

# Yüksek Başarımli CMOS Farksal Akımlı Geçiş İletkenliği Kuvvetlendiricisi Tasarımı

## Design of High Performance CMOS Current Differencing Transconductance Amplifier

Fırat Kaçar<sup>1</sup>, Hakan Kuntman<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliđi Bölümü  
Mühendislik Fakültesi, İstanbul Üniversitesi, 34320, Avcılar, İstanbul  
[fkacar@istanbul.edu.tr](mailto:fkacar@istanbul.edu.tr)

<sup>2</sup>Elektronik ve Haberleşme Mühendisliđi Bölümü  
Elektrik-Elektronik Fakültesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 34469, Maslak, İstanbul  
[kuntman@itu.edu.tr](mailto:kuntman@itu.edu.tr)

### Özet

Bu çalışmada özellikle analog işaret işleme uygulamalarında elverişli olan, son zamanlarda aktif eleman olarak bilinen yüksek başarımli farksal akımlı geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisi (CDTA) sunulmuştur. Önerilen CDTA devresinde z ve x uçlarında yüksek çıkış empedansı elde edilmiş ve giriş/çıkış akım izleme doğrulukları yönünden yüksek başarımlı göstermektedir. CDTA devresi için besleme gerilimleri  $\pm 1.5$  V olarak belirlenmiştir. PSPICE benzetiminde TSMC CMOS 0.35 $\mu$ m model parametreleri kullanılmıştır. Simulasyon sonuçları teori ile oldukça iyi uyum sağlamaktadır.

### Abstract

This paper presents a high performance current differencing transconductance amplifier (CDTA), a recently reported active element, especially suitable for analog signal processing applications. The proposed CDTA provide high output impedances at port z and x, excellent input/output current tracking. The proposed CDTA circuit operates at a supply voltages of  $\pm 1.5$  V. PSPICE simulation results using TSMC 0.35 $\mu$  CMOS process model are included to verify the expected values.

### 1. Giriş

Akım modlu devrelerin gerilim modlu devrelere oranla üstünlüğü, daha yüksek işaret band genişliği, daha iyi lineerlik, daha geniş dinamik aralık, daha basit devre yapısı, gerilimden bağımsız çalışabilme özelliği ve düşük güç harcamasından kaynaklanır [1-3].

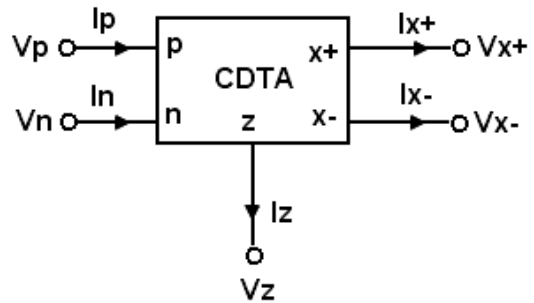
Farksal akımlı geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisi (CDTA) son zamanlarda önerilmiş olan akım modlu uygulamalara uygun bir aktif bloktur. Farksal akımlı geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisi Birolek tarafından ortaya atılmıştır[4]. Uygun bir şekilde kullanıldığında etkin devre çözümleri sağlamaktadır. CDTA içeren akım modlu devre tasarımları literatürde yer almaktadır [5-7]. Bu çalışmaların yanı sıra literatürde farksal akımlı geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisi

elemanı kullanılarak aktif-RC süzgeç tasarımına yönelik çalışmalar da bulunmaktadır [8-12].

CDTA elemanının z ucundaki yüksek çıkış direnci uygulamalarda kaskod bağlantı için dışarıdan ek aktif elemana ihtiyaç duyulmamasını sağlamaktadır. Ancak literatürde yer alan geleneksel CDTA devresinde kullanılan basit akım aynaları DC ve AC performansların düşük çıkmasına, sınırlı lineerliğe ve düşük çıkış direncine neden olmuştur [8-10]. Bu çalışmada basit akım aynaları yerine yüksek doğruluklu aktif geribeslemeli kaskod akım aynaları (YDAGKAA) [13] kullanıldı. Devrenin lineerliğini artırmak için giriş katı olarak çarpaz bağlı ikili yapı içeren farksal akımlı geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisi önerilmiştir. Önerilen CDTA yapısına ait yüksek performans gösteren benzetim sonuçları elde edilmiştir.

