

EEM212 - SAYISAL DEVRE TASARIMI DERS NOTLARI

DERS NOTU 12: ANALOG \Leftrightarrow DİJİTAL DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

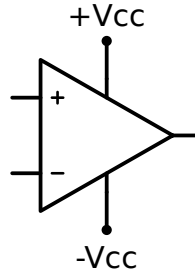
Dr. İsmail Öztürk *

<ismail.ozturk@amasya.edu.tr>

İçindekiler

1 Giriş	2
2 D/A Dönüştürücüler	4
2.1 İkili Ağırlıklı D/A Dönüştürücü	4
2.2 R/2R Merdiven Tipi D/A Dönüştürücü	5
3 A/D Dönüştürücüler	8
3.1 Flash A/D Dönüştürücü	8
3.2 Ardışık Yaklaşımlı A/D Dönüştürücü	10
3.3 Delta-Sigma A/D Dönüştürücü	11

* Amasya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi EEM Bölümü
Daha fazla bilgi için: <https://iozturk.com>



Şekil 1: Opamp şematik sembolü.

1 Giriş

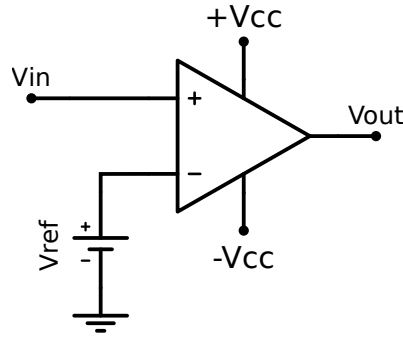
İlk ders notunda analog ile dijital sinyallerin ne olduğundan ve dijital sistemlerin dış dünya ile etkileşim için sıklıkla analog sinyalleri dijital sinyallere; dijital sinyalleri ise analog sinyallere dönüştürmesi gerektiğinden bahsetmiştik. Analog sinyalleri dijital sinyallere dönüştüren elemanlara “**analog / dijital dönüştürücü**” adı verilir. Biz bunları burada kısaca “**A/D dönüştürücü**” olarak adlandıracamız. Tam tersi, dijital sinyalleri analog sinyallere dönüştüren elemanlara ise “**dijital / analog dönüştürücü**” adı verilmektedir. Bunları ise kısaca “**D/A dönüştürücü**” şeklinde ifade edeceğiz.

Analog \Leftrightarrow dijital dönüşüm işlemlerinde sıklıkla opamplardan faydalanılır. Bu nedenle dönüştürücülere geçmeden önce opamp elemanını kısaca hatırlatmakta fayda var. Opampın şematik sembolü Şekil 1’deki gibidir. $+V_{cc}$ ve $-V_{cc}$ opampın besleme gerilimleri olup opamp çıkışı bu besleme gerilimleri arasında olmak zorundadır. $+$ ile gösterilen giriş evirmeyen uç olarak adlandırılıp bu girişteki gerilim V_+ ile gösterilir. Benzer şekilde, $-$ ile gösterilen giriş eviren uç olarak adlandırılıp bu girişteki gerilim V_- ile gösterilir.

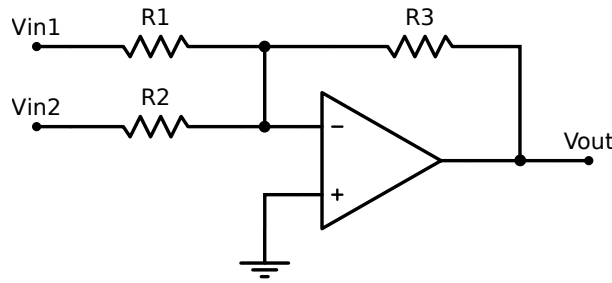
Karşılaştırıcıya bağlanan V_{in} ve V_{ref} girişlerinin yerini değiştirirseniz opamp tam tersi çıkış üretecektir: $V_{in} > V_{ref}$ ise $V_{out} = -V_{CC}$ ve $V_{in} < V_{ref}$ ise $V_{out} = +V_{CC}$.

