

# DÜŞÜK BESLEME GERİLİMLİ AKTİF SÜZGEÇ TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Sinem ÇİFTÇİOĞLU<sup>1</sup>Hakan KUNTMAN<sup>2</sup>Nil TARIM<sup>3</sup>Oğuzhan ÇİÇEKOĞLU<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup>Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü  
Elektrik-Elektronik Fakültesi

İstanbul Teknik Üniversitesi, 80626, Maslak, İstanbul

<sup>4</sup>Boğaziçi Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü 80815 Bebek-İstanbul

<sup>1</sup>e-posta: sinem@ehb.itu.edu.tr

<sup>2</sup>e-posta: kuntman@ehb.itu.edu.tr

<sup>3</sup>e-posta: tarim@ehb.itu.edu.tr

<sup>4</sup>e-posta: cicekoglu@boun.edu.tr

*Anahtar sözcükler: Devreler ve Sistemler, Aktif Süzgeçler, Akım Modlu Devreler*

## ÖZET

*Bu çalışmada, sadece aktif elemanlar kullanılarak oluşturulan bir AG ve bir TG süzgeç yapısı önerilmiş, bu süzgeçlerin başarımı, yine bu çalışma kapsamında önerilen yüksek performanslı işlemsel kuvvetlendirici ve OTA yapıları kullanılarak SPICE benzetim programıyla gösterilmiştir.*

*Tasarlanan süzgeç topolojileri, başka hiçbir pasif elemana ihtiyaç duymamaları ve daha az kırımlı alanı kaplamaları bakımından bipolar ve CMOS teknolojilerindeki tümdevre gerçeklemeleri için uygundur.*

## 1. GİRİŞ

Analog ve dijital elektronik arasındaki yarış, özellikle iletişim (sayısal işaret işleme) ve otomasyon sistemlerinde, dijital elektronik tarafından kazanılmış görülmektedir. Ancak, gerçek dünya 'analog' olduğundan, en azından arayüzlerde analog yapıtaşlarına gereksinim vardır. Analog-dijital arayüzlerinde analog süzgeçlerin kullanımı bir zorunluluktur.

Tümüyle tümleştirilmiş aktif süzgeçler, 'sürekli zaman' ve 'örneklemeli veri' sistemleriyle elde edilebilmektedir. Her iki türün diğerine göre bazı üstünlükleri ve dezavantajları vardır. Örneğin, örneklemeli veri süzgeçleri düşük distorsiyonlu ve yüksek doğruluklu frekans yanıtı sağlayabilir ve kırımlı alanı verimli kullanırlar; ancak yüksek frekanslar için uygun değildirler. Sürekli zaman süzgeçleri yüksek frekanslarda kullanılabilirler, ancak üretim süreci toleransları, sıcaklık, parazitikler, yaşlanma gibi etkilere çok bağımlı olduklarından otomatik ayara (frekans yanıtını düzeltmek için) gereksinim duyarlar.

Anahtarlamalı kapasite süzgeçler, örneklemeli veri sistemlerinden en yaygın olanıdır. Anahtarlamalı

kapasite süzgeçlerin dezavantajları, örneklemeli veri süzgeçlerin yeterli performans gösteremediği birçok uygulama için tümüyle tümleştirilmiş yüksek performanslı sürekli zaman süzgeçlerinin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu yüzden bu konu üzerinde yoğun çalışmalar yapılmaktadır.

Günümüzde ise, sadece işlemsel kuvvetlendirici (OA) ve işlemsel geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisi (OTA) kullanılarak gerçekleştirilen aktif süzgeç yapılarına ilgi artmaktadır [1-5]. Bu ilgi, süzgeç karakteristiklerinin doğrudan doğruya OTA'nın geçiş iletkenliği ( $g_m$ ) ve/veya işlemsel kuvvetlendiricinin kompanzasyon kapasitesi ile elektronik olarak ayarlanabilmesinden kaynaklanmaktadır. Bu süzgeç yapıları, başka hiçbir pasif elemana ihtiyaç duymazlar ve bu sebepten dolayı bipolar ve CMOS teknolojilerindeki tümdevre (IC) gerçeklemeleri için daha uygun olarak düşünülmektedirler.

