

# Yeni Bir CMOS ZC-CDTA Gerçeklemesi ve Süzgeç Uygulaması A New CMOS ZC-CDTA Realization And Its Filter Application

Ersin Alaybeyoğlu<sup>1</sup>, Hakan Kuntman<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü  
İstanbul Teknik Üniversitesi,  
Maslak, İSTANBUL  
ealaybeyoglu@itu.edu.tr, kuntman@itu.edu.tr

## Özet

ZC-CDTA (Z kopyalı akım farkı alan geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisi) kısa bir süre önce önerilen yeni bir akım modlu aktif elemandır. Bu çalışmanın ilk bölümünde ZC-CDTA'nın CMOS gerçekleştirilmesi ve benzetim sonuçları verilmiştir. ZC-CDTA'nın girişi akım farkı alan bloktan oluşmaktadır. Çıkışı ise çift çıkışlı geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisinden oluşmaktadır. Akım kopyalamak için ise klasik akım aynası yerine Fabre tarafından önerilen CCIII (üçüncü kuşak akım taşıyıcı) kullanılmıştır. İkinci kısımda ZC-CDTA'nın süzgeç uygulaması ve benzetim sonuçları verilmiştir. Kullanılan süzgeç yapısı daha önce CDTA ile gerçekleştirilmiş bir yapıdır. Bu süzgeç yapısı yeniden ZC-CDTA ile gerçekleştirilmiştir. Z kopyalama ile süzgeç yapısındaki yüksek geçiren bölümler giderilmiştir. Benzetimlerde 0.35µm CMOS teknolojisi kullanılmıştır.

## Abstract

ZC-CDTA (Z Copy Current Differencing Transconductance Amplifier) is a new current mode active element, introduced recently. In the first part of this paper, a CMOS implementation of ZC-CDTA is proposed. The first stage of ZC-CDTA consists of a current differencing unit. The output stage consists of dual output transconductance amplifier. Furthermore, a third generation current conveyor (CCIII) is used to copy the z terminal current instead of a classical current mirror. At the second part of the work, a filter application employing ZC-CDTAs is given and SPICE simulation results are added. The ZC-CDTA based filter is designed starting from a previous filter structure employing conventional CDTAs. Thanks to Z copy, the high pass filter output problem is solved. In the SPICE simulations 0.35µm process is used.

## 1. Giriş

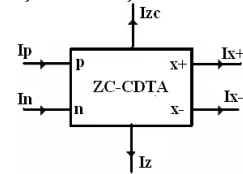
Akım modlu devreler, gerilim modlu devrelere göre daha iyi bir yüksek frekans yanıtı göstermeleri, daha iyi lineerlik sağlamaları ve yükselme eğimlerinin daha büyük olmasından dolayı son yıllardaki çalışmalarda daha fazla ilgi çekmektedir [1]. Bu alanda çok sayıda çalışma yapılmış, yeni aktif devre elemanları ve bunlar için CMOS gerçekleştirme devreleri önerilmiştir [2-10]. Z kopyalı akım farkı alan geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisi ZC-CDTA aktif elemanı yakın zamanda literatüre yansıtılmış olan akım modlu yeni bir aktif devre elemanıdır [2]. ZC-CDTA elemanı daha önce önerilmiş CDTA

aktif elemanın Z çıkışının gerçek kopyalanması ile elde edilir. Önerilen aktif elemanın literatürde CMOS gerçekleştirilmesine henüz rastlanmamaktadır. Yapılan çalışmada, bu aktif elemana CMOS iç yapı önerilmiş, SPICE benzetimleri ile ac ve dc karakteristikleri gösterilmiştir. Bildirinin ikinci bölümünde önerilen iç yapı yer almaktadır. Çalışmamızda Z akımını birebir kopyalamak için üçüncü kuşak akım taşıyıcı kullanılmıştır. CCIII (üçüncü kuşak akım taşıyıcı) bir koldan geçen akımı kopyalamak için kullanılan bir yapıdır [3]. CCIII yerine klasik akım aynası kullanılabilir. Ancak akım aynasıyla elde edilen Z kopya akımı Z'deki akım kesildiği zaman kesilmez.

