

ÖN HAZIRLIK

1. Föyde yer alan teorik anlatımları okuyunuz. Bilmediğinizi araştırıp öğreniniz.
2. Deneyde yer alan tüm teorik hesaplamaları deneye gelmeden önce yapıp tüm işlemleri ön hazırlığa ekleyiniz.
3. Deneyde yapılması istenilen tüm adımları simülasyon ortamında gerçekleştirip sonuçları rapor formatına uygun bir şekilde ön hazırlığa ekleyin. Simülasyon ortamında gerçekleştirdiğiniz her adımın ekran çıktısını rapora ekleyin ve detaylı açıklama yapın. Ekran çıktıları anlaşılır olmalıdır.
4. Deneye gelmeden önce deney adımlarını detaylı bir şekilde inceleyerek bilmediğiniz şeyleri öğrenmek için gerekli araştırmaları yapınız.
5. Deneye gelmeden önce kullanacağınız malzemeleri (direnc, kapasitör, transistör vb..) belirleyin. Deney başlangıcında malzemeler kullanıma hazır olmalıdır. Deneye devrenizi önceden kurmuş olarak gelmeniz deneyi zamanında bitirmeniz açısından önemlidir.
6. Deney sırasında deney için gerekli bilgileri öğrenmiş olduğunuzu ve deneyi yapabildiğinizi göstermeniz gereklidir. Dolayısıyla deney devresini kurmakta ve ölçüm cihazlarını kullanmakta eksikleriniz varsa deneyden önce laboratuvar çalışma saatlerinde izin alarak çalışabilirsiniz. Laboratuvar çalışma saatleri şuan için Salı günü 13:00-16:00 olarak belirlenmiştir. Bu saatlerin dışında da uygun olması halinde görevlilerden izin alarak çalışma yapabilirsiniz.

DENEY 5

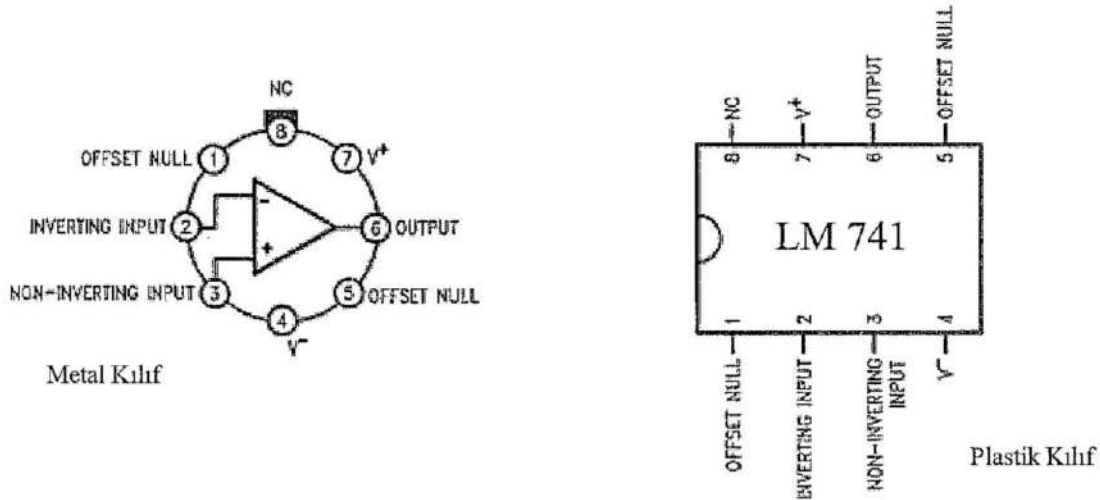
İŞLEMSEL YÜKSELTEÇLER (OP-AMP) VE UYGULAMALARI

GİRİŞ: Lineer entegre devre sınıfında olan işlemsel yükselteçler kısaca 'Op-Amp' diye adlandırılırlar. Güç sarfiyatlarının az, kararlılıklarının yüksek olması nedeniyle oldukça karmaşık devrelerde ve çok sayıda kullanılırlar. Günümüzde; proses kontrol, haberleşme, bilgisayar, gösterge, test ve ölçü sistemleri gibi alanlarda osilatör, regülatör, logaritmik yükselteç, tepe dedektörü, gerilim karşılaştırıcısı, aktif filtre, zamanlama devreleri, tetikleme devreleri gibi alanlarda kullanılmaktadır.

