

AKIM MODLU, ÇOK FONKSİYONLU LOGARİTMİK ORTAM SÜZGEÇ TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Ali KIRÇAY¹

Uğur ÇAM²

^{1,2}Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

Mühendislik Fakültesi

Dokuz Eylül Üniversitesi, 35160, İzmir

¹e-posta: ali.kircay@eee.deu.edu.tr

²e-posta: ugur.cam@eee.deu.edu.tr

Anahtar sözcükler: Akım Modlu Devreler, Logaritmik Ortam Süzgeçleri, Analog İşaret İşleme.

ÖZET

Bu çalışmada, durum-uzay sentezi ile logaritmik ortamda integratör blokları tasarlanarak, çift integratör ve aritmetik işlem bloku kullanılarak yeni çok fonksiyonlu bir akım modlu süzgeç gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan çok fonksiyonlu süzgeç devresi aynı anda birden fazla temel süzgeç fonksiyonunu gerçekler. Bu temel süzgeç fonksiyonları; alçak geçiren, bant geçiren ve yüksek geçiren süzgeç fonksiyonlarıdır. İlave aritmetik işlem bloklarıyla tüm geçiren ve bant durduran süzgeç yapıları da kolaylıkla elde edilmektedir. 1.2 V gibi oldukça düşük bir besleme gerilimiyle teorik analiz sonuçları PSPICE benzetimi ile doğrulanmıştır. Akım kaynaklarının değerlerinin değiştirilmesi ile süzgeç parametre değerleri elektronik bir şekilde ayarlanabilmektedir. Önerilen devrenin diğer avantajları ise çok basit bir yapıya sahip olması, çok az eleman içermesi, düşük güç tüketimi, düşük gürültü, bant-genişliğinin geniş bir aralıkta bulunması, yüksek frekans uygulamalarında kullanılabilmesi ve tümdevre teknolojisine uygunluk gibi özelliklerinden dolayı analog işaret işleme uygulamalarına alternatif çözümler sağlamaktadır.

1. GİRİŞ

Akım modlu devre ailesinin en önemli yapılarından biri olan logaritmik ortam süzgeçleri ilk defa Adams tarafından 1979 yılında ortaya atılmıştır [1]. Adams yaptığı çalışmada, diyot, kondansatör, akım kaynağı ve op/amp kullanarak birinci dereceden alçak geçiren logaritmik ortam süzgeci tasarlamıştır. Adams'tan sonra 1990 yılında birbirinden bağımsız farklı iki çalışma yapılmış bu çalışmalar daha sonra logaritmik ortam süzgeçleri ile ilintilendirilmiştir. Tsvividis ve Seevinck tarafından yapılan bu çalışmalar, logaritmik ortam süzgeçlerinin en önemli özelliklerinden biri olan işaretin sıkıştırılıp genişletilmesi ile ilgilidir [2,3]. Logaritmik ortam süzgeçlerinde dönüm noktası 1993 yılı olmuştur. Çünkü, Adams'tan sonra ilgi görmeyen logaritmik ortam düşüncesi Frey'in çalışması ile beraber bir anda ilgi odağı olmuştur [4,5]. Frey, sistematik bir sentez metodu geliştirerek BJT, akım kaynağı ve kondansatörlerden oluşan

logaritmik ortam süzgecini sunmuştur. Frey tasarım metodu olarak durum-uzay sentez metodunu kullanmıştır. Yapılan bu çalışmadan sonra logaritmik ortam süzgeçleri literatürde bir anda ilgi odağı olmuş ve ard arda bir çok çalışma hızlı bir şekilde yapılmıştır [6,7,8,9,10,11]. Logaritmik ortam süzgeçleri, düşük gerilim, düşük güç tüketimi, düşük gürültü, yüksek doğrusallık, yüksek frekans uygulamalarında kullanılabilmesi ve elektronik olarak kesim frekansının ayarlanabilir olması, tümdevre teknolojisine uygunluk gibi özelliklerinden dolayı son yıllarda literatürde büyük bir ilgi odağı olmaktadır.

Logaritmik ortam süzgeç devrelerinde temel yaklaşım, BJT'nin üstel I-V karakteristiğine dayanmaktadır [11]. Logaritmik ortam filtrelerinde, giriş ile çıkış arasında doğrusal bir ilişki olmasına karşın, işaretin işlendiği ortam tümüyle doğrusal olmayan bir ortamdır. Süzgeç gerçekleştirme yöntemleri bakımından da diğer süzgeç gerçekleştirme tekniklerine göre büyük avantajlar sağlamaktadır. Süzgeç fonksiyonunu gerçekleştirmek için sadece kapasite ve transistör kullanımı yeterli olmaktadır.

