

Temel Opamp Devreleri

Konular:

- 2.1 Eviren ve Evirmeyen Yükselteç
- 2.2 Temel Fark Alıcı
- 2.3 Gerilim İzleyici
- 2.4 Türev ve Entegral Alıcı

Amaçlar:

Bu bölümü bitirdiğinizde aşağıda belirtilen konular hakkında ayrıntılı bilgiye sahip olacaksınız.

- Opamp'la gerçekleştirilen eviren yükselteç devresinin özellikleri ve çalışma karakteristikleri
- Eviren toplayıcı devresi ve özellikleri
- Evirmeyen yükselteç devresinin genel özellikleri ve karakteristikleri
- Opamp'la gerçekleştirilen gerilim izleyici devresi ve özellikleri
- Opamp'la gerçekleştirilen türev alıcı devrenin özellikleri ve çalışma karakteristikleri
- Opamp'la gerçekleştirilen Entegral alıcı devrenin özellikleri ve çalışma karakteristikleri

2.1 EVİREN VE EVİRMEYEN YÜKSELTEÇ

Opampların en temel uygulamalarından biri yükselteç (amplifikatör) tasarımıdır. Yükselteçler; girişlerine uygulanan elektriksel işaretleri yükselterek (kuvvetlendirerek) çıkışlarına aktaran sistemlerdir. Kaliteli bir yükselteç, kuvvetlendirme işlemi esnasında giriş ve çıkış işaretlerinde herhangi bir bozulmaya (distorsiyona) sebep olmaz.

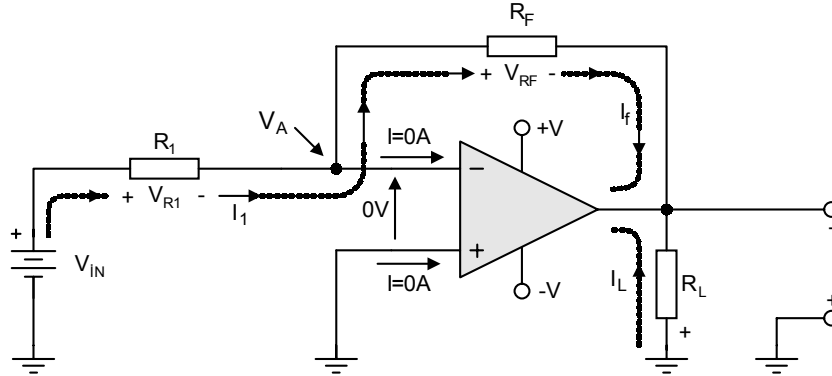
Bu bölümde opamp'la gerçekleştirilen temel yükselteç modellerini inceleyeceğiz. Bunlar;

- Eviren Yükselteç
- Eviren Toplayıcı
- Evirmeyen Yükselteç
- Evirmeyen Toplayıcı

Eviren Yükselteç

Bilindiği gibi opampların açık çevrim kazancı çok yüksektir. Bu durum kullanıcıya her zaman avantaj sağlamaz. Çünkü opamp'ın kazanç kontrol altında değildir. Yükselteç tasarımında elemanın kazancı kullanıcı tarafından kontrol edilmelidir. Opamp kazancının kontrol edilebileceği iki temel tip yükselteç devresi vardır. Bunlar; eviren (inverting) ve evirmeyen (noninverting) yükselteçlerdir.

Opamp'ın kazancını kontrol etmede en etkili yöntem geri besleme kullanmaktır. Temel bir eviren yükselteç devresi şekil-2.1'de verilmiştir. Devrede dolaşan akımlar ve gerilim düşümleri devre üzerinde ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



Şekil-2.1 Temel Eviren Yükselteç Devresi

Eviren yükselteç devresinde giriş gerilimi V_1 , R_1 direnci ile opamp'ın negatif terminaline uygulanmıştır. Opamp'ın pozitif terminali ise topraklanmıştır. Opamp'ın giriş ve çıkış terminalleri arasında bağlanan R_f direnci, geri besleme direnci olarak anılır. V_{IN} giriş işareti ile V_0 çıkış işareti arasındaki bağıntı R_1 ve R_f dirençleri ile ifade edilir. Devrenin analizine yapmadan önce, opamp özellikleri tekrar hatırlatalım.

- Opamp'ın eviren (-) ve evirmeyen (+) girişleri arasında potansiyel fark yoktur. Kısaca gerilim farkı sıfırdır.

- Opampın eviren (-) ve evirmeyen (+) uçlarından, opamp içerisine küçük bir akım akar. Bu akım çok küçük olduğundan ihmal edilebilir.

Girişe uygulanan işaretin AC veya DC olması durumu değiştirmez, her ikisi de kuvvetlendirilir. Opamp'ın (-) ucu ile (+) ucu arasındaki potansiyel fark sıfırdır. Bu nedenle, devre de opamp'ın (-) ucuda toprak potansiyelindedir. Devrenin analizine gelince V_A noktasında K.A.K yazarsak;

$$I_1 + I_F = 0$$

devreden I_1 ve I_F akımları için gerekli bağıntıları yazalım;

$$\frac{(V_{IN} - V_A)}{R_1} + \frac{(V_0 - V_A)}{R_F} = 0$$

Yükseltecin kapalı çevrim kazancına A dersek, V_A geriliminin değeri $V_A = V_0/A$ olur. V_A 'nın toprak potansiyelinde olduğunu biliyoruz. Yükseltecin açık çevrim kazancının çok büyük olduğunu da biliyoruz.

Buradan $V_A = V_0/A$ dan $V_A = 0$ yazabiliriz. Bu durumda;

$$\frac{V_{IN}}{R_1} + \frac{V_0}{R_F} = 0$$

buradan çıkış gerilimi;

$$V_0 = -V_1 \cdot \left[\frac{R_F}{R_1} \right]$$

bulunur. Diğer bir ifadeyle opamp'ın girişleri akım çekmediğinden, I_1 akımının tümü R_f direncinin üzerinden akacaktır. R_f direnci üzerindeki gerilim düşümü ise;

$$V_{RF} = I_1 \cdot R_F = \left(\frac{V_{IN}}{R_1} \right) \cdot R_F = -V_0$$

olacaktır. Devrede R_f direncinin bir ucu toprak potansiyeline bağlı olduğu için R_L yük direncine paralel olarak düşünebilir. Dolayısı ile R_f uçlarında ki gerilim düşümü çıkış gerilimi V_0 değerine eşit olur. Böylece giriş işaretinin fazıda terslenmiş olur. Başka bir ifadeyle giriş işareti evrilmiştir. Opampın kazancı ise;

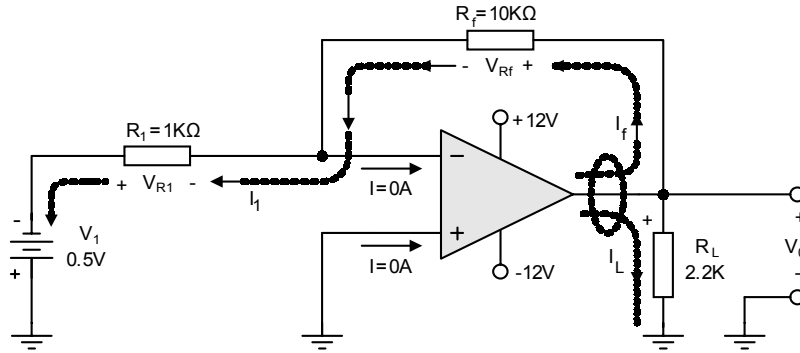
$$A = -\frac{V_0}{V_{IN}} = -\frac{R_F}{R_1}$$

olarak açığa çıkar.

**Örnek:
2.1**

Şekil-2.2’de görülen eviren yükselteç devresinde LM741 tipi opamp kullanılmıştır. Devre, $\pm 12V$ ’luk simetrik kaynakla beslenmiştir.

- Devredeki I_0 akımını, Çıkış gerilimini V_0 , Kapalı çevrim gerilim kazancını A bulunuz?
- Opamp çıkışına $2.2K\Omega$ ’luk bir R_L yük direnci bağlandığında yük üzerinden geçen I_L yük akımını ve opamp’ın toplam çıkış akımını hesaplayınız?



