

ELEKTRONİK DEVRELER DERS NOTLARI

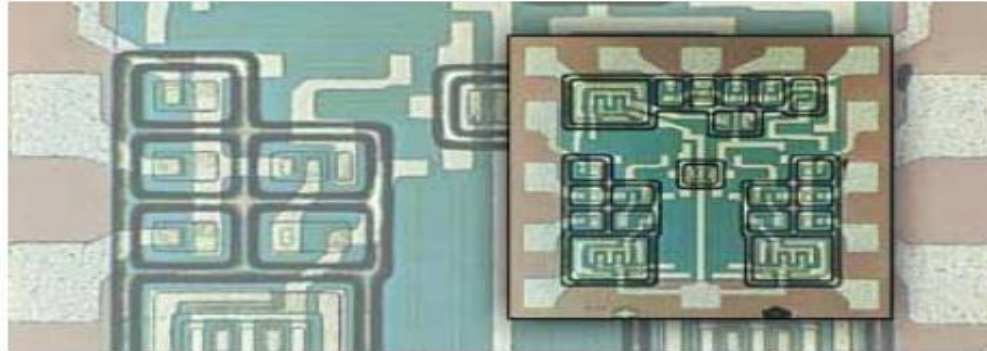
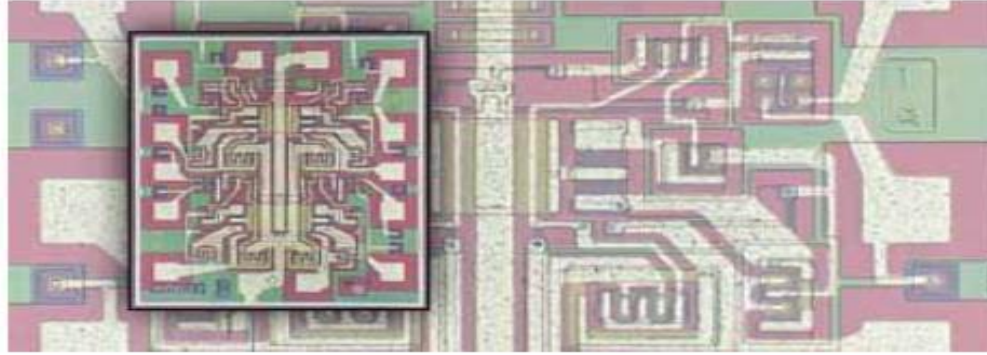
11.HAFTA

**İşlemsel (Operasyonel) Yükselteçler, Farksal (Diferansiyel)
Yükselteçler ve Temel OPAMP Devreleri**

İŞLEMSEL (OPERASYONEL) YÜKSELTEÇLER

- **Opamp'ın Tanıtılması:**
- 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 $\mu A702$ kodu ile üretilip tüketime sunulmuştur.
- Sonraki yıllarda birçok firma tarafından farklı tip ve kodlarda opamp'lar üretilip kullanıma sunulmuştur.

İŞLEMSEL (OPERASYONEL) YÜKSELTEÇLER

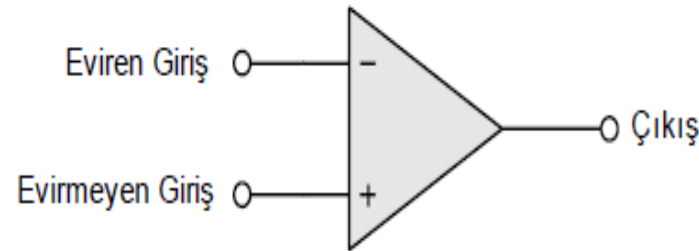


İŞLEMSEL (OPERASYONEL) YÜKSELTEÇLER

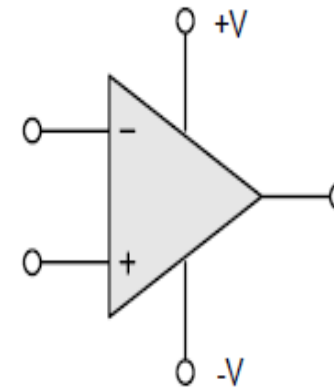
- **Opamp'lar; geniş frekans sınırlarında sinyal yükseltmek amacıyla tasarlanmış, direkt eşlemeli ve yüksek kazançlı gerilim yükselteçleridir.**
- Günümüzde; proses kontrol, haberleşme, bilgisayar, güç ve işaret kaynakları, gösterge düzenleri, test ve ölçü sistemleri vb. gibi bir çok alanda kullanılmaktadır.

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 aşağıdaki şekil-a’da verilmiştir. Şekil-b’de ise standart bir opamp sembolü besleme kaynakları ile birlikte verilmiştir.



a) Opamp Sembolü



b) Opamp Sembolü ve besleme bağlantıları

Operasyonel Yükseltecin (opamp) Sembolü

Opamp Sembolü ve Terminalleri

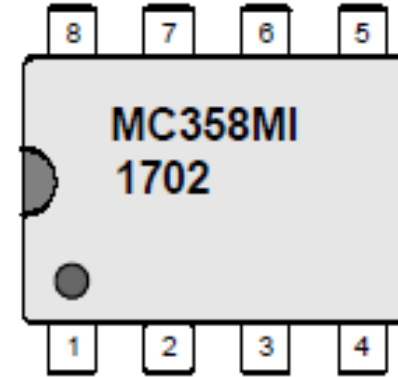
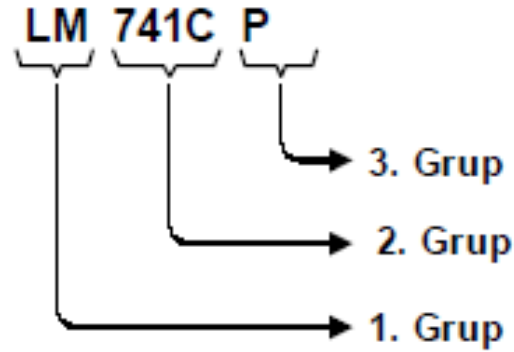
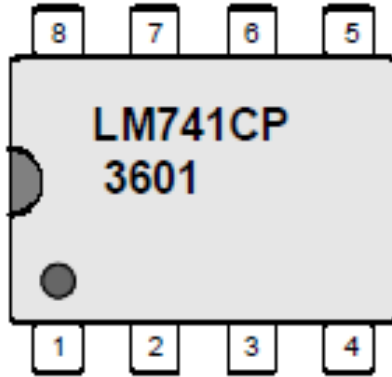
- Opamp tek bir tümdevre halinde kullanıcının tüketimine sunulmaktadır. Günümüzde pek çok tümdevre üreticisi farklı tip ve özelliklere sahip opamp üretimi gerçekleştirmektedir.
- Şekilde bazı opampların tipik kılıf görüntüleri verilmiştir.



Bazı opampların tipik görünümüleri

Opamp Sembolü ve Terminalleri

- 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.
- Aşağıdaki şekilde genelde pek çok üreticinin uyduğu kodlama sistemi iki ayrı tümdevre üzerinde kodlamada uygulanan kurallar ile birlikte gösterilmiştir.
- Kodlama genellikle 3 gruba ayrılarak yapılır.



Tümdevrelerde kodlama sistemi

Opamp Sembolü ve Terminalleri

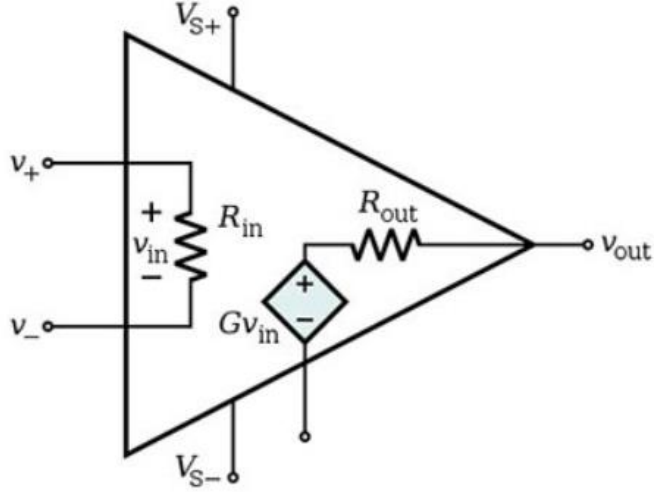
- Bazı üreticiler farklı kodlama sistemleri kullanabilmektedir.
- Bu durumda **üretici firmanın kataloglarına bakılmalıdır.**
- Pek çok üretici firmanın uyduğu kodlama sisteminin genel özellikleri aşağıdaki tabloda ayrıntılı olarak verilmiştir.

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)

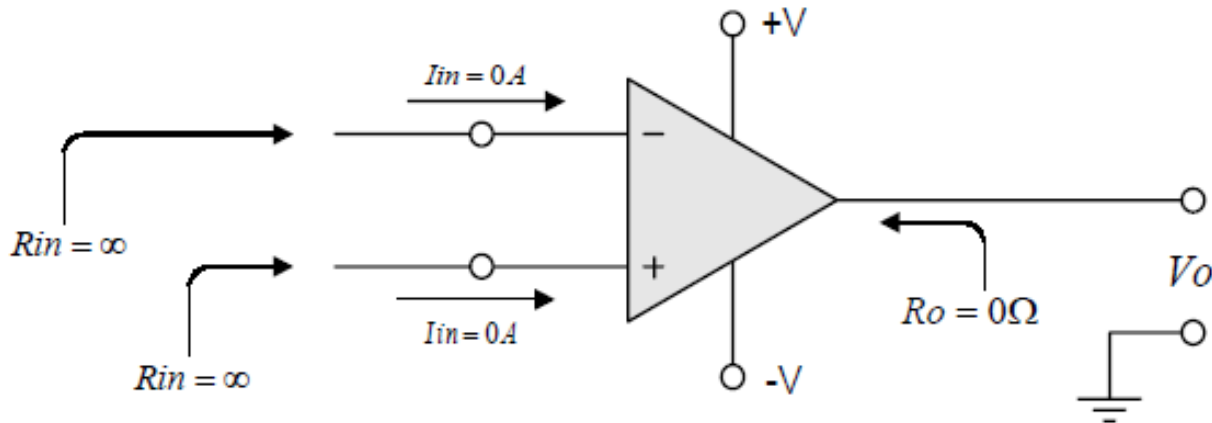
Opamp Özellikleri:

- 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 opampta olması gereken özellikler aşağıdaki şekilde opamp sembolü üzerinde ayrıntılı olarak gösterilmişlerdir.

Opamp Özellikleri:



- OPAMP'ın iki girişi ve bir çıkışı bulunur.
- Düşük frekanslarda kazanç genelde büyüktür.
- Giriş akımları ise ihmal edilebilecek kadar çok düşüktür.
- Bir OPAMP'ın giriş empedansı sonsuz, çıkış empedansı ise sıfırdır.
- Açık devre farksal kazancı sonsuzdur.
- Bant genişliği sonsuzdur.



İdeal opamp özellikleri

Opamp Özellikleri:

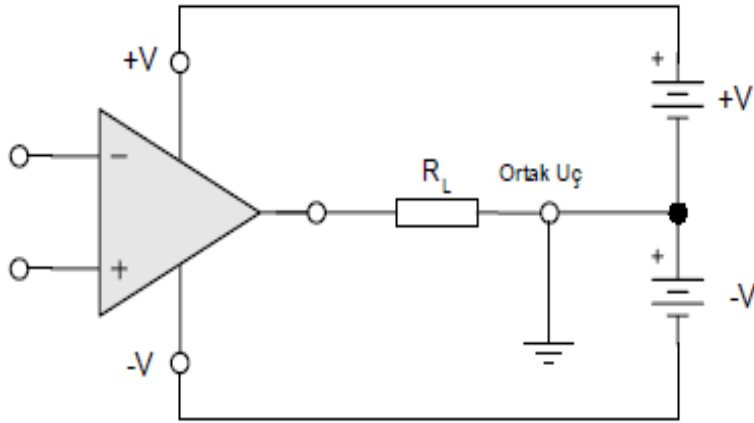
- Pratikte ise yukarıda belirtilen ideal opamp özelliklerine ulaşmak mümkün değildir.
- Üretim tekniklerinin ve kullanılan malzemelerin oluşturdukları bir takım kısıtlamalar vardır.
- Günümüzde ideal özelliklere yaklaşan pek çok tip opamp geliştirilmiştir.
- Aşağıdaki tabloda **ideal opamp ile genel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

Opamp Özellikleri:

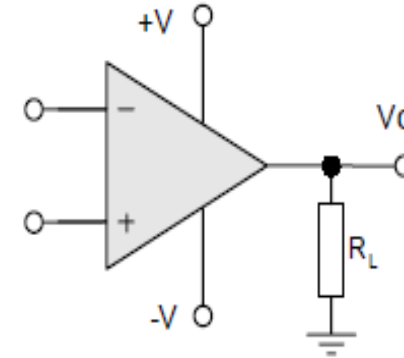
Özellik	İdeal Opamp	Gerçek Opamp (LM741)
Giriş Direnci; R_i (Input Impedance)	Sonsuz	Yüksek ($\geq 1M\Omega$)
Çıkış Direnci; R_o (Output Impedance)	Sıfır	Düşük ($< 500\Omega$)
Açık Çevrim Gerilim Kazancı; A_v (Open-Loop Gain)	Sonsuz	Çok Büyük ($\geq 10^4$)
Açık Çevrim Bant Genişliği; BW	Sonsuz	Etkin Kutup (10-100Hz)
Ortak Mod Zayıflatma Oranı; CMRR	Sonsuz	Yüksek (70dB)
Giriş Kutuplama akımları (Input Bias Current)	Sıfır	Düşük ($< 0.5\mu A$)
Ofset gerilim ve akımları; V_{io} , I_{io} (Input Offset Voltage and Current)	Sıfır	Düşük ($< 10mV$, $< 0.2nA$)
Sıcaklıkla Karakteristiklerinin değişimi	Değişmez	Az ($5\mu V/^{\circ}C$, $0.1nA/^{\circ}C$)
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

Besleme Terminalleri

- Opamp'lar genelde simetrik besleme gerilimine gereksinim duyar.
- Bu durum aşağıdaki şekil-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.



a) Besleme geriliminin gerçek bağlantısı



a) Besleme geriliminin sembolik bağlantı

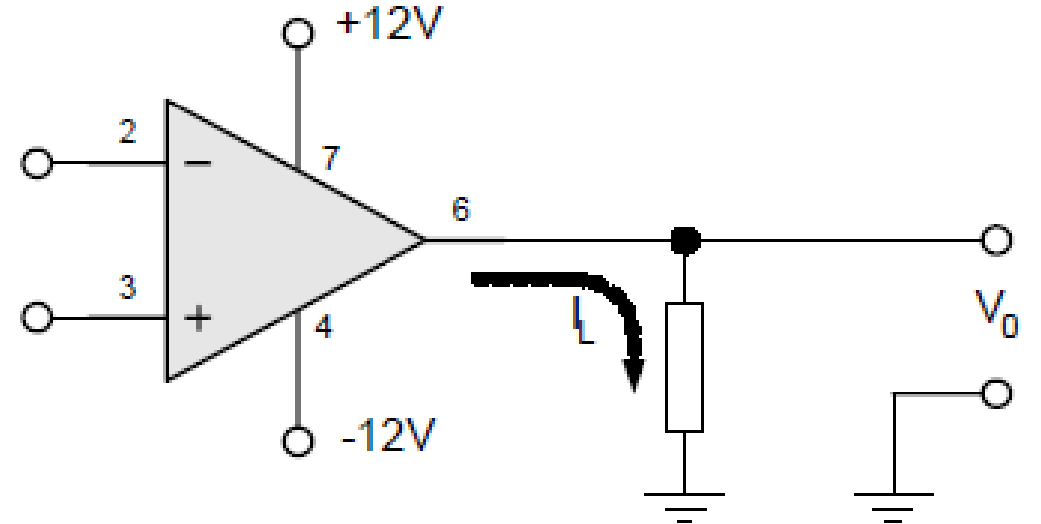
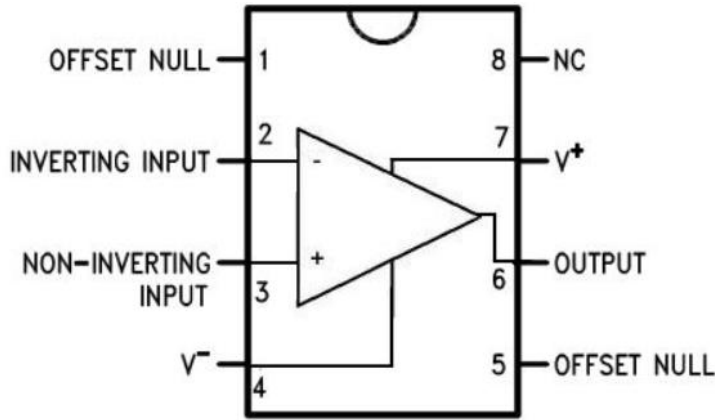
LM741 tipi bir opamp'a besleme gerilimlerinin bağlanması

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 mertebesinde.