Akım modlu devre uygulamalarının en önemli yapılarından biri de çok fonksiyonlu aktif süzgeç yapılarıdır [12,13]. Bu tür devreler, aynı anda birden fazla temel süzgeç fonksiyonunu gerçekleştirdiği için bir çok yerde uygulama alanı bulmaktadır. Literatürde çok fonksiyonlu logaritmik ortam süzgeç yapıları bulunmaktadır [14]. Ancak, önerilen yeni süzgecin logaritmik olması, devrenin basit yapıda ve çok az eleman içermesi, besleme geriliminin düşüklüğü gibi özelliklerden dolayı üstünlükler taşımaktadır.

Bu çalışmada, durum-uzay sentezi ile logaritmik ortamda integratör blokları tasarlanarak, çift integratör ve aritmetik işlem bloku kullanılarak yeni çok fonksiyonlu bir akım modlu süzgeç gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan çok fonksiyonlu süzgeç devresi aynı anda birden fazla temel süzgeç fonksiyonunu gerçekler. Bu temel süzgeç fonksiyonları; alçak geçiren (LP), bant geçiren (BP), ve yüksek geçiren (HP) süzgeç fonksiyonlarıdır.

Akım kaynaklarının değerlerinin değiştirilmesi ile süzgeç parametre değerleri elektronik bir şekilde ayarlanabilmektedir.

2. ÇOK FONKSİYONLU SÜZGEÇ DEVRESİNİN TANIM BAĞINTILARI

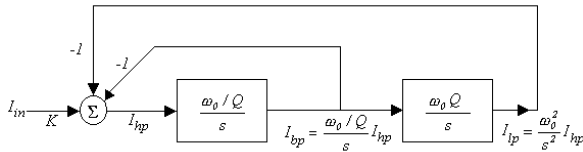
Çok fonksiyonlu süzgeç yapısının bağıntıları yüksek geçiren süzgecin transfer fonksiyonundan türetilmektedir.

$$\frac{I_{hp}}{I_{in}} = \frac{Ks^2}{s^2 + s(\omega_0/Q) + \omega_0^2} \quad (1)$$

Denklem (1) yeniden düzenlenirse aşağıdaki bağıntı elde edilir,

$$I_{hp} = KI_{in} - \frac{\omega_0/Q}{s} I_{hp} - \frac{\omega_0^2}{s^2} I_{hp} \quad (2)$$

I_{hp} eşitliği çift integratör ve bir aritmetik bloğu ile gerçekleştirilebilir. Denklem (2) çok fonksiyonlu süzgeç devresinin tanım bağıntılarını içermektedir. Bu tanım bağıntıları; alçak geçiren (LP), bant geçiren (BP), ve yüksek geçiren (HP) süzgecin tanım bağıntılarıdır. Devrenin blok yapısı Şekil-1'de gösterilmiştir.



Şekil 1 Çok fonksiyonlu süzgecin blok yapısı

Birinci integratörün ($\frac{\omega_0/Q}{s} I_{hp}$) çıkışı bant geçiren süzgecin tanım bağıntısını vermektedir.

$$T_{bp} = \frac{(\omega_0/Q) I_{hp}}{s I_{in}} = \frac{K(\omega_0/Q)s}{s^2 + s(\omega_0/Q) + \omega_0^2} \quad (3)$$

İkinci integratörün çıkışı ise alçak geçiren süzgecin tanım bağıntısıdır. Yüksek geçiren süzgecin tanım bağıntısını elde etmek için ise aritmetik bloğu kullanılmalıdır.

$$T_{lp} = \frac{\omega_0^2 I_{hp}}{s^2 I_{in}} = \frac{K\omega_0^2}{s^2 + s(\omega_0/Q) + \omega_0^2} \quad (4)$$

