

## OTA'lar Kullanılarak İndüktörsüz Ayarlanabilir İdeal Voltaj ve Akım Transformatörü Gerçekleşmesi

Yavuz SARI

Sakarya Üniversitesi, Hendek Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, 54300, Hendek, Sakarya  
sari@sakarya.edu.tr

(Geliş/Received:21.03.2016; Kabul/Accepted:03.08.2016)

### Özet

Bu çalışmada, entegre devre uyumlu, indüktörsüz, ayarlanabilir sarım oranına sahip olan, ideal bir voltaj ve akım transformatörü İşlemsel Geçiş İletkenliği Kuvvetlendiricileri (Operational Transconductance Amplifier, OTA) kullanılarak elde edilmiştir. Çalışmada uç denklemleri ideal bir transformatörünkine eşdeğer olan dirençli merdiven tipi bir devre kullanılmıştır. Devre, direnç değerlerini değiştirme yoluyla hem voltaj transformatörü, hem de akım transformatörü olarak kullanılabilir. Merdiven tipi devredeki dirençler, OTA eşdeğerleriyle değiştirilerek ideal voltaj ve akım transformatörü gerçekleştirilmiştir. Son olarak, yalnızca OTA'lar kullanılarak elde edilen iki kapılı devre, iki örnek için SPICE programı yoluyla test edilerek başarılı sonuçlar alınmıştır. Önerilen ideal transformatörün sarım oranı, harici bir voltaj veya akım kaynağı ile kontrol edilebilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Devre Teorisi ve Tasarımı, İndüktörsüz Transformatör, OTA.

### Implementation of an Inductor-Free Adjustable Turns-Ratio Ideal Voltage and Current Transformer Using OTA's

#### Abstract

In this study, an inductor-free adjustable turns-ratio ideal voltage and current transformer, which is integrated circuit compatible, is developed using Operational Transconductance Amplifiers (OTAs). Starting from a resistive ladder network, whose terminal equations are equivalent to those of an ideal transformer and can be used either a voltage transformer or a current transformer by changing only resistor values, the ideal transformer is simulated using only OTAs. Finally, operation of the obtained OTA two-port is successfully tested by SPICE software. The turns-ratio of the proposed ideal transformer can be digitally controlled by an external voltage or current source.

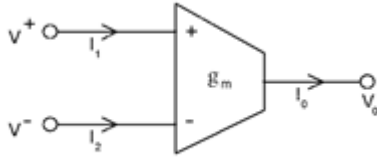
**Keywords:** Circuit Theory and Design, Inductor-Free Transformer, OTA.

#### 1. Giriş

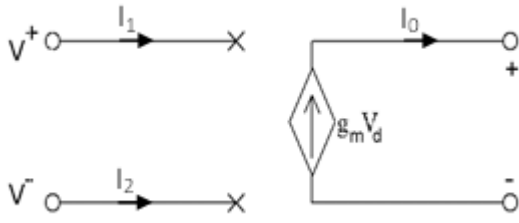
Büyük boyutlu, ağır ve hantal yapılarından dolayı transformatör ve bobinler entegre devrelerde kullanılmazlar. Buna karşın, aktif devreler yapısal basitlik, elektronik ayarlanabilirlik, yüksek frekans yeteneği ve entegre devre uyumluluğuna sahiptir ve transformatör ve bobinlerin aktif devreler kullanılarak gerçekleştirilmesi mümkündür [1,2,3]. İdeal bir transformatörün OTA'lı bir benzetimi Sari Y. ve Ferikoglu A. tarafından yapılmıştır [4]. Bu çalışmada indüktörsüz, ayarlanabilir sarım oranına sahip, ideal voltaj ve akım transformatörü gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın farkı, önerilen devrenin hem voltaj hem de akım transformatörü olarak kullanılabilmesidir.

