

ANALOG TÜMDEVRE YAPILARI VE UYGULAMALARI

ELE 428 Endüstriyel Elektronik

H. Hakan Kuntman

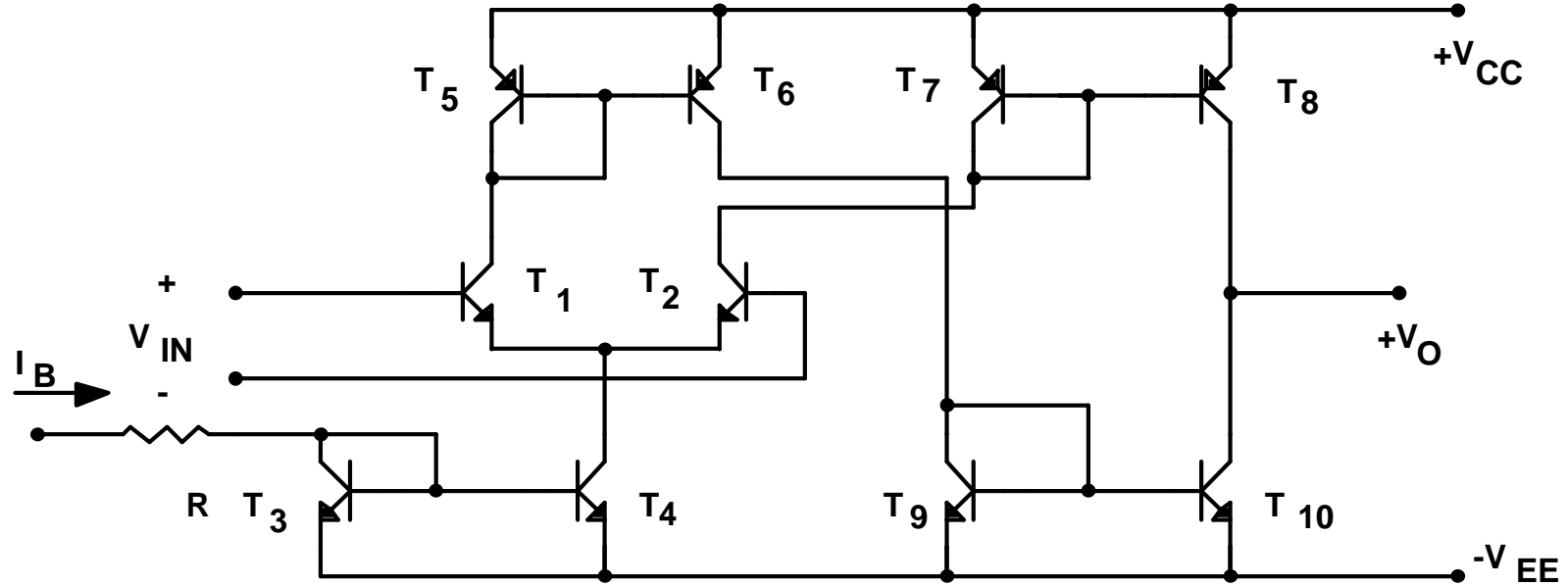
2014

İşlemsel kuvvetlendiricilere ve uygulama devrelerine diğer seçenekler:

- İşlemsel geçiş iletkenliği kuvvetlendiricileri (OTA'lar),
- Akım taşıyıcılar (CCII'ler)
- Bu yapılarla devre uygulamaları
- İşlemsel kuvvetlendiricilerin çıkış akımının yükseltilmesi

İşlemsel geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisi, OTA

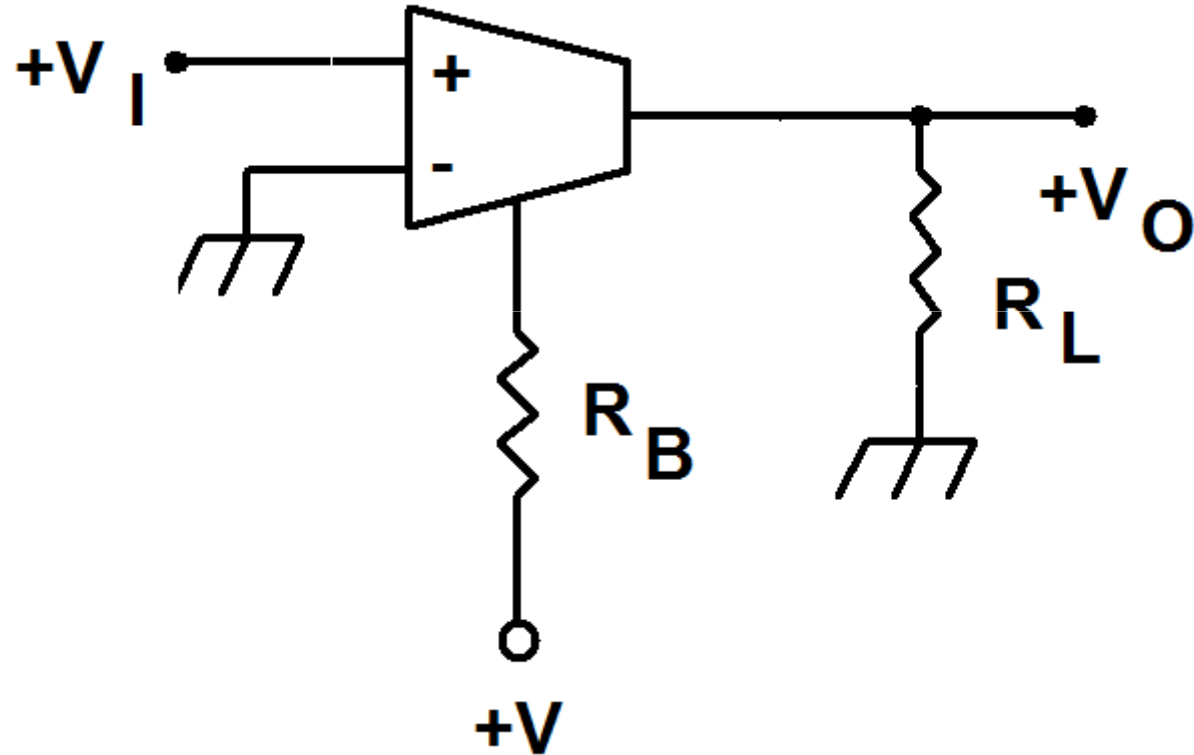
Çeşitli elektronik devre uygulamalarında yaygın bir kullanım alanı bulan devre elemanlarından biri de işlemsel geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisi (OTA) olarak isimlendirilen ve eğimi bir akımla kontrol edilebilen yapı blokudur.



İşlemsel geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisi için BJT gerçekleştirme yapısı.

$$I_O = g_m V_I \quad g_m = \frac{I_B}{2V_T}$$

Gerilim Kuvvetlendirici



İşlemsel geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisi ile kurulan gerilim kuvvetlendiricisi devresi.

Kuvvetlendiriciye dışarıdan bağlanacak R_L yük direnci $R_L \ll r_o$ olmalı,

$$K_V = \frac{v_o}{v_i} = g_m R_L = \frac{I_B R_L}{2V_T}$$

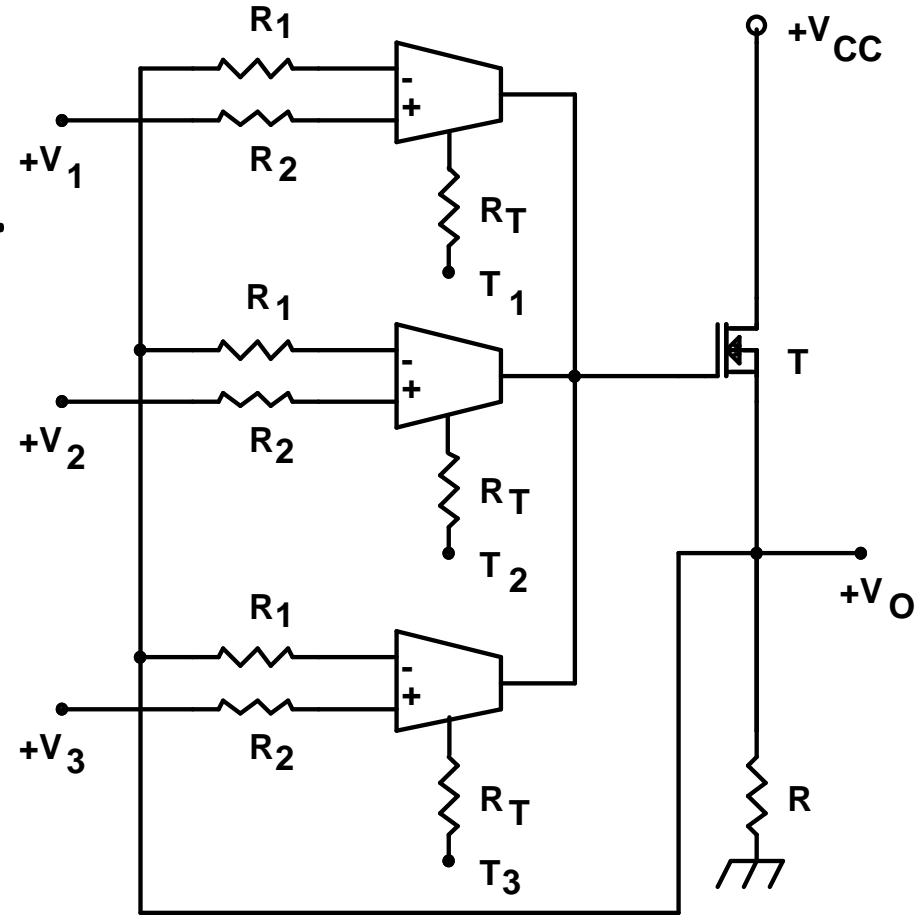
Kuvvetlendiricinin kazancı I_B kutuplama akımı ile orantılı.

İşlemsel geçiş iletkenliği kuvvetlendiricilerinin başlıca uygulama alanları arasında gerilim yahut akım kontrollu kuvvetlendiricilerin, örnekleme-tutma devrelerinin, çoğullayıcı devrelerin, analog çarpma devrelerinin, aktif süzgeçlerin gerçekleştirilmesi yer almaktadır.

Çoğullayıcı

Üç kanallı bir çoğullayıcı devresi Şekilde verilmiştir.

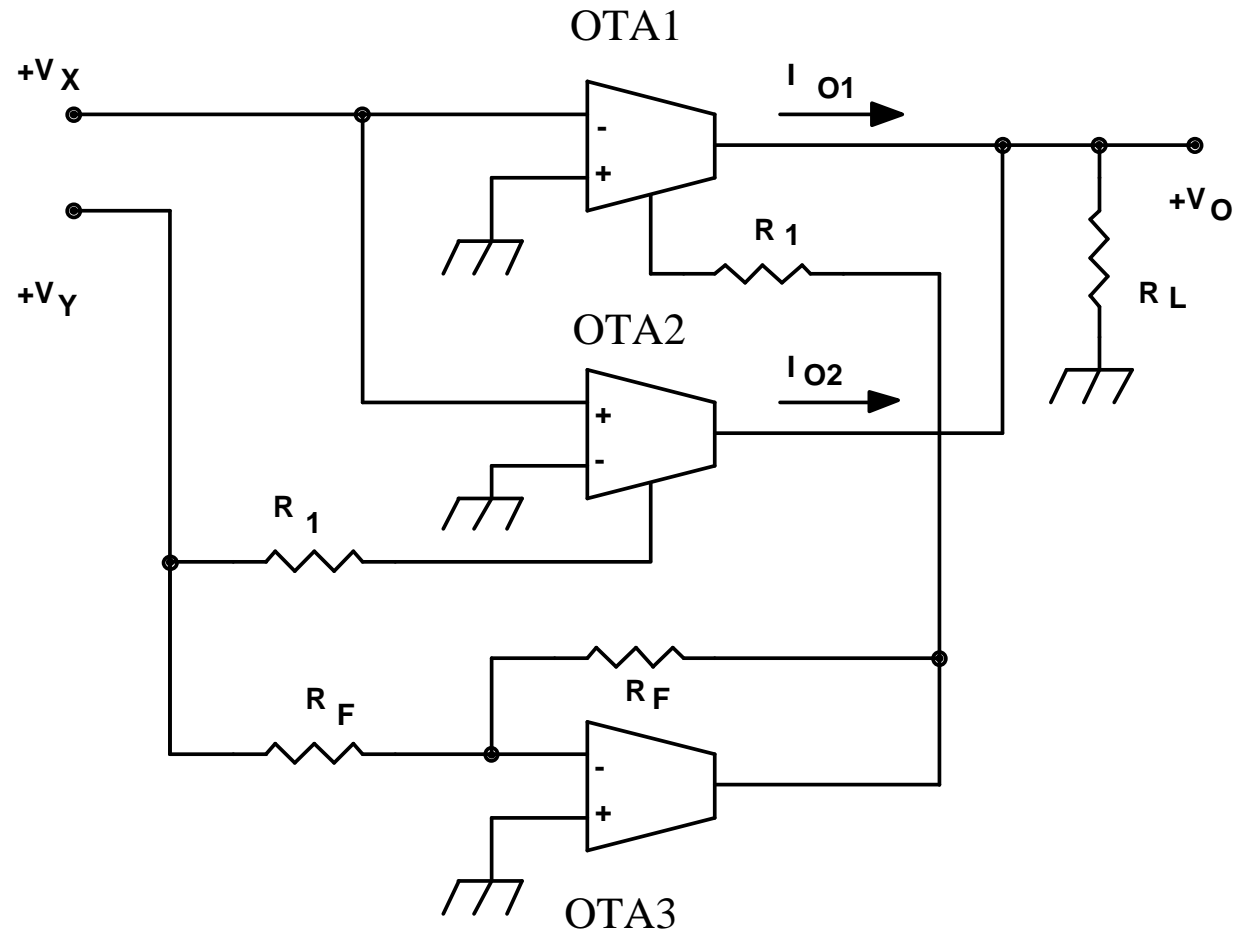
Yapı üç geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisi ve bir MOSFET ile kurulmuştur.