## 2. ÖNERİLEN AG VE TG AKTİF SÜZGEÇ YAPILARI

Bu bölümde, sadece işlemsel kuvvetlendirici ve işlemsel geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisi (OTA) kullanılarak gerçekleştirilen aktif süzgeç yapısına uygun olarak, iki işlemsel kuvvetlendirici ve iki OTA ile tasarlanan, gerilim modlu ikinci dereceden alçak geçiren süzgeç ile iki işlemsel kuvvetlendirici ve bir OTA ile tasarlanan gerilim modlu birinci dereceden tümgeçiren süzgeç yapılarından bahsedilecektir. Bütün süzgeç parametreleri, eleman uyumlaştırma sınırlamalarından tamamen bağımsız olarak, OTA'ların geçiş iletkenliği ( $g_m$ ) aracılığı ile ayarlanabilmektedir.

Tasarlanan süzgeçlerin açıl kesim frekansı ( $\omega_0$ ) işlemsel kuvvetlendiricinin açık çevrim kazancı  $A(s)$ 'nin,  $A(s) = B/s$  formunda olduğu varsayılarak, B vasıtası ile bağımsız olarak ayarlanabilmektedir.

OTA'ların geçiş iletkenliği ( $g_m$ ) değerleri ise alçak geçiren filtrenin kalite faktörünü (Q) ayarlamak için kullanılmaktadır.

İşlemsel kuvvetlendiricilerin kazanç-band genişliği çarpımlarının eşit olduğu varsayımı altında, her iki süzgecin transfer fonksiyonu  $T(s) = V_o/V_i$  aşağıda verildiği gibidir:

$$T_{AG}(s) = \frac{(g_{m1} + g_{m2})B^2}{g_{m2}s^2 + (g_{m1} + g_{m2})Bs + (g_{m1} + g_{m2})B^2} \quad (1)$$

$$T_{TG}(s) = \frac{B-s}{B+s} \quad (2)$$

$$\omega_{OAG} = B \sqrt{1 + \frac{g_{m1}}{g_{m2}}} \quad Q_{AG} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{g_{m1}}{g_{m2}}}} \quad H_{AG} = 1 \quad (3)$$

$$\omega_{OTG} = B \quad H_{TG} = 1 \quad (4)$$

Tasarlanan AG süzgeç yapısında bir tasarım örneği olarak Butterworth süzgeç karakteristiğinin elde edilebilmesi başka bir deyişle  $Q = 1/\sqrt{2}$  sağlanabilmesi için,  $g_{m1} = g_{m2}$  seçilmiştir. İşlemsel kuvvetlendiricilerin, kompanzasyon kapasitesi aracılığı ile kazanç-band genişliği çarpımı değiştirilebilmekte, diğer taraftan bu değişim sayesinde tasarlanan her iki süzgecin de kesim frekansı ayarlanabilmektedir.

### 3. CMOS İŞLEMSEL KUVVETLENDİRİCİ VE OTA YAPILARI

Tasarlanan ortak kaynak-ortak geçitli kuvvetlendirici ile işlemsel kuvvetlendirici yapısı şekil-2a'da verilmiştir. Bir çok uygulamada kat kazancının yeteri kadar büyük değerli olması, tek bir ortak kaynak-ortak geçitli kuvvetlendirici kullanılarak sağlanabilir [6,7]. Böyle bir çözümün yararı, tek bir kat ile daha iyi bir frekans eğrisi elde edilebilmesidir. Alçak frekanslarda çalışmada, devrenin sağladığı kazanç, iki katlı işlemsel kuvvetlendiricinin sağladığı kazançla aynı olur. Ancak, yapıda çıkış düğümünün empedansı, iki katlı yapının çıkış empedansına göre  $g_m \cdot r_o$  oranında yükseltilmiştir. Devrenin gerilim kazancı ise giriş tranzistorlarının eğimi ile çıkış düğümü empedansının çarpımıdır. Bu yapının sağladığı önemli bir yarar, baskın kutbun yük kapasitesi ile belirlenmesi, başka bir deyişle, bu kapasitenin aynı zamanda kompanzasyon kapasitesi işlevini yerine getirmesidir. İki kazanç katlı yapıda ise durum böyle değildir. İki katlı kuvvetlendiricide yük kapasitesinin artırılması baskın olmayan kutbu etkiler ve faz payını azaltır. Burada ele alınan tek

katlı yapıda ise yük kapasitesinin artırılması faz payını iyileştirmektedir. Yapının transfer fonksiyonunda M3 ve M4 kaskod tranzistorlarının ve akım kaynağı tranzistorlarının geçit-kaynak kapasitelerinden ileri gelen baskın olmayan kutup bulunur. Bunun frekansı tranzistorların geçiş frekansı mertebesinde. Devrede M12, M13, M14, M15, Q1 ve Q2 tranzistorları ile oluşturulan çıkış katı, çıkış direncini küçültmek amacı ile yapıya eklenmiştir.