### 2. Önerilen CDTA

CDTA elemanın devre sembolü Şekil.1'de görülmektedir. p ve n uçlarına uygulanan akımların farkı z ucuna yansıtılmaktadır. z ucundan görülen gerilim çıkış katında yer alan geçiş iletkenliği ile çarpılarak x uçlarında negatif ve pozitif akımlar olarak elde edilmektedir. Şekil-1'de gösterilen ideal CDTA için uç bağıntıları arasındaki ilişki denklem (1) eşitliği ile ifade edilir.



Şekil 1: CDTA elemanın devre sembolü.

$$V_p = V_n = 0,$$

$$I_z = I_p - I_n$$

$$I_{x+} = gV_z \quad (1)$$

$$I_{x-} = -gV_z$$

İdeal olmama durumunda ise tanım bağıntıları denklem (2)'de verilen eşitliklerle ifade edilmektedir.

$$V_p = V_n = 0,$$

$$I_z = \alpha_p I_p - \alpha_n I_n \quad (2)$$

$$I_{x+} = g_m V_z,$$

$$I_{x-} = -g_m V_z$$

Burada  $\alpha_p$  ve  $\alpha_n$  akım kazançlarıdır  $\alpha_p = 1 - \epsilon_p$ ,  $\alpha_n = 1 - \epsilon_n$ .  $\epsilon_p$  ve  $\epsilon_n$  ise akım izleme hatalarıdır.

CDTA elemanı farklı şekillerde gerçekleştirilebilir. Bu çalışmada giriş katı olarak verilmiş olan DCCCS, farksal akım kontrollü akım kaynağı kullanılmıştır ve çıkış katı olarak yüksek doğruluklu OTA kullanılarak devre gerçekleştirilmiştir. Basit akım aynaları yerine yüksek doğruluklu aktif geribeslemeli kaskod akım aynaları (YDAGKAA) kullanılmıştır. Şekil.2'de önerilen CDTA yapısı görülmektedir. Çıkış katı z ucundaki gerilimi dengeli iki çıkış akımına çeviren bir geçiş iletkenliği katıdır [9].

Önerilen CDTA devresinin p ve n uçlarına ait giriş dirençleri ve z, x+ ve x- uçlarına ait direnç ifadesinin yaklaşık hesabı denklem (3)'de verilmiştir.

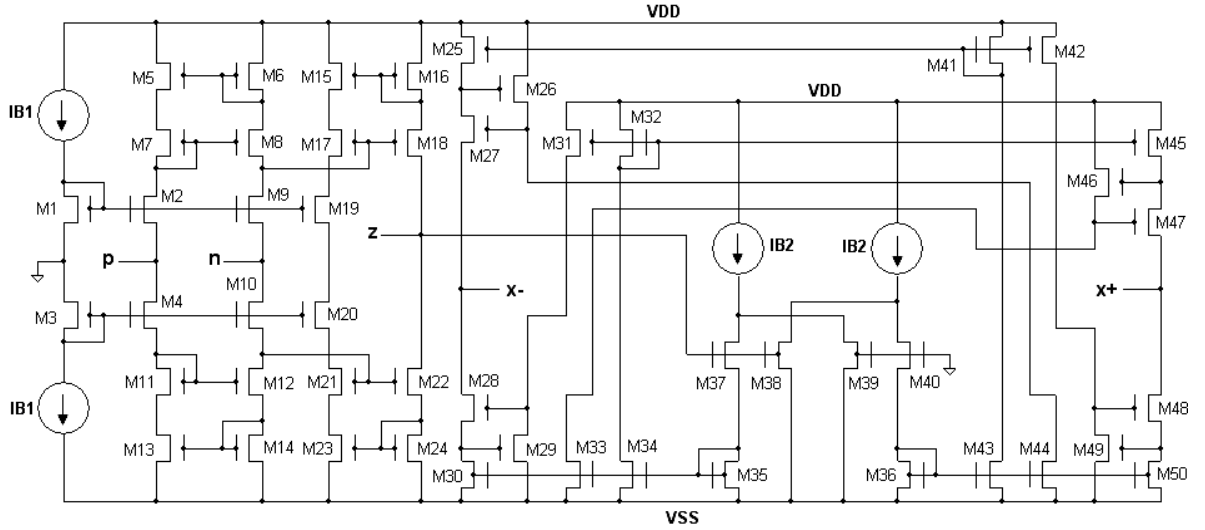
$$R_p \cong \frac{1}{(g_{m2} + g_{m4}) + (r_{ds2} // r_{ds4})}$$

