

Akım İzleyici Tabanlı Gerilim Modlu Birinci Dereceden Ayarlanabilir Tüm Geçiren Süzgeç

A Current Follower Based Voltage-Mode First-Order Adjustable All-Pass Filter

Fırat Yücel¹, Erkan Yüce²

¹ Akdeniz Üniversitesi Enformatik Bölümü
07058 Kampus, Konyaaltı/ANTALYA
fyucel@akdeniz.edu.tr

² Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü 20070 Kınıklı/DENİZLİ
erkanyuce@yahoo.com

Özet

Bu çalışmada, akım izleyici tabanlı gerilim modlu birinci dereceden yeni bir tüm geçiren süzgeç önerilmektedir. Önerilen tüm geçiren süzgeç, bir adet akım izleyici, üç adet direnç ve bir adet bir ucu topraklı kondansatörden oluşmaktadır. Aynı zamanda, önerilen tüm geçiren süzgeç düşük güç tüketimine sahiptir ve yüksek frekanslarda çalışabilmektedir. Buna karşın, bir adet pasif eleman eşlemesine gereksinim duymaktadır. Önerilen tüm geçiren süzgecin performansını göstermek üzere, 0.13 µm IBM CMOS parametreleri kullanılarak gerçekleştirilen SPICE benzetim sonuçları verilmiştir.

Abstract

In this study, a new current follower based voltage-mode first-order all-pass filter is proposed. The proposed all-pass filter consists of a current follower, three resistors and a grounded capacitor. Also, the proposed filter has low power consumption and it can be operated at the high frequencies. However, it has a passive element matching condition. The SPICE simulation results based on 0.13 µm IBM CMOS parameters are given to demonstrate the performance of the proposed all-pass filter.

1. Giriş

Tüm geçiren süzgeçler veya diğer bir adıyla faz kaydırıcılar, elektriksel işaretin genliği sabit tutulurken, yalnızca faz açısının değiştirilmesi amacıyla birçok işaret işleme uygulamasında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [1]-[18]. Tüm geçiren süzgeçler; gerilim, akım, geçiş direnci ve geçiş iletkeni modlu olarak gruplandırılabilir [1].

İlk zamanlarda, bilimsel yazında geçen birinci dereceden gerilim modlu tüm geçiren süzgeç çalışmaları, işlemsel yükselteçler kullanılarak gerçekleştirilmiştir [2]-[4]. 1970 yılında Sedra ve Smith [5] tarafından ikinci nesil akım

taşıyıcıların (CCII) önerilmesiyle birlikte, CCII tabanlı birinci dereceden tüm geçiren süzgeçler tasarlanmaya başlanmıştır [6]-[14]. Bu süzgeçlerin bir kısmı, CCII elemanının X ucuna seri bağlı bir kondansatör içerdiğinden, devrenin yüksek frekanslardaki performansı olumsuz yönde etkilenmektedir [6], [7], [10]. CCII elemanı ile gerçekleştirilen birinci dereceden tüm geçiren süzgeç devrelerinden bazıları ise yüzen kondansatör içermektedir [8], [9]. Bilimsel yazında, gerilim kazancı değiştirilmiş CCII içeren konfigürasyonlar da mevcuttur [11]. Çift çıkışlı CCII (DO-CCII) ve akım kazancı değiştirilmiş CCII (MCCII) elemanları ile gerçekleştirilen birinci dereceden tüm geçiren süzgeçler, [12]-[14]'te verilmiştir. Çift X girişli CCII (DX-CCII) kullanılarak tasarlanan birinci dereceden tüm geçiren süzgeç, [15]'te verilmektedir. Ayrıca, MOS transistör tabanlı [16], [17] ve farksal gerilimli akım taşıyıcı (DVCC) tabanlı [18] bazı birinci dereceden tüm geçiren süzgeçler bulunmaktadır.

