

İŞLEMSEL GEÇİŞ-DİRENÇ KUVVETLENDİRİCİ (OTRA) KULLANARAK YÜKSEK-DERECELİ GERİLİM TRANSFER FONKSİYONU GERÇEKLEMESİ

Selçuk KILINÇ Uğur ÇAM

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü,
Mühendislik Fakültesi, Dokuz Eylül Üniversitesi,
Kaynaklar Kampusu, 35160, Buca, İzmir

e-posta: selcuk.kilinc@eee.deu.edu.tr

e-posta: ugur.cam@eee.deu.edu.tr

Anahtar sözcükler: yüksek-derece süzgeçler, işlemsel geçiş-direnç kuvvetlendirici, transfer fonksiyonu sentezi

ÖZET

Bu çalışmada, en genel n'inci derece gerilim transfer fonksiyonunu gerçekleyen yeni bir yapı önerilmektedir. Önerilen bu yapı aktif eleman olarak tek bir işlemsel geçiş-direnç kuvvetlendirici (operational transresistance amplifier = OTRA) içermektedir. Transfer fonksiyonu sentezinde, RC:-RC ayırıştırma yöntemi kullanılmıştır. Önerilen yapı ile aktif eleman sayısı literatürde daha önce yer alanlara göre oldukça önemli bir azalma göstererek bire indirilmiştir.

1. GİRİŞ

Akım farkı alan kuvvetlendirici veya Norton kuvvetlendirici olarak da bilinen işlemsel geçiş-direnç kuvvetlendirici (operational transresistance amplifier = OTRA), analog tümdevre ve sistemlerde kullanılan önemli bir aktif elemandır. OTRA'nın hem giriş hem de çıkış uçları alçak empedans olarak karakterize edilmektedir. Bunlardan birincisi kapasitif zaman sabitlerinden kaynaklanan cevap sınırlamalarının giderilmesi, ikincisi ise OTRA içeren gerilim-modlu devrelerin kolaylıkla art arda bağlanabilmesi sonucunu doğurur. Öte yandan giriş uçlarının içten topraklı olması nedeniyle, oluşturulan devreler kaçak kapasitelere daha az duyarlı olur. Bütün bu özellikler göz önüne alındığında, OTRA ile yüksek doğruluklu transfer fonksiyonlarının elde edilmesi mümkündür denebilir. Üstelik, bu elemanın akım farkı alan ve içten topraklı olan giriş uçları MOS-C analog tümdevre gerçeklemesini kolaylaştırmaktadır [1]. Diğer bir deyişle, giriş uçlarına bağlı olan dirençler MOS transistörler ile gerçekleştirilmekte ve elde edilen devrelerde yalnızca kapasiteler ve MOS transistörler yer almaktadır. Bu ise kırmık alanında azalmaya ve devre parametrelerinin elektronik olarak ayarlanabilmesine olanak sağlamaktadır.

OTRA elemanı kullanarak gerçekleştirilen bazı süzgeç uygulamaları literatürde yer almaktadır [1-4]. Ayrıca, çok sayıda OTRA kullanarak genel n'inci derece transfer fonksiyonu gerçeklemeleri uzun süre

önce sunulmuştur [5-8]. Bunlardan n'inci derece bir transfer fonksiyonu sentezleyebilmek için [5] ve [6]'da (n+1), [7] ve [8]'de ise (n) adet OTRA elemanına gereksinim duyulmaktadır. Bu bildiriye, yalnızca tek bir OTRA ve RC:-RC ayırıştırma yöntemi kullanarak yüksek dereceli süzgeç gerçeklemelerine uygun bir yapı sunulmaktadır.

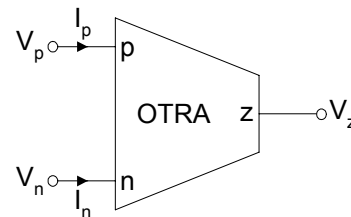
2. ÖNERİLEN YAPI

Şekil-1'de devre sembolü gösterilen OTRA elemanını karakterize eden denklemler aşağıdaki matris biçiminde verilebilir.

