

TEK AKTİF ELEMANLI VE GENİŞ BANDLI ELEKTRONİK AYAR EDİLEBİLEN KAPASİTÖR ÇARPICI TASARIMI

Serhan YAMAÇLI¹

Sadri ÖZCAN²

¹Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü, Mersin Üniversitesi Tarsus Teknik Eğitim Fakültesi, Tarsus-Mersin

²Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Elektrik-Elektronik Fakültesi
İstanbul Teknik Üniversitesi, 34469, Maslak, İstanbul

¹e-posta: syamacli@mersin.edu.tr ² e-posta: sozcan@ehb.itu.edu.tr

Anahtar sözcükler: Elektronik Olarak Ayar Edilebilen Akım Taşıyıcı (ECCII), Kapasitör Çarpma (K-çarpma) Devresi

ABSTRACT

In this study an electronically tunable capacitor multiplier which can be used for wide range frequencies is proposed. In this C-Multiplier circuit only one negative type electronically tunable current conveyor (ECCII-) is used as an active element. The multiplication factor of the proposed C-Multiplier can be adjusted from 1 to 5 times and it can be used for the frequency range from 2.4kHz to 200MHz. The high performance of the capacitor multiplier is demonstrated using SPICE simulation program.

1. GİRİŞ

Kapasitör çarpma devrelerine (C-Multiplier=K-çarpıcı) olan ilgi gittikçe artmaktadır [1-5]. Bu ilginin birinci nedeni entegre devre içerisinde yüksek kapasite değerlerinin elde edilmesinin zor olmasıdır. İkinci nedeni ise elektronik devrelerin, elektronik olarak ayar edilebilmesinin gerekliliğidir.

Literatürde önerilmiş bulunan K-çarpma devreleri iki grupta toplanabilir:

1. İlk grup, gerilim modlu aktif elemanlar kullanan K-çarpma devreleridir [1-3].
2. İkinci grup, akım modlu aktif elemanlar kullanan K-çarpma devreleridir [4-6].

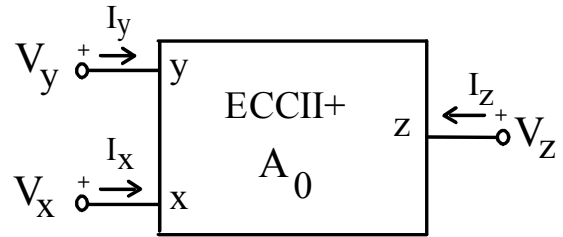
Op-amp ve OTA kullanan K-çarpma devrelerinin ayarlanabilme aralığı geniştir ancak bandgenişlikleri dardır. Diğer yandan, akım taşıyıcı kullanan K-çarpma devrelerinin geniş bandgenişlikleri vardır. Literatürde bulunan ve akım taşıyıcı kullanan K-çarpma devreleri iki akım taşıyıcı ve bir dirençle veya direnç kullanmadan üç akım taşıyıcıyla [4] ya da, üç akım taşıyıcı ve bir dirençle gerçekleştirilmiştir [5].

Bu çalışmada, yalnızca bir akım taşıyıcıyla yapılmış bir K-çarpma devresi önerilmiştir.

2. bölümde ECCII kısaca tanıtılmıştır. 3. bölümde yeni önerilen K-çarpma devresi açıklanmıştır. Önerilen devrenin SPICE simülasyon sonuçları ve bu simülasyon sonuçlarının değerlendirilmesi 4. bölümde verilmiştir. Sonuçlar ve gelecek çalışmalar ise 5. bölümdedir.

2. ELEKTRONİK OLARAK AYAR EDİLEBİLEN AKIM TAŞIYICI (ECCII)

Elektronik olarak ayar edilebilen akım taşıyıcı (Electronically tunable current conveyor-ECCII), 1988 yılında Surakhampontorn ve Thitimajshima tarafından önerilmiştir [7]. ECCII'nin devre sembolü ve tanım bağıntıları sırasıyla Şekil-1 ve Denklem-1'de verilmiştir.



