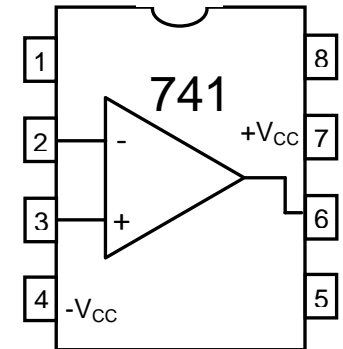
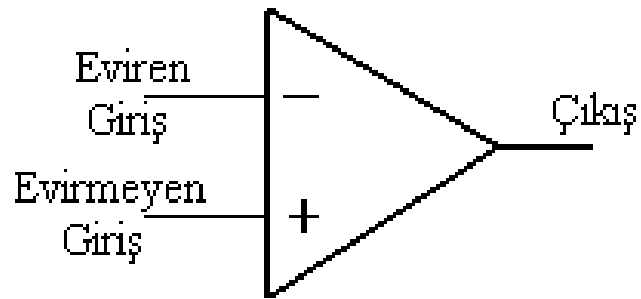


# İŞLEMSEL KUVVETLENDİRİCİLER

## OP-AMP



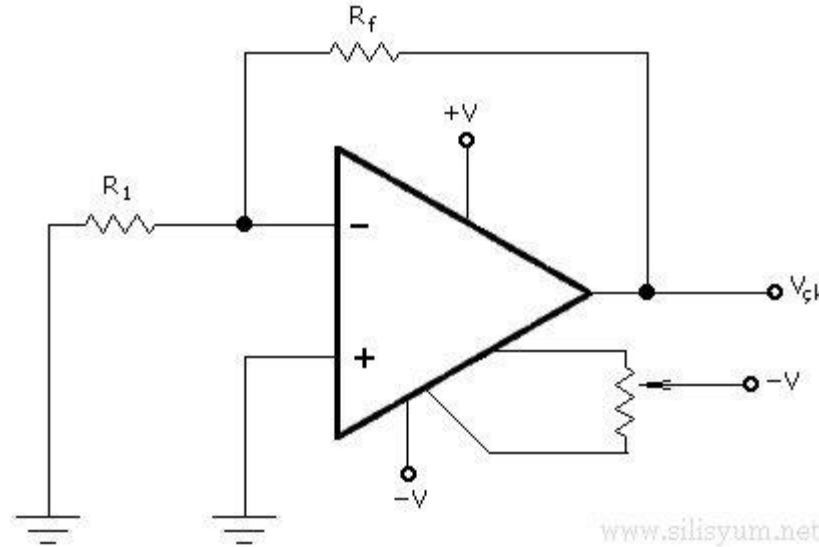
# OP-AMP Genel Özellikleri

İşlemsel yükselteçler (Operational Amplifiers, kısaca OP-AMP), 1960 'lı yılların sonlarına doğru kullanılmaya başlanmıştır. 741 ve 747 gibi entegre şeklinde üretilirler. Bu entegrelere dışarıdan bağlanan devre elemanları ile geri beslemesi ve dolayısıyla yükselteç devresinin gerilim kazancı kontrol edilebilir. İşlemsel kuvvetlendirici, kararlı bir gerilim kazancı sağlamak için gerilim geri beslemesi kullanan, yüksek kazançlı bir fark yükseltecidir. Op-Amp'ların 5 temel özelliği vardır.

1. Kazancı çok fazladır. (Örneğin, 200.000)
2. Giriş empedansı çok yüksektir. ( $5\text{ M}\Omega$ )
3. Çıkış empedansı sıfıra yakındır.
4. Bant genişliği fazladır. (1MHz)
5. Girişe 0 Volt uygulandığında, çıkıştan yaklaşık 0 Volt elde edilir.

