

YÜKSEK BAŞARIMLI, TÜMÜYLE FARKSAL AKIM MODLU İŞLEMSEL KUVVETLENDİRİCİ (COA) TASARIMI VE TÜM GEÇİREN SÜZGEÇ YAPISINDA KULLANIMI

Mustafa ALTUN¹

Hakan KUNTMAN²

^{1,2}Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Elektrik-Elektronik Fakültesi

İstanbul Teknik Üniversitesi, 34469, Maslak, İstanbul

¹e-posta: altunmus@itu.edu.tr

²e-posta: kuntman@itu.edu.tr

Anahtar sözcükler: Akım Modlu Kuvvetlendiriciler, Akım modlu diferansiyel giriş katları ve Aktif Süzgeçler

ABSTRACT

This paper presents a novel fully differential current-mode operational amplifier based on a class A input stage and a Arbel Goldminz output stage with improved output resistance. Although fully differential COA is designed, the structure of the circuit is quite simple. It provides a 96 dB DC gain, a gain-bandwidth product exceeding 50 MHz. Moreover, input and output resistance values are 40 Ω and 35 M Ω respectively. To see the performance of the COA, first-order all-pass filter topology is used.

1. GİRİŞ

Son yıllarda, akım modlu devreler her geçen gün daha fazla ilgi uyandırmakta ve aktif süzgeç, osilatör gibi analog devre bloklarının gerçekleştirilmesinde akım modlu devreler geleneksel gerilim modlu devrelerin yerini almaya başlamaktadır [1]. Gerilim modlu devrelerle karşılaştırıldığında, akım modlu devrelerin genellikle frekans cevapları ve hızları daha iyidir [2], [3].

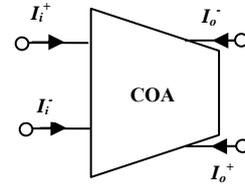
Diferansiyel girişli ve çıkışlı COA'nın devre sembolü Şekil-1'de gösterilmiştir. İdealde, akım modlu işlemsel kuvvetlendiricinin giriş direnci sıfır, akım kazancı (K) ve çıkış direnci sonsuz olmalıdır.

Literatürde COA yapılarının giriş direncini iyileştirmek için değişik yöntemler önerilmiştir. Bunlardan biri, girişe karışık negatif geribesleme yapıları uygulamaktır [4], [5]. Fakat bu tip yapılar genellikle frekans cevabını ciddi anlamda kötüleştirmektedir. Diğer bir seçenek pozitif geribeslemedir [6]. Bu çalışmada giriş direncini

iyileştirmek için yeni ve basit bir pozitif geribesleme yapısı önerilmiştir.

Önerilen COA yapısında klasik Arbel Goldminz çıkış katının çıkış direnci iyileştirilmiş ve 20-30 kat daha iyi değerler elde edilmiştir [7].

COA'nın performansını ve kullanımını göstermek için birinci dereceden tüm geçiren süzgeç yapısı kullanılmıştır [8].