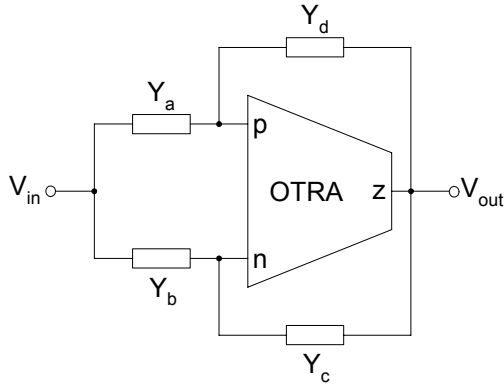
$$\begin{bmatrix} V_p \\ V_n \\ V_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ R_m & -R_m & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_p \\ I_n \\ I_z \end{bmatrix} \quad (1)$$

Burada R_m OTRA'nın geçiş-direnç kazancını göstermektedir. Bu büyüklük ideal durumda sonsuza ulaşır ve giriş akımlarını eşit olmaya zorlar. Genel n'inci derece transfer fonksiyonu gerçeklemesinde kullanılacak olan yapı Şekil-2'de gösterilmiştir. Bilinen devre analiz yöntemleri ile bu yapının gerilim transfer fonksiyonu aşağıdaki şekilde bulunur.

$$T(s) = \frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)} = \frac{Y_a - Y_b}{Y_c - Y_d} \quad (2)$$



Şekil-1. OTRA elemanının devre sembolü



Şekil-2. Önerilen genel yapı

Burada Y_a , Y_b , Y_c ve Y_d iki uçlu pasif elemanların pozitif gerçel admittans fonksiyonlarıdır. Bunların uçlarından biri OTRA elemanının giriş özelliği nedeniyle içten topraklıdır. Gerilim izleyicili akım farkı kuvvetlendiricisi (current-differencing buffered amplifier) tabanlı n'inci derece akım transfer fonksiyonu gerçekleştirilmesi Denklem (2)'de verilen ilişkinin aynısı kullanılarak daha önce yapılmıştır [9].

Denklem (2)'de verilen transfer fonksiyonunun yapısı ve RC:-RC ayırıştırma yöntemi önerilen yapının aşağıda verilen biçimdeki herhangi bir gerilim transfer fonksiyonunu gerçekleyebileceğini gösterir.

$$T(s) = \frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)} = \frac{a_m s^m + a_{m-1} s^{m-1} + \dots + a_1 s + a_0}{b_n s^n + b_{n-1} s^{n-1} + \dots + b_1 s + b_0} \quad (3)$$

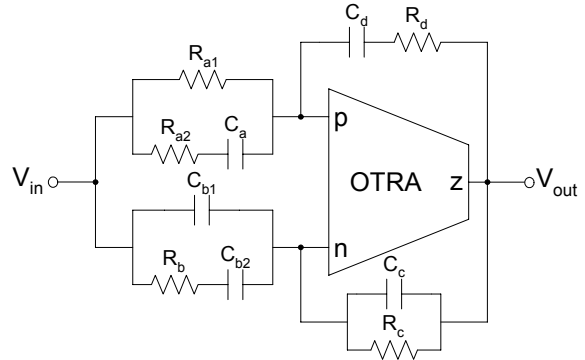
Burada $m \leq n$ ve a_i ve b_i 'ler sırasıyla pay ve payda polinomlarının katsayılarını gösteren gerçel sabitlerdir. Denklem (3) ile belirlenen transfer fonksiyonunu gerçekleyebilmek için aşağıdaki şekilde ifade etmek yardımcı olur.