## 1. Kazancı çok fazladır. (Örneğin, 200.000)

OP-AMP'ın iki kazancı vardır. Bunlar açık çevrim ve kapalı çevrim kazancıdır. Kapalı çevrim kazancı, devreye harici olarak bağlanan geri besleme direnci ile belirlenir. Açık çevrim kazancı ise OP-AMP'ın kendi kazancıdır. Yani direnç ile belirlenemeyen kazancıdır. Her ne kadar OP-AMP'ın kazancı yaklaşık 200.000 gibi bir değerde olmasına rağmen bu kazanç OP-AMP'a uygulanan besleme voltajına bağlıdır. Örneğin, bir OP-AMP'ın besleme voltajı  $\pm 12$  Volt ve girişe 1 Volt yükseltilmek üzere bir giriş sinyali uygulansa, OP-AMP'ın özelliğine göre çıkıştan bu kazançla orantılı olarak 200.000 Volt alınmaz. Çünkü besleme voltajı  $\pm 12$  Volt kullanılmışsa çıkıştan en fazla 12 Volt alınır. Burada, açık çevrim kazancını etkileyen en önemli faktör besleme voltajının değeridir.



## 2. Giriş empedansı çok yüksektir. (5 M $\Omega$ )

OP-AMP'ın diğer özelliği 5M $\Omega$ 'a ulaşan giriş empedansıdır. Giriş empedansının bu kadar büyük olması, bağlı olduğu sinyal kaynağını ve bir önceki devreyi yüklememesi, küçük bir giriş akımı ile kumanda edilmesi gibi üstünlükleri vardır.

## 3. Çıkış empedansı sıfıra yakındır.

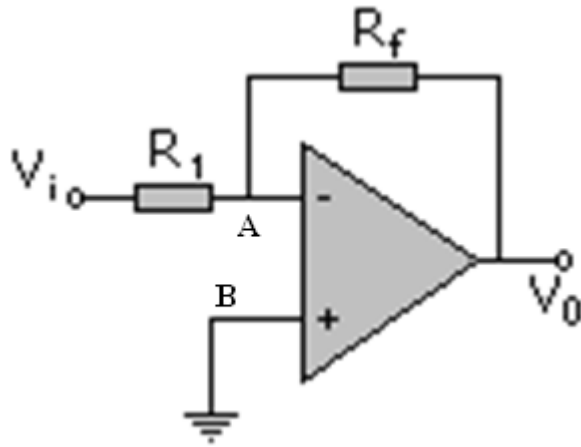
OP-AMP'ın çıkış empedansı idealde sıfır iken pratikte bu değer 100-150 $\Omega$  arasındadır. OP-AMP'ın çıkış empedansının küçük olması, çıkış akımını arttırarak kısa devrelerden zarar görmemesini sağlar.

## 4. Bant genişliği fazladır. (1MHz)

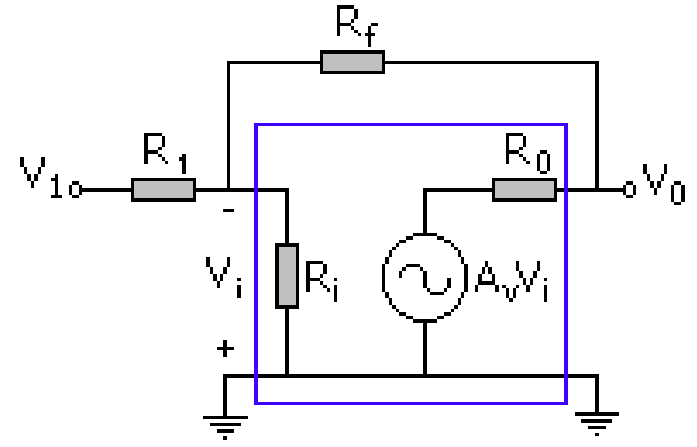
OP-AMP'ın bant genişliği 1MHz civarındadır. OP-AMP'a uygulanan sinyalin frekansı yükseldikçe kazanç düşer. DC ve DC 'ye yakın sinyallerde OP-AMP'ın kazancı yaklaşık 200.000'dir.

## 5. Girişe 0 Volt uygulandığında, çıkıştan yaklaşık 0 Volt elde edilir.

OP-AMP'ın statik çalışmasında yani girişte sinyal yokken çıkışın 0 Volt olması gerekir. Ancak, pratikte giriş uçları arasında, çok küçük de olsa bir offset gerilimi oluşur. Bu küçük gerilim OP-AMP'ın kazancı ile çarpılarak çıkışa aktarılır. Bu nedenle, OP-AMP entegrelerinde offset sıfırlama uçları bulunur. ( Offset gerilimi, sinyal girişlerinin genlik değerleri aynı olduğu anda çıkışta oluşabilecek  $\pm$  gerilim değeridir. Bu istenmeyen bir durumdur.)



