

# Yeni Yüksek Başarımli CMOS Üçüncü Kuşak Akım Taşıyıcı (CCIII)

Shahram MINAEI<sup>1</sup> Merih YILDIZ<sup>2</sup> Hakan KUNTMAN<sup>3</sup> Sait TÜRKÖZ<sup>4</sup>

1,2. Doğuş Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliđi Bölümü, 81010, Acıbadem, Kadıköy, İstanbul, Türkiye.

3,4. İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliđi Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliđi Bölümü, 80626, Maslak, İstanbul, Türkiye.

<sup>1</sup>e-posta: sminaei@dogus.edu.tr

<sup>2</sup>e-posta: myildiz@dogus.edu.tr

<sup>3</sup>e-posta: kuntman@ehb.itu.edu.tr

<sup>4</sup>e-posta: sait@ehb.itu.edu.tr

Anahtar Sözcükler – İşaret İşleme, CMOS Devreler, CCIII

**Abstract-** In this paper a new CMOS high performance dual-output realization of the third generation current conveyor (CCIII) is presented. The proposed CCIII provides good linearity, high output impedance at port Z and excellent output/input current gain. PSPICE simulation results using MIETEC 1.2µ CMOS process model are included to verify the expected values.

## I. Giriş

Akım taşıyıcılar ve birim kazançlı kuvvetlendiriciler özellikle işaret işleme ve aktif network sentezi uygulamalarında analog devre tasarımcıları tarafından tercih edilmektedir [1-2]. Son olarak bu bloğun üçüncü kuşağı Fabre tarafından önerilmiştir [3]. Üçüncü kuşak akım taşıyıcılar kazancı bir olan akım kontrollü akım kaynağı gibi de düşünülebilir. Bu tip akım taşıyıcılar çok fonksiyonlu filtrelerde, endüktans simülasyonu ve tüm geçiren bölümlerin gerçekleştirilmesinde yarar sağlar [4-9]. Bu sonuçlar için CCIII yapısında yüksek başarımli akım aynaları kullanılır, böylece kaskod bağlantı içinde önemli olan yüksek çıkış direnci elde edilir.

CCIII devrelerinin en önemli özellikleri düşük kazanç hatası (yüksek doğruluk), yüksek lineerlik ve geniş frekans cevabıdır. CCIII elemanın Z ucundaki yüksek çıkış direnci uygulamalarda kaskod bağlantı için dışarıdan ek aktif elemana ihtiyaç duyulmamasını sağlamaktadır. Ancak ne yazık ki geleneksel CCIII devresinde kullanılan basit akım aynaları DC ve AC performansların düşük çıkmasına, sınırlı lineerliğe ve düşük çıkış direnci sağlamıştır. Bu çalışmada yüksek doğruluklu aktif geribeslemeli kaskod akım aynalarının (YDAGKAA) kullanıldığı üçüncü kuşak akım taşıyıcı önerilmiştir. Önerilmiş olan CCIII geleneksel CCIII ile ve kaskod CCIII ile

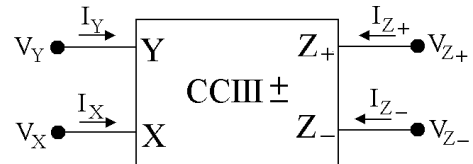
karşılaştırılmıştır. Önerilen devre Z çıkış ucunda yüksek çıkış direnci ve mükemmel frekans cevabı vermektedir. Önerilen devrenin 0.7V, 16.6MHz birim basamak fonksiyonu girişı için incelenmiştir. Devrenin %0.1 hata ile çıkışa cevap verme süresi 17ns olarak bulunmuştur. Önerilen CCIII yapısının Z ucu çıkış direnci teorik olarak da bulunmuş ve yüksek performans sonuçları gösteren simülasyon sonuçları verilmiştir.

