

Bölüm 2: İşlemsel Yükselteçler (Op-ampları)

A. Op-ampları yapısı

Yüksek kazançlı *lineer* (doğrusal) entegrelere op-amp denir.

Op-ampları, plâstik ya da metal gövdeli olarak üretilir. Bu elemanların gövdelerinin içinde bulunan yükselteç sayısı bir ya da birden fazla olabilmektedir. Örneğin, 741 adlı op-ampta 1 adet, 747 adlı op-ampta 2 adet, LM324 adlı op-ampta 4 adet işlemsel yükselteç vardır.

Op-ampları artı (+) ve eksi (-) olmak üzere iki girişi ve bir çıkış ucu bulunur. Bu elemanlarda NC ile gösterilen uçlar boştaadır. (Hiç bir yere bağlı değildir.)

Op-ampları konusunu iyice öğrenen elektronikçi bir çok devrenin tasarımını en az malzeme kullanarak yapabilir.

Op-ampları kazanç (A_k, A_v)

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

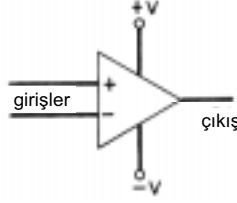
Şöyle ki; op-ampları kazanç 100.000, giriş uçlarına uygulanan gerilimlerin farkı 1 mV ise çıkışta 100.000 mV görülür. (Geri besleme direnci bağlı değildir.)

Devre anlatımlarında,

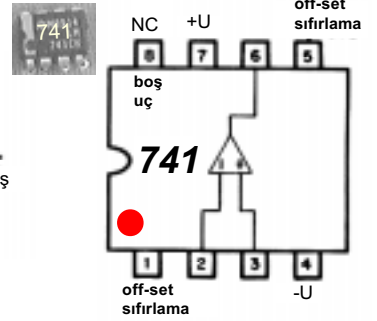
Op-ampları (+) giriş ucuna çevirmeyen (evirmeyen) giriş,

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

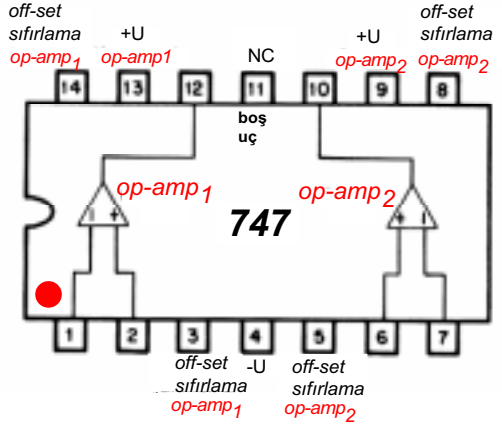
Op-ampları çıkış ucu bir adettir. Yük, çıkış ucu ile devrenin şase ucu arasında bağlanır. Alıcıda düşen çıkış geriliminin seviyesi op-amp besleme geriliminden 1-2 V daha düşüktür. 1-2 V luk gerilim, op-ampları iç elemanları üzerinde düşmektedir. Alıcıya giden akım ise 10-100 mA dolayındadır. Alıcı akımının yüksek seviyelere çıkmaması için genelde 10 kΩ luk direnç çıkışa seri olarak bağlanır.



Şekil 2.1: Op-amp sembolü



Şekil 2.2: 741 op-ampları yapısı



Şekil 2.3: 747 op-ampları iç yapısı

Op-amplların DC ile beslenmesi

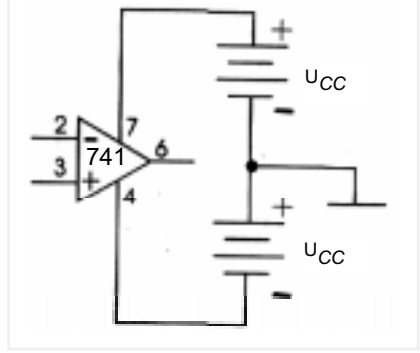
Bu elemanların beslenmesi pozitif çıkışlı ya da simetrik (+, 0, -) çıkışlı DC üreteçleriyle yapılır. Uygulamada en çok simetrik kaynaklı besleme yöntemi kullanılır.

Simetrik güç kaynağı basit olarak birbirine seri bağlı iki pil ile elde edilebilir. Şöyle ki; pillerin üst ve alt ucu (+) ve (-)'yi oluşturken, birleşim noktaları ise şase görevi yapar.

Op-amplların beslenmesinde en çok ± 5 V, ± 9 V, ± 12 V, ± 15 V ve ± 18 V luk simetrik DC üreteçleri kullanılır. Şekil 2.4'e bakınız.

Uygulamada yaygın olarak kullanılan 741 adlı op-ampın bazı özellikleri şunlardır:

- 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 ($I_{\text{çıkış}}$) 10-100 mA dolayındadır.
- VI. Giriş uçlarına 0 V uygulandığında çıkış uçlarında da 0 V oluşmaktadır.
- VII. Karakteristikleri sıcaklıkla çok az değişmektedir.
- VIII. Giriş uçlarının çektiği akım sıfıra yakındır.



Şekil 2.4: Op-ampın simetrik çıkışlı güç kaynağıyla beslenişi

Geri besleme direnci kullanılmaması durumunda op-amp kazancı

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

Örneğin, (+) girişe $U_{\text{giriş1}} = 4$ mikrovolt, (-) girişe $U_{\text{giriş2}} = 1$ mikrovolt uyguladığımızı varsayalım. Op-amp bu iki gerilimi kıyaslar. Aralarında ne kadarlık fark olduğunu belirler. Daha sonra bunu 45.000 - 200.000 kez büyütür.