OTA, giriş voltajı ile çıkış akımını kontrol edebilen, fark alıcılı giriş voltajı ile kontrollü bir akım kaynağı (differential-input voltage-controlled current source, DVCCS) elemanıdır ve iyi bir doğrusallığa sahiptir [5,6]. OTA'lar analog devre tasarımlarında 1–100 MHz frekans çalışma aralığına sahiptir. Bir OTA'nın devre sembolü Şekil 1' de ve eşdeğer devresi Şekil 2' de görülmektedir. Çıkış akımı,  $I_o = g_m V_d$  ifadesi ile bulunur.  $V_d$ , iki giriş arasındaki voltaj farkıdır,  $V_d = V^+ - V^-$ .  $g_m$ , bir tasarım parametresi olarak kullanılabilen geçiş iletkenliğidir ve çıkış akımının giriş gerilimine oranını ( $g_m = I_o / V_d$ ) temsil eder [7,8,9,10]. Bu geçiş iletkenliği, bilinen aktif direnç-kapasitans (RC) devrelerinde kullanılan dirençlerdekine benzer şekilde bir tasarım parametresi olarak kullanılır. Geçiş

iletkenliği,  $g_m$ , uzun yıllardan beri, sağlanan bir kutuplama akımı (yükseleç kutuplama akımı, amplifier bias current,  $I_{abc}$ ) ile ayarlanabilme özelliğine sahiptir. Bu özelliği, devre elemanlarının elektronik ayarlanabilmesini sağlar [7,11]. Şunu da ifade etmek gerekir ki, bir entegre devre için, özellikle farklı tasarımların elde edilmesinde, elektronik ayarlanabilirlik çok önemli bir üstünlüktür.



Şekil 1. Bir OTA'nın devre sembolü



Şekil 2. Bir OTA'nın eşdeğer devresi

Şekil 2' deki OTA'nın uç denklemleri aşağıda görülmektedir.

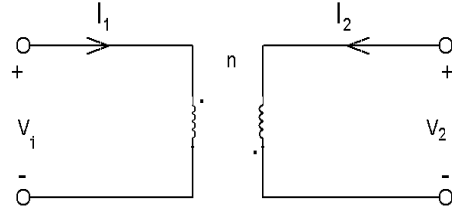
$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ g_m & -g_m & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V^+ \\ V^- \\ V_0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

## 2. Gerçekleme

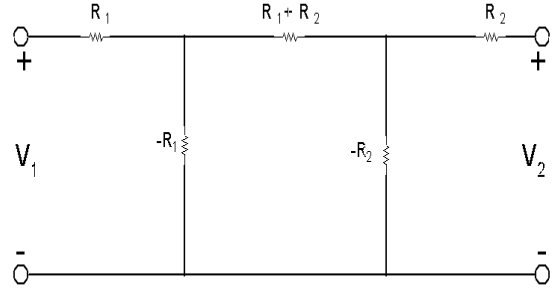
Şekil 3' de ideal bir transformatörün devre sembolü görülmektedir. Şekil 4' de görülen dirençli merdiven tipi devrenin ideal bir transformatöre eşdeğer olduğu gösterilebilir. Şekil 4'ün basit analizi aşağıdaki eşitlikleri verir.

$$V_1 = -\frac{R_1}{R_2} V_2 \quad (2)$$

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1} I_2 \quad (3)$$



Şekil 3. İdeal bir transformatörün devre sembolü



Şekil 4. İdeal bir transformatörün dirençli eşdeğeri,  $n=R_1/R_2$

Şekil 4' de verilen devredeki hem pozitif, hem de negatif dirençler sadece OTA'lar kullanılarak gerçekleştirilebilir. İdeal ayarlanabilir sarım oranlı bir transformatör elde etmek için OTA'ların geçiş iletkenliği değerleri aşağıdaki gibi seçilmelidir.