Opamplar dönüştürücü düzeneklerinde sıklıkla karşılaştırıcı ve toplayıcı olarak kullanılır. Karşılaştırıcı opamp devresi Şekil 2’deki gibidir. Görüldüğü üzere opampın V_{out} çıkışı ile girişleri arasında herhangi bir geribesleme yoktur. Bu nedenle, opampın kazancı açık çevrim kazancı olacaktır. Açık çevrim kazancı çok yüksek bir değer olduğundan, $V_{in} > V_{ref}$ ise $V_{out} = +V_{CC}$ ve $V_{in} < V_{ref}$ ise $V_{out} = -V_{CC}$ olacaktır. A/D dönüşüm işleminde (dijital platformun kullandığı standart TTL ise) $+V_{CC} = 5V$ ve $-V_{CC} = 0V$ alınarak karşılaştırıcı opampın çıkışı lojik 1 ve lojik 0 değerlerine karşılık gelecek şekilde ayarlanabilir.

Toplayıcı devreleri ise Şekil 3’deki gibidir. Şematikte besleme gerilimleri açıkça gösterilmese bile opampın çalışması için besleme gerilimlerinin mevcut olması gerekmektedir. Bu nedenle, toplayıcı devresinin çıkış değeri en fazla $+V_{CC}$ en az $-V_{CC}$ olabilir. Çıkış geriliminin değerini bulmak için opamplardaki $V_+ = V_-$ eşitliği kullanılır. Başka bir deyişle, opampın iç direnci çok yüksek olduğu için bir uçta görülen gerilim diğer uçta da aynı olmalıdır. Dolayısıyla, Şekil 3’de $V_+ = 0V$ olduğu için $V_- = 0V$ olmalıdır.



Şekil 2: Opampın karşılaştırıcı olarak kullanımı.



Şekil 3: Opampın toplayıcı olarak kullanımı.

Bu özelliği kullanarak V_- noktasına akımlar cinsinden düğüm analizi yaparsak aşağıdaki eşitliği elde ederiz (tüm akımlar düğüm noktasına giriyor varsayarsak):

$$\frac{V_{in1}}{R1} + \frac{V_{in2}}{R2} + \frac{V_{out}}{R3} = 0$$

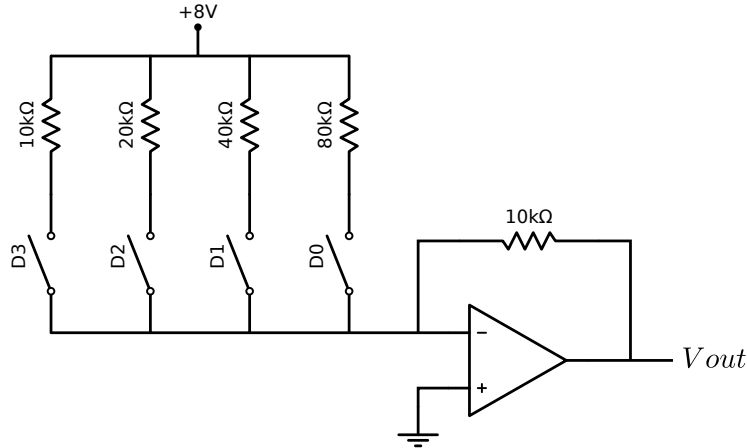
Bu eşitlikten de V_{out} çıkış değerini aşağıdaki gibi buluruz:

$$V_{out} = -R3 \left(\frac{V_{in1}}{R1} + \frac{V_{in2}}{R2} \right)$$

$R1 = R2$ olursa parantez içindeki paydaları parantez dışına atarak çıkışı $V_{out} = -(R3/R1)(V_{in1} + V_{in2})$ olarak elde ederiz. Yani giriş gerilimlerini toplayıp elde ettiğimiz toplamı $-(R3/R1)$ kat kuvvetlendiririz.

Toplayıcı devresini üç veya daha fazla giriş için geliştiriniz.

Toplayıcı devreleri az sonra göreceğimiz üzere D/A dönüşüm işleminde kullanılır.



Şekil 4: 4-bit ikili ağırlıklı D/A dönüştürücü devresi.

2 D/A Dönüştürücüler

Bu kısımda en çok bilinen D/A dönüştürücü türlerinden olan “ikili ağırlıklı D/A dönüştürücü” ve “R/2R merdiven tipi D/A dönüştürücü” gösterilecektir. Bu dönüştürücü yapılarını devre olarak kurmanız mümkün olsa da pratikte entegre olarak hazırlanmış D/A dönüştürücülerden faydalanılmaktadır. Burada verilen dönüştürücü yapıları bu entegrelerin çalışma prensiplerini anlamaya yardımcı olacaktır.