3. LOGARİTMİK ORTAM A SINIFI İNTEGRATÖR TASARIMI

İntegratör blokları, durum-uzay yöntemi kullanılarak logaritmik ortamda A sınıfı olarak tasarlanmıştır. Seevinck, akım modlu integratör yapısını logaritmik ortam fark alan AB sınıfı ve A sınıfı olmak üzere ayrı ayrı tasarlamıştır [3]. Önerilen integratör devresi ise Seevinck integratör yapısına bağlı kalınarak tümüyle durum-uzay yöntemiyle gerçekleştirilmiş ve integratör parametreleri çok fonksiyonlu süzgeç devresine uygun bir şekilde seçilmiştir [4]. İntegratörün transfer fonksiyonu aşağıdaki şekildedir,

$$H(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{k}{s} \quad (5)$$

Burada k sıfırdan büyük olmalıdır aksi takdirde fonksiyon A sınıfı olarak kolaylıkla gerçekleştirilemez. Denklem (5) zaman ortamına aktarıldıktan sonra durum değişkenleri şeklinde tanımlanırsa aşağıdaki durum denklemi elde edilir.

$$\dot{y} = ku \quad (6)$$

$$x_1 = y \quad (7)$$

$$\dot{x}_1 = ku \quad (8)$$

Burada u giriş, y çıkış ve x_1 de durum değişkenidir. Denklem (8)'e aşağıdaki üstel aktarım fonksiyonları uygulanırsa, durum denklemi doğrusal olmayan ortama taşınmış olur.

$$x_1 = I_s e^{V_1/V_i}, \quad u = I_s e^{V_0/V_i} \quad (9)$$

$$\dot{x}_1 = I_s \frac{1}{V_i} \dot{V}_1 e^{V_1/V_i} \quad (10)$$

Denklemin iki tarafı $CV_t / I_s e^{V_1/V_i}$ ile çarpıldıktan sonra elde edilen bağıntıda, sol taraftaki terim bir kondansatörün akımını, sağ taraftaki terim ise bir transistorün kollektör akımına dönüştürülebilir.

$$CV_t \dot{V}_1 = kCV_t e^{\frac{V_0 - V_1}{V_i}} \quad (11)$$

I_f pozitif sabit olarak aşağıdaki gibi tanımlanabilir,

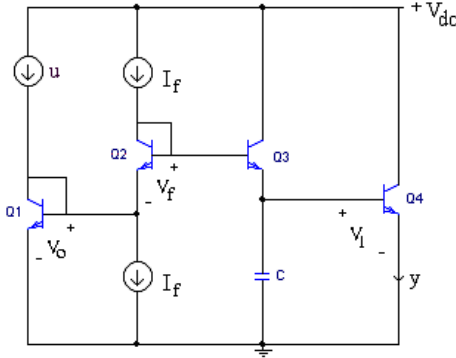
$$I_f = kCV_t \quad (12)$$

$$CV_t \dot{V}_1 = I_f e^{\frac{V_0 - V_1}{V_i}} \quad (13)$$

Akım değeri, Denklem (11)'de yerine yazılır ve I_f üstel olarak tanımlanırsa $I_s e^{V_{f2}/V_t}$, denklem aşağıdaki bağıntıya dönüşür,

$$C\dot{V}_1 = I_s e^{\frac{V_0+V_f-V_1}{V_t}} \quad (14)$$

Denklem (14)'e bağlı olarak tasarlanan integratör devresi Şekil-2'de gösterilmiştir.



Şekil 2 İntegratör devresi

4. ÇOK FONKSİYONLU LOGARİTMİK ORTAM SÜZGEÇ DEVRESİ

Tasarlanan integratör devresi Şekil-1'de görülen blok yapısının içerisine yerleştirilir ve uygun aritmetik bloğu kullanılarak Şekil-3'deki çok fonksiyonlu logaritmik ortam süzgeci gerçekleştirilmiş olur. ω_0 ve Q Denklem (12)'den elde edilebilir.

$$1. \text{ İntegratör, } k = \omega_0 / Q \Rightarrow \frac{\omega_0}{Q} = \frac{I_{f1}}{C_1 V_t} \quad (15)$$

$$2. \text{ İntegratör, } k = \omega_0 Q \Rightarrow \omega_0 Q = \frac{I_{f2}}{C_2 V_t} \quad (16)$$

