

Yüksek Başarılı Akım Kontrollü Akım Taşıyıcı Tasarımı

Hamdi Ercan¹

Sezai Alper Tekin²

Mustafa Alçı³

¹Uçak Elektrik – Elektronik Bölümü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri

²Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri

¹e-posta: hamdiercan@erciyes.edu.tr

²e-posta: satekin@erciyes.edu.tr

³e-posta: malci@erciyes.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, yüksek başarılı bir akım kontrollü akım taşıyıcı devre yapısı tasarlanmış ve önerilmiştir. Translineer prensibi kullanılarak oluşturulmuş olan devre yapısı, kutuplama akımı ile elektronik olarak ayarlanabilen girişten görülen geniş bir parazitik direnç aralığına sahiptir. Önerilen devre geleneksel yapılarla kıyaslandığında daha basit devre yapısına ve geniş bir dinamik sahaya sahiptir. Devrenin teorik analizleri yapılmış ve devrenin performansı PSpice programı kullanılarak yapılan benzetim sonuçlarıyla doğrulanmıştır. Önerilen devre yapısının yüksek performansa sahip olduğu benzetim sonuçları doğrultusunda ortaya koyulmuştur.

1. Giriş

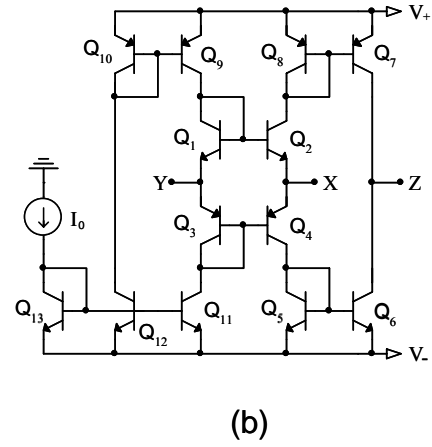
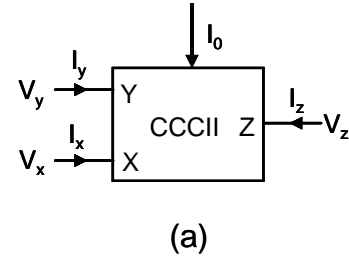
Süzgeç, osilatör ve akım taşıyıcı gibi analog devre bloklarının gerçekleştirilmesinde akım modlu devreler, geleneksel gerilim modlu devrelerin yerini almaya başlamıştır [1-3].

Akım modlu devrelerin temel yapılarından olan akım taşıyıcılar analog devre uygulamalarında sıklıkla kullanılan yapı blokları haline gelmişlerdir. Bu bloklardan biri olan ikinci kuşak akım taşıyıcının bir çeşidi olan, elektronik olarak kontrol edilebilen parazitik direnç barındıran ve bu sayede pasif elemanların azaltılmasını sağlayan kontrollü akım taşıyıcı yapısı birçok uygulamada kullanılmaktadır [4,5]. Burada ikinci kuşak akım taşıyıcının bir çeşidi olan performans kriterleri iyileştirilmiş yeni bir elektronik olarak ayarlanabilen kontrollü akım taşıyıcı (controlled current conveyor-CCCII) elemanı önerilmiştir. CCCII elemanı filtrelerde, osilatörlerde, çarpıcılarda ve bu uygulamalar gibi birçok akım modlu devre uygulamalarında kullanılmaktadır [6-7]. Kutuplama akımıyla kolaylıkla kontrol edilebilen girişteki parazitik direnç CCCII elemanı için önemli bir avantajdır [8].

Bu çalışmada, literatürde mevcut olan yapılara göre daha basit devre yapısına sahip yeni bir CCCII elemanı önerilmiştir. Daha az eleman kullanılarak tasarlanan yapıda toplam güç tüketimi azaltılmış ve çalışma frekans aralığı artırılmıştır. Ayrıca devrenin direnç aralığı ve dinamik sahası artırılmıştır. Devrelerin teorik analizleri yapılarak, PSpice programı yardımıyla benzetim işlemi gerçekleştirilmiştir. Benzetim işleminin teorik sonuçları doğruladığı görülmüştür.