- Geçiş iletkenliği kuvvetlendiricilerinin yüksek empedanslı çıkışları paralel bağlanmıştır.
- Kuvvetlendiricilerin kutuplama girişlerine birer R_T direnci üzerinden tarama işaretleri uygulanır.
- İlgili tarama işaretinin yüksek seviyeye getirilmesiyle kuvvetlendiricilerden biri seçilmiş olur ve aktif hale gelir.
- Bu durumda, o kuvvetlendiricinin girişine uygulanan gerilim ortak çıkış noktasına aktarılmış olur.
- Devredeki MOS tranzistor ayırıcı kat olarak görev yapar.
- MOS tranzistorun kaynak ucundan her bir kuvvetlendiricinin faz döndüren girişine geribesleme uygulanmıştır.

- Kuvvetlendiricilerden birinin seçilmesi durumunda, sistem geribeslemeli ve birim kazançlı bir kuvvetlendirici olarak çalışır.
- Yapıyı daha değişik bir biçimde kurarak kazançlı kuvvetlendirici elde etmek de mümkündür.
- Bu durumda, sisteme uygulanacak geribeslemenin negatif geribesleme olabilmesi için, geribesleme işaretinin kuvvetlendiricilerin uygun fazdaki girişlerine verilmesi gerekeceği açıktır.

Analog çarpma devresi gerçekleştirilmesi



- Devrede OTA1 ve OTA2 geçiş iletkenliği kuvvetlendiricilerinin ıkışları paralel bağlanmıştır.
- OTA1'in faz döndüren girişi ise OTA2'nin faz döndürmeyen girişine bağlıdır ve buraya V_x giriş gerilimi uygulanmıştır.
- OTA3 geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisi faz döndüren kuvvetlendirici olarak çalıştırılmaktadır.
- Bu kuvvetlendiricinin girişine ve OTA2'nin akım kontrol girişine V_y giriş gerilimi uygulanmaktadır.

Devreye ilişkin bağıntılar

$$I_{O1} = -g_{m1}V_X \quad , \quad I_{O2} = g_{m2}V_X$$

$$V_O = V_X \cdot R_L \cdot [g_{m2} - g_{m1}]$$

$$I_{B2} = \frac{V_Y - (-V_{EE}) + V_{BE}}{R_2}$$

$$k = \frac{1}{2V_T R_2} \quad g_{m1} = k \cdot [-V_Y - (-V_{EE})]$$

$$g_{m2} = k \cdot [V_Y - (-V_{EE})]$$

$$V_{EE} \gg V_{BE}$$

$$V_O = k R_L V_X \{ [-V_{EE} + V_Y] - [-V_{EE} - V_Y] \}$$

$$V_O = 2k R_L V_X V_Y$$

Devre dört bölgesi analog çarpma devresi olarak çalışır.

OTA-C Yapıları

OTA-C süzgeçleri, OTA-C osilatörleri
Sadece aktif eleman ve C kullanılarak
gerçekleştirilen yapılar

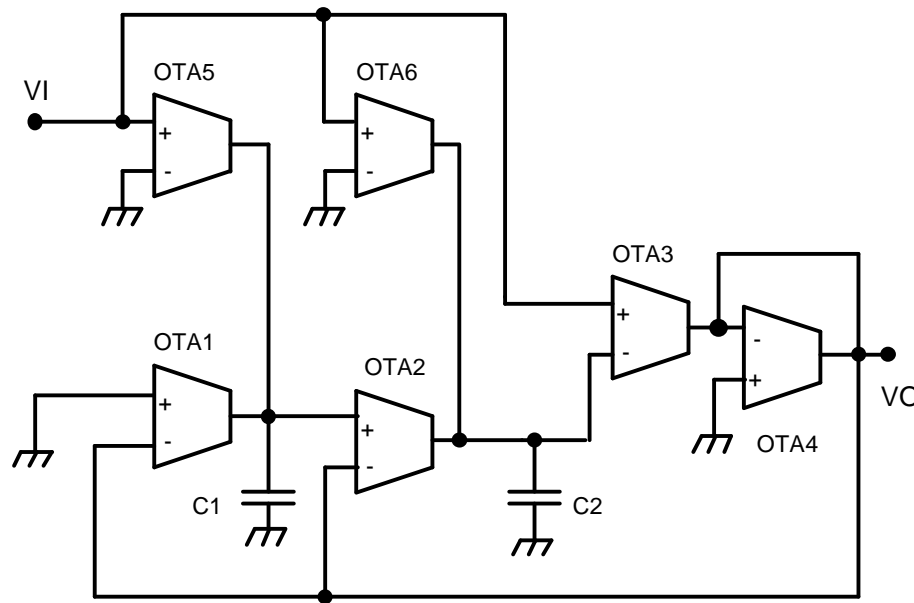
CMOS OTA-C Yapıları

- Sadece geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisi ve kondansatörler kullanılarak gerçekleştirilen yapılar, yüksek frekans devrelerinde oldukça fazla yarar sağlarlar.
- Devrelerin sağladığı en büyük yarar, yapıda endüktans bulunmaması, OTA nın açık çevrimde çalışabilmesidir
- OTA nın eğiminin bir tasarım parametresi olarak kullanılması da elde edilen diğer bir yarar olarak değerlendirilebilir.
- Bu eğim akımın bir fonksiyonu olduğundan OTA nın kuyruk akımının değiştirilmesiyle söz konusu parametre ve bununla da frekansı değiştirme olanağı bulunmaktadır.

CMOS OTA-C aktif süzgeçleri

İkinci dereceden genel transfer fonksiyonu

$$G(s) = \frac{a_2 s^2 + a_1 s + a_0}{s^2 + b_1 s + b_0}$$



$$\frac{g_{m1}}{C_1} = \frac{b_0}{b_1} \quad \frac{g_{m2}}{C_2} = \frac{b_1}{a_2}$$

$$\frac{g_{m3}}{g_{m4}} = a_2 \quad \frac{g_{m5}}{C_1} = \frac{a_0}{b_1}$$

$$\frac{g_{m6}}{C_2} = \frac{a_1}{a_2}$$

$$G(s) = \frac{a_2 s^2 + a_1 s + a_0}{s^2 + b_1 s + b_0} = H \cdot \frac{s^2 + \frac{\omega_Z}{Q_Z} s + \omega_Z^2}{s^2 + \frac{\omega_P}{Q_P} s + \omega_P^2}$$

Alçak geçiren süzgeç

Yüksek geçiren süzgeç

$$G(s) = H_1 \cdot \frac{\omega_P^2}{s^2 + \frac{\omega_P}{Q_P} s + \omega_P^2}$$

$$G(s) = H_2 \cdot \frac{s^2}{s^2 + \frac{\omega_P}{Q_P} s + \omega_P^2}$$

Band geçiren süzgeç

$$G(s) = H_3 \cdot \frac{\frac{\omega_P}{Q_P} s}{s^2 + \frac{\omega_P}{Q_P} s + \omega_P^2}$$

Çentik süzgeç

$$G(s) = H_4 \cdot \frac{s^2 + \omega_Z^2}{s^2 + \frac{\omega_P}{Q_P} s + \omega_P^2}$$

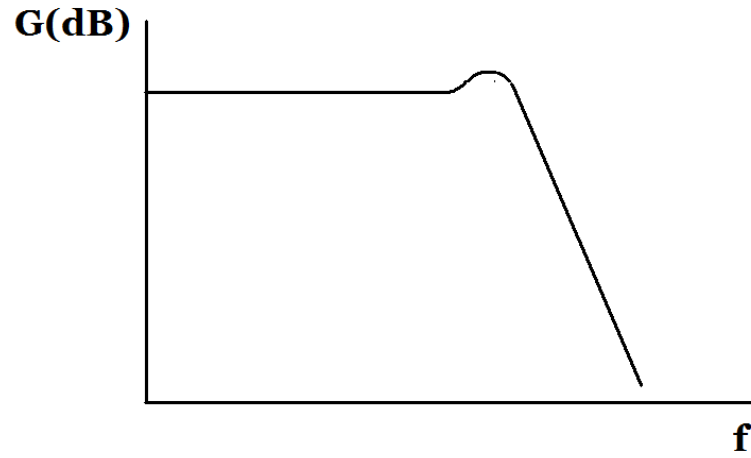
Tüm geçiren süzgeç

$$G(s) = \frac{s^2 - b_1 s + b_0}{s^2 + b_1 s + b_0} = H_5 \cdot \frac{s^2 - \frac{\omega_P}{Q_P} s + \omega_P^2}{s^2 + \frac{\omega_P}{Q_P} s + \omega_P^2}$$

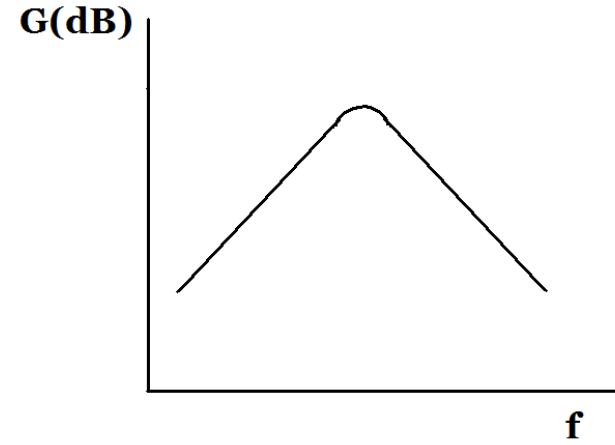
Çentik süzgeç

$$G(s) = H_4 \cdot \frac{s^2 + \omega_Z^2}{s^2 + \frac{\omega_P}{Q_P} s + \omega_P^2}$$

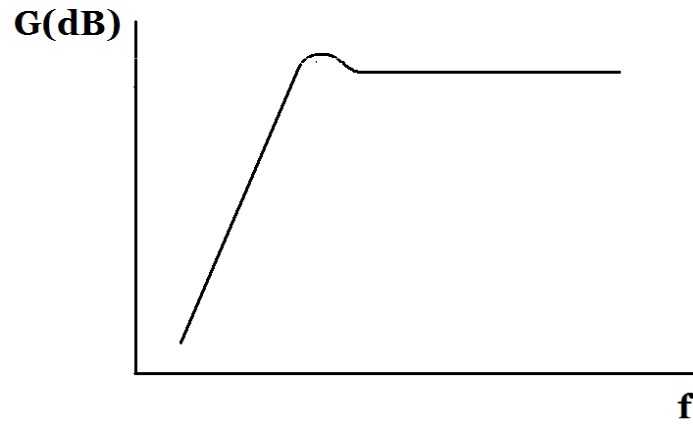
- Alçak geçiren çentik süzgeç $\omega_Z > \omega_P$
- Yüksek geçiren çentik süzgeç $\omega_P > \omega_Z$
- Bant söndüren süzgeç $\omega_P = \omega_Z$



