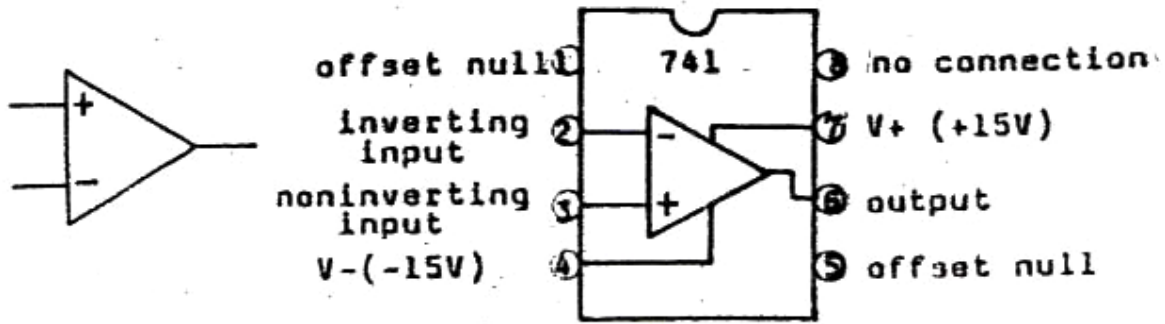


OPERASYONEL AMFLİKATÖRLER VE ÇEVİRİCİLER

4.1 OPERASYONEL AMPLİFİKATÖRLER (OPAMP'LAR)

Operasyonel amplifikatörler (Operational Amplifiers) veya işlemsel kuvvetlendiriciler, karmaşık sistemlerin temel taşlarıdır. Bu bakımdan, bu kuvvetlendiricileri taşıdıkları özellikleri ve karakteristikleri ile beraber bilmek gerekir. Bunlara örnek olarak şekil 4.1 de görülen 741 popüler entegresini gösterebiliriz. Opamp'lar direkt kublajlı ve yüksek kazançlı devre elemanlarıdır. Devresinde fazla bir değişiklik yapmadan kazancı ayarlamak mümkündür. Opamp'lar, D/A çevirmelerinin yanında; osilatör, türev ve integral devrelerinin yapımında da kullanılabilir. Bu amplifikatörlerin iki girişi vardır. Bunlar ; +(Non inverting) ve – (inverting) girişleridir.



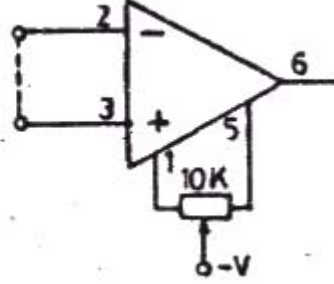
Şekil 4.1 741 opamp entegresi

4.1.1 OPAMPLARIN ÖZELLİKLERİ

1. Giriş empedansları çok yüksektir. $Z_{in} = \infty = 600$ Megaohm kadardır. Dolayısıyla önceki devreyi yüklemeyiz.
2. Amplifikasyonları çok yüksektir. $A = \infty = \approx 10^6$ kadardır.
3. Çıkış empedansları çok küçüktür. $Z_{out} = 0 = \approx 5$ ohm kadardır. Çıkış dirençlerinin küçük olmasından dolayı çıkış akımları yüksek olur. Bu akım 45 mA kadardır.
4. Band genişlikleri 1 Mhz civarındadır.
5. Besleme tek veya iki kaynaktan yapılabilir.
6. Çıkış gerilimleri, $V_{out} = A \cdot (V_2 - V_1)$ olur.
7. Statik çalışmada, Opamp'ların çıkışının 0 volt olması gerekir. Fakat girişlerindeki transistörlerin yapılarında çok küçük de olsa bir fark olmasından dolayı az da olsa istenmeyen bir OFFset gerilimi meydana gelir. Bu şartlarda, yani girişte sinyal

yokken OFFSET NULL girişleri şekil 4.2 de görüldüğü gibi ayarlanarak çıkış sıfırlanır. Böylece çıkış dalga şekillerinin bozulması önlenir.

Girişler kısa devre edilir.



Şekil 4.2: Girişte sinyal yokken çıkış geriliminin sıfırlanması

Yukarıdaki bilgilere bakıldığında teorik olarak bir Opamp'ın kazancının sonsuz olması gerekirken, pratikte sonsuz olmamaktadır. Aynı şey giriş ve çıkış empedansları içinde söylenebilir.

Örneğin 741 entegresinin gerilim kazancı ;50000-200000, giriş direnci 0.3 - 2 M ohm, çıkış direnci ise 75 ohm kadardır.

4.1.2 OPAMP'LARIN KULLANILDIKLARI YERLER

a) Opamp'ların faz çevirici eleman olarak kullanılması

Şekil 4.3 de görüldüğü gibi Opamp'lar çevirici (inverting amplifer) elemanı olarak kullanıldığında giriş (-) ucundan uygulanır. Burada, R1 giriş R2 ise geri besleme direncidir. Giriş akımı ;Opamp'ın giriş empedansının yüksek olması nedeniyle sıfıra yakın olur.

Buna göre ; $Z_{in} = \infty$ olduğundan, $I_{in} = 0$ olur.