2. Akım Kontrollü Akım Taşıyıcı

Kontrollü akım taşıyıcının blok şeması ve devre yapısı Şekil 1'de verilmiştir [8,9].



Şekil 1: Akım kontrollü akım taşıyıcı devre yapısı.

Şekil 1'de görülen akım taşıyıcının tanım bağıntıları Denklem (1.a)'da, I_x akımının I_0 kutuplama akımı ve V_T ısıt gerilimiyle olan ilişkisi ise Denklem (1.b)'de verilmiştir [9].

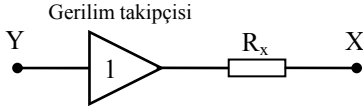
$$\begin{pmatrix} I_y \\ V_x \\ I_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & R_x & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_y \\ I_x \\ V_z \end{pmatrix} \quad (1.a)$$

$$I_x = 2I_0 \cdot \sinh(V_x/V_T) \quad (1.b)$$

Denklem (1)'de görülen R_x değeri CCCII elemanının X ucunun parazitik giriş direncidir. Denklem (1.b) ifadesinde $V_x \ll V_T$ olduğunda parazitik direnç aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$R_x = \frac{V_x}{I_x} = \frac{V_T}{2I_0} \quad (2)$$

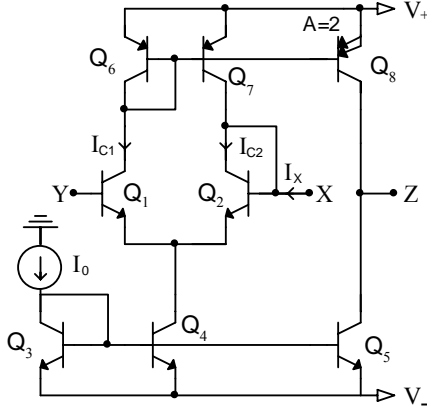
Burada, V_T ısı gerilimidir. Bu ifade, R_x parazitik direncinin sıcaklığa bağımlı olduğunu göstermektedir. Bu parazitik direnç Denklem (2)'de görüldüğü gibi kutuplama akımı olan I_0 ile ayarlanabilmektedir. Akım taşıyıcının X ve Y giriş uçları arasındaki ilişki Şekil 2'deki eşdeğer devreyle modellenilebilir [9].



Şekil 2: CCCII'nin X ve Y uçları arasındaki eşdeğer devre modeli.

3. Yüksek Başarımli CCCII Devre Yapısı

Önerilen yüksek başarımli akım kontrollü akım taşıyıcı devre yapısı Şekil 3'de görülmektedir.



Şekil 3: Yüksek başarımli akım kontrollü akım taşıyıcı devre yapısı.

Şekil 3'de görülen X ve Y uçlarına ait gerilim ifadeleri V_x ve V_y olarak tanımlanabilir. Şekilde görülen devre yapısında Q_1 ve Q_2 transistörlerinin akım ifadeleri translineer prensibine göre tanımlandığında aşağıdaki ifadeler elde edilmektedir.

$$V_x - V_y = V_{BE2} - V_{BE1} = V_T \left(\ln \frac{I_{C2}}{I_S} - \ln \frac{I_{C1}}{I_S} \right) \quad (3.a)$$

$$\frac{I_{C2}}{I_{C1}} = e^{\frac{V_x - V_y}{V_T}} \quad (3.b)$$

Denklem (3)'de görülen V_{BE} voltaj ifadeleri transistörlerin eklem voltajlarını, I_C akımları kolektör akımlarını ve I_S ters doyum akımını göstermektedir. Ayrıca V_T transistöre ait ısı gerilimi ifade etmektedir.

