

Direnç Elemansız Ayarlanabilir MO-CCCII lerle Tasarlanmış Akım Modlu KHN-Süzgeci

Serhan Yamaçlı¹

Sadri Özcan²

Hakan Kuntman³

¹Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü, Mersin Üniversitesi, Tarsus, Mersin

^{2,3}Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maslak, İstanbul

¹e-posta: syamacli@mersin.edu.tr

²e-posta: sozcan@itu.edu.tr

³e-posta: kuntman@itu.edu.tr

Soyutça

Bu çalışmada, direnç elemanı kullanmadan tasarlanan, elektronik olarak ayarlanabilir bir Kerwin-Huelsman-Newcomb (KHN) süzgeci önerilmiştir. Tasarlanan süzgeç, birden fazla çıkışlı ayarlanabilir akım taşıyıcılar (MO-CCCII) ve birer uçları topraklanmış kondansatörler içermektedir. Alçak geçiren, band geçiren ve yüksek geçiren filtre yanıtları, herhangi bir eleman eşleme koşuluna gereksinim duyulmaksızın, aynı anda süzgeç çıkışlarından alınabilmektedir. Filtrenin kutup frekansı ve değer katsayısı da yine MO-CCCII'lerin kutuplanma akımlarıyla ortogonal olarak ayarlanabilmektedir. Önerilen devrenin teorik incelenmesini doğrulayan SPICE simülasyon sonuçları da bu çalışmada verilmiştir.

1. Giriş

Akım taşıyıcılar, devre tasarımcısına sundukları yüksek doğrusalılık, düşük güç tüketimi, daha yüksek frekanslarda çalışabilme ve daha az sayıda aktif eleman kullanabilme önyararları ile kullanılabilirliklerini ispatlamışlardır [1-12]. Literatürde çeşitli türden akım taşıyıcılar bulunmaktadır; bir kısmı, diferansiyel fark akım taşıyıcısında (DDCC) olduğu gibi aritmetik işaret işleyebilme olanağı sunmakta [8, 9], bir kısmı da, kontrollü akım taşıyıcı (CCCII) [4, 5] ve iki-X uçlu akım taşıyıcıda (DXCCII) [7] olduğu gibi, elektronik olarak ayar edilebilme önyararını sağlamaktadır.

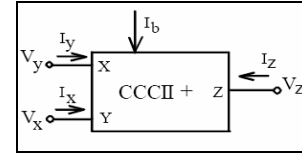
Diğer taraftan, değişik tipte aktif eleman kullanarak yapılmış çeşitli analog süzgeçler de literatürde bulunmaktadır. Her bir çalışmada, değişik bir önyarar elde edilmiştir. Örneğin bir kısmı direnç elemanı kullanmamakta [4, 5]; bir kısmı az sayıda aktif eleman kullanmakta [5]; bazıları elektronik olarak ayarlanabilmekte [4, 5, 7]; alçak geçiren, yüksek geçiren ve band geçiren filtre cevaplarını aynı anda verebilmekte [9]; bazıları da sadece topraklanmış pasif elemanlar kullanmakta [4] veya akım modunda çalışmaktadır [5-8].

Bu çalışmada, akım-modlu elektronik olarak ayarlanabilir direnç elemanı kullanmayan Kerwin-

Huelsman-Newcomb (KHN) süzgeci sunulmuştur. Önerilen devre, birden fazla çıkışlı kontrollü akım taşıyıcı (Multi-output Controlled Current Conveyor, MO-CCCII) kullanılmaktadır. Devrenin kutup frekansı ve değer katsayısı, MO-CCCII lerin kutuplama akımları ile ortogonal olarak kontrol edilebilmektedir. Devre parametrelerinin, eleman değerlerine göre duyarlılıklarının düşük olduğu gösterilmiştir. SPICE benzetim sonuçları da devrenin düzgün çalıştığını göstermektedir.