OP-AMP Devresi

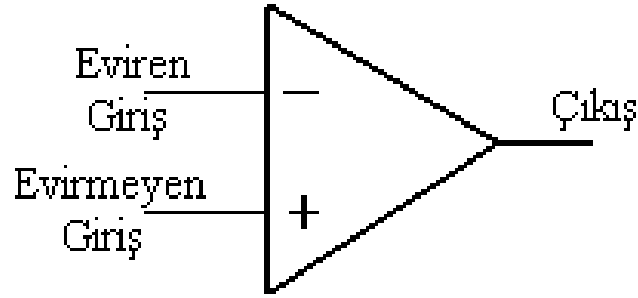


Eş Değer Devre

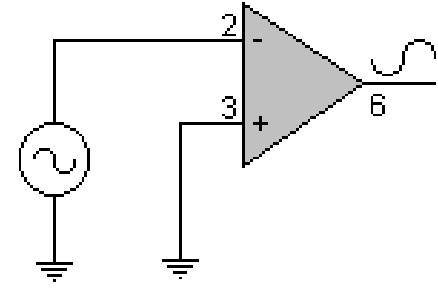
OP-AMP'ın özelliklerinden biri de (+) ve (-) giriş uçlarında potansiyel fark 0 Volttur. Çünkü OP-AMP'ların giriş empedansları çok yüksek olduğundan (+) ve (-) giriş uçlarından akan akım pratikte nanoamper seviyesindedir. İdeal bir OP-AMP'ta ise bu değer 0 kabul edilir. Böylece OP-AMP'ın giriş direncinde gerilim düşümü olmaz ve uçlarındaki voltaj farkı da sıfır olur.

$R_i \approx \infty$  olduğuna göre:

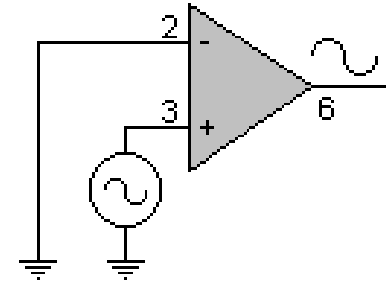
1. OP-AMP içerisine giren akım = 0
2.  $V_A = V_B$  'dir.



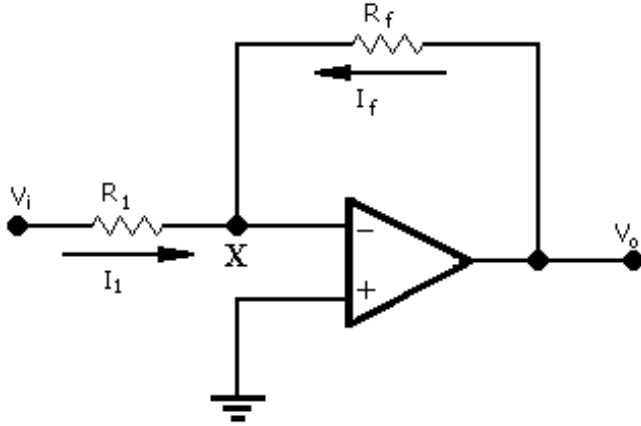
Yukarıda bir işlemsel kuvvetlendiricinin sembolü görülmektedir. Eviren giriş, evirmeyen girişten daha büyük genlikli bir gerilim potansiyelinde olduğunda, eviren girişe uygulanan sinyal, çıkışa terslenerek ( $180^\circ$  faz farklı olarak) aktarılır. Yani giriş sinyalinin negatif olduğu durumlarda çıkış sinyali pozitif, giriş sinyalinin pozitif olduğu durumlarda ise çıkış sinyali negatiftir.



Evirmeyen giriş, eviren girişten daha büyük genlikli bir gerilim potansiyelinde olduğunda, evirmeyen girişe uygulanan sinyal, çıkışta aynı polaritede elde edilir. Yani giriş sinyalinin negatif olduğu durumlarda çıkış sinyali negatif, giriş sinyalinin pozitif olduğu durumlarda ise çıkış sinyali pozitifdir.