Bizim kullandığımız op-ampın kazancının 100.000 olduğunu kabul edelim. Buna göre yükseltecin çıkışında,

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

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 sebebinin şöyle izah edebiliriz: (+) girişe 5 V, (-) girişe 2 V luk sinyal uyguladığımızı varsayalım. Geri besleme direnci kullanmadığımız zaman op-amp iki sinyalin farkını belirler (bu 3 V tur). ve 3 V u 200.000 kez güçlendirmek ister. Yükseltme hesabına göre çıkışın $3 \cdot 200.000 = 600.000$ volt olması imkânsızdır. Çünkü yükseltecin besleme gerilimi en fazla 36 V olabilmektedir. O halde bu örnekte verilen devrede girişe uygulanan gerilimler en çok 34 V seviyesine çıkarılabilir. Bu ise çıkış sinyalinde distorsiyon olması sonucunu doğurur

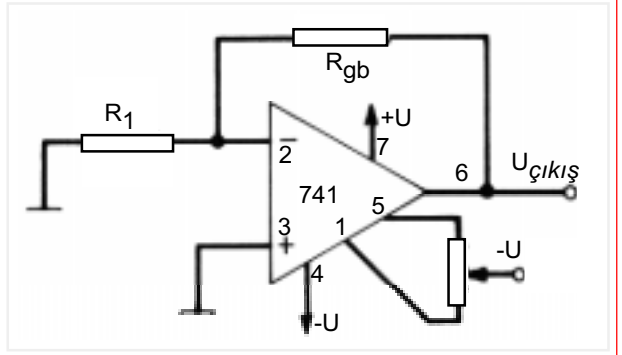
O nedenle, op-amplların kazancı teorik bir değerdir. Uygulamada daha *düşük kazançlı* olarak çalıştırılan yükselteçler kullanılmaktadır.

Op-amplarda off-set gerilimi

Op-ampllar ne kadar kaliteli yapırlarsa yapılsın, giriş uçları boşa olduğu hâlde bile

çıkışlarında belli bir gerilim oluşur. Yüksek kaliteli ölçme, kontrol ve kuvvetlendirme devrelerinde bu durum istenmeyen sonuçlar yaratabilir. İşte bu sakıncayı gidermek için off-set (sıfırlama) ayarı yapılır.

Şekil 2.5'te verilen devrede görüldüğü gibi yükseltecin 1 ve 5 numaralı ayakları arasında ayarlı bir direnç bağlanır. Daha sonra bu direncin orta ucuna üreticinin eksi (-) ucundan besleme yapılır. Ayarlı direncin mili çevrilerek çıkışın 0 V olması sağlanır.



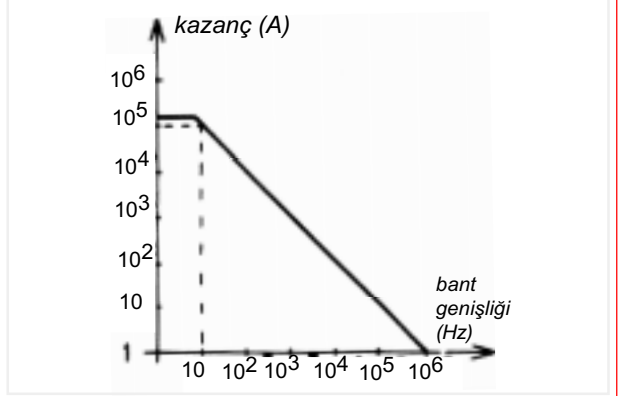
Şekil 2.5: Op-amp'ın off-set ayarının yapılışı

Op-ampların bant genişliği

Alçak frekanslı sinyallerde op-amp'ın kazancı en yüksek düzeyde (yaklaşık 45.000-200.000) iken, giriş sinyalinin frekansı yükseldikçe kazanç düşmektedir.

Bu yaklaşıma göre frekans ile bant genişliğinin çarpımı daima eşittir. Yani,

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



Şekil 2.6: Op-amp'ın bant genişliği-kazanç karakteristiği

Bu açıklamalardan sonra op-amplar için maksimum kazancın giriş sinyalinin DC olması durumunda elde edilebileceği ifade edilebilir. Şekil 2.6'da op-ampların bant genişliği-frekans karakteristiği verilmiştir.

Op-ampların iç yapısındaki devre katları

İçinde 20'nin üzerinde transistör bulunduran op-ampların iç yapısını tamamen bilmek, pratik uygulamalarda pek bir fayda getirmez.

O nedenle bu elemanların iç devreleri kısaca açıklanacaktır.

Şekil 2.7'de görüldüğü gibi op-amp'ın içinde bulunan devreler üç kısımdır.

