

ENDÜKTANS BENZETİMİNDE DO-OTA İLE YENİ OLANAKLAR

Hakan KUNTMAN

Oğuzhan ÇİÇEKOĞLU²

Ayten KUNTMAN³

Serdar MENEKAY⁴

¹Istanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektronik ve Hab. Müh.Bölümü, 80626, Maslak, İstanbul

E-Mail: kuntman@ehb.itu.edu.tr

²Boğaziçi Üniversitesi, M.Y.O. Elektronik Prog. , 80815 Bebek-İstanbul

E-Mail:cicekoglu@boun.edu.tr

³Istanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Müh. Böl., 34800, Avcılar, İstanbul

E-Mail:akuntman@istanbul.edu.tr

⁴Hava Harp Okulu, Yeşilyurt, İstanbul

E-Mail: s.menekay@hho.edu.tr

Anahtar sözcükler: analog devreler, OTA-C devreleri, endüktans benzetimi, DO-OTA

Abstract: In this paper four lossy and one lossless inductance simulator topologies employing a single DO-OTA are presented. For the topologies proposed the inductance L_{eq} and the series resistance R_{eq} are independently adjustable. The topologies employ a single capacitor and are canonic in the number of capacitors. The resistors in the topologies can easily be implemented also with DO-OTAs. In this case the topologies proposed change to DO-OTA-C inductor simulators which is important from the integration point of view. Simulation results are included to verify theory.

1. GİRİŞ

Bir ucu topraklanmış endüktansların aktif devrelerle benzetimi, süzgeç ve osilatör tasarımından parazitik endüktansların dengelenmesine kadar uzanan geniş bir uygulama alanında kullanılmaktadır [1-8]. Literatürde aktif eleman olarak işlemsel kuvvetlendirici, akım taşıyıcı, OTA gibi elemanlar kullanılarak gerçekleştirilmiş olan çok sayıda tasarım olanağına rastlanmaktadır. Aktif benzetimle elde edilen endüktanslar benzetimi yapılan elemanın tipine göre (L seri $\pm R$, L paralel $\pm R$), kullanılan aktif ve pasif elemanların sayısına göre, benzetimi yapılan elemanın bir ucunun topraklanmış olup olmamasına göre sınıflandırılabilirler. Bunun ötesinde, devreleri kayıplı veya kayıpsız bir endüktansın benzetimini yapmalarına göre de sınıflandırmak mümkündür.

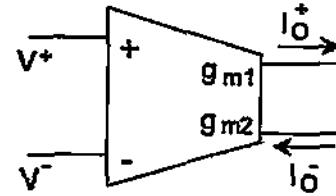
İşlemsel kuvvetlendiricilerle oluşturulan klasik gerilim modlu aktif devrelerle kıyaslandığında, akım modlu devre tasarımları, daha yüksek frekanslarda çalışabilmeleri nedeniyle günümüzde gittikçe yaygınlaşarak kullanılmaktadır. OTA, akım taşıyıcı, DO-OTA, DO-CCII, FTFN gibi aktif elemanlar kullanılarak oluşturulan akım modlu analog devreler, lineerliklerinin ve band genişliklerinin gerilim modlu

devrelere göre daha yüksek olması, daha büyük dinamik aralığı göstermeleri nedeniyle tümdevre tasarımında önemli bir rol oynamaktadırlar [1-13].

Literatürde imitans ve endüktans benzetimi sağlamak üzere gerçekleştirilmiş bulunan çok sayıda devre yapısına rastlanmasına rağmen, bu tür benzetimin DO-OTA ile oluşturulduğu çok az sayıda yapıya rastlanmaktadır [14,15].

Bu çalışmada, DO-OTA ile endüktans benzetiminin sağlayacağı olanaklar incelenmiş, kayıplı ve kayıpsız endüktans benzetimi için yeni devre yapıları önerilmiş ve devrelerin performansı SPICE benzetim programı ile gösterilmiştir. Önerilen devre topolojilerinde eşdeğer L_{eq} endüktansı ve eşdeğer R_{eq} kayıp direnci birbirinden bağımsız olarak ayarlanabilmektedir.

