

Düşük-giriş yüksek-çıkış empedanslı yeni bir akım-modlu KHN-süzgeci

Muhammed Abdulbaki İBRAHİM*, Hakan KUNTMAN

İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Bu çalışmada, yeni bir ikinci dereceden akım-modlu Kerwin-Huelsman-Newcomb (KHN) süzgeci önerilmiştir. Önerilen devre, üç diferansiyel gerilim akım taşıyıcı (DVCC), iki kapasitör ve üç direnç kullanmaktadır. Devre, yüksek geçiren (YG), bant geçiren (BG) ve alçak geçiren (AG) 'den oluşan üç temel süzgeç fonksiyonunu eş zamanda üretmektedir. Tümgeçiren (TG) ve bant söndüren (BS) süzgeç fonksiyonları uygun süzgeç çıkış işaretleri doğrudan bağlanarak elde edilebilir. Giriş işareti düşük empedanslı düğüme bağlandığından ve tüm çıkış işaretleri yüksek empedanslı düğümlerden alındığından dolayı önerilen devre akım-modlu çalışmalarda artarda bağlanma açısından yarar sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: DVCC, KHN-süzgeci, akım-mod.

A new low-input high-output impedance current-mode KHN-filter

Abstract

The well-known Kerwin-Huelsman-Newcomb biquad, or KHN-biquad, is a filter circuit that consists of two integrator and a summer circuits. Based on the active elements used in the integrator and summer circuits, several KHN-biquads have been presented in the literature. In this paper, a current-mode (CM) KHN-biquad is proposed. The circuit employs three differential voltage current conveyors (DVCCs) as active elements together with two capacitors and three resistors as passive elements. Tracking error effect and sensitivity analyses of the circuit are performed. SPICE simulation results are given to verify the predictions. It is seen that the circuit enjoys the following advantages: a) providing the basic three filter functions (BP, HP and LP) simultaneously, b) realizing the notch and allpass functions by connecting appropriate output currents directly without using additional active or passive elements, c) low input impedance and high output impedances, which is important for cascade connections in current-mode operations, d) use of only grounded passive elements, which is attractive in integrated circuit implementation, e) control of the quality factor Q without disturbing the parameter ω_0 of the filter and f) low active and passive sensitivities. The grounded resistors of the circuit are realized using electronic resistors of which each constructed with two MOS transistors.

Keywords: DVCC, KHN-filter, current-mode.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Muhammed Abdulbaki İBRAHİM. ibrahimm@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 36 47.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi'nde tamamlanmış olan "New Cmos DDCC and DVCC Structures and their applications" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 20.04.2004 tarihinde dergiye ulaştı, 17.05.2004 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.07.2006 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Giriş