I. Fark yükselteci (difamp) katı

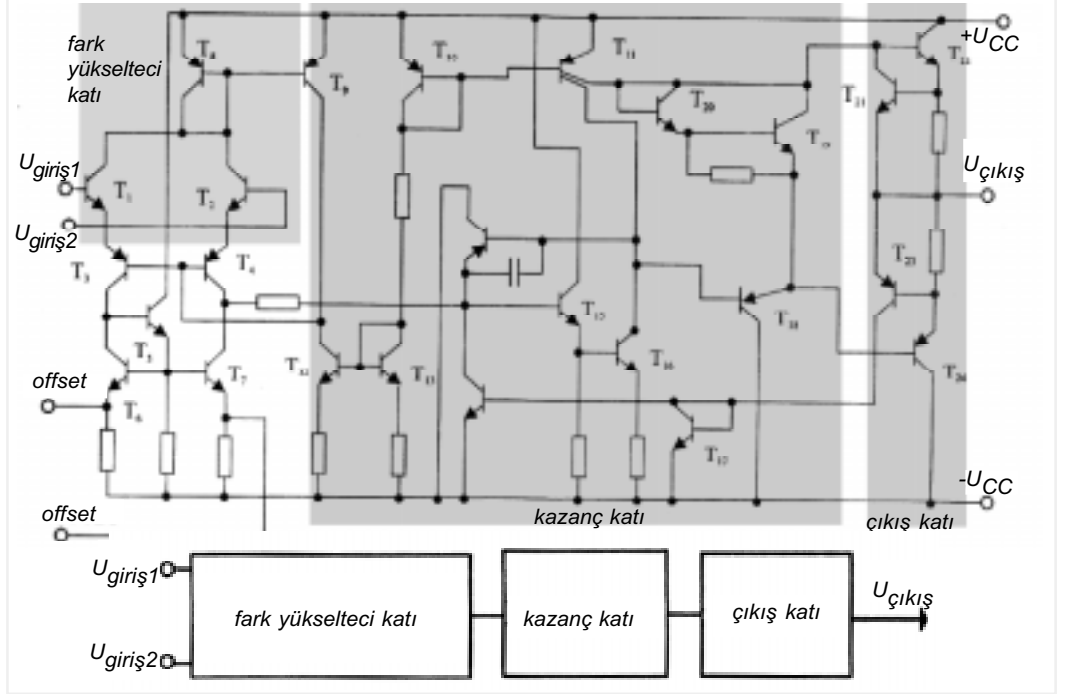
Giriş sinyallerinin uygulandığı kattır. (+) ve (-) şeklinde iki giriş söz konusudur.

II. Kazanç katı

Fark yükselteciden gelen sinyalleri yükselten kattır.

III. Çıkış katı

Yükü besleyebilmek için gerekli akım ve gerilimin alındığı kattır.



Şekil 2.7: Op-ampın iç yapısı

B. Op-ampli uygulama devreleri

1. Op-ampli 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 bant 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.

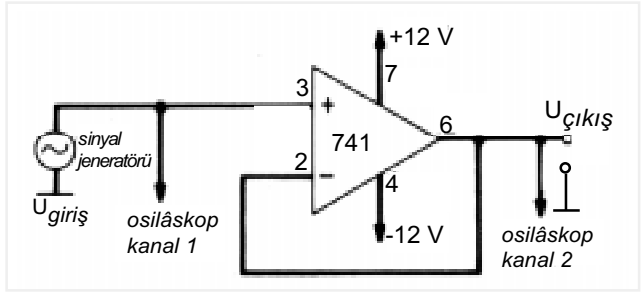
Yükselticinin çıkışından (-) girişine yapılan köprüleme (bağlantı) sayesinde devrenin çıkış gerilimi giriş gerilimine eşit düzeyde olabilmektedir.

Devrenin kazancı ise hâliyle, $A_V = U_{\text{çıkış}}/U_{\text{giriş}}$ denkleminde göre 1 olacaktır.

Günümüzde sadece gerilim izleyici olarak kullanılmak üzere yapılmış op-ampliler de mevcuttur. Örneğin LM110 kodlu op-ampın çıkışı ile eksi girişi arasındaki bağlantı entegrenin içinden yapılmıştır.

LM110'un bazı özellikleri şunlardır: **I.** Giriş direnci (empedansı): 10^6 MW, **II.** Giriş akımı: 1 nA, **III.** Çıkış empedansı: 0,75 W, **IV.** Bant genişliği: 10 MHz, **V.** Kazancı: 0,9997

Not: Dıştan bağlantı yapılarak gerilim izleyici olarak çalışan op-ampli devrelerin karakteristik özellikleri de LM110'a benzer.



Şekil 2.8: Op-ampli gerilim izleyici

2. Op-ampli 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 2.9'a bakınız.

Eviren yükselteçlerde kazanç:

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

$$U_{\text{çıkış}} = -A_V \cdot U_{\text{griş}}$$

Denklemden kullanılan (-), sinyallerin ters çevrildiğini vurgulamak içindir.

Örnek

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

$$R_1 = 10 \text{ k}$$

$$R_{gb} = 100 \text{ k}$$

$$U_{\text{çıkış}} = ?$$

Çözüm

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

$$U_{\text{çıkış}} = -A_V \cdot U_{\text{griş}} = 10 \cdot 0,5 = \pm 5 \text{ V}$$

3. Op-ampli 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 $100 \text{ M}\Omega$) Bu nedenle girişe bağlanan sinyal kaynağından (sinyal jeneratörü, mikrofon vb.) çok çok az akım çekilir.

Evirmeyen yükselteçlerde kazanç $A_V = 1 + \left(\frac{R_{gb}}{R_1}\right)$ denkleminde bulunur.

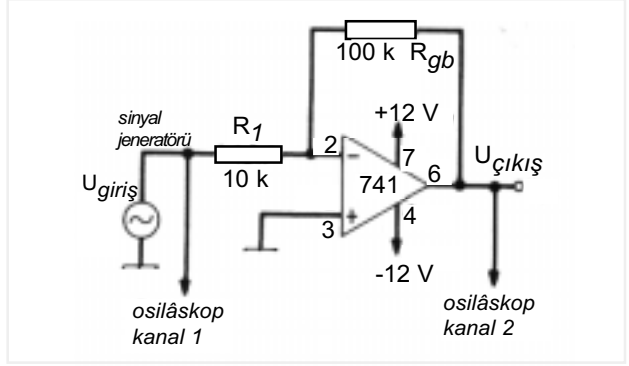
Bu denklemin nasıl ortaya çıktığı uzun açıklamalar ve hesaplamalar gerektirdiğinden burada açıklanmamıştır.

