

Kayıplı İntegratör Kullanılarak Yeni Bir Akım-Modlu CMOS Çentik Süzgeç Tasarımı

The Design of a Novel Current-Mode CMOS Notch Filter Using Lossy Integrator

Ali KIRÇAY

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi
Harran Üniversitesi
kircay@harran.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, çentik süzgeç tasarımı için yeni ve basit bir metod kullanılmıştır. Bu metodun en önemli avantajı, evirmeyen tip kayıplı integratör kullanılarak basit bir şekilde değişik tip çentik süzgeç tasarlama imkanı vermesidir. Bu çalışmada MOSFET karesel tabanlı kayıplı integratör kullanılarak CMOS ikinci derece, çentik bir akım-modlu süzgeç tasarlanmıştır. Devreyi gerçekleştirmek için sadece kapasite ve MOSFET kullanımı yeterli olmuştur. Üç transistör dışında diğer tüm transistor (W/L) değerleri aynıdır. Merkez frekansı, kalite faktörü ve kazanç değerleri ayarlanabilmektedir. Akım değerinin değiştirilmesi ile süzgeç frekansı 1KHz'den 150MHz'e kadar değişebilmektedir. Süzgeç 2.5V gerilim kaynağı ile çalıştırılmıştır. Tasarlanan süzgeç TSMC 0.35 µm CMOS kullanılarak PSPICE benzetimi yapılmıştır.

Abstract

In this study, a new current-mode notch filter is designed using a new simple method. One of the most important advantages of the method which can be designed easily different type notch filters using only non-inverting lossy integrator structures. In this study, MOSFETs square-law based lossy integrator structure used for designed CMOS notch filter. The filter's circuit has a very simple structure, since it uses only MOSFETs and two grounded capacitors. All transistor aspect ratios (W/Ls) are the same value except three transistors. The center frequency, the quality factor, and gain of the filter can be tuned. The proposed filter is tunable in the frequency range from 1KHz to 150MHz. The filter operates with a single supply voltage of 2.5V. The proposed circuit has been simulated with PSPICE simulation programs using TSMC 0.35 µm CMOS process parameters.

1. Giriş

Akım-modlu devreleri, gerilim modlu devrelere göre daha yüksek frekans cevabına sahip olmaları, daha iyi lineerlik göstermeleri, daha düşük besleme gerilimlerinde

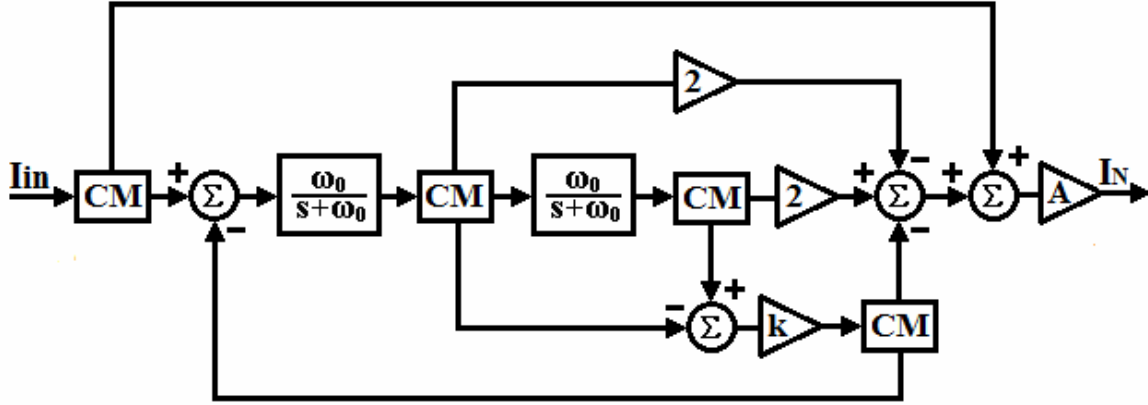
çalışabilmeleri ve daha az güç tüketmelerinden dolayı, son yıllarda büyük ilgi odağı olmuştur. Matematiksel işlemler (toplama, çıkarma, çarpma vb.) akım-modlu olarak daha kolay yapılabilmektedir [1-3]. Böylece silikon alanı küçülmekte ve tasarım kolaylaşmaktadır [1]. Akım modlu devrelerin düğüm empedansları düşük ve gerilim salınımları küçüktür. Büyük gerilim salınımları için problem olan parazitik kapasitelerin dolma boşalma süreleri ve bunun getirdiği zaman sabiti ve dolayısıyla yükselme eğimi problemi en azdır. CMOS teknolojisiyle tümleştirmeye de elverişli olmaları, akım-modlu devrelerin, elektronik sistem tasarımlarında gittikçe yaygınlaşarak kullanılmalarına yol açmıştır [1-10].