Çıkış Terminalleri

- Aşağıdaki şekilde 741 tipi bir opamp'ın çıkış terminali ile birlikte, giriş ve besleme terminalleri pin numaraları ile verilmiştir.
- Devrede opamp'ın çıkış terminali bir RL yükü üzerinden toprağa bağlanmıştır.
- Dolayısı ile opamp'ın çıkış işareti RL yük direnci üzerindeki gerilimdir.
- **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.



LM741 tipi bir opamp'ın giriş ve çıkış terminalleri

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 elemanıdır.
- 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.

Giriş Terminalleri

- 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 çalışıyordur.
- Bir opamp'ın açık çevrim gerilim kazancı teorik olarak sonsuzdur. Pratikte ise oldukça yüksek bir değerdir.
- Bu durumda opamp'ın **eviren (V₁)** ve **evirmeyen (V₂)** 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.

ÖRNEK: Besleme gerilimi $\pm 12V$ olan bir opamp'ın açık çevrim kazancı $AOL=120.000$ 'dir. Bu opamp'ın maksimum fark giriş gerilimini bulunuz?

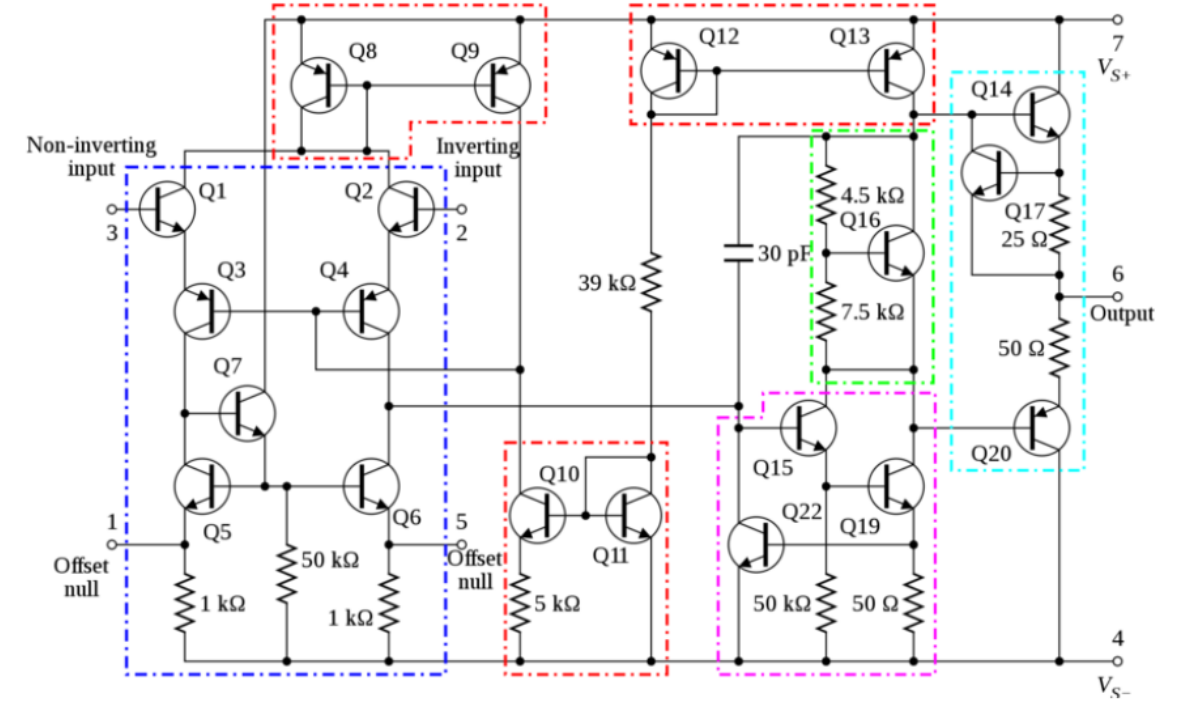
- Besleme gerilimi $\pm 12V$ olan bir opamp'ın alabileceği maksimum çıkış gerilimi değeri $V_{SAT}=\pm 10.5V$ civarındadır. Bu durumda giriş fark gerilimi;

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

- **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 dönüştürücüden elde edilen çok küçük işaretler kuvvetlendirilebilir.
- Elektronik piyasasında açık çevrim gerilim kazancı milyonlarla ifade edilebilen yüzlerce tip opamp bulunduğu unutulmamalıdır.

Operasyonel Yükseltecin Yapısı

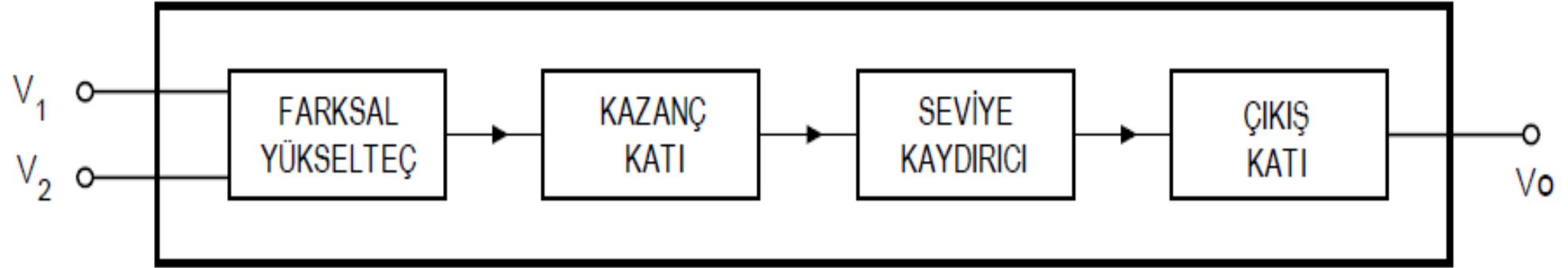
- Operasyonel yükseltecin iç yapısı oldukça karmaşıktır.
- Üretici katalogları incelendiğinde bu durum açıkça görülür.
- **Bir opamp; onlarca transistör, direnç ihtiva eder.**
- Örneğin 741 tipi opamp tümleşik devresinde; 3mm² lik bir silikon içerisine 20 transistör, 11 direnç ve 1 adet kondansatör yerleştirilmiştir.
- Bunun nedeni ideale yaklaşımdır.



Op Amp İç Yapısı

Operasyonel Yükseltecin Yapısı

Opampın temel yapısı şekilde blok olarak verilmiştir.
Opamp temel olarak 4 ayrı bloktan oluşmaktadır.
Blok gösterimde **en önemli katman fark yükseltecidir.**



Opampın Blok Diyagramı

Operasyonel Yükseltecin Yapısı

- 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.

Operasyonel Yükseltecin Yapısı

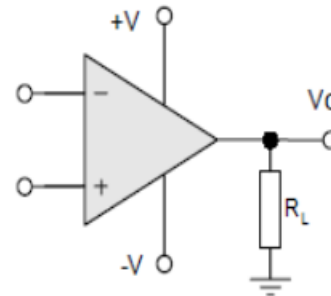
- **Buffer ve seviye kaydırıcı katını** açıklayalım: Opamp üretiminde kondansatör kullanılmadığından katlar birbirlerine direkt kuplajlı olarak bağlanırlar.
- Bundan dolayı çalışma noktasının seviyesi katlar ilerledikçe artar veya azalır. Bu artma ve azalma besleme gerilimlerine kadar devam eder.
- Bunun 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 sayesinde opampın çıkış direnci çok küçük olur.
- Opamp çıkışından alınan işaretlerin distorsiyonsuz olması için çıkış katında ayrıca bir takım düzenlemeler yapılır.

FARKSAL (DİFERANSİYAL) YÜKSELTEÇLER

- 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 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.**

Farksal Yükseltecin Blok Olarak Gösterilişı

- 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 yandaki gibi formüle edilirler: $V_D = V_1 - V_2$ $V_C = \frac{1}{2}(V_1 + V_2)$
- Formülde ki **VC** değeri ortak mod sinyalidir.
- Ortak Mod sinyali V_C , farksal yükselteci ideal durumdan uzaklaştırır.



TEMEL OPAMP DEVRELERİ

1. Eviren ve Evirmeyen Yükselteç
2. Temel Fark Alıcı
3. Gerilim İzleyici
4. Türev ve İntegral Alıcı

1. Eviren ve Evirmeyen 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.

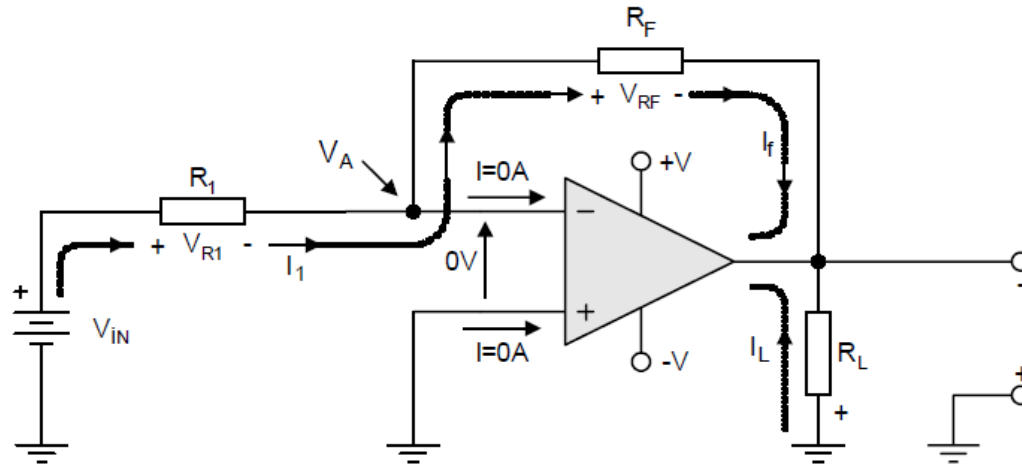
TEMEL OPAMP DEVRELERİ

Opamp'la gerçekleştirilen temel yükselteç modelleri:

- a. Eviren Yükselteç
- b. Eviren Toplayıcı
- c. Evirmeyen Yükselteç

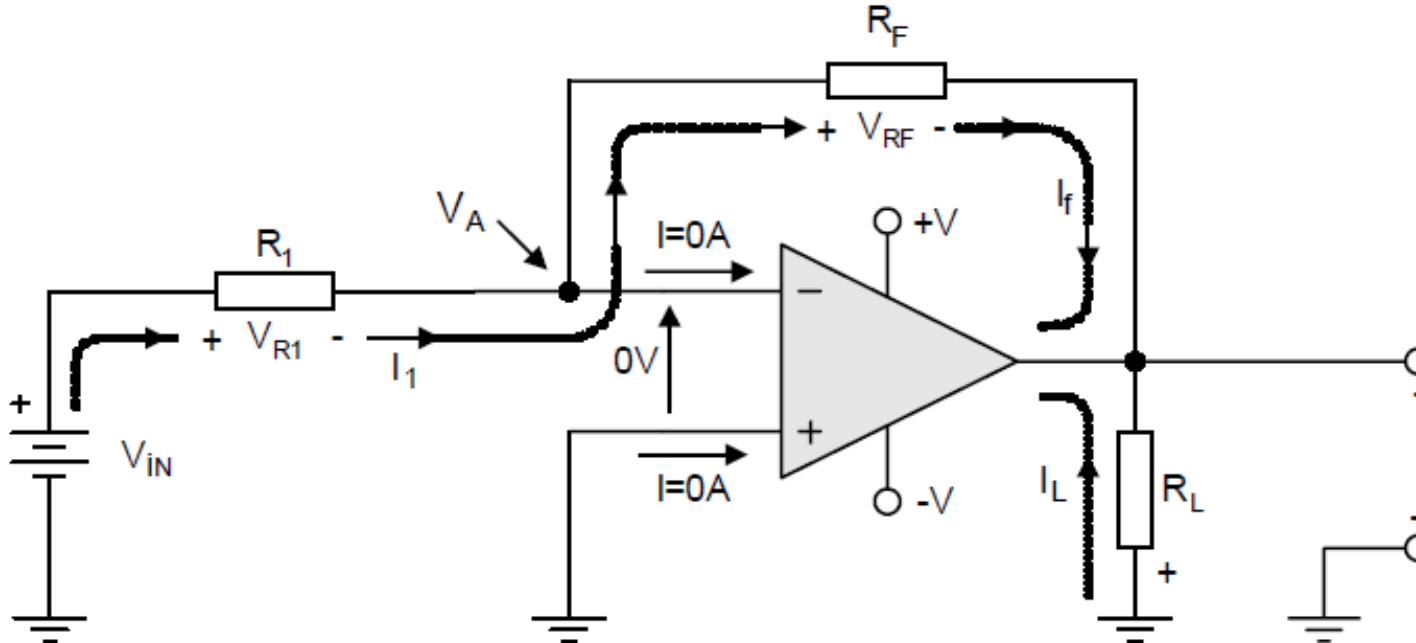
a. Eviren Yükselteç

- Bilindiği gibi opampların açık çevrim kazancı çok yüksektir.
- Bu durum kullanıcıya her zaman avantaj sağlamaz.
- Çünkü opamp'ın kazancı 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 aşağıdaki şekilde verilmiştir.
- Devrede dolaşan akımlar ve gerilim düşümleri devre üzerinde ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



a. Eviren Yükselteç

- 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 arasına 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 analizini yapmadan önce, opamp özelliklerini 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.