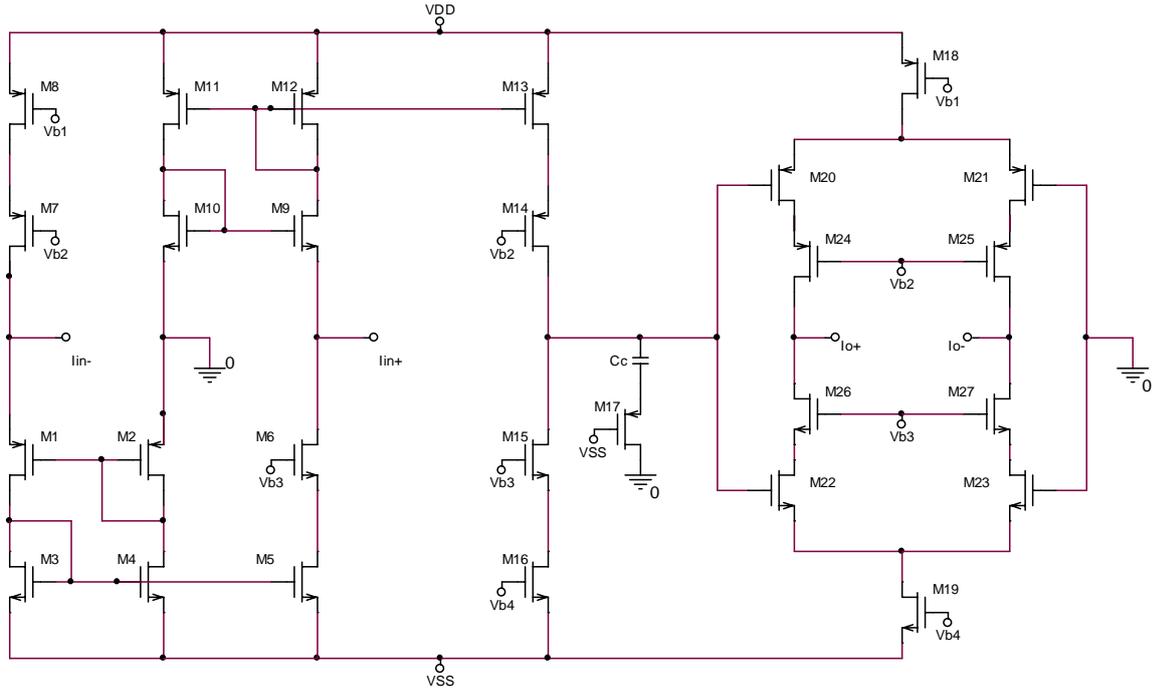
Şekil-1 Çift girişli ve çıkışlı COA sembolü.

Şekil-1'de devre sembolü gösterilen yapının tanım bağıntıları aşağıdaki gibidir.

$$\begin{bmatrix} V_{IN+} \\ V_{IN-} \\ I_{O+} \\ I_{O-} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ K & -K & 0 & 0 \\ -K & K & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{IN+} \\ I_{IN-} \\ V_{O+} \\ V_{O-} \end{bmatrix}$$

2. ÖNERİLEN COA YAPISI

Önerilen COA yapısı Şekil-2'de gösterilmiştir. Transistörlerin W/L oranları ve devrenin DC değerleri sırasıyla Tablo-1 ve Tablo-2'de sunulmuştur.



Şekil-2 Önerilen COA'nın şematik gösterimi

Şekil-2'de gösterilen COA yapısının giriş katı M1 – M16 transistörlerinden oluşmaktadır ve negatif giriş ucu için M1, M2, M3 ve M4 pozitif giriş ucu için M9, M10, M11 ve M12 pozitif geribesleme çevrimlerini oluşturmaktadır. Bu geribesleme yapıları girişlerdeki direnci düşürmek içindir. Negatif giriş ucu için giriş direnci bağıntısı denklem (1) 'de gösterildiği gibidir. Pozitif giriş ucu için de bağıntı benzer şekildedir.

$$r_{in-} \cong \frac{1}{(g_{m3} + g_{ds3})(g_{m1} + g_{ds1})} \left[(g_{ds1} + g_{m3} + g_{ds3}) - \frac{g_{m1}g_{m4}}{g_{ds4} + g_{m2} + g_{ds2}} \right] \quad (1)$$