Akım taşıyıcıları (current conveyors) ve onların farklı biçimleri üzerine kurulan değişik evrensel süzgeç tasarımı konusunda yapılan çalışmalar son zamanlarda gittikçe artmaktadır (Elwan ve Soliman, 1996, Chang ve Lee, 1999, Cicekoglul, 2001, Wang ve Lee, 2001). Diğer taraftan, iyi bilinen ikinci dereceden Kerwin-Huelsman-Newcomb süzgecinin, yada KHN-süzgecinin, bir çok avantaja sahip olduğu bilinmektedir (Kerwin vd., 1967). İki tümlev ve bir toplayıcıdan oluşan KHN-süzgeci, düşük aktif ve pasif duyarlılık, düşük bileşen dağılımı gösterme ve kararlılık gibi avantajlara sahiptir. Tümlev ve toplayıcı devrelerinde kullanılan aktif elemana göre literatürde birtakım KHN süzgeçleri sunulmuştur (Soliman, 1994; Senani ve Singh, 1995; Toker vd., 1999; Khaled ve Soliman, 2000; Altuntaş ve Toker, 2002; İbrahim vd., 2003). Bunların bazıları yüksek bant genişliğine sahip olan akım taşıyıcıları kullanmaktadır. Soliman, 1994; Senani ve Singh, 1995; Khaled ve Soliman, 2000'de verilen devreler gerilim modunda çalışmaktadır. Akım modlu devrelerin daha geniş bant aralığı, daha yüksek lineerliği, daha az güç tüketimi ve daha geniş dinamik aralığı gibi özelliklere sahip olmaları (Toumazou vd., 1990) dikkate alınarak birkaç akım modlu KHN-süzgeci sunulmuştur (Toker vd., 1999, Khaled ve Soliman, 2000, Altuntaş ve Toker, 2002, İbrahim vd., 2003). Ancak, Toker ve diğerleri, (1999), Khaled ve Soliman, (2000), Altuntaş ve Toker'de (2002) sunulan devreler üç giriş ve bir çıkışlı devreler olduklarından eş zamanda yüksek geçiren (YG), bant geçiren (BG) ve alçak geçiren (AG)'den oluşan her üç temel süzgeç fonksiyonunu üretememektedirler. Buna ek olarak, Toker ve diğerlerinde (1999) verilen devre iki yüzen direnç olmak üzere toplam altı direnç kullanmaktadır. Altuntaş ve Toker'de (2002) verilen devre ise daha az direnç kullanmasına karşın beş aktif eleman kullanmaktadır. İbrahim ve diğerlerinde, (2003) verilen devre ise tümgeçiren (TG) ve bant söndüren (BS) süzgeç fonksiyonunu doğrudan hiçbir aktif yada pasif eleman kullanmadan üretememektedir.

Bu çalışmada, üç diferansiyel gerilim akım taşıyıcı (DVCC) (differential voltage current

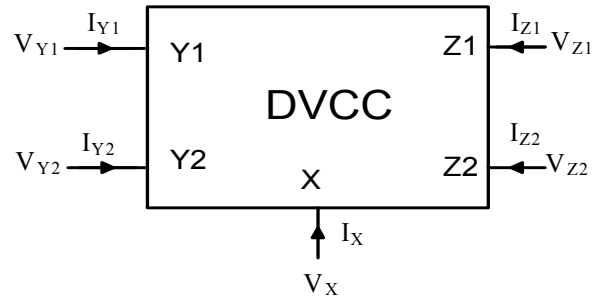
conveyor) (Elwan ve Soliman, 1997), iki kapasitör ve üç direnç üzerine kurulan bir akım modlu ikinci dereceden KHN-süzgeci sunulmuştur. Pasif elemanların tümü topraklı olduklarından dolayı önerilen devre tüm devrelerin gerçekleştirilmesi açısından önem taşımaktadır. Giriş işareti düşük empedanslı düğüme bağlandığından ve tüm çıkış işaretleri yüksek empedanslı düğümlerden alındığından dolayı önerilen devre akım-modlu çalışmalar için çok uygun olmaktadır. Süzgecin nitelik çarpanı Q özfrekans ω_0 'dan bağımsız olarak ayarlanabilir. SPICE benzetim sonuçları devrenin yüksek başarılı olduğunu göstermektedir.

DVCC elemanı

DVCC elemanı şematik olarak Şekil 1'de gösterilmiştir. Elemanın tanım bağıntıları matrisel olarak

$$\begin{bmatrix} V_x \\ I_{Y1} \\ I_{Y2} \\ I_{Z1} \\ I_{Z2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_x \\ V_{Y1} \\ V_{Y2} \\ V_{Z1} \\ V_{Z2} \end{bmatrix} \quad (1)$$