Tasarımda kullanılan simetrik CMOS kaskod OTA yapısı Şekil-2b'de verilmiştir [6-8].

### 4. BENZETİM SONUÇLARI

SPICE simülasyonu için MIETEC 0.5µm CMOS proses parametreleri kullanılmıştır. Devrede kullanılan MOS tranzistorların boyutları Tablo-1 ve Tablo-2'de verilmiştir. Tasarlanan işlemsel kuvvetlendirici yapısında besleme gerilimleri  $V_{DD} = V_{SS} = 2.5V$ ,  $V_{K1} = -1.67V$ ,  $V_{K2} = 1.1V$ ,  $V_{K3} = -0.5V$  olarak alınmıştır. Böylece kullanılan her bir MOS tranzistorun doymada çalışması garanti edilmiştir. Tasarım örneği olarak, işlemsel kuvvetlendiricinin kazanç-band genişliği çarpımının  $B=2\pi(2.29 \times 10^6)$  rad/s değerini sağlaması için kompanzasyon kapasitesi 10 pF olarak seçilmiştir.

AG yapısı içinde,  $g_{m1} = g_{m2} \cong 99.202 \mu S$  elde edebilmek için  $V_{con} = 0.2 V$  olarak alınmıştır.

TG yapısı içinde,  $V_{con} = 0 V$  değerinde ise  $g_m = 88.56 \mu S$  değeri elde edilmiştir.

Elde edilen bu değerler, tasarlanan AG ve TG yapılarının kalite faktörü (Q) ve açılal kesim frekansı ( $\omega_0$ ) eşitliklerinde yerine konulduğunda  $\omega_{OAG} = 2\pi (3.24 \times 10^6)$  rad/s,  $\omega_{OTG} = 2\pi (2.29 \times 10^6)$  rad/s ve  $Q_{AG} = 1/\sqrt{2}$  elde edilmiştir.

Yapılan analizler sonucunda,  $\omega_{OAG} \cong 2\pi(3.95 \times 10^6)$  rad/s ve  $\omega_{OTG} = 2\pi(2.29 \times 10^6)$  rad/s olarak elde edilmiştir.

Teorik olarak hesaplanan sonuçlar ile analiz sonuçları karşılaştırıldığında istenilen değerlere oldukça yaklaşıldığı görülmektedir.

AG ve TG süzgeçlerin ideal eşdeğerlerine ve tasarlanan OTA ve işlemsel kuvvetlendiricilerle gerçekleştirilen eşdeğerlerine ait simülasyon sonuçları Şekil-3 ve Şekil-4'de sunulmuştur. Her iki şekilden fark edilebileceği gibi, benzetim sonuçları teorik sonuçlarla iyi bir uyum içindedir.

Süzgeçlerin büyük işaret davranışlarını incelemek amacıyla, AG yapısında  $f = 3.95$  MHz ve TG yapısında ise  $f = 2.29$  MHz frekanslı giriş işaretleri uygulanmıştır. Çıkış işaretinde kabul edilebilir % 2'lik bir distorsiyon için giriş işaretinin alabileceği

maksimum genlik değeri, AG yapısı için 100 mV ve TG yapısı için ise 600 mV olarak belirlenmiştir. Daha büyük giriş işaretleri için işlemsel kuvvetlendiricinin yükselme eğimi çıkışı sınırlanmakta ve distorsiyona neden olmaktadır.

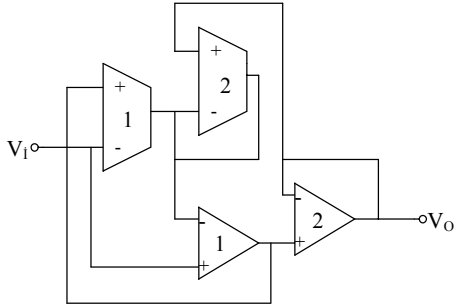
Daha büyük yükselme eğimine sahip işlemsel kuvvetlendirici kullanılarak, daha büyük çıkış gerilim değerleri elde edilebileceği açıkça görülmektedir.

