

BİRİNCİ DERECE A SINIFI LOGARİTMİK ORTAM SÜZGEÇİNİN BLOK MODELLEME İLE TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

**Abdullah T. TOLA*, Remzi ARSLANALP*, Mehmet ÜNAL*,
Şaziye SURAV YILMAZ****

*Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Elk.-Elt. Mühendisliği Bölümü, Kampus/Denizli

**Pamukkale Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elk.- ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü, Kampus/Denizli

Geliş Tarihi : 03.07.2006

ÖZET

Birinci derece A sınıfı bir alçak geçiren logaritmik ortam süzgeci bilgisayar benzetim programı PSpice kullanılarak tasarlanmış ve laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Giriş işaretinin logaritmasını alan ve seviye öteleyen kısımlarından oluşan giriş katı için değişik alternatifler vardır. Bu alternatiflerden iki tanesi daha iyidir. Bu çalışmada T tipi kullanılmıştır. Süzgeç yaklaşık olarak 260 kHz kesim frekansına sahiptir, transistörlerin DC akımları 10 mA seviyesindedir. Süzgecin kesim frekansı elektronik olarak ayarlanabilmektedir; yani, akım kaynaklarının değerleri değiştirilerek süzgecin kesim frekansı ayarlanabilmektedir. Süzgecin PSpice varsayılan transistörü BF=10000 alınarak ve BC546B/BC557B tipi transistörler kullanılarak PSpice’da benzetimi yapılmıştır. Benzetim sonuçları teorik sonuçları doğrulamıştır. Süzgeç özellikle logaritmik ortam süzgeçleri için tasarlanmamış bu transistörler ile laboratuvarında gerçekleştirilmiş ve bir dizi test yapılmıştır. Laboratuvar sonuçları ile bilgisayar benzetim sonuçları karşılaştırılmış ve kabul edilebilir sınırlarda farklılık olduğu gözlemlenmiştir. Bu tür süzgeçlerin transistör uyumsuzluklarına hassasiyeti ve tümdevre teknolojisine ihtiyaç duyduğu bilinmesine karşın, tasarlanan süzgecin laboratuvardaki gerçekleştirilmesi tatmin edici sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Logaritmik ortam süzgeçleri, ELIN süzgeçler, Akım modlu süzgeçler.

BY BLOCK MODELLIG DESIGN AND REALIZATION OF A FIRST ORDER CLASS A LOG DOMAIN FILTER

ABSTRACT

A first order low pass Class A type log domain filter is synthesized by using computer simulation program (PSpice), and realized in laboratory. For front-end circuitry, i.e. input logging and level shifting part, number of alternatives exist. Two of these alternatives are known as better choices. T type is chosen in this work. The filter has approximately the cutoff frequency of 260 kHz and the transistors in the filter have 10mA DC currents. The filter’s cutoff frequency is electronically tunable, i.e. changing the magnitudes of the current sources defines the filter’s cutoff frequency. The filter is simulated in PSpice using ‘ideal’, default PSpice model with BF=10000, and BC546B/BC557B type transistors. Simulation results confirmed with the theoretical results. In laboratory, the filter is realized by using these transistors, not specially designed for log domain filtering, and a number of tests are performed. The laboratory results are compared with those of the simulation results. Due to some nonideal laboratory conditions, some acceptable differences are observed. Although such filters are very sensitive for mismatches and require integration technology, we have observed that realization of this filter in the laboratory has provided satisfactory results.

Key Words : Log domain filters, ELIN filters, Current mode filters.

1. GİRİŞ

1. 1. Logaritmik Ortam Süzgeçlerine Genel Bir Bakış

Logaritmik ortam süzgeçleri (Log domain filters) ya da daha geniş ifadesiyle ELIN süzgeçler (Externally Linear Internally Nonlinear filters) 1990'lı yıllardan itibaren sürekli zamanlı ve akım modlu aktif süzgeçler sınıfına katılmıştır (Frey, 1993; Tsividis, 1997). ELIN süzgeçleri diğer akım modlu devrelerden ayıran en büyük özellik, doğrusal olmayan çalışma ortamına rağmen giriş-çıkış arasındaki doğrusal ilişkiyi muhafaza edebilmesidir. Süzgeç işleminde doğrusal olmayan ortamın kullanılması ilk defa 1979 yılında Adams tarafından ortaya atılmıştır (Adams, 1979). Adams bu çalışmasında sadece akım kaynağı, diyot, kondansatör ve op-amp kullanarak direnç ve bobinden bağımsız lineer olmayan ortamlı bir süzgeç sunmuştur. Ancak tasarlanan devrenin akım modlu olmasına rağmen kullanılan devre elemanlarının tamamının akım modlu olmaması ve genel bir sentez yönteminin sunulamamış olması çalışmanın eksik yönleri olarak değerlendirilmiştir (Frey, 1993).

Doğrusal olmayan ortama sahip süzgeç anlayışı 1990'lı yıllara kadar araştırmacıların ilgisini çekmemiştir. Bu yıllarda, genlik uygunlaştırma (Compadding) kavramı işaret işlemede yeni bir fikir olarak ortaya atılmış ve çeşitli devreler tasarlanmıştır (Seevinck, 1990; Tsividis et al., 1990). Daha sonraları ise Frey, Adams'ın yaklaşımı ile genlik uygunlaştırma (Compadding) kavramını ilişkilendirerek logaritmik ortam süzgeçlerinin genel sentezine ait ilk teorik çalışmayı sunmuştur (Frey, 1993). Bu çalışmada, durum uzayı yöntemi ile, giriş işareti ve durum değişkenlerine üstel bir aktarım fonksiyonu uygulanmıştır. Bu sayede, BJT'ler, akım kaynakları ve kondansatörlerden oluşan akım modlu, aktif, translineer prensibine (Gilbert, 1975) uygun ve doğrusal olmayan ortama sahip olmasına karşın giriş-çıkış arasında yüksek doğrusallığa sahip olan genel bir devre mimarisi tasarlanmıştır. Aynı zamanda bu anlayışın gelişmesiyle işaretin doğrusal bağıntılarla işleme zorunluluğunun olmadığı ortaya çıkmıştır.