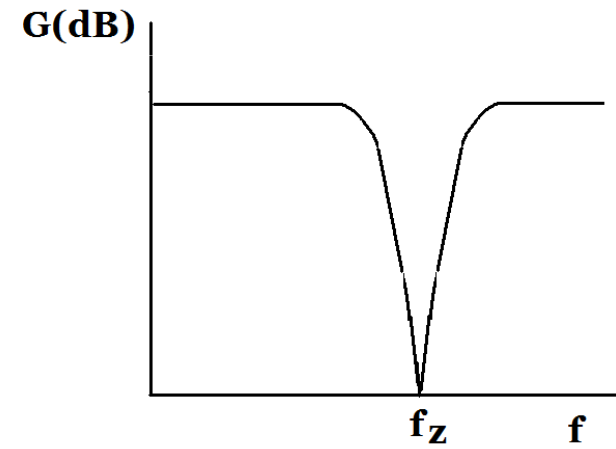
Alçak geçiren süzgeç



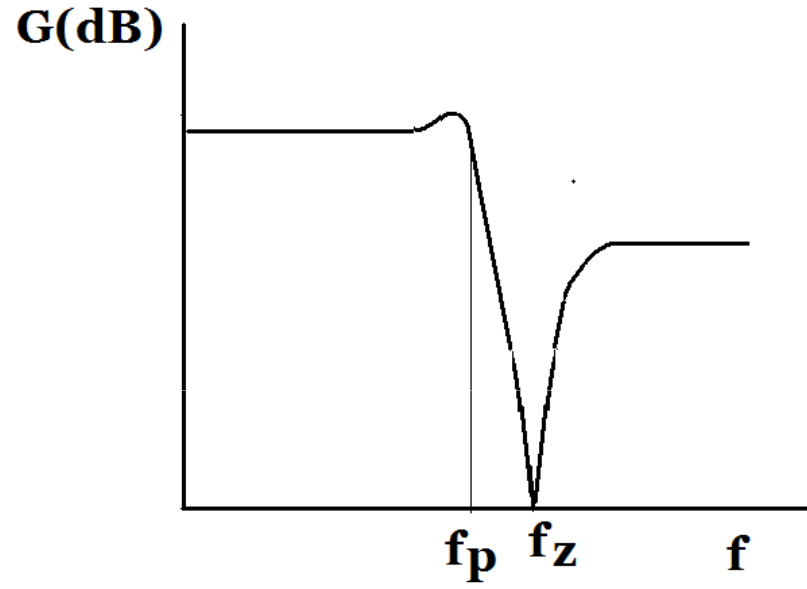
Band geçiren süzgeç



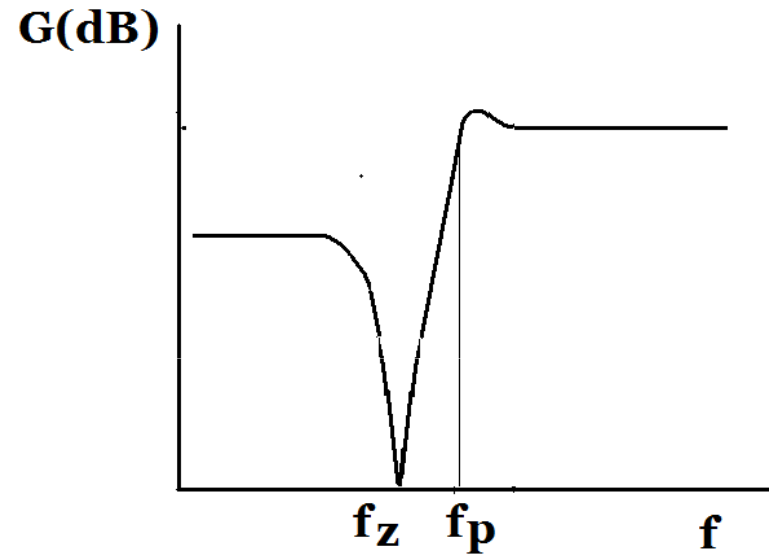
Yüksek geçiren süzgeç



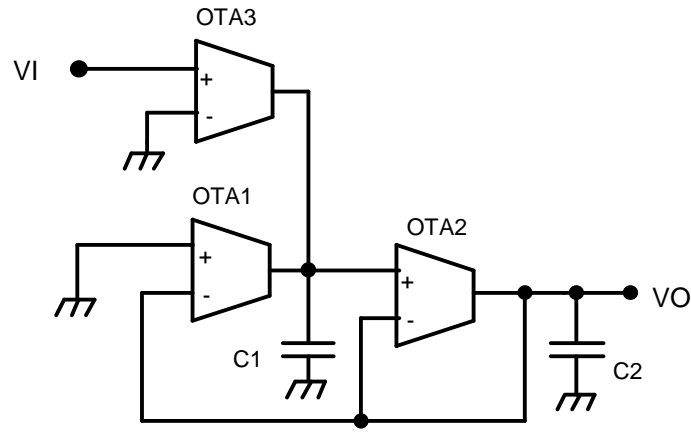
Bant söndüren süzgeç



Alçak geçiren çentik süzgeç $f_z > f_p$



- Yüksek geçiren çentik süzgeç $f_p > f_z$



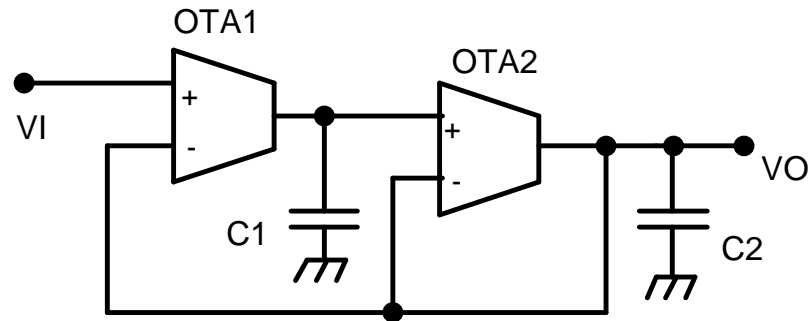
alçak geçiren süzgeç: $a_0 \neq b_0$

$$\frac{a_0}{s^2 + b_1 s + b_0}$$

$$\frac{g_{m1}}{C_1} = \frac{b_0}{b_1}$$

$$\frac{g_{m3}}{C_1} = \frac{a_0}{b_1}$$

$$\frac{g_{m2}}{C_2} = b_1$$



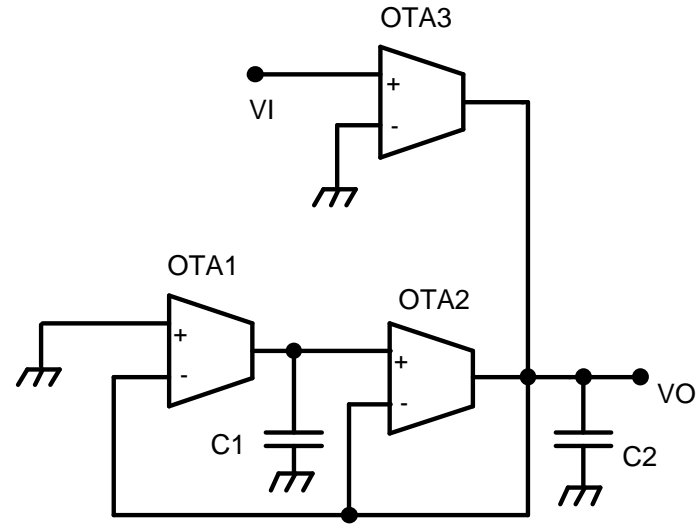
alçak geçiren süzgeç: $a_0 = b_0$

$$\frac{a_0}{s^2 + b_1s + b_0}$$

$$a_0 = b_0$$

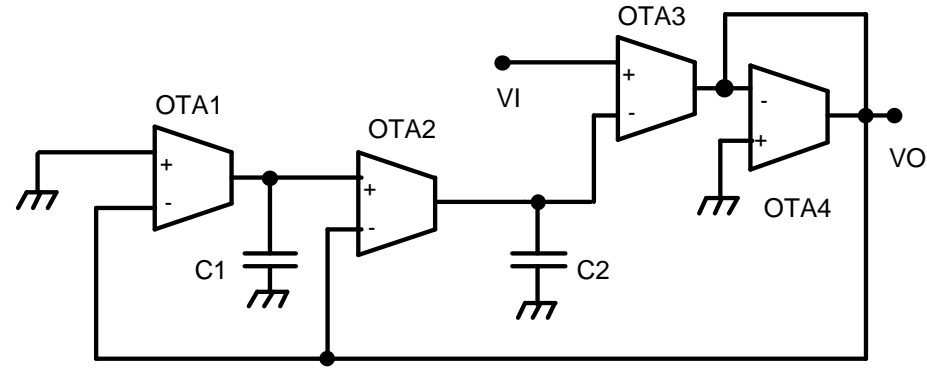
$$\frac{g_{m1}}{C_1} = \frac{b_0}{b_1}$$

$$\frac{g_{m2}}{C_2} = b_1$$



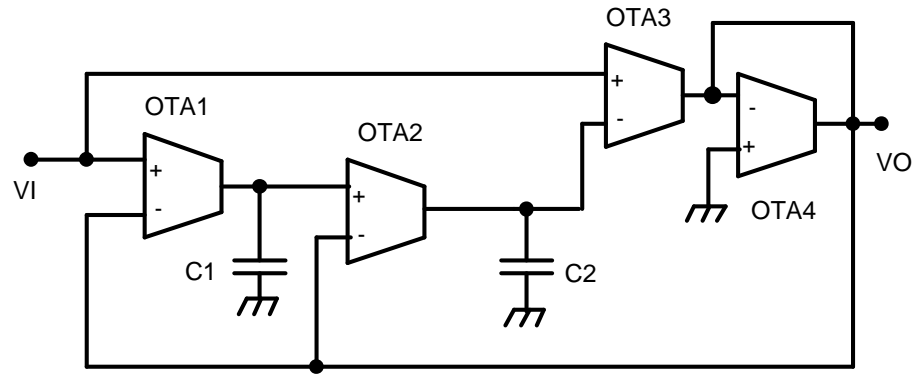
bant geçiren süzgeç

$$\frac{a_1 s}{s^2 + b_1 s + b_0} \quad \frac{g_{m1}}{C_1} = \frac{b_0}{b_1} \quad \frac{g_{m3}}{C_2} = a_1 \quad \frac{g_{m2}}{C_2} = b_1$$



yüksek geçiren süzgeç

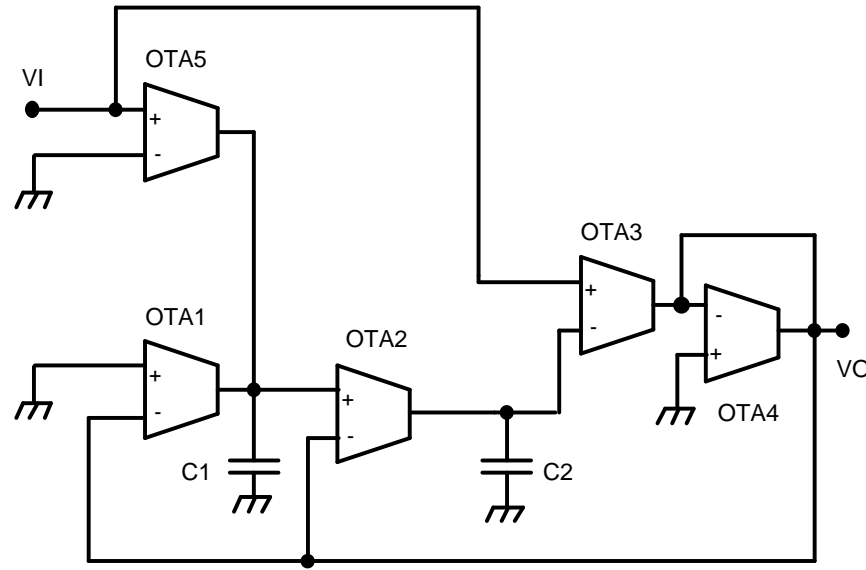
$$\frac{a_2 s^2}{s^2 + b_1 s + b_0} \quad \frac{g_{m1}}{C_1} = \frac{b_0}{b_1} \quad \frac{g_{m2}}{C_2} = \frac{b_1}{a_2} \quad \frac{g_{m3}}{g_{m4}} = a_2$$



band söndüren süzgeç $a_0 = b_0$

$$\frac{a_2 s^2 + a_0}{s^2 + b_1 s + b_0} \quad \frac{g_{m1}}{C_1} = \frac{b_0}{b_1} \quad \frac{g_{m3}}{g_{m4}} = a_2 \quad \frac{g_{m2}}{C_2} = \frac{b_1}{a_2}$$

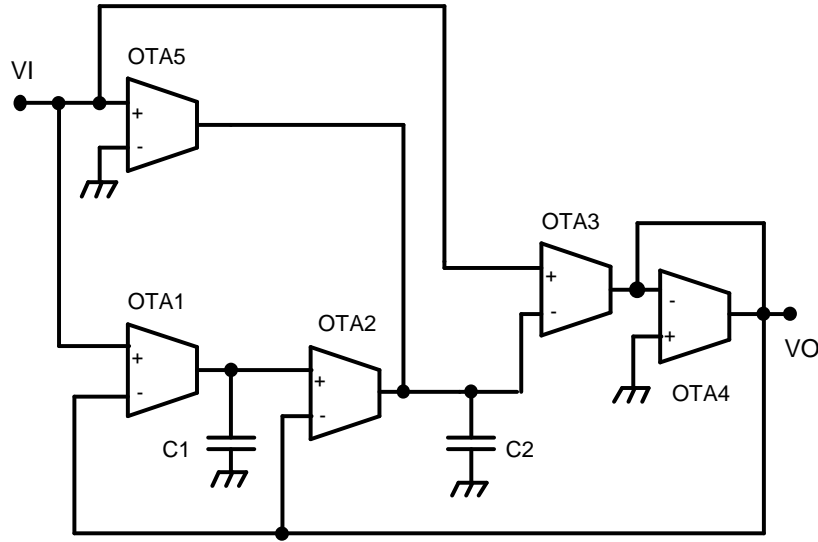
$$a_0 = b_0$$



Çentik (band söndüren) süzgeç $a_0 \neq b_0$

$$\frac{a_2 s^2 + a_0}{s^2 + b_1 s + b_0} \quad \frac{g_{m1}}{C_1} = \frac{b_0}{b_1} \quad \frac{g_{m2}}{C_2} = \frac{b_1}{a_2} \quad \frac{g_{m5}}{C_1} = \frac{a_0}{b_1}$$

$$\frac{g_{m3}}{g_{m4}} = a_2$$



tümgeçiren süzgeç

$$\frac{s^2 - b_1 s + b_0}{s^2 + b_1 s + b_0}$$

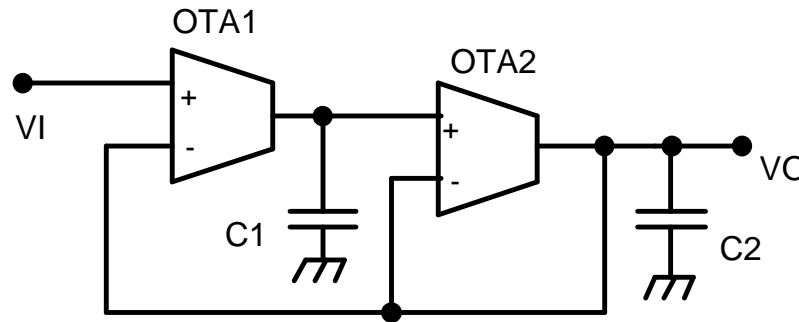
$$\frac{g_{m1}}{C_1} = \frac{b_0}{b_1}$$

$$\frac{g_{m2}}{C_2} = \frac{b_1}{a_2}$$

$$\frac{g_{m5}}{C_2} = b_1$$

$$\frac{g_{m3}}{g_{m4}} = 1$$

Örnek: 3MHz Butterworth alçak geçiren süzgeç, $a_0 = b_0$



$$b_0 = \omega_P^2$$

$$G(s) = \frac{b_0}{s^2 + b_1 s + b_0} = \frac{\omega_P^2}{s^2 + \frac{\omega_P}{Q_P} s + \omega_P^2}$$

$$b_1 = \frac{\omega_P}{Q_P}$$

$$a_0 = b_0 \quad \frac{g_{m1}}{C_1} = \frac{b_0}{b_1} \quad \frac{g_{m2}}{C_2} = b_1$$