## İşlemsel Kuvvetlendiricinin Eviren Olarak Çalışması



Yandaki devrede  $R_1$  direnci giriş,  $R_f$  direnci ise geri besleme (feedback) direncidir. Girişe AC veya DC sinyal uygulansa dahi bu yükselteç, girişine uygulanan sinyalleri yükseltir. OP-AMP'a harici dirençler bağlandığı için, bu yükselteç, açık çevrim kazancından bağımsız bir kapalı çevrim kazancına sahiptir. Kapalı çevrim kazancı harici olarak bağlanan bu dirençlerin değerine bağlıdır.

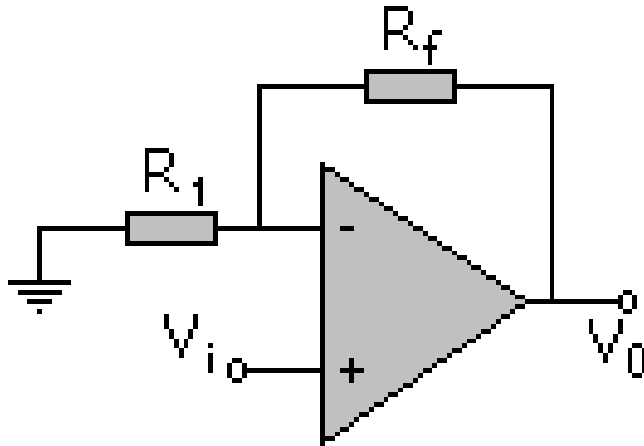
OP-AMP 'ın özelliğinden dolayı X noktasındaki potansiyel 0 Volt 'tur. ( $V_x = 0$ ). Kirchhoff 'un akım Yasasına göre bir düğüm noktasına gelen akımların toplamı, giden akımların toplamına eşit olduğu için  $I_i = -I_f$  'dir.

$$\begin{aligned} I_i &= -I_f \\ V_i / R_1 &= -V_o / R_f \\ V_o / V_i &= -R_f / R_1 \end{aligned}$$

$$A_v = -\frac{R_f}{R_1}$$

Son olarak elde edilen formüldeki (-) işareti giriş ile çıkış arasında  $180^\circ$  faz farkı olduğunu gösterir.  $R_f$  ve  $R_1$  dirençleri ile yükseltecin kazancı ayarlanabilir.

## İşlemsel Kuvvetlendiricinin Evirmeyen Olarak Çalışması



Yandaki devrenin kazanç katsayısını bulunuz.

$$I_i = I_f$$
$$V_i / R_1 = (V_o - V_i) / R_f$$

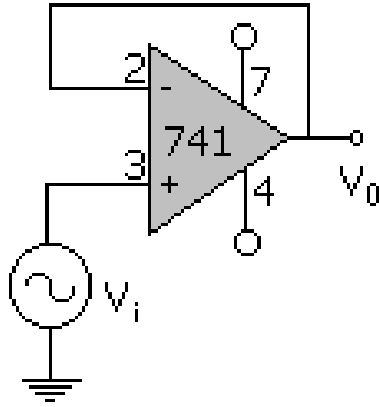
$$A_v = 1 + \frac{R_F}{R_1}$$

$R_f$  direnç değeri artırılırsa geri besleme azalacağından çıkış genliği yükselir yani kazanç artar.  $R_f$  direnci azaltılırsa geri besleme artacağından çıkış genliği düşer.



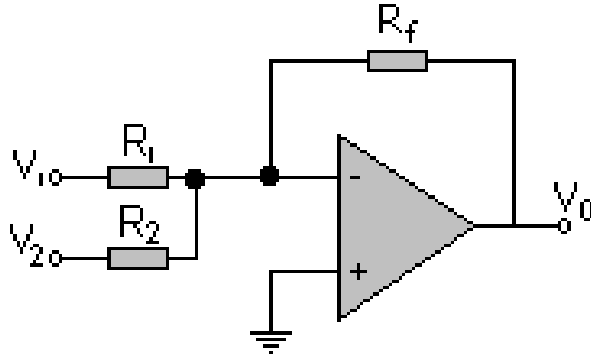
## İşlemsel Kuvvetlendiricinin Gerilim İzleyici Çalıştırılması