Şekil-2.2 Eviren Yükselteç Devresi

Cözüm

Önce I_1 akımını bulalım. Devreden;

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{0.5V}{1K\Omega} = 0.5mA$$

Opamp’ın çıkış gerilimi V_0 ise;

$$V_0 = -\frac{R_f}{R_1} \cdot V_1 = -\frac{10K\Omega}{1K\Omega} (-0.5V) = 5V$$

olarak bulunur. Opamp’ın kapalı çevrim kazancı A_{CL} ;

$$A_{CL} = -\frac{V_0}{V_1} = -\frac{R_f}{R_1} = -10$$

R_L yük direnci üzerinden geçen I_L yük akımı;

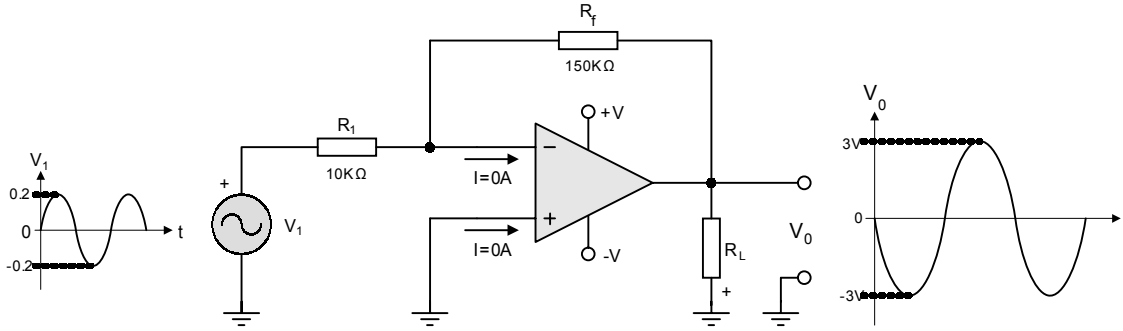
$$I_L = \frac{|V_0|}{R_L} = \frac{5V}{2.2K\Omega} = 2.27mA$$

Opamp çıkışından çekilen toplam akım I_0 ise;

$$I_0 = I_L + I_1 = 2.27mA + 0.5mA = 2.32mA$$

olarak bulunur.

Eviren girişe DC işaret yerine AC işaret de uygulanabilir. Bu durumda opamp yükseltme işlevini yine yerine getirecektir. Böyle bir eviren yükselteç devresi şekil-2.3’de gösterilmiştir.



Şekil-2.3 Eviren yükselteç devresinde ac çalışma

Devrede akım ve gerilimlerin analizini yapalım. Şekil-2.3 üzerindeki değerler dikkate alındığında opamp'ın kapalı çevrim gerilim kazancı A_{CL} ;

$$A_{CL} = -\frac{R_f}{R_1} = \frac{150K\Omega}{10K\Omega} = -15$$

Opamp çıkışından alınan çıkış işaretinin tepeden tepeye değeri ise;

$$V_0 = -\frac{R_f}{R_1} \cdot V_1 = -\frac{150K\Omega}{10K\Omega} \cdot (0.2V)$$

$$V_0 = -3V$$

olacaktır. Eviren amplifikatör özelliğinden dolayı giriş geriliminin fazı 180° derece faz terslenmiş olarak çıkışa yansiyacaktır. Bu durum şekil-2.3 üzerinde ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

Eviren Toplayıcı

Temel eviren yükselteç devresindeki negatif terminale tek giriş yerine, şekil-2.4'deki gibi bir çok giriş işareti bağlanırsa opamp eviren toplayıcı olarak çalışır. Eviren toplayıcı devre, girişine uygulanan işaretleri toplayarak çıkışına aktarır.

Eğer giriş gerilimleri sırası ile; V_1, V_2, \dots, V_n ise; ortak uç (negatif terminal) toprak potansiyelinde olduğu için opamp'ın + ile - terminalleri arasında potansiyel fark yoktur. Dolayısı ile her bir koldan akan akımlar sırası ile;

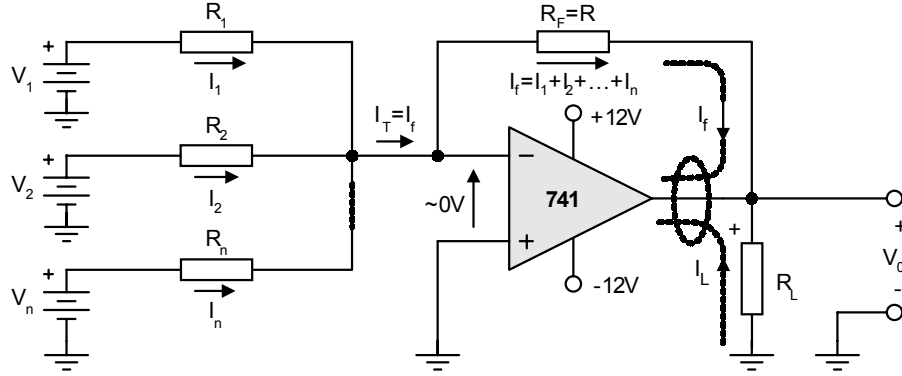
$$I_1 = \frac{V_1}{R_1}, \quad I_2 = \frac{V_2}{R_2}, \quad I_n = \frac{V_n}{R_n}$$

olur. R_F geri besleme direncinden bu akımların toplamı kadar bir akım akacağından (opampın içine akım akmaz, giriş direnci sonsuzdur). Bu durumda opamp'ın çıkış gerilimi;

$$V_0 = -(I_1 + I_2 + I_n) \cdot R_F$$

$$V_0 = -\left[\frac{V_1}{R_1} R_F + \frac{V_2}{R_2} R_F + \frac{V_n}{R_n} R_F \right]$$

$$V_0 = -R_F \cdot \left[\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_n}{R_n} \right]$$



Şekil-2.4 Eviren toplayıcı devresi

**Örnek:
2.2**

Şekil-2.4'deki devrede $R_f=100K$, $R_1=R_2=R_n=10K$ ve $V_1=V_2=V_n=0.2$ volt ise, opamp'ın çıkış gerilimi;

$$V_0 = -100K\Omega \cdot \left[\frac{0.2V}{10K\Omega} + \frac{0.2V}{10K\Omega} + \frac{0.2V}{10K\Omega} \right] = -6V$$

elde edilir. Toplayıcı devrede $R_f=R_1=R_2=R_n$ seçilirse çıkışta girişler yükseltilmeden sadece toplanmış olarak alınır. Yine aynı mantıkla giriş işaretlerinin ortalaması çıkıştan alınabilir. Bunun için;

$$R_1=R_2=R_n=R, R_f=R/3$$

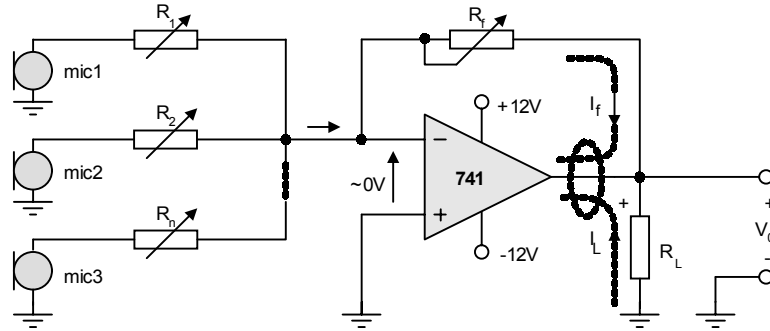
olarak seçilmelidir. Örnek olarak şekil-12.11'deki devrede; $R_1=R_2=R_n=100K$, $R_f=100K/3$ ve $V_1=5v$, $V_2=5v$, $V_n=-1v$ ise V_0 çıkış gerilimi;

$$V_0 = (5+5+(-1))/3 \quad V_0 = -3 \text{ volt}$$

bulunur. Unutulmamalıdır ki opampın çıkış geriliminin maksimum değeri besleme gerilimi ile sınırlıdır. Kısaca çıkış geriliminin değeri hiç bir zaman besleme gerilimi değerini aşamaz.

Ses Karıştırıcı (mixer)

Bilindiği gibi toplayıcı devre, girişine uygulanan dc işaretleri toplayarak çıkışına aktarmakta idi. Eviren toplayıcı devresinde, opamp'ın eviren girişine şekil-2.5'de görüldüğü gibi mikrofonlar bağlayarak ses karıştırıcı veya mixer olarak adlandırılan devreyi elde edebiliriz. Bu devrede; opamp'ın eviren girişine mikrofonlar üzerinden uygulanan ses işaretleri toplanarak çıkışa aktarılmaktadır. Mikrofonlarla opamp girişine uygulanan giriş işaretleri; istenirse ayarlı dirençler kullanılarak zayıflatılabilir. Böylece girişten uygulanan işaretlerden işitilmesi arzu edilen enstrümanın veya şarkıcının sesi ayarlanabilir.