## II. Önerilen Devreler

Şekil-1'de gösterilen ideal CCIII için uç bağıntıları arasındaki ilişki

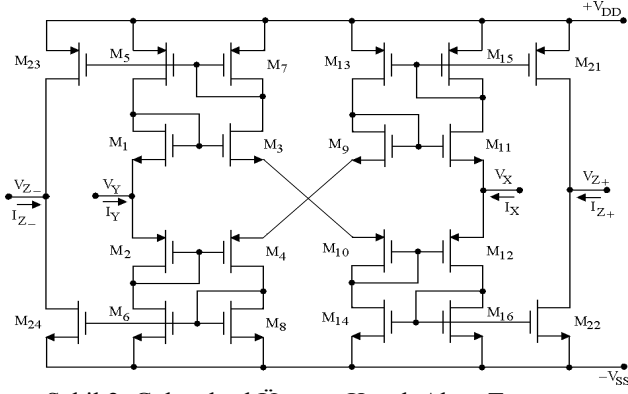
$$\begin{bmatrix} I_Y \\ V_X \\ I_{Z+} \\ I_{Z-} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_Y \\ I_X \\ V_{Z+} \\ V_{Z-} \end{bmatrix} \quad (1)$$

eşitliği ile tanımlanır. Burada pozitif ve negatif işareti pozitif ve negatif üçüncü kuşak akım taşıyıcıyı tanımlamaktadır.



Şekil. 1. CCIII Sembolik Gösterimi.

Geleneksel üçüncü kuşak akım taşıyıcı şekil 2 de gösterilmiştir [3].



Şekil 2. Geleneksel Üçüncü Kuşak Akım Taşıyıcı (CCIII).

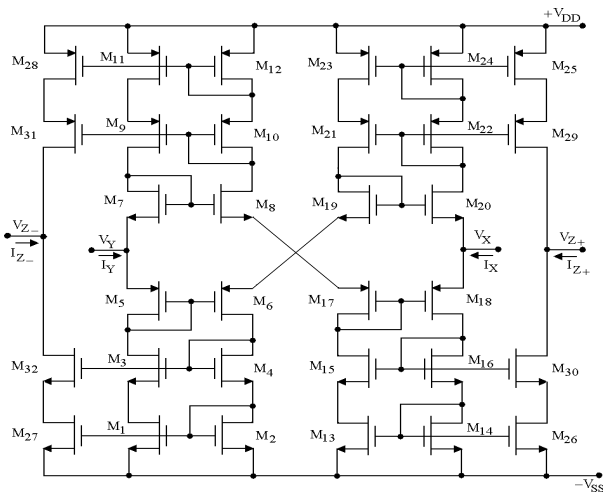
Basit akım aynaları ( $M_6, M_8$ ), ( $M_5, M_7$ ), ( $M_{14}, M_{16}$ ) ve ( $M_{13}, M_{15}$ ) yapılandırılmıştır. Akım X ve Y uçlarından  $Z_+$  ve  $Z_-$  uçlarındaki  $M_{21}-M_{22}$  ve  $M_{23}-M_{24}$  çıkış transistörlerine taşınır. Bu devrenin önemli bir avantajı yapısının basit olmasıdır.  $Z_+$  çıkış ucu direnci teorik olarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$R_{oz+} = (r_{ds21}) // (r_{ds22}) \quad (2)$$

Buradaki  $r_{dsi}$  i'inci transistörün çıkış direncini gösterir.  $Z_-$  çıkış ucu direnci de aynı şekilde hesaplanabilir. Geleneksel CCIII devresinin önemli bir dezavantajı ise  $R_{oz}$  çıkış direncinin fazla yüksek olmamasıdır. Şekil 3 de görüldüğü gibi X-Y, X-Z+ ve Y-Z- uçlarında kaskod akım aynaları kullanılarak akım lineerliği artırılmıştır.  $Z_+$  ucu çıkış direnci aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$R_{oz+} \cong (r_{ds29} r_{ds25} g_{m29}) // (r_{ds30} r_{ds26} g_{m30}) \quad (3)$$

(2) ve (3) deki verilmiş olan çıkış dirençleri karşılaştırıldığında kaskod CCIII yapısının daha iyi bir sonuç verdiği görülmektedir. Her ne kadar kaskod CCIII devresinin çıkış direnci geleneksel devreye göre artmış olsa dahi uygulama için yeterli değildir.



Şekil 3. Kaskod Akım Aynaları kullanılarak gerçekleştirilmiş Üçüncü Kuşak Akım Taşıyıcı.

