

CMOS ECCII İLE YÜKSEK DERECEDEDEN AKIM-MODLU AYARLANABİLİR SÜZGEÇ TASARIMI

Hakan KUNTMAN¹

Onur Korhan SAYIN²

^{1,2}Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Elektrik-Elektronik Fakültesi

İstanbul Teknik Üniversitesi, 34469, Maslak, İstanbul

¹e-posta: kuntman@ehb.itu.edu.tr

²e-posta: onurkorhan@hotmail.com

Anahtar sözcükler: Devreler ve Sistemler, Aktif Süzgeçler, Akım Modlu Devreler, Akım taşıyıcılar

ABSTRACT

In this paper, a new current mode high-order filter topology employing electronically controlled second generation current conveyors (ECCII) is proposed. The topology proposed enables the designer to adjust each coefficient of the transfer function independently by varying the control current of the corresponding ECCII, which makes the structure very attractive. Theoretical results are verified with SPICE simulations by the use of a high performance CMOS ECCII structure.

1. GİRİŞ

Akım taşıyıcıları ve uygulamaları son yıllarda birçok çalışmaya konu olmuştur [1-26]. Akım modlu devre elemanlarına olan bu ilgi, akım modlu devre elemanlarının gerilim modlu devre elemanlarına göre daha yüksek frekans cevabına sahip olmalarından, daha iyi lineerlik göstermelerinden ve daha büyük yükselme eğimine sahip olmalarından kaynaklanmaktadır [1-11]. Günümüzde ekonomik baskılar, geniş ölçekli tümdevre üreticilerini aynı alana daha çok devre yerleştirmek ve tümdevrelerin besleme gerilimlerini düşürmek zorunda bırakmaktadır [16]. Akım modlu devreler daha düşük besleme gerilimlerinde çalışabilmekte ve daha az güç tüketmektedirler. Matematiksel işlemler (toplama, çıkarma, çarpma...vb.) akım modlu olarak daha kolay yapılabilmektedir. Böylece silikon alanı küçülmekte ve tasarım kolaylaşmaktadır [16].

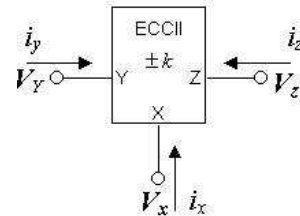
Düşük giriş empedansı ve yüksek çıkış empedansına sahip akım modlu süzgeçler herhangi bir elemana ihtiyaç duyulmadan, ard arda bağlanarak daha yüksek dereceden süzgeçler elde edilebilir. Bazı işaret işleme uygulamalarında, süzgecin karakteristikleri dinamik olarak işarete göre ayarlanmaktadır [24]. Bu da süzgeç karakteristiklerinin elektronik olarak ayarlanmasını gerektirmektedir. Bu amaçla elektronik

olarak kontrol edilebilen bir dirence veya bir geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisine (OTA) gereksinim vardır. OTA'ların sınırlı band genişlikleri ve giriş terminalleri arasındaki sıfır olmayan görünürde toprak gerilimi süzgeç tasarımı için dezavantajdır [24]. Kazancı elektronik olarak kontrol edilebilen ikinci kuşak bir akım taşıyıcısının olması halinde birçok avantajın kazanılacağı açıktır. Bu yüzden elektronik olarak kontrol edilebilen ikinci kuşak akım taşıyıcısı (ECCII) önerilmiştir [14].

Bu çalışmada, ECCII elemanı kullanılarak yüksek dereceden akım-modlu ayarlanabilir süzgeç topolojisi önerilecektir. Süzgecin transfer fonksiyonundaki her bir katsayının bir ECCII ile kontrol edilebilmesi amaçlanmıştır.

2. ECCII TANIM BAĞINTILARI, CMOS GERÇEKLEME

Elektronik olarak kontrol edilebilen akım taşıyıcı yapısı, akım transfer oranı bir akım ya da bir gerilimle değiştirilebilen bir akım taşıyıcı düzenidir [25]. Elektronik olarak kontrol edilebilen ikinci kuşak akım taşıyıcısı için Şekil 1'de verilen genel gösterim kullanılır.



Şekil-1: ECCII Sembolü

Y elemanın giriş ucu, Z elemanın çıkış ucudur. X ise akım için giriş ucu, gerilim için çıkış ucudur. v_y , v_x ve v_z 0V referansa göre bu uçların gerilim değerlerini, i_y ,

i_x ve i_z bu uçlardan içeriye doğru akan akım değerlerini temsil etmektedir. ECCII tanım bağıntısı (1)'de verilmektedir [14]:

$$\begin{bmatrix} i_y \\ v_x \\ i_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & \pm h_{32} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_y \\ i_x \\ v_z \end{bmatrix} \quad (1)$$

ECCII tanım bağıntısında görülen h_{32} büyüklüğünün pozitif olması durumunda akım taşıyıcı pozitif (evirmeyen) elektronik olarak kontrol edilebilen ikinci kuşak akım taşıyıcı (ECCII+), negatif olması durumunda negatif (eviren) elektronik olarak kontrol edilebilen ikinci kuşak akım taşıyıcı (ECCII-) olarak adlandırılır. (1) bağıntısındaki h_{32} büyüklüğü, değeri elektronik olarak kontrol edilebilen akım transfer oranıdır [14].

Şekil-2'de gösterilen CMOS ECCII yapısı gerilim ve akım izleyici, küçük işaret akım kuvvetlendiricisi ve çıkış katı olmak üzere üç bloktan oluşur [26]. Gerilim izleyici kat, Y ucunun gerilimi v_y 'nin, X ucunun gerilimi v_x 'e eşit olmasını sağlar. Akım izleyici, i_x akımının bir kopyasını küçük işaret akım kuvvetlendiricisine gönderir. Küçük işaret akım kuvvetlendiricisi i_x akımının kopyasını k katsayısı ile çarparak i_z akımını oluşturur. Çıkış katı, Z ucunun yüksek empedanslı olarak yükü sürmesini sağlar.

Yapıda kullanılan akım aynalarının akım yansıtma oranlarının 1'e eşit olduğu ve devredeki bütün tranzistorların doymada çalıştığı kabul edilmiştir.

MG1-MG11 ve MG16-MG18 tranzistorları iki katlı bir işlemsel kuvvetlendirici oluşturmaktadır. Bu işlemsel kuvvetlendiriciye birim geribesleme uygulanarak, X ucunun gerilimini Y ucunun gerilimini izlemeye zorlamaktadır.

X ucundan ve MG20 tranzistorundan akan toplam akım, MG10 ve MG11 tarafından kopyalanarak akım aynaları yardımıyla küçük işaret akım kuvvetlendiricisi blokuna aktararak akım izleyici gerçekleştirilmiştir.

Devre iki katlı olduğu için kompanzasyona gereksinim duyulur. Devreye Miller kompanzasyonu uygulanmıştır. MG27 ve MG28 tranzistorları devrede sıfırlama direnci görevindedir.

Devrede tüm tranzistorları iletimde tutmak için

$$|I_B| + |i| \leq 4I_A \quad (2)$$

bağıntısı sağlanmalıdır [12]. Çıkış akımı

$$i_z = 2I_1 - 2I_2 = \left(\frac{I_B}{I_A} \right) \cdot i_x = k \cdot i_x \quad (3)$$

biçiminde ifade edilir. [12]. (3) bağıntısından görüldüğü gibi I_B/I_A oranı ile doğrudan akım transfer oranı kontrol edilebilmektedir. (5) şartı uyarınca, kazancı arttırmak üzere I_B büyüklüğü istenildiği kadar büyütülemez. Önerilen devre için k akım transfer oranının maksimum değeri 4 ile sınırlanır. Buna göre $k_{maks} < 4$ yazılabilir [12].

Önerilen devrelerde daha yüksek çıkış direnci ve daha iyi çıkış gerilimi salınımı için çıkış katı olarak Yüksek Doğruluklu Aktif Geribeslemeli Kaskod Akım Aynası (YAGKAA) kullanılmıştır [20]. YAGKAA yapısı $V_{DSMC1} = V_{DSMC3}$ ve $V_{DSMC10} = V_{DSMC13} = V_{DSMC14}$ olmasını sağlayarak kanal boyu modülasyonunun etkisini minimuma indirilmiştir.

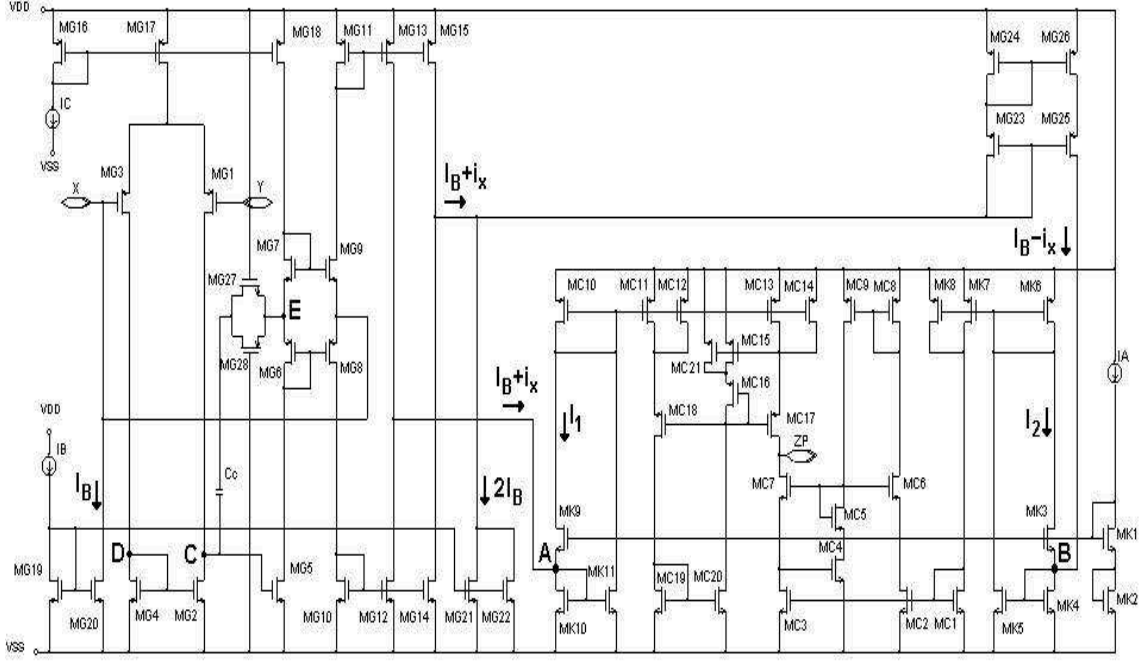
3. ÖNERİLEN DEVRE TOPOLOJİSİ

n .dereceden akım transfer fonksiyonunun genel gösterimi

$$T(s) = \frac{I_{out}}{I_{in}} = \frac{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0}{s^n + b_{n-1} s^{n-1} + \dots + b_1 s + b_0} \quad (4)$$

biçimindedir [11]. Kullanılan her bir ECCII, akım transfer fonksiyonunun sadece bir katsayısını kontrol edecektir, böylece her bir katsayı değerinden bağımsız olarak değiştirilebilecektir. İşaret akış diyagramında V_1 ve I_{out} düğümleri haricindeki tüm düğümler eşitir. Bu yüzden üç adet düğümün sentezlenmesi ile tüm işaret akış diyagramı sentezlenebilir. Sentezlenen devre Şekil 3'de verilmektedir. Eğer tüm dirençler $R=1\Omega$, tüm kapasitörler $C=1F$ ve tüm ECCII'lerin akım transfer oranları $k_a = k_b = 1$ seçilirse (4) bağıntısı gerçekleşir.

+ işaretli ECCII'ler evirmeyen ECCII'yi (ECCII+), - işaretli ECCII'ler eviren ECCII'yi (ECCII-)yi temsil etmektedir. n .dereceden bir süzgeç için $3n+2$ ECCII, $3n+2$ direnç ve n kapasitör kullanılmıştır. Devredeki tüm direnç ve kapasitörler topraklı olup devre, tüm devre uygulamaları için uygundur. İlgili ECCII'nın akım kazancı değiştirilerek akım transfer fonksiyonunun istenilen katsayı kolayca değiştirilebilir. Devrenin transfer fonksiyonunun eleman değerleri cinsinden ifadesi



Şekil-2: Önerilen ECCII yapısı

$$\frac{-I_{out}}{I_{in}} = \frac{k_{a_n} s^n \left(\frac{R_1}{R_{n+2}} \right) + k_{a_{n-1}} s^{n-1} \left(\frac{R_1}{R_{n+4} R_2 C_1} \right) + k_{a_{n-2}} s^{n-2} \left(\frac{R_1}{R_{n+6} R_2 R_3 C_1 C_2} \right) + \dots + k_{a_0} \left(\frac{R_1}{R_{3n+2} (R_2 \dots R_{n+1}) (C_1 \dots C_n)} \right)}{s^n + k_{b_{n-1}} s^{n-1} \left(\frac{R_1}{R_{n+3} R_2 C_1} \right) + k_{b_{n-2}} s^{n-2} \left(\frac{R_1}{R_{n+5} R_2 R_3 C_1 C_2} \right) + \dots + k_{b_0} \left(\frac{R_1}{R_{3n+1} (R_2 \dots R_{n+1}) (C_1 \dots C_n)} \right)} \quad (5)$$

şekindedir. Genelleştirilmiş transfer fonksiyonu kullanılarak istenilen herhangi bir süzgeç, transfer fonksiyonunda istenilmeyen parametrelerin k_a ve k_b katsayıları sıfıra eşitlenerek elde edilebilir ve diğer tüm parametrelerin katsayıları, ECCII'nın akım kazancını değiştirerek elektronik yoldan kontrol edilebilir. k_a ve k_b katsayıları sıfıra eşitlemek, ilgili ECCII'nın kontrol akımını $I_B=0$ yapmaktır.

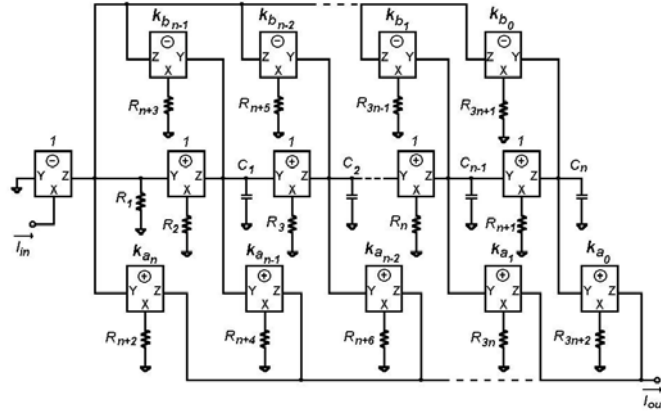
3. BENZETİM SONUÇLARI

Önerilen yüksek dereceden akım modlu ayarlanabilir süzgeç yapısı, önerilen ECCII yapısı kullanılarak SPICE programı yardımı ile simüle edilmiştir. Süzgecin simülasyonu için Şekil-4'de gösterilen 2. dereceden süzgeç, Şekil 3'den faydalanılarak kurulmuştur. Süzgecin tipi ve w_0 , Q , K gibi karakteristikleri sadece ilgili kontrol akımını değiştirerek ayarlanmıştır.

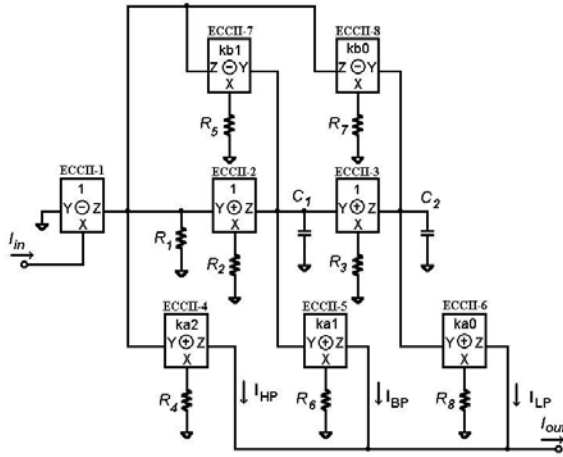
Süzgecin transfer fonksiyonu

$$\begin{aligned} \frac{I_{HP}}{I_{in}} &= \frac{k_{a_2} \left(\frac{R_1}{R_4} \right) s^2}{s^2 + k_{b_1} \left(\frac{R_1}{R_5 R_2 C_1} \right) s + k_{b_0} \left(\frac{R_1}{R_7 R_2 R_3 C_1 C_2} \right)} \\ \frac{I_{BP}}{I_{in}} &= \frac{k_{a_1} \left(\frac{R_1}{R_6 R_2 C_1} \right) s}{s^2 + k_{b_1} \left(\frac{R_1}{R_5 R_2 C_1} \right) s + k_{b_0} \left(\frac{R_1}{R_7 R_2 R_3 C_1 C_2} \right)} \\ \frac{I_{LP}}{I_{in}} &= \frac{k_{a_0} \left(\frac{R_1}{R_8 R_2 R_3 C_1 C_2} \right)}{s^2 + k_{b_1} \left(\frac{R_1}{R_5 R_2 C_1} \right) s + k_{b_0} \left(\frac{R_1}{R_7 R_2 R_3 C_1 C_2} \right)} \end{aligned} \quad (6)$$

olmak üzere



Şekil 3: n . dereceden akım modlu ayarlanabilir süzgecin genelleştirilmiş gösterimi

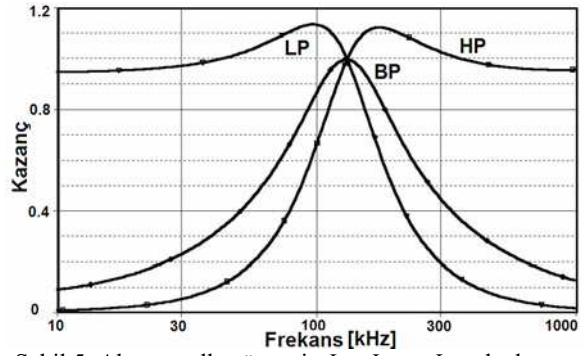


Şekil 4: 2.dereceden akım modlu ayarlanabilir süzgeç

$$T(s) = \frac{I_{out}}{I_{in}} = \frac{I_{HP} + I_{BP} + I_{LP}}{I_{in}} \quad (7)$$

şeklinde ifade edilir.

Ayarlanabilir süzgeç alçak, band ve yüksek geçiren olarak çalıştırılacak ve kontrol akımları değiştirilerek süzgeç karakteristikleri ayarlanacaktır. Süzgeçte kullanılan tüm ECCII'lere besleme gerilimi olarak $V_{SS} = -2.5V$ ve $V_{DD} = +2.5V$ uygulanmıştır. I_A kutuplama akımı olarak $50\mu A$ ve I_B kontrol akımı olarak $50\mu A$ uygulanarak, akım kazancı 1'e ayarlanmıştır. I_C kutuplama akımı $100\mu A$ olarak ayarlanmıştır. Süzgeçlerin köşe frekansı $150kHz$, değer katsayısı 1 ve kazançları 1 olacak şekilde tasarlanacaktır. Bu koşullar altında süzgecin eleman değerleri tüm dirençler eşit ve $R=25k\Omega$, tüm kapasitörler eşit $C=42pF$ olarak hesaplanmıştır. Süzgeç çalıştırılmış ve Şekil 5'de I_{HP} , I_{LP} ve I_{BP} çıkışları gösterilmiştir.



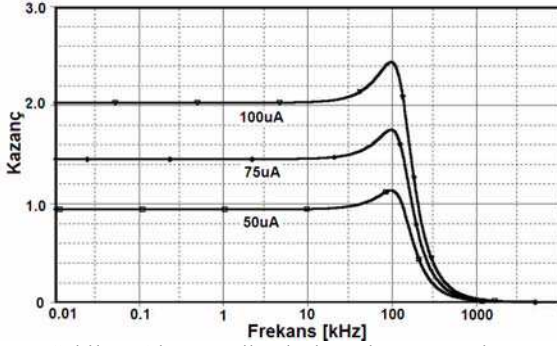
Şekil 5: Akım modlu süzgecin I_{HP} , I_{LP} ve I_{BP} çıkışları

Süzgeci alçak geçiren olarak çalıştırmak için ECCII-4 ve ECCII-5'in kontrol akımı $I_B=0A$ yapılarak, k_{a2} ve k_{a1} katsayıları sıfıra eşitlenir. ECCII-1, ECCII-2, ECCII-3, ECCII-7 ve ECCII-8 için kontrol akımı $I_B=50\mu A$ 'e ayarlanmıştır, k_{b1} ve k_{b0} 1'e eşitlenmiştir. Alçak geçiren süzgecin kazancı k_{a0} çarpanını değiştirilerek ayarlanabilir. ECCII-6'nın kontrol akımı I_B sırası ile $50\mu A$, $75\mu A$, $100\mu A$ yapılarak ECCII-6'nın akım kazancı k_{a0} (I_B/I_A) sırasıyla 1, 1.5 ve 2 olarak ayarlanır. Şekil 6'da alçak geçiren süzgecin kazancının ayarlanması gösterilmektedir.

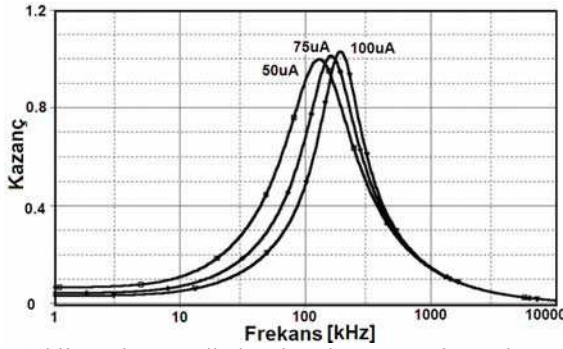
Süzgeci yüksek geçiren olarak çalıştırmak için ECCII-5 ve ECCII-6'nın kontrol akımı $I_B=0A$ yapılarak, k_{a1} ve k_{a0} katsayıları sıfıra eşitlenir. ECCII-1, ECCII-2, ECCII-3, ECCII-4 ve ECCII-8, için kontrol akımı $I_B=50\mu A$ 'e ayarlanmıştır, k_{a2} ve k_{b0} 1'e eşitlenmiştir.

Süzgecin band geçiren olarak çalıştırmak için ECCII-4 ve ECCII-6'nın kontrol akımı $I_B=0A$ yapılarak, k_{a2} ve k_{a0} katsayıları sıfıra eşitlenir. ECCII-1, ECCII-2, ECCII-3, ECCII-5 ve ECCII-7 için kontrol akımı $I_B=50\mu A$ 'e ayarlanmıştır, k_{a1} ve k_{b1} 1'e eşitlenmiştir. Band geçiren süzgecin merkez frekansı, k_{b0} çarpanını değiştirilerek ayarlanabilir. ECCII-8'in kontrol akımı I_B sırası ile $50\mu A$, $75\mu A$, $100\mu A$ yapılarak ECCII-8'in

akım kazancı k_{b0} (I_B/I_A) sırasıyla 1, 1.5 ve 2 olarak ayarlanır. Şekil 7'de band geçiren süzgecin merkez frekansının ayarlanması gösterilmektedir.



Şekil 6 : Akım modlu alçak geçiren süzgecin kazancının değiştirilmesi



Şekil 7: Akım modlu band geçiren süzgecin merkez frekansının ayarlanması

4. SONUÇ

Bu çalışmada, elektronik olarak kontrol edilebilen ikinci kuşak akım taşıyıcısı kullanılarak yüksek dereceden akım-modlu ayarlanabilir süzgeç elde edilmesi üzerinde durulmuştur. Önerilen yüksek dereceden ayarlanabilir süzgeçler sayesinde, süzgecin karakteristiği elektronik olarak sadece kontrol akımlarını değiştirilerek ayarlanabilmektedir bu da süzgecin bir mikrodenetleyici tarafından kontrol edilmesine imkan sağlamaktadır. Süzgecin her bir katsayısının sadece bir kontrol akımı ile kontrol edilebildiğinden, katsayılar birbirinden bağımsız olarak ayarlanabilmektedir.

Önerilen yüksek dereceden akım-modlu ayarlanabilir süzgeç devrelerinin işlerlikleri simülasyon programı ile sergilenmiştir. Benzetimlerden elde edilen sonuçların ideale yakın olduğu görülmektedir. Benzetimlerde görülen idealden sapmalar, MOS tranzistörün karesel kabul edilen akım bağıntısındaki sapmalardan kaynaklanmaktadır.

Teşekkür: Yazarlar, değerli yapıcı yardımlarından ötürü Doç. Serdar Özoğuz'a teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- [1] Sedra, A. and Smith, K.C., 1970. A second generation current conveyor and its applications, *IEEE Trans. on Circuit Theory*, **17**, 132-134.
- [2] Tek H. ve Anday, F., 1989. Voltage transfer function synthesis using current conveyors, *Electronics Letters*, **25**, 1552-1553.
- [3] Liu, S., I., Tsao, H., W., Wu, J. and K. Lin., 1990. MOSFET capacitor filters using unity gain CMOS current conveyors, *Electronics Letters*, **26**, 1430-1431.
- [4] Chang, M.C. and Toumazou, C., 1993. 3V MOS current conveyor for VLSI technology, *Electronics Letters*, **29**, 317-318.
- [5] Sedra, A., Roberts, G.W. and Gohh, F., 1990. The current conveyor: History, *Progress and New Results, IEEE Proc.*, **137**, 78-77.
- [6] Kamptorn, W.S., Riewruja, V. and Cheevasuvit, F., 1991. Integrable CMOS-base realization of current conveyors, *Int.J. Electronics*, **71**, 793-798.
- [7] Çam, U. and Kuntman, H., 1998. A new CCII-based sinusoidal oscillator providing fully independent control of oscillation condition and frequency, *Microelectronics Journal*, **11**, 913-919.
- [8] Chang, C.M. and Chen, C., 1991. Realization of current-mode transfer function using second-generation current conveyors, *Int. J. Electronics*, **71**, 809-815.
- [9] Çiçekoğlu, O., Kuntman, H. and Berk, S., 1999. Allpass Filters using a single current conveyor, *International Journal of Electronics*, **8**, 947-955.
- [10] Acar, C. and Kuntman, H., 1999. Limitations on input signal level in voltage-mode active-RC filters using current conveyors, *Microelectronics Journal*, **1**, 69-76.
- [11] Anday, F. and Gunes, E. O., 1995. Realisation of nth-order voltage transfer function using CCII+, *Electronics Letters*, **13**, 1022-1023
- [12] Surakampotorn, W. and Kumwatchara, K., 1992. CMOS-based electronically tunable current conveyor, *Electronics Letters*, **14**, 1316-1317.
- [13] Bult, K. and Wallinga, H., 1987. A class of analog CMOS circuits based on the square-law characteristic of a MOS transistor in saturation, *IEEE J.Solid-State Circuits*, **22**, 357-364.
- [14] Surakampotorn, W. and Thitimajshima, P., 1988. Integrable electronically tunable current conveyors, *IEE Proceedings*, **135**, 71-77
- [15] Toumazou, C. And Lidgey, F. J., 1986. Universal active Filter using current conveyors, *Electronics Letters*, **22**, 662-664
- [16] Sedra, A. and Roberts, G. W., 1989. All current-mode frequency selective circuits, *Electronics Letters*, **25**, 759-761
- [17] Fabre, A. and Alami, M., 1995. Universal current mode biquad Implemented from two CCII, *IEEE Transactions on Circuit and Systems-I: Fundamental Theory and applications*, **42**, 383-385

- [18] **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 Circuit and Systems-II: Analog and Digital Signal Processing*, **43**, 663-670
- [19] **Singh, V. K. and Senani, R.**, 1990. New multifunction active filter configuration employing current conveyors, *Electronics Letters*, **26**, 1814-1816
- [20] **Zeki, A. and Kuntman, H.**, 1997. Accurate and high output impedance current mirror suitable for CMOS current output stages, *Electronics Letters*, **33**, 1042-1043
- [21] **Acar, C. and Özoğuz S.**, 1996. High-order voltage transfer function synthesis using CCII+ based unity gain current amplifiers, *Electronics Letters*, **32**, 2030-2031
- [22] **Acar, C. and Özoğuz S.**, 2000. Nth-order current transfer function synthesis using current differencing buffered amplifier: signal-flow graph approach, *Microelectronics Journal*, **31**, 49-53
- [23] **Acar, C.**, 1996. Nth-order voltage transfer function synthesis using a commercially available active component: signal-flow graph approach, *Electronics Letters*, **32**, 1933-1934
- [24] **Papazoglou, C.A. and Karybakas, C.A.**, 1997. Noninteracting electronically tunable CCII-based current-mode biquadratic filters, *IEE Proceedings-Circuits Devices Syst*, **144**, 178-184
- [25] **Kuntman, H.**, 1997. Analog MOS Tümdevre Tekniği, İ.T.Ü Elektrik-Elektronik Fakültesi Ofset Baskı Atölyesi, İstanbul.
- [26] **Sayın, O. K.**, 2004, CMOS ECCII ile yüksek dereceden ayarlanabilir aktif süzgeç tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.