2.1 İkili Ağırlıklı D/A Dönüştürücü

D/A dönüşüm işleminde n -bitlik dijital bir sinyal çıkışta analog bir sinyale dönüştürülür. Bu nedenle, D/A dönüştürücü girişi her bir bit için n adet girişe sahip olmalıyken analog çıkış için tek bir çıkış portu kullanılması yeterli olacaktır. 4-bitlik ikili ağırlıklı D/A dönüştürücü yapısı Şekil 4’deki gibidir.

Devredeki anahtarlar dijital sistemin çıkışlarını temsil etmektedir. Çıkış 1 ise anahtar kapalı; 0 ise anahtar açık olarak kullanılmaktadır. Bir önceki kısımda görmüş olduğumuz üzere opamp toplayıcı olarak kullanılmaktadır. Buna göre, D_3 girişi -1 kat; D_2 girişi $-1/2$ kat; D_1 girişi $-1/4$ kat; D_0 girişi $-1/8$ kat kuvvetlendirilmektedir. Dikkat ederseniz kuvvetlendirme ikinin katları şeklindedir. Bu tür bir kuvvetlendirme D_3 bitini MSB, D_0 bitini LSB yapacaktır. Dijital sistemin çıkış bağlantıları buna göre yapılmalıdır. İkili ağırlık elde edebilmek için de direnç değerleri bir yandakinin iki katı olacak şekilde (R, 2R, 4R, 8R, ...) düzenlenmelidir. Bu D/A dönüştürücüye ikili ağırlıklı denilmesinin nedeni budur.

Şekil 4’deki 4-bitlik D/A dönüştürücünün farklı bit değerleri için analog çıkışı (toplayıcı devre formülünü kullanarak) aşağıdaki gibi elde edilmektedir:

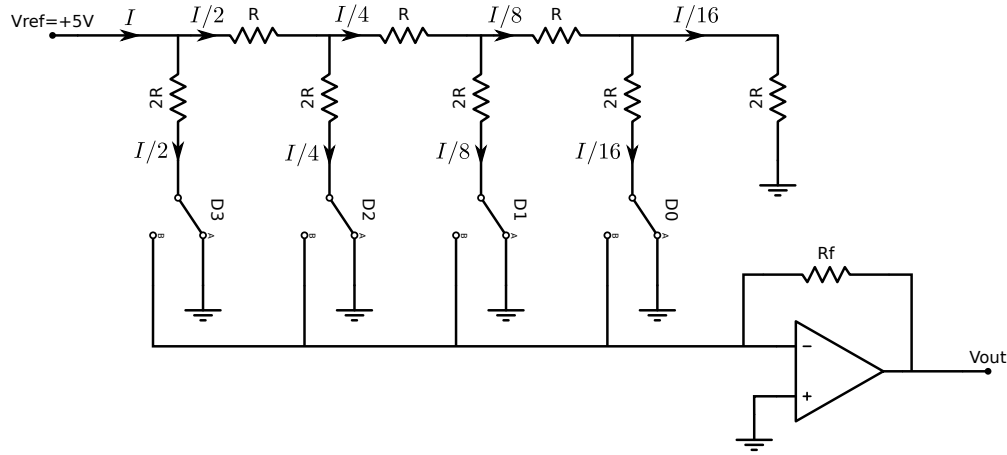
D_3	D_2	D_1	D_0	V_{out} (Volt)
0	0	0	0	0
0	0	0	1	-1
0	0	1	0	-2
0	0	1	1	-3
0	1	0	0	-4
0	1	0	1	-5
0	1	1	0	-6
0	1	1	1	-7
1	0	0	0	-8
1	0	0	1	-9
1	0	1	0	-10
1	0	1	1	-11
1	1	0	0	-12
1	1	0	1	-13
1	1	1	0	-14
1	1	1	1	-15

Tablonun ilk satırında tüm D_i değerleri sıfır olduğundan bütün anahtarlar açık olacak ve eviren uca herhangi bir akım girişi olmayacaktır. Evirmeyen uç $0V$ olduğu için eviren uçta da $0V$ görülecek ve herhangi bir akım akışı olmadığından $0V$ doğrudan çıkışa yansıtacaktır. İkinci satırda ise sadece $D_0 = 1$ olduğundan sadece D_0 anahtarı kapalı olacaktır. Bu durumda $80k\Omega$ 'luk direnç üzerinden akım akacak ve toplayıcı bağıntısına göre $8V$ 'luk giriş $-10/80 = -1/8$ katkuvvetlendirilecektir. Yani çıkış $-1V$ olacaktır. Tablonun diğer satırları toplayıcı devre bağıntısı kullanılarak benzer şekilde hesaplanmıştır.