Frey'in sunduğu bu genel sentez yönteminden sonra konu araştırmacıların ilgisini çekmiş ve günümüze kadar çok hızlı bir gelişim göstermiştir. Yapılan araştırmalar farklı değerlendirme noktaları ile incelendiğinde çeşitli sınıflandırmalar yapılabilmektedir. Sentez esnasında kullanılan yöntem dikkate alındığında iki farklı yaklaşım görülmektedir. Bazı araştırmacılar durum uzayı sentez yöntemini kullanırken (Frey, 1993; Tola and

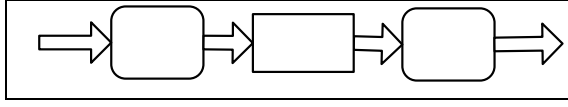
Frey, 2000; Arslanalp, 2003) bir çok araştırmacı da işaret akış diyagramı ya da blok modelleme yöntemini tercih etmişlerdir (Pery and Roberts, 1996; Drakakis et al., 2001). ELIN devreler kullanılan temel eleman dikkate alındığında da farklılık göstermektedir. Bazı araştırmacılar BJT elemanını kullanırken bir kısım araştırmacılar da CMOS teknolojisinden faydalanmışlardır (Eskiyerli et al., 1996; Frey, 1996; Mulder et al., 1999; Frey and Tola, 1999; Toth et al., 2000). Kullanılan devre mimarisinin sınıfına göre de farklı çalışmalar yapılmıştır. Bir kısım araştırmalar A sınıfı devre yapısı hakkında iken, B sınıfı ya da AB sınıfı üzerine de araştırmalar yapılmıştır (Toth et al., 1998; Tola and Frey, 2000; Arslanalp, 2003). ELIN devreler genellikle süzgeç ağırlıklı olarak tasarlanmış olmakla birlikte, doğrusal olmayan ortamlı osilatör devreleri üzerine araştırmalar da yapılmıştır (Pookaiyudom and Mahattanakul, 1995; Özoğuz et al., 2003). Anlaşılacağı gibi, ELIN devreler son yılların akım modlu aktif devre sentezinin en çok ilgi çeken ve üzerinde en fazla araştırma yapılan konularından birisidir.

ELIN devrelerini ya da daha özel olarak logaritmik ortam devrelerini diğer tasarımlardan ayıran en önemli fark işaretin işlendiği ortamın doğrusal olmamasına karşın transfer fonksiyonunun ya da giriş-çıkış ilişkilerinin geniş bir dinamik aralık içerisinde tam doğrusallığının sağlanmasıdır. Bu önemli fark, işarete girişte ve çıkışta uygulanan doğrusal olmayan genlik uygunlaştırma fonksiyonundan kaynaklanmaktadır. Öyle ki, işarete girişte uygulanan fonksiyonun tersinin çıkışta uygulanması ile doğrusal ortama geri dönmüş olur; aynı zamanda işlenen işaretin genliğinin dinamik aralığı arttırılmış olur. Bu tür devreler genlik uygunlaştırmalı devreler olarak adlandırılabilir (companding).

Bu tür devrelerde, doğrusal olmayan uç denklemlerinin kullanılması ile elemanların doğrusallaştırma çabalarına dolayısıyla doğrusallaştırma için sınırlandırıcı elemanların kullanılmasına gerek kalmamaktadır. Böylece kullanılan aktif ve pasif eleman sayısı azalmakta bununla birlikte maliyet düşmekte ve bu elemanlardan kaynaklanan güç kayıpları ortadan kalkmaktadır.

Logaritmik ortam süzgeçlerinin girişinde ve çıkışında uygulanan sıkıştırma-genişletme işleminde kullanılan fonksiyon aynı zamanda akım-gerilim dönüştürücüsüdür. Sisteme giren işaret akım olmasına karşın genlik uygunlaştırma fonksiyonuna maruz kaldığında işaret doğrusal olmayan ortamdaki gerilime dönüşür. Çıkışta girişte uygulanan işaretin tersinin uygulanması ile işaret tekrar doğrusal akım

ortamına geri döner. Bu durum Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Logaritmik ortam süzgeçlerinin çalışma mantığı.

Şekil 1'de süzgeç giriş-çıkış büyüklükleri gerilim olmasına karşın, bu gerilimlerin etkisiyle transistör akımları olduğundan, aslında işlenen işaret akımdır. Buna ilave olarak, giriş-çıkış arasındaki doğrusal ilişkinin akım olması ve devre üzerindeki kesim frekansının elektronik olarak akım ile ayarlanabilir olması yani besleme gerilimi dışında işlenen işareti doğrudan etkileyen tüm büyüklüklerin akım olmasından dolayı logaritmik ortam süzgeçleri akım modlu devrelerin en son uygulamalarından birisi olarak kabul edilmektedir.

Logaritmik ortam süzgeçlerinin akım modlu olarak kabul edilmesi ve işareti işleme mantığının eşdeğer devrelerden farklı olmasından kaynaklanan noktasal ve aralıksal üstünlükleri vardır. Bu özellikler konunun bu kadar güncel olmasının temel sebebidir. Noktasal üstünlükler doğrudan çalışma alanının ulaşabildiği sınır değerler ile ilgilidir. İşaret akış yolu üzerindeki jonksiyon sayısının ve devre genelinde kullanılan pasif eleman sayısının fazla olması gibi sebeplerle yüksek frekanslarda sorunsuz çalışma, düşük güç tüketimi, düşük gerilim ihtiyacı, yüksek hızlı cevap verme yeteneği ve düşük gürültü-bozulma oranına sahip olması logaritmik ortam süzgeçlerinin noktasal üstünlükleri arasında sayılabilir. Aralıksal üstünlükler ise devrenin çalışması esnasında işlenen işaretin salımlanabileceği sınırların genişliğini anlatır. Devrenin girişinde ve çıkışında genlik uygunlaştırma işlemi uygulandığından geniş bir dinamik aralıkta işaretin işlenebilmesi ve bunun yanında akım modlu olarak kolaylıkla kesim frekansının ayarlanabilmesi kendinden uyarlamalı ve çok amaçlı uygulamalarda kullanılabilmesi başta gelen aralıksal üstünlükleri arasında sayılabilir.

Bu çalışmada, öncelikle transfer fonksiyonundan hareketle durum uzayı yöntemi kullanılarak sistem denklemleri, daha sonra da durum değişkenleri ve giriş işaretleri üstel bir aktarım fonksiyonu ile eşlenerek devre denklemleri elde edilmiştir. Frey tarafından geliştirilen sentez yöntemi gereğince elde edilen devre denklemlerindeki her bir terim bir akıma karşılık gelmektedir. Akım olarak kabul edilen bu terimler, bloklar kullanılarak modellenip birleştirilmesi ile genel blok yapı elde edilmiştir. Daha sonra blokların fiziksel karşılıklarından

oluşabilecek farklı giriş devre seçeneklerinden temel olarak iki tip gerçek devre mimarisi elde edilmiştir. Bu mimariler kendi içerisinde irdelenmiş ve bu çalışmada kullanılmak üzere T tipi devre mimarisi seçilmiştir. Bu devre laboratuvar ortamında gerçekleştirilerek, çeşitli ölçümler yapılmıştır.