Devre yapısından hareketle, akım ifadeleri Denklem (4)'de görüldüğü gibi tanımlanabilir.

$$I_0 = I_{C1} + I_{C2} \quad (4.a)$$

$$\frac{I_0}{I_{C1}} = 1 + \frac{I_{C2}}{I_{C1}} \quad (4.b)$$

Denklem (3.b)'deki ifade Denklem (4.b)'deki eşitlikte yerine yazılırsa, Q_1 transistörüne ait kolektör akımı Denklem (5.a)'daki gibi tanımlanabilir. Aynı işlemler yapılarak Q_2 transistörüne ait kolektör akımı Denklem (5.b)'deki gibi ifade edilebilir.

$$I_{C1} = \frac{I_0}{1 + e^{\frac{V_x - V_y}{V_T}}} \quad (5.a)$$

$$I_{C2} = \frac{I_0}{1 + e^{-\frac{V_x - V_y}{V_T}}} \quad (5.b)$$

Devrede görülen akım taşıyıcının X ucuna ait akım ifadesi Denklem (6)'daki gibi tanımlanabilir.

$$I_x = I_{C2} - I_{C1} = I_0 \tanh \left(\frac{V_x - V_y}{2V_T} \right) \quad (6)$$

Denklem (6)'daki hiperbolik fonksiyon $V_x - V_y \ll 2V_T$ ise,

$$I_x = I_0 \frac{V_x - V_y}{2V_T} \quad (7)$$

olarak tanımlanabilir. Önerilen akım taşıyıcının Y ucunun topraklandığı düşünülürse, akım taşıyıcının X ucundaki parazitik direnç ifadesi Denklem (8)'de görüldüğü gibi elde edilebilir.

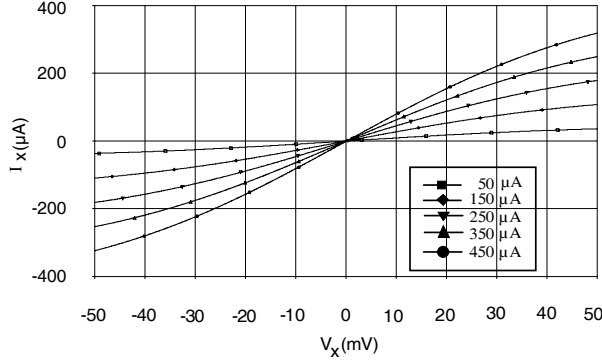
$$R_x = \frac{V_x}{I_x} = \frac{2V_T}{I_0} \quad (8)$$

Denklem (8)'de görüldüğü gibi, parazitik direnç kutuplama akımı ile elektronik olarak kontrol edilebilmektedir.

Akım taşıyıcının genel karakteristiği olarak, akım taşıyıcıdaki Z ucundaki I_z akımının, X ucundaki I_x akımına eşit olması gerekmektedir. Bundan dolayı Q_3 transistörü için emiter alanı $A = 2$ olarak alınmıştır.

4. Benzetim Sonuçları

Şekil 3'de görülen önerilen akım kontrollü akım taşıyıcının analizi PSpice benzetim programı kullanılarak yapılmıştır. Devrenin farklı kutuplama akımı değerlerindeki X ucunun akım gerilim karakteristiği Şekil 4'de gösterilmiştir.

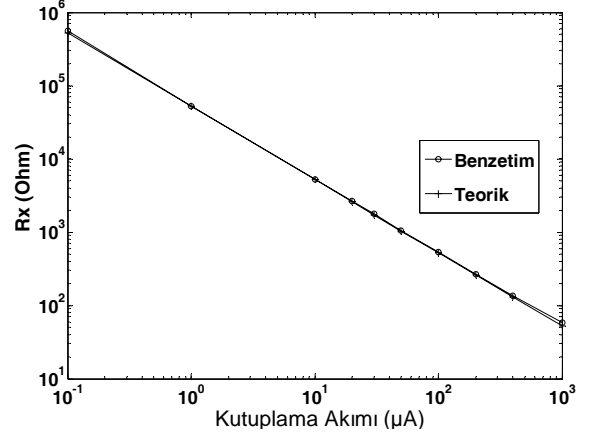


Şekil 4: Önerilen CCCII elemanın farklı kutuplama akımı değerleri için X ucundaki akım gerilim karakteristiği.

Denklem (1)'den I_z akımının I_x akımına eşit olduğu bilinmektedir. Böylece kutuplama akımının değişimi ile I_z akımının etkilendiği Şekil 4'den anlaşılabilir. Burada fonksiyonun kısmi doğrusal olmama durumu Denklem (6)'daki hiperbolik fonksiyonun özelliğinden kaynaklanmaktadır.