$$R_n \cong (r_{ds9} r_{ds8} g_{m9}) // (r_{ds10} r_{ds12} g_{m10})$$

$$R_z \cong \frac{1}{(g_{m18} + g_{m22}) + (r_{ds18} // r_{ds22})} \quad (3)$$

$$R_{x+} \cong [g_{m48} g_{m49} r_{ds50}] // [g_{m47} g_{m46} r_{ds45}]$$

$$R_{x-} \cong [g_{m28} g_{m29} r_{ds30}] // [g_{m27} g_{m26} r_{ds25}]$$



Şekil 2: Önerilen yüksek başarımlı farksal akımlı geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisi (CDTA).

### 3. Benzetim Sonuçları

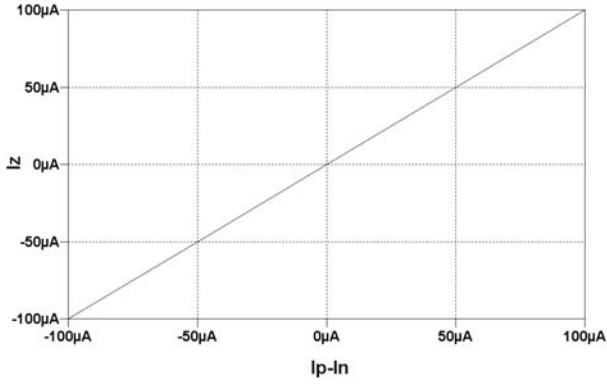
Önerilen CDTA devresinin başarımı SPICE benzetim programı yardımıyla gösterilmiştir. MOS tranzistörlerin benzetiminde TSMC CMOS 0.35µm model parametreleri kullanılmıştır. Benzetimde kullanılan MOS tranzistörlere ait boyutlar Tablo.1'de verilmiştir. Devrenin besleme gerilimleri, kutuplama gerilimleri ve kutuplama akımları sırasıyla  $V_{DD} = -V_{SS} = 1.5V$ ,  $I_{B1} = 100 \mu A$ ,  $I_{B2} = 50 \mu A$ , olarak verilmiştir.

Önerilen CDTA devresinin temel DC ve AC karakteristikleri SPICE benzetimi ile elde edilmiştir. Şekil.3-5'te verilen DC karakteristikler incelendiğinde z ucu akımı hem n hem de p ucu akımını düşük bir hatayla izlemektedir. Akım DC girişi

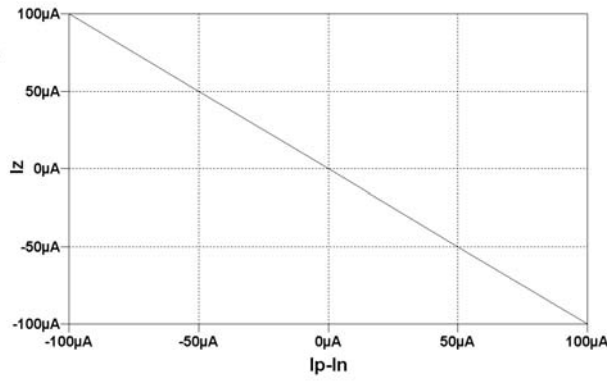
çıkış karakteristiğine bakıldığında devrenin akım sistematik dengesizliğinin de küçük olduğu görülür. Devrenin akım oranı ( $I_z/I_p$ ,  $I_z/I_n$ ) band genişlikleri Şekil.6-7'de görüldüğü gibi oldukça iyidir. Buradan devrenin pek çok akım modlu devre yapısı için kullanışlı olduğu sonucuna varılabilir. p ve n ucuna ait elde edilen düşük empedans değerleri Şekil.8-9 verilmiştir. p ve n ucundan görülen giriş dirençleri de göz önüne alındığında devre bir çok akım modlu uygulama için yeterli olmaktadır. Şekil 10-11'den z ve x uçlarına ait yüksek empedans değerleri görülmektedir. Şekil12.'de ise devrenin eğiminin frekansla değişimi görülmektedir. Devre ile ilgili benzetim sonuçlarına ait değerler Tablo.2'de verilmiştir.