İşlemsel Yükseltecin Genel Özellikleri:

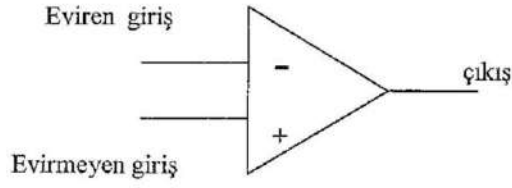
İşlemsel yükselteç, kararlı bir gerilim kazancı sağlamak için gerilim beslemesi kullanan çok yüksek kazançlı bir fark yükseltecidir. Kullanılan yükselteç, aslında yüksek giriş empedansı ve düşük çıkış empedansı ile yüksek açık çevrim kazancına sahip bir fark yükseltecidir. İşlemsel yükseltecin tipik uygulamaları arasında toplama, çıkarma, integral ve türev alma ve enstrümantasyon (ölçüm yükselteci) devreleri sayılabilir.

İşlemsel yükseltecin iki giriş, bir çıkış, iki besleme olmak üzere toplam beş ucu bulunmaktadır. İşlemsel yükselteç Şekil 4.1'deki gibi metal veya plastik kılıflar içinde bulunabilirler.



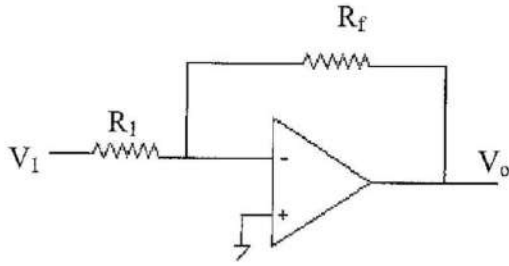
Şekil 4.1.

Bir işlemsel yükseltecin sembolü Şekil 4.2'deki gibi gösterilmiştir. Girişler, eviren ve evirmeyen girişleri göstermek için sırasıyla (-) ve (+) ile işaretlenmiştir. Artı girişine uygulanan sinyal, çıkışta aynı polaritede ve yükseltilmiş olarak görünürken, eksi ucuna uygulanan sinyal çıkışta yükseltilmiş ancak terslenmiş olarak görülecektir.

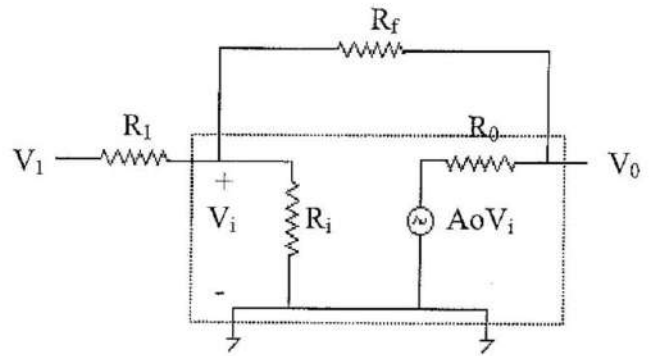


Şekil 4.2

İşlemsel yükseltecin temel devre bağlantısı Şekil 4.3' deki gibidir.