Ancak, akım taşıyıcıların kullanıldığı devreler, ideal olmayan durumda, frekansa bağımlı olarak hem gerilim kazancı, hem de akım kazancı faktörlerinden etkilenmektedir [19]. Akım izleyicilerin kullanıldığı devreler ise yalnızca frekansa bağımlı ideal olmayan akım kazancı faktöründen etkilenmektedir.

Bu çalışmada, akım izleyici tabanlı gerilim modlu birinci dereceden yeni bir tüm geçiren süzgeç önerilmektedir. Önerilen tüm geçiren süzgeç, on altı adet MOS transistör içeren bir akım izleyici, üç adet direnç ve bir adet bir ucu topraklı kondansatör elemanından oluşmaktadır. Düşük güç tüketimine sahip olan devre, aynı zamanda yüksek frekanslarda çalışabilmektedir. Ancak, devrede bir pasif eleman eşlenmesine gereksinim duyulmaktadır. Devrenin çalışabilirliğini göstermek üzere, 0.13 µm IBM CMOS parametreleri kullanılarak gerçekleştirilen SPICE benzetim sonuçları çalışmaya eklenmiştir.

Bu makalede, birinci bölümde yapılan girişten sonra, ikinci bölümde akım izleyici elemanı hakkında bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde, önerilen birinci dereceden gerilim modlu tüm geçiren süzgeç devresi anlatılmaktadır. Dördüncü

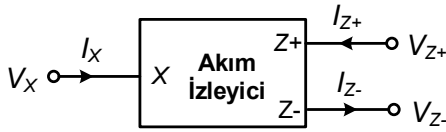
bölümde sunulan benzetim sonuçlarının ardından, son bölümde elde edilen sonuçlar özetlenmektedir.

2. Akım İzleyici

Bir giriş ve iki çıkış terminaline sahip bir akım izleyicinin elektriksel sembolü, Şekil 1’de gösterilmiştir. İdeal olarak $V_X = 0$, $I_{Z+} = I_X$ ve $I_{Z-} = -I_X$ olarak tanımlanan akım izleyici, ideal olmayan durumda aşağıdaki eşitlik ile gösterilebilir:

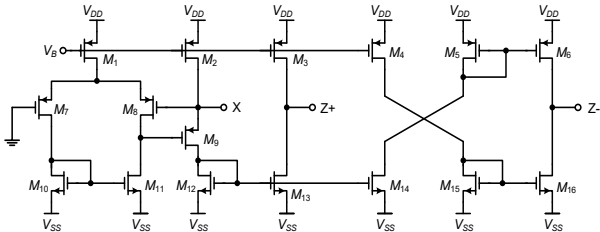
$$\begin{bmatrix} V_X \\ I_{Z+} \\ I_{Z-} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \alpha \\ -\gamma \end{bmatrix} I_X \quad (1)$$

Eşitlik (1)’de, α ve γ frekansa bağımlı, ideal olmayan akım kazançlarını ifade etmekte olup, ideal durumda 1 kabul edilir. Yeterince düşük frekanslarda, $\alpha = 1 - \varepsilon_\alpha$ ($|\varepsilon_\alpha| \ll 1$) ve $\gamma = 1 - \varepsilon_\gamma$ ($|\varepsilon_\gamma| \ll 1$) olur. Burada ε_α ve ε_γ akım izleme hatasını ifade etmekte olup, ideal durumda sıfır kabul edilir.



Şekil 1: Akım izleyicinin elektriksel sembolü.

Benzetimlerde kullanılan akım izleyicinin içyapısı [20], Şekil 2’de verilmektedir. İçyapı devresi, on altı adet MOS transistör ve bir kutuplama gerilimi (V_B) içermekte olup, tüm MOS transistörlerin doyum bölgesinde çalıştığı varsayılmaktadır. İçyapı devresinde kullanılan tüm MOS transistörlerin gövdeleri, ilgili transistörün kaynak ucuna bağlanmıştır, bu nedenle gövde etkileri ihmal edilebilir. Bazı akım izleyici içyapıları, CCII tabanlı içyapılara göre daha az transistörle tasarlanabilir.