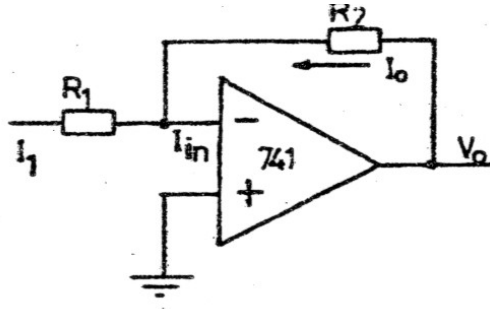
Buradan; $I_1 + I_0 = I_{in} = 0$ olduğundan ,

$$\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_0}{R_2} = 0 \text{ olur.}$$

$$\frac{V_1}{R_1} = -\frac{V_0}{R_2}$$

$$\frac{V_0}{V_1} = -\frac{R_2}{R_1} = A \text{ olur.}$$

Denklemden görüldüğü gibi çıkışın girişine oranı , bize yükseltme katsayısını verir. Burada (-) işareti giriş ile çıkış arasındaki 180^0 faz farkını verir. Dolayısıyla bu Opamp'ı negatif çarpıcı devresi olarak ta kabul edebiliriz. Bu devrenin giriş empedansı R_{in} , şekil: 4.3 deki Tabloda görüldüğü gibi oldukça küçüktür.



Kazanç	R1	R2	BW Band genişliği	Rin
1	10 K	10 K	1 MHz	10 K
10	1 K	10 K	100 KHz	1 K
100	1 K	100 K	10 KHz	1 K
1000	100 ohm	100 K	1 KHz	100 ohm

Şekil 4.3 Opamp'ların negatif çarpıcı olarak kullanılması

b) Opamp'ların faz çevirmeyen eleman olarak kullanılması

Şekil 4.4 de Opamp'ın pozitif çarpıcı eleman (non inverting amplifier) olarak kullanılması görülmektedir. Ancak bu devredeki kazanç farklı olmaktadır.

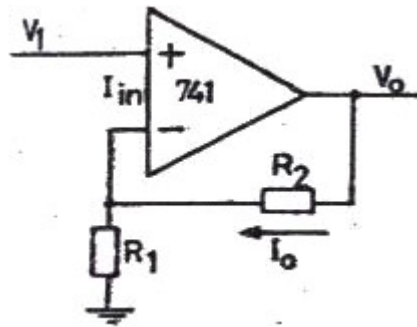
$$I_1 + I_0 = I_{in} = 0$$

$$\frac{-V_1}{R_1} + \frac{V_0 - V_1}{R_2} = 0 \equiv \frac{V_0}{V_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$$\frac{V_0}{V_1} = A \quad \text{kazanç olduğuna göre}$$

$$A = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad \text{olur.}$$

Bu devrenin giriş empedansı R_{in} ise oldukça yüksektir.



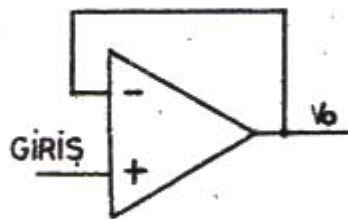
Kazanç	R1	R2	BW Band genişliği	Rin
10	1 K	9 K	100 KHz	400 M
100	100 Ohm	9.9 K	10 KHz	280 M
1000	100 Ohm	99.9 K	1 KHz	80 M

Şekil 4.4 Opamp' ların Pozitif çarpıcı olarak kullanılması.

c) Opamp' ların voltaj takipçisi olarak kullanılması

Şekil 4.5 de gerilim kazancı 1 olan , giriş ile çıkış arasında faz farkı olmayan , Follwer olarak adlandırılan ve gerilim takipçisi olarak kullanılan bir devre görülmektedir.

Tabloya bakıldığında bu bağlantıda çıkış empedansının oldukça küçük olduğu görülür. Bu devreler , hat sürücüleri olarak kullanıldıklarında büyük faydalar sağlar. Çünkü bu tip devrenin giriş empedansı çok yüksektir ve $A= 1$ olduğundan giriş ile çıkış sinyalleri arasında genlik farkı yoktur.



$R_{in}=400M$
$C_{in} = 1 \text{ pf}$
$R_{out} \ll 1 \Omega$
$BW = 1 \text{ MHz}$

Şekil 4.5 Opamp' ların voltaj takipçisi olarak kullanılması

d) Opamp'ların toplayıcı devre olarak kullanılması

Şekil 4.6 da Opamp'ların toplayıcı olarak kullanılması görülmektedir. Bu devrede giriş ile çıkış arasında faz farkı vardır. Bu Opamp'ın girişine uygulanan analog gerilimler toplanarak dijital gerilim şekline çevrilebilir. Burada;

$$I_1 + I_2 + I_3 + I_0 = 0$$

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1} \quad I_2 = \frac{V_2}{R_2} \quad I_3 = \frac{V_3}{R_3} \quad I_0 = \frac{V_0}{R_f}$$

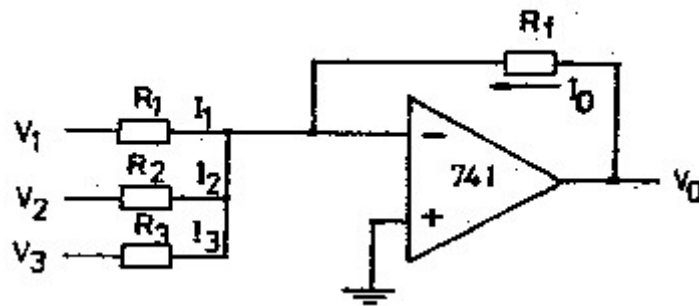
$$\frac{V_1}{R_1} = -\left(\frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} + \frac{V_0}{R_f}\right) \text{ olur.}$$

veya, $\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} = -\frac{V_0}{R_f}$ şeklinde de ifade edilebilir.

