

# BİR KONTROLLU AKIM TAŞIYICI TABANLI ORANTI-İNTEGRAL-TÜREV (PID) TİPİ KONTROL EDİCİ GERÇEKLENMESİ

Cevat ERDAL

\*Hakan KUNTMAN

Selma KAFALI

İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi  
80626 Maslak, İSTANBUL / TURKEY

Tel: (90) 212-2853581, Faks: (90) 212-2853679, e-posta: cerdal@elk.itu.edu.tr

\*Tel: (90) 212-2853647, Faks: (90) 212-2853679, e-posta: kuntman@ehb.itu.edu.tr

**ÖZET:** Pozitif tip, ikinci nesil, kontrollu akım taşıyıcı (CCCI+++) ve pasif elemanlar kullanarak gerçekleştirilen yeni bir PID kontrolör sunulmuştur. SPICE programı ile elde edilen sonuçlar teorik bekentilerle uyuşmaktadır.

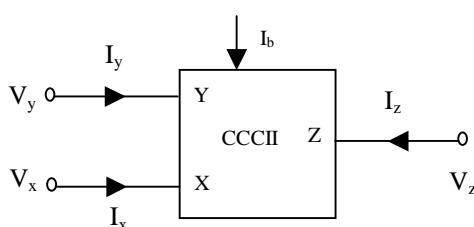
**Anahtar Sözcükler:** Kontrollu akım taşıyıcı. PID kontrolör. İşaret-akış grafi.

## 1. GİRİŞ

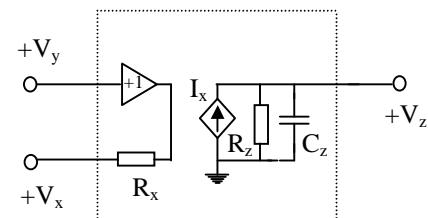
Kontrollu akım taşıyıcılar, geniş ve ayarlanabilir frekans bandı, daha düşük güç tüketimi, daha iyi bir doğrusallık ve kararlılık gibi özelliklere sahip olmaları nedenleri ve elektronik devrelerde sağlamış oldukları elektronik kontrol özelliklerinden dolayı, son yıllarda, çok fazla ilgi görmektedirler [1-6]. Öte yandan, literatürde kontrollu akım taşıyıcı kullanılarak gerçekleştirilmiş çok sayıda elektronik devre bulunmasına rağmen Erdal ve Kuntman'ın çalışmaları dışında [1], süreç kontrol endüstrisinde kullanılan en önemli kontrol elemanlarından birisi olan, kontrolör gerçeklenmesinde bu güne kadar kullanılmamışlardır. Bu çalışmanın amacı, CCCII'lar kullanarak, PID kontrolör gerçeklemeye uygun bir tasarım yöntemi vermektedir. Bu yöntem, aktif devre tasarımda çok kullanışlı olan, işaret-akış diyagramlarına dayandırılmıştır. Elde edilen devre bir PID kontrolörün genel transfer fonksiyonunu sağlamakta ve minimum sayıda kontrollu akım taşıyıcı içermektedir.

## 2. KONTROLLU AKIM TAŞIYICI

Bir kontrollu akım taşıyıcı (CCCI)'nın devre gösterimini Şekil 1.'de verilmiştir [1-7].



(a)



(b)

Şekil 1. a) Kontrollu akım taşıyıcının (CCCI) elektriksel gösterimi b) CCCII'nin eşdeğer devresi

İdeal bir CCCII'nin tanım bağlantıları aşağıdaki denklemlerle verilebilir:

$$I_y = 0, \quad V_x = V_y + R_x I_x, \quad I_z = \pm k I_x \quad (1)$$

Burada  $V_y$ ,  $V_x$ ,  $I_y$ , ve  $I_x$ , sırasıyla, pozitif ve negatif giriş uçlarının gerilimleri ve akımlarıdır.  $V_z$ , çıkış ucunun gerilimi ve  $I_z$  de z-çıkışının akımıdır. Bu bağıntılardaki  $k$  katsayısının +1 olması ve  $I_z$  akımı işaretinin pozitif olması çevirmeyen CCCII+ ve  $k$  katsayısının -1 olması ve  $I_z$  akımı işaretinin negatif olması ile de çeviren CCCII- yapısını gösterir.  $R_x$  ise elemanın X ucunda bulunan giriş direnci olup, aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$R_x = V_T / 2I_b \quad (2)$$

Burada  $V_T$ , sıcaklık gerilimi ( $27^\circ\text{C}$  de  $25,8\text{ mV}$ ) ve  $I_b$ , CCCII'nin kutuplama akımıdır [3].

