

ELO-311 ELEKTRONİK DEVRELER III
DERS NOTU

2010-2011

BÖLÜM 1

İşlemsel Yükselteçler

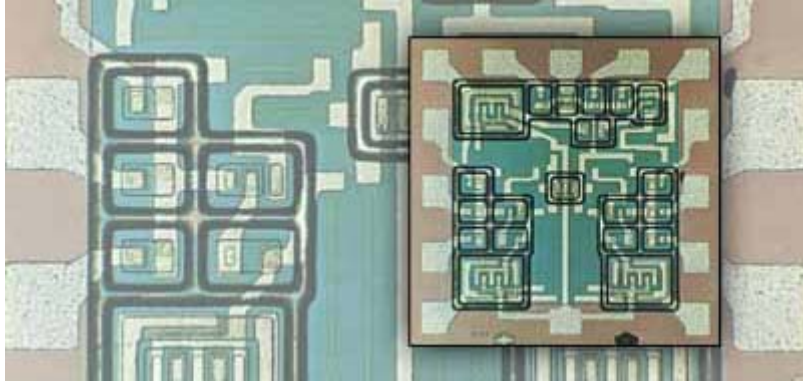
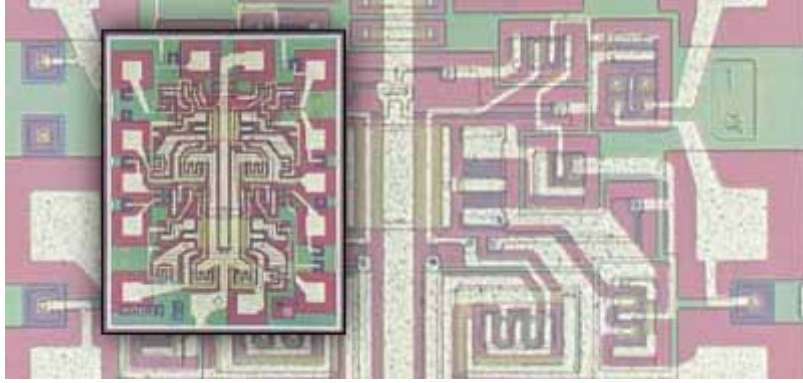
Konular:

- 1.1 İşlemsel (operasyonel) yükseltecin (opamp) tanıtılması
- 1.2 Farksal (differential) Yükselteç
- 1.3 Opamp Karakteristikleri

Amaçlar:

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

- Operasyonel yükseltecin tanıtımı ve sembolü,
- İdeal opamp özellikleri
- Pratik opamp özellikleri ve 741 tipi tümdevre opamp'ın tanıtılması ve terminal bağlantıları
- Opamp'ın temel yapısı ve blok olarak gösterimi
- Transistörlü Farksal Yükseltecin Yapısı, Özellikleri ve Çalışma Karakteristikleri
- Opamp Karakteristikleri



1.1 OPAMP'IN TANITILMASI

Operasyonel (işlemsel) yükselteçler, kısaca "opamp" olarak bilinir ve bu adla tanımlanırlar. Elektronik endüstrisinde üretilen ilk tümdevre (Integrated circuits=IC's) bir opamp'tır. 1963 yılında Fairchild firması tarafından μ A702 kodu ile üretilip tüketime sunulmuştur. Sonraki yıllarda bir çok firma tarafından farklı tip ve kodlarda opamp'lar üretilip kullanıma sunulmuştur.

Opamp'lar, geniş frekans sınırlarında sinyal yükseltmek amacıyla tasarlanmış, direkt eşlemeli ve yüksek kazançlı gerilim yükselteçleridir. Günümüzde; proses kontrol, haberleşme, bilgisayar, güç ve işaret kaynakları, gösterge düzenleri, test ve ölçü sistemleri v.b gibi bir çok alanda kullanılmaktadır.

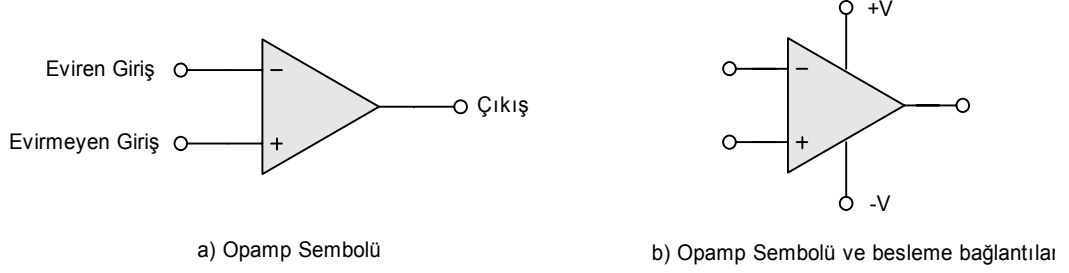
Bu Bölümde;

- *Opamp Sembolünü*
- *Genel amaçlı opamp tümdevrelerinin tanıtımını*
- *Opamp'ın giriş ve çıkış terminallerini*
- *İdeal ve pratik bir opamp'ın özelliklerini*

Ayrıntılı olarak izleyeceğiz.

Opamp Sembolü ve Terminalleri

Standart bir opamp; iki adet giriş terminali, bir adet çıkış terminaline sahiptir. Opamp giriş terminalleri işlevlerinden ötürü, eviren (-giriş) ve evirmeyen (+giriş) olarak adlandırılmıştır. Kimi kaynaklarda opamp giriş terminalleri; ters çeviren (inverting) ve ters çevirmeyen (noninverting) giriş olarak da adlandırılmaktadır. Standart opamp sembolü şekil-1.1.a'da verilmiştir. Şekil-1.b'de ise standart bir opamp sembolü besleme kaynakları ile birlikte verilmiştir.



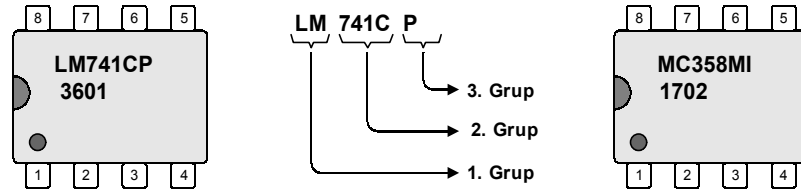
Şekil-1.1 Operasyonel Yükseltecin (opamp) Sembolü

Opamp tek bir tümdevre halinde kullanıcının tüketimine sunulmaktadır. Günümüzde pek çok tümdevre üreticisi farklı tip ve özelliklere sahip opamp üretimi gerçekleştirmektedir. Şekil-1.2'de bazı opampların tipik kılıf görüntüleri verilmiştir.



Şekil-1.2 Bazı opampların tipik görünüşleri

Elektronik piyasasında çok çeşitli amaçlar için üretilmiş binlerce tip opamp vardır. Üretici firmalar ürettikleri her bir opamp tipi için elemanı tanıtan bir kod kullanırlar. Tümdevreler genellikle bu kodlarla anılırlar. Şekil-1.3'de genelde pek çok üreticinin uyduğu kodlama sistemi iki ayrı tümdevre üzerinde kodlamada uygulanan kurallar ile birlikte gösterilmiştir. Kodlama genellikle 3 gruba ayrılarak yapılır.



Şekil-1.3 Tümdevrelerde kodlama sistemi

Bazı üreticiler farklı kodlama sistemleri kullanabilmektedir. Bu durumda üretici firmanın kataloglarına bakılmalıdır. Pek çok üretici firmanın uyduğu kodlama sisteminin genel özellikleri tablo-1.1'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tümdevrelerde Kodlama Örnekleri		
	Özellikler	Örnekler
1. Grup	İki veya üç harften meydana gelen bir kısaltma kullanılır. Bu grup, üretici firmayı belirler.	LM: National, NE:Fairchild, MC:Motorola; SE: Signetics, SN: Texas Ins. AD: Analog Dv. CD: Haris v.b gibi
2. Grup	3' den 7'ye kadar çeşitli rakam ve harflerden oluşabilir. Son harf tümdevrenin kullanım alanını ve çalışma sıcaklığını belirler.	C: Ticari, Çalışma aralığı: 0°C - 70°C I: Endüstri, Çalışma aralığı: -25°C - 85°C M: Askeri, Çalışma aralığı: -25°C - 125°C
3. Grup	Son grup 1 veya 2 harften meydana gelir. Paket tipini ve kılıf materyalini gösterir.	C: Seramik kılıf P: Plastik kılıf D, J: Cift sıralı soket (DIP)

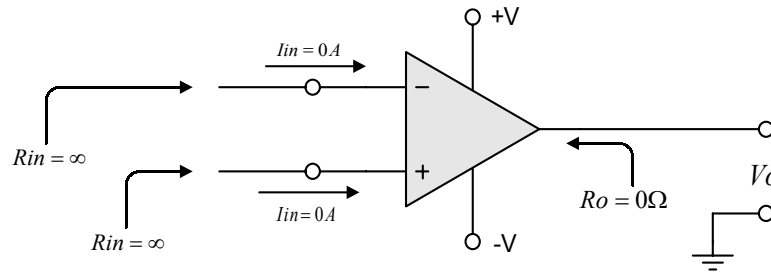
Tablo-1.1 Tümdevrelerde kodlama sistemi

Opamplar, pek çok uygulamada sıklıkla kullanılmaktadır. Bu nedenle genel ve özel amaçlı kullanım için üretilen binlerce farklı tip ve özelliğe sahip opamp vardır. Elektronik endüstrisinde üretilen ilk opamp $\mu A741$ kodludur ve 1968 yılında üretilmiştir.

Opamp Özellikleri:

Opamplar, elektronik devre tasarımının temel yapı taşlarındandır. Günümüzde hemen her türlü devre ve cihaz tasarımında sıklıkla kullanılmaktadır. Opamp'ı bu denli işlevsel kılan ise özellikleridir. İdeal bir opamp'ta olması gereken özellikler şekil-1.5'de opamp sembolü üzerinde ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

Pratikte ise yukarıda belirtilen ideal opamp özelliklerine ulaşmak mümkün değildir. Üretim tekniklerinin ve kullanılan malzemelerin oluşturdukları bir takım kısıtlamalar vardır. Günümüzde ideal özelliklere yaklaşan pek çok tip opamp geliştirilmiştir. Tablo-1.2'de ideal opamp ile genel amaçlı bir opamp'ın (LM741) özellikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil-1.5 İdeal opamp özellikleri

Özellik	İdeal Opamp	Gerçek Opamp (LM741)
Giriş Direnci; Ri (Input Impedance)	Sonsuz	Yüksek ($\geq 1M\Omega$)
Çıkış Direnci; Ro (Output Impedance)	Sfır	Düşük ($< 500\Omega$)
Açık Çevrim Gerilim Kazancı; Av (Open-Loop Gain)	Sonsuz	Çok Büyük ($\geq 10^4$)

Açık Çevrim Bant Genişliği; BW	Sonsuz	Etkin Kutup (10-100Hz)
Ortak Mod Zayıflatma Oranı; CMRR	Sonsuz	Yüksek (70dB)
Giriş Kutuplama akımları (Input Bias Current)	Sfır	Düşük (<0.5 μ A)
Ofset gerilim ve akımları; V_{io} , I_{io} (Input Offset Voltage and Current)	Sfır	Düşük (<10mV, <0.2nA)
Sıcaklıkla Karakteristiklerinin değişimi	Değişmez	Az (5 μ V/ $^{\circ}$ C, 0.1nA/ $^{\circ}$ C)
Giriş Gerilimleri; $V_1=V_2$ ise	$V_0=0$	$V_0 \neq 0$ olabilir.
Besleme Gerilimi		$\pm 5V \dots \pm 15V$
Maksimum Çıkış Akımı		20mA

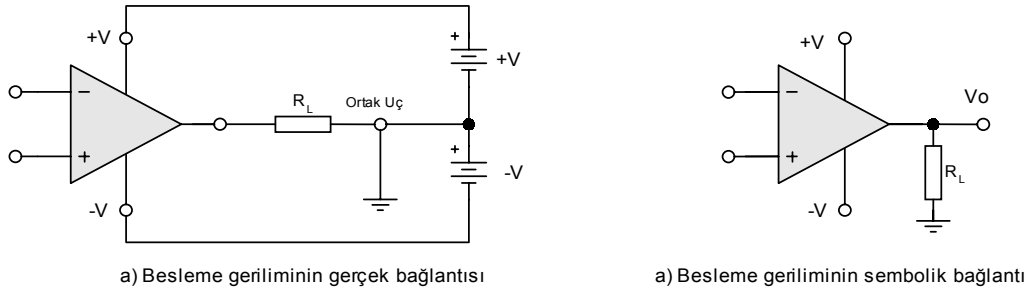
Tablo-1.2 İdeal opamp ile gerçek bir opamp'ın özelliklerinin karşılaştırılması

Besleme Terminalleri

Opamp'lar genelde simetrik besleme gerilimine gereksinim duyar. Bu durum şekil-1.4.a ve b üzerinde ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Opamplar oldukça geniş bir besleme gerilimi aralığında çalışabilirler.

Pratikte pek çok opamp $\pm 5V$ ile $\pm 18V$ arasında simetrik besleme gerilimine gereksinim duyar. Ayrıca 0V-30V arasında tek bir besleme gerilimi altında çalışan opamplar olduğu gibi özel besleme gerilimlerine gereksinim duyan opamplar da vardır. Herhangi bir opamp'ın gereksinim duyduğu besleme gerilimi kataloglardan belirlenebilir.

Beslenme sırasında opamp'ın toprağa (ground) direkt bağlanmadığına dikkat ediniz. Akımların dış devreden ve yük üzerinden geçtiğine dikkat edilmelidir.

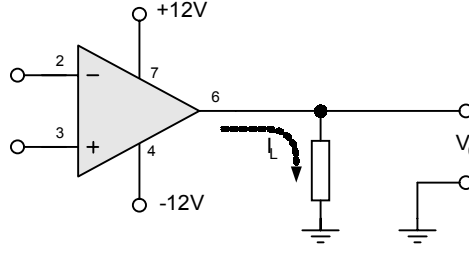


Şekil-1.4 LM741 tipi bir opamp'a besleme gerilimlerinin bağlanması

Çıkış Terminalleri

Opamp'ta bir çıkış terminali bulunur. Bu terminalden çekilebilecek akım miktarı ise sınırlıdır. Üretici firmalar; her bir opamp tipi için maksimum çıkış akımlarını kataloglarında verirler. Bu değer çoğunlukla birkaç 10mA mertebesindedir.

Şekil-1.6'da 741 tipi bir opamp'ın çıkış terminali ile birlikte, giriş ve besleme terminalleri pin numaraları ile verilmiştir. Devrede opamp'ın çıkış terminali bir R_L yükü üzerinden toprağa bağlanmıştır. Dolayısı ile opamp'ın çıkış işareti R_L yük direnci üzerindeki gerilimdir.



Şekil-1.6 741 tipi bir opamp'ın giriş ve çıkış terminalleri

Operasyonel yükselteçler çalışabilmek için her zaman bir besleme gerilimine gereksinim duyarlar. Besleme gerilimi uygulanan bir opamp, giriş uçlarına uygulanan gerilime ve işlevine bağlı olarak çıkış gerilimi üretir. Bir opamp'ın çıkışından alınabilecek maksimum çıkış gerilimi, besleme geriliminden birkaç volt daha küçüktür. Bu durum opamp'ın iç yapısından ve enerji tüketiminden kaynaklanır. Opamp çıkışında elde edilen işaretin maksimum değerlerine doyum (saturation) gerilimi denir. $\pm V_{SAT}$ olarak ifade edilir. Örneğin besleme gerilimi $\pm 12V$ olan bir opamp'ta doyum gerilimleri negatif işaretler için $2V$, pozitif işaretler için ise $1V$ daha azdır. Yani opamp çıkışından pozitif değerler için maksimum $+11V$, negatif değerler için ise maksimum $-10V$ civarında bir gerilim alınabilir. Üretici firmalar, bu değerleri kataloglarında belirtirler.

Giriş Terminalleri

Opamp'lar iki adet giriş terminaline sahiptir. Bu terminaller işlevlerinden ötürü eviren ve evirmeyen giriş olarak adlandırılır. Opamp çıkışından alınan işaretin polaritesi eviren ve evirmeyen girişler arasındaki gerilimin farkına bağlıdır. Opamp'ın girişlerindeki gerilim farkına fark gerilimi denir ve V_d ile tanımlanır. Opamp; hem ac, hem de dc işaretleri kuvvetlendirmede kullanılan bir devre elamanıdır. Bu özelliği dikkate alınarak opamp girişindeki gerilim farkı;

$$V_i = V_d = V_2 - V_1$$

olarak tanımlanır. Bu durumda opamp'ın çıkış gerilimi V_0 ;

$$V_0 = A_{OL} \cdot V_d = A_V \cdot V_d$$

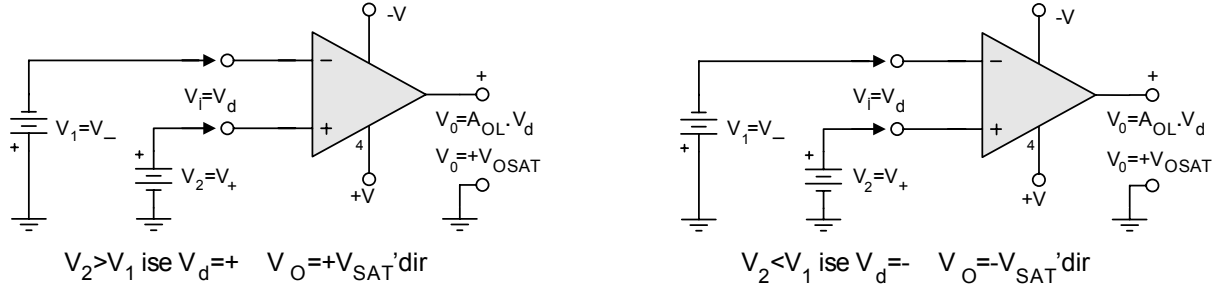
olur. Formülde kullanılan V_d , opamp girişine uygulanan işaretlerin farkıdır. A_{OL} ise, opamp'ın açık çevrim gerilim kazancıdır. Opamp devresinde geribesleme kullanılmıyorsa, yani opamp'ın çıkış terminali herhangi bir şekilde giriş terminaline bağlanmamışsa opamp açık çevrim altında çalışmaktadır. Bir opamp'ın açık çevrim gerilim kazancı teorik olarak sonsuzdur. Pratikte ise oldukça yüksek bir değerdir.

Bu durumda opamp'ın eviren (V_1) ve evirmeyen (V_2) girişlerine uygulanan işaretler;

$V_2 > V_1$ ise fark gerilimi V_d pozitif olacak, opamp çıkışı $+V_{SAT}$ değerini alacaktır.

$V_2 < V_1$ ise fark gerilimi V_d negatif olacak, opamp çıkışı $-V_{SAT}$ değerini alacaktır.

Yukarıda anlatılan tüm durumlar şekil-1.7 üzerinde ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



Şekil-1.7 Opamp'ın çıkış işaretinin polaritesinin belirlenmesi

Bir opamp'ın çıkış geriliminin maksimum $+V_{SAT}$ veya $-V_{SAT}$ değerinde olabileceği belirtilmişti. Bu durumda $\pm V_{SAT}$ değeri bilinen bir opamp'ın maksimum giriş fark gerilimi V_d ;

$$\pm V_d = \frac{\pm V_{OSAT}}{A_{OL}}$$

Örnek: 1.1

Besleme gerilimi $\pm 12V$ olan bir opamp'ın açık çevrim kazancı $A_{OL}=120.000$ 'dir. Bu opamp'ın maksimum fark giriş gerilimini bulunuz?

Besleme gerilimi $\pm 12V$ olan bir opamp'ın alabileceği maksimum çıkış gerilimi değeri $V_{SAT}=\pm 10.5V$ civarındadır. Bu durumda giriş fark gerilimi;

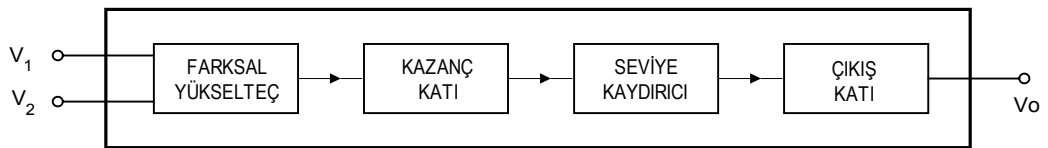
$$\pm V_d = \frac{\pm 10.5V}{12 \cdot 10^4} = 8.75 \cdot 10^{-5} = 0.0875mV = 87.5\mu V$$

Fark geriliminin bu değeri çok küçüktür. Opamp'ın bu derece küçük bir giriş gerilimini dahi yükseltebildiğine dikkat ediniz. Opamp'ın bu özelliği kullanılarak her türlü sensörden veya dönüştürücünden elde edilen çok küçük işaretler kuvvetlendirilebilir. Elektronik piyasasında açık çevrim gerilim kazancı milyonlarla ifade edilebilen yüzlerce tip opamp bulunduğu unutulmamalıdır.

Operasyonel Yükseltecin Yapısı

Operasyonel yükseltecin iç yapısı oldukça karmaşıktır. Üretici katalogları incelendiğinde bu durum açıkça görülür. Bir opamp; onlarca transistör, direnç ihtiva eder. Örneğin 741 tipi opamp tümleşik devresinde; $3mm^2$ lik bir silikon içerisine 20 transistör, 11 direnç ve 1 adet kondansatör yerleştirilmiştir. Bunun nedeni ideale yaklaşımdır. Biz bu bölümde opamp'ın fonksiyonel blok diyagramını inceleyeceğiz.

Opamp'ın temel yapısı şekil-1.6'da blok olarak verilmiştir. Opamp temel olarak 4 ayrı bloktan oluşmaktadır. Blok gösterimde en önemli katman fark yükseltecidir. Diğer katmanların özellikleri ve işlevlerini biliyorsunuz. Burada tekrar incelemeyeceğiz.



Şekil-1.6 Opamp'ın Blok Diyagramı

Opampı oluşturan bu katları sıra ile inceleyelim. İlk giriş bloğunu oluşturan diferansiyel yükselteci bir sonraki bölümde ayrıntılı olarak inceleyeceğiz. İkinci blok kazanç katıdır. Bu kat bir veya birkaç yükselteç devresinden oluşturulmuştur. İşlevi, farksal yükselteç çıkışından alınan işaretlerin empedans uygunluğunu sağlayıp genliğini yükselterek yüksek değerli kazançlar elde etmektir.

Buffer ve seviye kaydırıcı katını biraz açalım; Opamp üretiminde kondansatör kullanılmadığından katlar birbirlerine direkt kuplajlı olarak bağlanırlar. Bundan dolayı çalışma noktasının seviyesi katlar ilerledikçe artar veya azalır. Bu artma ve azalma besleme gerilimlerine kadar devam eder. Bunun dışında opampın girişlerinde işaret yok iken, çıkışın sıfır olması için de seviyenin ayarlanması gereklidir. Seviye kaydırıcı için giriş direnci büyük, çıkış direnci küçük olan bir emiter izleyici devre kullanılır. Bu devre buffer olarak da bilinir.

