

**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

AÇIKLAMALAR	ii
GİRİŞ	1
ÖĞRENME FAALİYETİ-1	2
1. ANALOG-DİJİTAL DÖNÜŞTÜRÜCÜLER	2
1.1. ADC ESASLARI	2
1.2. ÇEŞİTLERİ	5
1.2.1. Paralel Karşılaştırıcı (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 Dönüştürücülü 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
ÖĞRENME FAALİYETİ-2	27
2. DİJİTAL- ANALOG DÖNÜŞTÜRÜCÜLER	27
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
MODÜL DEĞERLENDİRME	43
CEVAP ANAHTARLARI	44
KAYNAKÇA	45

AÇIKLAMALAR

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

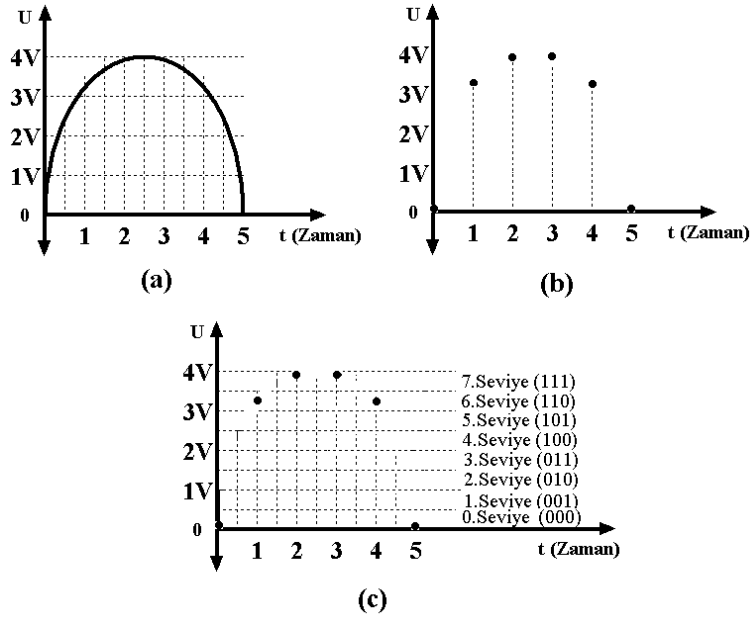
Günümüzde değişik amaçlar için birçok elektronik cihaz kullanılmaktadır. Bu elektronik cihazlar, çevremizdeki fiziksel değişimleri çeşitli sensörler ile algılayıp kontrol etmemizi sağlar. Bir sensör veya transdüser; ağırlık, uzunluk, ışık şiddeti, sıcaklık, basınç, debi gibi fiziksel büyüklükleri, bunlarla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

Maksimum ve minimum sınırları arasında farklı değerler olarak 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 “örnekle, 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.

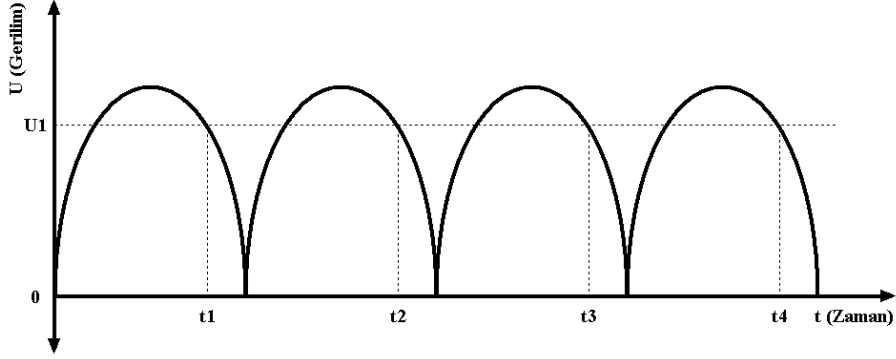


Şekil 1. 1: (a) Analog sinyal (b) Örnekleme (c) Kodlama

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.

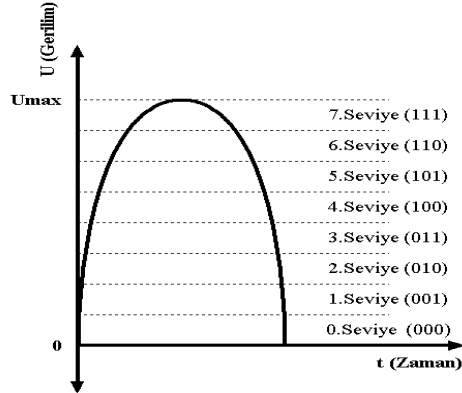
- **Çevrim Zamanı:** Analog – dijital dönüşümünün başlangıcı ile dijital değer kodlanarak çıkışta görüldüğü an arasında geçen süreye çevrim zamanı denir. ADC’nin dönüştürme hızını belirlediği için çevrim zamanının kısa olması istenilir.
- **Örnekleme Frekansı (Çevrim Frekansı):** Analog- dijital dönüşüm 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 dijital 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 küçük değer değişimine karşılık çıkışında dijital farklılık oluşturma yeteneğidir. Uygulamada ADC’ler için çözünürlük denildiğinde çıkıştaki bit sayısı akla gelmektedir. Çeşitli üretici firmalar tarafından 8,10,12,14,15,16,18,20,24 bit çözünürlükte değişik ADC entegreleri üretilmiştir. Dijital çıkışın bit sayısının fazla olması çözünürlüğü artırır. Analog sinyalin doğrusal olmaması ve gürültü bulunması çözünürlüğü azaltır. Analog-dijital 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 dijital çıkışta bir bitlik değişime neden olur. Örneğin “n” sayıda dijital çıkışı olan bir ADC 2^n adet ayrık quantum seviyesine sahip demektir. Girişteki analog sinyalin minimum-maksimum arası 2^n adet eşit parçaya bölünmüş olur. şekil 1,3’te üç dijital çıkış olduğunda $2^3=2^3=8$ adet ayrık seviye olduğu görölmektedir.



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.

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

Tablo 1.1: ADC Tiplerinin çözünürlük açısından karşılaştırılması

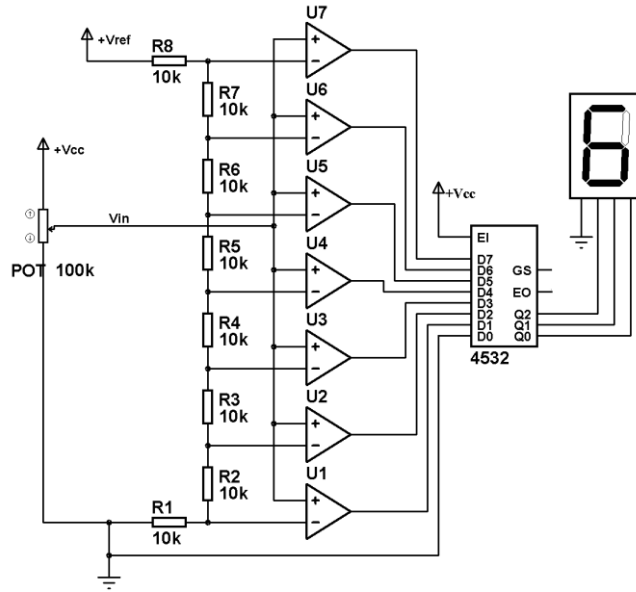
<i>ADC Tipi</i>	<i>Hızı</i>	<i>Maliyeti</i>	<i>Doğruluk</i>
Çift Eğimli	Yavaş	Orta	İyi
Paralel	Çok Hızlı	Pahalı	Düşük
SAR	Orta-Hızlı	Ucuz	Orta
Delta Sigma	Yavaş	Ucuz	Çok İyi
Pipeline	Çok Hızlı	Ucuz-Orta	İyi

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.

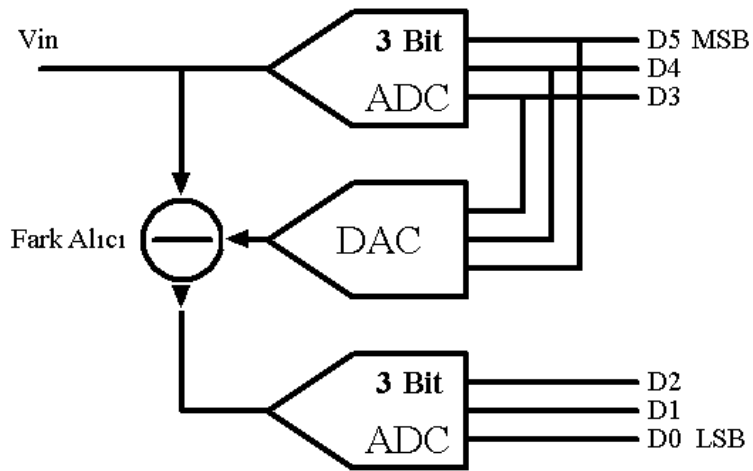
1.2.1. Paralel Karşılaştırıcı (Flash) A/D Dönüştürücü

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.



