

Kazancı Sayısal Olarak Ayarlanabilir Akım Kuvvetlendiricisi Tasarımı ve Bandgeçiren Süzgeç Uygulaması

Design of a Current Amplifier with Digitally Controllable Gain and Bandpass Filter Application

Serhan Yamaçlı¹, Mutlu Avcı², Murat Aksoy³,

¹ Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi
Mersin Üniversitesi
syamacli@mersin.edu.tr

²Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
Çukurova Üniversitesi
mavci@cu.edu.tr

³Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
Çukurova Üniversitesi
aksoy@cu.edu.tr

Özet

Bu bildiri, kazancı sayısal olarak ayarlanabilir bir akım kuvvetlendiricisi önerilmiştir. Önerilen blok, bir akım kuvvetlendiricisinden beklenen geniş bandgenişliği, düşük giriş empedansı ve yüksek giriş empedansı özelliklerini sağlamaktadır. Öne sürülen akım kuvvetlendiricisinin kullanılabilirliğini doğrulamak amacıyla, akım kuvvetlendiricisi kullanan bir bandgeçiren süzgeç uygulaması verilmiştir. Hem akım kuvvetlendiricisinin hem de bandgeçiren süzgecin düzgün olarak çalıştığı 0.5µm MOSIS AMIS parametreleriyle yapılan SPICE simülasyonlarıyla gösterilmiştir.

Abstract

In this paper, a current amplifier with a digitally controllable gain design is presented. The proposed circuit building block fulfills the requirements of current amplifiers such as wide bandwidth, low input impedance and high output impedance. A bandpass filter design using the current amplifier is given in order to verify the versatility of the block. SPICE simulations carried using MOSIS AMIS 0.5µm show the proper operations of both current amplifier and the bandpass filter design.

1. Giriş

Akım modlu devreler, içsel geniş bandgenişlikleri, basit devre topolojilerine sahip olmaları düşük güç tüketimleri ve geniş dinamik aralıkları ile ilgi çekmektedirler [1].

Çeşitli önyararları sağlamak üzere farklı akım modlu devre yapı blokları literatürde önerilmiştir. Bu bloklardan en çok kullanılanı akım taşıyıcı ve türevleridir [2]. Öte yandan akım farkı alan tamponlu kuvvetlendirici (CDBA) [3], akım farkı alan geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisi (CDTA) [4], dört

uçlu yüzen nulör (FTFN) [5], diferansiyel fark akım taşıyıcı (DDCC) [6], diferansiyel gerilim akım taşıyıcı (DVCC) [7], kontrollü akım taşıyıcı (CCCII) [8], elektronik olarak ayar edilebilen akım taşıyıcı (ECCII) [9] gibi akım modlu elemanlar çeşitli devre topolojilerinin gerçekleştirilmesinde kullanılmışlardır [10, 11]. Diğer bir akım modlu yapı bloku ise, akım kuvvetlendiricisidir (Current Amplifier-CA) [12].

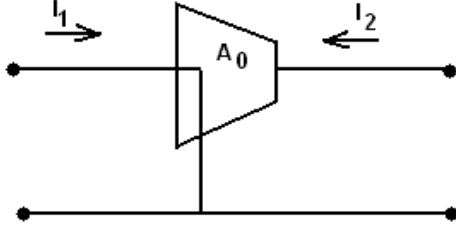
Bu çalışmada, kazancı sayısal olarak ayarlanabilen bir akım kuvvetlendirici devresi önerilmiştir. Tasarlanan akım kuvvetlendiricisi, hassas ayarlanabilme, düşük giriş empedansı ve yüksek çıkış empedansı özelliklerini sağlamaktadır. Önerilen akım kuvvetlendiricisinin karakteristikleri 0.5µm MOSIS AMIS proses parametreleri kullanılarak SPICE simülasyonlarıyla elde edilmiştir. Önerilen blokun kullanılabilirliğini göstermek amacıyla, akım modlu bir bandgeçiren süzgeç uygulaması ve bu süzgecin SPICE programı yardımıyla elde edilen karakteristikleri de verilmiştir.

2. Akım Kuvvetlendiricisi (CA)

Akım kuvvetlendiricisi (Current Amplifier-CA), akım tampon devresinin, kazancı birimden farklı bir türevi olarak düşünülebilir. Bir akım kuvvetlendiricisi, idealde sıfır giriş empedansına ve sonsuz çıkış empedansına sahip olmalıdır.

Akım kuvvetlendiricisinin devre sembolü Şekil 1'de gösterilmiştir.

Akım kuvvetlendiricisinin çıkış ve giriş akımları arasında Denklem (1)'de gösterilen ilişki vardır.