Butterworth süzgeci için

$$Q_P = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0.707$$

$$\begin{aligned}\omega_P &= 2 \cdot \pi \cdot f_P = 2 \times \pi \times 3 \times 10^6 \\ &= 18.84 \times 10^6 \text{ rad / sn}\end{aligned}$$

$$b_0 = \omega_P^2 \qquad b_1 = \frac{\omega_P}{Q_P} = \frac{g_{m2}}{C_2}$$

$$b_0 = \omega_P^2 = \frac{g_{m1}}{C_1} \cdot b_1 = \frac{g_{m1}}{C_1} \cdot \frac{g_{m2}}{C_2}$$

Butterworth süzgeci için

$$Q_P = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0.707$$

$$\omega_P = 2 \cdot \pi \cdot f_P = 2 \times \pi \times 3 \times 10^6 \\ = 18.84 \times 10^6 \text{ rad / sn}$$

$$g_{m1} = g_{m2} = 1,33 \text{ mA/V}$$

$$C_1 = 100 \text{ pF}, \quad C_2 = 50 \text{ pF}$$

OTA-C Osilatörleri

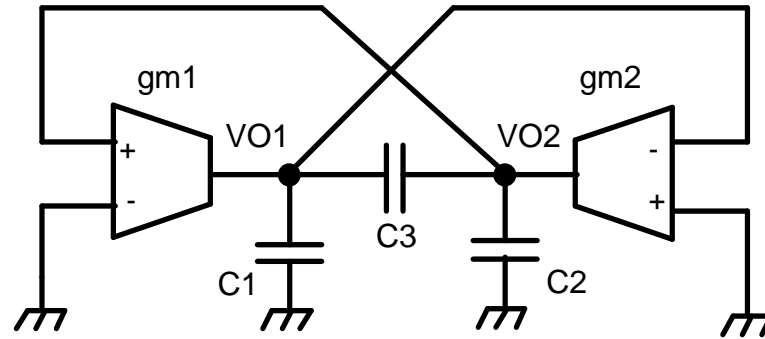
Devrelerin çalışması ikinci dereceden bir osilatör devresinin karakteristik denkleminin elde edilmesine dayanır. Bu karakteristik denklem

$$s^2 - b.s + \Omega_0^2 = 0$$

$b=0$ osilasyon koşulu, Ω_0 osilasyon açısal frekansı

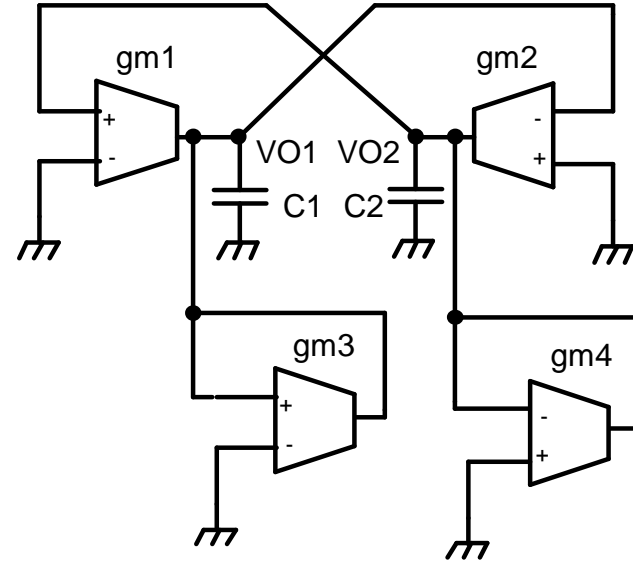
b ve Ω_0 büyüklükleri OTA ların geçiş iletkenliklerinin ve kapasitelerin fonksiyonu

OTA-C Osilatörleri



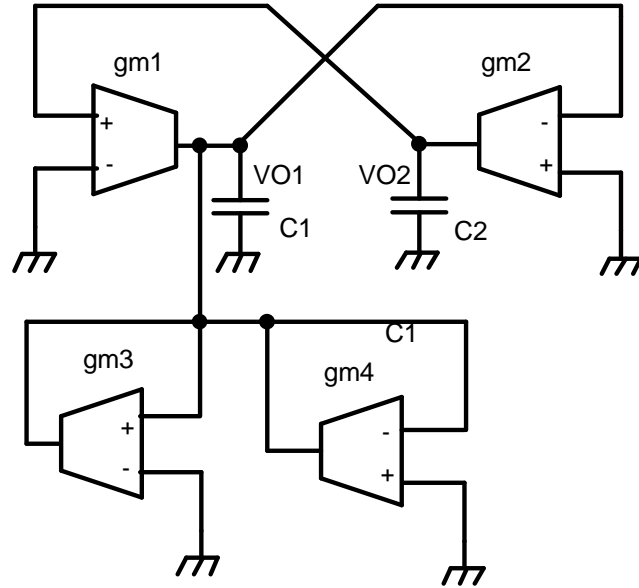
Devre	b	Ω_0^2
2OTA3C osilatörü	$\frac{(g_{m1} - g_{m2})C_3}{(C_1 + C_3)(C_2 + C_3) - C_3^2}$	$\frac{g_{m1} \cdot g_{m2}}{(C_1 + C_3)(C_2 + C_3) - C_3^2}$

OTA-C Osilatörleri



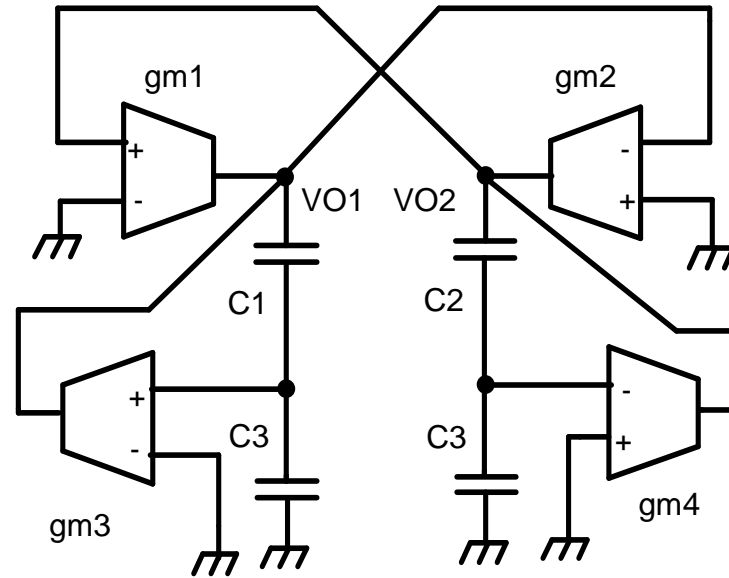
Devre	b	Ω_0^2
4OTA2CI osilatörü	$\frac{g_{m3} \cdot C_2 - g_{m4} \cdot C_1}{C_1 \cdot C_2}$	$\frac{g_{m1} \cdot g_{m2} - g_{m3} \cdot g_{m4}}{C_1 \cdot C_2}$

OTA-C Osilatörleri



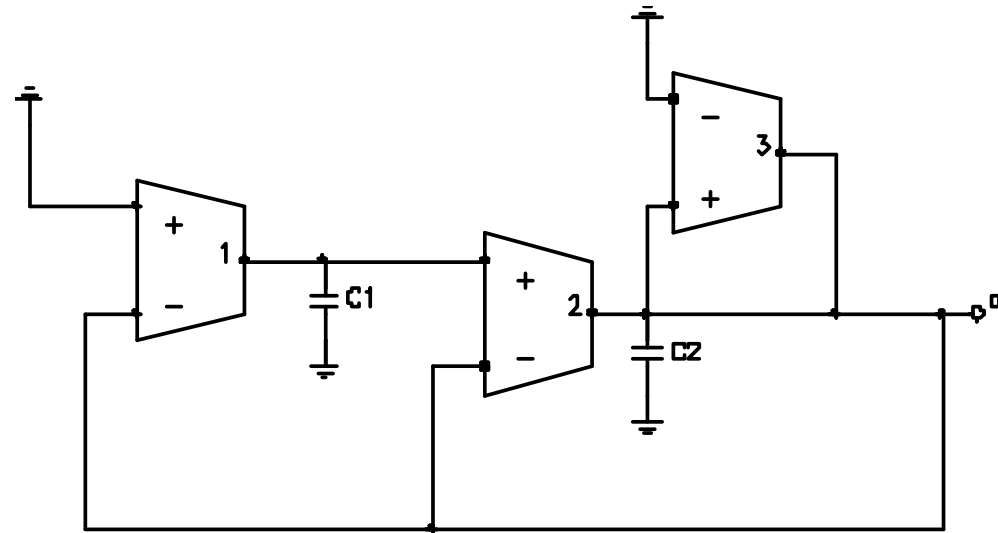
Devre	b	Ω_0^2
4OTA2CII osilatörü	$\frac{(g_{m3} - g_{m4}) \cdot C_2}{C_1 \cdot C_2}$	$\frac{g_{m1} \cdot g_{m2}}{C_1 \cdot C_2}$

OTA-C Osilatörleri



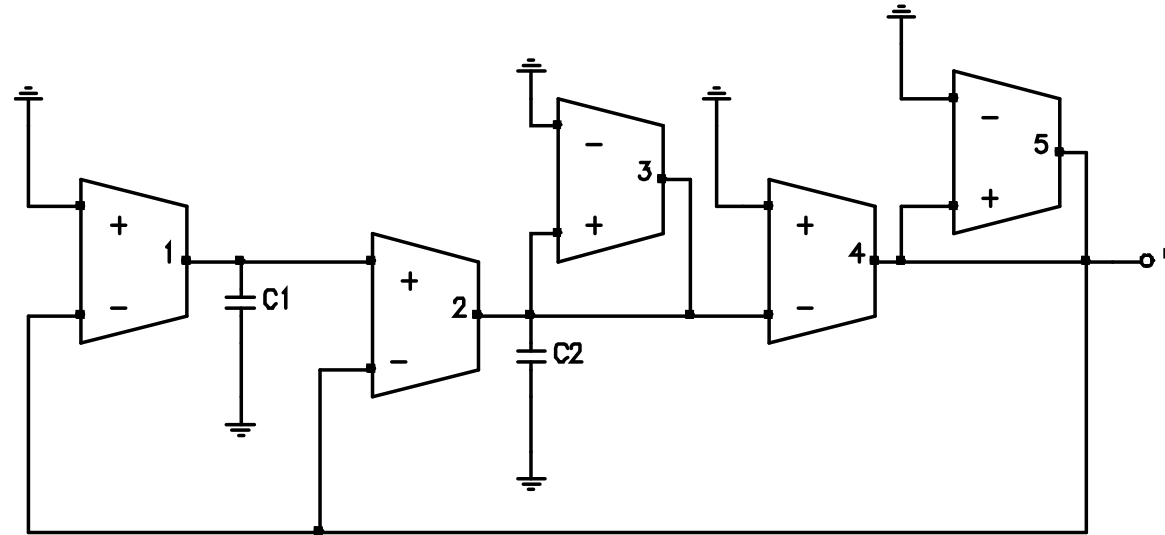
Devre	b	Ω_0^2
4OTA4C osilatörü	$\frac{(g_{m3} - g_{m4}) \cdot \frac{C_1 C_2 C_3}{(C_1 + C_3)(C_2 + C_3)}}{C_1 \cdot C_2}$	$\frac{g_{m1} \cdot g_{m2} \left(1 + \frac{C_1}{C_3}\right) \cdot \left(1 + \frac{C_2}{C_3}\right) - g_{m3} \cdot g_{m4} \frac{C_1 C_2}{C_3^2}}{C_1 \cdot C_2}$