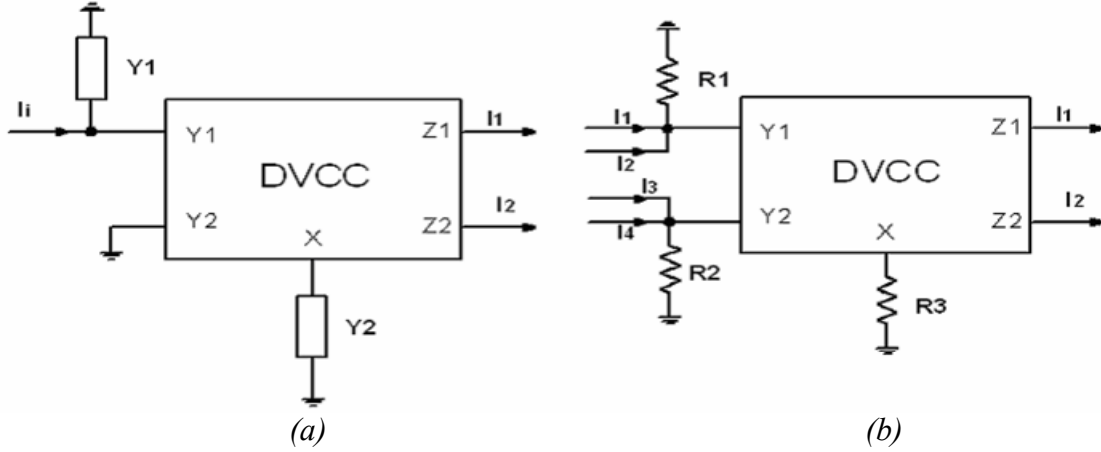
şekindedir.



Şekil 1. DVCC sembolü

Bir DVCC ve iki admitans kullanılarak Şekil 2'de verilen akım işleme temel yapı taşı devrelerini oluşturmak mümkündür. Devre aşağıdaki transfer fonksiyonunu vermektedir

$$I_{o1} = \frac{Y_2}{Y_1} I_i = -I_{o2} \quad (2a)$$



Şekil 2. DVCC elemanı üzerine kurulan (a) akım işleme temel yapı taşı devresi, (b) akım toplama ve çıkarma devresi

Y_1 ve Y_2 admitanslarının uygun seçilmesiyle akım modunda çalışan çeşitli temel yapı taşlar devrelerinin gerçekleştirilmesi mümkündür. Bunlar aşağıdaki gibidir:

1. Kuvvetlendirici; $Y_1=1/R_1$ ve $Y_2=1/R_2$ seçilirse Şekil 2(a)'da verilen devreden aşağıda transfer fonksiyonu verilen akım-modlu bir kuvvetlendirici elde edilebilir:

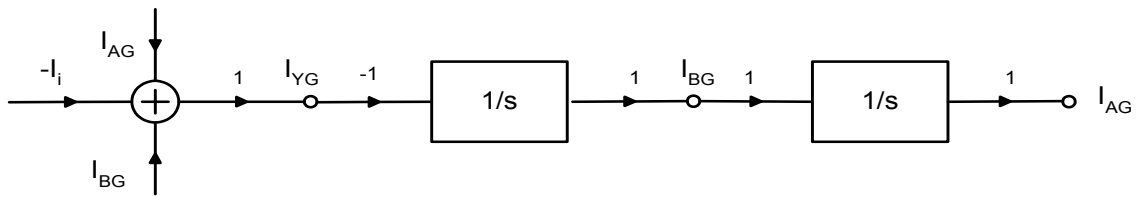
$$\frac{I_{o1}}{I_i} = \frac{-I_{o2}}{I_i} = \frac{R_1}{R_2} \quad (2b)$$

2. Tümler devresi; $Y_1=sC_1$ ve $Y_2=1/R_2$ seçilirse Şekil 2(a)'da verilen devreden aşağıda transfer fonksiyonu verilen akım-modlu bir tümler devresi elde edilebilir:

$$\frac{I_{o1}}{I_i} = \frac{-I_{o2}}{I_i} = \frac{1}{sC_1R_2} \quad (2c)$$

3. Türev alıcı; $Y_1=1/R_1$ ve $Y_2=sC_2$ seçilirse Şekil 2a'da verilen devreden aşağıda transfer fonksiyonu verilen akım-modlu bir türev alıcı devresi elde edilebilir:

$$\frac{I_{out1}}{I_{in}} = \frac{-I_{out2}}{I_{in}} = sC_2R_1 \quad (2d)$$



Şekil 3. Akım-modlu KHN-süzgecinin sinyal işleme blok diyagramı

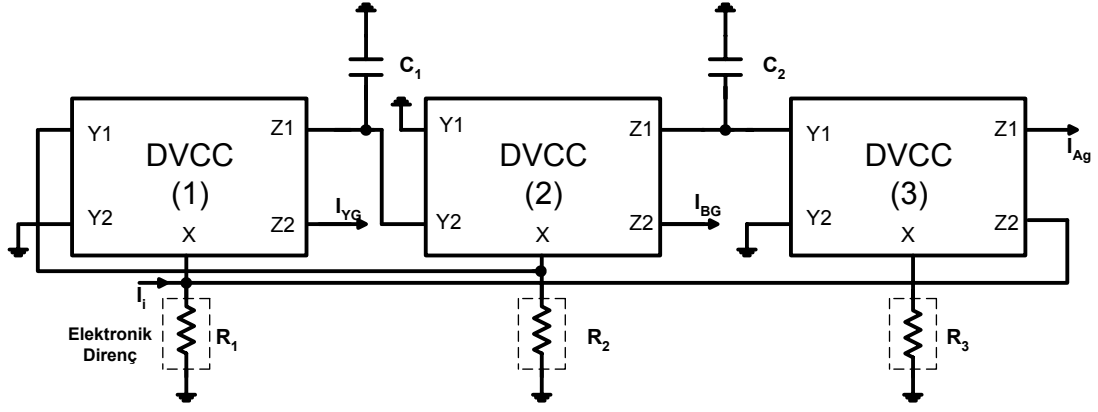
4. Toplama ve çıkarma devresi; Akımları gerilime çevirerek elde edilen gerilimlerin Y-uçlarına verilmesiyle Şekil 2b'de gösterilen ve aşağıda transfer fonksiyonu verilen toplama ve çıkarma devresi elde edilebilir:

$$I_{o1} = -I_{o2} = \frac{R_3}{R_1}(I_1 + I_2) - \frac{R_3}{R_2}(I_3 + I_4) \quad (3)$$

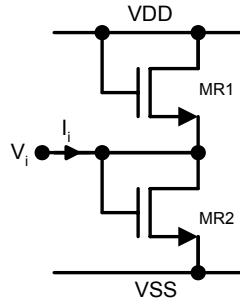
Önerilen KHN-süzgeci

DVCC'nin uç ilişkileri ve Şekil 2'de verilen temel yapı taşları kullanılarak, Şekil 3'de verilen KHN-süzgecinin sinyal işleme blok diyagramına göre, Şekil 4(a)'da verildiği gibi bir DVCC tabanlı akım-modlu KHN-süzgeci elde edilebilir. Giriş akımı küçük empedanslı X-ucuna bağlı olması ve tüm çıkış akımları da yüksek empedanslı Z-uçlarından alınması devrenin akım-modlu çalışmalar için çok uygun bir yapı olduğunu göstermektedir. Devrenin düğüm analizi aşağıdaki transfer fonksiyonunu vermektedir:

$$\frac{I_{YG}}{I_i} = \frac{s^2}{s^2 + \frac{1}{R_1C_1}s + \frac{1}{R_2R_3C_1C_2}} \quad (4a)$$



(a)



(b)

Şekil 4. (a)Önerilen DVCC tabanlı akım-modlu KHN-süzgeci (b)Elektronik direnç

$$\frac{I_{BG}}{I_i} = -\frac{\frac{1}{R_2 C_1} s}{s^2 + \frac{1}{R_1 C_1} s + \frac{1}{R_2 R_3 C_1 C_2}} \quad (4b)$$

$$\frac{I_{AG}}{I_i} = \frac{1}{R_2 R_3 C_1 C_2} \frac{1}{s^2 + \frac{1}{R_1 C_1} s + \frac{1}{R_2 R_3 C_1 C_2}} \quad (4c)$$

Şekilden görüldüğü gibi her üç temel süzgeç fonksiyonu (YG, BG, AG) eş zamanda elde edilebilir. Ayrıca, bant söndüren (BS) fonksiyonu doğrudan YG ve AG çıkışları toplanarak elde edilebilir. Bunun yanı sıra, $R_1=R_2$ alındığında TG fonksiyonu YG, BG ve AG çıkışları doğrudan toplanarak elde edilebilir.