Analog işaret işleme uygulamalarının en önemli blok yapılarından biri olan çentik süzgeç yapısıdır. Bu süzgeç yapısı literatürde farklı devre yapılarıyla sunulmuştur [4-9]. Yapılan bu çalışmada da, blok diyagramı ve evirmeyen kayıplı integratör yardımı ile ikinci derece CMOS çentik süzgeç yapısı gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan süzgecin bir çok üstünlüğü bulunmaktadır. Devre yapısı oldukça basit ve devreyi gerçekleştirmek için sadece kapasite ve MOSFET kullanımı yeterli olmuştur. Süzgecin tüm parametreleri ayarlanabilmektedir. Düşük gerilim, düşük güç tüketimi, düşük gürültü seviyesi ve yüksek bant genişliğine sahiptir.

2. Akım-Modlu CMOS Çentik Süzgeç Devresi

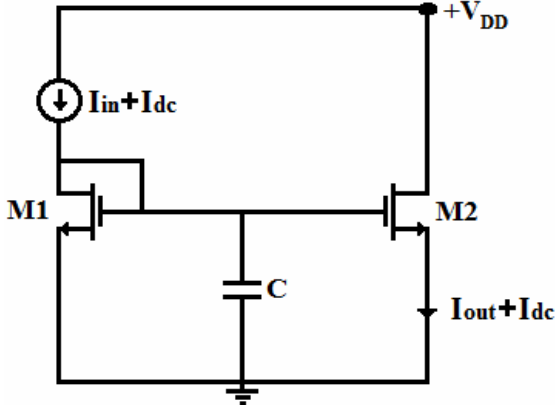
Akım-modlu çentik süzgeç devresinin blok diyagramı Şekil 1'de gösterildiği gibi oluşturuldu [11-12]. Blok diyagramı iki adet evirmeyen tip kayıplı integratör, akım aynaları ve toplama devrelerini içermektedir. Değişken bir kalite faktörü değeri elde edebilmek için süzgeç devresine geri besleme uygulanmıştır [11], [13]. k ve A değerleri ile kalite faktörü ve kazanç değerleri ayarlanabilmektedir. Blok diyagramından elde edilen çentik süzgecin transfer fonksiyonu aşağıdaki gibidir. Burada ω_0 merkez frekansı, A kazanç ve $Q = 1/(2 - k)$ süzgecin kalite faktörüdür.

$$T(s) = \frac{I_{out}(s)}{I_{in}(s)} = A \frac{s^2 + \omega_0^2}{s^2 + s(2 - k) + \omega_0^2} \quad (1)$$



Şekil 1: Parametreleri ayarlanabilen akım-modlu çentik süzgecin blok diyagramı.

Blok diyagramında bulunan iki tane evirmeyen kayıplı integratör devre yapısı için Mulder tarafından önerilen CMOS integratör kullanılmıştır [14-15]. Kayıplı integratör devre yapısı Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2: Evirmeyen tip kayıplı integratör devresi.

Temel MOSFET karesel bağıntısı aşağıdaki gibidir:

$$I_{DS} = \frac{\mu_0 C_{ox} W}{2L} (V_{GS} - V_{th})^2 \quad (2)$$

burada $\beta = \frac{\mu_0 C_{ox} W}{2L}$, I_{DS} , V_{GS} , ve V_{th} sırasıyla, elamanın geçiş iletkenliği, akçe-kaynak akımı, kapı-kaynak gerilimi ve transistörün tutma gerilimidir. Burada g_m [14-15]:

$$g_m = \frac{\partial I_{DS}}{\partial V_{GS}} = \beta (V_{GS} - V_{th}) \quad (3)$$

