

Akım Aynası Temelli CMOS Akım Kuvvetlendiricilerinin Karşılaştırmalı İncelemesi

Umud Özdemir¹, Mahmut Tokmakçı²

Erciyes Üniversitesi, H.B.Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu,
Biyomedikal Cihaz Teknolojisi programı, 38039, Kayseri, Türkiye
¹ozdemirumut@gmail.com ; ²tokmakci@erciyes.edu.tr

Özetçe

Bu çalışmada, akım aynası temelli farksal akım kuvvetlendirici yapıları (Current Amplifier-CA) HP 0,8 µm CMOS işlem parametrelerine göre PSPICE programı kullanılarak benzetimi yapılmış ve benzetim sonuçları karşılaştırılmıştır. Önerilen CA tasarımları, literatürde iyi bilinen *Wilson*, *Geliştirilmiş (improved) Wilson*, *Kaskod* ve *Değiştirilmiş (modified) Kaskod* akım aynaları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her bir akım aynası için gerçekleştirilen CA yapılarının DC ve AC analiz sonuçlarından elde edilen *güç harcaması (power dissipation)*, *kutuplama akımı*, *giriş direnci*, *çıkış direnci* ve *kesim frekansı* değerleri karşılaştırma parametreleri olarak belirlenmiştir.

1. Giriş

Akım kuvvetlendiricileri (CA'lar) çeşitli aktif filtre transfer fonksiyonlarının uygulamaları için uygun devre yapılarıdır. Türetilmiş filtre topolojileri işleminin başarılı maksimum frekansı, geleneksel op-amp RC filtrelerinin kullanıldığı filtrelerden çok daha iyidir. Ayrıca toplama/çıkarma veya ölçeklendirme gibi işlemler gerçekleştirilen sinyal işleminin akım-modlu olmasından dolayı çok basit bir şekilde gerçekleştirilirler [1-3].

CA'lar, diğer geleneksel op-amlara göre aşağıdaki avantajları sunduklarından dolayı analog sinyal işleme için alternatif yapı blokları olarak popülerlik kazanmaktadır:

(a) Kapalı döngü kazancından oldukça bağımsız olan geniş bant genişliği, (b) Oldukça yüksek sürüklenme hızı (slew rate), (c) Çeşitli fonksiyonları mümkün olan en az sayıda harici pasif komponentle gerçekleştirilmenin kolaylığı [4-6].

Akım aynası, analog tümdevrelerde kutuplama ve yük elemanları gibi kullanılabilen en önemli yapı bloklarından bir tanesidir. Son zamanlarda akım aynaları Anahtarlamalı-Akım (Switched Current- SI) filtre uygulamalarındaki op-amların ve kapasitörlerin her ikisinin yerine kullanılmaktadırlar. Bu nedenle bu tasarımlar yüksek performanslı akım aynaları gerektirmektedir. Örneğin, ortak modlu işaretleri reddetme oranı, kaynak bastırma oranı (supply rejection ratio), bir op-ampın ve anahtarlamalı kapasitörler ile dönüştürücüler gibi diğer analog devrelerin DC kazancı, akım aynasının kalitesine güçlü bir şekilde bağlıdır [3-6].

Bu çalışmada, iyi bilinen dört akım aynası olan *Wilson*, *Geliştirilmiş Wilson*, *Kaskod* ve *Değiştirilmiş Kaskod* yapılarını kullanan CA tasarımlarının benzetim karakteristikleri elde edilmiş ve karşılaştırılmıştır. DC transfer karakteristikleri ve AC frekans cevapları CMOS 0.8 µm HP parametre değerlerine göre PSPICE programı kullanılarak bilgisayar benzetimi yoluyla elde edilmiştir.

