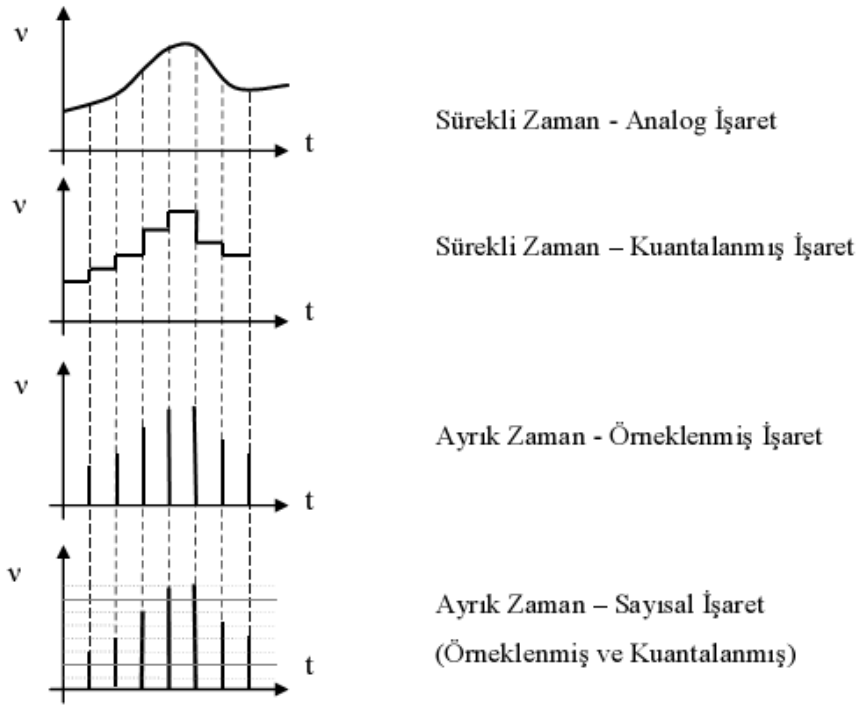


SAYISAL-ANALOG (DAC) ANALOG-SAYISAL(ADC) DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

Fiziksel sistemlerdeki ısı, sıcaklık, basınç, ağırlık, nem oranı, ışık şiddeti, ses şiddeti gibi büyüklükler analog olarak değişirler. Dış ortamdaki büyüklüklerin analog değerlerden oluşmasına karşılık, bilgi işleyen cihazlar dijital sistemlerdir. Dijital sistemler, bilgiyi daha güvenli ve daha hızlı işleyip değerlendirebilmektedir. Sayısal sistemde değerlendirilen bilginin tekrar dış dünyaya aktarılması analog veya dijital biçimde olabilmektedir. Bu nedenlerle analog değerlerin dijitale, dijital değerlerin de analog değerlere çevrilmesi gerekebilmektedir.



Şekil 1: Analog ve dijital işaretler

Dış dünyadaki fiziksel değişiklikler (ısı, sıcaklık, basınç, ağırlık, nem oranı, ışık şiddeti, ses şiddeti), sensör (algılayıcı) ve transduser'ler (çeviriciler) kullanılarak elektrik gerilimine çevrilir. Bu gerilim analog bir gerilimdir. Daha sonra bu analog gerilim Analog/Dijital (A/D) çevirici yardımı ile dijitale çevrilir. Dijital sistem bu bilgiyi istenilen bir biçimde işler ve bir sonuç elde eder. Bu sonuç dijital veya analog olarak değerlendirilmek istenebilir. Eğer elde edilen sonuç analog olarak değerlendirilecekse (örneğin bir hoparlörün sürülmesi) tekrar analoğa çevrilmesi gerekebilir. Dijital işareti analog işarete çevirme işlemini Dijital/Analog (D/A) çeviriciler yapar.



