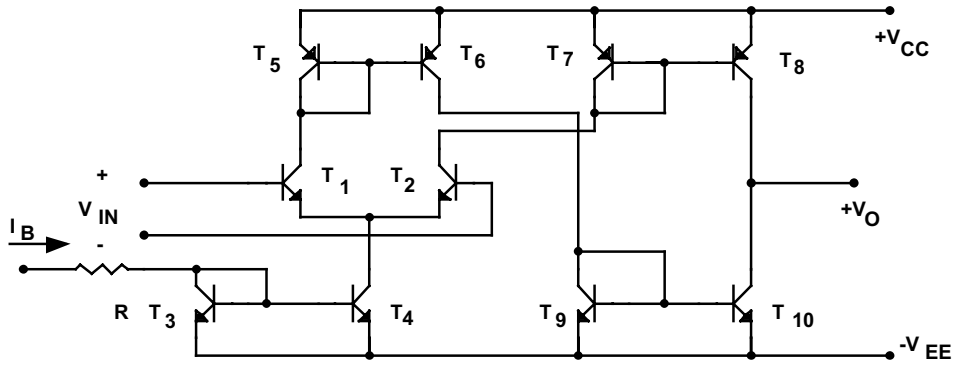


$$T = \frac{R_I C_I}{V_{CC} - V_{BE}} \cdot V_H \quad (4.14)$$

olur. Burada,  $V_H$  büyüklüğü Schmitt tetikleme devresinin histerezis genişliğini göstermektedir. Osilasyon frekansı da  $f = 1/T$  olur.

#### 4.2. İşlemsel geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisi, OTA

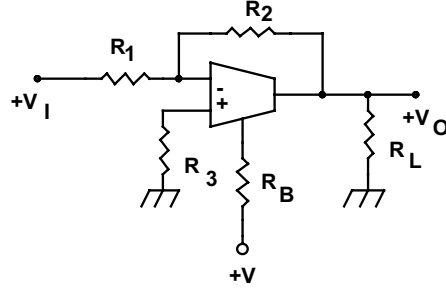


Şekil-4.11. İşlemsel geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisinin yapısı.

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 bloktur. Geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisi olması nedeniyle, yapının çıkış akımı giriş gerilimi ile orantılı olur. Yine, giriş büyüklüğünün gerilim ve çıkış büyüklüğünün akım olması nedeniyle, devrenin giriş ve çıkış dirençleri büyük değerli ve ideal halde sonsuz olur. İşlemsel geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisinin yapısı Şekil-4.11'de görülmektedir. Devrenin girişinde bir fark kuvvetlendiricisi yer almakta, bunun çıkış akımları birer akım aynası ile aynalanarak toplanmakta ve  $I_O$  çıkış akımı oluşturulmaktadır.

#### Gerilim kuvvetlendiricisi

Devredeki fark kuvvetlendiricisinin kuyruk akımı, dışarıdan uygulanan  $V^+$  gerilimi ile değiştirilerek, yapının  $g_m$  eğimi ayarlanabilir. İşlemsel geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisinin çıkış akımı



Şekil-4.12. İşlemsel geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisi ile kurulan gerilim kuvvetlendiricisi devresi.

$$I_O = g_m V_I \quad (4.15)$$

ve geçiş iletkenliği de

$$g_m = \frac{I_B}{2V_T} \quad (4.16)$$

olur. Daha önce de belirtildiği gibi,  $I_B$  kuyruk akımı, devreye dışarıdan bağlanan  $R$  direnci üzerinden uygulanan  $V^+$  gerilimi ile yararlanabilir. Kuvvetlendiriciye dışarıdan bağlanacak  $R_L$  yük direnci  $R_L \ll r_o$  olmalı, başka bir deyişle kuvvetlendiricinin çıkış direncinden yeteri kadar küçük olmalıdır. Kuvvetlendiricinin açık çevrim kazancı

$$K_V = \frac{v_o}{v_i} = g_m R_L = \frac{I_B R_L}{2V_T} \quad (4.17)$$

bağıntısıyla hesaplanabilir. (4.17) bağıntısından fark edilebileceği gibi, kuvvetlendiricinin kazancı  $I_B$  kutuplama akımı ile orantılıdır.