Görülebileceği üzere analog sinyal çıkışı 0 ile $-15V$ arasındadır. Çıkışa bir opamp daha ekleyerek çıkışı istediğiniz değerler arasında olacak şekilde ayarlamamız mümkündür.

2.2 R/2R Merdiven Tipi D/A Dönüştürücü

İkili ağırlıklı D/A dönüştürücüde dönüştürülmek istenen bit sayısı arttıkça kullanılması gereken farklı direnç değerleri de o oranda artmaktadır. Genel olarak, n -bit için ikinin katları olacak şekilde n farklı değere sahip direnç ($R, 2R, 4R, 8R, \dots$) kullanmak gerekir. Bu bit sayısı arttıkça tasarımı zorlaştıran bir durumdur. Şimdi göreceğimiz R/2R merdiven tipi dönüştürücü ise sadece R ve 2R değerlerine sahip iki farklı değerle direnç kullanarak tasarlanabilen bir yapıdadır. Bu nedenle de bit sayısı ne kadar artarsa artsın tasarımı oldukça kolaydır.



Şekil 5: 4-bit R/2R merdiven tipi D/A dönüştürücü.

4-bit R/2R merdiven tipi dönüştürücü devresi Şekil 5'deki gibidir. Burada dijital sistemin çıkışları yine anahtarlama yapmak için kullanılmaktadır. Eğer D_i çıkışı 0 ise anahtar toprağa; D_i çıkışı 1 ise anahtar toplayıcı opampa bağlanmaktadır. Opampın V_+ girişi toprağa bağlı olduğu için V_- girişi de $0V$ olacak ve sanal toprakmış gibi davranacaktır. Bu nedenle anahtar hangi konumda olursa olsun yukarıdaki merdiven tipi R/2R devresi üzerinden aynı akım geçecektir. Anahtarlama sadece akan akımın doğrudan toprağa ya da opamp üzerindeki sanal toprağa yönlendirilmesi işlevini yerine getirmektedir. Eğer akımlar opampa gönderiliyorsa süperpozisyon kullanılarak anahtarlar üzerinden geçen her bir akımın etkisi ayrı ayrı toplanır ve çıkış gerilimi aşağıdaki gibi elde edilir (tüm anahtarlar opampa yönlendirirse):

$$V_{out} = -(I_3 + I_2 + I_1 + I_0)R_f$$

Anahtarlar üzerinden geçen her bir akımın değerini bulmak için R/2R merdiven tipi devre incelenmelidir. Anahtarların konumundan bağımsız olarak devrenin alt tarafının toprağa bağlı olduğunu varsaydığımızda devrenin en sağdaki iki tane paralel $2R$ direncin eşdeğerinin R olduğunu görürüz. Bu eşdeğer R direnci seri bir R direncine bağlı olduğundan sadeleştirme işlemi tekrar yaparsak yine paralel iki tane $2R$ direnci elde ederiz. Aynı işlemleri tekrarlıyorsak V_{ref} geriliminin R eşdeğer direncine bağlı olduğunu görürüz. Dolayısıyla, R/2R devresinin çekeceği toplam I akımı

$$I = \frac{V_{ref}}{R}$$

olmalıdır.

Yapmış olduğumuz sadeleştirme işleminden anahtarların bulunduğu kolların sağdaki eşdeğer direncin tıpkı anahtarın üzerindeki direnç gibi $2R$ olduğunu bulmuştuk. Bu ise I akımının iki kola ayrılırken aynı direnç değerine sahip iki kola ayrıldığı anlamına gelmektedir. Bu nedenle, I akımı iki ayrı kola $I/2$ ve $I/2$ şeklinde dağılacaktır.