Şimdiye kadar büyük çoğunlukla yüksek yarıiletken teknolojisi altında özel geliştirilmiş elemanlar ile yapılan sentez ve analizlerden farklı olarak sıradan bir transistörün kullanılması ile orta seviye laboratuvar koşullarında logaritmik ortam süzgecinin çalışabildiğinin gösterilmesi bu çalışmanın başlangıcındaki amacıydı. Sonuçların kabul edilebilir sınırlarda olduğu tespit edilmiştir. Logaritmik ortam süzgeçlerinin bu haliyle gerçekleştirilebilmesi, aynı zamanda halen bir çok elektronik devrede kullanılan süzgeç devrelerinin bu şartlar altında bu tür süzgeçlerle yer değiştirebileceği konusundaki araştırmalara da katkıda bulunacaktır.

Bu konu hakkında daha önce elde edilen sonuçlar özet olarak iki ayrı bildiriye sunulmuştur (Tola ve ark., 2004; Tola ve ark., 2005). Bu çalışmalarda logaritmik ortam süzgeçlerinin blok tasarımı üzerinde durulmamıştır. Bu makalede ise, elde edilen teorik, benzetim ve laboratuvar sonuçları ayrıntılı olarak blok modelleme tasarım yöntemi ile birlikte sunulmuştur. Blok modelleme tasarım yöntemi kullanılarak yüksek dereceli, çok girişli çok çıkışlı, gerilim ötelemesinin birden fazla yapıldığı süzgeç tasarımları yapmak mümkündür.

2. SENTEZ

Bu çalışmada, A sınıfı birinci dereceden, Butterworth yaklaşımına sahip alçak geçiren logaritmik ortam süzgecinin sentezi için durum uzayı blok modelleme karma yöntemi kullanılacaktır. Durum uzayı yöntemi ile transfer fonksiyonundan elde edilen devre denklemlerindeki terimler bloklar ile modelleneyecektir. Blokların devre karşılıklarının birleştirilmesi ile devre elemanlarından oluşan sentez devresi ortaya çıkacaktır. Denklem 1'de ω_o kesim frekansına sahip alçak geçiren bir filtrenin transfer fonksiyonu görülmektedir.

$$H(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{\omega_o}{s + \omega_o} \quad (1)$$

Burada; U = giriş, Y = çıkış bilgisidir. Böyle bir transfer fonksiyonundan durum uzayı yöntemi kullanılarak elde edilen sistem denklemleri

Denklem 2’de görülmektedir. Bu çalışmada $A=-\omega_o$, $B=\omega_o$ ve $P=1$ alınmıştır.

$$\dot{x}_1 = Ax_1 + Bu \quad (2.a)$$

$$y = Px_1 \quad (2.b)$$

Durum değişkeninin ve giriş işaretinin üstel bir aktarım fonksiyonu ile ($x = I_S e^{\frac{v_1}{V_t}}$, $u = I_S e^{\frac{v_0}{V_t}}$) bire bir ve örten eşlenmesi sonucunda doğrusal olmayan ortama girilmiş olur. Bu dönüşümden sonra bazı cebirsel işlemler ile Denklem 3’de görülen devre denklemleri elde edilir. Devre denklemlerindeki her bir terimin akım bilgisine karşılık geldiği kabul edilir. Bu bağlamda Denklem 3.a’nın sol tarafındaki terim bir kondansatörün akımını, sağ tarafındaki ilk terim sabit akım kaynağını, ikinci terim ve Denklem 3.b ise baz emetör arasındaki gerilimin değerine bağlı olarak (v_o , v_l , V_{fo1}) bir transistörün kollektör akımını verir.

$$C_1 \dot{v}_1 = -I_{f1} + I_s e^{\frac{(v_o + V_{fo1} - v_1)}{V_t}} \quad (3.a)$$

$$y = I_s e^{\frac{v_1}{V_t}} \quad (3.b)$$

Burada,

$$-I_{f1} = V_t C_1 A \quad (4)$$

$$I_{fo1} = V_t C_1 B = I_s e^{\frac{V_{fo1}}{V_t}}$$

Devre denklemlerinin belirlenmesinden sonra Tablo 1’de verilen karşılıklara göre tasarım gerçek elemanlar ile gerçekleştirilebilir hale gelmiştir. Tablo incelendiğinde temel olarak Logaritmik akım-gerilim çevirici, Üstel gerilim-akım çevirici ve akım kaynağı bloklarının olduğu görülmektedir.

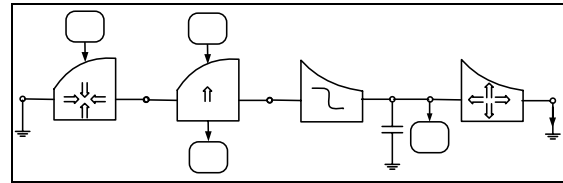
Logaritmik akım-gerilim çevirici bloklarında giriş işareti akım çıkış işareti gerilim, Üstel gerilim-akım çeviricide ise giriş işareti gerilim çıkış işareti ise akımdır. Birbirinden ayrılmaz iki büyüklük olan akım ve gerilim devre içerisinde birbirlerinin neden sonuç ilişkisini oluşturmaktadır. Ancak giriş ve çıkış işaretleri ve süzme işlemi akımdır.

Akım gerilim çeviricide giriş akım bilgisi giriş işareti ise; akımın logaritması alınarak doğrusal olmayan ortamda gerilim bilgisi elde edilmiş olur. Bu işlem sayesinde hem doğrusal olmayan ortama girilmiş, hem de işaret dinamik aralığı dB olarak sıkıştırılmış olur (Arslanalp ve Tola, 2005). Giriş akım bilgisi DC bir büyüklük ise doğrusal olmayan ortamda (seviye yükselten veya indiren) gerilim

öteleme işlevi için kullanılır. Seviye öteleme işlemi translineer çevrimin doğru olarak sağlanabilmesi için gereklidir (Gilbert, 1975).

