

BİRİNCİ DERECEDEDEN ELEKTRONİK AYARLANABİLİR ALÇAK GEÇİREN SÜZGEÇİN LOGARİTMİK ORTAMDA TASARIMI

Nazif Küçükkoç¹

Umut Engin Ayten²

Herman Sedef³

^{1,2,3}Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

¹e-posta: nkucukkoc@gmail.com

²e-posta: ayten@yildiz.edu.tr

³e-posta: sedef@yildiz.edu.tr

Özetçe

Bu çalışmada, alçak geçiren AB sınıfı fark alan tip logaritmik ortam süzgeci BJT tranzistörler kullanılarak gerçekleştirilmiş ve deneysel çalışması yapılmıştır. Logaritmik ortam süzgecinin tasarımında durum uzay sentez yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen logaritmik ortam süzgecinin kesim frekansı, devrede bulunan sabit akım kaynaklarının değerleri değiştirilerek elektronik olarak ayarlanabilmektedir. Tasarlanan alçak geçiren süzgecin ilk olarak PSPICE programı kullanılarak benzetimleri yapılmış, ardından CA3083 (NPN-dizi) tümleşik devresi ve 2N3906 (PNP) tranzistörü kullanılarak deneysel çalışması gerçekleştirilmiştir.

1. Giriş

Logaritmik ortam süzgeçleri yeni nesil akım modlu devrelerdir. Bu süzgeçler ilk olarak 1979 yılında Adams [1] tarafından önerilmiştir. Fakat 1993 yılında Frey'in [2] sunduğu tasarım yöntemi ve ilgili çalışmalardan sonra popülerlik kazanmıştır. Bu süzgeçler akım modlu, sürekli zamanlı, aktif süzgeç ailesindedir. Literatürde ESS süzgeçler, translineer süzgeçler, ELIN süzgeçler gibi isimlerle de anılmaktadır.

Adams yaptığı çalışmada diyot, op-amp, akım kaynağı ve kondansatör kullanarak girişten alınan işaretin önce logaritmasını alarak sıkıştırarak, daha sonra işareti logaritmik ortamda süzdükten sonra, çıkışa verilmeden önce üstel bir fonksiyon ile işareti genişleterek süzölmüş işareti oluşturan bir yapı tasarlanmıştır.

Logaritmik ortam süzgeçlerinin sistematik tasarımı için "Durum Uzay Sentez Yöntemi" Frey tarafından 1993 yılında önerilmiştir [2]. Bu tasarım yönteminde transfer fonksiyonu, çeşitli matris işlemleri ile sistem denklemlerine dönüştürülür. Devrenin logaritmik ortamda çalışması ve bu özelliğin BJT elemanların doğal karakteristiklerinden elde edilmesi sebebiyle, elde edilen sistem denklemlerine üstel eşleme fonksiyonları uygulanır. Bu eşleme fonksiyonları BJT elemanların akım-gerilim bağıntı denklemlerinden elde edilir.

Frey ayrıca, doğrusal bir sistemde durum uzay sentez yöntemini kullanarak üstel eşleme yapmış ve tanh, sinh gibi çeşitli türlerde süzgeç tasarımları önermiştir. Bahsi geçen çalışma, tanh ve sinh fonksiyonlarının açılımındaki üstel eşitlikler kullanılarak yapılmış, tasarımında BJT elemanları kullanılmış ve performansı incelenmiştir [3].

Logaritmik ortamda tasarlanan süzgeçlerde kullanılan BJT tranzistörlerin devamlı iletimde olmaları gerekir. A sınıfı yapılarda bu sorun giriş DC öteleme verilerek çözülür. Fakat bu durum fazladan güç harcanmasına sebep olur. Bu konuda esas çözüm AB sınıfı yapılarda bulunmuştur. İlk AB sınıfı

analog işaret işleme devresi Seevinck tarafından 1990'da literatüre sunulmuştur [4]. AB sınıfının en kolay uygulandığı yapı ise fark alan tip yapısıdır. AB sınıfı fark alan tip yapıda giriş işareti pozitif iki kısma ayrılır. Bu işlem için bir ayırıcı (splitter) devresi kullanılır. Böylece AB sınıfı logaritmik ortam süzgeci giriş işaretinde bir DC ötelemeye gerek yoktur. Bu durum AB sınıfı yapıda önemli bir güç tasarrufu sağlar. AB sınıfının, A sınıfı logaritmik ortam süzgeçlerine göre diğer üstünlükleri ise A sınıfında mümkün olmayan devre fonksiyonlarını ve istenilen dereceden tüm transfer fonksiyonlarını gerçekleştirebilmesi ve sistematik bir şekilde uygunlaştırma işlemlerinin yapılabilmesidir.