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. Bu uygulama devrelerinden bazı örnekler aşağıda verilmiştir.

İşlemsel geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisi ile kurulan bir gerilim kuvvetlendiricisi yapısı Şekil-4.12'de verilmiştir. Devre, işlemsel kuvvetlendirici ile kurulan faz döndüren kuvvetlendirici yapısının eşdeğeridir. Tasarlanacak kuvvetlendirici için  $R_L$  yük direnci ve geribeslemeli durumdaki  $K_{Vf}$  gerilim kazancı bellidir. Yapının  $K_{VO}$  açık çevrim kazancı, geribeslemeli durumdaki kazançtan en az 10 defa daha büyük olmalıdır. Başka bir deyişle

$$K_{VO} \geq 10 K_{Vf}$$

şartı sağlanmalıdır. Bu şarttan hareket edilirse,  $g_m = K_{VO}/R_L$  bağıntısı yardımıyla kuvvetlendiricinin eğimi ve (4.16) bağıntısı kullanılarak da  $I_B$  kutuplama akımı belirlenebilir. Bu akımı sağlayan kutuplama direnci de

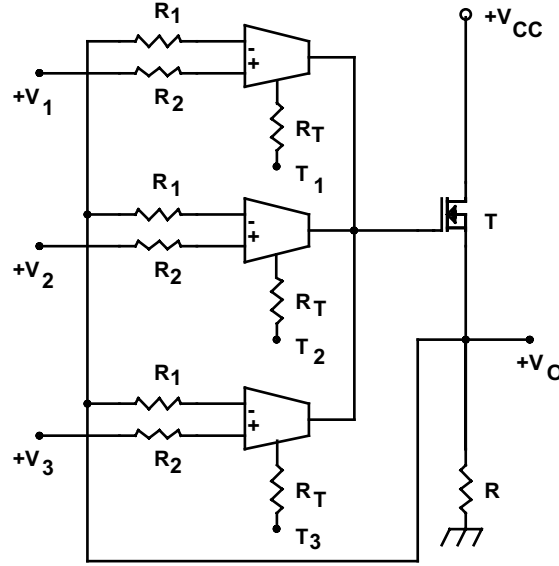
$$R_B = \frac{V_{CC} - V_B}{I_B} \quad (4.18)$$

olur. Kurulan faz döndüren kuvvetlendiricinin sağladığı gerilim kazancı  $K_{Vf} = -R_2/R_1$  olur. yine, devrede  $R_2 \gg R_L$  olmalıdır.

### Çoğullayıcı

İşlemsel geçiş iletkenliği kuvvetlendiricileri yardımıyla çoğullayıcı devresi gerçekleştirmek mümkündür. Üç kanallı bir çoğullayıcı devresi Şekil-4.13'de 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.