Şekil-1. ECCII'nin devre sembolü

$$\begin{bmatrix} I_Y \\ V_X \\ I_Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & A_0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_Y \\ I_X \\ V_Z \end{bmatrix} \quad (1)$$

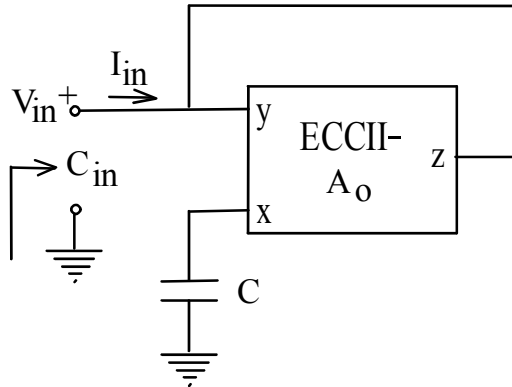
Denklem-1'den de görüldüğü gibi, ECCII'nin akım kazanç faktörü (A_0), bir kontrol akımıyla

değiştirilebilmektedir. Ayrıca, A_0 negatif yapılırsa negatif tip elektronik olarak ayar edilebilen akım taşıyıcı (ECCII-) elde edilir.

3. ÖNERİLEN KAPASİTÖR ÇARPMA DEVRESİ

3.1 Önerilen Kapasitör Çarpma Devresi

Önerilen kapasitör çarpma devresi [8] deki pozitif empedans çeviricindeki (PIC) CCII+ yapısının, ECCII- yapısıyla değiştirilmesi ile elde edilmiştir. Önerilen kapasite çarpma devresi Şekil-2'de gösterilmiştir.



Şekil-2 Önerilen Kapasite Çarpma Devresi

Şekil-2'deki devre için $V_X = V_Y$ eşitliği sağlanır. Ayrıca, kapasitenin üzerinden akan akım, I_X 'e eşittir. Dolayısıyla

$$|I_X| = |I_C| = |V_{IN}| 2\pi f C \quad (2)$$

ifadesi yazılabilir.

Giriş akımı olan I_{IN} , $A_0 I_X$ olan Z ucunun akımına eşittir. Dolayısıyla, devrenin girişinden görülen empedans

$$|Z_{IN}| = \frac{|V_{IN}|}{|I_{IN}|} = \frac{|V_{IN}|}{|V_{IN}| A_0 2\pi f C} \frac{1}{A_0 2\pi f C} \quad (3)$$

olarak bulunur. Böylece devreden elde edilen eşdeğer kapasite değeri

$$C_{in} = A_0 C \quad (4)$$

olarak yazılabilir. Burada A_0 , ECCII-'nin akım kazanç faktörüdür ve bir kontrol akımıyla kontrol edilebilir. Dolayısıyla, devreden elde edilen eşdeğer

kapasitans değeri, ECCII-'nin kontrol akımıyla kontrol edilebilmektedir.

3.2 Önerilen Kapasitör Çarpıcının İdealsizlik Analizi

Önerilen devreden elde edilecek olan kapasite değerinin, ideal değerinden, ECCII-'nin idealsizlikleri nedeniyle, bir miktar sapacağı açıktır. İdealsiz durumda elde edilebilecek kapasite değeri

$$C_{in} = \beta \alpha C \quad (5)$$

olarak yazılabilir. Burada β , ECCII-'nin gerilim transfer oranı ($\beta = 1 - \varepsilon_V$, $\varepsilon_V \ll 1$), α ise akım çarpma faktörüdür ($\alpha = A_0 - \varepsilon_i$, $\varepsilon_i \ll 1$). Böylelikle, idealsiz durumda devreden elde edilecek kapasite değeri

$$C_{in_{non-ideal}} = (1 - \varepsilon_V)(A_0 - \varepsilon_i)C \quad (6)$$

olur.

Elde edilen kapasite değerinin, ideal durumdan sapması ise

$$\Delta C = \varepsilon_i - \varepsilon_V A_0 + \varepsilon_i \varepsilon_V \quad (7)$$

olarak elde edilir.

ε_i ve ε_V , 1'den çok küçük olduğu için, $\varepsilon_V A_0$ 'den kaynaklanacak olan idealsizlik, diğer terimlere nazaran daha etkili olacaktır. Buna dayanılarak, önerilen devrenin idealden sapmasının çok küçük olan $\varepsilon_V A_0$ kadar olduğu söylenebilir.