2. Kontrollü Akım Taşıyıcı (CCCII)

Kontrollü akım taşıyıcı (Controlled Current Conveyor-CCCII), ikinci nesil akım taşıyıcının, elektronik olarak ayarlanabilir devrelerin tasarımını sağlayan bir türevi Fabre ve diğerleri tarafından 1996 yılında önerilmiştir [4] ve şu ana kadar birçok devrede kullanılmıştır [4, 5]. CCCII nin devre sembolü ve tanım bağıntıları Şekil 1 ve Denk. (1) de sırasıyla gösterilmiştir.



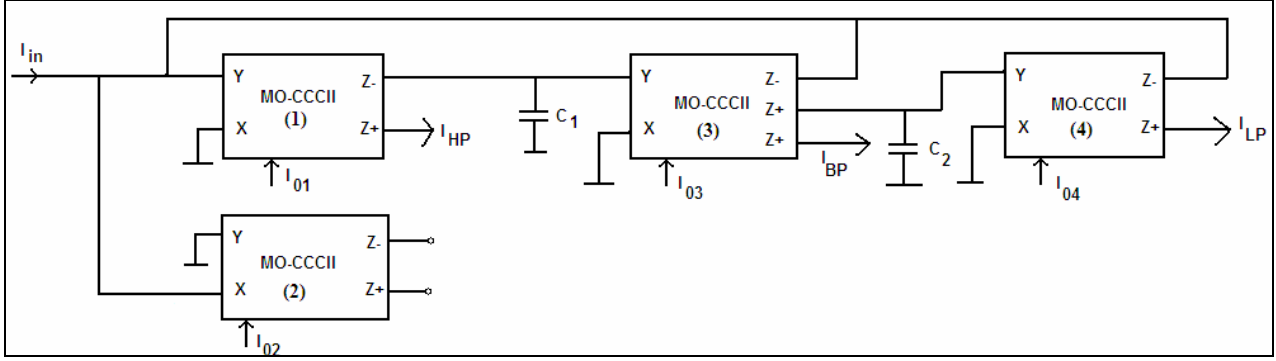
Şekil 1. Kontrollü akım taşıyıcı (CCCII)

$$\begin{bmatrix} I_Y \\ V_X \\ I_Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & R_X & 0 \\ 0 & \pm 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_Y \\ I_X \\ V_Z \end{bmatrix} \quad (1)$$

3. Önerilen Akım-Modlu KHN Süzgeci

Önerilen süzgeç devresinin topolojisi, Şekil 2 de gösterilmiştir. Tasarlanan devre sadece iki birer ucu topraklanmış kondansatör ile dört tane birden fazla çıkışlı CCCII (Multi-output CCCII, MO-CCCII) kullanılmaktadır.

I_{01} , I_{02} , I_{03} ve I_{04} sırasıyla MO-CCCII₁, MO-CCCII₂, MO-CCCII₃ ve MO-CCCII₄'ün kutuplama akımlarıdır. Bilinen devre analizi yapıldığında, süzgeç devresinin yüksek geçiren, band geçiren ve alçak geçiren yanıtlarını şu şekilde vermektedir:



Şekil 2. Önerilen akım-modlu KHN süzgeci

$$\frac{I_{HP}}{I_{IN}} = \frac{s^2}{s^2 + \frac{1}{R_{X3}C_1}s + \frac{1}{R_{X3}R_{X4}C_1C_2}} \quad (2a)$$

$$\frac{I_{BP}}{I_{IN}} = \frac{\frac{1}{R_{X3}C_1}s}{s^2 + \frac{1}{R_{X3}C_1}s + \frac{1}{R_{X3}R_{X4}C_1C_2}} \quad (2b)$$

$$\frac{I_{LP}}{I_{IN}} = \frac{\frac{1}{R_{X3}R_{X4}C_1C_2}}{s^2 + \frac{1}{R_{X3}C_1}s + \frac{1}{R_{X3}R_{X4}C_1C_2}} \quad (2c)$$

Bu denklemlerde, R_{X3} ve R_{X4} , sırasıyla, MO-CCCII₃ ve MO-CCCII₄'ün X-ucu parazitik dirençlerini göstermektedir. Filtrenin açılmal kutup frekansı ve değer katsayısı da,