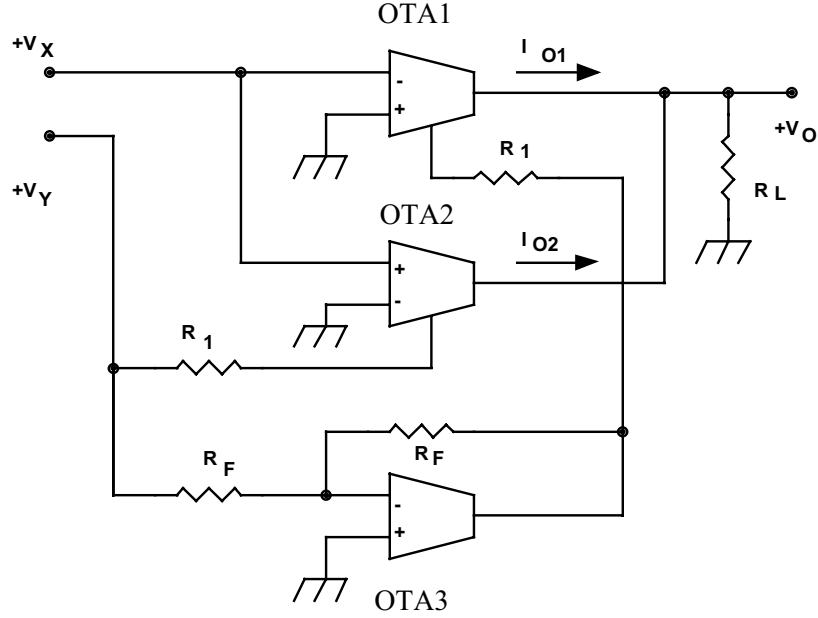


Şekil-4.13.  kanallı çoğullayıcı devresi.

### Geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisi ile analog çarpma devresi gerçekleştirilmesi

İlemsel geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisinin eğiminin akımla kontrol edilebilmesi özelliğinden yararlanarak, analog çarpma devresi işlevi kolaylıkla sağlanabilir.  geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisi ile kurulan bir analog çarpma devresi yapısı ekil-4.14'de verilmiştir.

Devrede OTA1 ve OTA2 geçiş iletkenliği kuvvetlendiricilerinin ıkıları 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. OTA3'n çıkış gerilimi ise OTA1'in kontrol gerilimini oluşturur. Buna göre, OTA1 ve OTA2 geçiş iletkenliği kuvvetlendiricilerinin çıkış akımları



Şekil-4.14. İşlemsel geçiş iletkenliği kuvvetlendiricileri ile analog çarpma devresi gerçekleştirilmesi.

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

olacaktır. Kuvvetlendiricilerin çıkış empedansları yüksek olduğundan, bunların çıkış akımları toplanır. Öte yandan kuvvetlendiricilerin eğimleri kutuplama akımları ile orantılıdır. OTA1'in kutuplama akımı  $-V_Y$  ile, OTA2'nin kutuplama akımı ise  $V_Y$  ile orantılı olur. Devrenin çıkış gerilimi

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

olur.  $I_{B2}$  kutuplama akımı

$$I_{B2} = \frac{V_Y - (-V_{EE})}{R_1}$$

bağıntısıyla belirlenir.

$$k = \frac{I}{2V_T R_2}$$

eklinde bir byklgn tanımlanmasıyla OTA1 ve OTA2'nin geçiş iletkenlikleri

$$g_{m1} = k \cdot [-V_Y - (-V_{EE})]$$

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

biçiminde ifade edilebilir. Bu büyüklüklerin çıkış gerilimini veren bağıntıda yerlerine konmasıyla

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

$$V_O = 2k R_L V_X V_Y \quad (4.19)$$

elde edilir. Devre dört bölgesi analog çarpma devresi olarak çalışır.

### OTA-C aktif süzgeçleri

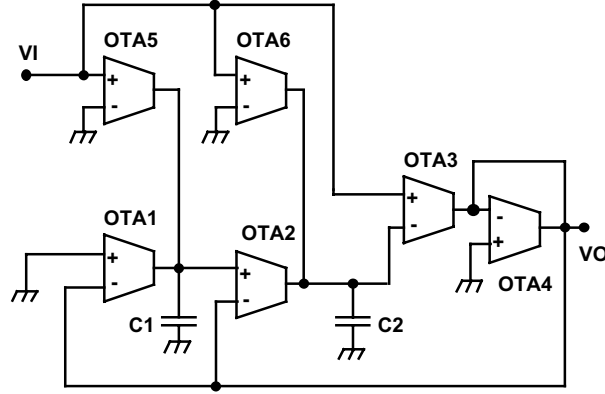
İlemsel kuvvetlendiricilerden daha geniş bandlı olmaları ve eğimlerinin kontrol edilebilir olması nedeniyle OTA'lar da gittikçe yaygınlaşarak kullanım alanı bulmaktadır. Yine, CMOS teknolojisi ile kolayca tmletirilebilmeleri nedeniyle, OTA-C aktif süzgeçleri de yaygınlamakta ve bu alanda gerek OTA gerekse aktif süzgeç gerçekleştirilmesi için yeni devre topolojileri önerilmektedir.

