

**T.C.  
MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI**

# **ELEKTRİK-ELEKTRONİK TEKNOLOJİSİ**

**ADC-DAC DEVRELERİ  
522EE0253**

**Ankara, 2012**

- Bu modül, mesleki ve teknik eğitim okul/kurumlarında uygulanan Çerçeve Öğretim Programlarında yer alan yeterlikleri kazandırmaya yönelik olarak öğrencilere rehberlik etmek amacıyla hazırlanmış bireysel öğrenme materyalidir.
- Millî Eğitim Bakanlığınca ücretsiz olarak verilmiştir.
- PARA İLE SATILMAZ.

# İÇİNDEKİLER

<b>AÇIKLAMALAR.....</b>	<b>ii</b>
<b>GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>ÖĞRENME FAALİYETİ-1 .....</b>	<b>2</b>
<b>1. ANALOG-DİJİTAL DÖNÜŞTÜRÜCÜLER .....</b>	<b>2</b>
1.1. ADC ESASLARI .....	2
1.2. ÇEŞİTLERİ.....	5
1.2.1. Paralel Karşılaştırmalı (Flash) A/D Dönüştürücü.....	6
1.2.2. Sayısal Eğimli (Basamak Rampalı) A/D Dönüştürücü.....	8
1.2.3. Girişi İzleyen A/D Dönüştürücü.....	9
1.2.4. Tek Eğimli A/D Dönüştürücü.....	9
1.2.5. Çift Eğimli A/D Dönüştürücü.....	10
1.2.6. Ardışık Yaklaşımlı A/D Dönüştürücü .....	11
1.2.7. Şarj Dengeleme Sistemli A/D Dönüştürücü .....	12
1.2.8. Gerilim/Frekans Dönüştürücü ADC .....	12
1.2.9. Delta-Sigma ( $\Delta\Sigma$ ) A/D Dönüştürücü .....	13
1.2.10. Boru Hattı Tipi (Pipeline) A/D Dönüştürücü .....	13
1.2.11. Ayrık Zamanlı ADC (Time-Interleaved, TI-ADC ) .....	15
1.3. A/D ENTEGRE DEVRELER .....	15
UYGULAMA FAALİYETİ.....	17
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME.....	25
<b>ÖĞRENME FAALİYETİ-2.....</b>	<b>27</b>
<b>2. DİJİTAL- ANALOG DÖNÜŞTÜRÜCÜLER.....</b>	<b>27</b>
2.1. DAC ESASLARI .....	27
2.2. ÇEŞİTLERİ.....	30
2.2.1. Ağırlık Dirençli (Paralel Girişli) D/A Dönüştürücü .....	30
2.2.2. R-2R Merdiven Tipi D/A Dönüştürücü .....	32
2.3. ENTEGRE TİPİ D/A DÖNÜŞTÜRÜCÜLER .....	33
UYGULAMA FAALİYETİ.....	34
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME.....	41
<b>MODÜL DEĞERLENDİRME .....</b>	<b>43</b>
<b>CEVAP ANAHTARLARI.....</b>	<b>44</b>
<b>KAYNAKÇA .....</b>	<b>45</b>

# AÇIKLAMALAR

<b>KOD</b>	<b>522EE0253</b>
<b>ALAN</b>	<b>Elektrik-Elektronik Teknolojisi</b>
<b>DAL/MESLEK</b>	<b>Endüstriyel Bakım Onarım Dalı/Endüstriyel Bakım Onarım Elemanı</b>
<b>MODÜLÜN ADI</b>	<b>ADC-DAC Devreleri</b>
<b>MODÜLÜN TANIMI</b>	ADC- DAC Devrelerinin tanıtıldığı ve uygulama becerilerinin kazandırıldığı bir öğrenme materyalidir.
<b>SÜRE</b>	40/16
<b>ÖN KOŞUL</b>	Bu modülün ön koşulu yoktur.
<b>YETERLİK</b>	ADC-DAC devrelerini kurmak
<b>MODÜLÜN AMACI</b>	<b>Genel Amaç</b> ADC ve DAC devrelerini kurarak analog-dijital sinyalleri birbirine dönüştürebileceksiniz. <b>Amaçlar</b> <b>1.</b> ADC devrelerini kurup analog sinyalleri dijital sinyallere dönüştürebileceksiniz. <b>2.</b> DAC devrelerini kurup dijital sinyalleri analog sinyallere dönüştürebileceksiniz.
<b>EĞİTİM ÖĞRETİM ORTAMLARI VE DONANIMLARI</b>	<b>Ortam:</b> Analog elektronik, dijital elektronik veya temel elektronik atölyesi <b>Donanım:</b> El takımları, breadboard, led diyot, direnç, potansiyometre, ADC ve DAC entegreleri
<b>ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME</b>	Modül içinde yer alan her öğrenme faaliyetinden sonra verilen ölçme araçları ile kendinizi değerlendireceksiniz. Öğretmen modül sonunda ölçme aracı kullanarak modül uygulamaları ile kazandığınız bilgi ve becerileri ölçerek sizi değerlendirecektir.

# GİRİŞ

**Sevgili Öğrenci,**

Günlük hayatımızda elektronik cihazlar birçok çeşidi ile önemli yer tutmaktadır. Bu cihazların dış dünya ile nasıl iletişim kurduklarını, dış dünyadan nasıl bilgi aldıklarını, hiç düşündün mü? Örneğin bilgisayarın sesi nasıl kaydediyor, cep telefonun sesli komutları nasıl algılıyor, MP3 çaların kayıtlı müzik parçasını nasıl çalıyor, elektronik terazi ağırlığı nasıl rakamlara çevirip bize gösteriyor.

Çevremizde görüp ölçebildiğimiz bütün fiziksel büyüklükleri genellikle sayılarla ifade ederiz. “var” ya da “yok” şeklinde ifade ettiğimiz basit bilgilerin dışında, ölçülen değeri bir sayı ile gösteririz. Peki, nasıl oluyor da “elektrik var”, “elektrik yok” yani “1, 0”lardan başka hiçbir şeyden anlamayan bilgisayarlı sistemlerle, fiziksel dünyaya hükmediyoruz.

Bilgisayarda kayıtlı bir müzik parçasının üzerine tıklayıp *not defterinde* birlikte açın. Dinlediğiniz seslerin aslında harfler, rakamlar şeklinde kayıtlı olduğunu göreceksiniz. Aynı parçayı dinlerken kayıtlı harf ve rakamlar nasıl oluyor da sese dönüşüyor?

**Sevgili Öğrenci,**

Bu modülde “**analog değer**” ve “**dijital değer**” in ne olduğunu, nasıl birbirine dönüştürüldüğünü öğreneceksin. Böylece bilgisayarlı sistemler ile fiziksel dünya arasında bilgi alışverişinin temelinde ADC ve DAC devrelerinin olduğunu, ölçebildiğimiz her şeyi aslında “1 ve 0’larla” gösterebileceğimizi öğreneceksin. Bu modülden en iyi şekilde faydalanabilmek için, verilen uygulamaları öğretmenin rehberliğinde yapmalısın.

# ÖĞRENME FAALİYETİ-1

## AMAÇ

ADC devrelerini kurup analog sinyalleri dijital sinyallere dönüştürebileceksiniz.

## ARAŞTIRMA

- Cep telefonunuza ya da bilgisayarınıza ses nasıl kaydedilmektedir? Araştırınız.
- Atölyenizde ayarlı bir DC güç kaynağının çıkışına voltmetre bağlayınız. Güç kaynağınızın gerilimini sıfırdan başlayıp en küçük artışlarla maksimum değere kadar artırırken kaç farklı gerilim değeri ölçebilirsiniz.