**Tablo-1.** İşlemsel kuvvetlendirici yapısı için transistör boyutları

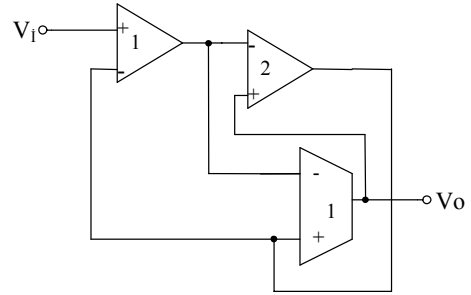
	W( $\mu\text{m}$ )	L( $\mu\text{m}$ )
M1-M2	8	1
M3-M14	35	1
M15	87.5	1

**Tablo-2.** CMOS OTA için transistör boyutları

	W( $\mu\text{m}$ )	L( $\mu\text{m}$ )
M1-M2	5	1
M3-M10	12	1
M11-M19	2.5	1

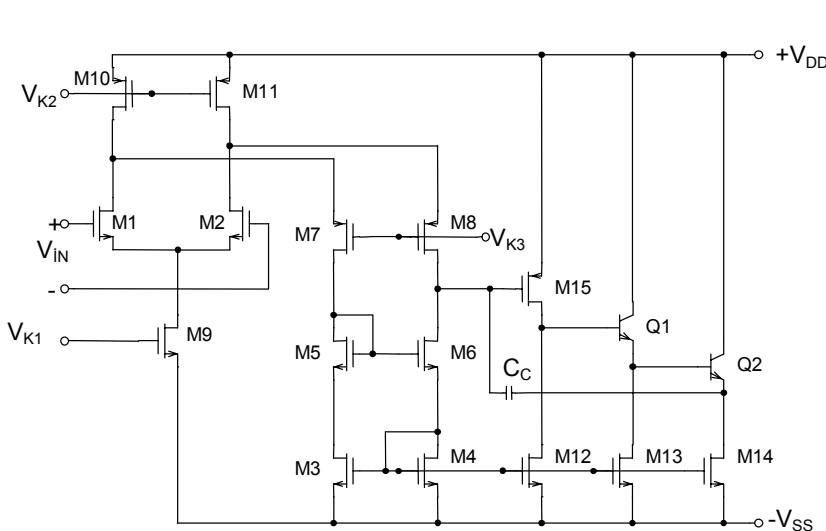


(a) İkinci dereceden alçak geçiren süzgeç

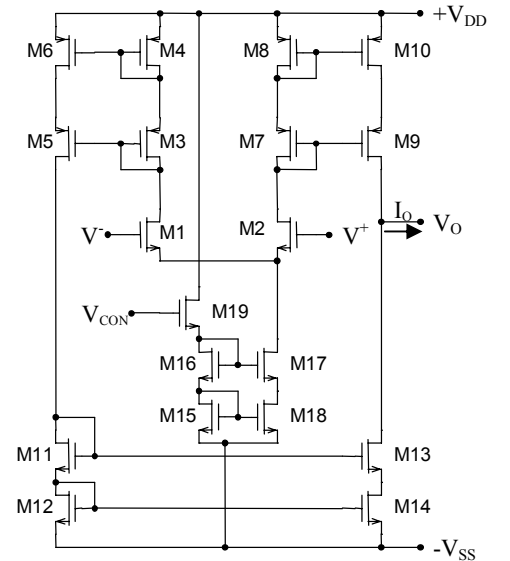


(b) Birinci dereceden tümgeçiren süzgeç

**Şekil-1.** Önerilen aktif süzgeç topolojileri

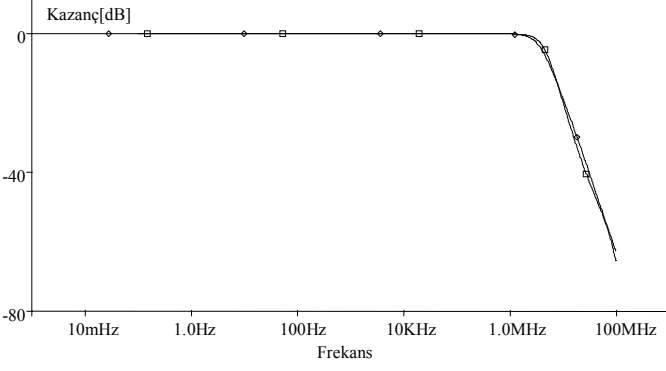


(a)