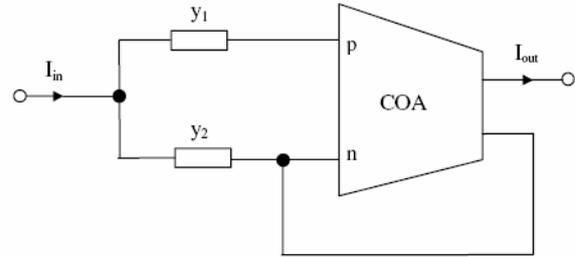
Bu denklemdeki ikinci terim giriş direnç değeri için önemlidir. Eğer bu terimi sıfıra yakın bir değer seçebilirsek, aynı zamanda giriş direncini de sıfıra yaklaştırmış oluruz. Bu aşamada önemli bir sorun doğmaktadır-kararlılık. Sistemin kararlı olabilmesi için direnç değerinin pozitif olması gerekir ($r_{in} > 0$). g_{m1} ve g_{m2} değerlerini transistörlerin W oranlarını değiştirerek (L ler aynı seçilsin) ayarlayabiliriz ve istediğimiz sonucu kolaylıkla elde ederiz.

M17 transistörü direnç görevi görmektedir ve doymasız bölgede çalışmaktadır.

COA yapısının çıkış katı M18 – M27 transistörlerinden oluşmaktadır ve temelde Arbel Goldminz çıkış katından yararlanılmıştır. Çıkış direncini iyileştirmek için M24, M25, M26, M27 transistörleri eklenmiştir. Klasik Arbel Goldminz çıkış katıyla karşılaştırıldığında çıkış direnci yaklaşık $g_m r_o$ oranında (20-30 kat) iyileştirmiştir.

3. TÜM GEÇİREN SÜZGEÇ YAPISI

Birinci dereceden alçak geçiren süzgeç yapısı Şekil-3'de gösterildiği gibidir. (2)-(3) ve (4) denklemleri sırasıyla transfer fonksiyonunu ve faz cevabını göstermektedir.



Şekil-3 Birinci dereceden tüm geçiren süzgeç yapısı.

$$T(s) = \frac{I_{out}}{I_{in}} = \frac{y_2 - y_1}{y_2 + y_1} \quad (2)$$

$$T(s) = \frac{I_{out}}{I_{in}} = \frac{G - sC}{G + sC} \quad (3)$$

$$\phi(\omega) = -2 \arctan\left(\frac{\omega C}{G}\right) \quad (4)$$

Şekil-3'deki süzgeç yapısıyla, yalnızca 1 direnç, 1 kapasite ve 1 aktif eleman kullanılarak birinci dereceden tüm geçiren süzgeç elde edilmiştir.

4. BENZETİM SONUÇLARI

A. Önerilen COA'nın benzetim sonuçları

Benzetimler SPICE programı ile yapılmıştır. 0.35µm CMOS teknolojisi kullanılmış ve tranzistorlar BSIM3 ile modellenmiştir. NMOS ve PMOS tranzistorler için eşik gerilimleri sırasıyla 0.5 V ve -0.7 V dur. Tranzistorlerin W değerleri 5 µm ile 120 µm arasında değişmektedir.

Tranzistor	W(µm)/L(µm)
M1	10/0.7
M2	9.5/0.7
M3, M4, M5, M6	10/1
M7	10/0.7
M8	27/0.7
M9	15/0.7
M10	14/0.7
M11, M12, M13	20/1.4
M14	40/1.4
M15	20/0.7
M16	17.8/1.4
M17	5/1
M18	118/1
M19	47/1
M20, M21	100/1.4
M22, M23	50/1
M24, M25	100/1
M26, M27	60/0.7

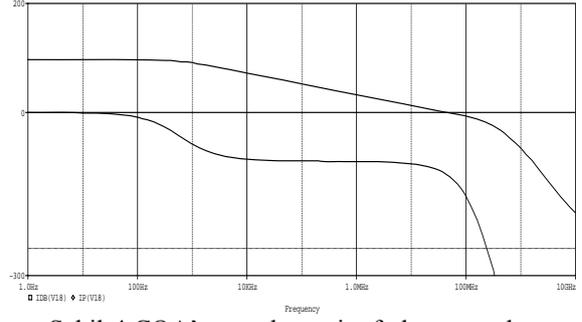
Tablo-1 Tranzistor boyutları

Parametre	Değer
$V_{DD} - V_{SS}$	± 1.5 V
V_{b1}, V_{b2}	0.6V, -0.3V
V_{b3}, V_{b4}	0.3V, -0.8V
$I_{D1,9}$	30uA
$I_{D18,19}$	100uA