## 1. ANALOG-DİJİTAL DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

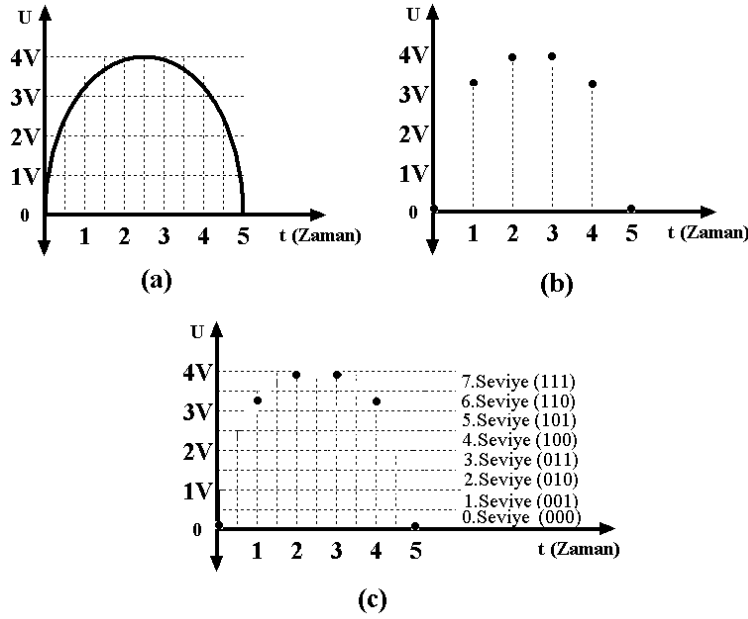
Günümüzde değişik amaçlar için birçok elektronik cihaz kullanılmaktadır. Bu elektronik cihazlar, çevremizdeki fiziksel değişimleri çeşitli sensörler ile algılayıp kontrol etmemizi sağlar. Bir sensör veya transdüser; ağırlık, uzunluk, ışık şiddeti, sıcaklık, basınç, debi gibi fiziksel büyüklükleri, bunlarla orantılı akım veya gerilim cinsinden elektriksel değerlere dönüştürür. “Sensörler ve Transdüserler” modülünde bu konu ayrıntılı olarak işlenmiştir.

Maksimum ve minimum sınırları arasında farklı değerler alarak değişen elektriksel büyüklüklere *analog bilgi* ya da *analog değer* denir. Akım ve gerilim analog değerlerdir. Örneğin DC güç kaynağınızı sıfır ile maksimum değerleri arasında sonsuz sayıda farklı bir değere ayarlayabilirsiniz. Büyüklüklerin gerilim “var” veya “yok” anlamına gelen “1” ve “0” şeklinde iki rakam kullanılarak ifade edilmesine *dijital bilgi* ya da *dijital değer* denir. Sensör ve transdüser çıkışlarında genellikle analog değer bulunur. Mikroişlemci ile çalışan elektronik cihazlar sadece dijital bilgileri alıp değerlendirebilir. Bu durumda mikroişlemcili ve dijital birçok cihaz için analog bilgilerin dijital bilgilere dönüştürülmesi gerekir. Analog değerleri dijital değerlere dönüştüren devrelere **ADC (Analog Digital Converter – AD Dönüştürücü)** denir. Bu öğrenme faaliyetinde ADC devrelerinin temel esaslarını, çeşitlerini ve sık kullanılan entegreleri öğrenerek çeşitli uygulamalar yapacaksınız. Böylece analog devrelerden dijital devrelere nasıl bilgi aktarıldığını öğreneceksiniz.

### 1.1. ADC Esasları

Analog değerler zamana göre sürekli (kesintisiz) olduğundan, bütün zaman dilimlerine karşılık gelen bir analog gerilim değeri vardır. Her analog değer için bir dijital değer oluşturmak imkânsız denilecek kadar karmaşık ve maliyetli olacaktır. Bu nedenle analog değer üzerinden belirlenmiş zaman aralıklarında örnekler alınır. Her örnek için seviyesine

göre kodlanmış dijital bir değer üretilir. ADC devrelerin çalışmasını “örnek, karşılaştır, dijital olarak kodla” şeklinde özetleyebiliriz. Şekil 1.1 (a) da analog sinyalin sürekli oluşu, (b) de analog sinyal üzerinden belirli aralıklarla örnekleme alınması, (c) de ise alınan örneklere karşılık gelen seviyenin tespiti ve dijital olarak kodlanması gösterilmiştir.

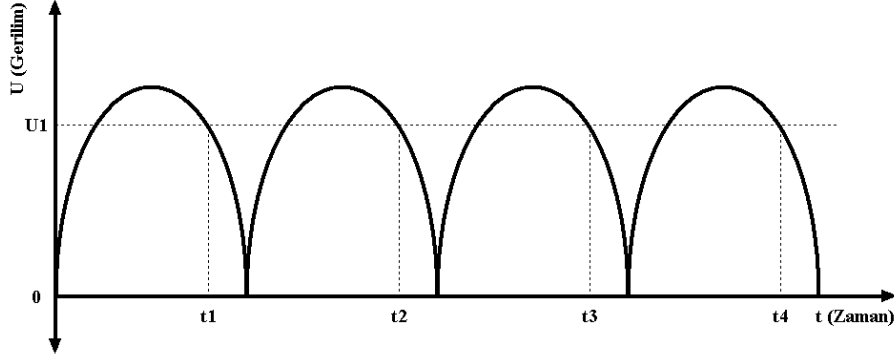


Şekil 1. 1: (a) Analog sinyal (b) Örneklem (c) Kodlama

ADC devrelerinin örnekleme, karşılaştırma ve dijital kodlama işlemlerini yaparken kullandıkları teknikler bakımından çeşitleri ileride anlatılacaktır. ADC devrelerini daha iyi incelemek ve karşılaştırma yapabilmek için ADC'lerde kullanılan aşağıdaki kavramların bilinmesinde fayda vardır.

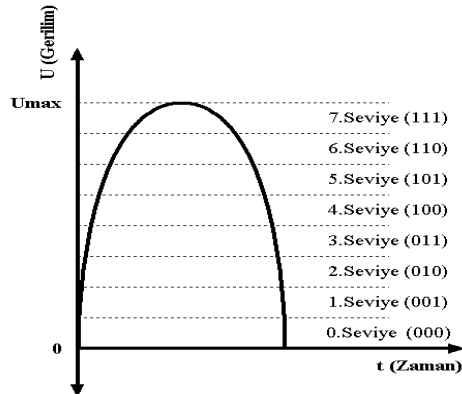
- **Çevrim Zamanı:** Analog – dijital dönüşümünün başlangıcı ile dijital değer kodlanarak çıkışta görüldüğü an arasında geçen süreye çevrim zamanı denir. ADC'nin dönüştürme hızını belirlediği için çevrim zamanının kısa olması istenilir.
- **Örneklem Frekansı (Çevrim Frekansı):** Analog- dijital dönüşüm frekansıdır. Bir saniye içinde yapılan dönüşüm sayısı anlamına gelir, *sps* (Sample Per Second) birimi kullanılır. ADC girişine uygulanan analog sinyalin maksimum frekansının en az 2 katı örnekleme frekansı belirlenmelidir. Buna “*Nyquist oranı*” denir. Analog sinyal ile örnekleme frekansı aynı olursa hatalı sonuçlar ortaya çıkar. Örneğin 50 Hz alternatif gerilimi ADC ile dijitalle dönüştürüp izlemek isteyelim. Eğer örnekleme frekansını da 50 Hz olarak belirleyip dönüşümler yapacak olursak, alternatif gerilimin hep aynı noktalarında örnekleme yapılacağı için hep aynı değeri elde ederiz. Bu durumda girişteki

analog değer değiştiği halde çıkıştaki diğital değer hiç değişmez ve bizi yanıltır. şekil 1.2’de bu durum gösterilmiştir. Örnekleme yapılan  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ,  $t_4$  zamanlarında ölçülen değer hep aynıdır.



**şekil 1. 2: Analog sinyal frekansı ile örnekleme frekansının aynı olması**

- **Çözünürlük:** ADC’nin analog girişindeki en kk değer değişimine karşılık çıkışında diğital farklılık oluşturma yeteneğidir. Uygulamada ADC’ler için çözünürlük denildiğinde çıkıştaki bit sayısı akla gelmektedir. Çeşitli retici firmalar tarafından 8,10,12,14,15,16,18,20,24 bit çözünürlükte değişik ADC entegreleri üretilmiştir. Diğital çıkışın bit sayısının fazla olması çözünürlüğü artırır. Analog sinyalin doğrusal olmaması ve gürültü bulunması çözünürlüğü azaltır. Analog-diğital dönüştürücüde çözünürlüğün yüksek olması istenir.
- **Quantum Seviyesi (Bölüntü Seviyesi):** ADC girişine uygulanan analog sinyal, minimum ve maksimum genlik değerleri arasında eşit aralıklara bölünür. Her aralık diğital çıkışta bir bitlik değişime neden olur. Örneğin “n” sayıda diğital çıkışı olan bir ADC  $2^n$  adet ayrıık quantum seviyesine sahip demektir. Girişteki analog sinyalin minimum-maksimum arası  $2^n$  adet eşit parçaya bölünmüş olur. şekil 1,3’te üç diğital çıkış olduğunda  $2^n=2^3=8$  adet ayrıık seviye olduğu görülmektedir.