Şekil 1.5: Paralel karşılaştırıcı (flash) ADC

Paralel karşılaştırıcı yönteminde analog giriş işareti, referans gerilimleriyle karşılaştırılır. Girişe ulaşan analog gerilim, karşılaştırıcılardan birinin referans gerilimini aştığında, karşılaştırıcı 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 karşılaştırıcı devresi görülmektedir. Yedi adet op-amp karşılaştırıcı olarak, 4532 entegresi öncelikli kodlayıcı olarak kullanılmıştır.

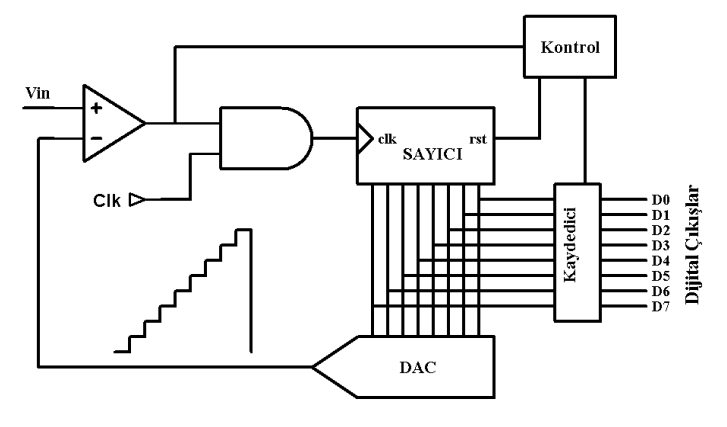


Şekil 1.6: Alt kapsamlı (3+3) paralel karşılaştırıcı ADC

Altı bitlik alt kapsamlı paralel karşılaştırıcı ADC şekil 1.6’da görülmektedir. Burada giriş sinyali öncelikle 3 bitlik paralel ADC ile dijitalleştirilmektedir. Bu üç bit dijital sonucun yüksek seviyeli ilk üç biti olur. DAC kullanılarak tekrar analoglaştırılan değer, giriş sinyalinden çıkarılır. Fark sinyali tekrar 3 bitlik başka bir paralel ADC ile dijitalleştirilir. Böylece düşük seviyeli 3 bitte elde edilmiş olur. 6 bitlik 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) dönüştürümlere 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.



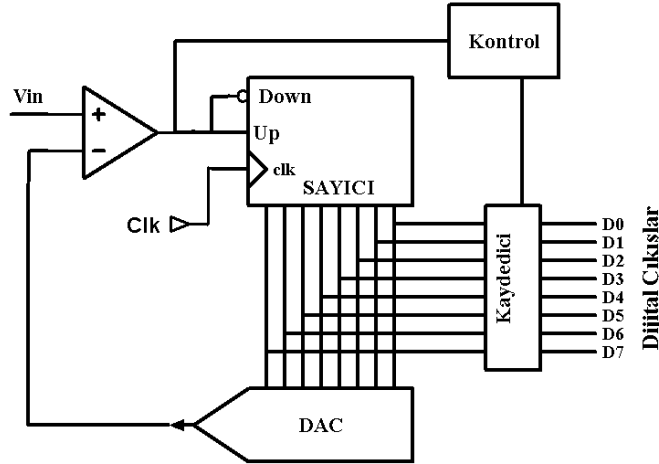
Şekil 1. 7: Sayısal eğimli ADC

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.

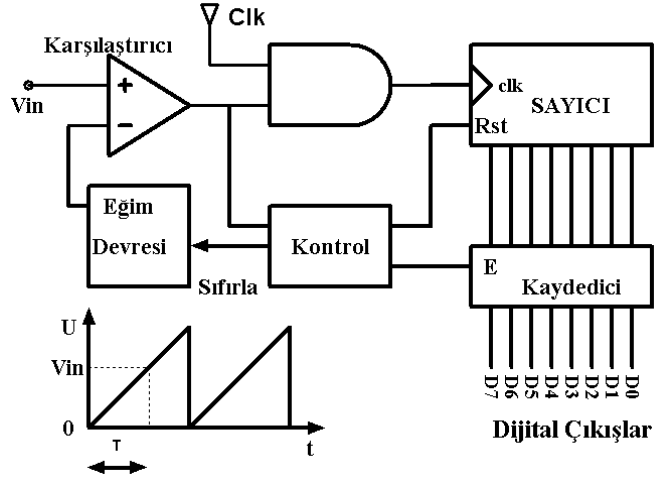
Bu yöntemde sayısal eğimli ADC devresindeki yukarı sayıcı yerine yukarı-aşağı sayıcı kullanılmıştır. Her çevrim sonunda sayıcı sıfırlanmaz, girişi izleyerek yukarı-aşağı sayacak şekilde devre tasarlanmıştır. Giriş analog değeri > DAC çıkışındaki referans değer olduğu sürece sayıcı yukarı sayar. Giriş 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.

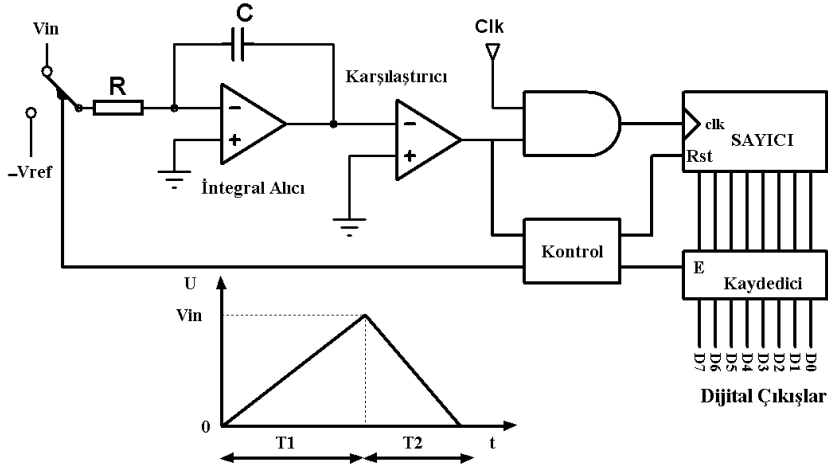


Şekil 1.9: Tek eğimli ADC blok şeması

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.

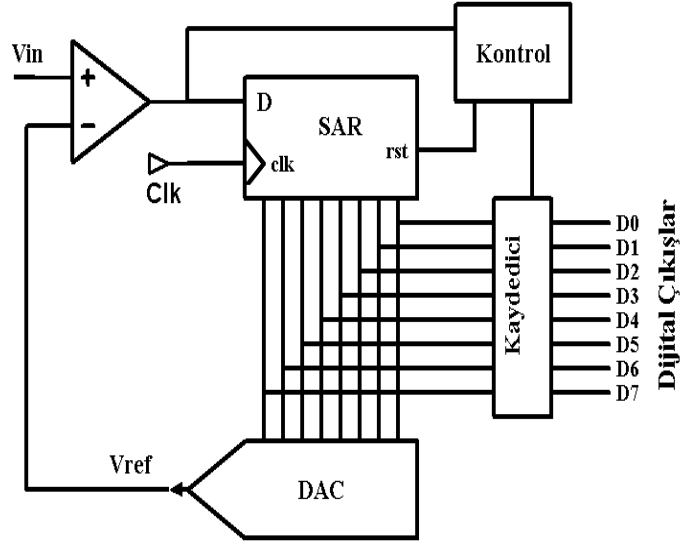


Şekil 1.10: Çift eğimli ADC blok şeması

Sabit ($T1$) ve değişken ($T2$) 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 “ $T1$ ” kadar (“ $T1$ ” 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 yöntem “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 yaklaşımli (SAR) ADC blok şeması

Ardışık yaklaşımli 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 çıkışı “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

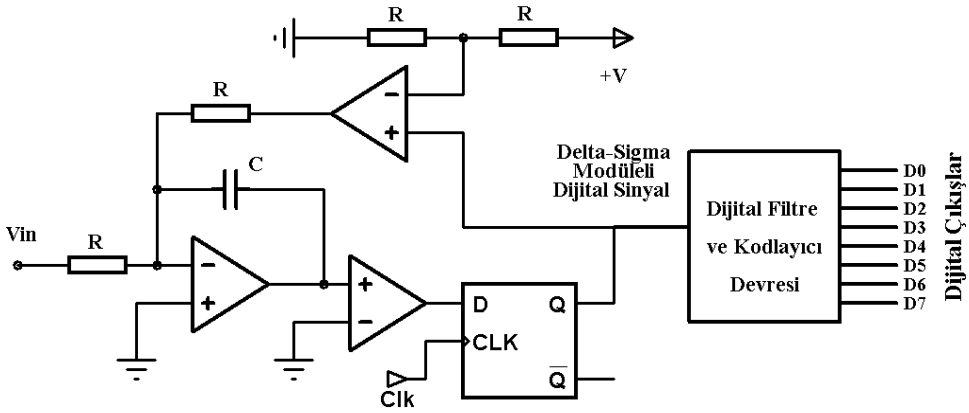
Özellikle kapasitif sensörlerde kullanılan bir yöntemdir. Kapasite değişimi şeklinde elde edilen analog sinyallerin direk dijital sinyallere dönüştürülmesi için kullanılırlar. Diğer A/D dönüştürücülerde kullanılan örnekleme devresinden önce, kondansatör şarj dengeleme sistemi kullanılarak kapasitif değişim 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 kablosuz 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 yönteme ¹*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. transdüserlerin çıkışlarını dijital dönüştürmek için genellikle kullanılan bir yöntemdir.