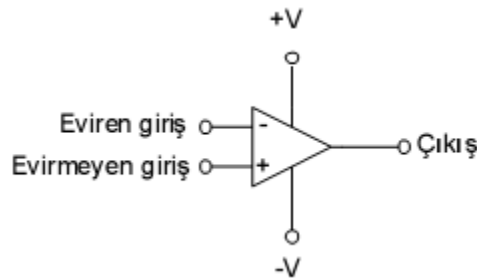
Şekil 2: A/D ve D/A Dönüştürme blok şeması

Yukarıdaki şekilde analog bir değer dijitalleştirilip, işlendikten sonra tekrar analog değere çevrilmesi sürecinin blok diyagramı görülmektedir. Girişteki gerilim bir transduser yardımı ile elektriksel büyüklüğe çevrilmiş bir fiziksel büyüklüğü temsil etmektedir. Bu gerilim daha sonra Analog/Dijital Çevirici vasıtası ile dijitalleştirilir ve dijital olarak işlenir.

Daha sonra elde edilen sonuç Dijital/Analog Çevirici vasıtası ile tekrar analog bilgiye çevrilir ve çıkışa aktarılır. Çıkışta kullanılan eleman ise elektriksel büyüklüğü (gerilim) fiziksel büyüklüğe (ses, ısı, ağırlık vs) çevirir. Örneğin hoparlör elektriksel büyüklüğü sese çeviren bir aygıttır.

İŞLEMSEL YÜKSELTEÇLER (OPERATIONAL AMPLIFIER)

Op-amp eviren (inverting) ve evirmeyen (noninverting) adlı iki girişe sahip lineer bir yükselteçtir. Eviren girişe uygulanan işaret çıkışta 180° derecelik faz farkına uğrayacaktır. Evirmeyen girişe uygulanan işaret çıkış işaretini ile aynı fazda olacaktır. Op-amp'ın iki giriş ucundan başka iki adet besleme ve bir çıkış ucu vardır. Besleme gerilimi simetrik besleme kaynağından sağlanabileceği gibi, tek besleme kaynağı da kullanılabilir.



Şekil 3: İşlemsel yükselteç (op-amp) sembolü

Bir op-amp özellikleri aşağıdaki gibidir;

- Çok yüksek giriş empedansına (ideal op-amp için sonsuz kabul edilir) sahiptir.
- Çıkış empedansı çok düşüktür (ideal op-amp için "0" kabul edilir).
- Gerilim kazancı(AV) çok yüksektir.

ANALOG-DİJİTAL DÖNÜŞTÜRÜCÜLER (A/D CONVERTERS)

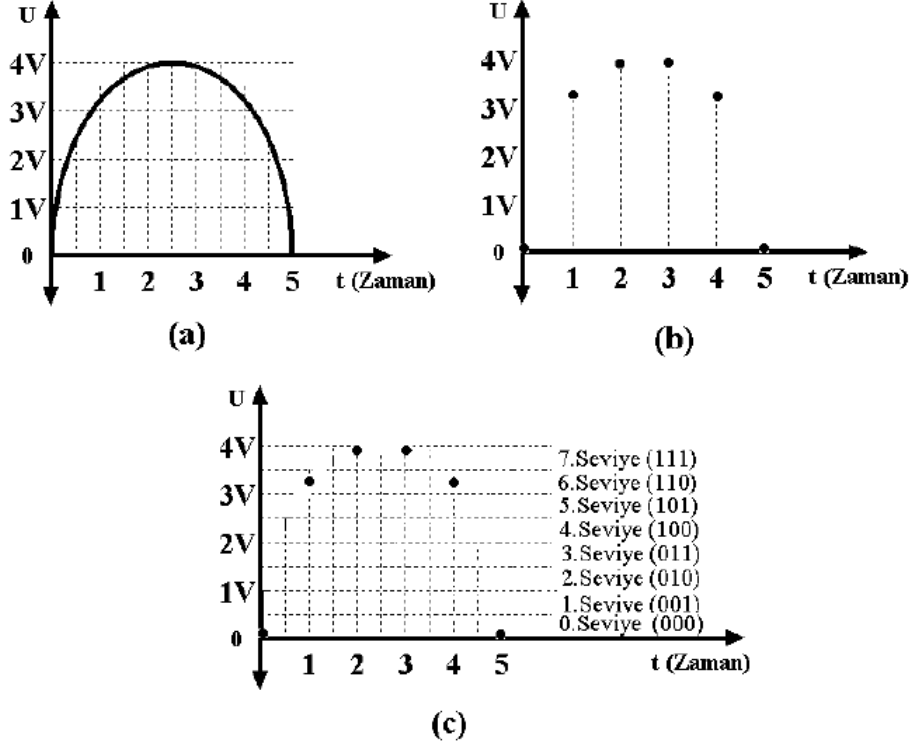
Değişik amaçlar için kullanılan elektronik cihazlar, çevremizdeki fiziksel değişimleri çeşitli sensörler ile algılayıp kontrol etmemizi sağlar. Bir sensör veya transdüser; ağırlık, uzunluk, ışık şiddeti, sıcaklık, basınç, debi gibi fiziksel büyüklükleri, bunlarla orantılı akım veya gerilim cinsinden elektriksel değerlere dönüştürür.