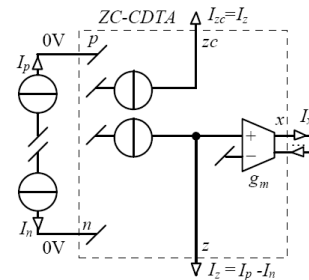
Üçüncü bölümde ise aktif elemanın başarımını ölçmek için ikinci dereceden bir süzgeç uygulaması verilmiştir. Uygulanan süzgeç devresi daha önce CDTA ile gerçekleştirilmiş bir yapının ZC-CDTA aktif bloğuna uyarlanması ile oluşturulmuştur. ZC-CDTA ile oluşturulan yeni uygulama devresinin yüksek geçiren çıkışı yüksek empedanslı olarak elde edilmiştir. Elde edilen süzgeç yapısından iki tanesi, ilk katı yüksek geçiren ikinci katı alçak geçiren süzgeç olacak şekilde, artarda bağlanarak 4. Derece bant geçiren bir süzgeç uygulaması gerçekleştirilmiştir. Süzgecin başarımı SPICE benzetimleri ile doğrulanmıştır.

## 2. ZC-CDTA CMOS Tasarımı

Z kopyalı akım farkı alan geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisi ZC-CDTA aktif elemanın şematik gösterimi ve blok diyagramı sırasıyla Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1: ZC-CDTA [2]



Şekil 2: ZC-CDTA Blok Diyagramı [2]

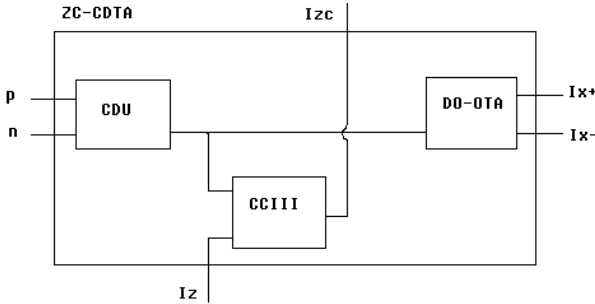
Buna göre ZC-CDTA'nın tanım bağıntıları aşağıdaki gibi olmaktadır:

$$V_p = V_n = 0 \quad (1)$$

$$I_z = I_{zc} = I_p - I_n \quad (2)$$

$$I_{x+} = g_m V_z, I_{x-} = -g_m V_z \quad (3)$$

ZC-CDTA'nın blok diyagramı Şekil 3'de verilmiştir. Şekil 3'de görüldüğü üzere giriş katı akım farkını alıp Z ucuna yansıtmaktadır. Z ucundaki akım da geçiş iletkenliği kuvvetlendirilerek çıkışa verilmektedir. Bu haliyle yapı akım işlemsel kuvvetlendiricisi olarak da düşünülebilir. Aynı zamanda Z akımı CCIII ile birebir kopyalanmaktadır.



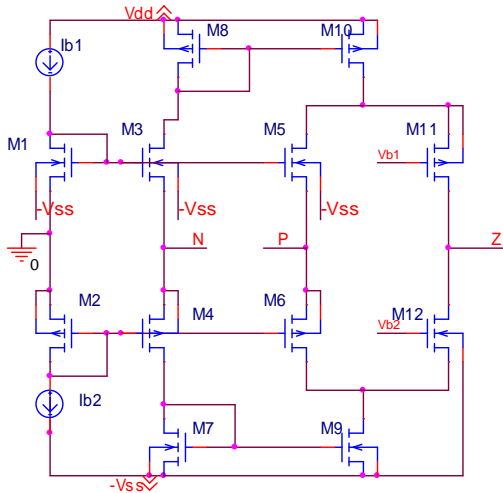
Şekil 3: ZC-CDTA için önerilen Devre Yapısı