Çıkış direncinin artırılması için akım taşıyıcının çıkış katlarında yüksek doğruluklu aktif geribeslemeli kaskod akım aynalarının (YDAGKAA) [10] kullanıldığı yeni bir CCIII devresi önerilmiştir. Önerilen devre Şekil 4 de gösterilmiştir. ( $M_9-M_{12}$ ), ( $M_{21}-M_{24}$ ), ( $M_{13}-M_{16}$ ) ve ( $M_{17}-M_{20}$ ) transistörlerini içeren kaskod akım aynaları ile akım X ucundan Y ucuna taşınmaktadır. YDAGKAA yapısının  $Z_+$  çıkış ucu ( $M_{25}-M_{32}$ ) ve ( $M_{33}-M_{40}$ ),  $Z_-$  çıkış ucu ( $M_{41}-M_{48}$ ) ve ( $M_{49}-M_{56}$ ) transistörlerini içermektedir. Bu akım aynasının en önemli avantajı çıkış iletkenliğinin ve geribesleme kapasitesinin standart akım aynasına göre 100 kat daha düşük olmasıdır. Önerilen devrenin çıkış direnci, kullanılan transistör sayısı artmış olmasına rağmen geleneksel CCIII ve kaskod akım taşıyıcıdan daha yüksektir. Şekil 4'de verilmiş olan devrenin çıkış direnci teorik olarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$R_{oz+} = g_{m32} g_{m30} r_{ds31} r_{ds32} (r_{ds30} // r_{ds28}) // g_{m40} g_{m38} r_{ds39} r_{ds40} (r_{ds38} // r_{ds34}) \quad (4)$$

(4) denkleminde görüldüğü gibi önerilmiş olan üçüncü kuşak akım taşıyıcı CCIII devresinin çıkış direnci kaskod CCIII devresine göre daha yüksektir.

### III. Simülasyon sonuçları ve Karşılaştırma

Önerilen CCIII devrelerinin başarımı SPICE benzetim programı yardımıyla gösterilmiştir. MOS transistörlerin boyutların PMOS için  $W/L=720\mu\text{m}/2.4\mu\text{m}$ , NMOS için  $W/L=240\mu\text{m}/2.4\mu\text{m}$  olarak seçilmiş ve simülasyonlar  $1.2\mu\text{m}$  MIETEC CMOS prosesi ile gerçekleştirilmiştir. Devrelerin besleme gerilimi  $\pm 2.5\text{V}$  olarak seçilmiştir.

Yapıların temel dc ve ac karakteristikleri olan  $V_x - V_y$ ,  $I_{z\pm} / I_x$  ve  $I_y / I_x$  oranının frekans cevabı SPICE benzetimi ile elde edilmiştir. Önerilmiş CCIII'nin  $V_x - V_y$  dc geçiş karakteristiği Şekil 5'de verilmiştir. Devrenin X ucundaki gerilim değişimi sınırları  $V_{x\text{max}} = 2.1\text{V}$  ve  $V_{x\text{min}} = -2\text{V}$ 'dir.

Şekil 6'da X ve Z uçları kısa devre edilerek  $I_z - I_x - I_y$  DC karakteristikleri gösterilmiştir. Devrenin Z uçlarındaki akımların değişim sınırları: pozitif uç için,  $I_{z\text{max}} = 1\text{mA}$  ve  $I_{z\text{min}} = -1\text{mA}$  ve negatif uç için,  $I_{z\text{max}} = 0.85\text{mA}$  ve  $I_{z\text{min}} = -0.85\text{mA}$ 'dir.

Şekil 7 ve 8'de sırası ile ( $V_x / V_y$ ) ve ( $I_{z+} / I_x$ ,  $I_{z-} / I_x$ ) oranlarının frekans cevabı verilmiştir.  $V_x / V_y$ ,  $I_{z+} / I_x$  ve  $I_{z-} / I_x$  oranlarının  $f_{-3\text{db}}$  frekansları sırası ile 89MHz, 24.7MHz ve 14.7MHz şeklindedir.