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{R_{X3}R_{X4}C_1C_2}} \quad (3a)$$

$$Q_0 = \sqrt{\frac{R_{X3}C_1}{R_{X4}C_2}} \quad (3b)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Bipolar MO-CCCII yapıları kullanıldığında, X-ucu parazitik direnci,

$$R_X = \frac{V_T}{2I_0} \quad (4)$$

ile verilmektedir. Burada I_0 , MO-CCCII nin kutuplama (kontrol) akımını; V_T ise, ısı gerilimi (oda sıcaklığında 25.8mV) göstermektedir. Sonuç olarak, eğer süzgeç

devresinde bipolar CCCII ler kullanılırsa, Denk.(3a) ve (3b)

$$\omega_0 = \frac{2}{V_T} \sqrt{\frac{I_{03}I_{04}}{C_1C_2}} \quad (5a)$$

$$Q_0 = \sqrt{\frac{I_{04}C_1}{I_{03}C_2}} \quad (5b)$$

olarak yazılabilir.

Denk. (5a) ve (5b) den de görüldüğü gibi, kutup frekansı ve değer katsayısı ortogonal olarak ayar edilebilmektedir. Ayrıca, eğer 3. ve 4. MO-CCCII lerin kutuplama akımlar eşit alınırsa, $I_{03}=I_{04}$ ($R_{X3}=R_{X4}$), ω_0 ve Q

$$\omega_0 = \frac{1}{R_{X3}} \sqrt{\frac{1}{C_1C_2}} = \frac{2I_0}{V_T} \sqrt{\frac{1}{C_1C_2}} \quad (6a)$$

$$Q_0 = \sqrt{\frac{C_1}{C_2}} \quad (6b)$$

olmaktadır. Böylece, kutup frekansı, değer katsayısını değiştirmeden $I_{03}=I_{04}=I_0$ ile doğrusal (lineer) olarak ayarlanabilmektedir.

Devrenin aktif ve pasif duyarlılıkları ise,

$$S_{R_{X3}}^{\omega_0} = S_{R_{X4}}^{\omega_0} = S_{C_1}^{\omega_0} = S_{C_2}^{\omega_0} = -1/2 \quad (7a)$$

$$S_{R_{X3}}^{\omega_0} = -S_{R_{X4}}^{\omega_0} = S_{C_1}^{\omega_0} = -S_{C_2}^{\omega_0} = 1/2 \quad (7b)$$

olarak hesaplanabilir.

4. İdealsizlik Analizi

CCCII lerin ideal olmama durumları göz önüne alınır, önerilen süzgeç devresinin yüksek geçiren, band geçiren ve alçak geçiren yanıtları

$$\frac{I_{HP}}{I_{IN}} = \frac{s^2}{s^2 + \frac{\beta_3\beta_4\alpha_3}{R_{X3}C_1}s + \frac{\beta_3\beta_4\alpha_3\alpha_4}{R_{X3}R_{X4}C_1C_2}} \quad (8a)$$

$$\frac{I_{BP}}{I_{IN}} = \frac{\frac{\beta_3\beta_4\alpha_1}{R_{X3}C_1}s}{s^2 + \frac{\beta_3\beta_4\alpha_3}{R_{X3}C_1}s + \frac{\beta_3\beta_4\alpha_3\alpha_4}{R_{X3}R_{X4}C_1C_2}} \quad (8b)$$

$$\frac{I_{LP}}{I_{IN}} = \frac{\frac{\beta_3\beta_4\alpha_3\alpha_4}{R_{X3}R_{X4}C_1C_2}}{s^2 + \frac{\beta_3\beta_4\alpha_3}{R_{X3}C_1}s + \frac{\beta_3\beta_4\alpha_3\alpha_4}{R_{X3}R_{X4}C_1C_2}} \quad (8c)$$

olarak elde edilir. Bu denklemlerde, ε_V ve ε_I MO-CCCII'lerin gerilim ve akım izleme hatalarıdır, ayrıca $\beta = 1 - \varepsilon_V$ ve $\alpha = 1 - \varepsilon_I$ şeklindedir. Böylece, ideal olmayan durumda filtrenin açılmal kutup frekansı ile değer katsayısı da,