Şekil 2: Kullanılan akım izleyici içyapısı [20].

3. Akım İzleyici Tabanlı Birinci Dereceden Tüm Geçiren Süzgeç

Önerilen birinci dereceden tüm geçiren süzgeç devresi, bir adet akım izleyici, iki adet direnç ve bir adet bir ucu topraklı kondansatör elemanı içermektedir. Önerilen tüm geçiren süzgecin devre şeması, Şekil 3’te verilmektedir. Tüm geçiren süzgeç tepkisini elde etmek için $R_2 = 2R_1$ olarak seçilmelidir. İdeal olarak, önerilen tüm geçiren süzgecin transfer fonksiyonu aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$\frac{V_{ap}}{V_{in}} = -\frac{1-sRC}{1+sRC} \quad (2)$$

Böylece, önerilen tüm geçiren süzgecin açılal kutup frekansı $\omega_o = 1/(RC)$ olur. Denklem (2)’de görüldüğü üzere, önerilen süzgeç, eviren birim kazançla sahiptir. Devrenin faz tepkisi,

$$\phi(\omega) = \pi - 2 \tan^{-1}(\omega CR) \quad (3)$$

olarak bulunur. Burada, faz açısı 180° ’den 0° ’ye doğru değişirken, frekans, sıfırdan sonsuza doğru değişmektedir.

Pasif eleman eşleniği olmadığı ve ideal olmayan akım kazançları dikkate alındığı durumda, önerilen tüm geçiren süzgecin transfer fonksiyonu,

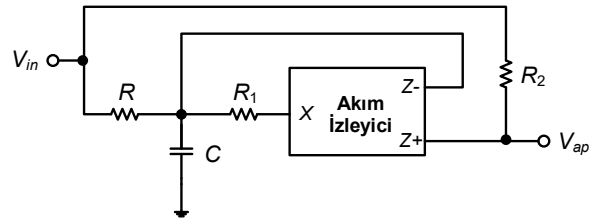
$$\frac{V_{ap}}{V_{in}} = -\frac{-R_1 + \alpha R_2 - (1-\gamma)R - sCRR_1}{R_1 + (1-\gamma)R + sCRR_1} \quad (4)$$

olarak elde edilir. Pasif eleman eşleniği olmadığı ve ideal olmayan kazançlar dikkate alındığı durumda, faz tepkisi ise

$$\phi(\omega) = \pi - \tan^{-1}\left(\frac{\omega CRR_1}{-R_1 + \alpha R_2 - (1-\gamma)R}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{\omega CRR_1}{R_1 + (1-\gamma)R}\right) \quad (5)$$

olarak bulunur.

İdeal olmayan kazançlar ve parazitik empedansların etkisinin azaltılması için [21]’de bazı yöntemler verilmektedir.



Şekil 3: Önerilen tüm geçiren süzgecin devre şeması.

Şekil 3’te R ve C elemanları yer değiştirildiğinde, önerilen tüm geçiren süzgeç, bir yüzen kondansatör ve üç dirençten oluşacaktır. $R_2 = 2R_1$ olarak seçildiğinde, önerilen süzgecin transfer fonksiyonu ve faz tepkisi sırasıyla aşağıdaki şekilde verilir:

$$\frac{V_{ap}}{V_{in}} = \frac{1-sRC}{1+sRC} \quad (6a)$$

$$\phi(\omega) = -2 \tan^{-1}(\omega RC) \quad (6b)$$

Böylece, açılal kutup frekansı, MOS transistor tabanlı elektronik olarak ayarlanabilir bir ucu topraklı direnç yardımıyla değiştirilebilir [22]-[24].

