

BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ

ALAPLI MESLEK YÜKSEK OKULU

ELEKTRONİK II

DERS NOTLARI

ÖĞR.GÖR.İSMAİL ŞAHİN

OPERATIONAL AMPLIFIERS : OP-AMP

Op-Amp'lar karmaşık sistemlerin temelini oluşturur. Bu bakımdan Op-Amp'ları, taşıdıkları özellikleri ve karakteristikleri ile birlikte bilmek gerekir.

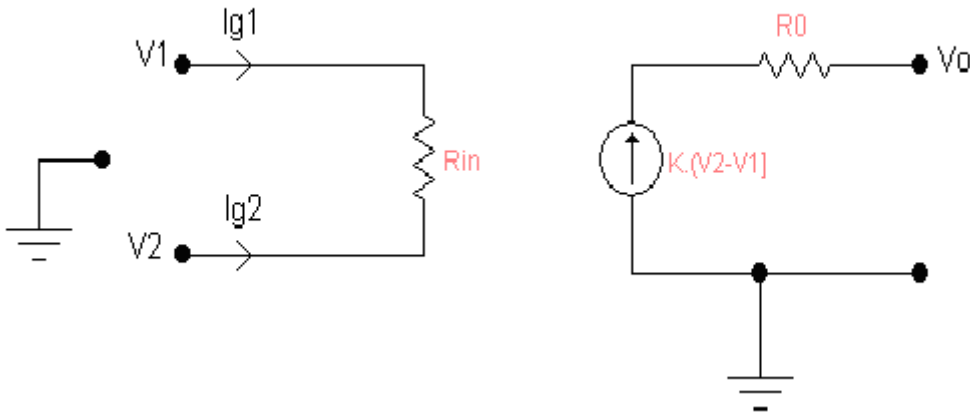
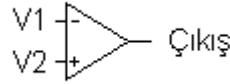
Örnek: 741 Entegresi

Op-Amp'lardirek kublajlı ve yüksek kazançlı devre elemanlarıdır. Devresinde fazla değişiklik yapmadan kazancını ayarlamak mümkündür.

KULLANILDIĞI YERLER

- 1.Faz çevirici eleman olarak kullanılması
- 2.Voltaj izleyici eleman olarak kullanılması
- 3.Faz çevirmeyen eleman olarak kullanılması
- 4.Toplayıcı devre olarak kullanılması
- 5.Fark Amplifikatörü olarak kullanılması
- 6.Karşılaştırıcı olarak kullanılması
- 7.İntegral Devresi olarak kullanılması
- 8.Türev Devresi olarak kullanılması
- 9.Filtre Devresi olarak kullanılması
- 10.D/A Çevirici olarak kullanılması
- 11.Osilatör olarak kullanılması.....vb

NOT: Şekilde bir op-amp'ın sembolü ve düşük frekanstaki eşdeğer devresi verilmiştir.



İDEAL BİR OP-AMP'TA OLMASI GEREKEN ÖZELLİKLER

1. Açık çevrim gerilim kazancı sonsuzdur ($K = \text{Sonsuz}$)
2. $V_1=V_2$ için (V_1, V_2 birbirinden bağımsız olarak) $V_0=0$
3. Giriş direnci sonsuzdur (R_{in})
4. Giriş akımları sıfırdır, ($I_{g1}=I_{g2}=0$)
5. Çıkış direnci sıfırdır, ($R_0=0$)
6. Band genişliği sonsuzdur, $BW = \text{SONSUZ}$
7. Gürültü yoktur.
8. Karakteristikleri sıcaklıkla ve zamanla değişmez

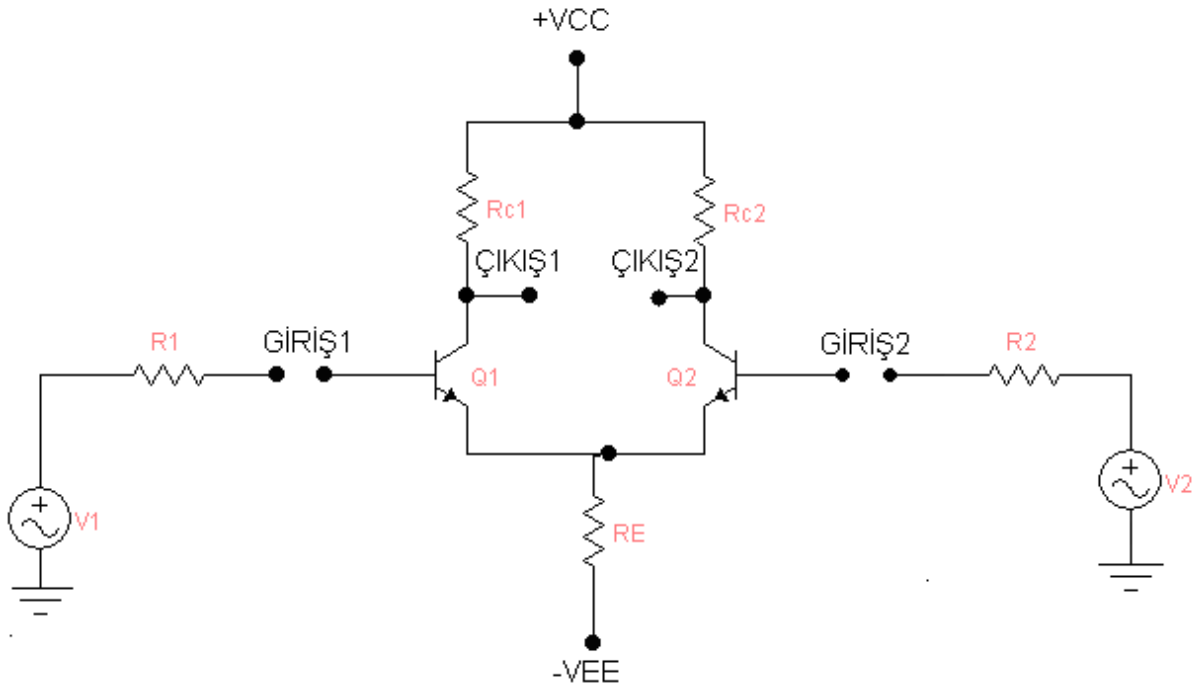
Bu özellikler OP-AMP'ların ideal oldukları kabul edilerek sıralanmıştır. OP-AMP'ların bu özellikleri pratikte çok fazla değişmez ve bu özelliklerin bazıları firmalar tarafından kataloglarda belirtilir.

OP-AMP'LARIN İDEAL OLMAYAN ÖZELLİKLERİ

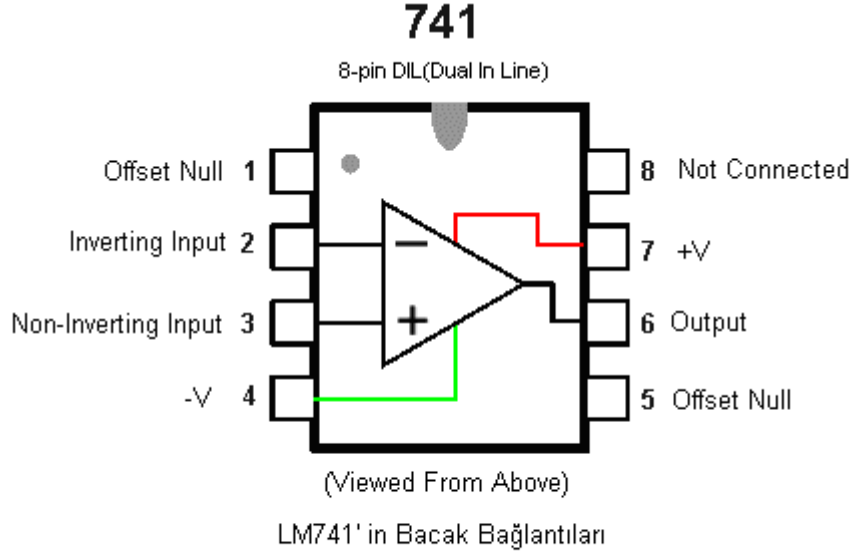
1. Ortam sıcaklığının belirli sınırlar içinde olması $0^\circ\text{C} < Z < 70^\circ\text{C}$
2. Besleme geriliminin $V_+=15\text{volt}$, $V_-=15\text{volt}$
3. Kaynak direncinin $R_s < 10\text{ Kohm}$
4. Yük direncinin $R_L > 10\text{ Kohm}$

GİRİŞ DENGESİZLİK, OFSET GERİLİMİ

İdeal durumda $V_0=0$ olması için $V_2-V_1=0$ olmalıdır.



$$I_e = I_{c1} + I_{c2}$$



OP-AMP'ların giriş katlarında şekildeki gibi devreler kullanılır. Bu devrelerdeki transistör çiftleri tam eş değil ise beyz-emiter gerilimleri azda olsa fark eder. Giriş katındaki bu değişiklik yükseltilerek çıkışa ulaşır. Sonuçta $V_1=V_2=0$ iken çıkış gerilimi sıfırdan farklı olur. Çıkıştaki bu gerilime çıkış ofset (dengesizlik) gerilimi denir. Giriş ofset gerilimi çıkışı sıfır yapacak olan girişteki (V_2-V_1) fark gerilimi olarak tanımlanır. LM741'in giriş ofset gerilimi 1mv kadardır. Ofset gerilimi Op-Amp'a bağlanan 10 kohm'luk bir potansiyometre yardımı ile ayarlanır. Bu işlem yapılırken Op-Amp'ın her iki girişinde 50'şer ohm'luk bir dirençle şaseye bağlamak gerekir. Eğer Op-Amp'ta geri besleme varsa geri beslemeli durumda ofset ayarı yapılmalıdır. Ortam sıcaklığı değiştiğinde transistörlerin beyz-emiter gerilimleri de değişir. Bu değişim sonucu Op-Amp'ın ofset ayarı bozulmuş olur. LM741 için ofset kayması 15 mv/C olarak verilmiştir.

GİRİŞ OFSET AKIMI (I_{os})

$V_0=0$ iken Op-Amp girişindeki akımların farkı olarak tanımlanır. LM741 için yaklaşık 21 mA dir. Sıcaklıkla ofset akımlarındaki kayma maksimum 0–5 mA/C kadardır.

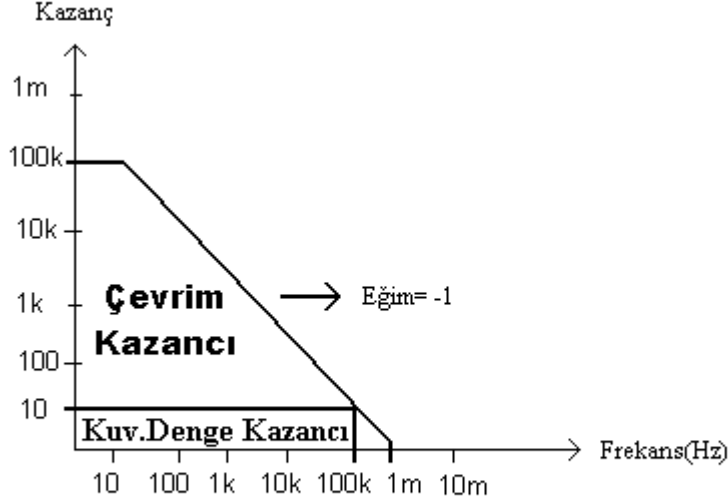
GİRİŞ POLARMA AKIMI (I_B)

Op-Amp giriş akımları ideal halde sıfırdır. Ancak giriş transistörlerinin normal çalışma bölgelerine ulaşabilmesi için beyz akımlarını belli değerlere getirmek gerekir. LM741 için giriş polarma akımı 80 nA kadardır. FET girişli LM13741 için bu akım $I_B=50pA$ civarındadır.

GİRİŞ DİRENCİ (R_{in})

Op-Amp fark girişleri arasında görülen fark giriş direnci veya her bir giriş ile şase arasında tanımlanan ortak mod giriş direnci olarak tanımlanır. Kataloglarda sadece giriş direnci olarak verilir. LM741 için $R_{in}=2Mohm$, LM741 için $R_{in}=5-10 ohm$ kadardır.

AÇIK ÇEVİRİM GERİLİM KAZANCI



Op-Amp'ın Frekans Karakteristiği

Op-Amp'ın alçak frekanslardaki açık çevrim gerilim kazancı V/mv veya dB birimleri ile verilir. Eğer gerilim kazancı dB olarak verilirse;

$K = 20 \log V_0 / (V_2 - V_1)$ olarak tanımlanır.

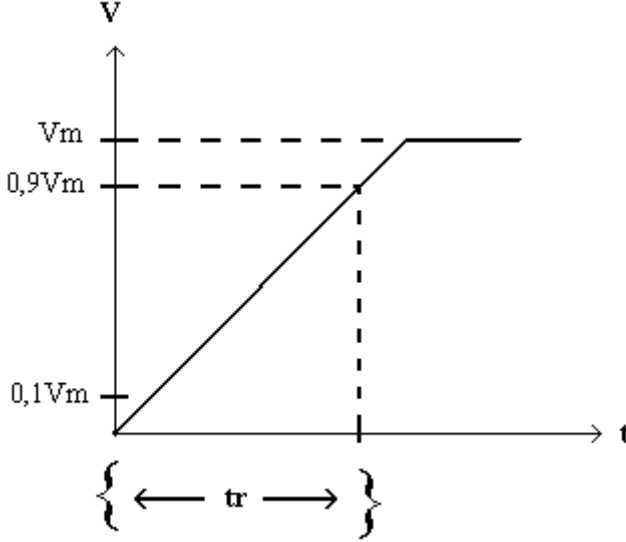
741 için $K = 200 \text{ V/mV}$

Yüksek frekanslarda kazancın eğimi -1 olduğundan Op-Amp'ın kazancı geri besleme ile ne kadar düşürülürse band genişliği de aynı oranda artar. Yani kazanç band genişliği çarpımı (GBW) sabit kalır. LM741 için $\text{GBW} = 1 \text{ MHz}$ 'dir. Bu değer kazancın 1 olduğu yerdeki frekans (f_{co}) olduğundan GBW' ye birim kazanç band genişliği denir. O halde birim kazanç band genişliği GBW olan bir Op-Amp'ın kazancı geri besleme ile kapalı çevrim kazancı (k_n) yapılacak olursa bu kazançtaki band genişliği;

$B_n = \text{GBW}$: K_n şeklinde hesaplanabilir.

YÜKSELME SÜRESİ (t_r)

Op-Amp'ın girişine bir darbe gerilimi uygulandığında çıkış geriliminin en son ulaşacağı gerilim seviyesinin (V_m) %90'ına erişmesi için geçen süredir.



Şekilde giriş geriliminin 0 seviyesinden itibaren değişmeye başladığı düşünülmüştür. Ancak çıkış geriliminin işaret değiştirmesi durumunda V_m olarak işaretin tepeden tepeye olan değeri alınmalıdır. yükselme süresi, kazancın (k_n) dolayısıyla band genişliğinin bir fonksiyonudur.

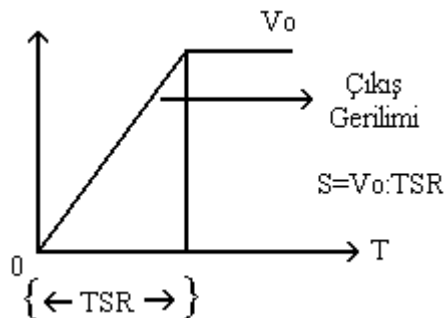
Bu Fonksiyon; $t_r \cdot B_n = 0,35$ olarak verilir.

LM741 için (200 mV'luk bir giriş işareti için) yükselme süresi $t_r = 0,3$ mikro sn olarak verilir.

ÇIKIŞTA İZİN VERİLEN MAKSİMUM GERİLİM DEĞİŞİM SINIRLARI ($-V_k$, $+V_k$)

Op-Amp çıkış gerilimi ideal halde V_+ ve V_- kaynak gerilim değerlerine kadar çıkabilir. Ancak pratikte çıkış gerilimi hiçbir zaman kaynak gerilimi değerlerine ulaşmaz. Alttan $-V_k$ ve üstten $+V_k$ değerlerinde kırılır. LM741 için $V_k = -13, +13$ kadardır.

BÜYÜK İŞARET DEĞİŞİM HIZI (S)



OP-AMP'ın girişine büyük genlikli bir darbe gerilimi uygulandığında çıkış gerilimi kırpılır ve çıkışta $-V_k$ ile $+V_k$ arasında değişen bir gerilim elde edilir. Bu değişim ideal halde çok kısa olması gerekirken, pratikte bir TSR süresi kadardır. Bu geçişin eğimi olarak tanımlanan S ; birim zaman başına gerilimdeki değişim miktarı olup ;

$$S = 2V_k : \text{TSR} \text{ şeklinde hesaplanır.}$$

$2V_k$; çıkış geriliminin tepeden tepeye olan değişim miktarıdır. LM741 için $S=0,5V/msn$ kadardır.

ORTAK İŞARET BASTIRMA ORANI (CMRR)

OP-AMP' ların ofset ayarı yapıldıktan sonra bile girişleri birleştirip büyük genlikli ortak bir işaret gerilimi (CMV) uygulanırsa op-amp çıkışından hiçbir işaret alınamaz. Yani $V_o=0$ olması gerekir. Bu; ideal bir op-amp'da ortak işaret kazancının (CMG) sıfır olması demektir. Ancak pratikte bu şart gerçekleşmez. Yani op-amp'lar ortak işareti yükseltirler. Bu durumda ortak işaret bastırma oranı; op-amp çıkışında ölçülen gerilim op-amp girişine uygulanan ortak işaret gerilimine oranı olarak tanımlanır. dB olarak hesaplanırsa elde edilecek değerdeki işaret negatif çıkar. bundan kurtulmak için CMRR tanımında genellikle gerilimlerin oranı ters olarak verilir. LM741 için CMRR 90 dB kadardır. ancak geri besleme yapılmış op-amp'larda bu oran, op-amp'ın fark kazancının (DG) ortak işaret kazancına (CMG) oranı olarak verilir. Ortak işaret bastırma oranı iyi bir op-amp için 80 dB 'in üzerindedir (10.000). Bu durumda istenen fark giriş gerilimi, girişlerde ortak olarak görülecek olan istenmeyen gürültü gerilimine göre 10.000 defa daha çok kuvvetlendirilecek.

$$\text{CMRR} = \text{DG} : \text{CMG}$$

GİRİŞ KAPASİTESİ (Cin)

LM741 için $C_{in}=1.4pf$ kadardır.

ÇIKIŞ DİRENCİ (RO)

LM741 için $R_o=75 \text{ ohm}$

ÇIKIŞ KISA DEVRE AKIMI (Iomax)

Op-Amp çıkışı şaseye veya kaynağa kısa devre edildiğinde, Op-Amp zarar görmeyecek şekilde korunmuştur.

LM741 için $I_{omax}=25mA$

MAKSİMUM GÜÇ HARCAMASI (Pdis)

Op-Amp'ın çalışırken kendi içinde açığa çıkacak olan maksimum güçtür.

LM741 için $P_{dis}=0,5mW$ kadardır.

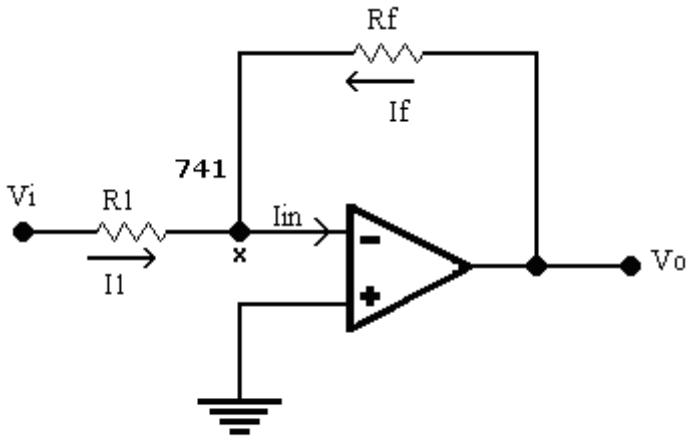
İZİN VERİLEN MAKSİMUM GİRİŞ GERİLİMİ (Vinmax)

Girişlere verilebilecek maksimum gerilim V_+ , V_- kadar olmalıdır.

