

# BASİT VE KULLANIŞLI BİR AKIM İŞLEMSEL KUVVETLENDİRİCİSİ TASARIMI

Atilla UYGUR<sup>1</sup>

Hakan KUNTMAN<sup>2</sup>

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

İstanbul Teknik Üniversitesi, 34469, Maslak, İstanbul

<sup>1</sup>e-posta: atillauygur@hotmail.com

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

Anahtar sözcükler: Devreler ve Sistemler, Akım İşlemsel Kuvvetlendiricisi, Akım Modlu Devreler

## ABSTRACT

This paper presents a current mode operational amplifier (COA) which utilizes a simple and straight forward design approach. The COA circuit is also very compact and has shown good characteristics in SPICE simulations. In order to show the functionality of the COA proposed, the circuit is used for realization of a previously reported second order current mode low pass filter.

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda akım modlu devreler üzerine yapılan çalışmalar yoğunlaşmakta, analog devre bloklarının gerçekleştirilmesinde gerilim modlu devrelerin yerlerine yeni akım modlu devre çözümleri önerilmektedir. [1-6]. Buna paralel olarak, işlemsel geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisi (OTA), çift çıkışlı işlemsel geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisi (DO-OTA), akım taşıyıcı (CCII), dört uçlu yüzen nulör (FTFN), çok çıkışlı akım taşıyıcı (DO-CCII) gibi akım modlu olarak çalışan yeni aktif elemanlar da güncel hale gelmekte, bu aktif elemanları kullanan yeni devre yapıları öne çıkmaktadır.

Akım modlu devre uygulamalarının bir diğer örneği ise akım işlemsel kuvvetlendiricisi (COA) olarak adlandırılan klasik işlemsel kuvvetlendiricinin akım modlu eşleniğidir.

Bu bildiride fark girişli, simetrik çıkışlı bir akım işlemsel kuvvetlendiricisi n-kuyulu 0.5µm CMOS teknolojisi kullanılarak tasarlanmıştır. Tasarlanan devrenin başarımı, daha önce literatürde yayınlanmış olan ikinci dereceden bir alçak geçiren süzgeç yapısı üzerinde gösterilmiştir.

## 2. COA TANIM BAĞINTILARI

Şekil-1'de akım işlemsel kuvvetlendiricisi şematik olarak verilmiştir. Eleman şematik olarak Şekil-1'de

gösterilmiştir. Fark girişli, simetrik çıkışlı bir akım işlemsel kuvvetlendiricisinin tanım bağıntıları matrisel olarak şöyle ifade edilir:

$$\begin{bmatrix} V_{IN+} \\ V_{IN-} \\ I_{O+} \\ I_{O-} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ K & -K & 0 & 0 \\ -K & K & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{IN+} \\ I_{IN-} \\ V_{O+} \\ V_{O-} \end{bmatrix} \quad (1)$$

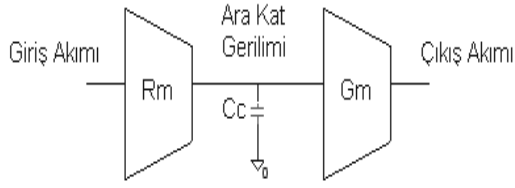
Bu bağıntılarda K açık çevrim akım kazancıdır; VIN+, VIN-, IIN+, IIN- büyüklükleri giriş uçlarının, VO+, VO-, IO+, IO- büyüklükleri de çıkış uçlarının gerilim ve akımlarını göstermektedir.