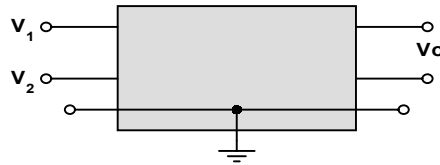
Operasyonel yükseltecin çıkış direncinin küçük olması istenir. Bunun nedeni çıkıştan yeteri kadar ve kolaylıkla akım çekilebilmesidir. Bu özelliği sağlamak için çıkış katında, eşlenik emiter izleyici bir devre kullanılır. Bu devre B sınıfı püspül güç yükselteci olarak bilinir. Bu devre sayesinde opampın çıkış direnci çok küçük olur. Opamp çıkışından alınan işaretlerin distorsiyonsuz olması için çıkış katında ayrıca bir takım düzenlemeler yapılır.

1.2 FARKSAL (DİFERANSİYEL) YÜKSELTEÇ

Farksal yükselteç, opamp tasarımında kullanılan ilk bloktur. Opamp tasarımında bir veya birkaç adet fark yükselteci kullanılır.

Fark yükselteci, opamp'ın temel özelliklerini ve işlevlerini gerçekleştiren devredir. Bu bölümde; farksal yükseltecin özellikleri ve karakteristiklerini inceleyeceğiz. İdeal oluşum için gerekli şartları analiz edeceğiz.

En basit bir farksal yükselteç (Diferansiyel yükselteç=differential amplifier) devresi şekil-1.7'de blok olarak gösterilmiştir. Bu yükselteç; iki ayrı giriş terminali ve bir adet de çıkış terminaline sahiptir. Farksal yükseltecin, temel işlevlerinden birisi girişlerine uygulanan iki ayrı sinyalin farkını alması ve yükseltmesidir. Fark yükselteçleri, DC gerilimden bir kaç MHz'e kadar olan işaretleri kuvvetlendirirler.



Şekil-1.7 Farksal Yükseltecin Blok Olarak Gösterilişi.

Şekil-1.7 de görülen farksal yükseltecin giriş sinyalleri; V_1 ve V_2 dir. Çıkış sinyali ise toprağa göre ölçülen V_0 çıkış gerilimidir. İdeal bir diferansiyel yükseltecin çıkış sinyali;

$$V_0 = A_D \cdot (V_1 - V_2)$$

olur. Bu formülde, A_D =Farksal (Diferansiyel) yükseltme miktarıdır. Böylece girişten uygulanan iki sinyal birden yükseltilmez. Sadece iki sinyalin farkı yükseltilir. Gerçek (pratik) bir fark yükseltecinde ise yukarıdaki formül elde edilemez. Pratikte çıkış gerilimi V_0 ; iki sinyalin farkına (V_D) ve ortak mod sinyaline (V_C) bağlıdır. Bu değerler aşağıdaki gibi formüle edilirler;

$$V_D = V_1 - V_2$$

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

Formülde ki V_C değeri ortak mod sinyalidir. Ortak Mod sinyali V_C , farksal yükseltici ideal durumdan uzaklaştırır. İyi düzenlenmiş bir farksal yükselteçte ortak mod sinyalinin yok edilmesi gerekir. Ortak mod sinyalinin nasıl yok edileceği aşağıda ayrıntıları ile anlatılmıştır.

Ortak Mod'un Yok Edilmesi

İdeal bir diferansiyel yükseltecin çıkış sinyalini aşağıdaki gibi yazabiliriz;

$$V_0 = (A_1 \cdot V_1) + (A_2 \cdot V_2)$$

Burada A_1 ve A_2 giriş sinyaline bağımlı olarak, çıkışta şaseye göre oluşan amplifikasyon değeridir. Yukarıdaki V_D ve V_C eşitliğinden yararlanarak V_1 ve V_2 değerlerini yeniden yazalım.

$$V_1 = V_C + \frac{1}{2}V_D \quad \Rightarrow \quad V_2 = V_C - \frac{1}{2}V_D$$

bu değerleri yukarıdaki V_0 eşitliğinde yerine koyarsak;

$$V_0 = A_1 \cdot (V_C + \frac{1}{2}V_D) + A_2 \cdot (V_C - \frac{1}{2}V_D)$$

Bu ifade sadeleştirilirse,

$$V_0 = V_C \cdot (A_1 + A_2) + V_D \cdot \frac{(A_1 - A_2)}{2}$$

değeri elde edilir. Bu ifade basitleştirilerek, A_D ve A_C değerleri;

$$A_D = \frac{A_1 - A_2}{2}$$

$$A_C = A_1 + A_2$$

cinsinden yazılırsa, Çıkış gerilimi (V_0);

$$V_0 = V_C \cdot A_C + V_D \cdot A_D$$

Değerine eşit olur. Bu formülde A_D , giriş sinyallerinin farkının kazancıdır. A_C ise girişin iki terminalindeki sinyalin ortak kazancıdır (ortak mod kazancı).

Eğer girişte ortak mod sinyali yok ise (olması istenmez) $V_C=0$ dır. Bu durumda çıkış sinyali;

$$V_0 = V_D \cdot A_D$$

Devredeki amplifikasyon katsayısı ise bu durum da;

$$A_D = \frac{V_0}{V_D}$$

olarak ölçülür. İki giriş için ortak mod sinyali (V_C) ölçülebilir. Bu durum da $V_D=0$ yapılırsa, ortak mod kazancı $A_C=V_0/V_C$ dir. Kaliteli bir diferansiyel yükselteçte, diferansiyel kazanç (A_D) büyük, Ortak mod kazancı (A_C) ise küçük olmalıdır.

Diferansiyel yükseltecin kalitesini tayin etmek amacı ile bu iki kazanç arasındaki orana bakılır. Bu oran ortak mod eleme oranı (Commen-mode rejection ratio: C.M.R.R) olarak isimlendirilir. Aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$CMRR = \rho = \frac{|A_D|}{|A_C|}$$

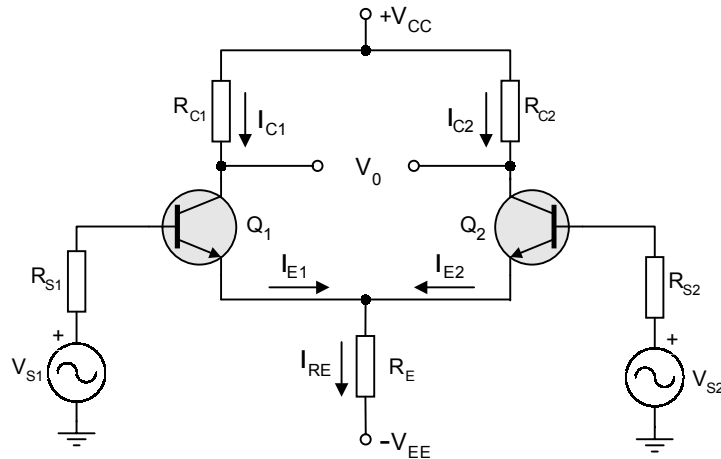
C.M.R.R değeri iyi bir diferansiyel yükselteçde 1000 ile 10000 arasında bir değerde olmalıdır. İdeal bir differansiyel yükselteçte ise sonsuzdur. Bu değer kataloglarda desibel olarak ifade edilir. C.M.R.R değerinin desibel olarak ifadesi aşağıdadır.

$$CMRR = (dB) = 20 \log \frac{|A_D|}{|A_C|}$$

Emiter Kuplajlı Fark Yükselteci

Transistörlü temel bir fark yükselteci şekil-1.8'de verilmiştir. Devre simetrik bir yapıya sahiptir. Fakat transistörlerin özellikleri ve sıcaklık etkisinden dolayı mutlak bir simetrilik söz konusu değildir. Bundan dolayı difamp girişlerine uygulanan V_{S1} ve V_{S2} gerilimleri eşit olsa bile dengesizlikten dolayı çıkış gerilimi sıfır olmayacaktır. [$V_0=A_D(V_{S1}-V_{S2})$]

Bu durum ortak mod kazancından dolayıdır. Amacımız ise ideal diferansiyel yükselteç özelliklerine yaklaşmaktır. İdeal bir dif-amp'te Ortak mod kazancı (A_C) sıfırdır.

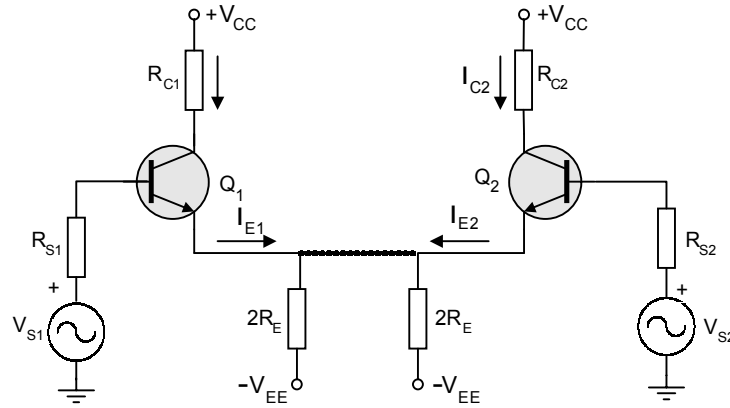


Şekil-1.8 Emiter Kuplajlı transistörlü diferansiyel yükselteç devresi

Girişlere V_{S1} ve V_{S2} gerilimleri eşit değerde uygulandığında da fark işareti $V_D=0$ olacağından çıkış işareti $V_0=A_C.V_C$ olur. Farksal yükselteç, tam simetri olmadığından eğer R_E direnci çok büyük seçilirse R_E üzerinden geçen I_E akımı çok küçük olur. Bu durumda emiter akımları I_{E1} ve I_{E2} yaklaşık sıfır olur. $I_{C2}>I_{B2}$ olduğundan, $I_{C2}=I_{E2}=0$ olur. Görüldüğü gibi ortak mod kazancını (A_C) küçültmek için R_E direncini büyütmek gerekir.

DC analiz:

Şekil-1.8'deki farksal yükselteç devresinde kullanılan devre elemanlarını simetrik kabul edersek devrenin eşdeğerini şekil-1.9'daki gibi çizebiliriz.



Şekil-1.9 Emiter Kuplajlı Diferansiyel Yükseltecin Eşdeğer Gösterilişi

Verilen eşdeğer devreden aşağıdaki eşitlikleri yazabiliriz.

$$I_{C1}=I_{C2}=I_C, \quad I_{B1}=I_{B2}=I_B, \quad I_{E1}=I_{E2}=I_E$$

Devredeki ortak emiter direnci R_E , her iki emiterin akımını taşır ve emiter direncinden geçen akımın değeri;

$$I_{RE}=I_{E1}+I_{E2}=2I_E$$

olur. Emiter gerilimi V_E ise ;

$$V_E=V_{RE}-V_{EE}=(I_{RE}.R_E)-V_{EE}$$

olur. İki transistörün emiter gerilimi aynı olduğuna göre; V_E gerilimi,

$$V_E=(2I_E)R_E-V_{EE}$$

olur.

Şekil-1.8'deki farksal yükselteç devresini simetrik yapısından ve analiz kolaylığından dolayı şekil-1.9'daki gibi düşünebiliriz. Bu devrede bir transistörün çıkışı için aşağıdaki eşitlikler yazılabilir.

$$V_{CC}+V_{EE}=V_{CE}+(I_{C1}.R_C)+(I_E.R_E)$$

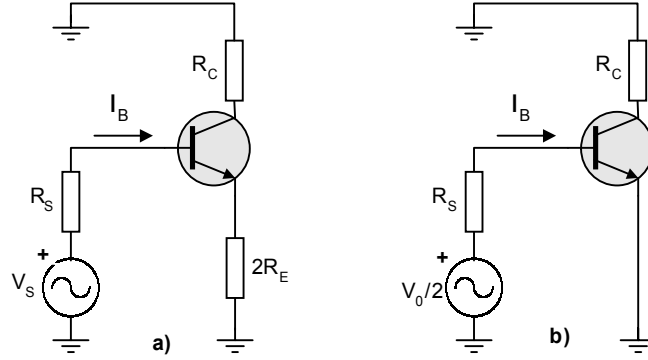
yaklaşık olarak $I_E=I_C$ kabul edersek yük çizgisi eşitliği;

$$V_{CC}+V_{EE}=V_{CE}+I_C(R_C+2R_E)$$

yazılabilir.

ac analiz:

Şekil-1.8'deki fark yükselteci devresinde çıkış sinyali, Q₁ ve Q₂ transistörlerinin kollektörlerinden alınmaktadır. Bu yüzden devre simetriktir. AC analiz için devredeki DC kaynaklar kısa devre edilirse diferansiyel yükseltecin eşdeğer devresi şekil-1.10.a'daki gibi olur.



Şekil-1.10.a ve b Diferansiyel Yükseltecin AC eşdeğer devresi

Yükseltecin giriş terminallerindeki sinyaller birbirine eşitse;

$$V_{S1}=V_{S2}=V_S$$

diferansiyel kazanç;

$$V_D=V_{S1}-V_{S2}=0$$

olur. Buradan çıkış gerilimi;

$$V_0=A_C \cdot V_S$$

olur.

Ortak mod kazancı (A_C) ise aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$A_C = \frac{V_0}{V_S} = -\frac{I_C \cdot R_C}{I_B \cdot R_{in}} = -\beta \frac{R_C}{R_{in}}$$

Burada R_{in} direnci, gerilim kaynağı tarafından görülen giriş direncidir. Değeri;

$$R_{in}=(\beta+1)2R_E+R_S+R_i$$

R_i direnci, transistörün giriş direncidir. R_i ve R_S direnç değerleri, (β+1)2R_E değeri ile karşılaştırıldığında ihmal edilebilir. Çünkü çok küçüktür. Buna göre ortak mod kazancı aşağıdaki gibi olur ;

$$A_C = -\frac{(\beta \cdot R_C)}{(\beta + 1)2R_E}$$

Şekil-1.10.a'daki devrenin AC eşdeğerini kullanarak diferansiyel kazancı hesaplayalım. Bunun için şekil-1.10.b'deki devre geliştirilmiştir.

Şekil-1.10.b'deki devre diferansiyel yükseltecin AC eşdeğeri olarak bu tanımlamalardan sonra çizilmiştir. Bu eşdeğer devrede R_E direnci AC sinyal açısından ihmal edilmiştir. Aslında R_E direncinin ihmal edilmesi, üzerinden geçen AC akımın yaklaşık sıfır olmasından ötürüdür. Çünkü diferansiyel yükselteç iki girişli olduğundan dolayı transistörlerin emiterlerinden biri üzerinde zıt yönde akıma sebep olur. Bu akımlar R_E

üzerinden her biri için geçer.

Gerçekte R_E direnci yalnız AC eşdeğer devrede ihmal edilebilir. Aslında fiziksel olarak devrede vardır. Eğer diferansiyel yükseltcin giriş terminallerindeki sinyal;

$$V_C = -V_{S2} = \frac{V_S}{2}$$

ise ortak mod sinyali;

$$V_C = \frac{V_{S1} + V_{S2}}{2} = 0$$

olur. Ve diferansiyel kazanç aşağıdaki gibi formüle edilir.

$$A_D = \frac{V_o}{V_S} = -\frac{I_C \cdot R_C}{2 I_B \cdot R_{in}} = -\frac{\beta I_B \cdot R_C}{2 I_B \cdot R_{in}} = -\beta \frac{R_C}{2 R_{in}}$$

Burada R_{in} gerilim kaynağından görülen giriş direncidir.

$$R_{in} = (R_S + R_i)$$

Buradan diferansiyel kazanç için aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

$$A_D = -\frac{(\beta R_C)}{2(R_S + R_i)}$$

Ortak Modun Atılması Oranı (C.M.R.R):

Farksal yükseltcin C.M.R.R oranını hesaplamak için yukarıda bulduğumuz A_C ve A_D amplifikasyon faktörü eşitliklerinden faydalanabiliriz. Bilindiği gibi CMMR oranı aşağıdaki formülle açıklanıyordu.

$$A_D \cong \rho \cong \frac{|A_D|}{|A_C|}$$

Bu formülde AC ve AD değerleri yerleştirilirse;

$$CMMR = \frac{A_D}{A_C} = \frac{\beta \cdot R_C}{2 \cdot (R_S + R_i)} = \frac{(\beta + 1) \cdot 2R_E}{(\beta + 1) \cdot 2R_E}$$

değeri elde edilir. Bulunan bu ifade sadeleştirilirse;

$$C.M.M.R = \frac{(\beta + 1)R_E}{R_S + R_i}$$

ifadesi bulunur. Uygun çalışma noktasının elde edilmesi için, bu eşitlikte görüldüğü gibi R_E değerinin transistör tipide göz önüne alınarak yüksek seçilmesi gerekir. C.M.R.R oranının yüksek olması transistörün kalitesini artırdığı biliniyordu. Fakat transistör çalışma şartlarından dolayı R_E direncini istediğimiz büyüklükte seçemeyiz.

Örneğin C.M.R.R oranını bir kaç yüz civarında olmasını isteyelim. Gerçek devre için $R_E=100K$ ohm seçelim. Bu durumda her transistör için 1 mili amperlik akım elde etmek istiyorsak R_E direncinden 2mA'lık akım geçmesi gerekir. Bunun için ihtiyacımız olan V_{EE} kaynak gerilimi;

$$V_{EE}=I_E \cdot R_E \text{ 'den}$$

$$V_{EE}=(-2 \cdot 10^{-3}) \cdot (100 \cdot 10^3)$$

$$V_{EE}=200 \text{ volt}$$

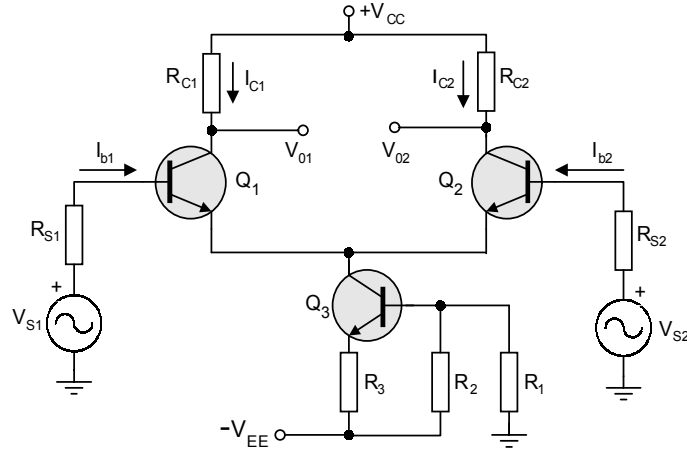
Bulunur. Bu değer ise transistörlü yükselteçler için uygun bir değer değildir. Buradan şu sonuç çıkıyor. R_E direncini fazla artıramıyoruz. Bu duruma çare olarak R_E direnci yerine sabit akım kaynağı kullanırsak sorunu çözeriz. Ancak kullanacağımız akım kaynağının çıkış direncinin yüksek olması gerekir. Bundan dolayı transistörlü bir sabit akım kaynağı kullanılır.

Sabit Akım Kaynaklı Diferansiyel Yükselteç

Kaliteli bir diferansiyel yükselteç oluşturmak için, şekil-1.8'de görülen fark yükseltecinin emiter devresine transistörlü sabit bir akım kaynağı eklenmiştir. Şekil-1.11'de görülen bu devre dikkatle incelenirse ilave edilen transistör ortak beyz bağlantılıdır. Bilindiği gibi bu bağlantıda kollektör devresinin çıkış direnci oldukça yüksektir. (Bir kaç $K\Omega$ civarında) Bu direnç yükselteç transistörlerinin iki emiterinin de ortak direncidir. Böylece yükselteç çok yüksek ortak mod eleme oranı (CMRR) sağlayarak, ideal bir farksal yükselteç halini alır.

Devrenin analizine gelince; Q_1 ve Q_2 transistörlerinin çalışma noktasını I_E akımı tayin eder. Bu akım ile transistörlerin çalışma noktası sabitlenir. R_1 ve R_2 dirençleri gerilim bölücü olarak kullanılmıştır. Bu durumda R_2 direnci üzerinde düşen gerilimi yazacak olursak;

$$V_{R2} = |V_{EE}| \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$



Şekil-1.11 Sabit akım kaynaklı farksal Yükselteç

Buradan R_3 üzerine düşen gerilim;

$$V_{R3} = V_{R2} - V_{BE}$$

V_{BE} , V_{R2} ile karşılaştırıldığında küçük olduğundan ihmal edilebilir. Bu durumda;

$$V_{R3} = V_{R2}$$

olur. Böylece R_3 ten geçen akım;

$$I_3 = \frac{V_{R3}}{R_3} = V_R \frac{2}{R_3} = \frac{1}{R_3} |V_{EE}| \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_2}{R_3 \cdot (R_1 + R_2)} |V_{EE}|$$

I_E akımının değeri ise;

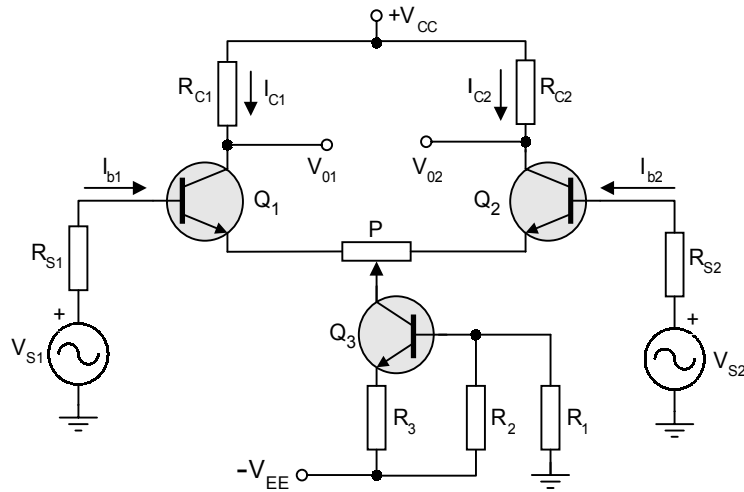
$$I_E = I_3 = I_3$$

transistör parametrelerinin sıcaklıkla küçük bir miktar değişmesi dışında I_E akımı sabittir.

$$I_E = \left[\frac{R_2}{R_3(R_1 + R_2)} \right] \cdot V_{EE}$$

Temel diferansiyel yükselteci oluştururken devre elemanlarını simetrik kabul ettik ve ideal devre elemanlarından oluşturulduklarını varsaydık. Pratik uygulamalarda ise ideal bir eleman bulmak mümkün değildir. Her elemanın belli tolerans değerleri vardır.