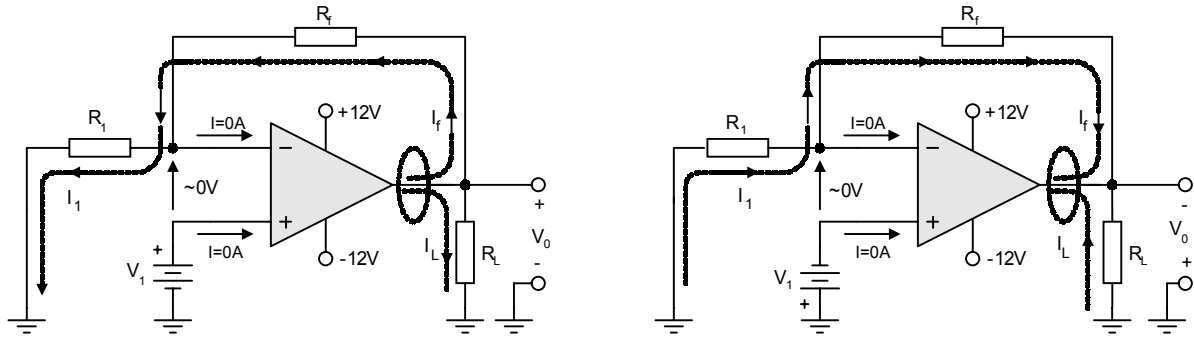


Şekil-2.5 Ses karıştırıcı (mixser) devre

Evirmeyen Yükselteç

Opampların temel uygulamalarından bir diğeri ise evirmeyen yükselteç devresidir. Bu devrede yükseltilecek işaret opamp'ın evirmeyen girişine uygulanmaktadır. Evirmeyen yükselteç devresinde giriş işareti ile çıkış işareti aynı fazdadır. Yani giriş ile çıkış işareti arasında faz farkı yoktur. Temel bir evirmeyen yükselteç devresi şekil-2.6'da verilmiştir.

Evirmeyen yükselteç devresinin en önemli özelliklerinden birisi çok yüksek bir giriş direncine sahip olmasıdır. Eviren bir yükselteç devresinde giriş direnci, devrede kullanılan R_1 direncine bağlıdır ve değeri birkaç $K\Omega$ civarındadır. Evirmeyen yükselteç devresinde ise giriş direnci opamp'ın giriş direncine eşittir. Bu değer ise yüzlerce mega ohm civarındadır.



Şekil-2.6 Evirmeyen yükselteç devresi

Şekil-2.6'da verilen evirmeyen yükselteç devresinin analizini yapalım. Opamp'ın eviren ve evirmeyen girişleri arasındaki potansiyel farkı $0V$ 'dur. Bunu biliyoruz. Dolayısıyla R_1 direnci uçlarında veya üzerinde V_1 gerilimini aynen görürüz. Devrede kirşof yasalarından yararlanarak çıkış geriliminin alacağı değeri yazalım.

$$V_0 = I_1 \cdot R_1 + I_F \cdot R_F$$

elde edilir. Devrede;

$$I_1 = I_F$$

olduğu görülmektedir. Bu durumda yukarıda verilen eşitliği çıkış gerilimini bulmada yeniden yazarsak V_0 ;

$$V_0 = I_1 \cdot R_1 + I_1 \cdot R_F$$

denklemini elde ederiz. Bu denklemde; I_1 Akımı,

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1}$$

değerine eşittir. Bu değeri V_0 eşitliğine yerleştirirsek,

$$V_0 = \frac{V_1}{R_1} \cdot R_1 + \frac{V_1}{R_1} \cdot R_F$$

denklemini düzenlersek;

$$V_0 = V_1 + \frac{V_1}{R_1} \cdot R_F$$

$$V_0 = V_1 \cdot \left[1 + \frac{R_F}{R_1} \right]$$

denklemini elde edilir. Yukarıda elde edilen denklemin ışığında evirmeyen yükselteç devresinde kapalı çevrim kazancı A_{CL} ise;

$$A_{CL} = \left[1 + \frac{R_F}{R_1} \right]$$

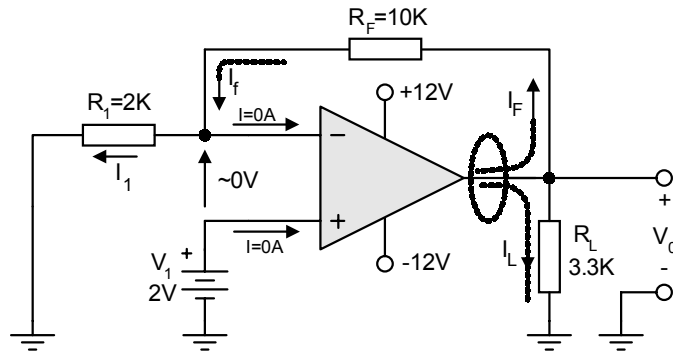
değerine eşittir.

Evirmeyen yükselteç devresinde gerilim kazancı görüldüğü gibi evirmeyen yükselteç devresinden 1 fazladır.

Örnek: 2.3

Şekil-2.7'de görülen evirmeyen yükselteç devresinde LM741 tipi opamp kullanılmıştır. Devre, $\pm 12V$ 'luk simetrik kaynakla beslenmiştir.

- Devrede çıkış gerilimi V_0 , ve Kapalı çevrim gerilim kazancını A_{CL} bulunuz?
- Opamp çıkışına $3.3K\Omega$ 'luk bir R_L yük direnci bağlandığında yük üzerinden geçen I_L yük akımını hesaplayınız?
- Aynı devrede opamp çıkışından çekilen toplam akımı hesaplayınız?



Şekil-2.7 Evirmeyen Yükselteç Devresi

Cözüm

Önce V_0 çıkış gerilimini bulalım. Devreden;

$$V_0 = V_1 + \frac{V_1}{R_1} \cdot R_f \Rightarrow V_0 = 2V \cdot \left[1 + \frac{10K}{2K} \right] \Rightarrow V_0 = 12V$$

Kapalı çevrim kazancı A_{CL} ;

$$A_{CL} = \left[1 + \frac{R_f}{R_1} \right] \Rightarrow A_{CL} = \left[1 + \frac{10K}{2K} \right] = 6$$

R_L yük direnci üzerinden geçen I_L yük akımı değeri;

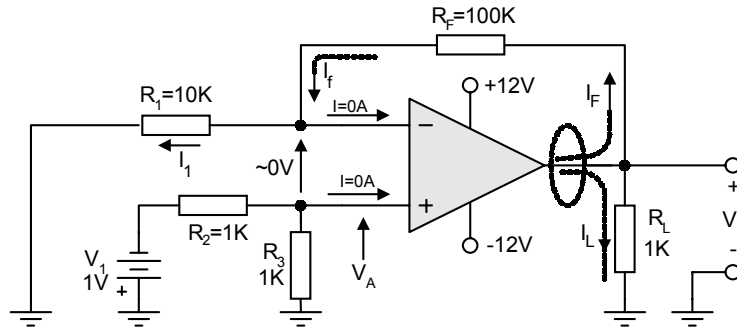
$$I_L = \frac{V_0}{R_L} \Rightarrow I_L = \frac{12V}{3.3K} = 3.63mA$$

Opamptan çekilen toplam Akım;

$$I_T = I_f + I_L \Rightarrow I_T = 1mA + 3.63mA = 4.63mA$$

**Örnek:
2.4**

Şekil-2.8'de görülen evirmeyen yükselteç devresinde; çıkış gerilimi V_0 , gerilim kazancını A_{CL} ve opamptan çekilen toplam akımı bulunuz?



Şekil-2.8 Evirmeyen Yükselteç Devresi

Cözüm

Devreyi analiz edebilmek için yapılması gereken ilk işlem, opamp'ın evirmeyen girişine uygulanan gerilim değerinin bulunmasıdır. Opamp'ın evirmeyen girişine uygulanan gerilime V_A dersek; Devreden V_A gerilimini bulalım.

$$V_A = \frac{V_1}{R_2 + R_3} \cdot R_3 \Rightarrow V_A = \left[\frac{-1V}{1K + 1K} \right] \Rightarrow V_A = -0.5V$$

Dolayısıyla evirmeyen yükseltecin çıkış gerilimi V_0 ;

Dolayısıyla evirmeyen yükseltecin çıkış gerilimi V_0 ;

$$V_0 = V_A \cdot \left[1 + \frac{R_F}{R_1} \right] \Rightarrow V_0 = -0.5 \cdot \left[1 + \frac{100K}{10K} \right] = -5.5V$$

R_L yük direnci üzerinden geçen I_L yük akımı ve I_1 akımının değeri;

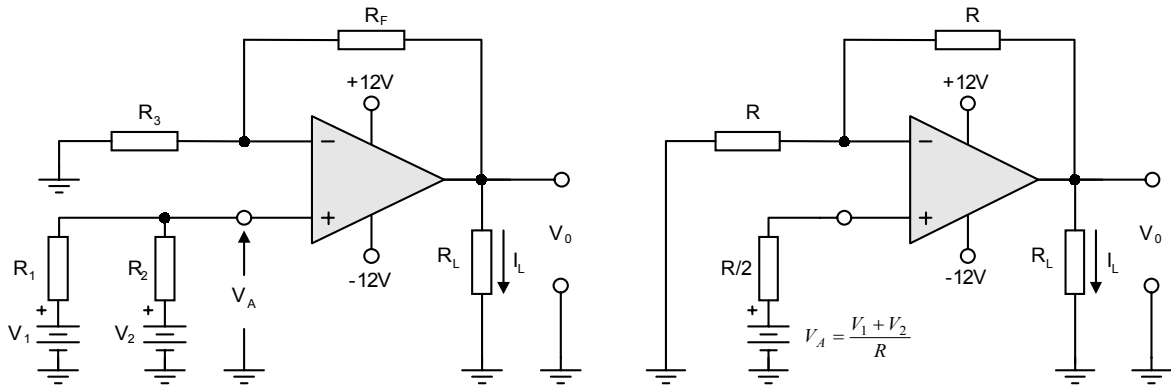
$$I_L = \frac{V_0}{R_L} = \frac{5.5V}{1K} = 5.5mA \Rightarrow I_1 = \frac{V_A}{R_1} = \frac{0.5V}{10K} = 0.05mA$$