$$T(s) = \frac{A(s)}{B(s)} = \frac{A(s)/D(s)}{B(s)/D(s)} \quad (4)$$

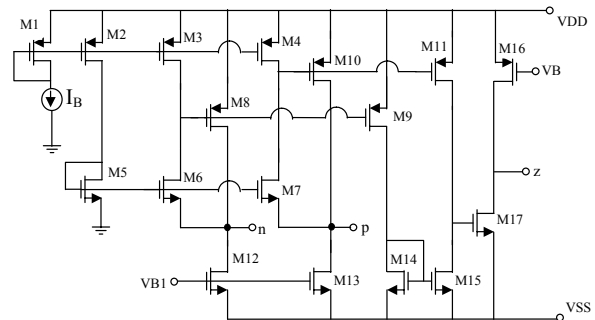
Burada $D(s)$ sadece basit, negatif gerçel köklere sahip n_D derecesinde ($n_D \geq \max(m, n) - 1$) rastgele seçilmiş bir polinom; m ve n ise sırasıyla pay ve payda polinomlarının dereceleridir. $D(s)$ 'in kökleri üzerinde basit, negatif ve gerçel oldukları sürece bir sınırlama yoktur. Ayrıca, sonuçta elde edilecek devre gerçeklemesini basitleştirmek için mümkün olduğu durumlarda $D(s)$ 'in kökleri $A(s)$ ve/veya $B(s)$ 'in gerçel kökleri ile çakışacak şekilde seçilir. Öte yandan, RC:-RC ayırıştırma yöntemi gerçekleştirilecek transfer fonksiyonu üzerinde hiçbir kısıtlama getirmemektedir. [9].

3. ÜÇÜNCÜ DERECE TÜM-GEÇİREN VE ALÇAK-GEÇİREN SÜZGEÇ ÖRNEKLERİ

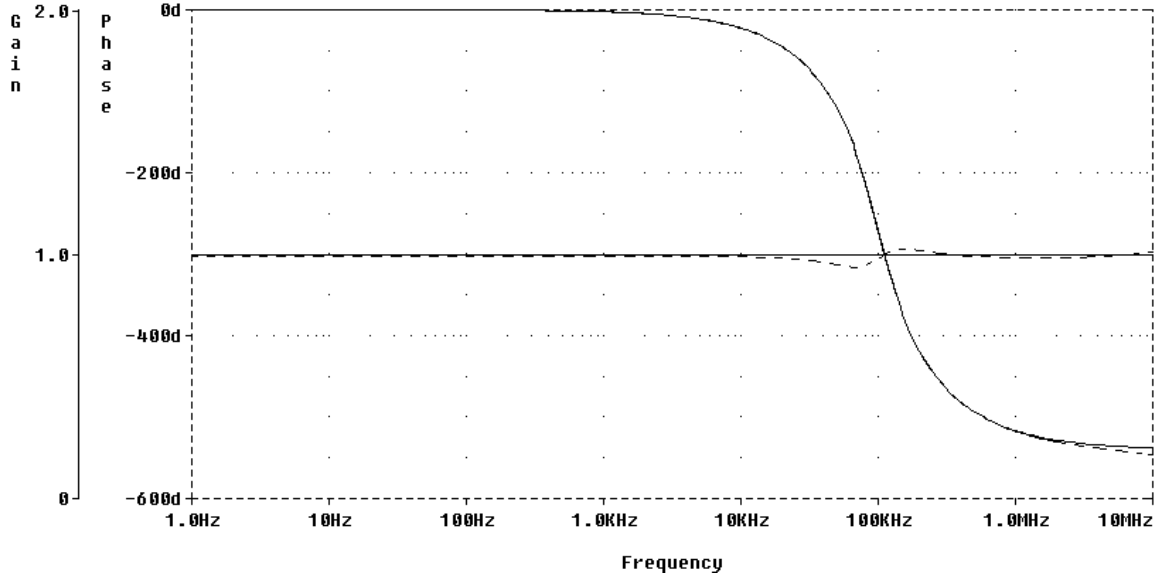
Birinci örnek olarak üçüncü-derece normalize edilmiş tüm-geçiren Butterworth fonksiyonu $T(s) = (-s^3 + 2s^2 - 2s + 1) / (s^3 + 2s^2 + 2s + 1)$ için bir devre elde edilmiştir. Şekil-2'deki genel yapıdan çıkarılan bu devre PSPICE devre analiz programı ile simüle edilmiştir. Tasarımda