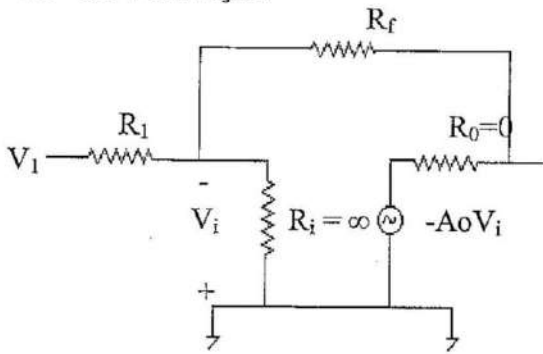
Şekil 4.3



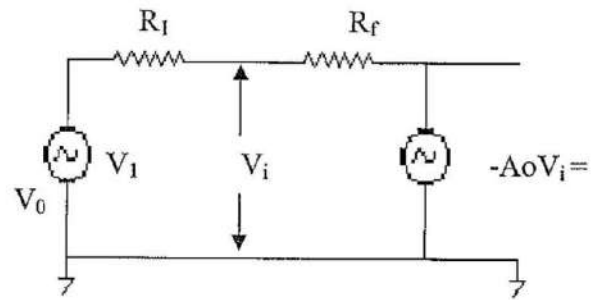
Şekil 4.4

R_1 direnci üzerinden eksi ucuna bir V_1 giriş sinyali uygulanır. Çıkış gerilimi R_f direnci üzerinden aynı giriş ucuna beslenir. Artı giriş ucu toprağa bağlıdır. Devrenin toplam kazancı V_o/V_1 ' yi bulmak istersek Op-Amp' in eşdeğer devresine bakmak gerekir. Şekil 4.3' deki işlemsel yükselteç yerine R_1 giriş dirençli çıkış gerilim kaynaklı ve kaynak iç direncini içeren eşdeğer devre konulmuştur. Şekil 4.4' de kesikli çizgiler içinde kalan bölge Op-Amp' in eşdeğer devresidir.

Şekil 4.5' de ise Şekil 4.3' deki işlemsel yükseltecin ideal olması durumundaki eşdeğer devresi verilmiştir. Bu durumda işlemsel yükselteç; sonsuz giriş direncine ($R_i = \infty$), sıfır çıkış direncine ($R_o = 0$) ve sonsuz gerilim kazancına ($A_o = \infty$) sahiptir. İdeal işlemsel yükselteç eşdeğer devresinin sadeleştirilmiş hali Şekil 4.6' da verilmiştir.



Şekil 4.5



Şekil 4.6

Süperpozisyon teoremini kullanarak V_i gerilimini, kaynaklardan gelecek olan bileşenler cinsinden bulabiliriz.

Sadece V_1 kaynağı devrede iken; Sadece $-A_oV_i$ kaynağı devrede iken;

$$V_{i1} = \frac{R_f}{R_1 + R_f} V_1$$

$$V_{i2} = \frac{R_1}{R_1 + R_f} (-A_o V_i)$$

Toplam V_i gerilimi;

$$V_i = V_{i1} + V_{i2} = \frac{R_f}{R_1 + R_f} V_1 + \frac{R_1}{R_1 + R_f} (-A_o V_i)$$

$$V_i = \frac{R_f}{R_f + (1 + A_o)R_1} V_1$$

$A_o \gg 1$ olduğundan A_o 'ın yanındaki 1 ve $A_o R_1 \gg R_f$ olduğundan $A_o R_1$ yanındaki R_f ihmal edilebilir.

$$V_i = \frac{R_f}{A_o R_1} V_1$$

$\frac{V_o}{V_1}$ için çözersek;

$$\frac{V_o}{V_1} = \frac{-A_o V_i}{V_1} = \frac{-A_o}{V_1} \left(\frac{R_f V_1}{A_o R_1} \right) = \frac{-R_f}{R_1}$$

$$\frac{V_o}{V_1} = \frac{-R_f}{R_1}$$

Açık çevrim kazancı:

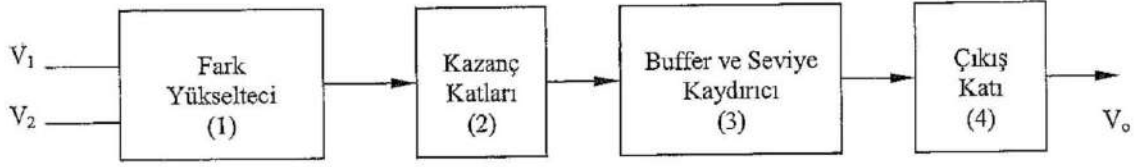
Op-Amp'a herhangi bir geri besleme uygulanmağı zaman çıkış geriliminin giriş gerilimine oranı açık çevrim kazancı A_o olarak isimlendirilir. A_o gerilim kazancı çok büyük değere sahiptir. 741' in açık çevrim kazancı 200.000 kadardır. Bu kazanç DC'den 5 Hz'e kadar olan işaretler için geçerlidir. Daha yüksek frekanslarda kazanç 20 dB/dekad'lık bir eğim ile zayıflar.