Gerilim akım çevirici iki farklı blok yapı mevcuttur. Birincisi süzme işleminin gerçekleştirildiği kondansatörün bağlı bulunduğu düğüme akım akıtan transistörü betimleyen çekirdek süzgeç transistördür. Bu transistör sayesinde gerektiği kadar ötelenmiş ve gerilime dönüşmüş giriş işareti tekrar akıma dönüşerek esas işlem olan süzme gerçekleşmektedir. Bu da süzgecin akım modlu bir devre olduğunun en kesin kanıtıdır. Diğer gerilim akım çevirici olan çıkış transistörü ise gerilim bilgisinden tekrar akım elde ederek işareti doğrusal ortama taşımakta aynı zamanda işlenmeden önce sıkıştırılan işaretin dinamik aralığını tekrar özgün değerine kavuşturmaktadır. Böylelikle geniş bir dinamik aralık içerisinde işaret işlenebilmektedir.

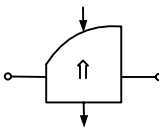
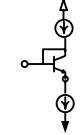
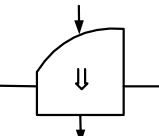
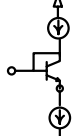
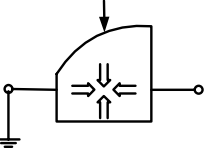
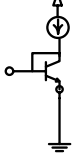
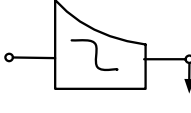

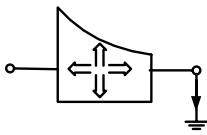
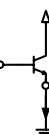

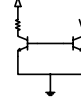

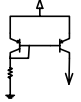
Tablo 1’den faydalanarak devre denklemlerinin blok olarak modellenmesi ile Şekil 2’de görülen blok devre yapısı elde edilir. Elde edilen yapı logaritmik ortam süzgeçlerinin çalışma mantığını yansıtan temel yapı olarak kabul edilebilir. Yüksek dereceli, çok girişli-çok çıkışlı ve işaretin işlendiği seviyenin daha fazla ötelendiği devre yapıları bu temel blok yapının genişletilmesi ile kolaylıkla elde edilebilir. Örneğin çok girişli-çok çıkışlı bir devre için girişteki bloğun giriş sayısı kadar, çıkıştaki bloğun çıkış sayısı kadar artırılması, ya da yüksek seviyeli işaretin işlendiği devre için seviye öteleyen bloğun sayısı artı ve eksi yönde karşılıklı artırılması yeterlidir.

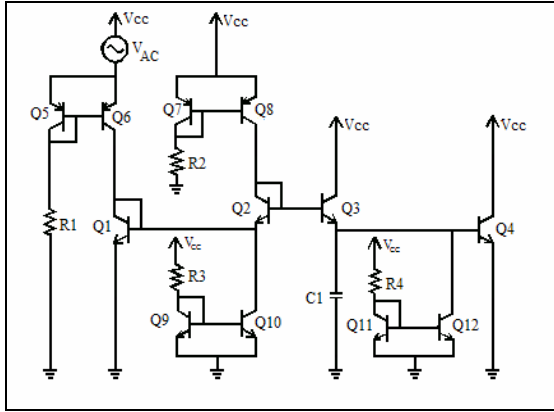


Şekil 2. Genel blok yapısı.

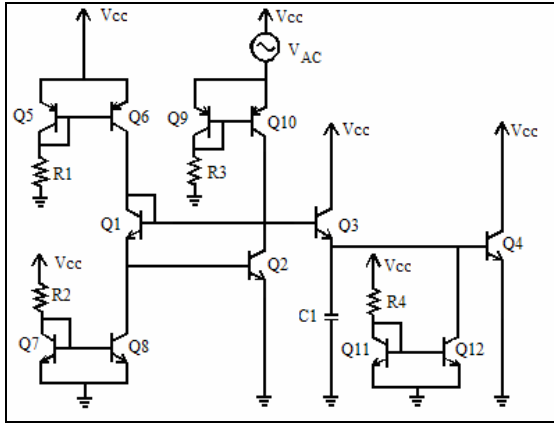
Şekil 2’de görülen blok yapısı, Tablo 1’de verilen karşılık tablosu kullanılarak elektronik devre elemanları ile gerçekleştirilir. Blok yapının girişinde bulunan log. alan blokların farklı mimarileri ile alternatif devre yapıları elde edilir (Frey, 1993), (Tola and Frey, 2000). Mevcut farklı seçenekler içerisinde iki tanesinin diğerlerine göre daha iyi sonuç verdiği yapılan çalışmalarda ispatlanmıştır. T mimarisi (Tola and Frey, 2000) ve F mimarisi (Frey, 1993) olarak adlandırılan devre yapıları sırasıyla Şekil 3’te ve Şekil 4’te görülmektedir. Bu süzgeçlerdeki ideal akım kaynakları devrenin laboratuvar ortamında gerçekleştirilebilmesi için basit akım kaynakları ile modellenmiştir (Sedra and Smith, 1991).

Tablo 1. Durum Uzaı Blok Modelleme Karma Yöntemi Karşılık Tablosu.

Sınıflandırması	Matematik Denklemi	Blok şeması	Devresi	İşlevi
Logaritmik akım-gerilim çevirici	DC akım-gerilim çevirici			Yükselten $v_b > v_a$
				İndiren $v_a > v_b$
	AC akım-gerilim çevirici			Sıkıştırma
Üstel Gerilim-akım çevirici	Çekirdek süzgeç transistörü			Süzülecek akımın eldesi
	Çıkış transistörü			Genişletme
Akım kaynağı	NPN akım kaynağı			Akım üretici
	PNP akım kaynağı			Akım üretici



Şekil 3. T mimarisinin kullanıldığı Logaritmik Ortam Süzgeci.



Şekil 4. F mimarisinin kullanıldığı logaritmik ortam süzgeci.