Logaritmik ortam süzgeçleri bu güne kadar farklı tasarım yöntemleri ile pek çok araştırmacı tarafından ilgilendirilmiş bir konudur. Tasarlanan süzgeçlerden bazıları tümdevre teknolojisi ile gerçekleştirilmiştir. Bunun yanında ayrı elemanlarla bu devrelerin gerçekleştirildiği çalışmalar sınırlıdır. Logaritmik ortam filtreleri, tümdevre teknolojisine uygun yapılar olsalar da ayrı elemanlarla sınanabilir olmaları çalışmalarda kolaylık sağlayacaktır.

Bu çalışmada birinci dereceden alçak geçiren süzgeç, logaritmik ortamda tasarlanmıştır. PSPICE benzetimleri, ayrı elemanlı devrede kullanılan elemanların makro modelleri ile yapılmıştır. CA3083 (NPN-dizi) tümdevresi [5] ve 2N3906 (PNP) tranzistörü [6] ile ayrı elemanlı devre gerçekleştirilmiştir. Bu elemanların yanı sıra süzme işlemi için kapasite ve sabit akım kaynağı oluşturmak için ise direnç elemanları kullanılmıştır.

Süzgeç, AB sınıfı tasarlanmıştır. Bu yapıda giriş akımı sağ ve sol olmak üzere ikiye ayrılır ve devre iki koldan işlevini gerçekleştirir. Kullanılan durum uzay sentez yönteminde çıkış, akım birimindedir ve yöntem gereğince devrede iki koldan gelen çıkış akımlarının farkı alınmalıdır. Fark alma işlemi için AD844 tümdevresi [7] ile oluşturulmuş bir devre kullanılmıştır.

2. AB Sınıfı Fark Alan Tip Logaritmik Ortam Süzgeci ve Tasarım Yöntemi

Birinci dereceden genel bir alçak geçiren süzgecin transfer fonksiyonu Denklem 1'de verilmiştir.

$$H(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{a_0 w_0}{b_1 s + b_0 w_0} \quad (1)$$

Denklem 1'de verilen ifadede frekans domeninden zaman domenine geçiş yapılırsa, Denklem 2 elde edilir.

$$b_1 \dot{y} + b_0 w_0 y = a_0 w_0 u \quad (2)$$

Yöntem gereğince Denklem 3'te verilen tanımlamalar yapılır. Denklem 2'de gerekli değişiklikler yapılarak Denklem 4'te verilen sistem denklemleri elde edilir [5].

$$\begin{aligned} x_1 &= y \\ x_2 &= \dot{x}_1 = \dot{y} \end{aligned} \quad (3)$$

$$b_1 \dot{x}_1 = -b_0 w_0 x_1 + a_0 w_0 u \quad (4)$$

Durum uzay sentez yönteminde logaritmik ortam süzgeci tasarlamak için gerekli koşullar vardır. Bunlar genel olarak DC ve AC koşullar olarak sınıflandırılabilir. Bu koşullar sağlanmadığı takdirde çeşitli uygunlaştırma işlemleri yapılmalıdır [8, 9]. Denklem 4'te verilen sistem denklemlerinde $a_0, b_0, b_1 = 1$ olarak seçildiğinde DC ve AC koşullar sağlanır ve uygunlaştırma işlemleri gerek yoktur. DC koşulların sağlanması devrenin çalışması için öncelikli şarttır. Bu sebeple DC koşulları garantiye almak için çıkışı etkilemeyecek $m x_{1L} x_{1R}$ terimi sistem denklemlerine eklenmiştir. Sistemi sağ ve sol kısımlara ayırmak için gerekli olan tanımlamalar Denklem 5'te; ayrılmış denklemler ise Denklem 6'da verilmiştir.

$$u = u_L - u_R \quad (5)$$

$$x_1 = x_{1L} - x_{1R}$$

$$y = y_L - y_R$$

$$\dot{x}_{1L} = -w_0 x_{1L} + w_0 u_L - m x_{1L} x_{1R} \quad (6)$$

$$\dot{x}_{1R} = -w_0 x_{1R} + w_0 u_R - m x_{1L} x_{1R}$$

Uygunluk şartları sağlanan sistem denklemlerine Denklem 7'de verilen eşleme fonksiyonları ve m değişkeni için gerekli dönüşüm uygulanır.

$$\begin{aligned} x_{1L} &= I_s e^{\frac{V_{IL}}{V_T}} & u_L &= I_s e^{\frac{V_{OL}}{V_T}} \\ x_{1R} &= I_s e^{\frac{V_{IR}}{V_T}} & u_R &= I_s e^{\frac{V_{OR}}{V_T}} \\ m &= \frac{1}{CV_T} \end{aligned} \quad (7)$$

Gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra elde edilen denklemler Denklem 8 ve 9'da verildiği gibidir.

$$\begin{aligned} \frac{\dot{v}_{IL}}{V_T} I_s e^{\frac{V_{IL}}{V_T}} &= -w_0 I_s e^{\frac{V_{IL}}{V_T}} + w_0 I_s e^{\frac{V_{OL}}{V_T}} - \\ \frac{1}{CV_T} I_s e^{\frac{V_{IL}}{V_T}} I_s e^{\frac{V_{IR}}{V_T}} & \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \frac{\dot{v}_{IR}}{V_T} I_s e^{\frac{V_{IR}}{V_T}} &= -w_0 I_s e^{\frac{V_{IR}}{V_T}} + w_0 I_s e^{\frac{V_{OR}}{V_T}} - \\ \frac{1}{CV_T} I_s e^{\frac{V_{IL}}{V_T}} I_s e^{\frac{V_{IR}}{V_T}} & \end{aligned} \quad (9)$$

Bu aşamada Denklem 8 ve 9'daki her terim $CV_T/I_s e^{\frac{V_{IR}}{V_T}}$ ifadesi ile çarpılır. Bu işlemin sonucu Denklem 10'da verilmiştir.

$$\begin{aligned} C \dot{v}_{IL} &= I_{CL} = -w_0 CV_T + w_0 CV_T I_s e^{\frac{V_{OL}-V_{IL}}{V_T}} - I_s e^{\frac{V_{IR}}{V_T}} \\ C \dot{v}_{IR} &= I_{CR} = -w_0 CV_T + w_0 CV_T I_s e^{\frac{V_{OR}-V_{IR}}{V_T}} - I_s e^{\frac{V_{IL}}{V_T}} \end{aligned} \quad (10)$$

Denklem 10'da elde edilen denklemlerden devre denklemlerine ulaşmak için sabit akım kaynakları tanımlanır. Tanımlanan ifadeler Denklem 11'de verilmiştir. Sabit akım

kaynağı yerleştirilmiş devre denklemleri Denklem 12 ve 13'te verilmiştir.

$$w_0 CV_T = I_F = I_s e^{\frac{V_F}{V_T}} \quad (11)$$

$$I_{CL} = -I_F + I_s e^{\frac{V_{OL}-V_{IL}+V_F}{V_T}} - I_s e^{\frac{V_{IR}}{V_T}} \quad (12)$$

$$I_{CR} = -I_F + I_s e^{\frac{V_{OR}-V_{IR}+V_F}{V_T}} - I_s e^{\frac{V_{IL}}{V_T}} \quad (13)$$

Tasarım yöntemi gereği çıkış denklemleri $y = x_1$ olarak tanımlıdır. Devrenin çıkış denklemleri Denklem 14'te verilmiştir.

$$\begin{aligned} y_L &= I_s e^{\frac{V_{IL}}{V_T}} \\ y_R &= I_s e^{\frac{V_{IR}}{V_T}} \end{aligned} \quad (14)$$

Tasarımda 560 nF değerinde kapasitelerle, 1 mA değerinde sabit akım kaynakları kullanılmıştır. Isıl gerilim değeri ise $V_T = 25,681$ mV olarak alınmıştır. Bu değerler ile süzgecin kesim frekansı Denklem 15'te verilen ifade üzerinden hesaplanmıştır. Kesim frekans değeri Denklem 16'da verilmiştir.

$$w_0 CV_T = I_F = 1 \text{ mA} \quad (15)$$

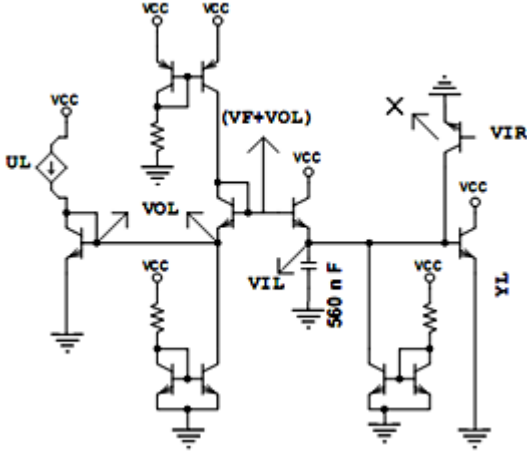
$$w_0 = 2\pi f_0 \text{ ise } f_0 \cong 11 \text{ kHz} \quad (16)$$

Denklem 12 ve 13'te verilen devre denklemleri, Kirchoff Akım Yasasına (KAY) göre iki farklı düğüm için yazılmış akım denklemleri olarak düşünülebilir. Bu denklemlerdeki bileşenleri çeşitli devre elemanları kullanarak elde etmek mümkündür. KAY uygulamak için denklemin sol tarafındaki akım ifadesi temel alınarak bir düğüm seçilmiştir. Denklem sol tarafındaki akım kapasite akımıdır ve seçilen düğüm kapasite elemanının topraklanmayan ucundaki düğümdür. Aşağıdaki örneğin anlatımını kolaylaştırmak için Şekil 1'de gerekli devre parçası verilmiştir.