2. Akım Aynası Temelli Akım Kuvvetlendiricilerinin Tanımlanması

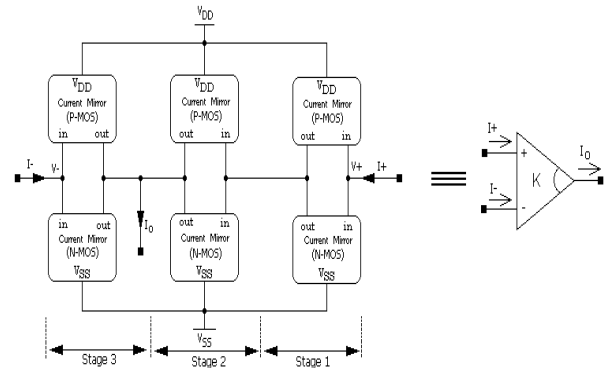
CA topolojilerinin birçoğu, çeşitli şekillerde birbirine bağlı akım aynası yapılarına dayanmaktadır. Akım fark kuvvetlendiricisi, bir veya iki akım aynası kullanarak türetilmiştir [1-5]. Bu kuvvetlendiricilerin yapılarından kaynaklanan bir dezavantaj, çıkışta herhangi bir distorsiyon (bozulma) olmaksızın giriş akımının maksimum düzeyde izin verilebilen büyüklüğüdür. Bu değer, kullanılan akım aynasının kutuplama akımına bağlıdır [6]. Bu durum devrelerin dinamik sahasını kısıtlar. Simetrik akım aynaları kullanılarak bu problemin üstesinden gelinir [2-5-7].

Farksal biçimli CA yapısı üç akım aynası katından oluşmaktadır ve sembolü Şekil.1'de gösterildiği gibidir. 1. kat birim kazanç akım dönüştürücü iken 2. ve 3. katlar kuvvetlendirme katlarıdır. CA, girişleri civarında simetrik bir bağlantıya sahiptir. Bu sayede yükselticinin giriş sinyal salınımı (swing) maksimize edilmiş olur. İki yükseltme kısmındaki bütün NMOS ve PMOS transistörlerin her biri diğeri ile aynı boyutlara sahiptir. Bundan dolayı, devrenin tasarımı oldukça basittir. Ayrıca, kuvvetlendirici topolojisinin modüler yapısından dolayı CA ilave işlemlere gerek kalmadan analog tümdevre formunda kolaylıkla gerçekleştirilebilir [2,8-10].

CA devrenin farksal çıkış akımı aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$I_0 = K \cdot I_+ - I_- \quad (1)$$

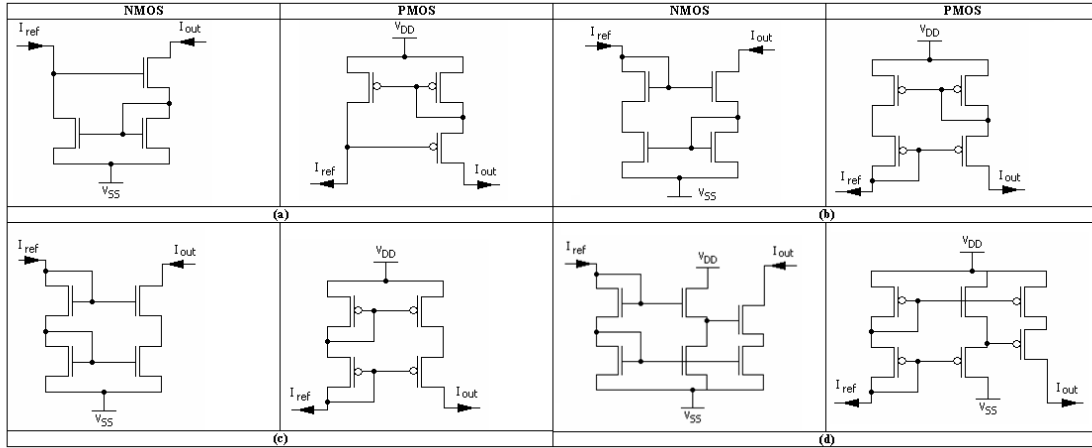
Buradaki K , elemanın geometrisine bağlı olan teknolojik parametredir. Ayrıca K , transistör boyutlarından elde edilir ve kuvvetlendiricinin akım kazancını belirler.



