

Bölüm 10: Operasyonel amplifikatörler

A- Opamp'ların yapısı

Giriş: Yüksek kazançlı lineer entegrelere "opamp" denir.

Opamp'lar plastik ya da metal gövdeli olarak üretilir. Bu elemanların gövdelerinin içinde bulunan yükselteç sayısı bir ya da birden fazla olabilmektedir. Örneğin: 741 adlı opamp'ta 1 adet, 747 adlı opamp'ta 2 adet, LM324 adlı opamp'ta 4 adet *yükselteç* vardır.

Opamp'ların artı (+) ve eksi (-) olmak üzere "iki girişi" ve bir "çıkış ucu" bulunur. Bu elemanlarda NC ile gösterilen uçlar boştaadır. (*Hiç bir yere bağlı değildir.*)

Opamp'lar konusunu iyice öğrenen elektronikçi bir çok pratik devrenin tasarımını en az malzeme kullanarak yapabilir.

Opamp'ların kazancı (A_k , A_v)

Girişlere uygulanan gerilimlerin seviyeleri arasındaki farkın entegrenin yükseltme miktarıyla çarpımına kazanç denir.

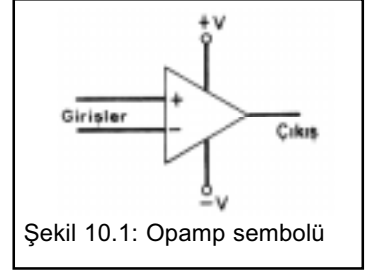
Şöyleki: Opamp'ın kazancı 100.000, giriş uçlarına uygulanan gerilimlerin farkı 1 mV ise çıkışta 100.000 mV görülür. (*Geri besleme direnci bağlı değilken*)

Devre anlatımlarında:

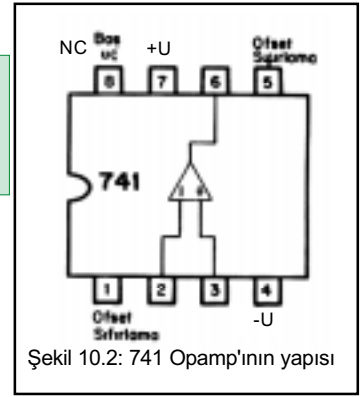
Opamp'ların (+) giriş ucuna çevirmeyen (*evirmeyen*) giriş,

(-) giriş ucuna ise çeviren (*eviren*) giriş denir.

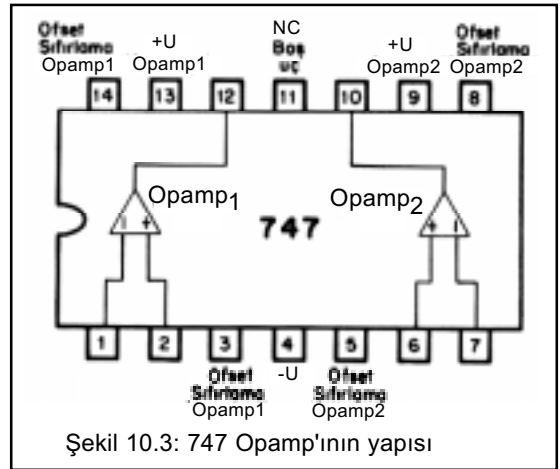
Opamp'ların çıkış ucu bir adettir. "Yük", çıkış ucu ile devrenin şase ucu arasına bağlanır. Alıcıda düşen çıkış geriliminin seviyesi opamp besleme geriliminden 1-2 Volt daha düşüktür. 1-2 Volt'luk gerilim, opamp'ın iç elemanları üzerinde düşmektedir. Alıcıya giden akım ise 10-100 mA dolayındadır. Alıcı akımının yüksek seviyelere çıkmaması için genelde 10 KW 'luk dirençler çıkışa seri olarak bağlanır.



Şekil 10.1: Opamp sembolü



Şekil 10.2: 741 Opamp'ının yapısı



Şekil 10.3: 747 Opamp'ının yapısı

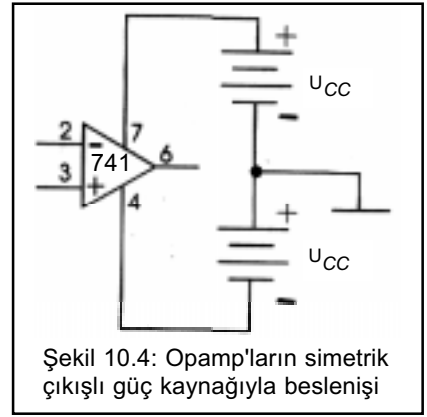
Opamp'ların DC ile beslenmesi

Bu elemanların beslenmesi "pozitif çıkışlı" ya da "simetrik" (+, 0, -) çıkışlı DC üreteçleriyle yapılır. Uygulamada en çok *simetrik kaynaklı* besleme yöntemi kullanılır.

Simetrik güç kaynağı basit olarak birbirine seri bağlı iki pil ile elde edilebilir. Şöyleki: Pillerin üst ve alt ucu (+) ve (-)'yi oluştururken, birleşim noktaları ise "şase" görevi yapar.

Opamp'ların beslenmesinde en çok ± 5 V, ± 9 V, ± 12 V, ± 15 V ve ± 18 Volt'luk simetrik DC üreteçleri kullanılır.

Şekil 10.4'e bakınız.



Şekil 10.4: Opamp'ların simetrik çıkışlı güç kaynağıyla beslenişi

Uygulamada yaygın olarak kullanılan 741 kodlu opamp'ın özellikleri

- I- Gerilim kazancı 45.000-200.000 arasındadır.
- II- Giriş direnci (empedansı) 0,3-2 M Ω arasındadır.
- III- Çıkış empedansı 50-100 Ω arasındadır.
- IV- Band genişliği 1 MHz dolayındadır.
- V- Çıkış akımları ($I_{çıkış}$) 10-100 mA dolayındadır.
- VI- Giriş uçlarına 0 Volt uygulandığında çıkış uçlarında da 0 Volt oluşmaktadır.
- VII- Karakteristikleri sıcaklıkla çok az değişmektedir.
- VIII- Giriş uçlarının çektiği akım sıfıra yakındır.

Geri besleme direnci kullanılmaması durumunda opamp kazancı

İşlemsel yükselteçlerin çıkışından giriş ucuna doğru geri besleme yapılmazsa kazanç çok yüksek olur. Bu değer 200.000 gibi yüksek rakamlara ulaşabilir.

Örneğin, (+) girişe $U_{giriş1} = 4$ mikro Volt, (-) girişe $U_{giriş2} = 1$ mikro Volt uyguladığımızı varsayalım. Opamp bu iki gerilimi kıyaslar. Aralarında ne kadarlık fark olduğunu belirler. Daha sonra bunu 50.000 ile 200.000 kez büyütür.

Bizim kullandığımız opamp'ın kazancınının 100.000 olduğunu kabul edelim. Buna göre yükseltecin çıkışında:

$$U_{çıkış} = (U_{giriş1} - U_{giriş2}) \cdot \text{Kazanç} = (4-1) \cdot 100000 = 300.000 \text{ mV'luk gerilim oluşur.}$$

Görüldüğü üzere geri besleme elemanları kullanılmazsa çok yüksek kazançlı devre elde edilir. Bu ilk anda "iyi" bir özellik gibi görülebilir. Ancak bir çok devrede bu kadar "yükseltme" istenmez.