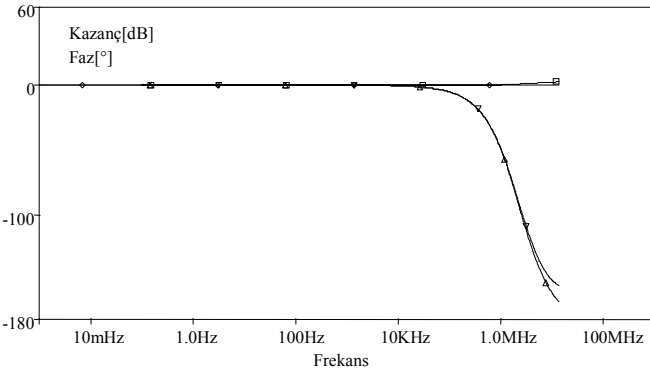


(b)

**Şekil-2.** Benzetimlerde kullanılan a) CMOS işlemsel kuvvetlendirici , b) CMOS simetrik kaskod OTA



Şekil-3. Şekil-1a'daki AG süzgeç için frekans eğrileri.



Şekil-4. Şekil-1b'deki TG süzgeç için frekans eğrileri.

## 5. SONUÇ

Bu çalışmada, ortak kaynak-ortak geçitli kuvvetlendirici yapısı ile kurulan yüksek başarılı işlemsel kuvvetlendirici ve CMOS simetrik kaskod OTA yapılarından faydalanarak tasarlanan iki yeni aktif süzgeç yapısı önerilmiştir.

Tasarlanan aktif alçak geçiren ve tümgeçiren süzgeç yapılarının açılmal kesim frekansları ( $\omega_c$ ) ve kalite faktörleri (Q), doğrudan doğruya OTA'ların geçiş iletkenliği ve işlemsel kuvvetlendiricilerin kompanzasyon kapasitesi aracılığı ile ayarlanabilmektedir.

İşlemsel kuvvetlendiricinin birim kazanç-band genişliği kompanzasyon kapasitesi ile değiştirilebilmekte ve dolayısı ile, hem alçak

geçiren hem de tümgeçiren filtre yapılarının açılmal kesim frekansı, bu değişim aracılığı ile doğrudan ayarlanabilmektedir.

OTA'ların geçiş iletkenliği ( $g_m$ ) ise dışardan bir gerilimle (tasarlanan CMOS simetrik kaskod OTA'da  $V_{con}$  gerilimi ile) değiştirilebilmekte, bu ise bütün filtre parametrelerinin ayarlanabilmesine olanak sağlamaktadır.

Bütün bunlar dikkate alındığında, önerilen devrelerin tümdevre tasarımcısına haberleşme süzgeçlerinin gerçekleştirilmesinde yeni olanaklar sağlayacağı söylenebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Tsukutani, T., Ishida, M., Tsuiki, S., Fukui, Y., Current mode biquad without external passive elements, ELECTRONICS LETTERS, vol.32, no.3, pp.197-198, 1996.
- [2] Abuelma'atti, M. T. and Alzahr, H. A., Universal three inputs and one output current-mode filter without external passive elements, ELECTRONICS LETTERS, vol.33, no.4, pp.281-283, 1997.
- [3] Singh A. K. and Senani, R., Low-component-count active-only immittances and their application in realizing simple multifunction biquads, ELECTRONICS LETTERS, vol.34, no.8, pp.718-719, 1998.
- [4] Tarım N., Çiçekoğlu O., Kuntman, H., Active lowpass filters without external passive components realized with OTA and Op Amps, Proceedings of THE 44TH MIDWEST SYMPOSIUM ON CIRCUITS AND SYSTEMS (MWSCAS), pp.192-195, Dayton, Ohio, 2001.
- [5] Tarım N., Çiçekoğlu O., Kuntman, H., Novel voltage-mode structurely allpass filters without external passive components, JOURNAL OF COMPUTER AND ELECTRICAL ENGINEERING'e sunulmuştur, 2002.
- [6] Kuntman, H.H., Analog MOS tümdevre tekniği, İ.T.Ü Elektrik-Elektronik Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul, 1997.
- [7] Kuntman, H.H., Analog tümdevre tasarımı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1998.
- [8] Zeki, A., Novel high performance OTA structures suitable for continuous-time OTA-C filters, Doktora Tezi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1998.