EŞİKALTINDA ÇALIŞAN CMOS OTA' LARDA YORULMANIN MODELLENMESİ VE BİR UYGULAMA

Yasin ÖZCELEP[1] **Ayten KUNTMAN[2]** **Hakan KUNTMAN[3]**

[1,2]İstanbul Üniversitesi,Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü,34320, Avcılar, İstanbul
[3]Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Elektrik-Elektronik Fakültesi
İstanbul Teknik Üniversitesi, 34469, Maslak, İstanbul

[1]e-posta:ycelep@istanbul.edu.tr [2]e-posta: akuntman@istanbul.edu.tr
[3]e-posta:kuntman@ehb.itu.edu.tr

Anahtar sözcükler: Güvenirlik, Sıcak Taşıyıcı Kaynaklı Yorma,CMOS OTA, Aktif Süzgeçler

ABSTRACT

CMOS circuits such as OTAs (operational transconductance amplifiers) operating in the subthreshold(weak inversion) region introduce a versatile solution for the realization of low-power VLSI building blocks. In this study, reliability analysis of symmetrical CMOS OTA is investigated and a new model is proposed to modelling of hot carrier induced degaradation. First and second order OTA-C filters are examined for exposing the proposed model's advantage.

1. GİRİŞ

Eleman güvenirliğinin belirlenmesi için yapılan yorma analizleri son yıllarda mühendislerin ilgisini çekmiştir [1]. Güvenirlik analizinin en önemli avantajı bozulmanın belirlenmesi için incelenen performans parametresinin(akım, gerilim, geçiş iletkenliği) bozulma mekanizmasının fiziğiyle ilgili olmasıdır [2].

Elemanlar veya devrelerdeki bozulmaların değişik nedenleri olabilir. VLSI devrelerinde devre hızının artırılması ve devrelerin kırmık üzerinde kapladıkları alanın azaltılması için yapılan boyut küçültme çalışmalarında karşılaşılan en büyük sorun sıcak taşıyıcı kaynaklı yorulma sorunudur. Besleme gerilimlerinin ve çalışma koşullarının değişmediği durumlarda transistor içindeki elektrik alanın artmasıyla istenilen çalışma koşullarından sapmalar görülür. Tranzistörde kalıcı hasarlar meydana gelir [4-5].

Güvenilirlik çalışmaları için hızlandırılmış testler le elemanın yormadan nasıl etkilendiği ve ömrü incelenir. Hızlandırılmış testlerle çok daha kısa sürede elemanın yorma güvenirliği hakkında bilgi edinilebilir [3]. CMOS OTA' lar düşük güç gerektiren VLSI devrelerinde kullanılırlar. Biyomedikal ve haberleşme alanında yaygın uygulamaları vardır. Daha önce yaptığımız çalışmalarda deneysel bulgular gözönüne alınarak OTA içinde yorulma oluşturacak tranzistörler benzetimle belirlenmişti [5].

Bu çalışmada; CMOS OTA' ların sıcak taşıyıcı kaynaklı yorulmadan nasıl etkilendikleri deneylerle incelenmiş ve bu yorulmaya modellemek üzere yeni bir model önerilmiştir. Önerilen modelin doğruluğu benzetim sonuçlarıyla desteklenmiştir.

2. MALZEME ve YÖNTEM

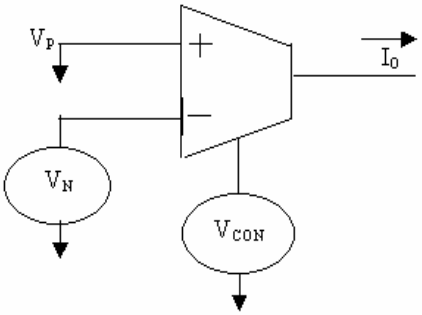
Güvenilirlik çalışmaları genelde elemanın tamamen bozulması veya elemanın çalışma performansındaki % değişim gözönüne alınarak yürütülmektedir. MOS VLSI devrelerdeki güvenirlik problemi elemanın çalışma performansındaki % değişim gözönüne alınarak yürütülmektedir. Tümdevrelerde eleman güvenirliliği, devre güvenilirliği ve sistem güvenirliliği birbirini izlemelidir.

Bir devrenin hatasız çalışabilmesi için tranzistorun en kötü çalışma durumu altında belirli bir süre boyunca, belirli bir sınır değerini aşmamasının sağlanması gerekir. Bu tür sınır değerlerinin belirlenmesi için güvenlik kriterleri oluşturulur.