2. DO-OTA



Şekil 1. DO-OTA devre sembolü

DO-OTA (dual-output operational transconductance amplifier) devre sembolü Şekil 1'de görülmektedir. İdeal durumda, DO-OTA gerilimle yönetilen bir akım kaynağı gibi düşünülebilir. İdeal DO-OTA için tanım bağıntıları

$$I_0^+ = g_{m1}(V^+ - V^-) \quad , \quad I_0^- = g_{m2}(V^- - V^+) \quad (1)$$

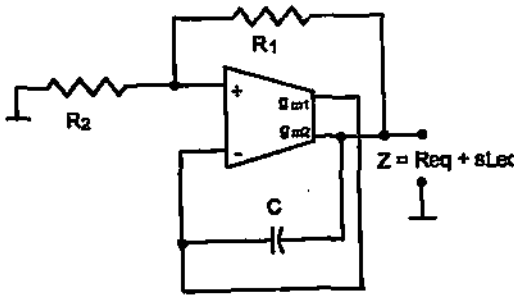
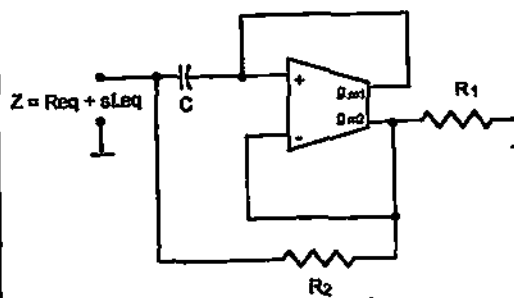
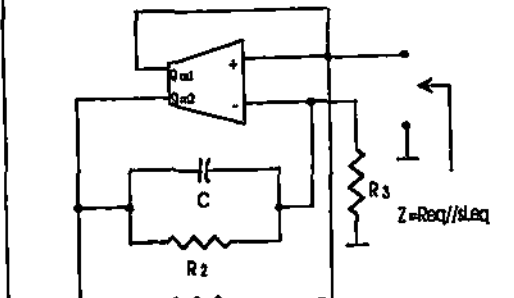
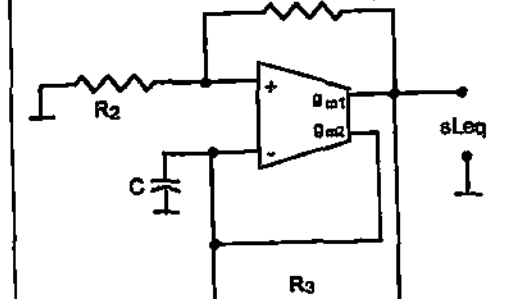
şeklinindedir. Burada I_0^+ , I_0^- elemanın çıkış akımlarını, V^+ ve V^- dbüyükükleri de faz döndürmeyen ve faz

döndüren girişlerdeki gerilimleri göstermektedir.

3. ÖNERİLEN ENDÜKTANS BENZETİMİ TOPOLOJİLERİ

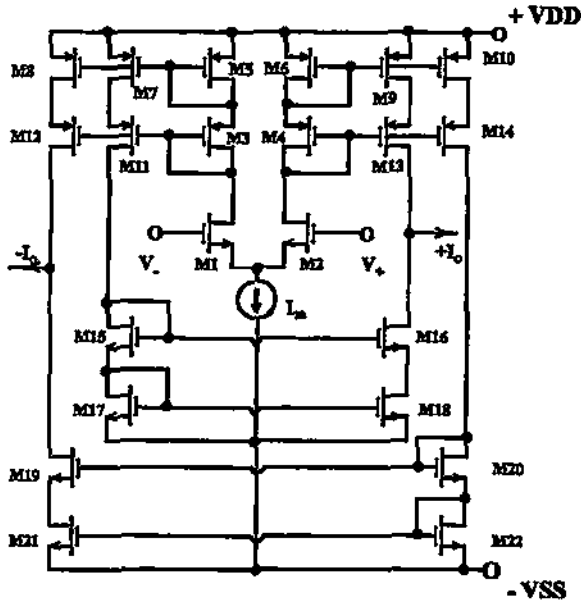
Bu çalışmada iki seri R-L, bir paralel R-L ve bir de kayıpsız L benzetimi devresi önerilmiştir. Önerilen

devreler, bilgisayar yardımıyla sistematik devre oluşturulması yöntemiyle elde edilmişlerdir [16]. Önerilen iki seri R-L devresi Şekil-2a ve b'de görülmektedir. Paralel R-L devresi Şekil-2c'de, kayıpsız L devresi de Şekil-2d'de verilmiştir. Eşdeğer endüktans ve dirençleri veren eşitlikler de Şekil-2'de belirtilmiştir.