KAYNAK AKIMI (Is)

Op-Amp yük direncinin bağlanmadığı (RL) ve çıkış geriliminin 0 olduğu şartlarda Op-Amp'ın kaynaktan çektiği akımdır. LM741 için $I_s = 1,7 \text{ mA}$ kadardır.

OP-AMP'IN EVİRİCİ OLARAK KULLANILMASI (INVERTING OP-AMP)



Eviren Yükselteç

DC sinyal uygulansa dahi bu yükselteç, girişine uygulanan sinyallerin seviyesine yükseltir, şiddetlendirir. 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 özelliklerinden biri de (+) ve (-) giriş uçlarında potansiyel fark 0 Volt'tur. Çünkü OP-AMP 'ların giriş empedansları çok yüksek olduğundan (+) ve (-) giriş uçlarından akan akım pratikte nanoamper seviyesindedir. İdeal bir OP-AMP 'ta (+) ve (-) giriş uçlarından akım akmadığı kabul edilirse, (+) ve (-) giriş uçlarındaki voltaj farkı da sıfır olacaktır. Bundan dolayı OP-AMP 'larda devreye giren akım, elemana girmez kabul edilir.

Şekildeki devrede giriş sinyali OP-AMP 'ın (-) ucu olan faz çeviren girişine uygulandığı için devrenin adı EVİREN YÜKSELTEÇ 'tir. Bu devrede R_1 direnci giriş, R_f direnci ise geri besleme (feedback) direncidir. Giriş AC veya

$$I_{in} = 0 \quad I_1 + I_f = I_{in}$$

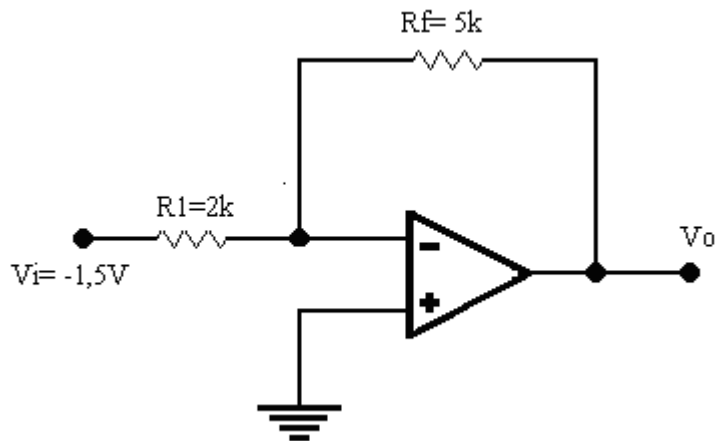
$$I_1 + I_f = 0 \quad I_1 = -I_f$$

$$\frac{V_i}{R_1} = -\frac{V_o}{R_f} \quad K_n = \frac{V_o}{V_i} = ?$$

$$V_o = ? \quad \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_f}{R_1}$$

$$V_o = -\frac{R_f}{R_1} \cdot V_i$$

Örnek:



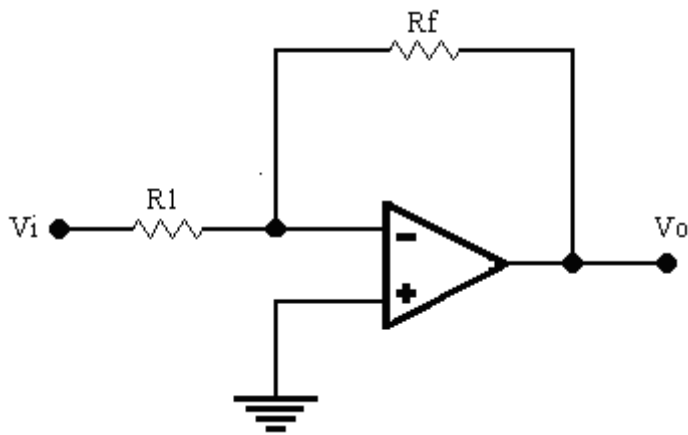
- a)** Çıkış Gerilimini,
b) Kazancını Hesaplayınız.

$$a = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_f}{R_1} = \frac{-5}{2} = -2,5$$

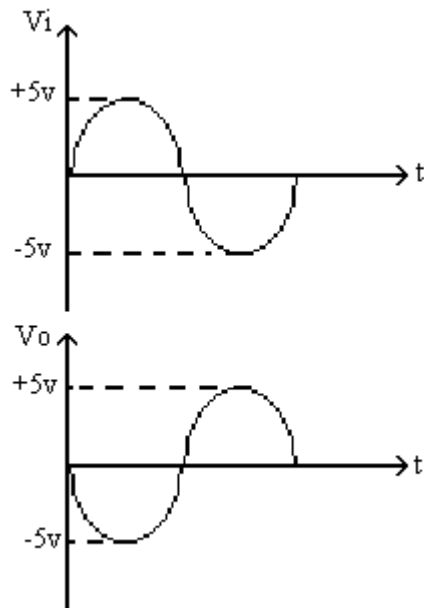
$$b = V_o = -\frac{R_f}{R_1} \cdot V_i$$

$$V_o = K_n \cdot V_i$$

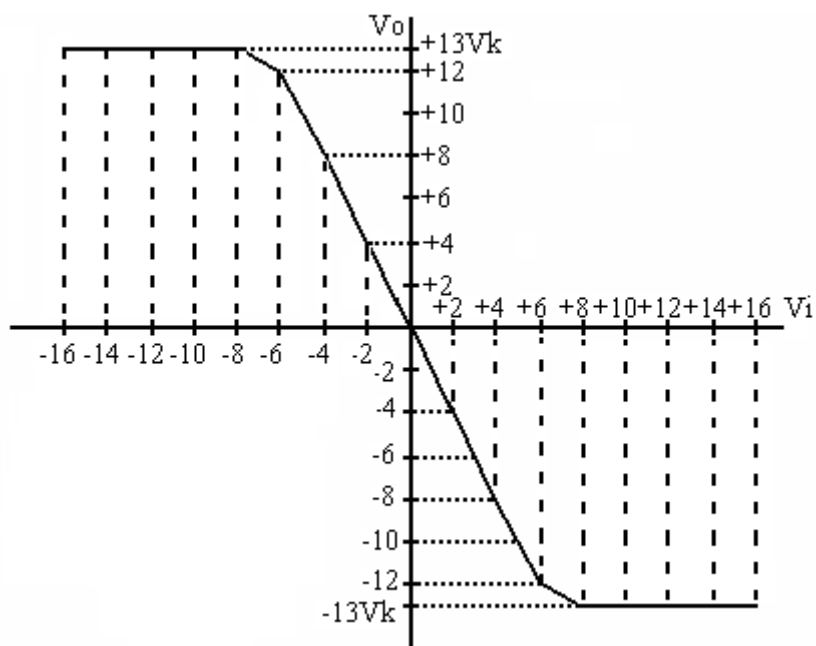
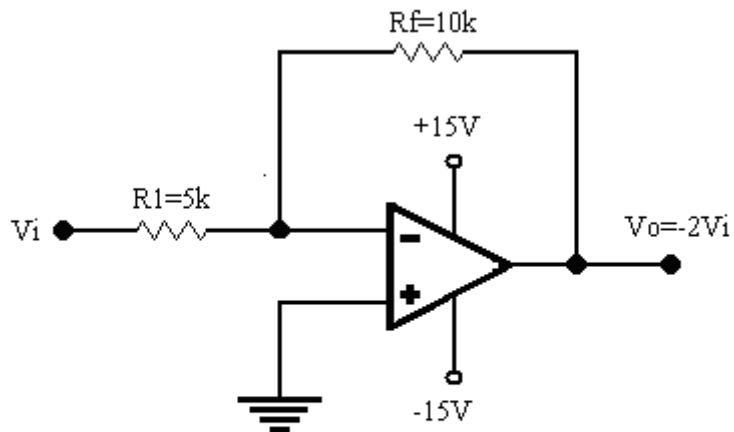
$$= 3,75V$$



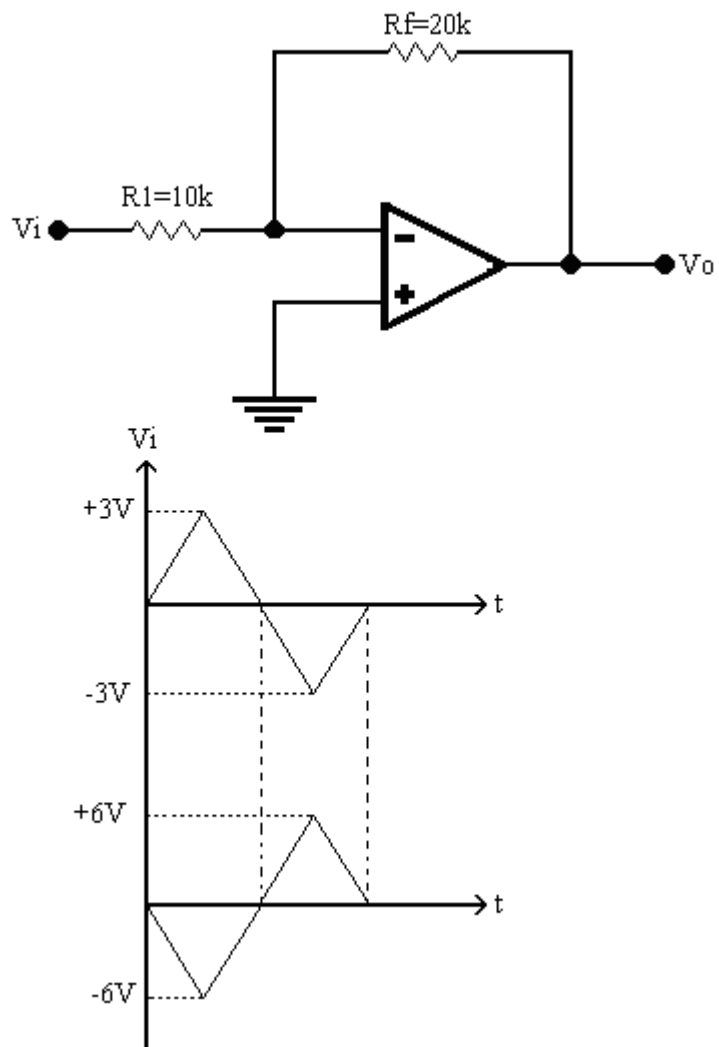
$R_1 = R_f$ ise;
 $V_o = -V_i$



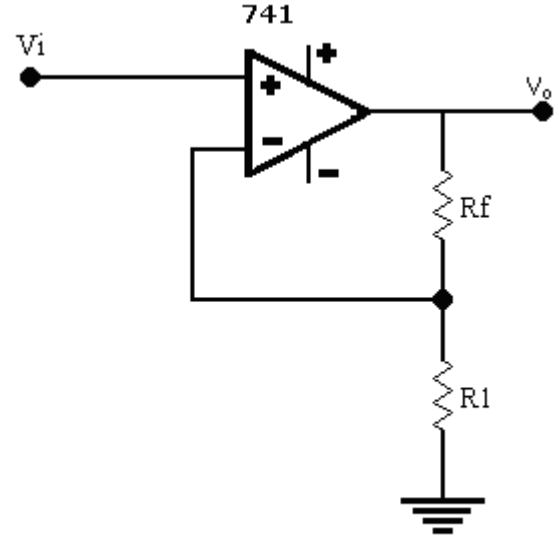
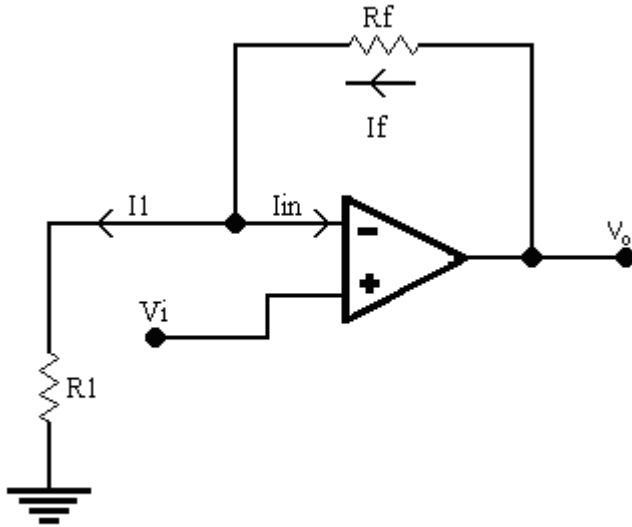
Örnek:



Örnek:



OP-AMP'LARIN FAZ ÇEVİRMEYEN ELEMAN OLARAK KULLANILMASI



$$I_{in} = 0$$

$$I_f = I_1 + I_{in}$$

$$I_f = I_1 + 0$$

$$I_f = I_1$$

$$\frac{V_o - V_i}{R_f} = \frac{V_i}{R_1}$$

$$\frac{V_o}{R_f} = \frac{V_i}{R_1} + \frac{V_i}{R_f}$$

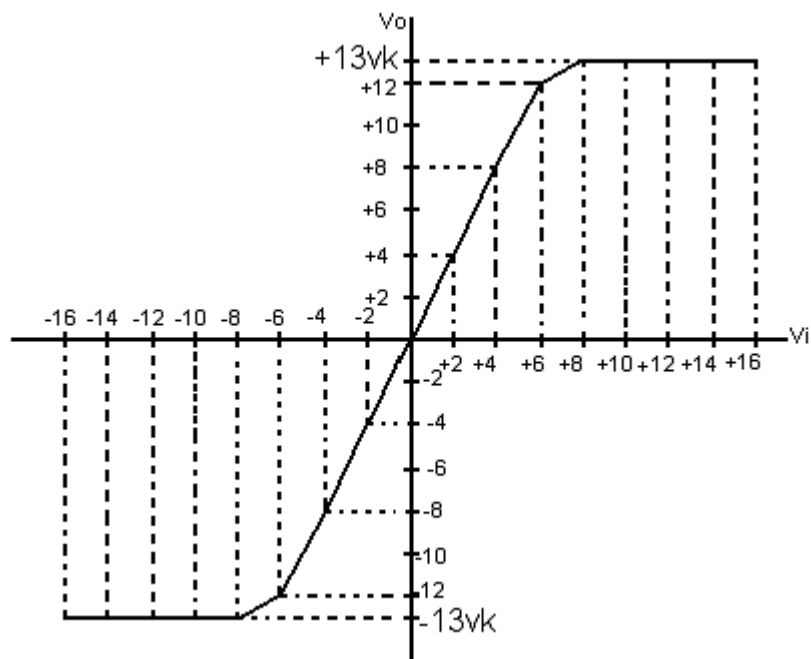
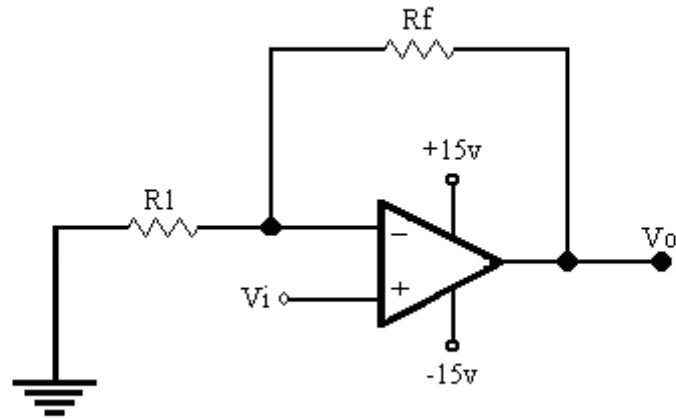
$$V_o = \left(\frac{V_i}{R_1} + \frac{V_i}{R_f} \right) \cdot R_f$$

$$V_o = \left(\left(\frac{R_f}{R_1} \right) + 1 \right) \cdot V_i$$

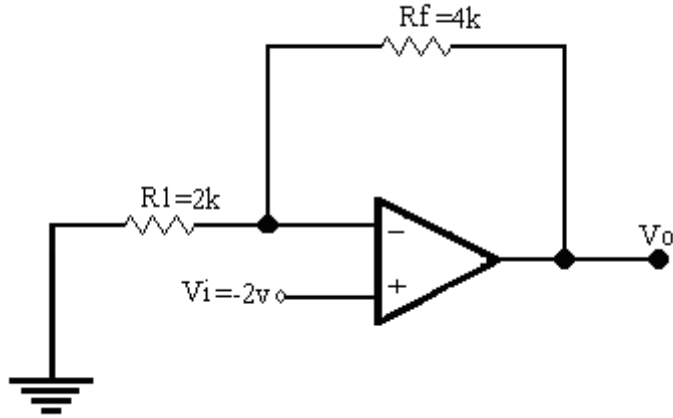
$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = ?$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \left(\frac{R_f}{R_1} \right) + 1$$

Örnek:
 $R_1=R_f$;



Örnek:



$$V_o = ?$$

$$V_o = -2V \cdot \left(\frac{4}{2} + 1 \right) = -6V$$

$$K_n = 1 + \frac{4}{2} = 3$$

Örnek: $V_1 = 2V$ $R_f = 500K$ $R_1 = 100K$ için V_o değerini hesaplayınız?

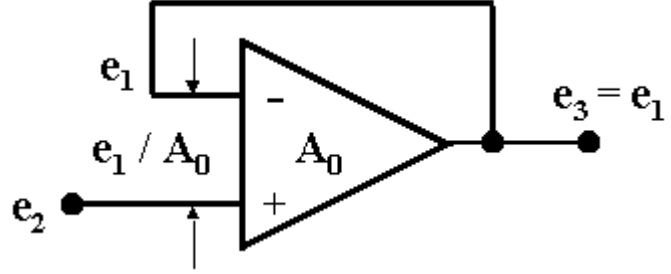
$$V_o = \left(\frac{R_f}{R_1} + 1 \right) \cdot V_i$$

$$= \left(1 + \frac{500k}{100k} \right) \cdot 2$$

$$V_o = 6 \cdot 2 = 12V$$

OP-AMP'IN GERİLİM İZLEYİCİ (VOLTAGE FOLLOVER) OLARAK KULLANILMASI

Şekilde bir "Gerilim İzleyici" şekli görülmektedir. Bu şekilden de görüldüğü gibi işlemsel yükseltecin çıkışı aynı zamanda eksi girişe bağlanmıştır. Şimdi önce devrenin bir analizini yapalım. Geçen yazıdan hatırlayacağınız gibi bir işlemsel yükseltecin çıkış formülü;



$e_3 = A (e_2 - e_1)$ idi. Burada A işlemsel yükseltecin kazancıdır. Gerilim izleyici için aynı formülü kullanırsak;

$e_3 = A_0 (e_2 - e_1) = e_1$ olur. Burada A_0 , açık döngü kazancıdır.

Buradan $e_2 - e_1 = e_1 / A_0$ yazılabilir.

e_1 in 1V değiştiğini düşünelim. Bu değişiklik giriş uçları arasında $1 / A_0$ lık bir değişim oluşturur. Yani;

$$(e_1 + 1) / A_0 = e_2 - (e_1 + 1)$$

Eğer A_0 çok büyükse yada ideal işlemsel yükselteç deki gibi açık döngü kazancının "sonsuz" olduğunu düşünersek, o zaman;

$$e_2 - e_1 = e_1 / A_0$$

$$e_2 - e_1 = e_1 / \infty$$

$$e_2 - e_1 = 0 \text{ olur.}$$

Yani giriş uçları arasında bir gerilim farkı olmaz. Yani $e_2 = e_1$ olur. $e_1 = e_3$ olduğuna göre, e_2 ucuna uygulanan gerilim e_3 olarak çıkıştan alınır. Bu devrenin giriş gerilimi çıkış geriline eşit olur. O zaman devrenin kazancı da "1" olur. ($e_1 = e_2 = e_3$)

"Bu ne biçim bir devre, giriş voltajı çıkış voltajına eşit. O zaman kısa devre yapalım" diye düşünebilirsiniz. Acele etmeyin. Birde giriş ve çıkış empedanslarına bakalım.