4. Benzetim Sonuçları

Önerilen birinci dereceden tüm geçiren süzgecin çalışma performansının gösterilmesi amacıyla, $0.13 \mu\text{m}$ IBM CMOS parametreleri kullanılarak SPICE programında birkaç benzetim gerçekleştirilmiştir. Simetrik DC güç kaynağı gerilimleri $V_{DD} = -V_{SS} = 0.75 \text{ V}$ olarak seçilmiştir. V_B kutuplama gerilimi, 0.37 V olarak uygulanmıştır. Tüm

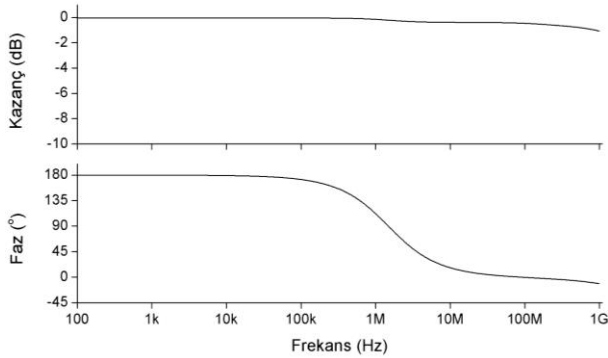
benzetimler için, Şekil 3'te verilen devredeki pasif elemanlar $R = R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 2 \text{ k}\Omega$ ve $C = 100 \text{ pF}$ olarak seçilmiştir. Şekil 2'deki akım izleyici içyapısında kullanılan MOS transistörlerin boyutları (W/L), Çizelge 1'de verilmektedir.

Çizelge 1: MOS transistörlerin W/L değerleri.

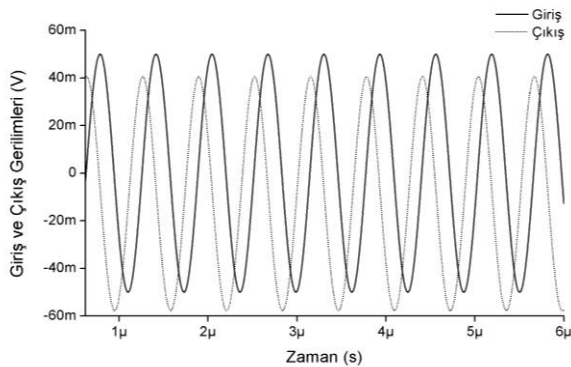
MOS Transistör	$W/L(\mu\text{m})$
M_1-M_8	41.6/0.52
M_9	83.2/0.52
$M_{10}-M_{16}$	13.0/0.52

Önerilen tüm geçiren süzgecin kazanç ve faz tepkisi, Şekil 4'te verilmektedir. Kazanç değeri, yüksek frekanslarda yaklaşık -0.5 dB düzeyine düşmektedir, ancak bu kabul edilebilir bir değerdir.

Önerilen tüm geçiren süzgecin girişine, 50 mV tepe genliğine sahip ve 1.59 MHz kutup frekansında bir sinüzoidal giriş gerilimi uygulanmıştır. Giriş gerilimi ve elde edilen çıkış gerilimi, Şekil 5'te görüldüğü gibidir. Giriş işareti ile çıkış işareti arasında yaklaşık 90°'lik bir faz farkı oluşmuştur. Şekil 5'te akım kazancının 1'den az olduğu görülmektedir. Ayrıca, çıkış geriliminde birkaç mili Volt düzeyinde negatif ofset gerilimi vardır. Bunun nedeni, akım izleyicinin parazitik empedansları ve frekansa bağımlı ideal olmayan akım kazançlarıdır.