OTA-C Osilatörleri

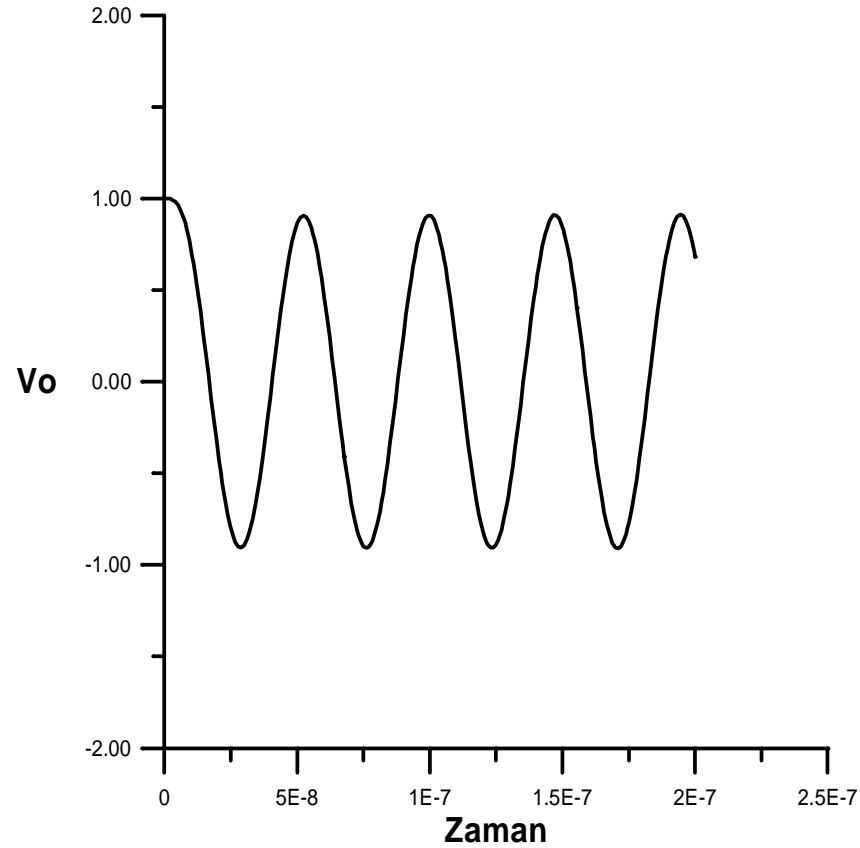


Devre	b	Ω_0^2
3OTA-2C	$\frac{g_{m2} - g_{m3}}{C_2}$	$\frac{g_{m1} \cdot g_{m2}}{C_1 \cdot C_2}$

OTA-C Osilatörleri



Devre	b	Ω_0^2
5OTA-2C	$\frac{\left(\frac{g_{m2} \cdot g_{m4}}{g_{m5}} - g_{m3} \right)}{C_2}$	$\frac{g_{m1} \cdot g_{m2} \cdot g_{m5}}{g_{m4} \cdot C_1 \cdot C_2}$



5OTA-2C devresi için elde edilen benzetim sonucu:

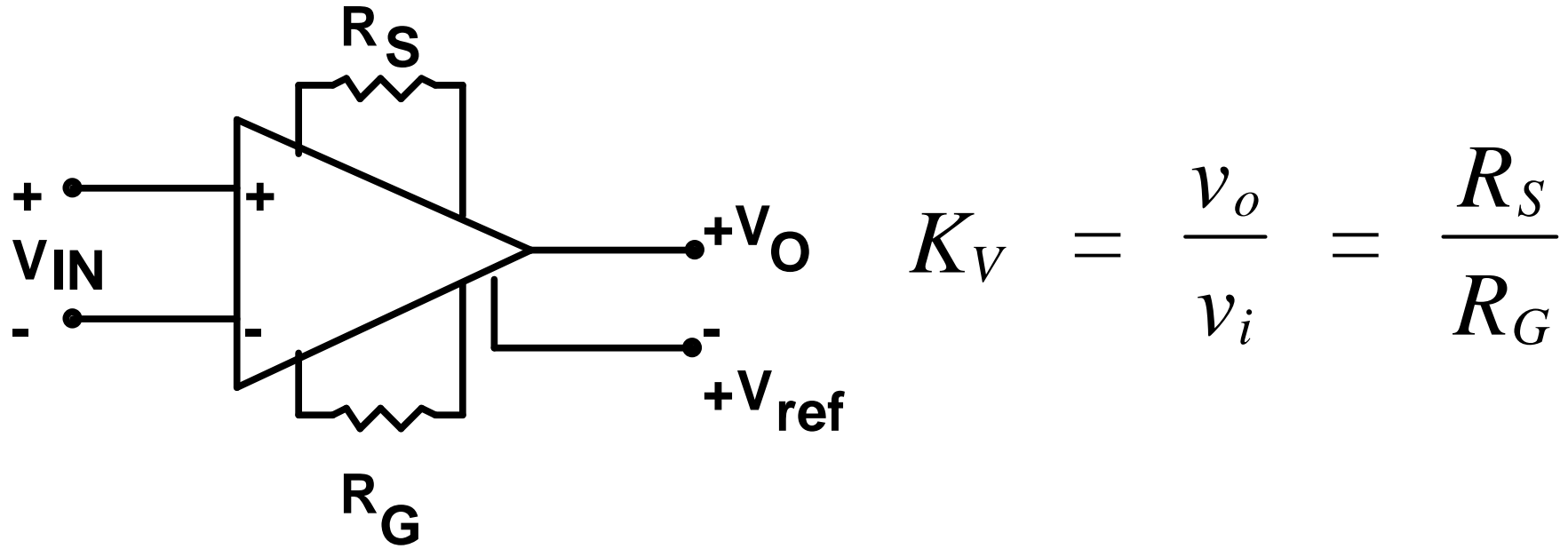
$$C_1=C_2=100\text{pF}, g_{m1}=1 \text{ mA/V}, g_{m2}=1 \text{ mA/V}, \\ g_{m3}=0.7 \text{ mA/V}, g_{m4}=1 \text{ mA/V}, g_{m5}=1 \text{ mA/V}.$$

Enstrümantasyon kuvvetlendiricisi

- Enstrümantasyon ve dönüştürücü uygulamalarında μV 'lar mertebesinde fark işaret gerilimleri ve bunlarla birlikte bulunan büyük değerli ortak işaret gerilimleri söz konusu.
- Bu tür işaretleri kuvvetlendirecek kuvvetlendirici yapıları için 100 dB mertebesinde ortak işareti bastırma oranı gerekli olur.
- Bu özellik, klasik işlemsel kuvvetlendirici yapılarıyla sağlanamaz.
- Bu tür işaretlerin kuvvetlendirilmesi için geliştirilen yapılar enstrümantasyon kuvvetlendiricileri olarak isimlendirilirler.

•Enstrümantasyon kuvvetlendiricileri çok yüksek bir giriş empedansı ve yine çok yüksek bir ortak işareti zayıflatma oranı gösterirler.

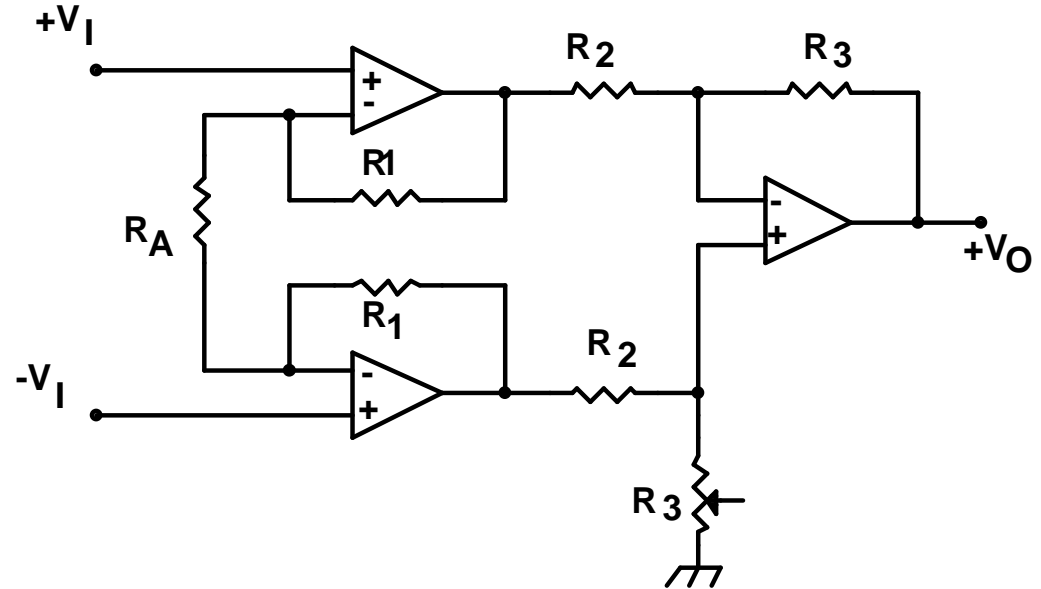
•Bunun yanısıra, enstrümantasyon kuvvetlendiricileri açık çevrimde çalıştırılırlar.



- Giriş işareti doğrudan doğruya kuvvetlendiricinin fark işaret girişlerine uygulanır ve presizyonlu olarak tanımlanmış bir kazanç oranında kuvvetlendirilir.
- Çıkıştan girişe geribesleme yoktur.; katlar üzerine lokal geribesleme uygulanır.
- Devrenin çıkışı düşük empedanslıdır. Kuvvetlendiricinin kazancı R_G kazanç ve R_S duyarlık dirençlerinin oranı ile belirlenir.

- Kuvvetlendiricinin kazancı 1-1000 arasında değerler alabilir.
- Enstrümantasyon kuvvetlendiricisi düşük gürültülü bir kuvvetlendirici yapısıdır; bunun yanısıra dengesizliği ve sürüklenmesi de düşük olur.
- Piyasada tümdevre olarak bulunan enstrümantasyon kuvvetlendiricisi, işlemsel kuvvetlendiricilerden yararlanılarak da gerçekleştirilebilir.

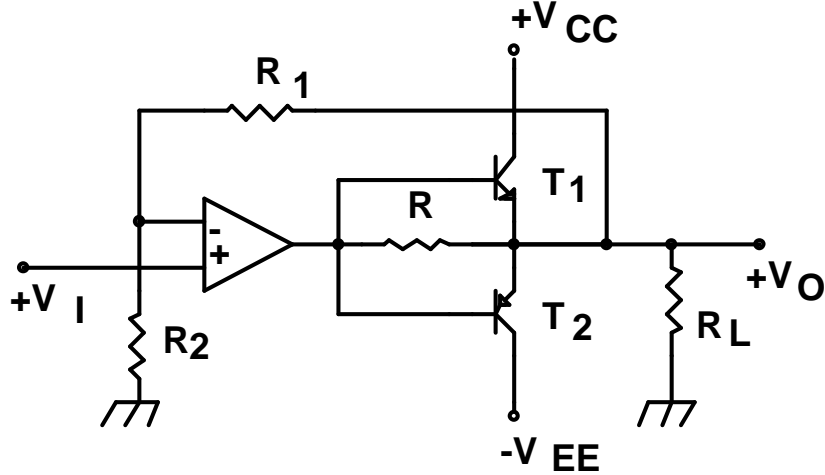
$$K_V = \frac{R_3}{R_2} \frac{2R_1 + R_A}{R_A}$$



İşlemsel kuvvetlendiricinin çıkış akımının arttırılması

- Bir çok endüstriyel devre uygulamasında, devrenin çıkışından çekilecek akım, standart işlemsel kuvvetlendiricilerin çıkışlarından alınabilecek maksimum akım sınırının çok üzerinde bir değer alır.
- Bu nedenle, işlemsel kuvvetlendiricinin amaçlanan tasarımda kullanılabilmesi için, çıkış akımının arttırılması gerekli olur. Ayrıca, güç işlemsel kuvvetlendiricisi olarak düzenlenmiş kuvvetlendirici tümdevrelerinin bulunduğunu belirtmekte de yarar vardır.
- İşlemsel kuvvetlendiricinin çıkış akımını arttırmak üzere dışarıdan BJT, JFET, MOSFET gibi ayırık elemanlar bağlanır.

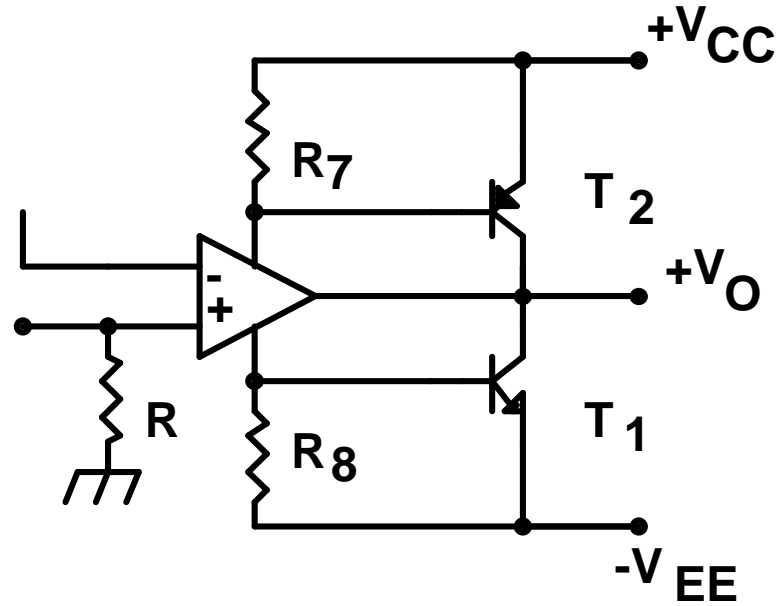
Bipolar tranzistorlar yardımıyla çıkış akımının arttırılması



- npn tipi T_1 tranzistoru ve pnp tipi T_2 tranzistoru eklenmiştir.