Şekil 1: Akım kuvvetlendiricisinin devre sembolü

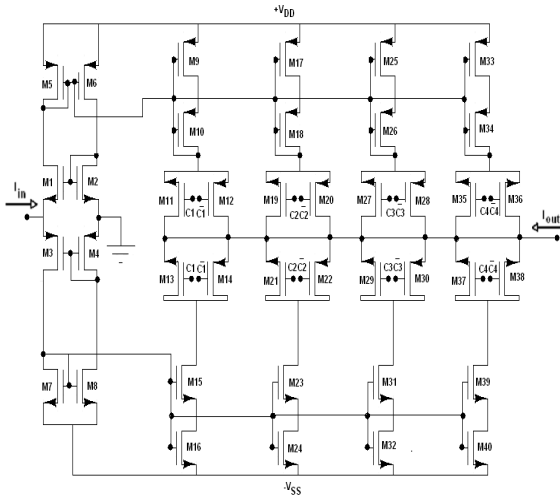
$$A_0 = \frac{I_2}{I_1} \quad (1)$$

Denklem (1)'de gösterilen A_0 katsayısı, akım kuvvetlendiricisinin kazançtır. A_0 'ın sonsuz olarak tanımlandığı akım kuvvetlendiricileri, akım işlemsel kuvvetlendiriciler (COA) olarak isimlendirilmektedir. COA'lar kullanılarak yapılan birçok devre yapısı literatürde mevcuttur [13].

Diğer taraftan, kazancı elektronik olarak, mesela bir kontrol akımı veya bir kontrol gerilimi vasıtasıyla, ayarlanabilen akım kuvvetlendiricileri de literatürde vardır. Bu akım kuvvetlendirici devreleri, işlemsel geçiş iletkenliği kuvvetlendiricileri kullanılarak yapılmıştır [14].

3. Önerilen Akım Kuvvetlendiricisi Devresi

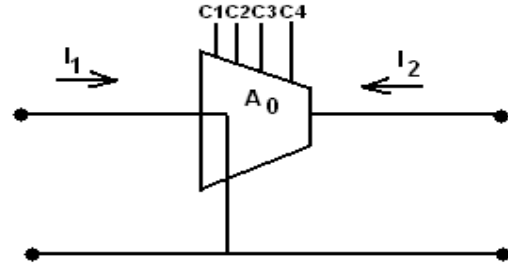
Önerilen akım kuvvetlendirici devresi Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2: Önerilen sayısal olarak kontrol edilebilir akım kuvvetlendirici devresi

Önerilen devrede, M1, M2, M3 ve M4, transdoğrusal bir çevrim oluşturmaktadır [1]. M1-M6 transistörlerinin W/L oranlarının ayarlanması ile, devrenin girişinden görülen empedans minimize edilmektedir. Giriş akımı, aynalama vasıtasıyla kaskod akım bloklarına aktarılmaktadır. Ancak,

kaskod akım bloklarının oluşturduğu akımların çıkışa iletilmesi için, ilgili iletim kapısının (transmission gate), iletim konumunda olması gerekmektedir. İletim kapılarının kesimde veya iletimde olması ise, C1, C2, C3 ve C4 ile gösterilen kontrol lojiji ile sağlanmaktadır. Dolayısıyla, ideal durumda, akım kuvvetlendiricisinin akım kazancı, iletimde olan iletim kapısı sayısı kadardır. Diğer bir deyişle, elde edilen devre yapısı, belirli ve kesikli akım kazançlarının oluşturulmasını sağlamaktadır. Çıkış katı sayısının ve akım aynası kazançlarının ayarlanmasıyla, akım kuvvetlendiricisinin kazanç karakteristiğinin ayarlanabileceği açıktır. Sayısal olarak elde edilen bu kontrol mekanizması, akım kuvvetlendiricisinin devre sembolünde Şekil 3'deki gibi gösterilebilir.



Şekil 3: Kazancı sayısal olarak ayarlanabilen akım kuvvetlendiricisinin devre sembolü

Akım kuvvetlendirici devresinin giriş direnci ve çıkış direnci, sırasıyla Denklem (2) ve Denklem (3)'deki bağıntularla verilebilir.

$$R_{in} = (r_{DS1} + r_{DS5}) // (r_{DS3} + r_{DS6}) \quad (2)$$

$$R_{out} = r_{DS10} (1 + g_{m9} r_{DS9}) \quad (3)$$

4. Önerilen Akım Kuvvetlendiricisinin Simülasyon Sonuçları

Akım kuvvetlendirici bloku, 0.5µm MOSIS AMIS proses parametreleri kullanılarak SPICE ortamında benzetime tabi tutulmuştur. Besleme gerilimleri ±2.5V olarak seçilmiştir.