Şekil 1: Farksal akım kuvvetlendiricisi (CA) nin blok diyagramı.

Bir akım aynasının fonksiyonu, esasen verilmiş bir kaynaktan bir akımı kopyalamaktır ve bu işlemin amacı girişe özdeş olan akım aynası çıkışına sahip olmaktır. Temelde, çıkış akımı gürültüden bağımsız olmalı ve devre yüksek çıkış empedansına sahip olmalıdır. Akım aynaları genellikle kuvvetlendiriciler, karşılaştırıcılar ve regüleli akım kaynakları gibi devrelerde bulunurlar [8-11].

Şekil.2 (a), (b), (c) ve (d) N ve P tipi MOS transistörlü *Wilson*, *Geliştirilmiş Wilson*, *Kaskod* ve *Değiştirilmiş Kaskod* CMOS akım aynası yapılarını göstermektedir. Akım aynalarının hepsi HP 0.8 μm CMOS işlem parametreleri ile PSpice programı kullanılarak tasarlanmış ve benzetimi yapılmıştır. Şekil.1’de gösterildiği gibi akım yükseltcecinin blok diyagramı Şekil.2’deki her bir akım aynası kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2: NMOS ve PMOS transistör kullanan iyi bilinen Akım aynası (AA) devre blokları (a)Wilson AA (b)Geliştirilmiş Wilson AA (c)Kaskod AA (d)Değiştirilmiş Kaskod AA

3. Benzetim Sonuçları ve Tartışmalar

CA’ların tanımlanmasının önemli parametreleri şunlardır:

(a) Eşdeğer giriş empedansları, R_i , ve bunların kutuplama akımına ve giriş akım sinyaline bağımlılıkları, (b) Akım kazancı, K , ve onun doğrusallığı, (c) Frekans cevabı. Önerilen CA’ların giriş dirençleri aşağıdaki ifadelerle belirlenir:

$$R_{i+} = \frac{V_+}{I_+} \quad \text{ve} \quad R_{i-} = \frac{V_-}{I_-} \quad (2)$$

CA’nın giriş katı simetrik yapıya sahip olduğundan dolayı $R_{i+} = R_{i-} = R_i$ dir. Eşdeğer giriş direnci R_i , akım aynası kutuplama akımı I_{bias} ’a bağlıdır.