Giriş empedansı;

Giriş empedansını "Z" ile gösterelim. Örneğin çıkış voltajı 1V ise (yada giriş voltajı 1V ise)

$$e_2 - e_1 = e_1 / A_0$$

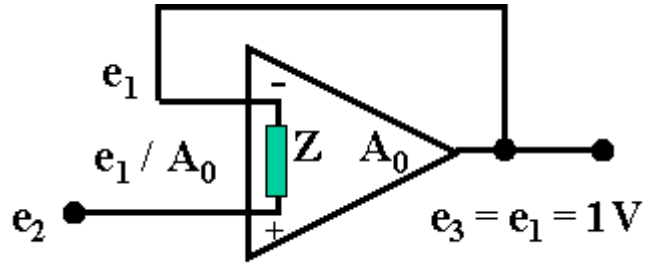
$$e_2 - 1 = 1 / A_0 \text{ oluyordu. O zaman;}$$

$e_2 = (1 / A_o) + 1$ olur. Ohm kanununu kullanarak ve birazda kısaltarak devrenin girişi üzerinden yada Z üzerinden akan akımı yazarsak;

$$i_Z = (1 / A_o) / Z$$

$$i_Z = 1 / (A_o \times Z) \text{ olur.}$$

Devrenin etken giriş empedansı;
 $Z_{et} = e_2 / i_Z$
 $Z_{et} = (1 + 1 / A_o) / (1 / A_o)$
 $Z_{et} = Z (1 + A_o)$ olur..

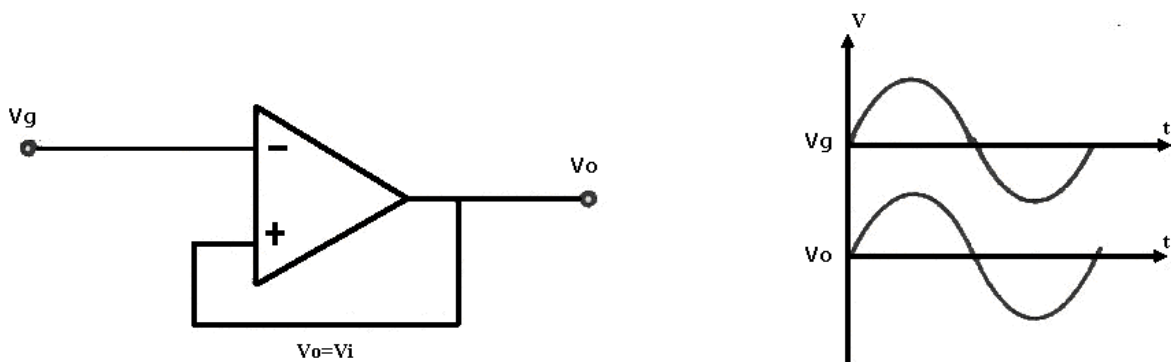


İşlemsel yükselteçlerin kendi iç kazançlarının "open loop gain" çok yüksek olduğunu söylemiştik. Yukarıda ki formülden de anlayacağınız gibi gerilim izleyicinin giriş empedansı yaklaşık olarak işlemsel yükseltecin iç kazancı "open loop gain" ile iki giriş ucu arasındaki empedansın çarpımı ile bulunur. Pratikte bu çok yüksek bir değerdir.

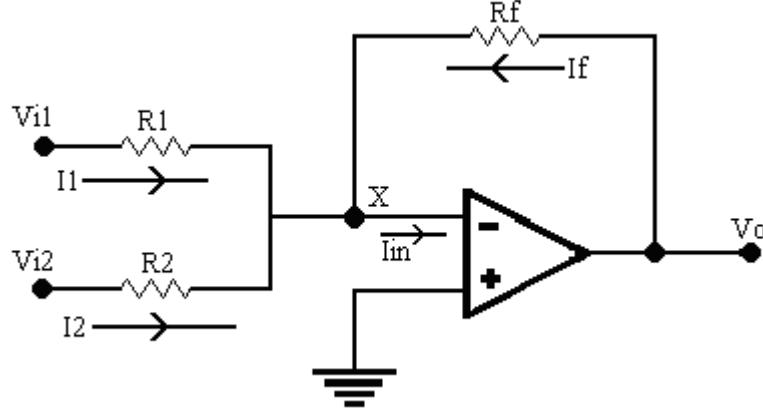
Burada özel bir not ilave etmek istiyorum. Bu devrede olduğu gibi devrenin (işlemsel yükseltecin değil, devrenin tamamının) kazancını biz tayin ediyorsak bu kazançla kapalı döngü kazancı "closed loop gain" denir.

Gerilim izleyicinin üç özelliği, birim kazanç "unit gain" yani kazancın "1" olması, giriş empedansının çok çok yüksek olması ve çıkış empedansının da çok düşük olmasıdır. Bu özelliklerinden dolayı girişlerine bağlanan devreyi hiç yüklemeyen çıkışlarında giriş gerilimine eşit ve istenilen düzeyde akım verilen devreler yapılabilir. Örneğin güç kaynaklarının çıkış devrelerini buna bir örnek olarak verebiliriz. Bir kullanım alanı olarak da çıkış empedansı yüksek devreleri giriş empedansı düşük devrelere bağlamak için kullanılır. Buna örnek olarak da her türlü yükselteç için çıkış devreleri yada ön yükselteç ile çıkış güç devreleri arasındaki "tampon" yükseltecini söyleyebiliriz.

Op-Amp'lı Gerilim İzleyici(Voltage Follower)



Op-Amp'ın Toplayıcı Olarak Kullanılması



Şekilde görüldüğü gibi devre, faz çeviren (inverting) yükselteç gibi çalışmaktadır. Rf geri besleme direncinden geçen akımı If, R1 direncinden geçen akımı I1, R2 direncinden geçen akıma I2 dersek;
 $I1 + I2 + If = I_{in}$ olur.

$$I_{in} = 0$$

$$I1 + I2 + If = 0$$

$$I1 + I2 = -If$$

$$\left(\frac{V1}{R1}\right) + \left(\frac{V2}{R2}\right) = -\left(\frac{Vo}{Rf}\right)$$

Eğer, $Rf = R1 = R2$ olarak seçilirse

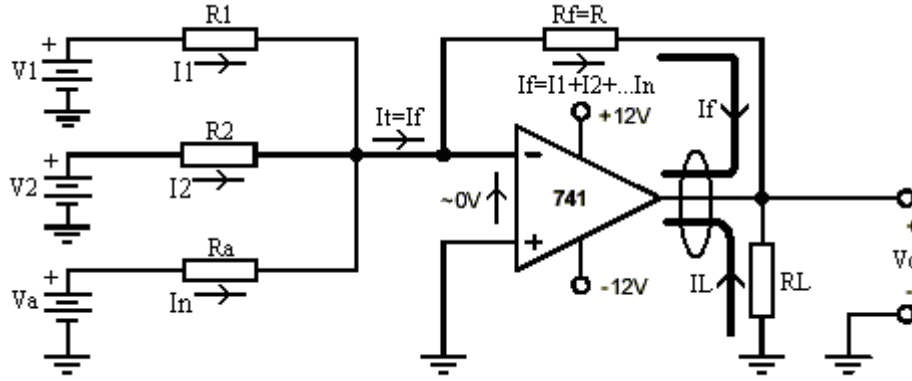
$$Vo = -(V1 + V2) \text{ olur.}$$

Giriş adedi 3 olursa çıkış voltaj değerini veren formül:

$$Vo = -\left[\left(\frac{Rf}{R1}\right)V1 + \left(\frac{Rf}{R2}\right)V2 + \left(\frac{Rf}{R3}\right)V3\right] \text{ olur.}$$

Formüldeki (-) işaret, OP-AMP 'ın faz çeviren yükselteç olarak çalışmasından kaynaklanmaktadır.

Örnek:



Şekildeki devrede $R_f=100K$, $R_1=R_2=R_n=10K$ ve $V_1=V_2=V_n=0.2$ volt ise, OP-AMP'ın çıkış gerilimi;

$$V_o = -100k\Omega \left[\frac{0.2V}{10k\Omega} + \frac{0.2V}{10k\Omega} + \frac{0.2V}{10k\Omega} \right] = -6V$$

elde edilir. Toplayıcı devrede $R_f=R_1=R_2=R_n$ seçilirse çıkışta girişler yükseltilmeden sadece toplanmış olarak alınır. Alınabilir.

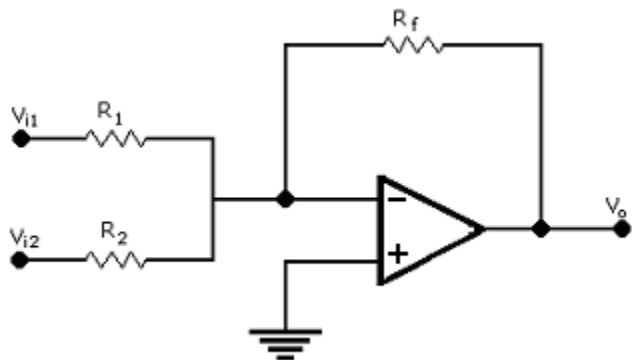
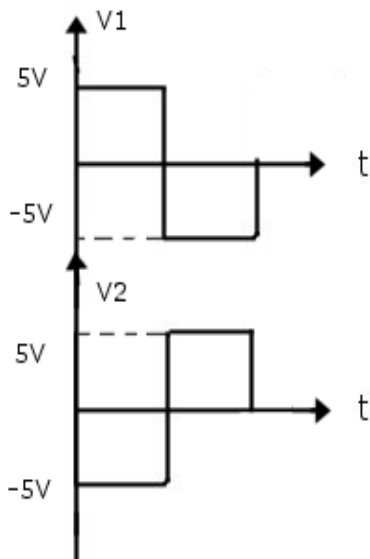
$$V_o = -(V_1+V_2+V_n)$$

Örnek olarak şekildeki devrede; $R_1=R_2=R_n=R_f=100K$ ve $V_1=5V$, $V_2=5V$, $V_n= -1V$ ise V_o çıkış gerilimi;

$$V_o = -((5+5+(-1))) \quad V_o = -9V \text{ olur.}$$

Örnek:

$R_1=10k$ $R_2=5k$ $R_f= 20k$

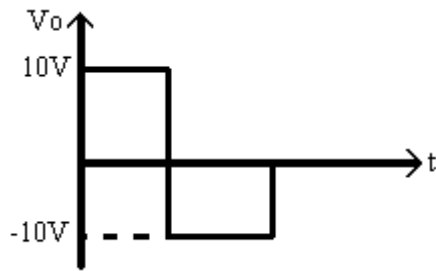


ARTI ALTERNANS İÇİN;

$$V_o = -\left[\left(\frac{20}{10}\right) \cdot 5 + \left(\frac{20}{5}\right) \cdot 5\right] = -(10+20) = -30V$$

EKSİ ALTERNANS İÇİN;

$$V_o = -\left[\left(\frac{20}{10}\right) \cdot 5 - \left(\frac{20}{5}\right) \cdot 5\right] = -(10-20) = 10V$$



Örnek: Faz çeviren toplayıcı yükselteç devresinde $V_{g1}=+1V$, $V_{g2}=-3V$, $R_{gb}=220k\Omega$, $R_1=100 k\Omega$, $R_2= 200k\Omega$ ise; $V_{\text{çıkış}}=?$

$$\begin{aligned} V_{\text{çıkış}} &= -R_{gb} \left(\frac{V_{g1}}{R_1} + \frac{V_{g2}}{R_2} \right) \\ &= -220000 \left(\frac{1}{100000} + \frac{-3}{200000} \right) = \left(\frac{-220000}{100000} + \frac{660000}{200000} \right) \\ &= \left(\frac{-22}{10} + \frac{66}{22} \right) = -2,2 + 3,3 = 1,1V \end{aligned}$$

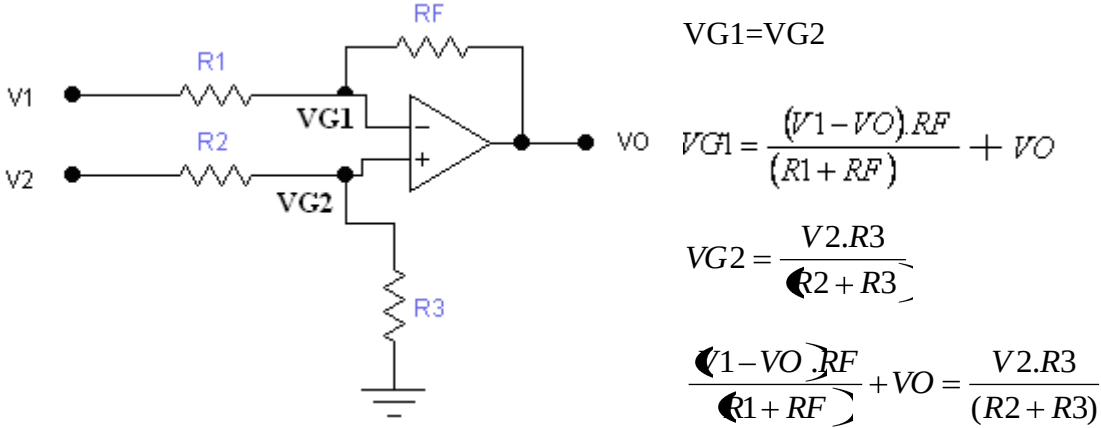
Örnek: Faz çeviren toplayıcı yükselteç devresinde $V_{g1}=+2V$, $V_{g2}=+3V$, $R_{gb}=10k\Omega$, $R_1=10 k\Omega$, $R_2= 10k\Omega$ ise; $V_{\text{çıkış}}=?$

$$V_{\text{çıkış}} = -\frac{R_{gb}}{R} \cdot (V_{g1} + V_{g2}) = -\frac{10000}{10000} \cdot (2 + 3) = -5V$$

OPAMP'LARIN FARK YÜKSELTECİ OLARAK KULLANILMASI

Aşağıdaki devrede görüleceği üzere fark yükselteci iki giriş gerilimi farkı ortasına göre çıkış gerilimi elde etmek için kullanılır. Fakat fark yükselteci U_d fark sinyalini parazit gerilimler olmaksızın yükseltmek için kullanılır. Bu durumda her iki giriş direnci aynı büyüklükte olmalıdır. Evirmeyen giriş ile şase arasındaki direnç geri besleme ile aynı büyüklükte seçilmelidir.

Yaklaşık olarak; $U_{e1}=0$ ve $I_1=0$ olduğunda



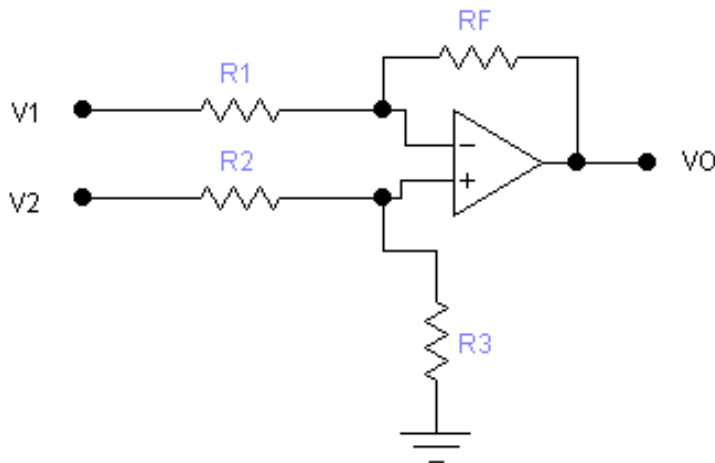
Devrede bütün dirençler eşit olursa;

$V_O = V_2 - V_1$ olur.

Devrede $R_1 = R_2$ ve $R_3 = R_f$ olursa;

$V_O = V_2 - V_1$ olur.

Örnek:



Devrede bulunan $R_1 = R_2 = 20 \text{ kohm}$ $R_3 = R_F = 40 \text{ kohm}$

$V_1 = 2 \text{ V}$ ve $V_2 = 8 \text{ V}$ olduğuna göre çıkış gerilimi kaç voltur?

$$\text{ÇÖZÜM : } \frac{R_F}{R_1 + R_F} \cdot (V_1 - V_o) + V_o = \frac{R_3 \cdot V_2}{R_2 + R_3}$$

$$= \frac{40 \cdot (2 - V_o) + V_o}{60} = \frac{40.8}{60}$$

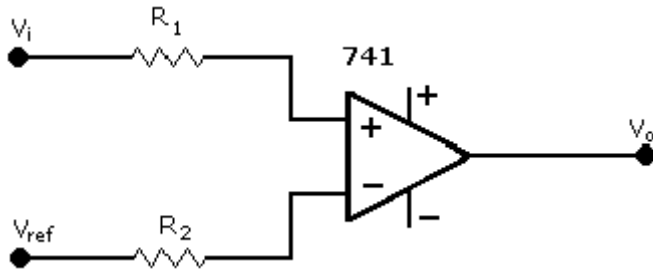
$$= \frac{2 \cdot (2 - V_o) + V_o}{3} = \frac{16.8}{3}$$

$$= \frac{4.2 V_o + V_o}{3} = \frac{16}{3}$$

$$= \frac{-2 V_o + V_o}{3} = \frac{16 - 4}{3}$$

$$= \frac{1 \cdot V_o}{3} = 4 \quad V_o = 12V$$

OP-AMP'ın Karşılaştırıcı Olarak Kullanılması:



Şekildeki devre (-) giriş ucuna uygulanan Vref (referans voltajı) sinyaliyle (+) uca uygulanan Vi sinyali karşılaştırır. iki sinyal arasındaki fark çok küçük olsa

dahi 200.000 ile çarpılarak çıkışa aktarılır. Pratikte, açık çevrim kazancını sınırlayan faktör +V, -V besleme voltaj değerleri olduğu için çıkıştan yaklaşık +V veya -V gerilim değeri kadar sinyal alınır.

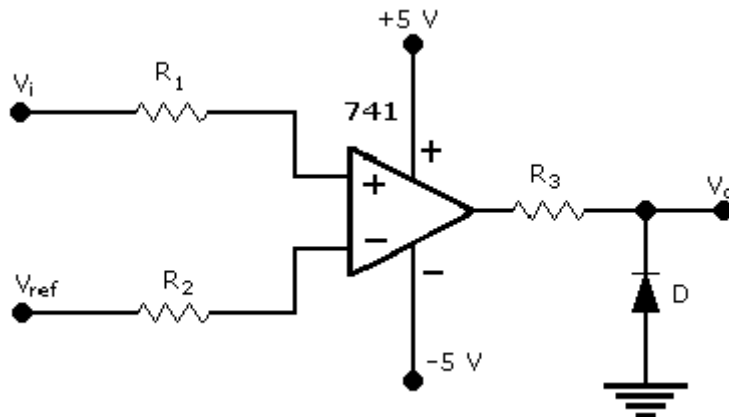
Bu devrede;

$V_i > V_{ref}$ olursa, çıkıştan yaklaşık +V değeri alınır. ($V_o = +V$)

$V_i < V_{ref}$ olursa, çıkıştan yaklaşık -V değeri alınır. ($V_o = -V$)

Devre bu haliyle, non-inverting çalışma Özelliğindedir. Çünkü, V_i sinyali, faz çevirmeyen giriş olan (+) giriş ucuna uygulanmıştır.