### Şekil 1. 3: Analog sinyalin quantum seviyelerine bölünmesi

- **Doğruluk:** Girişteki analog değere karşılık olması beklenen dijital çıkış ile gerçekleşen dijital çıkış arasındaki ilişkiye doğruluk denir. Analog sinyalde bulunan gürültüler, analog sinyal için kullanılan ADC tipinin uygun olmaması, aşırı veya az örnekleme frekansı gibi etkenler doğruluğu azaltır.
- **Polarite:** Girişe sıfır-pozitif (0, +Vin) sinyaller uygulanabiliyorsa *tek yönlü (monolitik)* ADC denilir. Tek girişi vardır. Girişe negatif-pozitif (-Vin, +Vin) sinyaller uygulanabiliyorsa *çift yönlü (bidirectional)* ADC denilir. Çift giriş ucu vardır.

Şekil 1.4’de ADC genel sembolü gösterilmiştir.



Şekil 1. 4: ADC genel sembolü

## 1.2. Çeşitleri

ADC’lerin tasarımında kullanılan 11 farklı teknik vardır.

- Paralel karşılaştırıcı (Flash) A/D dönüştürücü
- Sayısal eğimli (Basamak rampalı) A/D dönüştürücü
- Girişi izleyen A/D dönüştürücü
- Tek eğimli A/D dönüştürücü
- Çift eğimli A/D dönüştürücü
- Ardışık yaklaşımlı (SAR) A/D dönüştürücü
- Şarj dengeleme sistemli A/D dönüştürücü
- Gerilim/Frekans dönüştürücülü ADC
- Delta-Sigma A/D dönüştürücü
- Boru Hattı Tipi (Pipeline) A/D dönüştürücü
- Ayrık Zamanlı ADC (Time-Interleaved, TI-ADC)

Bu tekniklerin birbirine üstünlükleri ve benzerlikleri dikkate alındığında, özellikle ADC entegre üretiminde paralel karşılaştırıcı, çift eğimli, ardışık yaklaşımlı, delta-sigma ve boru hattı tipi A/D dönüştürücüler en çok kullanılan yöntemlerdir. Tablo 1.1’de ADC’lerin çözünürlük açısından karşılaştırması, Tablo 1.2 de ise hız, maliyet ve doğruluk açısından karşılaştırması yapılmıştır.

ADC Tipi	4 Bit	8 Bit	10 Bit	14 Bit	16 Bit	20 Bit	24 Bit
Çift Eğimli							
Paralel							
SAR							
Delta Sigma							
Pipeline							

**Tablo 1.1: ADC Tiplerinin çözünürlük açısından karşılaştırılması**

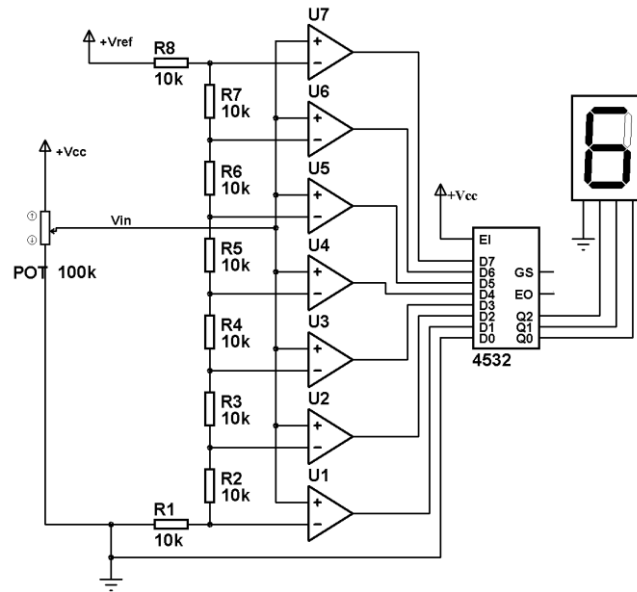
ADC Tipi	Hızı	Maliyeti	Doğruluk
Çift Eğimli	Yavaş	Orta	İyi
Paralel	Çok Hızlı	Pahalı	Düşük
SAR	Orta-Hızlı	Ucuz	Orta
Delta Sigma	Yavaş	Ucuz	Çok İyi
Pipeline	Çok Hızlı	Ucuz-Orta	İyi

**Tablo 1.2: ADC Tiplerinin hız, maliyet ve doğruluk açısından karşılaştırılması**

ADC çeşitlerinin genel özellikleri öncelikle belirtilmiş, daha sonra prensip şeması ve çalışma sistemi fikir oluşturması için ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Günümüzde entegre teknolojisi geliştiği için ADC uygulamalarında hazır entegre devreler daha çok kullanılmaktadır.

### 1.2.1. Paralel Karşılaştırıcı (Flash) A/D Dönüştürücü

Çevrim zamanı çok kısa ve hızı yüksek olduğundan Anında analog-dijital dönüştürücü (Flash (simultaneous) A/D Converter) de denilmektedir. Bu yöntemle yüksek çözünürlükte ADC yapabilmek için çok sayıda karşılaştırıcı kullanmak gerekir. Yapısı karmaşık ve maliyeti fazladır. Örneğin çıkışı 4 bit olan ADC için  $2^4-1=15$  adet karşılaştırıcı, çıkışı 8 bit olan ADC için  $2^8-1=255$  adet karşılaştırıcı gerekir. Kullanılan karşılaştırıcı sayısını azaltmak için “alt kapsamlı paralel karşılaştırıcı” ADC geliştirilmiştir.

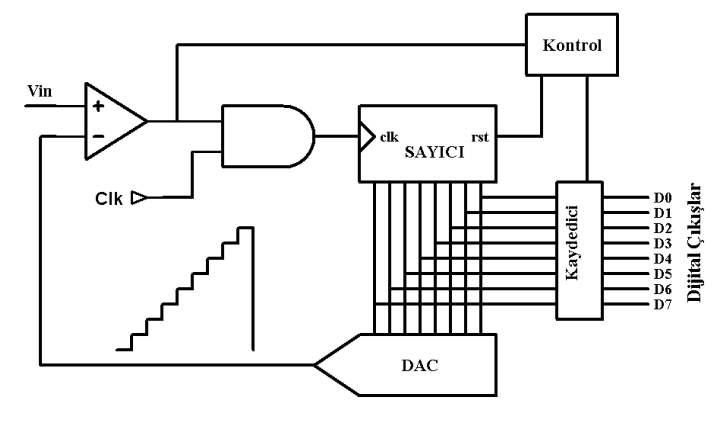


Paralel karşılaştırmalı yönteminde analog giriş işareti, referans gerilimleriyle karşılaştırılır. Girişe ulaşan analog gerilim, karşılaştırmacıdan birinin referans gerilimini aştığında, karşılaştırmacı çıkışında *yüksek* seviye oluşur ve öncelikli kodlayıcı yardımıyla işaretin sayısal kodu üretilir. Öncelikli kodlayıcı girişine birden fazla yüksek seviye gelebilir. Fakat öncelik en büyüğe verildiği için bu girişin sayısal kodu çıkıştan elde edilir. Şekil 1.5'te 3 *bit* dijital çıkışlı paralel karşılaştırmalı devresi görülmektedir. Yedi adet op-amp karşılaştırmalı olarak, 4532 entegresi öncelikli kodlayıcı olarak kullanılmıştır.

Altı bitlik alt kapsamlı paralel karşılaştırıcı ADC şekil 1.6’da görülmektedir. Burada giriş sinyali öncelikle 3 bitlik paralel ADC ile dijitale dönüştürülmektedir. Bu üç bit dijital sonucun yüksek seviyeli ilk üç biti olur. DAC kullanılarak tekrar analoğa dönüştürülen değer, giriş sinyalinden çıkarılır. Fark sinyali tekrar 3 *bit*lik başka bir paralel ADC ile dijitale dönüştürülür. Böylece düşük seviyeli 3 *bit*te elde edilmiş olur. 6 *bit*lik paralel karşılaştırıcı ADC’de 63 adet karşılaştırıcı kullanılırken, alt kapsamlı olarak dizaynedildiğinde 14 adet karşılaştırıcı yeterli olmaktadır.

### 1.2.2. Sayısal Eğimli (Basamak Rampalı) A/D Dönüştürücü

Bu dönüştürücü yöntemine *sayısal A/D Dönüştürücü* de denilir. Paralel karşılaştırıcı (flash) dönüştürücülere göre çevrim süresi daha uzun olup hızları yavaştır. Tasarımında kullanılan eleman sayısı daha az olduğundan maliyeti düşüktür. Girişe uygulanan analog sinyalde bulunan gürültüler çıkışı olumsuz etkiler. Yüksek frekanslı analog sinyallerin dönüştürülmesi için uygun değildir. Çevrim süresi sabit değildir, girişteki analog sinyalin genliği ile değişir.