İdeal bir Op-Amp'ın özellikleri;

Giriş direnci $R_i = \infty$, çıkış direnci $R_o = 0$, açık devre gerilim kazancı $A_o = \infty$
İki giriş arasındaki gerilimler eşit ise çıkış sıfır olur. + ve - girişlerden içeriye doğru akım akmaz ve bu özellikler sıcaklıkla değişmemelidir.

İşlemsel Yükselticinin İç Yapısı:

İşlemsel yükseltecin iç yapısı; diferansiyel yükselteç katı, kazanç katı, tampon (buffer) ve seviye kaydırıcı katlar ve çıkış veya güç katı olmak üzere dört ayrı blok şeklinde incelenebilir.



Şekil 4.7

1. Fark Yükselteci:

İşlemsel yükseltecin ilk katı olan fark yükselteci 0 Hz' den birkaç MHz'e kadar olan işaretlerin farkını kuvvetlendiren bir yükselteçtir. Fark yükseltecinin 1 ve 2 giriş uçlarına V_1 ve V_2 gerilimleri uygulanmış olsun. Fark yükseltecin kazancı A_d (dif. kazanç) ve ortak mod işareti V_c ile gösterilirse

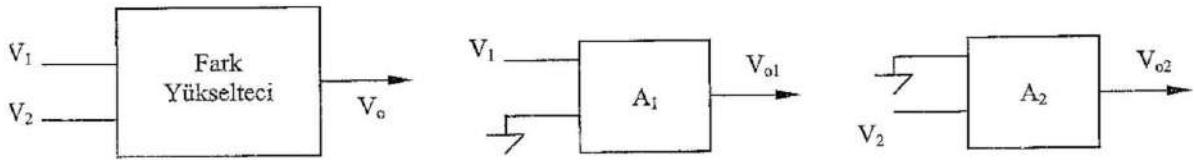
$$V_c = \frac{1}{2} (V_1 + V_2)$$

$$V_o = A_d (V_1 - V_2) = A_d V_d$$

Böylece V_1 ve V_2 değerleri; V_d (diff.) ve V_c (common) cinsinden ifade edilmiş olur.

$$V_1 = V_c + \frac{1}{2} V_d$$

$$V_2 = V_c - \frac{1}{2} V_d$$



Şekil 7.8.

V_1 ve V_2 'nin ayrı ayrı uygulanması halinde (fark yükselteci kazançları A_1 ve A_2 ise) çıkış işareti aşağıdaki gibi olur.

$$V_o = V_{o1} + V_{o2} = A_1 V_1 + A_2 V_2$$

Daha önce bulunan V_1 ve V_2 değerleri yerine konursa;

$$V_o = A_d V_d + A_c V_c$$

Burada;

$$A_d = \frac{1}{2} (A_1 - A_2) \quad \text{"Fark modu gerilim kazancı"}$$

$$A_c = (A_1 - A_2) \quad \text{"Ortak mod gerilim kazancı"}$$

İdeal bir yükselteçte A_d çok büyük ve A_c 'nin sıfır olması gerekir. Diferansiyel yükseltecin kalitesini ifade etmek için bu iki kazanç arasındaki orana bakılır. Ortak mod bastırma oranı (**Common Mode Rejection Ratio**) diye isimlendirilen bu oranın ifadesi aşağıdaki gibidir;

$$CMRR = \left| \frac{A_d}{A_c} \right|$$

Kaliteli bir fark yükseltecinin özelliklerini şöyle sıralayabiliriz;

- CMRR oldukça yüksektir.
- Kuvvetlendirilecek işaretler direkt olarak girişlere bağlanabilir.
- Çıkış gerilimindeki kayma oldukça küçüktür.
- Giriş kutuplama akımları oldukça küçüktür.