Kullanılan MOSFET'lerin boyutları ise Tablo-1'de verilmiştir.

Önerilen devrenin farklı kontrol işaretleri için giriş ve çıkış akımlarının ilişkisi, Şekil 4'de gösterilmiştir. Ayrıca, giriş ve çıkış dirençlerinin frekansla değişimleri de sırasıyla Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterilmiştir. Önerilen kuvvetlendiricinin ideal akım kuvvetlendiricisine ne kadar yakın olduğu göz önünde bulundurulduğunda, giriş ve çıkış dirençlerinin sırasıyla küçük ve büyük değerli olduğu frekans aralığına bakılabilir. Bu durumda, Şekil 5 ve Şekil 6'ya göre, önerilen kuvvetlendirici 58kHz'e kadar düzgün çalışmaktadır. Söz konusu frekans aralığını etkileyen temel etken, iletim kapılarının parazitik kapasiteleri olmaktadır ve bu parazitik kapasitelerin azaltılmasıyla çalışma frekansı artırılabilir.

$$T(s) = \frac{I_{out}(s)}{I_{in}(s)} = \frac{sA_0C_2R_2R_3}{D(s)}$$

$$D(s) = R_1 + (1 + A_0)R_3 + s(C_2R_1R_3 + C_1R_2R_3 + C_1R_1R_3 + C_1R_1R_2) + s^2C_1C_2R_1R_2R_3$$
(4)

$$\omega_0 = \frac{R_3(1 + A_0)R_4}{C_1C_2R_1R_2R_3}$$
(5)

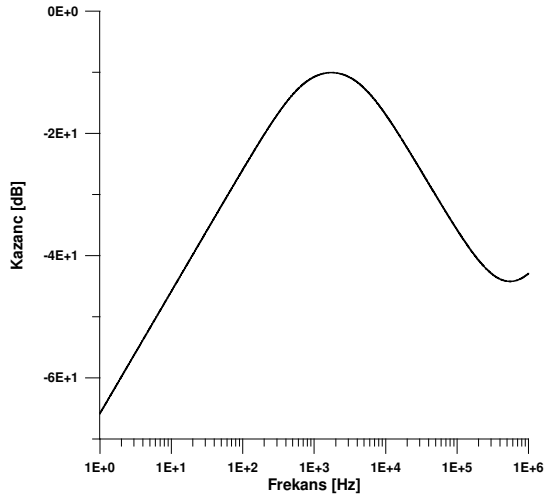
$$Q_0 = \frac{R_3(1 + A_0)R_4}{C_1C_2R_1R_2R_3(C_2R_2R_3 + C_1R_1R_3 + C_1R_1R_2 + C_2R_1R_3)}$$
(6)

Denklem (5) ve Denklem (6)'dan da görüldüğü gibi süzgecin kutup frekansı ve değer katsayısı, akım kuvvetlendiricisinin kazancı ile ayarlanabilmektedir. Dolayısıyla, süzgeç devresinde, bu çalışmada önerilen akım kuvvetlendiricisi kullanıldığında, süzgecin kesim frekansı ve değer katsayısı birbirine bağlı olarak sayısal olarak kontrol edilebilir.

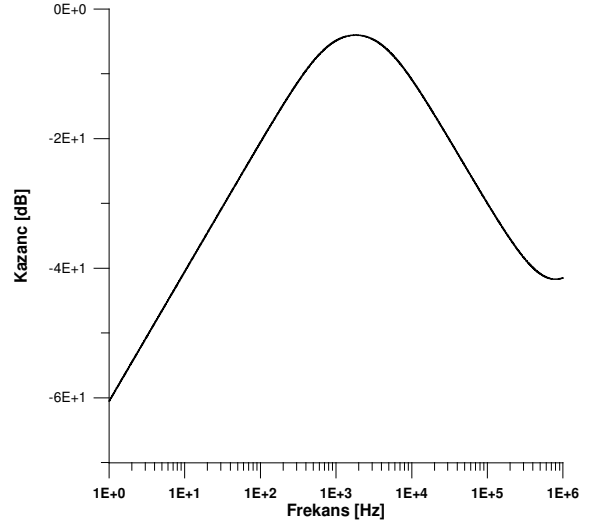
6. Bandgeçiren Süzgecin Benzetim Sonuçları

Şekil 7'de gösterilen bandgeçiren süzgecin, Şekil 2'de önerilen akım kuvvetlendirici devresi kullanılarak benzetimleri SPICE ortamında yapılmıştır. Pasif eleman değerleri, entegre haldeki akım kuvvetlendiriciye dışarıdan bağlanabilecek şekilde $C_1=C_2=100\text{nF}$, $R_1=10\text{k}$, $R_2=1\text{k}$ ve $R_3=1\text{k}$ olarak seçilmiştir.