Önerilen K-çarpma devresinin bandgenişliği ise X ucunun parazitik direnci ile X ucuna bağlanmış olan C kapasitesinin oluşturduğu kutup tarafından belirlenir. X ucunun parazitik direnci R_X ise, baskın kutup

$$\omega_p = \frac{1}{R_X C} \quad (8)$$

olacaktır.

Geniş bir bandgenişliği elde etmek için, X ucunun parazitik direnci olabildiğince düşük tutulmalıdır. Ayrıca, devrenin bandgenişliğinin, kapasite değeri düşüktüçe arttığı da Denklem-8 den görülmektedir.

4. SİMÜLASYON SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1 Geliştirilmiş Negatif Tip ECCII- Yapısı

Literatürde 3 adet ECCII yapısı bulunmaktadır [7-10]. Bu yapılardan Fabre ve Mimeche tarafından önerilmiş bulunan bipolar ECCII- yapısının başarımı diğerlerine göre çok daha yüksektir. Önerilen K-çarpma devresinin simülasyonunu yapmak için [9]'daki ECCII+ yapısından yüksek performanslı bir ECCII- yapısı türetilmiş ve bu elde edilen ECCII- yapısı Şekil-3'de gösterilmiştir.

Şekil-3'deki ECCII- yapısının çıkış katında iyileştirilmiş Wilson akım aynalarının kullanılması, devrenin çıkış direncini artırmış ve devrenin ideale daha yakın çalışmasını sağlamıştır.

4.2 SİMÜLASYON SONUÇLARI

Şekil-3'deki ECCII- yapısı için akım kazanç faktörü olan A_0 ,

$$A_0 = \frac{I_Z}{I_X} = \frac{I_A}{I_B} \quad (9)$$

olarak verilebilir. Böylece, Şekil-3'deki ECCII- yapısını kullanan K-çarpma devresinden elde edilecek kapasite değeri

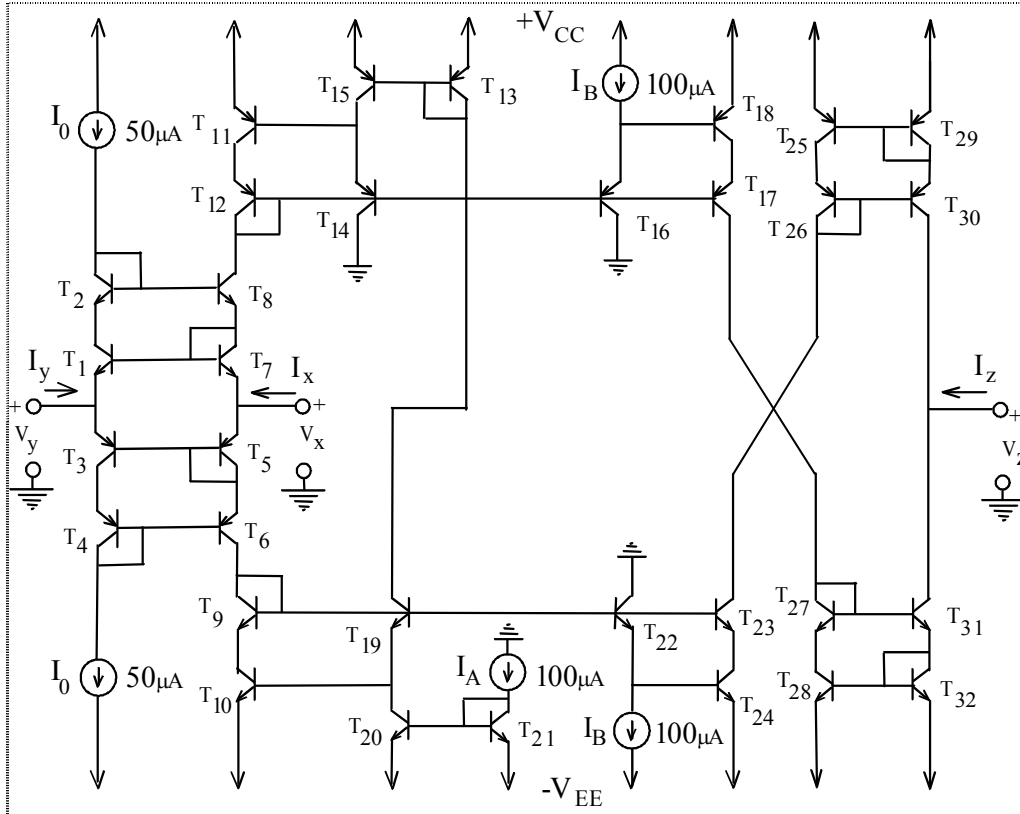
$$C_{eq} = CA_0 = C \frac{I_A}{I_B} \quad (10)$$

olur.