Eğer, referans işareti OP-AMP 'ın (+) giriş ucuna, V_i işareti de (-) giriş ucuna uygulanırsa OP-AMP, inverting yükselteç çalışması yapar.



Karşılaştırıcı devre, bir TTL devreyi sürecektir ise devreye bir diyot eklenir ve yukarıdaki şekildeki gibi bir devre elde edilir.

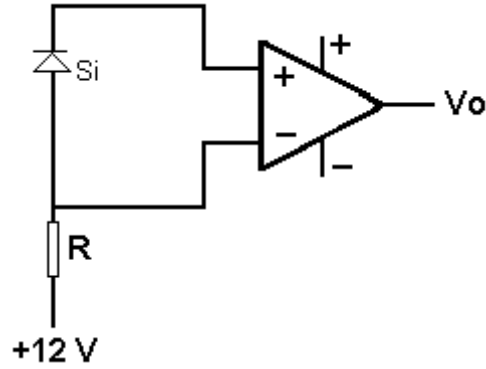
Bu devreye göre;
 $V_i > V_{ref}$ olduğunda, $V_o = +5$ Volt (diyot kesimde olduğu için)

$V_i < V_{ref}$ olduğunda, $V_o = -0,7$ volt (Silisyum diyot iletimde olduğu için)

ÖRNEK:

Şekildeki devrede OP-AMP'ın (+) ve (-) ucuna -5 V uygulanırsa, (OP-AMP 15 V ile beslendiğine göre) V_o çıkış gerilimi ne olur?
Görüldüğü gibi OP-AMP'ın uçlarına -5 V uygulanırsa, Bu durumda OP-AMP bu gerilimleri karşılaştıracak, -5 V = -5 V olduğundan çıkışından 0 V görülecektir.

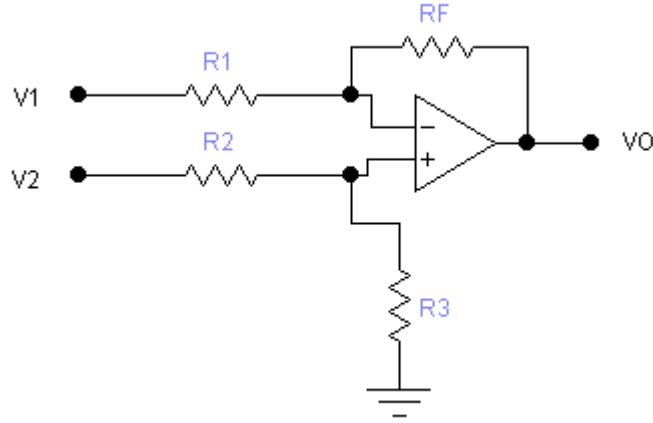
ÖRNEK:



Şekildeki devrede OP-AMP 15 V ile beslenmektedir. Kullanılan diyot silisyum olduğuna göre V_o kaçtır?

Şekle göre OP-AMP'ın (+) girişine 0,7 V harcayan silisyum diyot bağlandığından buradaki gerilim (-) girişine göre 0,7 V daha az olacaktır. Bu durumda çıkıştan -15 V alınacaktır.

ÖRNEK SORULAR



Aşağıdaki 1 ve 2 no'lu soruları devreye göre cevaplayınız.

1- Devredeki bütün dirençlerin birbirine eşit ise V_o nedir?

2- Devrede bulunan $R_1=R_2=20\text{kohm}$ $R_3=R_F=40\text{kohm}$

$V_1=2\text{V}$ $V_2=8\text{V}$ olduğuna göre çıkışta kaç volt görünür?

$$1= 0,5 V_1 - 0,5 V_o + V_o = 0,5 V_2$$

$$0,5 V_1 + 0,5 V_o = 0,5 V_2$$

$$V_o = V_2 - V_1$$

$$2= \frac{R_F}{R_1 + R_F} (V_1 - V_o) + V_o = \frac{R_3}{R_2 + R_3} V_2$$

$$= \frac{40}{60} (2 - V_o) + V_o = \frac{40}{60} \cdot 8$$

$$= \frac{2}{3} (2 - V_o) + V_o = \frac{16}{3}$$

$$= \frac{4}{3} - \frac{2}{3} V_o + V_o = \frac{16}{3}$$

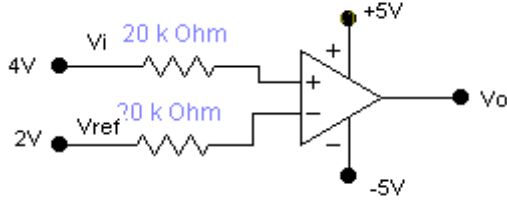
$$= -\frac{2}{3} V_o + V_o = \frac{16}{3} - \frac{4}{3}$$

$$= \frac{1}{3} V_o = 4$$

$$V_o = 12\text{V}$$

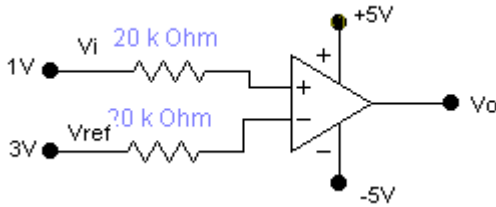
TEST SORULARI

1-) Şekildeki devrede $V_i=4V$ $V_{ref}=2V$ OP-AMP besleme kaynağı voltaj değeri ± 5 volt olduğuna göre çıkış voltajının değeri nedir ?

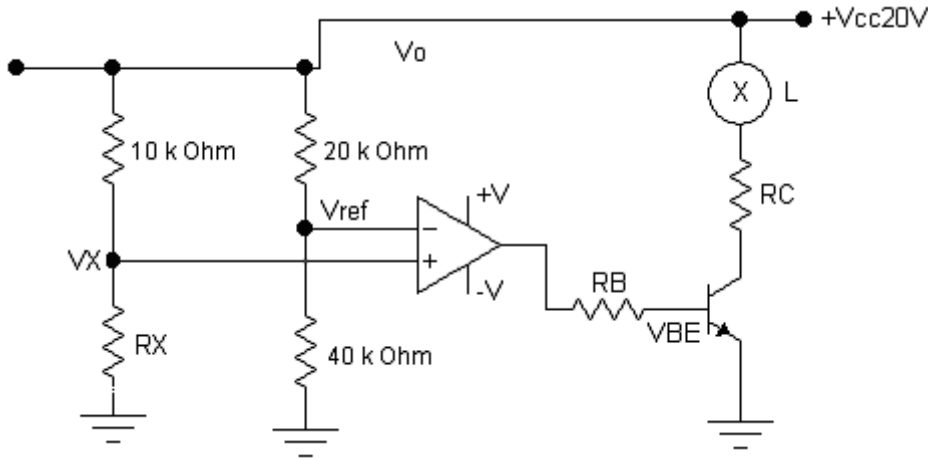


- a) $+V_k$ b) $-7V$ c) $+6V$ d) $+2V$

2-) Şekildeki devrede $V_i=1V$ $V_{ref}=3V$ besleme kaynağı voltaj değeri $\pm 5v$ olduğuna göre çıkış voltaj değeri nedir ?



- a) $+4V$ b) $-4V$ c) $-V_k$ d) $+3V$



Şekil-1

3,4 ve 5. soruları Şekil-1'e göre cevaplayınız.

3-) Lambanın yanması için V_o aşağıdakilerin hangisi olmalıdır?

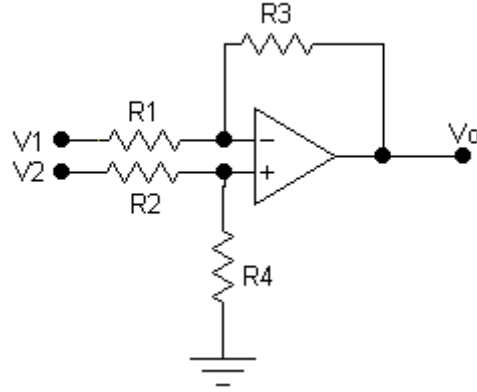
- a) $V_o = -V_{cc}$ b) $V_o = 0$ c) $V_o = +V_k$ d) $V_o = -V_k$

4-Şekil 1 deki devrede lambasının yanması için aşağıdakilerden hanisi gerekir?

- a) $V_{ref} > V_X$ b) $V_{ref} = V_X$ c) $V_{ref} < V_X$ d) $V_{ref} \geq V_X$

5-)Şekil 1 deki lambanın yanması için hangisi olmalıdır?

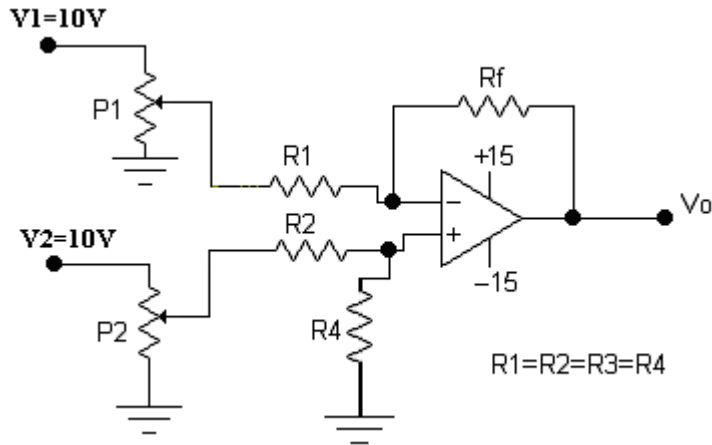
- a) $R_x > 20k\Omega$
- b) $R_x \geq 20k\Omega$
- c) $R_x = 20k\Omega$
- d) $R_x < 20k\Omega$



şekil-2-

6-) $R_1=R_2=10k$
 $R_3=R_4=30k$
 $V_1=3V$ $V_2=5V$ ise $V_o=?$ Aşağıdakilerden hangisidir?

- a)-5V b)6V c)-6V d)3V



şekil-3-

7,8,9 ve 10.soruları Şekil-3'e göre cevaplayınız

7-) P1 ve P2 potansiyometreleri orta noktada iken $V_o = ?$ aşağıdakilerden hangisidir ?

- a)10V b)0V c)-10 d)-V_k

8-) P1 max. P2 min. İken Vo=? Aşağıdakilerden hangisidir ?

a)-10V b)10V c)+Vk d)-Vk

9-) P1 ve P2 max. İken Vo=? Aşağıdakilerden hangisidir ?

a)1V b)-10V c)-Vk d)0V

10-) P2 max. P1 min. İken Vo=? Aşağıdakilerden hangisidir?

a)-10V b)10V c)-Vk d)+Vk

CEVAPLAR

1-) Vi>Vref (4V>2V) olduğundan çıkış voltajı +Vk ‘dır.

2-)Vi<Vref (1V<3V) olduğundan çıkış voltajı-V ye eşit olduğundan çıkış –Vk ‘dır.

3-)Transistörün ilettime geçmesi için Beyz ucuna + Vk gelmesi gerekir. (NPN Tr.)

4-)Transistör NPN olduğu için ve ilettime geçebilmesi için Vx in Vref den büyük olması gerekir.

**5-) 60 Rx> 40 Rx + 400
60 Rx – 40 Rx> 400
20 Rx> 400
Rx>20kOhm**

6-)

$$Vo = (V2 - V1) \cdot \frac{R3}{R4}$$
$$= (5 - 3) \cdot \frac{30}{10}$$
$$= 6V$$

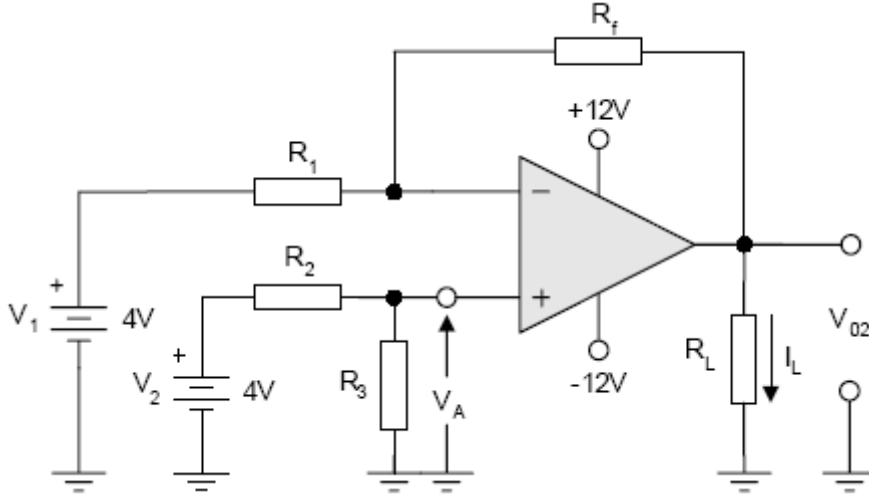
7-) Devredeki bütün dirençler eşit ise çıkış gerilimi (V2-V1) den bulunur.V1=V2 olduğundan Vo=0 olur.

8-) Sadece P1 potansiyometresi çalışacağı için +10V luk P1 gerilimi OP-AMP ın evirici özelliğinden dolayı,Vo çıkışta –10V olur.

9-) Devredeki bütün dirençler eşit ise çıkış gerilimi (V2-V1) den bulunur.Vo=0 olur.

10-) Sadece P2 potansiyometresi çalışacağı için +10V luk P2 gerilimi OP-AMP ın evirmeyen özelliğinden çıkışta yine +10V olur

TEST SORULARI II



$$R_1=R_2=R_3=10K\Omega, R_f=10K\Omega, R_L=1K\Omega$$

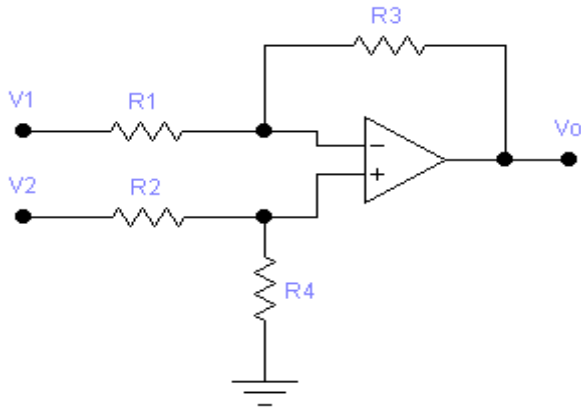
1-)Yukarıda verilen fark alıcı devrede çıkış gerilimi (V_o) aşağıdakilerden hangisidir?

- A) +4V B) -4V C) 0V D) 1K Ω

2) Yukarıda verilen fark alıcı devrede op amp'tan çekilen yük akımı (I_L) aşağıdakilerden hangisidir?

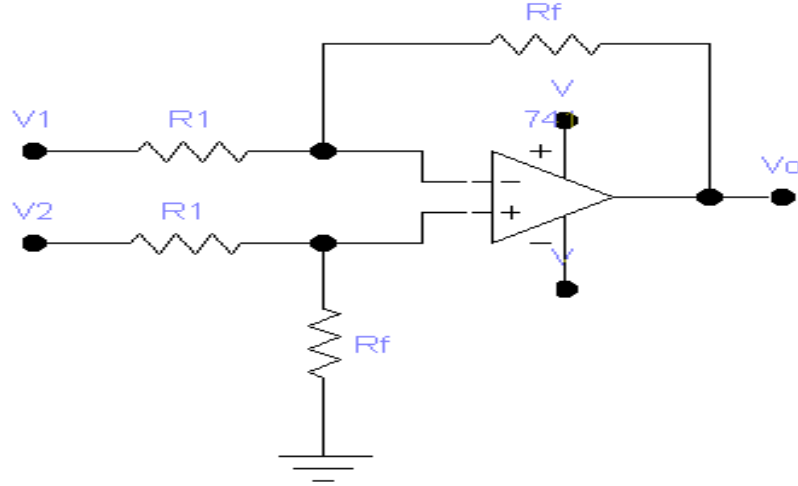
- A) 10mA B) -4mA C) 0 D) -10mA

3)



$R_1=R_2=10K$, $R_3=R_4=30K$, $V_1=3V$, $V_2=-5V$ ise V_o çıkış gerilimi aşağıdakilerden hangisidir?

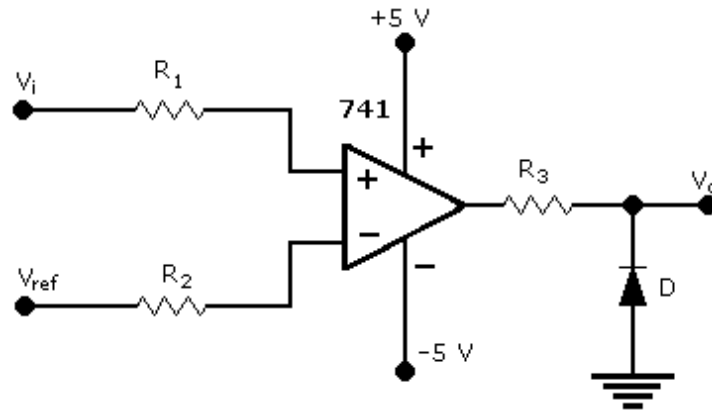
- A) V_k B) -6V C) 6V D) - V_k



$$R1=10\text{ K}\Omega, Rf=50\text{ K}, V1=1,5\text{ V} \quad V2=2,75\text{ V}$$

4) Yukarıda verilen fark alıcı devrede çıkış gerilimi (V_o) aşağıda verilenlerden hangisidir?

- A) +2V B) 0V C) 1,25V D) 6,25V



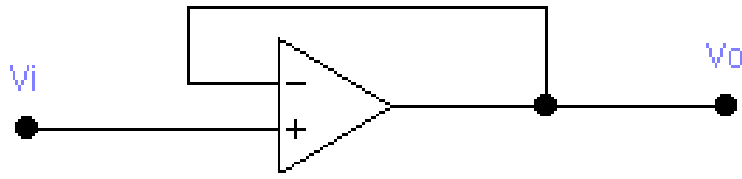
$V_i (-)$, $V_{ref} (-)$ ise

5) Yukarıda verilen karşılaştırıcı devreye göre; $V_i > V_{ref}$ olduğunda, V_o aşağıdakilerden hangisi olabilir?

- A) $V_o=0$ B) $V_o=-V_k$ C) $V_o=V_k$ D) $V_o=+5\text{ V}$

6) Yukarıda verilen karşılaştırıcı devreye göre; $V_i < V_{ref}$ olduğunda, V_o aşağıdakilerden hangisi olabilir?

- A) $V_o=0$ B) $V_o=-5\text{ V}$ C) $V_o=-V_k$ D) $V_o= V_k$



- 7) Yukarıdaki voltaj izleyici devrede V_i girişine +5V verilirse V_o çıkış gerilimi kaç volt olur?
 A) $V_o=+5V$ B) $V_o=-5V$ C) $V_o=0$ D) $V_o=+10V$

CEVAP ANAHTARI

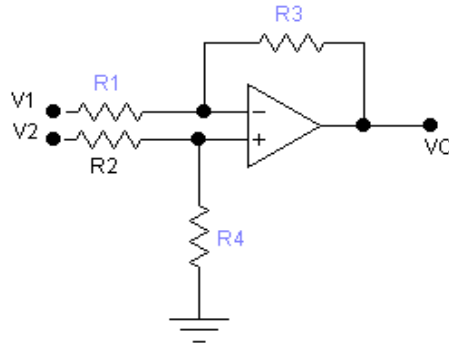
1	2	3	4	5	6	7
C	C	D	D	A	D	A

TEST SORULARI III

1 ,2, ve 3.soruları aşağıdaki şekle göre çözünüz.

SORU 1) Şekildeki devrenin V_o kaç volt dur?