Tablo1: Tranzistörlere ait boyutlar

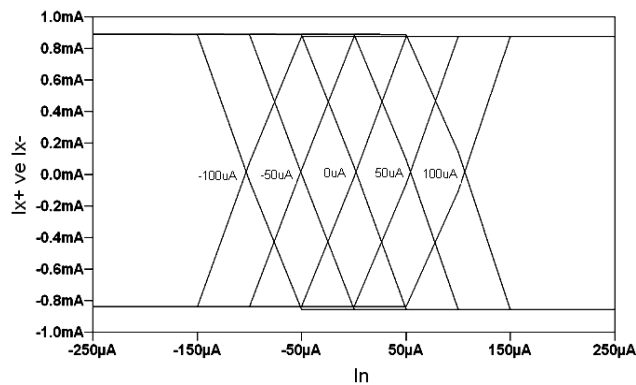
Tranzistörler	W( $\mu\text{m}$ )	L( $\mu\text{m}$ )
M <sub>1</sub> ,M <sub>2</sub> ,M <sub>5</sub> -M <sub>8</sub> ,M <sub>10</sub> ,M <sub>15</sub> -M <sub>18</sub> ,M <sub>20</sub>	14	0.7
M <sub>3</sub> ,M <sub>4</sub> ,M <sub>9</sub> ,M <sub>11</sub> -M <sub>14</sub> ,M <sub>19</sub> ,M <sub>21</sub> -M <sub>24</sub>	28	0.7
M <sub>25</sub> ,M <sub>26</sub> ,M <sub>35</sub> ,M <sub>37</sub> ,M <sub>45</sub>	21	0.7
M <sub>27</sub> ,M <sub>30</sub>	2.8	2.8
M <sub>28</sub> ,M <sub>29</sub> ,M <sub>44</sub> ,	7	0.7
M <sub>31</sub> ,M <sub>32</sub> ,M <sub>36</sub> ,M <sub>47</sub> ,M <sub>48</sub> ,	2.1	0.7
M <sub>33</sub> ,M <sub>34</sub> ,M <sub>40</sub> ,M <sub>41</sub> ,M <sub>49</sub> ,M <sub>50</sub>	1.4	0.7
M <sub>38</sub> ,M <sub>39</sub> ,M <sub>42</sub> ,M <sub>43</sub> ,M <sub>46</sub> ,	0.7	0.7



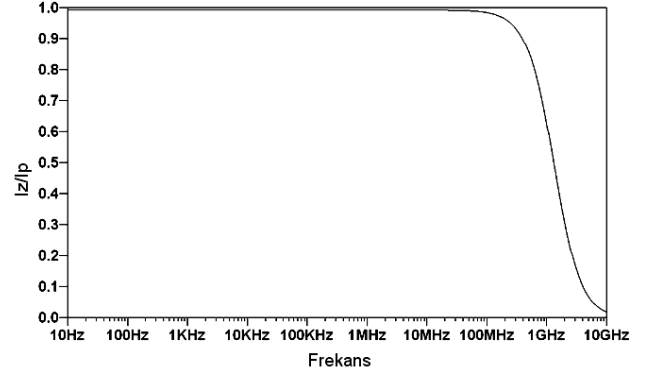
Şekil.3  $I_z$  akımının  $I_p$  giriş akımına bağlı değişimi ( $I_n=0$ )



