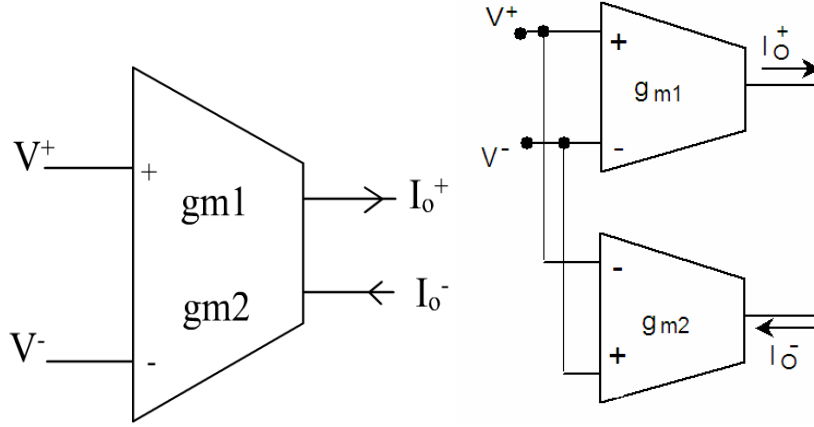


# YÜKSEK BAŞARIMLI CMOS DO-OTA, (DOTA)

Tanım, Devre Sembolü, İlkesel yapı,

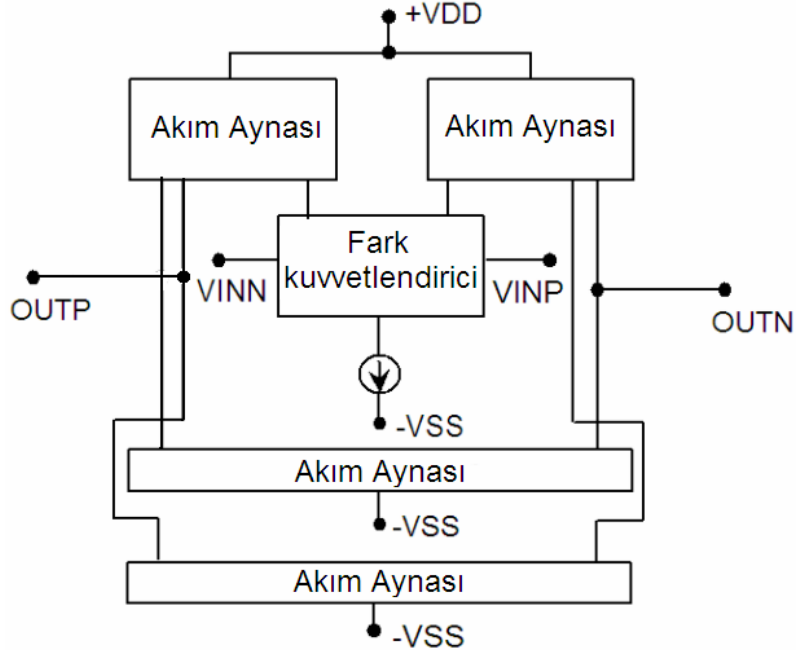


Şekil-1. DO-OTA devre sembolü, İlkesel DOTA yapısı

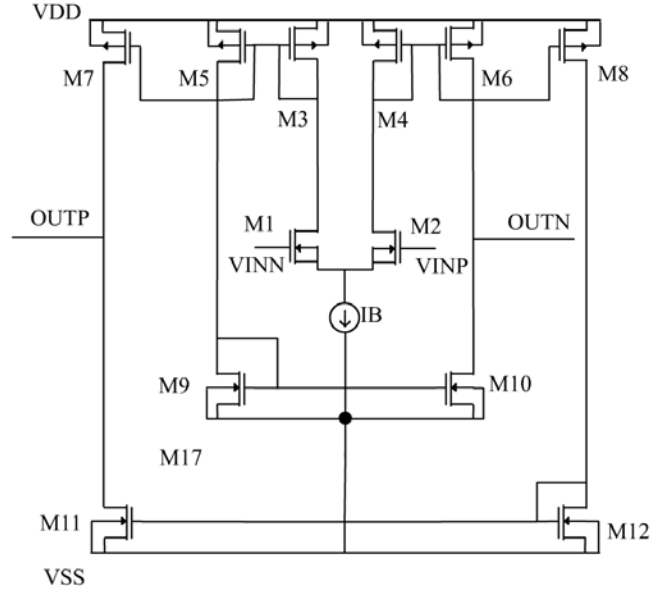
Tanım Bağlıları

$$I_o^+ = g_{m1}(V^+ - V^-) \quad I_o^- = g_{m2}(V^- - V^+) \quad (1)$$

Gerçekleştirme ilkesi

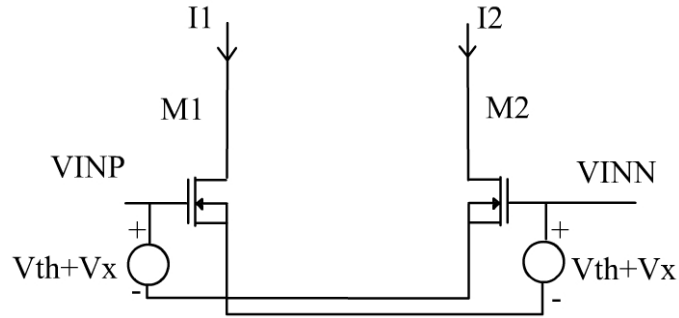


Şekil-2. İlkesel DO-OTA yapısı.