$R_1=10K$ $R_2=10K$ $R_3=R_4=30K$ $V_1=0,5V$ $V_2=2.5V$



- A) $V_o=6V$ B) $V_o=-V_k$ C) $V_o=+V_k$ D) $V_o=0$

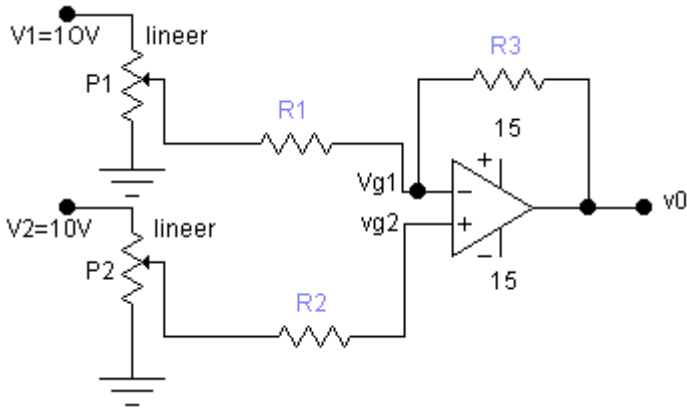
SORU 2) $R_1=R_2=R_3=R_4$ ise $V_o=?$

- A) $V_o=V_2-V_1$ B) $V_o=V_1-V_2$ C) $V_o=-V_k$ D) $V_o=+V_k$

SORU 3) $R_1=R_2=10K$ $R_3=R_4=30K$ $V_1=3V$ $V_2=-5$ $V_o=?$

- A) $V_o=24V$ B) $V_o=-24V$ C) $V_o=-V_k$ D) $V_o=+V_k$

4 ve 5.sorular aşağıdaki şekle göre çözülecek.

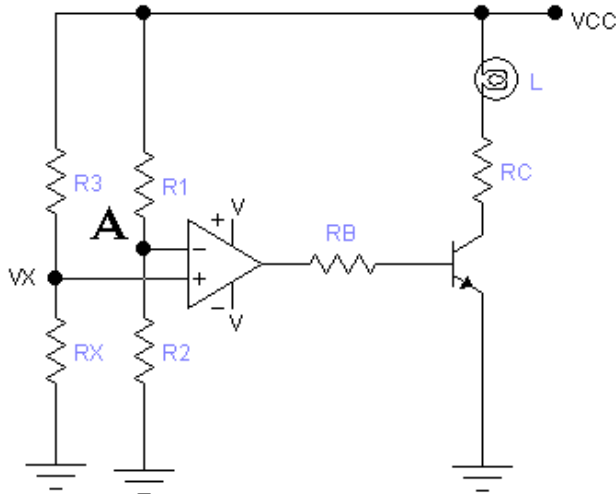


**SORU 4) $R1=R2=R3=R4$ için
P1 ve P2 potansiyometresi orta noktada iken
P1 max,P2 min
P1 ve P2 max iken $V0$ aşağıdakilerden hangisidir?**

- A) $V0=+V_K, -V_K, 0$ B) $V0=0, -10, 0$ C) $V0=-V_K, +V_K, 0$ D) $V0=0, 10, 0$

SORU 5) Sonucun $+V_k$ ve $-V_k$ olduğu durum için aşağıdakilerden hangisi doğrudur?
A) P1max,P2max B) P1 max,P2 min C) P1min,P2max D) P1min,P1 min

6,7,8,9 ve 10.sorular aşağıdaki şekle göre çözülecek.



SORU 6) Lambanın yanabilmesi için $V0$ aşağıdakilerden hangisi olmalıdır?

- A) $V0=-V_{cc}$ B) $V0=0$ C) $V0=+V_k$ D) $V0=-V_k$

SORU 7) Lambanın yanabilmesi için aşağıdakilerden hangisi gereklidir?

- A) $V_{ref}>V_x$ B) $V_{ref}=V_x$ C) $V_{ref}\geq V_x$ D) $V_{ref}<V_x$

SORU 8) Lambanın yanabilmesi için aşağıdakilerden hangisi olmalıdır?

A) $R_x > \dots K$ B) $R_x \geq \dots K$ C) $R_x = \dots K$ D) $R_x < \dots K$

SORU 9) $V_{cc}=20V$ $R_1=20K$ $R_2=40K$ $R_3=10K$ ise $R_x=?$

A) $R_x > 20K$ B) $R_x = 20K$ C) $R_x < 20K$ D) $R_x \geq 20K$

SORU 10) Lambanın yanması için I_b ne olmalıdır?

$V_{cc}=20V$, $R_B=100K$ $\pm V_k = \pm 14V$ Tr. silisyum

A) $I_b = 0,133mA$ B) $I_b = 1,33A$ C) $I_b = 1,47mA$ D) $I_b = 1,47A$

CEVAP ANAHTARI

1)A 2)A 3)C 4)B 5)C 6)C 7)D 8)A 9)B 10)A

ÇÖZÜM 1)

$$\frac{R_3 \times (V_1 - V_0)}{R_1 + R_3} + V_0 = \frac{R_4 \times V_2}{R_2 + R_4}$$

$$\frac{30 \times (0.5 - V_0)}{40} + V_0 = \frac{30 \times 2.5}{40}$$

$$0.375 - 0.75V_0 + V_0 = 1.875$$

$$0.25V_0 = 1.5$$

$$V_0 = 6V$$

ÇÖZÜM 2

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = \text{ise}$$

$$0.5(V_1 - V_0) + V_0 = 0.5 \times V_2$$

$$0.5V_1 - 0.5V_0 + V_0 = 0.5V_2$$

$$0.5V_0 = 0.5(V_2 - V_1)$$

$$V_0 = V_2 - V_1$$

ÇÖZÜM 3

$$\frac{30 \times (V_1 - V_0)}{40} + V_0 = \frac{30 \times V_2}{40}$$

$$\frac{30(3 - V_0)}{40} + V_0 = \frac{30 \times (-5)}{40}$$

$$-V_0 = -24$$

$$V_0 = -24V$$

Ancak op-amp çıkışı $-V_k$ değerini geçemez.

ÇÖZÜM 4

$$V_2 - V_1 = 5 - 5 = 0$$

$$P_1 = 10 \text{ P}_2 = 5 \text{ iken } V_0 = -10$$

$$P_1 = 10 \text{ P}_2 = 10 \text{ iken } V_0 = 0 \text{ dır}$$

ÇÖZÜM 5

$-V_k$ olduğu durumda P_1 min

$+V_k$ olduğu durumda P_2 max

ÇÖZÜM 6

OP-AMP ın çevirici özelliğinden dolayı $V_0 = +V_k$ olur

ÇÖZÜM 7

$V_0 = +V_k$ olması için V_x büyük olmalıdır.

$V_x > V_{ref}$

ÇÖZÜM 8

$V_x > V_{ref}$ olduğundan dolayı

$R_x > \dots K$ olur.

ÇÖZÜM 9

$$V_{cc} \times \frac{R_x}{R_x + R_3} = V_{cc} \times \frac{R_2}{R_2 + R_1}$$

($V_x > V_{ref}$ dolayı)

$$20 \times \frac{R_x}{R_x + 10k} = 20 \times \frac{40}{40 + 20}$$

$R_x = 20 K$ olur.

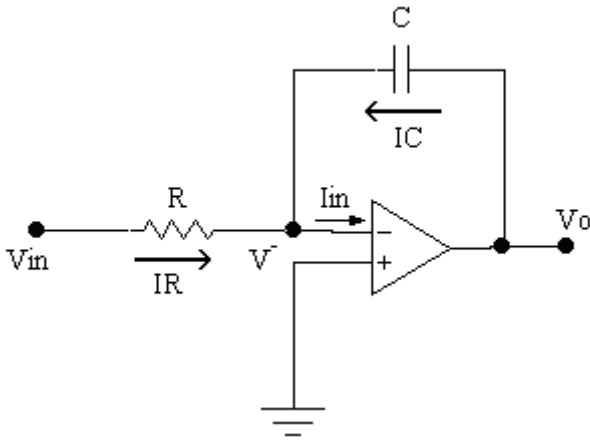
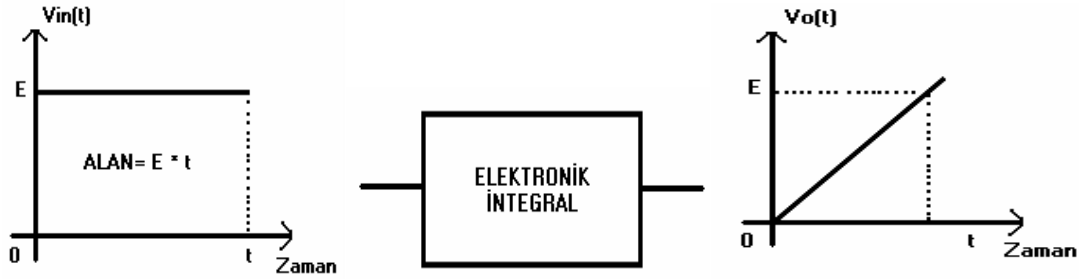
ÇÖZÜM 10

$$I_B = \frac{V_k - V_{BE}}{R_B}$$

$$I_B = \frac{14 - 0,7}{100} \quad I_B = 0,133 \text{ mA}$$

OPAMPLARIN INTEGRAL ALAN DEVRE OLARAK KULLANILMASI

Bir integratör devresinin temel özelliği, girişine uygulanan işaretin integralini alıp çıkışa vermesidir. İntegral işaretinin mantığı grafik olarak aşağıda verilmiştir



$$\begin{aligned} I_R + I_C &= I_{in} \\ I_{in} &= 0 \\ I_R + I_C &= 0 \\ I_R &= -I_C \\ V_{in}/R &= -V_o/XC \\ XC &= 1/2\pi fC \\ 2\pi f &= S \end{aligned}$$

$$\frac{1}{S} = \int \dots dt$$

$$\frac{V_{in}}{R} = -V_o S C$$

$$V_o = \frac{-V_{in}}{S R C}$$

$$V_o = \frac{-1}{R C} \cdot \int_{t_1}^{t_2} V_{in} \cdot dt$$

t_1 = Başaşlangilk) zaman

t_2 = Bitiş(son) zaman

$$V_o = \frac{-V_{in} \cdot (t_2 - t_1)}{R C} \text{ olur.}$$

Çıkış Geriliminin Saniyedeki Değişim Hızı

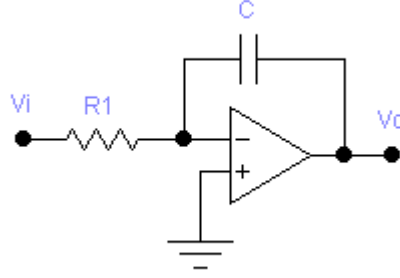
IC/C den hesaplanır.

$$I_R = V_{in}/R.$$

$$I_R = -I_C$$

$$I_C/C = \dots\dots\dots V/Sn \text{ olur:}$$

İntegral Devre Uygulamaları



$$V_o = \frac{1}{R.C}.V_i(T_2 - T_1)$$

1., 2., 3., ve 4. soruları yukarıdaki devreye göre çözünüz....

1.)

$V_i = 2V$

$R = 1M\Omega$

$C = 1\mu F$

Yukarıdaki değerler için başlangıçtan 5sn sonra V_o değerleri aşağıdakilerden hangisidir?

A: $V_o = -10V$

B: $V_o = +10V$

C: $V_o = +5V$

D: $V_o = -5V$

2.)

$V_i = 1V$

$R = 1M\Omega$

$C = 1\mu F$

Yukarıdaki değerler için 1sn ve 10sn arasındaki değişim miktarı aşağıdakilerden hangisidir?

A: $-3V$

B: $+6V$

C: $-9V$

D: $+1V$

3.)

$$V_i = 3V$$

$$R = 1M\Omega$$

$$C = 1\mu F$$

Yukarıdaki değerler için sn'deki değişim hızı aşağıdakilerden hangisidir?

A: $1V/Sn$

B: $2V/Sn$

C: $4V/Sn$

D: $3V/Sn$

4.)

$$V_i = 3V$$

$$R = 1M\Omega$$

$$C = 1\mu F$$

Yukarıdaki değerler için 2sn ve 6sn arasındaki değişim miktarı aşağıdakilerden hangisidir?

A: $-12V$

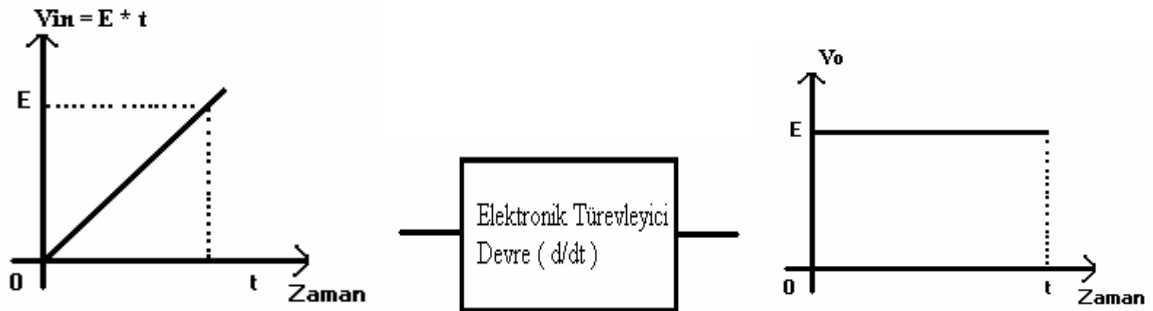
B: $+6V$

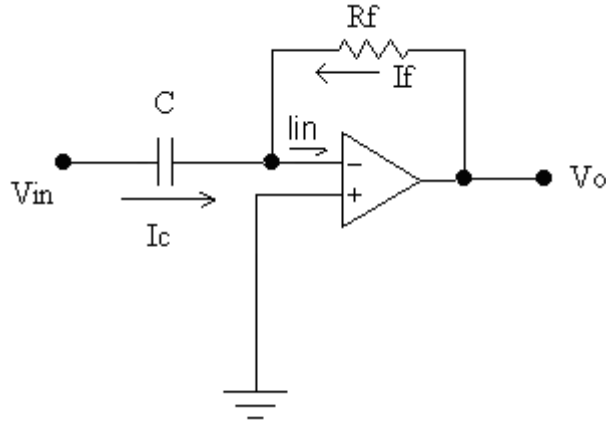
C: $+3V$

D: $-9V$

OPAMPLARIN TÜREV ALAN DEVRE OLARAK KULLANILMASI

Dikkat edilecek olursa integral devresindeki direnç ile kondansatörün yerleri değiştirilerek türev devresi yapılmıştır.





Şekilde ideal bir elektronik türev alıcı devre görülmektedir

$$I_C + I_{Rf} = I_{in}$$

$$I_{in} = 0$$

$$I_C + I_{Rf} = 0$$

$$I_C = -I_{Rf}$$

$$\frac{V_{in}}{X_C} = \frac{1}{S C}$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

$$2\pi f = S$$

$$X_C = \frac{1}{S C}$$

$$V_{in} \cdot S C = -\frac{V_o}{R_f}$$

$$V_o = -V_{in} \cdot S \cdot C \cdot R_f$$

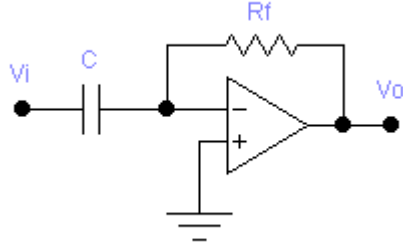
$$S = d(\dots)/dt$$

$$V_o = -C \cdot R_f \cdot dV_{in}/dt \text{ olur.}$$

Türev Alıcı Devrenin Transfer Fonksiyonu;

$$T = \frac{V_o}{V_{in}} = -2\pi f R_f \cdot C \text{ 'den hesaplanır.}$$

Türev Alıcı Devre Uygulamaları



$$V_o = R.C \frac{dV_i}{dt}$$

Türev alıcının transfer fonksiyonu formülü =>

$$|T| = |W.R.C| = |2.\pi.R.C|$$

5., 6., ve 7. soruları yukarıdaki devre'ye göre çözünüz....

5.)

$$V_i = 10V$$

$$R_1 = 1M\Omega$$

$$C = 1\mu F$$

Yukarıdaki değerler için V_o değeri aşağıdakilerden hangisidir?

A: -10V

B: +6V

C: +10V

D: -6V

6.)

$$C = 1nF$$

$$R = 1M\Omega$$

$F = 1KHz$ ve yukarıdaki değerler için transfer fonksiyon değeri aşağıdakilerden hangisidir?

A: 3,14

B: 11,42

C: 6,28

D: 14,36

7.)

$$R = 100K\Omega$$

$$C = 1\mu F$$

Yukarıdaki değerlere göre hangi frekans değeri için transfer fonksiyon değeri 10 olur?

A: 15,92Hz

B: 16KHz

C: 10KHz

D: 20Hz

CEVAPLAR

1.)

$V_i = 2V$

$R = 1M\Omega$

$C = 1\mu F$

$$V_o = [-1 / (1.10^6 \times 1.10^{-6})] \times 2 (5-0)$$

$$\mathbf{V_o = -10V}$$

2.)

$V_i = 1V$

$R = 1M\Omega$

$C = 1\mu F$

$$V_o = [-1 / (1.10^6 \times 1.10^{-6})] \times 1 (10 - 1)$$

$$\mathbf{V_o = -9V}$$

3.)

$V_i = 3V$

$R = 1M\Omega$

$C = 1\mu F$

$$I_R = V_i / R = 3 / 1.10^6 = 3\mu A$$

$$I_R = -I_C = -3\mu A$$

$$I_C / C = 3\mu A / 1\mu F = 3V / s$$

4.)

$V_i = 3V$

$R = 1M\Omega$

$C = 1\mu F$

$$V_o = [-1 / (1.10^6 \times 1.10^{-6})] \times 3 (6 - 2)$$

$$\mathbf{V_o = -12V}$$

5.)

$$V_i = 10V$$

$$R_1 = 1M\Omega$$

$$C = 1\mu F$$

$$V_o = [-1.10^6 \times 1.10^{-6} (d V_i / dt)]$$

$$V_o = [-dV_i / dt]$$

$$V_o = -10V$$

6.)

$$C = 1nF$$

$$R = 1M\Omega$$

$$\begin{aligned} |T| &= \left| \frac{2 \times 3,14 \times 1.10^3 \times 1.10^{-9} \times 1.10^6}{6,28} \right| \\ |T| &= 6,28 \\ T &= 6,28 \end{aligned}$$

7.)

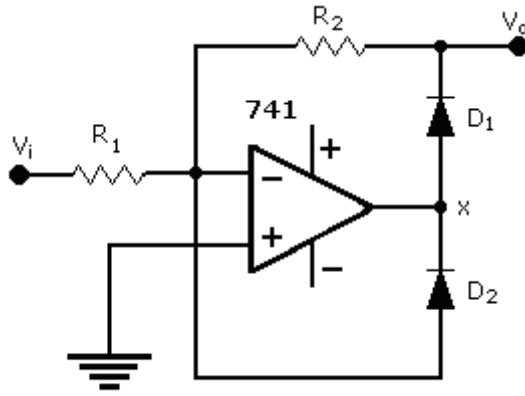
$$R = 100K\Omega$$

$$C = 1\mu F$$

$$\begin{aligned} |T| &= \left| \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot R \cdot C}{1} \right| \\ f &= |T| / (2 \cdot \pi \cdot R \cdot C) \\ f &= 10 / (2 \cdot 3,14 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^{-6}) \\ f &= 100 / 6,28 = 15,92Hz \end{aligned}$$

OP-AMP'LI YARIM DALGA DOĞRULTUCU

Bilindiği gibi doğrultma işlemini yapan eleman diyottur. Pratikte kullanılan germanyum diyetun iletme geçme voltajı yani eşik gerilimi 0,3 Volt, Silisyum diyetun ise 0,7 Volt civarındadır. Bir germanyum diyetun iletme geçebilmesi için anodu katoduna göre 0,3 Volt, silisyum diyetun ise 0,7 Volt olması gerekir. Dolayısıyla, genliği 0,7 Volt civarında veya daha küçük işaretler diyet ile doğrultulamazlar. Doğrultulacak sinyalin genliği 0,7V'tan fazla olsa bile yapılan doğrultma hassas olmaz. Bu sakıncaları ortadan kaldırmak ve hassas bir şekilde yarım dalga doğrultma işlemini gerçekleştirmek için şekil'deki gibi OP-AMP 'lı hassas yarım dalga doğrultmaç kullanılır.