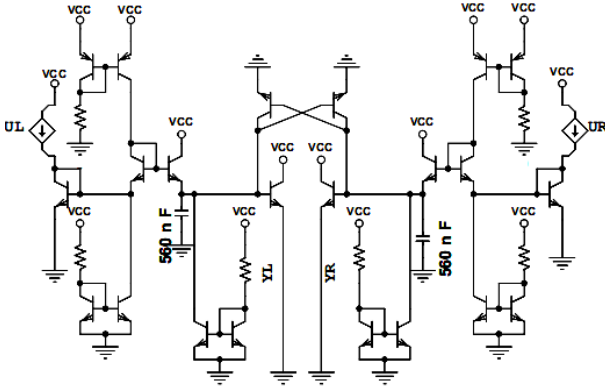
Örnek olarak Denklem 12 ele alınır:

- Denklem sağ tarafındaki birinci terim bir sabit akım kaynağıdır ve akımın yönü seçilen düğümden dışarıya doğrudur.
- İkinci terim de uygulanan yöntem gereği sabit akım kaynağı olarak tanımlanmıştır. Fakat bu terimdeki ifade V_{OL} ve V_{IL} gerilimlerine bağlıdır. Sabit akım kaynağının akımının değişmemesi gerektiğinden V_{OL} , V_{IL} , ve V_F gerilimleriyle sürülecek bir BJT tranzistör kullanılmış ve tranzistörün kollektör ve emitör uçlarına birer sabit akım kaynağı bağlanarak akım sabitlenmiştir. Böylece AC birer işaret olan V_{OL} ve V_{IL} gerilimleri değişimlerinde, sabit olan akım değerini sağlayacak şekilde değişirler.
- Üçüncü terim ise durum uzay sentez yöntemi uygunlaştırma yöntemlerinden, $m x_{1L} x_{1R}$ ifadesinden, gelen terimdir. Fark edileceği üzere örnekte filtrenin sol kısmı inceleniyor olsa da bu terimde tranzistörü süren gerilim filtrenin sağ giriş gerilimi V_{IR} 'dir. V_{IR} sıfırdan farklı olduğunda "X" ile işaretli olan tranzistör etkinleşerek filtrenin sol tarafından çıkışa gelen akımı topraklar.

Denklem 12-14 kullanılarak yukarıda anlatıldığı gibi devre yapısı oluşturulmuştur. Buna göre elde edilen alçak geçiren logaritmik ortam süzgeç devresi Şekil 2'de verilmiştir.



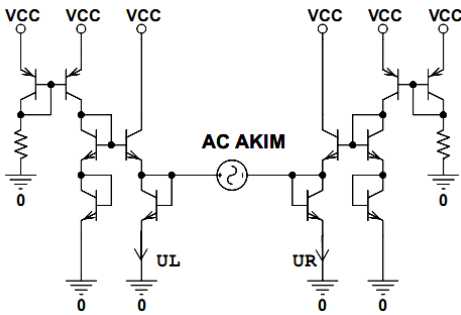
Şekil 1: Devre çizimi için örnek anlatım şeması



Şekil 2: Alçak geçiren logaritmik süzgeç devresi

3. PSPICE Benzetim Sonuçları

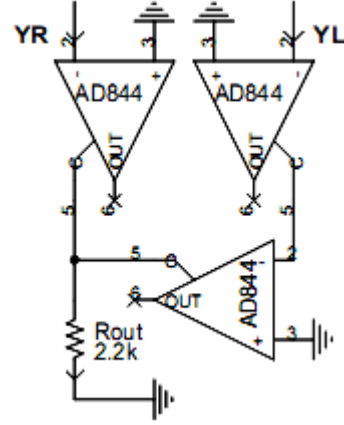
Şekil 2'de verilen devrenin benzetiminin yapılabilmesi için öncelikle giriş işaretine ihtiyaç vardır. AC giriş işaretinin AB sınıfı fark alan tip tasarımı için gerekli olan ayırma işlemi, bir ayırıcı (splitter) devre ile yapılmıştır. Kullanılan akım ayırıcı devre Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3: Akım ayırıcı devre