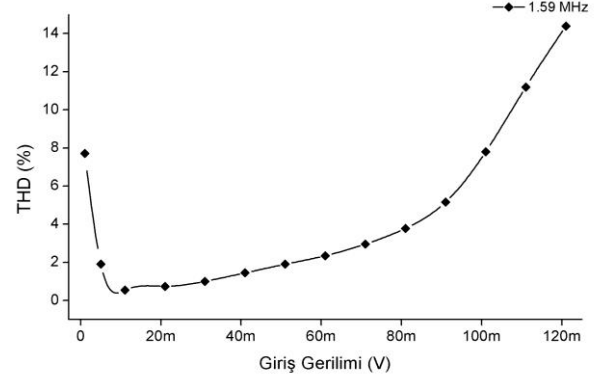


Şekil 4: Önerilen tüm geçiren süzgecin kazanç ve faz tepkisi.



Şekil 5: Önerilen tüm geçiren süzgecin sinüzoidal giriş tepkisi.

Önerilen tüm geçiren süzgecin güç tüketimi, SPICE benzetimlerinde 569 μW olarak hesaplanmıştır. Giriş gerilimi frekansı 1.59 MHz iken, giriş geriliminin 1 mV ile 120 mV arasında değiştirilmesi sonucunda elde edilen toplam harmonik bozulmanın (THD) değişimi, Şekil 6'da görülmektedir. THD değerleri, 5 mV ile 80 mV aralığında % 4'ten küçüktür.



Şekil 6: Önerilen tüm geçiren süzgecin giriş gerilimine göre THD değişimi.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, gerilim modlu birinci dereceden yeni bir tüm geçiren süzgeç önerilmektedir. Önerilen süzgeç, bir akım izleyici, üç adet direnç ve bir adet bir ucu topraklı kondansatör elemanından oluşmaktadır. Akım izleyicilerin kullanıldığı devreler, yalnızca frekansa bağımlı ideal olmayan akım kazancı faktöründen etkilenmektedir. Dolayısıyla önerilen tüm geçiren süzgeçte ideal olmayan gerilim kazancı etkisi yoktur. Ayrıca, devredeki R ve C elemanları yer değiştirildiğinde, önerilen tüm geçiren süzgecin açılal kutup frekansı, ayarlı bir direnç yardımıyla elektronik olarak değiştirilebilmektedir. Önerilen tüm geçiren süzgeç, düşük güç tüketimine sahiptir. Bununla birlikte, bir pasif eleman eşlenmesine gereksinim duymaktadır. 0.13 μm IBM CMOS parametreleri kullanılarak gerçekleştirilen SPICE benzetim sonuçları, devrenin çalışabilirliğini göstermektedir.

6. Kaynaklar

- [1] Yucel, F. and Yuce, E., "A new, single CCII-based, voltage-mode, first-order, all-pass filter and its quadrature oscillator application", *Scientia Iranica Transaction D: Computer Science & Engineering and Electrical Engineering*, vol. 22, no. 3, pp. 1068-1076, 2015.
- [2] Ponsonby, J. E. B., "Active all-pass filter using a differential operational amplifier", *Electronics Letters*, vol. 2, no. 4, pp. 134-135, 1966.
- [3] Dutta Roy, S. C., "RC active all-pass networks using a differential-input operational amplifier", *Proceedings of the IEEE*, vol. 57, no. 11, pp. 2055-2056, 1969.
- [4] Schoonaert, D. H. and Kretzschmar, J., "Realization of operational amplifier all-pass networks", *Proceedings of the IEEE*, vol. 58, no. 6, pp. 953-955, 1970.
- [5] Sedra, A. and Smith, K. A., "A second-generation current conveyor and its applications", *IEEE Transactions on Circuit Theory*, vol. 17, no. 10, pp. 132-134, 1970.