### 2.1. Farksal Akım Kuvvetlendiricisi

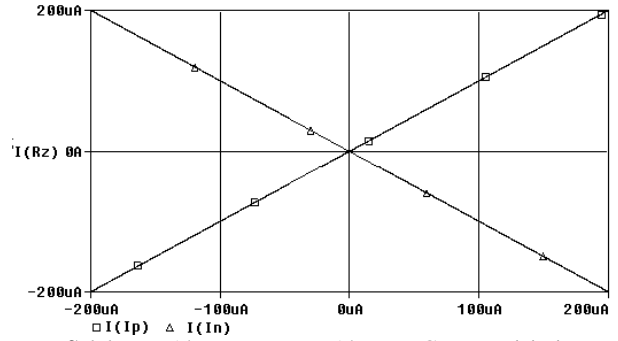
ZC-CDTA için giriş katı olarak kurulan akım farkı kuvvetlendiricisi Şekil 4'de gösterilmiştir. Bu devredeki transistor boyutları Çizelge 1'de, devrenin akım geçiş karakteristiği, giriş çıkış empedanlarının, akım kazancının frekansa bağımlılığı Şekil 5, Şekil 6, Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9'da verilmiştir. Çizelge 2'de yapının temel başarımlar parametreleri görülmektedir.

Çizelge 1: Farksal Akım Kuvvetlendiricisi Transistor Boyutları

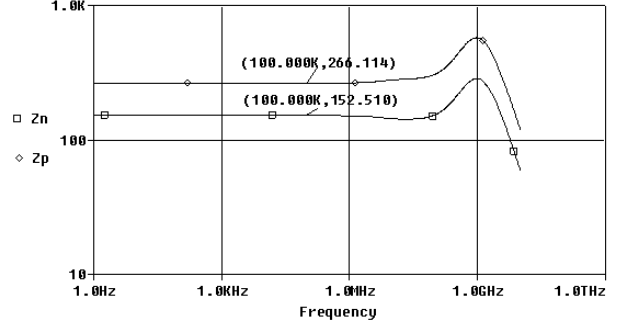
Transistorler	(W/L)
M1,M2	70/0.7
M3,M4	140/0.7
M5,M6,M7,M8,M9,M10,M11,M12	70/0.7



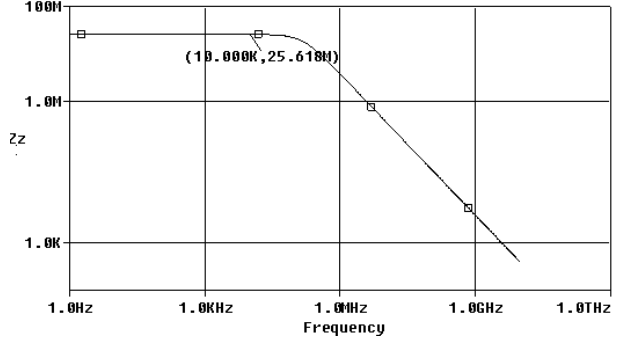
Şekil 4: Farksal Akım Kuvvetlendiricisi [3]



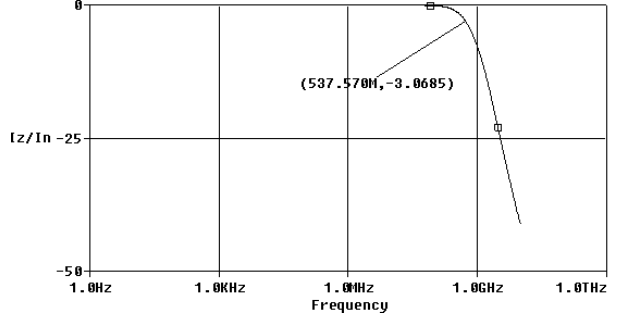
Şekil 5: Z Akımının n ve p Akımına Göre Değişimi