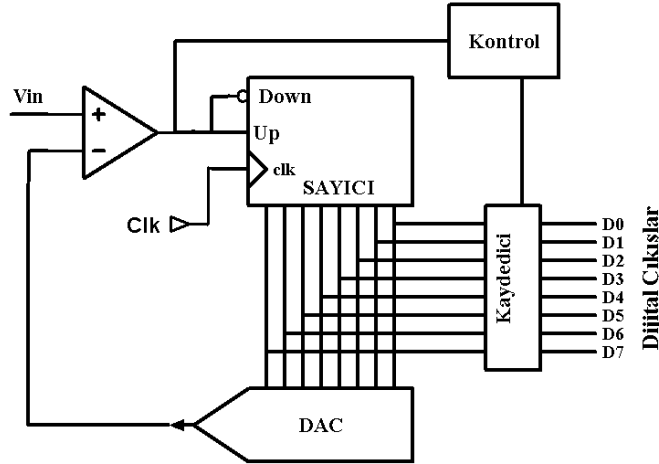
Şekil 1. 7: Sayısal eğimli ADC

Sayısal eğimli A/D dönüştürücüde; sayıcı, sayıcı için saat darbe (clock pals) üretici, Dijital/Analog dönüştürücü (DAC), karşılaştırıcı ve kaydedici devre kısımları bulunur. Sayıcı yukarı yönde ikilik sistemde sayar. Sayıcı çıkışına bağlı DAC ikilik sistemdeki sayıyı analog değere dönüştürür. Bu değer karşılaştırıcıda referans değer olarak kullanılır. Başlangıçta sayıcı dolayısı ile DAC çıkışı sıfır olduğundan karşılaştırıcı referansı sıfırdır. Girişe analog bir sinyal uygulandığında karşılaştırıcı çıkışı “1” olur ve sayıcı saymaya başlar. Dönüştürme çevrimi başlatılmış olur. Sayıcı çıkışına bağlı DAC sürekli artan basamaklı rampa şeklinde bir referans gerilimi oluşturur. Bu referans giriş analog değerini geçtiği durumda karşılaştırıcı çıkışı “0” olur ve sayıcı durdurulup değeri kaydedicide saklanır. Kontrol devresi sayıcıyı sıfırlayıp yeni bir çevrimi başlatır.

### 1.2.3. Girişi İzleyen A/D Dönüştürücü

Sayısal eğimli dönüştürücünün geliştirilmiş biçimidir ve çevrim süresi daha kısadır. Analog girişteki ani değişimlere gecikmeli cevap verir. Girişe uygulanan analog sinyalde bulunan gürültüler çıkışı olumsuz etkiler. Yüksek frekanslı analog sinyallerin dönüştürülmesi için uygun değildir. Düşük frekanslı veya doğrusal analog sinyalleri dijitale dönüştürmekte kullanılır. Çevrim süresi sabit değildir.

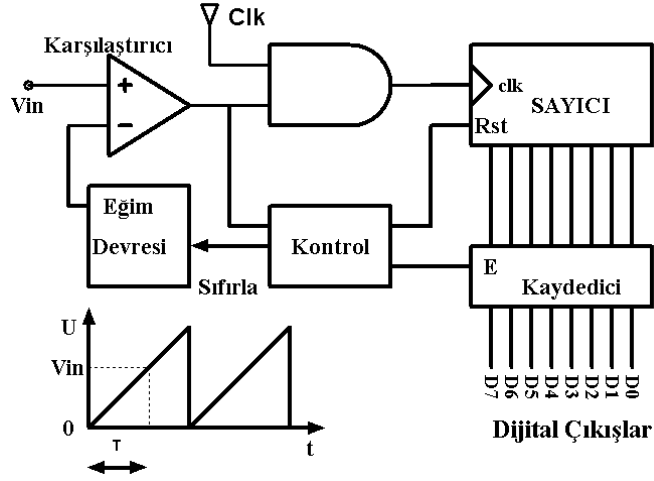
Bu yöntemde sayısal eğimli ADC devresindeki yukarı sayıcı yerine yukarı-aşağı sayıcı kullanılmıştır. Her çevrim sonunda sayıcı sıfırlanmaz, girişi izleyerek yukarı-aşağı sayacak şekilde devre tasarlanmıştır. Giriş analog değeri > DAC çıkışındaki referans değer olduğu sürece sayıcı yukarı sayar. Giriş analog değeri < DAC çıkışındaki referans değer olduğunda sayıcı aşağı sayar. Kontrol devresi sayıcının her yön değiştirmesinde sayıcı çıkışını kaydediciye yükler. Böylece girişteki analog değere karşılık gelen dijital çıkış bulunur.



Şekil 1.8: Girişi izleyen ADC

### 1.2.4. Tek Eğimli A/D Dönüştürücü

Sayısal eğimli dönüştürücüde bulunan DAC devresi yerine rampa fonksiyon üretici kullanılarak yapılmış ADC devresidir. Girişe uygulanan analog sinyalde bulunan gürültüler çıkışı olumsuz etkiler. Yüksek frekanslı analog sinyallerin dönüştürülmesi için uygun değildir. Çevrim süresi sabit değildir, girişteki analog sinyalin genliği ile değişir. Bazı dijital voltmetre, ampermetre gibi ölçü aleti tasarımlarında kullanılan yöntemlerden biridir. Mikroişlemci bulunan devrelerde kondansatör ve direnç kullanılarak dönüştürme işlemi bu yöntemle yapılır.

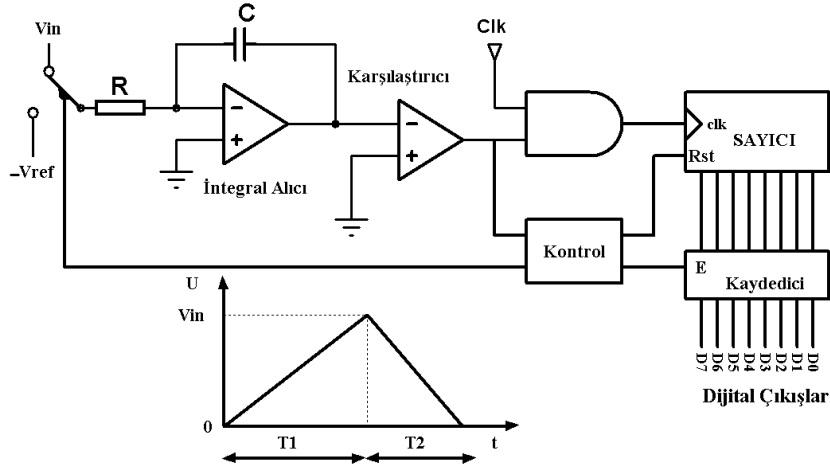


**Şekil 1.9: Tek eğimli ADC blok şeması**

Karşılaştırıcı devresinde referans gerilimi olarak DAC yerine rampa fonksiyon üretici (testere dişi dalga, eğim devresi) kullanılmıştır. Kontrol devresi sayıcıyı ve eğim devresini sıfırlayıp aynı anda ikisini yeniden başlatır. Eğim devresi yükselen bir referans gerilimi oluşturur. Referans gerilimi giriş analog sinyalini ( $V_{in}$ ) geçtiği anda ( $T$  sn) karşılaştırıcı çıkışı negatif olur, sayıcı durur, kontrol devresi sayıcı çıkışındaki değeri kaydediciye yükleyip yeni bir çevrimi başlatır. Çevrim süresi “ $T$ ” kadar olup sayıcı bu süre içinde saydığından giriş analog değeri ile orantılı bir sonuç elde edilir. Giriş sinyalinin genliği arttığında “ $T$ ” çevrim süresi de artacaktır.

### 1.2.5. Çift Eğimli A/D Dönüştürücü

Şimdiye kadar açıklanan ADC’lerde analog sinyalin tek bir noktasında örnekleme yapılır. Çift eğimli dönüştürücülerde ise örnek sinyal girişin belirli süre boyunca ortalaması şeklindedir. Bu nedenle dijital çıkış, girişteki analog sinyalin gürültülerinden diğer devrelere göre daha az etkilenir. Yüksek hassasiyete sahiptir. Çevrim süresi sabit değildir, girişteki analog sinyalin genliği ile değişir. Hızları yavaştır. Dijital ölçü aletlerinde kullanılan yöntemlerden biridir.