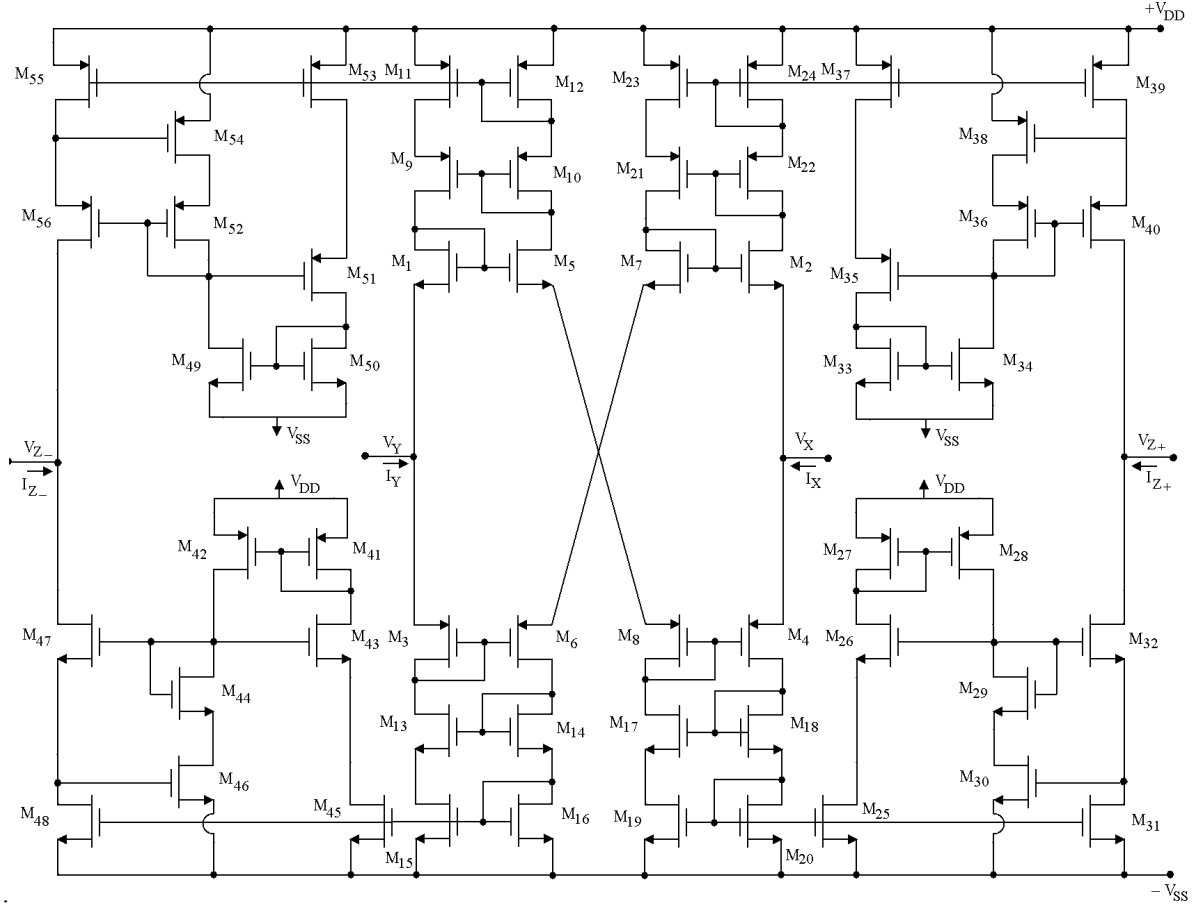
Şekil 9'da tepeden tepeye 0.7V, 16.6MHz step fonksiyon girişi için çıkışın girişi %0.1 hata ile yakalaması için geçen süre yükselen kenarda 17ns ve düşen kenarda 16ns olarak bulunmuştur. Önerilen devrenin offset değeri 0.1mV'un daha altındadır. Devrenin Z uçlarındaki çıkış empedansı pozitif uç için 5.59G $\Omega$  ve negatif uç için 6.73G $\Omega$ 'dur.

Burada önerilen yeni CCIII devresinin geleneksel ve kaskod devrelere göre olan başarımı Tablo 1’de gösterilmiştir. Tablo 1’den de görüldüğü gibi önerilen CCIII devresindeki iyileşmeler lineerlik ve çıkış direncinde yönünde olmuştur.

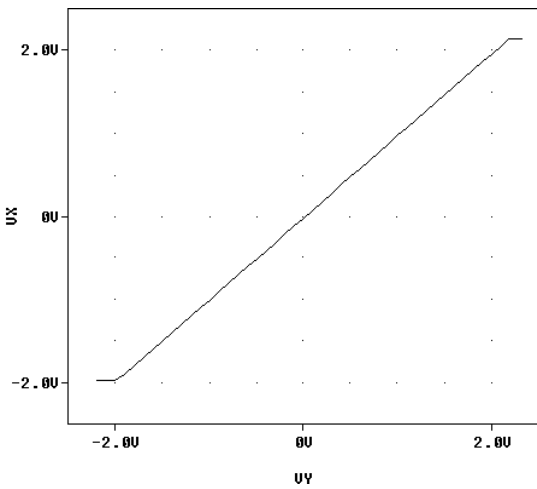
Önerilen devre geleneksel ve kaskod akım taşıyıcı devrelere karşılaştırıldığında Z ucunda yüksek çıkış empedansı göstermektedir. Simülasyon sonuçları devrenin lineerlik, gerilim ve akım doğrulukları yönünden yüksek başarımını göstermektedir.