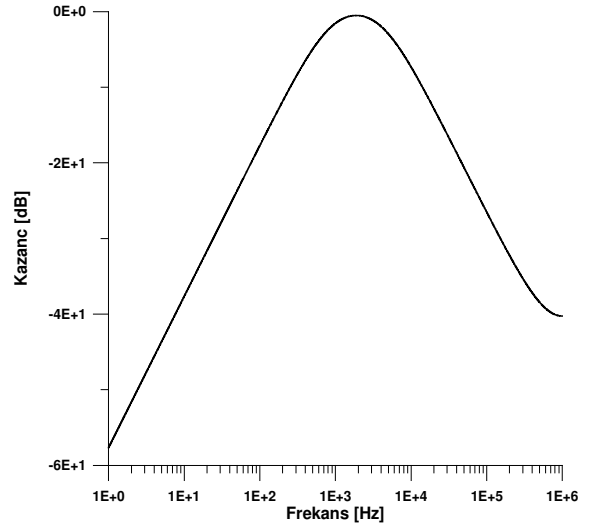
Akım kuvvetlendiricisinin farklı kontrol işaretleri için elde edilen süzgeç karakteristikleri Şekil 8, Şekil 9, Şekil 10 ve Şekil 11'de gösterilmiştir.



Şekil 8: Bandgeçiren süzgecin $C_1=1$, $C_2=C_3=C_4=0$ için ($A_0=1$ için) benzetimden elde edilen kazanç-frekans karakteristiği

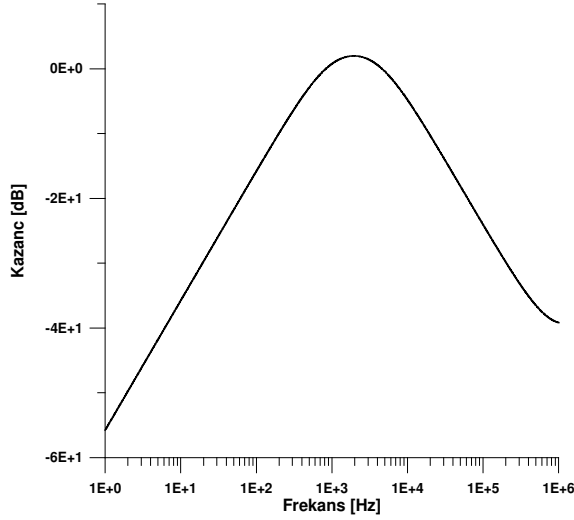


Şekil 9: Bandgeçiren süzgecin $C_1=C_2=1$, $C_3=C_4=0$ için ($A_0=2$ için) benzetimden elde edilen kazanç-frekans karakteristiği



Şekil 10: Bandgeçiren süzgecin $C_1=C_2=C_3=1$, $C_4=0$ için ($A_0=3$ için) benzetimden elde edilen kazanç-frekans karakteristiği

Süzgecin hesaplanan kutup frekansları ile benzetimler sonucunda elde edilen kutup frekansları da Tablo 2'de gösterilmiştir.



Şekil 11: Bandgeçiren süzgecin $C1=C2=C3=C4=1$ için ($A_0=4$ için) benzetimden elde edilen kazanç-frekans karakteristiği

Tablo 2: Bandgeçiren süzgecin hesaplanan ve benzetimden elde edilen kutup frekanslarının akım kuvvetlendiricisinin kazancına göre değişimi

A_0	Benzetimden elde edilen kutup frekansı	Hesaplanan kutup frekansı
1	1.745kHz	1.748kHz
2	1.815kHz	1.819kHz
3	1.883kHz	1.885kHz
4	1.945kHz	1.949kHz

7. Sonuçlar ve Gelecek Çalışmalar

Bu bildiride, kazancı dijital giriş işaretleriyle ayarlanabilen bir akım kuvvetlendiricisi yapısı önerilmiştir. Önerilen akım kuvvetlendiricisinin eleman karakteristikleri $\pm 2.5V$ besleme gerilimleri kullanılarak $0.5\mu m$ MOSIS AMIS proses parametreleri ile elde edilmiştir. Önerilen akım kuvvetlendiricisinin giriş direnci 16Ω , çıkış direnci ise $585k\Omega$ olarak SPICE benzetimleri ile elde edilmiştir. Ayrıca, akım kuvvetlendiricisinin kazancının hassas bir şekilde kontrol edilebildiği de DC benzetimler ile elde edilmiştir. Literatürdeki diğer akım kuvvetlendiricileri ile karşılaştırıldığında, giriş direncinin düşük, çıkış direncinin yüksek olması ve sayısal olarak ayarlanabilme özelliklerinin bu şekilde kolay kullanılabilir bir yapı ile gerçekleştirilmesi ile öne çıkmaktadır.