2. Kazanç Katları:

Akım Kaynakları ve Aktif Yükler

İşlemsel yükseltecin kazancının mümkün olduğu kadar büyük olması istenir. Bunu sağlamak için de işlemsel yükseltecin ilk katı fark yükseltecinin yapısında bulunan kollektör direncinin yüksek tutulması gerekir. Entegre devre tekniğinde büyük değerli direnç fazla yer kapladığından pasif direncin kullanılması uygun değildir. Bunun yerine aktif yük direnci olan sabit akım kaynağı kullanılır. Aktif yükler kazanç katlarında kullanıldığı gibi fark yükseltecinin kollektör yük direnci olarak da kullanılır.

3. Tampon (Buffer) ve Seviye Kaydırıcılar:

İşlemsel yükselteçte kapasite elemanı kullanılmadığından katlar direkt olarak birbirine bağlanır. Bundan dolayı katlar ilerledikçe, çalışma noktası aşağı veya yukarı kayar. Çalışma noktasındaki bu kayma besleme gerilimine kadar devam eder. Bundan sonraki katlar için çalışma noktası elde edilemez. Bunun dışında işlemsel yükseltecin girişinde işaret yok iken çıkışın sıfır olması içinde seviye ayarlanması gereklidir. Seviye kaydırıcı olarak giriş direnci büyük, çıkış direnci küçük olan emetör takipçisi devre kullanılır. Bu devre tampon (buffer) olarak bilinir.

4. Çıkış Katları:

İşlemsel yükseltecin çıkış direnci çok küçük olması gerekir ki kolaylıkla ve yeteri kadar bir yük akımı sağlanabilsin. Çıkış direncinin küçük olması çıkış katlarının temel bir özelliğidir.

İşlemsel Yükselteçlerinin Karakteristikleri:

DA ve aa veya her ikisini birlikte kuvvetlendirmek gayesi ile en çok kullanılan yükselteç işlemsel yükselteçtir. Özellikle DA işaretlerin kuvvetlendirilmesinde işlemsel yükselteç hatalı sonuç verebilir. İşlemsel yükseltecin çıkış işareti; giriş işareti ile kapalı çevrim kazancının çarpımına eşittir. İşlemsel yükseltecin iç devrelerindeki dengesizlikten dolayı çıkış işareti farklı olabilir. Bu fark fazla değil ise yapılan hata ihmal edilebilir aksi halde ise bu hatayı küçültmeye çalışmalıyız. DA işaretlerin kuvvetlendirilmesinde hata oluşturan işlemsel yükselteç karakteristikleri şunlardır;

- Giriş öngerilimleme akımı (input bias current)
- Giriş ofset akımı (input offset current)
- Giriş ofset gerilimi (input offset voltage)
- Kayma (drift)

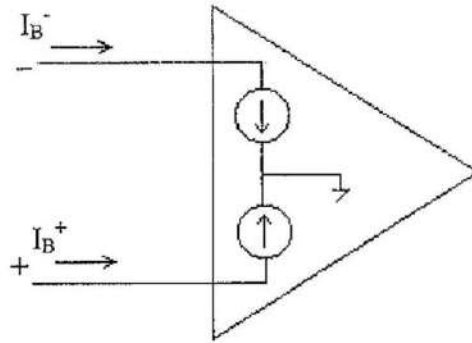
İşlemsel yükselteç aa işaretlerin güçlendirilmesinde kullanıldığında, kapasitif bağlantıdan dolayı yukarıdaki hata kaynakları yok olacaktır. aa yükselteç için ise aşağıdaki hata kaynakları önemli olacaktır.