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

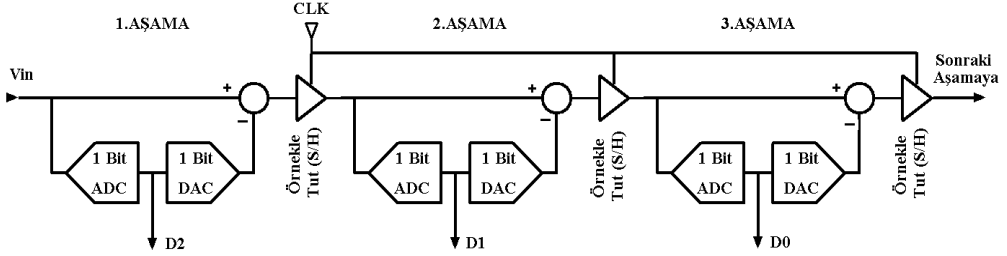
Delta-sigma A/D dönüştürücü devresi; integral alıcı, karşılaştırıcı, D Flip-Flop, geri besleme, dijital filtre ve kodlayıcı kısımlarından oluşur. D Flip-Flop ve geri besleme devresi bir bitlik DAC gibi çalışmaktadır. İntegral alıcı op-amp ile örnekleme yapılır ve her alınan örnek geri besleme devresi 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

¹ *Delta(Δ)-Sigma (Σ)* 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 değerinin 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 ₇	D ₆	D ₅	D ₄	D ₃	D ₂	D ₁	D ₀
1	S ₁	x	x	x	x	x	x	x
2	S ₂	S ₁	x	x	x	x	x	x
3	S ₃	S ₂	S ₁	x	x	x	x	x
4	S ₄	S ₃	S ₂	S ₁	x	x	x	x
5	S ₅	S ₄	S ₃	S ₂	S ₁	x	x	x
6	S ₆	S ₅	S ₄	S ₃	S ₂	S ₁	x	x
7	S ₇	S ₆	S ₅	S ₄	S ₃	S ₂	S ₁	x
8	S ₈	S ₇	S ₆	S ₅	S ₄	S ₃	S ₂	S ₁
9	S ₉	S ₈	S ₇	S ₆	S ₅	S ₄	S ₃	S ₂

1. Çevrim sonucu S₁

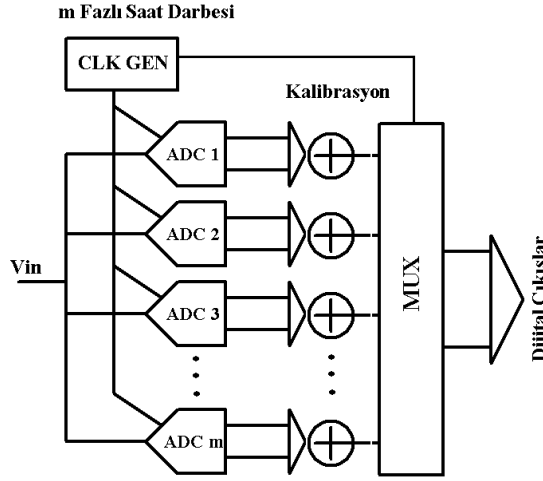
2. Çevrim sonucu S₂

Tablo 1.3: Pipeline tipi ADC dijital çıkışları

Dijital çıkış değerleri Tablo 1.3'te daha iyi anlaşılacaktır. Her çevrim sonucu elde edilen dijital değerler S_n 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 ² C SPI	5-50 Khz	Sigma Delta	Stereo Audio ADC
ADC820	8 Bit	2	Paralel	720 Ksps 1,4 µs	4+4 Paralel Karşılaştırıcı	Haberleşme
ADC10662 ADC10664	10 Bit	4	Paralel	2.7 Msps 360 ns	6+4 Paralel Karşılaştırıcı	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>Açıklama: 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>Malzeme Listesi 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"> ➤ Malzeme listesindeki elemanları çalışma masanızın üzerine hazırlayınız. ➤ Yukarıdaki devreyi dikkatli bir şekilde kurunuz. Güç kaynağını bağlamayınız. ➤ Potansiyometreyi göz kararı orta konuma ayarlayınız. ➤ Devre bağlantılarını yeniden kontrol ettikten sonra 5 volt DC güç kaynağı uçlarını bağlayınız. ➤ Devreye enerji veriniz, “S” butonuna basıp bırakınız. Ledlerden yananların olması gerekir. ➤ Hiç led yanmıyorsa devre enerjisini kesip yeniden kontrol ediniz. 5. işlem basamağını tekrarlayınız. Ledlerden yananlar olduğunda sonraki işlem basamağına geçebilirsiniz. ➤ DC voltmetreyi eksi uç ile V_{in} (entegrenin 6. ayağı) arasına bağlayınız. Buradaki gerilim 0 volt olacak şekilde potansiyometreyi ayarlayınız. ➤ “S” butonuna basıp bıraktığınızda ledlerin hepsinin sönmüş olması gerekir. ➤ Potansiyometre ile V_{in} gerilimini artırıp butona basınız. Aşağıdaki tabloya voltmetre de ölçülen gerilim değerini ve yanan ledler için “1”, sönmük ledler için “0” yazınız. Bu işlem basamağını 10 defa tekrarlayınız. ➤ Tabloda her ölçüm için alınan led bilgilerine göre dijital çıkış değerlerini onluk sayı sistemine çevirerek yazınız. ➤ Yukarıdaki şemada potansiyometre yerine LDR veya NTC gibi bir transdüseri, bir direnç ile seri bağlayıp orta noktalarından V_{in} ucuna bağlayınız. Transdüser değerini dijitale dönüştürünüz. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Şemayı dikkatlice inceledikten sonra bağlantılara geçiniz. ➤ Entegrenin ayak numaralarını doğru tespit ediniz. ➤ DC güç kaynağının + ve – uçlarını doğru bağlayınız. ➤ Elektronik devre çizim ve simülasyon programı (örneğin ISIS) kurulu bilgisayarınız varsa bu uygulamayı orada tekrarlayınız.

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

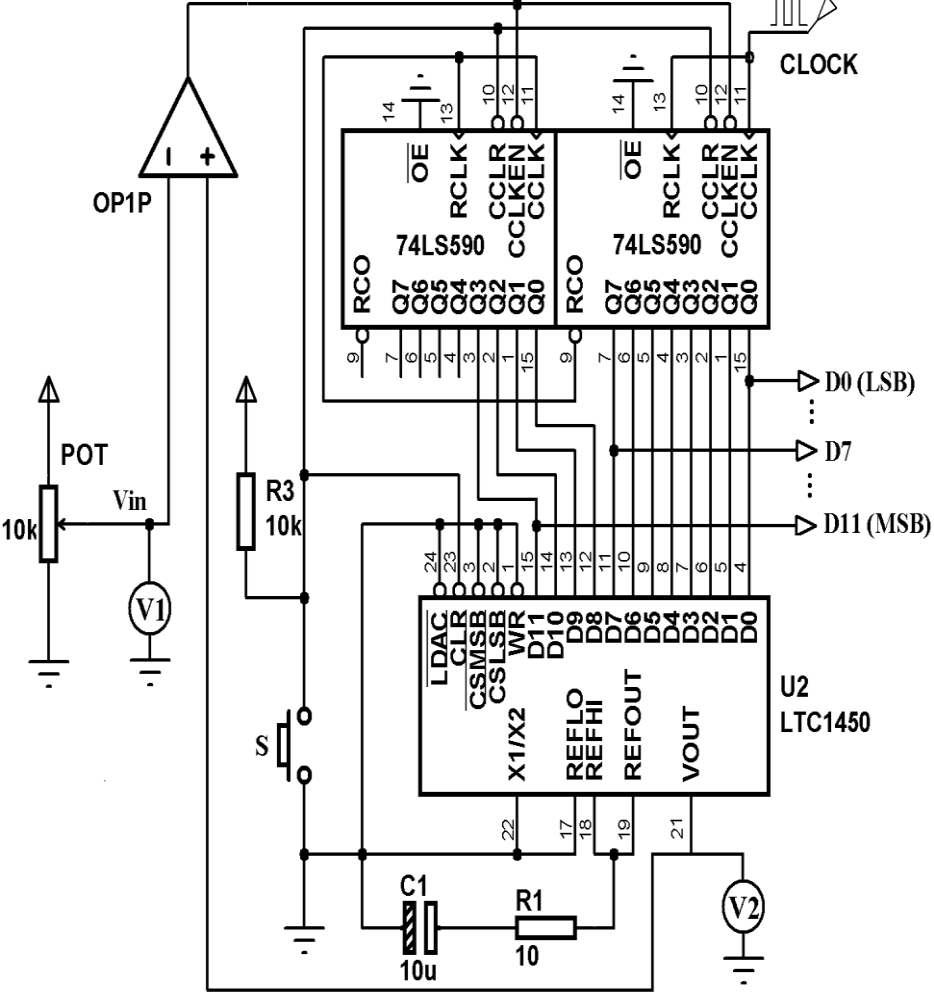
ÖĞRENCİNİN		DEĞERLENDİRME				TOPLAM	
Adı:							
Soyadı:						Rakam	Yazı
Sınıf:							
No:	Öğretmen				Tarih:.././....	İmza	