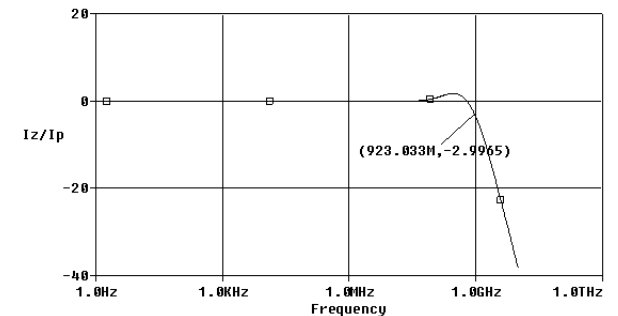
Şekil 6: P ve N Ucu Giriş Empedansı



Şekil 7: Z Ucu Çıkış Empedansı



Şekil 8: Iz/In Oranını Frekansla Değişimi



Şekil 9: Iz/Ip Oranını Frekansla Değişimi

Çizelge 2: Farksal Akım Kuvvetlendiricisi Benzetim Sonuçları

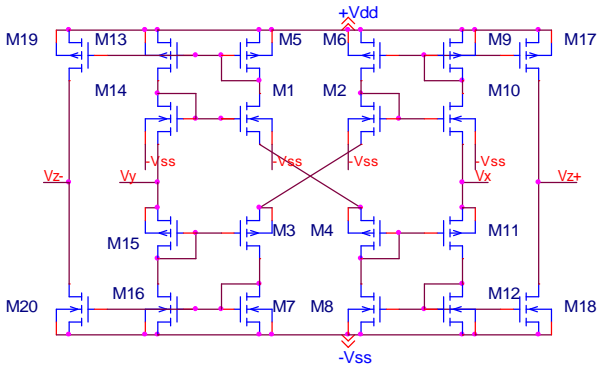
Besleme Gerilimi	$\pm 1.5V$
Iz/In (-3dB) Bant Genisligi	537.570MHz
Iz/Ip (-3dB) Bant Genisligi	923.033MHz
P Ucu Giriş Empedansı	266.114 $\Omega$
N Ucu Giriş Empedansı	152.510 $\Omega$
Z Ucu Çıkış Empedansı	25.618M $\Omega$
Z ucu akım değişim sınırı	$-200\mu A \leq I_z \leq 200\mu A$
Akım izleme hatası	% 1.5

## 2.2. Akım Kopyalama Katı

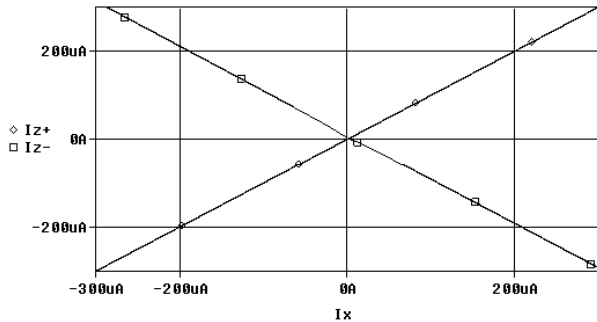
Aktif eleman yapısında, farksal akımın kopyalanarak çıkışında iki adet Ip-In akımı elde etmek için üçüncü kuşak akım taşıyıcı devresi kullanıldı. CCIII Fabre tarafından önerilmiştir. Bir koldan akan akımı sezmek için kullanılır[3]. Çalışmada en basit üçüncü kuşak akım taşıyıcı yapısı kullanılmıştır. Üçüncü kuşak akım taşıyıcı yapısı Şekil 10'da, transistor boyutları Çizelge 3'de yer almaktadır. Yapının akım ve gerilim geçiş eğrileri, uç empedanslarının frekansla değişimleri Şekil 11, Şekil 12, Şekil 13, Şekil 14, Şekil 15 ve Şekil 16'da verilmiştir. Çizelge 4'de yapının temel başarımlar parametreleri görülmektedir.

Çizelge 3: CCIII Transistor Boyutları

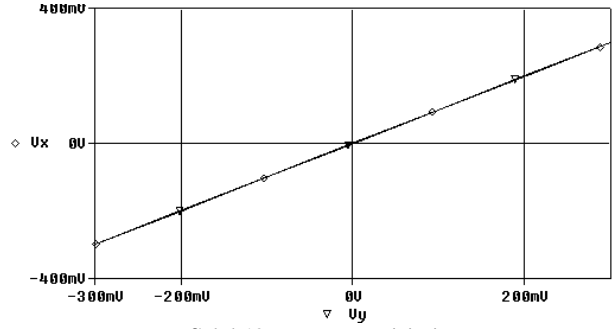
Transistorlar	(W/L)
M1,M2,M3,M4,M5,M6,M7,M8, M9,M10,M11,M12,M13, M14,M15, M16,M17,M18,M19,M20	30/0.7