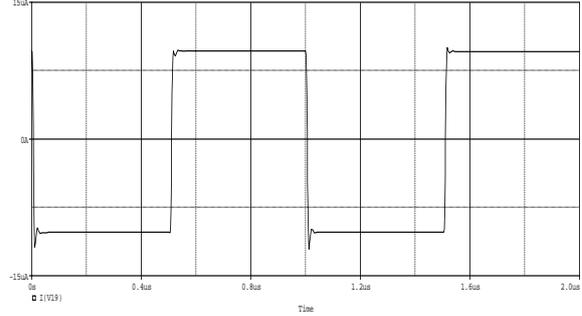
Tablo-2 COA'nın DC değerleri

Şekil-4 COA'nın açık çevrim frekans cevabını göstermektedir. Yaklaşık $f=100$ Mhz değerine kadar akım kuvvetlendiricisi tek kutuplu karakteristik göstermiştir.

Şekil-5 devrenin kare dalga cevabını göstermektedir. Kapalı çevrimde (birim kazançlı geribesleme) girişe 1MHz frekansında, tepeden tepeye 10uA genlikli işaret uygulanmıştır.



Şekil-4 COA'nın açık çevrim frekans cevabı.



Şekil-5 COA'nın kare dalga cevabı.

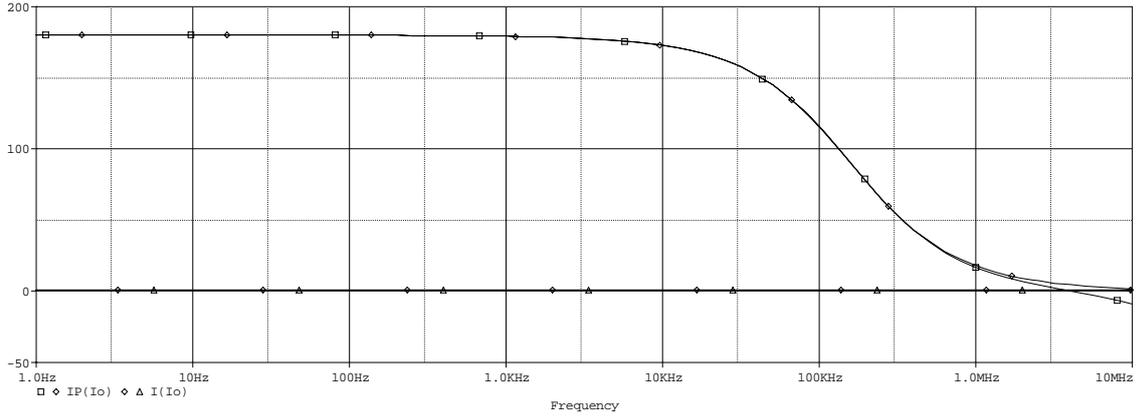
Tablo-3 devrenin performans kriterlerini özetlemektedir. Çıkış direncini iyileştirmek için yaptığımız değişiklikler çıkış salınım aralığını V_{DSSat} değeri kadar düşürmüştür. Devrenin yükselme eğimi A sınıfı katlar kullanıldığı için DC akım değerleri ile sınırlandırılmıştır. Diğer performans değerleri yeterince iyidir.