UYGULAMA FAALİYETİ

UYGULAMA ADI	MAX1447 entegresi ile ölçü aleti yapımı	UYGULAMA NO	2
<p>Açıklama: 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 göstereyi 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 ± 200 mV ile ± 2 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"> ➤ Şemada verilen elemanları çalışma masanızın üzerine hazırlayınız. ➤ Yukarıdaki devreyi dikkatli bir şekilde kurunuz. Güç kaynağını bağlamayınız. ➤ Devre bağlantılarını yeniden kontrol ettikten sonra 5 volt DC güç kaynağı uçlarını bağlayınız. ➤ Devreye enerji vererek test ediniz. 		<ul style="list-style-type: none"> ➤ 4,5 Digit hazır gösterge yerine 5 adet 7 segment ortak katotlu display'ın segment uçlarını birleştirerek kullanabilirsiniz. ➤ Yukarıdaki devrede entegrenin DPon, DPset1 ve DPset2 uçları ile göstergede noktanın yeri ayarlanabilir. Ayrıntılı bilgilere entegre kataloğundan ulaşabilirsiniz. ➤ Şemayı dikkatlice inceledikten sonra bağlantılara geçiniz. ➤ Entegrenin ayak numaralarını doğru tespit ediniz. ➤ DC güç kaynağının + ve – uçlarını doğru bağlayınız. ➤ Bu devrenin baskı devresini çıkarıp bakır plakete montajını yaparak kendinize bir ölçü aleti yapabilirsiniz. 	
ÖĞRENCİNİN		DEĞERLENDİRME	
Adı:			TOPLAM
Soyadı:			Rakam
Sınıf:			Yazı
No:	Öğretmen		Tarih:.././....
			İmza

UYGULAMA FAALİYETİ

UYGULAMA ADI	Sayısal Eğimli (Basamak Rampalı) A/D Dönüştürücü Devresi	UYGULAMA NO	3
<p>Açıklama: 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 bitlik sayıcıdan iki adet kullanılarak 12 bit 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"> ➤ Şemada verilen elemanları çalışma masanızın üzerine hazırlayınız. ➤ Yukarıdaki devreyi dikkatli bir şekilde kurunuz. Güç kaynağını bağlamayınız. ➤ Devre bağlantılarını yeniden kontrol ettikten sonra 5 volt DC güç kaynağı uçlarını bağlayınız. ➤ 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. ➤ Devrede V_1 voltmetresi girişe uygulanan analog gerilim değerini göstermektedir. Dijital çıkışlar LTC1450 DAC entegresi ile tekrar analoga dönüştürülür. V_2 voltmetresi ise merdiven şeklindeki bu referans gerilimini ölçmektedir. ➤ S butonuna basılarak bir çevrim başlatılır. V_2 voltmetresinin gösterdiği değer sıfırdan başlayıp artarak V_1 değerine eşit olduğunda çevrim bitmiş olur ve sayıcı durur. Bu durumda analog değer karşılığı olan dijital kod (D11, D10, D9, ..., D0) çıkışlarında görülür. ➤ Potansiyometrenin değerini değiştirip butona basarak A/D dönüşüm işlemini tekrarlayınız. V_1 voltmetresinin gösterdiği değer ile dijital çıkışları bir tablo yaparak yazınız. Bu işlem basamağını on defa tekrarlayınız. 		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Şemayı dikkatlice inceledikten sonra bağlantılara geçiniz. ➤ Entegrenin ayak numaralarını doğru tespit ediniz. ➤ DC güç kaynağının + ve – uçlarını doğru bağlayınız. 	
ÖĞRENCİNİN	DEĞERLENDİRME		TOPLAM
Adı:			
Soyadı:			Rakam
Sınıf:			Yazı
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 mikroişlemcilerle birlikte kullanabilmek için
 - D) Dijital çıkışı ayarlamak için

8. Çıkış *bit* sayısı 8 olan ADC, analog sinyalin maksimum değerini kaç ayrı 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 dijital 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.

ÖĞRENME FAALİYETİ-2

AMAÇ

D/A dönüştürücü devrelerini kurup, dijital sinyalleri analog sinyallere dönüştürebileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- İkilik sayı sistemini araştırarak daha önceden öğrendiklerinizi hatırlayınız.
- İkilik sayı ile gösterilen bir değer nasıl gerilim değerine dönüştürülür, araştırınız.

2. DİJİTAL- ANALOG DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

Analog değerler dijitale dönüştürüldükten sonra işlem görür, saklanır, uzak mesafelere iletilir, çeşitli ekranlarda gösterilir. Bazı durumlarda dijital değerleri yeniden analog değerlere dönüştürmek gerekir. Örneğin bilgisayarımızda bir müzik parçasını dijital olarak kayıtlı bulunmaktadır. Dinlemek istediğimizde bu dijital değerler hoparlör için anlamlı ve kullanılabilir değerler değildir. Yeniden analog değere dönüştürülerek hoparlöre verilmelidir.

Dijital değerleri analog değerlere dönüştüren devrelere DAC (Digital Analog Converter, D/A dönüştürücü) denilir. Bu öğrenme faaliyetinde DAC devrelerinin temel esaslarını, çeşitlerini ve sık kullanılan entegreleri öğrenerek çeşitli uygulamalar yapacaksınız. Böylece dijital devrelerden analog devrelere nasıl bilgi aktarıldığını öğreneceksiniz.

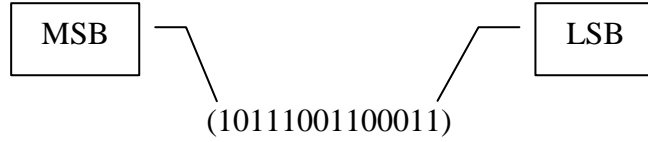
2.1. DAC Esasları

Dijital/analog dönüştürücüler (DAC), girişindeki sayısal değerlere karşılık olarak çıkışlarında analog bir gerilim veya akım üretmektedir. Analog mantıkla çalışan cihazların mikroişlemci ile kontrolünde DAC'lar kullanılır. DAC'ları kullanmak ADC'leri kullanmaya göre daha kolaydır. Birçok DAC'da, ADC'lerde olduğu gibi çevrime başlama, çevrimin bitmesini bekleme gibi kontrol işlemleri yoktur. ADC'lere göre çevrim süreleri çok daha kısa ve hızları yüksektir. Şekil 2.1'de DAC genel sembolü verilmiştir. DAC'ların yapısına ve çeşitlerine geçmeden önce D/A dönüştürücüler için kullanılan temel kavramları bilmekte fayda var.



Şekil 2.1: DAC genel sembolü

MSB ve LSB: Dijital değerler ikilik sayı sistemi ile gösterilen değerlerdir. İkilik sayı sisteminde en sağdaki rakamdan itibaren basamaklar (... ,27,26,25,24,23,22,21,20) ikinin katları şeklinde (... ,128,64,62,16,8,4,2,1) sola doğru artarak devam eder. Her basamağın ağırlığı farklıdır. Örneğin 3. basamağın 1 ya da 0 olması sayıyı ± 4 etkilerken, 8. basamağın 1 ya da 0 olması sayıyı ± 128 etkiler. Dijital değerlerde ağırlığı en yüksek basamağa En Anlamlı Bit, (Most Significant Bit, MSB), ağırlığı en düşük basamağa ise En Az Anlamlı Bit (Least Significant Bit, LSB) denir.



Şekil 2.2: MSB ve LSB

Çözünürlük: Bir D/A dönüştürücünün çıkışında oluşabilecek en küçük analog değer en büyük analog değere oranına çözünürlük denilir. Çözünürlük oran olarak $(1/2^n)$ gösterildiği gibi direk giriş bit sayısı olarak da (n bitlik DAC gibi) ifade edilir. DAC'ın giriş bit sayısının artması çözünürlüğü artırır. Örneğin 8 bitlik bir DAC girişinde maksimum $2^8=256$ adet farklı dijital değer olabilir. Bu DAC'ın çözünürlüğü $1/256$ 'dır. Oranın sayısal olarak değerinin küçülmesinin çözünürlüğün artması anlamına geldiğine dikkat ediniz.

Tam Skala (Full Scala): Dijital-Analog çeviricilerde giriş olarak kullanılan bitlerin hepsinin 1 olması durumuna tam skala (Full Scala ya da FS) denir. Giriş olarak verilen tüm bitler anlamlandırıldığı için çıkış voltajı veya akımı maksimum değerde olacaktır.