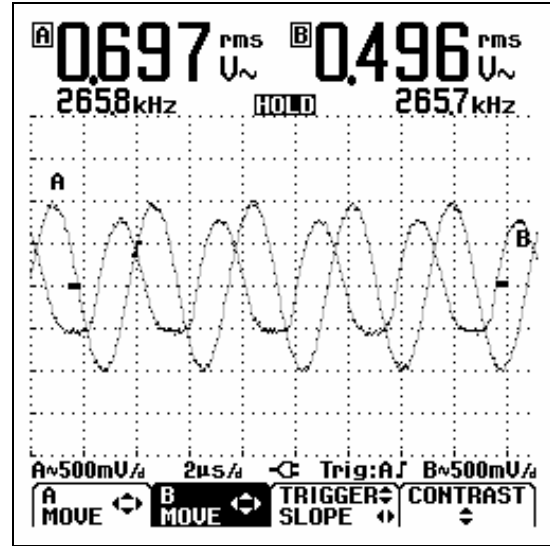
3. BENZETİM VE DENEY SONUÇLARI

Bu çalışmada, birinci dereceden logaritmik ortam süzgeçlerinin iki seçeneği arasında Şekil 3’de görülen T tipi devre mimarisi ele alınmıştır. Devre yapısı öncelikle PSpice’da ileri yön akım kazancı büyütülmüş (BF=10000) varsayılan transistör ve deney uygulamasında kullanılmak üzere seçilen BC serisi transistörün gerçek modeli kullanılarak yapılan analizler ile tasarlanan devrenin doğruluğu araştırılmış aynı zamanda laboratuvar ortamında yapılan uygulamadan elde edilen sonuçlar için kontrol verisi elde edilmiştir. Daha sonra laboratuvar koşullarında, belirlenen elemanlar kullanılarak devre kurulmuş zaman ortamı ve frekans cevabı analizleri yapılmıştır. Sonuçlar ilerleyen kısımlarda sunulmuştur.

3. 1. Zaman Ortamı Analizi

Logaritmik ortam süzgeç devresi, her bir transistörün üzerinden DC olarak 10mA akım akıtacak direnç değerleri 0.1Ω hassasiyetle; kesim frekansı 260 kHz, kondansatör değeri 220nF ve besleme gerilimi 3 volt olarak belirlenerek kurulmuştur. Bunların yanında devrenin sıcaklığa bağlı bileşenlerinin hassas olduğu dikkate alınarak ortamın sıcaklığı sürekli olarak kontrol edilmiş, ihtiyaca göre ısıtma ya da soğutma yapılarak devre yaklaşık olarak sabit sıcaklıkta çalıştırılmıştır.

Tasarımın istenilen sonuçları hangi ölçüde verebileceğini görebilmek için zaman ortamında inceleme yapılmıştır. Devre, iletim bandında en kötü sonucu verdiği bilinen kesim frekansında sürülmüştür. Laboratuvar ortamında osiloskop çıktısı olarak elde edilen giriş ve çıkış dalga işaretleri Şekil 5’de görülmektedir. İşaretlerin genliklerinin arasında 3 dB’lik bir farkın olduğu anlaşılmaktadır. Ancak fazlar arasında olması gerekene göre 180° ’lik bir farklılık görülmektedir. Bunun sebebi çıkış işaretinin kollektör üzerinden alınmasıdır.

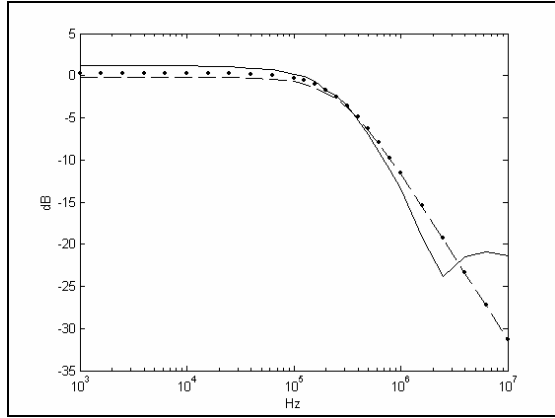


Şekil 5. Kesim frekansında giriş ve çıkış işaretleri.

3. 2. Frekans Cevabı

Devrenin farklı frekanslarda elde edilen sonuçlarının hangi aralıkta ideal süzgeç karakteristiğine ne kadar yaklaştığı araştırılmıştır. Bunun için giriş işaretinin frekansı 1kHz ile 10MHz arasında değiştirilerek frekans cevabı elde edilmiştir. PSpice’da akım kazancı BF=10000 olarak değiştirilen varsayılan transistörün kullanılması ile elde edilen frekans cevabı ideal cevap olarak, üretici firma tarafından belirlenen model tanımlaması ile yapılan simülasyon sonucu elde edilen frekans cevabı gerçek cevap

olarak, belirlenen transistörün kullanılması ile laboratuvar ortamında elde edilen frekans cevabı ise deneysel cevap olarak adlandırılmıştır. Şekil 6'da kesim frekansı civarında fazla örnek alınarak elde edilen 1kHz-10MHz arası frekans cevapları grafiği, Tablo 2'de de 1kHz'den başlayan 4 dekatlık bir frekans aralığı için dekat sınırlarının niceliksel karşılaştırılması verilmiştir. Şekilde ideal cevap kesikli çizgi (--) ile, gerçek cevap nokta (..) ile ve deneysel cevap ise düz çizgi (___) ile gösterilmiştir.



Şekil 6. İdeal (--), gerçek (..) ve deneysel cevap (___).

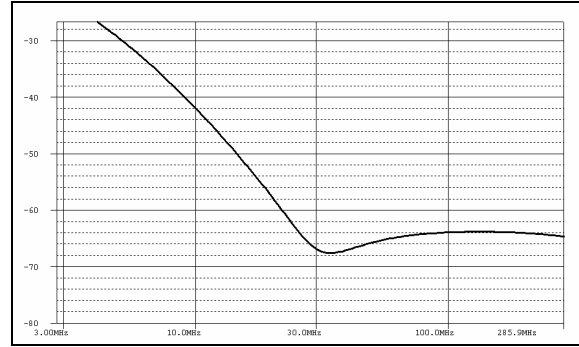
Tablo 2. 4 Dekatlık Aralık İçin Frekans Cevapları.

Frekans	İdeal Cevap (dB)	Gerçek Cevap (dB)	Deneysel Cevap (dB)
1KHz	-0.11948	0.2833	1.157
10KHz	0.2004	0.2772	1.157
100KHz	0.7300	-0.2987	0.157
1MHz	-13.443	-11.576	-11.636
10MHz	-21.343	-31.336	-31.376

Deneysel cevabın yaklaşık 2.5MHz frekansında bozulmaya uğradığı, fakat gerçek cevabın aynı frekansta ideal cevaba çok yakın seyrettiği görülmektedir. Bu beklenen bir durum değildir. Bu sonuçtan transistörün model tanımlaması ile dış dünyadaki davranışını belirleyen katalog verileri arasında uyumsuzluğun olduğu anlaşılmaktadır. Bunun üzerine model tanımlamasında yüksek frekanslardaki davranışını esas olarak belirleyen parametrelerden olan TF (ileri yön geçiş zamanı, 's') ve TR (geri yön geçiş zamanı, 's') değerleri ile kataloglarda yer alan transistörün çalışma frekans değeri olan f_t 'nin ('Hz') karşılaştırmalı incelemesi yapılmıştır. TF ile $1/f_t$ 'nin arasındaki model parametrelerinden (C_{je} ve M_{jc}, V_{jc}) ve çalışma koşullarından (I_c, V_t, V_{cb}) meydana gelen küçük fark ihmal edilirse (ki bizim çalışma koşullarımızda etkisinin düşük olduğu hesaplanmıştır), bu iki büyüklük yaklaşık eşit kabul edilebilir (Rashid, 1995). Ancak katalog bilgilerine göre f_t değeri 100MHz iken, model tanımlamasında TF değeri 410ps olduğu görülmüştür. Bu da açık olarak model

tanımlamasının yüksek frekans uygulamalarını tam olarak kapsamadığı anlamına gelmektedir.