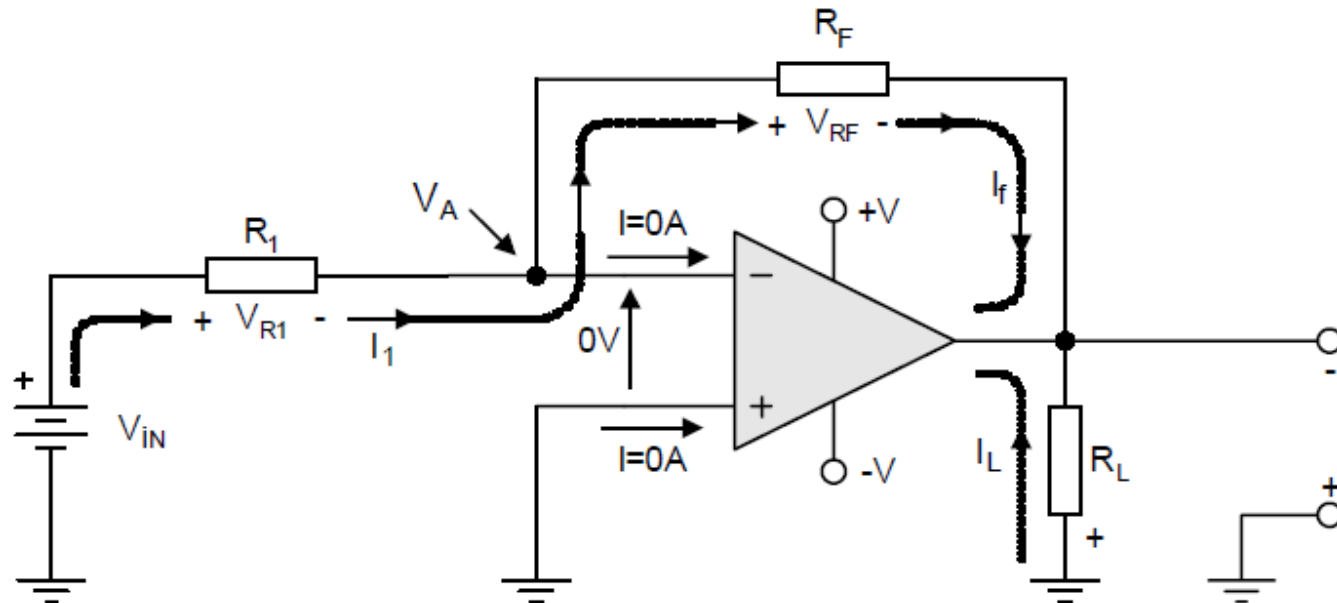


a. Eviren Yükselteç

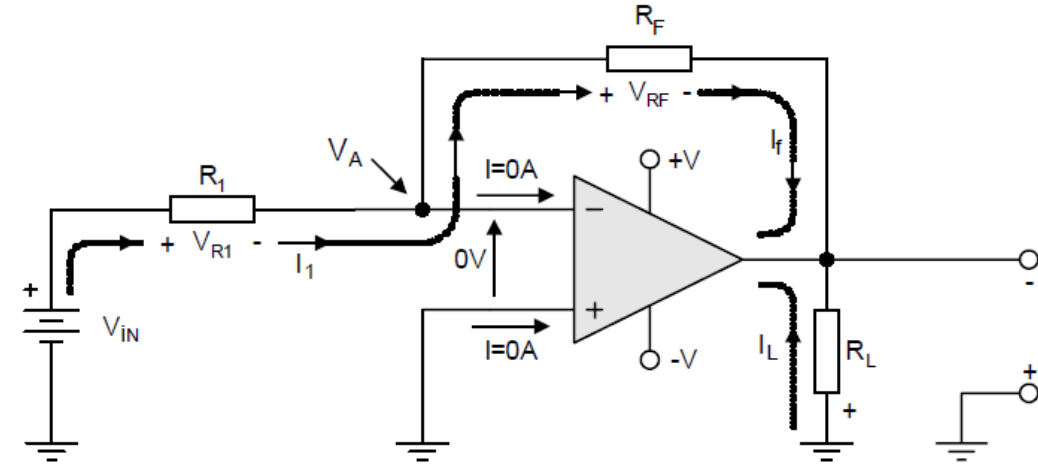
- Girişe uygulanan işaretin AC veya DC olması durumu değıştirmez, her ikisi de kuvvetlendirilir. Opamp'ın (-) ucu ile (+) ucu arasındaki potansiyel fark sıfırdır.
- Bu nedenle, devre de opamp'ın (-) ucuda toprak potansiyelindedir.
- Devrenin analizine gelince VA noktasında K.A.K yazarsak; $I_1 = I_F$
- Devreden I1 ve IF akımları için gerekli bağıntıları yazalım;

$$\frac{(V_{IN} - V_A)}{R_1} = \frac{(V_A - V_O)}{R_F}$$

- $V_A=0$ yazabiliriz.



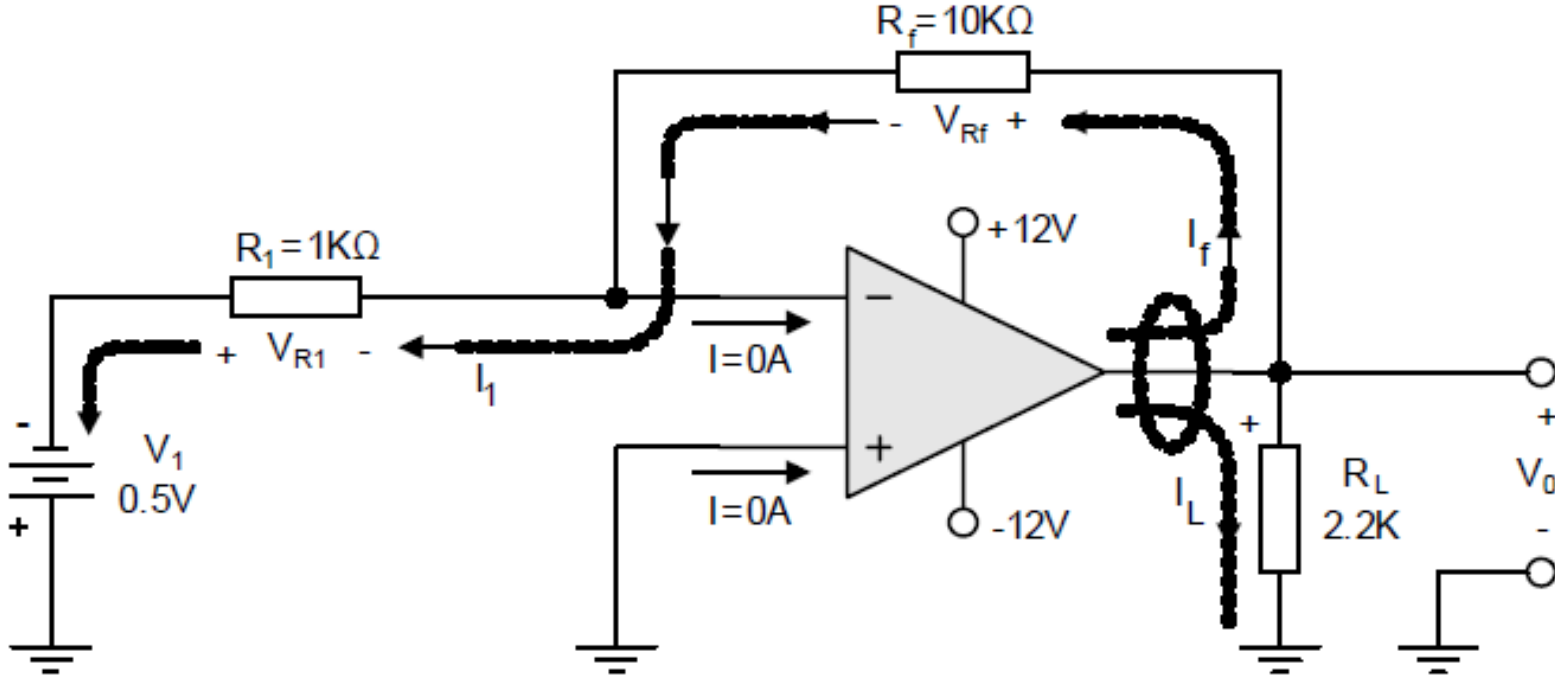
a. Eviren Yükselteç



- Bu durumda; 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 fazı da 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: Şekilde görülen eviren yükselteç devresinde LM741 tipi opamp kullanılmıştır. Devre, $\pm 12V$ 'luk simetrik kaynakla beslenmiştir.

- a. Devredeki I_1 akımını, Çıkış gerilimini V_0 , Kapalı çevrim gerilim kazancını A bulunuz?
- b. Opamp çıkışına $2.2K\Omega$ 'luk bir RL yük direnci bağlandığında yük üzerinden geçen I_L yük akımını ve opamp'ın toplam çıkış akımını hesaplayınız?



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;

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

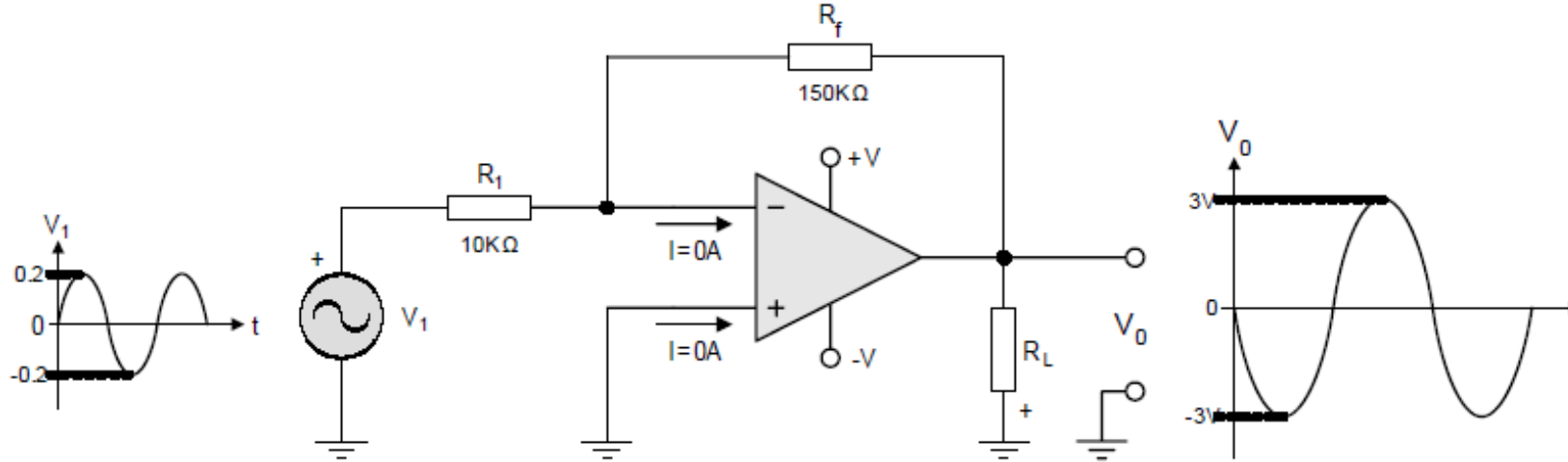
Opamp çıkışından çekilen toplam akım I_0 ise;

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

olarak bulunur.

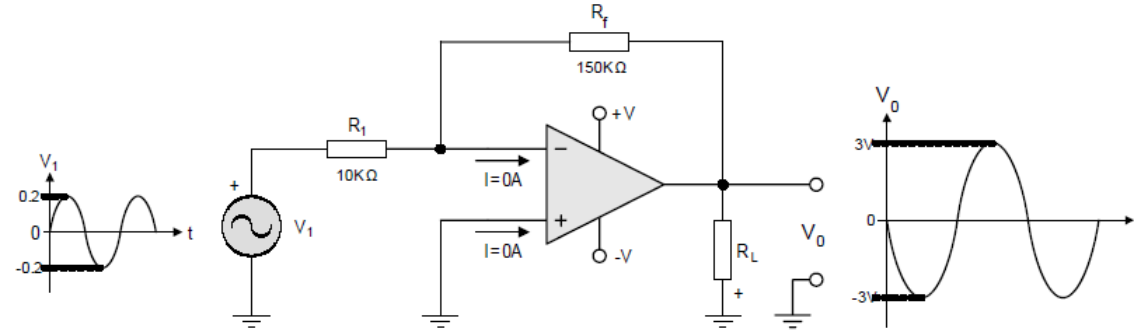
a. Eviren Yükselteç

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



Eviren yükselteç devresinde AC çalışma

a. Eviren Yükselteç



- Devrede akım ve gerilimlerin analizini yapalım.
- Yukarıdaki şekil üzerindeki değerler dikkate alındığında opamp'ın kapalı çevrim gerilim kazancı ACL;

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

- Opamp çıkışından alınan çıkış işaretinin tepeden tepeye değeri ise;

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

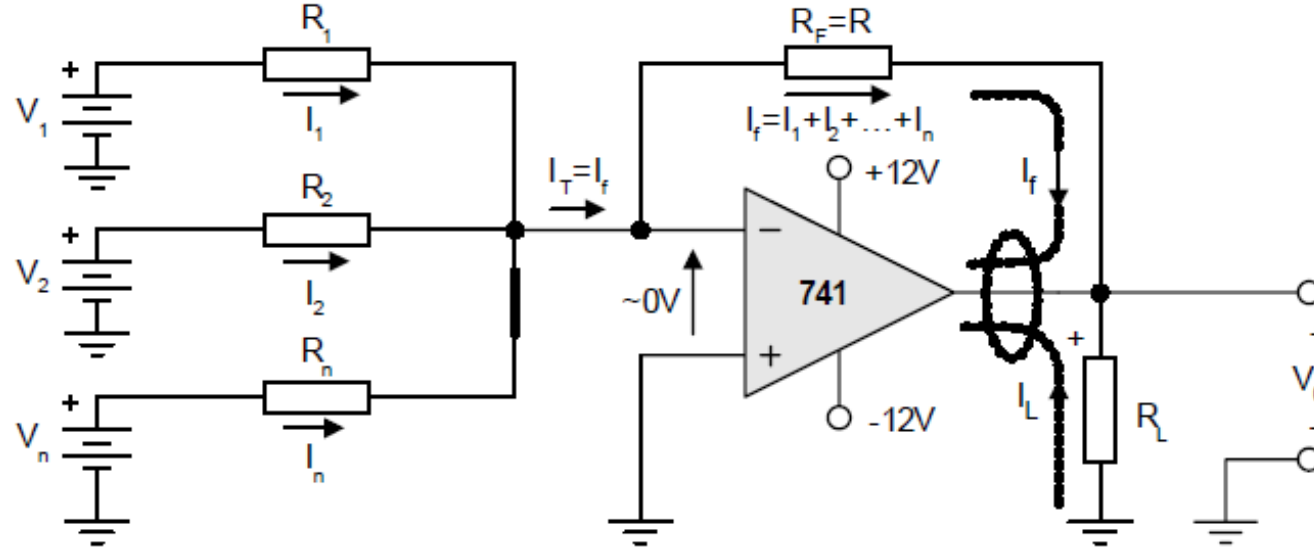
olacaktır

$$V_0 = -3V$$

- Eviren amplifikatör özelliğinden dolayı giriş geriliminin fazı 180° faz terslenmiş olarak çıkışa yansıyacaktır. Bu durum yukarıdaki şekil üzerinde ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

b. Eviren Toplayıcı

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



b. Eviren Toplayıcı

- 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;