Şekil-3. Basit simetrik CMOS DO-OTA gerçekleştirme devresi

### Giriş değişim aralığının genişletilmesi



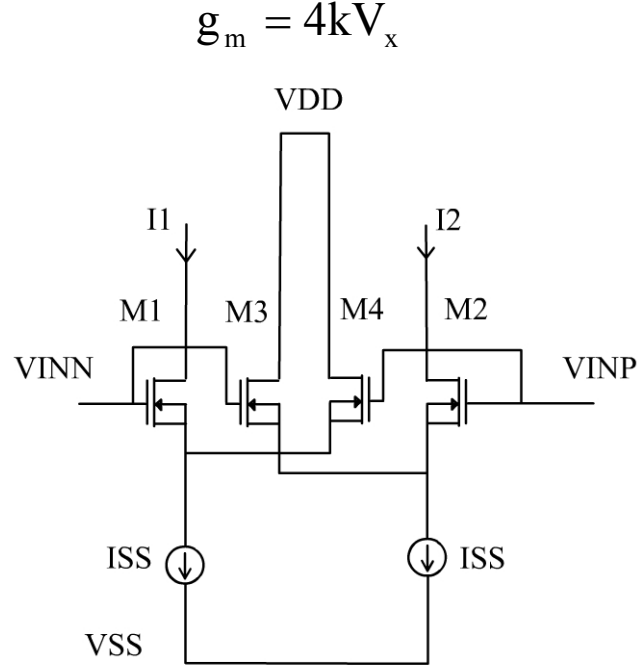
Şekil-4. Nedungadi-Visvanathan giriş devresi

$$I_1 = k (V_x + v)^2$$

$$I_2 = k (V_x - v)^2$$

$$k = \frac{\mu C_{ox}}{2} \left( \frac{W}{L} \right)$$

$$i = I_1 - I_2 = 4kV_x v$$



Şekil-5. Nedungadi-Visvanathan giriş hücresinin pratik olarak gerçekleştirilmesi

$M_3$  ve  $M_4$  transistörlerinin  $W$  kanal genişlikleri  $M_1$  ve  $M_2$  transistörlerinin genişliklerinden  $n$  defa daha büyüktür, tüm transistörlerin kanal boyları eşittir.

$V_b = \sqrt{\frac{I}{k}}$  ve  $x = \frac{v}{V_b}$ ,  $y = \frac{i}{I}$  büyüklüklerini tanımlayalım.

$$y = \frac{i}{I} = \frac{i_1 - i_2}{I}, \quad v = V_1 - V_2,$$

$$\alpha = \frac{4n}{n+1}, \quad \beta = \frac{n}{(n+1)^2}, \quad \gamma = \frac{n(n-1)}{(n+1)^2}$$

Normalize çıkış akımı farklı bölgeler için aşağıdaki biçimde yazılır:

$$y = \alpha x \sqrt{1 - \beta x^2}, \quad |x| \leq \sqrt{\frac{n+1}{n}}$$

$$y = 1 + \gamma x^2 + \alpha |x| \sqrt{1 - \beta x^2}, \quad \sqrt{\frac{n+1}{n}} \leq |x| \leq \sqrt{n+1}$$

$$y = (n+1) \operatorname{sgn}(x), \quad |x| > \sqrt{(n+1)}$$

Büyüklikler yerine konursa:

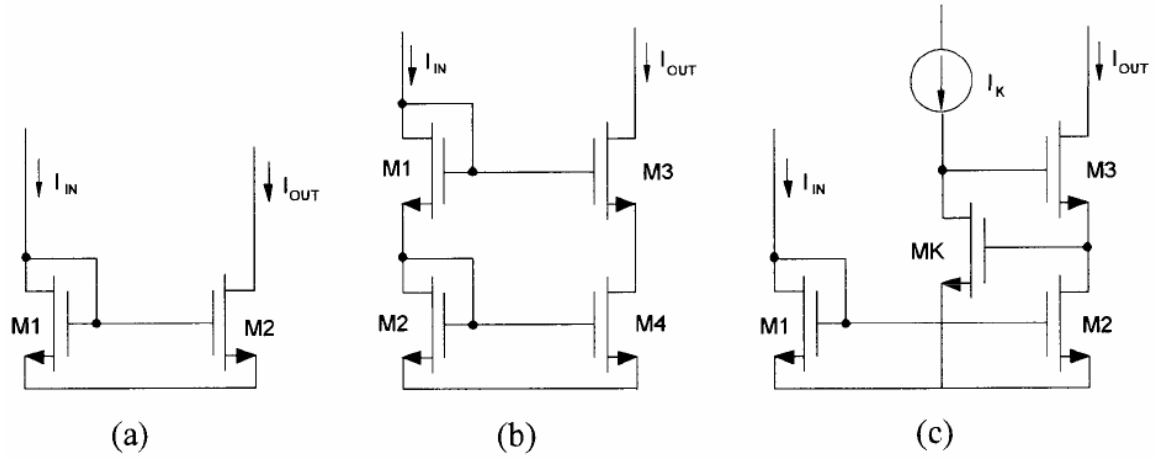
$$\Delta I = I_1 - I_2 = \frac{2n}{n+1} \mu C_{ox} \left( \frac{W}{L} \right) v \sqrt{\frac{2I}{\mu C_{ox} \left( \frac{W}{L} \right)} - v^2}, \quad |v| = |V_1 - V_2| \leq \sqrt{\frac{n+1}{n}} \sqrt{\frac{2I}{\mu C_{ox} \left( \frac{W}{L} \right)}}$$

$$\Delta I = I_1 - I_2 = 1 + \frac{n(n-1)}{(n+1)^2} \frac{v^2}{\mu C_{ox} \left( \frac{W}{L} \right)} + \frac{2n}{n+1} \mu C_{ox} \left( \frac{W}{L} \right) |v| \sqrt{\frac{2I}{\mu C_{ox} \left( \frac{W}{L} \right)} - v^2}$$

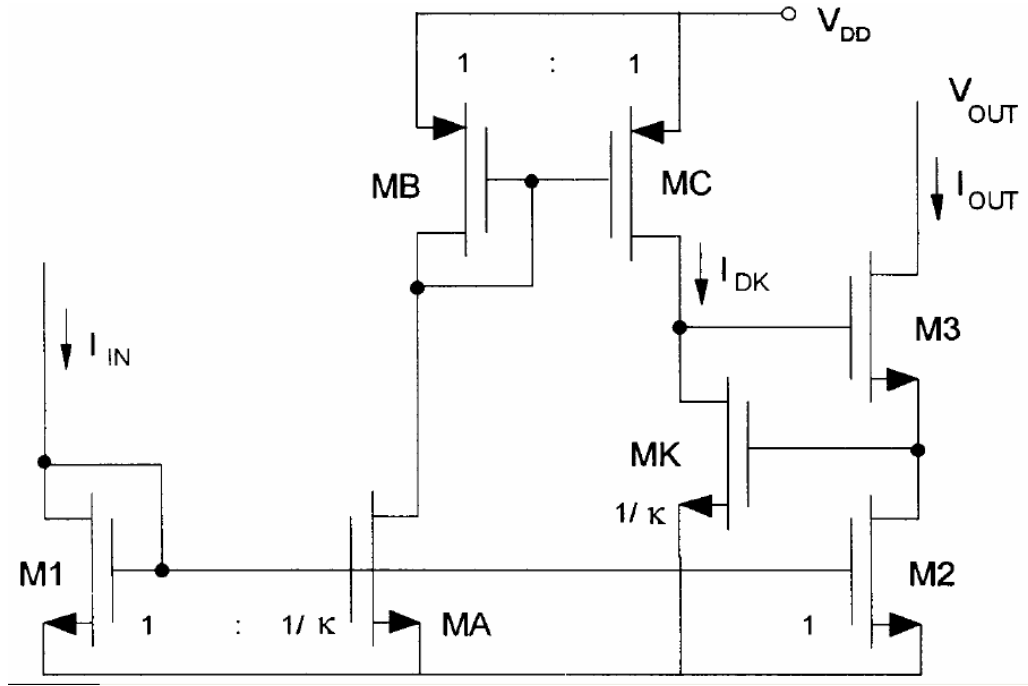
$$-\sqrt{\frac{n+1}{n}} \sqrt{\frac{2I}{\mu C_{ox} \left( \frac{W}{L} \right)}} \leq |v| = |V_1 - V_2| \leq \sqrt{n+1} \sqrt{\frac{2I}{\mu C_{ox} \left( \frac{W}{L} \right)}}$$

$$\Delta I = I_1 - I_2 = (n+1) \operatorname{sgn}(x), \quad |V_1 - V_2| > \sqrt{(n+1)} \cdot \sqrt{\frac{2I}{\mu C_{ox} (W/L)}}$$

## Yüksek çıkış dirençli, yüksek doğruluklu akım kaynakları



Şekil-6. Akım aynaları a) basit akım aynası, b) kaskod akım aynası c) geribeslemeli kaskod akım aynası



Şekil-7. Aktif geribeslemeli CMOS kaskod akım aynası

$$(W/L)_K = (W/L)_A = (W/L)_1 / \kappa$$

$$\frac{I_{DK}}{I_{D1}} = \frac{1 + \lambda_N V_{DSK}}{1 + \lambda_N V_{GS1}} = 1 + \varepsilon_K$$

$$\varepsilon \approx \left( \frac{I_{D1}}{2\beta_N} \right)^{1/2} \lambda_N \varepsilon_K$$

$$r_o = \frac{2\beta_N}{\lambda_N^3 I_{IN}^{3/2} I_K^{1/2}}$$

Şekil-6c'de negatif geribesleme devresi  $I_K$ - $M_K$  ve  $M_3$  kaynak izleyiciden oluşan kuvvetlendirici ile sağlanıyor.