#### IV. Sonuç

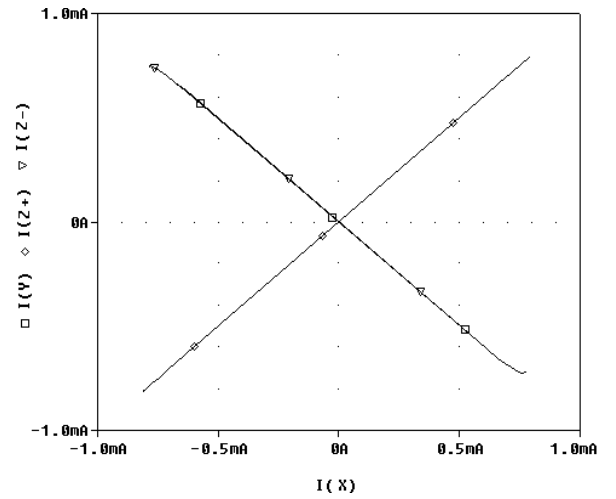
Bu çalışmada yeni bir yüksek başarımli üçüncü kuşak akım taşıyıcı sunulmuştur.



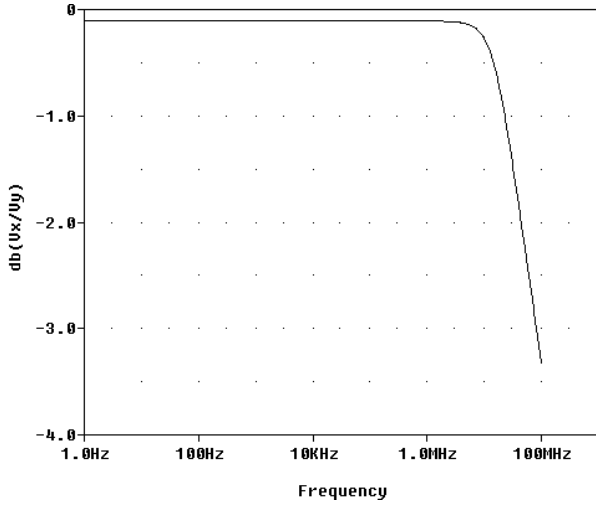
Şekil 4. Önerilmiş Üçüncü Kuşak Akım Taşıyıcı CCIII.



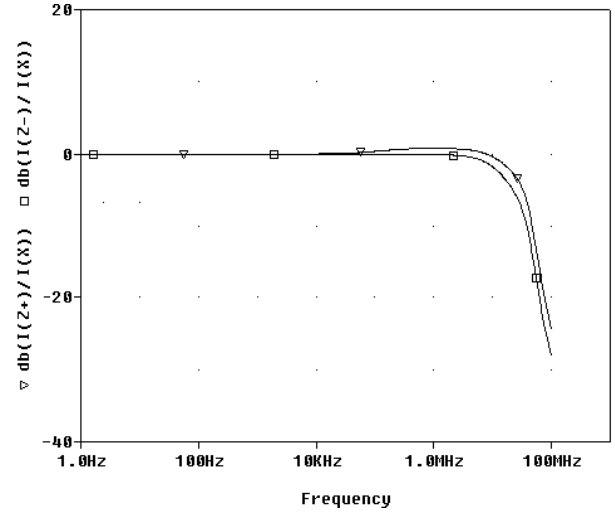
Şekil 5. Önerilmiş CCIII devresi  $V_X$ - $V_Y$  karakteristiği.



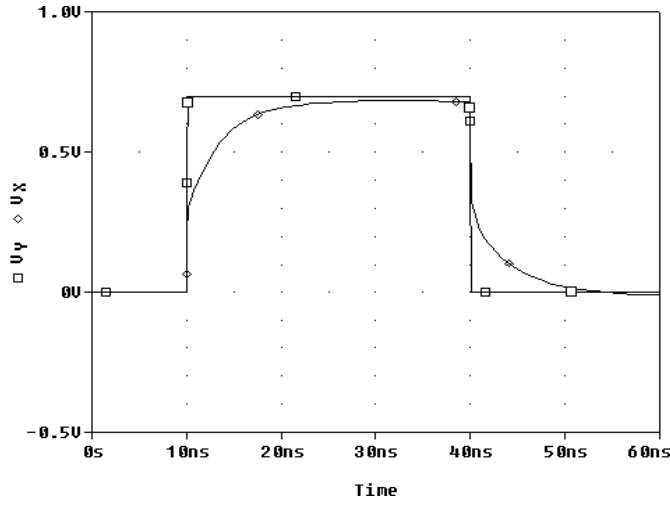
Şekil 6. Önerilmiş CCIII devresi  $I_X$ - $I_Y$ - $I_Z$  karakteristiği.