Buradan V_0 'ı çekersek,

$$V_0 = -R_f \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} + \dots + \frac{V_n}{R_n} \right) \text{ veya,}$$

$$V_0 = -\left(\frac{R_f}{R_1} V_1 + \frac{R_f}{R_2} V_2 + \frac{R_f}{R_3} V_3 + \dots + \frac{R_f}{R_n} V_n \right) \text{ olur.}$$

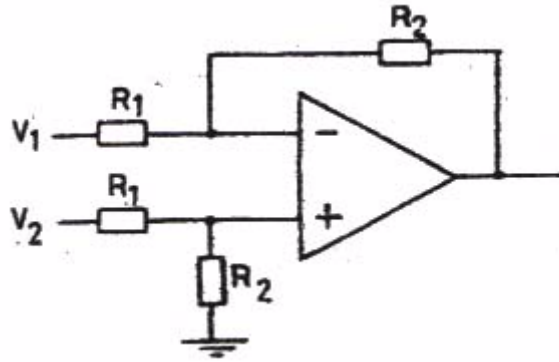


Şekil 4.6 Opamp'ların toplayıcı olarak kullanılması.

e) Opamp' ların fark amplifikatörü olarak kullanılması

Şekil 4.7 de Opamp' ların fark amplifikatörü (Differential / amplifier) olarak kullanılması görülmektedir. Bu devrenin isminden de anlaşılacağı gibi bu devrenin çıkışı , iki girişin farkıdır. Yani bu devre çıkarma işlemi yapar.

$$V_0 = \frac{R_2}{R_1}(V_2 - V_1) \text{ dir.}$$



Şekil 4.7 Opamp' ların fark amplifikatörü olarak kullanılması

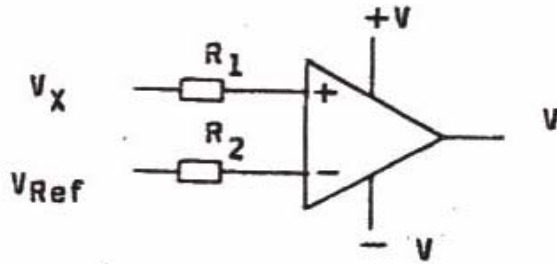
f) Opamp' ların kıyaslayıcı olarak kullanılması

Opamp' lara geri besleme uygulanmadığı durumlarda bu amplifikatörün kazancı çok yüksek olur. Şekil 4.8 de Opamp 'ın karşılaştırıcı (Comparator) elamanı olarak kullanılması görülmektedir. Bu devrede görüldüğü gibi bir girişe Vreferans , diğer girişe ise Vxgerilimi uygulanır. Bu iki gerilim arasındaki fark çok küçük olsa bile OP amp' a geri besleme yapılmadığı için kazancı çok yüksektir. Bu iki gerilim arasındaki fark küçük olduğu halde (A) kazancı çarpanı çok büyük olduğunda çıkışta +V veya -V değerleri görülür.

$V_x > V_{ref}$ olduğunda , çıkış + V olur.

$V_x < V_{ref}$ olduğunda ise çıkış -V olur.

Buna karşılık $V_x = V_{ref}$ olursa çıkış 0 volt olacaktır.



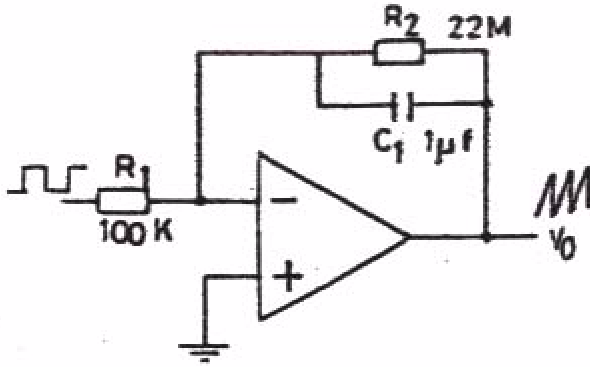
Şekil 4.8 Opamp' ların kıyaslayıcı olarak kullanılması.

g) Opamp'ların integral devresi olarak kullanılması

Şekil 4.9 da Opamp'ların integral devre olarak kullanılması görülmektedir. Bu devrenin girişine uygulanan bir kare dalganın Op amp integralini alarak üçgene çevirir. Girişe uygulanan sinyalin periyodunun , devrenin zaman periyoduna yakın olması gerekir. Ayrıca;

$$F_{giriş} > \frac{1}{2\pi R_1 C_1} = F_{çıkış} \text{ olmalıdır.}$$

$$V = V_{in} \cdot \frac{R_2}{R_1} (1 - e^{-T/R_2 C}) \text{ dir. } F < \frac{1}{R_2 C} \text{ olması gerekir.}$$

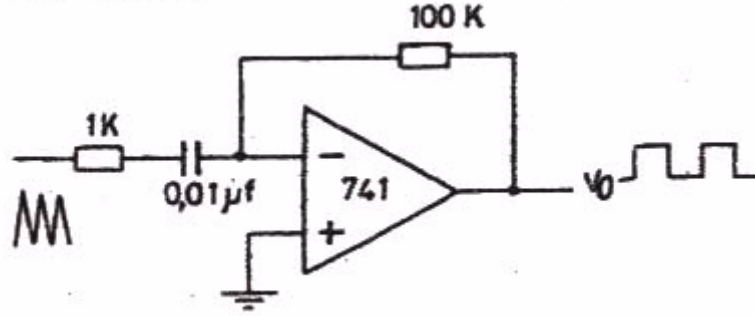


Şekil 4.9 Opamp'ların integral alıcı devre olarak kullanılması .