RC:-RC ayırıştırma yöntemi kullanılmış ve rastgele seçilen $D(s) = (s+1)(s+2)$ polinomu ile admittans fonksiyonları $Y_a = 1/2 + 21s/(2s+4)$, $Y_b = s + 6s/(s+1)$, $Y_c = s + 1/2$, $Y_d = 3s/(2s+4)$ şeklinde bulunmuştur. (Bildirimde yer alan Ek bölümünde admittans fonksiyonlarının nasıl çıkarıldığı ayrıntılı olarak açıklanmıştır.) Elde edilen üçüncü-derece tüm-geçiren süzgeç devresi Şekil-3'te görülmektedir. Bu devrede pasif eleman değerleri $R_{a1} = 160k\Omega$, $R_{a2} = 7.619k\Omega$, $C_a = 104.445pF$, $R_b = 13.333k\Omega$, $C_{b1} = 19.894pF$, $C_{b2} = 119.366pF$, $R_c = 160k\Omega$, $C_c = 19.894pF$, $R_d = 53.333k\Omega$, $C_d = 14.921pF$ şeklindedir. Bu değerler ile $f_0 = 100kHz$ 'lik bir merkez frekans elde edilmektedir. Süzgecin PSPICE benzetimlerinde Şekil-4'te verilen OTRA elemanının bir CMOS gerçeklemesi [1] kullanılmıştır. Besleme gerilimleri $VDD = 2.5V$ ve $VSS = -2.5V$ olarak alınmış ve AMI 1.2µ CMOS proses parametreleri kullanılmıştır. Şekil-5'deki genlik ve faz cevapları teorik analizden benzetim sonuçlarıyla doğrulandığını göstermektedir.