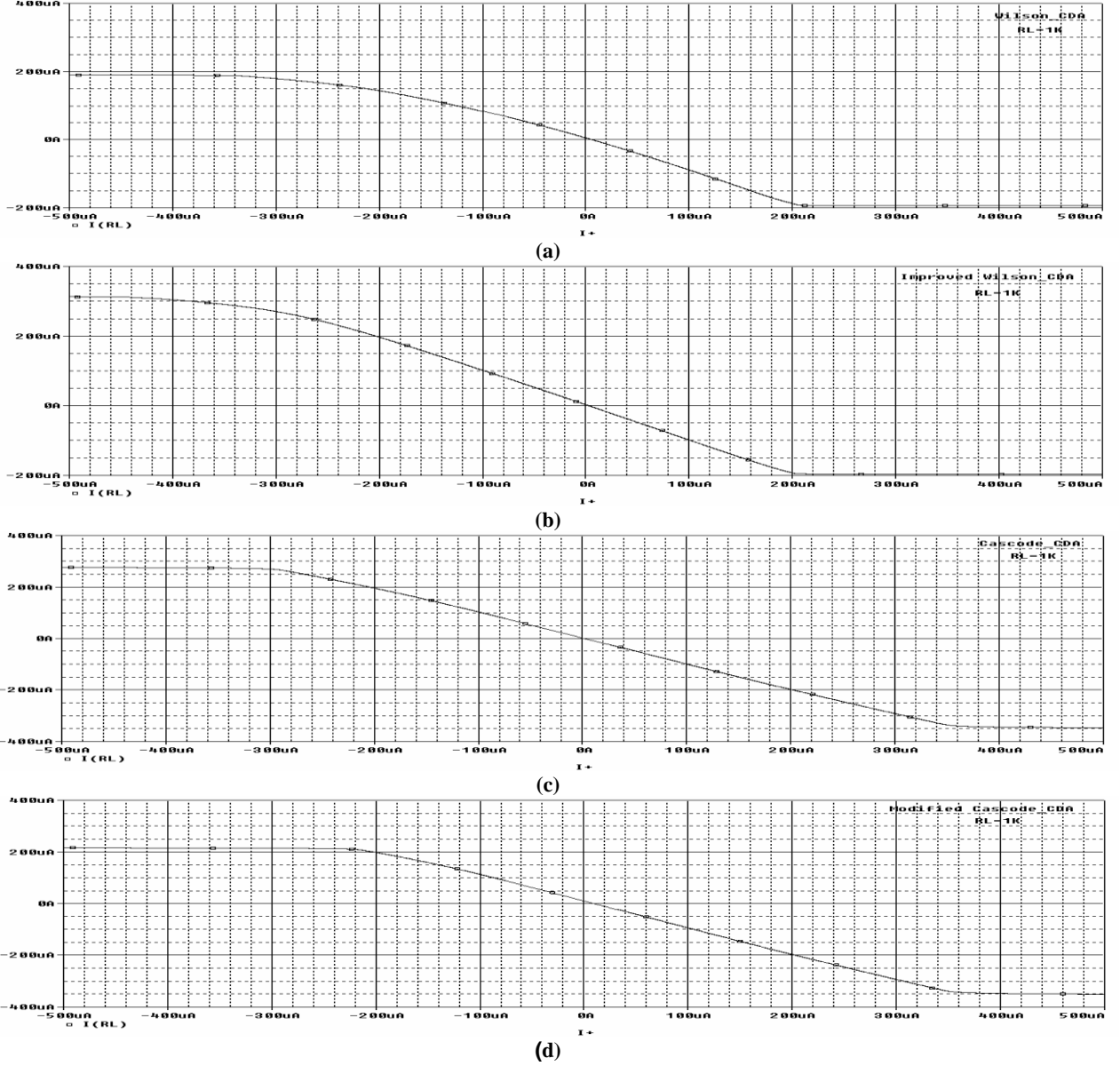
Ayna kutuplama akımı, saturasyon bölgesindeki MOS transistörlerin işlemi için yaklaşık olarak doğrusaldır. Ayrıca CA’nın giriş direnci, “AC küçük sinyal işleminde” kuvvetlendiricinin geçiş iletkenliğine G_m göre belirlenebilir.

G_m ’nin kutuplama akımına bağlı olduğu iyi bilinmektedir. Buna karşın, fark kuvvetlendiricileri G_m kuvvetlendiricileri gibi çalışmazlar. Fark kuvvetlendiricileri oldukça düşük empedanslarda giriş düğümü sağladıklarından dolayı G_m kuvvetlendiricilerin yerini alamazlar [2]. Benzetim

çalışmalarımızda belirli kutuplama akımları için (I_{bias}) kullanılan bütün akım aynası temelli CA’ların giriş akım değerleri sabit alındığından dolayı giriş sinyalinden etkilenmemektedirler. Ayrıca Wilson akım aynası temelli CA’ların giriş dirençleri Tablo 1’de gösterildiği gibi yük direnç değerlerine göre değişkendir.