Şekil 2'den KCL, ve KVL bağıntıları şu şekilde olur:

$$I_{DS1} = I_{in} + I_{dc} - I_{CAP} \quad (4)$$

$$I_{DS2} = I_{out} + I_{dc} \quad (5)$$

$$V_{CAP} = V_{GS1} = V_{GS2} \quad (6)$$

Kapasitör akımı ise aşağıdaki gibi tanımlanabilir;

$$I_{CAP} = C \dot{V}_{CAP} = C \dot{V}_{GS2} \quad (7)$$

Çıkış akımı M2 transistöründen akmaktadır. Çıkış akımının türevi ise

$$\dot{I}_{DS2} = \dot{I}_{out} = \beta (V_{GS2} - V_{th}) \dot{V}_{GS2} \quad (8)$$

(2)-(7) bağıntılarından aşağıdaki bağıntı elde edilir [14]:

$$\dot{I}_{out} + \frac{\sqrt{2\beta I_{dc}}}{C} I_{out} = \frac{\sqrt{2\beta I_{dc}}}{C} I_{in} \quad (9)$$

Laplace dönüşüm (9). bağıntıya uygulanırsa, kayıplı integratörün transfer fonksiyonu elde edilmiş olur.

$$\frac{I_{out}(s)}{I_{in}(s)} = \frac{\omega_0}{s + \omega_0} \quad (10)$$

İnatörün kesim frekansı, $\omega_0 = \frac{\sqrt{2\beta I_{dc}}}{C}$ dir.

Şekil 1'deki blok diyagramı ve Şekil 2'deki integratör kullanılarak çentik süzgeç devresi Şekil 3'deki gibi tasarlanabilir.

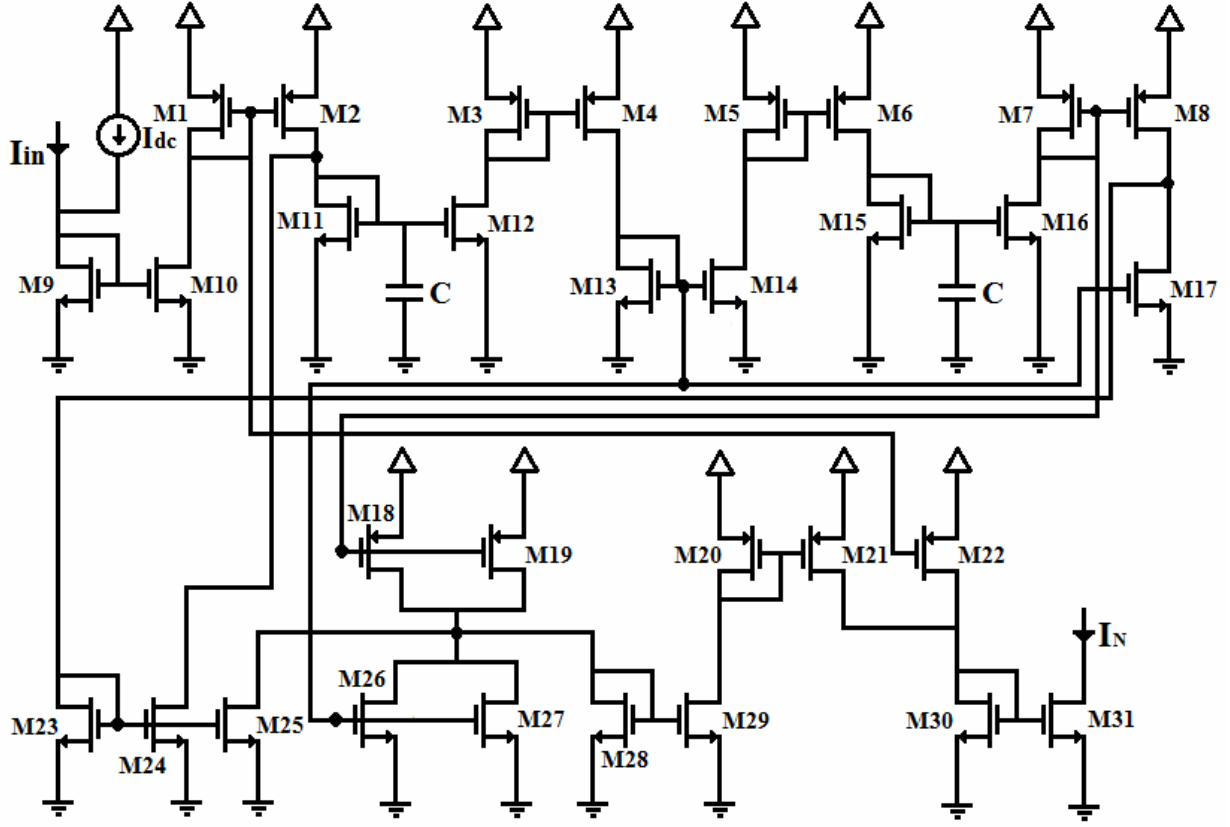
Süzgecin merkez frekansı: $\omega_0 = \frac{\sqrt{2\beta I_{dc}}}{C}$