**Sakınca:**

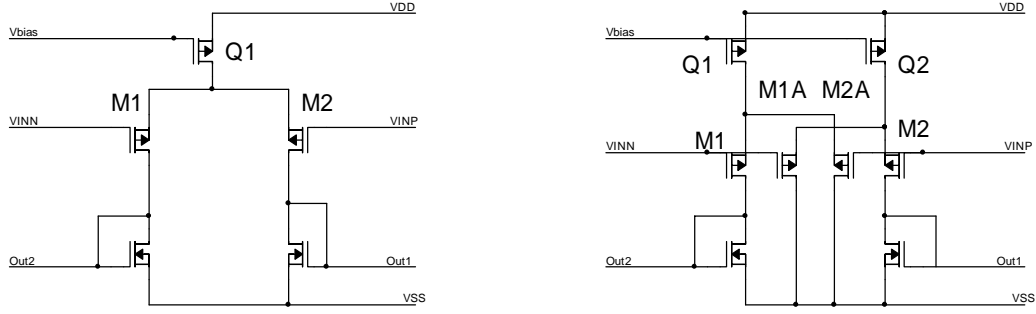
$V_{DS2} = V_{GSK}$  şartı  $I_K$  ve  $M_K$  ile sağlanıyor.

$I_{OUT} = I_{IN}$  doğru olarak sağlanabilmesi için  $I_K$  ve  $M_K$   $V_{DS2} = V_{GS2}$  şartı sağlanmalı. Aksi halde geçiş kanal boyu modülasyonu nedeniyle doğruluğu kaskod devreden daha kötü.

Şart tek bir yerde sağlanır.  $M_2$  triyot bölgesine sürülürse devrenin çalışması bozulur.

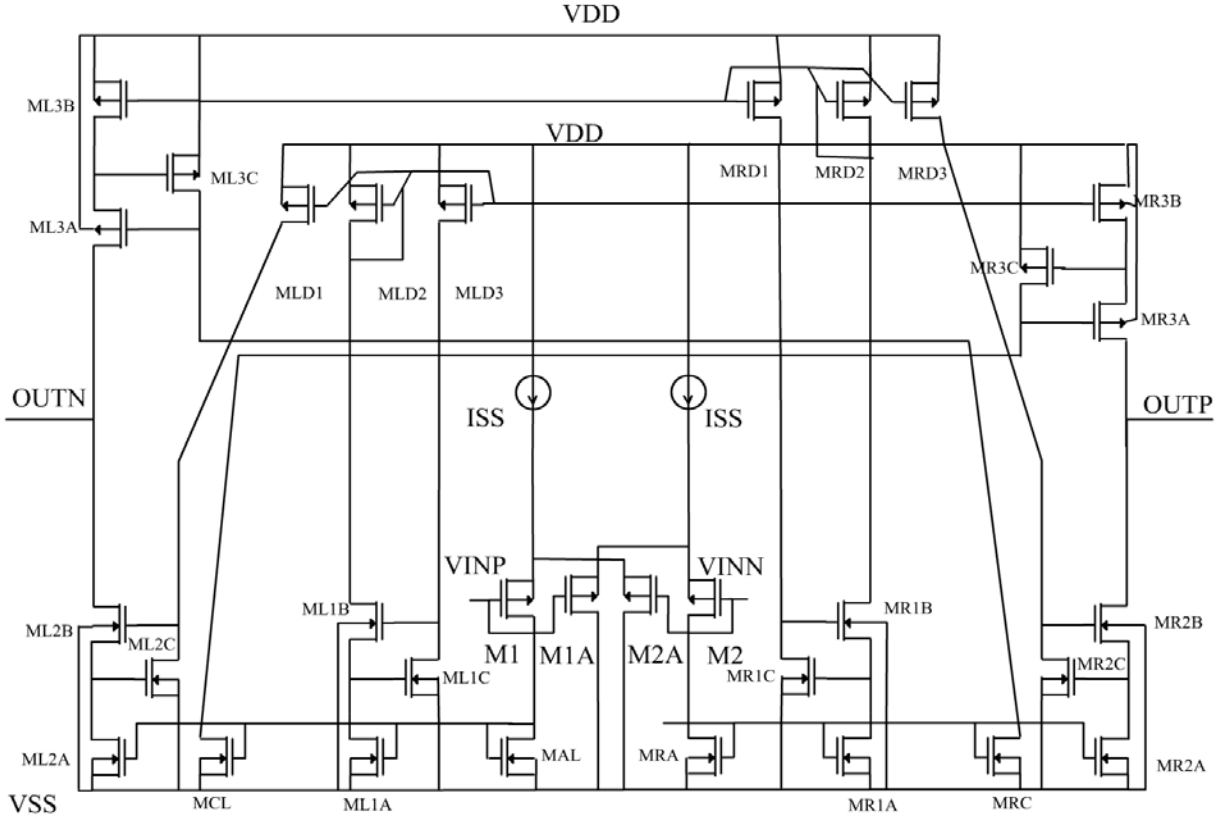
Çözüm için  $M_K$   $M_1$  ile eşleşmeli ve  $I_K = I_{IN}$  yapılmalı. Bu durumda  $I_K$  bağımsız kaynak değil,  $I_{IN}$  akımına bağımlı.