h) Opamp'ların türev devresi olarak kullanılması

Şekil 4.10 da Opamp'ların türev devresi olarak kullanılması görülmektedir. Bu devrenin girişine üçgen bir sinyal uygulandığında çıkışta kare dalgaya dönüştürülür. Bu devrenin türev alma görevini yapabilmesi için;

- $F_{giriş} < (1/(2 \pi R_1 C_1))$
- $R_2 \cdot C_1$ zaman sabitesi ile giriş frekansının periyodu aynı değerler civarında olmalıdır. Böyle bir devre , değişim hızını gösteren bir devre olur.



Şekil 4.10 Opamp'ların türev alıcı devre olarak kullanılması.

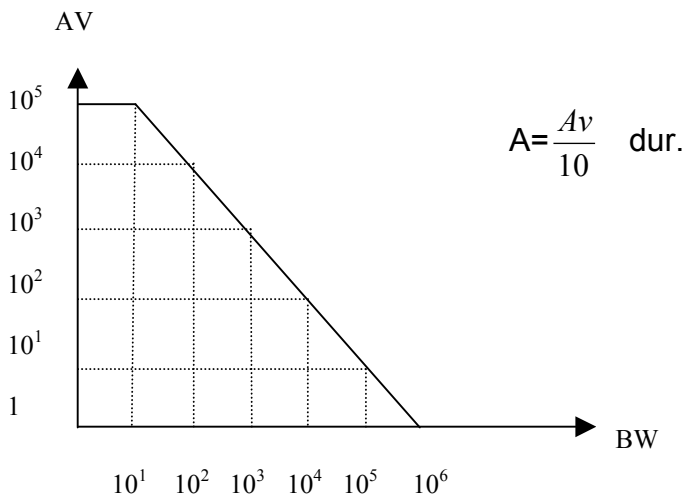
4.1.3 OPAMP'LARDA KAZANÇ, FREKANS VE BAND GENİŞLİĞİ

Opamp'lı devreler DC 'ye yakın frekanslarda (2-5 Hz gibi) gibi çok yüksek kazanç gösterirler . Bu durumlarda kazanç $A=200.000$ kadardır. Bu tip amplifikatörün girişine uygulanan frekans arttıkça kazanç düşmeye başlar. Bu durum Şekil 4.11 deki grafikte görülmektedir.

Grafik incelendiğinde frekansın artmasıyla , kazancın doğrusal olarak düştüğü görülmektedir. Her noktadaki bant genişliğinin kazançla çarpımı her zaman aynı değeri verir. Ancak kazanç ile bant genişliği ters olarak değişmektedir. Yani kazanç artarken , frekans bandı azalmaktadır.

$$AV.BW = 1 \text{ MHz (sabit)}$$

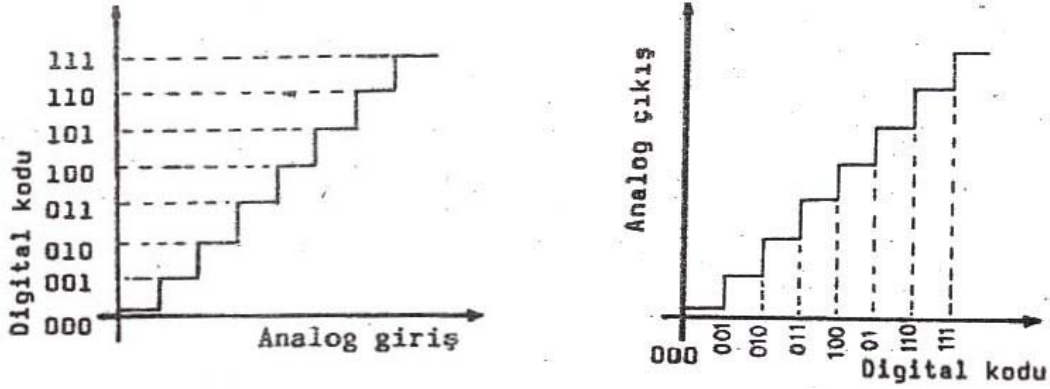
Opamp hesaplamalarında , grafikte bulunan kazanç değeri kullanılırken 10^1 'a bölünür. Buna emniyet payı denir. Böylece bant genişliği daralmış olur.



Şekil 4.11 Opamp'ların kazanç-bant genişliği grafiği

4.2 DİJİTAL / ANALOG VE ANALOG / DİJİTAL ÇEVİRİCİLER

Karmaşık sistemlerin girişinde ifade edildiği gibi bazı sistemlerin çalışmaları analog , bazılarında dijital sinyallere göre olmaktadır. Örneğin analog prensibine göre çalışan bir sistemin girişine şekil 4.12 –a’da görüldüğü gibi dijital bir kelime uygulanmış ise kelimenin analog sinyale çevrilmesi gerekiyor. Diğer taraftan dijital olarak çalışan bir sistemin girişine de şekil 4.12-b’de görüldüğü gibi analog bir sinyal uygulanmış ise bu sinyalin de dijital işarete çevrilmesi gerekir. Görüldüğü gibi karma sistemlerin çalışmaları için A/D ve D/A çeviricilere (converter) gerek vardır.