Aktif süzgeç yapılarında kullanılmaya elverişli OTA yapıları piyasada bulunmakta (CA 3080 vb), geniş bandlı olmaları, eğimlerinin  $I_A$  kutuplama akımı ile kontrol edilebilmesi, yapılarının tmletirmeye uygun ve basit olması gibi nedenlerden dolayı yaygın bir kullanım alanı bulmakta, OTA-C süzgeç yapılarının yanısıra, analog çarpma devreleri ve yüksek frekans osilatörlerinin gerçekleştirilmesi amacıyla da bu devre yapılarından yararlanılmaktadır.

Bu amaca yönelik çeşitli çalışmalarda, minimum sayıda OTA ve bir ucu topraklanmış kondansatörlerle kurulan bikuadratik aktif süzgeçler gerçekleştirilmesi için devre sentezi yöntemleri önerilmiştir. Bilindiği gibi, bikuadratik genel transfer fonksiyonu

$$G(s) = \frac{a_2 s^2 + a_1 s + a_0}{s^2 + b_1 s + b_0} \quad (4.20)$$

biçimindedir. Bu transfer fonksiyonunu sağlayan genel devre yapısı Şekil-4.15'de verilmiştir.



Şekil-4.15. İkinci dereceden transfer fonksiyonunu gerçekleyen genel OTA-C aktif süzgeç yapısı.

Bu devrede tasarım eşitlikleri

$$\begin{aligned} \frac{g_{m1}}{C_1} &= \frac{b_0}{b_1} \\ \frac{g_{m2}}{C_2} &= \frac{b_1}{a_2} \\ \frac{g_{m3}}{g_{m4}} &= a_2 \\ \frac{g_{m5}}{C_1} &= \frac{a_0}{b_1} \\ \frac{g_{m6}}{C_2} &= \frac{a_1}{a_2} \end{aligned} \quad (4.21)$$

Tablo-4.1. Şekil-4.16'daki szgeçlerin transfer fonksiyonları ve eleman bağıntıları