- [6] Salawu, R. I., "Realization of an all-pass transfer function using the second generation current conveyor", *Proceedings of the IEEE*, vol. 68, no. 1, pp. 183-184, 1980.
- [7] Pal, K. and Rana, S., "Some new first-order all-pass realizations using CCII", *Active and Passive Electronic Components*, vol. 27, no. 2, pp. 91-94, 2004.
- [8] Pandey, N. and Paul, S. K., "All-pass filters based on CCII- and CCCII-", *International Journal of Electronics*, vol. 91, no. 8, pp. 485-489, 2004.
- [9] Toker, A., Özcan, S., Kuntman, H. and Çiçekoğlu, O., "Supplementary all-pass sections with reduced number of passive elements using a single current conveyor", *International Journal of Electronics*, vol. 88, no. 9, pp. 969-976, 2001.
- [10] Horng, J. W., "Current conveyors based allpass filters and quadrature oscillators employing grounded capacitors and resistors", *Computers and Electrical Engineering*, vol. 31, no. 1, pp. 81-92, 2005.
- [11] Yuce, E., Pal, K. and Minaei, S., "A high input impedance voltage-mode all-pass/notch filter using a single variable gain current conveyor", *Journal of Circuits, Systems and Computers*, vol. 17, no. 5, pp. 827-834, 2008.
- [12] Metin, B. and Pal, K., "Cascadable allpass filter with a single DO-CCII and a grounded capacitor", *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, vol. 61, no. 3, pp. 259-263, 2009.
- [13] Metin, B. and Cicekoglu, O., "Component reduced all-pass filter with a grounded capacitor and high-impedance input", *International Journal of Electronics*, vol. 96, no. 5, pp. 445-455, 2009.
- [14] Yucel, F. and Yuce, E., "CCII based more tunable voltage-mode all-pass filters and their quadrature oscillator applications", *International Journal of Electronics and Communications (AEÜ)*, vol. 68, no. 1, pp. 1-9, 2014.
- [15] Minaei, S. and Yuce, E., "Unity/variable-gain voltage-mode/current-mode first-order all-pass filters using single dual-X second-generation current conveyor", *IETE Journal of Research*, vol. 56, no. 6, pp. 305-312, 2012.
- [16] Yuce, E., "A novel CMOS-based voltage-mode first-order phase shifter employing a grounded capacitor", *Circuits, Systems and Signal Processing*, vol. 29, no. 2, pp. 235-245, 2010.
- [17] Minaei, S. and Yuce, E., "High input impedance NMOS-based phase shifter with minimum number of passive elements", *Circuits, Systems and Signal Processing*, vol. 31, no. 1, pp. 51-60, 2012.
- [18] Ibrahim, M. A., Minaei, S. and Yuce, E., "All-pass sections with rich cascability and IC realization suitability", *International Journal of Circuit Theory and Applications*, vol. 40, no. 5, pp. 461-472, 2012.
- [19] Liu, S. I., Chen, J. J. and Hwang, Y. S., "New current mode biquad filters using current followers", *IEEE Transactions on Circuits and Systems – I: Fundamental Theory and Applications*, vol. 42, no. 7, pp. 380-383, 1995.
- [20] Surakampontorn, W., Riewruja, V., Kumwachara K. and Dejhan, K., "Accurate CMOS based current conveyors", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 40, pp. 699-702, 1991.
- [21] Yuce, E., "Negative impedance converter with reduced non-ideal gain and parasitic impedance effects", *IEEE Transactions on Circuits and Systems I- Regular Papers*, vol. 55, no. 1, pp. 276-283, 2008.
- [22] Yuce, E., Minaei, S. and Herencsar, N., "Grounded voltage controlled positive resistor with ultra low power consumption", *Elektronika Ir Elektrotehnika*, vol. 20, no. 7, pp. 45-50, 2014.
- [23] Yuce, E., Minaei, S. and Alpaslan, H., "Novel CMOS technology-based linear grounded voltage controlled resistor", *Journal of Circuits, Systems, and Computers*, vol. 20, no. 3, pp. 447-455, 2011.
- [24] Yuce, E., Minaei, S. and Alpaslan, H., "Single voltage controlled CMOS grounded resistors and their application to video filter", *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, vol. 21, no. 5, pp. 501-509, 2014.