$$g_{m1} = g_{m2} = g_{m3} = \frac{1}{R_1} \quad (4)$$

$$g_{m4} = g_{m5} = \frac{1}{R_1+R_2} \quad (5)$$

$$g_{m6} = g_{m7} = g_{m8} = \frac{1}{R_2} \quad (6)$$

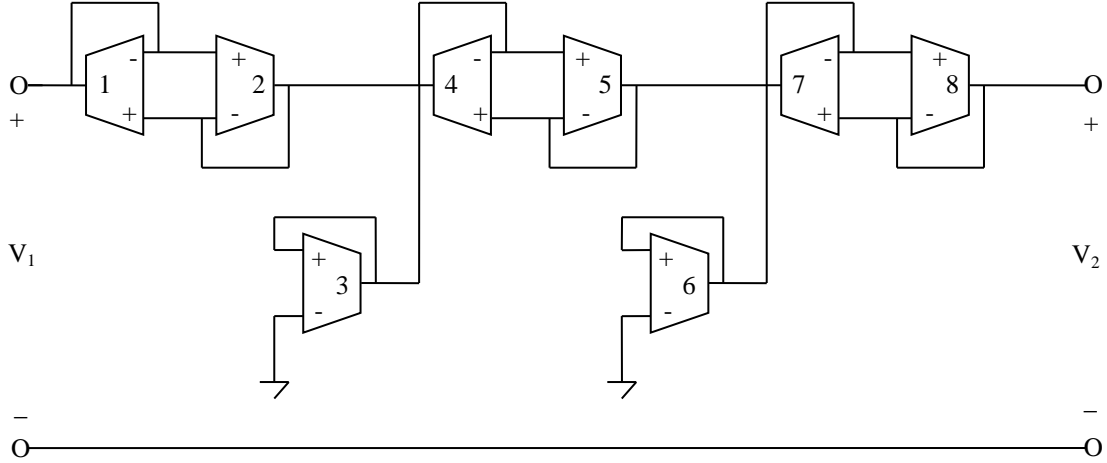
Elde edilen ayarlanabilir sarım oranlı transformatör devresi Şekil 5'de görülmektedir.

## 3. Örnekler

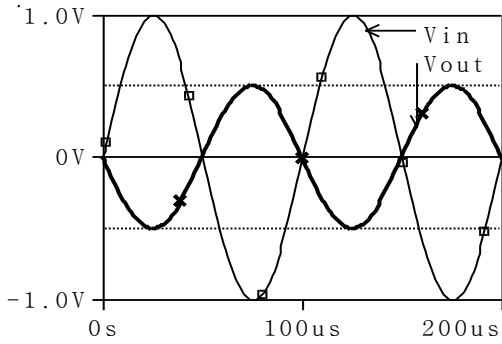
Elde edilen ayarlanabilir sarım oranlı transformatör devresi, iki örnek ile, simülasyon yazılım programı SPICE ile bilgisayarda test edilmiştir. Geçiş iletkenliği parametresi değerleri Örnek 1 için  $g_{m1}=g_{m2}=g_{m3}=0.1$  (mA/V),  $g_{m4}=g_{m5}=0.067$  (mA/V),  $g_{m6}=g_{m7}=g_{m8}=0.2$  (mA/V) ve Örnek 2 için  $g_{m1}=g_{m2}=g_{m3}=0.2$

(mA/V),  $g_{m4}=g_{m5}=0.067$  (mA/V),  
 $g_{m6}=g_{m7}=g_{m8}=0.1$  (mA/V) olarak seçilmiştir. Her iki örnek için de yük direnci  $1\text{ K}\Omega$  seçilmiştir. Örnek 1 için giriş voltajı tepe değeri  $1\text{ V}$ , Örnek 2 için ise  $2\text{ V}$  olarak seçilmiştir. Örnek 1 için elde edilen giriş ve çıkış voltaj dalga biçimleri Şekil 6' da, giriş ve çıkış akım dalga biçimleri

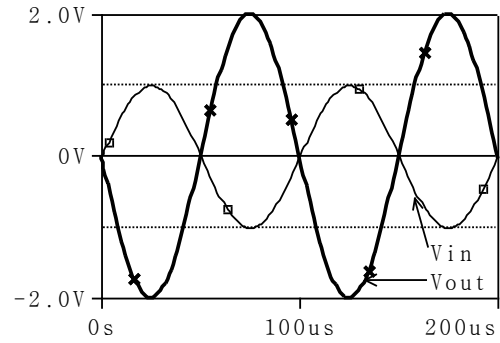
ise Şekil 7' de verilmiştir. Örnek 2 için elde edilen giriş ve çıkış voltaj dalga biçimleri Şekil 8' de, giriş ve çıkış akım dalga biçimleri ise Şekil 9' da verilmiştir. Şekil 6, 7, 8 ve 9' dan görüleceği gibi Örnek 1 için devre akım yükseltici olarak çalışmakta, Örnek 2 için ise devre gerilim yükseltici olarak çalışmaktadır.