## Yüksek başarımlı DO-OTA



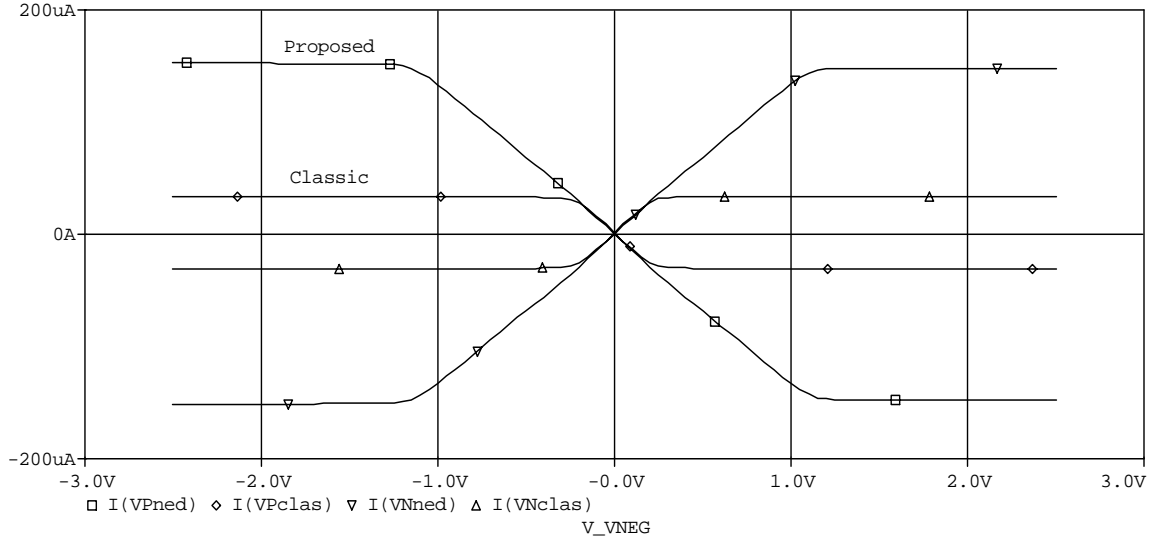
Şekil 8. Benzetimlerde kullanılan klasik giriş katı ve Nedungadi-Visvanathan giriş katı

İkisel devreye göre tüm tranzistorlar eşlenik tranzistorlarla değiştirilmiştir ve gerilimlerle akımların yönleri çevrilmiştir. Akım kaynakları da PMOS tranzistorlarla oluşturulmuştur.