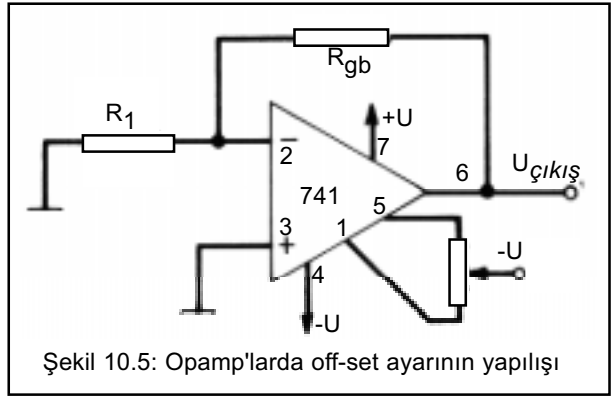
Giriş sinyalini "geri besleme direnci kullanmadan" çok yüksek değere çıkarmayı istemeyişin sebebini şöyle izah edebiliriz: (+) girişe 5 V, (-) girişe 2 Volt'luk sinyal uyguladığımızı varsayalım. Geri besleme direnci kullanmadığımız zaman opamp iki sinyalin farkını belirler (bu 3 V'tur) ve 3 Volt'u 200.000 kez güçlendirmek ister. Yükseltme hesabına göre çıkışın $3 \cdot 200.000 = 600.000$ V olması "imkânsız"dır. Çünkü yükseltecin besleme gerilimi en fazla 36 Volt olabilmektedir. O halde bu örnekte verilen devrede girişe uygulanan gerilimler en çok "34 V" seviyesine çıkarılabilir. Bu ise çıkış sinyalinde distorsiyon olması sonucunu doğurur

O nedenle, opamp'ların kazancı *teorik* bir değerdir. Uygulamada daha düşük kazançlı yükselteçler kullanılmaktadır.

Opamp'larda off-set gerilimi

Opamp'lar ne kadar kaliteli yapılırsa yapılsın, giriş uçları boşta olduğu halde bile çıkışlarında belli bir gerilim oluşur. Yüksek kaliteli "ölçme-kontrol-kumanda" devrelerinde bu durum istenmeyen sonuçlar yaratabilir. İşte bu sakıncayı gidermek için off-set (*sıfırlama*) ayarı yapılır.

Şekil 10.5'de verilen devrede görüldüğü gibi yükseltecin 1 ve 5 numaralı ayakları arasına ayarlı bir direnç bağlanır. Daha sonra bu direncin orta ucuna üretcin eksi (-) ucundan besleme yapılır. Ayarlı direncin mili çevrilerek çıkışın "0 Volt" olması sağlanır.



Şekil 10.5: Opamp'larda off-set ayarının yapılışı

Opamp'larda band genişliği

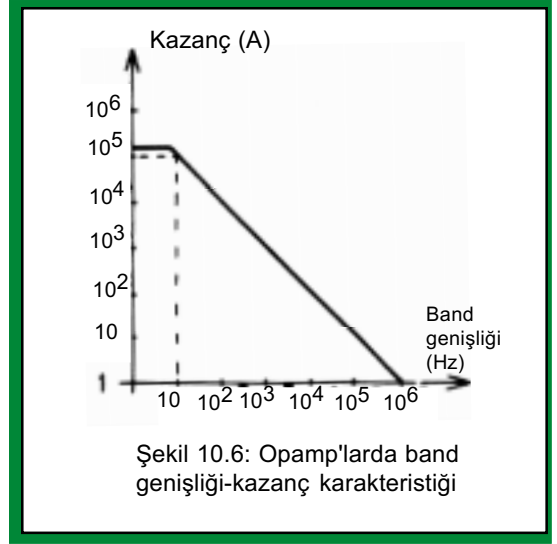
Alçak frekanslı sinyallerde opamp'ın kazancı en yüksek düzeyde (yaklaşık 50-200.000) iken, **giriş sinyalinin frekansı yükseldikçe kazanç düşmektedir.**

Bu yaklaşıma göre frekans ile band genişliğinin çarpımı daima eşittir.

Yâni,

Kazanç x Band genişliği = 10^6 Hz olarak kabul edilebilir.

Bu açıklamalardan sonra opamp'lar için maksimum kazancın giriş sinyalinin DC olması durumunda elde edilebileceği ifade edilebilir. Şekil 10.6'da opamp'ların band genişliği-frekans karakteristiği verilmiştir.



Şekil 10.6: Opamp'larda band genişliği-kazanç karakteristiği

Opamp'ların iç yapısındaki devre katları

İçinde 20'nin üzerinde transistör bulunduran opamp'ların iç yapısını tamamen bilmek, pratik uygulamalarda bir **fayda getirmez.**

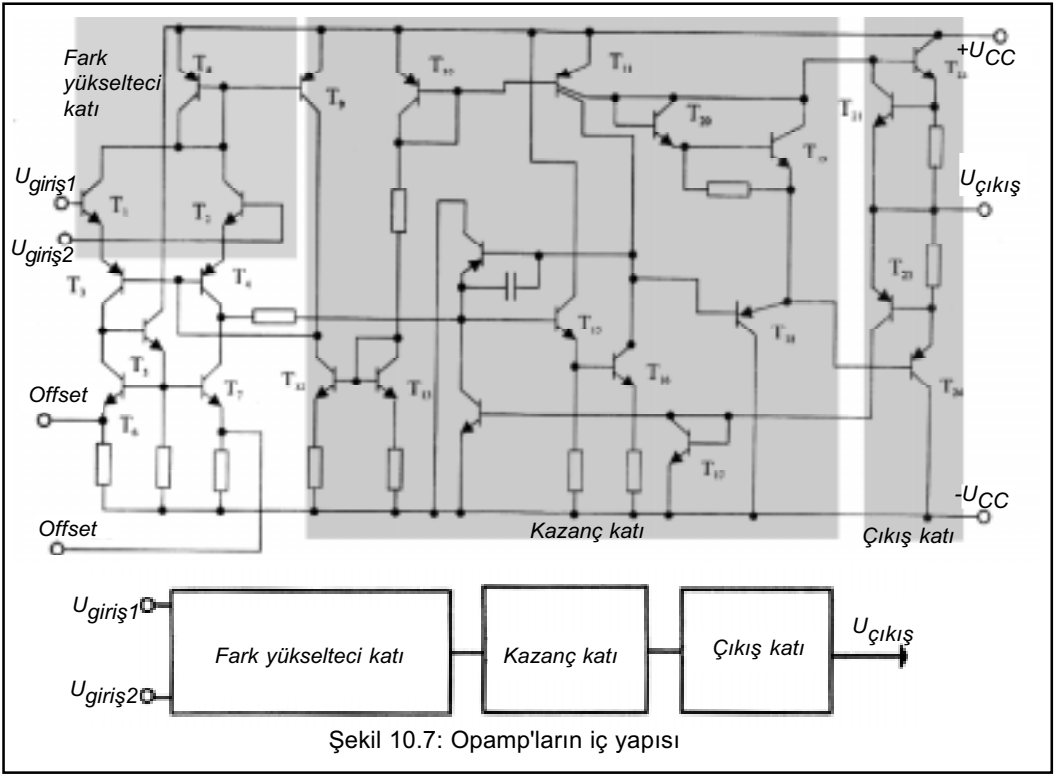
O nedenle bu elemanların iç devreleri kısaca açıklanacaktır.