Süzgecin kazancı: A

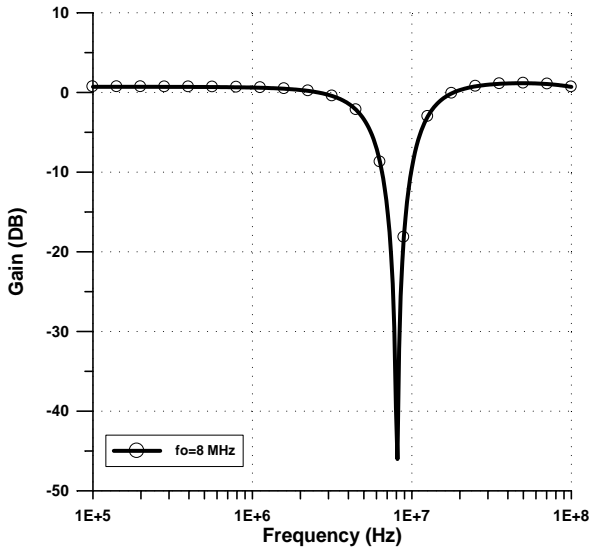
Süzgecin kalite faktörü: $Q = \frac{1}{2-k}$ 'dir.

3. Benzetim Sonuçları

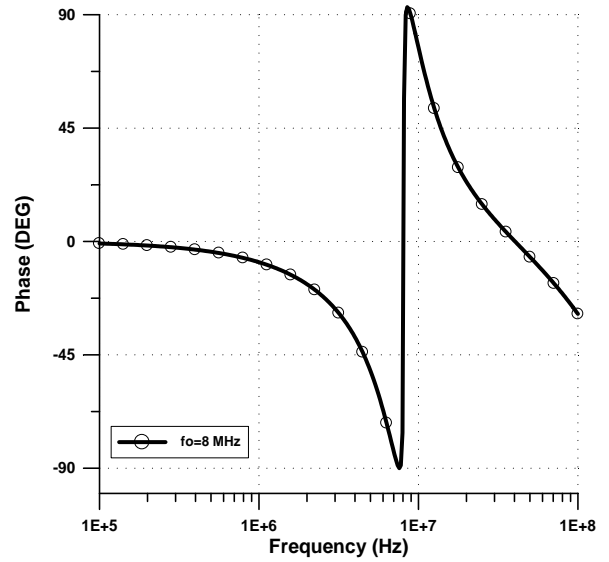
Tasarımı yapılan CMOS çentik devresinde TSMC 0.35 μm Level 3 CMOS transistörleri kullanılarak PSPICE ile benzetim yapılmıştır. $(W/L)_n=(W/L)_p=6\mu/1\mu$ M28, M29 ve M31 transistörleri dışındaki, tüm transistörlerin değerleri $(W/L)_n=(W/L)_p=6\mu/1\mu$ olarak seçilmiştir. Devre parametreleri is şu şekilde seçilmiştir; $V_{DD}=2.5V$, $I_{dc}=50\mu A$, $C=5pF$. Süzgecin merkez frekansı, $f_0 \approx 8MHz$, kalite faktörü $Q=1$ ve kazancı $A=1$ 'dir. Şekil 4'te, süzgecin kazanç cevabı, Şekil 5'te ise faz cevabı görülmektedir.



Şekil 3: Parametreleri ayarlanabilen akım-modlu çentik süzgeç.