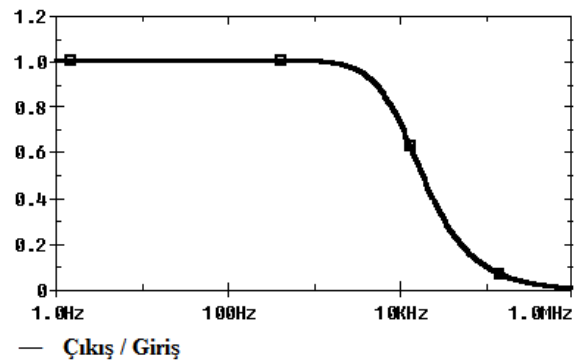
Kullanılan yöntem gereğince çıkış akımları sağ ve sol olmak üzere iki adettir ve süzgeç çıkışının elde edilebilmesi için çıkarılmaları gerekmektedir. PSPICE benzetimlerinde iki akım birbirlerinden yazılım marifetiyle çıkarılabilir. Fakat

ayrık elemanlı devrede de akım çıkarma işlemi gerektiğinden bir akım çıkarmacı devre tasarlanmıştır. Akım çıkarmacı devre için AD844 tümdevreleri kullanılmıştır. Tasarlanan akım çıkarmacı devre Şekil 4'te verilmiştir. Devrede verilen R_{OUT} direnci AD844 elemanının girişinde görülen ofset geriliminin çıkış akımını zayıflatması üzerine çıkıştan okunacak olan gerilim değerini ideal sonuca kompanze etmek için kullanılmıştır. 2.2 değeri yapılan deneylerle belirlenmiştir. 2.2 k Ω kullanımının sebebi ise dördüncü bölümde açıklanmıştır.

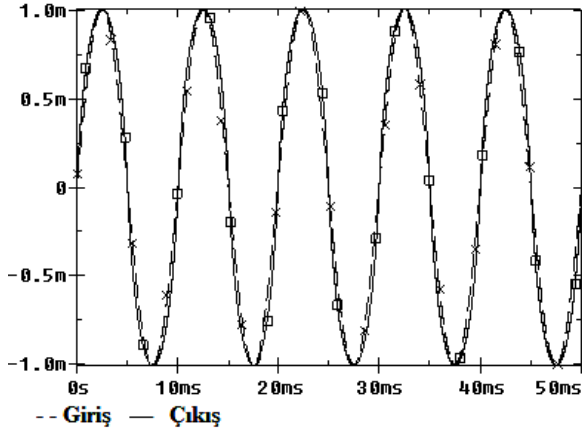


Şekil 4: Akım çıkarmacı devre

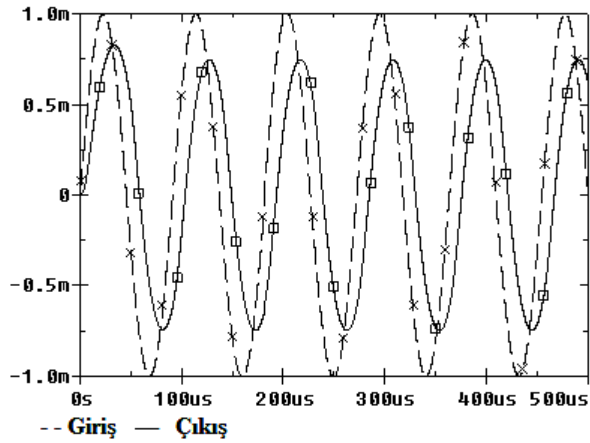
Ek devrelerin de eklenmesi ile oluşan toplam devrenin PSPICE benzetimleri gerçekleştirilmiştir. Devrenin köşe frekansı 11 kHz olarak hesaplanmıştır. PSPICE benzetimi sonucunda elde edilen frekans karakteristiği Şekil 5'te verilmiştir. Ayrıca, devrenin çıkışının zamana göre değişimini incelemek için süzgecin kesim frekansı değerinde, kesim frekansından daha alçak bir frekansta ve kesim frekansından daha yüksek bir frekansta olmak üzere üç zaman bölgesi çıktısı, giriş-çıkış eğrisi olarak alınmıştır. Elde edilen benzetim sonuçları Şekil 6, 7 ve 8'de verilmiştir.