CCCI'nın eşdeğer devresi de Şekil 1b.'de gösterilmiştir. Eşdeğer devrede  $R_x$ , X girişinden görülen Thevenin eşdeğer kaynağının çıkış direncidir.  $R_z$  ve  $C_z$ , sırasıyla, z-çıkış ucunun giriş direnci ve kapasitesidir.

İdeal olmama özellikleri de göz önüne alınırsa CCCII'nin üç bağıntıları aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\begin{aligned} I_y(t) &= Y_y(s)V_y, & V_x(t) &= \beta V_y(t) + I_x R_x, \\ I_z(t) &= \pm \alpha I_x(t) + Y_z V_z \end{aligned} \quad (3)$$

Burada  $Y_y$  ve  $Y_z$ , sırasıyla, CCCII'nin Y girişi ile toprak ve Z girişi ile toprak arasındaki parazitik empedanslardır.  $\alpha(s)$  ve  $\beta(s)$ , sırasıyla, CCCII'nin akım ve gerilim transfer kazançlarıdır.

### 3. TASARIM YÖNTEMİ

Şekil 2. de gösterilmiş bulunan kontrollu akım taşıyıcı devrelerini göz önüne alalım. Bu devrelere ilişkin işaret-akış diyagramları, kontrollu akım taşıyıcının tanım denklemeleri kullanılarak çizilebilir [8]. Şekil 2a da bir kuvvetlendirici ve ona ilişkin işaret-akış diyagramı gösterilmiştir. Kuvvetlendiricinin kazancı  $R_1/R_x$  dir ve bu işaret-akış diyagramından kolayca görülebilir. Şekil 2b de bir integral alıcı devre ve ona ilişkin işaret-akış diyagramı gösterilmiştir. Bu devrenin entegrasyon zaman sabiti  $1/R_x C_1$  dir. Şekil 2c de bir türev alıcı devre ve ona ilişkin işaret-akış diyagramı gösterilmiştir. Bu devrenin türev zaman sabiti  $L/R_x$  dir. Bu devredeki ideal self elemanını elde etmek ve gerçekleştirmek problemi dolayısı ile self elemanı yapay olarak Şekil 2d.'de verildiği gibi gerçeklenecektir. Şekil 2d'nin analizi sonucunda verilen L simülatör devresinin giriş empedansı aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$Z_i = sR_{x1}R_{x2}C_D \quad (4)$$

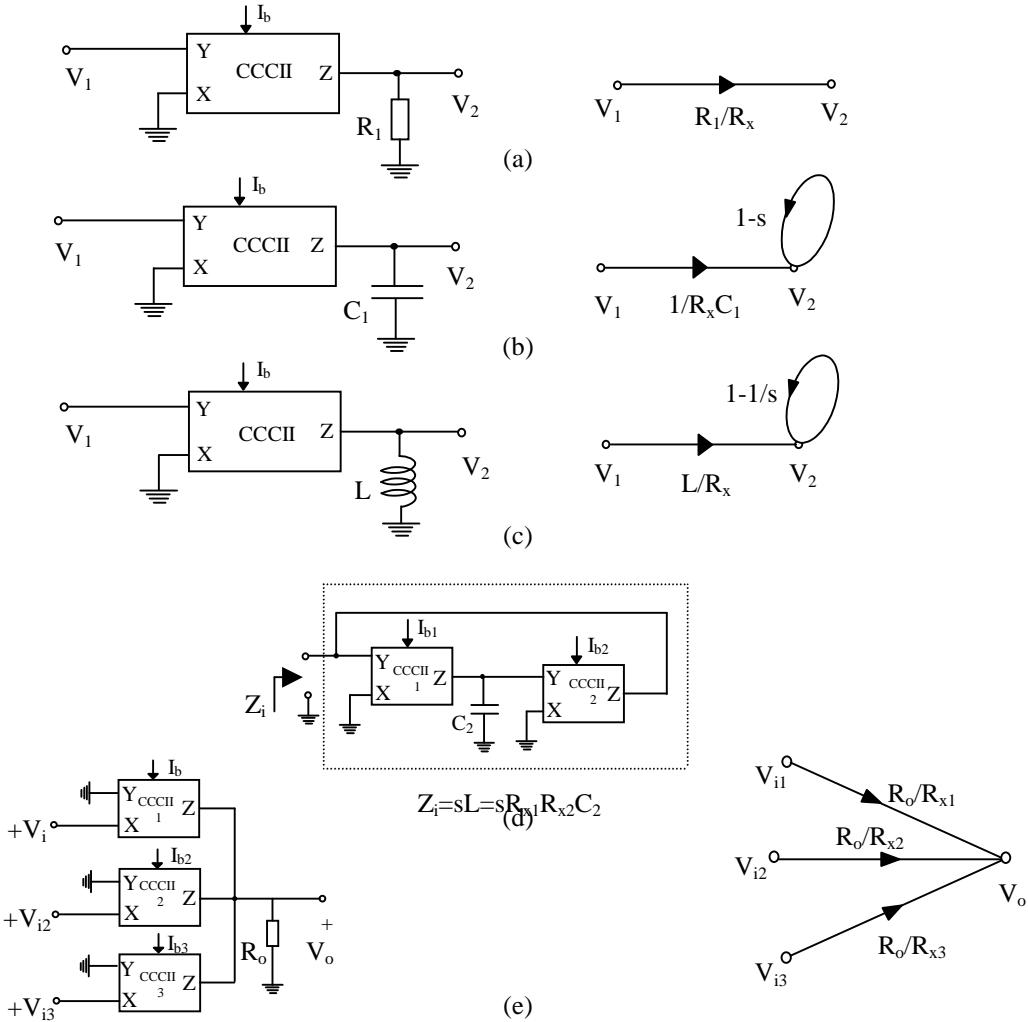
Burada  $Z_i$ ,  $s$  ile orantılı olduğundan, devre bir self elemanı gibi davranışır.

Bir PİD devresi elde etmek için Şekil 2a.2b, ve 2d de verilmiş bulunan devreler Şekil 2e de verilmiş bulunan toplama devresi ile çıkışa iletilmiştir. Bunun anlamı şudur: Verilen bir transfer fonksiyonu Şekil 2 de verilen alt diyagamlardan oluşan bir işaret-akış diyagramı ile gösterilebilirse, transfer fonksiyonuna karşı düşen devre Şekil 2 de verilmiş bulunan alt devreler yardımcı ile elde edilebilir [8].

Genel bir analog, orantı-integral-türev (PİD) tipi kontrolörün transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi verilebilir [9]:

$$T(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} + sK_d \quad (5)$$

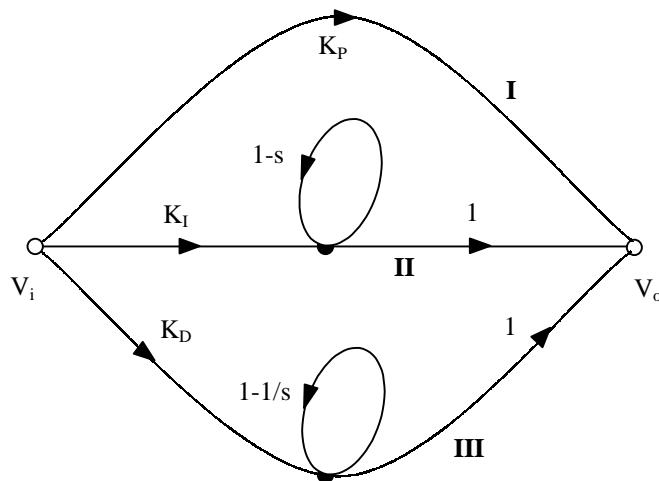
Burada  $v_o(t)$ , çıkış gerilimi,  $v_i(t)$ , giriş gerilimi,  $K_p$ , orantı kazancı,  $K_i$ , integral kazancı ve  $K_d$ , türev kazancıdır.



Şekil 2. CCCII ile gerçekleştirilen temel bloklar ve onlara karşı düşen işaret-akış diyagramları  
(a) Kuvvetlendirici (b) İntegral alıcı (c) Türev alıcı (d) Self elemanı (e) Toplama devresi

Transfer fonksiyonu (4) nolu denklemdeki gibi verilen bir analog PİD kontrolöre ilişkin bir işaret-akış

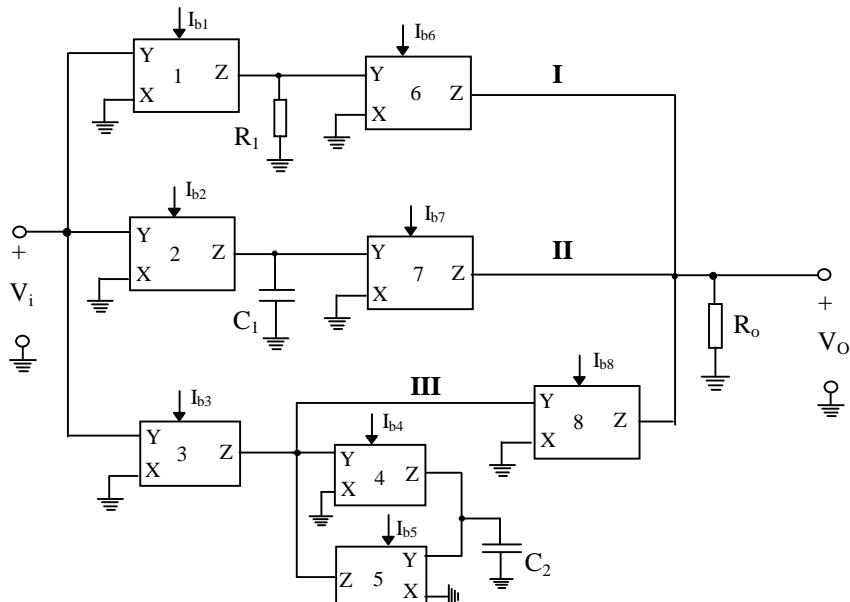
diyagramı Şekil 3 deki gibi çizilebilir [9,10].



Şekil 3. Genel bir orantı-integral-türev (PİD) tipi kontrolörün transfer fonksiyonuna karşı düşen bir işaret-akış diyagramı

Şekil 3 deki işaret-akış diyagramına karşı düşen bir analog, kontrollu akım taşıyıcılı (CCCI) tabanlı PİD devresi, Şekil 2 de verilmiş bulunan alt devreler

kullanılarak Şekil 4 de verildiği gibi gerçekleştirilebilir:



Şekil 4. Verilen işaret-akış diyagramına karşı düşen bir CFA tabanlı PİD kontrolör gerçeklenmesi

Bir kontrollu akım kuvvetlendirici (CCCI) tabanlı Pİ devresi Şekil 3 ve 4. de III yolu silinerek ve bir akım geri beslemeli kuvvetlendirici tabanlı PD devresi de Şekil 3 de II yolu silinerek elde edilebilir.

Şekil 4 de verilmiş bulunan devre analiz edilirse  $K_p$ ,  $K_i$  ve  $K_d$  kontrol katsayıları, idealsızlıklar göz önüne alınmadan, aşağıdaki gibi elde edilebilir:

$$K_p = \frac{R_o R_1}{R_{x1} R_{x6}}, \quad K_i = \frac{R_o}{R_{x2} R_{x7} C_1},$$

$$K_d = \frac{R_{x4} R_{x5} R_o C_2}{R_{x3} R_{x8}} \quad (6)$$

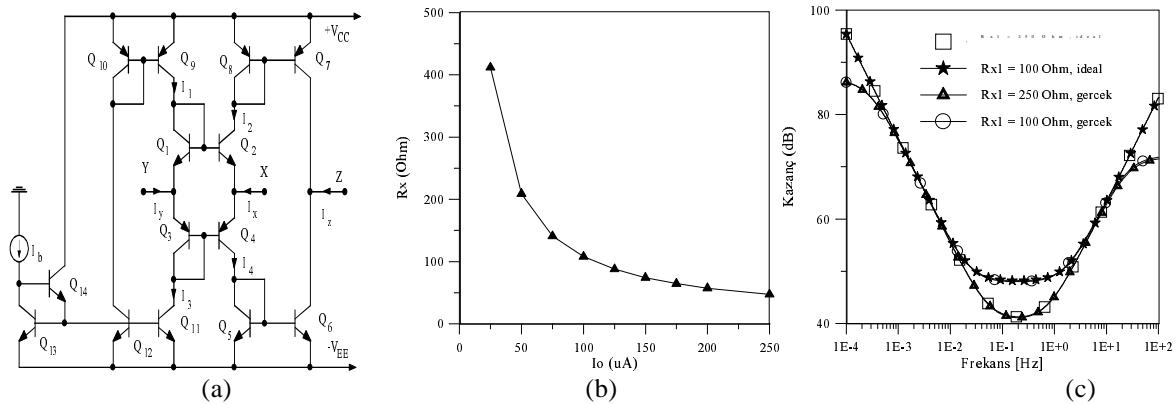
Göründüğü gibi kontrol katsayıları CCCII'ların X girişlerinin giriş dirençleri ile kontrolör çıkış direnci ve kapasite değerlerine bağlıdır ve bu yüzden kolayca, istenilen değerlere, sadece seçilen bir CCCII'nin kontrol akımı,  $I_{bi}$  ayarlanarak getirilebilirler.

#### 4. SPICE BENZETİMİ SONUÇLARI

Önerilen CCCII+ tabanlı kontrolör devresinin başarımı SPICE benzetim programı yardımıyla gösterilmiştir. Yapılan çalışmada, Şekil-5'a'da verilen bipolar CCCII+ devresi NR100N ve PR100N model

parametreleri kullanılarak karakterize edilmiş [11-15], bu karakterizasyon yardımıyla oluşturulan CCCII makromodeli kontrolörün SPICE benzetiminde kullanılmıştır [16]. Şekil-5a'daki devrede  $R_x$  direncinin kutuplama akımıyla değişimi Şekil-5b'de verilmiştir. Seçilen çalışma noktası için Y ve Z uçlarından içeriye doğru bakıldığından görülen dirençler sırasıyla  $R_Y = 320\text{k}$  ve  $R_Z = 587\text{k}$  olarak saptanmıştır. CCCII+ elemanının  $I_O$  kutuplama akımı değiştirilerek  $R_{x1}$ ,  $R_{x2}$ ,  $R_{x3}$  dirençleri değiştirilmiş, bu şekilde  $K_P$ ,  $K_D$  ve  $K_I$  büyülüklerinin birbirinden bağımsız olarak kutuplama akımlarıyla kontrol edilebileceği, bunun da tasarımcıya büyük kolaylık

sağlayacağı ortaya konmuştur. Bu karakteristiklerden biri örnek olarak seçilmiş ve Şekil- 5c'de verilmiştir. Şekil-5c'den izlenebileceği gibi, gerçek elemanla elde edilen frekans eğrisi ideal frekans eğrisiyle geniş bir bölge içerisinde iyi bir uyumluluk göstermektedir. Düşük ve yüksek frekanslar bölgesindeki farklılıklar, eleman idealsızlıklarından, özellikle, elemanın  $R_Y$  ve  $R_Z$  kapı dirençlerinin sonsuz olmamasından kaynaklanmaktadır.  $R_{x1}$  büyülüklüğü kutuplama akımı yardımıyla  $100\text{Ohm}$ - $250\text{Ohm}$  değerleri arasında değiştirilmekte, buna bağlı olarak kazanç-frekans eğrisi de değişim göstermektedir. Beklenildiği üzere,  $R_{x1}$  büyükçe  $K_P$  değeri azalmaktadır.



- a) Şekil-5a) Benzetimde kullanılan bipolar CCCII+ devresi  
b) Şekil-5a'daki CCCII+ devresinde  $R_x$  direncinin kutuplama akımına bağımlılığı  
c)  $R_{x1}=100 \text{ Ohm}$  ve  $250 \text{ Ohm}$  değerleri için ideal ve gerçek elemanla elde edilen kazanç-frekans eğrisi.

Ayrıca kontrol katsayılarının aşağıdaki gibi seçilen

$K_P=67,6$ ,  $K_I=38462 \text{ s}^{-1}$ , ve  $K_D=0,00005 \text{ s}$  (7) değerleri için parametrelerin değerleri (8) nolu bağıntılardaki gibi belirlenerek

$$C_1=1\mu\text{F}, C_2=100\text{nF}, R_1=1\text{k}\Omega, R_o=0.5\text{k}\Omega, \quad (8a)$$

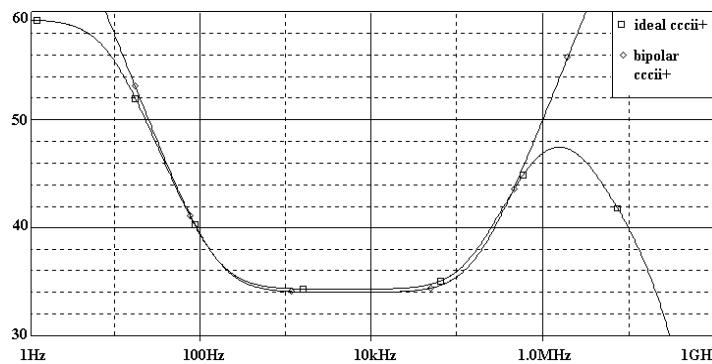
$$i_{b1}=150\text{uA} \rightarrow R_{x1}=86\Omega, i_{b2}=260\text{uA} \rightarrow R_{x2}=50\Omega, \quad (8b)$$

$$i_{b3}=260\text{uA} \rightarrow R_{x3}=50\Omega, \quad (8c)$$

$$i_{b4}=260\text{uA} \rightarrow R_{x4}=50\Omega, i_{b5}=260\text{uA} \rightarrow R_{x5}=50\Omega, \quad (8d)$$

$$i_{b6}=150\text{uA} \rightarrow R_{x6}=86\Omega, \quad (8e)$$

$i_{b7}=50\text{uA} \rightarrow R_{x7}=260\Omega, i_{b8}=260\text{uA} \rightarrow R_{x8}=50\Omega$ . (8f) giriş işaretinin frekansı değiştirilip PID 'nin frekans karakteristiği çıkarılmış ve eğri Şekil 6 da verilmiştir. Şekil 6 da, önerilen devrenin, parametre değerlerinin uygun seçilmesi ile, 1MHz frekansa kadar giriş işaretlerini kontrol edebilecegi ve gerçek elemanla elde edilen frekans eğrisi ile ideal frekans eğrisinin geniş bir bölge içerisinde iyi bir uyumluluk gösterdikleri kolayca görülebilmektedir



Şekil 6. Seçilen kontrol katsayı değerleri için önerilen devrenin frekans karakteristiği

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada en önce kontrollu akım kuvvetlendirici (CCCII) tabanlı orantı-integral-türev (PID) tipi kontrolör tasarımını için bir yöntem verilmiştir ve bir orantı-integral-türev (PID) tipi kontrolör devresi

tasarlanmıştır. Tasarlanan devre sekiz adet CCCII, iki adet topraklanmış kapasite, iki adet direnç içermektedir ve bu haliyle tek bir tümleştirilmiş devre olarak gerçekenmeye çok uygundur. Tasarlanan bu devre, CCCII'lar işlemsel kuvvetlendiricilere nazaran

daha iyi özelliklere sahip olduklarından, kararlı bir kontrol, çok geniş bir band genişliği ve hızlı değişen işaretlerin kontrol edilmesi istenildiği durumlarda kullanılmak için çok elverişlidir. Parametrelerin uygun seçimleri durumunda, önerilen devrenin 1MHz frekansa kadar işaretleri kontrol etme imkanı sağladığı da gösterilmiştir.

Bunun yanında  $K_p$ ,  $K_i$  ve  $K_d$  kontrol katsayılarının direnç oranlarına eşit olmaları ve istenilen değerlere yalnızca seçilen bir CCCII'nin kontrol akımı ile kolayca ayarlanabilir olmaları da devrenin bir diğer avantajıdır.

## KAYNAKÇA

- [1] Erdal C., Kuntman H.: "Kontrollu Akım Taşıyıcı Tabanlı Oranti-İntegral-Türev (PID) Tipi Kontrol Edici Gerçeklenmesi İçin Bir Yöntem", 10. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları (SİU 2002) BİLDİRİ KİTABI, Vol.: 2, pp.:967-972, 2002.
- [2] Abuelma'atti, M.T., ve Tasadduq, N.M., "A Novel Single-Input Multiple-Output Current-Mode Current-Controlled Universal Filter", MICROELECTRONICS JOURNAL, 29, (11), pp. 901-905, 1998.
- [3] Fabre, A., Saaid, Wiest, F., ve Boucheron, C., "High Frequency Applications Based On A New Current Controlled Conveyor", IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS-1: FUNDAMENTAL THEORY AND APPLICATIONS, 43, (2), pp. 82-91, 1996.
- [4] Kiarnon, W., Kerson, J., ve Wardkein, P., "Current Controlled Oscillator Based On Translinear Conveyors", ELECTRONICS LETTERS, 32, (15), pp. 1330-1331, 1996.
- [5] Minaei, S., ve Türköz, S., "New Current-Mode Current-Controlled Universal Filter Implemented From Single-Output Current Controlled Conveyors", FREQUENZ, 54, (5-6), pp. 138-140, 2000.
- [6] Minaei, S., ve Türköz, S., "A New Current-Controlled Sinusoidal Oscillator Using The Current Controlled Conveyor", FREQUENZ, 54, (5-6), pp. 132-133, 2000.
- [7] Shahram, M., Türköz, S., Çiçekoğlu, O., ve Kuntman, H., "Kontrollu Akım Taşıyıcı İle Gerçekleştirilen Tüm Geçiren Süzgeçler. 9. Sinyal İşleme Ve Uygulamaları Kurultayı BİLDİRİ KİTABI, pp. 401-405, 2001.
- [8] Erdal, C., Toker, A., ve Acar, C., "Ota-C Based Proportional-Integral-Derivative (PID) Controller And Calculating Optimum Parameter Tolerances", TURKISH JOURNAL OF ELECTRICAL ENGINEERING & COMPUTER SCIENCES, 9, (2), pp. 189-198, 2001.
- [9] Kuo, B.C., Automatic Control Systems. Prentice-Hall, Upper Saddle River, N.J., 1997.
- [10] Erdal, C., "A New Current-Feedback Amplifiers (CFA) Based Proportional-Integral-Derivative (PID) Controller Realization And Calculating Optimum Parameter Tolerances". PAKISTAN JOURNAL OF APPLIED SCIENCES, 2, (1), pp. 56-59, 2002.
- [11] Frey, D.R., "Log-domain filtering: an approach to current-mode filtering". IEE PROCEEDINGS-G, CIRCUITS, DEVICES AND SYSTEMS, 140, pp. 406-416, 1993.
- [12] Kaymak, D. Y., Kontrollu akım taşıyıcılarda performans iyileştirme çalışmaları. YÜKSEK LİSANS TEZİ, İTÜ FBE, İstanbul, Türkiye, 2001.
- [13] Shahram, M., Çiçekoğlu, O., Kuntman, H., ve Türköz, S., "New Current-Mode Lowpass, Bandpass and Highpass Filters Employing CCCIIs", PROCEEDINGS 44TH MIDWEST SYMPOSIUM ON CIRCUITS AND SYSTEMS, pp. 106-109, 2001
- [14] Shahram, M., Çiçekoğlu, O., Kuntman, H., ve Türköz, S., "A new Current-Mode All-Pass Configuration Using CCCIIs", PROCEEDINGS 13TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON MICROELECTRONICS (ICM'2001), pp.157-160, 2000.
- [15] Shahram, M., Çiçekoğlu, O., Kuntman, ve H., Türköz, S., "High Output Impedance Current-Mode Lowpass, Bandpass and Highpass Filters Using Current Controlled Conveyors", INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRONICS, 88 (8), pp. 915-922, 2001.
- [16] Tarım, N., Yenen, B., ve Kuntman, H., "Simple and accurate nonlinear current conveyor macromodel for simulation of active filters using CCIIs", INTERNATIONAL JOURNAL OF CIRCUIT THEORY AND APPLICATIONS, 26, pp. 27-38, 1998.