Şekil 10.7'de görüldüğü gibi opamp'ların içinde bulunan devreler üç kısımdır:

I- Fark yükseltici (difamp) katı: Giriş sinyallerinin uygulandığı kattır. (+) ve (-) şeklinde iki giriş söz konusudur.

II- Kazanç katı: Fark yükseltecinden gelen sinyalleri yükselten kattır.

III- Çıkış katı: Yükü besleyebilmek için gerekli akım ve gerilimin alındığı kattır.



Şekil 10.7: Opamp'ların iç yapısı

B- Opamp'lı uygulama devreleri

a- Opamp'lı gerilim izleyici (voltage follower) devresi

Çıkış empedansı yüksek olan bir devrenin "düşük empedanslı" bir devre ile uyumlu çalışmasını sağlamak için geliştirilmiştir.

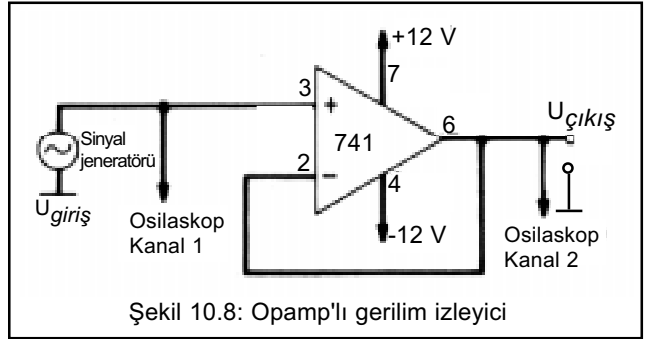
Bu bağlantıda giriş empedansı (Z_i) yaklaşık 400 MW, çıkış empedansı yaklaşık 0,1 W kadardır. Devrenin band genişliği ise 1 MHz dolayındadır.

Gerilim izleyici devresinde giriş empedansının çok yüksek olması, girişe bağlanan sisteme fazla bir "yük" binmesini engeller. Yani, girişteki devreden *çok çok az* bir akım çekilir. Öte yandan çıkış ucu ise, alıcıya maksimum akım gönderebilir.

Yükseltecin çıkışından (-) girişine yapılan köprüleme (*bağlantı*) sayesinde devrenin çıkış gerilimi giriş gerilimine eşit düzeyde olabilmektedir.

Devrenin kazancı ise haliyle, $A_v = U_{çıkış}/U_{giriş}$ denklemine göre "1" olacaktır.

Günümüzde sadece gerilim izleyici olarak kullanılmak üzere yapılmış opamp'lar da mevcuttur. Örneğin LM110 kodlu opamp'ın çıkışı ile eksi girişi arasındaki bağlantı entegrenin içinden yapılmıştır.



Şekil 10.8: Opamp'lı gerilim izleyici

LM110'un bazı özellikleri

*Giriş direnci (empedansı): 10^6 MW . *Giriş akımı: 1 nA . *Çıkış empedansı: $0,75 \text{ W}$.

*Band genişliği: 10 MHz . *Kazanç: $0,9997$.

Not: Dıştan bağlantı yapılarak gerilim izleyici olarak çalışan opamp'lı devrelerin karakteristik özellikleri de LM110'a benzer.

b- Opamp'lı faz çeviren (eviren, inverting, ters çevirici) yükselteç devresi

Girişe uygulanan AC ya da DC özellikli sinyalleri 180° ters çeviren devrelerdir. Bu tip devrelerde giriş (-) uçtan uygulanır. Şekil 10.9'a bakınız.

Eviren yükselteçlerde kazanç

$$A_v = R_{gb} / R_1$$

$$U_{\text{çıkış}} = -A_v \cdot U_{\text{giriş}}$$

Denklemden kullanılan "-", sinyallerin ters çevrildiğini vurgulamak içindir.

Örnek

$$U_{\text{giriş}} = \pm 0,5 \text{ V},$$

$$R_1 = 10 \text{ K},$$

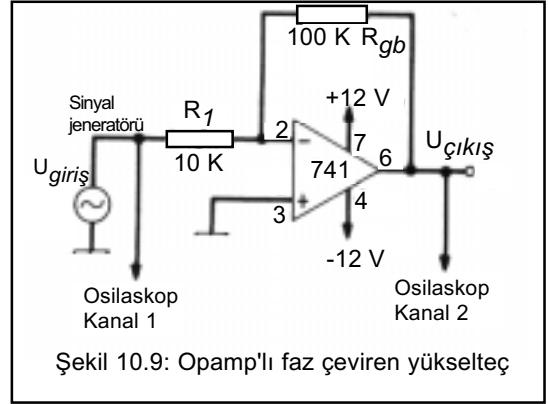
$$R_{gb} = 100 \text{ K},$$

$$U_{\text{çıkış}} = ?$$

Çözüm

$$A_v = R_{gb} / R_1 = 100/10 = 10$$

$$U_{\text{çıkış}} = -A_v \cdot U_{\text{giriş}} = 10 \cdot 0,5 = \pm 5 \text{ V}.$$



Şekil 10.9: Opamp'lı faz çeviren yükselteç

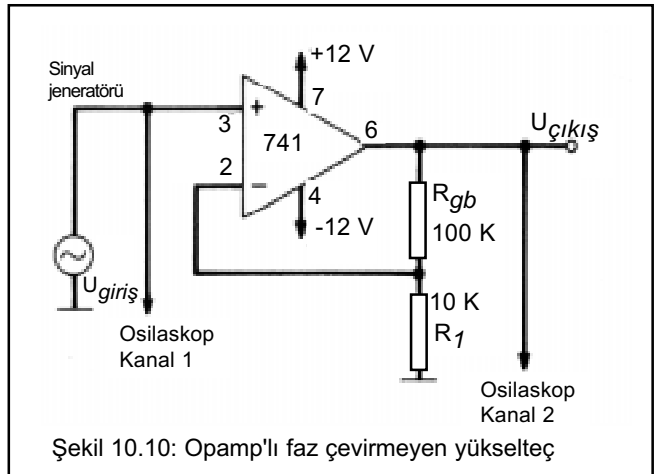
c- Opamp'lı faz çevirmeyen (evirmeyen, non-inverting) yükselteç devresi

Bu devrelerde giriş ile çıkış sinyalleri aynı yönlüdür. Yani giriş pozitif yönlü iken çıkış da pozitif yönlü, giriş negatif yönlü iken çıkış da negatif yönlüdür. Yükseltecin giriş ucunun direnci çok yüksektir (yaklaşık 100 MW) Bu nedenle girişe bağlanan sinyal kaynağından (sinyal jeneratörü, mikrofon vb.) çok çok az akım çekilir..

Evirmeyen yükselteçlerde kazanç $A_v = 1 + (R_{gb}/R_1)$ denklemiyle bulunur.

Bu denklemin nasıl ortaya

çıkacağı uzun açıklamalar ve hesaplamalar gerektirdiğinden burada açıklanmamıştır.



Şekil 10.10: Opamp'lı faz çevirmeyen yükselteç

Çıkış gerilimini bulmada kullanılan denklem ise: $U_{\text{çıkış}} = U_{\text{giriş}} \cdot [1 + (R_{gb}/R_1)]$ dir.