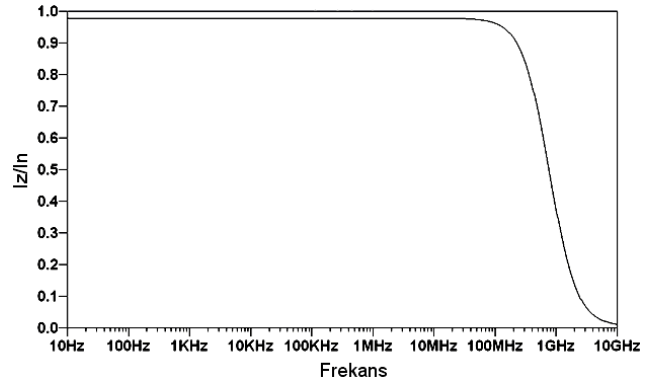
Şekil.4  $I_z$  akımının  $I_n$  giriş akımına bağlı değişimi ( $I_p=0$ )



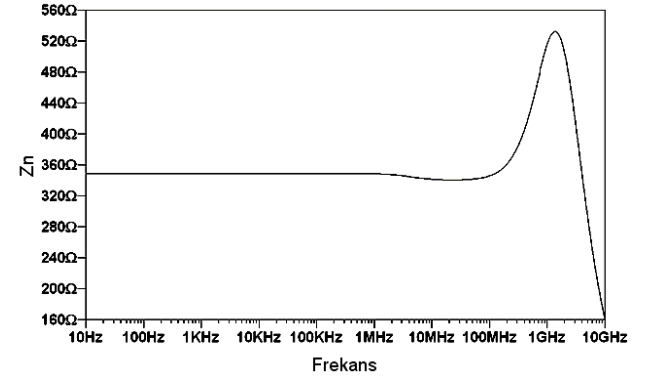
Şekil.5  $I_n$  giriş akımına bağlı  $I_{x+}$  ve  $I_{x-}$  akımlarının değişimi ( $I_p$  parametre  $-100\mu\text{A}$   $-50\mu\text{A}$   $0$   $50\mu\text{A}$   $100\mu\text{A}$ )



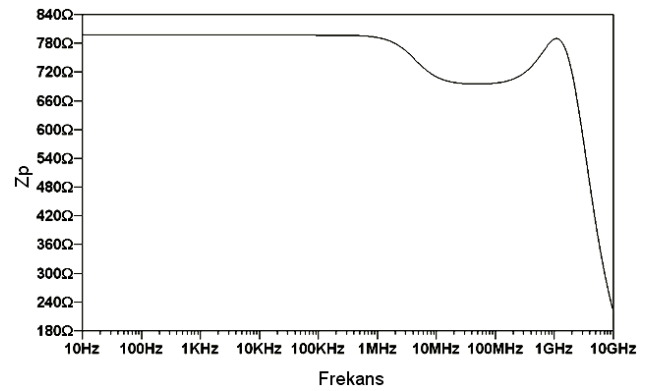
Şekil.6  $I_z/I_p$  oranının frekansla değişimi



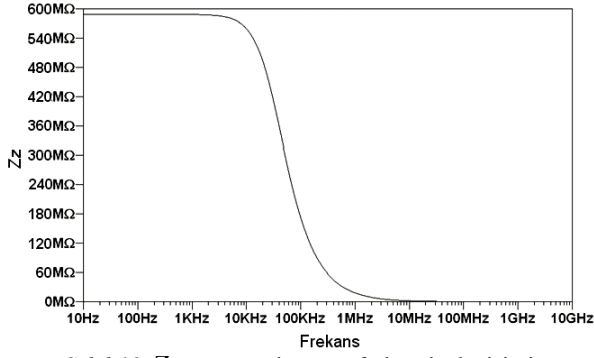
Şekil.7  $I_z/I_n$  oranının frekansla değişimi