Şekil 1 COA sembolü

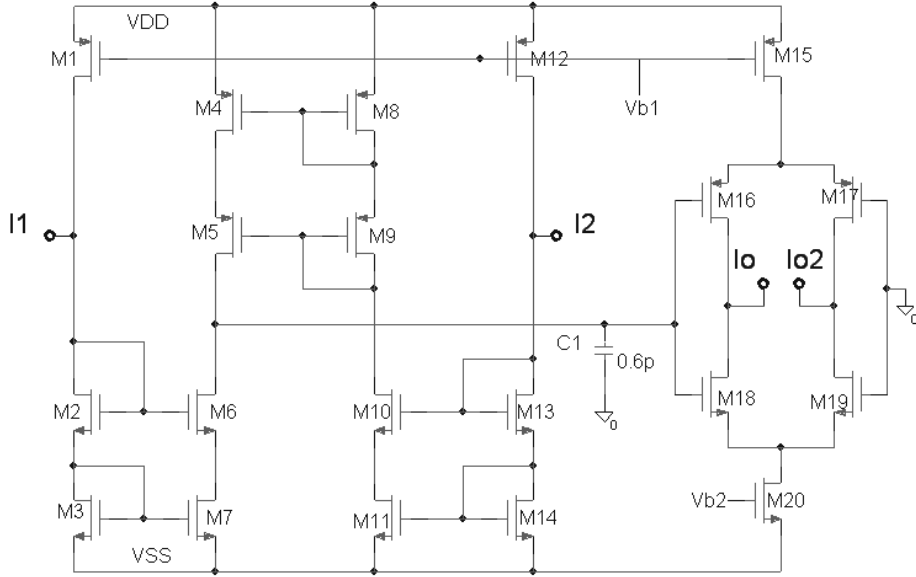
## 3. CMOS AKIM İŞLEMSEL KUVVETLENDİRİCİSİ

Akım işlemsel kuvvetlendiricisi elde etmenin değişik yolları bulunmaktadır. Fakat bunlardan bir geçiş direnci ve bir de geçiş iletkenliği kazanç katının ardı ardına bağlanması ile akım işlemsel kuvvetlendiricisi elde etme yöntemi basitliği ve iki katlı yapılarla uygunluğu bakımından bu çalışmada tercih edilmiştir. Böyle bir akım işlemsel kuvvetlendiricisinin blok diyagramı Şekil-2'de verilmiştir.



Şekil 2 İki katlı COA blok diyagramı

Rm geçiş direnci katı akım olarak aldığı girişlerin farkını alıp kuvvetlendirir ve bunun yanında akım işareti ara düğümlerde gerilime çevrilip çıkışta gerilim olarak geçiş iletkenliği kuvvetlendirici kata aktarılır. Geçiş iletkenliği kuvvetlendirici kat bu gerilim işaretini alıp dengeli iki akım çıkışına çevirir ve böylece akım işlemsel kuvvetlendiricisinin istenen işlevleri yerine getirmesi sağlanmış olur. Ara düğümdeki Cc kapasitesi ise kompanzasyonu sağlar [7].



Şekil 3 İki katlı fark girişli simetrik çıkışlı akım işlemsel kuvvetlendiricisi

Aşağıda devrede kullanılan transistörlere ilişkin boyutlar verilmiştir.

Tablo-1. Transistor boyutları

M1=110u/4u	M11=150u/1u
M2=150u/1u	M12=110u/4u
M3=150u/1u	M13=150u/1u
M4=150u/1u	M14=150u/1u
M5=150u/1u	M15=500u/1u
M6=150u/1u	M16=150u/2u
M7=150u/1u	M17=150u/2u
M8=150u/1u	M18=50u/2u
M9=150u/1u	M19=50u/2u
M10=150u/1u	M20=30u/1u

Tasarlanan devrede ilk olarak göze çarpan devrenin basitliği ve fazladan transistor kullanılmamasıdır. Böylece hem kırmık alanından kazanılmış hem de ek transistörlerin getireceği parazitik etkilerden kurtulmuştur. Devre daha önce anlatıldığı gibi bir geçiş direnci katı ile bir geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisinin ardı ardına bağlanmasından oluşmuştur. M1-M14 transistörleri devrede geçiş direnci katını oluştururlarken M15-M20 transistörleri

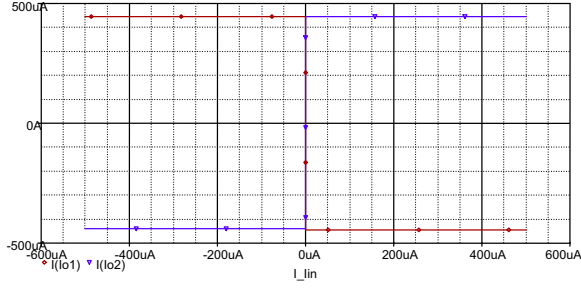
klasik Arbel ve Goldnitz [8] geçiş iletkenliği kuvvetlendirici katı oluştururlar. Geçiş direnci katı giriş fark akımlarını ara bir gerilime çevirip bu gerilime çıkış katını sürer. Devrede bu ara nokta M5 transistörünün savağının bağlı olduğu düğümdür. Dikkat edilirse devredeki tek baskın kutupta bu düğümden gelmektedir. Çünkü burası yüksek empedanslı bir düğümdür ve devrenin kazancında da etkilidir. Bu nokta A ile gösterilip bu noktanın empedansı RA ile bu noktaya bağlı kompanzasyon kapasitesi CA ile gösterilecek olursa devrenin fark kazancı ve bu düğümden gelen kutup ile ilgili eşitlikler devredeki kaskod akım aynalarının akım yansıtma oranlarının bir olduğu da göz önünde bulundurularak aşağıdaki şekilde verilir [9].