Örnek: $R_1 = 1 \text{ K}$, $R_{gb} = 10 \text{ K}$, $U_{giriş} = 2 \text{ V}$.

a) $U_{çıkış} = ?$

b) A_v (kazanç) = ?

Çözüm: **a)** $U_{çkş} = U_{grş} \cdot [1 + (R_{gb} / R_1)]$
 $= 2 \cdot [(1 + (10 / 1))] = 22 \text{ V}$.

b) $A_v = 1 + (R_{gb}/R_1) = 1 + (10/1) = 11$.

Ya da,

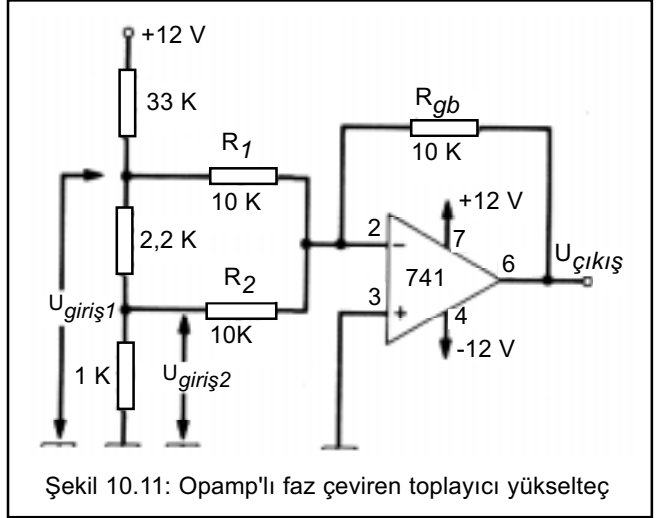
$A_v = U_{çıkış}/U_{giriş} = 22/2 = 11$.

ç- Opamp'lı "faz çeviren (tersleyen) toplayıcı" yükselteç devresi

Girişe uygulanan sinyalleri topladıktan sonra yükselten ve yükselttiği sinyali ters çeviren devredir.

Devrede toplanacak sinyaller (-) girişe uygulanmaktadır.

Toplanacak gerilim sayısı istenildiği kadar arttırılabilir. Yâni (-) girişe uygulanan sinyal sayısı 2 adet olabileceği gibi 10 adet de olabilir.



Şekil 10.11: Opamp'lı faz çeviren toplayıcı yükselteç

$$U_{çıkış} = -R_{gb} \cdot (U_{grş1}/R_1 + U_{grş2}/R_2 + \dots + U_{grşn}/R_n).$$

Eğer girişe bağlanan $R_1, R_2, R_3 \dots$ birbirine eşit olarak seçilirse denklem,

$$U_{çıkış} = -R_{gb}/R \cdot (U_{grş1} + U_{grş2} + \dots + U_{grşn}) \text{ şeklinde yazılabilir.}$$

Örnek 1: $U_{grş1} = +2 \text{ V}$, $U_{grş2} = +3 \text{ V}$, $R_{gb} = 10 \text{ K}$, $R_1 = 10 \text{ K}$, $R_2 = 10 \text{ K}$ $U_{çkş} = ?$

Çözüm: $U_{çıkış} = -R_{gb} \cdot (U_{grş1}/R_1 + U_{grş2}/R_2) = -10 \cdot (2/10 + 3/10) = -5 \text{ V}$.

d- Opamp'lı fark yükseltici devresi

Girişlere uygulanan sinyallerin farkını bulduktan sonra bu *farkı yükselten* devredir.

Fark yükselteçlerinde çıkışın hesaplanmasında kullanılan denklem:

$$U_{çkş} = -R_{gb}/R_1 \cdot (U_{grş2} - U_{grş1}).$$

Örnek: $U_{grş1} = 1 \text{ V}$, $U_{grş2} = 2 \text{ V}$, $R_{gb} = 10 \text{ K}$, $R_1 = 5 \text{ K}$ $U_{çkş} = ?$

Çözüm: $U_{çkş} = -R_{gb}/R_1 \cdot (U_{grş2} - U_{grş1}) = -10/5 \cdot (2 - 1) = -2 \text{ V}$.

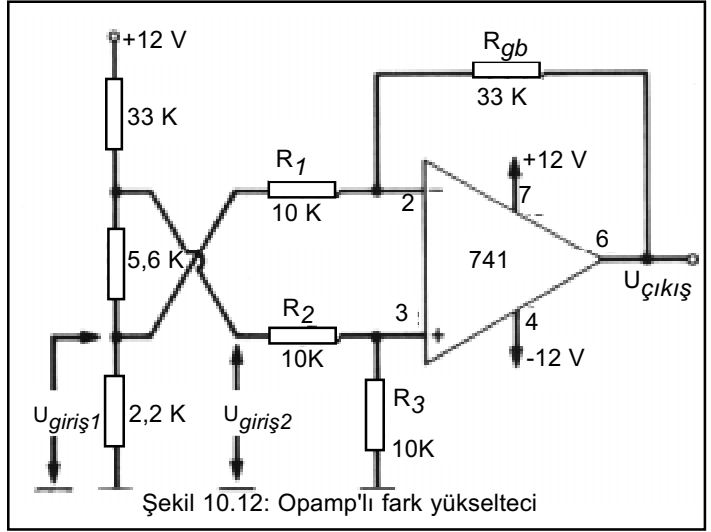
e- Opamp'lı komparatör

(karşılaştırıcı) devresi

Girişlerine uygulanan gerilimlerin farkını alarak yükseltme yapan devredir.

Bu tip bağlantıda geri besleme direnci yoktur.

Karşılaştırıcı olarak kullanılan opamp'lı devre simetrik çıkışlı güç kaynağıyla beslendiğinde:

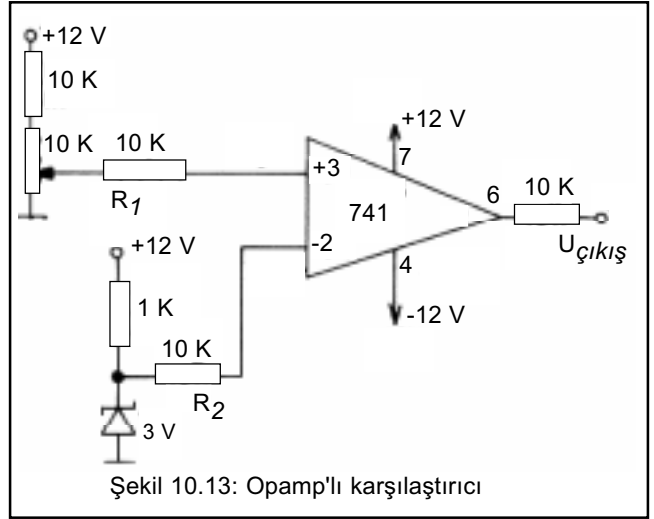


Şekil 10.12: Opamp'lı fark yükseltici

I- (+) girişe uygulanan gerilim (-) girişe uygulanan gerilime eşit ise, çıkış gerilimi 0 Volt olur.

II- (+) girişe uygulanan gerilim (-) girişe uygulanan gerilimden büyük ise, çıkış gerilimi pozitif yönde maksimum değerde olur.

III- (+) girişe uygulanan gerilim (-) girişe uygulanan gerilimden küçük ise, çıkış gerilimi negatif yönde maksimum değerde olur.