Doğruluk: D/A dönüştürücü çıkışında olması beklenen analog değer ile gerçekleşen değer arasındaki ilişkiye doğruluk denir. Bir DAC'ın bütün dijital girişleri düşük değerlikli "0" olduğunda analog çıkışın sıfır olması beklenilir. Bu durumda çıkışta sıfırdan farklı oluşan değer hatadır. Kullanılan OP-AMP'ların ve dirençlerin tolerans değerlerinden kaynaklanan hatalar ortaya çıkar. Özellikle bu elemanların değerlerinde sıcaklıkla meydana gelen değişiklikler hataları artırır. DAC devrelerinde tam skala durumunda $\pm 1/2\text{LSB}$ kadar hata kaçınılmazdır ve kabul edilebilir sınırdır.

Giriş-Çıkış İlişkisi: Giriş bitlerindeki değişime karşılık çıkış akım veya geriliminde gözlenen değişimdir. LSB'den MSB'ye doğru bitlerdeki ağırlık değeri artacağından çıkış voltajı üzerindeki etkisi de artacaktır. Birim artış çözünürlük gerilimine eşittir. Şekil 2.3'te $V_{\max} = 10$ Volt olan 4 bitlik DAC devresinin giriş-çıkış ilişkisi gösterilmiştir.

$$\text{DAC çözünürlüğü} = 1/2^n = 1/2^4 = \frac{1}{16}$$

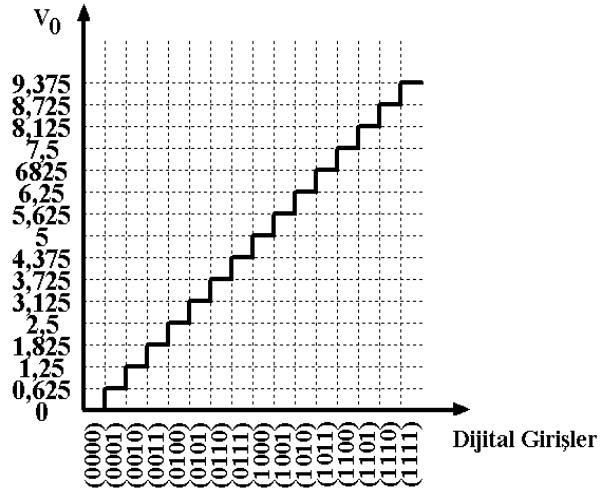
$$\text{DAC çözünürlük gerilimi} = V_{\max} \times 1/2^8 = 10 \times \frac{1}{16} = 0,625 \text{ Volt}$$

Girişte LSB bitinin değişmesi çıkışı çözünürlük gerilimi kadar yani $\pm 0,625\text{V}$ etkiler.

Çıkış analog değeri $V_0 = V_{\max} \times \frac{\text{Giriş}}{2^n}$ Formülü ile her giriş için ayrı ayrı hesaplanabilir.

Şekil 2.2'deki tablo oluşturulur.

DAC Girişleri				Analog Çıkış
D ₃	D ₂	D ₁	D ₀	V ₀
0	0	0	0	0 V
0	0	0	1	0,625 V
0	0	1	0	1,25 V
0	0	1	1	1,875 V
0	1	0	0	2,5 V
0	1	0	1	3,125 V
0	1	1	0	3,75 V
0	1	1	1	4,375 V
1	0	0	0	5 V
1	0	0	1	5,625 V
1	0	1	0	6,25 V
1	0	1	1	6,875 V
1	1	0	0	7,5 V
1	1	0	1	8,125 V
1	1	1	0	8,75 V
1	1	1	1	9,375 V



Şekil 2.3: 4 Bit DAC giriş çıkış ilişkisi

+Vref ve -Vref değerleri D/A dönüştürücünün Vmax çıkışını ayarlamak için kullanılır. Bazı DAC entegrelerinde referans ucu bulunmamakta, entegre içinde sabit referans değeri bulunmaktadır. Bir DAC girişindeki bütün bitler yüksek seviyede "1" olursa çıkış maksimum analog değer de (Vmax) olmalıdır. Girişteki bütün bitler düşük seviyede "0" olursa, çıkış minimum değerde (Vmin) olmalıdır.

D/A dönüştürücüler çıkışları sadece pozitif veya hem pozitif hem negatif analog değer verecek şekilde tasarlanır. Pozitif çıkışlı olanlarda çıkış değeri 0 ile +Vmax arasında değişir. Negatif çıkış verenler de ise çıkış değeri "0" ile -Vmax arasında değişir. Simetrik çıkışlı dönüştürücülerde en anlamlı bit olan MSB, değerini pozitif veya negatif olduğunu gösterecek şekilde devre tasarlanır. MSB "1" diğer girişler "0" olduğunda analog çıkış "0" volt olacak şekilde referans değerleri ayarlanır. Geri kalan girişlerin değerine göre çıkış genliği oluşur. Örneğin LTC1450 entegresi 12 bitlik pozitif çıkışlı bir D/A dönüştürücü iken, DAC0800 entegresi 8 bitlik simetrik çıkışlı D/A Dönüştürücüdür.

Girişteki her dijital değerinin bir analog karşılığı çıkışta üretilmektedir. Giriş değerine karşılık olan çıkıştaki analog değer şöyle hesaplanır:

$$\text{Çıkış analog değeri } V_0 = V_{\max} \times \frac{\text{giriş}}{2^n}$$

Örnek: 8 bit girişi olan bir DAC entegresi $V_{\max} = 5$ volt olacak şekilde bağlanmıştır. Girişine (01110011) değeri uygulanırsa çıkışından kaç volt analog sinyal alınır?

$$\text{DAC çözünürlüğü} = 1/2^n = 1/2^8 = \frac{1}{256}$$

$$\text{Dac çözünürlük gerilimi} = V_{\max} \times 1/2^8 = 5 \times \frac{1}{256} = 0,01953 \text{ Volt} = 19,53 \text{ mV}$$

Girişte LSB bitinin değişmesi çıkışı çözünürlük gerilimi kadar yani $\pm 19,53 \text{ mV}$ etkiler.

$$\text{Giriş değeri} = (01110011)_2 = (0 \times 128 + 1 \times 64 + 1 \times 32 + 1 \times 16 + 0 \times 8 + 0 \times 4 + 1 \times 2 + 1 \times 1) = 115$$

$$\text{Çıkış analog değeri } V_0 = V_{\max} \times \frac{\text{giriş}}{2^n} = 5 \times \frac{115}{256} = 2,246 \text{ Volt}$$

2.2. Çeşitleri

D/A dönüştürücü devrelerin temelini OP-AMP'lar (İşlemsel yükselteç) oluşturmaktadır. Bilindiği üzere Op-Amp'lar elektrik sinyalleri üzerinde değişik işlemleri gerçekleştiren aynı zamanda yükselten yüksek kazançlı amplifikatör devreleridir. Op-Amp'lar için Endüstriyel Kontrol ve Arıza Analizi dersi İşlemsel Yükselteçler modülüne bakabilirsiniz. DAC devrelerinde Op-Amp'lar toplayıcı olarak kullanılmaktadır.

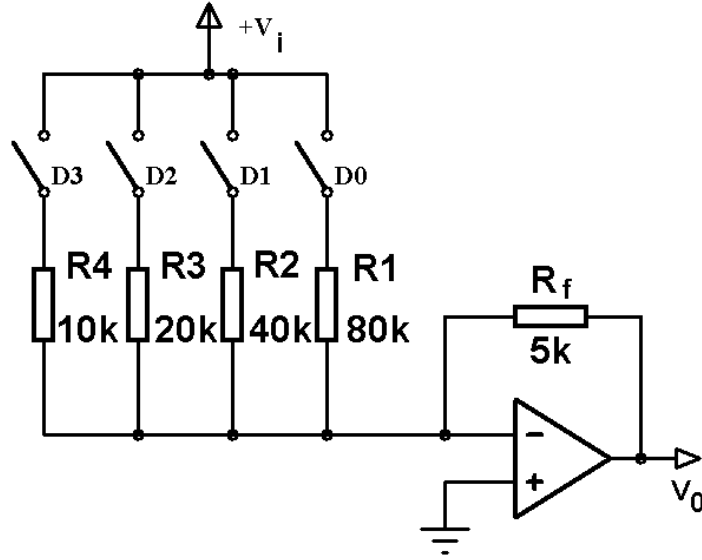
Dijital sinyalleri, analog sinyallere dönüştürmek için iki temel yaklaşım vardır.

- Ağırlık dirençli (paralel girişli) D/A dönüştürücü
- R-2R merdiven tipi D/A dönüştürücü

D/A dönüştürücü olarak bu iki yöntemin dışında darbe genişlik modülasyonunu da (PWM) saymamız gerekir. PWM sinyali dijital çıkış olsa bile, düşük frekanslı analog sinyal ortalama değeri gibi etki gösterir. PWM kullanılarak gerilim ve akımın ortalama değeri değiştirilerek motor hız kontrolü, lamba ışık şiddeti ayarı, led sürücü devreleri vb. yapılmaktadır.

2.2.1. Ağırlık Dirençli (Paralel Girişli) D/A Dönüştürücü

Bu yöntemde OP-AMP toplayıcı ve eviren yükselteç olarak kullanılmıştır. Giriş dirençleri ikinin ağırlıklarına göre giriş bit sayısı kadar belirlenir. Bu tip DAC'nin devresi Şekil 2.4'te gösterilmiştir. Giriş direncinin değeri bu girişin temsil ettiği bitin ağırlığına bakılarak belirlenir. Çıkış gerilimine etkisinin fazla olması için ağırlığı yüksek olan girişin direnci küçük seçilir. Ağırlık düşüktüçe aynı oranda direnç değeri artar.