İdeale yaklaşmak amacıyla şekil-1.12'deki farksal yükselteç devresi düzenlenmiştir. Bu devrede, her iki transistörün ortak olan emiter uçlarına bir ayarlı direnç bağlanmıştır. Bu direnç ayarlanarak iki transistörün emiterinden eşit akım akması sağlanır. Böylece devrede maksimum simetrilik sağlanmış olur.



Şekil-1.12 Ayarlı Sabit akım kaynaklı Farksal Yükselteç

1.3 OPAMP KARAKTERİSTİKLERİ

Bu bölümde opamp'ın bazı önemli karakteristiklerini ayrıntılı olarak inceleyeceğiz. İnceleme sonucunda opamp'la yapılan tasarımlarda dikkat etmemiz gereken parametreleri tanıyıp, gerekli önlemleri alacağız.

Opamlarla yapılan tasarımlarda, tasarımın özelliğine göre dikkate alınması gereken parametreler bu bölümde ayrıntılı olarak incelenecektir.

Operasyonel yükselteçler, DC ve AC işaretleri veya her ikisini birden kuvvetlendirmek amacı ile kullanılırlar. Özellikle DC işaretlerin kuvvetlendirilmesinde opamp hatalı sonuçlar verebilir. Opampın çıkış işareti; giriş işareti ile kapalı çevrim kazancının (Ac) çarpımına eşittir. Opamp'ın iç elemanlarında ki (direnç, transistör) eşitsizlikten dolayı çıkış işareti bazen hatalı olabilir. Bu hata fazla değilse ihmal edebilir, aksi halde bu hatayı küçültmeye çalışırız. DC işaretlerin kuvvetlendirilmesinde hata oluşturan, hata karakteristikleri aşağıda belirtilmiştir.

- Giriş dengesizlik gerilimi (input offset voltage)
- Giriş kutuplama akımı (input bias current)
- Giriş dengesizlik akımı (input offset current)
- Kayma (drift)

AC işaretlerde yukarıda belirtilen hatalar kapasitif kuplajdan dolayı yok olacaktır. AC işaretler de oluşabilen hatalar ise aşağıda belirtmiştir.

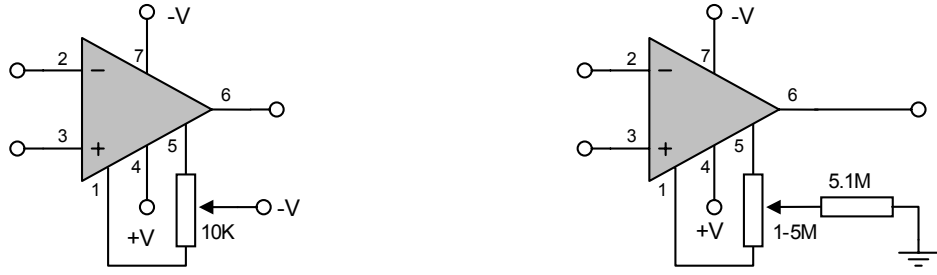
- Frekans cevabı (Frequency Response)
- Eğim oranı (Slew Rate)

Giriş Dengesizlik Gerilimi

İdeal bir opamp'ın giriş uçları topraklandığında çıkış gerilimi $V_o=0V$ olmalıdır. Pratikte ise opamp çıkışından 0V yerine, değeri bir kaç mikrovolt ile milivolt mertebesinde değişen hata gerilimleri alınabilir. Bu durum opamp'ta kullanılan transistörlerin dengesizliğinden dolayıdır. Kimi uygulamalarda bu değer göz ardı edilebilir. Fakat hassas uygulamalarda bu durum göz önüne alınmalı ve çıkış gerilimi 0V mertebesine çekilmelidir. Çıkış gerilimini 0V mertebesine indirebilmek için çeşitli yöntemler vardır. Üretici firmalar kataloglarında giriş dengesizlik gerilimini yok edip çıkışı 0V'a indirmek için gereken yöntemler verirler.

Opamp'ta oluşan gerilim dengesizliğinin nasıl sıfırlanacağı bazı opamp tipleri için şekil-1.13'de verilmiştir. Verilen yöntemler denenmiş en uygun yöntemlerdir. Örnek olarak verilen opamp devrelerinde çıkış hata gerilimi bir ayarlı direnç vasıtası ile sıfırlanmaktadır.

Giriş dengesizlik gerilimi (input offset voltage) nedeni ile opamp çıkışında oluşabilecek hata gerilimlerinin nasıl sıfırlanacağı her bir opamp tipi için üretici katalogları incelenerek gerekli sistemler kurulabilir.

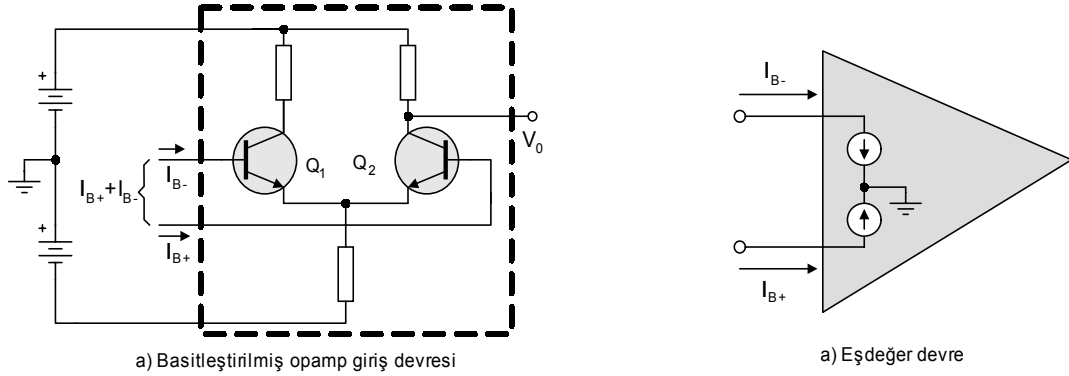


Şekil-1.13 Opamp'ta çıkış hata geriliminin sıfırlanması

Giriş dengesizlik geriliminin çıkış gerilimine etkisi, opamp'ın açık çevrim gerilim kazancına ve dengesizlik geriliminin değerine bağlıdır. Dengesizlik geriliminin genliği ve polaritesi, opamp'tan opamp'a farklılık gösterebilir. Giriş dengesizlik gerilimi, açık çevrim kazancı çok büyük olan bazı opamlarda çıkış işaretini pozitif veya negatif kesim noktasına ulaştırabilir. ($+V_{SAT}$, $-V_{SAT}$).

Giriş Kutuplama Akımı

Opamp içinde kullanılan transistörlerin polarmaları (kutuplamaları) beyz akımları ve beyz-kollektör gerilimleri dengeli şekilde yapılmalıdır. Bu durumda opamp girişlerinden dengeli ve çok küçük bir kutuplama akımı akar. İdeal durumda bu akımın hiç akmadığı düşünülmektedir. Opamp girişinde oluşan ve giriş kutuplama akımı (Input Bias Current) olarak adlandırılan bu akım şekil-1.14 üzerinde gösterilmiştir.



Şekil-1.14 Opampta giriş kutuplama akımları (I_B)

I_{B+} ve I_{B-} olarak tanımlanan bu akımlar. Birbirine eşit olmayabilir. Bu iki akımın mutlak değerlerinin toplamının yarısına giriş kutuplama akım denir ve değeri aşağıdaki gibi formüle edilir.

$$I_B = \frac{|I_{B+}| + |I_{B-}|}{2}$$

I_B akımının değeri FET kullanılan opamlarda $1pA'$ den küçük, transistörlü opamlarda ise $1pA$ ile $1mA$ arasındadır. Giriş kutuplama akımları kimi durumlarda opamp çıkışın gerilimini etkiler ve hatalar değerler alınmasına sebep olabilir. İdeal durumda opamlarda giriş gerilimi $V_i=0V$ olduğunda çıkış gerilimi $V_o=0V$ olmalıdır. Pek çok uygulamada kutuplama akımları ihmal edilebilir.

Giriş Dengesizlik Akımı:

Opamp'ın çıkış gerilimi $V_o=0V$ yapıldığında veya olduğunda, I_{B+} ve I_{B-} akımlarının mutlak değerlerinin farkına giriş dengesizlik akımı (Input Ofset current) denir ve I_{OS} olarak tanımlanır.

$$I_{OS} = |I_{B+}| - |I_{B-}|$$

Üreticiler; ürettikleri her bir farklı opamp tipi için bu değeri kataloglarında verirler. Üretici kataloglarında verilen I_{OS} değeri; genellikle opamp çıkış gerilimi $V_o=0V$ iken $25^{\circ}C$ oda sıcaklığı altındadır.

Giriş dengesizlik akımının sıfır veya $|I_{B+}| = |I_{B-}|$ durumuna çok ender rastlanır. Bu nedenle pek çok uygulamada giriş dengesizlik akımını dikkate alınması gerekir. Giriş dengesizlik akımının etkisini yok etmek için alınan önlemler ileride işlenecek uygulama bölümlerinde belirtilecektir.

Kayma (Drift-Sürüklenme):

Giriş dengesizlik akım veya geriliminin sıcaklıkla değişmesine kayma denir. Dengesizlik akımındaki kayma $nA/^{\circ}C$, dengesizlik gerilimindeki kayma ise $\mu V/^{\circ}C$ şeklinde tanımlanır ve aşağıdaki gibi formüle edilirler.

$$I_{IO} \text{ kayma} = \frac{\Delta I_{IO}}{\Delta T}, \quad nA/^{\circ}C$$

$$V_{IO} \text{ kayma} = \frac{\Delta V_{IO}}{\Delta T}, \quad \mu V/^{\circ}C$$

oldukça küçük değerli olan bu kaymaların miktarı ve yönü sıcaklığa göre değişebilir. Bu sebeple üreticiler kataloglarında kayma için ortalama ve maksimum değerleri vermektedirler. Opamp'ta kullanılan devre elemanlarının karakteristiklerini zamanla değiştirmeleri de dengesizlik akım ve geriliminin değişmesine neden olmaktadır. Ayrıca opamp'ta kullanılan besleme gerilimi sıcaklıkla değiştiği gibi devre elemanlarının değerlerinin zamanla değişmesinden de etkilenmektedir.

Değişim Hızı (Slew Rate-SR):

Opamp girişine uygulanan bir işaretteki değişim, bir süre sonra opamp çıkışında da değişime neden olacaktır. Bu değişimin hızı oldukça önemlidir ve değişim hızı (Slew Rate=SR) olarak adlandırılır. Değişim hızı, opamp çıkışının ne derece hızlı değiştiğini ifade eden parametredir.

İdeal bir opamp'ta değişim hızı (SR) sonsuzdur. Pratikte ise bu mümkün değildir. Örneğin 741 tipi genel amaçlı bir opamp'ın değişim hızı $0.5V/\mu s$ 'dir. Bu durumda çıkış işareti 1μ saniyede $0.5V$ 'luk bir değişim göstermektedir. Değişim hızı yükseltecin kazancına, kompanzasyon kapasitesine ve çıkış geriliminin pozitif veya negatif gidişine bağlıdır.

Değişim hızı birim kazanç için verilir. Çünkü değişim hızı en küçük değere birim kazançta ulaşır. Opamp'ta oluşabilecek istenmeyen bazı osilasyonları önlemek için opamp içinde veya dışında bir frekans kompanzasyonu kondansatörü kullanılır. Bu kondansatörden geçebilecek maksimum akım (I), devre elemanları tarafından sınırlandırılmıştır. Maksimum akım (I_{max}) miktarının C kondansatörü değerine oranı,

opamp için değişim hızını belirler ve aşağıdaki gibi formüle edilir.

$$SR = \frac{I_{\max}}{C}$$

Bu durumda değişim hızı (SR) kısaca;

$$SR \cong \left. \frac{dV_0}{dt} \right|_{\max} \cong \left. \frac{\Delta V_0}{\Delta t} \right|_{\max}$$

olarak formüle edilebilir. Yukarıda verilen eşitlikler aslında birbirinden farklı değildir. Çünkü bir kondansatörden belli bir t zamanında I akımı geçerken üzerinde birikecek Q yükü ve uçlarında oluşacak V gerilimi ilişkisini hatırlayalım.

$$Q=I \cdot t \rightarrow SR=C \cdot V \rightarrow \frac{V}{t} = \frac{1}{C}$$

Üretici firmalar çoğunlukla tam güçteki opamp band genişliğini kataloglarında verirler. Bu değer verilen bir SR değeri ile çıkış geriliminin tepe değeri (V_p) arasındaki ilişkidir. Aşağıdaki şekilde formüle edilir.

$$f_{\max} = \frac{SR}{2\pi \cdot V_p}$$

Bu formül kullanılarak opamp çıkışında bozulmaya neden olmadan kuvvetlendirilebilecek giriş işaretinin maksimum frekansı bulunabilir.

Örnek: 1.2

741 tipi genel amaçlı bir opamp'ta Değişim hızı $SR=0.5V/\mu s$ 'dir. Bu değere göre;

- $V_{OSAT}=\pm 12V$ 'luk çıkış için tam güçteki band genişliğini
- $V_o=\pm 9V$ 'luk çıkış için giriş işaretinin maksimum frekansını bulunuz.

Cözüm

$$a) f_{\max} = \frac{SR}{2\pi \cdot V_p} = \frac{0.5(V/\mu s)}{6.28 \cdot (12V)} = \frac{0.5 \cdot 10^6}{6.28 \cdot 12V} = 6.634KHz$$

$$b) f_{\max} = \frac{SR}{2\pi \cdot V_p} = \frac{0.5(V/\mu s)}{6.28 \cdot (9V)} = \frac{0.5 \cdot 10^6}{6.28 \cdot 9V} = 8.846KHz$$

Görüldüğü gibi opamp çıkış geriliminin genliği azaldıkça, giriş işaretinin frekansı limiti artmaktadır. Üreticiler her hangi bir opamp için değişim hızını birim kazançta verirler. Çünkü opamlarda değişim hızı en küçük değere birim kazançta ulaşır.

Bir opamp'ın girişindeki işaretin değişim hızı, opamp'ın değişim hızından daha küçük olmalıdır. Daha büyük olduğunda opamp, girişindeki işaretin değişim hızına yetişemez. Dolayısı ile opamp çıkış işaretinde bozulmalar meydana gelir. Bu durumu önlemek için daha büyük değişim hızına sahip opamp'lar kullanılmalıdır.

Opamp'ın çalışmasını etkileyen en önemli karakteristikler yukarıda maddeler halinde verilmiştir. Bununla birlikte kimi uygulamalarda önem arzeden bir kaç parametre daha vardır. Bu parametreleri ve özelliklerini üretici kataloglarında inceleyebilirsiniz. Tablo-1.2'de size örnek olması amacı ile genel amaçlı bir opamp'ın üretici kataloglarından alınan karakteristikleri verilmiştir.

ÖZELLİKLER		
Türkçe	Orjinal	Değer
Giriş Dengesizlik Gerilimi, V_{io}	Input Offset Voltage	5mV
Giriş Dengesizlik Akımı, I_{io}	Input Offset Current	20nA
Giriş Kutuplama Akımı, I_b	Input Bias Current	100nA
Ortak Mod Eleme Oranı, CMMR, 6	Commen Mode Rejection Ratio, CMRR	100dB
Güç Kaynaklı Bastırma Oranı; PSRR	Power-Supply Rejection Ratio, PSRR	20 μ V/V
Kayma (sürüklenme), I_{io}	Drift I_{io}	0.1nA/ $^{\circ}$ C
Kayma (sürüklenme), V_{io}	Drift V_{io}	5 μ V/ $^{\circ}$ C
Değişim Hızı, SR	Slew Rate, SR	1V/ μ s
Birim Kazanç Frekansı	Unity-gain Frequance	1MHz
Tam güçteki band genişliği, BW	Full-power, BW	50KHz
Açık Çevrim fark kazancı, A_{OL} , A_v	Open-loop gain	100000
Açık Çevrim Giriş Direnci, R_i	Input impedance	1M Ω
Açık Çevrim Çıkış Direnci, R_o	Output impedance	100 Ω

Tablo-1.2 Tümdevre bir opamp'ın 25 $^{\circ}$ C'deki tipik parametreleri

BÖLÜM 2

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.

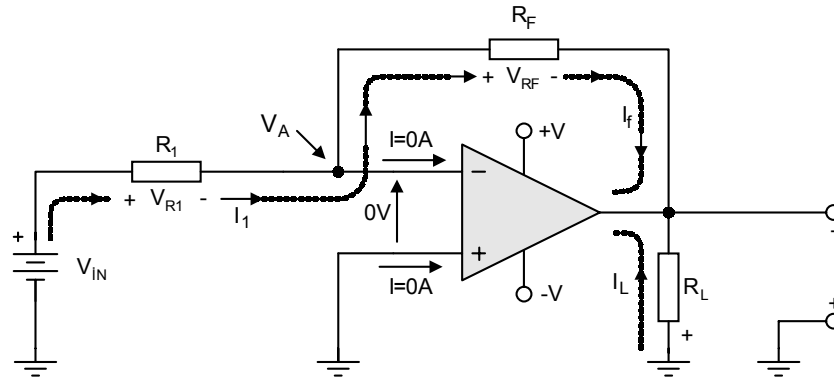
Bu bölümde opamp'la gerçekleştirilen temel yükselteç modellerini inceleyeceğiz. Bunlar;

- 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;

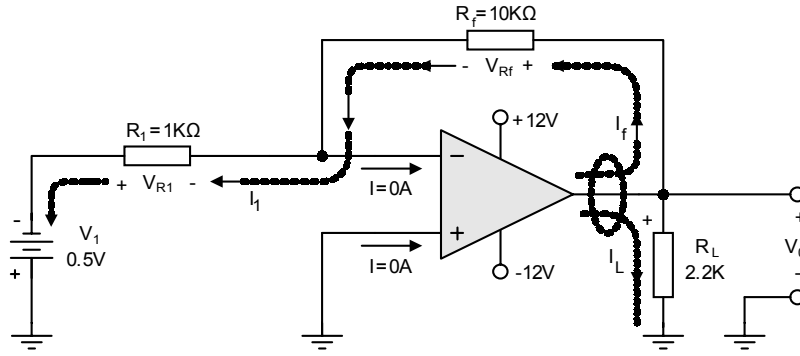
$$A = -\frac{V_0}{V_{IN}} = -\frac{R_F}{R_1}$$

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

Çözüm

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;

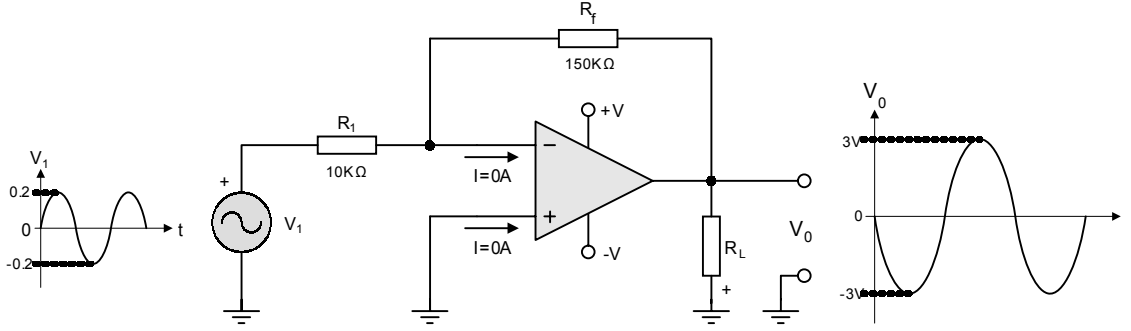
$$I_L = \frac{|V_0|}{R_L} = -\frac{5V}{2.2K\Omega} = 2.27mA$$

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;

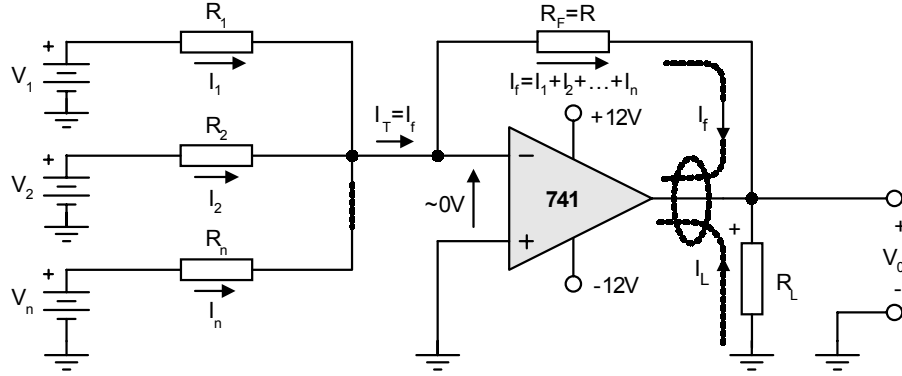
$$I_1 = \frac{V_1}{R_1}, \quad I_2 = \frac{V_2}{R_2}, \quad I_n = \frac{V_n}{R_n}$$

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;

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

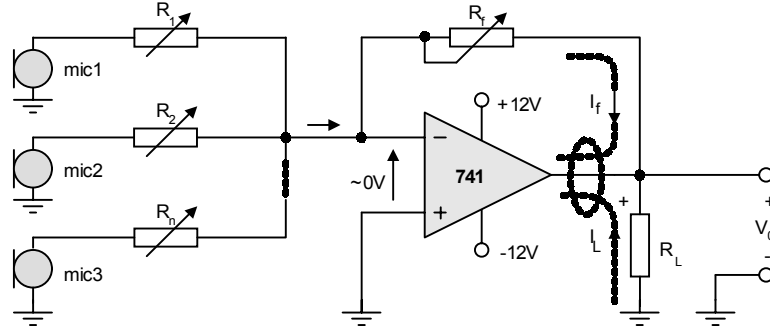
olarak seçilmelidir. Örnek olarak şekil-12.11'deki devrede; $R_1=R_2=R_n=100K$, $R_f=100K/3$ ve $V_1=5v$, $V_2=5v$, $V_n=-1v$ ise V_0 çıkış gerilimi;

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

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.