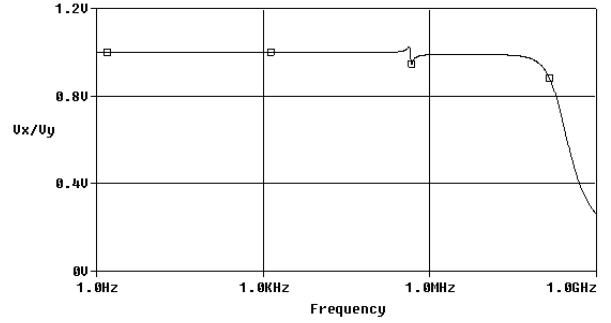
Şekil 10: Üçüncü Kuşak Akım Taşıyıcı



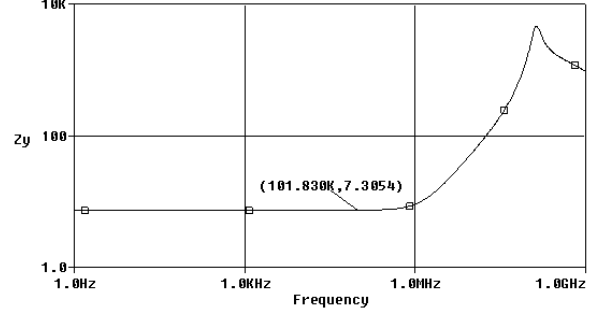
Şekil 11: Ix-Iz+,Iz- Akımı Değişimi



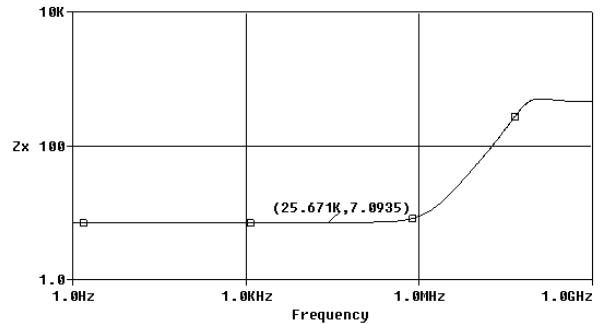
Şekil 12: Vx-Vy Değişimi



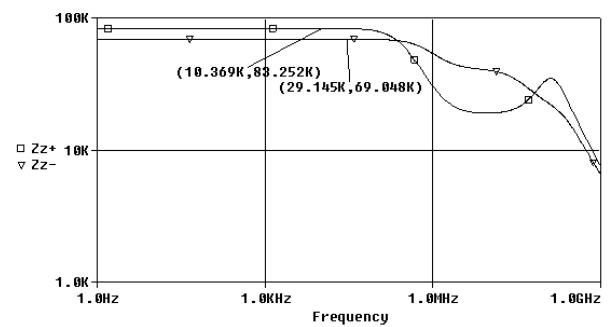
Şekil 13: Vx/Vy



Şekil 14: Y Ucu Giriş Empedansı



Şekil 15: X Ucu Giriş Empedansı



Şekil 16: Z+ ve Z- Çıkış Empedansı

Çizelge 4: CCIII Benzetim Sonuçları

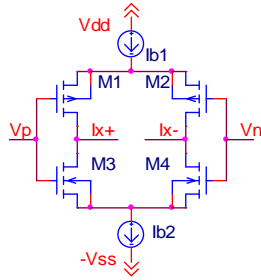
Besleme Gerilimi	$\pm 1.5V$
$V_x/V_y$ (-3dB) Bant Genişliği	179.468MHz
Y Ucu Giriş Empedansı	7.2945 $\Omega$
X Ucu Giriş Empedansı	7.1005 $\Omega$
Z- Ucu Çıkış Empedansı	69.097k $\Omega$
Z+ Ucu Çıkış Empedansı	83.296k $\Omega$
Z ucu akım değişim sınırı	$-300\mu A \leq I_z \leq 300\mu A$
Akım izleme hatası	%0.19