Şekil 10.13: Opamp'lı karşılaştırıcı

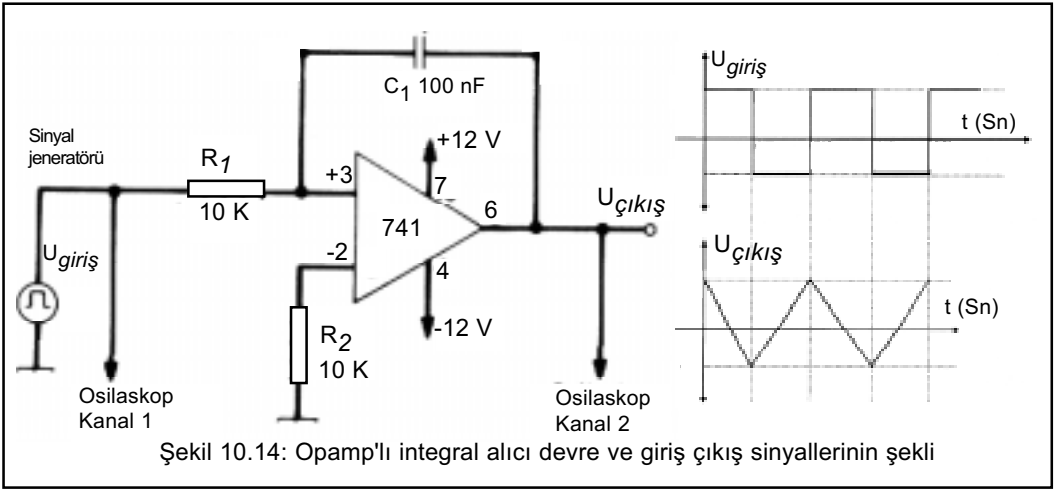
Not: Opamp'ların karşılaştırıcı özelliğinden yararlanılarak sıcaklık, ışık, ses, dokunma ile ilgili devreler çok kolayca yapılabilmektedir.

f- Opamp'lı integral alıcı devre (zaman gecikmeli devre)

Girişine uygulanan **kare şeklindeki** sinyali üçgen dalgaya çeviren devredir.

$$U_{çkş} = -[1/(R_I.C_I)].U_{grş}.t \quad (t: \text{Saniye})$$

Denklem, $U_{çkş} = -(1/t).U_{grş}.t$ şeklinde de yazılabilir.
($t = R.C$ olup zaman sabitesidir.)



Örnek: $R_1 = 10 \text{ K}$, $C_1 = 100 \text{ nF}$ ile yapılan integral alıcı devrede giriş gerilimi $0,2 \text{ V}$ ise, 10 mSn sonra çıkış gerilimi ne olur? Hesaplayınız.

Çözüm: $t = R_1 \cdot C_1 = 10 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^{-9} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Sn}$

$U_{çıkış} = -(1/t) \cdot U_{griş} \cdot t = -(1/1 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,2 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = -2 \text{ V}$.

g. Opamp'lı türev (differentiator) devresi

Girişine uygulanan üçgen dalgayı kare dalgaya çeviren devredir.

$U_{çıkış} = -R_{gb} \cdot C_I \cdot (U_{griş}/t)$.

Örnek: $R_{gb} = 10 \text{ K}$, $C_I = 100 \text{ nF}$, $U_{griş} = 4 \text{ V}$ iken 8 mSn sonra çıkış gerilimi kaç volt olur? Hesaplayınız.

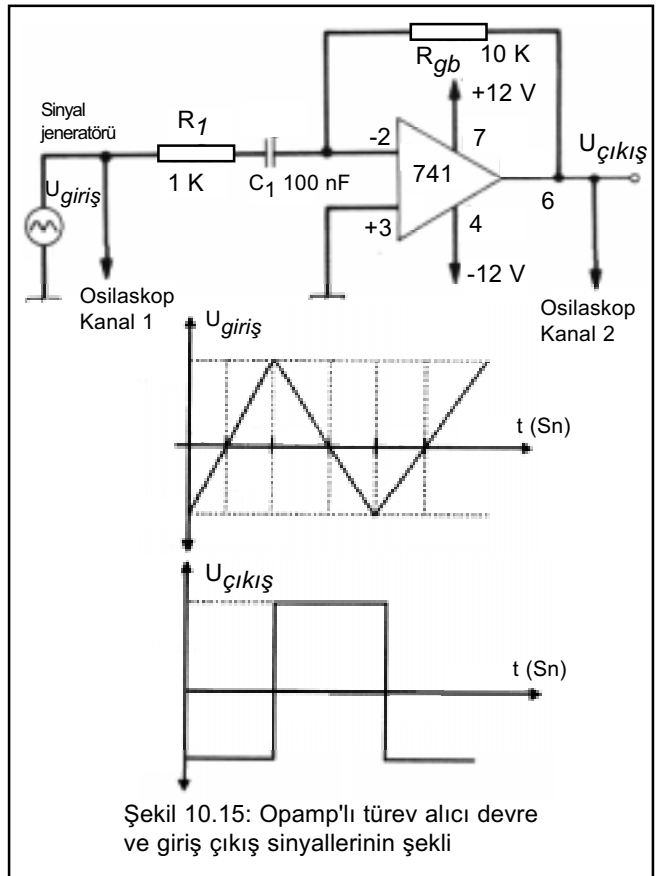
Çözüm

$U_{çıkış} = -R_{gb} \cdot C_I \cdot (U_{griş}/t)$
 $-10 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^{-9} \cdot (4/8 \cdot 10^{-3})$
 $= -0,5 \text{ V}$.

Not: Opamp'lı devrelerin türev alabilmesi için iki koşulun yerine getirilmesi gerekir.

1) Giriş sinyal frekansı,

$f_{griş} \ll 1/2 \cdot \pi \cdot R_{griş} \cdot C_{griş} = f_{çıkış}$ değerine uygun olmalıdır.



Bu şartı sağlamayan giriş sinyalleri için devre türev alıcı olarak çalışmaz.

2) Devrede $R_{gb} \cdot C_{grş}$ "zaman sabitesi"dir. Giriş sinyallerinin periyodu bu değere yakın olmalıdır.

Örnek: $C_{grş} = 0,1 \cdot 10^{-6}$ F (0,1 mF), $R_{gb} = 10.000$ w olduğuna göre devrenin zaman sabitesini ve türev alıcı olarak çalışabilmesi için giriş sinyalinin frekansını bulunuz.

Çözüm: $\tau = C_{grş} \cdot R_{gb} = 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 10.000 = 1$ mSn.

Devrenin türev alıcı olarak çalışabilmesi için giriş sinyalinin frekansı:

$f_{grş} = 1/\tau = 1/0,001 = 1000$ Hz = 1 kHz olmalıdır.

Not: Devre bu $C_{grş}$ ve R_{gb} değerleriyle 1 kHz'nin altındaki frekanslarda da çalışabilir.