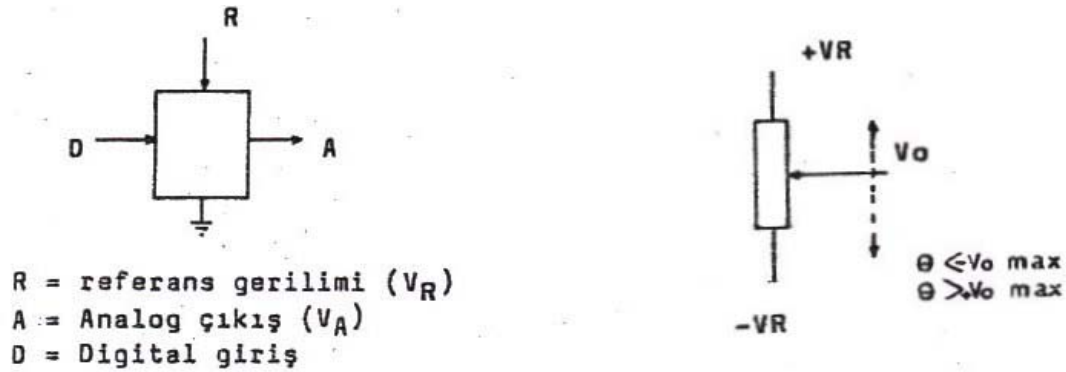


Şekil 4.12 a) Dijital giriş sinyali,

b) Analog giriş sinyali

4.2.1 DİJİTAL/ANALOG ÇEVİRİCİLERİ

Bu tip çeviriciler, D/A konverterleri olarak adlandırılır. Şekil 4.13-a da basitçe ifade edildiği gibi sistemin girişi dijital , çıkışı ise analog'dur. Bunu şekil 4.13-b'de görülen orta uçlu bir potansiyometrenin işleyişine benzetebiliriz. Burada potansiyometrenin orta ucunun yukarıya veya aşağıya doğru θ açısıyla yaptığı hareket referans gerilimi değiştirir.



Şekil 4.13 D/A çevirici

a) Paralel girişli D/A çevirici

Şekil4.14 de dijital bilginin basit olarak analog'a çevrilmesi görülmektedir. Swo....AW3 transmisyon anahtarları olup bu anahtarlar verilen dijital programa göre referans geriliminin iletimini sağlamaktadırlar.

Daha önce ifade edildiği gibi bu şekildeki D/A konverterinin çıkışı;

$$V_o = V_R (a_{n-1} 2^{-1} + a_{n-2} 2^{-2} + \dots + a_0 2^{-n}) \text{ dir}$$

Buradaki (a) ifadeleri binary sayılarını yani 1 veya 0 lojiklerini ifade ederler . Devrenin VR gerilimi MSB için (an-1)'e tekabül ve etkisi VR/2n olur. Örneğin 4 bitlik bir kelime için n=4 olacağına göre denklem şu şekilde olur.

$$V_o = V_R (a_{n-1} 2^{-1} + a_{n-2} 2^{-2} + a_{n-3} \cdot 2^{-3} \dots + a_o \cdot 2^{-4}) \text{ Buradan};$$

$$V_o = V_R \left(\frac{a_3}{2} + \frac{a_2}{4} + \frac{a_1}{8} + \frac{a_0}{16} \right) \text{ veya paydaları eşitlesek}$$

$$V_o = \frac{VR}{16} (8 a_3 + 4 a_2 + 2 a_1 + a_0) \text{ olur.}$$

Konumun daha iyi anlaşılması açısından referans gerilimini 16 volt olarak kabul edelim . Buna göre verilen dijital bilgi a0 için 1 ve diğer a' lar için 0'sa V0 gerilimi;

$$V_o = \frac{16}{16} (8 \cdot 0 + 4 \cdot 0 + 2 \cdot 0 + 1)$$

$$V_o = 1 \text{ volt olur.}$$

Diğer taraftan a1=1 ve diğer a'lar için 0'sa çıkış gerilimi;