- Frekans cevabı (frequency response)
- Değişim hızı (slew rate)

a. Giriş öngerilimleme akımı, I_B (input bias current)

İşlemsel yükselteçlerin kutuplamaları yani baz akımları ve kollektör emetör gerilimleri dengeli bir şekilde yapılmalıdır. Bu durumda işlemsel yükseltecin girişlerinden çok küçük değerli bir kutuplama akımı akar. Şekil 7.9'da gösterildiği gibi + girişten I_B^+ ve - girişten I_B^- kutuplama akımı akar ve bu iki akım birbirlerine eşit olmayabilir. Bu iki akımın mutlak değerlerinin toplamalarının yarısına giriş öngerilimleme akımı denir.

$$I_B = \frac{|I_B^+| + |I_B^-|}{2}$$



Şekil 4.9

b. Giriş ofset akımı, I_{os} (input offset current)

İşlemsel yükselticinin çıkış gerilimi $V_o=0$ olduğunda (veya yapıldığında) I_{B^+} ve I_{B^-} akımlarının mutlak değerlerinin farkına giriş ofset akımı denir.

$$I_{os} = |I_{B^+}| - |I_{B^-}|$$

c. Giriş ofset gerilimi, V_{io} (input offset voltage)

İdeal opamp'da giriş uçları topraklandığında çıkış gerilimi V_o sıfıra eşit olur. Pratikte ise opamp'ın içindeki dengesizlikten dolayı çıkış gerilimi sıfırdan farklı bir değerde olmaktadır. Çıkıştaki bu hata gerilimi mikrovolt mertebesinde başlayıp mili volt mertebesine kadar çıkabilir. Çıkış gerilimini sıfır yapabilmek için iki giriş arasına uygulanması gereken gerilime giriş ofset gerilimi denir. Her opamp için bu değer farklı olup 741 için $|2|$ mV ile $|6|$ mV arasındadır.

d. Kayma (drift)

Çıkıştaki hata gerilimi, dengesizlik direncinin sıfırlanması ile minimum yapılmaktadır. Bu ayarlama belirli bir sıcaklık ve bir an için geçerlidir. Ofset akım ve gerilimi sıcaklıkla değiştiği gibi devre elemanlarının zamanla değişmesinden de etkilenmektedir. Bunlara ilaveten kaynak gerilimi de, bias ve ofset akımlarına etki eder. Regüleli bir gerilim kaynağı ile bu hata yok edilebilir. Sıcaklıktan etkilenmemek için ise ya devrenin bulunduğu ortamdaki sıcaklığın sabit tutulması, yada sıcaklıktan az etkilenen Op-Amp seçmek gerekir. Giriş ofset akım ve geriliminin sıcaklıkla değişmesine kayma (drift) denir. Ofset akımındaki kayma $nA/^\circ C$ ve ofset voltajındaki kayma ise $\mu V/^\circ C$ mertebesinde dir.

e. Frekans cevabı (frequency response)

Op-Amp aa işaretlerin kuvvetlendirilmesinde kullanıldığında aa işaretin genliği önemli olmaktadır. Tepe değeri 1V' tan küçük olan küçük işaret , büyük olan büyük işaret adını alır. Küçük işaretlerde önemli olan Op-Amp' ın karakteristiği, gürültü ve frekans cevabıdır. Büyük işaretlerde ise değişim hızı önemli olup bozulma meydana gelip gelmeyeceğini gösterir. Birçok genel amaçlı ve özel amaçlı Op-Omp yüksek frekanslarda bozulmaya girmemeleri için kompanze edilmişlerdir. Kompanzasyon, Op-Amp'ın içine uygun bir yere yerleştirilen 30 pF civarında bir kapasite ile sağlanır. Op-Amp'ın içindeki diğer kaçak kapasiteler yanında kompanzasyon kapasitesi daha büyüktür.

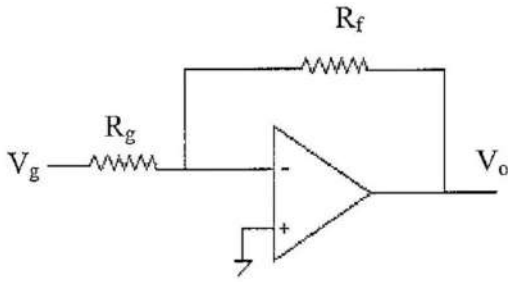
f. Değişim hızı (slew rate)

Değişim hızı Op-Amp'ın çıkışının ne derece hızlı değişebildiğini ifade eder. Genel amaçlı 741'in değişim hızı $0.5 V/\mu s$ ' dir. Yani çıkış gerilimi $1\mu s$ 'de $0.5 V$ değişebilir. Değişim hızı Op-Amp'ın kazancına, kompanzasyon kapasitesine ve çıkış geriliminin pozitive veya negatife gidişine bağlıdır. Değişim hızı en küçük değere birim kazançta ulaşır. Bundan dolayı değişim hızı birim kazançta verilir.