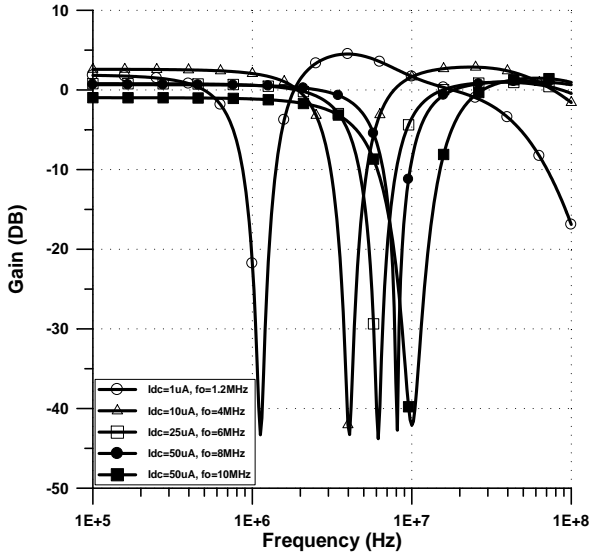


Şekil 4: Tasarlanan çentik süzgecin kazancı.



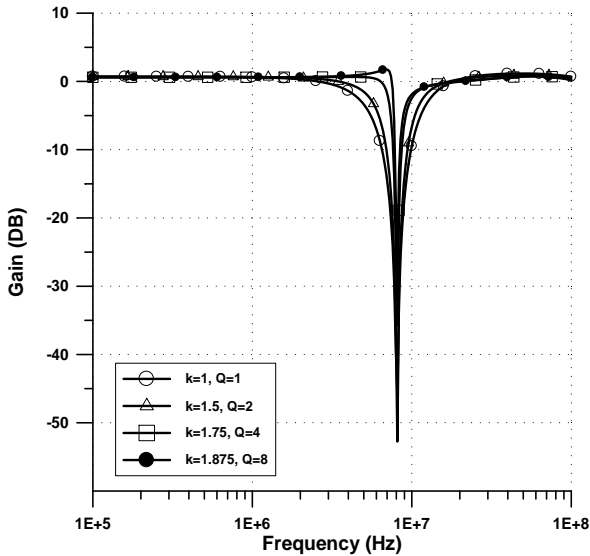
Şekil 5: Tasarlanan çentik süzgecin faz cevabı

I_{dc} akım kaynağının değeri değiştirilerek, süzgecin merkez frekansı ω_0 ayarlanabilmektedir. Şekil 6'da, merkez frekansının, geniş bir aralıkta rahatlıkla elektronik olarak ayarlandığını görmek mümkündür.



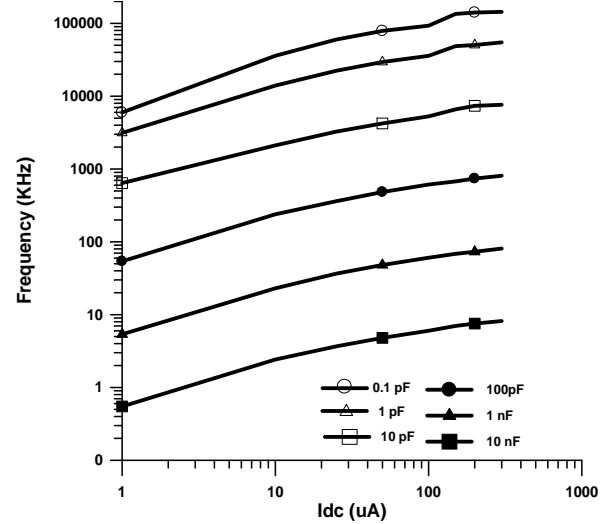
Şekil 6: Tasarlanan çentik süzgecin frekansının elektronik olarak ayarlanması.

Şekil 7’de süzgecin kalite faktörü Q değerinin 1’den 8’e kadar değişimi blok diyagramında bulunan k katsayısının değeri değiştirilerek sağlanmıştır. Bu amaç için devrede bulunan M28 transistörünün W değeri değiştirilmiştir.



Şekil 7: Çentik süzgecin kalite faktörünün ayarlanması.

Şekil 8’de ise süzgeç merkez frekansının I_{dc} akım kaynağına ve kullanılan kapasite değerlerine göre değişimi verilmiştir. Tasarlanan süzgecin geniş bir frekans aralığına sahip olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 8: Çentik süzgecin akım-kapasite-frekans değerleri.

Girişe uygulanan $8MHz$ ’lik $25uA$ değerinde sinüzoidal işaret uygulanmış ve süzgecin THD (%) < 1 olduğu görülmüştür. Devrede harcanan toplam güç ise $1mW$ civarındadır.