Yine aynı nedenden $I/2$ akımı iki ayrı kola $I/4$ ve $I/4$ olarak ayrılacaktır. $I/4$ ise $I/8$ ve $I/8$; son olarak $I/8$ akımı $I/16$ ve $I/16$ şeklinde iki ayrı kola dağılacaktır. Dolayısıyla, anahtarlar üzerinden geçen akımlar Şekil 5'den de görülebileceği üzere sırasıyla $I/2$, $I/4$, $I/8$ ve $I/16$ olmalıdır. Görülebileceği üzere, anahtarların çıkışa olan etkileri yine ikinin katlarıdır. En çok akım D_3 anahtarı üzerinden geçtiğinden D_3 MSB olmalıdır. En az akım D_0 üzerinden geçtiğinden dolayı da D_0 bağlantısı LSB olmalıdır.

Eğer dijital sistemin çıkışları $D_3D_2D_1D_0 = (0000)_2$ olursa tüm anahtarlar gerçek toprağa yönlendirme yapacak ve opamp üzerinden akım geçmeyecektir. Yani opamp çıkışı $0V$ olacaktır. Eğer sadece $D_0 = 1$ olursa, D_0 anahtarı üzerinden $I/16$ akımı opampa aktarılacak ve opampın çıkış gerilimi

$$V_{out} = -(I/16)R_f$$

olacaktır.

Benzer şekilde, $D_3D_2D_1D_0 = (1010)_2$ olursa D_3 ve D_1 anahtarları $I/2$ ve $I/8$ akımlarını opampa göndereceğinden çıkış

$$V_{out} = -(I/2 + I/8)R_f$$

olarak elde edilecektir. Diğer kombinasyonların çıkış değerlerini de benzer şekilde hesaplayabilirsiniz.

Örnek 2.1:

Şekil 5'de $V_{ref} = +5V$, $R_f = 10k\Omega$ ve $R = 5k\Omega$ olursa opamp çıkışının alabileceği tüm değerleri tablo şeklinde sıralayınız.

I akımı

$$I = \frac{V_{ref}}{R} = \frac{5}{5k} = 1mA$$

olarak elde edilir. Buna göre, $I/2$, $I/4$, $I/8$ ve $I/16$ akımları sırasıyla $500\mu A$, $250\mu A$, $125\mu A$ ve $62.5\mu A$ olacaktır. Opamp çıkışının değeri ($R_f = 10k\Omega$ olduğu için) bu akımların toplamalarının kombinasyonlarının $-10k$ ile çarpımıyla elde edilir. Mesela, $D_3D_2D_1D_0 = (1010)_2$ ise çıkış

$$V_{out} = -(500\mu A + 125\mu A)10k = -6.25V$$

olarak bulunacaktır. Diğer çıkışları da benzer şekilde hesapladığımızda aşağıdaki tabloyu elde ederiz:

D_3	D_2	D_1	D_0	V_{out} (Volt)
-------	-------	-------	-------	------------------

0	0	0	0	0
0	0	0	1	-0.625
0	0	1	0	-1.25
0	0	1	1	-1.875
0	1	0	0	-2.5
0	1	0	1	-3.125
0	1	1	0	-3.750
0	1	1	1	-4.375
1	0	0	0	-5
1	0	0	1	-5.625
1	0	1	0	-6.25
1	0	1	1	-6.875
1	1	0	0	-7.5
1	1	0	1	-8.125
1	1	1	0	-8.75
1	1	1	1	-9.375

Ek Bilgi

DAC0808 entegresi 8-bit R/2R merdiven tipi D/A dönüştürücü gerçekleştirir. Kullanımı için datasheet'ini inceleyebilirsiniz.