Opamptan çekilen toplam akım ise;

$$I_T = I_F + I_L \Rightarrow I_T = 0.05mA + 5.5mA = 6mA$$

Evirmeyen Toplayıcı

Evirmeyen yükselteç kullanılarak toplama işlemi yapılabilir. Evirmeyen toplayıcı yükselteç uygulamasında toplanacak işaretler, opamp'ın evirmeyen girişine uygulanır. Opamp çıkışında ise bu işaretlerin toplamı alınır. Tipik bir evirmeyen toplayıcı devresi şekil-2.9.a'da görülmektedir. Devrede toplanacak giriş sayısı isteğe bağlı olarak artırılabilir. Şekildeki devrede örnekleme amacı ile iki girişli bir devre geliştirilmiştir. Devrede toplanması istenen V_1 ve V_2 gerilimleri R_1 ve R_2 dirençleri vasıtasıyla opamp'ın evirmeyen girişine uygulanmıştır. Opamp'ın evirmeyen girişinde oluşan gerilim şekilde V_A olarak tanımlanmıştır.



Şekil-2.9.a ve b Evirmeyen toplayıcı ve eşdeğer devresi

V_A geriliminin değerini bulmak için opamp özelliklerinden yararlanarak devreyi şekil-2.9.b'de görüldüğü gibi yeniden düzenleyebiliriz. Bu durumda V_A gerilimi K.G.K dan;

$$V_A = \frac{V_1 - V_2}{R_1 + R_2} \cdot R_2 + V_2$$

olacaktır. Devrede $R_1=R_2=R_3=R_4=R$ Kabul edersek,

$$V_A = \frac{V_1 - V_2}{2R} \cdot R + V_2$$

Bulunan bu eşitlikte gerekli sadeleştirme yapılırsa;

$$V_A = \frac{V_1 + V_2}{R}$$

bulunur. Devredeki giriş devresinin thevenin eşdeğer direnci ise;

$$R_{EŞ} = R_{TH} = \frac{R}{2}$$

değerindedir. Bu durumda çıkış gerilimi; V_0 ,

$$V_0 = 2 \cdot V_A$$

$$V_0 = V_1 + V_2$$

olarak bulunur.

Evirmeyen yükselteçle tıpkı eviren yükselteçteki gibi giriş gerilimlerinin ortalamasını alan veya toplayıp kuvvetlendiren devrelerde gerçekleştirilebilir. Örneğin devrede n adet giriş varsa R_F değeri;

$$R_F = (n-1) \cdot R$$

yapılır. Bu durumda yükselteç kazancı giriş sayısı kadar olup, çıkışta giriş gerilimlerinin toplamı olan bir gerilim değeri elde edilir.

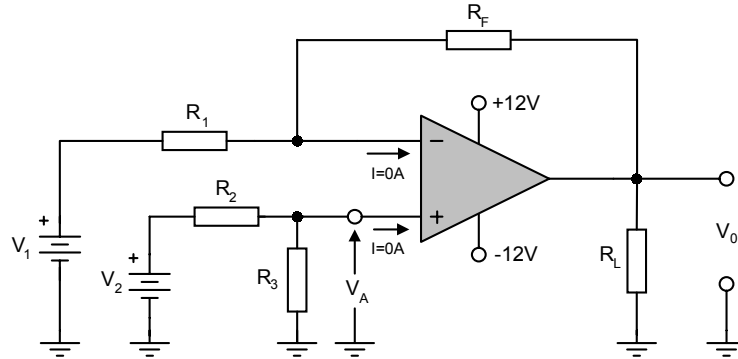
2.2 TEMEL FARK ALICI

Bu bölümde opamp'ların en temel uygulamalarından olan fark alıcı (diferansiyel) yükselteç devresi incelenecektir. Fark alıcı devre, genelde ölçme ve kontrol sistemlerinin tasarımında kullanılan temel yükselteç devresidir. Oldukça hassas ve kararlı bir çalışma karakteristiğine sahiptir.

Bu bölümde opamp'la gerçekleştirilen temel bir fark alıcı devreyi inceleyerek birkaç temel uygulama örneğini inceleyeceksiniz.

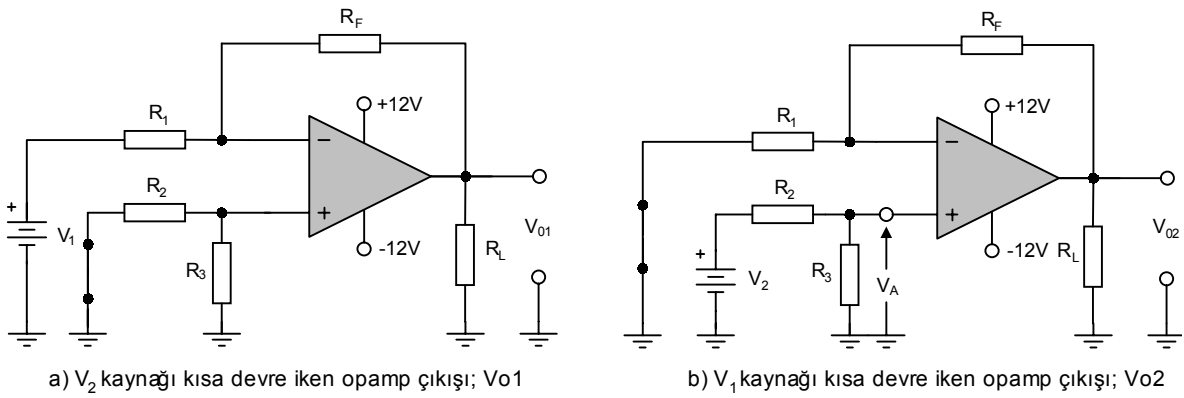
Temel fark alıcı devre, çıkarıcı amplifikatör (difference amplifier) veya farksal yükselteç olarak da isimlendirilir. Temel bir fark alıcı devresi şekil-2.9'da gösterilmiştir. Devre dikkatlice incelendiğinde opamp'ın her iki girişinin de kullanıldığı görülmektedir. Devrenin temel çalışma prensibi eviren ve evirmeyen girişlerine uygulanan işaretlerin farkını almasıdır. Bu tip yükselteçler pek çok endüstriyel uygulamada sıklıkla kullanılırlar.

Opamp devresinin fark alma (çıkarma) işlemini nasıl yaptığını şekil-2.10'dan yararlanarak açıklayalım. Bu devrede; girişten uygulanan iki ayrı işaretin farkı alınıp çıkışa aktarılmaktadır.



Şekil-2.10 Temel Fark Alıcı (differansiyel Amplifikatör) Devresi

Devrenin analizi için en uygun çözüm süper perpozisyon teoremi uygulamaktır. Bu işlem için önce V_2 girişini kısa devre yaparak, V_1 'den dolayı oluşan çıkış gerilimi V_{01} 'i bulalım. Bu işlem sonucunda devremiz şekil-2.11.a'da görülen biçimi alır.



a) V_2 kaynağı kısa devre iken opamp çıkışı; V_{01}

b) V_1 kaynağı kısa devre iken opamp çıkışı; V_{02}

Şekil-2.11.a ve b Fark alıcı devreye Super pozisyon teoreminin uygulanması

Devrede kullanılan R_2 ve R_3 dirençlerinin etkisi kalmaz. Çünkü opamp'ın giriş direnci yaklaşık sonsuz olduğu için üzerlerinden bir akım akmaz. Dolayısıyla üzerlerinde bir gerilim düşümü olmaz. Bu durumda devremiz bir evirmeyen yükselteç halini almıştır.