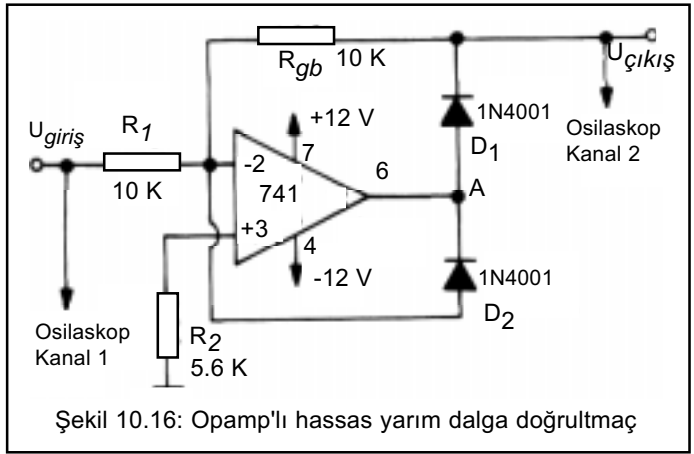
ğ- Opamp'lı hassas yarım dalga doğrultmaç devresi

Diyotlarla yapılan doğrultmaç devreleri ile mV düzeyinde DC çıkış veren devreler yapılamamaktadır. Çünkü 1N4001 olarak bilinen silisyumdan yapılmış diyotun ilettime geçebilmesi için en az 0,6 Volt'a (600 mV) gerek vardır. Buna göre, 1N4001 ile yapılan doğrultmacın 600 mV'ın altında DC gerilim vermesi imkânsızdır.

İşte bu sebeple opamp'lar kullanılarak DC üreteçleri geliştirilmiştir. Şekil 10.16'da verilen devre yarım dalga opamp'lı doğrultmacıya örnektir.

Giriş sinyalinin pozitif alternansında, $U_{grş}$ gerilimi opamp'ın "+" giriş ucundaki gerilimden büyük olduğundan, çıkışta negatif yönlü bir gerilim görülür. A noktasındaki negatif yönlü gerilim D_1 diyotundan geçemez. D_2 diyotundan geçen bu gerilim negatif bir geri beslemeye neden olur ve giriş sinyali $U_{çkş}$ ucuna ulaşamaz.

Negatif giriş alternansında ise opamp'ın "+" ucunun gerilimi giriş sinyalinden büyük olacağından A noktasında pozitif yönlü bir sinyal görülür. Pozitif yönlü sinyal D_1 diyotunu ilettime sokar. Çıkıştan DC akım alınır.



Şekil 10.16: Opamp'lı hassas yarım dalga doğrultmaç

h- Opamp'lı tam dalga doğrultmaç devresi

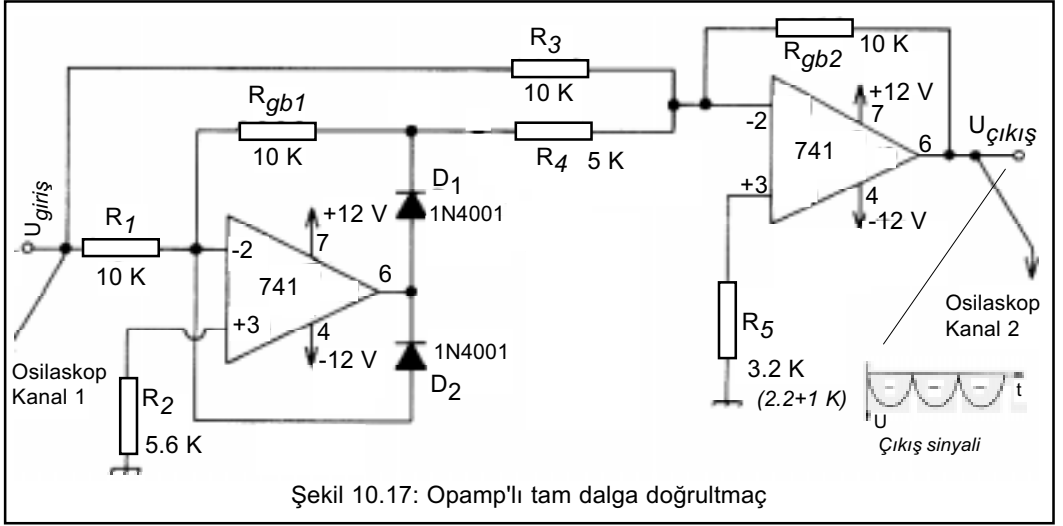
Bu devre, "opamp'lı yarım dalga doğrultmaç devresi"yle "opamp'lı eviren toplayıcı yükselteç" devresinin birleşiminden oluşmuştur.

Giriş sinyali pozitif yönlü olduğunda birinci opamp'ın çıkışı sıfır volt olur. İkinci opamp'ın girişine R_3 üzerinden gelen gelen pozitif sinyal yükselttilip ters çevrilerek negatif yönlü olarak çıkışa aktarılır.

Giriş sinyali negatif yönlü olduğunda birinci opamp'ın çıkışı pozitif maksimum olur. Birinci opamp'ın çıkışından gelen pozitif yönlü sinyal ile R_3 direnci üzerinden gelen negatif

sinyal ikinci opamp tarafından toplanır. Dikkat edilirse ikinci opamp'ın girişine pozitif ve negatif polariteli iki sinyal gelmektedir.

Birinci opamp'ın çıkışından gelen pozitif sinyal R_3 direnci üzerinden gelen negatif yönlü sinyalden büyüktür. (Çünkü R_3 direnci R_4 'den büyük seçilmiştir.) Dolayısıyla toplayıcı olarak çalışan ikinci opamp'ın girişine pozitifliği fazla olan bir sinyal uygulanmış olacaktır. İşte bu sayede opamp'ın çıkışından yine negatif yönlü bir sinyal alınır.



I- Opamp'lı "aktif" bas-tiz filtreleri

Sadece direnç, kondansatör ve bobin kullanılarak yapılan filtrelere pasif filtre denir. Bu tip devreler basit yapıdır ancak, kendilerine uygulanan sinyalleri bir miktar zayıflatırlar. Bu olumsuz bir durumdur. (Pasif filtreler Temel Elektronik Bilgisi kitabında açıklanmıştır.)

Opamp'lar kullanılarak yapılan aktif filtreler de ise giriş sinyallerinde zayıflama değil yükselme olmaktadır.

Opamp'lar kullanılarak yapılan aktif filtrelerin (süzgeç) iyi yönleri

- I- Sinyal zayıflaması yoktur. II- Devrede bobin kullanmaya gerek yoktur.
- III- Giriş empedansı çok yüksek, çıkış empedansı alçak olduğundan girişe ve çıkışa bağlı olan devrelerde bozulma olmaz.

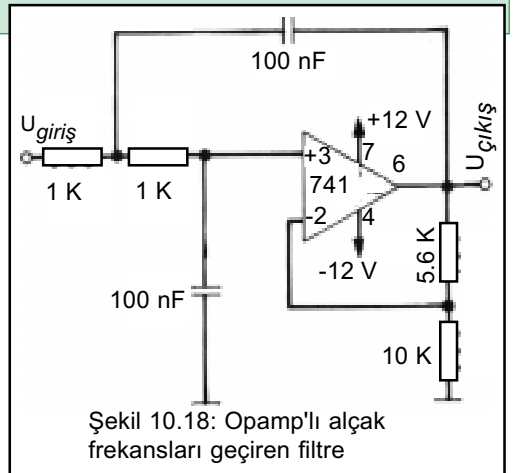
Opamp'lar kullanılarak yapılan aktif filtrelerin (süzgeç) olumsuz yönleri

I- Pasif süzgeçler DC besleme kaynağına gerek duymaz. Aktif süzgeçlerde ise DC besleme kaynağına ihtiyaç vardır.