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

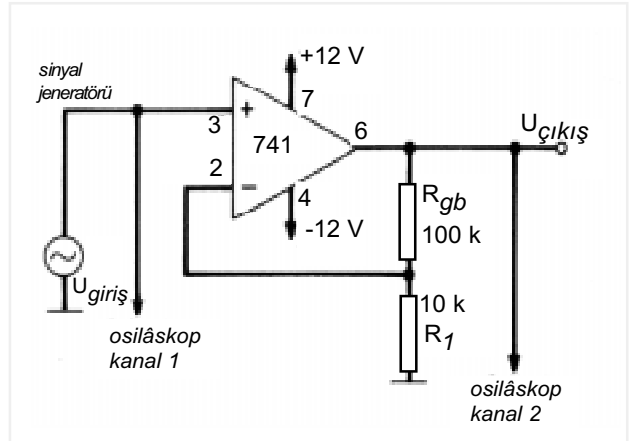
Örnek: $R_1 = 1 \text{ k}$, $R_{gb} = 10 \text{ k}$, $U_{\text{griş}} = 2 \text{ V}$ a. $U_{\text{çıkış}} = ?$ b. A_V (kazanç) = ?

Çözüm: a. $U_{\text{çıkış}} = U_{\text{griş}} \cdot \left[1 + \left(\frac{R_{gb}}{R_1}\right)\right] = 2 \cdot \left[1 + \left(\frac{10}{1}\right)\right] = 22 \text{ V}$

b. $A_V = 1 + \left(\frac{R_{gb}}{R_1}\right) = 1 + \left(\frac{10}{1}\right) = 11$. Ya da, $A_V = U_{\text{çıkış}} / U_{\text{griş}} = 22 / 2 = 11$



Şekil 2.9: Op-ampli faz çeviren yükselteç



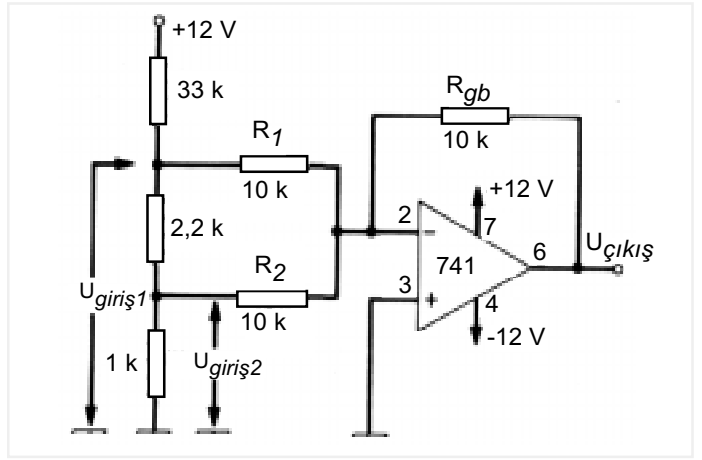
Şekil 2.10: Op-ampli faz çevirmeyen yükselteç

4. Op-ampli faz çeviren toplayıcı yükselteç devresi

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

Devrede toplanacak sinyaller (-) girişe uygulanmaktadır.

Toplanacak **gerilim** sayısı istenildiği kadar artırılabilir. Yani (-) girişe uygulanan sinyal sayısı 2 adet olabileceği gibi 10 adet de olabilir.



Şekil 2.11: Op-ampli faz çeviren toplayıcı yükselteç

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

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

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

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

5. Op-ampli diferansiyel (fark) yükselteç devresi

Girişlere uygulanan sinyallerin farkını bulduktan sonra bu farkı yükselten devredir.

Fark yükselteçlerinde çıkışın hesaplanmasında kullanılan denklem:

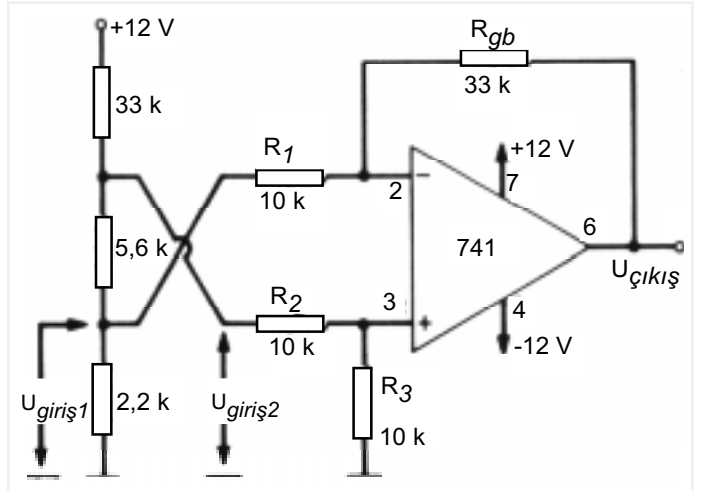
$$U_{\text{çkş}} = -\frac{R_{gb}}{R_1} \cdot (U_{grş2} - U_{grş1})$$

Örnek: $U_{grş1} = 1 \text{ V}$,

$U_{grş2} = 2 \text{ V}$,

$R_{gb} = 10 \text{ k}$,

$R_1 = 5 \text{ k}$, $U_{çkş} = ?$



Şekil 2.12: Op-ampli fark yükselteci

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

6. Op-ampli komparatör (karşılaştırmacı, kıyaslayıcı) devresi

Girişlerine uygulanan gerilimlerin farkını alarak yükseltme yapan devredir.