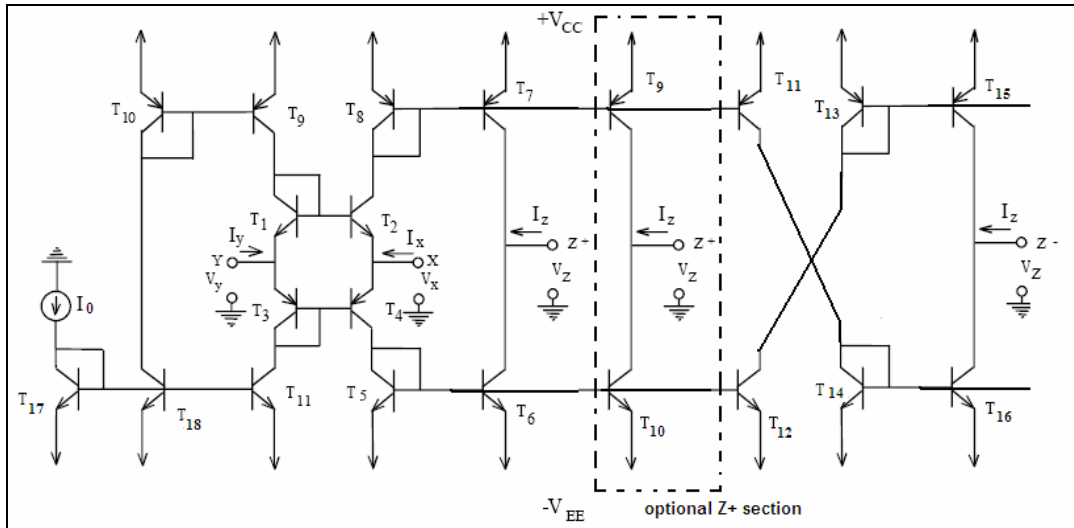
$$\omega_0 = \sqrt{\frac{\beta_3\beta_4\alpha_3\alpha_4}{R_{X3}R_{X4}C_1C_2}} \quad (9a)$$

$$Q_0 = \sqrt{\frac{R_{X3}C_1\alpha_4}{R_{X4}C_2\alpha_3}} \quad (9b)$$

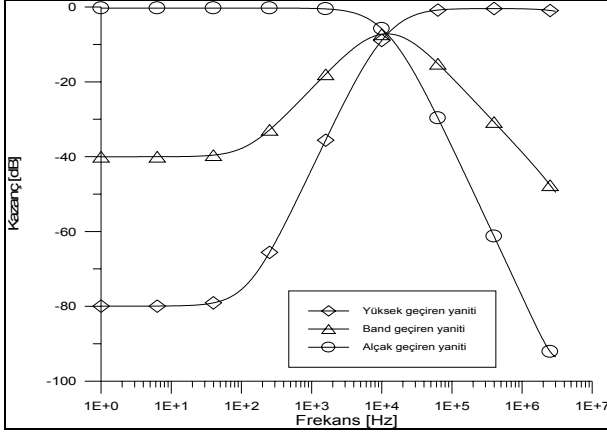
olarak hesaplanabilir.