SPICE simülasyonlarında besleme gerilimleri V_{EE} ve V_{SS} , $\pm 3V$ olarak seçilmiştir. Kutuplama akımları I_B ve I_0 ise sırasıyla $50\mu A$ ve $100\mu A$ olarak seçilmiştir. Simülasyonlarda, SGS-Thomson (ST) Microelectronics firmasına ait olan HF2CMOS BiCMOS prosesinin nominal BJT SPICE parametreleri kullanılmıştır [11]. K-çarpma devresinde kullanılan kapasite değeri de $5pF$ olarak alınarak, K-devreden ideal durumda elde edilen kapasite değeri I_A 'nın bir fonksiyonu olarak

$$C_{eq} = 5pF \frac{I_A}{100\mu A} \quad (11)$$

şeklinde olur.

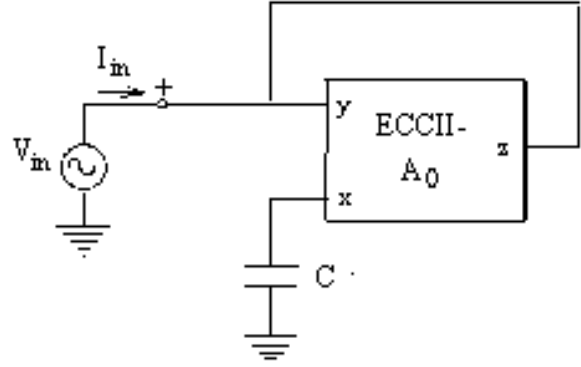


Şekil-3: Yüksek performanslı ECCII- yapısı

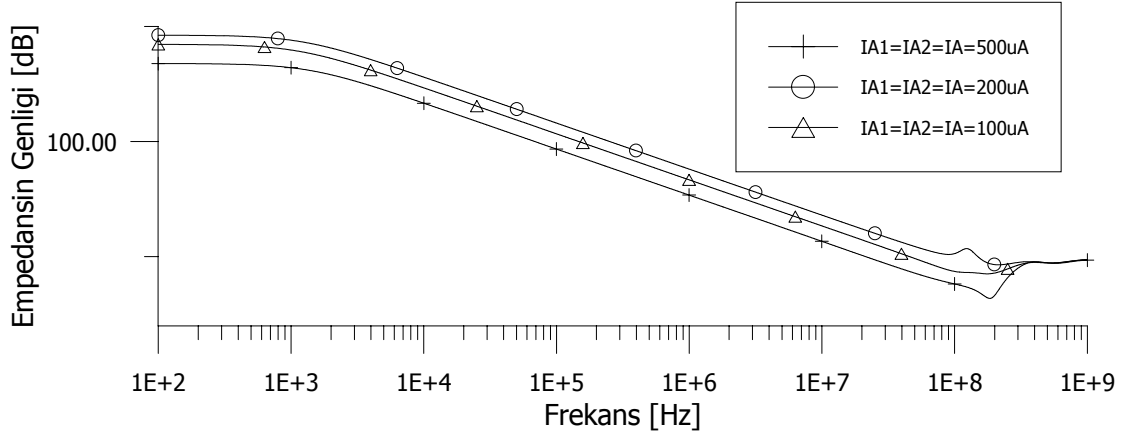
Önerilen devrenin girişinden kapasitif bir empedans görüldüğünü doğrulamak için devrenin girişine Şekil-4'de görüldüğü gibi bir AC gerilim kaynağı bağlanmıştır. SPICE simülasyonları yardımıyla, devrenin girişinden görülen empedans frekansa karşı $I_{A1}=100 \mu A$, $I_{A2}=200 \mu A$, $I_{A3}=500 \mu A$ kontrol akımları için çizdirilmiştir ve Şekil-5'de gösterilmiştir.