Model tanımlanmasındaki bu eksikliğin belirlenmesinden sonra diğer tüm parametrelerin sabit kalması koşulu ile sadece TF=1/100MHz olarak değiştirilmesinden sonra daha geniş bir frekans aralığında frekans ortamı analizi yapılmıştır. Bunun sonucunda beklendiği gibi bir bozulma 30MHz civarında tespit edilmiştir. Bu durum Şekil 7'te sunulmuştur.



Şekil 7. TF değerinin değişimi ile elde edilen frekans tepkisi.

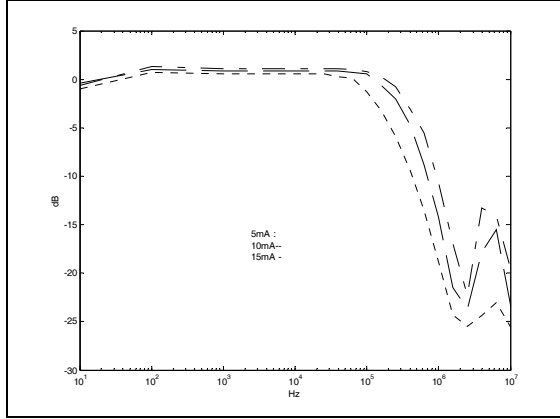
3. 3. Elektronik Ayarlanabilir Kesim Frekansı

Devrenin besleme gerilimi sabit kalmak suretiyle sadece akım kaynaklarının besleme gerilimi değerlerini değiştirerek devre üzerindeki seviye öteleme işlemi için kullanılan transistörlerin DC akım seviyeleri değiştirilmiştir olur. Denklem 3 ve Denklem 4'teki akım-frekans doğrusal ilişkisini kullanarak devrenin kesim frekansı değiştirilmiştir olur.

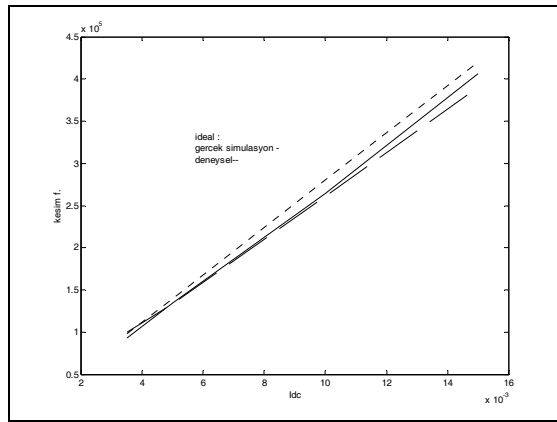
Tablo 3'de, laboratuvar ortamında T tipi logaritmik ortam süzgecinden elde edilen besleme geriliminin akım seviyesine, akım seviyesinin de kesim frekansına olan etkisi görülmektedir. Tabloda DC akım seviyelerinin (akım kaynaklarının besleme gerilimlerini ayarlayarak) değiştirilmesi ile kesim frekansının değiştiği görülmektedir. Şekil 8'de DC akım seviyesinin 5mA-15mA arasında değiştirilmesi ile farklı kesim frekansları için laboratuvar ortamında elde edilen 10Hz-10MHz arası frekans tepkileri grafiği görülmektedir. Elde edilen sonuçların teorik hesaplar (ideal) ve gerçek model kullanılarak elde edilen benzetim sonuçları karşılaştırmalı olarak Şekil 9'da görülmektedir.

Tablo 3. Farklı Akımlar İçin Kesim Frekansları.

Besleme Gerilimi		DC Akım	Kesim Frekansı
NPN	PNP		
1.85 V	1.79 V	5 mA	134 KHz
3.18 V	2.91 V	10 mA	261 KHz



Şekil 8. Frekans cevabı grafiği.



Şekil 9. Idc-kesim frekansı değişiminin ideal, gerçek simülasyon ve deneysel olarak karşılaştırılması.

3. 4. Gürültü Seviyesi ve Bozulma Oranları Analizleri

Tasarlanan devrenin bozulma miktarları ve devre tarafından üretilen gürültü seviyesi PSpice analiz programı kullanılarak tespit edilmiştir. Devre, kesim frekansı olan 264kHz'de ve 10mA lik DC akım seviyesinde sürülmüş; DC akımın üzerine 1mA, 2mA, 4mA ve 8mA genlik seviyelerine sahip sinüs işaretleri ayrı ayrı eklenmiştir. Belirtilen farklı genliklerdeki sinüs işaretlerinin giriş işareti olarak uygulanması sonucunda oluşan bozulma oranları deneyler esnasında kullanılan transistörün gerçek modelinin ve ideal olarak tanımlanan transistörün kullanılması ile yapılan analizler sonucunda elde edilmiştir. Giriş işaretinin bozulma oranının % 0.01 olduğu bulunmuş ve bu seviye gürültü alt eşik seviyesi olarak kabul edilmiştir. Bozulma oranlarına ait veriler Tablo 4'de sunulmuştur.

Giriş işareti olarak 4mA genlikli sinüs işaretinin uygulandığı farklı frekanslarda devrenin ürettiği gürültü seviyeleri tespit edilmiştir. Elde edilen gürültü grafiğinin devrenin çalışma yapısına uygun olarak alçak geçiren süzgeç karakteristiğinde olduğu

görülmüş, grafiğin iletim bandı kazancının $214 \mu A / \sqrt{Hz}$ olduğu ölçülmüştür.

Tablo 4. Farklı Giriş Değerlerine Ait Bozulma Oranları.