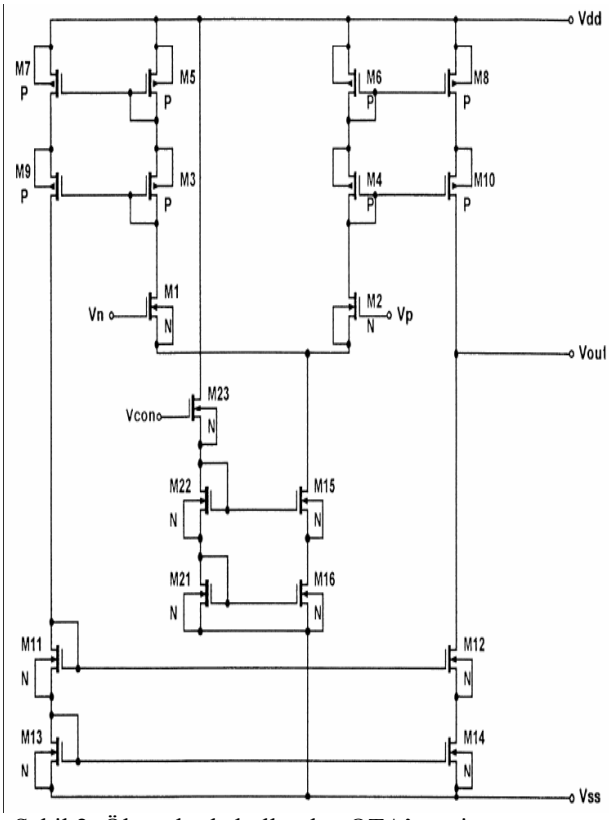
Teknolojinin geldiği nokta ve daha önceki çalışmalar göz önüne alındığında tranzistor ve OTA için güvenilirlik kriteri %10 olarak alınmıştır. Ölçümler İ.T.Ü. Elektronik Bölümü Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Dört saat boyunca yorma gerilimi uygulanmıştır. Veriler 30 dakika aralıklarla kaydedilmiştir.

OTA' yı yormak için Şekil.1' deki düzenek kurulmuştur. Deneylerde simetrik OTA(Şekil 2) kullanılmıştır. TÜBİTAK tarafından üretilmiş olan OTA kanal genişlikleri 5 ile 12 μm arasında

değişen ve kanal boyları 3µm olan ondört tansistör içermektedir. Oksit kalınlığı 450 A dür [6].



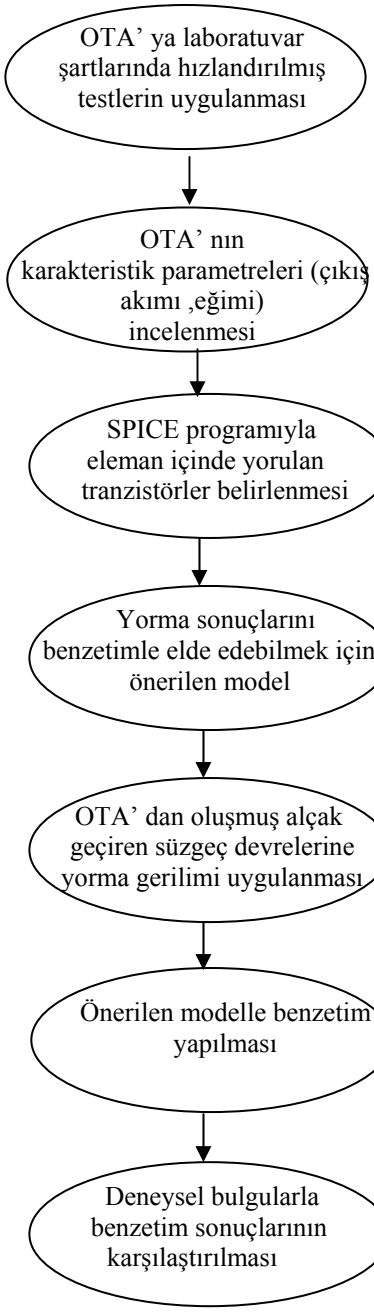
Şekil 1: OTA ölçüm düzeneği



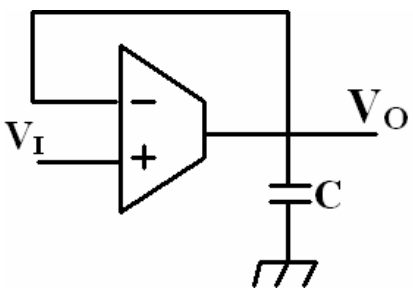
Şekil 2: Ölçümlerde kullanılan OTA' nın iç yapısı

Bu çalışmada deneyler ve benzetim için izlenen yol şematik olarak Şekil 3' teki akış diyagramında verilmiştir.

