Boru Tipi	Her bir bitlik artışla, bileşen eşleşmesi gereksinimi iki katına çıkar. Limit: 16 bit.	Artan çözünürlükle doğru orantılı olarak artar. Alan: Orta
Sigma-Delta	Her bir bitlik artışla, bileşen eşleşmesi gereksinimi iki katına çıkar. Limit: 31 bit.	Artan çözünürlükle önemli ölçüde değişmez. Alan: Orta
Ardışık Yaklaşımlı	Her bir bitlik artışla, bileşen eşleşmesi gereksinimi iki katına çıkar. Limit: 18 bit.	Artan çözünürlükle doğru orantılı olarak artar. Alan: Az
Paralel	A/Dçeviriciyi oluşturan bileşenlerin eşleşmesi(karşılaştırıcı) çözünürlüğü 8 bite sınırlamıştır.	Paralel yapısından dolayı çok yer kaplar.
A/D Çevirici Mimarisi	Hız (Endüstriyel Limit)	Güç Tüketimi

Boru Tipi	Çok hızlı. Limit: ≤ 550 Msps	Yüksek
Sigma-Delta	Orta hızlı. Limit: ≤ 10 Msps	Orta
Ardışık Yaklaşımlı	Yavaş. Limit: ≤ 4 Msps	Düşük
Paralel	Çok hızlı. Limit: ≤ 40 Msps	Yüksek
A/D Çevirici Mimari	Kodlama Metodu	Çevrim İçin Geçen Süre
Boru Tipi	Dijital düzeltme mantığı	Artan bit sayısı artar.
Sigma-Delta	Yüksek derecede örnekleme oranı(oversampling)	Düşük çevrim zamanı.
Ardışık Yaklaşımlı	Ardışık yaklaşım	Artan bit sayısı artar.
Paralel	Termometre kodlama.	Paralel yapısından dolayı artan bit oranıyla çevrim zamanı artmaz.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada yaygın olarak kullanılan dört tip analog dijital çevirici mimarisi ve çalışma prensibi incelenmiştir. Yaygın olarak kullanılan Paralel, Boru tipi, Ardışık yaklaşım, Sigma-delta analog dijital çeviricilerin avantaj ve dezavantajları tartışılmıştır. Çizelge 1'de analog dijital çeviricilerin performansını değerlendirebilmek için çözünürlük, bant genişliği, güç tüketimi, hız gibi bazı önemli parametrelerin karşılaştırılması yapılmış ve endüstriyel olarak sınırları verilmiştir.

6. KAYNAKLAR

- [1] R. H. Walden, "Analog-to-digital converter survey and analysis," IEEE Journal on selected areas in communications, vol. 17, no. 4, pp. 539–550, 1999
- [2] Behzad Razavi "Data System Conversion Design" IEEE Press, ISBN 0-7803-1093-4.
- [3] B. Le, T. W. Rondeau, J. H. Reed, and C. W. Bostian, "Analog-to-digital converters," IEEE Signal Processing Magazine, vol. 22, no. 6, pp. 69–77, 2005
- [4] Maxim Integrated: APP 810 Tutorials, 2016
- [5] R.J. van de Plassche, "CMOS Integrated Analog-to-Digital and Digital-to-Analog Converters", 2nd Edition. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2003.
- [6] Zhang, C., Shao, and Z., (2009): Analysis and simulation of distributed T/H with averaging technique in folding and interpolating A/D converters, Int. J. Circ. Theory. Appl. Published online in Wiley Inter Science, DOI: 10.1002/cta.603.
- [7] Texas Instruments: Application Report, 2011
- [8] R. Schreier, G. C. Temes, and others, Understanding delta-sigma data converters, vol. 74. IEEE press Piscataway, NJ, 2005.
- [9] P. M. Aziz, H. V. Sorensen, and J. Vn der Spiegel, "An overview of sigma-delta converters," IEEE signal processing magazine, vol. 13, no. 1, pp. 61–84, 1996.
- [10] Maxim Integrated: APP 1870 Tutorials, 2016
- [11] Sangil, P. (1993): Principles of sigma-delta modulation for Analog to digital converters, The communications Application Manual, Vol. DL411D/REV1, Motorola Inc., Phoenix, pp. 293-350.
- [12] National Instrument: White Papers, 2016
- [13] Maxim Integrated: APP 1080 Tutorials, 2016
- [14] A. Rodriguez-Perez, M. Delgado-Restituto, J. Ruiz-Amaya, and F. Medeiro, "An ultra-low power consumption 1-V, 10-bit successive approximation ADC," in Electronics, Circuits and Systems, 2008. ICECS 2008. 15th IEEE International Conference on, 2008, pp. 634
- [15] M. Figueiredo, J. Goes, and G. Evans, Reference-Free CMOS Pipeline Analog-to-Digital Converters. New York, NY: Springer New York, 2013.
- [16] P. T. Kwok and H. C. Luong, "Power optimization for pipeline analog-to-digital converters," IEEE transactions on circuits and systems II: Analog and digital signal processing, vol. 46, no. 5, pp. 549–553, 1999.
- [17] Maxim Integrated: APP 1023, Tutorials, 2016

[18]YÜCESAN Adem, Dijital Elektronik, Meb Yayınları, Ankara, 2008.

[19] S. Kim, High-Speed Analog-to-Digital Converters for Modern Satellite Receivers: Design Verification Test and Sensitivity Analysis. ProQuest, 2007.

[20] F. Ohnhäuser, Analog-Digital Converters for Industrial Applications Including an Introduction to Digital-Analog Converters. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2015.