

DÜŞÜK BESLEME GERİLİMLİ CMOS OTRA TASARIMI VE PARALEL İMMİTANS BENZETİMİNDE KULLANILMASI

Alper Duruk¹ Hakan Kuntman²

¹ST Microelectronics

Değirmen Yolu Cad. Huzur Hoca Sok. No: 84 Kat: 24, İçerenköy, İstanbul
e-posta: alper.duruk@st.com

²İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi,
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği, 34469, Maslak, İstanbul
e-posta: kuntman@ehb.itu.edu.tr

Anahtar sözcükler: OTRA, Düşük besleme gerilimli tasarım, İmmitans benzetimi, Akım modlu devre

ÖZET

Bu çalışmada, yeni bir CMOS OTRA topolojisi önerilmiştir. Önerilen devre 1.2V'luk düşük besleme gerilimlerinde çalışabilmektedir. Devrenin başarımı, CMOS 0.13 μm ST Microelectronics Technology tranzistor modeli kullanılarak hem eleman karakterizasyonu ile, hem de uygulama örneği olarak seçilen OTRA tabanlı bir paralel immitans benzetimi devresi üzerinde gösterilmiştir.

1.GİRİŞ

Günümüzde yüksek hızlı işaret işleme gereksinimi arttıkça, yapılan devre tasarımlarında geleneksel gerilim-modlu devreler yerine akım-modlu devreler tercih edilmeye başlanmıştır. Piyasada ticari olarak Norton kuvvetlendiricisi ismi altında üretilen işlemsel geçiş direnci kuvvetlendiricisi (OTRA: Operational Transresistance Amplifier) akım-modlu devre tasarımında sağladığı üstünlüklerden dolayı dikkat çekmeye başlamıştır [1,2]. OTRA'nın band genişliğinin idealde kazancından bağımsız olması ve giriş ve çıkış empedanslarının çok düşük olması en önemli özellikleridir. Ancak, ticari gerçeklemler giriş uçlarının topraklanmasını sağlayamamakta ve akımın sadece tek yönde akmasına izin vermektedir. Bu sakıncaları düzeltmek için literatürde bazı yapılar önerilmiştir. Fakat bu yapılar hem çok kompleks içeriklidir hem de günümüzün 1.2V gibi düşük besleme gerilimli tasarımlarına uygun çözümler değildir [3-9]. Günümüzde 1V besleme geriliminde çalışan ve minimum tranzistor boyu CMOS 0.09 μm'ye kadar ulaşmış olan devre tasarımları yapılabilmektedir. Dolayısıyla gelişen teknolojiye düşük besleme gerilimlerinde bile yüksek başarılı olarak çalışabilecek OTRA elemanına gereksinim duyulacaktır. Bu amaçla, ST Microelectronics şirketinin, 1.2V besleme geriliminde çalışabilen CMOS 0.13 μm teknolojisine ait tranzistor modelleri kullanılarak yeni bir OTRA tasarımı yapılmıştır. Önerilen OTRA yapısı, tek OTRA ile paralel

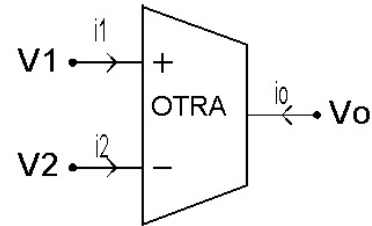
immitans benzetimi uygulamasında kullanılmış, yüksek başarımlı gösterdiği kullanılan benzetim programının sonuçları aracılığıyla doğrulanmıştır.

2. ÖNERİLEN CMOS OTRA TOPOLOJİSİ

OTRA'nın devre sembolü Şekil-1'de görülmektedir. Elemanın tanım bağıntıları matrisel olarak