Devrelerin benzetimlerinde NR100N ve PR100N transistor tipi kullanılmıştır [10]. Devredeki I_0 kutuplama akımı Şekil 4'de görüldüğü gibi 50 μA , 150 μA , 250 μA , 350 μA ve 450 μA alınarak karakteristik incelenmiştir. Devrenin kutuplama akımı ile elektronik olarak ayarlanabildiği görülmektedir. Besleme voltajı olarak ± 2.5 V kullanılmıştır.

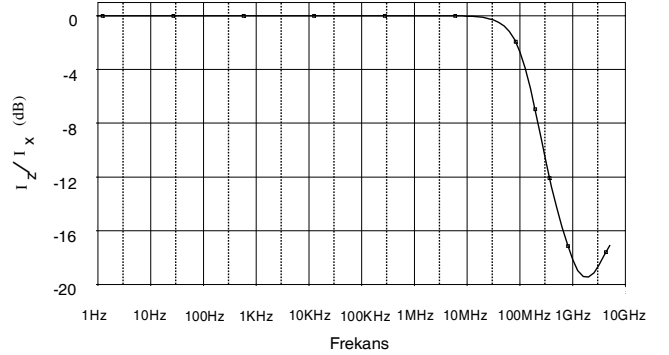
Önerilen devre yapısının X ucundaki parazitik giriş direncinin (R_x) kutuplama akımı ile değişimi Şekil 5'de görülmektedir.



Şekil 5: Önerilen CCCII elemanın parazitik giriş direncinin kutuplama akımı ile değişimi.

Şekil 5 incelendiğinde, kutuplama akımının 0.1 μA ile 1mA değişim aralığı için R_x direncinin 52 Ω ile 520K Ω aralığında değiştiği görülmektedir. Benzetim işleminin teorik sonuçları doğruladığı görülmektedir.

Şekil 6'da, önerilen akım taşıyıcının $R_x=130\Omega$ değerindeki frekans cevabı görülmektedir.

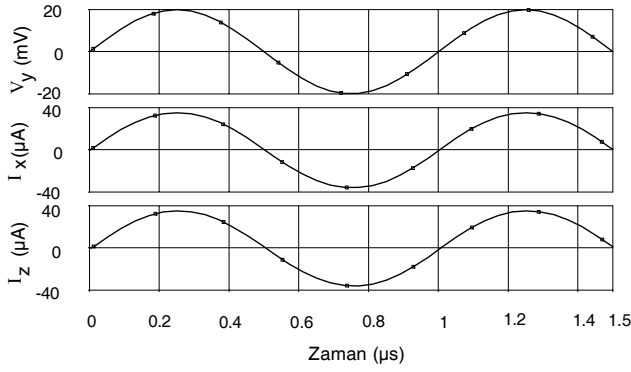


Şekil 6: Önerilen CCCII elemanın frekans cevabı.

Şekil 6'da frekans cevabı görülen önerilen devre yapısının bantgenişliği 105 MHz olarak ölçülmüştür.

Önerilen devre yapısının geçiş analizi yapılarak Y ucuna sinüzoidal işaret uygulanmıştır. Devrenin X ve Z uçlarındaki akım değişimleri Şekil 7'de görülmektedir.

Önerilen akım taşıyıcının X ucundaki I_x akımı ve Z ucundaki I_z akımının eşit olduğu Şekil 7'de görülmektedir.



Şekil 7: Önerilen CCCII elemanın geçiş analizi.

Önerilen akım kontrollü akım taşıyıcı ve daha önceki çalışmalarda kullanılan [11] akım taşıyıcının performans parametreleri kıyaslanmıştır ve Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1: Önerilen CCCII’nın performans parametrelerinin karşılaştırılması.