Szgeç	Transfer fonksiyonu	Eleman değerleri
Şekil-4.16a Alçak geçiren	$\frac{a_0}{s^2 + b_1s + b_0}$	$\frac{g_{m1}}{C_1} = \frac{b_0}{b_1}$ $\frac{g_{m2}}{C_2} = b_1$ $\frac{g_{m3}}{C_1} = \frac{a_0}{b_1}$
Şekil-4.16b Alçak geçiren	$\frac{a_0}{s^2 + b_1s + b_0}$	$a_0 = b_0$ , $\frac{g_{m1}}{C_1} = \frac{b_0}{b_1}$ , $\frac{g_{m2}}{C_2} = b_1$
Şekil-4.16c Band geçiren	$\frac{a_1s}{s^2 + b_1s + b_0}$	$\frac{g_{m1}}{C_1} = \frac{b_0}{b_1}$ $\frac{g_{m2}}{C_2} = b_1$ $\frac{g_{m3}}{C_2} = a_1$
Şekil-4.16d Yksek geçiren	$\frac{a_2s^2}{s^2 + b_1s + b_0}$	$\frac{g_{m1}}{C_1} = \frac{b_0}{b_1}$ $\frac{g_{m3}}{g_{m4}} = a_2$ $\frac{g_{m2}}{C_2} = \frac{b_1}{a_2}$
Şekil-4.16e Band geçiren	$\frac{a_1s + a_0}{s^2 + b_1s + b_0}$	$\frac{g_{m1}}{C_1} = \frac{b_0}{b_1}$ $\frac{g_{m2}}{C_2} = b_1$ $\frac{g_{m3}}{C_1} = \frac{a_0}{b_1}$ , $\frac{g_{m4}}{C_2} = a_1$
Şekil-4.16.f Band geçiren	$\frac{a_1s + a_0}{s^2 + b_1s + b_0}$	$\frac{g_{m1}}{C_1} = \frac{b_0}{b_1}$ $\frac{g_{m2}}{C_2} = b_1$ $a_1 = \frac{b_0}{b_1}$ , $a_0 = b_0$
Şekil-4.16g Band sndren	$\frac{a_2s^2 + a_0}{s^2 + b_1s + b_0}$	$\frac{g_{m1}}{C_1} = \frac{b_0}{b_1}$ $\frac{g_{m2}}{C_2} = \frac{b_1}{a_2}$ $a_0 = b_0$ , $\frac{g_{m3}}{g_{m4}} = a_2$
Şekil-4.16h Band sndren	$\frac{a_2s^2 + a_0}{s^2 + b_1s + b_0}$	$\frac{g_{m1}}{C_1} = \frac{b_0}{b_1}$ $\frac{g_{m2}}{C_2} = \frac{b_1}{a_2}$ $\frac{g_{m5}}{C_1} = \frac{a_0}{b_1}$ $\frac{g_{m3}}{g_{m4}} = a_2$
Şekil-4.16i Tmgeçiren	$\frac{s^2 - b_1s + b_0}{s^2 + b_1s + b_0}$	$\frac{g_{m1}}{C_1} = \frac{b_0}{b_1}$ , $\frac{g_{m2}}{C_2} = \frac{b_1}{a_2}$ , $\frac{g_{m5}}{C_2} = b_1$ , $\frac{g_{m3}}{g_{m4}} = 1$



biçimindedir. Bu bağıntılarda  $g_{mi}$  büyüklükleri i.ci OTA'nın eğimini göstermektedir.

Şekil-4.15'deki genel yapıya dayanan ve minimum sayıda OTA içeren çeşitli tipten ikinci derece aktif OTA-C süzgeci yapıları Şekil-4.16'da gösterilmiştir. Bu süzgeç yapılarına ilişkin transfer fonksiyonları ve tasarım büyüklükleri de Tablo-4.1'de belirtilmiştir.

### OTA-C osilatörleri

Sadece geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisi ve kondansatörler kullanılarak gerçekleştirilen osilatör yapıları yüksek frekans devrelerinde oldukça fazla yarar sağlarlar. Devrelerin sağladığı en büyük yarar, yapıda endüktans bulunmaması, OTA'nın açık çevrimde çalışabilmesi, başka bir deyişle, yapılan yerel geribeslemelerle frekans cevabına ilişkin kutuplar için ek bir sınırlama getirmemesidir. 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. Devrenin çalışması ikinci dereceden bir osilatör devresinin karakteristik denkleminin elde edilmesine dayanır. Bu karakteristik denklem

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

şeklindedir.  $b$  ve  $\Omega_0$  büyüklükleri OTA'ların geçiş iletkenliklerinin ve kapasitelerin fonksiyonudur. Bu karakteristik denklem çeşitli yapı düzenleriyle sağlanabilir. Bu düzenlerden 2OTA3C (iki OTA ve üç kapasite ile kurulan düzen), 3OTA2C, 4OTA2CI, 4OTA2CII ve 4OTA4C düzenleri Şekil-4.17'de verilmiştir. Bu yapılara ilişkin karakteristik büyüklükler de Tablo-4.2'de gösterilmiştir.