İşlemsel kuvvetlendiriciler bu uygulamalardan başka gerilim izleyici olarak da kullanılırlar. Gerilim izleyiciler; çıkış sinyalinde, giriş sinyalinin polaritesini ters çevirmeksizin 1 değerinde kazanç sağlayan devrelerdir. Gerilim izleyici devreler birbirine bağlanmak istenen iki devre arasında tampon vazifesi görmek için kullanılırlar. Bu devrelerin uygulamasında Op-Amp'ın evirmeyen girişi kullanılır ve kazanç 1 olarak belirlenir. Bu tip devrelerde Op-Amp'ların kullanılmalarının başında yüksek giriş empedansına ve düşük çıkış empedansına sahip olmaları gelmektedir.



$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = 1$$

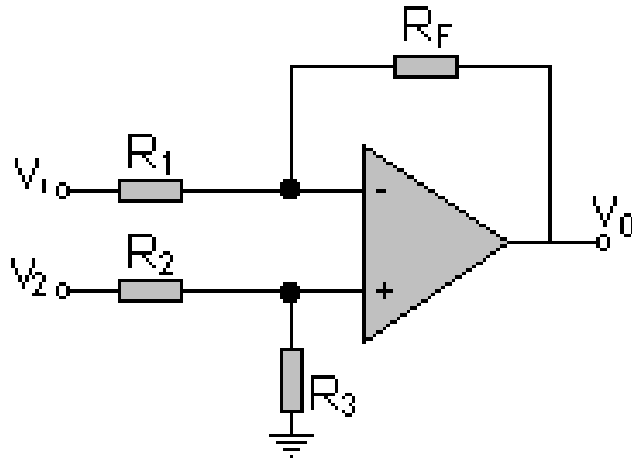
## İşlemsel Kuvvetlendiricinin Toplayıcı Olarak Çalıştırılması



Yanda her bir giriş gerilimini sabit kazanç ile çarpıp, daha sonra bunları cebirsel olarak toplayan iki girişli bir toplam yükselteç devresi görülmektedir. Giriş sayısı arttırılabilir. Çıkışın doğru bir değer olarak elde edilebilmesi için, giriş gerilimlerinin toplamı ile kazanç çarpımından elde edilen değer, besleme gerilim değerinden küçük olmalıdır. Burada op-amp eviren yükselteç olarak çalışmakta olup çıkış gerilimi, girişler cinsinden aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$V_o = -\left(\frac{R_f}{R_1} V_1 + \frac{R_f}{R_2} V_2\right)$$

## İşlemsel Kuvvetlendiricinin Fark Alıcı Olarak Çalıştırılması



Yandaki devrenin kazanç katsayısını bulunuz.

$V_1$ 'den dolayı elde edilen çıkış ( $V_o'$ );

$$V_o' = -\frac{R_F}{R_1} V_1$$

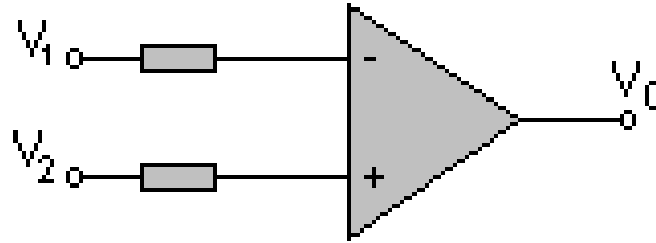
$V_2$ 'den dolayı elde edilen çıkış ( $V_o''$ );

$$V_o'' = \left( \frac{V_2 R_3}{R_2 + R_3} \right) \left( 1 + \frac{R_F}{R_1} \right)$$

$$V_o'' = \left( 1 + \frac{R_F}{R_1} \right) \left( \frac{R_3}{R_2 + R_3} \right) V_2$$

$$V_0 = -\frac{R_F}{R_1} V_1 + \left( 1 + \frac{R_F}{R_1} \right) \left( \frac{R_3}{R_2 + R_3} \right) V_2$$