Dolayısıyla V_1 'den dolayı çıkış gerilimi V_{01} ;

$$V_{01} = -V_1 \cdot \frac{R_F}{R_1}$$

olarak bulunur. Devre eviren yükselteç özelliğindedir. V_2 giriş geriliminin çıkış etkisini bulabilmek için V_1 girişini kısa devre etmemiz gerekir. Bu işlem sonunda devremiz şekil-2.11.b'de gösterilen şekli alır. Bu devre evirmeyen yükselteç özelliğindedir. Devrenin çıkış gerilimini (V_{02}) hesaplayalım.

$$V_{02} = V_A \cdot \left(1 + \frac{R_F}{R_1}\right)$$

bulunur. V_A , opamp'ın evirmeyen girişine uygulanan gerilimdir. Değerini devreden aşağıdaki gibi yazabiliriz;

$$V_A = \frac{R_3}{R_3 + R_2} \cdot V_2$$

Bulunan V_A değerini V_{02} eşitliğinde yerine yerleştirirsek ;

$$V_{02} = \left[\frac{R_3}{R_2 + R_3} \cdot V_2 \right] \cdot \left[1 + \frac{R_F}{R_1} \right]$$

$$V_{02} = \left[1 + \frac{R_F}{R_1} \right] \cdot \left[\frac{R_3}{R_2 + R_3} \cdot V_2 \right]$$

Toplam çıkış gerilimi V_0 ise her iki çıkış geriliminin toplamı olacaktır.

$$V_0 = V_{01} + V_{02}$$

değerler yerleştirilirse , Toplam çıkış gerilimi ;

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

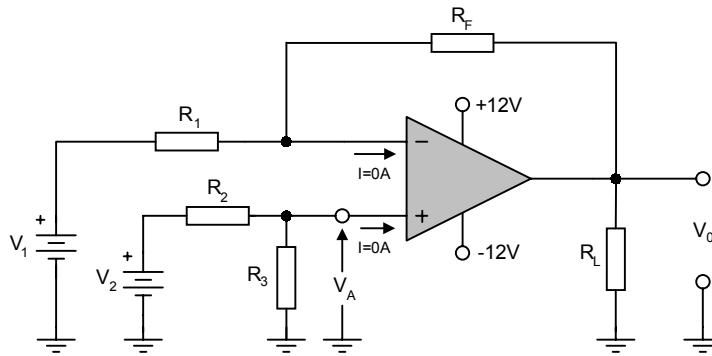
olarak bulunur. Örneğin şekil-2.12'deki temel fark alıcı devrede $R_1=R_2=R_3=R_F$ olarak seçilirse çıkış gerilimi;

$$V_0 = V_2 - V_1$$

olarak bulunur. Görüldüğü gibi devre girişine uygulanan gerilimlerin farkını almaktadır. Bu devrede;

$$R_3=R_F \text{ ve } R_1=R_2$$

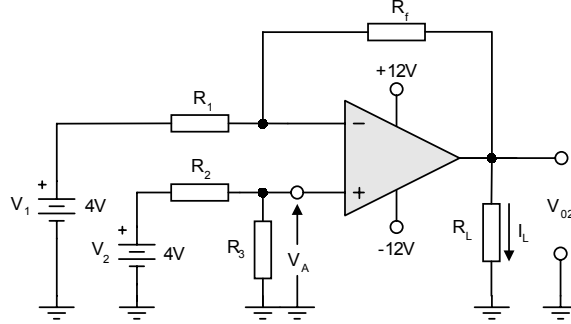
seçmek şartı ile devreyi fark yükseltici haline getirmek mümkündür.



Şekil-2.12 Temel Fark Alıcı (differansiyel Amplifikatör) Devresi

**Örnek:
2.5**

Şekil-2.13’de verilen fark alıcı devrede çıkış gerilimini (V_o) ve opamp’tan çekilen yük akımını (I_L) bulunuz? $R_1=R_2=R_3=10K\Omega$, $R_f=10K\Omega$, $R_L=1K\Omega$



Şekil-2.13 Temel Fark Alıcı devre

Cözüm:

Verilen devre V_1 ve V_2 işaretlerinin farkını alıp kuvvetlendirecektir. Önce çıkış işaretinin alacağı değeri bulalım. Bunun için;

$$V_o = \left[-\frac{R_f}{R_1} \cdot V_1 \right] + \left[\left(1 + \frac{R_f}{R_1} \right) \cdot V_A \right]$$

$$V_o = \left[-\frac{R_f}{R_1} V_1 \right] + \left[\left(1 + \frac{R_f}{R_1} \right) \cdot \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3} \cdot V_2 \right) \right]$$

$$V_o = \left[-\frac{10K\Omega}{10K\Omega} \cdot 4V \right] + \left[\left(1 + \frac{10K\Omega}{10K\Omega} \right) \cdot \left(\frac{10K\Omega}{10K\Omega + 10K\Omega} \cdot 4V \right) \right]$$

$$V_o = [-4V] + [(1+1) \cdot (0.5 \cdot 4V)]$$

$$V_o = [-4V] + [(4V)]$$

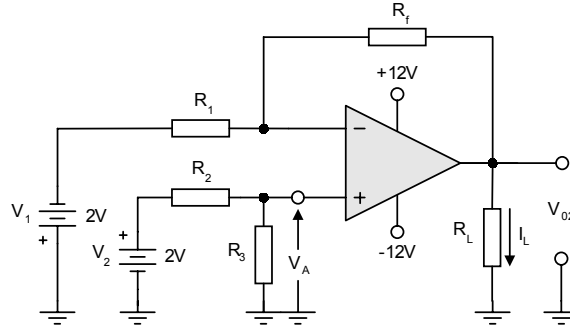
$$V_o = 0V$$

Görüldüğü gibi fark alıcı devre opamp girişine uygulanan işaretlerin farkını almıştır. Çıkış gerilimi $V_o = V_2 - V_1$ olmuştur. Opamp çıkışına bağlanan R_L yük direnci üzerinden geçen I_L akımını hesaplayalım.

$$I_L = \frac{V_o}{R_L} \Rightarrow I_L = \frac{0}{1K\Omega} = 0$$

**Örnek:
2.6**

Şekil-2.14'de verilen fark alıcı devrede çıkış gerilimini (V_o) ve opamp'tan çekilen yük akımını (I_L) bulunuz? $R_1=R_2=R_3=10K\Omega$, $R_f=10K\Omega$, $R_L=1K\Omega$



Şekil-2.14 Temel Fark alıcı devre

Cözüm

Verilen devre V_1 ve V_2 işaretlerinin farkını alıp kuvvetlendirecektir. Önce çıkış işaretinin alacağı değeri bulalım. Bunun için;

$$V_o = \left[-\frac{R_f}{R_1} \cdot V_1 \right] + \left[\left(1 + \frac{R_f}{R_1} \right) \cdot \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3} \cdot V_2 \right) \right]$$

$$V_o = \left[-\frac{10K\Omega}{10K\Omega} \cdot (-2V) \right] + \left[\left(1 + \frac{10K\Omega}{10K\Omega} \right) \cdot \left(\frac{10K\Omega}{10K\Omega + 10K\Omega} \cdot 2V \right) \right]$$

$$V_o = [2V] + [(1+1) \cdot (0.5 \cdot 2V)]$$

$$V_o = [2V] + [2V]$$

$$V_o = +4V$$

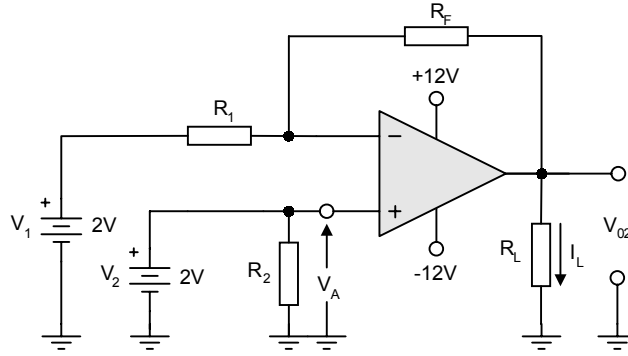
Görüldüğü gibi fark alıcı devre opamp girişine uygulanan işaretlerin farkını almıştır. Çıkış gerilimi $V_o = V_2 - V_1$ olmuştur.

Opamp çıkışına bağlanan R_L yük direnci üzerinden geçen I_L akımını hesaplayalım.

$$I_L = \frac{V_o}{R_L} \Rightarrow I_L = \frac{4V}{1K\Omega} = 4mA$$

Örnek:
2.7

Şekil-2.15’de verilen fark alıcı devrede çıkış gerilimini (V_o) ve opamp’tan çekilen yük akımını (I_L) bulunuz? $R_1=R_2=R_3=10K\Omega$, $R_f=10K\Omega$, $R_L=10K\Omega$



Şekil-2.13 Temel Fark Alıcı devre

Cözüm:

Verilen devre V_1 ve V_2 işaretlerinin farkını alıp kuvvetlendirecektir. Önce çıkış işaretinin alacağı değeri bulalım. Bunun için;

$$V_o = \left[-\frac{R_f}{R_1} \cdot V_1 \right] + \left[\left(1 + \frac{R_f}{R_1} \right) \cdot V_A \right]$$

$$V_o = \left[-\frac{R_f}{R_1} \cdot V_1 \right] + \left[\left(1 + \frac{R_f}{R_1} \right) \cdot (+2V) \right]$$

$$V_o = \left[-\frac{10K\Omega}{10K\Omega} \cdot 2V \right] + \left[\left(1 + \frac{10K\Omega}{10K\Omega} \right) \cdot (2V) \right]$$

$$V_o = [-2V] + [4V]$$

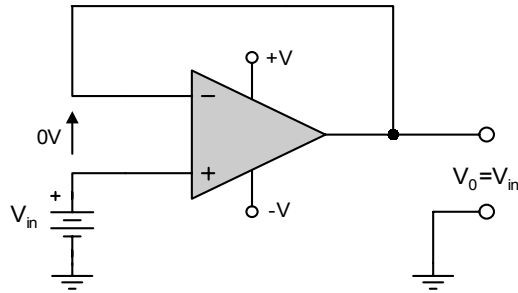
$$V_o = +2V$$

2.3 GERİLİM İZLEYİCİ

Opamp kullanılarak gerçekleştirilen diğer bir uygulama ise gerilim izleyicisi (Voltage Follower) olarak bilinir. Gerilim izleyici devreler: yüksek giriş, alçak çıkış empedansa sahip olmaları nedeniyle pek çok uygulama ve tasarımda sıklıkla kullanılırlar.