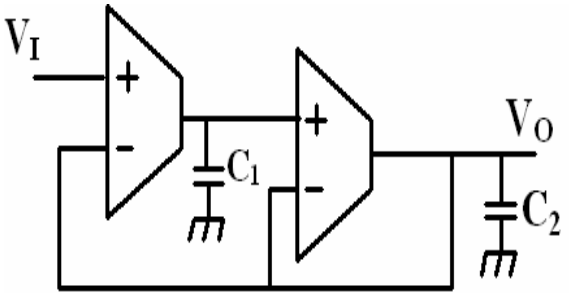
Çalışmanın ikinci bölümünde TÜBİTAK OTA'ları kullanılarak birinci dereceden ve ikinci dereceden alçak geçiren iki süzgeç devresi hazırlanarak yorulma davranışları ölçülmüştür.. Birinci ve ikinci dereceden alçak geçiren süzgeç yapıları sırasıyla Şekil 4 ve Şekil 5 ' te gösterilmiştir. Bir ve iki OTA'lı olarak tasarlanan süzgeçlerin transfer fonksiyonları ve kesim frekansları Tablo 1 de verilmiştir.



Şekil 3:OTA'nın Yorulma çalışmaları için akış diyagramı



Şekil 4: Birinci dereceden alçak geçiren süzgeç



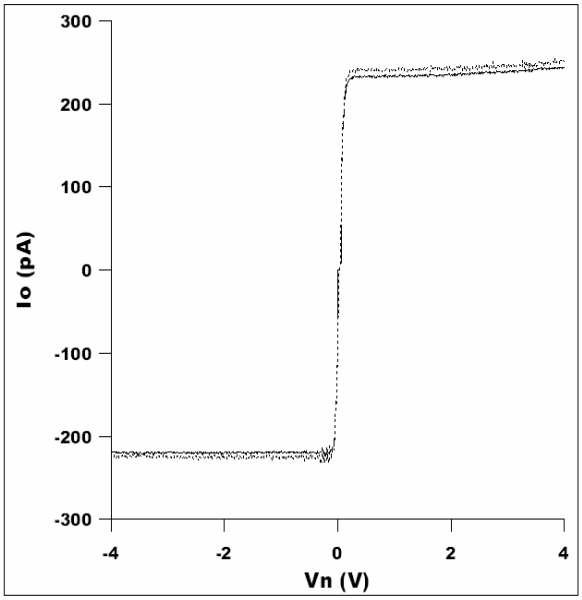
Şekil 5: İkinci dereceden alçak geçiren süzgeç

Tablo 1: Süzgeçlerin transfer fonksiyonları ve kesim frekansları

Süzgeç	Transfer fonksiyonu	Kesim frekansı
Alçak geçiren (1 OTA)	$\frac{w_p}{s+w_p}$	$f_p = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{G_m}{C}}$
Alçak geçiren (2 OTA)	$\frac{w_p^{\ 2}}{s^2 + \frac{w_p}{Q_p}s + w_p^{\ 2}}$	$f_p = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{G_{m1}G_{m2}}{C_1C_2}}$

3. BULGULAR

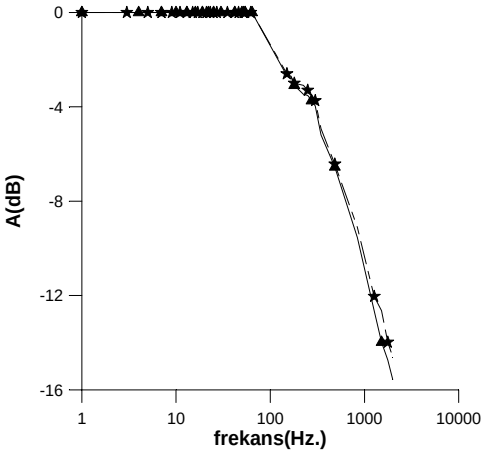
Daha önceki çalışmalarda Şekil.1' deki OTA ölçüm düzeneğinde örnek olarak iki OTA' ya yorma gerilimi uygulanmıştır. Eşikaltı bölgesinde çalışan OTA' nın yorma öncesi ve yorma sonrası I-V eğrisi Şekil 6' da görülmektedir [5].