## İşlemsel Kuvvetlendiricinin Karşılaştırmacı Olarak Çalıştırılması



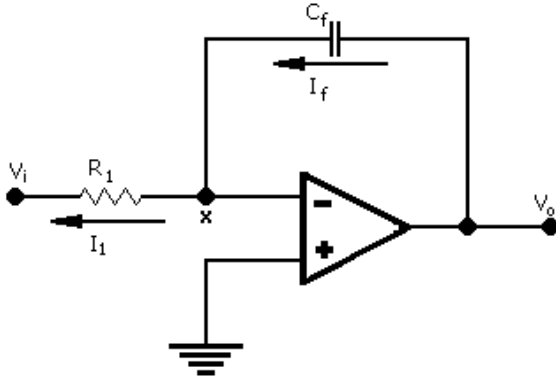
Bu fonksiyonda, işlemsel kuvvetlendirici girişlerindeki iki gerilimin genliklerini karşılaştırabilir. Voltaj seviyelerini karşılaştırmak için, op-amp açık çevrim çalıştırılır. Yani geri besleme direnci bağlanmaz. Bundan dolayı gerilim kazancı oldukça büyüktür.

Evirmeyen girişteki gerilimin, eviren girişteki gerilimden çok az büyük olması halinde ( $V_+ > V_-$ ), op-amp'ın çıkışı max pozitif değerine ulaşır. Yani bu demek ki, op-amp'ın çıkışı pozitif ise, evirmeyen giriş ifadesi matematiksel olarak büyük demektir ve çıkış  $+V_{cc}$  kadar olacaktır.

Eviren girişteki gerilimin, evirmeyen girişteki gerilimden çok az büyük olması halinde ( $V_- > V_+$ ), op-amp'ın çıkışı max negatif değerine ulaşır. Bu durumda şöyle ifade edilebilir, op-amp'ın çıkışı negatif ise, eviren giriş ifadesi matematiksel olarak büyük demektir ve çıkış  $-V_{cc}$  kadar olacaktır.

Giriş uçlarından birinin toprağa bağlanması ile basit olarak bir sıfır dedektörü elde edilebilir.

## İşlemsel Kuvvetlendiricinin İntegral Alıcı Olarak Çalıştırılması



İntegratör devre, girişi uygulanan sinyalin integral olarak çıkışa aktarır. Matematiksel anlamda integral, bir eğrinin altında kalan alana karşı gelir. İntegratör devrenin girişine kare dalga uygulandığını devrenin çıkışından üçgen dalga elde edilir. Çünkü, kare dalganın integrali üçgen dalgadır.

Yukarıdaki devrede, x noktasında 0 Volt olduğuna ( $V_x = 0$ ) göre;

$$I_1 = (V_i - V_x) / R_1 = V_i / R_1 \text{ olarak yazılabilir.}$$

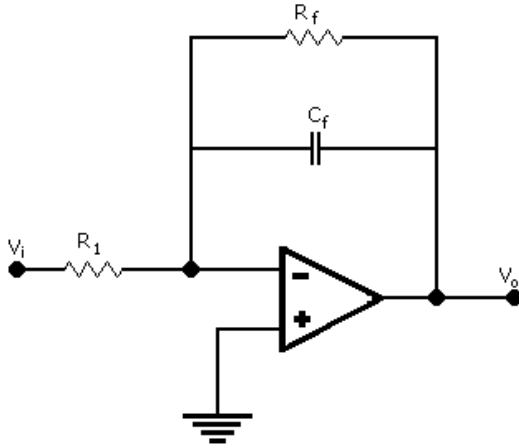
$$I_f = - I_1$$

$$V_o = (1/C_f) \int_0^t I_f dt$$

$$V_o = - (1 / C_f) \int_0^t (V_i / R_1) dt$$

$$V_o = - [1 / (R_1 \cdot C_f)] \int_0^t V_i dt$$

## İşlemsel Kuvvetlendiricinin İntegral Alıcı Olarak Çalıştırılması



OP-AMP devresindeki, giriş ofset geriliminin OP-AMP'ın doyuma götürmesini engellemek için şekil yandaki gibi geri besleme kondansatörüne paralel bir  $R_f$  direnci bağlanır.