- Bu bölümde opamp’la gerçekleştirilen gerilim izleyici devreyi inceleyerek birkaç temel uygulama örneğini inceleyeceksiniz.

Gerilim izleyici devre, evirmeyen yükselteç devresinin özel bir halidir. Temel bir gerilim izleyici devre şekil-2.14’de verilmiştir. Dikkat edilirse bu devrede R_f geri besleme direnci kullanılmamış, geri besleme direkt yapılmıştır. Opamp girişleri arasında gerilim farkı olmadığından çıkış gerilimi V_o , giriş gerilimi ile aynıdır ($V_o=V_{in}$). Devrede gerilim kazancı yoktur. Bu nedenle bu tip devrelere gerilim izleyicisi denir.

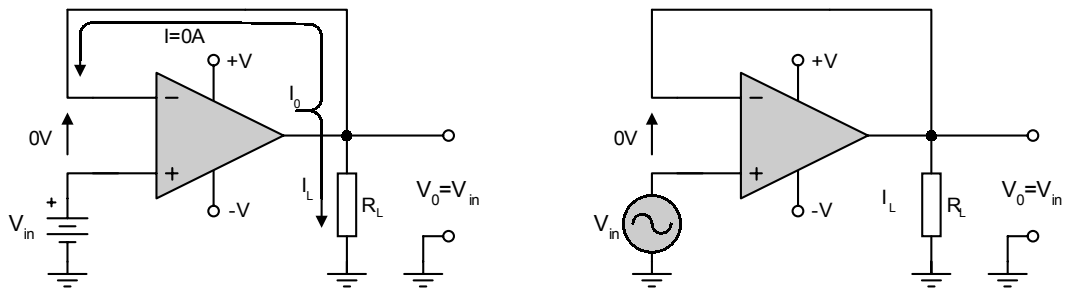


Şekil-2.14 Gerilim izleyici devre

Genel amaçlı opamplarla (LM 741 gibi) şekil-2.14'deki bağlantı yapılarak gerilim izleyicisi elde edilebileceği gibi yalnızca bu amaçla gerçekleştirilmiş operasyonel yükselteçlerde vardır. Örneğin LM 110 tümdevresi bu amaç için üretilmiştir. LM 110 tümdevresinde çıkışla eviren giriş arasındaki bağlantı tüm devre içerisinde yapılmıştır. LM 110 tümdevresinin bazı karakteristikleri aşağıda verilmiştir.

- Giriş direnci R_i : 106 M Ω (çok büyük)
- Giriş akımı I_{in} : 1 nA (çok küçük)
- Çıkış direnci R_o : 0.7 Ω (çok küçük)
- Band genişliği BG: 10 Mhz
- Gerilim Kazancı A_{Cl} : 0.9997

Dış bağlantı ile gerçekleştirilen gerilim izleyicileri de yaklaşık aynı değere sahiptirler. Gerilim izleyicilerinde giriş direnci çok büyük olduğu için bir önceki devreyi yüklemeyiz. Bu yüzden bunlara "buffer" veya "izolasyon amplifikatörü" denir. Dolayısı ile çıkış geriliminin genlik ve fazı girişle aynıdır. Şekil-2.15'de dc ve ac çalışma için gerilim izleyici devreleri ve çevre akımları verilmiştir. Yük akımı I_L , opamp'tan çekilen akıma eşittir.



Şekil-2.15 Gerilim izleyici devrenin dc ve ac çalışma şartları

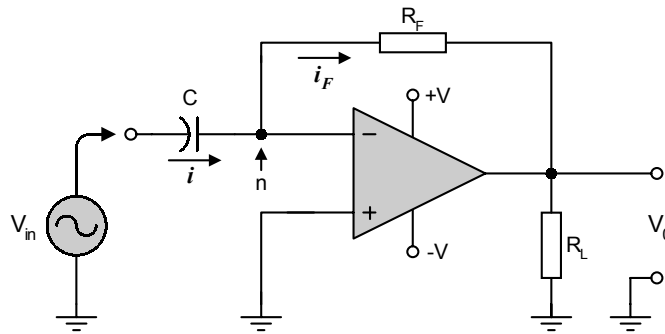
2.4 TÜREV VE ENTEGRAL ALICI

Bu bölüme kadar anlatılan opamp uygulamalarında geri besleme elemanlarının tamamen omik olduğu varsanıldı veya omik bir eleman olan direnc kullanıldı. Genel olarak elemanlar kapasitif ve endüktif özellik gösterdiklerinden giriş ve geri besleme direnci yerine empedans içeren (L ve C) elemanlarda kullanılır. Böylece tamamen omik eleman yerine, empedans kullanmakla devrenin işlevide büyük oranda değiştirilmiş olur.

- Bu bölümde opamp'la gerçekleştirilen temel türev ve entegral alıcı devreyi inceleyecek ve birkaç temel uygulama örneği göreceksiniz.

Türev Alıcı Devre

Türev alıcı devresi, genel olarak bir eviren yükselteç özelliğindedir. Fark olarak girişte R_1 direnci yerine C kondansatörü bulunmaktadır. Genel bir türev alıcı devresi şekil-2.16'da verilmiştir. Türev alıcı, girişinden uygulanan işaretin türevini alarak çıkışa aktaran bir devredir.



Şekil-2.16 Türev Alıcı Devre

Devrenin çalışmasını kısaca inceleyelim. Girişte kullanılan kondansatör, ac işaretleri geçiren fakat dc işaretleri geçirmeden üzerinde bloke eden bir devre elemanıdır. Dolayısı ile dc işaretler için türev alma söz konusu değildir. Gerçekte dc işaretler için türev alıcı çıkışı $V_0=0$ 'dır. Türev alıcı girişine mutlaka sinüsoydal işaret uygulanması söz konusu değildir. Frekans barındıran veya genliği zamana bağlı olarak değişen bir işaretin uygulanması yeterlidir. Şekil-2.16'da verilen türev alıcı devrenin çıkış gerilimi;

$$V_0 = -R_F \cdot i$$

değerine eşittir. C kondansatörü üzerinden akan i akımının değeri ise;

$$i = C \frac{dV_{in}}{dt}$$

olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla bu değer çıkış gerilimi için yeniden düzenlenirse;

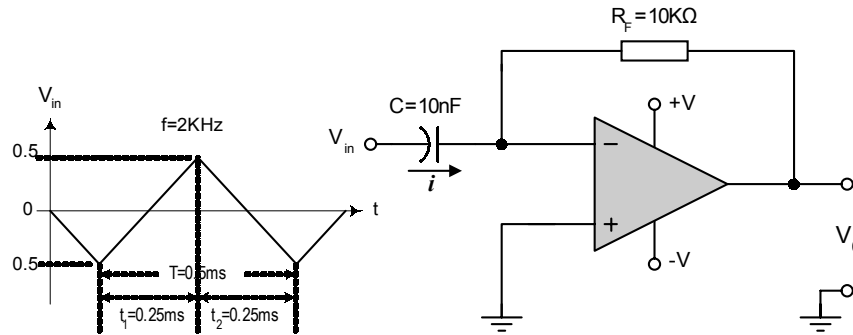
$$V_0 - R_F \cdot i \Rightarrow V_0 = -R_F \cdot C \frac{dV_{in}}{dt}$$

olarak ifade edilir. Bu denklemden de görüldüğü gibi çıkış gerilimi (V_0), giriş geriliminin türevi ile orantılıdır.

Türev alıcı devrenin çıkış denkleminde kullanılan; dV_{in}/dt ifadesi herhangi bir anda giriş işaretinin eğimini veya değişim hızını belirtmektedir. Bu ifade matematiksel olarak türev fonksiyonu olarak bilinir. Dolayısı ile içerisinde eğim veya değişim barındıran tüm işaretlerin türevini almak söz konusudur. Konunun daha iyi anlaşılması amacı ile aşağıda örnek bir devre çözümü verilmiştir.

**Örnek:
2.8**

Şekil-2.17’de verilen türev alıcı devre girişine genliği tepeden tepeye $V_{pp}=0.5V$ olan 2KHz’lik bir üçgen dalga işareti uygulanmıştır. Çıkış geriliminin (V_o) analizini yaparak dalga biçimini çiziniz.