Şekil 1’deki yükseltcecın akım kazancı K , iki yükseltme kısmındaki akım aynası transistörlerinin büyüklüklerinin oranı hesaplanarak bulunmuştur. Birim akım kazancı için benzetim çalışmalarımızda bütün PMOS ve NMOS transistörlerin hepsi özdeş boyutlara sahiptir. Bundan dolayı, benzetimlerimizde bütün PMOS ve NMOS transistörlerin büyüklükleri sırasıyla $W = 1,6\mu\text{m}$, $L = 0,8\mu\text{m}$ ve $W = 1,2\mu\text{m}$, $L = 1,8\mu\text{m}$ şeklindedir. Benzetim deneylerinde besleme voltajları $V_{DD} = V_{SS} = 2,5V$ ’tur.

Şekil 3’te gösterildiği gibi Wilson akım aynası temelli CA yapılarına göre Kaskod akım aynası temelli CA yapıları, geniş giriş akımı sahası ve yüksek çıkış doğrusallığına sahiptir. Ayrıca geliştirilmiş Wilson akım aynası temelli CA, Wilson akım aynası temelli CA’daki gibi giriş akım sahası ve çıkış doğrusallığı için iyi sonuçlar sağlamıştır. Fakat DC analizler için Şekil.3’te gösterildiği gibi Kaskod akım aynası temelli CA giriş akım sahası ve çıkış doğrusallığı için neredeyse aynı değerleri vermiştir.



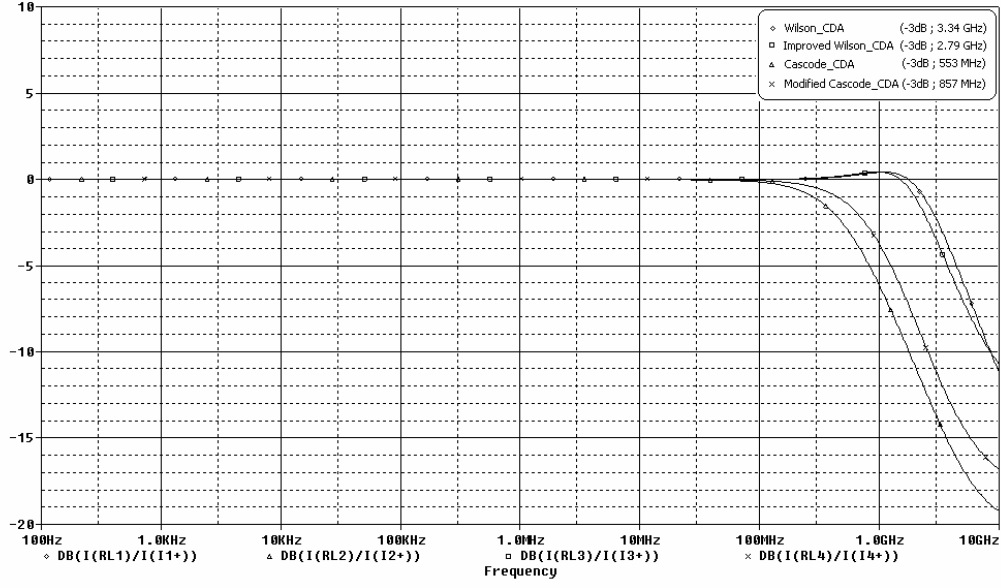
Şekil 3: Akım aynası temelli CA'nın DC analiz sonuçları (a)Wilson AA (b)Geliştirilmiş Wilson AA (c)Kaskod AA (d)Değiştirilmiş Kaskod AA.

Yukarıda bahsedilen iyi bilinen akım aynalarına dayalı CA'lerden elde edilen bütün frekans cevaplarının sonuçları, Şekil.4'te gösterilmiştir. Şekil.4'te görüldüğü gibi, Wilson akım aynası temelli CA yapıları Kaskod akım aynası temelli CA yapılarına nazaran yüksek frekans sahasına sahiptir. Ayrıca Wilson akım aynası temelli CA kesim frekansı ve frekans cevabı için iyi sonuç sağlamıştır. Sonuç olarak; bütün CA'ların elde edilen sonuçları Tablo.1'de özetlenmiştir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, iyi bilinen (Wilson, Geliştirilmiş Wilson, Kaskod ve Değiştirilmiş Kaskod) MOS akım aynalarına dayalı