4. Sonuçlar

Yapılan bu çalışmada, iki kayıplı CMOS integratör, akım aynaları ve toplama devreleri kullanılarak yeni ve basit yapılı bir çentik süzgeç yapısı gerçekleştirilmiştir. $2.5V$ gibi düşük bir besleme gerilimiyle teorik analiz sonuçları PSPICE benzetimi ile doğrulanmıştır. Bu süzgecin en önemli özelliği ise akım-modlu CMOS bir devre olması, süzgecin merkez frekansı, kazancı ve kalite faktörü değerlerinin değiştirilebilmesi bu devrenin önemli avantajlarıdır. Önerilen devrenin diğer avantajları ise süzgeç fonksiyonunu gerçekleştirmek için sadece kapasite ve transistör kullanımının yeterli olması, düşük güç tüketimi, düşük gürültü, bant-genişliğinin geniş bir aralıkta bulunması, yüksek frekans uygulamalarında kullanılabilmesi ve tümdevre teknolojisine uygunluk gibi özelliklerinden dolayı analog işaret işleme uygulamalarına alternatif çözümler sağlamaktadır.

5. Kaynaklar

- [1] Sedra, A. and Roberts, G. W., All current-mode frequency selective circuits, *Electronics Letters*, 25, 759-761, 1989.
- [2] Chang, M.C. and Toumazou, C., “3V MOS current conveyor for VLSI technology” *Electronics Letters*, 29, 317-318, 1993.
- [3] Çam, U. and Kuntman, H., “A new CCII based sinusoidal oscillator providing fully independent control of oscillation condition and frequency” *Microelectronics Journal*, 11, 913-919, 1998
- [4] Kircay, A. and Cam, U. "Differential Type Class-AB Second-Order Log-Domain Notch Filter", *IEEE*

- Transactions on Circuits and Systems-I: Regular Papers*, Vol:55, Iss.5, pp.1203-1212, June , 2008
- [5] Dutta, D., Serdijn, W. A., and Banerji, S “Design of a log-domain differentiator and integrator based universal analog biquadratic filter” *The 47th IEEE International Midwest Symposium on Circuits and Systems* , pp.129-132, 2004.
- [6] Frey, D. R., and Steigerwald, L., “An adaptive analog notch filter using log filtering”, *ISCAS '96, Proceedings of 1996 IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, Vol.1, pp.297-300, May 1996
- [7] Kircay, A., and Cam, U., “ A New Log-Domain Realization of Two-Integrator-Loop Biquad”, *Frequenz*, 3-4, 50-52, Apr., 2006.
- [8] Agrawal, S., Kumar, A., and Carter, H. W., “Realization of an analog biquadratic filter using log-domain techniques”, *Proc. MWSCAS*, vol.1, pp. 255-258, 2001.
- [9] El-Masry, E. I., and Wu, J., “CMOS micropower universal log-domain biquad” *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications*, Vol.46 , Iss.3 , pp.389 – 392, March 1999
- [10] Mulder, J., “Static and dynamic translinear circuits” *Delft University Press*, Netherlands, 1998.
- [11] Keserlioğlu M.S., Kırçay A., ‘Kare-Kök Ortamlı Akım-Modlu Elektronik Olarak Ayarlanabilir Evrensel Süzgeç’’, ELECO'2010, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ve Fuarı, Aralık, 2010, Bursa, Türkiye
- [12] Kircay, A. and Cam, U., "A Novel Log-Domain First-Order Multifunction Filter", *ETRI Journal*, vol.28, no.3, pp.405-408, Jun. , 2006
- [13] Fabre, A., Armani H. ve Saaid, O., “Current-Mode Band-Pass Filters with Q-Magnification”, *IEEE Transactions on Circuits and Systems-II: Analog and Digital Signal Processing*, 43: 839-842, no. 12, 1996.
- [14] Mulder, J., “Current-mode companding Vx-domain integrator.” *Electronics Letters.*, vol. 32, pp. 198–199, 1996.
- [15] Mulder, J., Serdijn, W. A., Woerd, A. C., and Roermund, A.H.M., “Dynamic Translinear Circuits-An Overview” *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, Vol.22, Issue 2, pp.111-126, 2000.