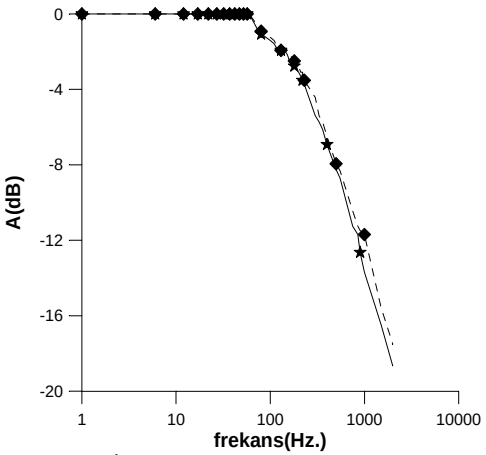
Şekil 6: OTA'nın çıkış akımı-giriş gerilimi eğrisi Kontrol gerilimi Vc=-3V yorma öncesi (kesiksiz çizgi), yorma sonrası(kesikli çizgi)

Ölçümler sonucunda yorma etkisiyle çıkış akımının %4.2 değiştiği görülmektedir [5].

Bu çalışmada OTA' dan oluşmuş süzgeçlerin sıcak taşıyıcı kaynaklı yorulmadan nasıl etkilendiklerini belirlemek amacıyla deneysel ölçümler yapılmıştır. Ölçümlerden elde edilen frekans eğrileri Şekil 7 ve Şekil 8 ' de görülmektedir.



Şekil 7: Birinci dereceden alçak geçiren süzgecin yorma öncesi ve yorma sonrası frekans eğrisi yorma öncesi(kesiksiz çizgi), yorma sonrası(kesikli çizgi)

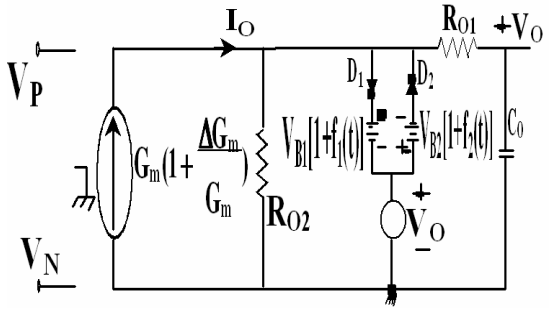


Şekil 8: İkinci dereceden alçak geçiren süzgecin yorma öncesi ve yorma sonrası frekans eğrisi yorma öncesi(kesiksiz çizgi), yorma sonrası(kesikli çizgi)

Bir OTA' lı alçak geçiren süzgecin yorma öncesi kesim frekansı 109.6 Hz. iken yorma sonrası 114.4 Hz. Olarak ölçülmüştür. Kesim frekansındaki değişim %4.4 olarak hesaplanmıştır. İki OTA' lı alçak geçiren süzgecin yorma öncesi kesim frekansı 193 Hz. iken yorma sonrası 201.8 Hz. olarak ölçülmüştür. Kesim frekansında %4.6 oranında artış görülmüştür.

Spice programı yardımıyla eleman üzerinde yapılan analizden OTA yapısı içindeki tüm tranzistörlerin sıcak taşıyıcı kaynaklı yormadan etkilenmedikleri görülmüştür. Yorulmanın M1-M2-M9-M10-M12 tranzistörlerinde olduğu görülmüştür[4]. Benzetim bu tranzistörlerin yorulması dikkate alınarak yapılmış ve deneysel sonuca yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Bu çalışmada, sıcak taşıyıcı etkisini modellemek üzere, OTA makromodeline[7] bazı ek elemanlar katılmıştır (Şekil 9). Lineer arakatlar ve Şekil 9' daki çıkış katındaki akım kaynağı ve çıkış dirençleriyle (R_{O1} ve R_{O2}) OTA' nın tüm geçiş iletkenliği ve açık devre gerilim kazancı simgelenmiştir. OTA' nın akım ve gerilim sınırlama davranışını göstermek için D_1-D_2 diyotları, V_{B1} -V_{B2} gerilim kaynakları ve V_O kullanılmıştır . Bu model kullanılarak benzetimler yapılmıştır. Önerilen model kullanılarak yapılan benzetimlerde OTA'nın çıkış akımının giriş gerilimi ile değişimi Şekil 10' da verilmiştir. Birinci dereceden ve ikinci dereceden süzgeçlerin frekans karakteristiklerindeki değişimler ise sırasıyla Şekil 11 ve Şekil 12' de görülmektedir.