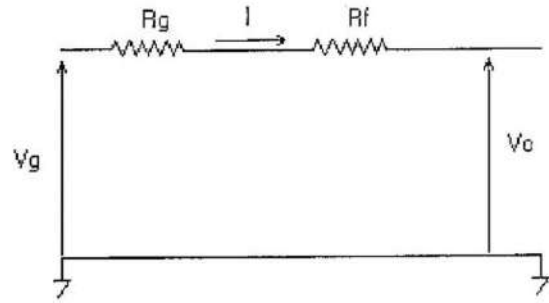
İşlemsel Yükselteç Uygulamaları:

1. Eviren Yükselteç:

Op-Amp' in en önemli uygulama alanı yükselteç yapımıdır. Yükselteç girişine uygulanan elektriksel işareti bozmadan kuvvetlendirerek çıkışına ulaştıran bir sistemdir. Çıkış ile negatif uç arasında geri besleme varsa bu negatif geri besleme adını alır. Böyle bir yükselteç açık çevrim kazancından (A_o) bağımsız bir kapalı çevrim kazancına (A_{cl}) sahiptir. Bu kapalı çevrim kazancı devre elemanlarına bağlıdır. Açık çevrim kazancının büyük olması bu bağımsızlığı daha da artırır. Şekil 4.10'da eviren bir yükselteç gösterilmiştir. V_g giriş işareti ile V_o arasındaki bağıntı Şekil 4.11'deki eşdeğer devrede gösterildiği gibi R_g ve R_f dirençleri ile ifade edilir.



Şekil 4.10



Şekil 4.11

Girişe uygulanan V_g kaynağı aa veya DA olabilir. Her ikisinde aynı şekilde kuvvetlendirilir. (-) ve (+) uçlar arasındaki gerilim farkının sıfır olması nedeniyle (-) uç da toprak potansiyelindedir. Eğer girişe V_g pozitif gerilimi uygulanmış ise R_g direncinden akan akım $I = V_g/R_g$ olur. Kaynak direncinin R_g 'in içinde olduğu kabul edilecektir. Op-Amp'ın uçlarından içeriye doğru akım akmadığından (giriş direnci çok büyük olduğundan) I akımının tümü R_f geri besleme direncinden akar. R_f 'deki gerilim düşümü;

$$V_{R_f} = IR_f = \frac{V_g}{R_g} R_f = -V_o \text{ dur}$$

R_f 'in bir ucu toprak potansiyelinde olduğundan uçlarındaki gerilim düşümü $-V_o$ olur. Çıkış ise

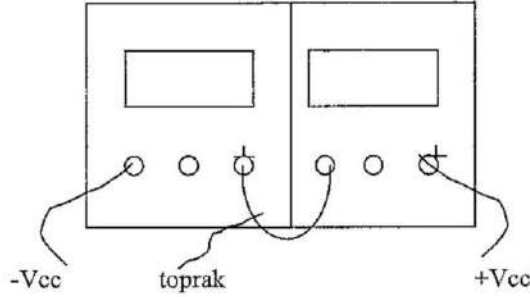
$$V_o = -\frac{R_f}{R_g} V_g \text{ dir.}$$

Buradan kapalı çevrim kazancı yazılırsa

$$A_{cl} = \frac{V_o}{V_g} = -\frac{R_f}{R_g} \text{ elde edilir.}$$

Simetrik Besleme:

Op-Amp' ı bazı uygulamalarında simetrik beslemek gerekebilir. Simetrik beslemeyi söz ile ifade edersek; iki kaynağı seri olarak bağlayalım. Bağladıktan sonra oluşan (-) uç $-V_{cc}$, (+) uç $+V_{cc}$ ve ortak uçlarda GND'yi temsil eder. Şematik olarak gösterimi aşağıdadır.