5. Benzetim (SPICE) Sonuçları

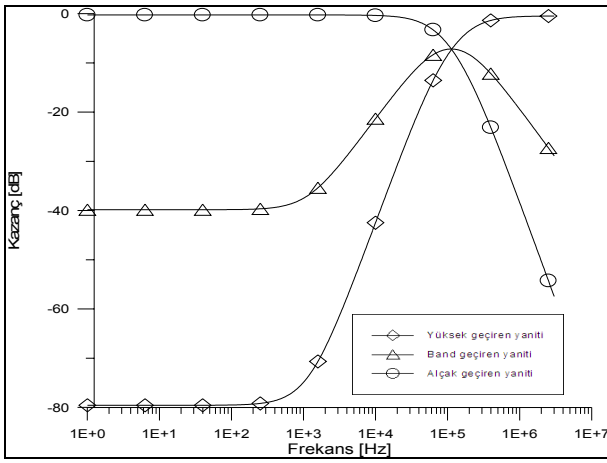
Önerilen süzgecin, düzgün çalıştığını göstermek amacıyla SPICE benzetimleri gerçekleştirilmiştir. Simülasyonlarda kullanılan MO-CCCII yapısı Şek. 3 de verilmiştir. Şekil 2 de verilen süzgeç devresindeki MO-CCCII lerden üçü (MO-CCCII₁, MO-CCCII₂ ve MO-CCCII₄) 1 adet Z+ ve 1 adet Z- çıkışına; diğer MO-CCCII ise (MO-CCCII₃) 2 tane Z+ ve 1 tane Z- ucuna sahiptir. Diğer bir deyişle, süzgeç devresindeki MO-CCCII lerden biri ekstra bir Z+ ucuna ihtiyaç duymaktadır, bu çıkış ucunun oluşturulması ise Şek. 3 de kesikli çizgili kısımda verilmiştir. Süzgeç devresindeki MO-CCCII ler oluşturulurken, basit akım aynalarından yararlanılmıştır; ancak daha iyi filtre yanıtları için kaskod veya aktif geribeslemeli akım aynaları da kullanılabilir [10]. Benzetimlerde, NR100N ve PR100N transistörlerinin SPICE parametreleri kullanılmıştır [11, 12]. Besleme gerilimleri $\pm 2.2V$, kondansatör değerleri ise $C_1=C_2=10nF$ olarak seçilmiştir. Şekil 4 ve Şekil 5, süzgecin değişik kutuplama akımları ile çalıştırılması durumunda elde edilen süzgeç yanıtlarını göstermektedir. Benzetimler sonucunda, $10\mu A$, $50\mu A$ ve $100\mu A$ kutuplama akımları için süzgecin kutup frekansının 12.023 kHz , 57.44 kHz ve 112.202 kHz olduğu belirlenmiştir.



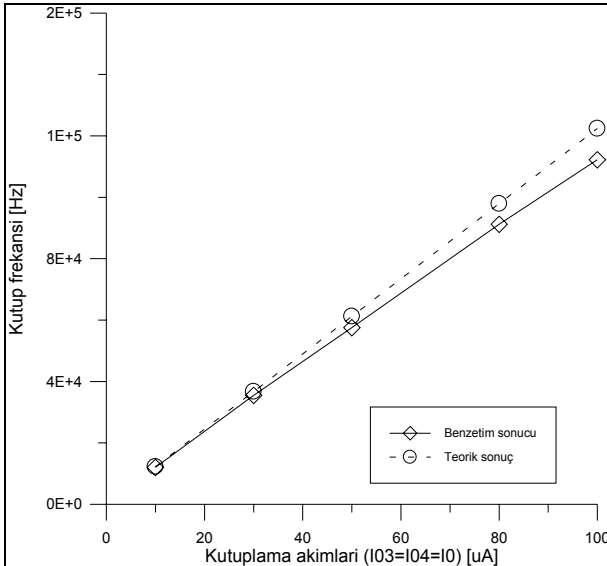
Şekil 3. Benzetimlerde kullanılan MO-CCCII yapısı



Şekil 4. $I_{03}=I_{04}=10\mu A$ için süzgeç benzetim sonuçları



Şekil 5. $I_{03}=I_{04}=100\mu A$ için süzgeç benzetim sonuçları



Şekil 6. Önerilen süzgecin kutup frekansının, MO-CCCII'lerin kutuplama akımları ile değişimi

Şekil 6 dan da görüldüğü üzere, süzgecin kutup frekansı, MO-CCCII'lerin kutuplama akımları ile doğrusal olarak ayarlanabilmektedir. Bu önyarar, entegre devre tasarımında sıklıkla ihtiyaç duyulan bir özelliktir. Kutup frekansının, yüksek kutuplama akımlarında, teorik değerinden uzaklaştığı görülmektedir. Bunun nedeni, MO-CCCII lerin akım izleme hatalarının, kutuplama akımı arttıkça artmasıdır. Bu gözlem de Denk. (9a) ile uyum içindedir.

Şekil 6 daki, ideal durum ile benzetim durumu farkı, yüksek doğruluklu aktif geribeslemeli CMOS akım aynalarının [10], MO-CCCII lerin çıkış katlarında kullanılmasıyla azaltılabilir. Ancak, doğrusal olarak kontrol edilen süzgeç parametreleri (diğer bir deyişle kutuplama akımı ile doğrusal olarak değişen R_X) için ise giriş kısmında bipolar doğrusalgeçişli çevrim (translinear loop) kullanılması (Şek 3 de T_1 , T_2 , T_3 ve T_4) gerekmektedir. Dolayısıyla, süzgeci ideal duruma yakın hale getirmek için BiCMOS MO-CCCII lerin kullanımının en iyi yöntem olacağı söylenebilir.

6. Sonuçlar ve Sonraki Çalışmalar

Bu çalışmada, MO-CCCII tipi aktif yapı blokları kullanan bir akım modlu KHN süzgeci önerilmiştir. Devrenin temel önyararları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Kutup frekansının ve değer katsayısının MO-CCCII'lerin kutuplama akımları vasıtasıyla elektronik olarak ayar edilebilmesi ve bu ayarın doğrusal olarak yapılabilmesi,
- Süzgeçteki tüm kondansatörlerin birer uçları topraklanmış kondansatör olması,
- Süzgecin aktif ve pasif duyarlıklarının da düşük değerlere sahip olması,
- Filtrenin üç temel süzgeç yanıtını herhangi bir eleman eşleme durumuna ihtiyaç duymadan aynı anda sağlaması,
- Süzgecin giriş empedansının düşük, çıkış empedansının yüksek olmasıdır.

Bipolar MO-CCCII yapıları kullanılarak gerçekleştirilen SPICE simülasyonları da süzgecin beklendiği gibi çalıştığını doğrulamaktadır. Süzgecin güç harcaması 10.8 mW olarak elde edilmiştir, ayrıca süzgecin kutup frekansının 12.032 kHz ile 112.202 kHz arasında, yaklaşık 1 dekadlık bir aralıkta, değiştirilebileceği de SPICE benzetimleri ile gösterilmiştir. Bundan sonraki çalışmalarda ise, BiCMOS MO-CCCII'lerle yapılan akım-modlu süzgeçlerin tasarlanması planlanmaktadır.

7. Kaynakça

- Toumazou C., Lidgley F. J. ve Haigh D., *Analog IC design, The current-mode approach*, Exeter, UK, Peter Peregrinus, 1990.

- [2] Wilson B., "Recent developments in current conveyors and current-mode circuits", *Proc. IEE Pt. G*, 137:63-77, 1990.
- [3] Toumazou C. and Lidgey F. J., "Universal active filter using current conveyors", *Electronics Letters*, 22:662-663, 1986.
- [4] 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*, 43(2):82-91, 1996.
- [5] Fabre A., Barthelemy G. and Godara B., "A low power adjustable band-pass filter using only two controlled current conveyors", *Proc. Of the 9th International Conference of Optimization of Electrical and Electronic Equipments*, 1:3-7, Romaina, 2004.
- [6] Elwan H. O. ve Soliman A. M., "Novel CMOS differential voltage current conveyor and its application", *IEE Proceedings on Circuits, Devices and Systems* 144:195-200, 1997.
- [7] Zeki A. ve Toker A., "The dual-X current conveyor (DXCCII): a new active device for tunable continuous time filters", *International Journal of Electronics*, 89 (12):913-923, 2002.
- [8] Chiu W., Liu S. I., Tsao H. W. ve J. J. Chen, "CMOS differential difference current conveyors and their applications", *IEE P. Circuits, Devices Syst.*, 143, pp. 91-96, 1996.
- [9] Yuce E., Minaei S. ve Cicekoglu O., "Universal current mode active-C filter employing minimum number of passive elements", *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, 46:169-171, 2006.
- [10] Zeki A. ve Kuntman H., "Accurate and high output impedance current mirror suitable for CMOS current output stages", *Electronics Letters*, 33(12):1042-1043, 1997.
- [11] Frey D.R. "Log-domain filtering", *IEE Proceedings*, 140: 406-416, 1993.
- [12] Minaei S., Yuce E. ve Cicekoglu O., "Lossless active floating inductance simulator", *Third IEEE International Workshop of Electronics Design, Test, Applications (DELTA 2006)*, 1:4-7, 2006.