### 3.2 Geçiş İletkenliği Kuvvetlendiricisi Katı

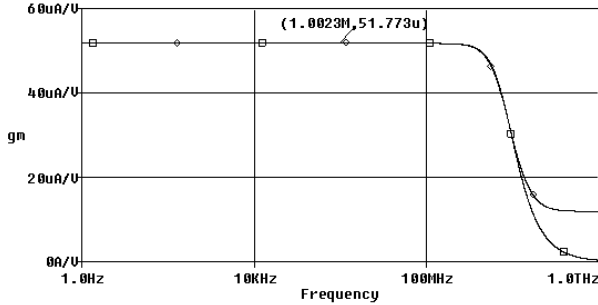
Arbel ve Goldminz [6] tarafından önerilmiş yüzen akım kaynağı(floating current source) çıkışta dual OTA olarak davranmaktadır. Arbel-Goldminz Çıkış Katı Şekil 17'de, transistor boyutları Çizelge 5'de yer almaktadır. Yapının geçiş eğrileri, eğimin ve çıkış empedansının frekansla değişimleri ve zaman bölgesi yanıtı Şekil 18, Şekil 19, Şekil 20, Şekil 21, ve Şekil 22'de verilmiştir. Çizelge 6'da yapının temel başarımlar parametreleri görülmektedir.

Çizelge 5: Arbel-Goldminz Transistor Boyutları

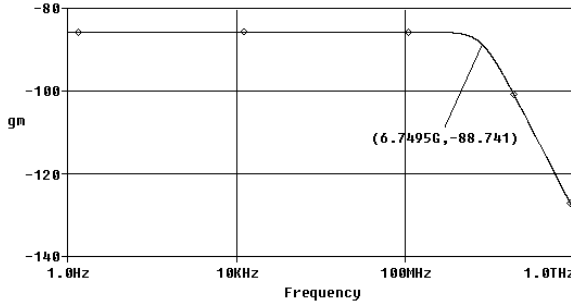
Transistorler	(W/L)
M1,M2,M3,M4	1



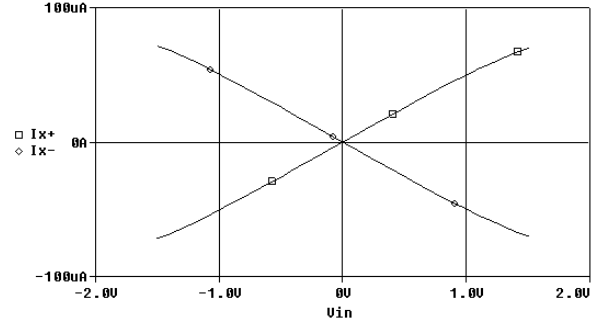
Şekil 17: Arbel-Goldminz Çıkış Katı [6]