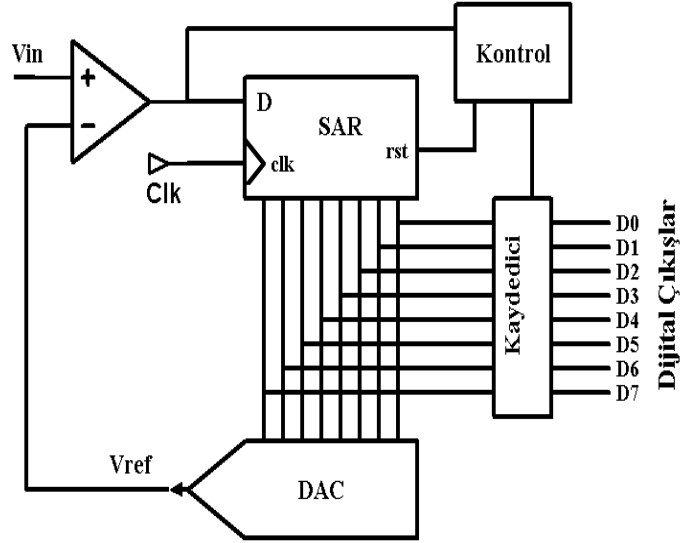


**Şekil 1.10: Çift eğimli ADC blok şeması**

Sabit ( $T_1$ ) ve değişken ( $T_2$ ) eğimli, biri çıkış diğeri iniş şeklinde iki rampa kullanılarak tek eğimli A/D dönüştürücünün geliştirilmiş biçimidir. Giriş analog sinyali integral alıcı devreye sabit bir süre “ $T_1$ ” kadar (“ $T_1$ ” sayaç ile belirlenir.) uygulanır. Kondansatör giriş gerilimi ile orantılı bir değere şarj olur. Kontrol devresi, integral alıcı devreyi yarı iletken bir anahtar ile girişten ayırıp  $-V_{ref}$  değerine bağlanarak kondansatörün deşarjı başlatılır. Bu sırada sayaç sıfırlanarak kondansatör tamamen deşarj oluncaya kadar yukarı yönde sayar. Kondansatör deşarj olduğunda sayaç değeri kaydedicilere alınarak çıkışa aktarılır. Sayaç sıfırlanarak yeni bir çevrime başlanır.

### 1.2.6. Ardışık Yaklaşımlı A/D Dönüştürücü

Bu yönteme “Başarılı Yaklaşım (SAR)” gibi adlar da verilir. Çevrim süresi kısa ve sabittir. Orta hızlı ADC devreleridir. Bu yöntem ile yüksek çözünürlükte ADC’ler yapılabilir. Çözünürlük arttıkça hızı yavaşlamaktadır. Analog sinyalde bulunan gürültüler dijital çıkışı etkiler. Orta doğruluk seviyesinde dönüştürücülerdir. Hızına göre maliyeti düşüktür.



**Şekil 1.11: Ardışık yaklaşımlı (SAR) ADC blok şeması**

Ardışık yaklaşımlı ADC karşılaştırıcı, DAC ve ardışık yaklaşım kaydedicisinden (Successive Approximation Register–SAR) oluşmaktadır. Ardışık yaklaşım kaydedicisi en ağırlıklı “Bit”ten (MSB) başlayarak en az değerli (LSB) Bite doğru sıra ile çıkışını “1” yapar. Her aşamada sonuç DAC ile analog sinyale dönüştürülür ve giriş sinyali ile karşılaştırılır. Analog girişin büyük olduğu durumda ilgili bit “1” olarak kalır. DAC çıkışının büyük olduğu durumda ilgili bit “0” yapılır. Bütün bitler tarandıktan sonra çevrim bitirilmiş olur ve dijital değer kaydediciye alınır. Böylece sayma süresi kısaltılarak A/D dönüştürücünün hızı artırılmıştır.

### 1.2.7. Şarj Dengeleme Sistemli A/D Dönüştürücü

Özellikle kapasitif sensörlerde kullanılan bir yöntemdir. Kapasite değişimi şeklinde elde edilen analog sinyallerin direk dijital sinyallere dönüştürülmesi için kullanılırlar. Diğer A/D dönüştürücülerde kullanılan örnekleme devresinden önce, kondansatör şarj dengeleme sistemi kullanılarak kapasitif değişim algılanmaktadır.

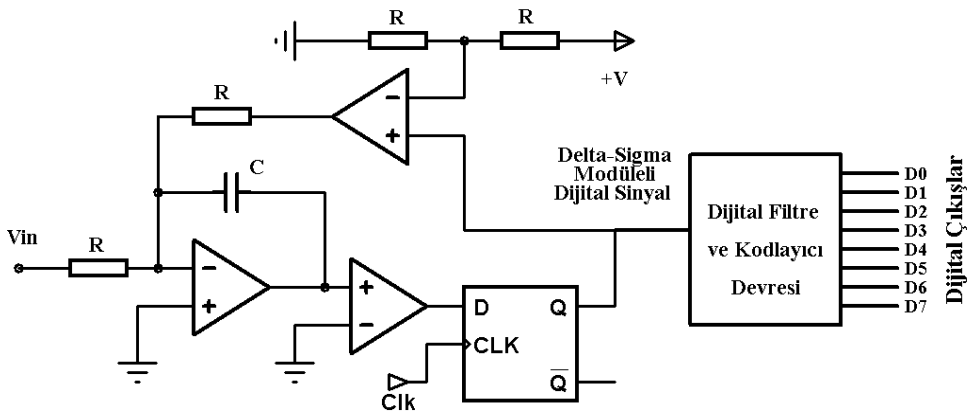
### 1.2.8. Gerilim/Frekans Dönüştürücülü ADC

Analog sinyalin genliğine bağlı olarak frekans değişimi oluşturan “Gerilim-Frekans (V/F)” dönüştürücü devreleri kullanılmıştır. V/F devresinin çıkışı, sabit periyotlar içinde bir sayıcı devresi ile sayılarak dijital çıkış elde edilmektedir. Bazı mikro denetleyicilerin üzerinde bulunan hazır ADC’ler bu şekilde çalışmaktadır. ADC’nin V/F dönüştürücü ve sayıcı kısımları optokuplör ile birbirinden ayrılabilir. Uzak mesafedeki sensör çıkışlarını kablolu olarak ölçmek ve dijitalle çevirmek için kullanılabilir. Analog sinyalin iletimi ve dijitalle çevrilmesi birlikte yapılmış olur.



### 1.2.9. Delta-Sigma ( $\Delta\Sigma$ ) A/D Dönüştürücü

Bu yöntemle <sup>1</sup>*Sigma- Delta ( $\Sigma\Delta$ ) analog dijital dönüştürücü* de denilmektedir. Yeni entegre devrelerde en çok kullanılan popüler bir yöntemdir. Çok yüksek doğrulukta ve çözünürlükte dönüşüm yaparlar. Çıkışında kullanılan dijital filtreler ve sayıcı saat frekansı değiştirilerek analog sinyalin türüne göre ADC özellikleri (çevrim frekansı ve çözünürlüğü) değiştirilebilir. Çözünürlük arttıkça çevrim süresi uzamaktadır. Giriş sinyalinin bant genişliği düşük olduğunda daha iyi sonuçlar verir. Köprü devresi ile birlikte kullanılarak çok hassas A/D dönüşümleri yapılabilir. Load cell, termokupl, vb. transdüsörlerin çıkışlarını dijitalle dönüştürmek için genellikle kullanılan bir yöntemdir.