Bu tip bağlantıda geri besleme direnci yoktur.

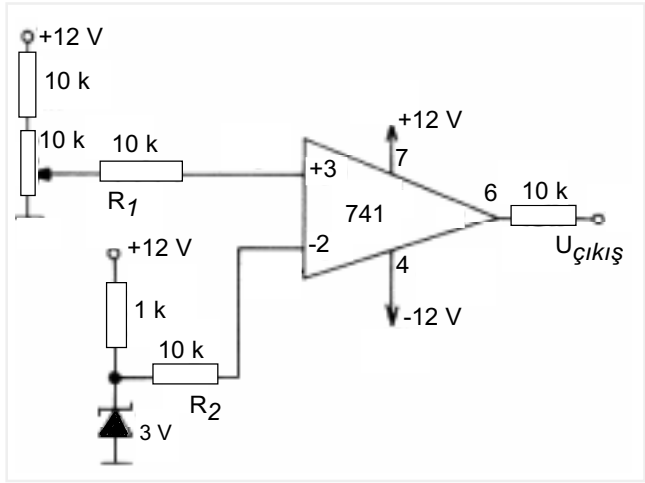
Karşılaştırmacı olarak kullanılan op-ampli devre simetrik çıkışlı güç kaynağıyla beslendiğinde,

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

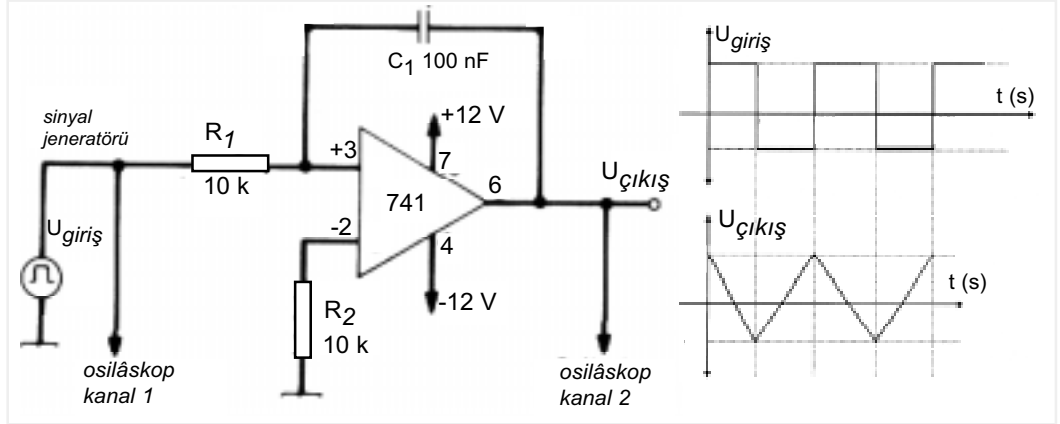
II. (+) girişe uygulanan gerilim (-) girişe uygulanan gerilimden büyük ise, çıkış gerilimi pozitif yönde maksimum değerde olur.

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

Not: Op-amplıların karşılaştırmacı özelliğinden yararlanılarak sıcaklık, ışık, ses, dokunma ile ilgili devreler çok kolayca yapılabilir.



Şekil 2.13: Op-ampli karşılaştırmacı



Şekil 2.14: Op-ampli integral alıcı devre ve giriş çıkış sinyallerinin şekli

7. Op-ampli integral alıcı devre (zaman gecikmeli devre)

Girişine uygulanan kare şeklindeki sinyali üçgen dalgaya çeviren devredir.

$$U_{\text{çıkış}} = -\left[\frac{1}{R_1 \cdot C_1}\right] \cdot U_{\text{grş}} \cdot t \quad (t: \text{Saniye})$$

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

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

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

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

8. Op-ampli türev (differentiator) devresi

Girişine uygulanan üçgen dalgayı kare dalgaya çeviren devredir.

$$U_{\text{çıkış}} = -R_{\text{gb}} \cdot C_1 \cdot (U_{\text{grş}}/t)$$

Örnek: $R_{\text{gb}} = 10 \text{ k}$, $C_1 = 100 \text{ nF}$, $U_{\text{grş}} = 4 \text{ V}$ iken 8 ms sonra çıkış gerilimi kaç volt olur? Hesaplayınız.

Çözüm: $U_{\text{çıkış}} = -R_{\text{gb}} \cdot C_1 \cdot (U_{\text{grş}}/t) = -10 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^{-9} \cdot (4/8 \cdot 10^{-3}) = -0,5 \text{ V}$

Not: Op-ampli devrelerin türev alabilmesi için iki koşulun yerine getirilmesi gerekir.

I. Giriş sinyal frekansı,
 $f_{\text{grş}} \ll 1/2 \cdot \pi \cdot R_{\text{grş}} \cdot C_{\text{grş}} = f_{\text{çıkış}}$
değerine uygun olmalıdır.

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

II. Devrede $R_{\text{gb}} \cdot C_{\text{grş}}$ zaman sabitesidir. Giriş sinyallerinin periyodu bu değere yakın olmalıdır.