Genlik	Çıkış % (İdeal)	Çıkış % (BC Serisi)
1mA	0.066237	0.073774
2mA	0.036599	0.138380
4mA	0.099799	0.270770
8mA	0.300980	0.606530

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bilgisayar destekli yapılan uygulamalarda kullanılan programlar her ne kadar gerçek dünya şartlarına göre tasarlanmış olsa da, laboratuvar çalışmalarındaki ölçü cihazlarının bağlantı kablolarının yüklemeye etkilerini, devre elemanlarının birbirleri ile birleştirilmesi esnasında ortaya çıkan istenmeyen kapasitif ve direnç etkilerini, ortamın parazitik etkilerini ya da çalışma sıcaklığının değişimini tam olarak içermemektedir. Bu sebepten dolayı benzetimlerden elde edilen sonuçlar en iyi durum analizi olarak kabul edilmelidir. Bu yüzden BC serisi kullanılarak yapılan PSpice sonuçları ile laboratuvar sonuçları arasında farklılıklar gözlemlenmiştir. Ancak bu farklılıklar bir deneysel çalışma için kabul edilebilir sınırlar içindedir.

Yapılan çalışma bilgisayar destekli deneysel bir çalışmadır. İstenilen özelliklere sahip süzgeç devresi öncelikle teorik olarak tasarlanmış, daha sonra PSpice programında yapılan analizler sonucunda tasarlanan devrenin doğruluğu ispatlanmış, aynı zamanda laboratuvar koşullarında elde edilen sonuçlar için kontrol verisi elde edilmiştir.

Devrenin laboratuvar koşullarında çalıştırılması esnasında çeşitli sorunlar ile karşılaşmıştır. Devrenin istenilen sonuçları vermesindeki temel şart transistörler üzerindeki DC dengenin hassasiyetle korunması gerekliliğidir. Bu sebepten dolayı özellikle akım kaynakları arasındaki dengenin korunması için çaba sarf edilmiştir. Örneğin NPN ve PNP transistörleri arasındaki yapısal farklılıklardan oluşan dengesizliği aşabilmek için yüksek hassasiyetli direnç değerleri hesaplanarak kullanılmıştır. Bunun yanında gerilim değeri ile doğrudan orantılı olan sıcaklığa bağlı gerilim seviyesinin (V_i) çok küçük bir değişimi ile akım bilgisi bozulabilmektedir. Bu yüzden sabit ortam sıcaklığının sağlanmasına önem verilmiştir.

Bu hassasiyetlerin yüksek olmasının nedeni elektriksel büyüklükler arasındaki üstel ilişkililerdir. Logaritmik ortam süzgeçlerinin doğrusal olmayan ortamda çalışıp doğrusal bir ilişkiye sahip olması üstün bir özellik olmasına karşın, bu doğrusal olmayan ilişkinin meydana getirdiği hassasiyet bu tür devreler adına olumsuzluk olarak görülmektedir.

Elde edilen nicelik sonuçları incelendiğinde, gerçek cevap ile ideal cevabın birbirine çok yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Tasarım sırasında transistörler ideal kabul edilmiş, pek çok ideal olmayan özellikleri göz ardı edilmiştir. Örneğin akım kazancı 300 civarında olmasına rağmen tasarım sırasında sonsuz kabul edilmiştir. Bunun devrenin DC kazancını ve AC karakteristiğini etkileyen sebeplerden birisi olduğu bilinmektedir. Yapılan çeşitli araştırmalarda transistörün ideal olmayan karakteristiklerinin devrenin genel çalışmasına olan etkilerinin çok önemli olmadığı ifade edilmiştir (Mulder et al., 1999; Tola, 2000; Tola and Frey, 2000; Toth et al., 2000). Bu sav, çalışmamızda elde edilen deneysel sonuçlar ile desteklenmektedir.

Bu çalışmada ayrıca, yüksek teknolojiye sahip olmayan laboratuvar koşullarında, belirlenen akım seviyelerinde ve frekans aralığında, akım modlu elektronik ayarlanabilen kesim frekansına sahip süzgeç devresi elde edilmiştir. Devrede bulunan akım kaynaklarının sadece besleme gerilimleri değiştirilerek 3 katlık kesim frekansı değişim aralığı elde edilmiştir.

Farklı frekanslar için frekans cevapları devrenin elektronik olarak ayarlanma özelliği kullanılarak elde edilmiş ve bunlar incelendiğinde devrenin yaklaşık 100Hz ile 2MHz arası istenildiği gibi çalıştığı görülmüştür. 2MHz frekansından sonra bozulmaların olması kullanılan transistörün çalışma aralığının sınırından kaynaklanmaktadır. Bu transistör ile yapılan devreler ancak bu frekansa kadar çalıştırılmalıdır. Bu durum açıkça Şekil 6 ve Şekil 8'de görülmektedir. Logaritmik ortam süzgeçlerinde işaretin akış yolu üzerinde bulunan jonksiyon sayısı, eşdeğer alışılagelmiş süzgeç devrelerine göre daha az olduğundan dolayı devrenin çalışma frekansının elemanın üst çalışma frekans değerine daha yakın olduğu söylenebilir.

DC akım seviyesi ile kesim frekansının ayarlanmasında ideal, gerçek benzetim ve deneysel cevapların akıma bağlı etkilerini gösteren grafik göz önüne alındığında ise ideal ve gerçek benzetim tepkilerinin akım arttıkça birbirlerinden uzaklaşmakta olduğu, düşük akımlarda ise ideal tepkiye yaklaştığı görülmektedir.

Logaritmik ortam devrelerinde yapılan elektronik ayarlanmanın araştırıldığı diğer uygulamalı çalışmalarda, yüksek teknolojiye sahip laboratuvarlarda logaritmik ortam devrelerinin çalışma mantığına uygun elemanların üretilmesi ve devrenin çalışmasından büyük ölçüde bağımsız gelişmiş akım kaynaklarının kullanılması ile daha geniş bir aralık için kesim frekansı ayarlanabilmektedir.

Tasarlanan devrenin ürettiği gürültü oranı ve farklı akım seviyelerinde oluşan bozulma oranları incelendiğinde kabul edilebilir iyi sonuçların elde edildiği görülmektedir. Tablo 4'de görüldüğü gibi bozulma oranları, uygulanan sinüs işaretinin genlik seviyesi ile orantılı olarak artmaktadır.

Gürültü ve bozulma gibi istenilmeyen etkilerin oluşmasındaki en büyük pay, giriş işaretinin çıkışa ulaşmaya kadar geçtiği hat üzerindeki yarıiletken eleman sayısıdır. Logaritmik ortam süzgeçlerinin düşük gürültü seviyesi ve düşük bozulma oranına sahip olmasının temel sebebi işaret akış yolu üzerindeki elemanların az olmasıdır.