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

- 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;

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

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

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

- Burada Tüm R'ler eşit seçilirse denklem giriş sinyallerinin toplamı halini alır. $V_0 = -(V_1 + V_2 + V_n)$

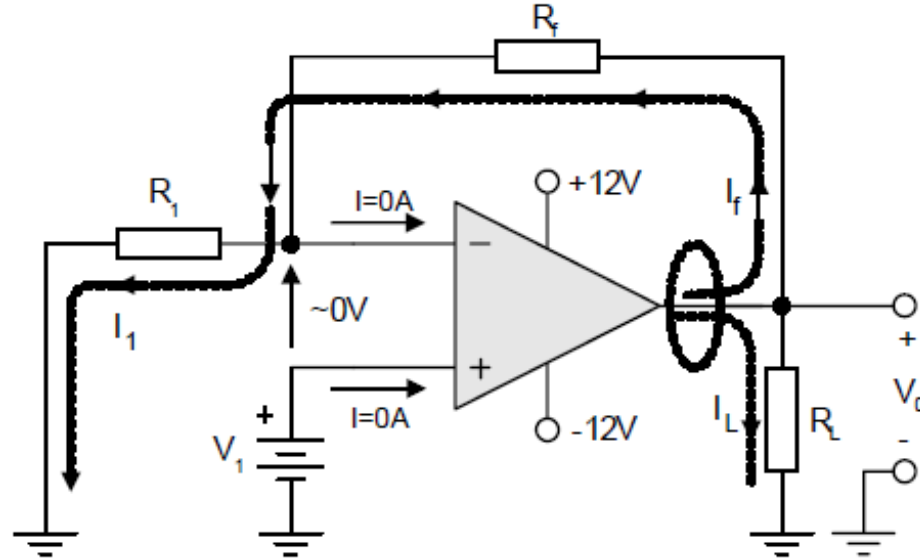
Örneğin; yukarıdaki şekildeki devrede $R_f=100K$, $R_1=R_2=R_n=10K$ ve $V_1=V_2=V_n=0.2$ volt ise, opamp'ın çıkış gerilimi;

$$V_o = -100K\Omega \cdot \left[\frac{0.2V}{10K\Omega} + \frac{0.2V}{10K\Omega} + \frac{0.2V}{10K\Omega} \right] = -6V \quad \text{elde edilir.}$$

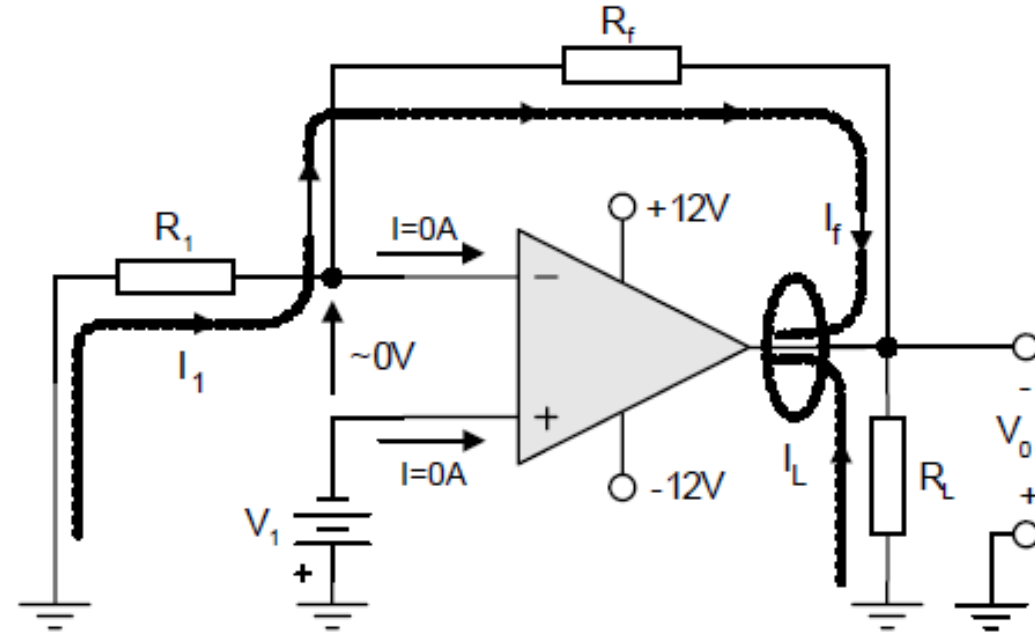
- **Unutulmamalıdır ki opampın çıkış geriliminin maksimum değeri besleme gerilimi ile sınırlıdır.**
- **Kısaca çıkış geriliminin değeri hiç bir zaman besleme gerilimi değerini aşamaz.**

c. 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 şekilde verilmiştir.



Evirmeyen yükselteç devresi



c. Evirmeyen Yükselteç

- **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.
- Yukarıdaki şekilde verilen evirmeyen yükselteç devresinin analiziniz yapalım. Opamp'ın eviren ve evirmeyen girişleri arasındaki potansiyel fark 0V'dır.
- Dolayısıyla R_1 direnci uçlarında/üzerinde V_1 gerilimini aynen görürüz.

c. Evirmeyen Yükselteç

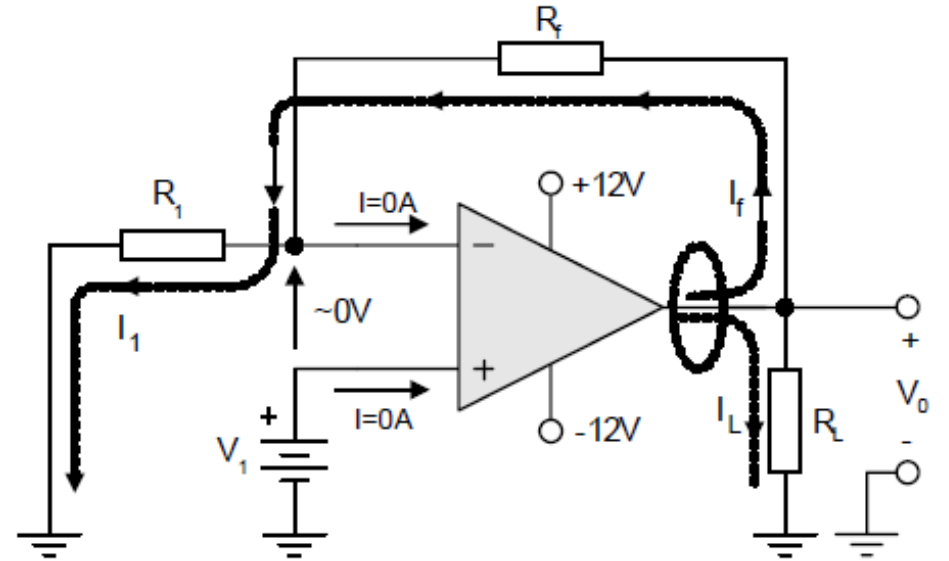
- Devrede çıkış geriliminin alacağı değer: $V_0 = I_1 \cdot R_1 + I_F \cdot R_F$ elde edilir.
- Devrede; $I_1 = I_F$ olduğu görülmektedir.
- Bu durumda yukarıda verilen eşitliği çıkış gerilimini bulmada yeniden yazarsak V_0 ; $V_0 = I_1 \cdot R_1 + I_1 \cdot R_F$ denklemini elde ederiz. Bu denklemde; I_1 akımı, $I_1 = \frac{V_1}{R_1}$
- değerine eşittir. Bu değeri V_0 eşitliğine yerleştirirsek,

$$V_0 = \frac{V_1}{R_1} \cdot R_1 + \frac{V_1}{R_1} \cdot R_F \quad \text{denklemi düzenlersek;}$$

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

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

- denklemi elde edilir.



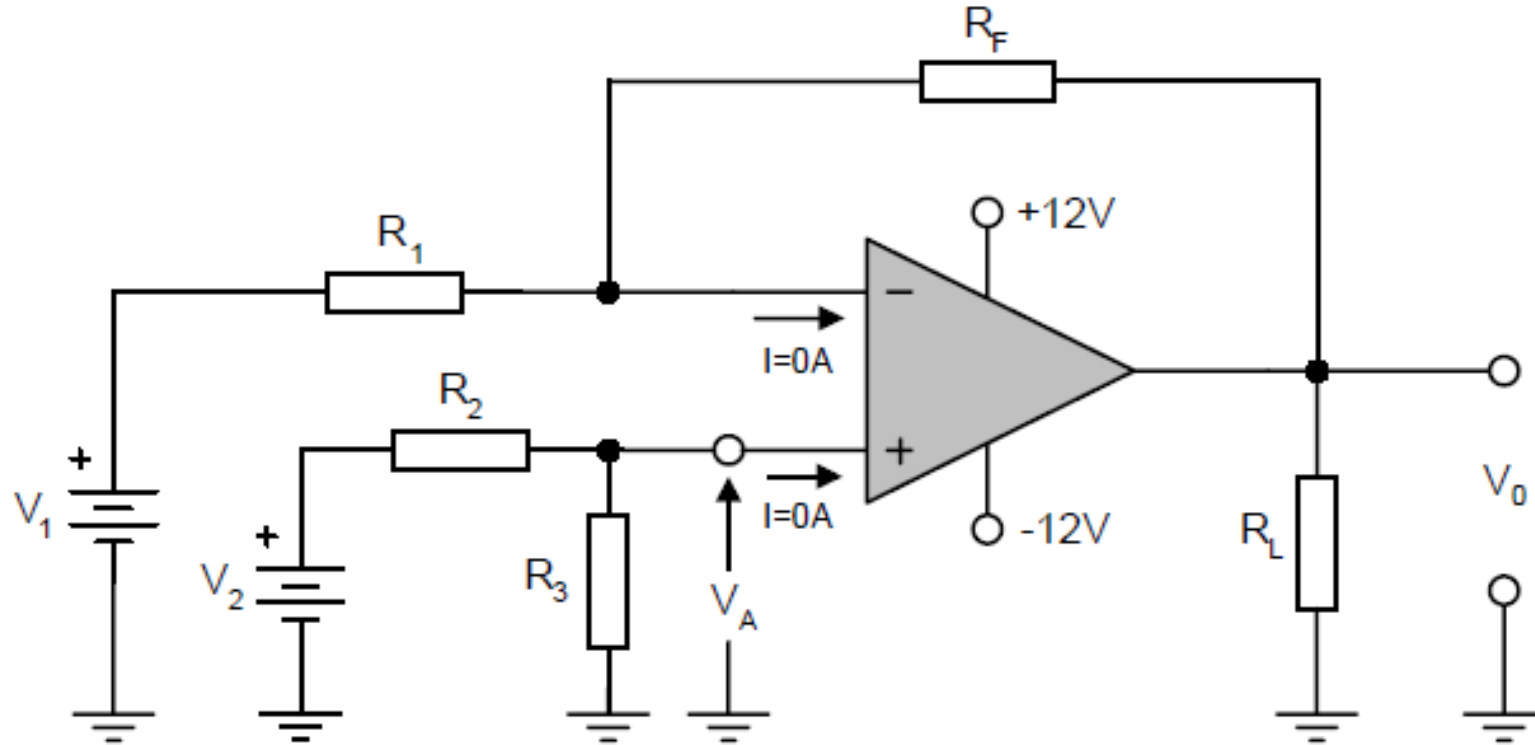
c. Evirmeyen Yükselteç

- Yukarıda elde edilen denklemin ışığında evirmeyen yükselteç devresinde kapalı çevrim kazancı ACL 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.

2. Temel Fark Alıcı

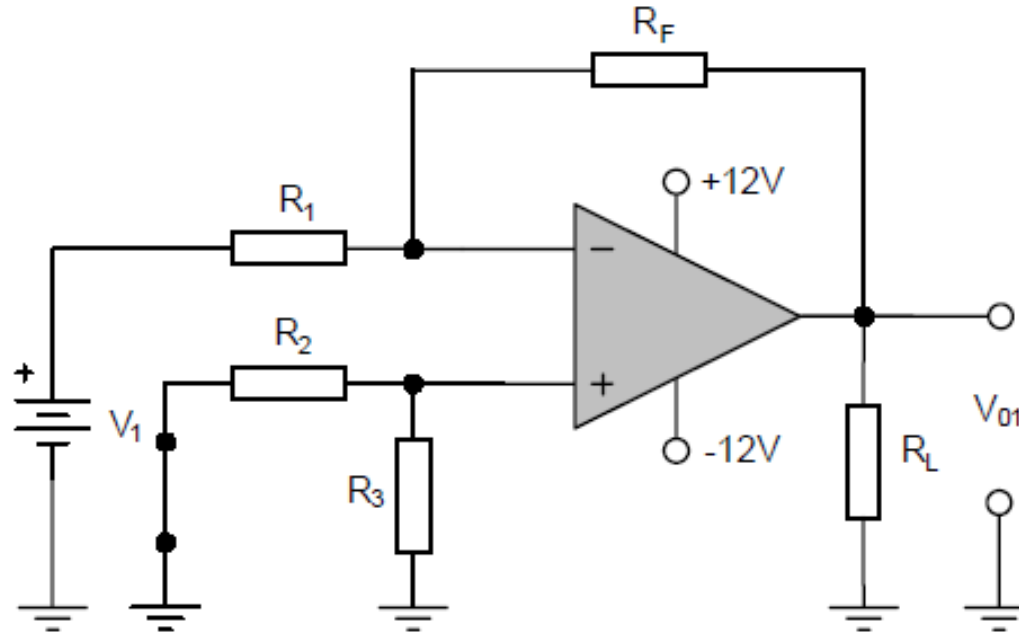
- Fark alıcı devre, genelde ölçme ve kontrol sistemlerinin tasarımında kullanılan temel yükselteç devresidir.
- Oldukça hassas ve kararlı bir çalışma karakteristiğine sahiptir.
- Temel fark alıcı devre, **çıkarıcı amplifikatör (difference amplifier) veya farksal yükselteç** olarak da isimlendirilir.
- Temel bir fark alıcı devresinin 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 aşağıdaki şekilden yararlanarak açıklayalım.
- Bu devrede; girişten uygulanan iki ayrı işaretin farkı alınıp çıkışa aktarılmaktadır.