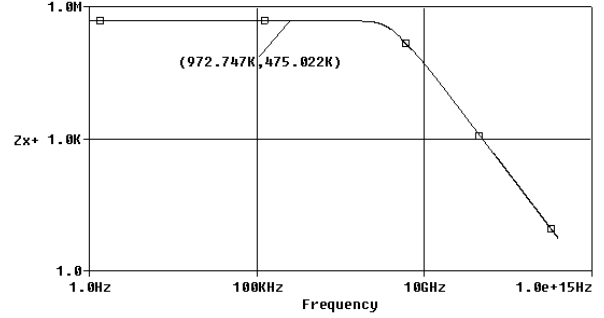
Şekil 18: Eğim



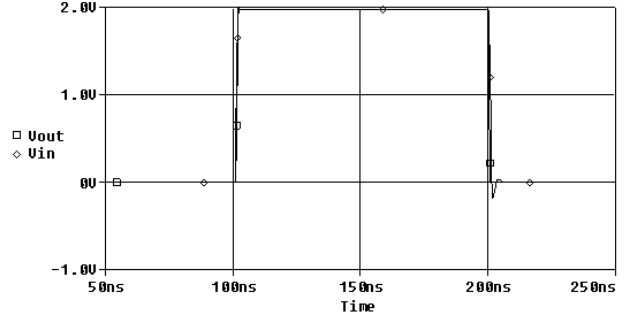
Şekil 19: Eğim Bant Genişliği



Şekil 20: Giriş İşaretinin Lineer Değişim Aralığı



Şekil 21: Çıkış Empedansları



Şekil 22: Yükselme Eğimi

Çizelge 6: Arbel-Goldminz Benzetim Sonuçları

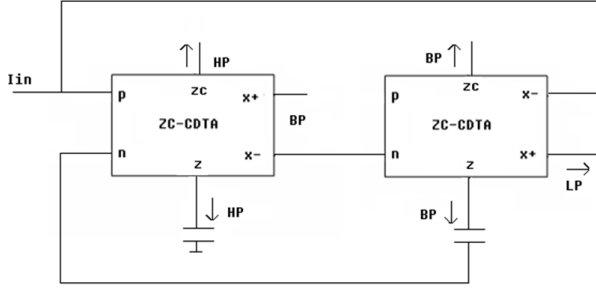
Besleme Gerilimi	$\pm 1.5V$
gm	51.773 $\mu A/V$
Giriş İşaretinin Lineer Değişim Aralığı	$\pm 1.5V$
Z- Ucu Çıkış Empedansı	475.022k $\Omega$
Z+ Ucu Çıkış Empedansı	475.022k $\Omega$
Yükselme Eğimi	50 $\mu V/s \leq YE$
Eğim Bant Genişliği	6.7495GHz

### 3.Bant Geçiren Süzgeç

CDTA ile gerçekleştirilen süzgeç uygulama devresinde[4] yüksek geçiren bölüm için çıkış problemi bulunmaktadır. Bu devre ZC-CDTA ile gerçekleştirilerek Şekil 23'de görüldüğü üzere yüksek geçiren için çıkış sorunu çözülmüştür. Hareket noktası devrede C elemanı üzerinden sezilmesi gereken HP işlevi yüksek empedanslı olarak ZC ucundan alınmaktadır. Bu da devrenin artarda bağlanarak daha büyük blokların oluşturulmasını kolaylaştırmaktadır.

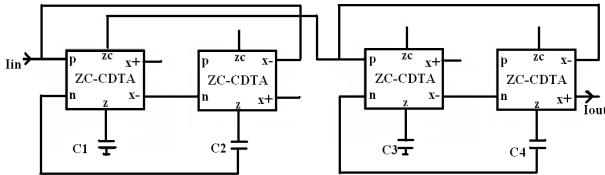
$$C_1=C_2=9.8pF$$

$$C_3=C_4=10.9pF$$

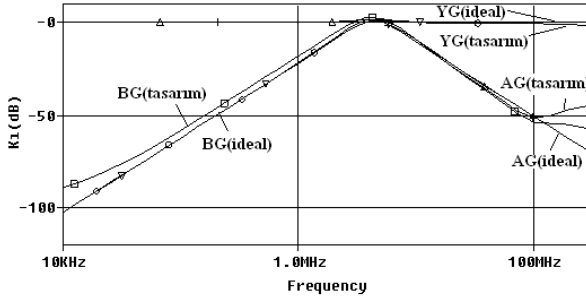


Şekil 23: ZC-CDTA Tabanlı Süzgeç

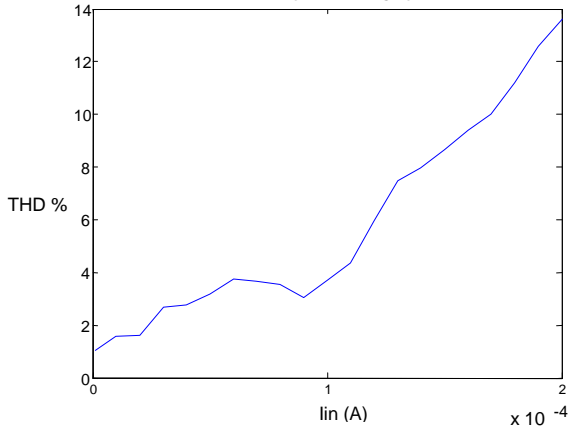
Elde edilen süzgeç yapısından iki tanesi, ilk katı yüksek geçiren ikinci katı alçak geçiren süzgeç olacak şekilde, artarda bağlanarak 4. Derece bant geçiren bir süzgeç uygulaması gerçekleştirilmiştir. Devrenin yüksek geçiren kısmı 9.5MHz' alçak geçiren kısmı da 10.5MHz'e akord edilmiştir. Bu sayede merkez frekansı 10MHz, bant genişliği B=1.0MHz olan bir süzgeç elde edilmiştir. Devre Şekil 24'de verilmiştir. Süzgecin davranışının ideal süzgeç frekans yanıtıyla kıyaslanması Şekil 25'de,  $f=10\text{MHz}$  frekanslı bir giriş işareti için çıkıştaki THD toplam harmonik bozulmasının giriş işareti seviyesi ile değişimi de Şekil 26'da gösterilmiştir. Fark edilebileceği gibi, frekans yanıtı ideal davranışla uyumludur. Yine,  $10^{-4}$  A gibi bir seviyeye kadar, bozulma uygun bir seviyede kalmaktadır.