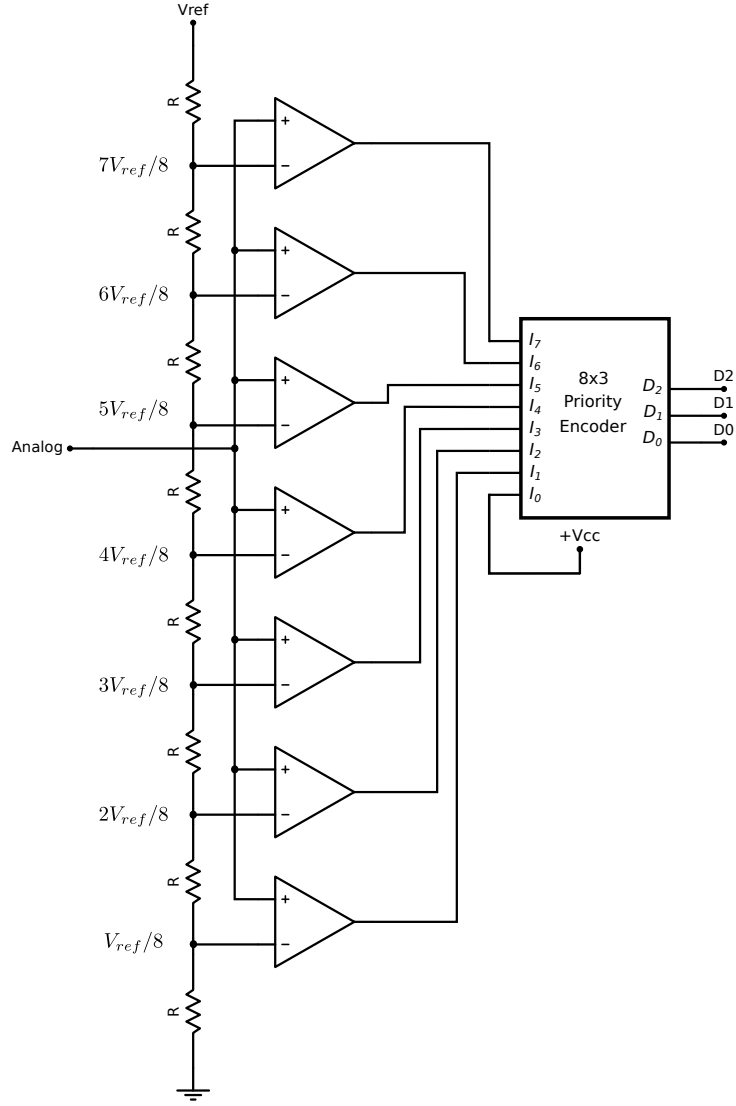
3 A/D Dönüştürücüler

A/D dönüştürme işleminde girişten alınan analog bir sinyal çıkışta n -bitlik dijital bir sinyale dönüştürülür. En yaygın A/D dönüştürücü türleri “flash”, “ardışık yaklaşımlı” ve “delta-sigma” dönüştürücülerdir.

3.1 Flash A/D Dönüştürücü

Flash A/D dönüştürücü girişteki analog sinyalin $2^n - 1$ adet karşılaştırıcıya uygulanmasından sonra karşılaştırıcı çıkışlarının $2^n \times n$ bitlik öncelikli kodlayıcıya (priority encoder) bağlanması prensibine göre çalışır. Örnek olarak 3-bitlik flash A/D dönüştürücü yapısı Şekil 6'daki gibidir. 3-bitlik flash dönüştürücü elde etmek için $2^3 - 1 = 7$ adet karşılaştırıcı kullanılmıştır. Her bir karşılaştırıcının referans voltajı V_{ref} hattına

Öncelikli kodlayıcının çalışmasını hatırlamıyorsanız önceki ders notlarına bakınız.



Şekil 6: 3-bit flash A/D dönüştürücü.

gerilim bölücü kuralı uygulanarak belirlenir. En alttakinden itibaren karşılaştırıcıların referans gerilimleri sırasıyla $V_{ref}/8$, $2V_{ref}/8$, $3V_{ref}/8$, \dots , $7V_{ref}/8$ olmaktadır.

Buna göre, analog sinyal giriş seviyesi 0 ile $V_{ref}/8$ arasında olduğunda bütün karşılaştırıcıların çıkışı 0 olacaktır. Bu durumda $I_0 = 1$ olduğu için kodlayıcı çıkışı $D_2D_1D_0 = (000)_2$ olur. Analog sinyal girişi $V_{ref}/8$ ile $2V_{ref}/8$ arasında olduğunda sadece en alttaki karşılaştırıcı çıkışı 1 olur ve kodlayıcı $(001)_2$ çıkışı verir. Analog sinyal girişi $2V_{ref}/8$ ile $3V_{ref}/8$ arasında olduğunda bu sefer alttaki iki karşılaştırıcı çıkışı 1 olur ve kodlayıcı $(010)_2$ çıkışı verir. Diğer aralıklar için dönüştürücü çıkışı benzer şekilde belirlenir. En son analog giriş $7V_{ref}/8$ değerinden büyük olursa tüm karşılaştırıcıların çıkışı 1 olacak ve öncelikli kodlayıcı $(111)_2$ çıkışı verecektir.