Şekil-2.17 Türev alıcı devrenin analizi

Cözüm:

Verilen devrede önce pozitif eğimi hesaplayalım. V_1 ve V_2 işaretlerinin farkını alıp kuvvetlendirecektir. Önce çıkış işaretinin alacağı değeri bulalım. Bunun için;

$$\text{Pozitif egim} : t_1 = \frac{dV_{in}}{dt} = \frac{\Delta V_{in}}{\Delta t} = \frac{0.5V}{0.25 \cdot 10^{-3} s} = 2000 \frac{V}{s}$$

Pozitif eğim için çıkış gerilimini hesaplayalım,

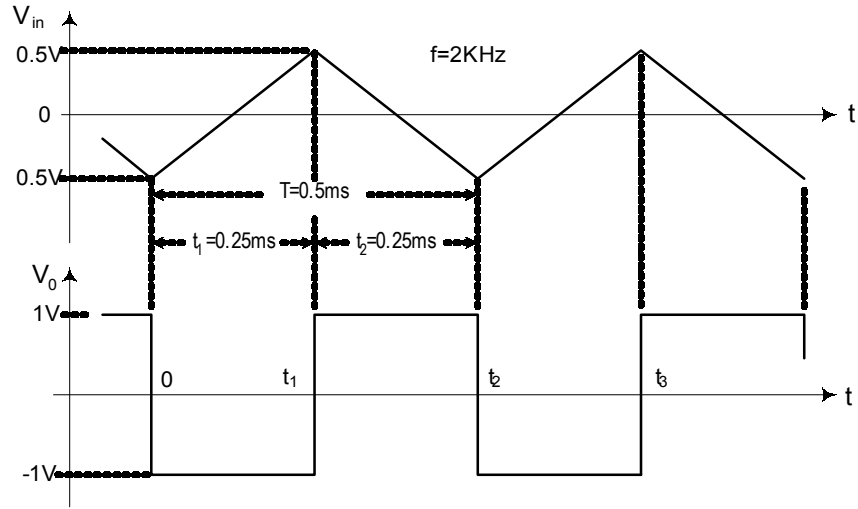
$$V_o(t_1) = -R_F \cdot C \frac{dV_{in}}{dt} = -50 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-9} \cdot 2000 = -1V$$

Negatif eğim için gerekli analizleri yapalım.

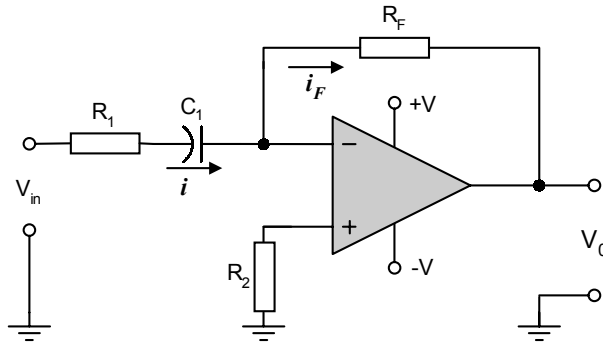
$$\text{Negatif egim} : t_2 = -\frac{dV_{in}}{dt} = -\frac{\Delta V_{in}}{\Delta t} = -\frac{0.5V}{0.25 \cdot 10^{-3} s} = -2000 \frac{V}{s}$$

$$V_o(t_2) = -R_F \cdot C \frac{dV_{in}}{dt} = -50 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-9} \cdot \left(-2000 \frac{V}{s}\right) = 1V$$

Yukarıda yapılan analizler ışığında giriş ve çıkış işaretlerini dalga biçimlerini birlikte gösterelim.



Pratik uygulamalarda şekil-2.16'daki devre yalın hali ile yeterli değildir. Örneğin yüksek frekanslarda C kondansatörü kısa devre gibi davranacağından yükselticinin kazancını artırarak doyuma götürebilir. Ayrıca V_{in} işaretinin içerisinde çeşitli gürültüler olabilir. Gürültü işaretleri ise çok geniş frekans tayfına sahiptir. Bu durumda gürültüde olduğu gibi yükseltilebilir. Bu istenmeyen durumu önlemek için opamp devresinin kazancını yüksek frekanslar için sınırlamak gerekir. Bu amaçla şekil-2.18'de görülen devre geliştirilmiştir.



Şekil-2.18 Türev alıcı devrenin analizi

Bu devrede giriş kazancı sınırlayan R_1 direnci eklenmiştir. Böylece devrenin gerilim kazancı R_F/R_1 ile sınırlanmıştır. R_2 direnci ise opamp girişlerindeki dc akım kompanzasyonunun sağlanması için kullanılmıştır. Ayrıca bu devrenin türev alıcı olarak çalışabilmesi için aşağıdaki iki şartın yerine getirilmesi gerekir.

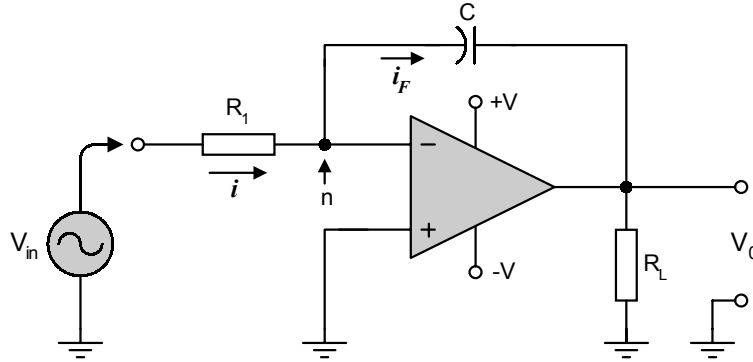
1- Devrede giriş işaretinin frekansı F_{GR} ; F_C değerine eşit yada ondan küçük olmalıdır.

$$F_{GR} \leq \frac{1}{2\pi \cdot R_1 \cdot C_1} = F_C$$

2- Devrede $R_F \cdot C_1$ çarpımı "zaman sabiti" olarak isimlendirilir. Giriş işaretinin periyodu yaklaşık bu değerde olmalıdır.

Entegral Alıcı

Entegral alıcı devre, girişe uygulanan işaretin entegralini alarak çıkışa aktarır. Bu işlemi gerçekleştiren bir entegral alıcı devre şekil-2.19'da gösterilmiştir. Görüldüğü gibi bu devrede geri besleme bir kondansatör yardımı ile yapılmaktadır.



Şekil-2.19 Entegral Alıcı Devre

Entegral alıcı devrenin n noktasındaki gerilim, opamp giriş özelliğinden dolayı 0 volt civarındadır. Bu durumda i akımı ise $i = V_{in}/R_1$ veya $i = -I_F$ dir. Bilindiği gibi kondansatör uçlarındaki gerilim;

$$V_C = \frac{1}{C} \int -I_F$$

Kondansatör üzerinden geçen akım ise;

$$I_C = C \frac{dv}{dt}$$

değerine eşittir.

Bu açıklamalardan sonra devredeki n noktası için K.A.K'yı yazalım;

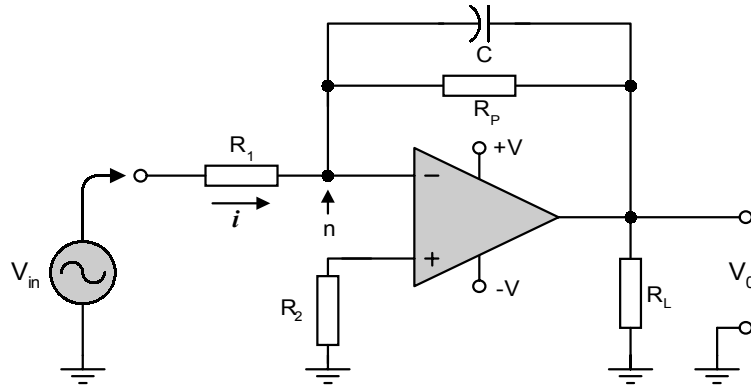
$$I - I_F = 0 \Rightarrow I = I_F$$

$$\frac{V_{in}}{R_1} - \left[-C \frac{dV_0}{dt} \right] = 0 \Rightarrow \frac{V_{in}}{R_1} + C \frac{dV_0}{dt}$$

V_0 değerini bulmak için her iki terimin zamana göre türevini alırsak;

$$V_0 = \frac{1}{R_1 \cdot C} \int V_{in} \cdot dt$$

değerini buluruz. Formülden de görüldüğü gibi opamp giriş geriliminin entegralini alan bir devre olarak çalışmaktadır. Bilindiği gibi entegral anlam olarak bir eğrinin altında kalan alana karşılık gelmektedir. Şekil-2.19'da verilen temel entegral alıcı devre bu haliyle yeterli değildir. Geliştirilmiş bir entegral alıcı devresi şekil-2.20'de verilmiştir.