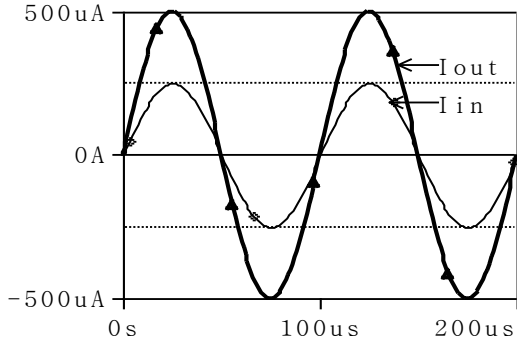
Şekil 5. Şekil 3'deki ideal transformatörün OTA'lar ile gerçekleştirilmesi



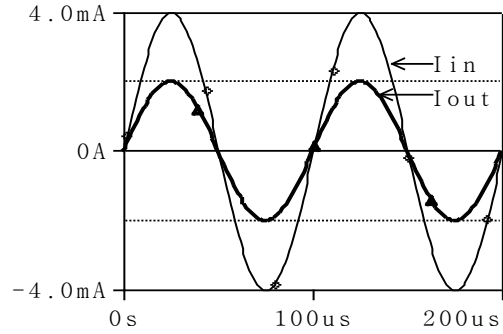
Şekil 6.  $n=2$  için gerçekleştirilen transformatörün giriş ve çıkış voltaj dalga şekilleri



Şekil 8.  $n=1/2$  için gerçekleştirilen transformatörün giriş ve çıkış voltaj dalga şekilleri



Şekil 7.  $n=2$  için gerçekleştirilen transformatörün giriş ve çıkış akım dalga şekilleri



Şekil 9.  $n=1/2$  için gerçekleştirilen transformatörün giriş ve çıkış akım dalga şekilleri

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmada, ideal bir transformatörün, aktif devre eşdeğeri verilmektedir. Verilen eşdeğer devrede, ideal transformatör sadece OTA'lar kullanılarak simüle edilmektedir. Eşdeğer devre, OTA'ların geçiş iletkenliklerinin değiştirilmesi yoluyla hem voltaj hem de akım transformatörü olarak kullanılabilir. Devre dijital sistemlere uyumlu ve entegre devre teknolojisinde uygulanabilir. OTA'ların kontrol voltaj veya akımlarını değiştirme yoluyla transformatörün sarım oranının ayarlanabilmesi önerilen devrenin üstün bir yönüdür. Gerçeklemeler SPICE simülasyon yazılımı ile yapılmıştır. Şunu da belirtmek gerekir ki, önerilen transformatörün çalışma aralığı, devrede kullanılan OTA'ların doğrusallık koşullarıyla sınırlıdır.

## 6. Kaynaklar

1. Anday F., 'Introduction to Network Synthesis', Technical University of İstanbul Press., 1992
2. Bialko M. and Newcomb W., 'Generation of All Finite Linear Circuit Using The Integral DVCCS', IEEE Transaction on Circuit Theory, vol. CT-18, page 733-736, Nov. 1971
3. Schaumann R., Ghausi M. S., Laker K. R., 'Design of Analog Filters, Passive, Active RC, and Switched Capacitor', Printice Hall, 1990.
4. Sari Y., Ferikoglu A., 'Simulating Ideal Transformers Using OTA's', Electronics World, November 2004.
5. Mahapatra K. P., Singh M., Kumar N., 'Realization of Active Filters Using Operational Transconductance Amplifier (OTA)', J. Instrum. Soc. India, 35(1), 1-9.
6. Deliyannis T.L., et al. 'Active Elements', Continuous-Time Active Filter Design, Boca Raton: CRC Press LLC, 1999.
7. Chang C.-M., 'New Multifunction OTA-C Biquads', IEEE Transactions on Circuits and Systems-II: Analog and Digital Signal Processing, Vol.46, No.6, pp.820-824, June 1999.
8. Lee K.J., Huang K.S., Wang W.C., 'Concurrent test method for OTA-C filters', Electronics Letters, vol.33, No.1, 1997.
9. Acar C., Anday F. and Kuntman H., 'On the realization of OTA-C filters', Int. J. Circuit Theory and App., vol. 21, page 331-341, 1993.
10. Abuelma'atti M. T. and Bentrchia A., 'A New Mixed-Mode OTA-C Filter/Oscillator Circuit', J. of Active and Passive Electronic Devices, Vol. 3, pp. 211-221, 2008.
11. Chang C. M., Chen P. C., 'Universal active filter with current gain using OTA's', Int. J. Electron., Vol.71, No.5, pp.805-808, May 1991.