Şekil 1.12: Delta-Sigma ( $\Delta\Sigma$ ) ADC blok şeması

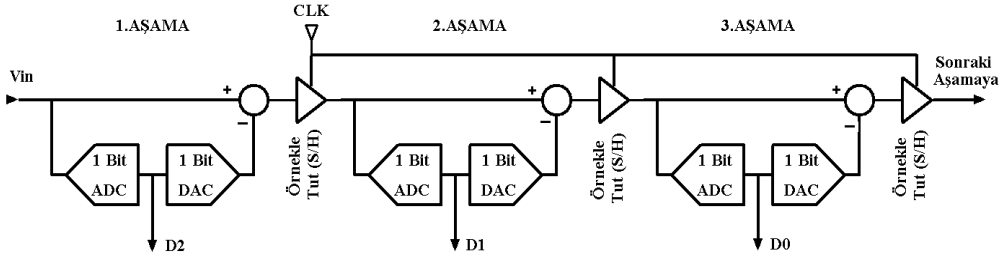
Delta- sigma A/D dönüştürücü devresi; integral alıcı, karşılaştırıcı, D Flip-Flop, geri besleme, dijital filtre ve kodlayıcı kısımlarından oluşur. D Flip-Flop ve geri besleme devresi bir bitlik DAC gibi çalışmaktadır. İntegral alıcı op-amp ile örnekleme yapılır ve her alınan örnek geri besleme devresi sayesinde bir önceki örnek ile karşılaştırılır. Sürekli artan bir giriş sinyalinde karşılaştırma sonucu arka arkaya “1”ler oluşur ve D FF çıkışı “111...” şeklindedir. Sürekli azalan bir giriş sinyalinde karşılaştırma sonucu arka arkaya “0”lar oluşur ve D FF çıkışı “000...” şeklindedir. Giriş değişmediği durumda D FF çıkışı “101010...” şeklindedir. Böylece giriş analog sinyali, bir bitlik modülleri seri dijital değere dönüştürülmüş olur. Dijital filtre ve kodlayıcı devreleri kullanılarak istenilen bit sayısında paralel dijital çıkışlar düzenlenir. Dijital filtre ve kodlayıcı devreleri seri ve paralel kaymalı kaydedicilerden oluşur. Bazı delta-sigma ADC’ler programlanabilir yapıda entegre olarak üretilmekte böylece filtre derinliği ve çıkış bit sayısı ayarlanabilmektedir.

### 1.2.10. Boru Hattı Tipi (Pipeline) A/D Dönüştürücü

Yüksek frekanslı sinyalleri A/D dönüştürmek için diğer yöntemler yavaş kalmaktadır. Çünkü *Nyquist* oranını tutturmak için analog sinyal frekansının en az iki katı çevrim frekansı

<sup>1</sup> *Delta( $\Delta$ )- Sigma ( $\Sigma$ )* Greek alfabesinde harflerdir. Matematikte fark ve toplam anlamında kullanılır.

gereklidir. Bu sorunu aşabilmek için *paralel karşılaştırmalı ADC*'ler ile *Ardışık yaklaşımli ADC*'lerin tekniği birleştirilmiştir. En yüksek hızda dönüştürme işlemi yapabilen ADC'lerdir. Bu yöntem kullanılarak çevrim süresi nano saniyelere kadar kısaltılmış, 700 Msp/s hızında ADC'ler yapılmıştır.



**Şekil 1.13: Boru hattı tipi (Pipeline) ADC blok şeması**

Şekil 1.13 incelendiğinde boru hattı tipi A/D dönüştürücünün birbirinin tekrarı olan aşamalardan meydana geldiği görülmektedir. Aşama sayısı ADC'nin dijital çıkış bit sayısı kadardır. Birinci aşamada giriş sinyali maksimum değer yarısı bir referans ile karşılaştırılmakta ve sonuç en yüksek değerlikli bit (MSB) olarak alınmaktadır. Bu bir bitlik değer tekrar DAC ile analoğa dönüştürülüp giriş sinyalinden çıkarılmaktadır. Kalan değer örnekle/tut (Sample/Hold, S/H) devresi ile bir sonraki aşamaya taşınmaktadır. Bir sonraki aşamanın referans değeri, bir önceki aşamanın referansının yarısıdır. Bu şekilde bit sayısı kadar aşama sıralanır. En son aşama en düşük değerli bitin (LSB) elde edildiği aşamadır. Bir çevrimlik A/D dönüşüm işlemi bütün aşamalar tamamlandığında bitmektedir. Fakat her bir dijital çıkışın seri değerleri daha dikkatli incelenirse; "n" bitlik bir ADC de ilk "n" adet saat darbesinden (Clk) sonra her darbe ile bir çevrim sonucunun alınabileceği görülür. Çünkü "n" saat darbe sayısı olmak üzere 8 bitlik ADC de bir çevrimin dijital çıkış formülü şöyledir:

$$\text{Dijital Çıkış} = (D7_{(n-7)} + D6_{(n-6)} + D5_{(n-5)} + D4_{(n-4)} + D3_{(n-3)} + D2_{(n-2)} + D1_{(n-1)} + D0_{(n)})$$

Saat Darbesi	D <sub>7</sub>	D <sub>6</sub>	D <sub>5</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>0</sub>
1	S <sub>1</sub>	x	x	x	x	x	x	x
2	S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	x	x	x	x	x	x
3	S <sub>3</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	x	x	x	x	x
4	S <sub>4</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	x	x	x	x
5	S <sub>5</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	x	x	x
6	S <sub>6</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	x	x
7	S <sub>7</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	x
8	S <sub>8</sub>	S <sub>7</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>
9	S <sub>9</sub>	S <sub>8</sub>	S <sub>7</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>2</sub>

1. Çevrim sonucu S<sub>1</sub>

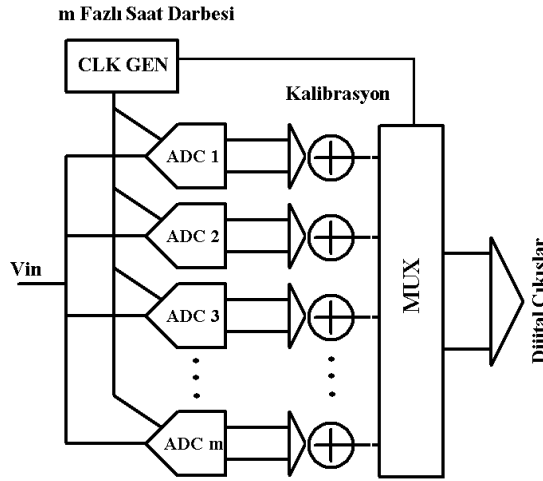
2. Çevrim sonucu S<sub>2</sub>

**Tablo 1.3: Pipeline tipi ADC dijital çıkışları**

Dijital çıkış değerleri Tablo 1.3'te daha iyi anlaşılmaktadır. Her çevrim sonucu elde edilen dijital değerler S<sub>n</sub> şeklinde gösterilmiştir.

### 1.2.11. Ayrık Zamanlı ADC (Time-Interleaved, TI-ADC )

Analog- dijital dönüştürmede kullanılan farklı yöntemlerin avantajlarını birleştirmek için geliştirilmiş yeni yaklaşımlardan birisidir. Bu yöntemde “m” sayıda ADC paralel çalıştırılır. Bir kontrol devresi ile her ADC’nin çevrimi farklı zamanlarda başlatılır. ADC sonuçları da aynı sıra ile çıkışa yönlendirilir. Böylece kullanılan bir ADC’nin çevrim süresi “T” olsa bile, çıkıştan alınan dijital bilginin çevrim süresi “T/m” olmaktadır.



Şekil 1.14: Ayrık zamanlı ADC blok şeması

### 1.3. A/D Entegre Devreler

Yukarıda anlatılan ADC tasarım teknikleri kullanılarak hazır entegre devreler geliştirilmiştir. Üretici firmalar ADC’lerin uygulama alanlarını dikkate alarak uygulamaya yönelik özel tasarımlar yapmışlar, böylece entegre çeşitliliği artmıştır. Entegre ADC’lerde bit sayısı, direkt display bağlanabilmesi, mikroişlemci ile haberleşme yöntemi, örnekleme frekansı, A/D kanal sayısı, ses sinyali dönüştürme uygulamaları, load cell ile ağırlık ölçümleri, termokupl ile sıcaklık ölçümleri, kapasite ölçümleri, dokunmatik ekran uygulamaları (Touch screen) gibi özellikler dikkate alınarak seçim yapılmalıdır.

Uygulamada en çok karşılaşılan ADC’lerin üretici firmalarının internet sitelerine girerek ADC entegre çeşitlerini ve özelliklerini inceleyiniz.

ADC entegrelerinin büyük bir çoğunluğu mikroişlemci veya mikro denetleyici ile birlikte kullanılabilir şekilde üretilmiştir. Mikroişlemci ile haberleşmesi paralel, I2C, SPI, bir telli seri (one-wire) gibi yöntemlerle olur. Bir ADC entegresinde bulunan bağlantı uçlarını; besleme uçları, analog ve dijital şase uçları, referans ucu, analog sinyal giriş uçları, dijital çıkış uçları, haberleşme uçları, entegre yetkilendirme ucu, çevrimi başlatma ve meşgul uçları olarak gruplandırabiliriz. Bu uçların nasıl kullanılacağı her entegre için ayrı olup katalog bilgilerinden öğrenilebilir. Tablo 1.4 de bazı ADC entegreler çeşitli özellikleri ile birlikte verilmiştir.