akım kuvvetlendirici biçimlerinin önemli karakteristikleri tartışılmıştır. Sunulan akım yükseltici topolojileri gösterilmiş ve güç harcaması, kutuplama akımı, giriş direnci, çıkış direnci ve kesim frekansı gibi bazı temel parametreler, HP 0.8 μ m CMOS işlem parametrelerine göre PSPICE benzetim çalışmaları yardımıyla karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak; akım aynası temelli CA devre bloklarının performans karakteristikleri hakkında daha çok bilgi sağlanması planlanmıştır. Bu çalışmanın temel amacı, analog devre tasarımcıları için çok yararlı olabilecek bilgileri sunmak ve onlara akım aynası temelli CA devresi tasarımı için uygun mimari seçimlerinde yardımcı olmaktır.



Şekil 4: İyi bilinen dört akım aynası temelli CA'ların frekans cevapları.

Tablo 1: Akım aynası temelli CA yapılarının benzetim sonuçlarının özeti

	Güç	Kutuplama	Giriş Direnci, R_i (K Ω)		Çıkış	Kesim
	Harcaması	Akımı	$R_L=1$ K Ω için	$R_L=10$ K Ω için	Direnci	Frekansı
	PD (mW)	I_{bias} (μ A)			R_o (K Ω)	f_c (K=1 için)
Wilson AA* temelli CA**	4.70	70.829	12.915	15.320	388	3.34 GHz
Kaskod AA temelli CA	3.31	43.411	15.962	15.962	763	553 MHz
Geliştirilmiş Wilson AA temelli CA	2.76	59.166	21.276	25.111	729	2.79 GHz
Değiştirilmiş Kaskod AA temelli CA	6.33	37.665	14.523	14.523	214	857 MHz

*AA: Akım Aynası, **CA: Akım kuvvettendiricisi

4. Teşekkür

Bu çalışma Erciyes Üniversitesi Araştırma Projesi tarafından kısmi olarak desteklenmiştir (Proje no. FBT-04-28).

5. Kaynakça

- [1] R.J. Baker, H.W. Li, D.E. Boyce, CMOS Circuit Design, Layout and Simulation, IEEE Press: New York, 1998.
- [2] G. Palmisano, G. Palumbo, and S. Pennisi, CMOS Current Amplifiers, MA: Kluwer Academic, Boston, 1999.
- [3] C. Toumazou, F.J. Lidgley, and D.G. Haigh, Analogue IC Design: The Current-mode Approach, Peter Peregrinus, London, 1990.
- [4] P.A. Allen, D.R. Holberg, CMOS Analogue Circuit Design, Oxford University Press: Oxford, 1987.
- [5] D. Johns, K. Martin, Analog Integrated Circuit Design, Wiley: New York, 1997.
- [6] M. Ismail, T. Fiez, Analog VLSI Signal and Information Processing, McGraw-Hill: New York, 1994.
- [7] I. Mucha, "Low-voltage current operational amplifier with a very low current consumption, Proc. IEEE ISCAS'96, Atlanta, vol. 1, pp. 525-528, 1996.
- [8] G. Souliotis, A. Chrisanthopoulos, and I. Haritantis, "Current Differential Amplifiers: new circuits and applications", *Int. J. Circ. Theor. Appl.* vol. 29, pp. 553-574, 2001.
- [9] T. Kaulberg, "A CMOS Current-mode Operational Amplifier", *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol.28, pp. 849-852, July 1993.
- [10] G.W. Roberts, and A. S. Sedra, "A General class of current amplifier-based biquadratic filter circuits", *IEEE Trans. On Circuits and Systems-I: Fundamental Theory and Applications*, vol. 39, no.4, pp. 257-263, 1992.
- [11] C. Galanis, I. Haritantis, "An improved current-mode instrumentation amplifier", *Proceedings of the IEEE ICECS*, vol. 1, pp.65-68,1996.