Şekil 24: 4. Derece Bant Geçiren Süzgeç



Şekil 25: 4. Derece Bant Geçiren Süzgeç Benzetim Sonuçları



Şekil 26: Toplam Harmonik Bozulmanın giriş seviyesi ile değişimi

## 4.Sonuçlar

Çalışmada ilk olarak ZC-CDTA için gerekli bloklar saptanmıştır. Girişte akım fark bloğu çıkışta da çift çıkışlı geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisi kullanılmıştır. Z akımı akım aynaları yerine üçüncü kuşak akım taşıyıcı ile kopyalanmıştır. Çünkü akım aynası ile yapılan kopyalarda Z'in kopyası yüksek yüklerde Z'i takip edemez. Çalışmada bilhassa üçüncü kuşak akım taşıyıcının kesim frekansının 100MHz'den büyük olmasına dikkat edilmiştir. Aksi takdirde yüksek frekanslarda devre düzgün sonuç vermez. Bu yüzden en basit CCIII tercih edilmiştir. SPICE benzetimleri önerilen CMOS devre yapısının yüksek performanslı çalıştığını göstermektedir. ZC-CDTA elemanı ile yapılan süzgeç uygulaması benzetimi ise ideal sonuçlarla örtüşmektedir. Önerilen devrenin tasarımcılar için yeni bir seçenek oluşturacağı söylenebilir.

## 5.Kaynaklar

- [1] Wilson B., "Performance analysis of current conveyors", *Electronics Letters*, 25(23), pp. 1596-1598, 1989.
- [2] Birolek D., Senani R., Biolková V., Kolka Z., "Active Elements for Analog Signal Processing: Classification, Review, and New Proposals", *RADIOENGINEERING*, VOL. 17, NO. 4, , pp.15-32. DECEMBER 2008
- [3] Fabre A., "Third generation current conveyor: a new active element", *Electronics Letters*, vol.31, 1995.
- [4] Kacar, F., Kuntman, H. "A New Improved CMOS Realization of CDTA and Its Filter Application", *TJEECS: Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, Vol.19, No.4,631-642, 2011.
- [5] Minaei, S., Yıldız, M., Türköz S. and Kuntman, H., "High swing CMOS realization for third generation current conveyor (CCCII)", *Journal of Electrical & Electronics Engineering, Engineering Faculty, Istanbul University*, Vol.3, No.1, pp.819-826, 2003.
- [6] Arbel, A. Goldminz, L., 1992. Output stage for current-feedback amplifiers, theory and Applications, *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, 2, 243-255.
- [7] Uygur A., Kuntman H., "Seventh order elliptic video filter with 0.1dB pass band ripple employed CMOS CDTAs", *AEU: International Journal of Electronics and Communications*, Vol.61, 320-328, 2007.
- [8] Altun M., Kuntman H., "Design of a Fully Differential Current Mode Operational Amplifier with Improved Input-Output Impedances and Its Filter Applications", *AEU: International Journal of Electronics and Communications*, Vol.62, NO. 3, 239-244, 2008.
- [9] Uygur A., Kuntman H., "Low Voltage Current Differencing Transconductance Amplifier in a Novel Allpass Configuration", *Proceedings of MELECON'06: The 13th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference*, pp.23-26, 23-26, May 2006, Benalmádena, Málaga, Spain.
- [10] Aydoğmuş M. A., Kuntman H., "Yeni Bir CMOS ZC-CG-CDBA Gerçekleşmesi ve Süzgeç Uygulaması", *SİU'2012: IEEE 20. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı*, (Bildiri Kitabı-Bellek), 18-20 Nisan 2012, Lykia World, Ölüdeniz, Fethiye, Muğla.