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

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

Devrenin türev alıcı olarak çalışabilmesi için giriş sinyalinin frekansı:

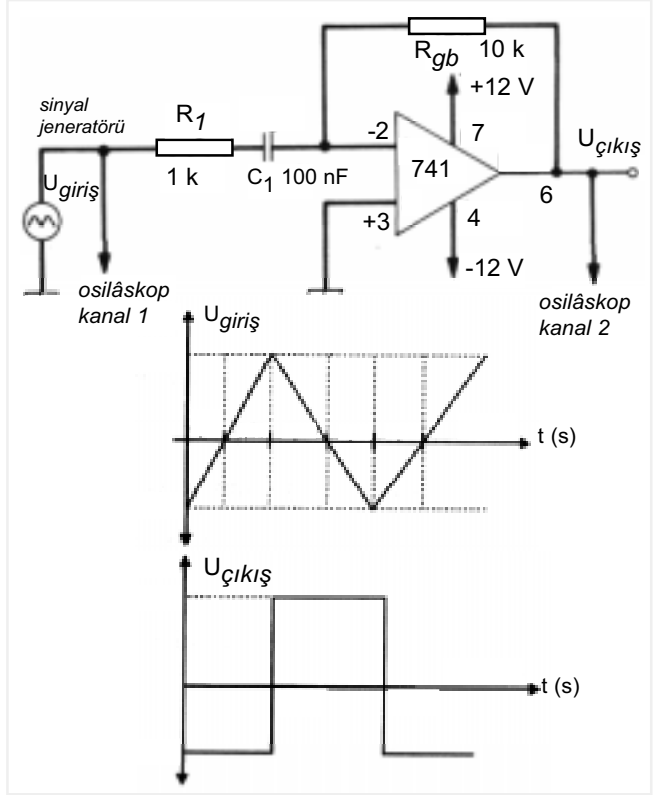
$$f_{\text{grş}} = 1/\tau = 1/0,001 = 1000 \text{ Hz} = 1 \text{ kHz olmalıdır.}$$

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

9. Op-ampli doğrultmaç devreleri

I. Op-ampli hassas yarım dalga doğrultmaç devresi

Diyotlarla yapılan doğrultmaç devreleri ile mV düzeyinde DC çıkış veren devreler yapılamamaktadır. Çünkü 1N4001 olarak bilinen silisyumdan yapılmış diyodun iletme geçebilmesi için en az $0,6 \text{ V}$ (600 mV) a gerek vardır. Buna göre, 1N4001 ile yapılan doğrultmacın 600 mV un altında DC gerilim vermesi imkânsızdır.

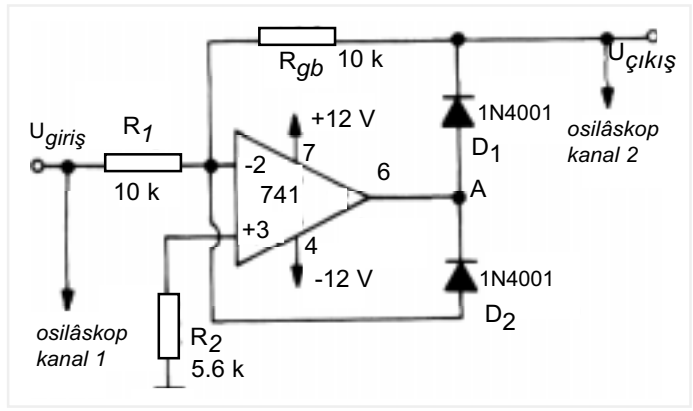


Şekil 2.15: Op-ampli türev alıcı devre ve giriş çıkış sinyallerinin şekli

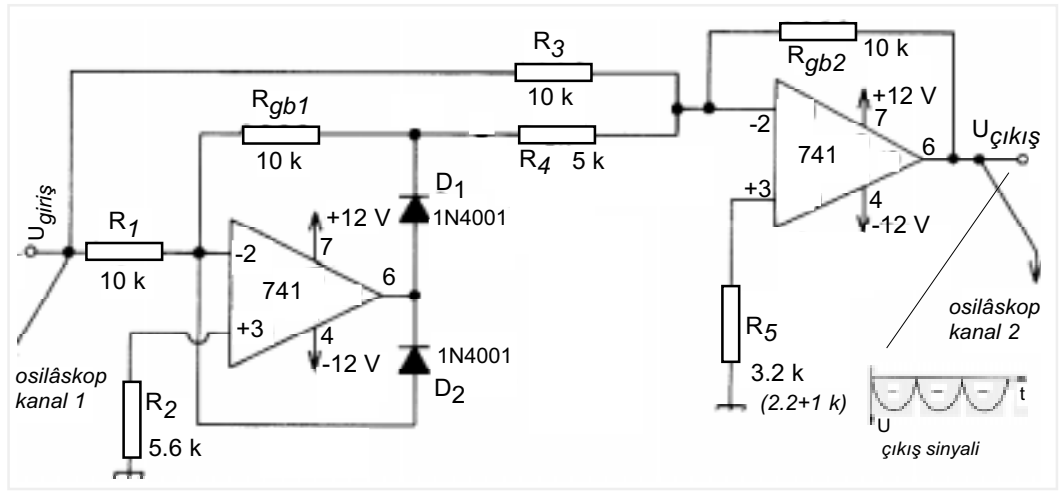
İşte bu nedenle op-amp'lar kullanılarak DC üreteçleri geliştirilmiştir. Şekil 2.16'da verilen devre op-amp'lı yarım dalga doğrultmacıdır.

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

Negatif giriş alternansında ise op-amp'ın (+) ucunun gerilimi giriş sinyalinden büyük olacağından A noktasında pozitif yönlü bir sinyal görülür. Pozitif yönlü sinyal D_1 diyodunu iletme sokar. Çıkıştan DC akım alınır.