Süzgecin özfrekansı ω_0 ve nitelik çarpanı Q aşağıdaki gibi verilebilir

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{R_2 R_3 C_1 C_2}}, \quad Q = R_1 \sqrt{\frac{C_1}{R_2 R_3 C_2}} \quad (5)$$

Burada Q parametresinin ω_0 'dan bağımsız olarak ayarlanabilir olmasına dikkat edilmesi gerekmektedir.

Önerilen KHN-süzgecindeki dirençlerin topraklı olduklarından dolayı bu dirençlerin yerine Şekil 4(b)'de gösterilen elektronik direnç (Wang, 1990) kolayca yerleştirilebilir. Şekil 4(b)'de verilen devrede MR1 ve MR2 eş transistor olup diyot bağlı transistor olmaktadır. İki transistorun ortak düğümüne verilen bir V_i gerilim sonucu düğümüne doğru bir I_i akımı akar. Bu durumda MR1 ve MR2'nin savak akımı aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$I_{DR1} = \frac{\mu C_{OX}}{2} \left(\frac{W}{L}\right) (V_{DD} - V_{in} - V_T)^2 \quad (6a)$$

$$I_{DR2} = \frac{\mu C_{OX}}{2} \left(\frac{W}{L} \right) (V_i - V_{SS} - V_T)^2 \quad (6b)$$

Burada, $V_{DD} = -V_{SS}$ besleme gerilimleri, μ taşıyıcıların hareket yeteneği, C_{OX} oksit kapasitesi, V_T eşik gerilimi, W kanal genişliği ve L kanal boyudur.

(6a) ve (6b) denklemlerinden yola çıkarak ve Kirchhoff Akım Yasasını kullanarak elektronik direncin denklemi aşağıdaki gibi verilebilir:

$$R_{eş} = \frac{V_i}{I_i} = \frac{L}{2\mu\mu_{OX} W (V_{DD} - V_T)} \quad (7)$$

İzleme hatası analizi

DVCC elemanının izleme hataları hesaba katılırsa Denklem (1)'de verilen ilişki aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$V_X = \beta_1 V_{Y1} - \beta_2 V_{Y2}, I_{Z1} = \alpha_1 I_X \text{ ve } I_{Z2} = -\alpha_2 I_X \quad (8)$$

Burada, $j=1,2$ olmak üzere $\beta_j = 1 - \varepsilon_{vj}$ ve $\alpha_j = 1 - \varepsilon_{ij}$, ε_{vj} ve ε_{ij} ($|\varepsilon_{vj}|, |\varepsilon_{ij}| \ll 1$) ise DVCC elemanının sırasıyla gerilim ve akım izleme hatalarıdır. Denklem 4'de verilen transfer fonksiyonları aşağıdaki gibi yeniden yazılabilir:

$$\frac{I_{YG}}{I_i} = \frac{\frac{1}{\alpha_{12}} s^2}{s^2 + \frac{\beta_{11}\beta_{22}}{\alpha_{11}\alpha_{12}R_1C_1} s + \frac{\alpha_{13}\alpha_{22}\beta_{13}\beta_{22}}{\alpha_{11}\alpha_{12}\alpha_{23}R_2R_3C_1C_2}} \quad (9a)$$

$$\frac{I_{BG}}{I_i} = -\frac{\frac{\alpha_{22}\beta_{22}}{\alpha_{11}\alpha_{12}R_2C_1} s}{s^2 + \frac{\beta_{11}\beta_{22}}{\alpha_{11}\alpha_{12}R_1C_1} s + \frac{\alpha_{13}\alpha_{22}\beta_{13}\beta_{22}}{\alpha_{11}\alpha_{12}\alpha_{23}R_2R_3C_1C_2}} \quad (9b)$$