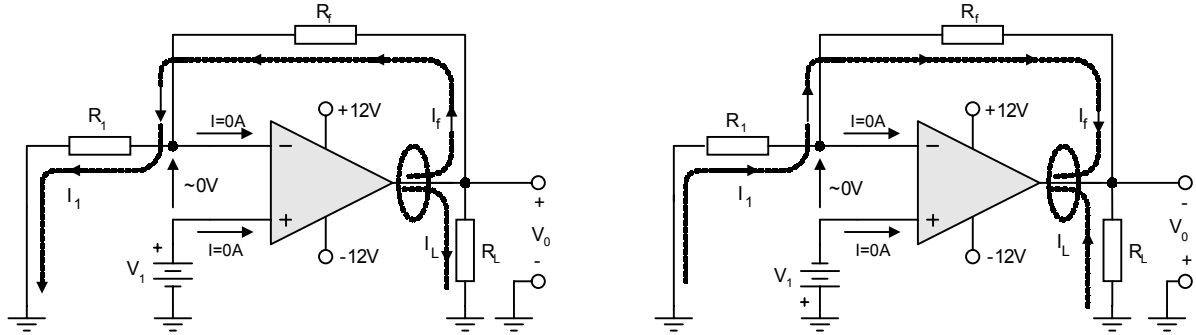


Şekil-2.5 Ses karıştırıcı (mixser) devre

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;

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

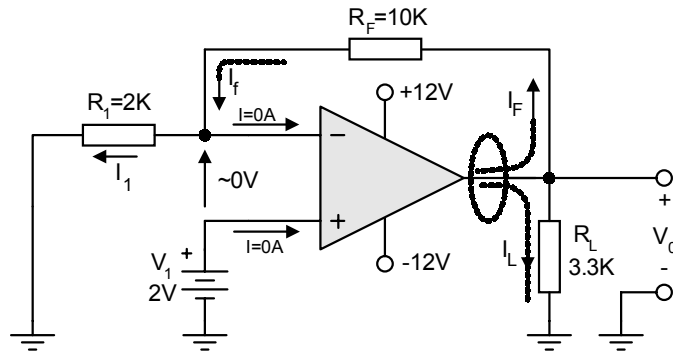
değerine eşittir.

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

Çözüm

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;

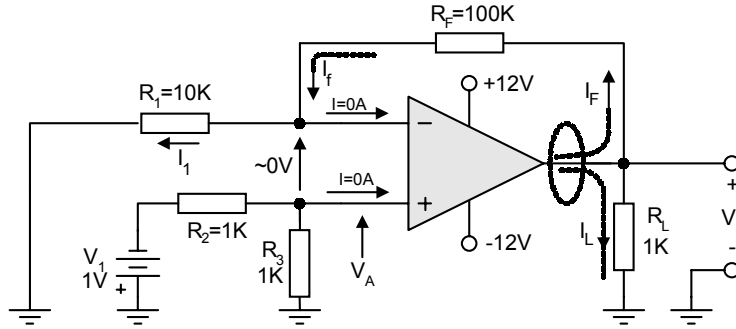
$$I_L = \frac{V_0}{R_L} \Rightarrow I_L = \frac{12V}{3.3K} = 3.63mA$$

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

Çözüm

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;

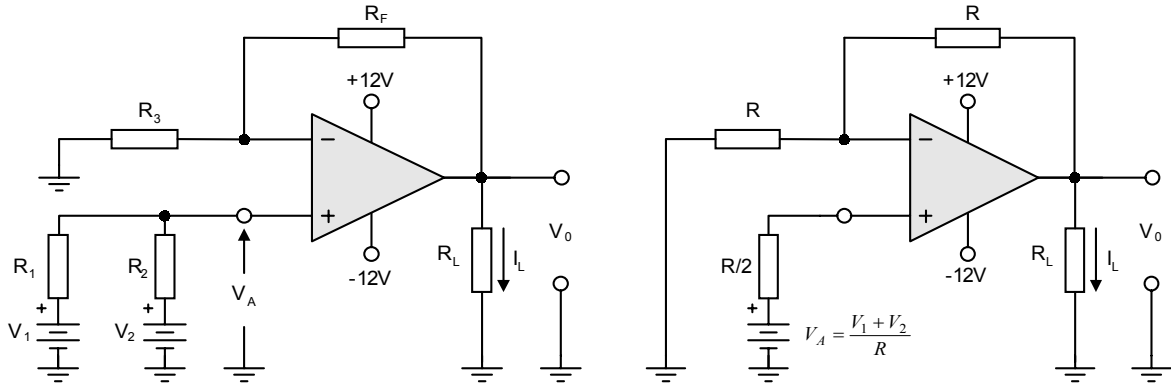
$$I_L = \frac{V_0}{R_L} = \frac{5.5V}{1K} = 5.5mA \Rightarrow I_1 = \frac{V_A}{R_1} = \frac{0.5V}{10K} = 0.05mA$$

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.

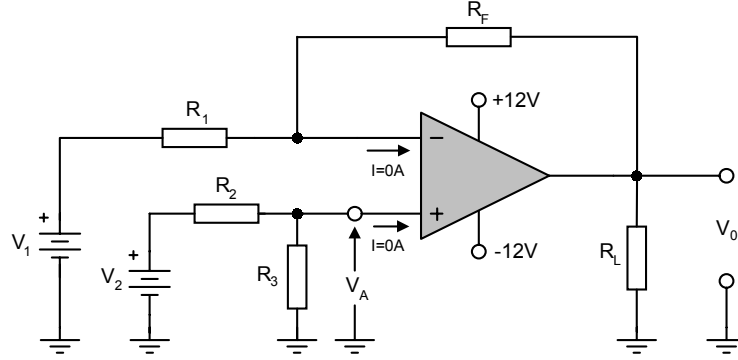
2.2 TEMEL FARK ALICI

Bu bölümde opampların 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.

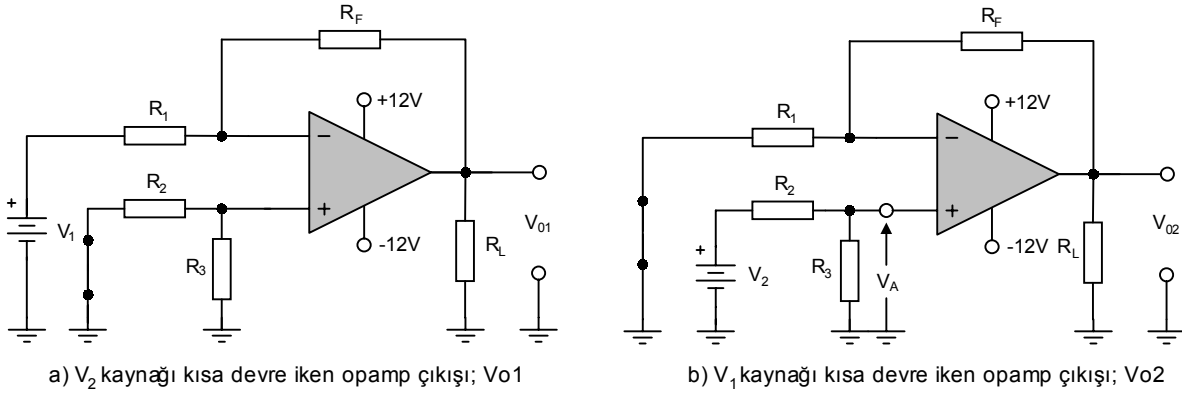
Temel fark alıcı devre, çıkarıcı amplifikatör (difference amplifier) veya farksal yükselteç olarak da isimlendirilir. Temel bir fark alıcı devresi şekil-2.9'da gösterilmiştir. Devre dikkatlice incelendiğinde opamp'ın her iki girişinin de kullanıldığı görülmektedir. Devrenin temel çalışma prensibi eviren 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 çıkışa 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 ;

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

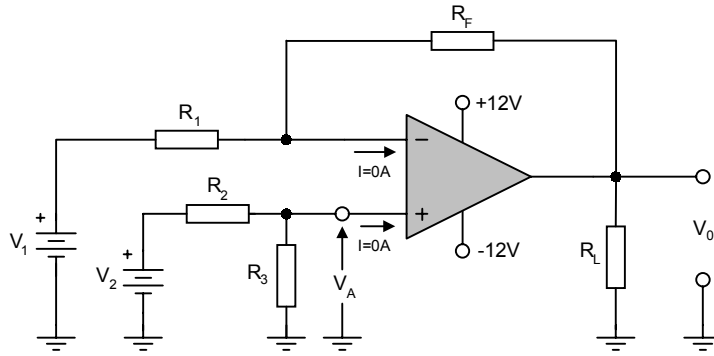
olarak bulunur. Örneğin şekil-2.12'deki temel fark alıcı devrede $R_1=R_2=R_3=R_F$ olarak seçilirse çıkış gerilimi;

$$V_0 = V_2 - V_1$$

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

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

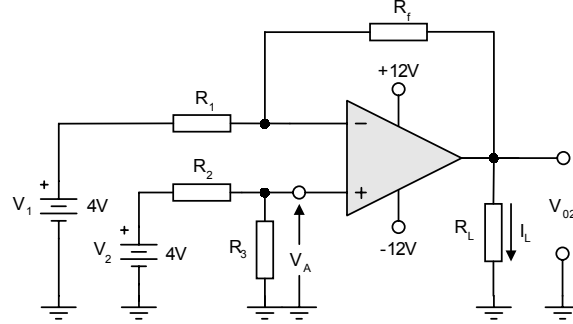
seçmek şartı ile devreyi fark yükseltici haline getirmek mümkündür.



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;

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

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

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

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

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

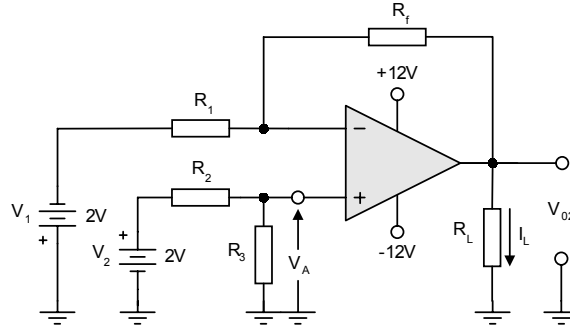
$$V_o = 0V$$

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;

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

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

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

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

$$V_o = +4V$$

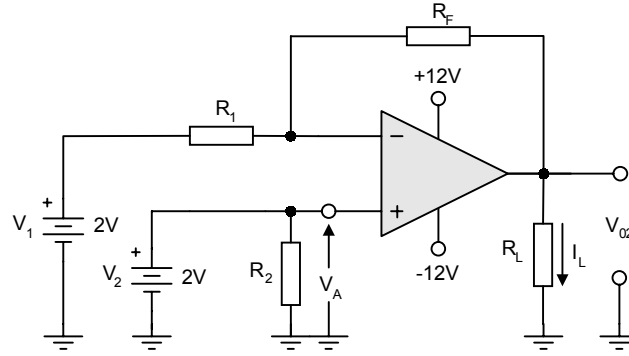
Görüldüğü gibi fark alıcı devre opamp girişine uygulanan işaretlerin farkını almıştır. Çıkış gerilimi $V_o = V_2 - V_1$ olmuştur.

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;

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

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

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

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

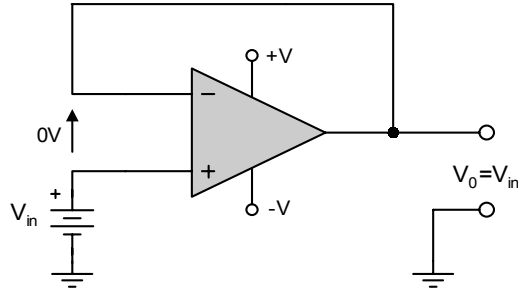
$$V_o = +2V$$

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.

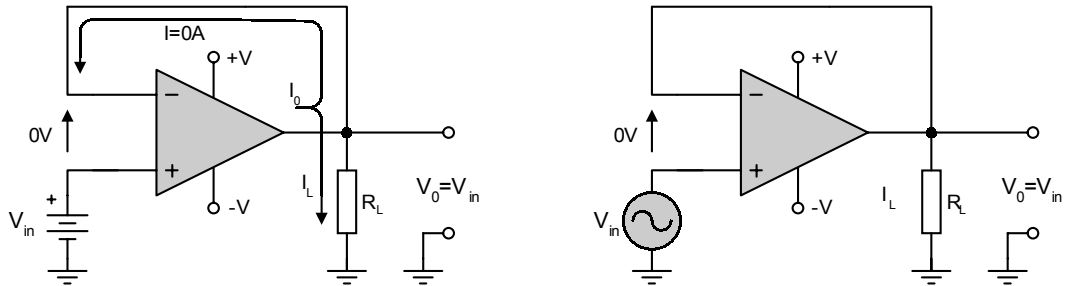


Şekil-2.14 Gerilim izleyici devre

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

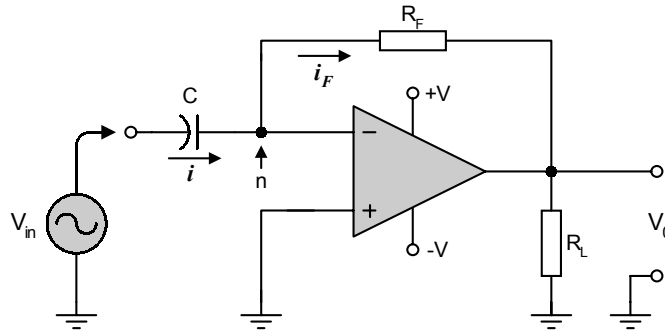
2.4 TÜREV VE ENTEGRAL ALICI

Bu bölüme kadar anlatılan opamp uygulamalarında geri besleme elemanlarının tamamen omik olduğu varsayıldı veya omik bir eleman olan direnç 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 işlevinde 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;

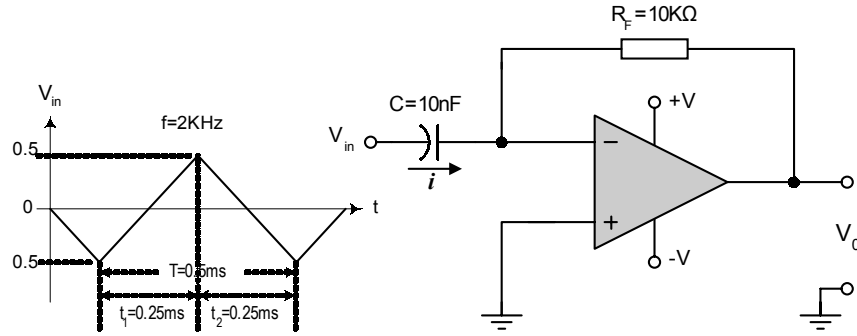
$$V_0 - R_F \cdot i \Rightarrow V_0 = -R_F \cdot C \frac{dV_{in}}{dt}$$

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,

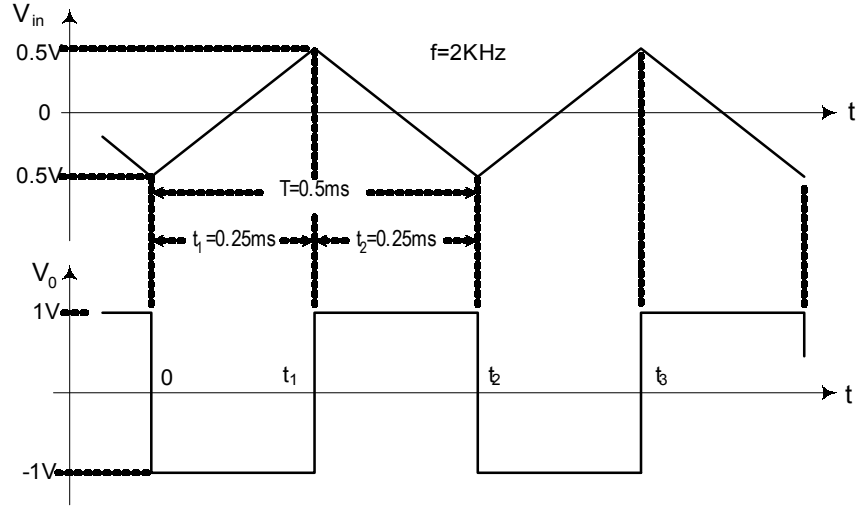
$$V_o(t_1) = -R_F \cdot C \frac{dV_{in}}{dt} = -50 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-9} \cdot 2000 = -1V$$

Negatif eğim için gerekli analizleri yapalım.

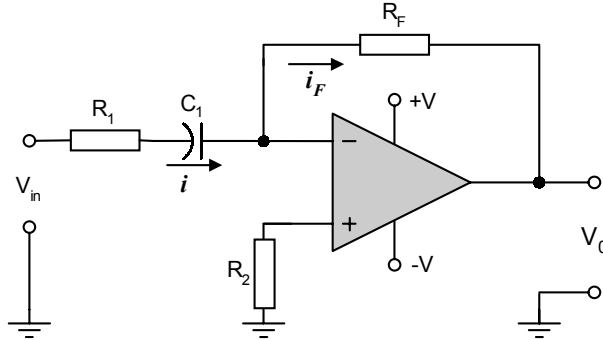
$$\text{Negatif egim : } t_2 = -\frac{dV_{in}}{dt} = -\frac{\Delta V_{in}}{\Delta t} = -\frac{0.5V}{0.25 \cdot 10^{-3}s} = -2000 \frac{V}{s}$$

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

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.

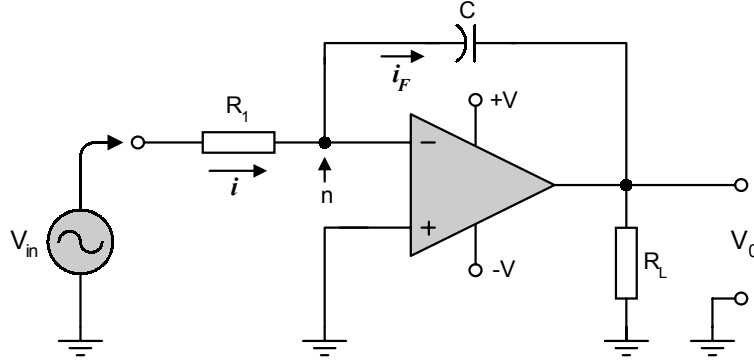
1- Devrede giriş işaretinin frekansı F_{GR} ; F_C değerine eşit yada ondan küçük olmalıdır.

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

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;

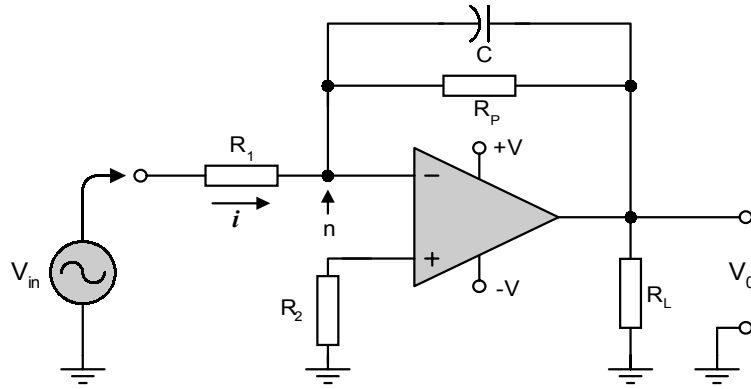
$$I - I_F = 0 \Rightarrow I = I_F$$

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

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.

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

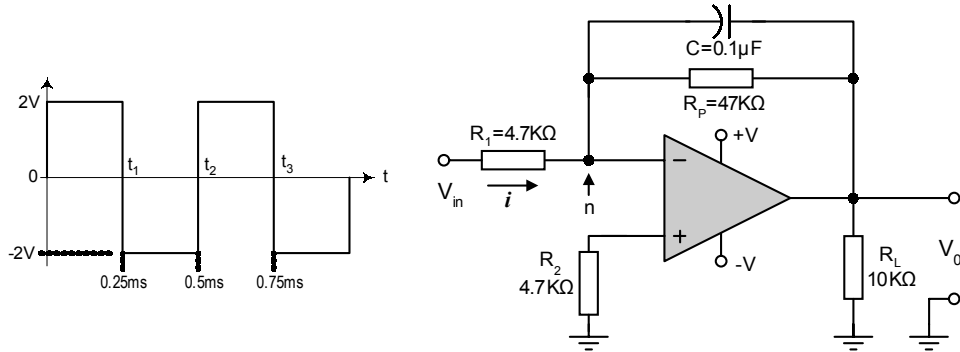
$$F_{GR} \geq F_C = \frac{1}{2\pi \cdot R_p \cdot C_F}$$

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:

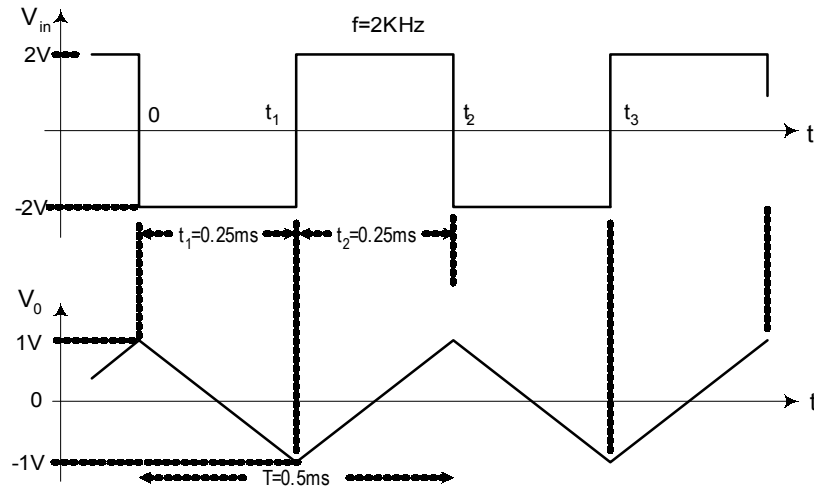
Verilen devrede pozitif yarı saykıl (alternans) için çıkış gerilimini hesaplayalım.