Tasarlanan çok fonksiyonlu süzgeç devresi aynı anda alçak geçiren (LP), bant geçiren (BP), ve yüksek geçiren (HP) süzgeç fonksiyonlarını gerçekleştirir. Bu fonksiyonlar

$$\frac{I_{hp}}{I_{in}} = \frac{Ks^2}{s^2 + \frac{I_{f1}}{C_1 V_t} s + \frac{I_{f1}}{C_1 V_t} \frac{I_{f2}}{C_2 V_t}} \quad (17)$$

$$\frac{I_{bp}}{I_{in}} = \frac{K \frac{I_{f1}}{C_1 V_t} s}{s^2 + \frac{I_{f1}}{C_1 V_t} s + \frac{I_{f1}}{C_1 V_t} \frac{I_{f2}}{C_2 V_t}} \quad (18)$$

$$\frac{I_{lp}}{I_{in}} = \frac{K \frac{I_{f1}}{C_1 V_t} \frac{I_{f2}}{C_2 V_t}}{s^2 + \frac{I_{f1}}{C_1 V_t} s + \frac{I_{f1}}{C_1 V_t} \frac{I_{f2}}{C_2 V_t}} \quad (19)$$

bağıntılarıyla tanımlanmışlardır.

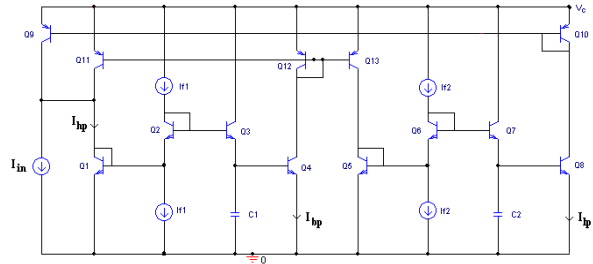
LP, HP ve BP fonksiyonlarına ilişkin kesim frekansı, değer katsayısı, bant genişliği ve fonksiyonlara ilişkin kazanç değerleri aşağıdaki şekildedir.

$$\text{Kesim frekansı: } \omega_0 = \sqrt{\frac{I_{f1}}{C_1 V_t} \frac{I_{f2}}{C_2 V_t}} \quad (20)$$

$$\text{Değer katsayısı: } Q = \sqrt{\frac{I_{f2}}{C_1 V_t} / \frac{I_{f1}}{C_2 V_t}} \quad (21)$$

$$\text{Kazanç: } K \quad (22)$$

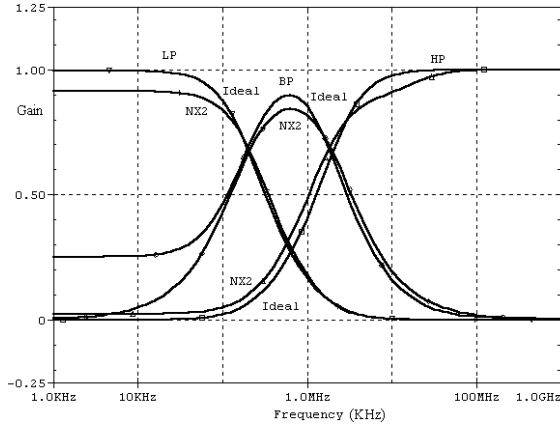
$$\text{Bant genişliği: } \frac{\omega_0}{Q} = \frac{I_{f1}}{C_1 V_t} \quad (23)$$



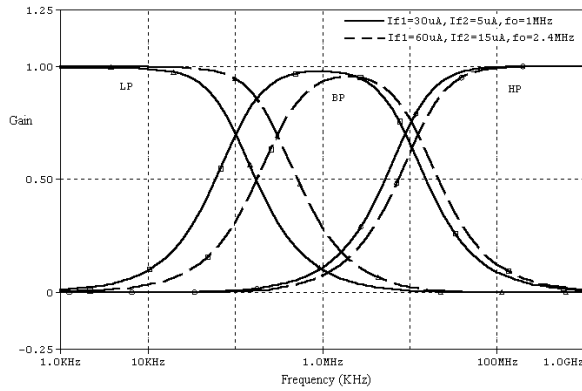
Şekil 3 Çok fonksiyonlu logaritmik ortam süzgeci

5. BENZETİM SONUÇLARI

Tasarımı yapılan devrenin benzetimi hem ideal, hem de AT&T CBIC-R (NR200N-2X NPN), (PR200N-2X PNP) transistörleri kullanılarak PSPICE ile yapılmıştır. Benzetim için seçilen değerler sırası ile şu şekilde seçilmiştir; $K=1$, $V_{cc}=1.2V$, $V_t=25.6mV$, $I_{f1}=5\mu A$, $I_{f2}=15\mu A$, $C_1=15pF$, $C_2=300pF$, $f_0=800KHz$. Tasarlanan çok fonksiyonlu süzgeç devresi aynı anda (LP), (BP) ve (HP) süzgeç fonksiyonlarını gerçekleştirmektedir. Şekil-4'te, gerçekleştirilen süzgeçlerin kazanç cevapları görülmektedir. Şekil-5'te ise I_{f1} ve I_{f2} 'yi değiştirerek süzgeçlerin kesim frekanslarının elektronik olarak ayarlandığını görmek mümkündür.