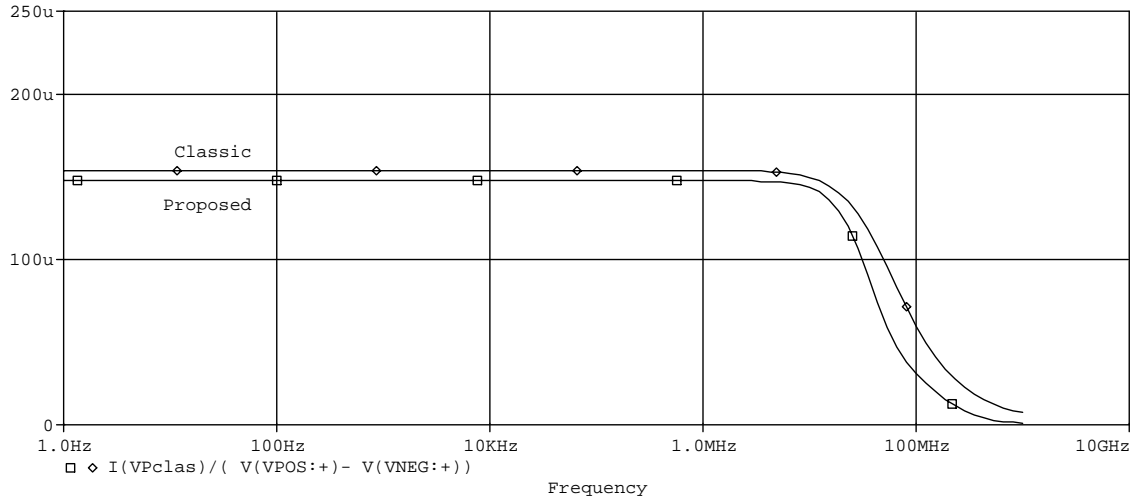


Şekil-9. Önerilen DO-OTA devresi

Önerilen yapıdaki çıkış katı Zeki-Kuntman tarafından daha önce önerilmiş olan aktif geribeslemeli akım kaynağı yapılarına dayanmaktadır. Uygulanan aktif geribesleme ile iyi bir akım izleme oranı ve çok yüksek çıkış direnci sağlanmaktadır.



Şekil- 10. DO-OTA devrelerinin  $I_o$ - $V_{in}$  giriş- çıkış karakteristikleri

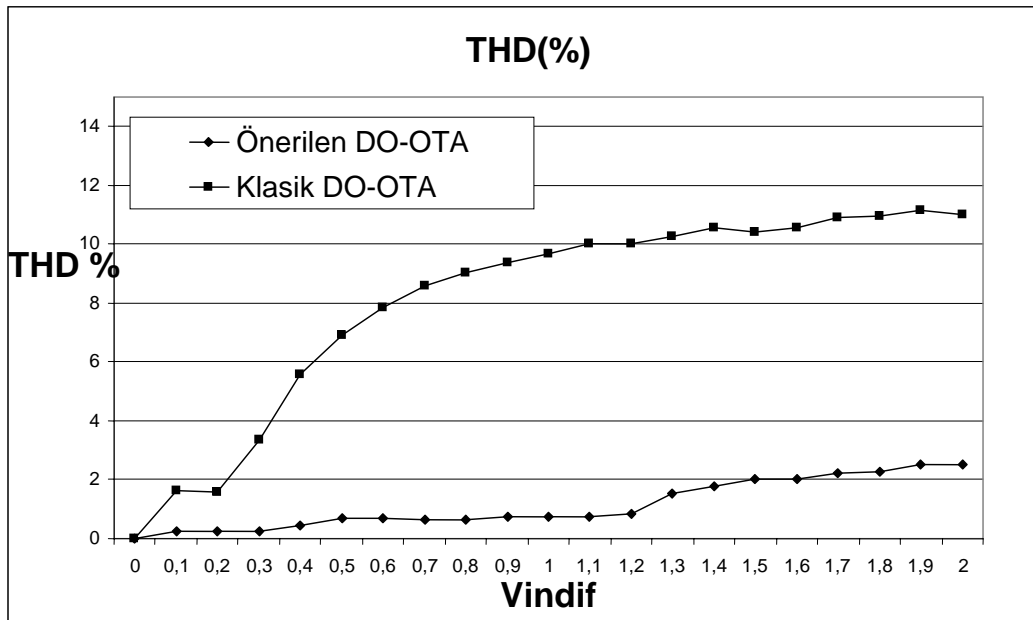


Şekil-11. DO-OTA devrelerinin eğimlerinin frekans yanıtı



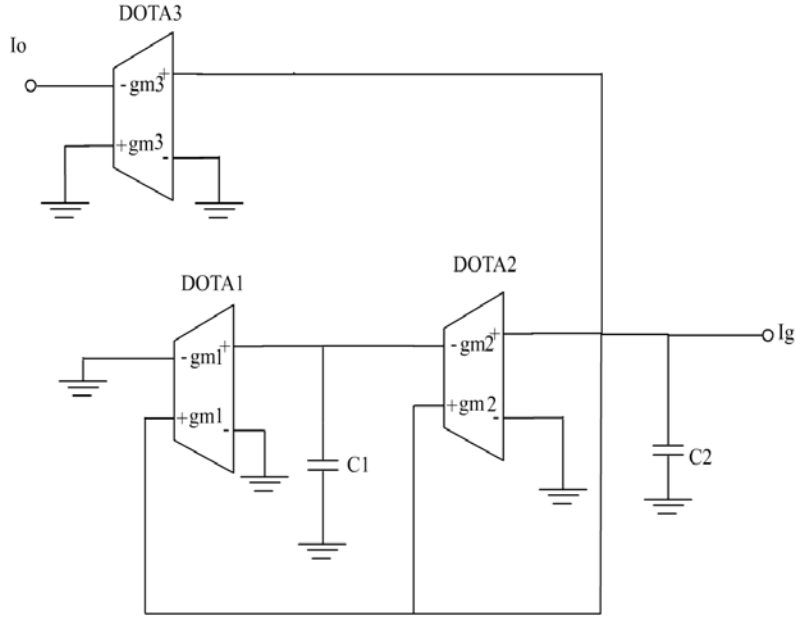
**Tablo 1** Kullanılan giriş katına göre teorik ve pratik doğrusallık aralıkları