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 kaynağı sıfır ile maksimum değerleri arasında sonsuz sayıda farklı bir değere ayarlanabilir. 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 mikro işlemcili ve dijital birçok cihaz için analog bilgilerin dijital bilgilere dönüştürülmesi gerekir. Analog değerleri dijital değerlere dönüştüren devrelere ADC (Analog Digital Converter – AD Dönüştürücü) denir.

Analog-Dijital Çeviricilerde analog gerilim değeri, karşılık gelen binary sayıya çevrilir ve ADC'nin çıkışında binary bir sayı olarak görülür. ADC'nin çıkışındaki dijital değer bit sayısının fazla olması analog değer temsiliyetini artırır. Mesela 4-bitlik bir ADC, analog bir değer aralığını $2^4=16$ parçaya bölerken, 8-bitlik bir ADC aynı değer aralığını $2^8=256$ parçaya böler. Bu da çözünürlüğün artması demektir.

Analog Dijital Çevirme 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 çalışması “örnekle, karşılaştır, dijital olarak kodla” şeklinde özetlenebilir. Şekil 13 (a) da analog sinyalin sürekli oluşu, 13 (b) de analog sinyal üzerinden belirli aralıklarla örnekleme alınması, 13 (c) de ise alınan örneklere karşılık gelen seviyenin tespiti ve dijital olarak kodlanması gösterilmiştir.



Şekil : 13 (a) Analog sinyal (b) Örnekleme (c) Kodlama

A/D çevirme işlemi için birçok yöntem kullanılmaktadır.

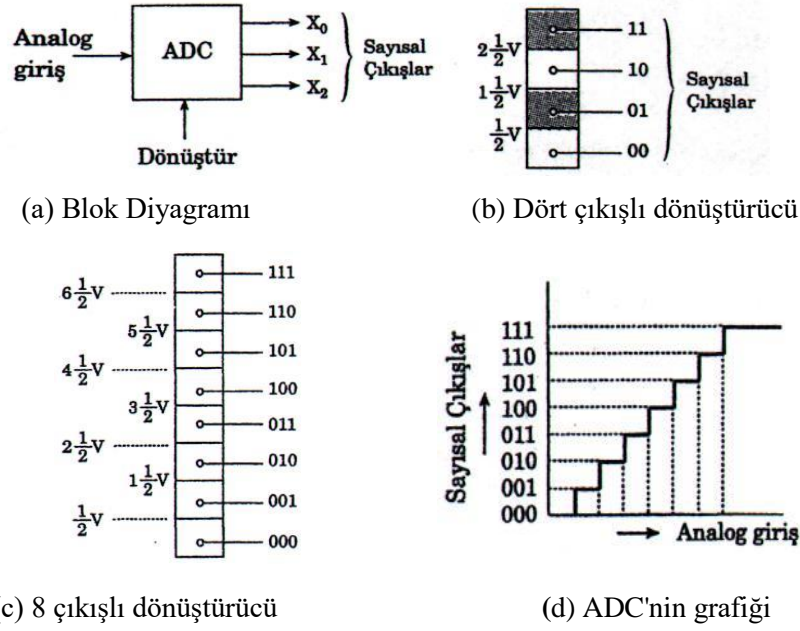
Şekil 14 (a) da tek bir analog girişle ve 3 bitlik ikili çıkışla küçük bir ADC nin blok diyagramı gösterilmiştir. Dönüştür (convert) girişi normalde "0"dır ve bir dönüştürme ortaya çıktığında "1" sinyaline çevrilir.

ADC, dönüştür (convert)'deki pozisyon geçişlerine analog girişindeki giriş gerilimini ölçerek cevap verir ve sonra giriş gerilimini sayısal formda temsil eden bir binary sayıyı X çıkışlarından çıkartır.