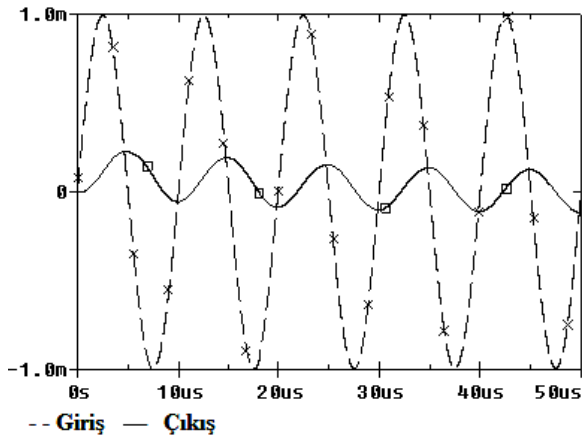
Şekil 5: Birinci dereceden alçak geçiren süzgecin frekans karakteristiği benzetim sonucu



Şekil 6: Giriş işaretinin frekansı 100 Hz iken giriş ve çıkışın zamana göre benzetim sonucu



Şekil 7: Giriş işaretinin frekansı 11 kHz (kesim frekansı) iken giriş ve çıkışın zamana göre benzetim sonucu



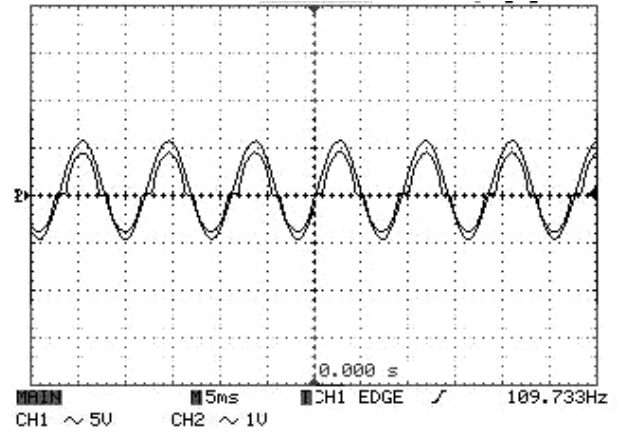
Şekil 8: Giriş işaretinin frekansı 100 kHz iken giriş ve çıkışın zamana göre benzetim sonucu

4. Deneysel Sonuçlar

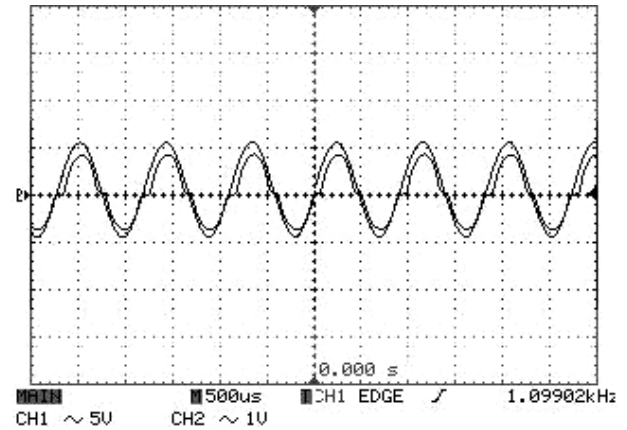
Tasarlanan logaritmik ortam alçak geçiren süzgeç devresinin deneysel incelemesini gerçekleştirmek için CA3083 (NPN-dizi) tümdevresi ve 2N3906 tranzistörleri kullanılmıştır. CA3083 tümdevresi beş adet eş NPN tranzistör içermektedir. Bu elemanın kullanımı ile tranzistörler arasındaki uyumsuzluk sorununun etkileri azaltılmaya çalışılmıştır. Devre yapısında gerekli olan sabit akım kaynakları 2N3906 (PNP) elemanı ile; akım kuyuları ise yine CA3083 tümdevresi kullanılarak tasarlanmıştır.

AC akım kaynağı ihtiyacı için ise AC gerilim kaynağı kötü Thevenin/iyi Norton eşdeğer devresi ile kullanılmıştır. Sağlanan akım işareti opampli bir devre ile evrilmiş ve ters fazda akım girişi gereken düğüme uygulanmıştır.

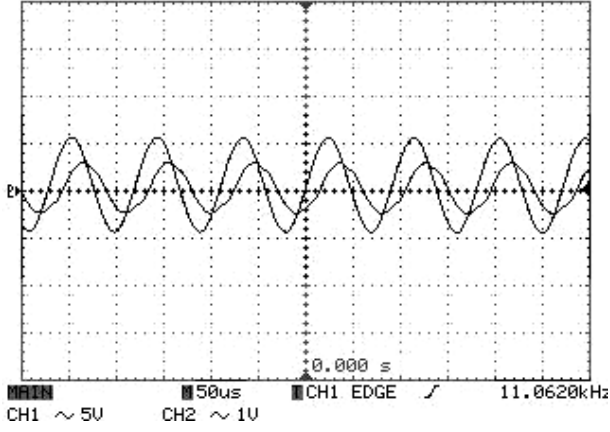
Gerçekleştirilen devrenin giriş ve çıkış işaretlerinin osiloskop çıktıları Şekil 9, 10, 11, 12 ve 13'te verilmiştir. Burada giriş işaretinin farklı frekanstaki değerleri için giriş ve çıkışın zamana göre değişimleri görülmektedir. Elde edilen deneysel sonuçlardan logaritmik ortam alçak geçiren süzgeç devresinin istenilen şekilde çalıştığı görülmektedir.