$$\frac{I_{AG}}{I_i} = \frac{\frac{\alpha_{13}\alpha_{22}\beta_{13}\beta_{22}}{\alpha_{11}\alpha_{12}R_2R_3C_1C_2}}{s^2 + \frac{\beta_{11}\beta_{22}}{\alpha_{11}\alpha_{12}R_1C_1} s + \frac{\alpha_{13}\alpha_{22}\beta_{13}\beta_{22}}{\alpha_{11}\alpha_{12}\alpha_{23}R_2R_3C_1C_2}} \quad (9c)$$

Aynı şekilde, ω_o ve Q parametreleri de aşağıdaki gibi yeniden yazılabilir:

$$\omega_o = \sqrt{\frac{\alpha_{13}\alpha_{22}\beta_{22}\beta_{13}}{\alpha_{11}\alpha_{12}\alpha_{23}} \frac{1}{R_2R_3C_1C_2}}, \quad Q = R_1 \sqrt{\frac{\alpha_{11}\alpha_{12}\alpha_{13}\alpha_{22}\beta_{13}}{\alpha_{23}\beta_{11}} \frac{C_1}{R_3R_4C_2}} \quad (10)$$

Önerilen devrenin aktif ve pasif duyarlılık analizi aşağıdaki sonuçları vermektedir:

$$S_{\alpha_{13}}^{\omega_o} = S_{\alpha_{22}}^{\omega_o} = -S_{\alpha_{11}}^{\omega_o} = -S_{\alpha_{12}}^{\omega_o} = -S_{\alpha_{23}}^{\omega_o} = \frac{1}{2},$$

$$S_{\beta_{13}}^{\omega_o} = S_{\beta_{22}}^{\omega_o} = -S_{R_2}^{\omega_o} = -S_{R_3}^{\omega_o} = -S_{C_1}^{\omega_o} = -S_{C_2}^{\omega_o} = \frac{1}{2},$$

$$S_{\alpha_{11}}^Q = S_{\alpha_{12}}^Q = S_{\alpha_{13}}^Q = S_{\alpha_{22}}^Q = -S_{\alpha_{23}}^Q = S_{\beta_{13}}^Q = \frac{1}{2},$$

$$S_{\beta_{11}}^Q = -S_{C_1}^Q = S_{R_2}^Q = S_{R_4}^Q = S_{C_2}^Q = -\frac{1}{2},$$

$$S_{R_1}^Q = 1$$

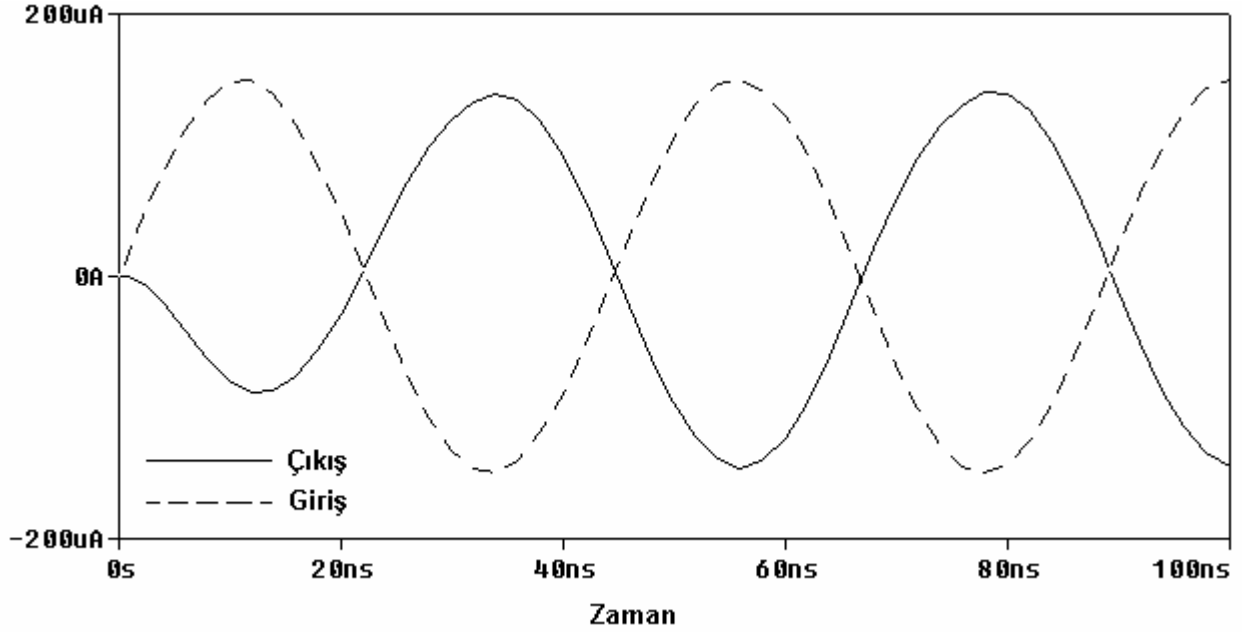
Kalan duyarlılıklar ise sıfırdır. Buradan anlaşıldığı gibi tüm duyarlılıklar birden daha büyük değildir.