Temel Fark Alıcı (Differansiyel Amplifikatör) Devresi



2. Temel Fark Alıcı

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

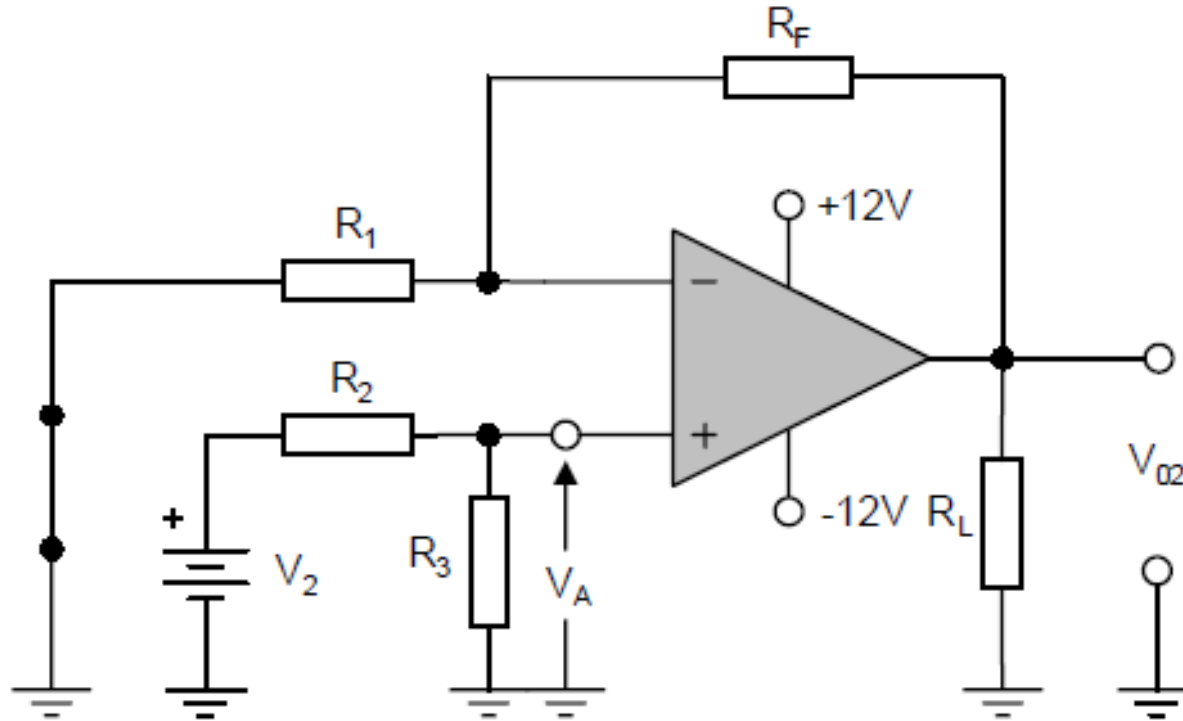


a) V_2 kaynağı kısa devre iken opamp çıkışı; V_{01}

2. Temel Fark Alıcı

- Devrede kullanılan R2 ve R3 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 eviren yükselteç halini almıştır.
- Dolayısıyla V1'den dolayı çıkış gerilimi V01; $V_{01} = -V_1 \cdot \frac{R_F}{R_1}$ olarak bulunur.
- Devre eviren yükselteç özelliğindedir.
- V2 giriş geriliminin çıkışa etkisini bulabilmek için V1 girişini kısa devre etmemiz gerekir. Bu işlem sonunda devremiz şekil-b'de gösterilen şekli alır.
- Bu devre evirmeyen yükselteç özelliğindedir.

Fark alıcı devreye Super pozisyon teoreminin uygulanması



b) V_1 kaynağı kısa devre iken opamp çıkışı; V_{o2}

2. Temel Fark Alıcı

- 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.

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

- Bulunan V_A değerini V_{02} eşitliğinde yerine yerleştirirsek:

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

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

2. Temel Fark Alıcı

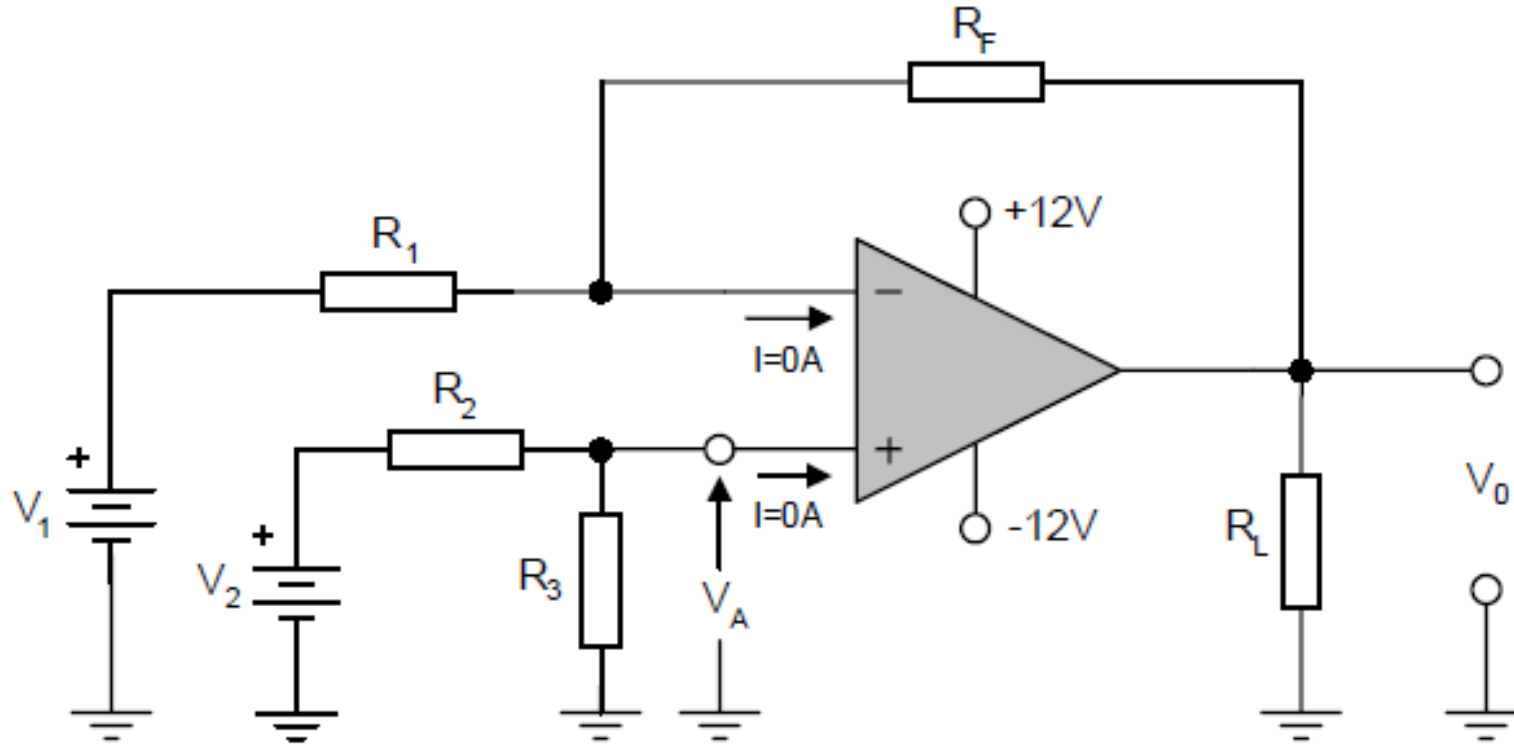
- Toplam çıkış gerilimi V_0 ise her iki çıkış geriliminin toplamı olacaktır.

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

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

- olarak bulunur.

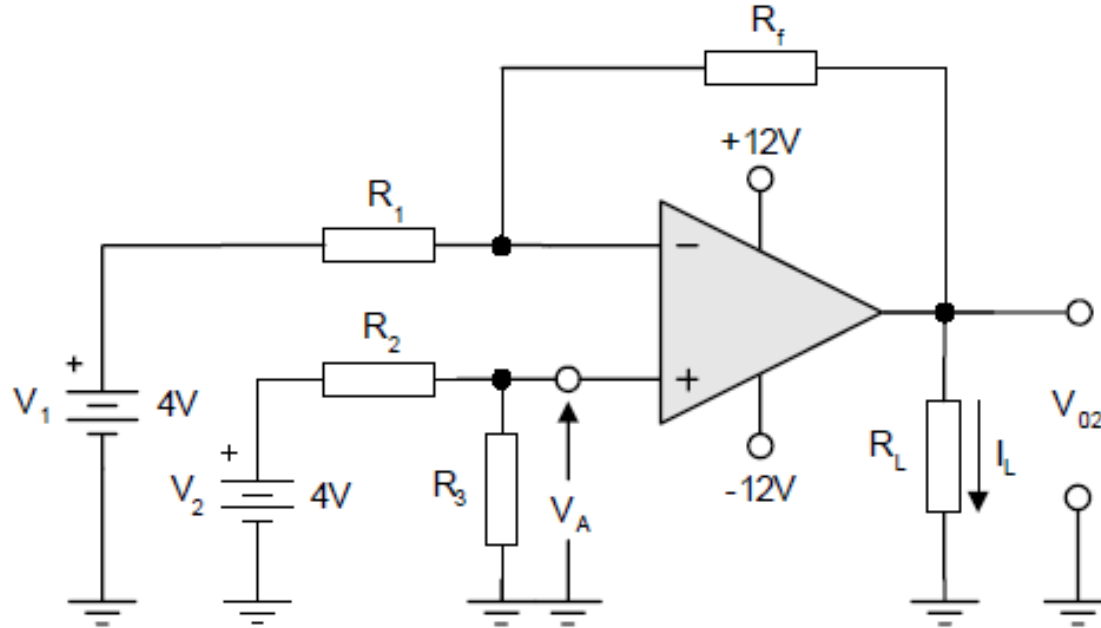
Temel Fark Alıcı (differansiyel Amplifikatör) Devresi



2. Temel Fark Alıcı

- Örneğin yukarıdaki şekildeki temel fark alıcı devrede $R1=R2=R3=RF$ olarak seçilirse çıkış gerilimi: $V_0 = V_2 - V_1$ olarak bulunur.
- Görüldüğü gibi devre girişine uygulanan **gerilimlerin farkını almaktadır.**

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



Temel Fark Alıcı devre

ÇÖZÜM:

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

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

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

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

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

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

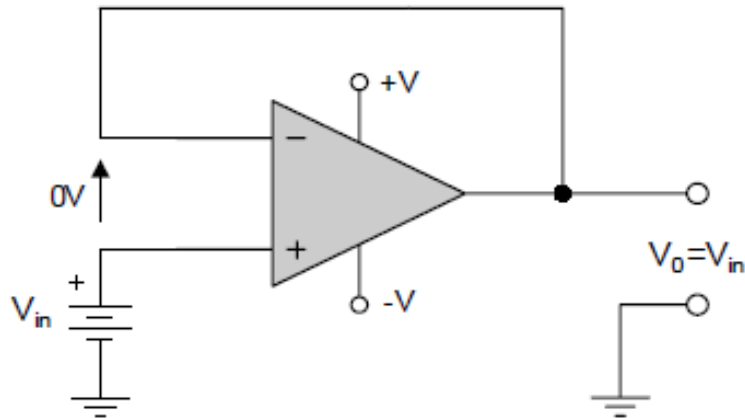
$$V_o = 0V$$

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.

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

3. Gerilim İzleyici

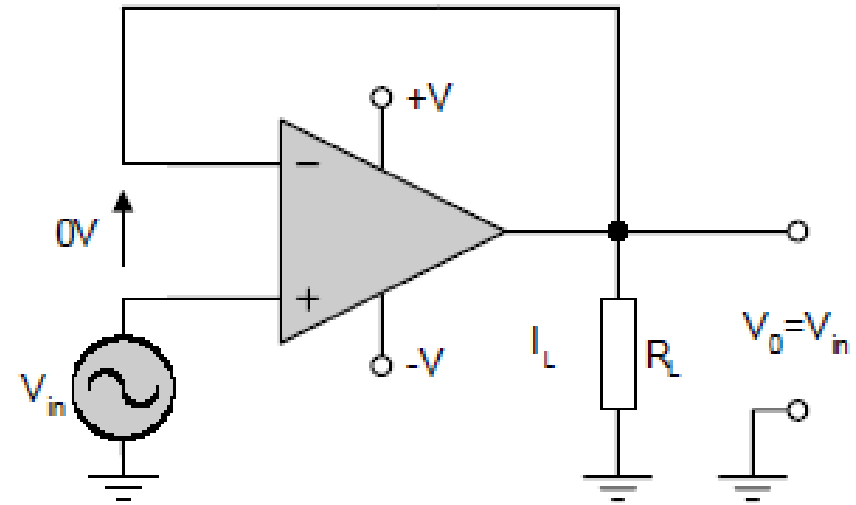
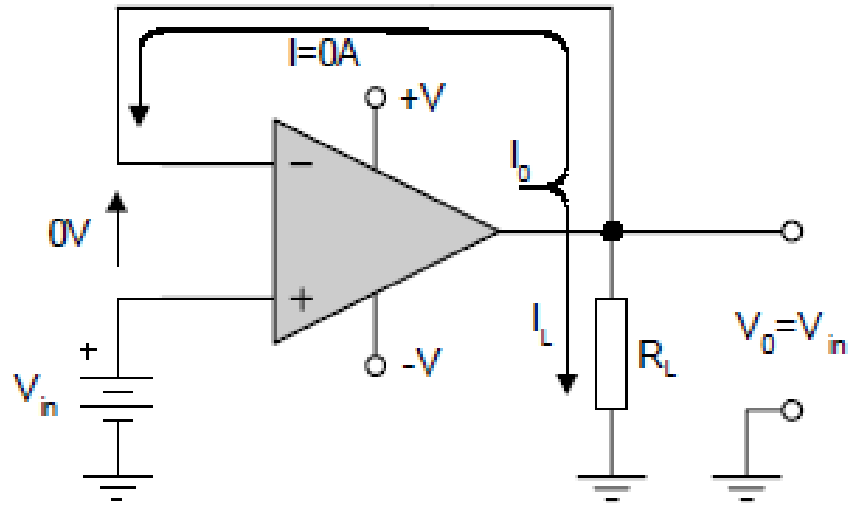
- Opamp kullanılarak gerçekleştirilen diğer bir uygulama ise gerilim izleyicisi (**Voltage Follower**) olarak bilinir.
- Gerilim izleyici devreler; yüksek giriş, alçak çıkış empedansa sahip olmaları nedeniyle pek çok uygulama ve tasarımda sıklıkla kullanılırlar.
- Gerilim izleyici devre, evirmeyen yükselteç devresinin özel bir halidir.
- Temel bir gerilim izleyici devre aşağıdaki şekilde 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.