$$K_{dm} = R_A \left( \frac{gm_{16} + gm_{18}}{2} \right) \quad (2)$$

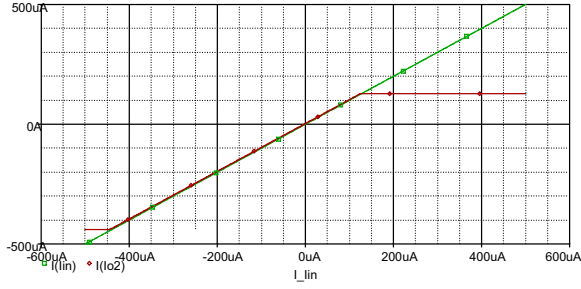
$$f_p = \frac{1}{2\pi R_A C_A} \quad (3)$$

### 3. BENZETİM SONUÇLARI

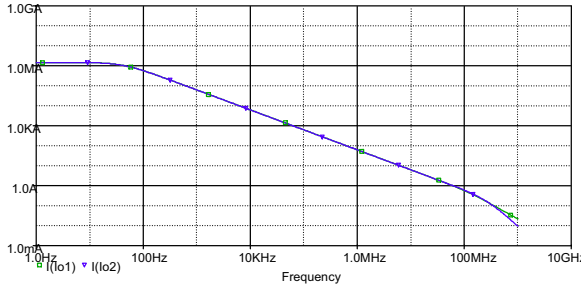
Bu bölümde devreyle ilgili SPICE benzetim sonuçlarına yer verilmiştir. Devre 0.5 $\mu$ m MIETEC parametreleri ile gerçekleştirilmiştir. Besleme gerilimleri  $\pm 2.5V$  olarak alınmıştır. Kutuplama gerilimleri  $V_{b1}=+1.2V$ ,  $V_{b2}=-1.2V$  'dur. Devrenin ilk olarak DC ve AC karakteristikleri verilmiş daha sonra sinüs ve darbe yanıtları gösterilmiştir.