Şekil 14 (b)'de, 2 bit ADC için, giriş sinyallerine karşı, sayısal çıkış sayılarının bir grafiğini gösterir. Giriş gerilimi değişimi 0'dan 3V'a kadardır, çıkışlardaki sayısal değerler 00'dan 11'e sıralanacaktır. Çıkış sayısı 00, giriş geriliminin 0 ile 0,5 V arasında olduğunu gösterir; çıkış sayısı 01, giriş geriliminin 0,5 ile 1,5 V arasında olduğunu gösterir. 10 sayısı 1,5-2,5 V arasında bir girişi gösterir ve 11 sayısı 2,5 V 'dan daha büyük bir girişi gösterir.

Şekil 14 (c)'de ise normal giriş gerilim değişimi 0V'tan 7 Volt'a sahip olan bir 3-bitlik çevirici için aralıkları gösterir. Bu örnekte, 011 çıkışı, giriş geriliminin 3 Volt \pm 0,5 Volt olduğunu gösterir.

Şekil 14 (d)'deki grafik, yatay ekseninde analog girişi ve dikey ekseninde de sayısal değerleri gösterir.



Şekil 14: ADC'nin prensipleri

Bir ADC'de bulunan en önemli kavram, bit çözünürlüğüdür. Bit çözünürlüğü analog bir sinyalin kaç tane bit ile ifade edildiği demektir. Diğer bir deyişle sinyalin kaç bit ile örneklendiğidir. ADC'nin bit çözünürlüğü ne kadar fazla olursa analog sinyali örnekleme doğruluğu (hassasiyeti) da o kadar artar. Fakat bit çözünürlüğünün artması aynı zamanda maliyetin önemli ölçüde yükselmesine sebep olmaktadır. Günümüzde CD çalar v.b birçok uygulamada 32 bitlik analog/sayısal çeviriler kullanılmaktadır.

8 bitlik bir ADC, maksimum $2^8=256$ adet farklı değer ile bir analog sinyali örnekeleyebilmektedir. ADC'nin örnekeleyeceği sinyalin maksimum değeri 5V ise her bir adım büyüklüğü şöyle bulunabilir.

$$\text{Adım Büyüklüğü} = \frac{\text{Örneklenecek Maksimum Büyüklük}}{2^{\text{Bit sayısı}}} = \frac{5}{2^8} = \frac{5}{256} = 0.01953125 \text{ V}$$

Tablo'da 8 bitlik bir ADC için analog sinyalin değerine göre üretilen sayısal çıkış değerleri görülmektedir. Dikkat edilirse analog giriş değerinin maksimum değeri 5V olmasına rağmen örnekleme işlemi en fazla yaklaşık 4,98 V değerine kadar yapılabilmektedir. ADC'lerdeki bu hata örnekleme hatası olarak adlandırılmaktadır. Örnekleme hatasını azaltmak için adım sayının küçültülmesi, dolayısıyla kullanılan ADC'nin bit sayısının artırılması gerekmektedir.

Analog Giriş (V)	Sayısal Çıkış
0,00	00000000
0,01953125	00000001
0,0390625	00000010
0,05859375	00000011
...	...
...	...
4,98046875	11111111

Tablo2: 8 bitlik bir ADC için çıkış değerleri

ADC girişine uygulanan analog gerilimin karşılığının nasıl hesaplandığını bir örnek üzerinde gösterelim;

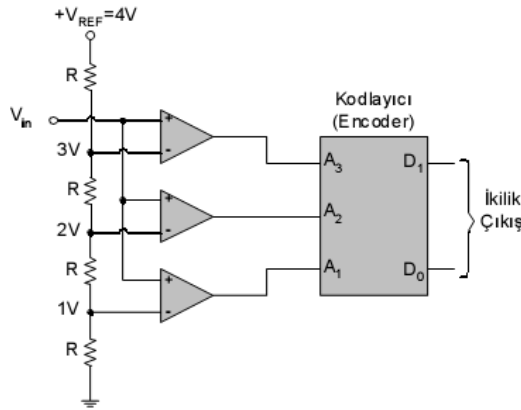
ADC girişine uygulanan analog gerilim değeri = Sayısal çıkışın onlu değeri X Adım Büyüklüğü

ADC girişine uygulanan analog gerilim değeri = 128 (10000000)X 0.01953125

ADC girişine uygulanan analog gerilim değeri = 2.5 V

Paralel Karşılaştırıcı, Simultane (Flash) A/D Çeviriciler

Analog büyüklüklerin sayısal işaretlere dönüştürülmesinde kullanılan en kolay ve hızlı çevirici tipi Şekil 15’ de gösterilen üç bitlik paralel karşılaştırıcı A/D çeviricidir.