	CCCII	
	Geleneksel	Önerilen
Toplam güç tüketimi ($I_0 = 100 \mu A$ iken)	2.24 mW	1.24 mW
Band Genişliği $I_z / I_x = -3$ dB ($R_x = 130 \Omega$ iken)	67 MHz	105 MHz
Direnç (R_x) Aralığı	13 Ω - 130 k Ω	52 Ω - 520 k Ω
Y ucu giriş direnci ($R_x = 130 \Omega$ iken)	14 k Ω	34 k Ω
Dinamik Saha	2 V_T	4 V_T

Tablo 1’den görüldüğü gibi önerilen devre yapısında toplam güç tüketiminde azalma meydana gelmiştir. Bununla birlikte bant genişliği, devrenin direnç aralığı ve dinamik sahası artırılmıştır.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, yüksek başarılı akım kontrollü akım taşıyıcı devre yapısı tasarlanmış ve önerilmiştir. Translineer prensibi kullanılarak oluşturulmuş olan devre, geleneksel akım kontrollü akım taşıyıcı devre yapılarına nazaran az sayıda eleman içermektedir. Bu nedenle devrenin toplam güç tüketimi azaltılmış ve bant genişliği artırılmıştır. Ayrıca önerilen devre yapısı 52 Ω ile 520K Ω aralığında daha geniş bir direnç aralığına sahiptir. Geleneksel devre yapılarına göre

devrenin dinamik sahası iki kat artırılmıştır. Önerilen devre yapısı PSpice benzetim programı kullanılarak analiz edilmiş ve sonuçlar geleneksel CCCII yapısı ile karşılaştırılmıştır. Önerilen devre yapısının daha iyi performans parametrelerine sahip olduğu benzetim sonuçları doğrultusunda ortaya konmuştur. Benzetim sonuçlarının teorik sonuçları doğruladığı görülmüştür. Buna göre, önerilen devre yapısının elektronik devre uygulamalarında elverişli bir temel yapı olarak kullanılabilceği düşünülmektedir.

6. Kaynaklar

- [1] Palmisano, G., Palumbo, G. ve Pennisi, S., *CMOS Current Amplifiers*, Kluwer Academic Publishers, Boston (MA), p.1-9, 1999.
- [2] Schmid, H., "Approximating the Universal Active Element", *IEEE Transaction on Circuit Systems-II: Analog and Digital Signal Processing*, Vol: 47 (11), p.1160-1169, 2000.
- [3] Tokmakçı, M., Alçı, M., Uzunhisarcıklı, E., "CCII-Based Defuzzification Circuit for Fuzzy Logic Controllers", *Int. Fuzzy Systems Association World Congress- IFSA'2003*, 29 June- 2 July 2003.
- [4] Tekin, S.A., Ercan, H., Alçı, M., "Elektronik Olarak Ayarlanabilir Yüksek Bantgenişliğine Sahip Enstrümantasyon Kuvvetlendiricisi " *14. Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Toplantısı BİYOMUT'09, İzmir*, 20-24 Mayıs 2009.
- [5] Cam, U., A "New Transadmittance Type First-Order Allpass Filter Employing Single Third Generation Current Conveyor" *Analog integrated circuits and signal processing*, **43** : 97-99, 2005.
- [6] Toker, A., Ozoguz, S. ve Cicekoglu, O., "A new current-mode multifunctionfilter with minimum components using dual outputcurrent conveyors" *IEICE Transaction on Fund. of Electronics, Communications and Computer Sciences*, E83-A, 11 pp.2382-2384, 2000.
- [7] Çiçekoğlu, O., Kuntman, H. ve Berk, S., "Allpass filters using a single current conveyor", *International journal of Electronics*, Vol: 86 (8), pp. 947-955, 1999.
- [8] Fabre, A., Saaid, O., Wiest, F. ve Boucheron, C., "Current controlled bandpass filter based on translinear conveyor", *Electronics Letters*, Vol. 31, No. 20, P. 1727-1728, September 1995.
- [9] Fabre, A., Alami, M., "Universal current mode biquad implemented from two second generation current conveyors", *IEEE Transactions on Circuits and Systems - I: Fundamental Theory and Applications*, Vol: 42 (7), pp. 383-385, 1995.
- [10] Frey, D. R., "Log-domain filtering: An approach to currentmode filtering", *IEE Proc. Pt. G*, Vol: 140 (6), pp. 406-416, 1993.
- [11] Fabre, A., Saaid, O., Wiest, F. ve Boucheron, C., "High Frequency Applications Based On a New Current Controlled Conveyor", *IEEE Transactions on Circuits and Systems - I: Fundamental Theory and Applications*, Vol: 43 (2), pp. 82-91, 1996.