Giriş Katı	Giriş değişim aralığı	
	Teorik(mV)	Pratik(mV)
Klasik	$\pm 330$	$\pm 380$
Nedungadi-Visvanathan	$\pm 1420$	$\pm 1220$
Çapraz Bağlı	$\pm 490$	$\pm 420$
Krummenacher	$\pm 930$	$\pm 510$



Şekil-12. DO-OTA çıkışındaki THD toplam harmonik distorsiyonunun giriş seviyesine bağımlılığı

## Uygulama Devresi, Akım modlu band geçiren süzgeç



Şekil.13. Band geçiren süzgeç

$$H(s) = \frac{a_1 s}{s^2 + b_1 s + b_0}$$

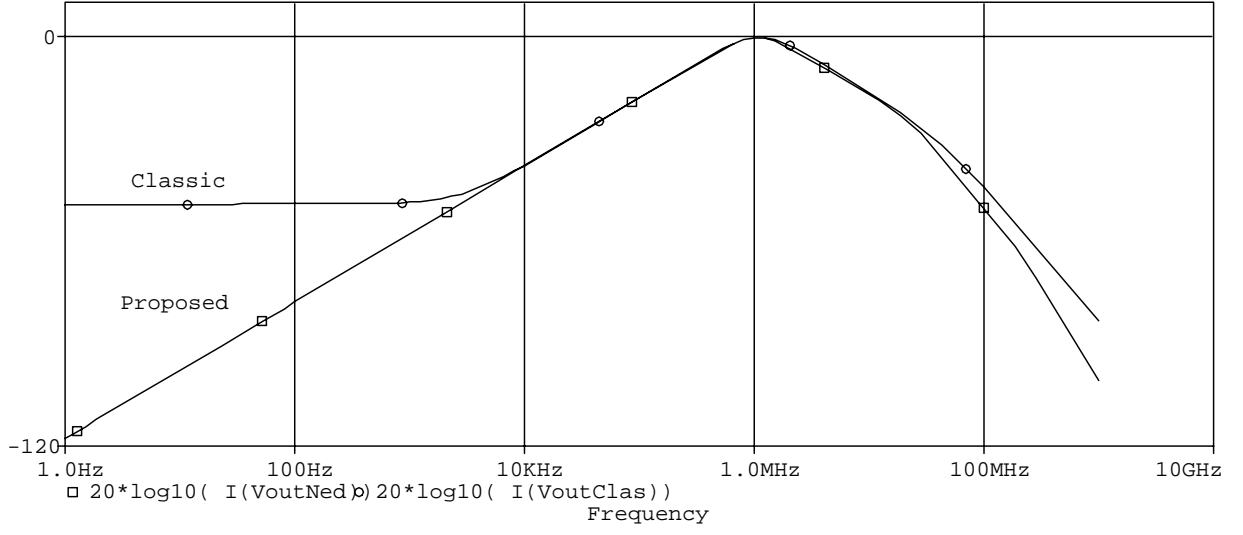
$$\frac{g_{m1}}{C_1} = \frac{b_0}{b_1}, \quad \frac{g_{m2}}{C_2} = b_1, \quad \frac{g_{m3}}{C_2} = a_1$$

$$b_1 = \frac{\omega_p}{Q_p} \quad b_0 = \omega_p^2$$

$$\omega_p = \frac{\sqrt{g_{m1} \cdot \sqrt{g_{m2}}}}{\sqrt{C_1 \cdot \sqrt{C_2}}} \quad Q_p = \frac{\sqrt{g_{m1} \cdot \sqrt{C_2}}}{\sqrt{g_{m2} \sqrt{C_1}}}$$

Benzetimlerde kullanılan süzgeç tasarım büyüklükleri

$g_m = 150 \mu\text{A/V}$ ,  $C_1 = 30 \text{ pF}$  and  $C_2 = 15 \text{ pF}$ .



Şekil-14. Klasik ve önerilen DO-OTA yapıları ile BGS benzetim sonucu elde edilen frekans yanıtları