Deney uygulamasında kullanılan transistörün sıradan bir karakteristiğe sahip olması ile elde edilen sonuçlar kötü durum analizi olarak kabul edilebilir. Birbirine eşdeğerliliği yüksek olan logaritmik ortam süzgeç çalışma mantığına uygun özel üretilmiş devre elemanlarının kullanılması ile hiç şüphe yok ki daha iyi sonuçlar elde edilecektir.

Logaritmik ortam filtrelerinin laboratuvar koşullarında gerçekleştirilebildiğini gösteren bu çalışma farklı yaklaşımlardaki farklı örnekler için de benzer sonuçların elde edilebileceğini ispatlar.

Logaritmik ortam süzgeçlerinin önemli özelliklerinin sıradan devre elemanları ve cihazlar ile sağlanabileceğini ispatlayan bu çalışma, günümüzün ve geleceğin şartlarına ve gereksinimlerine uygun olan logaritmik ortam süzgeçlerinin her alanda rahatlıkla tasarlanıp kullanılabileceğini göstermektedir. Bu açıdan logaritmik ortam süzgeci elektronik mühendisliğinin çoğu uygulama alanlarında yerini alacağına ve özellikle çeşitli sanayi uygulamalarında ve düşük güç ve düşük gerilim ihtiyacından dolayı taşınabilir cihazlarda tercih edileceğine inanmaktayız.

5. KAYNAKLAR

Adams, R. W. 1979. Filtering in Log Domain, 63rd AES Conf.

- Arslanalp, R. 2003. "Eliptik Filtre Yaklaşımının Logaritmik Ortamda Gerçeklenmesi" Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Denizli.
- Arslanalp, R. ve Tola, A. T. 2005. Genlik Uygunlaştırmalı Logaritmik Ortam 3. Derece Eliptik Süzgecinin Tasarımı ve PSPICE Programındaki Benzetimleri, iats05, Konya/Türkiye.
- Drakakis, E. M., Payne, A. J., Toumazou, C., Ng, A. E. J. and Sewell, J. I., 2001. High Order Lowpass and Bandpass Elliptic Log-Domain Ladder Filters, ISCAS.
- Eskiyerli, M. H., Payne, A. J. and Toumazou, C. 1996. "State Space Synthesis of Biquads Based On The MOSFET Square Law", Proceeding Of IEEE ISCAS, Atalanta, Vol. 1, p. 321-324.
- Frey, D. R. 1993. Log-Domain Filtering: An Approach to Current-Mode Filtering, IEE Proceeding Vol. 140, 406-416.
- Frey, D. R. and Tola, A. T. 1999. A State-Space Formulation For Externally Linear Class AB Dynamical Circuits, IEEE Transaction on Circuits and Systems-II: Analog and Digital Signal Processing, Vol. 46, 306-314.
- Frey, R. D. 1996. Exponential State Space Filters: A Generic Current Mode Design Strategy, IEEE Transaction on Circuits and Systems-I: Fundamental Theory and Applications, Vol. 43, 34-42.
- Gilbert, B. 1975. Translinear Circuits: A Proposed Classification, Electronics Letter, Vol. 11, 14-16.
- Mulder, J., Kouwenhoven, M. H. L., Serdijn, W. A., Van Der Woerd, A. C. and Van Roermund, A. H. M. 1999a. "Nonlinear Analysis of Noise In Static and Dynamic Translinear Circuits", IEEE Transaction on Circuits and Systems-II: Analog and Digital Signal Processing, Vol. 46, No. 3, 266-278.
- Özoğuz S. and Şengör N. S. 2003. "On the Realization of NPN-Only Log-Domain Chaotic Oscillators", IEEE Tran. on Circuits and Systems I, Vol.50, No.2, p. 291-294.
- Perry, D and Roberts, G. W. 1996. 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, Vol. 43.
- Pookaiyaudoms, S. and Mahattanakul, J. 1995. "A 3.3 Volt High Frequency Capacitorless Electronically Tunable Log-Domain Oscillators". Proc.ISCAS 95, Seattle, p.829-832.
- Rashid M. H. 1995. Spice for Circuits and Electronics Using Pspice, ISBN 0131246526.
- Sedra, A.S. and Smith K.C. 1991. Microelectronic Circuits, Third Edition, ISBN 0-03-051648X.
- Seevinck, E. 1990. Companding Current Mode Integrator: A New Circuit Principle For Continuous-Time Monolithic Filters, ElectronicLetters, Vol.26, 2046-2047.
- Tola, A. T. 2000. A Study of Nonideal Log Domain and Differential Class AB Filters, PhD. Dissertation, Lehigh University.
- Tola, A. T., Arslanalp, R., Surav Yılmaz, Ş. ve Ünal, M. 2005. Durum Uzayında Tasarlanan Ayarlanabilir Kesim Frekansına Sahip Logaritmik Ortam Süzgecinin Deneysel Olarak Gerçeklenmesi, 4th International Advanced Technologies Symposium, Konya / Türkiye.
- Tola, A. T., Arslanalp, R., Ünal, M. ve Sürav Yılmaz, Ş. 2004. T Tipi Logaritmik Ortam Filtresinin Bilgisayar Destekli Olarak Tasarlanması ve Laboratuvar Ortamında Gerçeklenmesi Elektrik, Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ve Fuarı, "ELECO'2004, 1-5. s, Bursa/Türkiye.
- Tola, A. T., Frey, D. R. 2000. A Study of Different Class AB Log Domain First Order Filters, Analog Integrated Circuits and Signal Processing, 22, 163-176.
- Toth, L., Efthivoulidis, G. and Tsvividis, Y. P. 2000a. "Noise Analysis of Externally Linear Systems", IEEE Transactions on Circuits and Systems-II: Analog and Digital Signal Processing, Vol. 47, No.12,1365-1377.
- Toth, L., Tsvividis, Y. and Krishnapura, N. 1998. On the Analysis of Noise and Interference in Instantaneously Companding Signal Processors, IEEE Transactions on Circuits and Systems-II: Analog and Digital Signal Processing, Vol. 45, No.9, 1242-1249.
- Tsvividis, Y. 1997. Externally Linear, Time-Invariant Systems and Their Application to Companding Signal Processors, IEEE Transaction on Circuits and Systems-II : Analog and Digital Signal Processing, Vol. 44, 65-85.
- Tsvividis, Y. P., Gopinathan, V. and Toth, L. 1990. Companding in Signal Processing, Electronics Letters, Vol. 26, 1331-1332.