3. Gerilim İzleyici

- Genel amaçlı opamplarla (LM 741 gibi) yukarıdaki şekildeki bağlantı yapılarak gerilim izleyicisi elde edilebileceği gibi yalnızca bu amaçla gerçekleştirilmiş operasyonel yükselteçlerde vardır.
- 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.
- Çıkış geriliminin genlik ve fazı girişle aynıdır.
- Aşağıdaki şekilde DC ve AC çalışma için gerilim izleyici devreleri ve çevre akımları verilmiştir.
- Yük akımı I_L , opamp’tan çekilen akıma eşittir.

Gerilim izleyici devrenin DC ve AC çalışma şartları

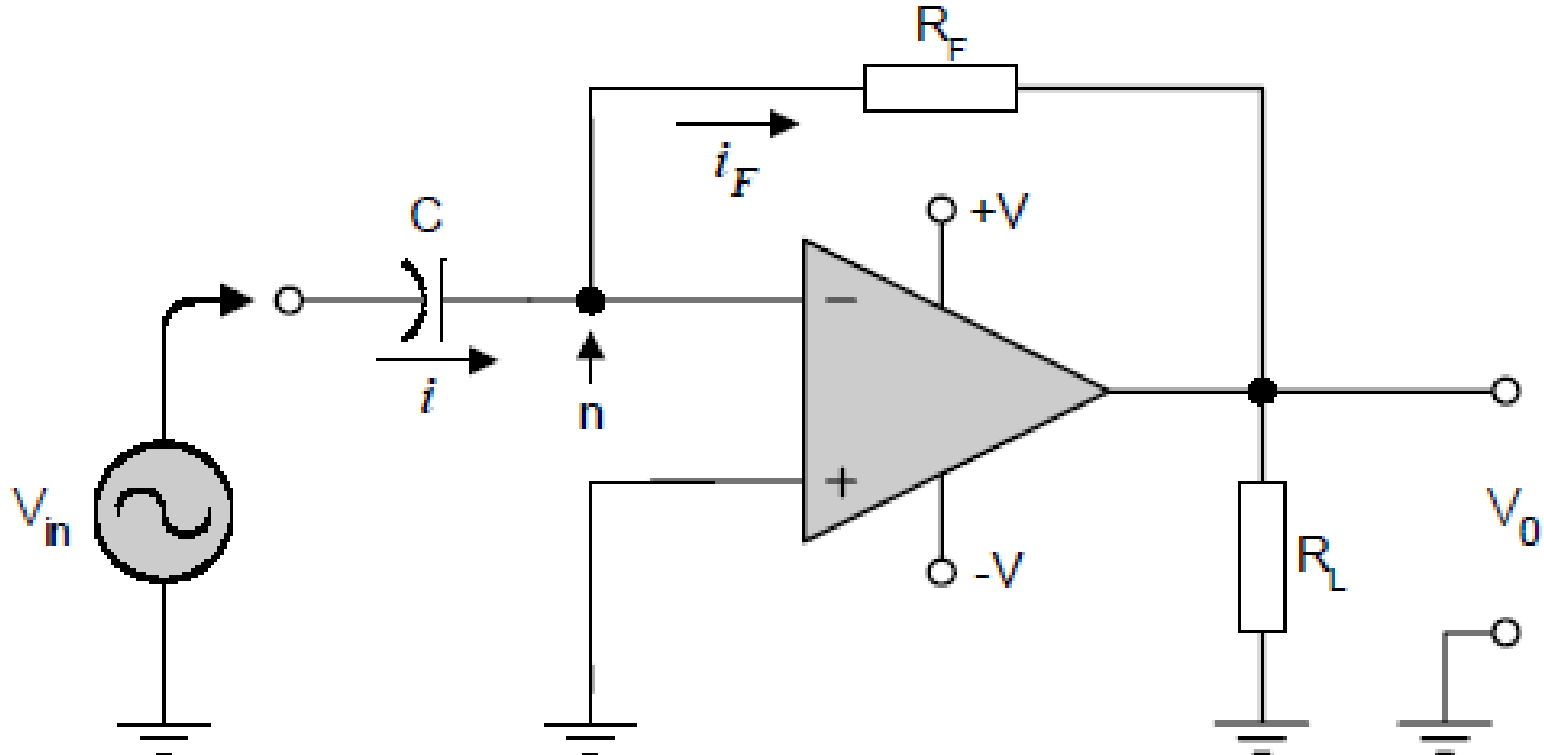


4. Türev ve İntegral Alıcı

- Bu bölüme kadar anlatılan opamp uygulamalarında geri besleme elemanlarının tamamen omik olduğu varsayıldı veya omik bir eleman olan direnç kullanıldı.
- Genel olarak elamanlar kapasitif ve endüktif özellik gösterdiklerinden giriş ve geri besleme direnci yerine **empedans** içeren (L ve C) elamanlarda kullanılır.
- Böylece **tamamen omik elaman yerine, empedans kullanmakla devrenin işlevi de büyük oranda değiştirilmiş olur.**

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 şekilde verilmiştir.
- **Türev alıcı, girişinden uygulanan işaretin türevini alarak çıkışa aktaran bir devredir.**



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.
- Yukarıdaki şekilde verilen türev alıcı devrenin çıkış gerilimi; $V_0 = -R_F \cdot i$ değerine eşittir.

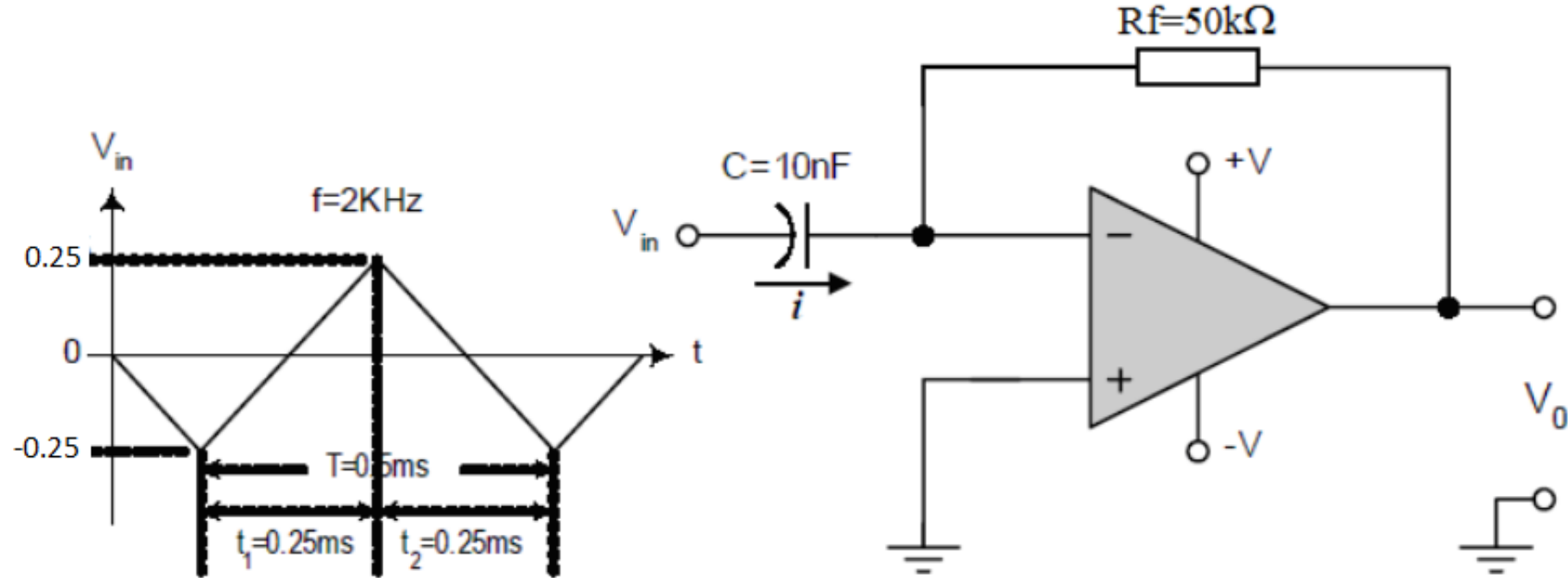
Türev Alıcı Devre

- 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.

ÖRNEK: Şekilde 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.



Türev alıcı devrenin analizi

ÇÖZÜM:

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,

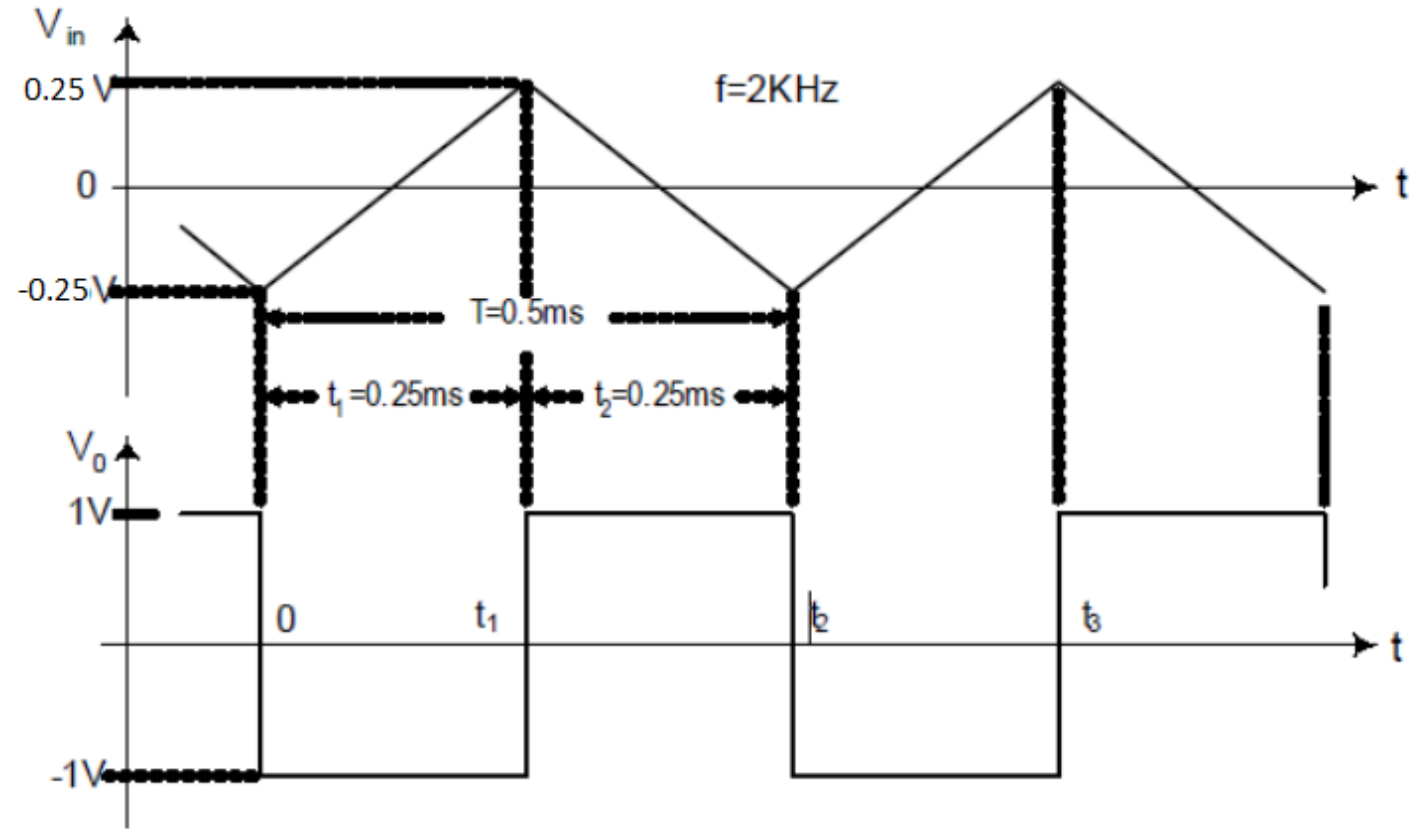
$$V_0(t_1) = -R_F \cdot C \frac{dV_{in}}{dt} = -50 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-9} \cdot 2000 = -1V$$

Negatif eğim için gerekli analizleri yapalım.

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

$$V_0(t_2) = -R_F \cdot C \frac{dV_{in}}{dt} = -50 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-9} \cdot \left(-2000 \frac{V}{s} \right) = 1V$$

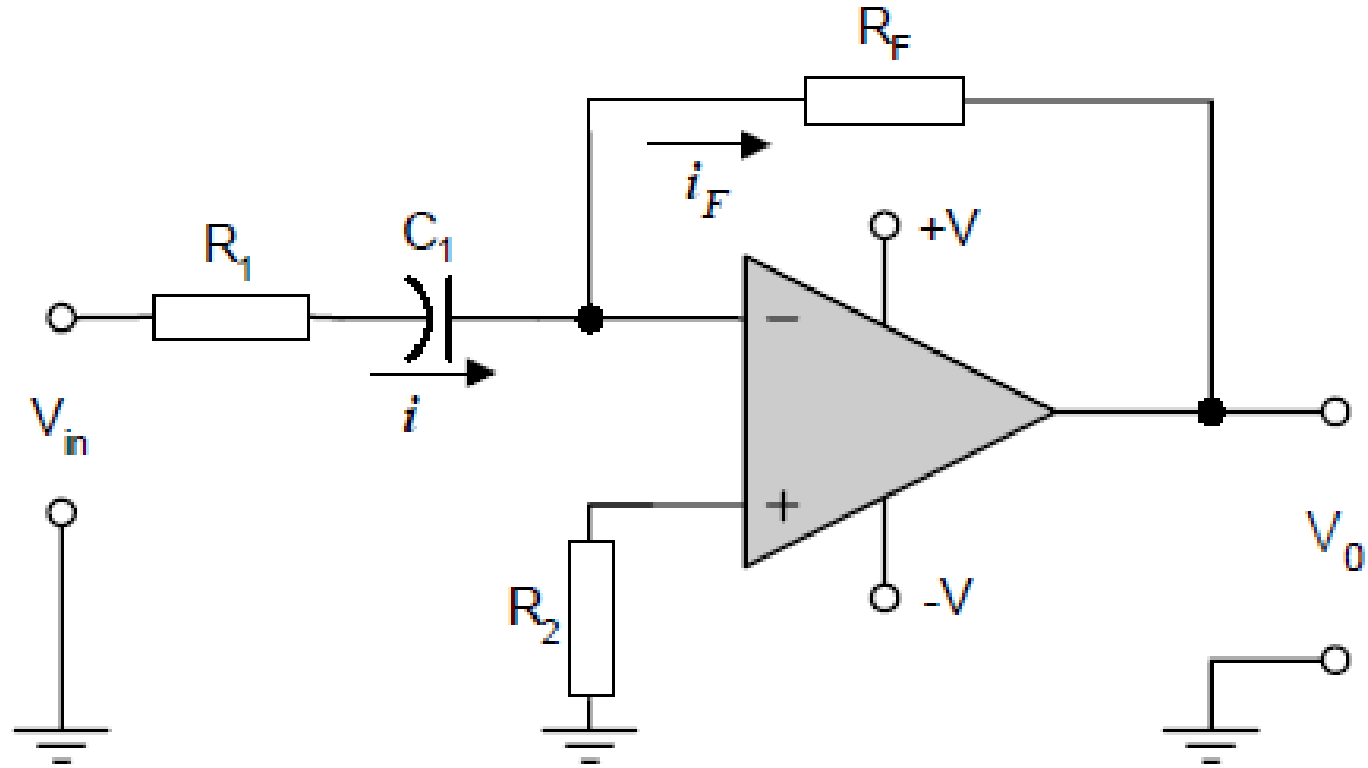
Türev Alıcı Devre



Türev Alıcı Devre

- Pratik uygulamalarda yukarıdaki “Türev alıcı devre” şeklindeki devrenin yalın hali ile yeterli değildir.
- Örneğin yüksek frekanslarda C kondansatörü kısa devre gibi davranacağından **yükseltecin kazancını artırarak doyuma götürebilir.**
- Ayrıca Vin 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 aşağıdaki şekilde görülen devre geliştirilmiştir.