Önerilen akım kuvvetlendiricisinin kullanılabilirliğini test etmek için, akım modlu bir bandgeçiren süzgeç devresinde uygulaması yapılmıştır. Yine SPICE benzetimleri ile süzgeç karakteristiklerinin de, akım kuvvetlendiricisinin kontrol işaretleri ile hassas bir biçimde ayarlanabildiği gösterilmiştir. Süzgecin hesaplanan ve benzetimden elde edilen kutup frekanslarının birbirine yakın olması, önerilen akım

kuvvetlendirici devresinin kullanılabilirliğini göstermiştir. Gelecek çalışmalarda, akım kuvvetlendiricisinin daha farklı akım modlu devre uygulamalarında kullanılması planlanmaktadır.

8. Kaynaklar

- [1] Toumazou C., Lidgley F. J. ve Haigh D., *Analog IC design: the current-mode approach*, Peter Peregrinus, İngiltere, 1998.
- [2] Sedra A. ve Smith K. C., "A second generation current conveyor and its applications", *IEEE Transactions on Circuit Theory*, Cilt No: 17, Sayı No: 1, pp. 132-134, 1970.
- [3] Özoğuz S. ve Acar C., "A new versatile building block: current differencing buffered amplifier suitable for analog signal processing filters", *Microelectronics Journal*, Cilt No: 30, Sayı No: 2, 1999.
- [4] Biolek D., "CDTA – Building block for current-mode analog signal processing", *Proc. Of European Conference on Circuit Theory and Design*, pp. 397-400, Krakow, Poland, September 2003.
- [5] Higashimura M., "Current-mode allpass filter using FTFN with grounded capacitor", *Electronics Letters*, Cilt No: 27, Sayı No: 13, pp. 1182-1183, 1991.
- [6] Chiu W., Liu H., Tsao W. ve Chen J. J., "CMOS differential difference current conveyors and their applications", *IEEE Proceedings on Circuits and Systems*, Cilt No: 143, Sayı No: 2, pp. 91-96, 1996.
- [7] Elwan H. O. ve Soliman A. M., "Novel CMOS differential difference current conveyor and its applications", *IEEE Transactions on Circuits and Systems-II: Analog and Digital Signal Processing*, Cilt No: 43, Sayı No: 9, pp. 663-670, 1997.
- [8] Fabre A., Saaid O., Wiest F. ve Boucheron C., "High frequency applications based on a new current controlled conveyor", *IEEE Transactions on Circuits and Systems-I: Fundamental Theory and Applications*, Cilt No: 43, Sayı No: 2, pp. 82-91, 1996.
- [9] Surakampontorn W. ve Thitimajshima P., "Integrable electronically tunable current conveyors", *IEE Proceedings G*, Cilt No: 135, Sayı No: 2, 1988.
- [10] Çiçekoğlu O., Toker A. ve Kuntman H. H., "Universal immittance function simulators using current conveyors", *Computers and Electrical Engineering*, Cilt No: 27, Sayı No: 3, pp. 237-238, 2001.
- [11] Yüce E. ve Minaei S., "Universal current-mode filters and parasitic impedance effects on the filter performances", *International Journal of Circuit Theory and Applications*, Cilt No: 36, Sayı No: 2, pp. 161-172, 2007.
- [12] Palimsano G., Palumbo G. ve Pennisi S., "High drive CMOS current amplifier", *IEEE Journal of Solid State Circuits*, Cilt No: 33, Sayı No: 2, pp. 228-236, 1998.
- [13] Kaulberg T., "A CMOS current mode operational amplifier", *IEEE Journal of Solid State Circuits*, Cilt No: 28, Sayı No: 7, 1993.
- [14] Kaewdang K., Surakampontorn W. ve Fujii N., "A design of CMOS tuneable current amplifiers", *International Conf. On Comm. And Inf. Tech.*, pp. 519-522, 2004.
- [15] Lattenberg I. ve Vrba K., "Filters with current amplifiers for high-speed communication", *International Conference on Networking*, pp. 150-153, 2006.