- İşlemsel kuvvetlendiricinin çıkışı ile tranzistorların ortak emetör ucu arasında bağlanan R direnci üzerinde oluşacak gerilim düşümü ile tranzistorların baz-emetör gerilimleri sağlanmıştır.

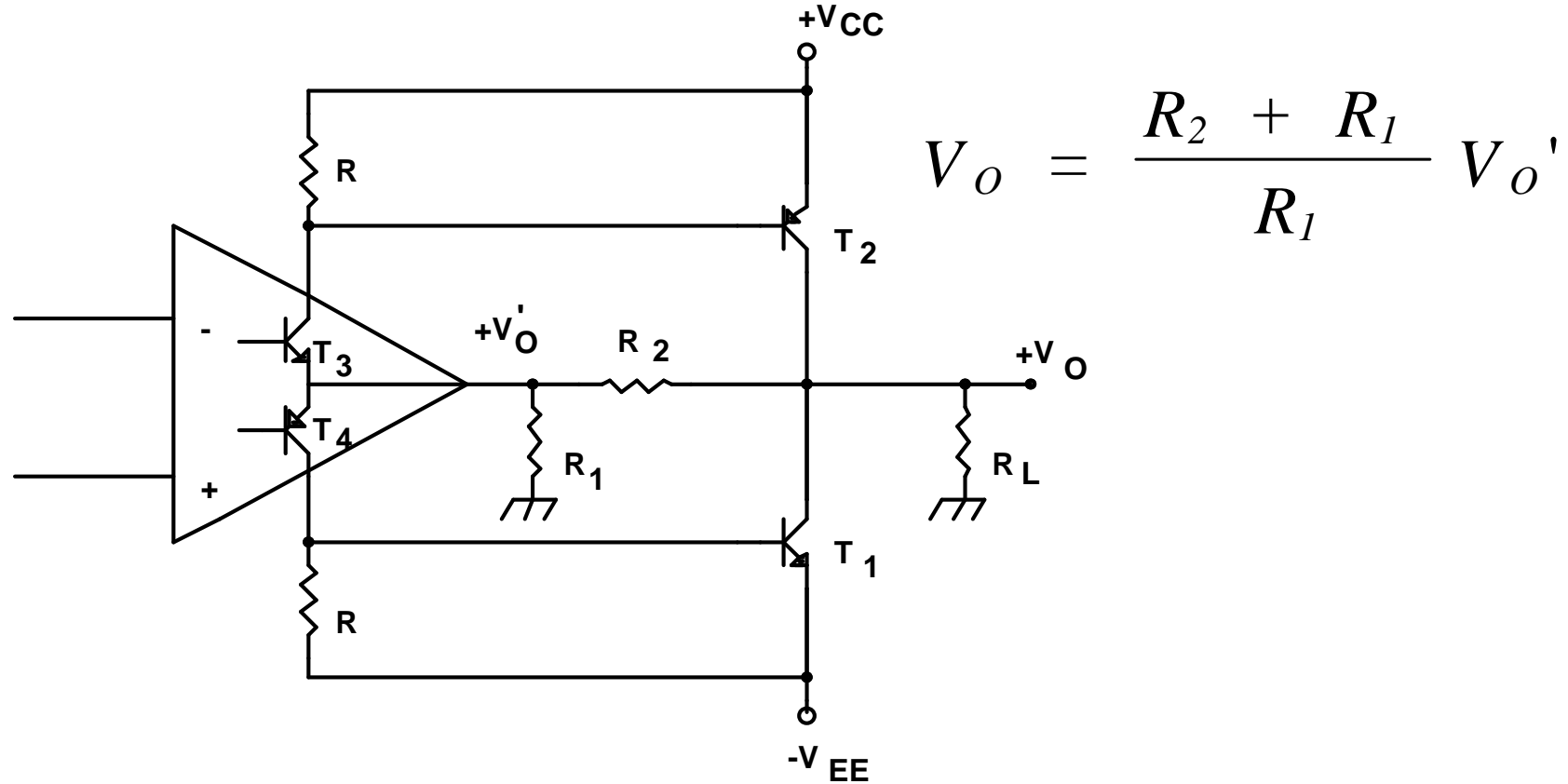
- Çıkış geriliminin düşük seviyelerinde çıkış akımı da düşük değerli olduğundan R direnci üzerindeki gerilim düşümü küçük olur;
- T_1 ve T_2 tranzistorları tıkalı kalırlar. İşaret, R direnci üzerinden çıkışa aktarılır.
- $I_S = V_\gamma / R$ değerine ulaşıldığında, akımı yönüne bağlı olarak, T_1 yahut T_2 ilettime geçer.
- $I_L > I_S$ için $I_L - I_S$ farkı tranzistor üzerinden sağlanır.
- Bu yapıda çıkış gerilimi pozitif yönde $V_{Omax} - V_{BE}$, negatif yönde ise $V_{Omin} + V_{BE}$ değeri ile sınırlıdır.



- Diğer yol, kuvvetlendiricinin besleme yolu üzerine dirençler yerleştirerek çıkış akımı ile orantılı gerilim düşümü elde etmek, elde edilen gerilimlerle bir npn ve bir de pnp tranzistoru kutuplayarak belli bir seviyeden sonra bunların akım akıtmalarını ve kuvvetlendiricinin çıkış akımını desteklemelerini sağlamaktır.

- Düşük akımlarda T_1 ve T_2 tranzistorları akım akıtmaz.
- Çıkış akımı $I_S = V_{\gamma}/R_7$ yahut $I_S = V_{\gamma}/R_8$ değerine ulaştığında ilgili tranzistor iletime geçer ve kolektör akımı akıtmaya başlar.
- Tranzistorlardan ayrıca sükunet akımı akıtılmaz.
- Düşük seviyelerde çıkış akımı işlemsel kuvvetlendiricinin çıkışından sağlanır. Devrede geçiş distorsiyonu oluşmaz.

- Devrede çıkış gerilimi işlemsel kuvvetlendiricinin iki yöndeki doyma gerilimi değerleri ile sınırlıdır.
- Bu nedenle, çıkış gerilimi V_{Omax} ve V_{Omin} değerleri arasında dalgalanabilir.
- Bir kuvvetlendirici devresinde, çıkış işaretinin dalgalanma aralığının büyük olmasının istenen bir özellik olacağı açıktır.
- Birçok endüstriyel uygulamada ise kaynak gerilimi mertebesinde dalgalanma aralığı istenir.



- Pozitif ve negatif besleme gerilimlerine bir tranzistörün doyma gerilimi kadar bir farkla yaklaşmak mümkündür.
- Tümdevrenin T₃ ve T₄ çıkış tranzistörlerinin devreye dışarıdan bağlanan tranzistörlerle birer sözde Darlington çifti oluşturmalarından yararlanır.
- T₂-T₃ ve T₁-T₄ tranzistörlerinin birer sözde Darlington çifti oluştururlar.
- Devreye yerleştirilen R₁ ve R₂ dirençleri ile bu çiftlerin kazançlarının 1' den büyük olması sağlanmıştır.

- Çıkıştan alınabilecek en büyük gerilim değeri $V_{CC} - V_{CEsat}$
- Bu durumda işlemsel kuvvetlendiricinin çıkış gerilimi

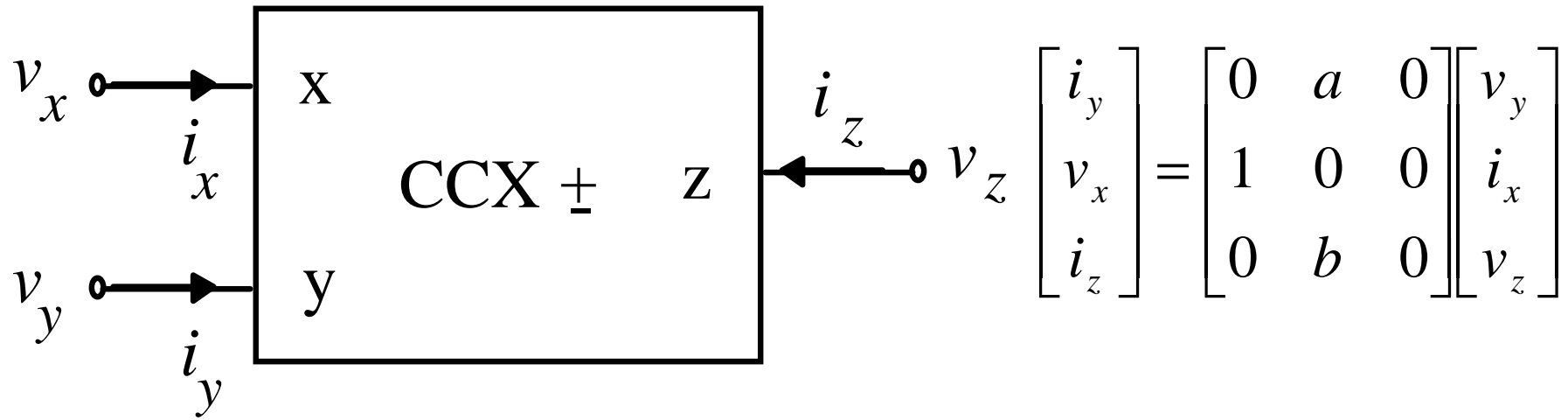
$$V_{O'} = V_{Omaks}$$

$$\frac{V_O}{V_{O'}} = \frac{V_{CC} - V_{CEsat}}{V_{Omaks}} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$$R_2 = \left(\frac{V_{CC} - V_{CEsat}}{V_{Omaks}} - 1 \right) \cdot R_1$$

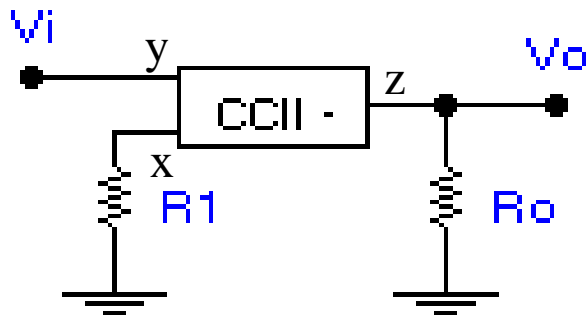
Akım taşıyıcılar

- Akım taşıyıcılar, ilk ortaya atılışlarından bu yana uzunca bir süre geçmiş olmasına rağmen, ancak son yıllarda büyük ölçüde önem kazanmışlardır.
- Türev alıcı devre, integral alıcı devre gibi işlem blokları, osilatör yapıları, süzgeç devreleri gibi işlemsel kuvvetlendirici ile gerçekleştirilen blokların akım taşıyıcılı alternatifleri ve bu alternatiflerin tümleştirilmeye uygun şekilde gerçekleştirilmesine yönelik topolojiler

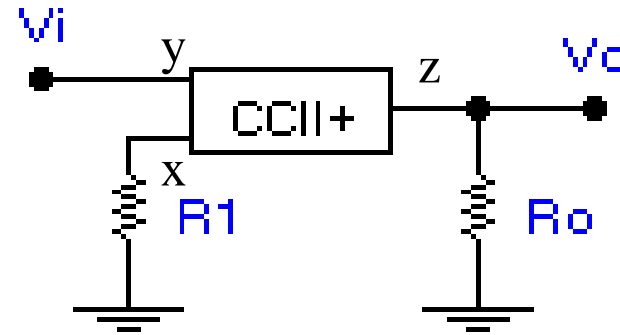


- $a=1$ birinci kuşak akım taşıyıcılar CCI ,
- $a=0$ ikinci kuşak akım taşıyıcılar (CCII)
- CCI için $b=1$ ise faz döndürmeyen veya evirmeyen birinci kuşak akım taşıyıcılar (CCI+),
- $b=-1$ olması durumunda da faz döndüren türden birinci kuşak akım taşıyıcılar (CCI-)
- İkinci kuşak akım taşıyıcılarda (CCII) $b=1$ için faz döndürmeyen (CCII+)
- $b=-1$ için de faz döndüren(CCII-) yapılar

Endüstriyel uygulamalarda işaretlerin işlenmesi için yaygın olarak kullanılacak işlem blokları