I- Opamp'lı alçak (düşük)

frekansları geçiren aktif filtre devresi

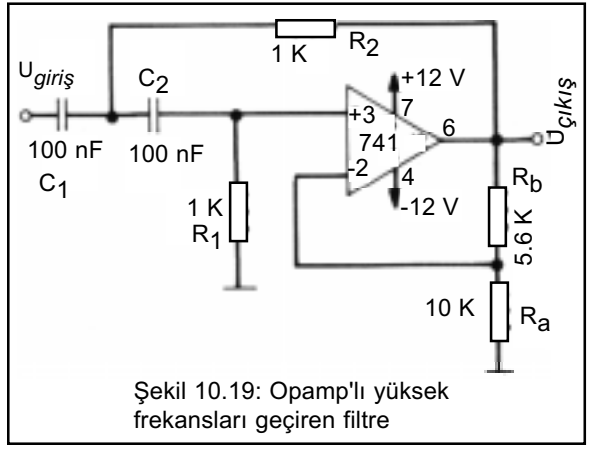
Şekil 10.18'de verilen devrede girişe uygulanan sinyalin yüksek frekanslarında C_1 'in direnci, $X_C=1/2.p.f.C$ denkleminde göre çok azalacağından, yüksek frekanslar opamp'a



gidemeden şaseye akar. Alçak frekanslar ise yükseltilir.

II- Opamp'lı yüksek frekansları geçiren aktif filtre devresi

Girişine uygulanan alçak frekanslı sinyalleri bastırıp sadece yüksek frekanslı sinyalleri çıkışa aktarır. Şöyleki: Alçak frekanslarda kondansatörlerin direnci (X_C) çok yüksektir. Bu nedenle alçak frekanslı sinyaller opamp'a ulaşamaz. Sadece yüksek frekanslı sinyaller opamp'a gider ve opamp bu sinyalleri yükseltir.



Şekil 10.19: Opamp'lı yüksek frekansları geçiren filtre

i- Opamp'lı gerilim regülatörü

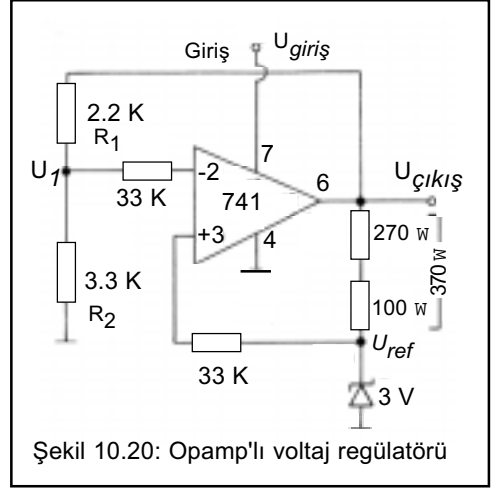
Şekil 10.20'de verilen devrede giriş gerilimi 0 Volt'tan itibaren arttırılırsa çıkışta oluşan gerilim de artmaya başlar.

Çıkış gerilimi 3 Volt'un altındayken zener diyot yalıtımdadır. Çıkışta oluşan gerilimin değeri 3 Volt'u geçince zener diyot iletme geçerek üzerinde hep 3 Volt'luk gerilim düşümü oluşturur.

İşte bu 3 Volt'luk zener diyot gerilimi opamp'ın girişi için referans gerilimi (U_{ref}) görevini yapar.

Opamp'ın çıkış gerilimi, U_1 3 Volt olunca kadar yükselir. Yükseliş, U_1 'in gerilimi 3 Volt olunca durur. Çünkü, opamp çıkışının daha fazla yükselerek U_1 geriliminin +3 Volt'un üzerine çıkması durumunda eksi girişin gerilimi artı girişin geriliminden daha pozitif olacağından kıyaslayıcı olarak çalışan opamp'ın çıkışı hemen düşüşe geçer.

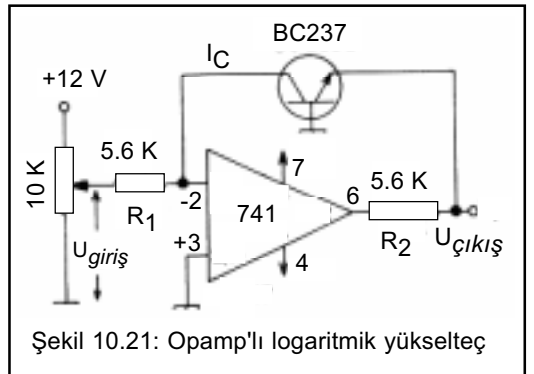
U_1 gerilimi 3 Volt'un altına düşecek olursa kıyaslayıcı olarak çalışan opamp yine çalışmaya başlar ve çıkışı hemen 3 Volt seviyesine doğru yükseltir.



Şekil 10.20: Opamp'lı voltaj regülatörü

j- Opamp'lı logaritmik yükselteç devresi

Şekil 10.21'de verilen devreye dikkat edilirse eviren yükseltece benzediği görülür. Tek fark, geri besleme direnci yerine NPN transistörün bağlanmış olmasıdır. Bu bağlama sayesinde T_1 transistörünün B-E birleşimindeki **gerilimden** yararlanılarak logaritma işlemi yapılmaktadır. B-E birleşimindeki gerilimin denklemi:



Şekil 10.21: Opamp'lı logaritmik yükselteç

$U_{BE} = (60 \text{ mV}) \cdot \log(I_C/I_{ckş})$ şeklinde yazılabilir. Denklemden $I_C = U_{giriş}/R_1$ 'dir. $I_{ckş}$ sabit olup oda sıcaklığında 10^{-13} Amper dolayındadır.

Denklemden de anlaşılacağı gibi I_C akımındaki ve $U_{giriş}$ gerilimindeki doğrusal değişimler çıkışta logaritmik artışlara yol açmaktadır.

Örnek: $R_1 = R_2 = 5,6 \text{ K}$, $U_{giriş} = 0,056 \text{ V}$ olduğunda **a)** $U_{çıkış}$ gerilimini bulunuz. **b)** $U_{giriş}$ 10 kat artırılarak $0,56 \text{ V}$, 100 kat artırılarak $5,6 \text{ V}$ yapılırsa $U_{çıkış}$ ne olur? Bulunuz.

Çözüm: **a)** $U_{ckş} = U_{BE} = (60 \text{ mV}) \cdot \log(I_C/10^{-13})$ $I_C = U_{grş}/R_1 = 0,056/5,6 = 0,01 \text{ mA} = 10^{-5} \text{ A}$.

$U_{ckş} = (60 \text{ mV}) \cdot \log(10^{-5}/10^{-13}) = (60 \text{ mV}) \cdot \log 10^8$ ($\log 10^8 = 8$ olduğundan $U_{ckş} = 480 \text{ mV}$ olur.)

b) $U_{grş} = 0,56 \text{ V}$ yapıldığında $I_C = 10^{-4} \text{ A}$ olur. $U_{ckş}$ (U_{BE}) 540 mV olur. Giriş $5,6 \text{ Volt}$ olduğunda ise $I_C = 10^{-3} \text{ A}$ olacağından $U_{ckş} = 600 \text{ mV}$ 'a yükselir.