Şekil 2.4: Ağırlık dirençli 4 Bit D/A dönüştürücü

Op-Amp'lı eviren yükselteç devresinde sinyalin eviren girişe ($-in$) uygulandığını, evirmeyen girişin ($+in$) şaseye bağlandığını, yükselteç kazancının $A = \frac{-R_f}{R_1}$ olduğunu ve çıkış geriliminin ise $V_0 = V_i \times A$ denklemi ile hesaplandığını hatırlayınız. Şekil 2.4'teki devrede tek giriş yerine dirençler ile bit sayısı kadar giriş yapıldığı görülmektedir. Toplayıcı devreleri hatırladığımızda bu devrenin kazancının $A = -R_f \times \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right)$ olacağını ve çıkış geriliminin $V_0 = -V_i \times \left(\frac{R_f}{R_1} + \frac{R_f}{R_2} + \frac{R_f}{R_3} + \frac{R_f}{R_4} \right)$ formülü ile hesaplanması gerektiğini göreceksiniz.

R_1, R_2, R_3, R_4 direnç değerleri giriş bit ağırlığı dikkate alınarak (1,2,4,8) katsayılarında, giriş bit değerleri için D0, D1, D2, D3 ve $R_f = R/2$ seçilirse çıkış gerilimi Şekil 2.3'teki devre için aşağıdaki formülle hesaplanabilir. Maksimum çıkış geriliminin referans değerine eşit olması için $R_f = R/2$ olarak alınmıştır.

$$V_0 = -V_i \times \left(D_0 \frac{R}{16R} + D_1 \frac{R}{8R} + D_2 \frac{R}{4R} + D_3 \frac{R}{2R} \right)$$

$$V_0 = -V_i \times \left(D_0 \frac{1}{16} + D_1 \frac{1}{8} + D_2 \frac{1}{4} + D_3 \frac{1}{2} \right)$$

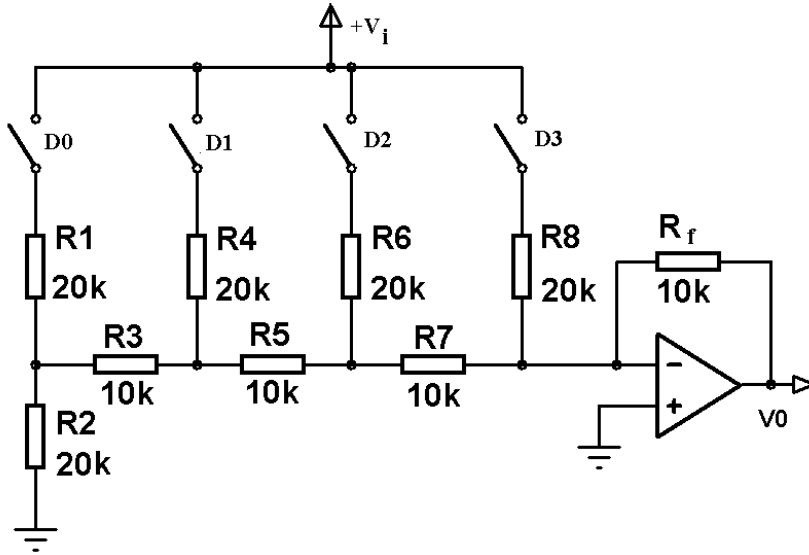
$V_i = V_{ref}$ yazıp paydaları eşitleyip formülü aşağıdaki son duruma getirebiliriz. D0, D1, D2, D3 yerlerine dijital giriş değerlerini (1 veya 0) yazdığımızda çıkış gerilimini hesaplamış oluruz.

$$\text{DAC çıkış gerilimi } V_0 = - \frac{V_{ref}}{16} (D_0 + 2D_1 + 4D_2 + 8D_3)$$

Şekildeki devre için çıkış geriliminin negatif olduğuna dikkat ediniz. Çünkü işlemsel yükseltecin eviren girişi kullanılmıştır.

2.2.2. R-2R Merdiven Tipi D/A Dönüştürücü

Ağırlık dirençli D/A dönüştürücüde her giriş için farklı değerde direnç kullanmak gerekir. Bu durum özellikle çözünürlüğü yüksek olan DAC'lerde (24 bit giriş v.b) zorluk oluşturur. Dirençler şekil 2.5'te olduğu gibi bağlanırsa devreyi oluşturmak için iki farklı değerde direnç olması yeterlidir.



Şekil 2.5: R-2R merdiven tipi 4 bit D/A dönüştürücü

Bu devrede direnç değerlerinin R-2R olarak sıralanması ve çıkış dalga şeklinin merdiven basamağı şeklinde artması sebebiyle bu tip dönüştürücülere R-2R merdiven tipi D/A dönüştürücü denilir. Şekil 2.5'te verilen R-2R merdiven tip DAC devresinde D0, D1, D2, D3 ile gösterilmiş dijital girişlerin op-amp eviren girişine etkileri farklıdır. Önünde büyük direnç değeri olan dijital giriş op-amp girişine daha az akım ulaştıracaktır ve bunun sonucu olarak da çıkıştaki etkisi daha az olacaktır. D0 en ağırlıksız bit (LSB) olup devrenin çözünürlüğünü belirler. Tam skala değerinin (maksimum çıkışın) 1/16'sı kadar çıkışı etkiler. D3 ise en değerlikli bit (MSB) olup çıkışa tam skala değerinin yarısı olarak etki eder. Devrenin çözümünü uzun uzun anlatmak yerine çıkış gerilimini veren formülün yine aynı

olacağını belirterek sonuca gidelim. İstenilirse her giriş için “1” değerlerinin sıfır olduğunu varsayarak çıkış gerilim değeri dört defa hesaplanır, devrenin çıkış gerilim değeri bu dört farklı sonucun toplamıdır.

$$\text{DAC Çıkış gerilimi } V_0 = - \frac{V_{ref}}{16} (D_0 + 2D_1 + 4D_2 + 8D_3)$$

2.3. Entegre Tipi D/A Dönüştürücüler

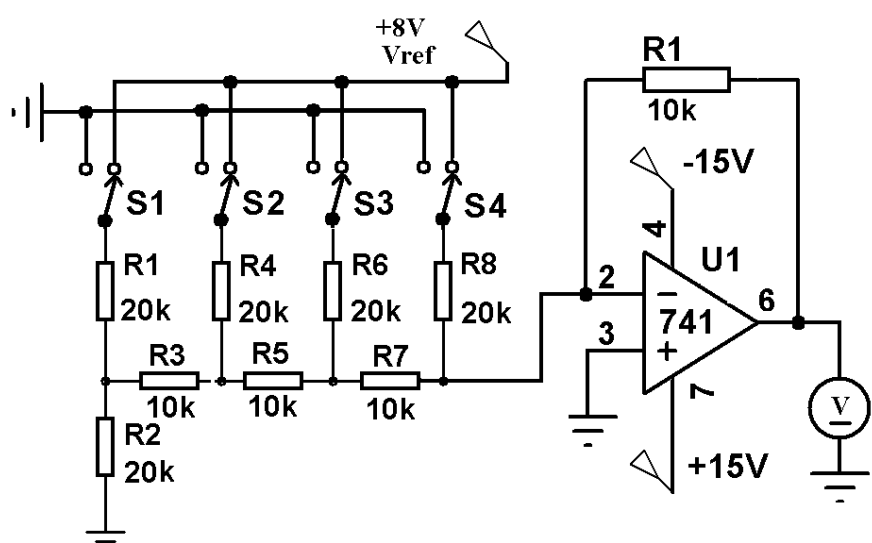
ADC devrelerinde olduğu gibi D/A dönüştürücü devreleri de hazır entegre olarak üretilmiştir. Çeşitli dijital devrelere direk bağlanabilecek şekilde paralel girişli DAC entegreleri üretildiği gibi mikro denetleyicilerle birlikte kullanıma uygun paralel veya seri girişli değişik çözünürlüklerde entegreler mevcuttur. Ayrıca üretici firmalar özel uygulamalara yönelik olarak besleme gerilimi, çıkış polaritesi, akım veya gerilim çıkışlı, maksimum çıkış değeri gibi özellikleri değiştirerek entegre çeşitliliğini artırmıştır. Tablo 2.1’de çeşitli DAC entegreleri ve özellikleri verilmiştir.

DAC	Çözünürlük	DAC Kanal Sayısı	Giriş Habereşme Tipi	Çevrim Süresi	Çıkış Tipi Gerilim Sumarı	Kullanım Alanı
AD558	8 Bit	1	Paralel	1 μ s	0-2,56V veya 0-10V	Genel
DAC0800	8 Bit	1	Paralel	100 ns	\pm 20V veya Akım Çıkışlı	Genel
MC1408	8 Bit	1	Paralel	70 ns	Akım Çıkışlı	Genel Hızlı DAC
ZN425E	8 Bit	1	Paralel	2 μ s	0-2,5V	Genel
AD5320	12 Bit	1	Seri	12 μ s	0-5V	Mikrokontrolör
LTC1450	12 Bit	1	Paralel	14 μ s	0-5V	Endüstriyel
MAX5316	16 Bit	1	SPI	3 μ s	Programlanabilir Gerilim, Akım	Haberleşme Medikal Cihazlar Oto. Test Sistemleri
MAX5879	14 Bit	1	Direkt RF Sinyal	2,3Gsp/s	Akım Çıkışlı	Dijital Video Uyg. Kablosuz Altyapı Uyg.