Geliştirilmiş türev alıcı devre



Geliştirilmiş türev alıcı devre

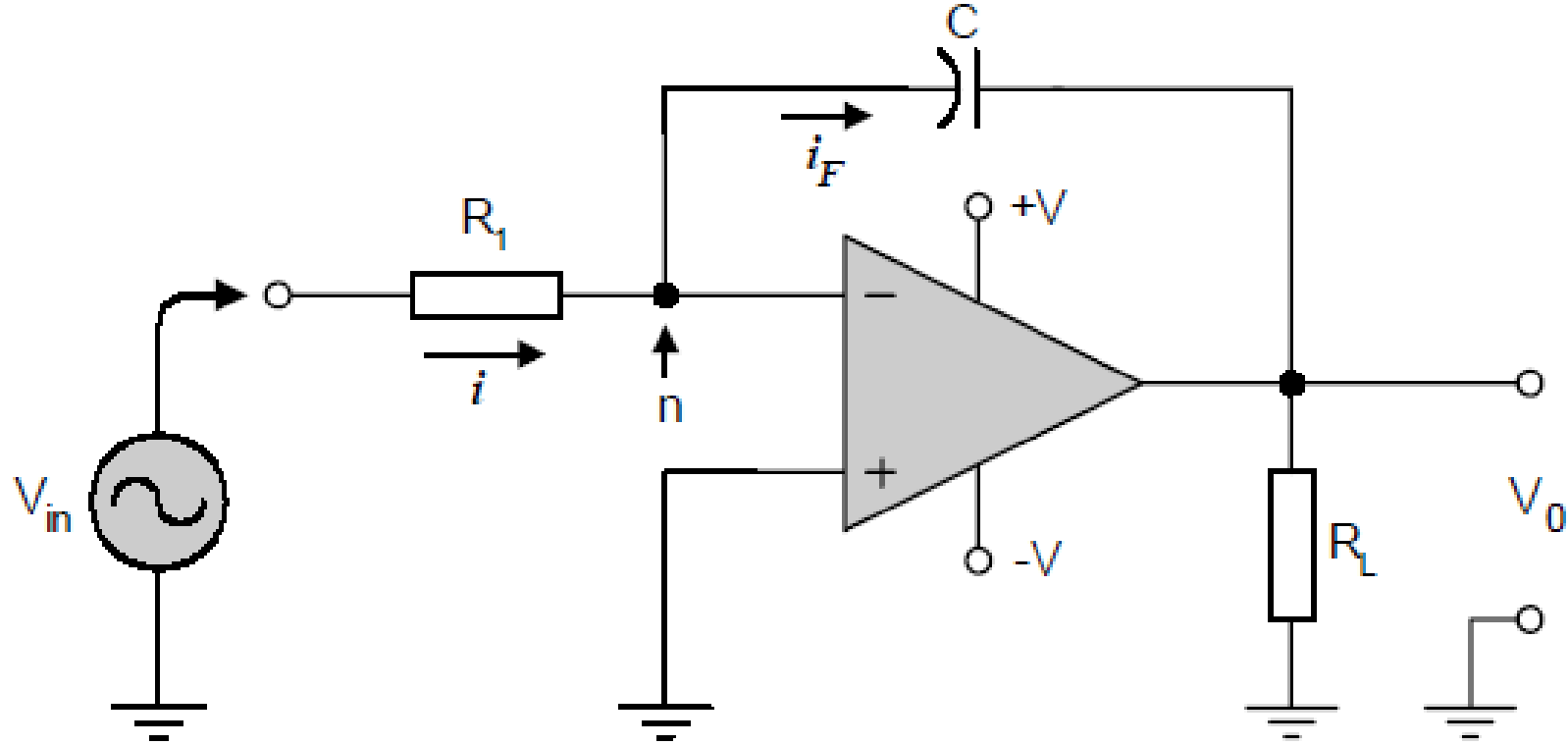
- Bu devrede **giriş kazancı sınırlayan R1 direnci eklenmiştir.**
- Böylece devrenin gerilim kazancı R_f / R_1 ile sınırlanmıştır.
- R2 direnci ise opamp girişlerindeki DC akım kompanzasyonunun sağlanması için kullanılmıştır.
- Ayrıca **bu devrenin türev alıcı olarak çalışabilmesi için aşağıdaki iki şartın yerine getirilmesi gerekir:**
- **1-** Devrede giriş işaretinin frekansı F_{GR} ; F_C değerine eşit ya da ondan küçük olmalıdır.

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

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

İntegral Alıcı Devre

- İntegral alıcı devre, girişe uygulanan işaretin İntegralini alarak çıkışa aktarır.
- Bu işlemi gerçekleştiren bir İntegral alıcı devre aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.
- Görüldüğü gibi bu devrede geri besleme bir kondansatör yardımı ile yapılmaktadır.



İntegral alıcı devre

- İntegral alıcı devrenin n noktasındaki gerilim, opamp giriş özelliğinden dolayı 0 volt civarındadır.

- Bilindiği gibi kondansatör uçlarındaki gerilim: $V_c = \frac{1}{C} \int I_F dt$

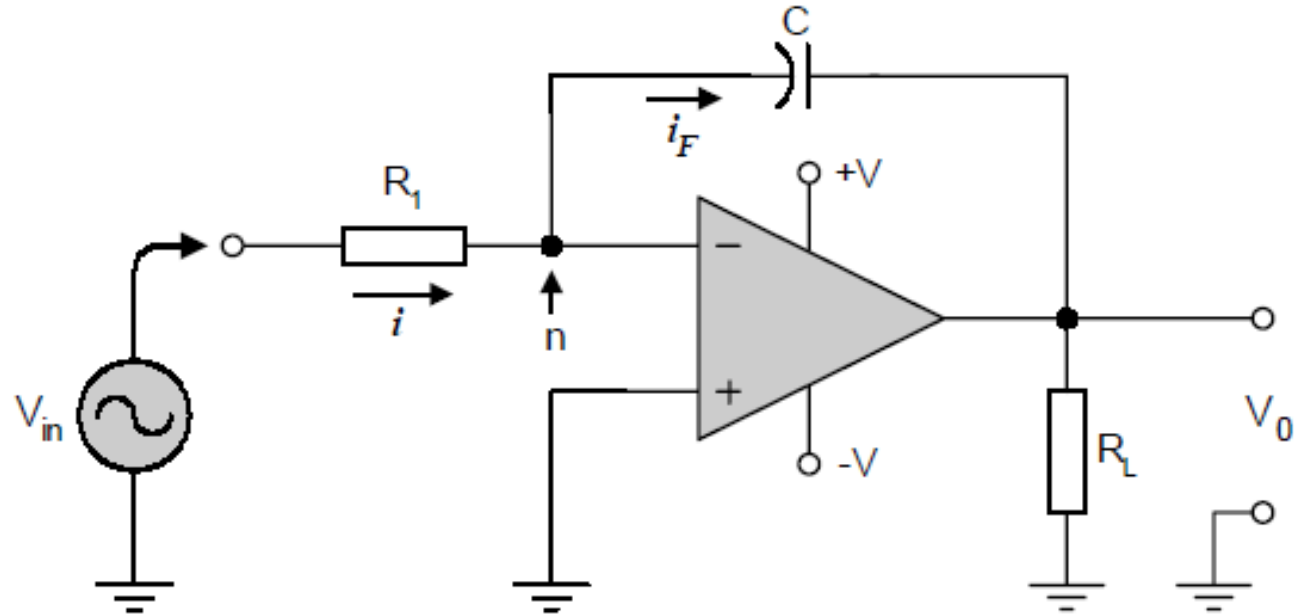
- Çıkış gerilimi;

$$V_0 = -V_c \quad V_0 = - \frac{1}{C} \int I_F dt$$

- Bu durumda i akımı ise $i = V_{in} / R_1$, $i = I_F$, $I_F = V_{in} / R_1$

I_F yukardaki denklemde yerine yazılırsa çıkış gerilimi aşağıdaki gibi elde edilir;

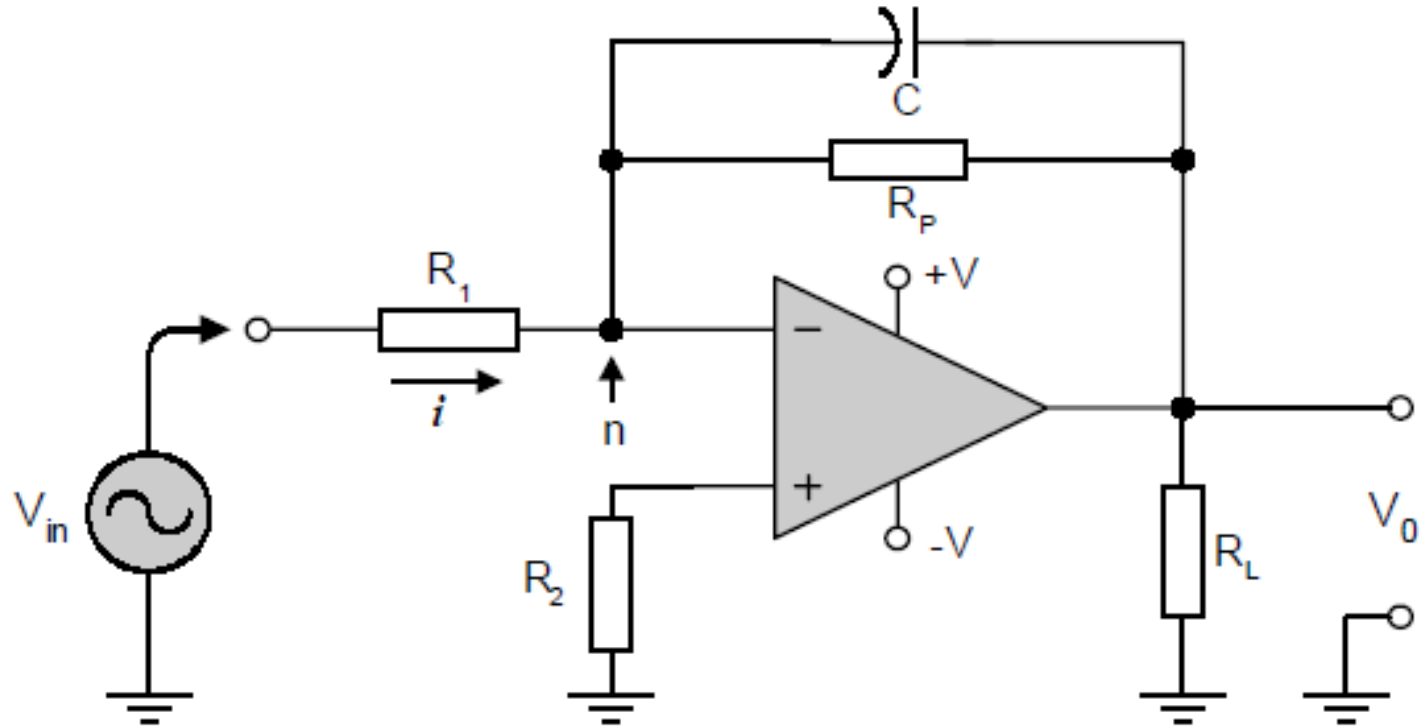
$$V_0 = - \frac{1}{R_1 \cdot C} \int V_{in} \cdot dt$$



İntegral alıcı devre

- Formülden de görüldüğü gibi opamp giriş geriliminin integralini alan bir devre olarak çalışmaktadır.
- Bilindiği gibi **integral anlam olarak bir eğrinin altında kalan alana karşılık gelmektedir.**
- Yukarıdaki şekilde verilen temel integral alıcı devre bu haliyle yeterli değildir.
- Geliştirilmiş bir integral alıcı devresi aşağıdaki şekilde verilmiştir.