Benzetim sonuçları

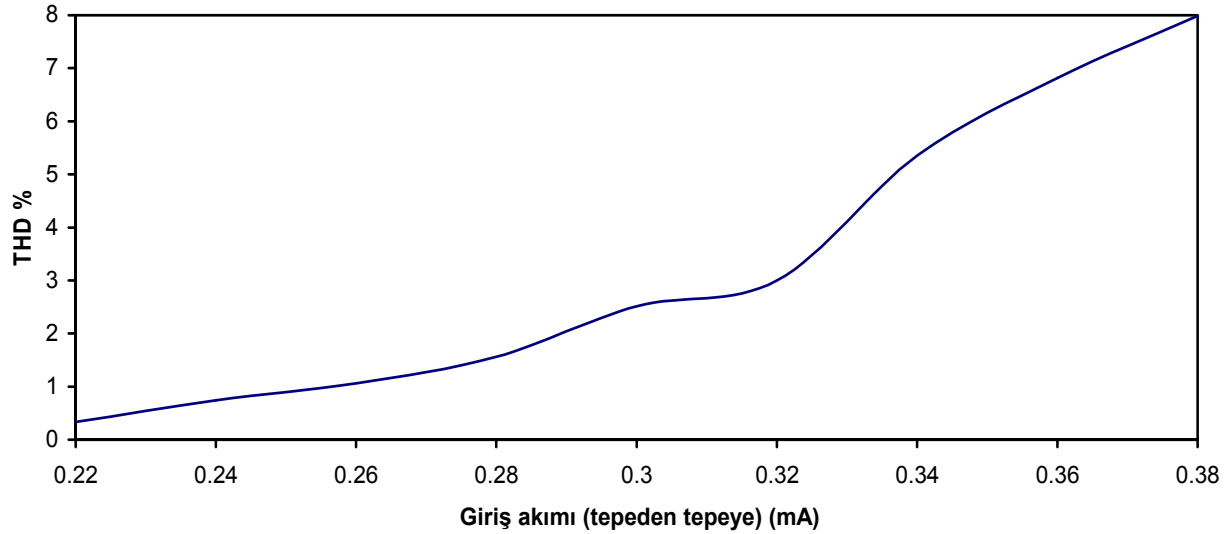
Önerilen KHN-süzgeci, teorik analizlerinin doğruluğunu kanıtlamak için, SPICE benzetim programı ile benzetilmiştir. MIETEC 0.5 μm proses model parametreleri ile (Elwan ve Soliman, 1997)'de verilen ve Şekil 5'te gösterilen DVCC'nin CMOS yapısı kullanılarak DVCC elemanının benzetimi yapılmıştır. Kullanılan CMOS yapısındaki MOS transistorların boyutları Tablo 1'de verilmiştir. KHN-süzgecinin her beş süzgeç fonksiyonu için benzetim sonuçlarından elde edilen kazanç-frekans yanıtı Şekil 6'da verilmiştir.