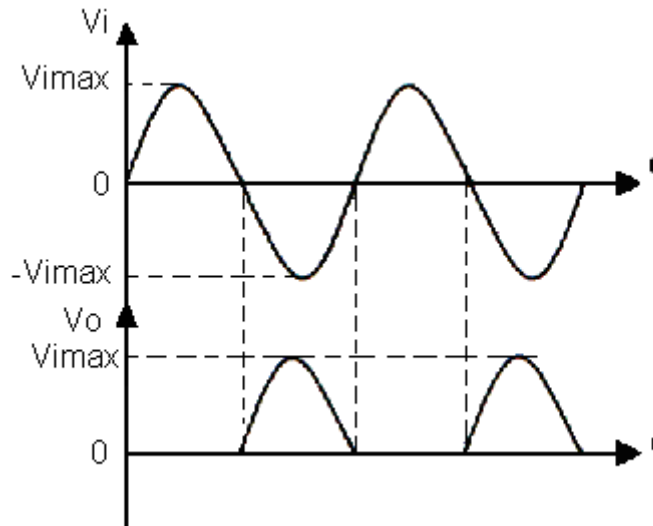


OP-AMP 'lı Yarım Dalga Doğrultmaç

$V_i > 0$ olduğunda X noktasındaki gerilim eksi olur. Bu durumda D1 kesimde D2 iletimdedir ve $V_o = 0$ olur.

$V_i < 0$ olduğunda X noktasındaki gerilim artı olur. Bu durumda D1 iletimde D2 kesimdedir ve $V_o = -V_i \cdot R_2 / R_1$ olur.

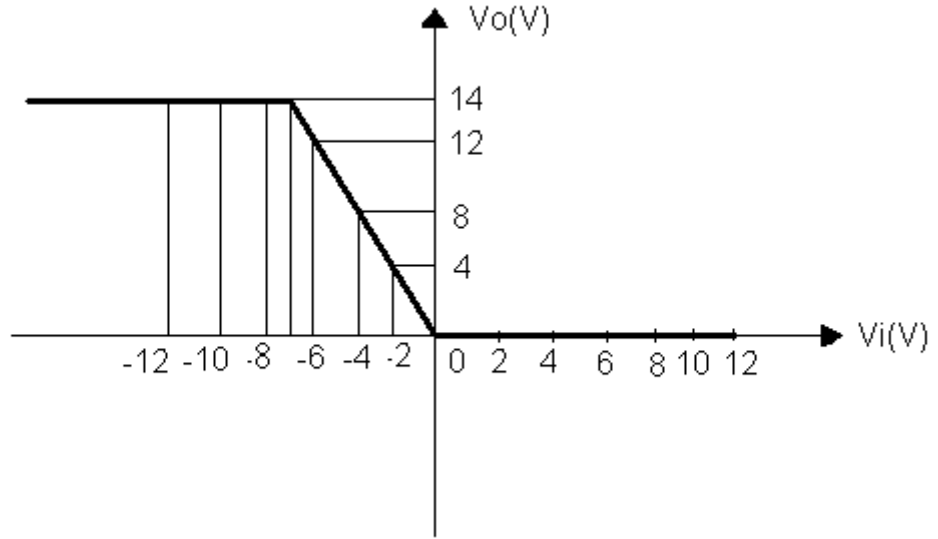
$R_1 = R_2$ ise $V_o = -V_i$ olur.



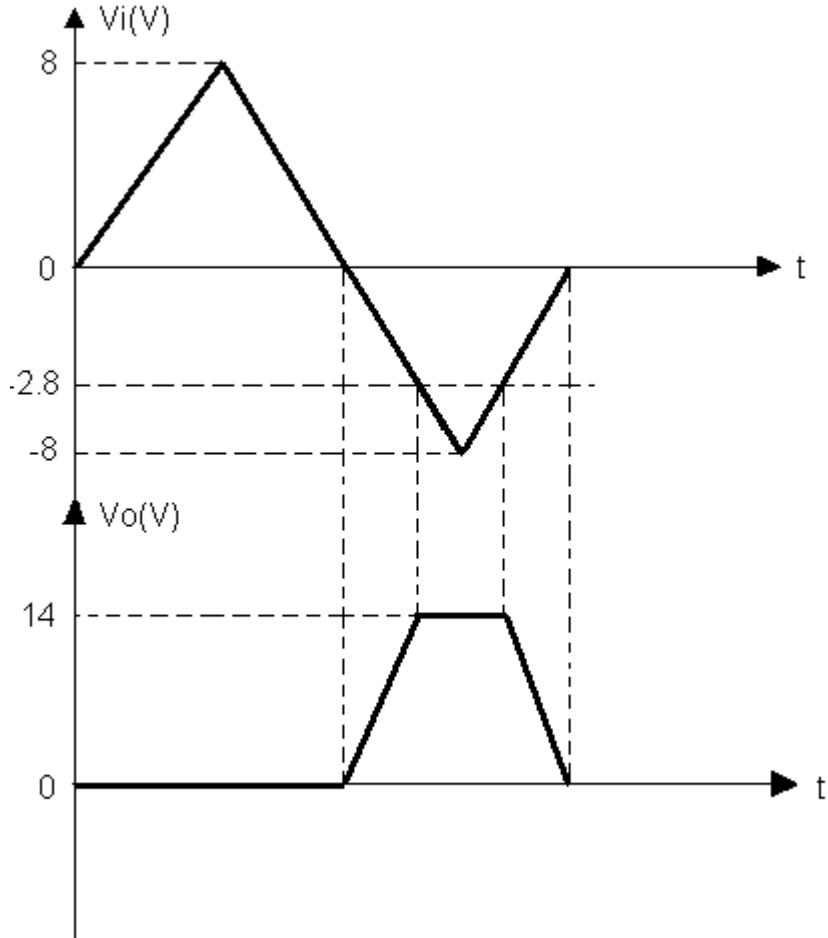
Yarım Dalga Doğrultmacın Giriş-Çıkış Dalga Şekli

Örnek: $R_1 = 10K$, $R_2 = 20K$ ve $\pm V_k = \pm 14V$ için V_i - V_o grafiğini çiziniz. $V_i > 0$ için $V_o = 0$ olur.

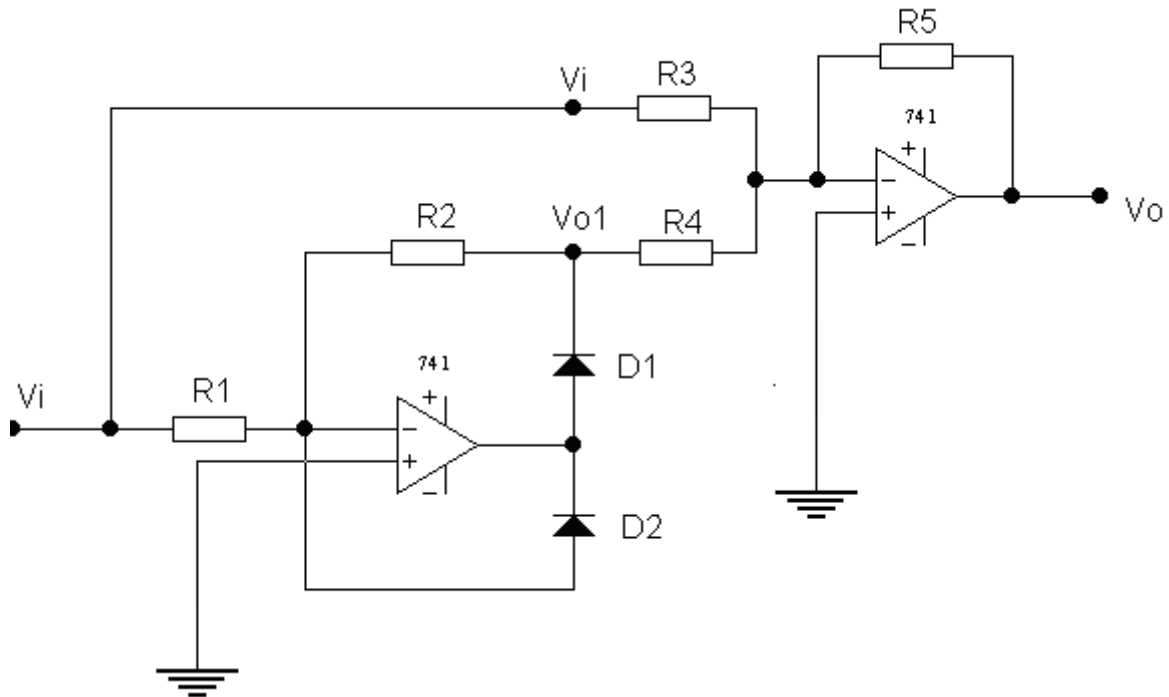
$V_i < 0$ için $V_o = -V_i \cdot R_2 / R_1$ den $V_o = -2V_i$ olur:



Örnek: $R_1=10K, R_2=50K$ $\pm V_k=\pm 14V$ için verilen giriş sinyaline göre çıkış sinyalini çiziniz



OP-AMP'LI TAM DALGA DOĞRULTUCU



OP-AMP 'lı Tam Dalga Doğrultmaç

Bu devrenin genel denklemi;

$$V_o = -(V_i \cdot R_5 / R_3 + V_{o1} \cdot R_5 / R_4)$$

1.op_amp'ın kazancının -1 olması için $R1=R2$ seçilir.

Çıkış genliğinin eşit çıkması için ise $R3=R5=2R4$ alınır.

$V_i > 0$ iken $V_{o1} = 0$ olur.

$V_i < 0$ iken $V_{o1} = -V_i$ olur. (R1=R2 den)

Verilenlere göre genel denklemi düzenlersek;

$$V_o = -(V_i \cdot 2R_4 / 2R_4 + V_o \cdot 1.2R_4 / R_4)$$

$V_o = -(V_i + 2V_{o1})$ elde edilir.

$V_i > 0$ iken $V_{o1} = 0$ değerini denklemde yerine koyarsak;

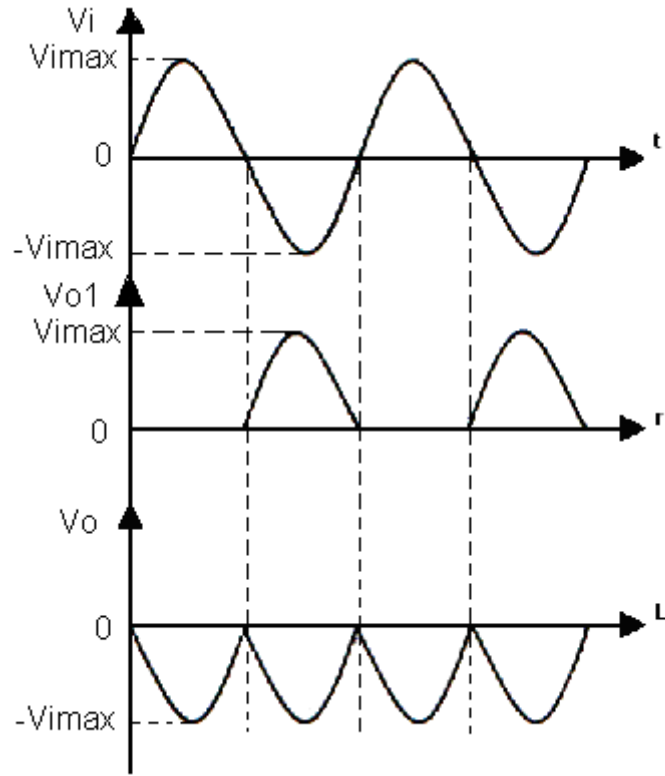
$$V_o = -(V_i + 0)$$

$V_0 = -V_i$ olur.

$V_i < 0$ iken $V_{o1} = -V_i$ değerini denklemde yerine koyarsak;

$$V_0 = -(V_i - 2V_i)$$

$V_o = V_i$ olur.



Tam Dalga Doğrultmaç Devresine Ait Dalga Şekilleri

ÖRNEK: $R_1=R_2=10K, R_3=R_5=20K, R_4=10K$ ve $\pm V_k=\pm 14V$ için V_i - V_o grafiğini çiziniz.

$V_i > 0$ için $V_{o1}=0$

$$V_o = -(V_i.R_5/R_3 + V_{o1}.R_5/R_4)$$

$$= -(V_i.20/20 + 0)$$

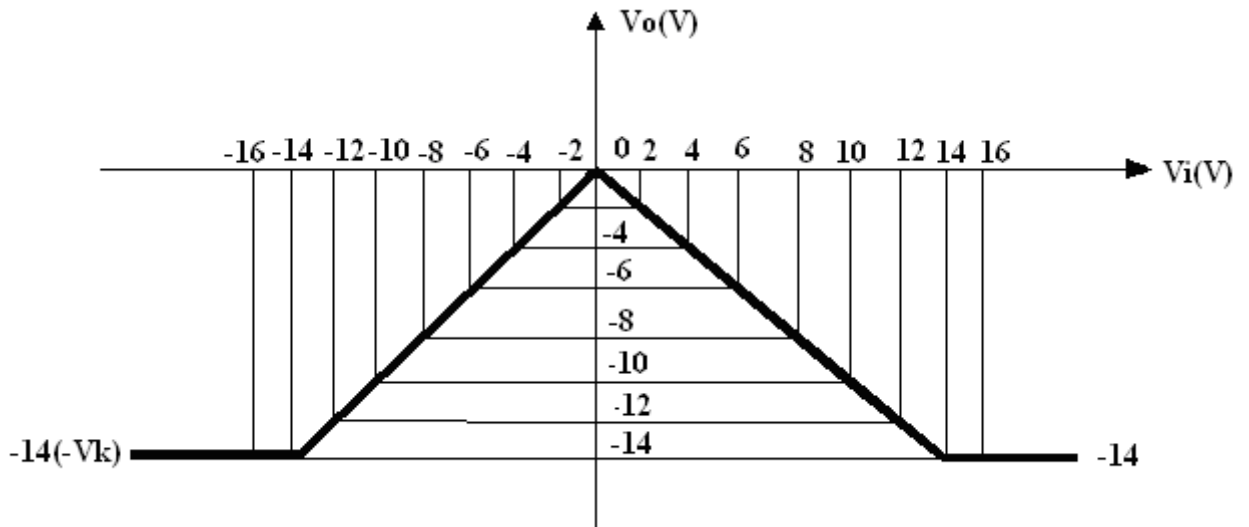
$$= -V_i$$

$V_i < 0$ için $V_{o1} = -V_i$ ($R_1=R_2$ den)

$$V_o = -(V_i.20/20 + (-V_i).20/10)$$

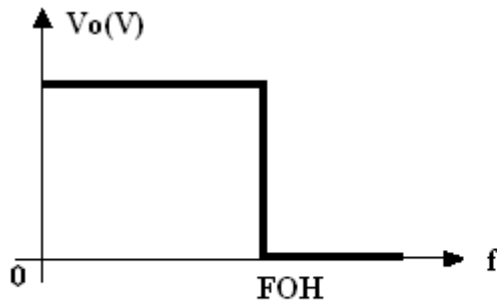
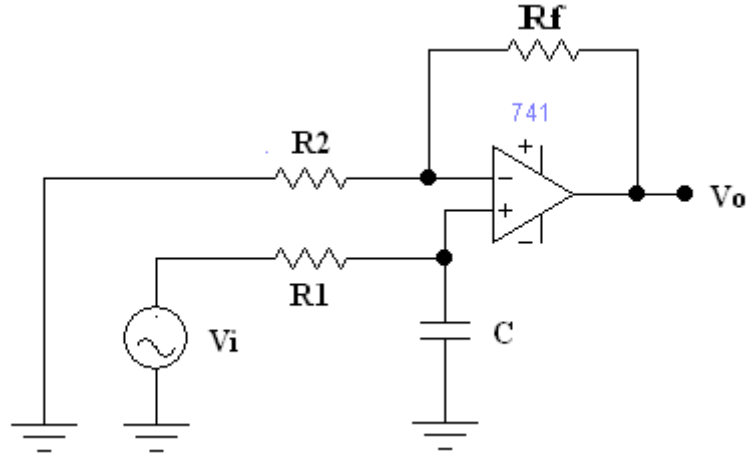
$$= -(V_i - 2V_i)$$

$$= V_i$$

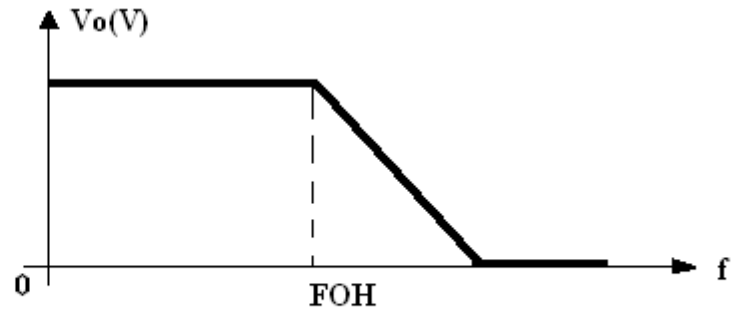


OP-AMP LARLA YAPILAN FİLTRE DEVRELERİ

ALÇAK GEÇİREN FİLTRE



İdeal

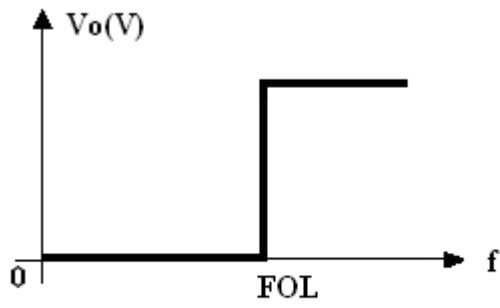
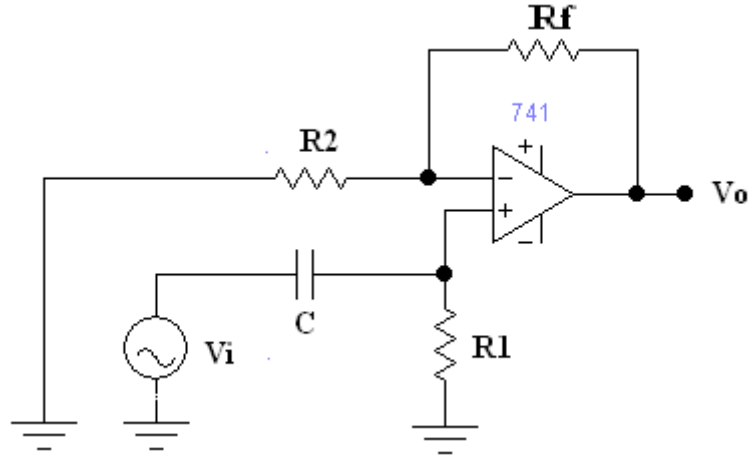


Pratik

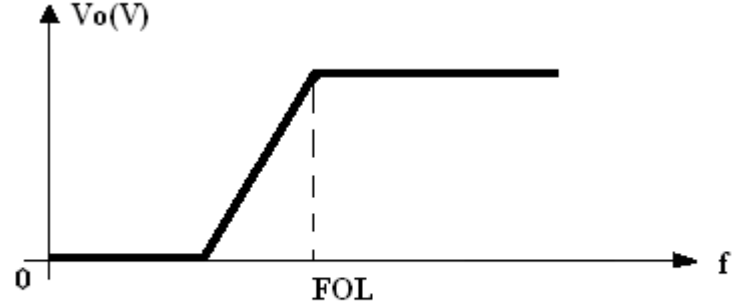
$$R1 = XC$$
$$XC = 1/2\pi f.C$$
$$FOH = 1/2\pi.R1C$$