Şekil 15: Paralel karşılaştırıcı A/D çevirici

Devrede üç adet karşılaştırıcı, bir gerilim bölücü ve kodlayıcı (encoder) kullanılmıştır. Devredeki karşılaştırıcılar bir referans gerilimle (V_{REF}), analog giriş gerilimini (V_{in}) karşılaştırmak için kullanılır. Referans gerilimi tam ölçek yani maximum giriş gerilimidir. Karşılaştırıcının (+) girişindeki gerilim, (-) girişindeki referans geriliminden büyükse çıkış yüksektir. Karşılaştırıcıların eşik gerilimleri bir gerilim bölücü ile ayarlanırken, analog giriş gerilimi ise karşılaştırıcıların (+) girişine paralel olarak uygulanmıştır. Devrede, uygulanan

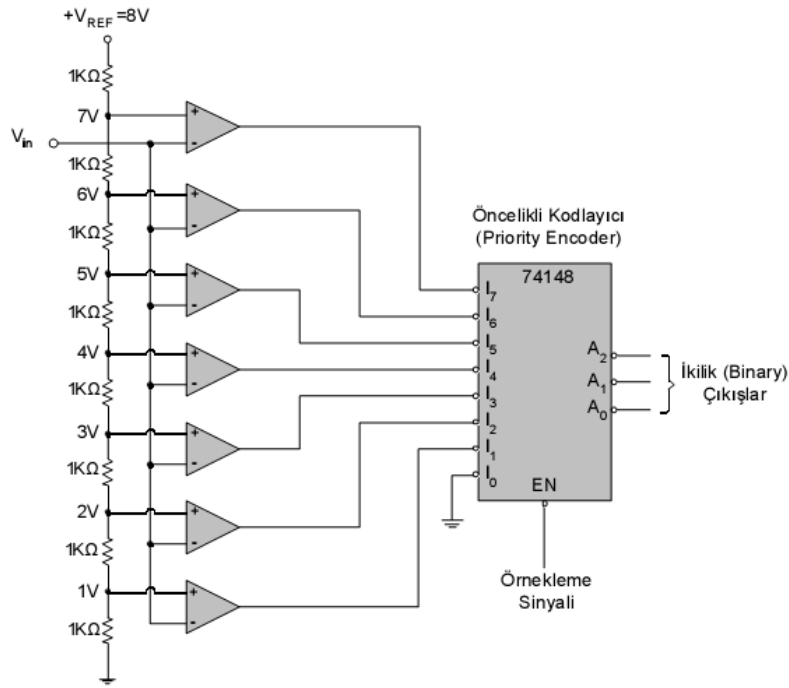
analog giriş geriliminin büyüklüğüne bağlı olarak ilgili karşılaştırıcıların çıkışları yükseğe çekilecektir. Eğer giriş gerilimi 1V'tan küçükse hiçbir karşılaştırıcı çıkışı yüksek olmaz. Giriş gerilimi 1-2V arasındaki bir değerde ise sadece en düşük eşik gerilimine sahip karşılaştırıcı çıkışı yükseğe çekilecek ve bu durumda kodlayıcı çıkışlarında görülen ikilik ifade $D_1=0$, $D_2=1$ olacaktır. Giriş gerilimi 2-3V arasında ise 1. ve 2. karşılaştırıcı çıkışları yükseğe çekilecek ve çıkışta görülecek ikilik bilgi $D_1=1$, $D_0=0$ olacaktır. 3V'un üzerindeki bir gerilim bütün karşılaştırıcı çıkışlarını yükseğe çekecek ve kodlayıcı çıkışlarında görülen ikilik ifade $D_1=1$, $D_0=1$ olacaktır. Aşağıda Tablo 3 Giriş gerilimlerine bağlı olarak çıkışları göstermektedir.