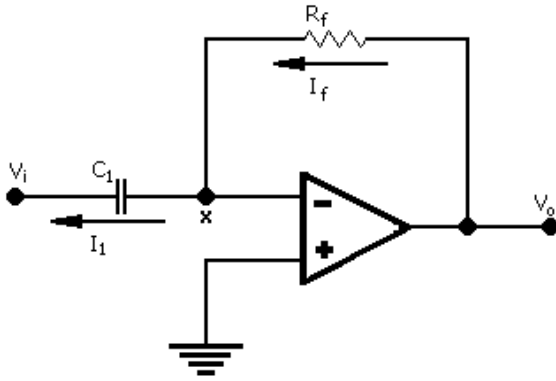
İntegral alıcı bir devrenin, girişine uygulanan işaretin integralini alabilmesi için yani devrenin integratör olarak çalışabilmesi için;

1:  $f_{\text{giriş}} \geq f_c = 1 / (2\pi R_f C_f)$  olmalıdır. (Girişe uygulanan sinyalin frekansı,  $f_c$  kritik frekanstan büyük veya eşit olmalıdır).

2: Devrenin zaman sabitesi ( $T = R_1 C_f$ ) ile girişe uygulanan sinyalin periyodu birbirine eşit veya yakın bir değerde olmalıdır.

Eğer, devrede bu şartlardan birisi veya ikisi sağlanmıyorsa devre girişine uygulanan sinyalin integralini alamaz, tersleyen (faz çeviren, inverting) yükselteç olarak çalışır. Bu haliyle devrenin kazancı  $-R_f / R_1$  olur.

## İşlemsel Kuvvetlendiricinin Türev Alıcı Olarak Çalıştırılması



Türev alan devre, girişine uygulanan sinyalin türevini alarak çıkışa aktaran bir devredir. Türev alan devrenin girişine üçgen dalga uygulandığında çıkışından kare dalga, kare dalga uygulandığında ise çıkışından sivriltilmiş dalga elde edilir. O halde, elektronikte üçgen dalganın türevi kare dalga, kare dalganın türevi ise sivriltilmiş dalgadır. Integral alma işleminin tersi türev alma olduğu için, yandaki devrede görüldüğü gibi integratör devredeki direnç ile kondansatörün yeri değiştirilerek bir türev alıcı devre gerçekleştirilir.

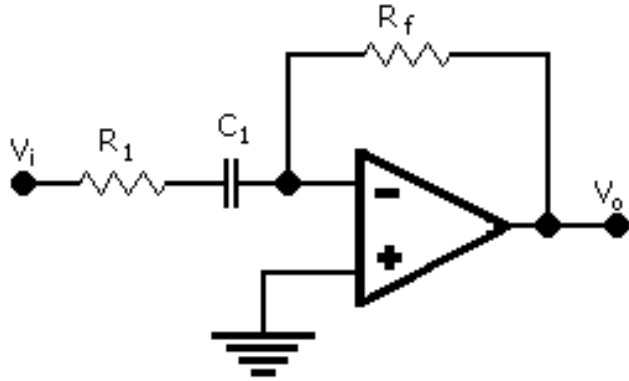
$$I_1 = C_1 \cdot (dV_i / dt)$$

$$I_f = - I_1$$

$$V_o = R_f \cdot I_f$$

$$V_o = - R_f \cdot C_1 \cdot (dV_i / dt)$$

## İşlemsel Kuvvetlendiricinin Türev Alıcı Olarak Çalıştırılması



Türev alıcı devrenin, girişine uygulanan işaretin türevini alabilmesi için yani devrenin türevleyici olarak çalışabilmesi için,

1:  $f_{\text{giriş}} \leq f_c = 1/(2\pi R_f C_1)$  olmalıdır. (Girişe uygulanan sinyalin frekansı,  $f_c$  kritik frekanstan küçük veya eşit olmalıdır.)

2: Devrenin zaman sabitesi ( $T = R_f \cdot C_1$ ) ile girişe uygulanan sinyalin periyodu birbirine eşit veya yakın bir değerde olmalıdır.

Eğer, devrede bu şartlardan birisi veya ikisi sağlanmıyorsa, devre girişine uygulanan sinyalin türevini alamaz, tersleyen (faz çeviren, inverting) yükselteç olarak çalışır. Devrenin kazancı  $-R_f / R_1$  olur