Verilen örnekten ilk ders notunda bahsetmiş olduğumuz dijital / analog sinyal farkını net olarak görebilirsiniz. Dönüştürücünün girişindeki analog sinyal 0 ile V_{ref} arasındaki tüm değerleri alabilen sürekli bir sinyaldir. Çıkıştaki dijital sinyal ise sadece $\{000, 001, \dots, 111\}$ şeklinde 8 farklı değer alabilir. Ayrıca, bu dijital sinyalin temsil ettiği büyüklükler $V_{ref}/8$ aralıklıdır. Mesela, 000 değerinde analog sinyal değeri 0V ile $V_{ref}/8$ arasındaki herhangi bir değer olabilir. Dijital sinyalin $V_{ref}/8$ 'den daha düşük değerleri ayırt edebilmesi imkansızdır. Dönüştürücülerin ayırt edebildiği en küçük aralığa **çözünürlük** adı verilir. Bu nedenle, 3-bit flash dönüştürücünün çözünürlüğü $V_{ref}/8$ 'dir. Genel olarak, n -bitlik bir flash dönüştürücünün çözünürlüğü $V_{ref}/2^n$ 'dir. Bu bağıntıdan görebileceğiniz üzere **bit sayısı arttıkça dönüştürücü analog sinyali daha net bir şekilde ifade eder**.

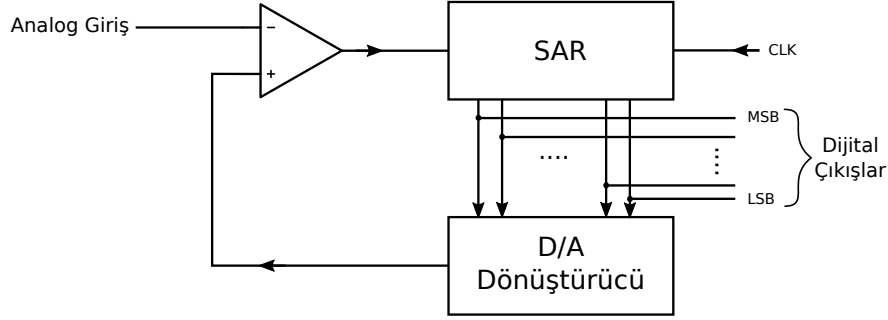
Bu tür dönüştürücülere flash denmesinin nedeni çok hızlı olmalarıdır. Dönüşüm işlemi sadece kombinyonel devredeki yayılma gecikmesine ve karşılaştırma için gereken süreye bağlıdır. Bu nedenle, A/D türleri arasındaki en hızlı dönüştürücüdür. Fakat, artan bit sayısı ile eksponansiyel şekilde artan sayıda $(2^n - 1)$ karşılaştırıcı kullanılması gerekliliği yüzünden entegre üzerinde çok fazla yer kaplarlar ve güç tüketimleri de bu nedenle aşırı derecede fazladır.

3.2 Ardışık Yaklaşımlı A/D Dönüştürücü

Ardışık yaklaşımli A/D dönüştürücü ¹ temel olarak bir adet kaydedici, bir adet karşılaştırıcı ve bir adet D/A dönüştürücü içermektedir. Ardışık yaklaşımli dönüştürücünün blok diyagramı Şekil 7'deki gibidir. Şekildeki SAR bloğu "**Successive Approximation Register**" yani ardışık yaklaşımli A/D kaydedici ifadesinin kısaltılmış halidir.

Dönüştürücünün çalışma prensibi şu şekildedir: Öncelikle SAR değeri sadece MSB 1 olacak şekilde 100...0 yapılır. SAR değeri D/A dönüştürücü ile analog değere dönüştürülür ve analog giriş ile karşılaştırılır. Eğer analog giriş D/A dönüştürücü çıkışından daha büyükse MSB 1 olarak bırakılır; değilse MSB 0 yapılır. Sonraki adımda MSB'nin sağındaki bit 1 yapılır. Yani SAR değeri önceki duruma bağlı olarak 110...0 ya da 010...0 olur. Yine bu değer D/A dönüştürücüye yollanır ve analog

¹ing. *Successive approximation converter*



Şekil 7: Ardışık yaklaşımli A/D dönüştürücü blok diyagramı.

giriş ile karşılaştırılır. Eğer analog giriş daha büyükse ikinci bit 1 olarak kalır; eğer D/A dönüştürücü değeri daha büyükse ikinci bit 0 yapılır. Aynı işlem geri kalan tüm bitler için tekrarlanır. Elde edilen en son SAR değeri analog girişe en yakın değer olacaktır. Bu değer çıkışlara aktarılarak dijital sinyal değeri olarak kullanılır.