Parametre	Değer
Güç Tüketimi	0.66 mW
Açık Çevrim Kazancı	96 dB
GBW	51 MHz
Faz Payı ($C_c=2p$, $R_c=1.2k$)	67°
Çıkış Gerilim Salınım Aralığı	± 0.6 V
Yükselme Eğimi	2.5uA/ns
Giriş Direnci (p)	37 Ω
Giriş Direnci (n)	40 Ω
Çıkış Direnci (n)	35 M Ω
Giriş Gerilim Ofseti (p)	≈ 4 mV
Giriş Gerilim Ofseti (n)	≈ 9 mV

Tablo-3 COA'nın performans parametreleri

B. Süzgeç'in benzetim sonuçları

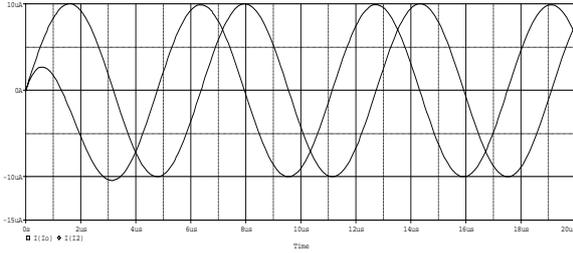
Birinci dereceden tüm geçiren süzgeç gerçekleştirirken $R=50$ k Ω , $C=20$ pF eleman değerleri seçilmiştir. Şekil-6 süzgecin benzetimde ve idealde davranışlarını göstermektedir.



Şekil-6 Süzgeç'in benzetim ve ideal haldeki genlik ve faz cevapları.

Şekil-6'da görüldüğü üzere benzetim sonuçları ve ideal haldeki sonuçlar birbirleriyle çok iyi örtüşmektedir. Şekil-6'daki genlik cevapları doğal ölçülerindedir (dB değeridir).

Denklem (4) ü kullanarak fazın 90° döndüğü frekansı 159.15 kHz olarak hesaplarız. Bu frekans değerinde girişe sinus uygulayarak Şekil-7'deki grafiği elde ettik.



Şekil-7 Tüm geçiren süzgecin zaman domenindeki giriş ve çıkış işaretleri ($f=159\text{kHz}$).

5. SONUÇ

Bu çalışmada yüksek performanslı tam diferansiyel COA önerilmiştir. 50 MHz den daha yüksek GBW değeri elde edilmiştir. Giriş ve çıkış direnç değerlerini iyileştirmek için bir yeni methodlar kullanılmış ve yaklaşık 40Ω giriş $36\text{M} \Omega$ çıkış direnç değerleri sağlanmıştır.

1 COA, 2 pasif eleman kullanılarak birinci dereceden tüm geçiren süzgeç elde edilmiştir ve benzetim sonuçları idealle yüksek başarımda örtüşmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] G. Palmisano, G. Palumbo, S. Pennisi, CMOS Current Amplifiers, Boston (MA), Kluwer Academic Publishers, pp. 1-9, 1999.
- [2] T. Kaulberg, "A CMOS Current-Mode Operational Amplifier," *IEEE J. Solid-State Circuits*, Vol.28, No.7, pp. 849-852, July 1993.
- [3] E. Abou-Allam, E. El-Masry, "A 200 MHz Steered Current Operational Amplifier in 1.2- μm CMOS Technology," *IEEE J. Solid-State Circuits*, Vol.32, No.2, pp. 245-249, Feb. 1997.
- [4] W. Surakampontorn, V. Riewruja, K. Kumwachara and K. Dejhan, "Accurate CMOS-Based Current Conveyors," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 40, pp. 699-702, Aug. 1991
- [5] G. Palmisano and G. Palumbo, "A Simple CMOS CCII+," *International Journal of Circuit Theory and Applications* 23(6), pp. 599-603, November 1995
- [6] W. Wang, "Wideband class AB (push-pull). current amplifier in CMOS technology," *Electronics Letters*, 26, No. 8, pp 543-545, April 1990.
- [7] A.F. Arbel and L. Goldminz, "Output stage for current-mode feedback amplifiers, theory and applications." *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, vol. 2, pp. 243-255, 1992.
- [8] S. Kilinc, U. Cam, "Current-mode first-order allpass filter employing single current operational amplifier." *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, 41, 47-53, 2004