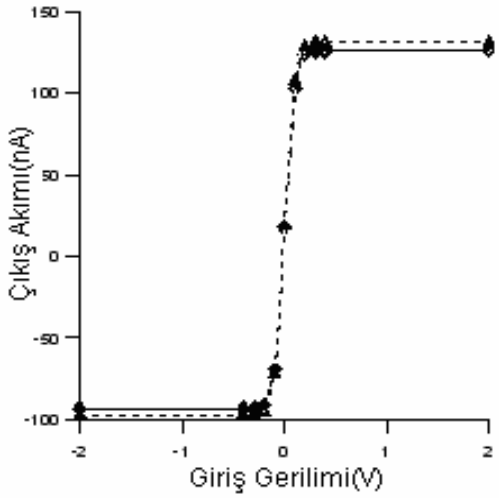


Şekil 9: CMOS OTA' larda sıcak taşıyıcı kaynaklı yormayı göstermek için kullanılan model

$G_M = B\left[2k_n I_A (W/L)_1\right]^{1/2}$
$I_{OMAX} = I_{OMİM} = -BI_A$
$RO = \dfrac{2}{(\lambda_P + \lambda_N) BI_A}$
$A_V = G_M R_O$
$R_{O2} = \dfrac{A_V}{G_M}$
$R_{O1} = R_O - R_{O2}$
$V_{B1} = -I_{OMAX} R_{O1} - V_D$
$V_{B2} = I_{OMIN} R_{O1} - V_D$

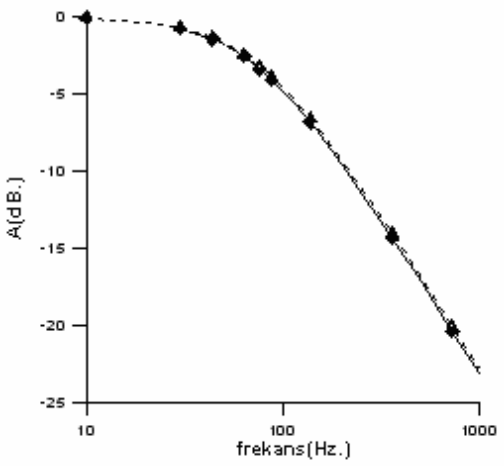
Şekildeki $\Delta G_M/G_M$, $f_1(t)$ ve $f_2(t)$ sıcak taşıyıcı etkisini modellemek üzere makromodele eklenmişlerdir.

$\ln\left(\dfrac{\Delta G_m}{G_m}\right) = 0.00860117.\ln t \ \ +1171.94$
$f_1(t) = \ln(V_{B1}) = -\left[0.0200934 \ln(t) + 0.342241\right]$
$f_2(t) = \ln(V_{B2}) = -\left[0.020304 \ln(t) + 0.321061\right]$



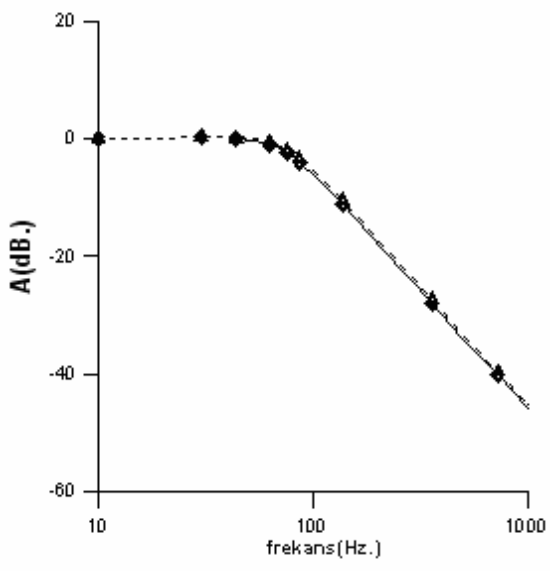
Şekil 10: Kurulan model kullanılarak yapılan benzetimden elde edilen, çıkış akımının yorma öncesi ve yorma sonrası giriş gerilimi ile değişimi eğrisi