Şekil-5'den de görüldüğü üzere, devrenin bandgenişliği, $I_A=500 \mu A$ değeri için maksimum değerini almaktadır. Öte yandan $I_A=500 \mu A$ için elde edilen kapasite değeri $25pF$ 'dır. Devrenin maksimum bandgenişliğini belirlemek için ideal $25pF$ 'lık kapasitenin empedans-frekans eğrisi ve K-çarpma devresinden elde edilen empedans-frekans karakteristiği Şekil-6'daki gibi aynı eksen takımı üzerinde çizdirilmiştir. Şekil-6'dan da görüldüğü üzere, bu empedanslar $2.4kHz$ ve $200MHz$ frekansları arasında birbirini yakın bir biçimde takip etmektedir. Bu durumdan da önerilen devrenin çalışma

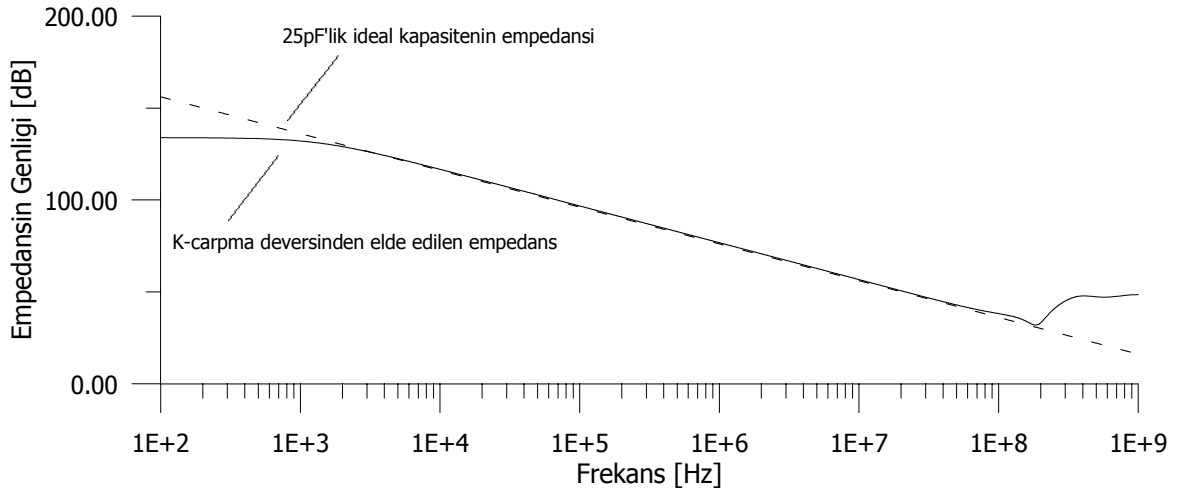
frekansının $2.4kHz$ ve $200MHz$ arası olduğu sonucuna varılabilir.



Şekil-4: Önerilen devreyi test etmek için kullanılan devre

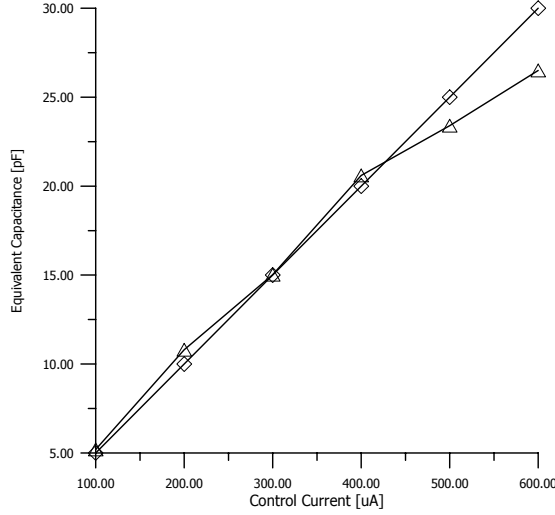


Şekil-5: Devrenin girişinden görülen empedansın $I_{A1}=100 \mu A$ (+ ile işaretlenmiştir), $I_{A2}=200 \mu A$ (∇ ile işaretlenmiştir) ve $I_{A3}=500 \mu A$ (O ile işaretlenmiştir) için frekansla değişimi



Şekil-6: Önerilen devreden $I_A=500 \mu A$ 'lik kontrol akımı için elde edilen (kalın çizgi) ve $25pF$ 'lık ideal kapasitenin (kesikli çizgi) empedansının büyüklüğünün frekansla değişimi

Önerilen K-çarpma devresinden elde edilen kapasite değeri ile ideal durumda elde edilmesi gereken kapasite değeri de Şekil-7’de gösterilmiştir. Şekil-7’den de görüldüğü üzere önerilen devrenin çalışması ideale yakındır. Bu da kullanılan ECCII-yapısının yüksek performanslı olmasının bir sonucudur.