Şekil 2.16: Op-amp'lı hassas yarım dalga doğrultmaç



Şekil 2.17: Op-amp'lı tam dalga doğrultmaç

II. Op-amp'lı tam dalga doğrultmaç devresi

Bu devre, op-amp'lı yarım dalga doğrultmaç devresiyle op-amp'lı eviren toplayıcı yükselteç devresinin birleşiminden oluşmuştur. Giriş sinyali pozitif yönlü olduğunda birinci op-amp'ın çıkışı 0 V olur. İkinci op-amp'ın girişine R_3 üzerinden gelen pozitif sinyal yükseltip ters çevrilerek negatif yönlü olarak çıkışa aktarılır.

Giriş sinyali negatif yönlü olduğunda birinci op-amp'ın çıkışı pozitif maksimum olur. Birinci op-amp'ın çıkışından gelen pozitif yönlü sinyal ile R_3 direnci üzerinden gelen negatif sinyal ikinci op-amp tarafından toplanır. Dikkat edilirse ikinci op-amp'ın girişine pozitif ve negatif polariteli iki sinyal gelmektedir.

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

10. Op-ampli aktif bas-tiz filtreleri

Sadece direnç, kondansatör ve bobin kullanılarak yapılan filtrelere pasif filtre denir. Bu tip devreler basit yapılıdır ancak, kendilerine uygulanan sinyalleri bir miktar zayıflatırlar. Bu olumsuz bir durumdur.

Not: Pasif filtreler temel elektronik bilgisi kitabında açıklanmıştır.

Op-amplı kullanılarak yapılan aktif filtrelerde ise giriş sinyallerinde zayıflama değil yükselme olmaktadır.

Op-ampli aktif filtrelerin iyi yönleri şunlardır:

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.

Op-ampli aktif filtrelerin olumsuz yönleri şunlardır:

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

II. Devrenin maliyeti pasif filtreye oranla yüksektir.

I. Op-ampli alçak (düşük) frekansları geçiren aktif filtre devresi

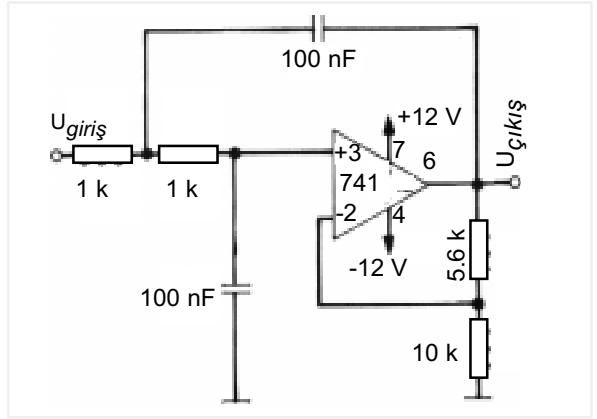
Şekil 2.18'de verilen devrede girişe uygulanan sinyalin yüksek frekanslarında C_1 'in direnci,

$$X_C = 1/2 \cdot p \cdot f \cdot C$$

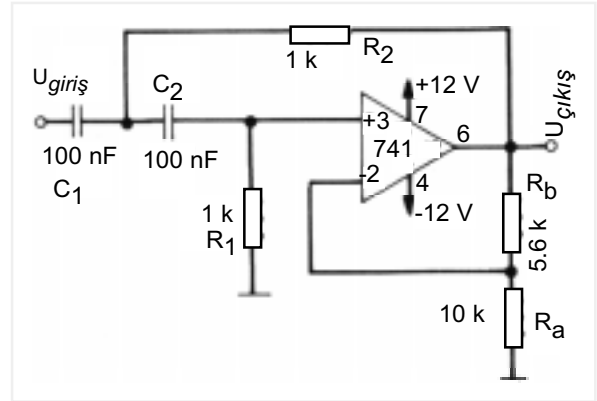
denkleminde göre çok azalacağından, yüksek frekanslar op-ampa gidemeden şaseye akar. Alçak frekanslar ise yükseltilir.

II. Op-ampli yüksek frekansları geçiren aktif filtre devresi

Girişine uygulanan alçak frekanslı sinyalleri bastırıp sadece yüksek frekanslı sinyalleri çıkışa aktarır. Şöyle ki; alçak frekanslarda kondansatörlerin direnci (X_C) çok yüksektir. Bu nedenle alçak frekanslı sinyaller op-ampa ulaşamaz. Sadece yüksek frekanslı sinyaller op-ampa gider ve op-amp bu sinyalleri yükseltir. Şekil 2.19'a bakınız.



Şekil 2.18: Op-ampli alçak frekansları geçiren filtre



Şekil 2.19: Op-ampli yüksek frekansları geçiren filtre

11. Op-ampli gerilim (voltaj) regülatörleri

Şekil 2.20'de verilen devrede giriş gerilimi 0 V tan itibaren artırılırsa çıkışta oluşan gerilim de artmaya başlar.

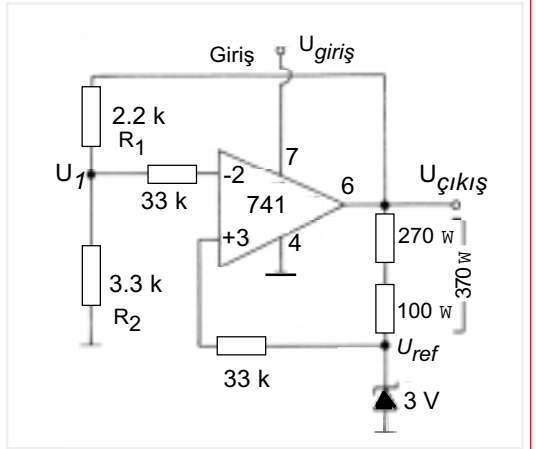
Çıkış gerilimi 3 V un altındayken zener diyot yalıttımdadır. Çıkışta oluşan gerilimin değeri 3

voltu geçince zener diyot iletme geçerek üzerinde hep 3 V luk gerilim düşümü oluşturur.