Tablo 1. Verilen CMOS DVCC yapısının transistor boyutları

TRANSISTOR	W (μm)	L (μm)
M1-M4	1.6	1
M5-M6	8	1
M7-M8	20	1
M9-M10	29	1
M11-M12	90	1
M13-M15	20	1
M16-M18	90	1



Şekil 7. 300 μA (tepeden tepeye) ve 22.5 MHz'lik bir giriş işareti için önerilen BG süzgecinin giriş ve çıkış işaretleri



Şekil 8. Çıkış işaretinin harmonik distorsiyonunun giriş işaretinin genliği ile değişimi

- 4) Giriş işareti düşük empedanslı düğüme bağlanmakta ve tüm çıkış işaretleri yüksek empedanslı düğümlerden alınmaktadır.
- 5) Süzgecin Q parametresi ω_0 'dan bağımsız olarak ayarlanabilir.
- 6) Aynı zamanda orijinal KHN-süzgecinin düşük duyarlılık performansı, düşük bileşen dağılımı ve iyi kararlılık gibi temel avantajlarına da sahiptir.

Kaynaklar

- Altuntas, E. and Toker, A., (2002). Realization of voltage and current mode KHN biquads using CCCII's, *AEÜ International Journal of Electronics and Communication*, **56**, 45 - 49.
- Chang, C. M. and Lee, M. J., (1999). Voltage-mode multifunction filter with single input and three outputs using two compound current conveyors, *IEEE Transactions on Circuits and Systems I*

- Fundamental Theory and Applications*, **46**, 1364 – 1365.
- Cicekoglu, O., (2001). Current-mode biquad with a minimum number of passive elements, *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing*, **48**, 221 – 222.
- Elwan, H. O., and Soliman, A. M., (1996). A novel CMOS current conveyor realization with an electronically tunable current mode filter suitable for VLSI, *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing*, **41**, 663 - 670.
- Elwan, H. O. and Soliman, A. M., (1997). Novel CMOS differential voltage current conveyor and its applications, *IEE Proceedings of Circuits Devices and Systems*, **144**, 195 - 200.
- Ibrahim. M. A., Minaei, S. ve Kuntman, H., (2003). DVCC elemanı ile gerçekleştirilen yeni bir akım modlu KHN-süzgeci", *11. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı*, Koç Üniversitesi, 211 – 214, İstanbul.
- Kerwin, W., Huelsman, L. and Newcomb, R., (1967). State variable synthesis for insensitive integrated circuit transfer functions, *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, **SC-2**, 87 - 92.
- Khaled, N. S. and Soliman, A. M., (2000). Voltage mode Kerwin-Huelsman-Newcomb circuit using CDBAs, *Frequenz*, **54**, 90 - 93.
- Senani, R. and Singh, V. K., (1995). KHN-equivalent biquad using current conveyors, *Electronics Letters*, **31**, 626 - 628.
- Soliman, A. M., (1994). Kerwin-Huelsman-Newcomb circuit using current conveyors, *Electronics Letters*, **30**, 2019 - 2020.
- Toker, A., Ozoguz, S. and Acar, C., (1999). Current-mode KHN-equivalent biquad using CDBAs, *Electronics Letters*, **35**, 1682 - 1683.
- Toumazou, C., Lidjey, F., Haigh, D., (1990). *Analog IC Design: The Current-Mode Approach*, Peter Peregrinus, Exeter, UK.
- Wang, H. Y., and Lee, C. T., (2001). Versatile insensitive current-mode universal biquad implementation using current conveyors, *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing*, **48**, 409 – 413.
- Wang, Z., (1990). 2-MOSFET transistors with extremely low distortion for output reaching supply voltage, *Electronics Letters*, **26**, 951 - 952.