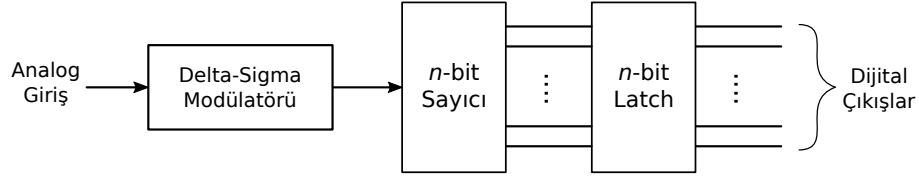
Diğer tüm A/D dönüştürücülerde olduğu gibi kullanılan bit sayısı arttıkça elde edilen sonuç analog giriş değerini o kadar iyi temsil edebilecektir. Fakat, ardışık yaklaşımli dönüştürücüde n -bit için aynı işlemin n kez tekrarlanması demek A/D dönüşüm işleminin de o oranda daha yavaş olacağı anlamına gelmektedir. Bu bakımdan, ardışık yaklaşımli dönüştürücüler flash dönüştürücülere kıyasla daha yavaştır. Ayrıca, SAR tasarımı flash dönüştürücü devre yapısına kıyasla daha komplikedir. Fakat, ardışık yaklaşımli flash dönüştürücülere kıyasla daha az güç tüketip daha ucuzlardır.

3.3 Delta-Sigma A/D Dönüştürücü

Delta-sigma dönüştürücü delta-sigma modülasyonuna dayanmaktadır. Delta-sigma modülasyonu analog bir sinyalin 1-bitlik dijital bir sinyalle ifade edilmesidir. Bu modüleli sinyaldeki 1 değerleri analog sinyalin genliğini temsil etmek için kullanılır. Girişteki analog sinyalin genliği arttıkça modüleli sinyaldeki 1 değerlerinin sayısı artar. Tam tersi analog sinyalin genliği azaldıkça 1 değerleri azalır. Analog sinyal minimum seviyeye geldiğinde modüleli sinyalde 1 değeri görülmez (sinyal 0 olur).

Delta-sigma dönüştürücüler öncelikle girişteki analog sinyali bir “örnekleme ve tutma”² devresi ile belli bir süre boyunca sabit değer olarak saklar. Daha sonra delta-sigma modülatörü örneklenmiş analog sinyale karşılık 1-bitlik modüleli bir sinyal üretir. Modüleli sinyal ise n -bitlik bir sayıyı etkinleştirmek için kullanılır. n -bitlik sayıcı, modüleli sinyaldeki 1 değerlerini saymak için kullanılır. Sayma işlemi sonucu elde edilen n -bitlik değer yine n -bitlik bir latch’e aktarılarak analog sinyalin dijital karşılığı olarak kullanılır. n -bitlik değer ne kadar büyükse, analog sinyalin genliği de o oranda büyük olacak anlamına gelir. Anlatılan bu delta-sigma dönüştürme işleminin blok diyagramı Şekil 8’deki gibidir.

²ing. *Sample and hold*



Şekil 8: Delta-sigma A/D dönüştürücü blok diyagramı.

Dönüşüm işlemini 1-bit modülasyon kullanarak yaptığı için delta-sigma dönüştürücüler diğer dönüştürücülerden daha yüksek bit çözünürlüklerine rahatlıkla ulaşabilmektedir. Yani delta-sigma dönüştürücüler yüksek doğruluk sağlarlar. Güç tüketimleri ve maliyetleri ardışık yaklaşımlı dönüştürücülerden düşüktür. Fakat, hız bakımından en yavaş dönüştürücü tipidir. A/D dönüştürme işleminde diğerleri kadar yüksek hızlara ulaşamaz.