 <p>(a)</p>	$R_1 = \frac{1}{g_{m2} - g_{m1}}$ $L_{eq} = \frac{C}{g_{m1}} (R_1 + R_2), \quad R_{eq} = R_1 + R_2$ <p>Seri R-L</p>
 <p>(b)</p>	$R_2 = \frac{1}{g_{m1}}$ $L_{eq} = C R_2 (g_{m2} R_2 R_1 - R_2 - R_1),$ $R_{eq} = R_1 + R_2$ <p>Seri R-L</p>
 <p>(c)</p>	$g_{m2} = G_2 + G_3 + \frac{G_2 G_3}{G_1}$ $g_{m1} > G_1 \quad , \quad g_{m1} = g_{m2}$ $L_{eq} = \frac{C \cdot G_1}{G_2 \cdot G_2 (g_{m1} - G_1)}$ $R_{eq} = \frac{G_1}{G_2 \cdot (g_{m1} - G_1)}$ <p>Paralel R-L</p>
 <p>(d)</p>	$R_3 = \frac{1}{g_{m2}}$ $g_{m1} = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_2 R_3}$ $L_{eq} = C \frac{R_1 (R_1 + R_2)}{R_3 (g_{m1} - 1/R_3)}$ <p>kayıpsız L</p>

Şekil 2. Önerilen DO-OTA temelli endüktans benzetimi topolojileri

4. SPICE BENZETİMİ SONUÇLARI



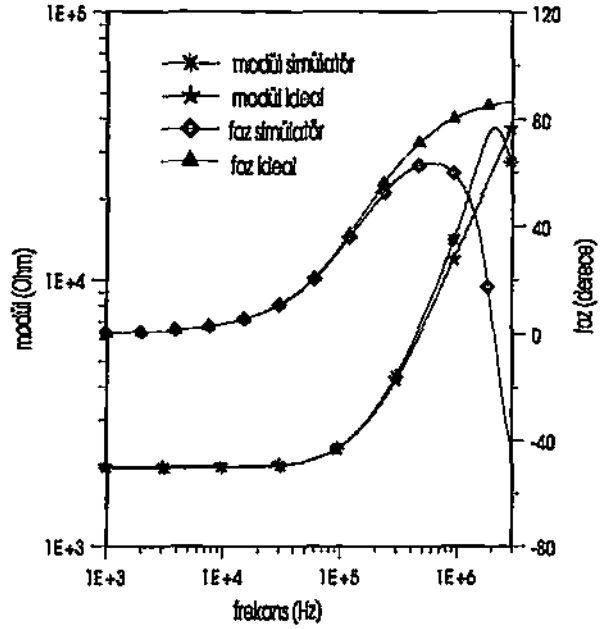
Şekil 3. CMOS kaskod DO-OTA

Devrelerin tümü, SPICE benzetim programı yardımıyla çalıştırılarak denenmiştir. Test devreleri Şekil-3'de yapıları verilen CMOS kaskod DO-OTA yapısı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. SPICE benzetimleri bu CMOS OTA için oluşturulan yüksek doğruluklu makromodel kullanılarak yapılmıştır [12,13]. Topolojilerin sağladığı özellikleri göstermek üzere, Şekil-2a'daki R-L (kayıplı) devre yapısı örnek olarak seçilmiştir. Benzetimi yapılan seri R-L devresi $L_{eq}=2mH$ değerindeki bir endüktans ve $R_{eq} = 2k$ değerinde bir dirençten oluşmaktadır. Bu değerleri elde etmek üzere, R_1, R_2 ve C eleman değerleri $R_1=R_2 = 1k\Omega$, ve $C=1nF$ şeklinde seçilmiştir. DO-OTA için geçiş iletkenliği değerleri $g_{m1} = 1mA/V$ ve $g_{m2} = 2mA/V$ olarak alınmıştır.

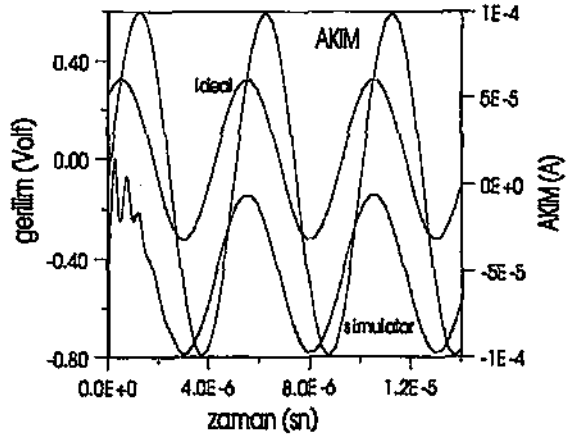
Devre $\pm 10V$ 'luk simetrik kaynaktan beslenmiştir. Devreye ilişkin modül-frekans ve faz-frekans karakteristikleri SPICE benzetim programı yardımıyla elde edilmiş ve Şekil-4'de verilmiştir. Gerçek seri R-L devresinin modül-frekans ve faz-frekans karakteristikleri de karşılaştırma yapabilmek amacıyla Şekil-4'de verilmiştir. Şekil-4'den fark edilebileceği gibi, endüktans benzetimi devresi için elde edilen sonuçlar gerçek devre için elde edilen sonuçlarla belirli bir frekans bölgesinde uyumlu olmaktadır. Bu belirli bölgedeki ufak sapmalar ve bölge dışında gözlenen aşırı farklılıklar, DO-OTA'nın ideal olmamasından ileri gelmektedir.

Ayrıca, devreye 200kHz frekanslı ve 100 μA genlikli sinüsoidal bir akım uygulanarak yapının davranışı incelenmiş, elde edilen gerilim dalga şekli ideal devrenin dalga şekliyle birlikte Şekil-5'de verilmiştir. Dalga şekilleri karşılaştırıldığında, ideal devreyle benzetim devresinin aynı dalga şeklini oluşturdukları, benzetim devresinin gerilim dalga şeklinin aynı faz kaymasını gösterdiği, ancak ideal devreye göre -

462mVdeğerinde bir doğru gerilim dengesizliği ortaya çıktığı fark edilmektedir. DO-OTA'nın uygun şekilde tasarlanmasıyla bu dengesizliğin yeteri kadar küçük tutulabileceği söylenebilir.



Şekil 4. Benzetim devresinin ve gerçek R-L devresinin modül-frekans ve faz-frekans karakteristikleri



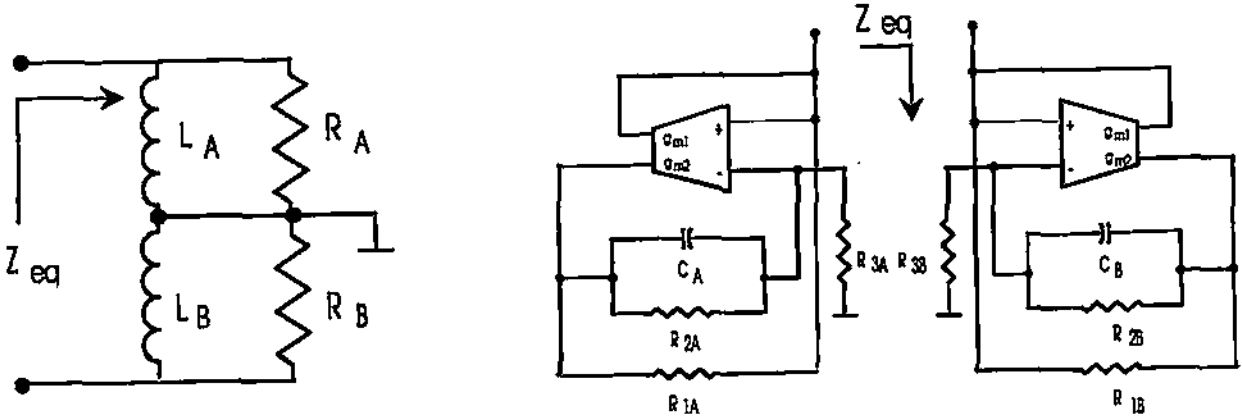
Şekil 5. İdeal ve benzetim sonucu elde edilen R-L devrelerinin 200 kHz'lik 100 μA genlikli bir akım için gerilim dalga şekilleri

5. UYGULAMA ÖRNEĞİ

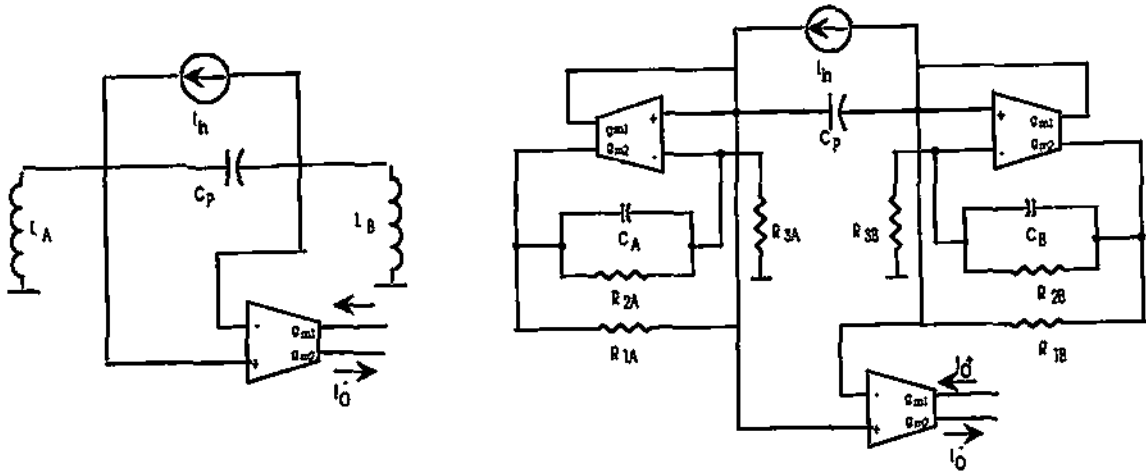
Önerilen devreler için bir uygulama örneği olarak, iki ucu topraktan yalıtılmış bir endüktans benzetimi ve bu endüktans benzetimi yardımıyla simetrik bir kaynaktan sürülen akım modlu band geçiren süzgeç tasarımı örneği verilmiştir. Bu tasarım için Şekil-2c'de verilmiş olan paralel R-L devresinden yararlanılmıştır. Benzetimi yapılmak istenen R-L devresi ve bu yapının benzetimi Şekil-6'da gösterilmiştir.

Oluşturulan yapıda her bir yarısimülatörde $L_{eq} = 2\text{mH}$, $R_{eq} = 1.25\text{k}$ olarak seçilmiş bunun için direnç ve kapasite değerleri $R_{1A}=R_{1B}=R_{2A}=R_{2B}=5\text{k}\Omega$, $R_{3A}=R_{3B}=2.5\text{k}\Omega$, $C_A=C_B=0.32\text{nF}$ olarak seçilmiştir. DO-OTA için geçiş iletkenliği değerleri $g_{m1} = g_{m2} = 1\text{mA/V}$ olarak alınmıştır.

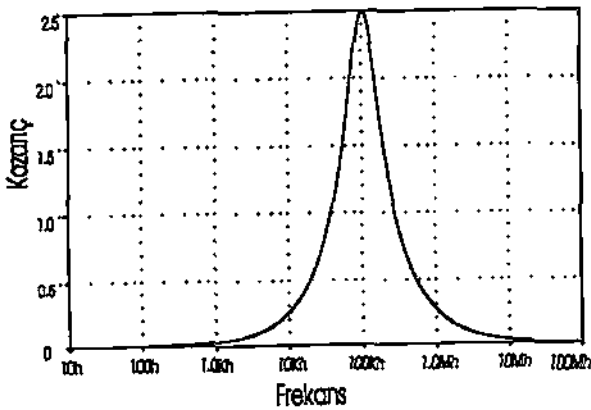
Bu şekilde $L_{eq} = L_{eqA} + L_{eqB} = 4\text{mH}$ ve $R_{eq} = R_{eqA} + R_{eqB} = 2.5\text{k}$ değerleri elde edilmektedir. İki uç arasına paralel bir C_p kondansatörü bağlanarak bir paralel rezonans devresi oluşturulmuş ve $C_p = 0.6\text{nF}$ alarak devre 100kHz 'e akort edilmiştir.



Şekil-6. Topraktan yalıtılmış, orta ucu topraklı, paralel R-L devresi ve bu devrenin DO-OTA yapılarıyla benzetimi



Şekil 7. Simetrik işaret freteci için band geçiren süzgeç devresi.



Şekil 8. Simetrik işaret freteci için oluşturulan band geçiren süzgece ilişkin frekans eğrisi..

Paralel rezonans devresinin uçlarındaki gerilim bir diğer DO-OTA yardımıyla akıma çevrilerek çıkış alınmıştır. Oluşturulan devrenin devre şeması Şekil-7'de, elde edilen band geçiren süzgeç karakteristiği de Şekil-8'de görülmektedir. Devrenin akort frekansı bu seçilen değerler için $f_0 = 102\text{ kHz}$ ve deşer katsayısı da $Q = 0.87$ olmaktadır. Akort frekansında $K \approx 2.5$ değerinde bir kazanç sağlanmaktadır. Fark edilebileceği gibi, devre simetrik iki ucu topraktan yalıtılmış bir işaret freteccinden istenen bileşenleri süzüp almakta, süzülen işaret istenirse asimetrik olarak, istendiğinde de iki çıkış ucu arasından simetrik olarak yükte aktarabilmektedir.

6. SONUÇ

Bu çalışmada tek bir DO-OTA kullanılarak gerçekleştirilen dört endüktans benzetimi devresi

önerilmiştir. Önerilen topolojilerdeki her bir direnç de tek bir DO-OTA kullanılarak gerçekleştirilebilir. [13]. Bu durumda devreler sadece aynı tip aktif elemanlarla oluşturulduğundan, DO-OTA-C endüktans benzetimi devreleri elde edilir. Sadece DO-OTAlar ve bir kondansatörle devre gerçekleştirilmesinin tümleştirme açısından önem taşıdığı ve büyük kolaylık sağlayacağı bilinen bir gerçektir. Öte yandan, DO-OTA geçiş iletkenliklerinin kutuplama akımı yardımıyla değiştirilebilir olmasının ayarlanabilir DO-OTA-C endüktans yapıları oluşturulmasını sağlayacağı, bunun da tümdevre tasarımcısı açısından yeni olanaklar getireceği açıktır.

KAYNAKLAR

- [1] K. Pal, "Novel floating inductance using current conveyors", *Electronics Letters*, 17, no. 18, pp 638, 1981.
- [2] K. Pal, "New inductance and capacitor floating schemes using current conveyors", *Electronics Letters*, 17, no. 21, pp. 807-808, 1981.
- [3] V. Singh, "Active RC single-resistance-controlled lossless floating inductance simulation using single grounded capacitor", *Electronics Letters*, 17, no. 24, pp. 920-921, 1981.
- [4] R. Senani, "Novel lossless synthetic floating inductor employing a grounded capacitor", *Electronics Letters*, 18, no. 10, pp. 413-414, 1982.
- [5] M. Higashimura, Y. Fukui, "Novel method for realizing lossless floating immittance using current conveyors", *Electronics Letters*, 23, no. 10, pp. 498-499, 1987.
- [6] A. N. Paul, D. Patranabis, "Active simulation of grounded inductors using a single current conveyor", *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, 28, no. 2, pp. 164-165, 1981.
- [7] S.L. Liu, Y. Y. Yang, "Higher-order immittance function synthesis using DO-OTAs", *Electronics Letters*, 32, no. 25, pp. 2295-2296, 1996.
- [8] O. Çiçekoğlu, H. Kuntman, "Single CCII+ Based Simulation of Grounded Inductors", *Proc. of European Conference on Circuit Theory and Design, ECCTD 97*, Budapest, Hungary, pp 105-109, 30. Aug.- 2 Sept., 1997.
- [9] M.T. Abuelma'atti, A.A. Al-Ghumaiz and M.H. Khan, "Novel CCII- based single-element controlled oscillators employing grounded resistors and capacitors", *International Journal of Electronics*, 78, pp 1107-1112, 1995.
- [10] M.T. Abuelma'atti, A.A. Al-Ghumaiz, "Novel CCI-Based Single Element Controlled Oscillators Employing Grounded Resistors and Capacitors", *IEEE Transactions on Circuits and Systems I Fundamental Theory and Applications*, 43, Iss 2, pp 153-156, 1996.
- [11] A. Sedra, K.C. Smith, "A Second-Generation Current Conveyor and Its Applications", *IEEE Transactions on Circuit Theory*, 17, pp 132-134, 1970.
- [12] H. Kuntman, "Simple and accurate nonlinear OTA macromodel for simulation of CMOS OTA-C filters", *International Journal of Electronics*, Vol. 77, pp. 993-1006, 1994.
- [13] H. Kuntman, A. Özpınar, "On the realization of DO-OTA-C oscillators", *Microelectronics Journal*, Vol.29, No. 12, pp.991-997, 1998.
- [14] H. Kuntman, S. Menekay, O. Çiçekoğlu, A. Kuntman, Novel parallel lossy inductance simulation circuit employing DO-OTA, First IEEE Balkan Conference on Signal Processing, Communications, Circuits, and Systems, (CD-ROM) June 2-3, 2000.
- [15] 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, pp. 391-394, Pusan, Korea, July 11-13, 2000.
- [16] O. Çiçekoğlu, H. Kuntman, "Circuit design techniques: AD-HOC method or systematic generation methods", Proc. of the 10th International Conference on Microelectronics (ICM'98), Monastir, Tunisia, pp.187-190, December 14-16, 1998.