Şekil-3. Üçüncü-derece tüm-geçiren süzgeç örneği

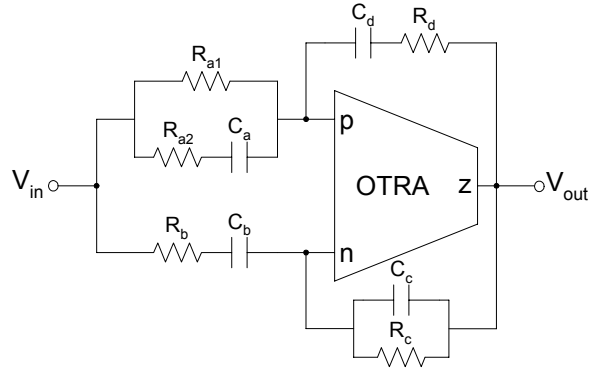


Şekil-4. OTRA elemanının bir CMOS gerçeklemesi

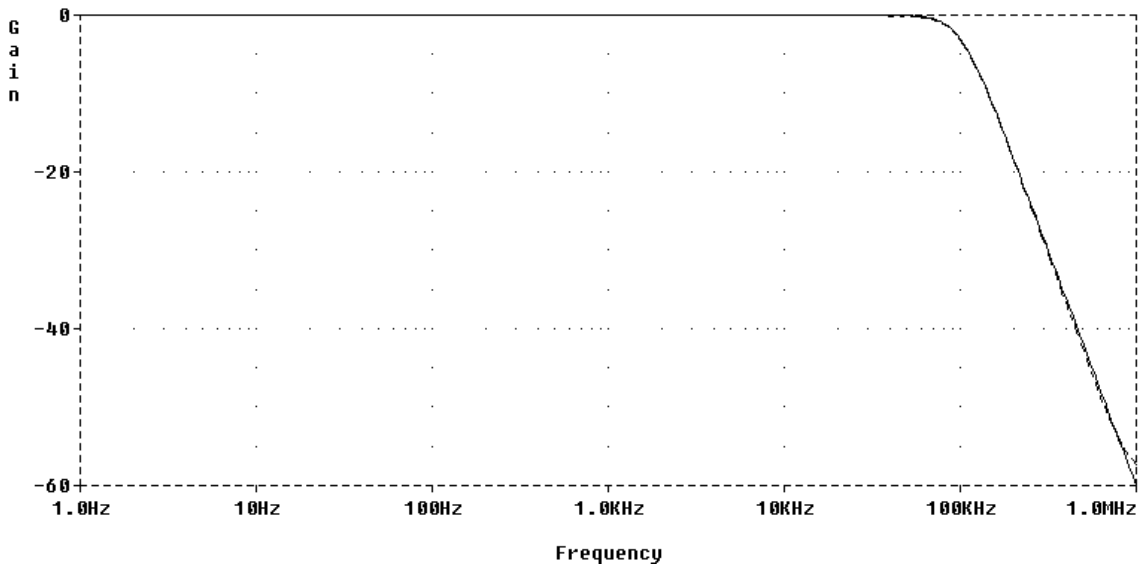


Şekil-5. Tüm-geçiren süzgecin PSPICE benzetim sonuçları; düz eğri: ideal OTRA, kesikli eğri: CMOS OTRA

İkinci örnek olarak ise üçüncü-derece normalize edilmiş alçak-geçiren Butterworth fonksiyonu $T(s)=1/(s^3+2s^2+2s+1)$ için bir devre elde edilmiştir. Tasarımda RC:-RC ayrıştırma yöntemi kullanılmış ve rastgele seçilen $D(s)=(s+1)(s+2)$ polinomu ile admittans fonksiyonları $Y_a=1/2+s/(2s+4)$, $Y_b=s/(s+1)$, $Y_c=s+1/2$, $Y_d=3s/(2s+4)$ şeklinde bulunmuştur. Elde edilen üçüncü-derece alçak-geçiren süzgeç devresi Şekil-6'da görülmektedir. Bu devrede pasif eleman değerleri $R_{a1}=160k\Omega$, $R_{a2}=160k\Omega$, $C_a=4.974pF$, $R_b=80k\Omega$, $C_b=19.894pF$, $R_c=160k\Omega$, $C_c=19.894pF$, $R_d=53.333k\Omega$, $C_d=14.921pF$ şeklindedir. Bu değerler ile $f_0=100kHz$ 'lik bir köşe frekans elde edilmektedir. Şekil-7'deki genlik cevabı teorik analizin benzetim sonuçlarıyla doğrulandığını göstermektedir.



Şekil-6. Üçüncü-derece alçak-geçiren süzgeç örneği



Şekil-7. Alçak-geçiren süzgecin PSPICE benzetim sonuçları; düz eğri: ideal OTRA, kesikli eğri: CMOS OTRA

4. SONUÇ

Genel n'inci derece gerilim transfer fonksiyonu sentezi için tek OTRA içeren bir yapı sunulmuştur. Gerçeklemede RC:-RC ayrıştırma yöntemi kullanılmıştır. Genel yapının örnekleri olarak, üçüncü-derece tüm-geçiren ve alçak-geçiren süzgeç devreleri elde edilmiş ve PSPICE programıyla benzetimleri yapılmıştır. Sonuçlar teorik analizi destekler niteliktedir. Sunulan yapı literatürde daha önce yer alanlara göre kayda değer sayıda OTRA elemanından tasarruf etmemize olanak sağlamaktadır.