ADC	Çözünürlük Dijital Bit Sayısı	Giriş Sayısı	Çıkış Haberleşme Tipi	Çevrim Frekansı Çevrim Süresi	Dönüştürücü tipi	Kullanım Alanı
ADC0801 ADC0802 ADC0803 ADC0804 ADC0805	8 Bit	2	Paralel	10 Ksps 100 µs	Ardışık Yaklaşım (SAR)	Genel
ZN425E	8 Bit	1	Paralel	1 Ksps 1 ms	Sayısal Eğimli	Genel ADC/DAC
MAX186E	12 Bit	8	Seri	133 Ksps	Ardışık Yaklaşım (SAR)	Proses Kontrol, Otomatik test sistemleri, medikal cihazları, bataryalı araçlar
MAX1447 MAX/1496 MAX1498	4,5 Digit 3,5 Digit 4,5 Digit	2	7 Segment display	512 sps 640 sps 512 sps	Sigma Delta	Dijital Voltmetre, Multimetre
ICL7106 ICL7107	3,5 Digit	2	7 Segment display	3 sps 333 ms	Çift Eğim	Dijital Voltmetre, Multimetre
LTC2440	24 Bit	2	SPI	Seçilebilir Hız	Sigma Delta	Load cell Termokupl
PCM1870A	16 Bit	4	I <sup>2</sup> C SPI	5-50 Khz	Sigma Delta	Stereo Audio ADC
ADC820	8 Bit	2	Paralel	720 Ksps 1,4 µs	4+4 Paralel Karşılaştırmacı	Haberleşme
ADC10662 ADC10664	10 Bit	4	Paralel	2.7 Msps 360 ns	6+4 Paralel Karşılaştırmacı	Mobil Haberleşme
AD9484	8 Bit	2	Paralel	500 Msps 2 ns	Pipeline	Dijital osilaskop Haberleşme test cihazları Kablosuz haberleşme

**Tablo 1. 4: Çeşitli ADC entegrelerinin özellikleri**

## UYGULAMA FAALİYETİ

Bu öğrenme faaliyeti kapsamında edindiğiniz bilgi ve becerileri geliştirmek için aşağıdaki uygulamayı yapınız.

UYGULAMA ADI	ADC0804 entegresi ile a/d dönüştürücü yapmak	UYGULAMA NO	1
<p><b>Açıklama:</b> Bu uygulamayı dijital elektronik deney setinizde, bir elektronik devre çizim ve simülasyon programı üzerinde (örneğin ISIS) veya deneme bordu üzerine devreyi kurarak yapabilirsiniz.</p> <p><b>Malzeme Listesi</b></p> <p>ADC0804 entegresi, buton, 10k direnç, 8 adet 220 ohm direnç 10k potansiyometre, 150pF kondansatör, 8 adet led, 5V DC güç kaynağı, deneme bordu, DC voltmetre ve el takımları.</p>			

İŞLEM BASAMAKLARI	ÖNERİLER
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Malzeme listesindeki elemanları çalışma masanızın üzerine hazırlayınız.</li> <li>➤ Yukarıdaki devreyi dikkatli bir şekilde kurunuz. Güç kaynağını bağlamayınız.</li> <li>➤ Potansiyometreyi göz kararı orta konuma ayarlayınız.</li> <li>➤ Devre bağlantılarını yeniden kontrol ettikten sonra 5 volt DC güç kaynağı uçlarını bağlayınız.</li> <li>➤ Devreye enerji veriniz, “S” butonuna basıp bırakınız. Ledlerden yananların olması gerekir.</li> <li>➤ Hiç led yanmıyorsa devre enerjisini kesip yeniden kontrol ediniz. 5. işlem basamağını tekrarlayınız. Ledlerden yananlar olduğunda sonraki işlem basamağına geçebilirsiniz.</li> <li>➤ DC voltmetreyi eksi uç ile <math>V_{in}</math> (entegrenin 6. ayağı) arasına bağlayınız. Buradaki gerilim 0 volt olacak şekilde potansiyometreyi ayarlayınız.</li> <li>➤ “S” butonuna basıp bıraktığınızda ledlerin hepsinin sönmüş olması gerekir.</li> <li>➤ Potansiyometre ile <math>V_{in}</math> gerilimini artırıp butona basınız. Aşağıdaki tabloya voltmetre de ölçülen gerilim değerini ve yanan ledler için “1”, sönmüş ledler için “0” yazınız. Bu işlem basamağını 10 defa tekrarlayınız.</li> <li>➤ Tabloda her ölçüm için alınan led bilgilerine göre dijital çıkış değerlerini onluk sayı sistemine çevirerek yazınız.</li> <li>➤ Yukarıdaki şemada potansiyometre yerine LDR veya NTC gibi bir transdüseri, bir direnç ile seri bağlayıp orta noktalarından <math>V_{in}</math> ucuna bağlayınız. Transdüser değerini dijitale dönüştürünüz.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Şemayı dikkatlice inceledikten sonra bağlantılara geçiniz.</li> <li>➤ Entegrenin ayak numaralarını doğru tespit ediniz.</li> <li>➤ DC güç kaynağının + ve – uçlarını doğru bağlayınız.</li> <li>➤ Elektronik devre çizim ve simülasyon programı (örneğin ISIS) kurulu bilgisayarınız varsa bu uygulamayı orada tekrarlayınız.</li> </ul>

$V_{in}$ Volt	LED8	LED7	LED6	LED5	LED4	LED3	LED2	LED1	Dijital Değer Onluk Karşılığı
0 V	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ÖĞRENCİNİN	DEĞERLENDİRME				TOPLAM	
Adı:					Rakam	Yazı
Soyadı:						
Sınıf:						
No:	Öğretmen			Tarih:.././....	İmza	

## UYGULAMA FAALİYETİ

UYGULAMA ADI	MAX1447 entegresi ile ölçü aleti yapımı	UYGULAMA NO	2
<p><b>Açıklama:</b> Ölçü aleti yapımında eskiden beri çok kullanılan ADC entegrelerinden biri ICL7107 entegresidir. Fakat her segment için bir uç olduğundan bağlantısı karmaşıktır. Max1447, max1496 ve max1498 entegrelerinin bağlantısı daha kolay ve performansı daha iyidir. Max1447 entegresi 4,5 digit yedi segment göstergeyi direk sürebilen, 1/19999 çözünürlükte, delta-sigma tipi bir ADC entegresidir. Genellikle dijital ölçü aleti yapımında kullanılır. +5V ile çalışır. +Ain ve -Ain olmak üzere iki girişi vardır. Bu giriş uçlarına <math>\pm 200</math> mV ile <math>\pm 2</math> V arasında gerilim uygulanabilir. İçinde 2,048V sabit referans gerilimi vardır ancak istenilirse dışarıdan farklı bir referans gerilimi 8.ayağına (INTREF) uygulanabilir. Tepe değer ölçme (PEAK) ve ölçülen değeri sabitleme (HOLD) özellikleri vardır. TQFP kılıf olması uygulamayı zorlaştırmaktadır. Max1496 entegresi ise çok daha az harici eleman isteyen 3,5 digit, 1/1999 çözünürlükte benzer bir entegredir ve DIP 28 kılıfı mevcuttur. Aşağıda ki şekil max1447'nin en basit uygulama devresidir. Devre girişine gerilim bölücü veya akım bölücü direnç kademeleri ve komütatör anahtar ilave edilebilir. Böylece gerilim veya akım ölçme sınırı genişletilir.</p>			



İŞLEM BASAMAKLARI					ÖNERİLER	
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Şemada verilen elemanları çalışma masanızın üzerine hazırlayınız.</li> <li>➤ Yukarıdaki devreyi dikkatli bir şekilde kurunuz. Güç kaynağını bağlamayınız.</li> <li>➤ Devre bağlantılarını yeniden kontrol ettikten sonra 5 volt DC güç kaynağı uçlarını bağlayınız.</li> <li>➤ Devreye enerji vererek test ediniz.</li> </ul>					<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 4,5 Digit hazır gösterge yerine 5 adet 7 segment ortak katotlu display'ın segment uçlarını birleştirerek kullanabilirsiniz.</li> <li>➤ Yukarıdaki devrede entegrenin DPon, DPset1 ve DPset2 uçları ile göstergede noktanın yeri ayarlanabilir. Ayrıntılı bilgilere entegre kataloğundan ulaşabilirsiniz.</li> <li>➤ Şemayı dikkatlice inceledikten sonra bağlantılara geçiniz.</li> <li>➤ Entegrenin ayak numaralarını doğru tespit ediniz.</li> <li>➤ DC güç kaynağının + ve – uçlarını doğru bağlayınız.</li> <li>➤ Bu devrenin baskı devresini çıkarıp bakır plakete montajını yaparak kendinize bir ölçü aleti yapabilirsiniz.</li> </ul>	
ÖĞRENCİNİN					DEĞERLENDİRME	
Adı:					TOPLAM	
Soyadı:					Rakam	Yazı
Sınıf:						
No:					Öğretmen	Tarih:.././....
					İmza	