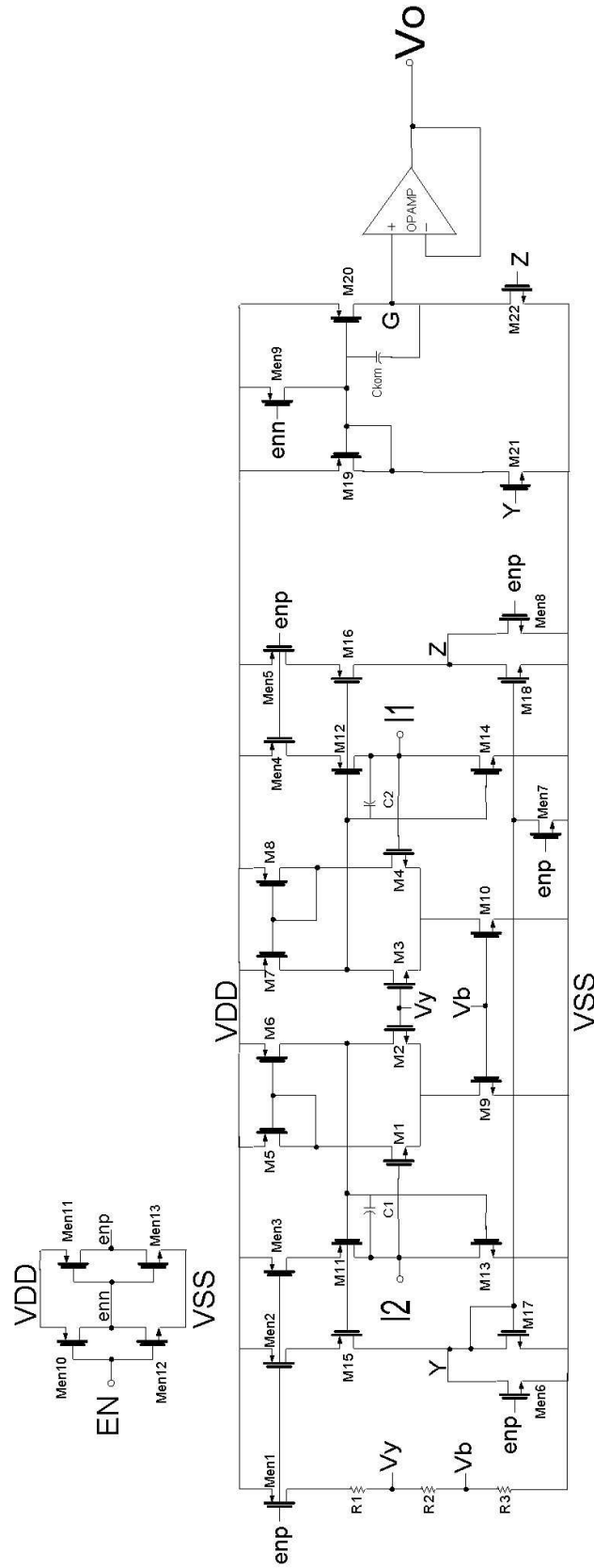
$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ R_m & -R_m & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_o \end{bmatrix} \quad (1)$$

şeklinde karakterize edilebilir. Giriş ve çıkış uçlarının hepsi de idealde görünürde toprak potansiyelindedir ve devrenin R_m geçiş direnci sonsuzdur. Giriş uçlarının düşük empedanslı olmasından dolayı parazitik kapasitelerden etkilenmesi daha düşüktür ve OTRA'ların arka arkaya bağlanmasına olanak sağlar.



Şekil 1: OTRA'nın devre sembolü

Önerilen CMOS OTRA topolojisi Şekil 2'de verilmiştir. Bu şekilde, devrenin gerektiği zaman beslemeden akım çekmeden, tamamen susturulması için eklenen 13 adet "sükunet" tranzistorları ile, V_y ve V_b gerilimlerini sağlayan kutuplama bölümü de gösterilmiştir. OTRA, "EN" gerilimi VSS potansiyelinde olduğu sürece aktif olarak çalışmaktadır. Dirençler aracılığıyla V_y düğümü "0" toprak potansiyelinde kutuplanmaktadır. I_1 (+) ve I_2 (-) girişleri de yapıdaki, birer giriş düğümü V_y gerilimine bağlı iki adet diferensiyel kuvvetlendirici sayesinde toprak potansiyelinde bulunmaktadır.



Şekil 2: Önerilen CMOS OTRA topolojisi

M12, M14 ve M11, M13 transistörlerinin oluşturdukları AB sınıfı çalışma, düşük besleme gerilimlerinde bile çalışmaya imkan sağlamaktadır. M4, M12 ve M1, M11 transistörleri arasındaki negatif geribeslemede OTRA'nın giriş dirençlerinin oldukça düşük olmasını sağlamaktadır. I_1 ve I_2 girişlerindeki fark akımının oluşturduğu, Y ve Z düğümlerindeki fark gerilimi, diferensiyel kuvvetlendiricisi sayesinde daha da kuvvetlendirilmekte ve G düğümünde büyük genliğe ulaşmış gerilim işareti elde edilmektedir. Daha sonra G düğümündeki işaret, çıkış direncinin düşük olması amacıyla birim kazançlı ayırıcı devreye uygulanmaktadır. Bu sayede istenen OTRA çıkış gerilimi elde edilmektedir.