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

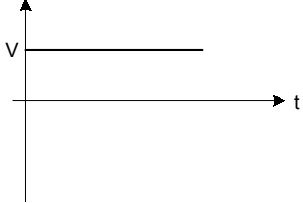
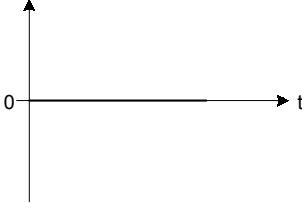
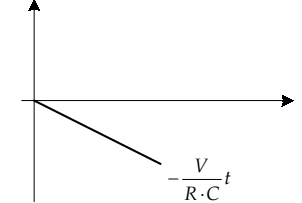
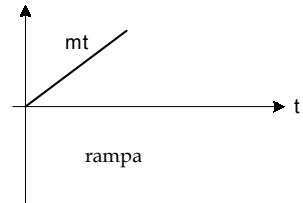
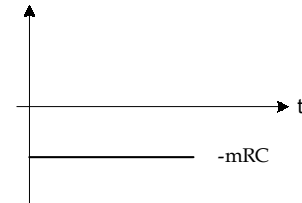
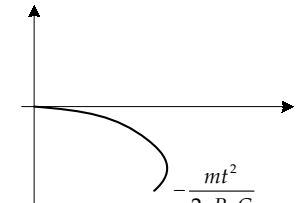
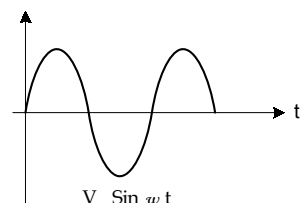
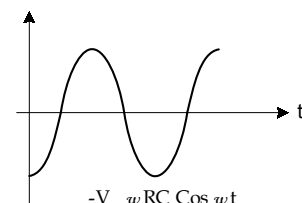
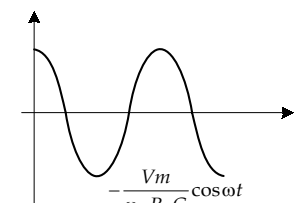
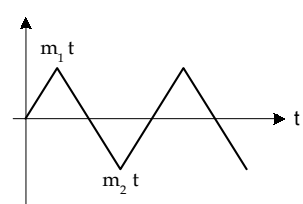
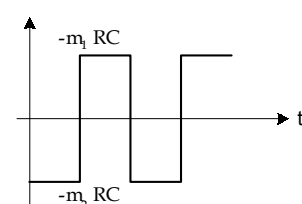
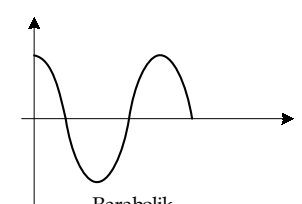
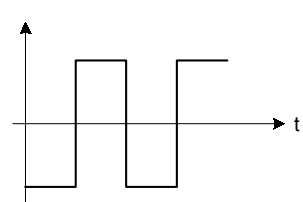
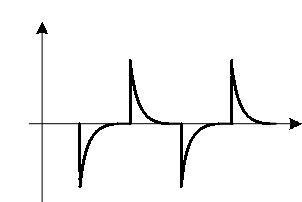
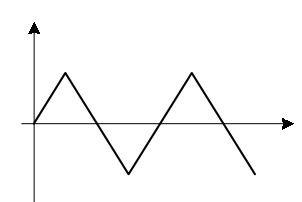
Negatif yarı saykıl;

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

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

BÖLÜM 3

Opamp Uygulamaları

Konular:

- 3.1 Gerilim Karşılaştırıcıları (Komparator)
- 3.2 Multivibratörler
- 3.3 Aktif Filtreler
- 3.4 Hassas

Amaçlar:

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

- Operasyonel yükseltecin tanıtımı ve sembolü,
- İdeal opamp özellikleri
- Pratik opamp özellikleri ve 741 tipi tümdevre opamp'ın tanıtılması ve terminal bağlantıları
- Opamp'ın temel yapısı ve blok olarak gösterimi
- Transistörlü Farksal Yükseltecin Yapısı, Özellikleri ve Çalışma Karakteristikleri
- Opamp Karakteristikleri

3.1 GERİLİM KARŞILAŞTIRICILAR

Gerilim karşılaştırıcıları kimi kaynaklarda kısaca “komparator” (comparators) olarak tanımlanır. Temel işlevi herhangi bir gerilim değerini bilinen bir değer ile karşılaştırıp seviyesini belirlemektir. Bu nedenle “Gerilim Seviye Dedektörü” olarak da adlandırılır.

Kullanım amacına ve işlevine bağlı olarak pek çok tip gerilim karşılaştırıcı devre geliştirilmiştir. Bu bölümde sırayla aşağıda belirtilen temel karşılaştırıcı devreleri incelenecek ve uygulama örnekleri verilecektir.

- *Basit Komparator Devresi*
- *Negatif Seviyeli Gerilim Dedektörleri*
- *Pozitif Seviyeli Gerilim Dedektörleri*
- *Pozitif Geribeslemeli Gerilim Seviye Dedektörü*

Gerilim karşılaştırıcıları kısaca “komparator” olarak bilinir veya tanımlanır. Kimi kaynaklarda “Gerilim Seviye Dedektörü” olarak da anılmaktadır. Komparatorlar genellikle opamp’lardan yararlanılarak oluşturulur ve iki adet girişe sahiptir. Komparator’un temel işlevi girişlerine uygulanan iki ayrı işaretin birbirleri ile mukayese edilmesini sağlamaktır. Girişlerden birine referans işaret, diğerine ise mukayese edilecek işaret uygulanır. Bu iki işaret komparator tarafından karşılaştırılır. Mukayese edilen işaretlerin değerlerine bağlı olarak komparator çıkışından bir işaret alınır. Sonuçta komparator, karşılaştırılacak işaretin referans geriliminden büyük veya küçük olduğunu belirler. Eğer komparator olarak her hangi bir opamp kullanılırsa opampın çıkış gerilimi ya pozitif yada negatif doyumdadır. Böylece mukayese edilen gerilimin referans geriliminden farklı olduğunu anlaşılır.

Referans gerilimi; pozitif, negatif veya sıfır değerinde olabilir. Komparatorlar genellikle referans gerilimin polaritesine bağlı olarak; pozitif, negatif ve sıfır gerilim seviye dedektörü olarak da isimlendirilerek sınıflandırılmaktadır. Komparatorlar aşağıda belirtilen amaçlar için kullanılırlar.

- Her hangi bir işaretin sıfır seviyesinden ne zaman ve hangi yönde geçtiğini belirleyen sıfır seviye detektörleri olarak.
- Her hangi bir işaretin belirli bir referans gerilimine ne zaman ulaştığını gösteren gerilim seviye detektörü olarak kullanılırlar
- Düzensiz biçimdeki işaretlerin kare dalga veya darbeleri işaretlere dönüştürülmesin de schmit tetikleyici olarak.
- Kare ve üçgen dalgaların üretilmesinde osilatör olarak kullanılırlar.

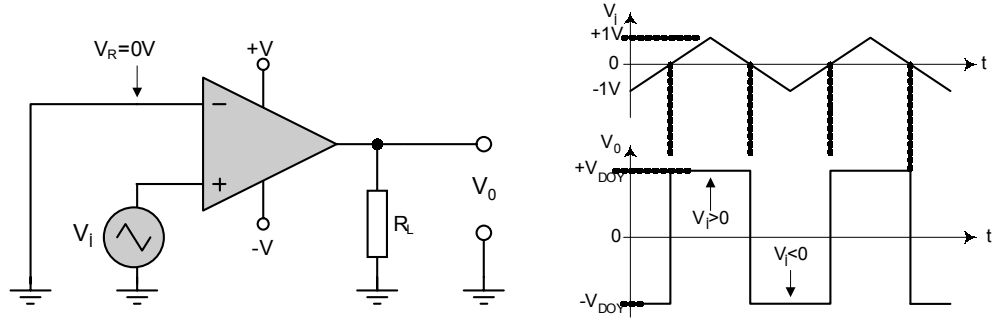
Kullanım alanları son derece geniş bir alanı kapsayan komparatorlar; darbe genişliği modülatörü (PWM), tepe detektörü, gecikme ve zamanlama devrelerinde temel devre elemanı olarak kullanılmaktadır. Analog ve sayısal veri işleme ve oluşturma sistemleri ise diğer önemli kullanım alanlarındandır.

Basit Komparatör

Genel amaçlı bir opamp, komparator olarak kullanılacağı gibi bu iş için özel olarak üretilmiş ve tek bir tümdevre içerisine yerleştirilmiş komparatorlar vardır (LM 101, LM 301 v.b gibi). Bu tümdevreler daha iyi sonuç verirler. Opamp kullanılarak oluşturulmuş basit bir

komparatör devresi şekil-3.1’de gösterilmiştir.

Devreden görüldüğü gibi opamp devresinde geribesleme direnci kullanılmamıştır. Dolayısıyla opamp’ın gerilim kazancı sonsuzdur. Opamp temel çalışma ilkesine bağlı olarak eviren ve evirmeyen girişlerine uygulanan işaretlerin farkını alıp açık çevrim kazancı kadar yükseltip çıkışına aktaracaktır.



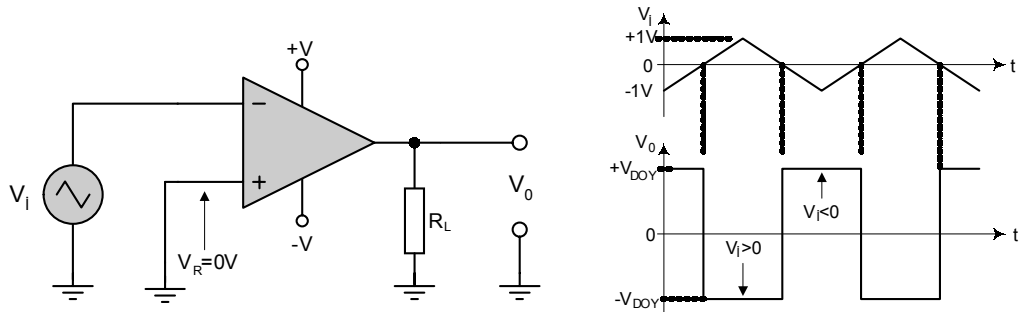
Şekil-3.1 Evirmeyen girişli basit bir komparator devresi ve giriş/çıkış dalga biçimleri

Komparator devresinde opamp’ın evirmeyen girişine üçgen dalga uygulanmış, eviren giriş ise şaseye bağlanmıştır. Dolayısıyla komparator devresinin referans gerilimi $V_R=0V$ ’dur.

Opamp’ın evirmeyen girişine uygulanan V_i giriş işaretinin değeri; V_R değerinden büyük olduğunda yani $V_i > 0$ olduğunda opamp’ın çıkış gerilimi pozitif yönde doyuma ($+V_{DOY}$) gidecektir. $V_i < 0$ olduğunda ise komparator çıkışı negatif yönde doyuma ($-V_{DOY}$) gidecektir. Çünkü opamp’ın açık çevrim kazancı maksimumdur.

Bu noktada $\pm V_{DOY}$ değerlerini opamp’ın besleme gerilimi belirlediğini tekrar hatırlatalım. Örneğin $\pm 15V$ ’luk bir gerilimle beslenen bir opamp’ta çıkışta oluşabilecek $\pm V_{DOY}$ değeri yaklaşık olarak $\pm 13V$ civarındadır.

Şekil-3.2’de eviren girişli komparator devresi verilmiştir. Karşılaştırılacak işaret opamp’ın eviren girişine uygulanmıştır. Referans gerilimi ise evirmeyen girişteki V_R gerilimidir ve şase ($0V$) potansiyelindedir. Komparator girişine uygulanan işaret ve bu işarete bağlı olarak elde edilen çıkış işareti şekil üzerinde gösterilmiştir. Eviren girişten uygulanan işarete bağlı olarak opamp çıkışı değişecektir. Örneğin giriş işareti V_i , V_R ’den büyük olduğunda opamp çıkışı $-V_{DOY}$ değerine, küçük olduğunda ise $+V_{DOY}$ değerine kilitlenecektir.



Şekil-3.2 Eviren girişli basit bir komparator devresi ve giriş/çıkış dalga biçimleri

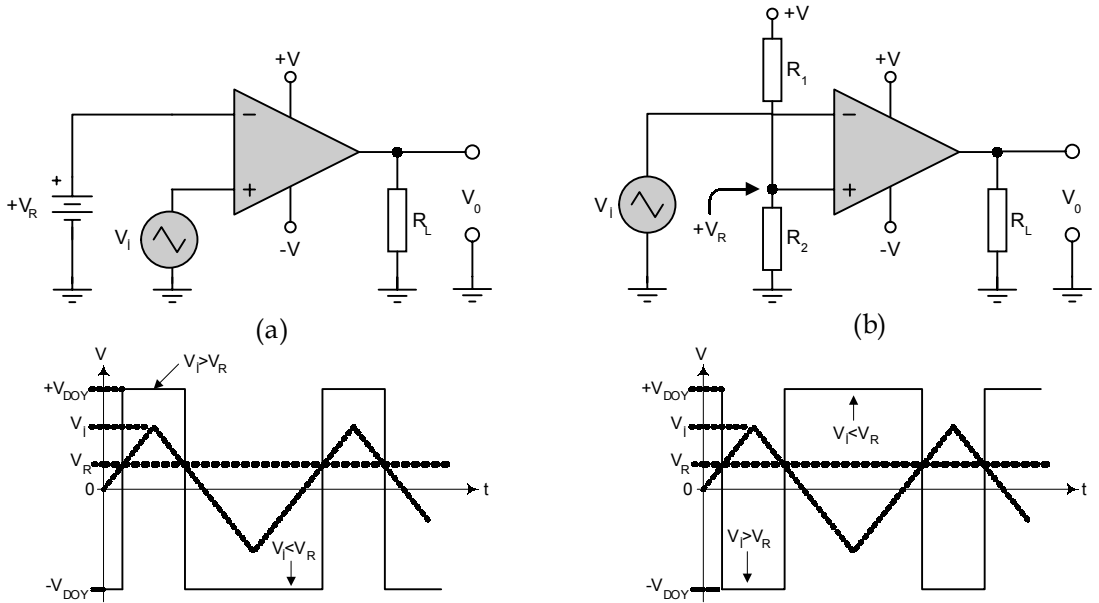
Yukarıda verilen komparator devrelerinde referans gerilimi şasedir ($0V$). V_i işareti negatiften pozitifte veya pozitiften negatife doğru giderken sıfır seviyesini keser. Çıkış ise bu anlarda $+V$

doyumdan $-V$ doyumuna, veya $-V$ doyumdan $+V$ doyumuna gider. Çıkış işareti bu şekilde durum değiştirdiğinde, giriş işaretinin sıfırdan geçtiği anlaşılır. Bu durum şekil-3.1 ve şekil-3.2 üzerinde gösterilmiştir.

Yukarıda verilen komparator devreleri uygulamada yeterli sonucu veremez. Pratik uygulamalarda opamp, çoğu kez girişindeki seviye değişimlerine şekillerde görüldüğü gibi hızlı cevap veremez. Ayrıca; giriş uçlarındaki gürültüden dolayı giriş işareti üzerinde bir takım osilasyonlar oluşabilir. Bu osilasyonlar yüzünden sıfır eksenini bir kaç defa kesilerek komparator çıkışı durum değiştirebilir. Bu durum hatalı algılamalara neden olabilir. Belirtilen bu hataları minimuma indirmek için çeşitli tip komparator devreleri geliştirilmiştir. Sonraki bölümlerde geliştirilmiş komparator devrelerini inceleyeceğiz.

Pozitif Seviyeli Gerilim Dedektörleri

Bir önceki bölümde komparatorda kullanılacak referans gerilimi olarak şase potansiyelini belirlemiştik. Bu tür komparatorlara genellikle "Sıfır Seviyeli Gerilim Dedektörleri" denilmektedir. Komparator devresinde kullanılan opamp girişlerinden herhangi birisine pozitif sabit bir referans gerilimi uygulanırsa bu tür komparatorlara "Pozitif Seviyeli Gerilim Dedektörleri" denilmektedir. Şekil-3.3.a ve b'de bu tür dedektör örnekleri görülmektedir. Şekil-3.3.a'da referans gerilimi sembolik bir batarya ile belirtilmiştir. Şekil-3.3.b'de ise referans gerilimi gerilim bölücü dirençler kullanarak elde edilmiştir. Her iki şekilde de referans gerilimi V_R pozitif bir değerdedir.



Şekil-3.3.a ve b Pozitif seviyeli gerilim dedektörleri ve dalga biçimleri

Şekil-3.3.a'daki komparator devresinde evirmeyen girişe uygulanan üçgen dalganın genliği bir an için $0V$ olarak düşünelim. Bu durumda, opamp'ın eviren girişinde bulunan referans gerilimi V_R pozitif olduğu için opamp girişindeki fark gerilimi V_R olacaktır. Dolayısıyla eviren giriş etkin olacak ve komparator çıkışı negatif doyumda olacaktır ($-V_{DOY}$). Komparator çıkışının bu durumu, evirmeyen girişteki V_i işaretinin genliği V_R seviyesine ulaşana kadar devam eder. $V_i = V_R$ eşitliği bozulup $V_i > V_R$ olunca, evirmeyen giriş etkin konuma geçecek ve opamp'ı pozitif doyumuna sürecektir ($+V_{DOY}$).

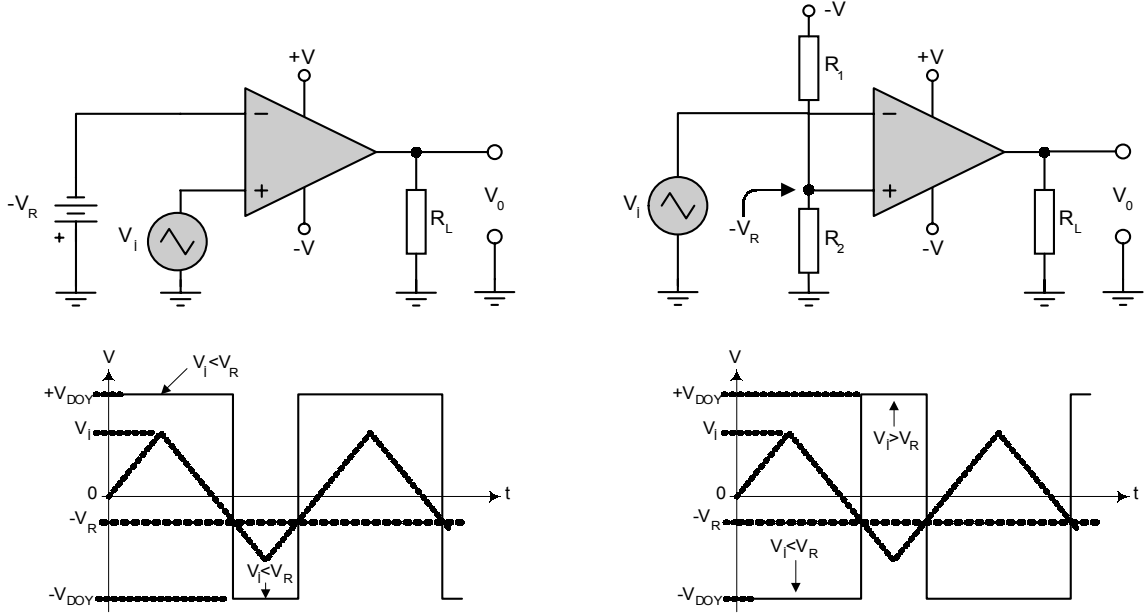
Özet olarak opamp girişlerindeki $V_i = V_R$ dengesi hangi giriş lehine değişirse, opamp'ın çıkışı

girişine uygun olarak $\pm V_{DOY}$ değerlerinde değişikliğe uğrayacaktır. Bu durumlar şekil-3.3 üzerinde ayrıntılı olarak çizilmiştir. Dalga biçimlerini inceleyiniz.

Negatif Seviyeli Gerilim Dedektörleri

Komparator devresinde kullanılan opamp girişlerinden herhangi birisine negatif sabit bir referans gerilimi uygulanırsa bu tür komparatorlere “Negatif Seviyeli Gerilim Dedektörleri” denilmektedir. Şekil-3.4.a ve b’de bu tür dedektör örnekleri görülmektedir. Şekil-3.4.a’da referans gerilimi sembolik bir batarya ile belirtilmiştir. Şekil-3.4.b’de ise referans gerilimi gerilim bölücü dirençler kullanarak elde edilmiştir. Her iki şekilde de referans gerilimi V_R negatif bir değerdedir.

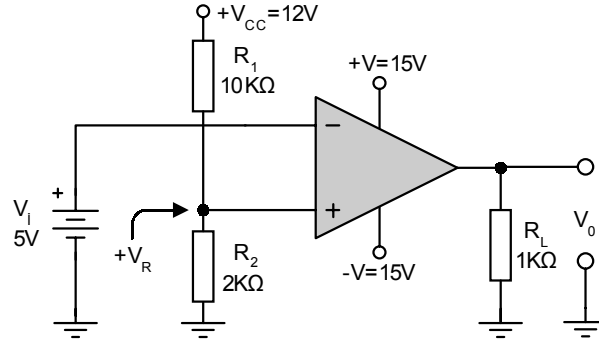
Bu tür komparatorlerin çalışması şekil-3.4 üzerinde gösterilmiştir. Özetle, opamp girişlerindeki $V_i = V_R$ dengesi hangi giriş lehine değişirse, opamp’ın çıkışı o girişine uygun olarak $\pm V_{DOY}$ değerlerinde değişikliğe uğrayacaktır. Dalga biçimlerini inceleyiniz.



Şekil-3.4.a ve b Negatif seviyeli gerilim dedektörleri ve dalga biçimleri

Örnek:
3.1

Şekil-3.5’de verilen gerilim seviye dedektörünün çıkışında elde edilecek gerilim değerini (V_0) hesaplayınız? Opamp’ı ideal olarak kabul ediniz.



Şekil-3.5 Gerilim seviye dedektörü ve analizi

Cözüm:

Verilen komparator devresinde önce referans gerilim (V_R) değerini bulmalıyız. Bunun için opamp’ın evirmeyen girişine uygulanan V_R değeri;

$$V_R = \left[\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right] \cdot (+V_{CC}) \rightarrow V_R = \left[\frac{10K\Omega}{10K\Omega + 2K\Omega} \right] \cdot (12V) \quad V_R = 10V$$

olarak bulunur.

Komparator’e seviyesinin tespiti için uygulanacak giriş işaretinin değeri ise $V_i = 5V$ ’dur. Bu durumda opamp’ın evirmeyen girişi daha etkindir. Çünkü;

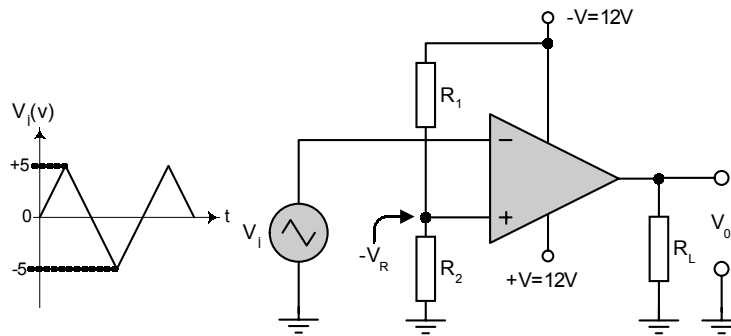
$$V_i < V_R$$

olmuştur.

Bu sonuca göre opamp çıkışı $+V_{DOY}$ değerine sahip olacaktır. Opamp’ın besleme gerilimi $\pm 15V$ olduğuna göre ideal bir opamp için çıkış gerilimi $V_0 = +15V$ ’dur. Gerçek bir opamp’ta ise $V_0 = +13V$ civarındadır.

Örnek:
3.2

Şekil-3.6’da verilen gerilim seviye dedektörünün analizini yaparak çıkış işaretinin dalga biçimini çiziniz? $R_1 = 2K\Omega$, $R_2 = 10K\Omega$, $R_L = 1K\Omega$



Şekil-3.6 Gerilim seviye dedektörü ve analizi

Verilen komparator devresinde önce referans gerilim (V_R) değerini bulmalıyız. Bunun için opamp'ın evirmeyen girişine uygulanan V_R değeri;

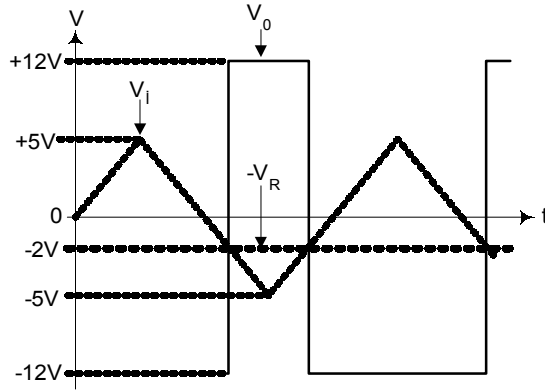
$$V_R = \left[\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right] \cdot (-V)$$

$$V_R = \left[\frac{2K\Omega}{2K\Omega + 10K\Omega} \right] \cdot (-12V)$$

$$V_R = -2V$$

olarak bulunur. Bulunan bu değere göre çıkış işaretinin dalga biçimi aşağıda verilmiştir.