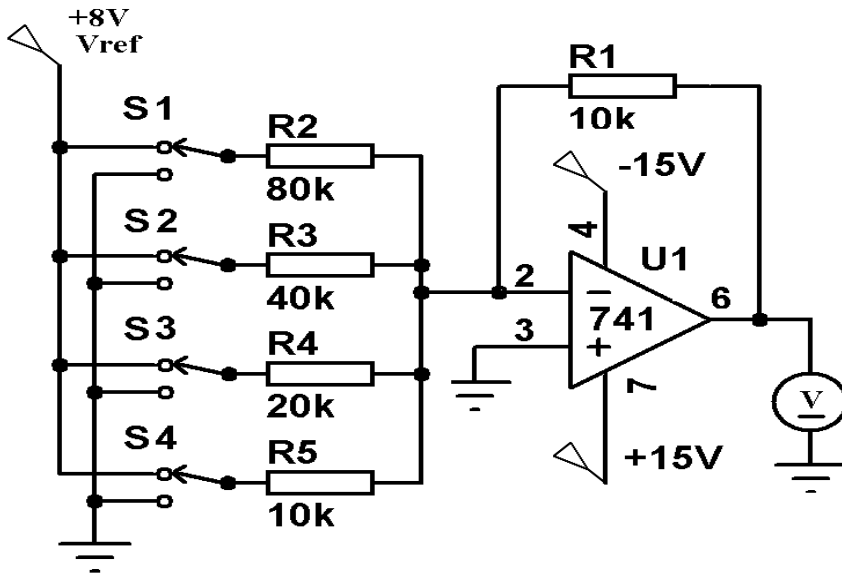
Tablo 2.1: Çeşitli DAC entegreleri ve özellikleri

UYGULAMA FAALİYETİ

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

UYGULAMA ADI	R-2R dirençli merdiven tipi d/a dönüştürücü yapmak	UYGULAMA NO	1
<p>Açıklama: Bu uygulamayı dijital elektronik deney setinizde, bir elektronik devre çizim ve simülasyon programı üzerinde (örn. ISIS) veya deneme bordu üzerine devreyi kurarak yapabilirsiniz.</p>  <p>Şekil 1: R-2R dirençli merdiven tipi DAC devresi</p> <p>Malzeme Listesi 741 Op-Amp entegresi, 4 adet 10k ve 5 adet 20k direnç, orta uçlu (üç uçlu) anahtar, ±15 volt DC güç kaynağı, DC voltmetre</p>			

İŞLEM BASAMAKLARI	ÖNERİLER
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Malzeme listesindeki elemanları çalışma masanızın üzerine hazırlayınız. ➤ Şekil 1’deki devreyi dikkatlice kurunuz. Güç kaynağını bağlamayınız. ➤ Devre bağlantılarını yeniden kontrol ettikten sonra DC güç kaynağı uçlarını bağlayınız. ➤ Devreye enerji veriniz, bütün anahtarları “0” şase duruma alınız. Voltmetrede okunan gerilim değerini aşağıdaki tablonun ilk satırına yazınız. ➤ Sıra ile anahtar durumlarını ayarlayınız. Anahtarların durumuna karşılık gelen dijital giriş değerini ve ölçtüğünüz gerilim değerlerini tabloya yazınız. ➤ Şekil 2’deki devreyi dikkatlice kurarak 3.4. ve 5. işlem basamaklarını tekrarlayınız. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Devre bağlantılarını kontrol etmeden enerji vermeyiniz. ➤ Devrede bir değişiklik yapmadan önce enerjiyi kesiniz. ➤ Anahtarların tamamı “0” durumunda olduğu halde voltmetre sıfırdan farklı bir değer gösteriyor olabilir. Op-Amp entegresinin sıfır kalibrasyonunu (ofset ayarı) bir potansiyometre kullanarak yapabilirsiniz. Ya da bu hata deney boyunca devam edeceği için yok sayıp devam edebilirsiniz. ➤ Elektronik devre çizim ve simülasyon programı (örneğin ISIS) kurulu bilgisayarınız varsa bu uygulamayı orada tekrarlayınız. ➤ Anahtarların yerine dört bitlik sayıcı devresi kurup bağlayabilirsiniz. Sayıcı yukarı yönde saydıkça çıkışın merdiven şeklinde arttığını osilaskop ile gözlemleyebilirsiniz.



Şekil 2: Ağırlık dirençli DAC devresi

S1	S2	S3	S4	Dijital Giriş Değeri	Çıkış Gerilimi (volt)
0	0	0	0		
0	0	0	1		
0	0	1	0		
0	0	1	1		
0	1	0	0		
0	1	0	1		
0	1	1	0		
0	1	1	1		
1	0	0	0		
1	0	0	1		
1	0	1	0		
1	0	1	1		
1	1	0	0		
1	1	0	1		
1	1	1	0		
1	1	1	1		

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

UYGULAMA FAALİYETİ

UYGULAMA ADI	DAC0800 entegresi ile d/a dönüştürücü yapmak	UYGULAMA NO	2
<p>Açıklama: 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>DAC0800 entegresi 8 bit, iki referans ucu bulunan, simetrik çıkışlı bir D/A dönüştürücü entegresidir. $+V_{ref}$ ve $-V_{ref}$ uçları ile uygun referans gerilimleri uygulanarak çıkışın maksimum değeri ve polaritesi belirlenebilir. Aşağıda verilen şemada $-V_{ref}$ şaseye bağlanmış $+V_{ref}$ ise potansiyometre ile ayarlı yapılmıştır. Bu durumda çıkış analog değeri 0 ile $-V_{max}$ ($-V_{max} = 2xV_{ref}$) arasında değişir. Dijital girişlerin hepsi "1" yapılır, çıkışın maksimum değeri potansiyometre ile ayarlanır. Dijital girişlere anahtarlar açık iken dirençler üzerinden "1", anahtarlar kapalı iken "0" uygulanmış olur. Entegrenin B1 (MSB) en yüksek değerli girişidir. B8 ise (LSB) en az değerli girişidir.</p>			
<p>Malzeme Listesi: DAC0800 entegresi, 9 adet 10k direnç, 2 adet 5k direnç, 2 adet 100 nF kondansatör, 10 nF kondansatör, 10k potansiyometre, 8 adet anahtar, DC voltmetre, $\pm 12V$ DC güç kaynağı, deneme bordu ve el takımları.</p>			

B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	Dijital Giriş Değeri	IOU T volt	\overline{IOU} T volt
0	0	0	0	0	0	0	0			
1	1	1	1	1	1	1	1			

V_{max} :

V_{ref} :

$V_{max}/V_{ref} =$

ÖĞRENCİNİN	DEĞERLENDİRME				TOPLAM	
Adı:						
Soyadı:					Rakam	Yazı
Sınıf:						

İŞLEM BASAMAKLARI	ÖNERİLER
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Malzeme listesindeki elemanları çalışma masanızın üzerine hazırlayınız. ➤ Yukarıdaki devreyi dikkatli bir şekilde kurunuz. Güç kaynağını bağlamayınız. ➤ Potansiyometreyi göz kararı orta konuma ayarlayınız. ➤ Devre bağlantılarını yeniden kontrol ettikten sonra DC güç kaynağı uçlarını bağlayınız. ➤ Devreye enerji veriniz, bütün anahtarları açık duruma (bütün girişler "1") alınız. Voltmetrede okunan gerilim değerini potansiyometre ile -8V olarak ayarlayınız. ➤ Bütün anahtarları kapatınız. Çıkış gerilimi voltmetrede "0" olarak okunmalıdır. ➤ Anahtarlar ile dijital girişlerden farklı değerler girerek çıkış gerilimini ölçünüz. Bu işlemi 10 defa tekrarlayıp aşağıdaki tabloya yazınız. ➤ Tam skala durumunda çıkışta ölçülen V_{max} değerini ölçünüz. Voltmetre ile entegrenin 14 numaralı ayağına gelen $+V_{ref}$ gerilimini ölçünüz. V_{max} ile V_{ref} arasındaki oranı inceleyiniz. ➤ IOUT Çıkışına bağlı RL direnci ve voltmetreyi entegrenin 2 numaralı $IOUT$ çıkışına bağlayınız. 7. işlem basamağındaki dijital girişleri yeniden uygulayınız. ➤ Bu DAC devresinde çıkışın 0 ile $+V_{max}$ arasında değişmesi için nasıl bir bağlantı yapmamız gerekir? Araştırınız. Devreye bir op-amp bağlayıp çıkışın tersini almamız çözüm olur mu inceleyiniz. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Devre bağlantılarını kontrol etmeden enerji vermeyiniz. ➤ Devrede bir değişiklik yapmadan önce enerjiyi kesiniz. ➤ Elektronik devre çizim ve simülasyon programı (örneğin ISIS) kurulu bilgisayarınız varsa bu uygulamayı orada tekrarlayınız