FOH: Üst Kesim Frekansı

YÜKSEK GEÇİREN FİLTRE



İdeal

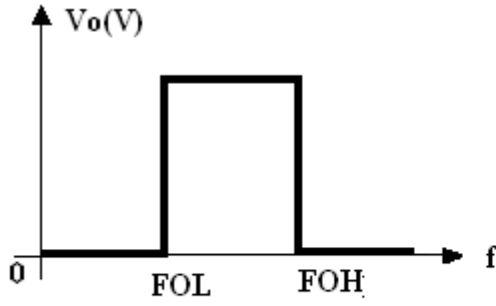
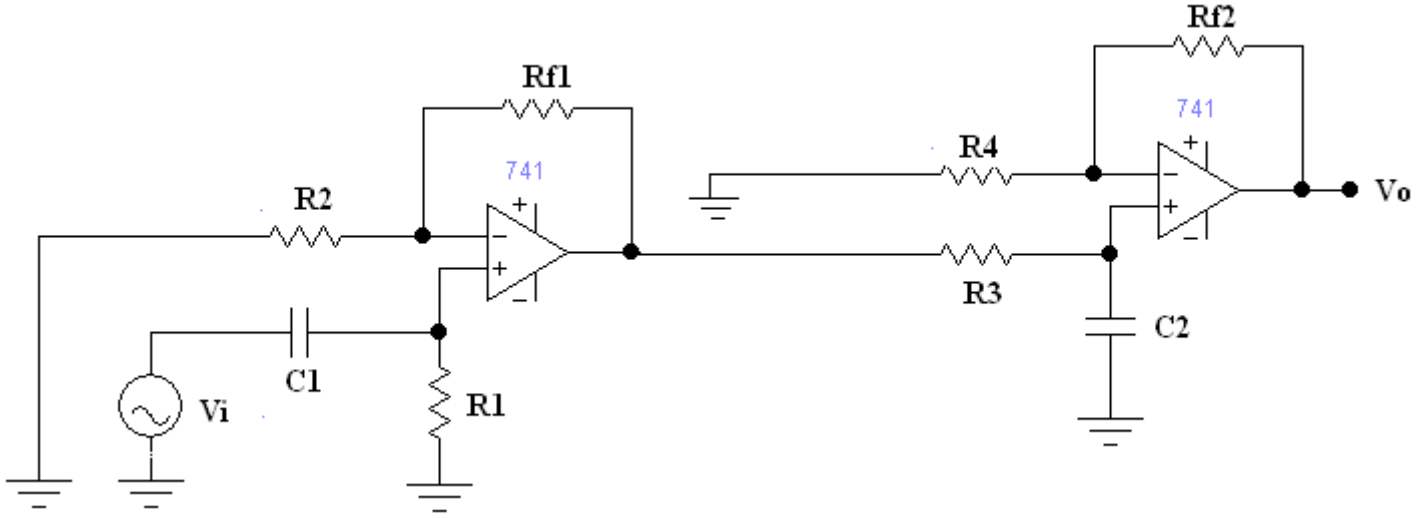


Pratik

$$R_1 = X_C$$
$$FOL = 1/2\pi \cdot R_1 C$$

FOL: Alt Kesim Frekansı

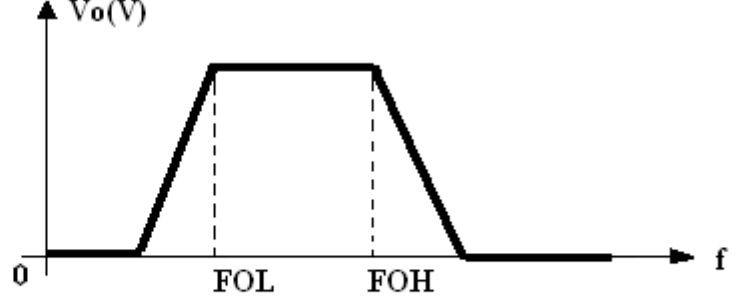
BANT GEÇİREN FİLTRE



İdeal

$$FOL = 1/2\pi \cdot R1 \cdot C1$$

$$FOH = 1/2\pi \cdot R3 \cdot C2$$



Pratik

Örnek: $R1=R3=10K$, $C1=0.01\mu f$ ve $C2=0.001\mu f$ olduğuna göre bant geçiren filtrenin alt kesim frekansını(Hz) ve üst kesim frekansını(KHz) hesaplayınız.

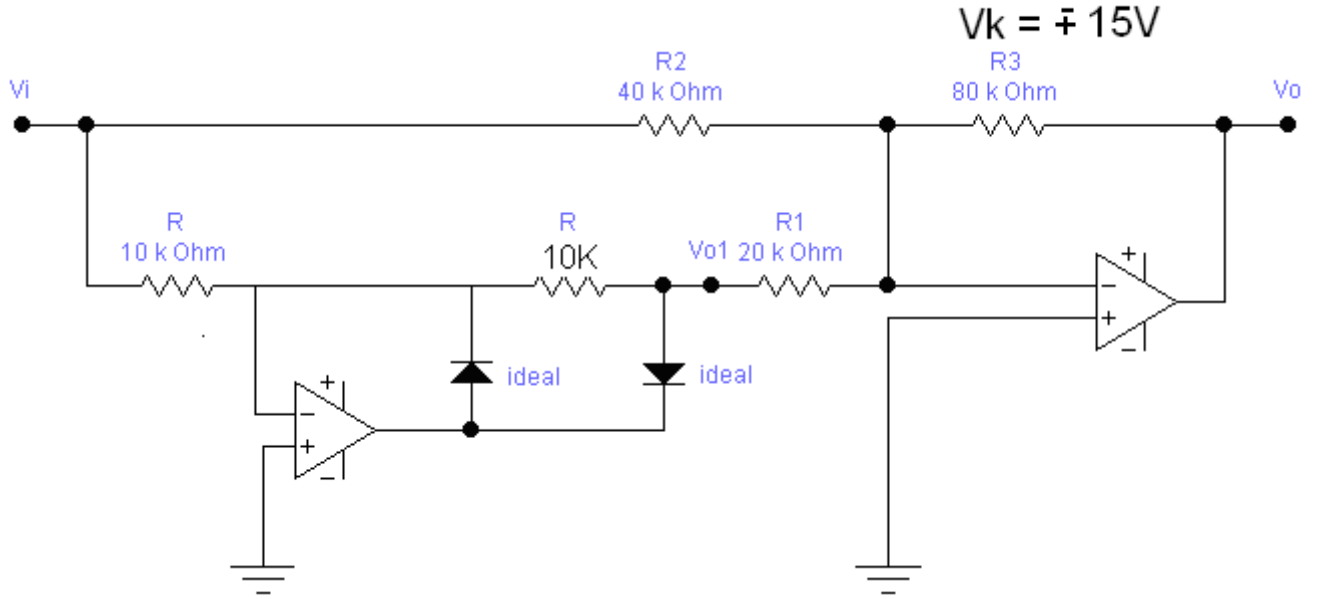
Çözüm:

$$FOL = 1/2\pi \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 0.01 \cdot 10^{-6} = 1592.3 \text{ Hz}$$

$$FOH = 1/2\pi \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 0.001 \cdot 10^{-6} = 15.92 \text{ KHz}$$

SORULAR

1-2-3 ve 4. soruları aşağıdaki şekle göre cevaplayınız



1) $V_i = 2\text{ V}$ için V_o 'nun değeri aşağıdakilerden hangisidir?

a) -4 V b) $+4\text{ V}$ c) $+2\text{ V}$ d) -2 V

2) $V_i = 2\text{ V}$ için V_{o1} 'in değeri aşağıdakilerden hangisidir?

a) -4 V b) $+4\text{ V}$ c) $+2\text{ V}$ d) -2 V

3) $V_i = -2\text{ V}$ için V_o 'nun değeri aşağıdakilerden hangisidir?

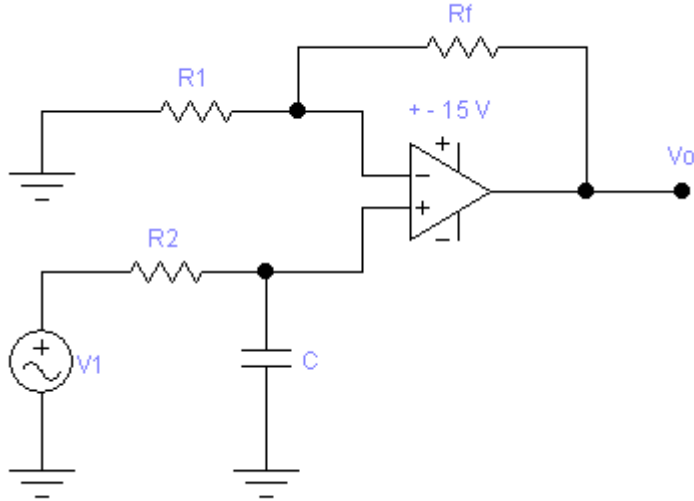
a) -4 V b) $+4\text{ V}$ c) -2 V d) $+2\text{ V}$

4) $V_i = -2\text{ V}$ için V_{o1} 'in değeri aşağıdakilerden hangisidir?

a) -4 V b) $+2\text{ V}$ c) 0 V d) $+4\text{ V}$

5) Aşağıdaki alçak geçiren filtre devresinde üst kesim frekansı ne olmalıdır?

$R_2 = 5\text{ K}$ $C = 1\text{ }\mu\text{ F}$ $F_{OH} = ?$

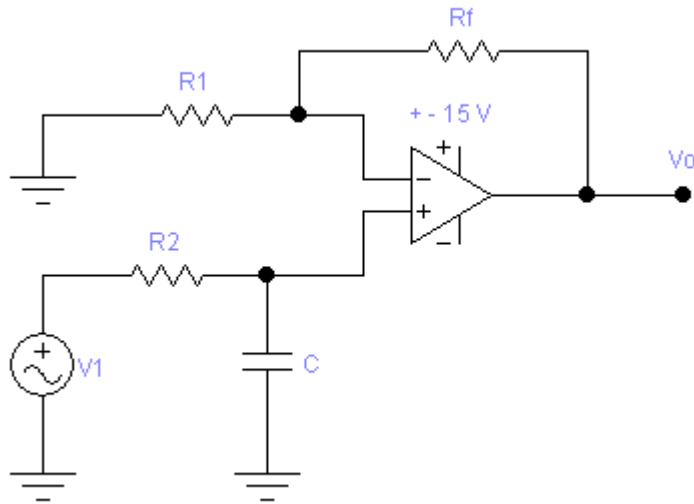


- a) 3,18KHz b) 0,628Hz c) 31,8Hz d) 0,628KHz

6) Aşağıdaki alçak geçiren filtre devresinde üst kesim frekansının 10Hz olması için C ne olmalıdır?

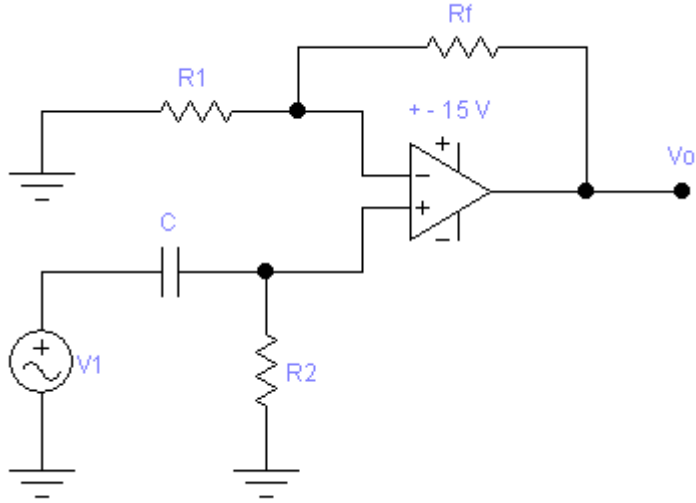
$R_2 = 10K$

$C = ?$



- a) $1,59\mu f$ b) $1,59mf$ c) $15,9\mu f$ d) $1,59nf$

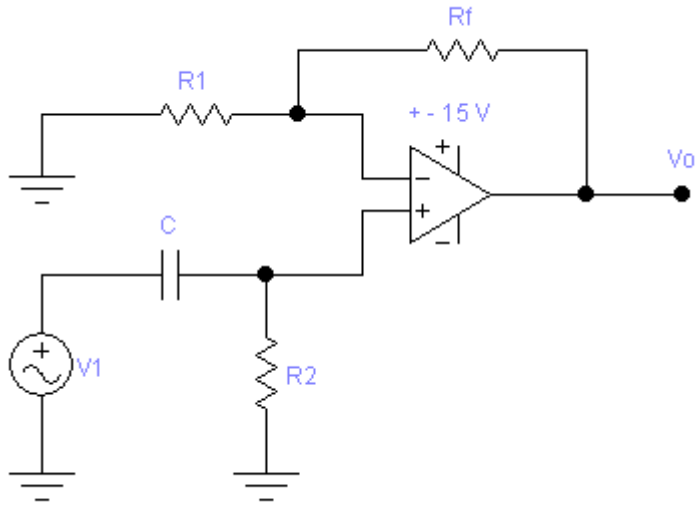
7) Aşağıdaki yüksek geçiren filtre devresinde alt kesim frekansı ne olmalıdır? $C = 2\mu f$ $R_2 = 1K$ $FOL = ?$



- a) 79,61Hz b) 79,61 KHz c) 0,796Hz d) 0,796KHz

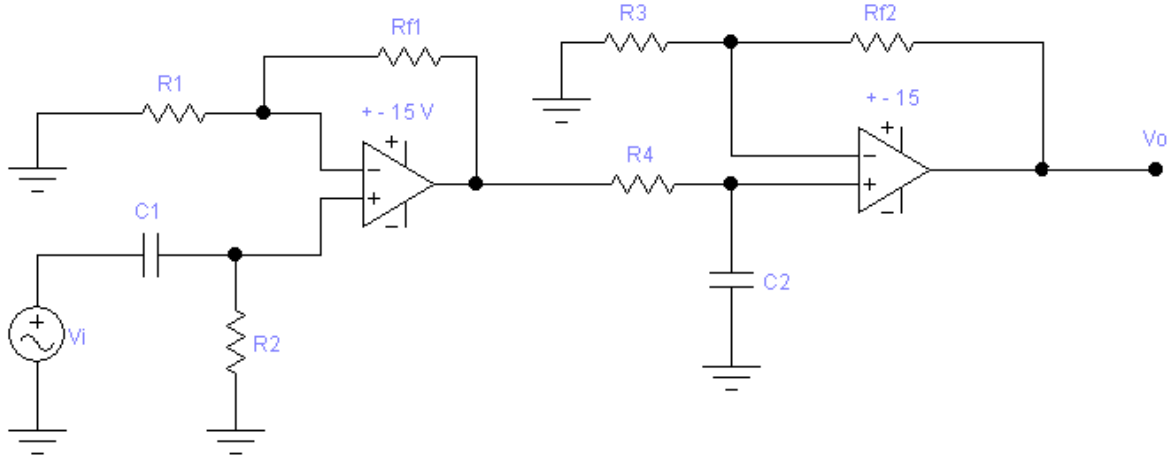
8) Aşağıdaki yüksek geçiren filtre devresinde alt kesim frekansının 1 KHz olması için R2 ne olmalıdır?

$$C=1\mu F R2=?$$



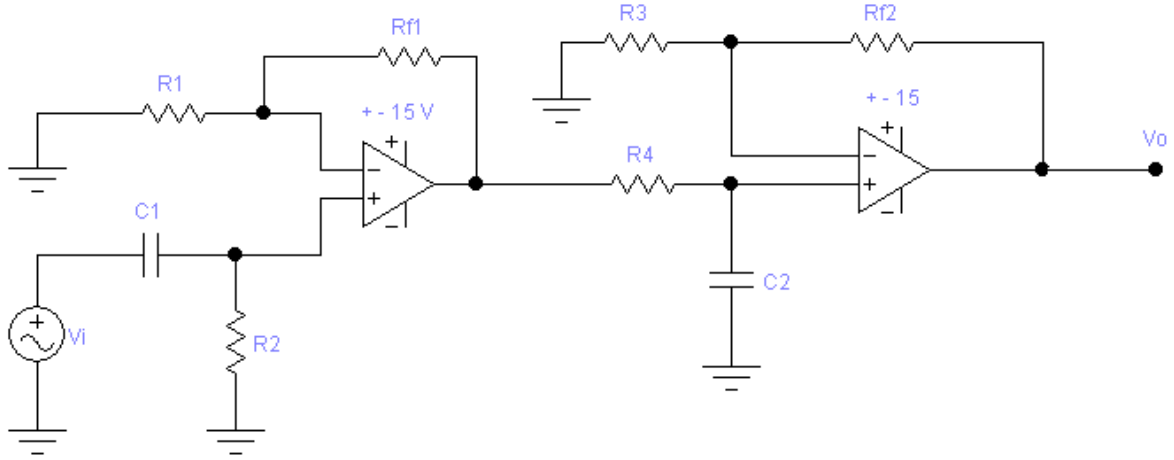
- a) 159,2MΩ b) 159,2K c) 1,59K d) 159,2Ω

9) Aşağıdaki bant geçiren filtre devresinde üst kesim frekansı ne olmalıdır? $R_4=10K$
 $C_2=3\mu f$ FOH=?