EK

Bu bölümde RC:-RC ayrıştırma yöntemi kullanılarak admittans fonksiyonlarının nasıl bulunduğu ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Üçüncü-derece tüm-geçiren süzgeç için normalize edilmiş transfer fonksiyonu Denklem (4) kullanılarak ve rastgele seçilen $D(s)=(s+1)(s+2)$ polinomu ile aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$T(s) = \frac{(-s^3 + 2s^2 - 2s + 1)/[(s+1)(s+2)]}{(s^3 + 2s^2 + 2s + 1)/[(s+1)(s+2)]} \quad (5)$$

Sunulan genel yapını transfer fonksiyonu Denklem (2)'de verildiği gibi olduğundan paylar eşitlendiğinde aşağıdaki ilişki yazılabilir.

$$\begin{aligned} Y_a - Y_b &= \frac{-s^3 + 2s^2 - 2s + 1}{(s+1)(s+2)} \\ &= -s + 5 - \frac{15s + 9}{(s+1)(s+2)} \\ &= -s + 5 + \frac{6}{s+1} - \frac{21}{s+2} \\ &= -s + \left(\frac{1}{2} + \frac{21}{2} - 6\right) + \frac{6}{s+1} - \frac{21}{s+2} \\ &= -s + \frac{1}{2} + \left(-6 + \frac{6}{s+1}\right) + \left(\frac{21}{2} - \frac{21}{s+2}\right) \\ &= -s + \frac{1}{2} + \left(-\frac{6s}{s+1}\right) + \left(\frac{21}{2} \frac{s}{s+2}\right) \\ &= -s + \frac{1}{2} - \frac{6s}{s+1} + \frac{21s}{2s+4} \\ &= \left(\frac{1}{2} + \frac{21s}{2s+4}\right) - \left(s + \frac{6s}{s+1}\right) \end{aligned} \quad (6)$$

Buradan $Y_a=1/2+21s/(2s+4)$ ve $Y_b=s+6s/(s+1)$ olduğu görülür. Diğer admittans fonksiyonları da benzer yöntemle çıkartılabilir.

Y_a ve Y_b admittans fonksiyonlarını oluşturan pasif elemanların normalize edilmiş değerleri $R_{a1}=2\Omega$, $R_{a2}=2/21\Omega$, $C_a=21/4F$, $R_b=1/6\Omega$, $C_{b1}=1F$, $C_{b2}=6F$ şeklindedir. Burada 80×10^3 'lük bir empedans ölçekleme çarpanı ve $2\pi \times 100 \times 10^3$ 'lük bir frekans ölçekleme çarpanı kullanarak Bölüm 3'te verilen pasif eleman değerleri elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] K.N. Salama, A.M. Soliman, "CMOS operational transresistance amplifier for analog signal processing applications." *Microelectronics Journal*, vol. 30, pp. 235-245, 1999.
- [2] K.N. Salama, A.M. Soliman, "Universal filters using the operational transresistance amplifiers." *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, vol. 53, 1, pp 49-52, 1999.
- [3] S. Kılınç, U. Çam, "A new biquadratic filter configuration employing a single operational transresistance amplifier." *European Conference on Circuit Theory and Design*, vol. 1, pp. 275-278, 2003, Krakow, Poland.
- [4] S. Kılınç, U. Çam, "Operational transresistance amplifier based first-order allpass filter with an application example." *IEEE International Midwest Symposium on Circuits and Systems*, vol. 1, pp. 65-68, 2004, Hiroshima, Japan.
- [5] F. Anday, "Realization of n th-order transfer functions using current differencing amplifiers." *International Journal of Electronics*, vol. 42, no. 6, pp. 613-616, 1977.
- [6] J.H. Brodie, "Realization of n th order transfer functions using current differencing amplifiers." *International Journal of Electronics*, vol. 44, no. 6, pp. 663-665, 1978.
- [7] F. Anday, "Active realization of n th-order lowpass transfer functions." *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, vol. CAS-24, no. 12, pp. 745-746, 1977.
- [8] F. Anday, "Realization of Norton amplifier n th-order switched-capacitor networks." *International Journal of Electronics*, vol. 53, no. 3, pp. 289-292, 1982.
- [9] C. Acar, H. Sedef, "Realization of n th-order current transfer function using current-differencing buffered amplifiers." *International Journal of Electronics*, vol. 90, no. 4, pp. 277-283, 2003.