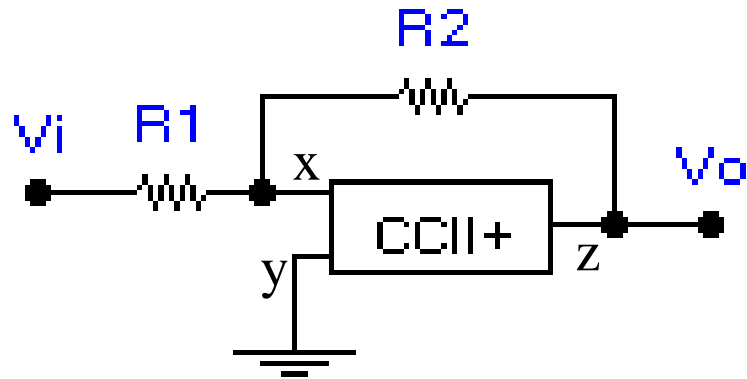


$$V_0 = -\frac{R_0}{R_1} V_i$$

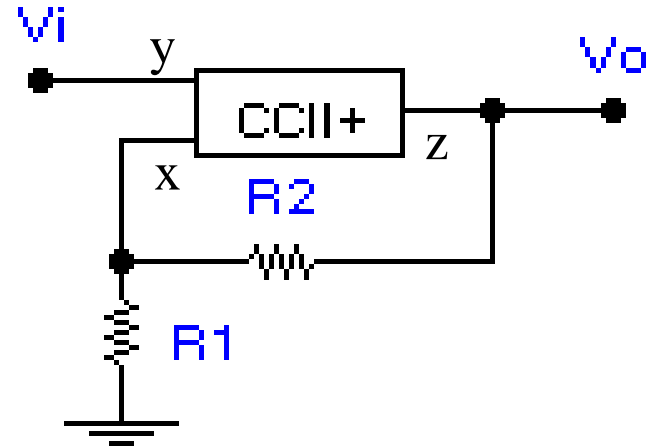


$$V_0 = \frac{R_0}{R_1} V_i$$

Eviren ve evirmeyen kuvvetlendiriciler

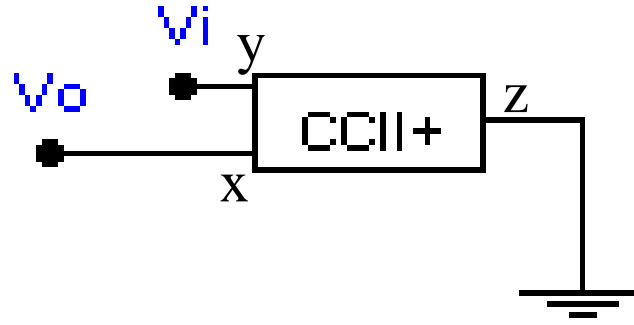


$$V_0 = -\frac{R_2}{2R_1} V_i$$



$$V_0 = \left(1 + \frac{R_2}{2R_1}\right) V_i$$

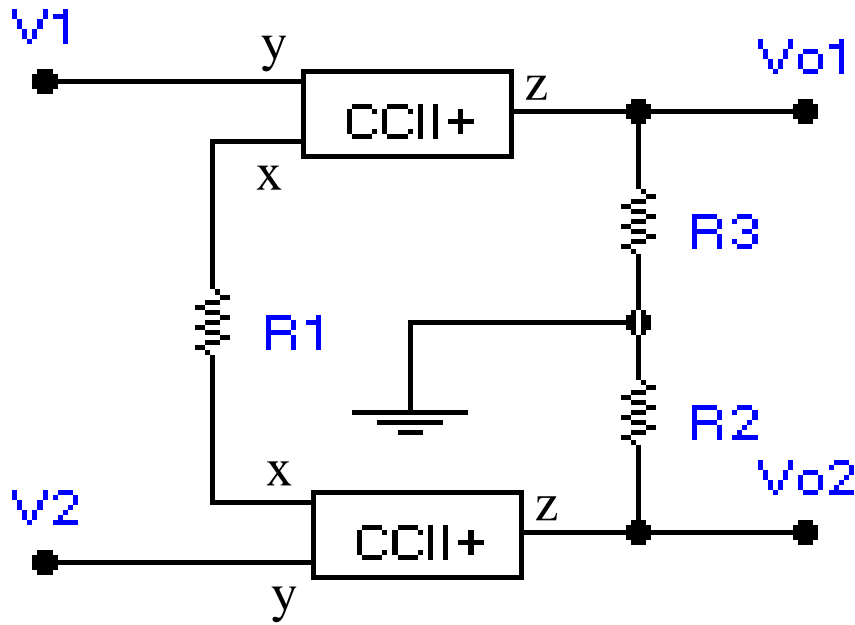
Geribeslemeli eviren ve evirmeyen kuvvetlendiriciler



$$V_0 = V_i$$

Gerilim izleyici

Bu devrede x ucundaki gerilim y ucundaki gerilimi izlemektedir.



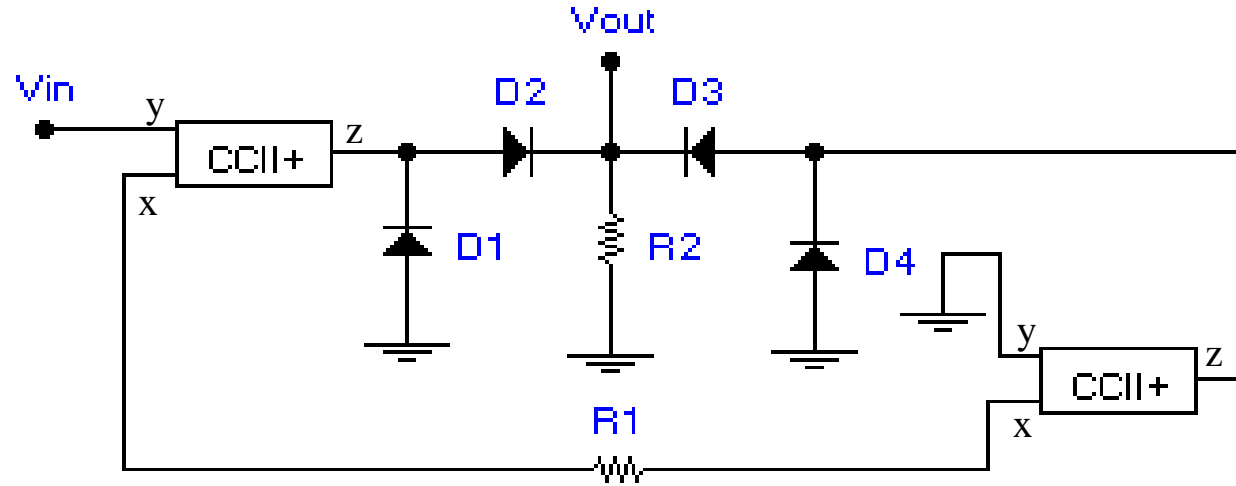
$$V_{01} = (V_1 - V_2) \frac{R_3}{R_1}$$

$$V_{02} = (V_2 - V_1) \frac{R_2}{R_1}$$

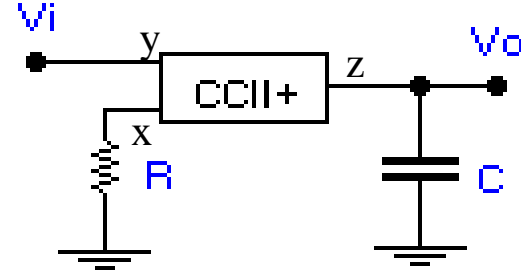
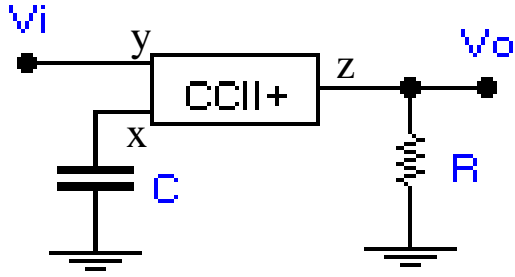
Enstrümantasyon kuvvetlendiricisi

- Yüksek doğruluklu direnç uyumuna gerek duymaksızın yüksek CMRR

Band genişliğinde düşme olmadan yüksek kazanç olanağı



Tam dalga doğrultucu, çift yollu doğrultucu



§

$$V_0 = RC \frac{dV_i}{dt}$$

$$V_0 = \frac{1}{RC} \int V_i dt$$

Türev alıcı ve integratör

yapılar evirmeyen akım taşıyıcılarla (CCII+) oluşturulmuşlardır.

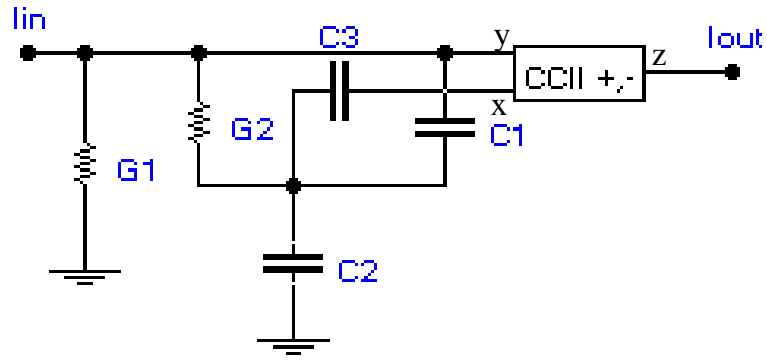
Aktif Süzgeçler

Alçak geçiren, yüksek geçiren, band geçiren band söndüren ve tümgeçiren süzgeç yapıları, akım taşıyıcılar, R ve C elemanları ile gerek gerilim gerekse akım modunda kolayca gerçekleştirilebilirler.

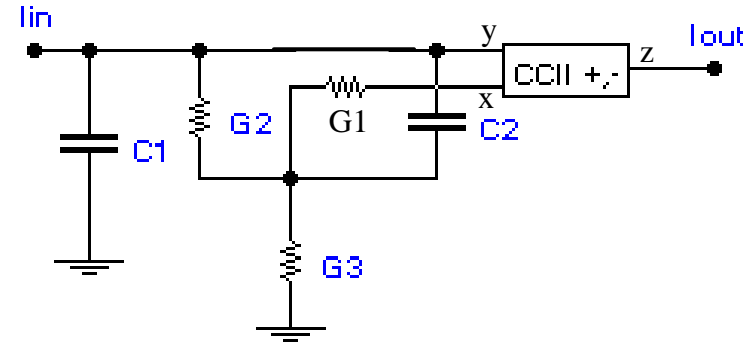
Tek akım taşıyıcı ile gerçekleştirilen
biquadratik akım modlu süzgeç örneği

$$\frac{I_{out}}{I_{in}} = \pm \frac{y_3 y_4}{y_1 (y_2 + y_3 + y_4) + y_2 y_4}$$

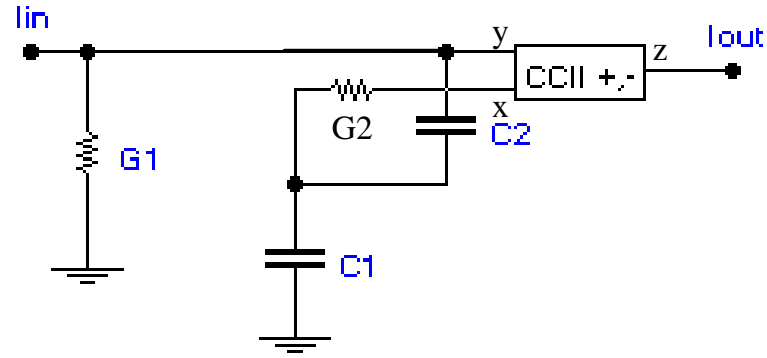
+ işareti CCII+, ve eksi işareti CCII- için
geçerlidir.



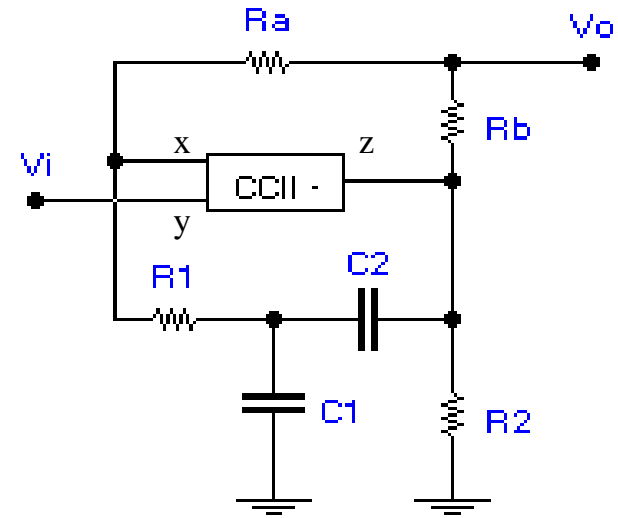
Yüksek geçiren süzgeç



Alçak geçiren süzgeç



Band geçiren süzgeç

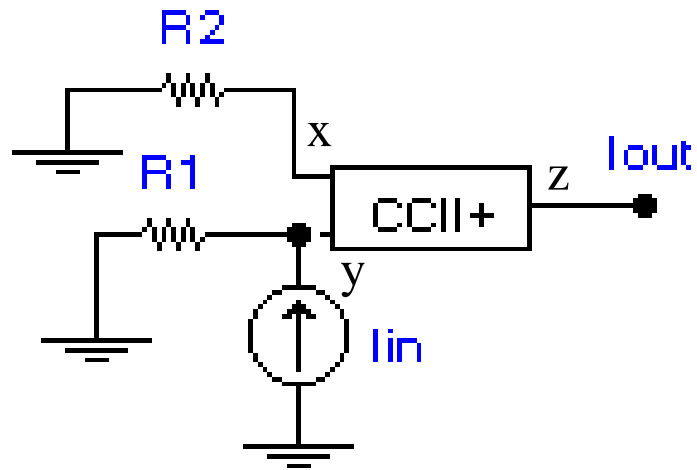


Çentik süzgeç

ω_0 ve Q değerini veren bağıntılar

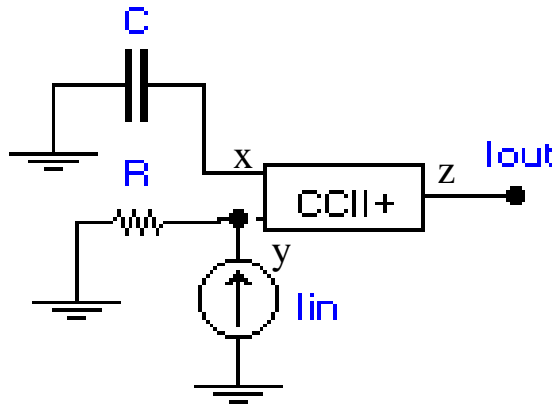
$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}$$