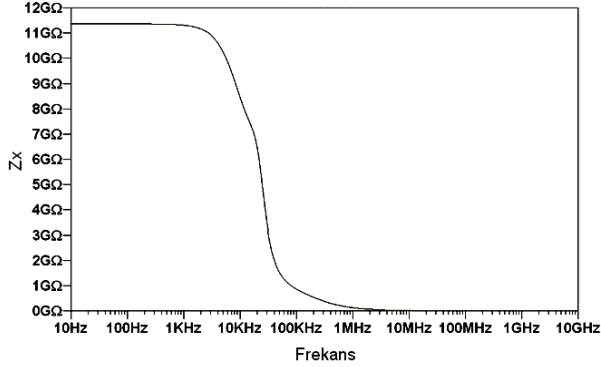
Şekil.8 n ucu empedansının frekansla değişimi



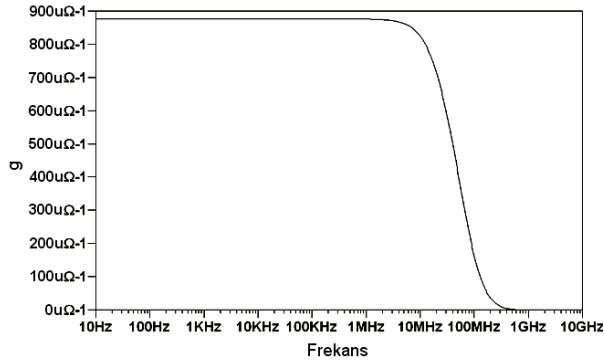
Şekil.9 p ucu empedansının frekansla değişimi



Şekil.10 Z ucu empedansının frekansla değişimi



Şekil.11 X ucu empedansının frekansla değişimi



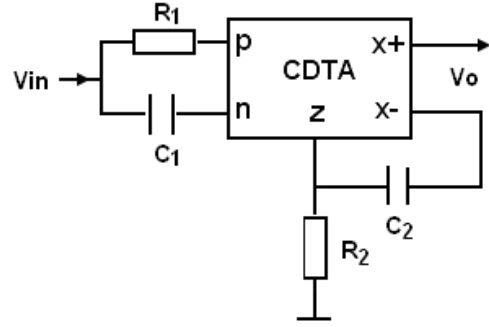
Şekil.12 Devrenin geçiş iletkenliğinin değişimi frekansla değişimi

Tablo 2: Önerilen CDTA devresine ait benzetim sonuçları

Besleme Gerilimi	$\pm 1.5V$
Kutuplama Akımı	$I_{B1}=100\mu A, I_{B2}=50\mu A$
Teknolojisi	$0.35\mu$ TSMC
Iz/Ip (-3dB) Bandgenişliği	582 MHz
Iz/In (-3dB) Bandgenişliği	448 MHz
p giriş empedansı	812 $\Omega$
n giriş empedansı	348 $\Omega$
z çıkış empedansı	580 M $\Omega$
x çıkış empedansı	11.7 G $\Omega$
Transconductance (g)	886 $\mu A/V$
Güç Tüketimi	4.96 mW

#### 4. Tüm Geçiren Süzgeç Uygulaması

Tüm geçiren süzgeç, analog süzgeçler içinde en sık kullanılan yapılardan biridir. Tüm geçiren süzgeç özellikle giriş işaretinin genliğinin sabit tutulup, işaretin fazının değiştirilmesinde kullanılmaktadır. Tüm geçiren süzgeç, ayrıca quadrature osilatör ve yüksek dereceden band geçiren süzgecin gerçekleştirilmesinde kullanılmaktadır[14-15]. Önerilen CDTA devresinin başarımını göstermek amacıyla Şekil.13'te görülen gerilim modlu CDTA ile gerçekleştirilen tüm geçiren süzgeç yapısı önerilmiştir.