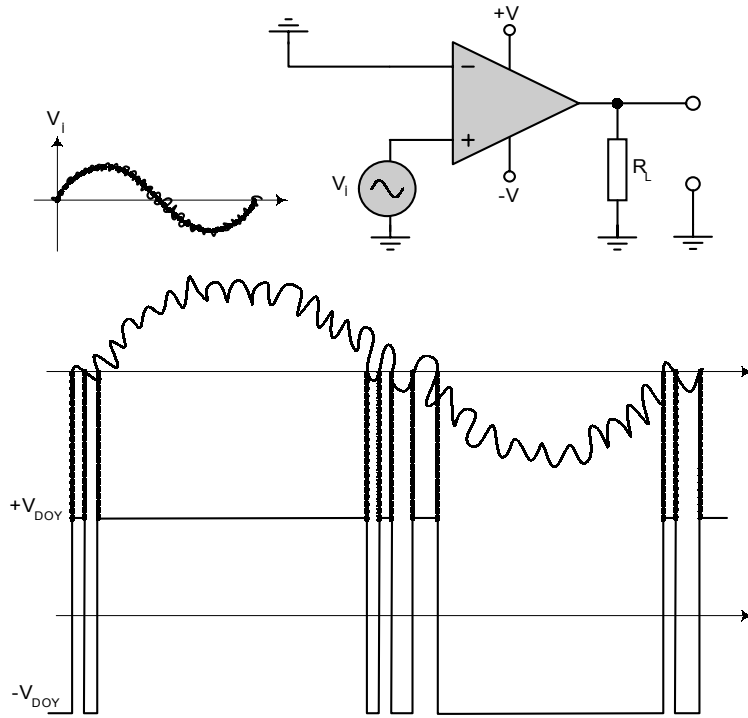
Cözüm:



Pozitif Geribeslemeli Gerilim Seviye Dedektörü

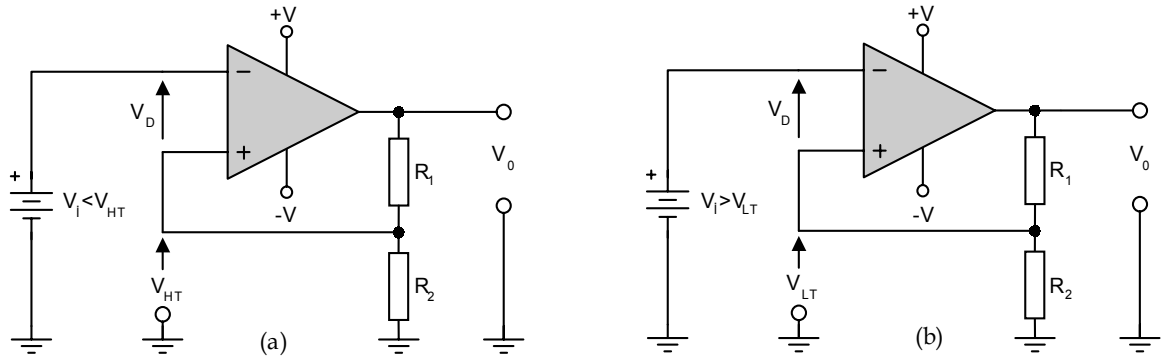
Komparator veya gerilim seviye dedektörü'nün temel çalışma prensibi, girişlerine uygulanan iki işaretin karşılaştırılması şeklindedir. Komparator olarak çalıştırılan opamp'ın eviren ve evirmeyen girişlerine uygulanan işaretlerden hangisi etkin ise komparator çıkışındaki V_o gerilimini oluşturmaktadır. Tüm gerilim seviye dedektörlerinde opamp açık çevrimde çalıştırılmaktadır. Bu nedenle kazancı son derece yüksektir. Bu durum kimi uygulamalarda sorun yaratmaktadır.

Örnek olarak şekil-3.7'de görülen ve içerisinde gürültüler barındıran bir işaretin komparator girişine uygulandığını varsayalım. Bu durum opamp'ın çalışmasını olumsuz etkileyecek ve küçük gürültü işaretlerinde dahi komparator çıkışı durum değiştirecektir. Gürültünün komparator çıkışını nasıl etkilediği şekil-3.7 üzerinde büyütülerek gösterilmiştir.



Şekil-3.7 Gürültülü bir giriş işaretinin opamp çıkışını etkilemesi

Komparatör girişinin duyarlılığını ayarlamak, gürültü etkisini azaltmak ve kazancını kontrol etmek için şekil-3.8'de verilen pozitif geribeslemeli komparatör devresi geliştirilmiştir. Bu devrede R_1 ve R_2 dirençleri yardımı ile pozitif geri besleme yapılarak komparatörün giriş duyarlılığı ve kazancı ayarlanabilir hale getirilmiştir. Belli bir değer altındaki işaretler için komparatör durum değiştirmez. Bu tip devrelere "Schmit Trigger" devreleri denilmektedir.



Şekil-3.8.a ve b Pozitif geribeslemeli gerilim dedektörleri

Şekil-3.8.a'daki devrede $V_I < V_{HT}$ olduğunda çıkış gerilimi $+V_{DOY}$ durumundadır. Opamp'ın evirmeyen girişine uygulanan geribesleme geriliminin değeri;

$$V_{HT} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot (+V_{DOY})$$

olur. Bu gerilime, eşik üst gerilimi denir. Eğer V_I 'nin değerini artırırsak V_D geriliminin polaritesi değişecek ve çıkış gerilimi V_0 azalmaya başlayacaktır. Bu durumda geribesleme

gerilimi V_{HT} de azalacağından V_D gerilimi hızla değişecektir. Çıkış gerilimi bu sefer $-V_{DOY}$ değerine kilitlenecektir. Bu durum şekil-3.8.b üzerinde gösterilmiştir. $V_0 = -V_{DOY}$ değerine alt eşik gerilimi denir ve değeri;

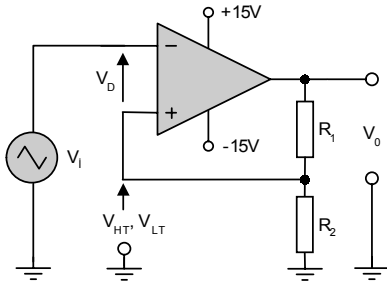
$$V_{LT} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot (-V_{DOY})$$

olarak ifade edilir.

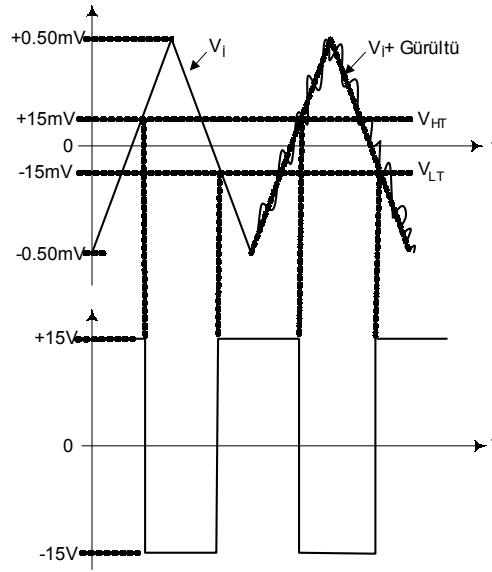
Sonuç olarak, pozitif geribesleme sayesinde çıkış gerilimi V_0 daha hızlı değişmektedir. Eğer alt ve üst eşik gerilimi değerleri, gürültü geriliminin tepe değerinden büyük ise, geribesleme sayesinde gürültü etkisi ortadan kalkmış olur.

Örnek: 3.3

Şekil-3.9'da verilen gerilim seviye dedektörünün analizini yaparak çıkış dalga biçimini çiziniz? Giriş işaretinde izin verilebilecek gürültünün tepe değerlerini hesaplayınız? Giriş işaretinin dalga biçimi yanda verilmiştir.
 $R_1 = 100K\Omega$, $R_2 = 100\Omega$



Şekil-3.9 gerilim seviye dedektörü



Verilen devrenin önce alt ve üst eşik gerilimlerinin değerini bulalım.

$$V_{HT} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot (+V_{DOY})$$

$$V_{HT} = \frac{100\Omega}{100K\Omega + 100\Omega} \cdot (+15V)$$

$$V_{HT} \cong 15mV$$

$$V_{LT} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot (-V_{DOY})$$

$$V_{LT} = \frac{100\Omega}{100K\Omega + 100\Omega} \cdot (-15V)$$

$$V_{LT} \cong 15mV$$

Bulunan bu değerler dikkate alınarak gerilim seviye dedektörünün; giriş işareti ve gürültü etkenlerine bağlı olarak alacağı çıkış dalga biçimi yukarıda verilmiştir. Görüldüğü gibi giriş işareti üzerine hınabilecek $+15mV$ 'lık tepe değere sahip bir sınırlı komparator çıkışını etkilememektedir

Cözüm:

3.2 AKTİF FİLTRELER

Belirli bir frekans bandını geçirmek, bunun dışında kalan frekansları zayıflatmak amacı ile filtre devreleri kullanılır. Filtreler; aktif ve pasif olmak üzere iki temel tipte tasarlanırlar. Bu bölümde opamplarla gerçekleştirilmiş aktif filtre devrelerini ayrıntılı olarak inceleyeceğiz.

Alçak geçiren, yüksek geçiren, band geçiren ve band söndüren olmak üzere dört tip aktif filtre vardır. Bu bölümde sıra ile aşağıda belirtilen konular hakkında ayrıntılı bilgiler edinecek ve çeşitli uygulama devreleri gerçekleştireceksiniz.

- *Aktif ve pasif filtrelerin özellikleri*
- *Alçak Geçiren Filtre*
- *Yüksek Geçiren Filtre*
- *Band Geçiren Filtre*
- *Band Söndüren Filtre*

Filtrelerin başlıca işlevi, belirli bir frekans bandını geçirip diğerlerini zayıflatmasıdır. Pasif ve Aktif olmak üzere iki tip filtre tasarımı yapılabilir. Pasif filtre tasarımında; direnç, kondansatör ve bobin (self) gibi pasif devre elemanları kullanılır. Aktif filtrelerde ise pasif devre elemanlarına ilaveten transistör ve tümdevre gibi yarıiletken devre elemanları da kullanılır. Aktif filtrelerin pasif filtrelere nazaran bazı avantaj ve dezavantajları vardır. Bunlar aşağıda sıralanmıştır.

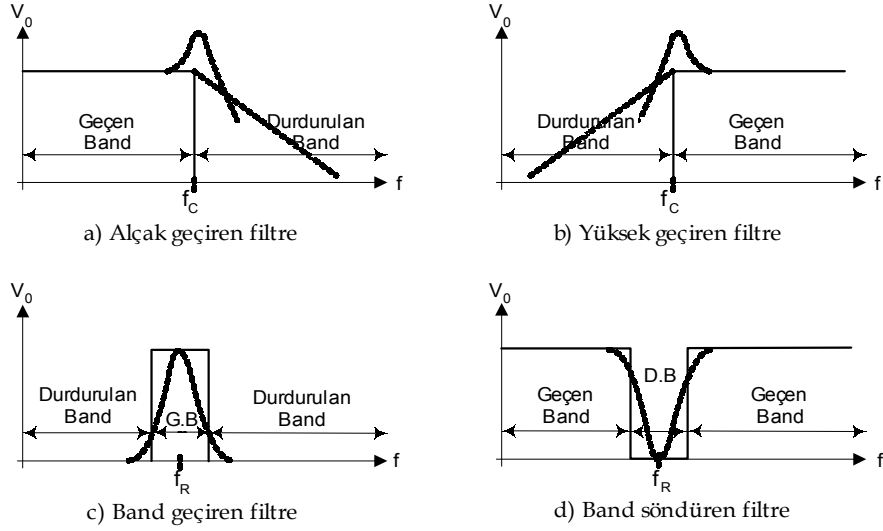
- Aktif filtre tasarımında bobin (self) elemanı kullanılmaz. Bu nedenle tasarımı kolay ve ucuzdur.
- Aktif filtre devrelerinin çıkış empedansı çok düşük, giriş empedansı ise oldukça yüksektir. Bu nedenle, aktif filtrelerin girişlerine veya çıkışlarına bağlanacak devre veya devre elemanlarının etkilenmesi söz konusu değildir.
- Aktif filtrelerde, filtrenin geçirgen olduğu frekanslarda herhangi bir zayıflatma olmaz. Çünkü aktif filtre tasarımında kullanılan opamp, filtre edilen işaretleri yükselterek çıkışına aktarabilir.
- Pasif filtreler herhangi bir besleme gerilimine gereksinim duymazlar. Fakat aktif filtrelerin her zaman besleme gerilimine gereksinimleri vardır.
- Aktif filtre tasarımında kullanılan opampların band genişlikleri sınırlı olduğundan her frekansta aktif filtre tasarlamak oldukça zordur.
- Aktif filtre devrelerinde tümdevre üretim teknolojilerinden kaynaklanan sınırlamalar nedeniyle self (bobin) elemanı kullanılamaz. Bu eleman yerine negatif empedans dönüştürücülerden yararlanılarak kondansatörden self elde edilebilir.

Pek çok endüstriyel uygulamada sıkça kullanılan filtreler başlıca dört tiptir. Bunlar;

- Alçak Geçiren (Low Pass)
- Yüksek Geçiren (High Pass)
- Band Geçiren (Band Pass)
- Band Söndüren (Notch Filters)

olarak adlandırılır. Belirtilen dört tip filtrenin frekans tepkileri (cevapları) şekil-3.10'da ayrıntılı olarak çizilmiştir. Örneğin alçak geçiren filtre, belirlenen bir frekansın altındaki frekansları geçiren, üstündekileri ise zayıflatma bir devredir. Belirlenen bu frekans değerine

“Köşe frekansı” olarak adlandırılır ve “ F_c ” ile ifade edilir. denir. F_c , aynı zamanda; “0.707 frekansı”, “-3dB frekansı” veya “kesim frekansı” olarak da isimlendirilir.



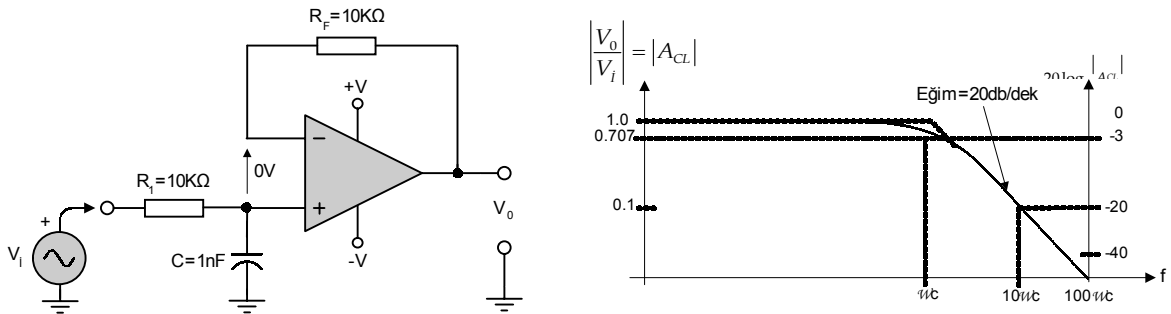
Şekil-3.10 Aktif filtrelerin frekans tepkileri

Filtre devrelerinde iletilen frekans aralığına geçen band, zayıflatılan frekans aralığına ise durdurulan veya söndürülen band adı verilir. Alçak geçiren filtre; kesim frekansının (F_c) altındaki frekansları geçirir, üstündekileri ise durdurur veya zayıflatır. Alçak geçiren filtre devresinde köşe frekansına kadar çıkış gerilim V_0 sabittir ve zayıflama yoktur. Köşe frekansı değerinden sonra çıkış işareti belirli bir eğimle zayıflar. Bu durum şekil-3.10'daki karakteristikte kesik çizgi ile gösterilmiştir. Düz çizgi ise ideal filtreyi temsil etmektedir.

Yüksek geçiren filtre; kesim frekansının (F_c) üstündeki frekansları geçirir, altındakileri ise durdurur veya zayıflatır. Band geçiren filtre ise, sadece belirlenen band içerisindeki frekansları geçirir, diğerlerini zayıflatır.

Alçak Geçiren Filtre

Belirlenen kesim frekansının altındaki frekansları olduğu gibi geçirip, üzerindeki frekansları zayıflatan filtrelere alçak geçiren filtre denir. Filtre devreleri zayıflatma eğimine veya kalitesine bağlı olarak; 1. derece veya -20db/decad, 2.derece veya -40db/decad ve 3. derece -60db/decad olmak üzere tasarlanabilirler. Uygulamalarda sıkça kullanılan 1. derece veya -20 db/decad'lık filtre devresi ve frekans cevabı şekil-3.11.a.b'de verilmiştir.



Şekil-3.11 Birinci derece (-20db/decad) alçak geçiren filtre ve frekans tepkisi

Devrede filtre işlemi R ve C elemanlarından oluşmaktadır. Opamp ise birim kazanç yükselteci olarak çalışmaktadır. DC işaretler için C kondansatörü açık devredir. R1=RF seçildiğinde opamp girişlerine eşit direnç bağlanmış olur. Opamp'ın eviren ve evirmeyen girişleri arasında potansiyel fark olmadığından (0V), çıkış gerilimi C kondansatörü uçlarındaki gerilime eşittir. Giriş V_i gerilimi; direnç ve kondansatör üzerinde bölündüğünden çıkış gerili değeri V_o ;

$$V_o = \frac{1}{R + \frac{1}{j\omega C}} \cdot V_i$$

olarak bulunur. Opamp'ın kapalı çevrim kazancı ise,

$$A_{CL} = \frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1 + j\omega \cdot R \cdot C}$$

olur. Görüldüğü gibi opamp'ın gerilim kazancı frekansın bir fonksiyonudur. Bu durumda;

$$w \rightarrow 0 \text{ için } |A_{CL}| \rightarrow 1 \text{ ve } w \rightarrow \infty \text{ için } |A_{CL}| \rightarrow 0$$

olur. Görüldüğü gibi frekans değeri büyüdükçe opamp'ın kazancı sıfıra ulaşmaktadır. F_c köşe frekansı değerinden sonra çıkış gerilimi 20db/dekad'lık veya 6db/oktav'lık bir eğimle zayıflar.

Devrenin F_c köşe frekansı, A_{CL} 'nin $1/\sqrt{2}$ değerindeki frekanstır. Bu ifade;

$$\sqrt{2} = \sqrt{1 + \omega_c^2 \cdot R^2 \cdot C^2}$$

değerine eşittir. Buradan şekil-3.11'de verilen 20db/dekad'lık alçak geçiren filtre devresinin köşe frekansı F_c ;

$$F_c = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C}$$

olarak bulunur.

Örnek: 3.4

Şekil-3.11'de verilen alçak geçiren filtre devresinin köşe frekansının 2KHz olması isteniyor. Devrede $R_1=R_f=10K\Omega$ olarak seçildiğine göre C değeri ne olmalıdır? Ayrıca köşe frekansının genliği ne olur hesaplayınız?

Cözüm

$F_c=2KHz$ için kondansatörünün olması gereken değeri bulalım.

$$F_c = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C} \rightarrow C = \frac{1}{\omega_c \cdot R} \rightarrow C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot R}$$

$$C = \frac{1}{2 \cdot 3.14 \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^3} = 0.008\mu F$$

olmalıdır. Köşe frekansının genliği ise;

$$|A_{CL}| = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0.707 \Rightarrow -3dB, \theta_{CL} = -45^\circ$$

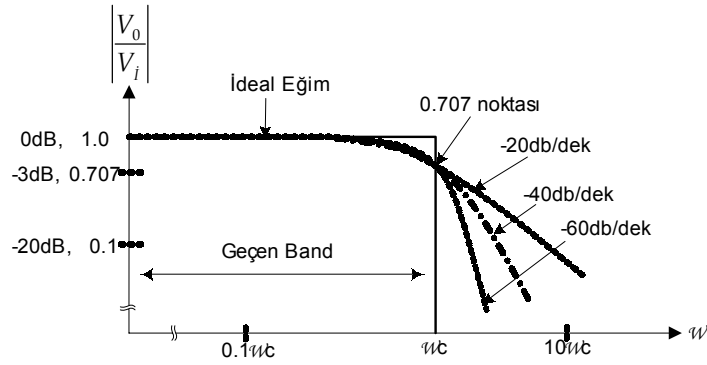
olmalıdır. Köşe frekansının genliği ise;

$$A_{CL} = \frac{1}{1+j1} = \frac{1}{\sqrt{2} + 45^\circ} = 0.707 \cdot (-45^\circ)$$

$$|A_{CL}| = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0.707 \Rightarrow -3dB, \theta_{CL} = -45^\circ$$

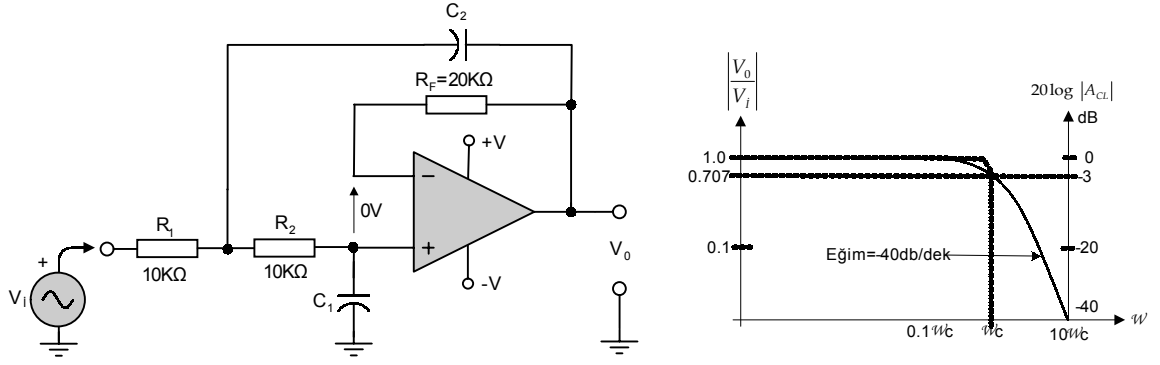
değerindedir. Şekil-3.11.b'de görüldüğü gibi $0.1\omega_c$ 'de $A_{CL}=1$ (0dB), ve $10\omega_c$ 'de $A_{CL}=0.1$ (20dB) olmaktadır.