- a) 5,3Hz b) 5,3KHz c) 53KHz d) 53Hz

10) Aşağıdaki bant geçiren filtre devresinde alt kesim frekansı ne olmalıdır?
 $R_2=1K$ $C_1=4\mu f$



- a) 39,8KHz b) 3,98Hz c) 3,98KHz d) 39,8Hz

CEVAPLAR

- 1) $V_{o1} = -(V_i \times R/R) = -(2 \times 10/10) = -2V$
 $V_o = -(V_i \times R_3/R_2 + V_{o1} \times R_3/R_1) = -(2 \times 80/40 + (-2) \times 80/20) = 4V$
- 2) $V_o = -V_i = -2V$
- 3) $V_{o1} = 0$ $V_o = -(V_i \times R_3/R_2) = -((-2) \times 80/40) = 4V$
- 4) $V_{o1} = 0$
- 5) $FOH = 1/2 \times 3,14 \times C \times R_2 = 1/2 \times 3,14 \times 5K \times 1\mu f$

$$=31,8\text{Hz}$$

$$6) \quad 1\text{KHz} = 1/2 \times 3,14 \times C \times R_2$$

$$C = 1/2 \times 3,14 \times 10\text{K} \times 10\text{Hz} = 1,59\mu\text{f}$$

$$7) \quad \text{FOL} = 1/2 \times 3,14 \times C \times R_2$$

$$= 1/2 \times 3,14 \times 2\mu\text{f} \times 1\text{K}$$

$$=79,61\text{Hz}$$

$$8) \quad \text{FOL} = 1/2 \times 3,14 \times C \times R_2$$

$$1\text{KHz} = 1/2 \times 3,14 \times C \times R_2$$

$$R = 1/2 \times 3,14 \times 1\mu\text{f} \times 1\text{KHz}$$

$$=159,2\Omega$$

$$9) \quad \text{FOH} = 1/2 \times 3,14 \times C_2 \times R_4$$

$$= 1/2 \times 3,14 \times 10\text{K} \times 3\mu\text{f}$$

$$=5,3\text{Hz}$$

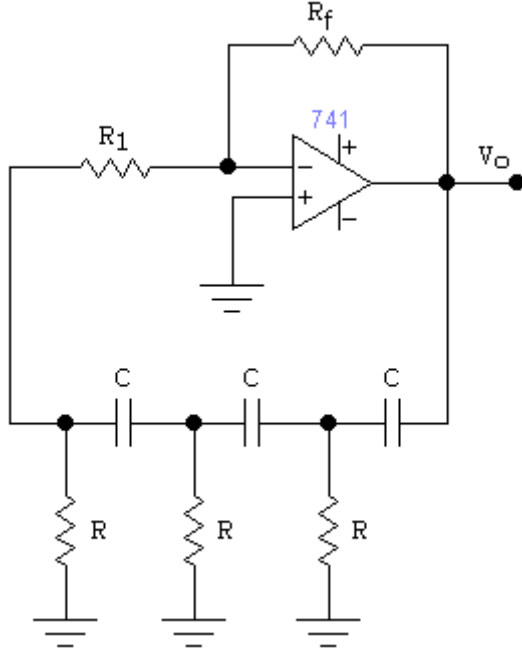
$$10) \text{FOL} = 1/2 \times 3,14 \times C_1 \times R_2$$

$$= 1/2 \times 3,14 \times 4\mu\text{f} \times 1\text{K} = 39,8\text{Hz}$$

CEVAP ANAHTARI

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
B	D	B	C	C	A	A	D	A	D

OP-AMP 'lı Faz Kaymalı RC Osilatör



OP - AMP 'lı Faz Kaymalı R-C Osilatör

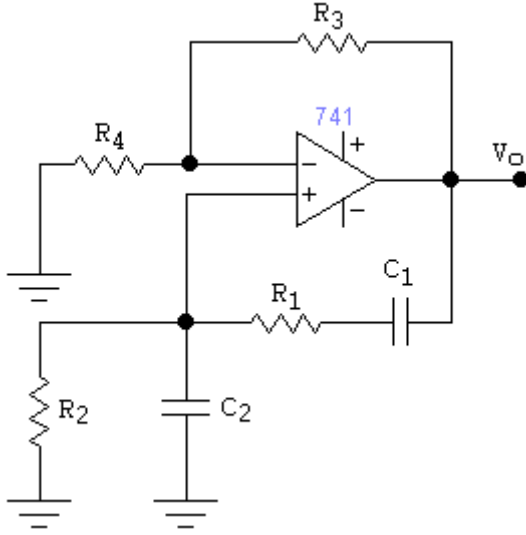
Yaygın olarak kullanılan 741 ve 747 gibi OP-AMP entegreleri osilatör devrelerinde de kullanılır. Şekilde gösterilen OP-AMP devresi inverting yükselteç yapısında olup, 3 adet R-C frekans tespit edici tertipten meydana gelmiştir. R_f direnci OP-AMP 'ın kapalı çevrim kazancını belirleyen geri besleme direnci, R_1 direnci ise giriş direncidir. Bu devrede her bir RC 'den oluşan frekans tespit edici tertibi 60° lik faz kaymasına neden olur. Devrede 3 adet R-C 'den oluşan tertip mevcut olduğuna göre $3 \times 60^\circ = 180^\circ$ lik faz kaymasına neden olur. Burada önemli olan toplam faz kaymasının 180° olmasıdır.

OP-AMP 'lı faz kaymalı RC osilatörün çalışma frekansı;

$f = 1 / (2\pi \cdot R \cdot C \cdot \sqrt{6})$ formülü ile hesaplanır.

Devrenin osilasyon (salınım) yapabilmesi için devre kazancının 29 'dan büyük olması gerekir. Bundan dolayıdır ki $[R_f \geq 29 R_1]$ olacak şekilde seçilmelidir.

OP-AMP 'lı Wien Köprü Osilatörü



OP-AMP 'lı Wien Köprü Osilatörü

Şekilde görüldüğü gibi R1 - C1 'den seri, R2 - C2 'den oluşan paralel R-C devreleri Wien köprü osilatörünü oluşturur. Devrede yükselteç olarak OP-AMP kullanılmıştır. kazancı belirleyen elemanlar ise R3 ve R4 'tür. Çıkış sinyali, belli oranda OP-AMP 'ın faz çevirmeyen (+) girişine R1 - C1 elemanları ile geri beslenmektedir.

OP-AMP 'ın çalışma frekansında R1 - C1 , R2 - C2 'den oluşan köprü devresi maximum geri beslemeyi yapmakta ve bu frekansta faz açısı sıfır olmaktadır.

Devrede R3 - R4 ve OP-AMP 'tan oluşan kısım yükselteci, R1 - C1 ile R2 - C2 'den oluşan kısım Wien köprü devresini yani frekans tespit edici tertibi meydana getirir.

Çıkıştan alınan sinüsoidal sinyalin frekansı veya devrenin çalışma frekansı;

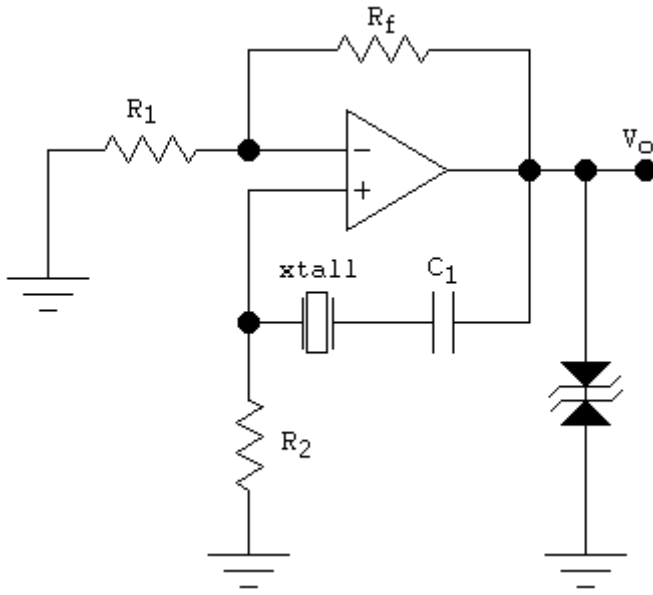
$f = 1 / [2\pi\sqrt{R1.C1.R2.C2}]$ formülü ile bulunur.

Eğer devrede $R1 = R2 = R$ ve $C1 = C2 = C$ olarak seçilirse formül;

$f = 1 / (2\pi RC)$ olur.

Ayrıca, devrenin istenen frekansta osilasyon yapması ve yeterli çevrim kazancını sağlayabilmesi için $(R3 / R4) \geq 2$ olmalıdır.

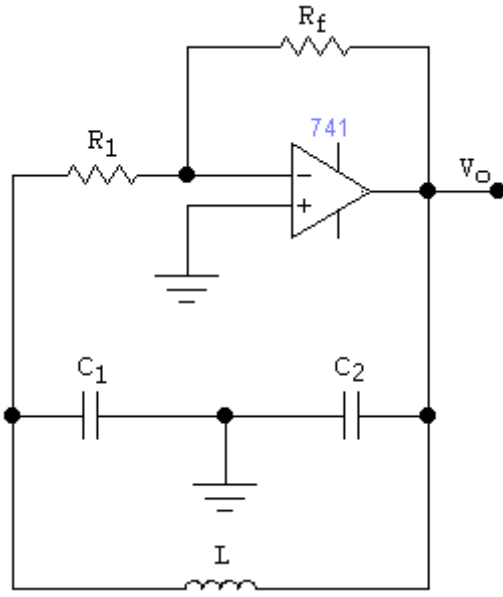
Kristal Osilatör Devreleri



OP-AMP 'lı Kristal Kontrollü Osilatör Devresi

Şekilde görüldüğü gibi kristal kontrollü osilatör devresinde işlemsel yükselteç (OP-AMP) kullanılabilir. Bu devrede kristal, geri besleme yoluna seri bağlanmıştır. Dolayısıyla kristal, seri rezonans frekansında çalışır. Bu devrenin çıkışından kare dalga alınır. Tam olarak zener geriliminde çıkış genliğini sağlamak için çıkışa bir çift zener bağlanmıştır.

OP-AMP 'lı Colpits Osilatör



Şekil 3.49 - OP-AMP 'lı Colpits Osilatör

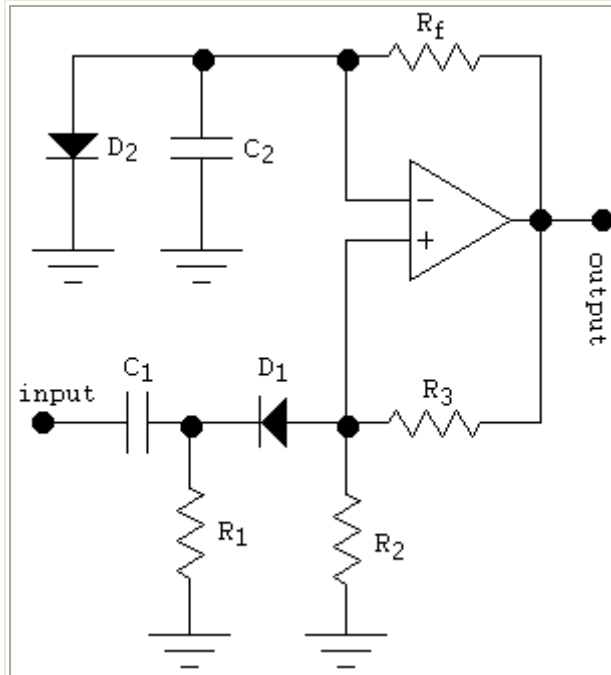
İşlemsel Yükselteçle gerçekleştirilen Colpits osilatör, Şekilde gösterilmiştir. Osilatörün çalışma frekansı Colpits Devresinin LC geri besleme devresiyle ayarlanmaktadır. Osilatör frekansı;

$$f = 1 / (2\pi\sqrt{L.CT})$$

$$CT = (C1.C2) / (C1+C2)$$

formülüyle hesaplanır.

OP-AMP 'lı Monostable Multivibratör



OP-AMP 'lı Monostable M.V. Devresi

Şekilde OP-AMP ile gerçekleştirilen tek kararlı multivibratör devresi görülmektedir.

Şekildeki devrede giriş sinyali yok iken D_2 diyodu iletimde olacağından, OP-AMP 'ın faz çeviren (-) giriş ucundaki gerilim milivolt seviyesindedir. Bu anda OP-AMP 'ın faz çevirmeyen (+) giriş ucundaki gerilim ise;

$$[V_o / (R_2 + R_3)].R_2 \text{ 'dir.}$$

Negatif giriş sinyali uygulandığında ve bu değer

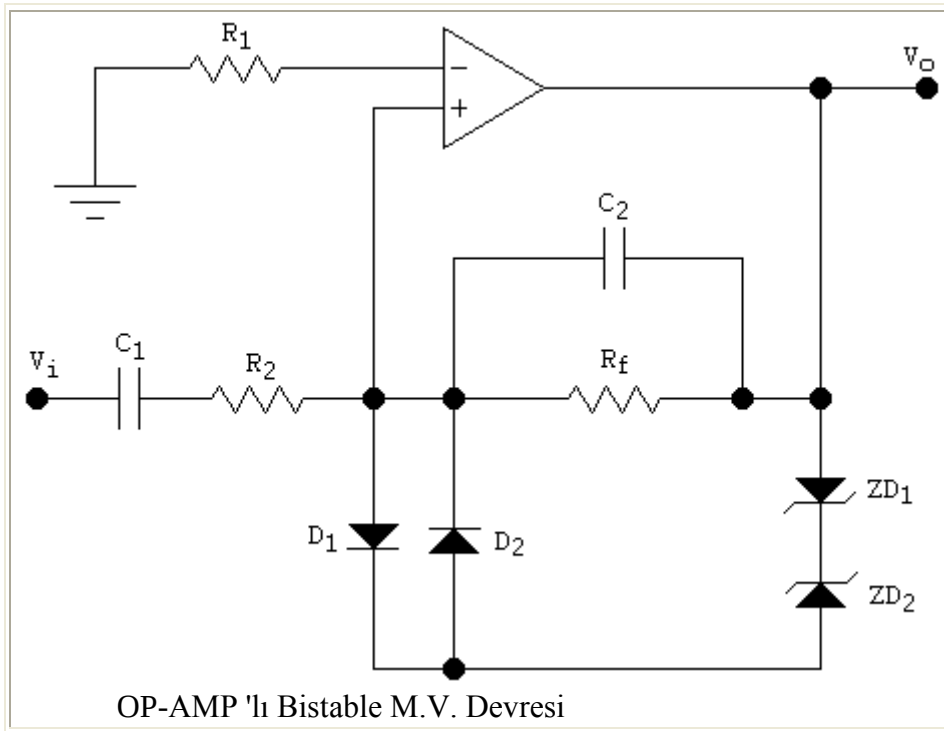
$[V_o / (R_2 + R_3)].R_2$ değerini geçerse D_2 diyodu ters polarmaya uğrar. Dolayısıyla C_2 kondansatörü zorunlu olarak şarj olur. C_2 'nin şarj olmasıyla beraber OP-AMP 'ın (-) girişi, (+) girişinden daha fazla negatif olacaktır.

OP-AMP 'ın çıkışı max V_o gerilimine ulaşır.

Negatif giriş palsi uygulanırsa ve bu darbenin

seviyesi, OP-AMP 'ın faz çevirmeyen (+) girişindeki gerilim değerini aşarsa, OP-AMP $-V_o$ (max) değerine ulaşır.

OP-AMP 'lı Bistable Multivibratör



OP-AMP 'lı Bistable M.V. Devresi

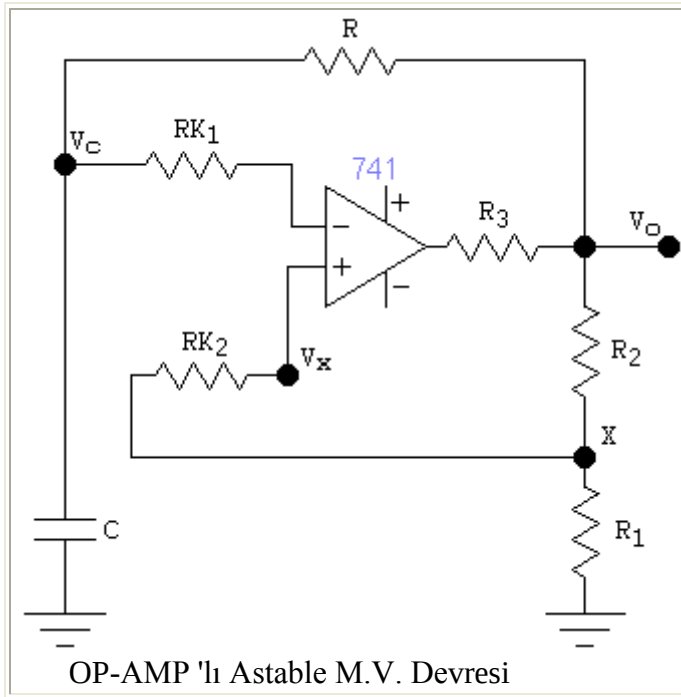
Şekilde görüldüğü gibi, devrenin çıkışı ZD_1 ve ZD_2 Zener diyodları ile belirlenen $+V_z$ ve $-V_z$ değerleri arasında doyuma gider. Non-inverting girişteki, negatif geri beslemeyi sağlayan eleman R_f direncidir. V_i girişine sinyal uygulanmadığı sürece devre konumunu koruyacaktır. V_i girişine küçük bir pozitif darbenin uygulanması halinde, OP-AMP 'ın faz çevirmeyen (+) girişindeki polarite değişeceğinden, OP-AMP çıkışı bir önceki durumunun tersi olacaktır. OP-AMP çıkışı, V_i girişine uygulanan darbe ile $+V_z$ ile $-V_z$ değerleri arasında değişecektir.

OP-AMP 'lı Astable Multivibratör

OP-AMP ile gerçekleştirilen astable (kararsız) multivibratör devresi, aslında karşılaştırmacı gibi çalışmaktadır.

İlk önce OP-AMP 'ın faz çevirmeyen (+) girişindeki V_x değerinin daha pozitif olduğunu düşünelim. Bu durumda, OP-AMP çıkışı $V_o = +V_k$ kadar olur.

Buradan;



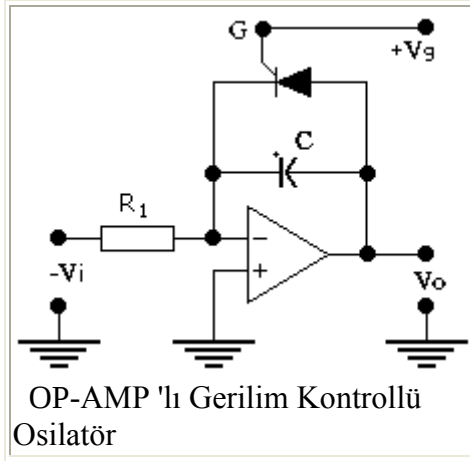
$V_x = [V / (R_1 + R_2)] \cdot R_1$ değerindedir. $R_1 / (R_1 + R_2) = k$ olarak tanımlarsak

$V_x = k \cdot V$ olur. Bu esnada C kapasitesi, OP-AMP 'ın faz çeviren uca (+) gerilim uygulayacak yönde şarj olmaktadır.

Kondansatör üzerindeki gerilim $V_c = k \cdot V$ olduğunda OP-AMP çıkışı $V_o = -V$ olarak konum değiştirir. $V_c = -kV$ olduğunda OP-AMP çıkışı $V_o = +V$ olarak yine konum değiştirir. Olaylar böyle devam ederek, çıkışta $\pm V$ genlikte bir kare dalga elde edilecektir.

Transistörlü astable multivibratör devresinde olduğu gibi dışarıdan herhangi bir tetikleme olmadan çıkıştan kare dalga elde edilir. RK_1 ve RK_2 dirençleri, OP-AMP 'ın faz çeviren (-) ve çevirmeyen (+) girişlerini korumak amacıyla kullanılmıştır.

Gerilim Kontrollü Osilatör Olarak Kullanılması



DC çıkış voltajı ile kontrol edilebilen osilatörlere, gerilim kontrollü osilatör (VCO - Voltage Controlled Oscillator) adı verilir.

Şekildeki devre, V_i giriş voltajı ile frekansı kontrol edilebilir bir testere dişi jeneratördür. Temel olarak bu devre integral alıcı bir devredir. Negatif geri besleme hattında bir kondansatör ve ona paralel bağlı bir tristör (SCR-Silicon Controlled Rectifier) kullanılmıştır. Tristör ON-OFF anahtarlamaı gerçekleştirir. Tristörde, anod-katod ve gate olmak üzere üç terminal bulunur.

Gate voltajı (V_G) belli bir eşik gerilimini aştıktan sonra iletme geçer. Gate voltajı, eşik geriliminin altında bir tristör yalıtmadadır.

Çıkış voltajının pozitif olması için V_i gerilimi negatiftir. DC bataryanın negatif kutbu OP-AMP 'ın faz çeviren (-) girişine uygulandığı zaman çıkıştan pozitif bir rampa darbesi elde edilir. Çünkü, sabit bir fonksiyonun integrali, rampa fonksiyonudur. Örneğin, 5 sabit sayısının integrali $5x$ 'dir. Burada 5 sayısı sabit bir fonksiyonu temsil ederken $5x$ rampa fonksiyonunu temsil eder.

Çıkışta meydana gelen pozitif darbe, tristörün eşik gerilimini aşarsa tristör iletme geçer ve kondansatör tristör üzerinden deşarj olur. Bu kez çıkış negatif yönde inmeye başlar. Çıkışın negatif yönde inmesi, tristörü yalıtmaya sokacağından kondansatör tekrar şarj olur. Bu kez çıkışındaki rampa darbesi tekrar pozitif yönde artmaya başlar. Kondansatörün şarj ve deşarj ile tristörün iletme ve yalıtmaya geçmesiyle devrenin çıkışından testere dişi biçimindeki dalga elde edilir.