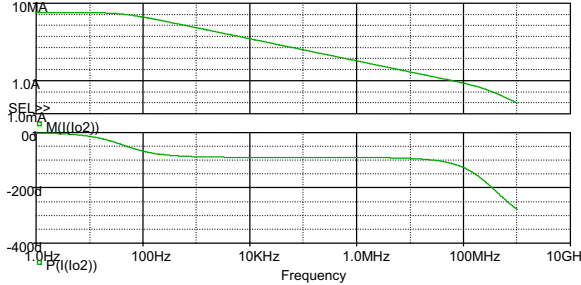
Şekil 4 DC geçiş eğrisi



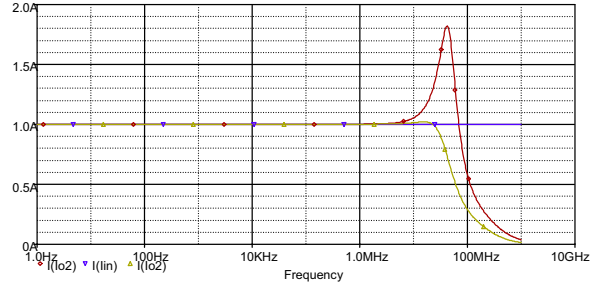
Şekil 5 DC giriş çıkış karakteristiği



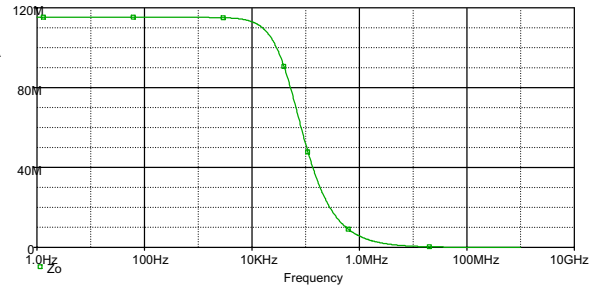
Şekil 6 Devrenin AC karakteristiği



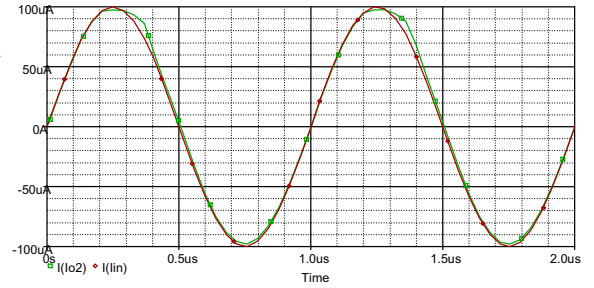
Şekil 8 Devreye ilişkin Bode diyagramı, modül ve faz eğrileri



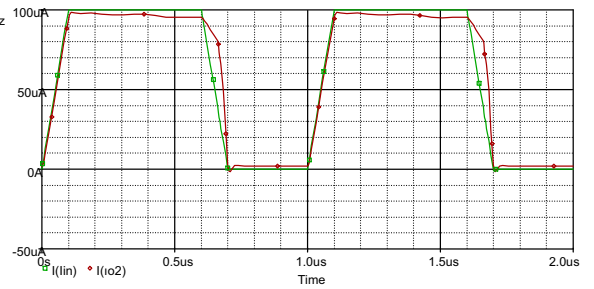
Şekil 7 Kompanzasyonlu ve kompanzasyonsuz durumda kapalı çevrim frekans eğrileri



Şekil 8 Devrenin çıkış empedansı



Şekil 9 Devrenin sinüs cevabı



Şekil 10 Devrenin darbe cevabı

Benzetim sonuçlarından devrenin yüksek kazançlı, geniş bantlı ve yüksek çıkış dirençli olarak davrandığı görülmektedir. Grafiklerden görüldüğü gibi devre girişine uygulanan 1MHz frekanslı tepeden tepeye 200µA genlikli sinüs işareti düzgün bir şekilde izlemektedir. Devrenin girişine 100µA'lık bir darbe işareti uygulandığında ise devrenin ileri yönde yükselme eğimi 100µA/11ns olmaktadır. Aşağıda devrenin benzetim sonuçları verilmiştir.

Tablo-2 Benzetim sonuçları

Besleme	+2.5V -2.5V
Kompanzasyon kapasitesi	(1 adet) 0.6pF
Birim kazanç band genişliği	60MHz
Faz payı	68°
Açık çevrim kazancı	123dB
Giriş akımı salınımı	≈ +100µA -400µA
Giriş dengesizlik akımı	-0.2µA
Güç tüketimi	4.7mW
Yükselme eğimi	100µA/11ns
Giriş Direnci	2kΩ
Çıkış Direnci	115MΩ

#### 4. ALÇAK GEÇİREN SÜZGEÇ DEVRESİ

Bu bölümde, tasarlanan devre Kılınc ve Çam tarafından daha önce önerilmiş olan bir alçak geçiren süzgeç devresine uygulanmış [10] ve SPICE benzetim sonucu verilmiştir. Akım işlemsel kuvvetlendiricisi ile oluşturulan ikinci dereceden alçak geçiren süzgeç devresi Şekil-10'de görülmektedir [10]. Bu devre ile ilgili eşitlikler aşağıda gösterilmiştir:

$$H(s) = \frac{G_1 G_2}{C_1 C_2 s^2 + 2G_2 C_1 s + G_1 G_2} \quad (4)$$

$$\omega_o = \sqrt{\frac{G_1 G_2}{C_1 C_2}} \quad (5)$$

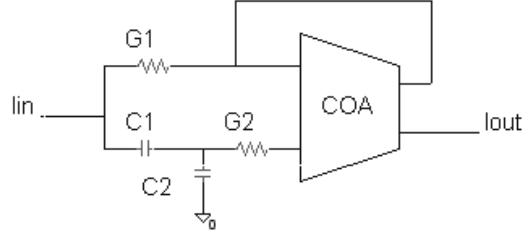
$$Q = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{G_1 C_2}{G_2 C_1}} \quad (6)$$