Şekil-2.20 Geliştirilmiş Entegral Alıcı Devre

Bu devrede; giriş ofset geriliminin giderek opamp çıkışını doyuma götürmesini engellemek amacıyla C kondansatörüne paralel bir R_P direnci bağlanmıştır. Bu direnç, opamp'ın gerilim kazancını da sınırlamaktadır. Ayrıca giriş polarma akımlarının eşit olmayışından doğacak ofset geriliminin etkilerini gidermek amacı ile R_2 direnci kullanılmıştır. Bu direncin değeri $R_2=R_f/R_1$ olmalıdır. Opampın entegral alıcı olarak görev yapabilmesi için girişine uygulanacak işaretin frekansı (f_{GR}), f_c değerine eşit yada ondan büyük olmalıdır.

$$(f_{GR} \geq f_c)$$

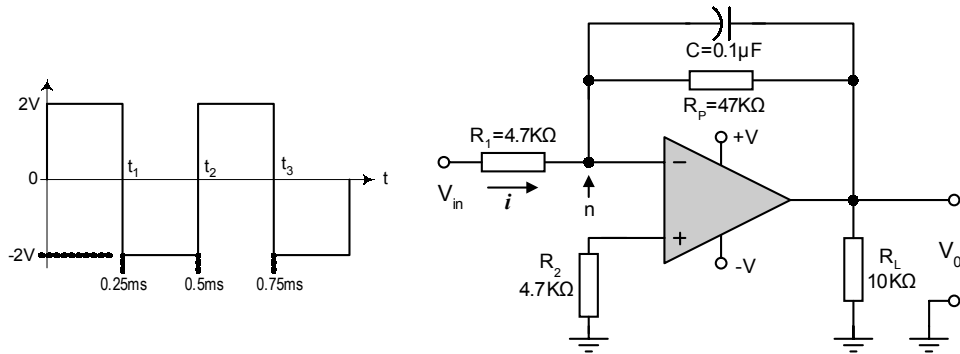
$$F_{GR} \geq F_C = \frac{1}{2\pi \cdot R_P \cdot C_F}$$

Ayrıca devrenin zaman sabitesi ($1/R_1 \cdot C_f$) ile, girişe uygulanan işaretin frekansı $f_{GR} < f_c$ olduğunda devre sadece eviren yükselteç olarak çalışır.

Bilindiği gibi devre entegral alıcı olarak çalıştığı zaman, giriş işaretinin entegralini alarak çıkışa aktarır. Örneğin giriş işareti kare dalga biçiminde ise, devre çıkışında üçgen dalga bir işaret alınır. Konunun daha iyi anlaşılması amacı ile aşağıda örnek bir devre analizi verilmiştir.

**Örnek:
2.9**

Şekil-2.21'de verilen türev alıcı devre girişine genliği tepeden tepeyede $V_{pp}=2V$ olan 2KHz'lik bir kare dalga işareti uygulanmıştır. Çıkış geriliminin (V_o) analizini yaparak dalga biçimini çiziniz.



Şekil-2.21 Entegral alıcı devrenin analizi

Cözüm:

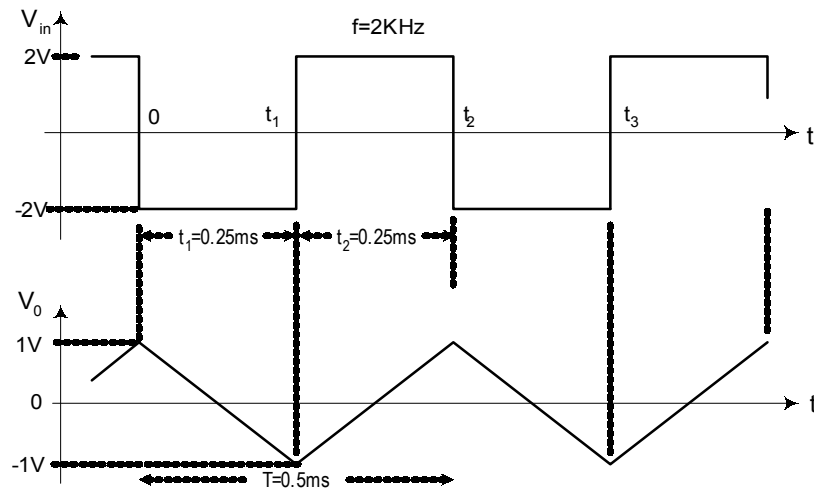
Verilen devrede pozitif yarı saykıl (alternans) için çıkış gerilimini hesaplayalım.

$$V_0(t_1) = -\frac{1}{R_1 \cdot C} \int_0^{T/2} V_m \cdot dt = -\frac{V_m}{R_1 \cdot C} \cdot t \Big|_0^{t_1} = \frac{2V}{4.7 \cdot 10^3 \cdot 0.1 \cdot 10^{-6}} \cdot (0.25 \cdot 10^{-3})$$
$$V_0(t_1) \cong -1V$$

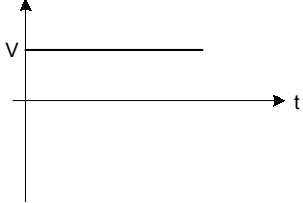
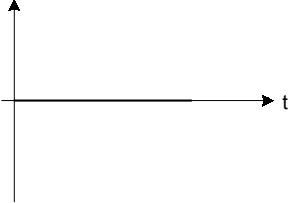
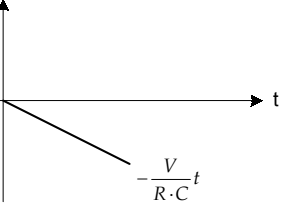
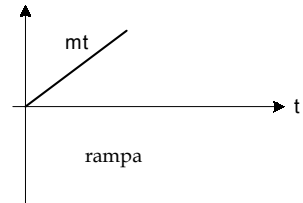
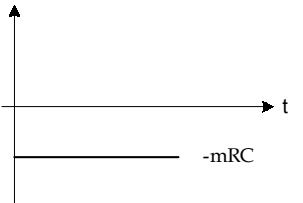
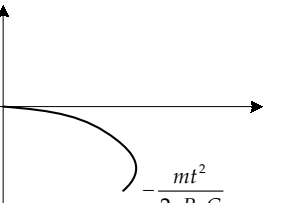
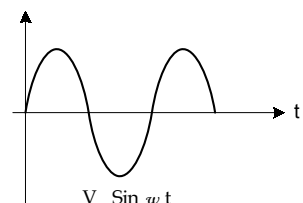
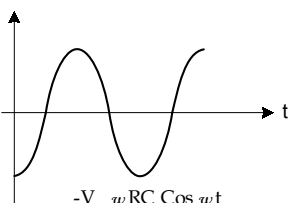
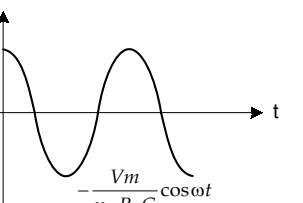
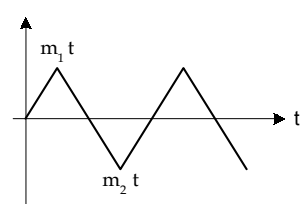
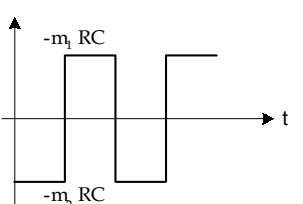
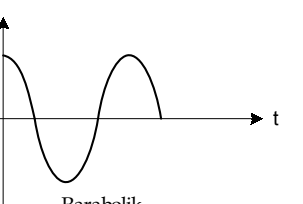
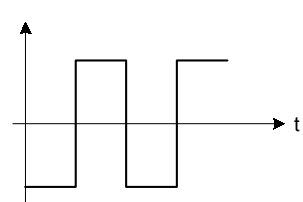
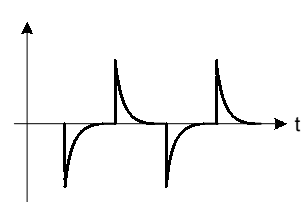
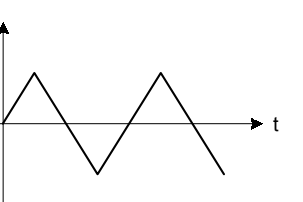
Negatif yarı saykıl;

$$V_0(t_2) = -\frac{1}{R_1 \cdot C} \int_{T/2}^T -V_m \cdot dt = +\frac{V_m}{R_1 \cdot C} \cdot t \Big|_{t_1}^{t_2} = \frac{2V}{4.7 \cdot 10^3 \cdot 0.1 \cdot 10^{-6}} \cdot (0.25 \cdot 10^{-3})$$
$$V_0(t_2) \cong +1V$$

Yukarıda yapılan analizler ışığında giriş ve çıkış işaretlerini dalga biçimlerini birlikte gösterelim.



Türev ve entegral alıcı devreler, elektronik endüstrisinde pek çok alanda kullanılırlar. Bu durum dikkate alınarak çeşitli işaretler için türev ve entegral alıcı devrenin çıkışlarında oluşturabilecekleri dalga biçimleri şekil-2.22' de verilmiştir.

Giriş İşareti Dalga Şekli	Opamp'la Türevi (dV/dt)	Opamp'la Entegrali
		
		
		
		
		

Şekil-2.22 Opamp'la gerçekleştirilen türev ve entegral alıcı devrelerinin bazı giriş işaretlerinde çıkış dalga biçimleri