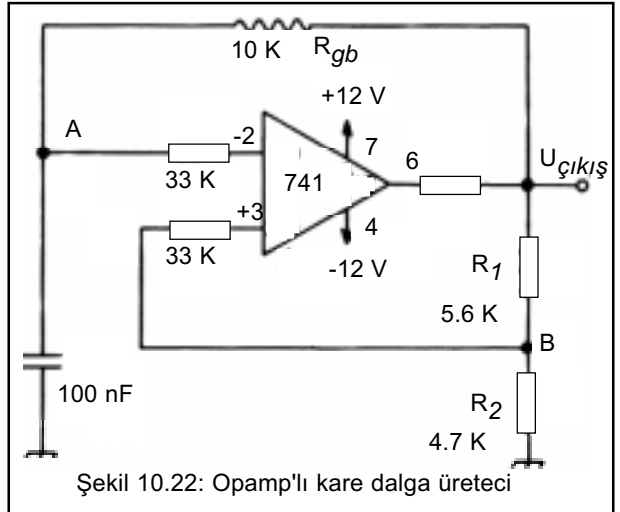
k- Opamp'lı kare dalga üretici (astable multivibratör)

Şekil 10.22'de verilen devrede opamp kıyaslayıcı olarak çalışmaktadır. İlk anda artı girişteki gerilimin daha pozitif olduğunu varsayalım. Bu durumda $U_{çıkış}$ gerilimi pozitif maksimum değerdedir.

Devrede B noktasının gerilimi:

$U_B = U_{çıkış}/(R_1 + R_2) \cdot R_2$ kadardır.

Bu esnada C kondansatörü R_{gb} direnci üzerinden dolmaktadır. Kondansatörün A noktasındaki gerilim B noktasının gerilimine eşit olduğunda $U_{çıkış}$ gerilimi eksi yönlü olur.

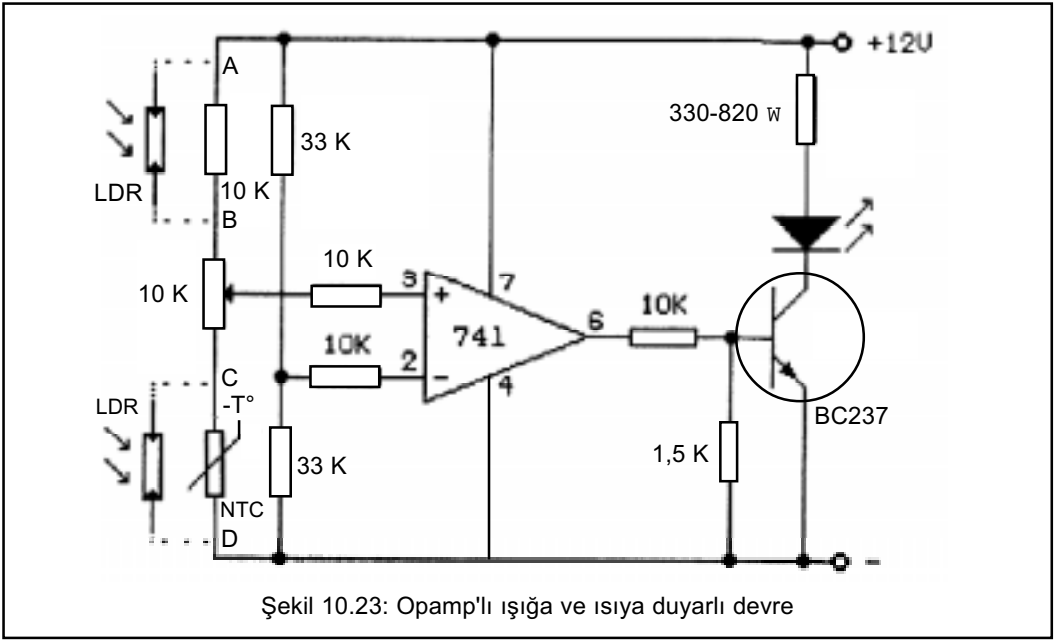


Şekil 10.22: Opamp'lı kare dalga üretici

Çıkışın eksi yönlü olması A noktasında ve kondansatör üzerinde bulunan gerilimi de eksi polariteli yapar. ($U_{çıkış}$ gerilimi R_{gb} üzerinden girişe geri besleme yapmaktadır.)

Kondansatöre bir öncekinin tersi polaritede bir gerilimin gelmesi bu elemanı deşarj etmeye başlar. Kondansatör belli bir sürede deşarj olduktan sonra bu sefer bir öncekinin tersi polaritede tekrar şarj olmaya başlar. Kondansatörün gerilimi A noktasındaki gerilime eşit olduğu anda opamp çıkışı tekrar konum değiştirir. Devre yukarıda açıklandığı şekilde çalışmasını sürdürür.

Verilen devrede çıkışa led, röle, lamba gibi alıcılar bağlanarak periyodik çalışan sistemler oluşturulabilir.



C- Opamp'larla yapılan sensörlü komparatör (karşılaştırıcı) devreleri

a- Opamp'lı "ışığa" ve "ısıya" duyarlı devre

Şekil 10.22'de verilen opamp'lı devre ile bir çok tasarım yapılabilir.

I- A-B arasına direnç, C-D arasına NTC bağlanırsa: Ortam sıcaklığı artınca NTC'nin direnci azalır ve üzerinde düşen gerilim küçülür. Opamp 2 ve 3 numaralı girişlerindeki gerilimleri kıyaslar. 3 numaralı giriş gerilimi 2'de bulunan gerilimden büyük olduğu anda 6 nolu ayak çıkış akımını transistöre verir. Transistör iletime geçerek alıcıyı çalıştırır.

Ortam sıcaklığı azalınca NTC'nin direnci artar ve bu elemanın üzerinde düşen gerilim büyür. Opamp'ın 2 numaralı ayağına gelen gerilim 3 numaralı ayaktaki gerilimden büyük olduğu anda çıkış akımı sıfır olur ve transistör kesime gider.

II- A-B arasına direnç, C-D arasına LDR bağlanırsa: Ortam aydınlığı artınca LDR'nin direnci azalır ve üzerinde düşen gerilim küçülür. Opamp 2 ve 3 numaralı girişlerindeki gerilimleri kıyaslar. 3 numaralı giriş gerilimi 2'de bulunan gerilimden büyük olduğu anda 6 nolu ayak çıkış akımını transistöre verir. Transistör iletime geçerek alıcıyı çalıştırır.

Ortam aydınlığı azalınca LDR'nin direnci artar ve bu elemanın üzerinde düşen gerilim büyür. Opamp'ın 2 numaralı ayağına gelen gerilim 3 numaralı ayaktaki gerilimden büyük olduğu anda çıkış akımı sıfır olur ve transistör kesime gider. Devrede LDR ile direnç yer değiştirirse alıcı karanlıkta çalışır.

Not: C-D arasına kondansatör A-B arasına direnç bağlanırsa turn-on tipi (gecikmeli çalışan) zaman rölesi devresi elde edilir.

Sorular

- 1- Opamp nedir? Tanımlayınız..
- 2- Opamp'ların kıyaslama özelliğinin çalışmasını anlatınız.
- 3- Opamp'lı eviren yükselteç devresini çiziniz. Devrenin kazanç denklemini yazınız.
- 4- Opamp'larda off-set ayarının yapılışını şekil çizerek anlatınız.