## Kaynaklar

1. H. Kuntman: Simple and accurate nonlinear OTA macromodel for simulation of CMOS OTA-C active filters, *International Journal of Electronics*, Vol.77, No.6, pp.993-1006, 1994.
2. A. Zeki and H. Kuntman: Accurate and high output impedance current mirror suitable for CMOS current output stages, *Electronics Letters*, Vol.33, No.12, pp.1042-1043, 1997.
3. A. Zeki and H. Kuntman: Accurate active-feedback CMOS cascode current mirror with improved output swing, *International Journal of Electronics*, Vol.84, No.4, pp.335-343, 1998.
4. H. Kuntman, A. Özpınar, On the realization of DO-OTA-C oscillators, *Microelectronics Journal*, Vol.29, No. 12, pp.991-997, 1998.
5. G. Düzenli, Y. Kılıç, H. Kuntman and A. Ataman: On the design of low-frequency filters using CMOS OTAs operating in the subthreshold region, *Microelectronics Journal*, Vol.30, No. 1, pp.45-54, 1999.
6. A. Zeki, H. Kuntman, High-output-impedance CMOS dual-output OTA suitable for wide-range continuous-time filtering applications, *Electronics Letters*, 35, No.16, pp.1295-1296, 1999.
7. A.N. Gönülenen, R. Köprü and H. Kuntman: Multiloop feedback bandpass OTA-C filters using quads, *Proc. 12th European Conference on Circuit Theory and Design*, Vol.2, pp.607-610, 27-31 August, İstanbul, 1995.
8. A. Zeki, H. Kuntman: A novel CMOS OTA structure suitable for OTA-C filters, *Proc. of the 8th International Conference on Microelectronics (ICM'96)*, pp.7-10, December 16-18, Cairo, Egypt, 1996.
9. S. Özcan, E. Cengiz and H. Kuntman: A new modification on BJT OTA structure for low distortion applications, *Proc. of the 1997 European Conference on Circuit Theory and Design (ECCTD'97)*, pp.749-753, 30th August-3rd September, Budapest, Hungary, 1997.
10. H. Kuntman, S. Menekay, O. Çiçekoğlu, A. Kuntman, Novel parallel lossy inductance simulation circuit employing DO-OTA, *FIRST BALKAN CONFERENCE ON SIGNAL PROCESSING, COMMUNICATIONS, CIRCUITS, AND SYSTEMS*, CD-ROM) June 2-3, 2000,
11. H. Kuntman, S. Menekay, O. Çiçekoğlu, A. Kuntman, New inductance simulator topologies realized with DO-OTAs, *Proc. of ITC-CSCC 2000 (International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications)*, Vol.1, pp.391-394, Korea, Pusan, July 11-13, 2000.
12. Burçin Serter Ergün, Hakan Kuntman, Sadri Özcan, Realization of a high performance CMOS DOTA with extended linearity range, *Proc. of SCS 2001: International Symposium on Signals Circuits and Systems*, pp. 81- 84, July 10-11, 2001, Iasi, Romania.

13. N. Tarim, O. Çiçekoğlu, H. Kuntman, Active Lowpass Filters without External Passive Components Realized with OTA and Op Amps, Proceedings of the 44th Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS), pp 192-195, Dayton, Ohio, August 14-17, 2001.
14. B. S. Ergün, H. Kuntman, Realization of a high output impedance CMOS DO-OTA with extended linearity range, Proceedings of ELECO'2001: The 2nd International Conference on Electrical and Electronics Engineering (Electronics), pp.73-77, Bursa, 7-11 November 2001.
15. G. Düzenli, H. Kuntman, A Study to Improve Symmetrical CMOS OTA Behaviour in Subthreshold Region, Proc. of OPTIM'2002 (8th International Conference: OPTIMIZATION OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC EQUIPMENT), pp. 829-834, May 16-17, 2002 Brasov, ROMANIA.
16. H. Kuntman, O. Çiçekoğlu, A. Kuntman ve S. Menekay, Endüktans benzetiminde DO-OTA ile yeni olanaklar, Bursa Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Müh. Sempozyumu (ELECO 2000), Elektronik ve Bilgisayar Bildiri Kitabı, 13-17, EMO Bursa Şubesi, Bursa, 8-12 Kasım 2000.
17. B. S. Ergün, H. Kuntman, Yüksek lineerlikte DOTA gerçekleştirilmesi, Bursa Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Müh. Sempozyumu (ELECO 2000), Elektronik ve Bilgisayar Bildiri Kitabı, 77-81, EMO Bursa Şubesi, Bursa, 8-12 Kasım 2000.
18. B.S. Ergün, H. Kuntman, "Yüksek Doğrusallıklı Ve Yüksek Çıkış Empedanslı CMOS DO-OTA Gerçekleştirilmesi", Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Müh. 9. Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı, Cilt II, 363-366, Kocaeli Üniversitesi-EMO, 19-23 Eylül, 2001.
19. Hakan Kuntman, S. Menekay, A. Kuntman, O. Çiçekoğlu, "DO-OTA İle Seri Endüktans Benzetimi", Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Müh. 9. Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı, Cilt II, 367-371, Kocaeli Üniversitesi-EMO, 19-23 Eylül, 2001.
20. A. Zeki: Novel high performance OTA structures suitable for continuous-time OTA-C filters, İstanbul Technical University, Institute of Science and Technology, 1998.
21. A. Özpınar: Yeni DO-OTA-C osilatör topolojileri, İstanbul Technical University, Institute of Science and Technology, 1998.
22. B. S. Ergün, Yüksek Lineerlikte CMOS DO-OTA Tasarımı, İstanbul Technical University, Institute of Science and Technology, 2001.
23. Nedungadi. A. and Viswanathan T. R. 'Design of Linear CMOS Transconductance Elements' IEEE Trans. Circuits Syst., vol CAS31, pp 891-894. 1984.