$$V_o = \frac{16}{16} (8 \cdot 0 + 4 \cdot 0 + 2 \cdot 1 + 0)$$

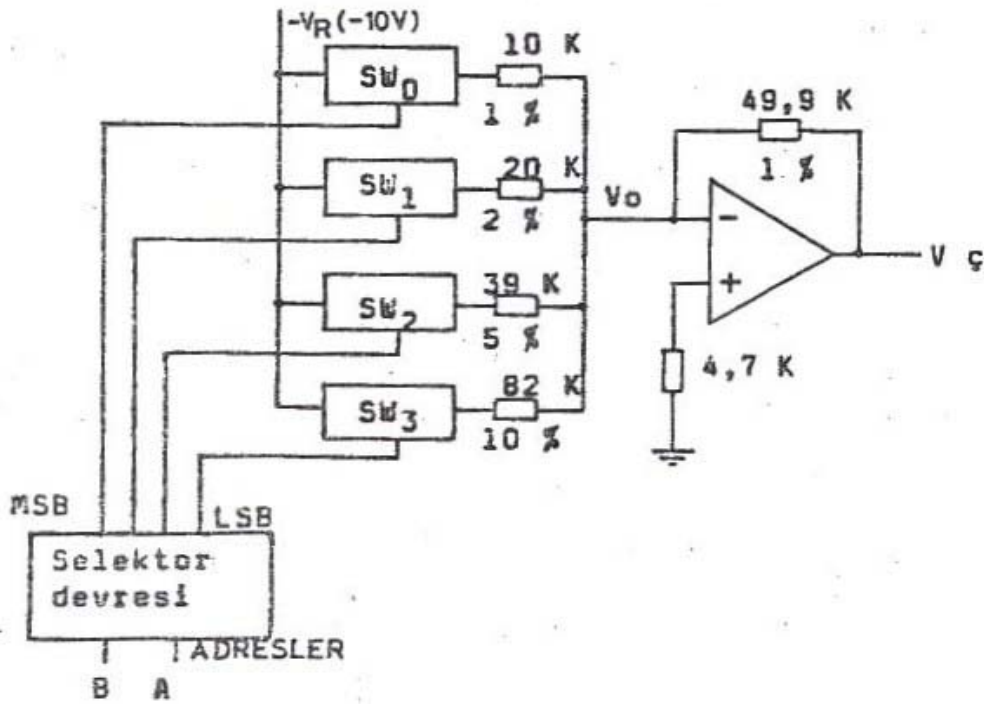
$$V_o = 2 \text{ vlt olur.}$$

Aynı şekilde a2=1 ve diğer a' lar 0'sa çıkış gerilimi Vo=4 volt, a3=1 ve diğer a'lar 0'sa Vo=8 volt olur. Dikkat edilirse çıkış gerilimi katlanarak artmaktadır. Bundan başka a0=1, a1=1 ve diğer a'ların 0 olduğunu düşünelim .Yani girişe verilen dijital bilgi 3 olsun . Buna göre çıkış gerilimi;

$$V_o = \frac{16}{16} (8 \cdot 0 + 4 \cdot 0 + 2 \cdot 1 + 0)$$

$$V_o = 3 \text{ volt olur.}$$

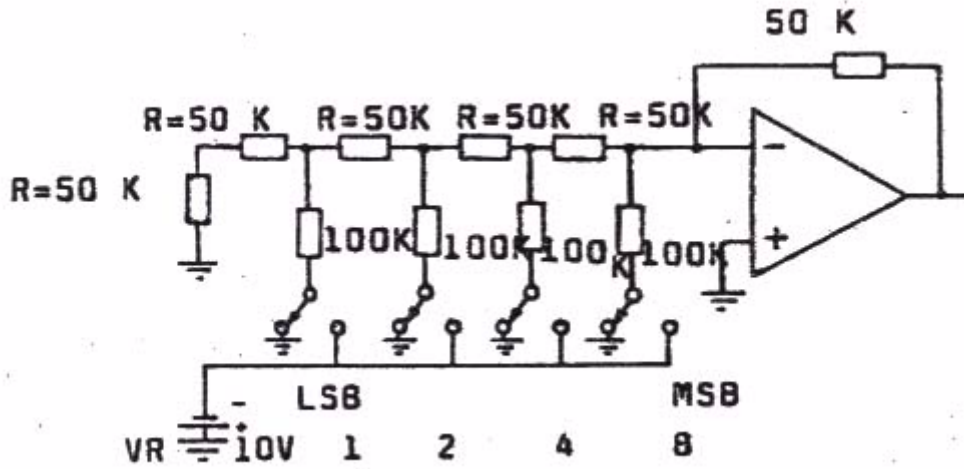
Buradan anlaşılacağı gibi V_o çıkışı ;dijital girişin , orantılı analog gerilimidir. Şekildeki operasyonel amplifikatör ise akım gerilim çevirmesi yapar. Örneğin MSB=1 ve diğer bitler 0 iken S_{w0} anahtarı referans gerilimi 10 K ohm 'luk dirençten 1 mA'lık akım geçer. V_o çıkış gerilimi ise ; $V_o = 1mA \times 5 K \text{ ohm} = 5 \text{ Volt}$ olur. Opamp'ın bu şekildeki analog gerilim değerlerini , değişik dijital girişler göre bularak çıkışın giriş ile orantılılığı sağlanabilir. Bu tip çalışmalarda dirençlerin doğru seçilmesi şarttır. Ayrıca bu dirençlerin değerleri sıcaklıkla değişmemelidir. Bu bakımdan bu çalışmalarda metal dirençlerin kullanılması gerekir.



Şekil 4.14 Dijital bilgiyi analog' a çeviren basit bir devrenin blok diyagramı.

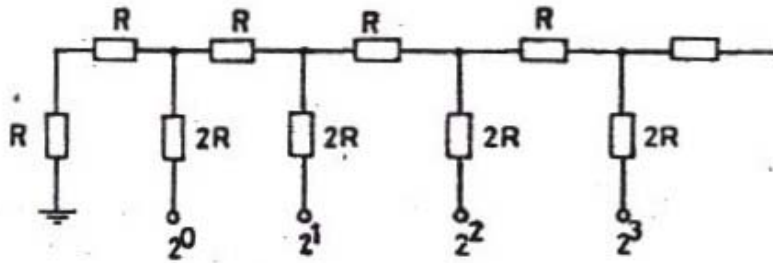
b) Merdiven tipi D/A çeviricileri (ladder network)

Şekil 4.15 de merdiven tipi bir D/A çevirici devresi görülmektedir. Aslında bu devre bir akım bölücü devresidir. Merdiven devresinin tüm dirençlerinin $2R$ olduğu açıkça görülmektedir. Bundan dolayı herhangi bir düğüm noktasından sağa ve sola bölünen akımlar her zaman bir birine eşittir.