Filtre devrelerinde köşe frekansından sonra zayıflama eğiminin artması, filtrenin ideale yaklaştığını gösterir. Pek çok uygulamada 20db/dekad'lık birinci dereceden bir filtre devresi yeterli olmayabilir. Bu amaçla -40dB/dekad'lık ve -60dB/dekad'lık filtre devreleri geliştirilmiştir. Alçak geçiren filtre devresi için 20, 40 ve 60dB/dekad'lık üç tip filtre devresi için frekans cevabı (frekans/kazanç eğrileri) şekil-3.12'de çizilmiştir.



Şekil-3.12 Alçak geçiren filtre devrelerinin frekans tepkisi

-40dB/dekad'lık sık kullanılan bir alçak geçiren filtre devresi şekil-3.13'de verilmiştir. Devrenin kapalı çevrim kazancı, köşe frekansından sonra -40dB/dekad'lık bir eğimle zayıflar. Devrede opamp birim kazanç amplifikatörü olarak düzenlenmiştir. Dolayısıyla C_1 kondansatörü uçlarındaki gerilim çıkış gerilimine (V_o) eşittir. $R_1=R_2$ seçmekle devre basitleştirilebilir.



Şekil-3.13 -40dB/Dekad'lık Alçak geçiren filtre ve frekans tepkisi

Devrenin düzenlenmesi ve analizi için aşağıda belirtilen adımlar sırayla izlenmelidir.

1. İlk adım köşe frekansı F_c 'nin belirlenmesi veya seçilmesidir.
2. Analiz kolaylığı için $R_1=R_2$ olmalı ve değeri $10K\Omega$ ile $100K\Omega$ arasında seçilmelidir. R_F değeri ise $2 \cdot R$ olarak seçilmelidir.
3. C_1 kondansatörünün değeri;

$$C_1 = \frac{0.707}{\omega_c \cdot R}$$

formülü kullanılarak hesaplanabilir. C_2 kondansatörü ise $C_2=2 \cdot C_1$ olarak seçilmelidir. dir. aşağıda belirtilen yöntem izlenir.

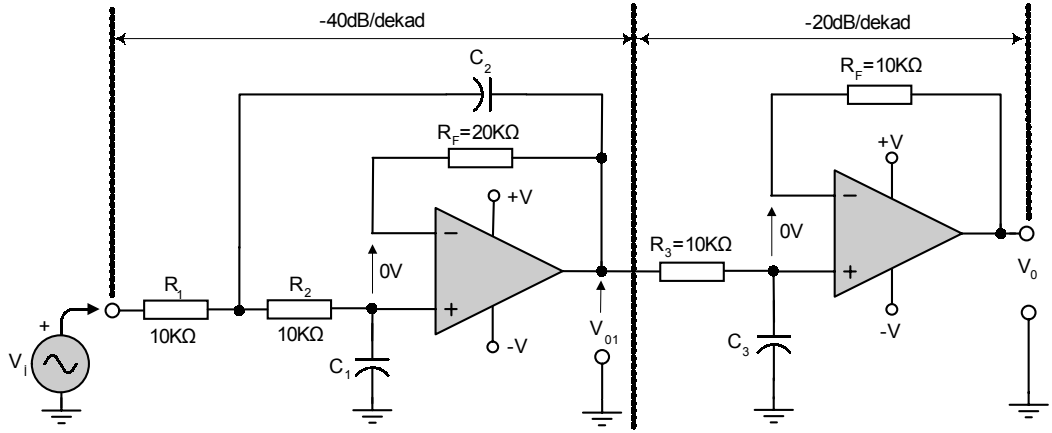
Örnek: 3.5

Şekil-3.13'de verilen alçak geçiren filtre devresinde $\omega_c=30k$ rad/s için C_1 ve C_2 değerleri ne olmalıdır. Hesaplayınız?

$$C_1 = \frac{0.707}{\omega_c \cdot R} \rightarrow C_1 = \frac{0.707}{(30 \cdot 10^3) \cdot (10 \cdot 10^3)} = 0.0024 \mu F = 2.4 nF$$

$$C_2 = 2 \cdot C_1 = 2 \cdot (0.0024 \mu F) = 0.0048 \mu F$$

-60dB/dekad'lık alçak geçiren bir filtre devresi elde etmek için, şekil-3.14'de görüldüğü gibi -40dB/dekad'lık bir filtre ile -20dB/dekad'lık filtre arka arkaya bağlanmalıdır.



Şekil-3.14 -60dB/Decad'lık Alçak geçiren filtre devresi

Devrenin düzenlenmesi ve analizinde ilk adım F_c köşe frekansının seçilmesidir. Dirençler ise; $R_1=R_2=R_3=R$ olarak seçilmeli, değerleri ise $10K\Omega$ ile $100K\Omega$ arasında olmalıdır. C_3 kondansatörünün değeri;

$$C_1 = \frac{1}{\omega_c \cdot R}$$

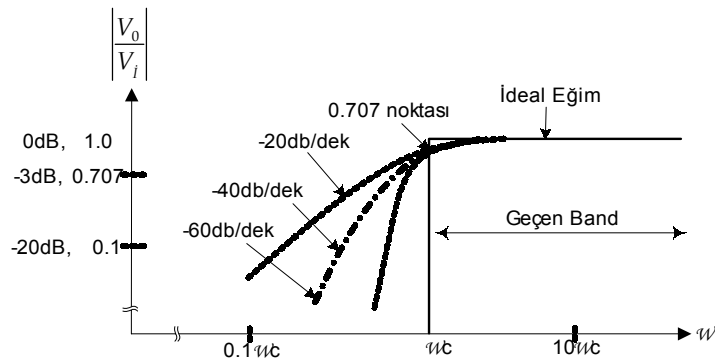
formülünden hesaplanmalıdır. C_1 ve C_2 değerleri için ise;

$$C_1 = \frac{1}{2} \cdot C_3 \text{ ve } C_2 = 2 \cdot C_3$$

bağıntıları kullanılmalıdır.

Yüksek Geçiren Filtre

Yüksek geçiren filtre; belirlenen köşe frekansının üstündeki frekansları olduğu gibi geçirip, altındaki frekansları zayıflatan filtre devresidir. -20db/decad, -40db/decad ve 60db/decad olmak üzere üç tip yüksek geçiren filtre devresi vardır. Bu üç tip filtre devresinin frekans cevapları (kazanç/frekans) eğrileri şekil-3.15'de gösterilmiştir.



Şekil-3.15 Yüksek geçiren filtre devrelerinin frekans tepkisi

-20db/dekad'lık bir filtre devresi ve frekans/kazanç karakteristiği şekil-3.16'da verilmiştir. Yüksek geçiren filtre devresi temelde alçak geçiren filtre ile benzerlik gösterir. Sadece R ve C elemanlarının yerleri değişmiştir. Opamp birim kazanç ampifikatörü olarak çalıştığı için çıkış gerilimi V_o , R direncinin uçlarındaki gerilime eşittir.

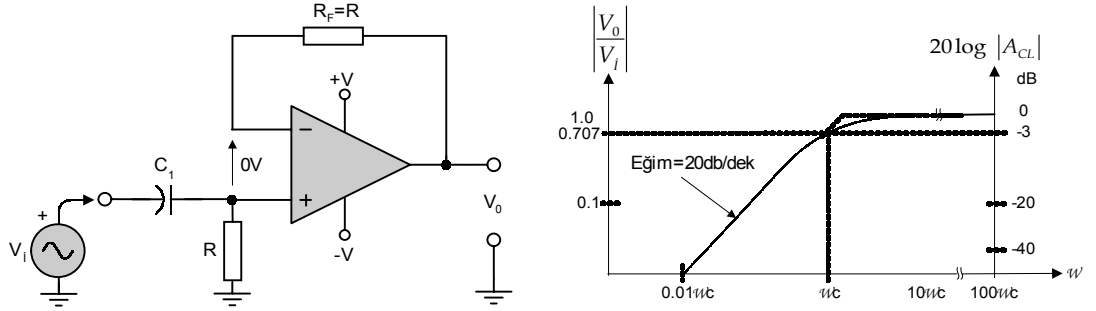
$$V_o = \frac{1}{1 - j \frac{1}{\omega RC}} \cdot V_i$$

$$|A_{CL}| = \left| \frac{V_o}{V_i} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{(\omega RC)^2}}}$$

Kapalı çevrim kazancının $1/\sqrt{2} = 0.707$ değeri için; $\omega RC=1$ olmalıdır. Buradan devrenin köşe frekansı;

$$\omega_c = \frac{1}{R \cdot C} = 2\pi \cdot f_c \quad R = \frac{1}{\omega_c \cdot C} = \frac{1}{2\pi \cdot f_c \cdot C}$$

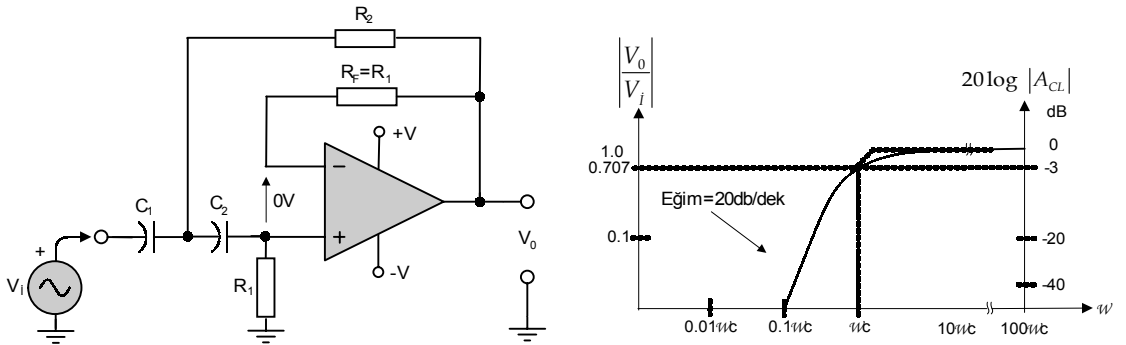
olarak elde edilir.



Şekil-3.16 -20dB/Dekad'lık Yüksek geçiren filtre devresi ve frekans-kazanç eğrisi

Devrenin düzenleme ve analizi aşağıdaki gibi yapılmalıdır. İlk adım olarak f_c köşe frekansı seçilmelidir. İkinci adımda uygun bir C değeri seçilmelidir. Gerekli R değeri yukarıda verilen bağıntılar kullanılarak hesaplanmalıdır. Son olarak $R_F=R$ seçilmelidir.

Kimi uygulamalarda -20dB/dekad'lık filtre devresi yeterli olmayabilir. Frekans/kazanç karakteristiği daha iyi olan -40dB/dekad'lık bir yüksek geçiren filtre devresi şekil-3.17'de verilmiştir.



Şekil-3.17 -40dB/Dekad'lık Yüksek geçiren filtre devresi ve frekans-kazanç eğrisi

Devrenin düzenleme ve analizi aşağıdaki gibi yapılmalıdır. İlk adım olarak F_c köşe frekansı seçilmelidir. İkinci aşamada $C_1=C_2=C$ seçilmelidir. Direnç değerleri ise;

$$R_1 = \frac{1.414}{\omega_c \cdot C} \quad R_2 = \frac{1}{2} \cdot R_1$$

formüllerinden hesaplanmalıdır. Opmap'ın DC ofset sınırlaması için $R_F=R_1$ Seçilmelidir.

Örnek: 3.6

Şekil-3.17'de verilen yüksek geçiren filtre devresinde $F_c=1\text{KHz}$ ve $C_1=C_2=0.01\mu\text{F}$ olarak seçilmiş ise R_1 ve R_2 değerleri ne olmalıdır. Hesaplayınız?

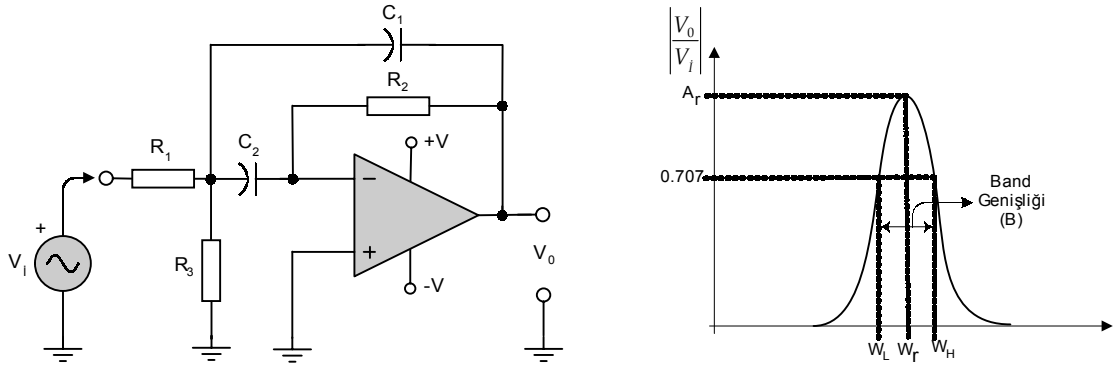
$$R_1 = \frac{1.414}{\omega_c \cdot C} \rightarrow R_1 = \frac{1.414}{(6.28) \cdot (1 \cdot 10^3) \cdot (0.01 \cdot 10^{-6})} = 22.5\text{K}\Omega$$

$$R_2 = \frac{1}{2} \cdot R_1 \rightarrow R_2 = \frac{1}{2} \cdot (22.5\text{K}\Omega) = 11.3\text{K}\Omega$$

-60dB/dekad'lık yüksek geçiren filtre devresi tıpkı alçak geçiren filtrede olduğu gibi oluşturulabilir. Bunun için -40dB/dekad'lık ve -20dB/dekad'lık yüksek geçiren filtre devreleri arka arkaya bağlanmalıdır.

Band Geçiren Filtre

Belirli bir frekans aralığındaki işaretleri geçirip, diğerlerini geçirmeyen veya zayıflatan filtrelere band geçiren filtre denir. Şekil-3.18'de band geçiren filtre devresi ve frekans cevabı verilmiştir. Bu devrede; çıkış gerilimin ve kazancın maksimum olduğu frekansa "Rezonans Frekansı" denir. Rezonans frekansı F_R veya ω_R ile sembolize edilir.



Şekil-3.18 Band geçiren filtre devresi ve frekans cevabı

Band geçiren filtre devresinde kazancın 0.707 katı olan frekanslara alt (ω_L) ve üst (ω_H) kesim frekansı denir. Alt ve üst kesim frekansları arasındaki bölgeye ise "Band Genişliği" adı verilir ve "B" ile sembolize edilir. Band Genişliği; $B=\omega_H-\omega_L$ şeklinde belirlenebilir.

Dar ve geniş bant olmak üzere iki tip band geçiren filtre vardır. Dar bant filtrelerde band genişliği rezonans frekansının $1/10'$ nundan daha küçüktür. Geniş bant filtrelerde ise daha büyüktür. Rezonans frekansının (ω_R), band genişliğine (B) oranına filtre devresinin kalite

faktörü (Q) denir. Kalite Faktörü, $Q=Wr/B$ formülü ile belirlenir. Q'nun alacağı değere göre filtre devresinin kalitesi ve seçiciliği değişir. Q değeri yüksek ise seçicilikte fazladır. Dar bantlı filtrelerde seçicilik daha fazladır çünkü $Q>10'$ dur. Geniş bantlı da ise $Q<10'$ dur.

Şekil-3.18'de verilen band geçiren filtre devresi dar veya geniş bantlı olabilir. Band geçiren filtre tasarımında iki yöntem vardır. Birinci yöntemde Wr ve B değerleri seçilir, Q değeri ise hesaplanır. İkinci yöntemde ise Wr ve Q değerleri seçilir, B değeri ise hesaplanır. Hesaplamayı kolaylaştırmak ve devreyi sadeleştirmek için $C_1=C_2=C$ olarak seçilir ve B hesaplanır. R değerleri ise;

$$R_2 = \frac{2}{B \cdot C} \quad R_1 = \frac{R_2}{2 \cdot A_r} \quad R_3 = \frac{R_2}{4 \cdot Q^2 - 2 \cdot A_r}$$

formülleri yardımı ile bulunur. R_3 değerinin pozitif olması için $4Q^2 > 2A_r$ olmalıdır.

Örnek: 3.7

Şekil-3.18'de verilen band geçiren filtre devresinde $Wr=10$ k rad/s, $A_r=40$, $Q=20$ ve $C_1=C_2=C=0.01\mu F$ değerleri için B , R_1 , R_2 , ve R_3 değerlerini hesaplayınız?

$$B = \frac{Wr}{Q} = \frac{10 \cdot 10^3}{20} = 0.5k \text{ rad/s}$$

$$R_2 = \frac{2}{B \cdot C} = \frac{2}{0.5 \cdot 10^3 \cdot 0.01 \cdot 10^{-6}} = 400K\Omega$$

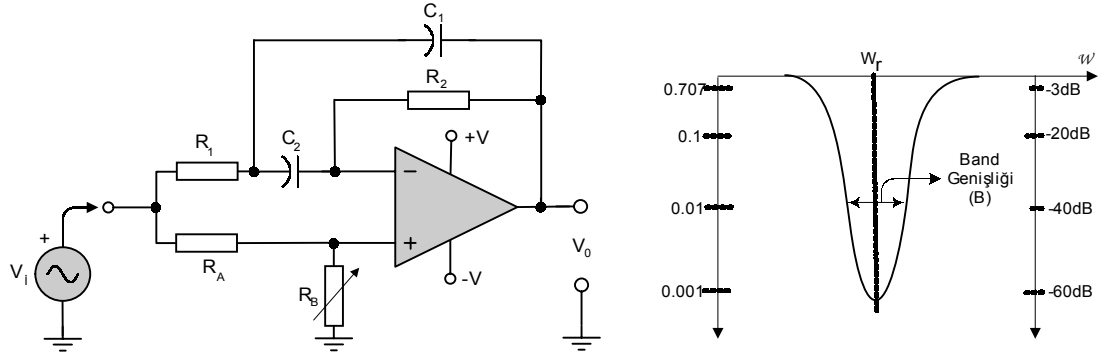
$$R_1 = \frac{R_2}{2 \cdot A_r} = \frac{400 \cdot 10^3}{2 \cdot 40} = 5K\Omega$$

$$R_3 = \frac{R_2}{4 \cdot Q^2 - 2 \cdot A_r} = \frac{400 \cdot 10^3}{4 \cdot 400 - 2 \cdot 40} = 263K\Omega$$

Band Söndüren Filtre

Belirli bir frekans aralığındaki işaretleri geçirmeyip, diğerlerini geçiren veya zayıflatan bir filtre tipidir. Band söndüren filtre genellikle istenmeyen ve sistemler üzerinde parazit (gürültü) etkisi yapan işaretlerin azaltılmasında kullanılır. Örneğin elektronik cihazların çevresinde çalışan motor, generator, transformatör v.b elektromekaniksel cihazlar çevrelerinde ve şebekede elektrikli gürültü oluşmasına sebep olurlar. Belirtilen bu parazitleri yok etmek amacı ile elektronik cihazların pek çoğunda band söndüren filtre devreleri kullanılır.

Tipik bir band söndüren filtre devresi ve frekans cevabı şekil-3.19'da verilmiştir. Band söndüren filtre devresinin düzenlenmesinde; rezonans frekansı, band genişliği (B) veya kalite faktörü (Q)'nün bilinmesi gerekir.



Şekil-3.19 Band söndüren filtre devresi ve frekans cevabı

Devrenin düzenlenmesi ve eleman değerlerinin hesaplanmasında aşağıdaki adımlar izlenir.

1. $C_1=C_2=C$ elemanları için uygun bir değer seçilir.
2. Devrede kullanılan direnç değerleri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$R_2 = \frac{2}{B \cdot C} \quad R_1 = \frac{R_2}{4 \cdot Q^2}$$

R_A direnci için uygun değer; $R_A=1K\Omega$ dur.

$$R_B = 2 \cdot Q^2 \cdot R_A$$

3.3 MULTİVİBRATÖRLER

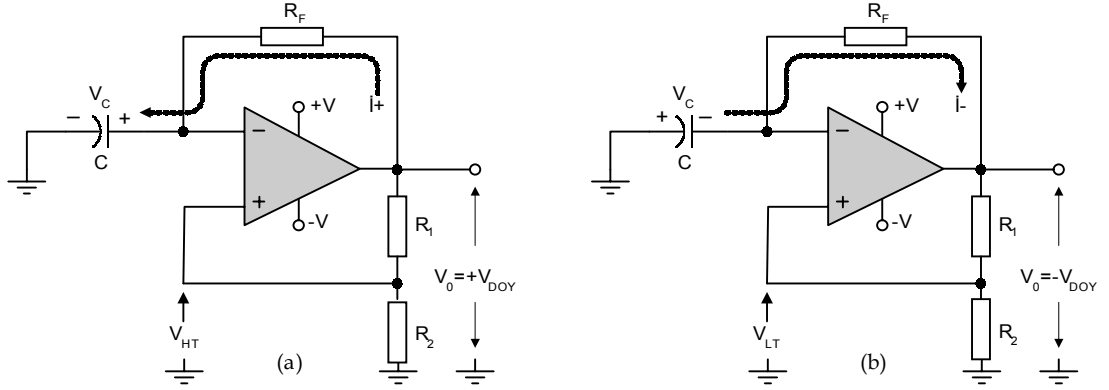
Bu bölümde opamp kullanılarak oluşturulan astable (kararsız) ve monostable (tek-kararlı) multivibratör devrelerini inceleyeceğiz. Multivibratör devreleri genellikle sayısal sistemler de oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu bölümde opamp'la gerçekleştirilen;

- Astable Multivibratör (Kare dalga Üretici)
- Monostable Multivibratör

devrelerinin tasarımı ve çalışması hakkında ayrıntılı bilgiler elde edeceksiniz.

Astable Multivibratör

Astable multivibratör gerçekte bir kare dalga üreticidir (osilatör). Opamp'la oluşturulmuş bir kare dalga üretici şekil-3.20'de verilmiştir. Eviren girişe bağlanan C kondansatörü dışında devre bir komparatora benzer. C kondansatörü dc işaretler için açık devre olduğuna göre opamp açık çevrim'de çalışmaktadır ve kazancı çok yüksektir. Opamp çıkışı girişlerine bağlı olarak $+V_{DOY}$ ve $-V_{DOY}$ arasında salınacaktır.



Şekil-3.20 Kare Dalga üreteç Devresi

Devrenin çalışmasını kısaca açıklayalım. R_1 ve R_2 dirençleri gerilim bölücü olarak kullanılmıştır. Çıkış işaretinin belirli bir miktarı R_2 üzerinde opamp'ın evirmeyen girişine uygulanmıştır. İlk anda opamp çıkışının $V_O = +V_{DOY}$ değerinde olduğunu kabul edelim. Bu durum da şekil-3.20.a'da gösterilen V_{HT} gerilimi;

$$V_{HT} = R_1 \frac{+V_{DOY}}{R_1 + R_2}$$

değerindedir. R_F direnci üzerinden de negatif geribesleme oluşacaktır. R_F üzerinden $I+$ akımı akacak ve C kondansatörü belirtilen yönde şarj olacaktır. Kondansatör üzerinde oluşan V_C şarj gerilimi, opamp'ın evirmeyen girişine uygulanan V_{HT} geriliminden küçük olduğu sürece çıkış $V_O = +V_{DOY}$ değerinde kalacaktır.