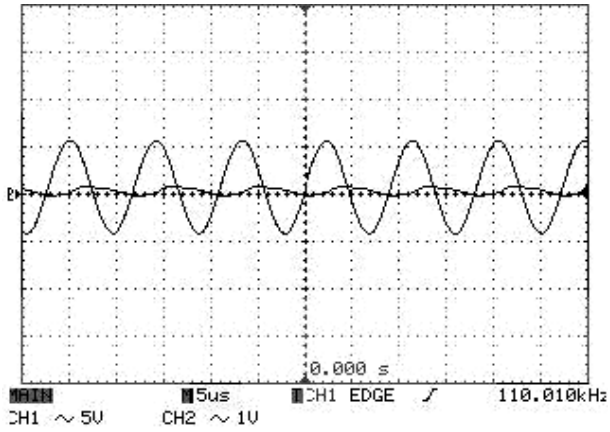
Şekil 9: Giriş işaretinin frekansı 110 Hz iken giriş ve çıkışın zamana göre osiloskop çıktısı



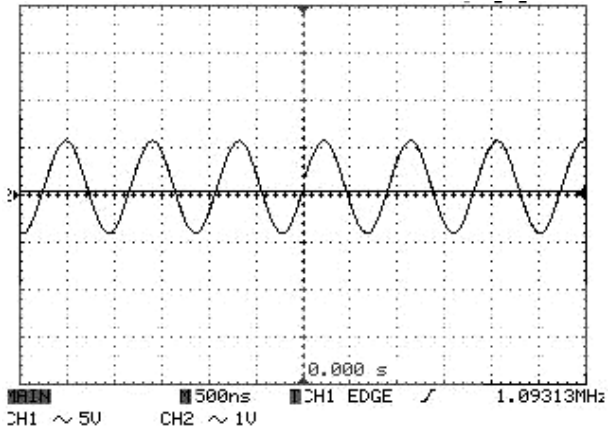
Şekil 10: Giriş işaretinin frekansı 1.1 kHz iken giriş ve çıkışın zamana göre osiloskop çıktısı



Şekil 11: Giriş işaretinin frekansı 11 kHz iken giriş ve çıkışın zamana göre osiloskop çıktısı



Şekil 12: Giriş işaretinin frekansı 110 kHz iken giriş ve çıkışın zamana göre osiloskop çıktısı

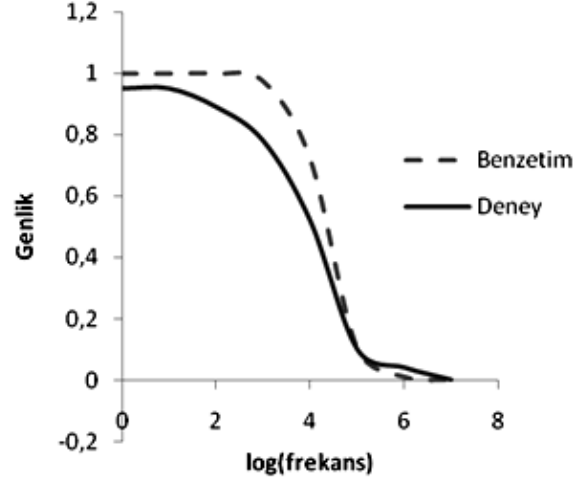


Şekil 13: Giriş işaretinin frekansı 1.1 MHz iken giriş ve çıkışın zamana göre osiloskop çıktısı

Verilen deneysel sonuçlarda CH1 giriş işareti, CH2 ise çıkış işaretini göstermektedir. Giriş işareti, gerilim değeri 5 V olan bir gerilim kaynağından Thevenin eşdeğeri ile elde edilen 1 mA değerindeki akım işaretidir. Osiloskopta akım değeri yerine gerilim değerleri gözlendiği için giriş gerilimi osiloskopta 5 V gerilim seviyesinde görüntülenmiştir. Çıkış akımı ise osiloskopta görüntülenebilmesi açısından 2.2 k Ω değerli direnç üzerinden topraklanmıştır. 2.2 k Ω değerinin seçimi üçüncü bölümde açıklanmıştır. Giriş akımı 1 mA ve en

yüksek çıkış akımı da 1 mA olacağı için, 2.2 k Ω üzerinden topraklanan akım direnç üzerinden osiloskopta 1V gerilim seviyesinde gözlemlenmiştir.