## UYGULAMA FAALİYETİ

UYGULAMA ADI	Sayısal Eğimli (Basamak Rampalı) A/D Dönüştürücü Devresi	UYGULAMA NO	3
<p><b>Açıklama:</b> Aşağıda şeması verilen sayısal eğimli A/D dönüştürücü devresinde sayıcı olarak 74LS590 entegresi, DAC olarak LTC1450 entegresi kullanılmıştır. LTC1450 12 Bitlik pozitif çıkışlı A/D dönüştürücü entegredir. Bu nedenle 8 <i>bit</i>lik sayıcıdan iki adet kullanılarak 12 <i>bit</i> sayıcı yapılmıştır. Analog giriş bir potansiyometre kullanılarak ayarlı yapılmıştır. Bu uygulamayı dijital elektronik deney setinizde bir elektronik devre çizim ve simülasyon programı üzerinde (örneğin ISIS) veya deneme bordu üzerine devreyi kurarak yapabilirsiniz.</p>			

İŞLEM BASAMAKLARI		ÖNERİLER			
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Şemada verilen elemanları çalışma masanızın üzerine hazırlayınız.</li> <li>➤ Yukarıdaki devreyi dikkatli bir şekilde kurunuz. Güç kaynağını bağlamayınız.</li> <li>➤ Devre bağlantılarını yeniden kontrol ettikten sonra 5 volt DC güç kaynağı uçlarını bağlayınız.</li> <li>➤ Bilgisayar programında uygulama yapıyorsanız (D11, D10, D9, ..., D0) çıkış uçlarına lojik prob bağlayıp çıkış durumunu görebilirsiniz. Deney seti veya deneme bordu üzerinde uygulama yapıyorsanız 1. uygulamada olduğu gibi çıkışlara ledli bir gösterge bağlayınız.</li> <li>➤ Devrede <math>V_1</math> voltmetresi girişe uygulanan analog gerilim değerini göstermektedir. Dijital çıkışlar LTC1450 DAC entegresi ile tekrar analoga dönüştürülür. <math>V_2</math> voltmetresi ise merdiven şeklindeki bu referans gerilimini ölçmektedir.</li> <li>➤ S butonuna basılarak bir çevrim başlatılır. <math>V_2</math> voltmetresinin gösterdiği değer sıfırdan başlayıp artarak <math>V_1</math> değerine eşit olduğunda çevrim bitmiş olur ve sayıcı durur. Bu durumda analog değer karşılığı olan dijital kod (D11, D10, D9, ..., D0) çıkışlarında görülür.</li> <li>➤ Potansiyometrenin değerini değiştirip butona basarak A/D dönüşüm işlemini tekrarlayınız. <math>V_1</math> voltmetresinin gösterdiği değer ile dijital çıkışları bir tablo yaparak yazınız. Bu işlem basamağını on defa tekrarlayınız.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Şemayı dikkatlice inceledikten sonra bağlantılara geçiniz.</li> <li>➤ Entegrenin ayak numaralarını doğru tespit ediniz.</li> <li>➤ DC güç kaynağının + ve – uçlarını doğru bağlayınız.</li> </ul>			
ÖĞRENCİNİN	DEĞERLENDİRME			TOPLAM	
Adı:					
Soyadı:				Rakam	Yazı
Sınıf:					
No:	Öğretmen		Tarih:.././....	İmza	

## KONTROL LİSTESİ

Bu faaliyet kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için **Evet**, kazanamadığınız beceriler için **Hayır** kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

Değerlendirme Ölçütleri	Evet	Hayır
1. Kurulacak A /D devresinin entegresini katalogdan seçtiniz mi?		
2. Uygulama devresinin şemasını çizdiniz mi?		
3. Entegreyi borda taktınız mı?		
4. Yardımcı elemanları (buton, direnç, kondansatör led diyot) borda taktınız mı?		
5. Devre şemasına göre kablo bağlantılarını yaptınız mı?		
6. Bağlantıları kontrol ettiniz mi?		
7. Devreye enerji verdiniz mi?		
8. Devrenin çalışmasını kontrol ettiniz mi?		

## DEĞERLENDİRME

Değerlendirme sonunda “**Hayır**” şeklindeki cevaplarınızı bir daha gözden geçiriniz. Kendinizi yeterli görmüyorsanız öğrenme faaliyetini tekrar ediniz. Bütün cevaplarınız “**Evet**” ise “**Ölçme ve Değerlendirme**”ye geçiniz.

## ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Aşağıda analog değerler için yazılanlardan hangisi doğrudur.  
A) Minimum ve maksimum değerler arasında zamana göre değişir.  
B) “1” ve “0” ile ifade edilir.  
C) Zamana göre kesintili değerler alır.  
D) Bilgisayar sistemleri analog değerlerle çalışır.
2. Örnekle, karşılaştır ve dijital olarak kodla prensibine göre çalışan devre hangisidir.  
A) DAC devreleri  
B) Filtre devreleri  
C) ADC devreleri  
D) Frekans/ gerilim çeviriciler
3. Aşağıda örnekleme frekansı için yazılanlardan hangisi **yanlıştır**.  
A) Bir saniye içinde analog sinyalden alınan örnek sayısını gösterir.  
B) Analog sinyalin frekansı ile örnekleme frekansı aynı olabilir.  
C) Örnekleme frekansı analog sinyalin frekansına göre belirlenmelidir.  
D) Örnekleme frekansı, analog sinyalin frekansının en az iki katı olmalıdır.
4. Aşağıdaki ADC tasarım tekniklerinden hangisi ile en yüksek çözünürlük elde edilebilir.  
A) Paralel karşılaştırmalı  
B) Delta-sigma  
C) Tek eğimli  
D) Sayısal eğimli
5. Aşağıdaki ADC tasarım tekniklerinden hangisi ile en yüksek hız elde edilebilir.  
A) Ardışık yaklaşımlı (SAR)  
B) Delta-sigma  
C) Çift eğimli  
D) Pipeline
6. Yüksek frekanslı haberleşme cihazında kullanılan bir ADC de hangi özellik kesinlikle bulunmalıdır.  
A) Yüksek çözünürlük  
B) Düşük çözünürlük fakat yüksek doğruluk  
C) Düşük hız fakat kesin doğruluk  
D) Yüksek hız
7. ADC entegrelerinde WR, RD, CS gibi kontrol uçları niçin kullanılmıştır.  
A) Entegreyi programlamak için  
B) A/D dönüşüm yapmak için  
C) Entegreyi mikro işlemcilerle birlikte kullanabilmek için  
D) Dijital çıkışı ayarlamak için

8. Çıkış *bit* sayısı 8 olan ADC, analog sinyalin maksimum değerini kaç ayırık seviyeye böler.

- A) 256
- B) 8
- C) 16
- D) 128

Aşağıdaki cümlelerin başında boş bırakılan parantezlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise D, yanlış ise Y yazınız.

- 1.( )Dijital değerlerin genliği geniş sınırlar içinde değişir.
- 2.( )Bir A/D dönüştürücüde çıkış Bit sayısının artması çözünürlüğü artırır..
- 3.( )Örnekleme frekansının, analog sinyalin frekansının en az iki katı olmasına *Nyquist oranı* denilir.
- 4.( )Boru hattı tipi A/D dönüştürücüler çok yavaş dönüşüm yaparlar.
- 5.( )Delta-Sigma tipi ADC'ler doğruluğu en yüksek dönüştürücülerdir.
- 6.( )Boru hattı tipi ADC ler entegre yapımında çok kullanılan en hızlı yöntemdir.

Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerlere doğru sözcükleri yazınız.

- 1. Analog değerleri dijital değerlere dönüştüren devrelere ..... devresi denir.
- 2. ADC de Analog/dijital dönüşümünün başlangıcı ile dijital değer kodlanarak çıkışta görüldüğü an arasında geçen süreye ..... denir.
- 3. En pahalı ADC'ler ..... A/D dönüştürücülerdir.
- 4. Uzak mesafedeki sensör çıkışlarını kablosuz olarak ölçmek ve dijitale çevirmek için ..... ADC'ler kullanılır.
- 5. Dijital çıkış değerini direk göstergeye yazabilen ADC entegreleri ..... yapımında çok kullanılır.

## DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz.