

# CMOS ECCII ile Yüksek Dereceden Ayarlanabilir Aktif Süzgeç Tasarımı

## Design of High-Order Active Filters Employing CMOS ECCIIs

Onur Korhan SAYIN H. Hakan KUNTMAN

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

e-posta: onurkorhan@hotmail.com.tr , kuntman@ehb.itu.edu.tr

### Özetçe

Bu çalışmada, elektronik olarak kontrol edilebilen ikinci kuşak akım taşıyıcıları (ECCII) kullanılarak yüksek dereceden ayarlanabilir aktif süzgeç tasarımı gösterilecektir. Önerilen devrede  $n$ . dereceden bir süzgeç için  $3n$  ECCII,  $3n-2$  direnç ve  $n+1$  kapasitör kullanılmaktadır. Devrenin transfer fonksiyonundaki herbir katsayı, bir ECCII kullanılarak kontrol edilebilmektedir. SPICE benzetimi sonuçları devrenin yüksek performanslı olarak çalıştığını göstermektedir.

### Abstract

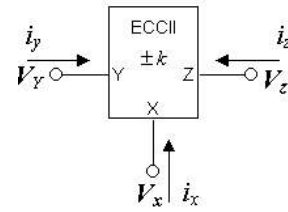
In this paper the design of high-order active filters employing CMOS electronically tunable current conveyors is described. The circuit proposed contains  $3n$  ECCIIs,  $3n-2$  resistors and  $n+1$  capacitors for the realization of  $n$ th order filter. Each coefficient in the transfer function of the circuit can be adjusted independently by adjusting the corresponding biasing currents. The performance of the circuit is demonstrated by SPICE simulations.

### 1. Giriş

1970 yılında Sedra ve Smith'in ikinci kuşak akım taşıyıcısı (CCII) önermelerinden bu yana, CCII sunduğu birçok avantajdan dolayı aktif devre tasarımında yaygın olarak kullanılmaktadır [1-11]. Bu çalışmada önerilen  $n$ . dereceden elektronik olarak kontrol edilebilen süzgeç devresinin transfer fonksiyonunun herbir katsayısı, ECCII'nin kontrol akımını değiştirerek ayarlanabilmektedir [12]. Böylece alçak geçiren, yüksek geçiren, bant geçiren, bant söndüren vs. süzgeçler sadece kontrol akımını değiştirerek elde edilebilmektedir. Ayrıca seçilen süzgeçin  $Q$  ve  $\omega_0$  değerleride yine kontrol akımını değiştirerek ayarlanabilmektedir. Devrenin en büyük avantajlarından biri, istenilen katsayının diğerlerinden bağımsız olarak değiştirilebilmesidir. Devrede kullanılan pasif elemanlarının tümünün topraklı olması, tüm devre gerçekleştirilmesi için önem taşımaktadır [11].

### 2. ECCII Yapısı

ECCII elemanı şematik olarak Şekil-1'de gösterilmektedir.



Şekil-1: ECCII Sembölü

Elektronik olarak kontrol edilebilen akım taşıyıcı yapısı, akım transfer oranı bir akım ya da bir gerilimle değiştirilebilen bir akım taşıyıcı düzenidir. ECCII'nin tanım bağıntıları:

$$\begin{aligned} i_y &= 0 \\ V_x &= V_y \\ i_z &= \pm k i_x \end{aligned} \quad (1)$$

biçimindedir [12]. (1) bağıntısındaki  $k$  büyüklüğü, değeri elektronik yoldan kontrol edilebilen akım transfer oranıdır. ECCII,  $k$  büyüklüğü negatif ise eviren ECCII, pozitif ise evirmeyen ECCII olarak adlandırılır. ECCII yapısı bir gerilim izleyici ve bir küçük işaret akımı kuvvetlendiricisinden oluşmaktadır. Akım kuvvetlendiricinin yapısı Şekil-2'de verilmiştir. Bu devrede  $T_1$ ,  $T_2$  ve  $T_3$  transistörlerinden oluşan yapı grubu ile  $T_1'$ ,  $T_2'$  ve  $T_3'$  den oluşan yapı grubu, kare alan birer devre olarak davranırlar.  $T_7$ ,  $T_8$  transistörleri ve  $I_A$  akım kaynağı,  $T_3$  ve  $T_3'$  transistörlerine kutuplama gerilimi sağlayan akım kontrollü bir gerilim referansı devresi oluştururlar. Bütün transistörlerin doymada çalıştıkları ve  $T_5$  ile  $T_5'$  dışındaki transistörlerin tümünün eşit  $W/L$  oranlarına sahip oldukları kabul edilsin [12] ve

$$(W/L)_{T_5} / (W/L)_{T_4} = (W/L)_{T_5'} / (W/L)_{T_4'} = n \quad (2)$$

olsun. Bu şart altında:

$$I_1 = 2I_A + \frac{(I_B + i)^2}{8I_A} \quad (3)$$

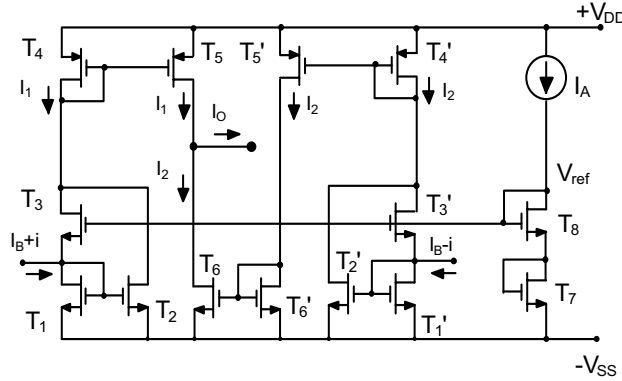
$$I_2 = 2I_A + \frac{(I_B - i)^2}{8I_A} \quad (4)$$

$$|I_B| + |i| \leq 4I_A \quad (5)$$

olmak üzere [13], devrenin çıkış akımı:

$$i_o = \left( \frac{nI_B}{2I_A} \right) \cdot i \quad (6)$$

biçiminde ifade edilebilir [12]. (6) bağıntısından fark edilebileceği gibi, küçük işaret akımı, değeri elektronik yoldan değiştirilebilen bir  $k$  çarpılarıyla çarpılarak çıkışa yansımaktadır. (6) bağıntısı, aynı zamanda,  $n$  büyüklüğünün kazançlı değişim aralığını da belirleyen bir faktör olduğunu göstermektedir. (5) şartı uyarınca, kazancı arttırmak üzere  $I_B$  büyüklüğü istenildiği kadar büyütülemez.



Şekil-2: Küçük işaret akımı kuvvetlendiricisi yapısı

Devrede kullanılan ECCII yapısının tümü Şekil 4'de verilmektedir. Devre hem eviren, hem de evirmeyen çıkışa sahiptir.  $Z_N$  çıkışı eviren çıkış,  $Z_p$  çıkışı evirmeyen çıkış vermektedir. Devrede kullanılan tüm NMOS ve PMOS transistörlerin boyutları eşittir.  $M_1-M_4$  'e kadar olan transistörler ve  $I_C$  gerilim izleyici olarak çalışır ve  $V_X$ 'i  $V_Y$ 'yi izlemeye zorlar.  $M_5$  akım izleyici olarak çalışır ve  $X$  ucunun düşük çıkış empedanslı olmasını sağlar [12].  $(I_B+i_X)$  akımı  $M_6$  ve  $M_7$  transistörleri oluşturduğu akım aynası ile akım kuvvetlendiricisine taşınır.  $(I_B-i_X)$  akımı,  $M_{50}$  ve  $M_{51}$  transistörlerinin toplam savak akımı olan  $2I_B$ 'den  $M_9$  transistörünün savak akımı olan  $(I_B+i_X)$ 'in çıkartılması ile elde edilir ve  $M_{10}, M_{12}$  transistörleri tarafından kopyalanarak akım kuvvetlendiricisine verilir. Akım kuvvetlendiricisinde kullanılan akım aynalarının kazancı  $n$ , iki eş transistörün bazlarının ve savaklarının ortak noktalara bağlanması (bu sayede savak akımlarının tam olarak eşleşebilmektedir) ile 2 yapılmıştır. Böylece  $n=2$  için

$$i_{ZP} = \left( \frac{I_B}{I_A} \right) \cdot i_X \quad (7)$$

$$i_{ZN} = - \left( \frac{I_B}{I_A} \right) \cdot i_X \quad (8)$$

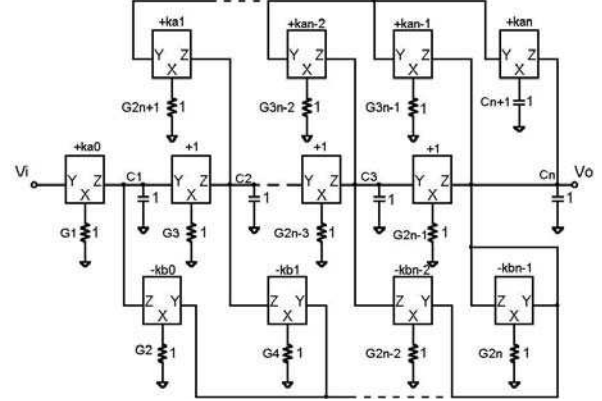
olur [13].

### 3. Yüksek Dereceden Süzgeç Tasarımı

ECCII tabanlı yüksek dereceden süzgeç tasarımında Anday ve Güneş tarafından önerilen yöntemden yararlanılmıştır [11].  $n$ . dereceden bir süzgecin transfer fonksiyonu (9)'da verilmiştir:

$$T(s) = \frac{V_o}{V_i} = \frac{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s^1 + a_0}{s^n + b_{n-1} s^{n-1} + \dots + b_1 s^1 + b_0} \quad (9)$$

Bu transfer fonksiyonuna karşı gelen işaret akış diyagramından hareketle elde edilen devre Şekil-3'de verilmektedir.



Şekil-3: n. dereceden ayarlanabilir aktif süzgeç devresi

ECCII bloklarının kazançları ve hangi katsayıyı kontrol ettiği üzerlerinde belirtilmiştir. Pozitif kazançlı olanlar evirmeyen ECCII bloğunu, negatif kazançlı olanlar ise eviren ECCII bloğunu simgelemektedir. Devrenin transfer fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

$$T(s) = \frac{k_a s^n + k_{a_{n-1}} s^{n-1} + \dots + k_{a_1} s + k_{a_0}}{s^n + k_{b_{n-1}} s^{n-1} + \dots + k_{b_1} s + k_{b_0}} \quad (10)$$

Transfer fonksiyonundan (10) görüldüğü gibi  $(a_n a_{n-1} \dots a_1 a_0)$  ve  $(b_{n-1} b_{n-2} \dots b_1 b_0)$  katsayıları birbirinden bağımsız olarak kontrol akımı ile değiştirilebilmektedir.  $n$ . dereceden bir süzgeç için  $3n$  ECCII,  $3n-2$  direnç ve  $n+1$  kapasitör kullanılmıştır. Devrenin transfer fonksiyonunun paydası eleman değerlerine göre yazılımı (11)'de gösterilmektedir. [11]

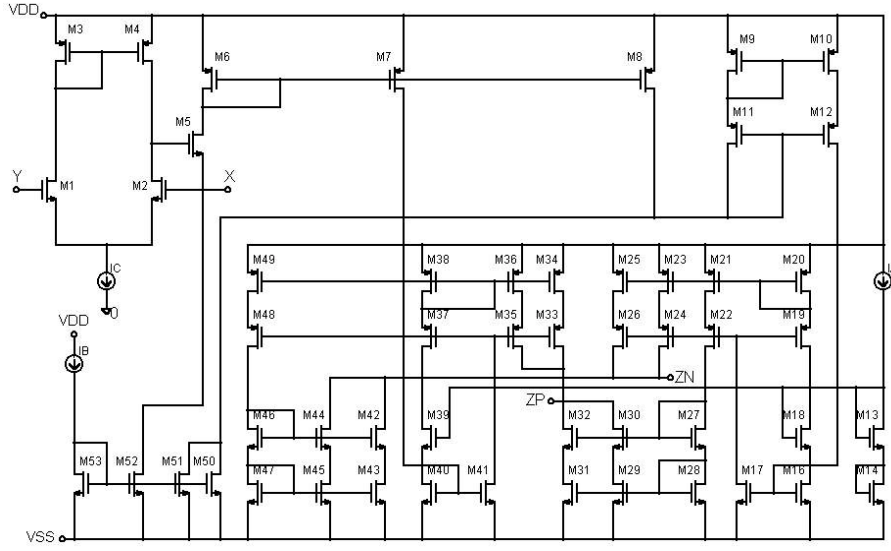
$$(C_1 C_2 \dots C_{n-1} C_n) s^n + (G_{2n} C_1 C_2 \dots C_{n-1} k_{b_{n-1}}) s^{n-1} + \dots + (G_4 \dots G_{2n-1} C_1 k_{b_1}) s + (G_2 G_3 \dots G_{2n-1} k_{b_0}) \quad (11)$$

### 4. Benzetim Sonuçları

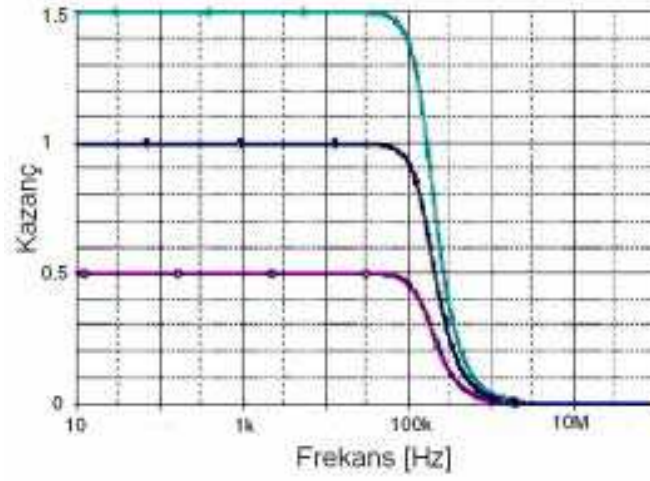
Benzetimler için önerilen yapıdan hareketle 2. dereceden aktif bir süzgeç devresi kurulmuştur. Devrede tüm direnç ve kapasiteler eşit seçilmiştir. Devrenin transfer fonksiyonu (12)'de verilmiştir:

$$T(s) = \frac{k_{a_2} s^2 + \frac{1}{RC} k_{a_1} s + \frac{1}{R^2 C^2} k_{a_0}}{s^2 + \frac{1}{RC} k_{b_1} s + \frac{1}{R^2 C^2} k_{b_0}} \quad (12)$$

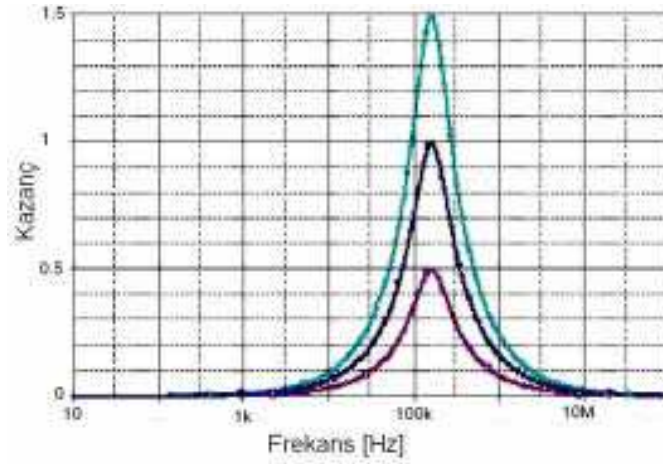
Transistör boyutları  $(W/L)=50/10$  olarak alındı. Simülasyon için SPICE level 3 modeli kullanıldı. Kutuplama akımları  $I_A=200\mu A$ ,  $I_B=200\mu A$  ve  $I_C=100\mu A$  olarak ayarlanmıştır.



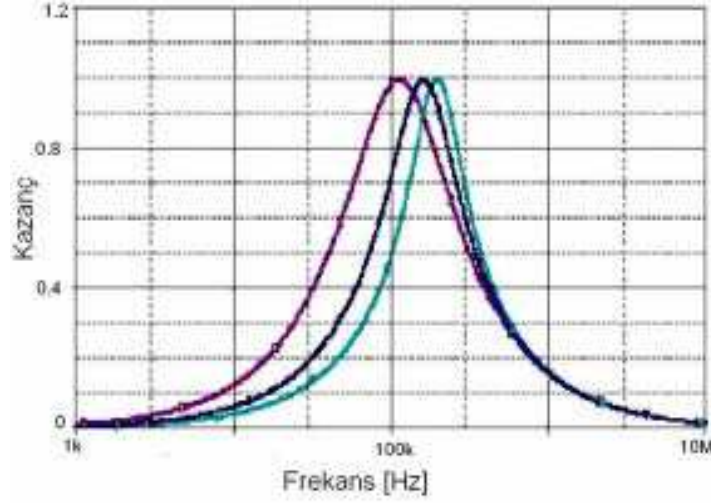
Şekil-4: ECCII yapısı



Şekil-5: Alçak geçiren süzgecin kazancının ayarlanması,  $I_B = 100\mu A, 200\mu A$  ve  $300\mu A$



Şekil-6: Bant geçiren süzgecin kazancının ayarlanması,  $I_B = 100\mu A, 200\mu A$  ve  $300\mu A$



Şekil-7: Bant geçiren süzgecin merkez frekansının ayarlanması

Süzgeç önce alçak geçiren olarak çalıştırıldı. ( $k_{a_2} = 0$  ve  $k_{a_1} = 0$ ) Köşe frekansı 150KHz olarak seçildi. ( $R=10K\Omega$  ve  $C=100pF$ ).  $k_{a_0}$  süzgeç kazancı, ilgili ECCII'nın kontrol akımı  $I_B$ 'nin sırasıyla 100µA, 200µA ve 300µA'ye ayarlanması ile 0.5, 1 ve 1.5 olarak değiştirilmiştir.

SPICE benzetimi sonucu Şekil-5'de gösterilmiştir. Yapı bant geçiren süzgeç olarak da çalıştırılmıştır ( $k_{a_2} = 0$  ve  $k_{a_0} = 0$ ).  $k_{a_1}$  süzgeç kazancı, ilgili ECCII'nın kontrol akımı  $I_B$ 'nin sırasıyla 100µA, 200µA ve 300µA'ye ayarlanması ile 0.5, 1 ve 1.5 olarak değiştirilmiştir. Simülasyon sonucu Şekil-6'da gösterilmektedir. Ayrıca  $k_{b_0}$ , 0.5, 1 ve 1.5 olarak değiştirilerek süzgeç merkez frekansı kaydırılmıştır. Benzetim sonucu Şekil-7'de gösterilmiştir.

Simülasyon sonuçlarından görüldüğü gibi, sonuçlar öngörülen teorik sonuçlarla uyumludur.

## 5. Sonuç

Bu çalışmada, elektronik olarak kontrol edilebilen ikinci kuşak akım taşıyıcıları (ECCII) kullanılarak yüksek dereceden ayarlanabilir aktif süzgeç tasarımı sunulmuştur. Tasarım prosedürü esnek ve basittir. Devrede aktif eleman olarak ECCII, pasif eleman olarak direnç ve kapasitör kullanılmış. Tüm dirençlerin ve kapasitörlerin topraklı olması, tüm devre gerçeklemesi için önem taşımaktadır.

## 6. Kaynakça

[1] Sedra, A. and Smith, K.C., "A second generation current conveyor and its applications", *IEEE Trans. on Circuit Theory*, 1970, CT-17, pp.132-134

- [2] Tek, H. and Anday, F., "Voltage transfer function synthesis using current conveyors", *Electronics Letters*, 25, 1552-1553, 1989.
- [3] Liu, S.-I., Tsao, H.-W., Wu, J. and -K.Lin, "MOSFET capacitor filters using unity gain CMOS current conveyors", *Electronics Letters*, 26, pp.1430-1431, 1990.
- [4]. Chang, M.C, Toumazou, C., "3V MOS current conveyor for VLSI technology", *Electronics Letters*, 29, 317-318, 1993.
- [5] Sedra, A.S., Roberts, G.W., Gohh, F., "The current conveyor: History, Progress and New Results", *IEEE Proc.*, 137, 78-77, 1990.
- [6] Kamptorn, W.S., Riewruja, V., Cheevasuvit, F., "Integrable CMOS-base realization of current conveyors", *Int.J. Electronics*, 71, 793-798, 1991.
- [7] Çam, U., Kuntman, H., "A new CCII-based sinusoidal oscillator providing fully independent control of oscillation condition and frequency", *Microelectronics Journal*, Vol.29, Nos.11, pp.913-919, 1998.
- [8] Chang, C.M., Chen, P.-C., "Realization of current-mode transfer function using second-generation current conveyors", *Int. J. Electronics*, 71, 809-815, 1991.
- [9] Çiçekoğlu, O., Kuntman, H., Berk, S., "Allpass Filters using a single current conveyor", *International Journal of Electronics*, 86, No.8, pp.947-955, 1999
- [10] Acar C. and Kuntman, H., "Limitations on input signal level in voltage-mode active-RC filters using current conveyors", *Microelectronics Journal*, Vol.30, No. 1, pp.69-76, 1999.
- [11] Anday, F. and Günes, E. O. : "Realisation of nth-order voltage transfer function using CCII+", *Electronics Letters*, 1995, Vol. 31, No:13, pp1022-1023
- [12] Surakampotorn, W. and Kumwatchara, K.: "CMOS-based electronically tunable current conveyor", *Electronics Letters*, 1992, Vol. 28, No:14, pp 1316-1317
- [13] Bult, K. and WallingA, H., "A class of analog CMOS circuits based on the square-law characteristic of a MOS transistor in saturation", *IEEE J.Solid-State Circuits*, 1987, SC-22, pp 357-364