$$Q = \frac{1}{C_1 + C_2} \sqrt{\frac{R_2 C_1 C_2}{R_1}}$$

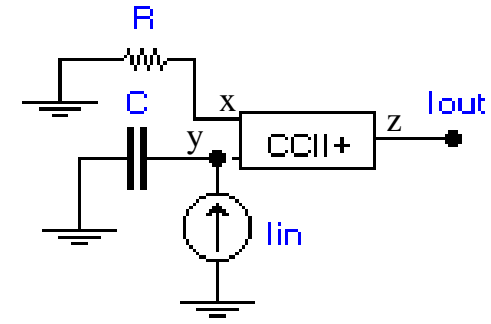


$$I_{out} = \frac{R_1}{R_2} I_{in}$$

Akım kuvvetlendiricisi

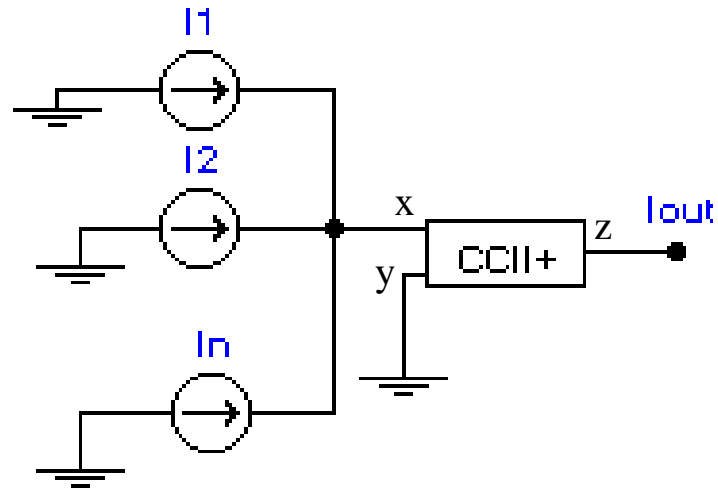


$$I_{out} = RC \frac{dI_{in}}{dt}$$



$$I_{out} = \frac{1}{RC} \int I_{in} dt$$

Akım için türev ve integral devresi



$$I_{out} = - \sum_{k=1}^n I_k$$

Akım toplayıcı

CCII+ yerine CCII- kullanılarak evirmeyen türden devre elde edilebilir.

Tümleşik analog çarpma devreleri

Analog çarpma devreleri, giriş gerilimlerinin çarpımıyla orantılı çıkış gerilimi veren düzenlerdir ve aradaki ilişki

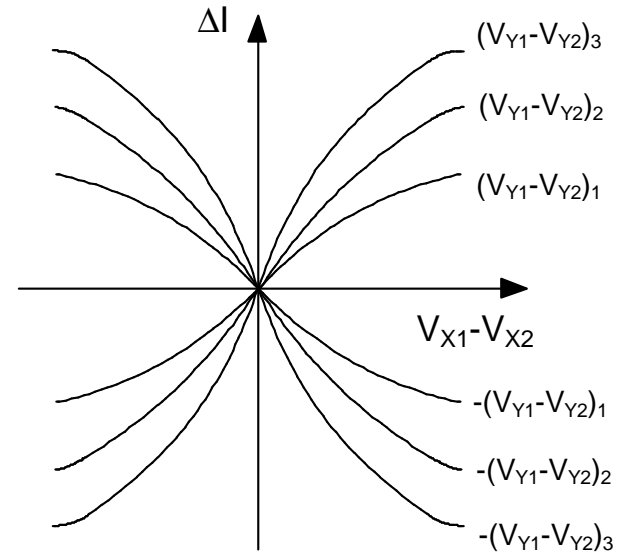
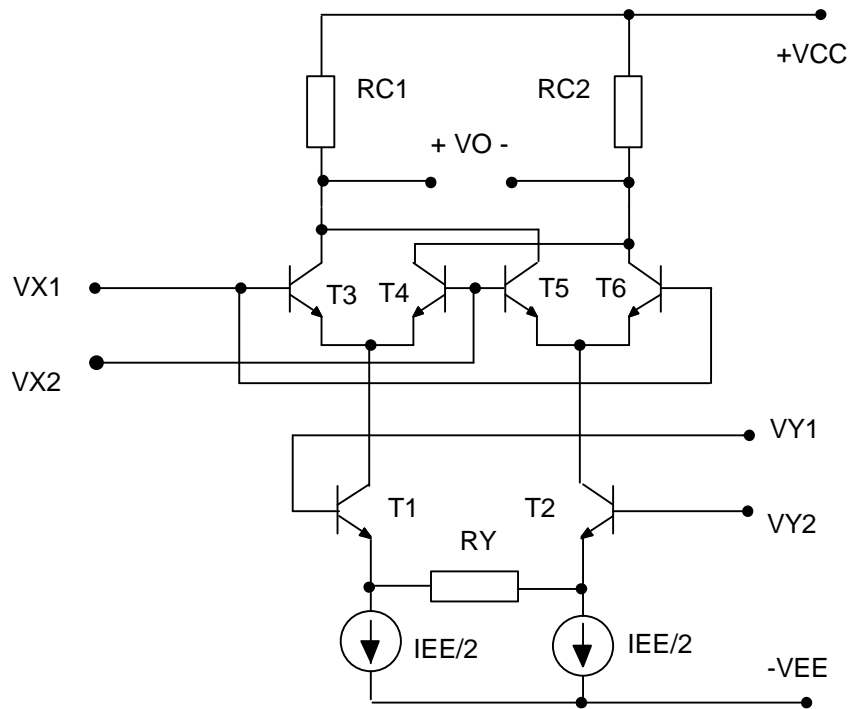
$$V_o = K \cdot V_x \cdot V_y$$

K büyüklüğü çarpma devresinin kazanç sabiti olarak isimlendirilir. V_O büyüklüğü çıkış gerilimini, V_X ve V_Y büyüklükleri de giriş gerilimlerini göstermektedir. Pratikte, çarpım sonucunu veren terimin yanısıra hata terimleri de bulunur:

$$V_O = K.V_X.V_Y + [K_X.V_Y + K_Y.V_X + K_O] + f(V_X, V_Y)$$

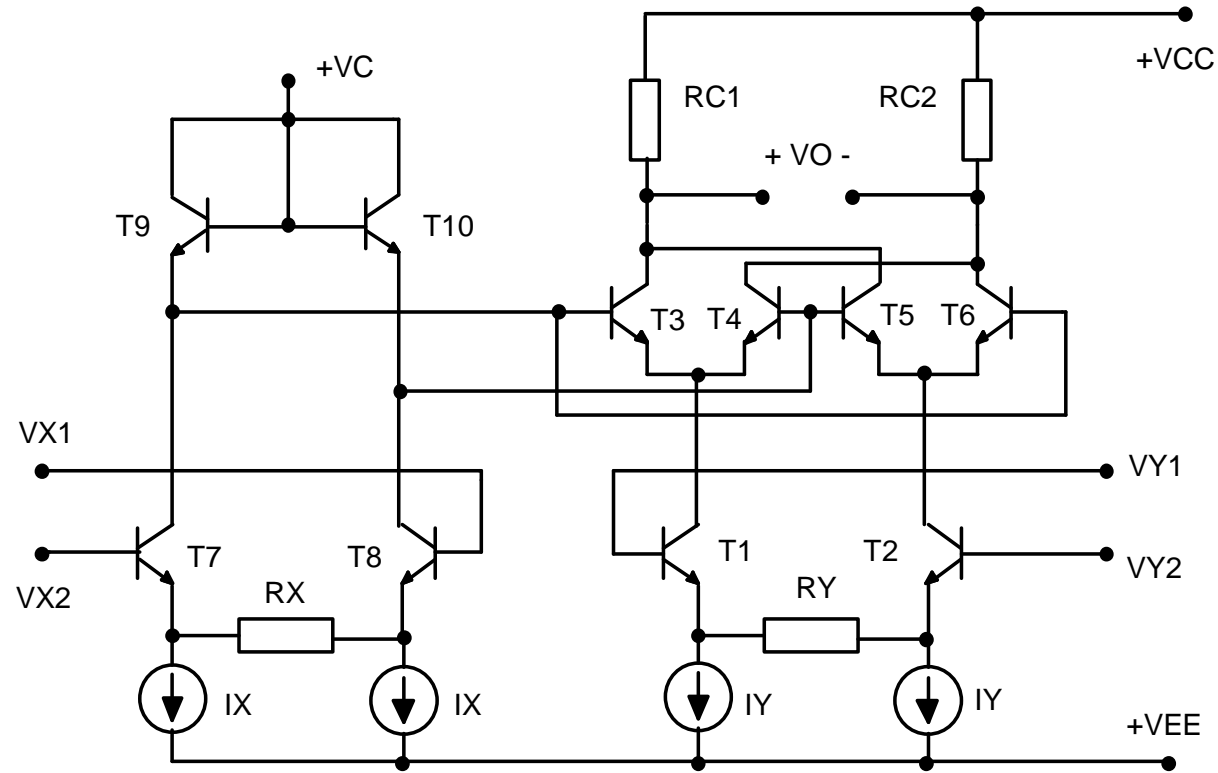
Bu bağıntıda ilk terim ideal çarpım sonucunu, ikincisi dengesizliği, üçüncüsü ise nonlineerliği vermektedir.

Analog arpma devreleri, tümdevre tekniğinde kazancı gerilimle kontrol edilen kuvvetlendirici, faz kilitlemeli çevrim, faz karşılaştırıcı, modülatör, demodülatör, frekans çoğaltıcı gibi uygulamalara ilişkin düzeneklerin gerçekleştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır.



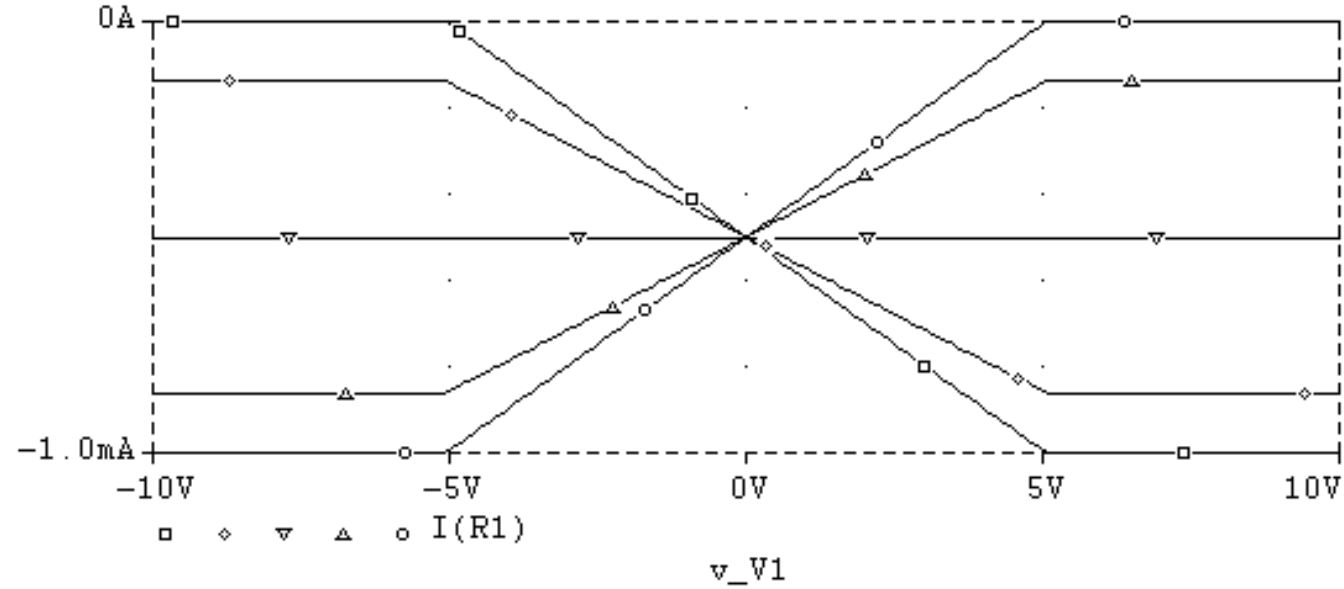
Analog çarpma devresi, tipik giriş-çıkış karakteristiği ($R_Y=0$ için)

$$\Delta I = I_{EE} \cdot \tanh\left[\frac{V_{X1} - V_{X2}}{V_T}\right] \tanh\left[\frac{V_{Y1} - V_{Y2}}{V_T}\right]$$



$$V_O = \frac{2 \cdot R_L}{I_X R_X \cdot R_Y} (V_{X1} - V_{X2}) \cdot (V_{Y1} - V_{Y2})$$

Lineerleştirilmiş analog çarpma devresi



Linearleştirilmiş analog çarpma devresi için tipik giriş- çıkış karakteristikleri. Karakteristikler SPICE simülasyonu ile elde edilmiştir.