Şekil 4 Çok fonksiyonlu logaritmik ortam süzgecinin kazancı



Şekil 5 Çok fonksiyonlu logaritmik ortam süzgecinin kesim frekansının elektronik olarak ayarlanması

6. SONUÇ

Bu çalışmada çok çıkışlı, LP, HP ve BP fonksiyonlarını aynı anda gerçekleştirebilen, akım modlu, logaritmik ortam süzgeci gerçekleştirilmiştir. 1.2 V gibi oldukça düşük bir besleme gerilimiyle teorik analiz sonuçları PSPICE benzetimi ile doğrulanmıştır. Akım kaynaklarının değerlerinin değiştirilmesi ile süzgeç parametre değerleri elektronik bir şekilde ayarlanabilmektedir. Önerilen devrenin diğer avantajları ise çok basit bir yapıya sahip olması, çok az eleman içermesi, düşük güç tüketimi, düşük gürültü, bant-genişliğinin geniş bir aralıkta bulunması, yüksek frekans uygulamalarında kullanılabilmesi ve tümdevre teknolojisine uygunluk gibi özelliklerinden dolayı analog işaret işleme uygulamalarına alternatif çözümler sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] R. W. Adams, Filtering in the log-domain Presented at 63rd AES Conference, May 1979.
- [2] Tsvividis Y. P., Companding in signal processing, ELECTRONICS LETTERS, Vol.26, pp. 1331-1332, 1990.

- [3] Seevinck E., Companding current-mode integrator: A new circuit principle for continuous-time monolithic filters, ELECTRONICS LETTERS, Vol.26, No.24, pp.2046-2047, 1990,
- [4] Frey D. R., Log-domain filtering: an approach to current-mode filtering,' IEE PROC.-G, CIRCUITS SYST. DEVICES, Vol.140, No.6, pp. 406-416, Dec.1993.
- [5] Frey D. R., Exponential state-space filters: A generic current-mode design strategy, IEEE TRANSACTION on CIRCUITS and SYSTEMS-I: Fundamental Theory And Application, Vol.43, pp. 34-42, 1996.
- [6] Perry D., and Roberts G. W., The design of Log-domain filters based on the operational simulation of LC ladders, IEEE TRANSACTION on CIRCUITS and SYSTEMS-II: Analog and Digital Signal Processing 43, pp. 763-774, 1996.
- [7] Yang F., Enz C. C., and Ruymbeke M., Design of low-power and low-voltage log-domain filters, PROC. ISCAS Hong Kong, pp. 117-120, 1996.
- [8] Drakakis E. M., Payne A. J., and Toumazou C., Log-domain filters, translinear circuits, and Bernoulli cell, PROC. ISCAS, Hong Kong, 1, pp. 501-504, 1997.
- [9] Ngarmnil J., Toumazou C., and Lande T. S., A fully tuneable micropower log-domain filter, Proc. ESSCIRC, pp. 86-89, 1995.
- [10] Punzenberger M., and Enz C., Low-voltage companding current-mode integrators, Proc. ISCAS 3, pp. 2112-2115, 1995.
- [11] Mulder J., Serdijn W. A., Woerd A. C., and Roermund A. H. M., Dynamic Translinear Circuits—An Overview, ANALOG INTEGRATED CIRCUITS and SIGNAL PROCESSING, Volume 22, Issue 2, pp.111-126, 2000.
- [12] Horng J. W., Lee M. H., Hou C. L., Universal Active-Filter Using 4 OTAs and One CCII, INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRONICS, Vol 78, Iss 5, pp 903-906, 1995.
- [13] Senani R., Singh V. K., KHN-equivalent biquad using current conveyors, ELECTRONICS LETTERS, Vol.31, No.8, pp. 626-628, 1995.
- [14] Agrawal S., Kumar A., Carter H. W., Realization of an analog filter using log-domain techniques, Proc. MWSCAS, vol.1, pp. 255-258, 2001.