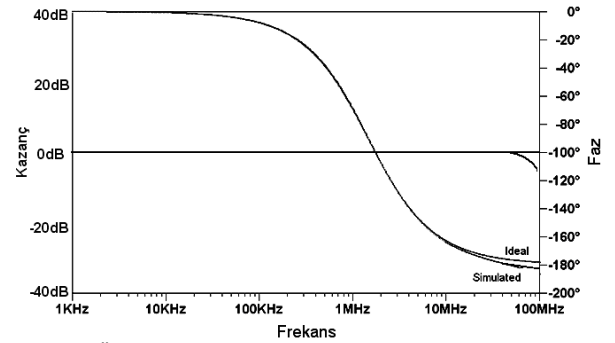


Şekil 13: Gerilim modlu tüm geçiren süzgeç.

Şekil.13'te görülen süzgeç devresinin analizi sonucunda elde edilen transfer fonksiyonu denklem (4)'te verilmiştir.

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_2 (1 - sC_1R_1)}{R_1 (1 + sC_2R_2)} \quad (4)$$

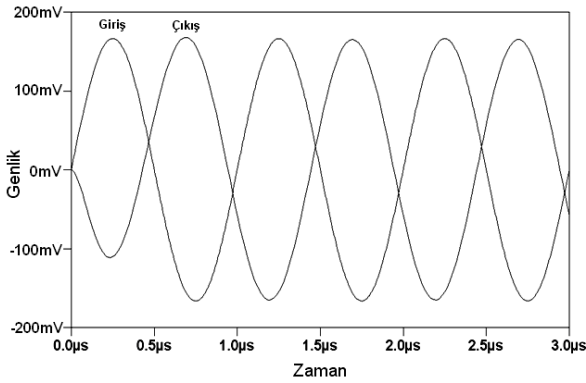
Süzgeç devresinin SPICE benzetimi yapılırken eleman değerleri tüm geçiren süzgeç karakteristiğini sağlayarak kesim frekansı 1.59MHz olacak şekilde  $R=R_1=R_2=1k$ ,  $C=C_1=C_2=1nF$  seçilmiştir. Tüm geçiren devrenin SPICE benzetimine ait fazın frekansla değişim karakteristiği Şekil 14'te verilmiştir. Önerilen CDTA ile gerçekleştirilen tüm geçiren süzgeç karakteristiği ve idela tüm geçiren devre karakteristiği iyi bir uyum içinde olduğu şekilden açıkça görülebilmektedir.



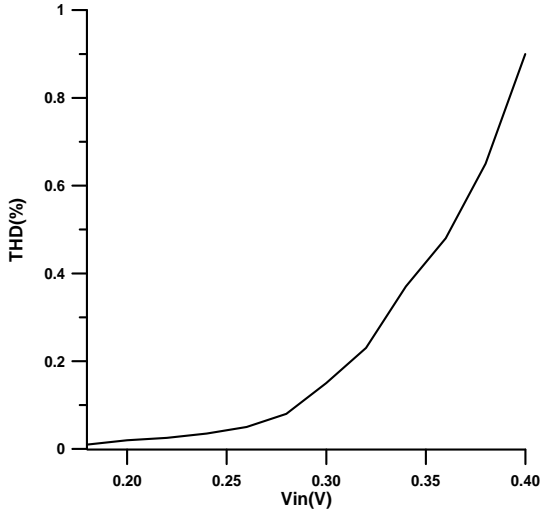
Şekil.14 Önerilen tüm geçiren süzgecin faz karakteristiğinin frekansla değişimi

Devrenin dinamik aralığını kontrol etmek üzere önerilen süzgecin girişine 400 mV (tepeden tepeye) ve 1.59 MHz'lik bir giriş işareti uygulandığında Şekil 15'te verildiği gibi tüm

geçiren süzgecin çıkışında distorsiyonsuz bir çıkış işaretinin elde edilebildiği görülmektedir. Çıkış işaretinin harmonik distorsiyonunun giriş işaretinin genliği ile değişimi Şekil 16'da verilmiştir.