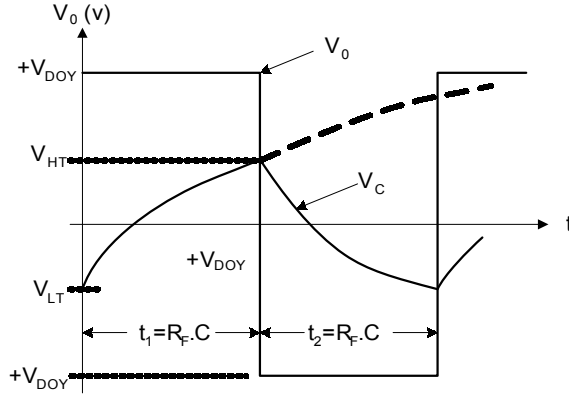
Kondansatör gerilimi V_C , V_{HT} değerini geçtiği anda, opamp çıkışı $+V_{DOY}$ 'dan $-V_{DOY}$ değerine geçer. Bu durum şekil-3.20.b'de gösterilmiştir. Böylece opamp'ın evirmeyen girişine negatif bir gerilim uygulanmış olur. Bu gerilim değeri;

$$V_{LT} = R_1 \frac{-V_{DOY}}{R_1 + R_2}$$

olur. Opamp çıkışı $-V_{DOY}$ değerine geçtiğinde kondansatör gerilimi V_C , akacak olan $I-$ akımı ile önce $0V$ 'a deşarj olacaktır. Daha sonra ise V_{LT} değerine kadar tekrar şarj olacaktır.

V_C gerilim V_{LT} değerinden daha negatif olduğunda ise opamp çıkışı tekrar konum değiştirecektir. $-V_{DOY}$ değerinden $+V_{DOY}$ değerine ulaşacaktır. Bu durum böylece sürüp gidecektir.

C kondansatörünün şarj süresi devrenin osilasyon frekansını belirlemektedir. Devrede oluşan gerilimler ve çıkış işaretinin dalga biçimi şekil-3.21'de gösterilmiştir.



Şekil-3.21 Kare Dalga üreteç Devresinin dalga biçimleri

Devrede kondansatörün şarj süresinin hesaplanmasını kolaylaştırmak için R_2 direnci;

$$R_2 = 0.86 \cdot R_1$$

şeklinde seçilmelidir. Örneğin $R_1 = 100\text{K}\Omega$ ise $R_2 = 86\text{K}\Omega$ değerinde olmalıdır. Devrede kondansatörün şarj ve deşarjı aynı elemanlar ve simetrik gerilim değerleri ile yapıldığından çıkış da elde edilecek kare dalganın her iki alternansı da (t_1 ve t_2) eşit olacaktır. Böylece;

$$t_1 = t_2 = R_F \cdot C$$

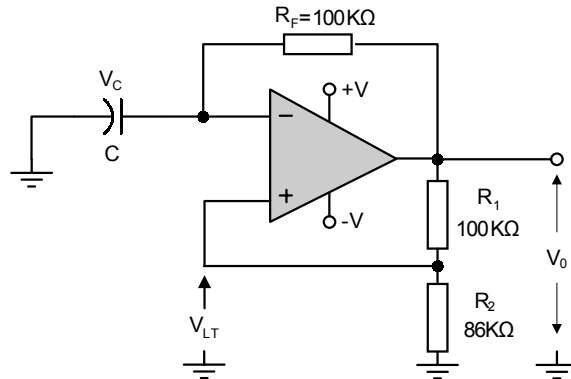
olacaktır. Devre çıkışında elde edilen kare dalga işaretin periyodu ise $R_2 = 0.86 \cdot R_1$ değerleri için; $T = 2 \cdot R_F \cdot C$ olacaktır. Buradan devrenin frekansı;

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2 \cdot R_F \cdot C}$$

olarak bulunur veya hesaplanabilir.

Örnek: 3.8

Şekil-3.22'de verilen kare dalga osilatörü devresinde çalışma frekansı 50Hz olması isteniyor. C kondansatörünün değeri ne olmalıdır? Hesaplayınız? $\pm V_{D0Y} = 15\text{V}$



Şekil-3.22 Kare dalga osilatörünün analizi

Cözüm

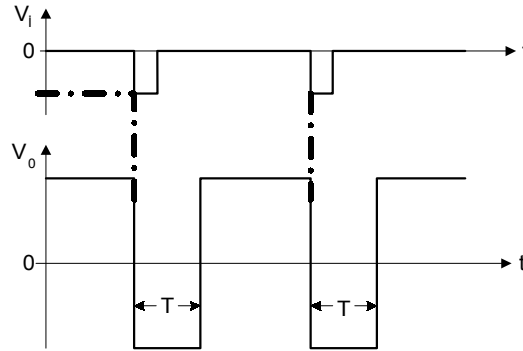
$$V_{HT} = \frac{R_2}{R_2 + R_1} \cdot (+V_{DOY}) = \frac{86K\Omega}{86K\Omega + 100K\Omega} \cdot (+15V) \cong +7V$$

$$V_{LT} = \frac{R_2}{R_2 + R_1} \cdot (-V_{DOY}) = \frac{86K\Omega}{86K\Omega + 100K\Omega} \cdot (-15V) \cong -7V$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2 \cdot R_F \cdot C} \quad C = \frac{1}{2 \cdot R_F \cdot f} \quad C = \frac{1}{2 \cdot 100K\Omega \cdot 50Hz} = \frac{1}{2 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 50} = 0.1\mu F$$

Monostable Multivibratör

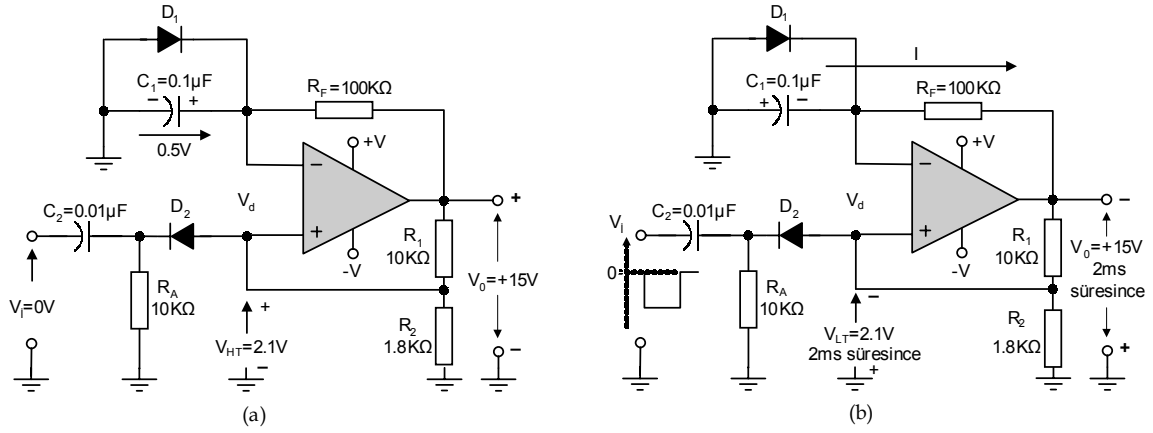
Tek dengeli multivibratör olarak adlandırılan bu tür devreler, girişinden uygulanan işarete bağlı olarak sadece tek bir darbe şeklinde çıkış işareti verirler. Çıkış işaretinin darbe süresi ise devrede kullanılan R ve C elemanları ile sağlanır. Şekil-3.23'de bir astable multivibratör devresinde giriş ve çıkış dalga biçimleri birlikte verilmiştir.



Şekil-3.23 Monostable multivibratör devresinde giriş (V_i) ve Çıkış (V_o) dalga biçimleri

Dalga şekillerinden de görüldüğü gibi çıkış işaretinin darbe süresi, multivibratörün giriş işaretinin darbe süresinden bağımsızdır. Ondan daha büyük veya küçük olabilir. Bu özelliği monostable multivibratörü zamanlama ve geciktirme sistemlerinin tasarımında popüler kılar. Ayrıca bu tür multivibratörler özellikle sayısal sistemlerde tetikleme kaynağı olarak da kullanılmaktadır.

Monostable multivibratörün üç ayrı konumda çalışmaktadır. Bunlar; kararlı hal, geçiş hali ve kararsız hal olarak tanımlanır. Tipik bir monostable multivibratör devresi ve çalışması şekil-3.24.a ve b'de gösterilmiştir.



Şekil-3.24.a ve b Monostable multivibratör devresi ve çalışması

Şekil-3.24.a'da kararlı hal görülmektedir ve çıkış $V_o = +V_{DOY}$ 'dur. Opamp'ın evirmeyen girişine R_1 ve R_2 tarafından V_{HT} gerilim uygulanmıştır. Eviren giriş ise D_1 diyodu iletimde iken $0.5V$ ile sınırlanır. Kararlı halde opamp'ın evirmeyen girişi daha etkin olduğundan ($V_{HT} = +2.1V$) opamp çıkışı daima $+V_{DOY}$ değerindedir.

Şekil-3.24.b'de gösterildiği gibi astable multivibratör devresinin girişine bir negatif darbe uygulandığını düşünelim. Eğer bu darbenin genliği V_{HT} değerinden büyük olursa opamp'ın evirmeyen girişi, eviren girişe göre daha negatif olacaktır. Bu durumda opamp çıkışı değişecek ve $+V_{DOY}$ 'dan $-V_{DOY}$ olacaktır. Bu olaya "geçiş durumu" denir. İyi bir sonuç için C_2 kondansatörü $0.005\mu F$ 'dan büyük seçilmelidir.

Geçiş durumundan sonra multivibratör kararsız duruma geçecektir. Fakat bu kararsız halde uzun süre kalmaz. Çünkü R_1 ve R_2 dirençleri üzerinden opamp'ın evirmeyen girişine $V_{LT} = -2.1V$ civarında bir gerilim uygulanır. Bu durumda D_1 diyodu $-V_{DOY}$ gerilimi ile ters yönde kutuplandığı için kesimdedir. C_1 kondansatörü önce $0V$ 'a kadar deşarj olacak ve daha sonra ters yönde şarj olacaktır. Belirli bir süre sonra opamp'ın eviren ucundaki negatiflik, evirmeyen uçtaki $V_{LT} = -2.1V$ 'dan daha büyük olur. Bu anda opamp çıkışı tekrar $-V_{DOY}$ 'dan $+V_{DOY}$ 'uma geçer. Böylece çıkış darbesi tamamlanmış olur. Multivibratör tekrar kararlı hale geçer. Bu tip multivibratörlerde tek bir kararlı durum olduğundan "monostable multivibratör" olarak adlandırılır.

3.4 GERİLİM/AKIM ve AKIM/GERİLİM DÖNÜŞTÜRÜCÜLERİ

Endüstriyel sistemlerde basınç, ısı, sıcaklık, debi v.b gibi çeşitli fiziksel büyüklüklerin ölçülmesinde ve kontrol edilmesinde sensörlerden (transducers) yararlanılır. Sensörlerin genellikle kullanım amaçları yukarıda belirtilen fiziksel büyüklükleri elektriksel işaretlere dönüştürmektir. Dönüştürme işlemi sonucunda elde edilen akım veya gerilim değerleri endüstride kullanılan standart değerler aralığında olmalıdır.

Her hangi bir sensör çıkışında elde edilen elektriksel büyüklük standart bir akım veya gerilim değerine dönüştürülür. Endüstriyel uygulamalarda pek çok zaman elde edilen standart akım veya gerilim değerlerinin birbirlerine dönüştürülmeleri gerekir. Bu tür işlevleri yerine getirmek amacıyla akım/gerilim veya gerilim akım dönüştürücülerinden faydalanılır. Dönüştürücü devrelerinin tasarımı opamp'la gerçekleştirilir. Elektronik sistemlerde kullanılan başlıca iki tip dönüştürücü vardır. Bunlar;

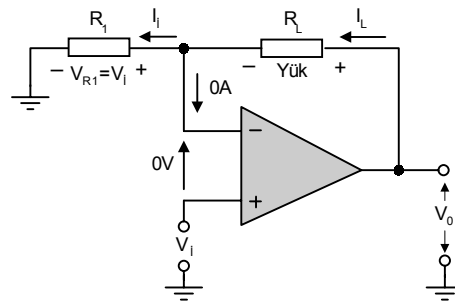
- Gerilim/Akım Dönüştürücüsü
- Akım/Gerilim Dönüştürücüsü

olarak tanımlanmaktadır. Bu bölüm boyunca; gerilim/akım ve akım/gerilim dönüştürme işlemlerinin nasıl gerçekleştirildiğini inceleyerek gerekli analizleri yapacağız.

Gerilim/Akım Dönüştürücü

Elektronik devre uygulamalarında her hangi bir devrenin giriş işaret kaynağı genellikle bir gerilim kaynağı şeklindedir. Eğer, herhangi bir devrede giriş gerilimine bağlı olarak bir çıkış akımı elde ediliyorsa bu tür sistem ve devrelere gerilim kontrollü akım kaynağı denir. Bu tür sistem veya devreler "gerilim/akım dönüştürücüsü (Voltage-to-Current Converter)" olarak da adlandırılmaktadır. Gerilim/Akım dönüştürücü bir devrenin çıkışından elde edilecek akımın, giriş gerilimiyle orantılı olması istenir. Opamp'la gerçekleştirilmiş tipik bir Gerilim/akım dönüştürücü devre şekil-3.25' de görülmektedir.

Verilen bu devreyi önceki bölümlerde evirmeyen yükselteç olarak tanımlamış ve analizini yapmıştık. Devrenin Gerilim/akım dönüştürücü haline gelmesinin başlıca nedeni R_L olarak tanımlanan yük direnci ve bu direnç üzerinden geçen I_L akımıdır.

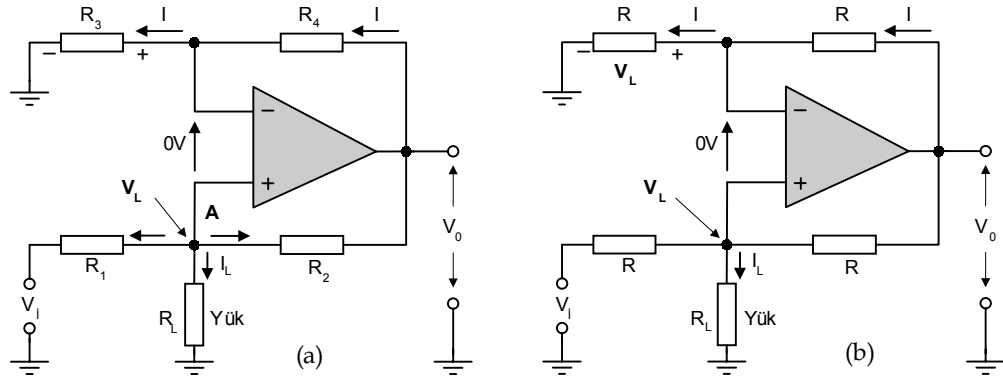


Şekil-3.25 Topraksız yükler için gerilim/akım dönüştürücü devre

Devreyi dikkatlice incelediğimizde R_L üzerinden geçen I_L akımının tamamen V_i giriş gerilimine bağlı olduğunu görürüz. Devrede $I=I'$ dir. Buradan I_L değerini yazarsak;

$$I_L = I_i = \frac{V_i}{R_L}$$

olduğu görülür. Formülden görüldüğü gibi I_L akımı tamamen giriş gerilimi V_i değerine bağlıdır. Şekil-3.25'de verilen devrede R_L yük direncinin herhangi bir ucu toprağa bağlı değildir. Bu durum uygulamada bazı sorunlara neden olabilir. Topraklı yükler için şekil-3.26.a'da görülen gerilim/akım torak dönüştürücü devre geliştirilmiştir.



Şekil-3.26.a ve b Gerilim/Akım dönüştürücü devre (topraklı) ve basitleştirilmiş hali

Bu devre için A noktasındaki düğüm denklemini yazalım.

$$I_L + \frac{V_L - V_i}{R_1} + \frac{V_L - V_0}{R_2} = 0$$

düzenlenirse; $I_L(R_1 \cdot R_2) + (V_L \cdot R_2) - (V_i \cdot R_2) + (V_L \cdot R_1) - (V_0 \cdot R_1) = 0$ (Denklem-3.1)

elde edilir. İdeal bir opamp'ın girişlerindeki gerilim farkının 0V olduğunu biliyoruz. Bu nedenle evirmeyen girişe uygulanan V^L gerilimi, opamp'ın eviren giriş terminalinde de görülür. Buradan;

$$V_L = I_L \cdot R_L \text{ ve } I = \frac{V_0}{R_3 + R_4}$$

yazılabilir. Bu devrede; $R_3=R_4$ ve $R_1=R_2$ ise V_L gerilimi; $V_L=V_0/2$ olacaktır. Bu değer denklem-3.1'de yerine konulursa;

$$I_L \cdot R_1 = V_i \Rightarrow I_L = \frac{V_i}{R_1}$$

olacaktır. Bu sonuç bize I_L akımının V_i giriş gerilimi ile orantılı ve R_L yük direncinden bağımsız olduğunu belirtir.

Şekil-3.26.a'da verilen gerilim/akım dönüştürücü devreyi daha basit hale getirmek için devrede kullanılan dirençleri $R_1=R_2=R_3=R_4=R$ şeklinde seçebiliriz. Bu durumda devremiz şimdi şekil-3.26.b'de verilen şekle dönüşür. Bu ise bize analiz kolaylığı sağlar.

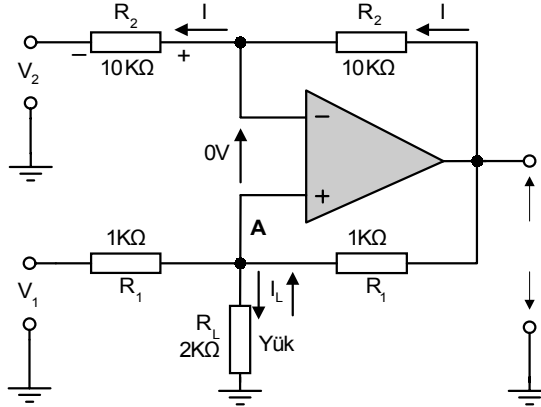
Örnek: 3.9

Şekil-3.27'de verilen gerilim/akım dönüştürücü devrede;

a. $V_1=5V, V_2=2V$

b. $V_1=0V, V_2=2V$

olduğuna göre, her iki durum için devrenin V_0 çıkış gerilimini ve I_L yük akımını hesaplayınız.



Şekil-3.27 Gerilim/akım dönüştürücü devre ve analizi

Cözüm

Devrede V_0 gerilimi ve I_L yük akımını sırasıyla formüle edelim.

$$I = \frac{V_0 - V_2}{2R_2} \quad V_L = I \cdot R_2 + V_2 = \frac{V_0 - V_2}{2R_2} \cdot (R_2) + V_2$$

$$V_0 = 2 \cdot V_L - V_2 \quad (\text{Denklem-3.2})$$

$$I_L + \frac{V_L - V_1}{R_1} + \frac{V_L - V_0}{R_1} = 0$$

Burada, denklem-3.2 yerine konularak I_L akımı yazılırsa,

$$I_L = \frac{V_1 - V_2}{R_1}$$

bulunur. Bulunan bu formülleri kullanarak problemi çözmeye başlayalım.

a) $I_L = \frac{V_1 - V_2}{R_1} = \frac{(5V - 2V)}{1K\Omega} = 3mA \quad V_L = I_L \cdot R_L = 3mA \cdot 2K\Omega = 6V$

$$V_0 = 2 \cdot V_L - V_2 = 2 \cdot 6 - 2 = 10V$$

Bu durumda devre bir akım kaynağı (current source) gibi davranıp yüke yani dış devreye akım sağlamaktadır.

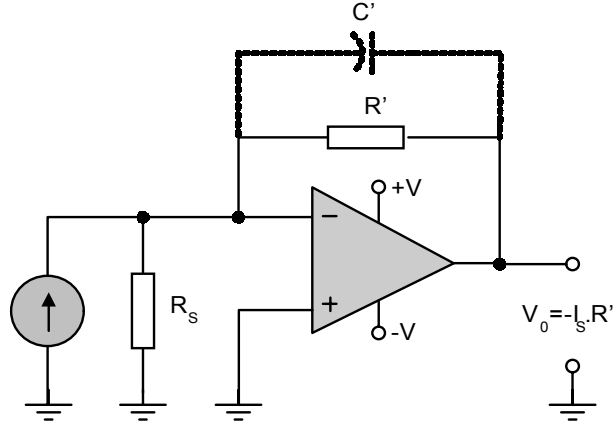
a) $I_L = \frac{V_1 - V_2}{R_1} = \frac{(0 - 2V)}{1K\Omega} = -2mA \quad V_L = I_L \cdot R_L = -2mA \cdot 2K\Omega = -4V$

$$V_0 = 2 \cdot V_L - V_2 = -2 \cdot 4 - 2 = -10V$$

Bu durumda devre bir akım çekici (current sink) gibi davranıp dış devreden yani yükten akım çekmektedir.

Akım/Gerilim Dönüştürücü

Bazı elektronik devre elemanları yükten bağımsız bir çıkış akımı üretirler. Termokupl, fotosel, termistör v.b gibi pek çok elemanı örnek olarak gösterebiliriz. Bu elemanlar yardımı ile üretilen akımın ölçülebilmesi ve üzerinde işlem yapıp kullanılabilir hale getirilebilmesi için gerilime çevrilmesi gerekir. Akımı, gerilime çeviren tipik bir devre şeması şekil-3.28'de çizilmiştir.



Şekil-3.28 Akım/gerilim dönüştürücü devre

Bu devrede çıkış gerilimi V_0 ;

$$V_0 = -I_s \cdot R'$$

değerine eşittir. Böylece girişten uygulanan I_s akımı çıkışta bir gerilime dönüştürülmüş olur. R direncine paralel bağlı C' kondansatörü ise yüksek frekansla ilgili gürültülerin zayıflaması ve muhtemel osilasyonların önlenmesi için konulmuştur.

Akım/gerilim çeviricisi ideal bir ampermetre gibi, akım ölçmelerin de rahatlıkla kullanılırlar. Opamp girişleri yüklenmediğinden devre ideal bir ampermetredir. Bilindiği gibi ideal bir ampermetrenin iç direncinin sıfır olması istenir ki uçlarında gerilim düşümü olmasın. Opamplarla yapılan ölçme işlemlerinde bu dilek yerine getirilmiş olur.