Şekil-7: Önerilen devreden elde edilen ve ideal durumda elde edilmesi gereken kapasite değeri

4.3 ÖNERİLEN DEVRENİN ÖNYARARLARI

Önerilen devrenin en önemli önyararı (avantajı), tek eleman kullanılması sayesinde, maliyetinin düşük olmasıdır.

Önerilen devrenin diğer bir önyararı da düşük güç tüketimidir. Örneğin, [4]'de önerilen K-çarpma devresinin güç tüketimi 26mW iken, yeni önerilen devrenin güç tüketimi sadece 8.72mW'tır. Bu da önerilen devrenin tek aktif eleman kullanmasının bir sonucudur.

5. SONUÇ VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, aktif eleman olarak ECCII kullanan bir kapasite çarpma (K-çarpma) devresi önerilmiştir. Önerilen devreden elde edilen kapasite değeri ECCII'nin kontrol akımıyla ayarlanabilmektedir. Devre, 2.4kHz ve 200MHz frekans bandı arasında çalışabilmektedir. Bu devre, literatürde bulunan en yüksek çalışma frekans aralığına sahip olan devredir. Ayrıca, devre tek aktif eleman kullanmanın bir sonucu olarak düşük maliyet ve düşük güç tüketimi gibi avantajlara sahiptir. Gelecek çalışmalar arasında diğer yüksek performanslı K-çarpma devrelerinin DXCCII [12] gibi aktif elemanlarla tasarlanması yer almaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Khan I.A. and M.T. Ahmad, OTA-based integrable voltage/current controlled ideal C-multiplier, ELECTRONICS LETTERS, Vol:22, pp. 365-366, 1986.
- [2] Khan I. A. and Ahmad M.T, Realization of tunable floating resistors, ELECTRONICS LETTERS, Vol:22, pp.799-800, 1986.
- [3] Ahmad M.T., Khan I.A. and Minhaj N., Novel electronically tunable C-multipliers, ELECTRONICS LETTERS, Vol:31, pp. 9-11, 1995.
- [4] Seguin F., Alicalapa F. and Fabre A., Conveyor-based high frequency current controlled C-multiplier, 8TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON OPTIMISATION OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC EQUIPMENT, OPTIM'2002, pp. 643-645, Romania, 2002.
- [5] Abuelma'atti M.T. and Tasadduq N.A., Electronically tunable capacitance multiplier and frequency-dependent negative-resistance simulator using the current-controlled current conveyor, MICROELECTRONICS JOURNAL, Vol: 30, 869–873, 1999.
- [6] Yamaçlı, S., Özcan, S., Single Active element Wide Band Electronically Tunable Capacitor Multiplier, PROC. OF THE 9TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF OPTIMIZATION OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC EQUIPMENTS, pp.57-63, Romaina, 2004.
- [7] Surakamponorn W. and Thitimajshima P., Integrable electronically tunable current conveyors, IEE PROCEEDINGS, Vol:135, Pt. G., No:2, 1988.
- [8] Cicekoglu O., Toker A. and Kuntman H., Universal immittance function simulators using current conveyors, COMPUTERS AND ELECTRICAL ENGINEERING, Vol:27, pp. 227-238, 2001.
- [9] Fabre A. and Mimeche N., Class A/AB second generation current conveyor with controlled current gain, ELECTRONICS LETTERS, Vol:30, No:16, pp. 1267-1268, 1994.
- [10] Surakamponorn W. and Kumwachra A., CMOS based electronically tunable current conveyors, ELECTRONICS LETTERS, Vol:28, No:14, 1992.
- [11] Biffi J.M., Contribution à la modélisation, conception et caractérisation de chaînes vidéo ASIC en technologie BiCMOS, PhD. Thesis, CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES (CNES), 1995, France.
- [12] Zeki A. and Toker A., The dual-X current conveyor (DXCCII): a new active device for tunable continuous-time filters, INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRONICS, Vol:89, No:12, pp.913-923, 2002.