Deneysel çalışma sonucunda elde edilen frekans karakteristiği ve teorik sonuçlarla karşılaştırılması Şekil 14'te verilmiştir.



Şekil 14: Alçak geçiren süzgeç devresinin frekans karakteristiği üzerinden deneysel ve benzetim sonuçlarının karşılaştırılması

Tasarlanan süzgecin köşe frekansı elektronik ayarlanabilir. Sabit akım kaynağının değeri ile köşe frekansı arasında doğrusal bir ilişki vardır. Bu durum logaritmik ortam süzgeçlerinin önemli özelliklerinden biridir. Farklı akım değerleri için süzgecin köşe frekansı Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1 : Sabit akım kaynağı değeri ile köşe frekansının değişimi

I_F	C	f_0
1 mA	560 nF	11 kHz
10 mA	560 nF	110 kHz
100 mA	560 nF	1.1 MHz

5. Tartışma

Literatürde farklı tasarım yöntemleri olsa da sistematik açıdan daha rahat bir yöntem olması sebebiyle tasarım için, durum uzay sentez yöntemi seçilmiştir. Diğer sentez yöntemleri ile tasarlanacak devrelerin ayrı elemanlı gerçekleştirilmesinde nasıl sonuçlar vereceği incelenmelidir. Tasarımda sabit akım kaynak ve kuyularında BJT tranzistörlü temel model kullanılmıştır. Farklı ve hassas sabit akım kaynakları kullanılarak ayrı elemanlı devrenin çalışmasındaki gelişme incelenmelidir. AC akım kaynağı devrenin test edilmesinde başlı başına bir sorundur. İdeale yakın, yüksek frekanslarda çalışabilen AC akım kaynakları akım modlu devrelerin laboratuvar şartlarında test edilebilmesi için gereklidir. Bahsedilen gereklilikler sağlandığında akım modlu doğrusal olmayan devreler de laboratuvar ortamında test edilebilecektir.

6. Sonuçlar

Bu çalışmada, birinci dereceden alçak geçiren logaritmik ortamda çalışan bir süzgeç devresi tasarlanmıştır ve deneysel çalışması gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan devre PSPICE benzetimlerinde öngörölen gibi çalışmaktadır. Ayrık elemanlı devrede ise giriş ve çıkış akımlarında sıfır geçiş noktalarında küçük bozulmalar gözlemlenmiştir. Bu durumun sebebi AC akım kaynağının ideal olmayışıdır. Devre, giriş akımındaki bozulmayı birebir çıkış akımına aktarmıştır. Devrenin doğru çalıştığı bu durum ile de test edilmiştir. Devrede AC akım kaynağında kullanılan opamp ve akım çıkarıcı devrede kullanılan AD844 tümdevresi devrenin çalışma frekans aralığını daraltmıştır. Tranzistörlerle tasarlanacak ideale yakın akım çıkarıcı devre ile AC akım kaynağı bu sorunları çözecektir.

Ayrık elemanlarla gerçeklenen devrenin elektriksel özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2 - Ayrık elemanlarla gerçeklenen devrenin özellikleri

Özellik	Değer
Sentez Yöntemi	Durum Uzay Sentez
Sınıfı	AB
Türü	Alçak Geçiren
Kesim frekansı	Elektronik Ayarlanabilir
Süzgeç besleme gerilimi	+3V
Ek devre besleme gerilimi	±12V
Filtre Güç	33,86 mW
Toplam Güç	525,6 mW

7. Kaynakça

- [1] Adams, R. W., "Filtering in Log Domain", 63 rd AES Conf., pp. 1470, 1979.
- [2] Frey, D. R., "Log-Domain Filtering: An Approach To Current-Mode Filtering", IEEE Proceeding, vol. 140, pp. 406-416, 1993.
- [3] Frey, D. R., "A General Class of Current Mode Filters", IEEE international Symposium Circuits Systems, Vol. 2, pp. 1435-1438, 1993.
- [4] Seevinck, E., "Companding Current-mode Integrator: A New Circuit Principle for Continuous-time Monolithic Filters", Electronics Letters, Vol. 26, pp. 2046-2047, 1990.
- [5] Intersil Corporation, "CA3083 Data Sheet", Milpitas, CA, 2006.
- [6] Fairchild Semiconductor, "2N3906 Data Sheet", South Portland, ME, 2000.
- [7] Analog Devices, "Letter Products Data Book-AD844 Data Sheet", Norwood, MA, 1990.
- [8] Sural Yılmaz ř., "Logaritmik Ortam Filtrelerinin Sistematik Sentezi", Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 2005.
- [9] Tola, A. T., "A Study of Nonideal Log Domain and Differential Class AB Filters", Lehigh University, 1999.