KONTROL LİSTESİ

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

Değerlendirme Ölçütleri		Evet	Hayır
1	Kurulacak D / A 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. Sesimizi bilgisayarda kayıt edip dinlediğimizde hangi seçenekte ki olay kesinlikle **gerçekleşmemiştir**.
A) Mikrofonla ses analog elektrik sinyaline dönüştürülmüştür.
B) Bir ADC ile dijitale çevrilmiştir.
C) Bir DAC ile analoga çevrilmiştir.
D) Hoparlöre dijital kayıtlı dosya gönderilmiştir.
2. Mikroişlemci ile analog mantıkla çalışan çeşitli cihazlar kontrol edilirken hangi devrelere **kesinlikle** ihtiyaç vardır.
A) DAC devreleri
B) Filtre devreleri
C) Dijital göstergeler
D) Gerilim / frekans çeviriciler
3. Dijital değerlerde ağırlığı en düşük *bite* ne ad verilir.
A) Önemsiz *bit* B) LSB C) EDB D) MSB
4. Dört bit girişi bulunan bir DAC'ın çözünürlüğü hangi seçenekte doğru olarak verilmiştir.
A) 1/2 B) 1/4 C) 1/8 D) 1/16
5. Hangisi bir D/A dönüştürücü çeşidi **kesinlikle değildir**.
A) Ağırlık dirençli D/A dönüştürücü
B) PWM çıkışı
C) Ayrık zamanlı dönüştürücü
D) R-2R dirençli D/A dönüştürücü
6. DAC devresi için yazılanlardan hangisi **yanlıştır**.
A) Dijital değerleri analog değerlere dönüştürür.
B) DAC devreleri bir analog devrenin çıkışında kullanılır.
C) Bazı A/D dönüştürücü devrelerin de DAC kullanılır.
D) R-2R dirençli DAC devresinde iki farklı direnç kullanılmıştır.
7. Hangi seçenek D/A dönüştürücü çıkışında olması beklenen analog değer ile gerçekleşen değer arasındaki ilişkidir.
A) Doğruluk B) Çözünürlük C) Bit sayısı D) Tam skala
8. DAC entegrelerinin çıkış polaritesi hakkında hangisi **söylenemez**.
A) Negatif çıkışlı olanları vardır.
B) Pozitif çıkışlı olanları vardır.
C) Besleme uçları ile çıkış polaritesi ayarlanır.
D) Referans uçları ile çıkış polaritesi ayarlanır.

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

1. () Dijital değerlerde ağırlığı en yüksek basamağa en anlamlı bit (MSB) denir.
2. () DAC'ın giriş bit sayısının artması çözünürlüğü artırır.
3. () DAC devrelerinde yüksek toleranslı dirençler kullanılır.
4. () Bir DAC'ın bütün girişlerinin "1" olması durumuna Full basma denir.
5. () DAC'lar ADC devrelerine göre daha hızlıdır.
6. () DAC girişindeki her bit çıkıştaki analog değeri aynı oranda etkiler.
7. () Ağırlık dirençli DAC devresinde girişte bulunan dirençlerin değerleri farklıdır.
8. () PWM dijital bir çıkış olmasına rağmen ortalama değeri bakımından analog sinyal gibi etki gösterir.

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 "Modül Değerlendirme" ye geçiniz.

MODÜL DEĞERLENDİRME

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

1. () Maksimum ve minimum sınırları arasında farklı değerler alarak değişen elektriksel büyüklüklere *analog bilgi* ya da *analog değer* denir.
2. () Dijital değerler “1” ve “0” ile gösterilebilen değerlerdir.
3. () ADC girişindeki her analog değere karşılık farklı bir dijital değer üretir.
4. () ADC’lerde çevrim zamanı uzun olmalıdır.
5. () Örnekleme frekansı en az analog sinyal frekansı kadar olmalıdır.
6. () Gerçekleşen bir sonucun, beklenen teorik değerden farkına hata denir.
7. () Paralel karşılaştırmalı tipte yüksek çözünürlüklü ADC’ler yapılır.
8. () Yüksek frekanslı analog sinyalleri dijital değerlere dönüştürmek için boru hattı tipi ADC’ler kullanılır.
9. () Ayrık zamanlı ADC tipinde birden fazla sayıda ADC paralel çalışır.
10. () Paralel karşılaştırmalı ADC’ler çok hızlıdır ancak yüksek çözünürlük için çok sayıda karşılaştırmalı gerekir. Pahalı olduğu için tercih edilmez.
11. () Alt kapsamlı karşılaştırmalı ADC’ler de karşılaştırmalı sayısı daha azdır.
12. () Girişin ortalamasını alan (integral alıcı devreleri bulunan) ADC’ler giriş analog sinyalinde bulunan gürültülerden az etkilenir.
13. () Dijital ölçü aletlerinde çift eğimli ADC’ler kullanılmaz.
14. () Delta-sigma ADC, çıkışında kullanılan dijital filtreler ve sayıcı saat frekansı değiştirilerek analog sinyalin türüne göre ADC özellikleri programlanabilir.
15. () Delta-sigma ADC’ler çok hassas A/D dönüşümleri yapılabilir.
16. () Delta-sigma ADC’ler çok hızlıdır.
17. () Boru hattı tipi (Pipeline) A/D dönüştürücü birbirinin tekrarı olan bit sayısı kadar aşamadan meydana gelmiştir.
18. () Çıkışında direk gösterge sürebilen ADC entegreleri, ölçü aleti devrelerinde tercih edilir.
19. () Bir ADC entegresinin mikroişlemci ile haberleşmesi paralel I²C, SPI gibi yöntemlerle olur.
20. () Dijital değerler analog sinyallere dönüştürülemez.
21. () LSB en ağırlıklı *bit* demektir.
22. () DAC devrelerinde $\pm 1/2$ LSB kadar hata kaçınılmazdır.
23. () DAC devrelerinde op-amp fark alıcı olarak kullanılır.
24. () R-2R merdiven tipi D/A dönüştürücü de çıkış dalga şekli merdiven basamağı gibi artar.
25. () Ağırlık dirençli DAC çeşidinde bütün direnç değerleri aynıdır.
26. () PWM analog çıkıştır.

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 modüle geçmek için öğretmeninize başvurunuz.

CEVAP ANAHTARLARI

ÖĞRENME FAALİYETİ-1'İN CEVAP ANAHTARI

SORU	CEVAP	SORU	CEVAP
1	A	11	DOĞRU
2	C	12	YANLIŞ
3	B	13	DOĞRU
4	B	14	DOĞRU
5	D	15	ADC
6	D	16	Çevrim Zamanı
7	C	17	Paralel Karşılaştırmalı
8	A	18	V/F Çeviricili
9	YANLIŞ	19	Ölçü Aleti
10	DOĞRU		

ÖĞRENME FAALİYETİ-2'İN CEVAP ANAHTARI

SORU	CEVAP	SORU	CEVAP
1	D	9	DOĞRU
2	A	10	DOĞRU
3	B	11	YANLIŞ
4	D	12	YANLIŞ
5	C	13	DOĞRU
6	B	14	YANLIŞ
7	A	15	DOĞRU
8	C	16	DOĞRU

MODÜL DEĞERLENDİRME CEVAP ANAHTARI

SORU	CEVAP	SORU	CEVAP	SORU	CEVAP
1	DOĞRU	10	DOĞRU	19	DOĞRU
2	DOĞRU	11	DOĞRU	20	YANLIŞ
3	YANLIŞ	12	DOĞRU	21	YANLIŞ
4	YANLIŞ	13	YANLIŞ	22	DOĞRU
5	YANLIŞ	14	DOĞRU	23	YANLIŞ
6	DOĞRU	15	DOĞRU	24	DOĞRU
7	YANLIŞ	16	YANLIŞ	25	YANLIŞ
8	DOĞRU	17	DOĞRU	26	YANLIŞ
9	DOĞRU	18	DOĞRU		

KAYNAKÇA

- KURTULDU Şaban, Mehmet Ali GÜLER, İleri Elektronik Dijital, Yüksel Matbaası, Ankara, 1996.
- BAYRAM Harun, Dijital Elektronik, Özkan Matbaacılık, Bursa, 1998.
- YÜCESAN Adem, Dijital Elektronik, Meb Yayınları, Ankara, 2008.
- http://www.emo.org.tr/ekler/c2bcf2ee48c0241_ek.pdf (27.01.2012)
- <http://ee.istanbul.edu.tr/uploads/dersnotlari/4750-DENEY-4-1.pdf> (02.03.2012)
- <http://web.itu.edu.tr/~aksind/Thesis/sigmadelta.html> (02.03.2012)
- http://en.wikipedia.org/wiki/Delta-sigma_modulation (03.03.2012)
- <http://sorubank.ege.edu.tr/~dengin/digital/DAC&ADC.pdf> (04.03.2012)
- <http://www.antrak.org.tr/gazete/112006/tolga-tastan.html> "ADC0831 uygulama" (04.03.2012)