Şekil 15. 400 mV (tepeden tepeye) ve 1.59 MHz'lik bir giriş işareti için önerilen tüm geçiren süzgecin giriş ve çıkış işaretleri



Şekil 16. Çıkış işaretinin harmonik distorsiyonunun giriş işaretinin genliği ile değişimi

## 5. Sonuç

Bu çalışmada yeni bir yüksek başarımli farksal akımlı geçişiletkenliği kuvvetlendiricisi sunulmuştur. Önerilen CDTA literatürdeki yapılarla karşılaştırıldığında, z ucunda ve  $x \pm$  uçlarında yüksek çıkış empedansı ve yüksek geçiş iletkenliği göstermektedir[4-6]. Simülasyon sonuçları devrenin lineerlik, gerilim ve akım doğrulukları yönünden yüksek başarımını göstermektedir. Önerilen devrenin başarımını göstermek amacıyla tüm geçiren süzgeç önerilmiş ve simülasyon sonuçları ile teorik sonuçlar doğrulanmıştır. Önerilen CMOS CDTA devresi ve tüm geçiren süzgeç devresi, analog işaret işleme uygulamaları için son derece kullanışlı olmakta ve tasarımcılara başarımı yüksek devre çözümleri üretebilmelerinde yeni olanaklar sağlayacağı düşünülmektedir.

## 6. Kaynaklar

- [1] Sedra A.S., Robertsand G. W. and Gohh F., "The current conveyors: history, progress and new results," *IEE Proc. G*, vol. 137, pp. 78-87, 1990.
- [2] Kaulberg T., "A CMOS current-mode operational amplifier," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 28, pp. 849-852, 1993.
- [3] Bruun E., "Bandwidth optimization of a low power, high speed CMOS current op amp," *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, vol. 7, pp. 11-19, 1995.
- [4] Biolek D., "CDTA-Building block for current-mode analog signal processing", *Proc. ECCTD'03*, Cracow, Poland, Vol. III, 2003, pp.397-400.
- [5] Keskin A. Ü., Biolek D., Hancioglu E. and Biolková V., "Current-mode KHN filter employing current differencing transconductance amplifiers", *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, Volume 60, Issue 6, pp. 443-446, 2006.
- [6] 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.
- [7] Bekri A. T., Anday F., "Nth-order low-pass filter employing current differencing transconductance amplifiers", In: *Proceedings of the 2005 European Conference on Circuit Theory and Design*, vol. 2, Cork, Ireland, 2005, pp. 193-196.
- [8] Biolek D., Biolkova V., "CDTA-C current-mode universal 2nd\_order filter", *Proceeding of the 5th WSEAS International Conference on Applied Informatics and Communications*, Malta, September 15-17, 2005, pp.411-414.
- [9] Biolek D., Biolkova V., Universal biquads using CDTA elements for cascade filter design. In: *Proceedings of the CSCC 2003 Corfu, Greece*, 2003, ISBN 960-8052-82-3 (CD).
- [10] Tanjaroen W., Dumawipata T., Unhavanich S., Tangsrirat W., Surakampontorn W., "Design of current differencing transconductance amplifier and its application to current-mode KHN biquad filter", *Proceeding of ECTI-CON 2006*, Ubon-ratchathani, Thailand, May 10-13,2006, pp.497-500.
- [11] Vlach J., Viswanathan T.R. and Singhal K., "Active filters for intermediate frequencies using low-gain transducers," *IEEE Trans.Circuits Syst.*, vol. CAS-2, pp. 79-86, 1974.
- [12] Bruton L. T., Haslett J.W. and Rao M. K. N., "A monolithic VCCS for high-frequency RC active filters," *Electron. Lett.*, vol. 16, pp. 175-177, 1980.
- [13] Zeki A. and Kuntman H., "Accurate and high output impedance current mirror suitable for CMOS current output stages," *Electronics Letters*, vol. 33, pp. 1042-1043, 1997.
- [14] Toker A., Ozoguz S., Cicekoglu O. and Acar C., "Current-mode all-pass filters using current differencing buffered amplifier and new high-Q band-pass filter configuration," *IEEE Tran. Circuits Syst. II, Analog Digit. Signal Process.* vol. 47, no. 9, pp. 949-954, Sep. 2000.
- [15] Cakir C., Cam U., Cicekoglu O. and Acar C., "Novel all-pass filter configuration employing single OTRA" *IEEE Tran. Circuits Syst. II*, vol. 52, no. 3, pp. 122-125, March 2005.