Şekil 7. Önerilmiş CCIII devresi  $V_X/V_Y$  frekans cevabı.



Şekil 8. Önerilmiş CCIII devresi  $I_{Z+}/I_X$  ve  $I_{Z-}/I_X$  frekans cevabı.



Şekil 9. Önerilmiş CCIII devresi 0.7V basamak girişine çıkışının cevap karakteristiği.

Tablo 1. Devre Başarımları.

| Parametreler                | Geleneksel CCIII | Kaskod CCIII   | Önerilmiş CCIII |
|-----------------------------|------------------|----------------|-----------------|
| $V_X-V_Y$                   | -0.55V—0.6V      | -1.8V—1.9V     | -2—2.1          |
| $I_{Z+}-I_X$                | -0.8mA—0.8mA     | -0.65mA—0.7mA  | -1mA—1mA        |
| $I_{Z-}-I_X$                | -1mA—1mA         | -0.4mA—0.70mA  | -0.85mA—0.85mA  |
| $V_X/V_Y$                   | 0.954            | 0.98           | 0.987           |
| $I_{Z+}/I_X$                | 0.98             | 0.98           | 0.998           |
| $I_{Z-}/I_X$                | 0.975            | 0.98           | 0.998           |
| $V_X/V_Y f_{3dB}$           | 306MHz           | 87MHz          | 89MHz           |
| $I_{Z+}/I_X f_{3dB}$        | 106MHz           | 15MHz          | 24.7MHz         |
| $I_{Z-}/I_X f_{3dB}$        | 83MHz            | 10.2MHz        | 14.7MHz         |
| Çıkış direnci ( $R_{Z+}$ )  | 18.2k $\Omega$   | 18M $\Omega$   | 5.59 G $\Omega$ |
| Çıkış direnci ( $R_{Z-}$ )  | 18.2k $\Omega$   | 17.9M $\Omega$ | 6.73 G $\Omega$ |
| Ofset                       | 15mV             | 0.145mV        | 0.1mV           |
| Yakalama süresi (yüzde 0.1) | 100ns            | 51ns           | 17ns            |
| Harcanan Güç                | 0.88mW           | 1.37mW         | 3.38mW          |

## Kaynaklar

- [1] Sedra A., Smith K.: 'A Second-generation current conveyor and its applications', IEEE Trans. On Circuit Theory, 1970, 17, pp.132-133.
- [2] Sedra A., Roberts G.: 'The current conveyor: history, progress and new results', IEE Proceeding Part G , 1990, 137, pp. 78-87.
- [3] Fabre A.: 'Third generation current conveyor: a new helpful active element', Electronics Letters, 1995, 31, pp.338-339.
- [4] Chow H.-C., Feng W.-S., 'New symmetrical buffer design for VLSI application', International Journal of Electronics., 2001, 88, pp.779-797.
- [5] Wang H.-Y., Lee C.-T.: 'Systematic synthesis of R-L and C-D immittances using single CCIII', International Journal of Electronics, (2000), 87, pp.293-301.
- [6] Horng J.-W., Weng R.-M., Lee M.-H., Chang C.-W.: 'Universal active current filter using two multiple current output OTAs and one CCIII', International Journal of Electronics., 2000, 87, pp. 241-247.
- [7] Mahmoud S.A., Soliman A.M., 'Novel MOS-C oscillators using the current feedback op-amp', International. Journal of Electronics, 2000, 87, pp. 269-280.
- [8] Abuelma'atti M. T., Alzaher H.A.: 'Multi-function active-only current-mode filter with three inputs and one output', International Journal of Electronics, 1998, 85, pp. 431-435.
- [9] Kuntman H., Çiçekoğlu O, Özoğuz S. .: 'A modified third generation current conveyor, its characteristic and applications', Frequenz, 2002, 56, pp. 47-54.
- [10] Zeki A., Kuntman H.: 'Accurate and high output impedance current mirror suitable for CMOS current output stages', Electronics Letters, 1997, 33, pp. 1042-1043.