Devre transfer fonksiyonunun verildiği gibi olabilmesi için gerekli koşul

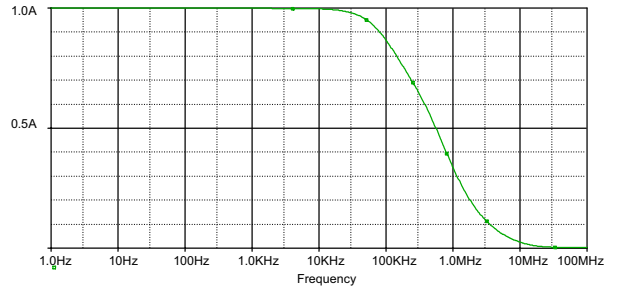
$$G_1(C_1 + C_2) = G_2 C_1 \quad (7)$$

olmasıdır. Devrede R1=2k, R2=1k, C1=0.5n, C2=0.5n olarak alınmıştır. İkinci derece süzgeç için SPICE benzetim programı ile elde edilen frekans karakteristiği Şekil-11'de verilmiştir. Şekil-11'den

fark edilebileceği gibi, Devre beklenen alçak geçiren süzgeç karakteristiğini düzgün bir biçimde sağlamaktadır.



Şekil 10 Alçak geçiren süzgeç devresi



Şekil 11 İkinci dereceden alçak geçiren süzgecin frekans eğrisi

#### 5. SONUÇ

Yapılan çalışmada basit ve kullanışlı bir devre topolojisi kullanarak bir akım işlemsel kuvvetlendiricisi tasarlanmış devrenin başarımlı SPICE benzetimi ile gösterilmiştir. Devre özellikle akım modlu yapıların gerçekleştirilmesi için son derece uygundur. Ayrıca devre alçak geçiren bir süzgeç yapısında kullanılmış ve buna ilişkin SPICE benzetimi de gösterilmiştir.

#### 6. KAYNAKLAR

- [1] Senani R., New Current-Mode Biquad Filter, INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRONICS, Vol 73, Iss 4, pp 735-742, 1992.
- [2] Horng J. W., Lee M. H., Hou C. L., Universal Active-Filter Using 4 OTAs and One CCII, INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRONICS, Vol 78, Iss 5, pp 903-906, 1995.
- [3] Abuelma'atti M. T., Shabra A. M., A Novel Current Conveyor-Based Universal Current-Mode Filter, MICROELECTRONICS JOURNAL, Vol 27, Iss 6, pp. 471-475, 1996.

- [4] Chang C. M., Novel Universal Current-Mode Filter with Single-Input and 3 Outputs Using Only 5 Current Conveyors, ELECTRONICS LETTERS, Vol 29, Iss 23, pp 2005-2007, 1993.
- [5] Abuela'atti M. T., Al-Qahtani M. A., Current-Mode Universal Filters Using Unity-Gain Cells, ELECTRONICS LETTERS, Vol. 32, no. 12, pp. 1077-1078, 1996.
- [6] Güneş E. O., Anday F., Realisation of Current-Mode Universal Filter Using CFCCIIps, ELECTRONICS LETTERS, Vol 32, Iss 12, pp. 181-1082, 1996.
- [7] Eyad Abou-Allam and Ezz I. El-Masry, A 200 MHz Steered Current Operational Amplifier in 1.2- $\mu$ m CMOS Technology, IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol 32 no 2, February 1997.
- [8] A.F. Arbel and L.Goldminz, Output Stage for Current-feedback amplifiers, theory and Applications, Analog Integrated Circuits and Signal Processing, 2, pp 243-255, 1992
- [9] Kuo-Hsing, Cheng, Huei-Chi Wang, Design of Current Mode Operational Amplifier with Differential -Input and Differential- Output, IEEE International Symposium on Circuits and Systems, 1997 June 9-12 Hong Kong .
- [10] S.Kılınç, U.Çam ,Akım modlu alçak ve yüksek geçiren süzgeçlerin akım işlemsel kuvvetlendiricisi ile gerçekleştirilmesi Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Müh. 10. Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı, Cilt II, 314-317, 18-21 Eylül, 2003 İstanbul,