Analog giriş V_{in}	Encoder girişler			İkilik giriş	
	A_3	A_2	A_1	D_1	D_0
0-1 Volt	0	0	0	0	0
1-2 Volt	0	0	1	0	1
2-3 Volt	0	1	1	1	0
3-4 Volt	1	1	1	1	1

Tablo 3:

Genel olarak bu devrelerde kullanılacak karşılaştırıcı sayısı, n bitlik binary kod için $2^n - 1$ 'dir. Örneğin üç bitlik ikilik (binary) kod için kullanılacak karşılaştırıcı sayısı $2^3 - 1 = 7$, dört bitlik ikilik (binary) kod için kullanılacak karşılaştırıcı sayısı $2^4 - 1 = 15$ olmalıdır. Bu fazla sayıdaki karşılaştırıcı sayısı paralel karşılaştırıcılı A/D çeviricilerin en büyük dezavantajıdır. Bu tip karşılaştırıcıların en önemli avantajı hızı karakteristiğidir. Giriş gerilimine bağlı olarak üretilen sayısal çıkış, devredeki elemanların yayılım gecikmesi (propagation delay) süresi sonrasında hazırdır. Bu nedenle bu tip A/D çeviricilerin tanımlanması için “flash” ismi kullanılmaktadır.

Şekil 16 Üç bitlik paralel karşılaştırıcılı A/D çevirici devresinin göstermektedir. Devrede yedi adet karşılaştırıcı, gerilim bölücü ve 74148 Decimal/Binary öncelikli kodlayıcı (priority encoder) kullanılmıştır. Örnekleme sinyali, lojik-0'da aktif olan yetkilendirme girişine bağlanarak giriş geriliminin farklı zamanlarda örneklenerek sayısal karşılığının bulunması sağlanmıştır.



Şekil 16: Üç bitlik paralel karşılaştırıcılı A/D çevirici

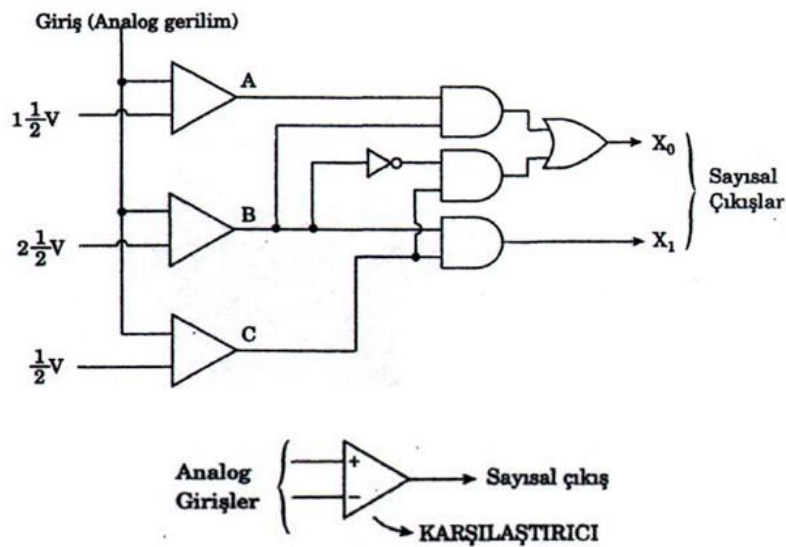
İki Bitlik Flash ADC

Karşılaştırıcının Çalışması

Eğer (+) girişi, (-) girişe göre pozitifse sayısal çıkış 1'dir.

Eğer (+) girişi, (-) girişe göre negatifse sayısal çıkış 0'dır.

Şekil 17'daki karşılaştırıcı $1/2 V$ 'luk bir düşük (-) girişe sahiptir. Eğer giriş $1/4 V$ 'ta ise karşılaştırıcı "0" çıkışına sahip olacaktır, fakat giriş $3/4 V$ 'ta ise karşılaştırıcı "1" çıkışına sahip olacaktır.