3. ÖRNEK UYGULAMA VE SİMÜLASYON SONUÇLARI

Önerilen CMOS OTRA topolojisi, Tablo 1'de verilen transistör boyutları ve eleman değerleri ile ST Microelectronics'in CMOS 0.13 μm teknolojisine ait transistörlerin *spectre* modelleri kullanılarak CADENCE benzetim programında karakterize edilmiştir. Besleme gerilimi olarak $\pm 0.6\text{V}$ 'luk kaynaklar kullanılmıştır.

Tablo 1: Önerilen OTRA yapısındaki transistör boyutları ile diğer eleman değerleri

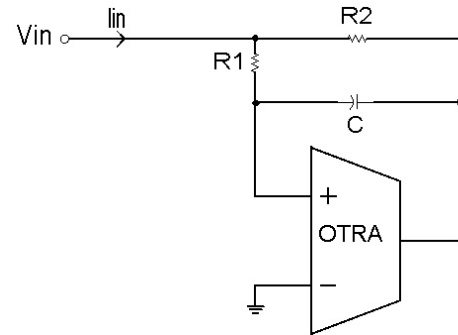
Transistor ismi	W / L
M1, M2, M3, M4	108.8 μm / 0.3 μm
M5, M6, M7, M8, M19, M20	3.6 μm / 0.3 μm
M9, M10	13.6 μm / 0.4 μm
M11, M12, M15, M16	18 μm / 0.3 μm
M13, M14	17 μm / 0.3 μm
M17, M18	8.5 μm / 0.3 μm
M21, M22	1.7 μm / 0.3 μm
Men(1-5)	100.8 μm / 0.13 μm
Men6, Men7, Men8	3.4 μm / 0.13 μm
Men9	0.4 μm / 0.13 μm
Men10, Men11	28.8 μm / 0.13 μm
Men12, Men13	13.6 μm / 0.13 μm
Diğer elemanlar	Değer
C _{kom}	75 fF
C1, C2	100 fF
R1	6.4 K Ω
R2	1.6 K Ω
R3	4.8 K Ω

Yapılan analizler sonucunda Tablo 2'de verilen performans sonuçları elde edilmiştir. CMOS OTRA'nın normalize edilmiş geçiş direnci kazancı da Şekil 4'de verilmiştir. Bu değerler incelendiğinde giriş-çıkış direnç değerlerinin oldukça küçük olduğu, 1.2V toplam besleme geriliminde 0.943 mV'luk salınım aralığına sahip olduğu, birim-kazanç geçiş direnci band genişliğinin ise 2.771 GHz gibi oldukça büyük bir değerde olduğu görülmektedir.

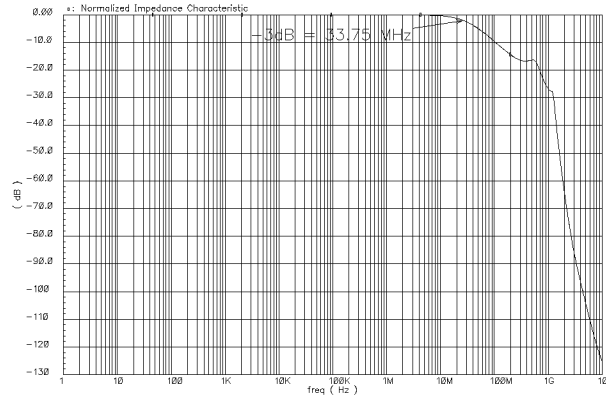
Tablo 2: Önerilen CMOS OTRA'nın performansı

Besleme gerilimi	$\pm 0.6\text{V}$
Maksimum çıkış gerilimi	0.485 V
Minimum çıkış gerilimi	-0.458 V
Giriş direnci	$R_{I1} = R_{I2} = 8 \Omega$
Çıkış direnci	0.9 Ω
Giriş ofset akımı	6.59 μA
Geçiş direnci kazancı (R _m) (DC)	12410
Geçiş direnci kazancı ($f_{-3\text{dB}}$)	33.75 MHz
Birim-kazanç geçiş direnci band genişliği	2.771 GHz
Güç harcaması	8.89mA, 10.67 mW