Şekil 4.15 Merdiven tipi D/A çevirici.

Konuyu daha iyi anlayabilmek için merdiven devresini çeşitli konumlar için inceleyelim. Şekil 4.16 da görülen devrede $R=1K$ $V_R=16$ Volt olsun. Bu devrenin girişine 0000 dijital bilgisi uygulandığında $V_o=0$ Volt olur.



Şekil 4.16 Merdiven tipi bağlantı

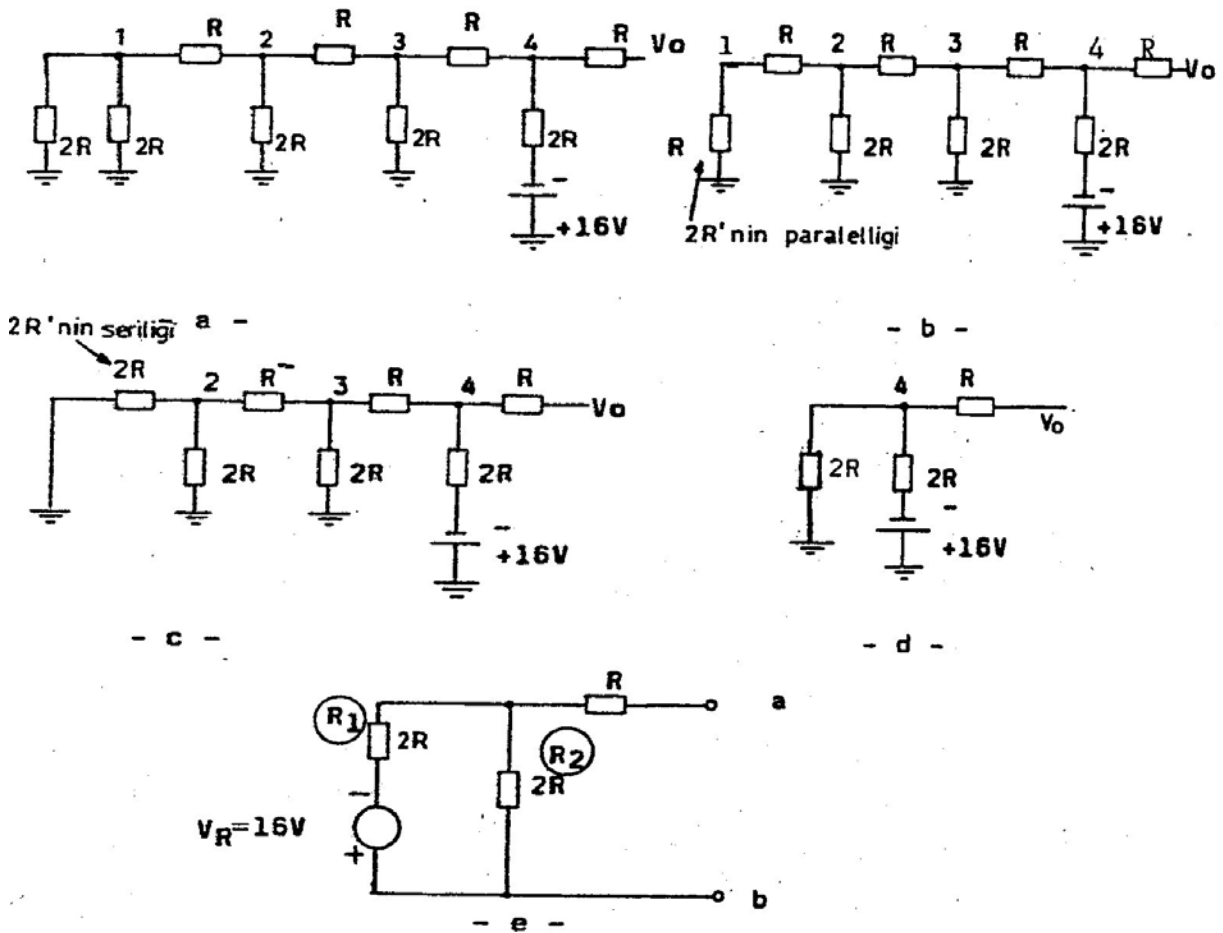
Şekil 4.17 -a' da görüldüğü gibi devreye 1000 dijital bilgisi uygulansın . Bu durumda şekil 4.17-b' deki son iki direncin paralelliği R olur. Şekil 4.17-c' de oluşan devrede seri bağlı bulunan iki adet R direncinin seriliğini alırsak $2R$ eder. Dirençleri 4 nolu düğüm noktasına kadar toplarsak Şekil 4.17-d de görülen devreyi elde etmiş oluruz.

Bilindiği gibi Op amp' ların giriş empedansları çok yüksektir. Bu bakımdan Op amp' ların girişindeki direnç gözüne alınmaz. Yani Thevenin teorisine göre V_o gerilimi hesaplanırken R' den akım geçmiyormuş gibi kabul edilir. Diğer bir deyimle V_o gerilimi olur. Buna göre Şekil 4.17-e' de görüldüğü gibi $V_R/2=16/2= 8$ Volt olur.