Şekil 17: 2 bitlik Flash Dönüştürücü

referans gerilimi kullanarak 12 katlı bir merdiven devresini süren 12 katlı sayıcının her sayısının adım gerilimi şöyle olacaktır:

$$\frac{V_{ref}}{2^{12}} = \frac{10V}{4096} = 2,4 \text{ mV}$$

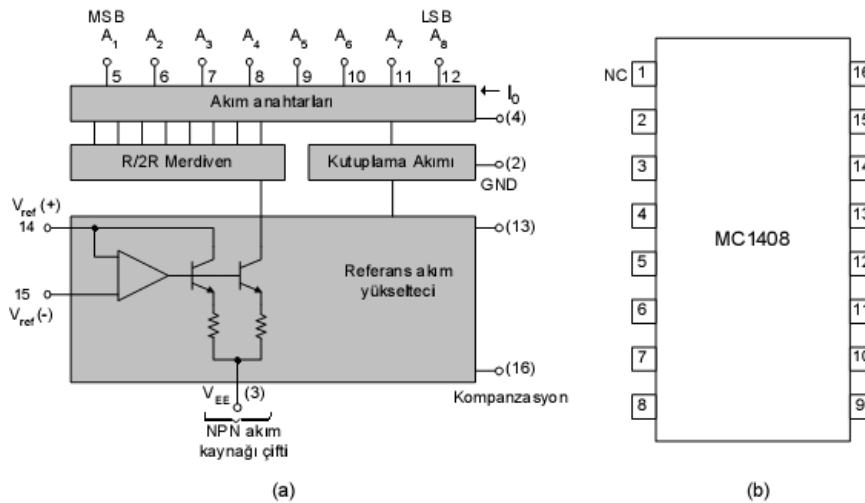
ENTEĞRE DEVRE SAYISAL –ANALOG ÇEVİRİCİLER

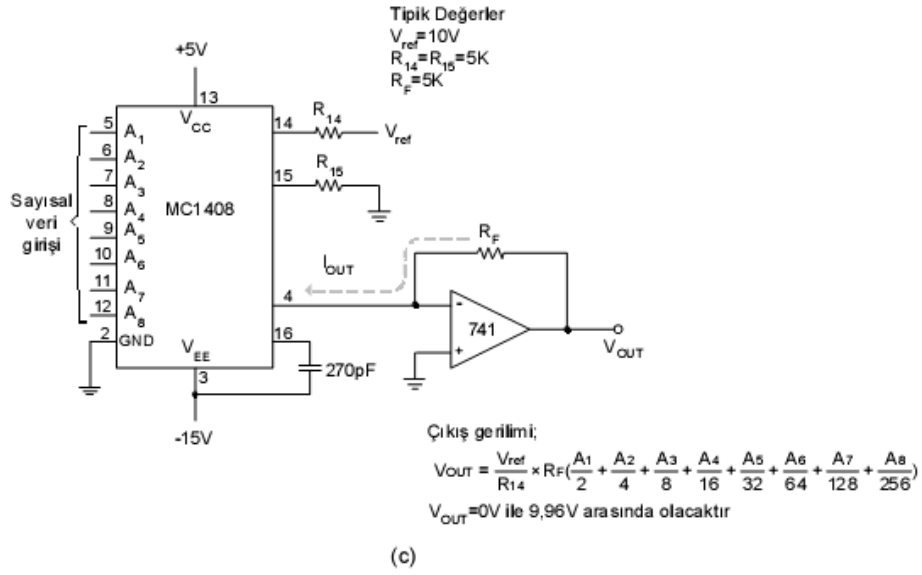
Çok popüler ve ucuz bir entegre devre D/A çevirici MC1408 veya eşdeğeri olan DAC0808 'dir. MC1408 standart 16 bacaklı DIP paket olarak gelir ve +5V 'luk V_{cc} ile minimum -5V, maximum -15V 'luk V_{EE} gerilimi gerektirir. MC1408'de, bir R/2R merdiven tipi D/A çevirici, akım yükselteciden gelen referans akımını, 8 ikilik ağırlıklı akıma böler. Bipolar transistör anahtarlar (A_1 - A_8), girişlerindeki ikilik bilgiye göre ikilik ağırlıklı akımları çıkış hattına bağlar. En yüksek değerlikli biti taşıyan girişin A_1 , en düşük değerlikli taşıyan girişin A_8 ile gösterilmiştir. MSB ve LSB etiketlenirilmeleri normal etiketlenirilmelimenin tersinedir. Bu nedenle kullanılacak bir entegrenin veri sayfası dikkatle incelenmelidir. Şekil 19 MC1408'in blok diyagramını, bacak bağlantısını ve tipik uygulamasını göstermektedir.