İşte bu 3 V luk zener diyot gerilimi op-ampın girişi için referans gerilimi (U_{ref}) görevini yapar.

Op-ampın çıkış gerilimi, U_1 3 V oluncaya kadar yükselir. Yükseliş, U_1 'in gerilimi 3 V olunca durur. Çünkü, op-amp çıkışının daha fazla yükselerek U_1 geriliminin +3 V un üzerine çıkması durumunda eksi (-) girişin gerilimi artı girişin geriliminden daha pozitif olacağından kıyaslayıcı olarak çalışan op-ampın çıkışı hemen düşüşe geçer.

U_1 gerilimi 3 V un altına düşecek olursa kıyaslayıcı olarak çalışan op-amp yine çalışmaya başlar ve çıkışı hemen 3 V düzeyine yükseltir.



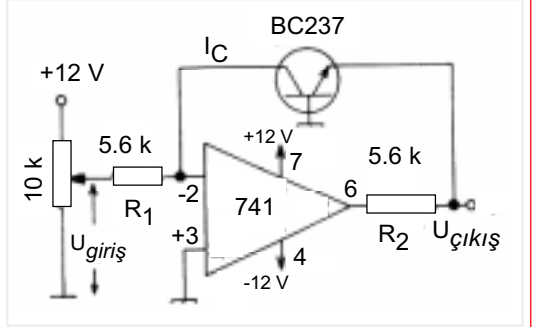
Şekil 2.20: Op-amplı voltaj regülatörü

12. Op-amplı logaritmik yükselteç devreleri

Şekil 2.21'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:

$U_{BE} = (60 \text{ mV}) \cdot \text{Log} (I_C / I_{çkş})$ şeklinde yazılabilir. Denklemde $I_C = U_{giriş} / R_1$ dir. $I_{çkş}$ akımı sabit olup oda sıcaklığında 1.10^{-13} A dolayındadır.

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



Şekil 2.21: Op-amplı logaritmik yükselteç

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 V, 100 kat artırılarak 5,6 V yapılırsa $U_{çıkış}$ ne olur? Bulunuz.

Çözüm

a. $U_{çkş} = U_{BE} = (60 \text{ mV}) \cdot \text{Log} (I_C / 10^{-13})$

$I_C = U_{grş} / R_1 = 0,056 / 5,6 = 0,01 \text{ mA} = 10^{-5} \text{ A}$

$U_{çkş} = (60 \text{ mV}) \cdot \text{log} (10^{-5} / 10^{-13}) = (60 \text{ mV}) \cdot \text{Log} 10^8$

(log $10^8 = 8$ olduğundan $U_{çkş} = 480 \text{ mV}$ olur.)

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

13. Op-amp kare dalga üreticileri (astable multivibratörler)

Şekil 2.22'de verilen devrede op-amp kıyaslayıcı olarak çalışmaktadır. İlk anda artı girişteki gerilimin daha pozitif olduğunu varsayalım. Bu durumda $U_{\text{çıkış}}$ gerilimi pozitif maksimum değerdedir.

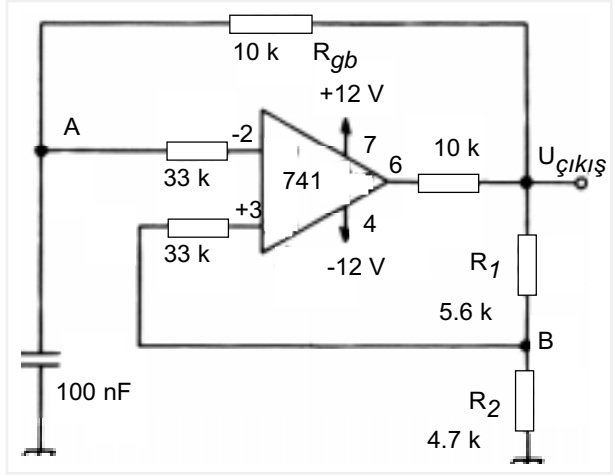
Devrede B noktasının gerilimi: $U_B = \frac{U_{\text{çıkış}}}{R_1 + R_2} \cdot R_2$ kadardır.

Bu sırada C kondansatörü R_{gb} direnci üzerinden dolmaktadır. Kondansatörün A noktasındaki gerilim B noktasının gerilimine eşit olduğunda $U_{\text{çıkış}}$ gerilimi eksi (-) yönlü olur.

Çıkışın eksi (-) yönlü olması A noktasında ve kondansatör üzerinde bulunan gerilimi de eksi (-) polariteli yapar. (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 op-amp çıkışı tekrar konum değiştirir. Devre yukarıda açıklandığı şekilde çalışmasını sürdürür.

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



Şekil 2.22: Op-amp kare dalga üretici

Değerlendirme çalışmaları

1. Op-amp nedir? Tanımlayınız..
2. Op-ampın kıyaslama özelliğinin çalışmasını anlatınız.
3. Op-amp eviren yükselteç devresini çiziniz. Devrenin kazanç denklemini yazınız.
4. Op-amp'ta off-set ayarının yapılışını şekil çizerek anlatınız.
5. 741 op-ampının özelliklerinden dördünü yazınız.