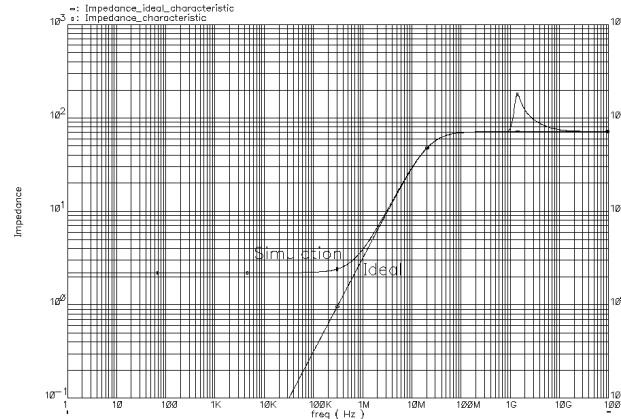
CMOS OTRA yapısı Şekil 3'de verilen paralel R-L immitans benzetimi yapısında kullanılmıştır [10]. Bu devrede eşdeğer paralel endüktans $L_{eq} = C/(G1.G2)$, eşdeğer admitans ise $G_{eq} = G1 + G2$ ile belirlenmektedir. Bu yapıda $R1 = 250 \Omega$, $R2 = 100 \Omega$, $C = 20 \text{ pF}$ kullanılmıştır. Hesaplanan paralel endüktans $L_{eq} = 0.5 \mu\text{H}$, simule edilen değer $L_{eq} = 0.498 \mu\text{H}$, hata payı %0.4'tür. Hesaplanan paralel eşdeğer direnç $R_{eq} = 71.43 \Omega$, simule edilen değer $R_{eq} = 71 \Omega$, hata payı ise %0.6'dır. Şekil 5'de CMOS OTRA yapısının kullanıldığı immitans benzetiminin frekans karakteristiği sonuçları verilmiştir. Analiz sonuçlarında görülmektedir ki bu paralel immitans benzetimi 1-30 MHz frekans aralığında lineer olarak çalışabilmektedir.



Şekil 3: CMOS OTRA ile paralel R-L immitans benzetimi yapısı



Şekil 4: CMOS OTRA'nın normalize edilmiş geçiş direnci kazancı (AC analiz sonucu)



Şekil 5: Paralel immitans benzetiminin frekans karakteristiği sonuçları

4. SONUÇ

Bu çalışmada, yapılan simülasyon sonuçlarında ortaya çıkan değerlere göre 1.2V gibi düşük besleme geriliminde bile yüksek başarımlı olarak çalışabilen yeni bir CMOS OTRA yapısı önerilmiştir. Bu yapının kullanıldığı tek OTRA'lı paralel immitans benzetimine ait teorik ve benzetim sonuçları birbirlerine çok yakındır. Bu şekilde 1.2V besleme geriliminde 1-30 MHz arasında lineer çalışabilen paralel immitans gerçekleştirilebilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Frederiksen T. M., Davis W. F., Zobel D.W., December 1971, A new current-differencing, single supply operational amplifier, IEEE Journal of Solid State Circuits, Vol. SC-6, No. 6, pp. 340-347
- [2] National Semiconductor Corporation: The LM3900: A new current-differencing quad of $\pm$ input amplifiers, September 1972, Linear Applications Data Book, Application Note 72 (AN-72)
- [3] Chen J.-J., Tsao H.-W., Chen C.-C., October 1992, Operational transresistance amplifier using CMOS technology, Electronics Letters, Vol. 28, No. 22, pp. 2087-2088
- [4] Chen J.-J., Tsao H.-W., Liu S.-I., Chiu W., June 1995, Parasitic-capacitance-insensitive current-mode filters using operational transresistance amplifiers,

IEE Proc. Circuits Devices System, Vol. 142, No. 3, pp.186-192

- [5] Chui W., Tsay J.-H., Liu S.-I., Tsao H.-W., Chen J.-J., October 1995, Single-capacitor MOSFET-C integrator using OTRA, Electronics Letters, Vol. 31, No.21, pp.1796-1797

- [6] Salama K. N., Soliman A. M., 1999, Universal filters using operational transresistance amplifiers, AEÜ International Journal of Electronics and Communications, Vol. 53, No. 1, pp. 49-52

- [7] Salama K. N., Soliman A. M., March 1999, CMOS operational transresistance amplifier for analog signal processing, Microelectronics Journal, Vol.30, No.9, pp.235-245

- [8] Salama K.N., Soliman A. M., July/August 2000, Active RC applications of the operational transresistance amplifier, Frequenz, Vol. 54, No.7-8, pp.171-176

- [9] Elwan, H.; Soliman, A. M.; Ismail, M., March 2001, A CMOS norton amplifier-based digitally controlled VGA for low-power wireless applications, Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing, IEEE Transactions on , Vol.48, Issue: 3 , pp.245-254

- [10] Kaçar F., Çam U., Çiçekoğlu O., Kuntman H., Kuntman A., Novel OTRA-based grounded parallel immitance simulator topologies, Proceedings of ELECO'2001, pp.19-23, 7-11 November 2001, Bursa