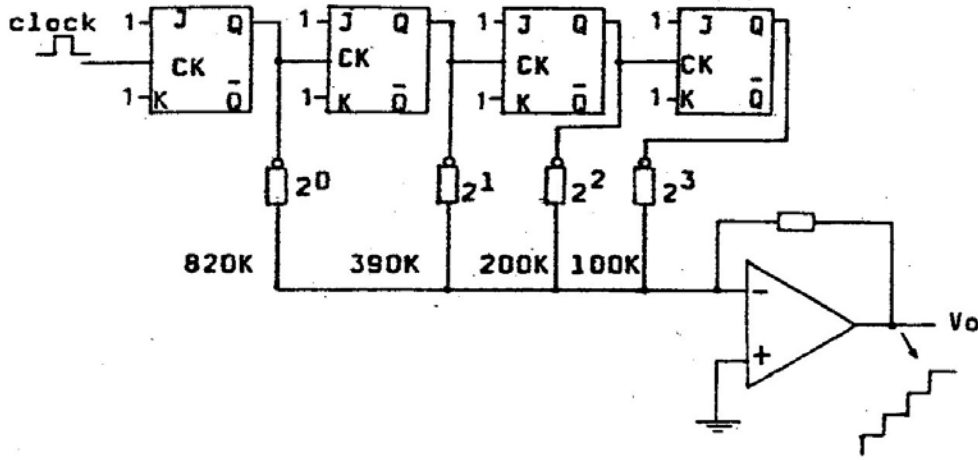
Giriş empedansı yüksek olduğundan a, b uçları açık olur. Thevenin teorimine göre ;

$$V_o = V_{ab} = V_R \cdot R_2 / (R_1 + R_2) = V_R \cdot 2R / 4R = 16 / 2 = 8 \text{ volt olur.}$$

Şekil 4.18 de örnek bir devre görülmektedir.



Şekil 4.17 1000 dijital giriş için devrenin analog çıkışı.



Şekil 4.18 Merdiven tip D/A çevirici

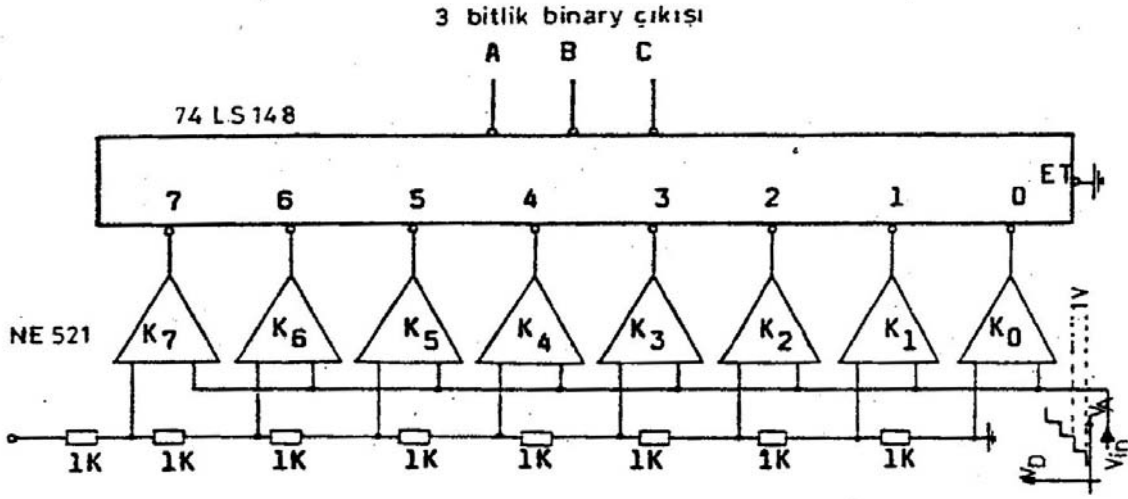
4.3 ANALOG /DİJİTAL ÇEVİRİCİLER

Bir fiziki sistemden alınan analog bilgileri dijital bilgilere dönüştüren sistemlere Analog/Dijital konverter denir. A/D konverterlerine ; sıcaklığı temsil eden bir termokupl çıkışındaki analog gerilimi dijital bilgisine çeviren sistemleri örnek olarak göstermeliyiz.

Şekil 4.19 da basit olarak analog bilgisinin 74148 encoder entegresiyle dijitalleştirilmesi görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi NE521 komparatorlarının (+) girişlerine kaynakla seri olmak üzere 1 K ohm'luk dirençler bağlanmıştır. Bu dirençlerin üzerinde 1V'luk bir gerilimin düştüğünü kabul edersek , şaseye göre Ko komparatorunun (+) girişine 0 volt, K1 nolu komparatorunun girişine 1V ve sırasıyla diğer komparatorların girişlerine 2, 3, 4, 5, 6, 7 volt uygulanmış olur. Komparatörlere uygulanan V_{in} analog giriş gerilimi 0 volt olduğunda Ko komparatorunun çıkışı lojik-0 olur. Buna bağlı olarak encoder' in dijital çıkışı binary olarak 000 olur. Burada uygulanan V_{in} analog geriliminin her basamağında 1 Volt olduğunu varsayarsak sistemin girişine 1 Volt uygulandığında K1 komparatorunun (+) ve (-) girişleri aynı değerde olacağından bu komparatorun çıkışı Lojik-0 olur ve encoder' in çıkışı da binary olarak 001 olur. Girişe 2 volt uygulandığında K2 komparatorunun giriş gerilimleri eşit olur.

Türleri:

1. Dirençlerin merdiven dalgalı a/d çeviricileri
2. Tek Meyil tamamlaması ile yapılan A/D çeviricileri
3. Çift Meyil tamamlaması ile yapılan A/D çeviricileri



Şekil 4.20 A/D çevirici