Geliştirilmiş integral alıcı devre



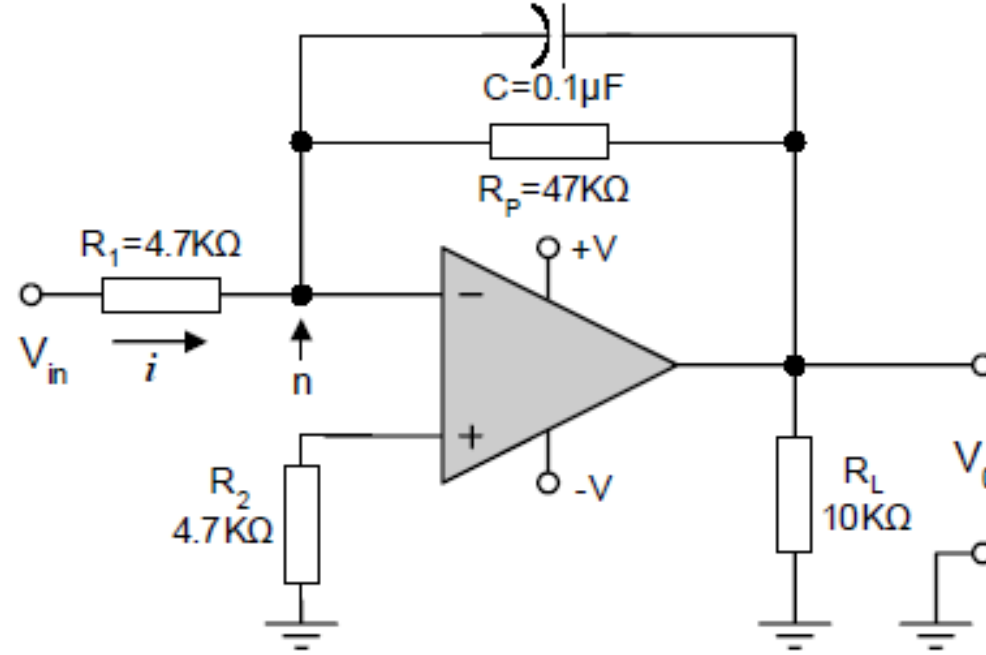
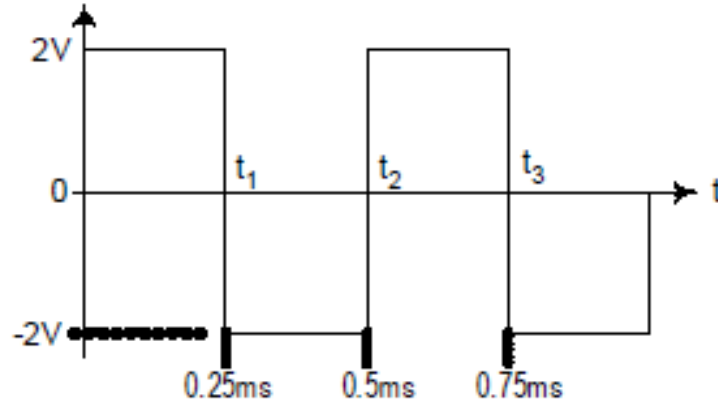
Geliştirilmiş integral alıcı devre

- Bu devrede; giriş ofset geriliminin giderek opamp çıkışını doyuma götürmesini engellemek amacıyla C kondansatörüne paralel bir **RP** direnci bağlanmıştır.
- Bu direnç, opamp'ın gerilim kazancını da sınırlamaktadır.
- Ayrıca giriş polarma akımlarının eşit olmayışından doğacak ofset geriliminin etkilerini gidermek amacı ile **R2** direnci kullanılmıştır.
- Bu direncin değeri $R2 = R_f / R1$ olmalıdır.
- **Opampın integral alıcı olarak görev yapabilmesi için girişine uygulanacak işaretin frekansı (f_{GR}), f_C değerine eşit ya da ondan büyük olmalıdır.**

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

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

ÖRNEK: Şekilde integral alıcı devre girişine genliği $V_p=2V$ ve $2KHz$ 'lik kare dalga işareti uygulanmıştır. Çıkış geriliminin (V_o) analizini yaparak dalga biçimini çiziniz.



İntegral alıcı devrenin analizi

ÇÖZÜM: Verilen devrede pozitif yarım saykıl (alternans) için çıkış gerilimini hesaplayalım:

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

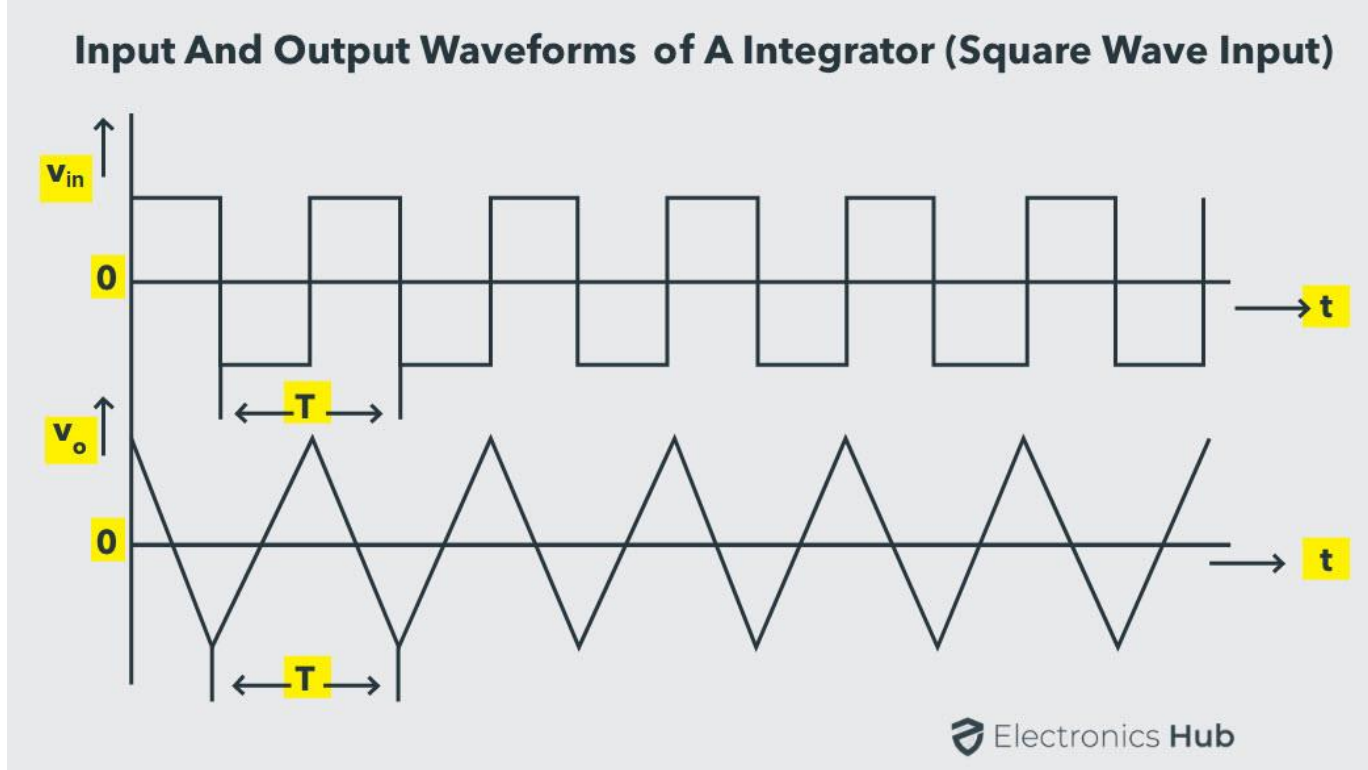
$$V_0(t_1) \cong -1V$$

Negatif yarım saykıl;

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

$$V_0(t_1) \cong +1V$$

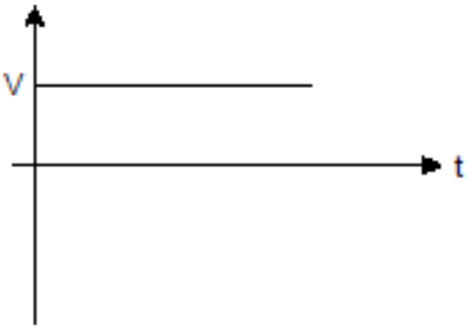

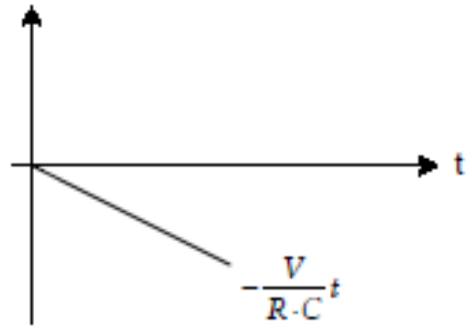
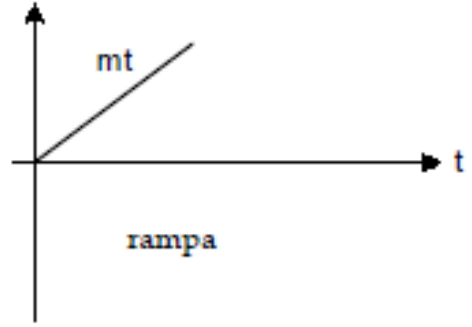
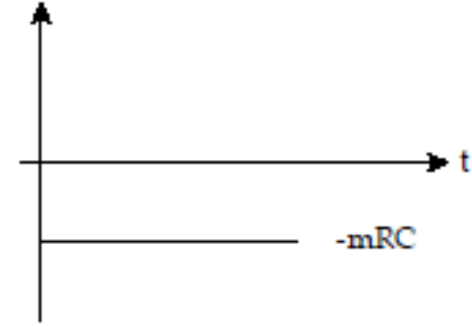
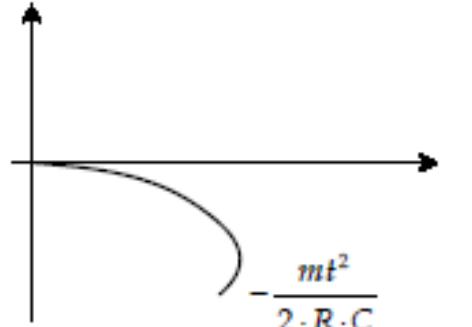
Yukarıda yapılan analizlerle giriş ve çıkış işaretlerini dalga biçimlerini birlikte gösterelim:



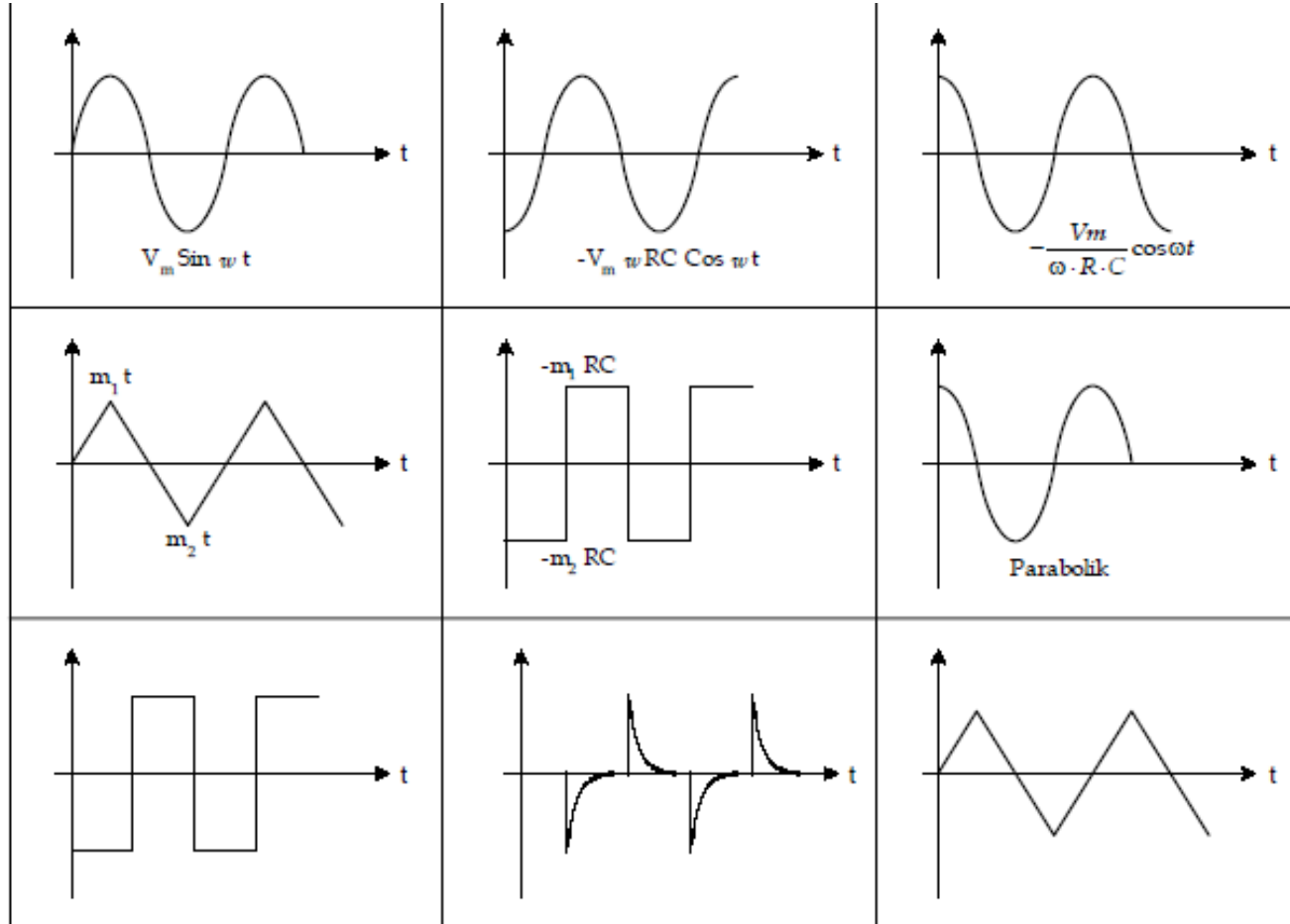
Türev ve integral alıcı devreler

- Türev ve integral alıcı devreler, elektronik endüstrisinde pek çok alanda kullanılırlar.
- Bu durum dikkate alınarak çeşitli işaretler için **türev ve integral alıcı devrenin çıkışlarında oluşturabilecekleri dalga biçimleri** aşağıdaki şekilde verilmiştir.

Opamp'la gerekleştirilen trev ve entegral alıcı devrelerinin bazı giriş işaretlerinde ıkış dalgabimleri

Giriş işareti Dalga şekli	Opamp'la Trevi (dV/dt)	Opamp'la Entegrali
 <p>A graph showing a constant input voltage V over time t. The vertical axis is labeled V and the horizontal axis is labeled t. A horizontal line is drawn at the level of V.</p>	 <p>A graph showing the derivative of a constant input, which is zero. The vertical axis is labeled 0 and the horizontal axis is labeled t. A horizontal line is drawn at the level of 0.</p>	 <p>A graph showing the integral of a constant input, which is a negative ramp. The vertical axis is labeled $-\frac{V}{R \cdot C}t$ and the horizontal axis is labeled t. A line starts at the origin and slopes downwards with a negative slope.</p>
 <p>A graph showing a linear ramp input mt over time t. The vertical axis is labeled mt and the horizontal axis is labeled t. A line starts at the origin and slopes upwards with a positive slope. The word "rampa" is written below the graph.</p>	 <p>A graph showing the derivative of a linear ramp input, which is a constant negative value $-mRC$. The vertical axis is labeled $-mRC$ and the horizontal axis is labeled t. A horizontal line is drawn at the level of $-mRC$.</p>	 <p>A graph showing the integral of a linear ramp input, which is a negative parabolic curve. The vertical axis is labeled $-\frac{mt^2}{2 \cdot R \cdot C}$ and the horizontal axis is labeled t. A curve starts at the origin and slopes downwards, forming a parabola.</p>

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



Örnek video anlatımları

<https://www.youtube.com/watch?v=EDAscqV0XmY> (Türev-İntegral alıcı devre teorisi)
<https://www.youtube.com/watch?v=v3farOa6ES4> (İntegral alıcı devre proteus simülatörü)
<https://www.youtube.com/watch?v=mm1ZSs40dv8> (Türev alıcı devre proteus simülatörü)