Yapılan benzetim de yorma sonucu çıkış akımındaki değişim %4.2 olarak hesaplanmıştır. Deneysel ölçüm sonucu benzetimle elde edilebildiğinden yukarıda önerilen model kullanılarak OTA' dan oluşmuş süzgeçlerin sıcak taşıyıcı kaynaklı yorulmadan nasıl etkilendikleri benzetimle incelenmiştir.



Şekil 11: Kurulan model kullanılarak yapılan benzetimden elde edilmiş tek OTA'dan oluşmuş 1.dereceden alçak geçiren süzgecin yorma

öncesi(kesiksiz çizgi) ve yorma sonrası(kesikli çizgi) frekans eğrisi



Şekil 12: Kurulan model kullanılarak yapılan benzetimden elde edilmiş iki OTA'dan oluşmuş 2.dereceden alçak geçiren süzgecin yorma öncesi(kesiksiz çizgi) ve yorma sonrası(kesikli çizgi) frekans eğrisi

Benzetim sonucu elde edilen frekans değişimleri Tablo 2' de görülmektedir. Deneysel bulgulardaki yüzde değişim bir OTAlı ve iki OTAlı alçak geçiren süzgeç için %4.4 ve %4.6 olarak gözlemlenmişti. Benzetim sonuçlarına bakıldığında oldukça iyi bir uyum görülmektedir.

Tablo 2 : Filtrelerin yorma öncesi ve yorma sonrası kesim frekansları

	Kesim Frekansı		
	Yorma öncesi(Hz.)	Yorma sonrası(Hz.)	Yüzde değişim(%)
1.dereceden alçak geçiren süzgeç	86	89.87	4.5
2.dereceden alçak geçiren süzgeç	75	78.37	4.5

4. SONUÇ

OTAlar düşük güç tüketiminden dolayı biyomedikal ve haberleşme alanında özellikle tercih edilirler. Eşik altında çalışan OTA' nın çıkış akımında artış olduğu gösterilmişti. Bu çalışmada OTA' dan oluşmuş devrelerin sıcak taşıyıcı kaynaklı yorulmadan nasıl etkilendiklerini incelemek için alçak geçiren süzgeç devreleri incelenmiştir. Süzgeçlerin kesim frekanslarının da sıcak taşıyıcı kaynaklı yorma nedeniyle değiştiği belirlenmiştir. Benzetim yapmak amacıyla sıcak taşıyıcı kaynaklı yorulmayı modelleyebilecek yeni bir model önerilmiştir. Bu model kullanılarak benzetimler yapılmış ve benzetim sonuçlarının deneysel bulgulara yakın olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

[1] Guangbin Y., Accelerated Life Tests at Higher Usage Rates , IEEE TRANSACTIONS ON RELIABILITY, Vol. 54, No. 1, 53-57, March 2005.

[2] Zehua C., Shurong Z., Lifetime Distribution Based Degradation Analysis , IEEE TRANSACTIONS ON RELIABILITY, Vol. 54, No. 1, 3-10, March 2005.

[3] Wayne B. N., A Bibliography of Accelerated Test Plans, IEEE TRANSACTIONS ON RELIABILITY, Vol. 54, No. 2,194-197, June 2005.

[4] Özcelep Y., Kuntman A., Kuntman H., On The Reliability of Symmetrical CMOS OTA Operating in Subthreshold Region, Proceedings of MELECON'06: The 13th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference, pp.191-194, 16-19 May 2006, Benalmádena, Málaga, Spain.

[5] Özcelep Y., Kuntman A., Kuntman H., CMOS OTA Eşik Altı Çalışma Güvenilirliği, ELECO'2004: Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, Bildiri Kitabı (Elektronik-Bilgisayar), s. 100-104, EMO Bursa Şubesi, 8-12 Aralık 2004, Bursa.

[6] Düzenli G. , Kılıç Y. , Kuntman H. and Ataman A. , 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.

[7] Kuntman H. , Simple and accurate nonlinear OTA macromodel for simulation of CMOS OTA-C active filters, INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRONİCS, Vol.77, No.6, pp.993-1006, 1994.