ÖN HAZIRLIK:

1. LM 324 entegresinin katalog bilgilerini araştırınız ve bağlantı şeklini çiziniz.
2. Evrimleyen yükselteç devresinin transfer fonksiyonunu $\frac{V_o}{V_g}$ 'yi bulunuz.
3. Türev ve integral alma devresinin çıkış fonksiyonu V_o 'yu çıkartınız.
4. Simetrik besleme nasıl yapılır? Op-Amp beslemesinde neden simetrik beslemeye ihtiyaç duyulur?
5. CMRR ne demektir? Açıklayınız. Bir işlemsel yükselteçte CMRR' nin yüksek olması ne anlama gelir?
6. Bir kare dalga üretici devresinde Op-Amp kullanılmaktadır. Bu devre ile elde edilen kare dalganın 0'dan 1'e ve 1'den 0'a geçişlerinin yavaş olduğu görülmektedir. Buna sebep olan Op-Amp parametresi hangisidir ?
7. İşlemsel yükselteci oluşturan blokları çiziniz ve her bir bloğu kısaca açıklayınız.

DENEYİN YAPILIŞI:

1. Şekil 4.10' dakı devrede $R_f = 100k$, $R_g = 1k$ seçiniz ve giriş işaretini $f = 1$ kHz ve $V_g=20$ mVp olacak şekilde ayarlayınız. Giriş çıkış işaretini aynı anda gözleyiniz ve çiziniz. Kazancı hesaplayınız. Giriş işaretini çıkışta bozulma görünceye kadar arttınız ve bu değeri not ediniz. Bu bozulmanın hangi değerde olduğunu göz önünde bulundurarak sebebini araştırınız.
2. Şekil 4.12' deki devrede $R_f =100k$, $R_g=1k$ seçiniz ve giriş işaretini $f = 1$ kHz ve $V_g=20$ mVp olacak şekilde ayarlayınız. Giriş çıkış işaretini aynı anda gözleyiniz ve çiziniz. Kazancı hesaplayınız. Giriş işaretini çıkışta bozulma görünceye kadar arttınız ve bu değeri not ediniz. Bu bozulmanın hangi değerde olduğunu göz önünde bulundurarak sebebini araştırınız. 1. aşamada bulduğunuz değerle karşılaştırıp aradaki farkın neden kaynaklandığını düşününüz.

3. Şekil 4.13' deki devrede giriş işaretini $f = 1$ kHz ve $V_g = 20$ mVp olacak şekilde ayarlayınız. Giriş çıkış işaretini aynı anda gözleyiniz ve çiziniz. Kazancı hesaplayınız. Giriş işaretini çıkışta bozulma görünceye kadar arttınız ve bu değeri not ediniz.
4. Şekil 4.14'deki devrede $R_g = 10k\Omega$ ' luk pot, $C = 100$ nF seçiniz ve giriş işaretini $f = 1$ kHz ve $V_g = 50$ mVp olacak şekilde ayarlayınız. Giriş çıkış işaretini aynı anda gözleyiniz ve çiziniz. R_g direncinin değerini ölçünüz. Kazancı hesaplayınız.
5. Şekil 4.15' deki devrede $R_g = 10 k\Omega$ ' lık pot, $C = 100$ nF seçiniz ve giriş işaretini $f = 1$ kHz ve $V_g = 50$ mVp olacak şekilde ayarlayınız. Giriş çıkış işaretini aynı anda gözleyiniz ve çiziniz. R_g direncinin değerini ölçünüz. Kazancı hesaplayınız.
6. Op-amp' ı $10 V$ ' luk simetrik besleme ile besleyiniz. Terslemeyen girişi toprağa bağlayınız. Diğer girişe $5mVp$ ve $f = 1$ kHz' lik sinüs işareti uygulayınız. Op-Amp çıkışını ve girişini OSC' da gözleyiniz.