MC1408'in bir işlemsel yükselteç (op-amp) ve bir dirençle gerilime çevrilebilen akım çıkış vardır. Bu gerilim aşağıdaki formülden hesaplanabilir;

$$V_{OUT} = \frac{V_{REF}}{R_{14}} \times R_F \left(\frac{A_1}{2} + \frac{A_2}{4} + \frac{A_3}{8} + \frac{A_4}{16} + \frac{A_5}{32} + \frac{A_6}{64} + \frac{A_7}{128} + \frac{A_8}{256} \right)$$

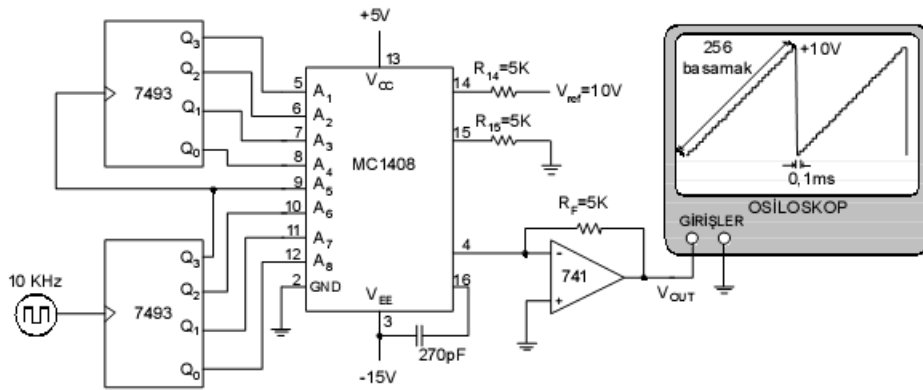
Böyle bir devrede 8-bitlik sayısal verilerin (A_1 - A_8) durumuna bağlı olarak 0-10V arasında analog çıkış gerilimi elde edilebilir. Bu çeviriciye 10V tam ölçekli çeviricide denilir.





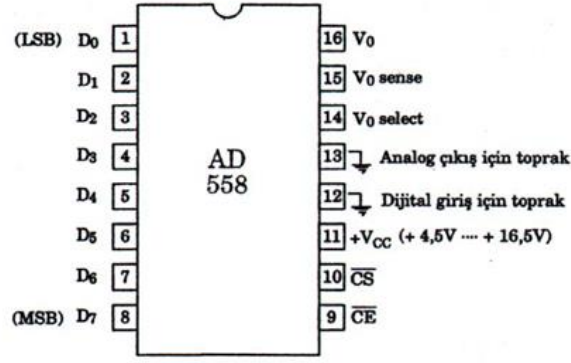
Şekil 19: MC1408 D/A çevirici (a) Blok diyagram (b) Bacak bağlantı şeması (c) Tipik uygulama

MC1408 gibi kullanışlı ve ucuz D/A çeviriciler, özel ses ve dalga biçimleri üretmede sıklıkla kullanılırlar. Şekil 20 D/A çeviriciye ait test devresini göstermektedir. Devrede, sekiz-bitlik bir sayıcının çıkışları D/A çeviricinin veri girişlerine bağlanmıştır, sayma işlemi ile birlikte D/A çevirici çıkışlarında 255 basamaktan oluşan bir testere dişi dalga şekli görülecektir. Çıkış frekansı, sayıcının tetikleme sinyal frekansının 256'ya bölünmesi ile bulunabilir.



Şekil 20: D/A çevirici test devresi

AD 558 Entegresi: 8 bitlik giriş değeri olup çıkıştan voltaj değeri alınan D/A çevirici entegresidir. Devrenin besleme voltajı +5V.....+15V arasındadır. Çıkış voltajı entegre bacaklarının bağlantısına bağlı olarak 0.....+2,56V veya 0.....+10 volt arasında olabilir.



Şekil 21: AD 558 Bacak Tanımlaması

V₀ çıkışında görülecek tam skala değeri 2,56V olacaksa 14-15 ve 16 nolu uçlar birleştirilir. Eğer tam skala değeri 10V olacaksa 15 nolu uç 16 nolu uçla ve 14 nolu uç 13 nolu uçla birleştirilir. Çıkış voltajının 0-2,56V arası değiştiği durumda besleme voltajı 5—15 V arası, çıkış voltajının 0-10 volt arası değiştiği durumda da besleme, voltajı 12-15 Volt arasında seçilmelidir.