



HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/humder>

CCII Kullanılarak Akım Modlu, Kesirli Dereceli Evrensel Süzgeç Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi

The Design and Implementation of Current Mode, Fractional Order Universal Filters Using CCII

Yazar(lar) (Author(s)): Serkan KAHRAMAN¹, Ali KIRÇAY²

¹ ORCID ID: 0000-0002-6763-3609

² ORCID ID: 0000-0002-2842-1507

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite this article): Kahraman S., Kırçay A., “CCII Kullanılarak Akım Modlu, Kesirli Dereceli Evrensel Süzgeç Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi”, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 6(3): 198-211, (2021).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/humder/archive>



CCII Kullanılarak Akım Modlu, Kesirli Dereceli Evrensel Süzgeç Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi

Serkan KAHRAMAN¹, Ali KIRÇAY²

^{1,2}Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Bölümü, 63050, Haliliye İlçesi / ŞANLIURFA

Öz

Bu çalışmada, CCII kullanılarak akım modlu, kesirli dereceli, ikinci dereceden evrensel bir süzgeç tasarlanmıştır. Süzgecin tasarımında CCII'ler (current conveyor, AD844A entegresi), dirençler ve bir ucu topraklanmış kondansatörler kullanılmıştır. Kesirli dereceli süzgeç tasarımı amacıyla geleneksel kondansatör yerine kesirli dereceyi sağlayacak paralel direnç ve kondansatörlerin seri bağlandığı Foster-I devre yapısı kullanılmıştır. Geleneksel kondansatördeki $1/sC$ empedans değeri, modelde $1/s^{\alpha}C$ değerine eşit olmaktadır ($0 \leq \alpha \leq 1$). Çalışmada $\alpha=0.1$, $\alpha=0.2$, $\alpha=0.3$, $\alpha=0.4$, $\alpha=0.5$, $\alpha=0.6$, $\alpha=0.7$, $\alpha=0.8$, $\alpha=0.9$ için modeldeki direnç, kondansatör değerleri MATLAB programı ile hesaplanmış; oluşturulan model devreye uygulanmıştır. $(1+\alpha)$ değerine bağlı olarak derecesi 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9 olan süzgeçler ikinci derece süzgeç ile karşılaştırılarak kesirli dereceli süzgeçlerin avantajları ortaya konmuştur. Önerilen devrenin performansı ve teorik analiz sonuçları PSPICE benzetimi ile doğrulanmıştır.

Makale Bilgisi

Başvuru: 17/11/2021

Yayın: 30/12/2021

Anahtar Kelimeler

Genlik ve Faz Cevapları
Akım Modlu Süzgeç
Kesirli Dereceli Süzgeç
Akım Taşıyıcı

Keywords

Amplitude and Phase Responses
Current Mode Filter
Fractional Order Filter
Current Conveyor

The Design and Implementation of Current Mode, Frictional Order Universal Filters Using CCII

Abstract

In this study, a fractional-order, second-order universal filter is designed using CCII. In the design of the strainer, CCII (current conveyor, integrated AD844A), resistors and capacitors grounded at one end are used. For the purpose of fractional order filter design, instead of traditional capacitor, Foster-I circuit structure, in which parallel resistors and capacitors are connected in series, is used to provide fractional order. The impedance value of $1/sC$ in a conventional capacitor is equal to $1/s^{\alpha}C$ in the model ($0 \leq \alpha \leq 1$). In the study, resistance and capacitor values for $\alpha=0.1$, $\alpha=0.2$, $\alpha=0.3$, $\alpha=0.4$, $\alpha=0.5$, $\alpha=0.6$, $\alpha=0.7$, $\alpha=0.8$, $\alpha=0.9$ were calculated with the MATLAB program; The model created was applied to the circuit. Filters with degrees 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9 depending on the $(1+\alpha)$ value are compared with the second order filters and the advantages of fractional order filters are revealed. The performance of the proposed circuit and the theoretical analysis results have been verified by PSPICE simulation.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yeterince esnek olmayan tam sayı dereceli süzgeçlerde, yüksek hızda bant geçişleri sağlamak için yüksek dereceler daha az dalgalanma istenen durumlarda ise düşük dereceler kullanılmaktadır. Ancak ardışık iki tam sayı derecesi arasındaki süzgeç cevaplarının birbirinden uzak olması ve süzgeç derecesinin değişiminin devreyi de değiştirmesi daha esnek bir süzgeç tasarlama yöntemini gerekli kılmıştır [1,2]. Kesirli dereceli süzgeçler, α değerinin hassasiyetine bağlı olarak iki tam sayı arasında çok sayıda farklı cevap almayı mümkün hale getirmiştir [3]. Üstelik model her devreye kolayca uygulanabilmekte ve dereceyi değiştirmek için farklı bir devre tasarımına gerek duyulmamaktadır. Böylece modelin devreye uygulanması ve parametrelerinin değiştirilmesiyle istenilen hassasiyette süzgeç cevapları elde edilebilmektedir. Kesirli dereceli süzgeçler bu avantajları nedeniyle birçok alanda kullanılabilir. Bu alanlara; kesirli

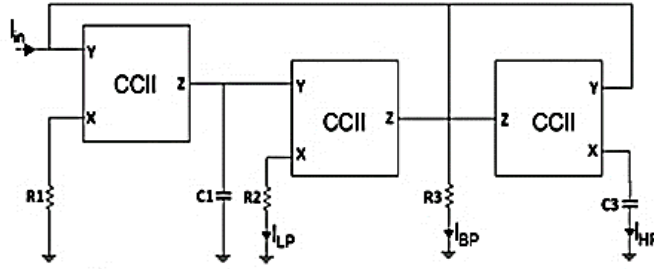
*İletişim yazarı, e-mail: kircay@harran.edu.tr

dereceli osilatörler [4], PID sistemler [5,6], biyoloji [7], kontrol teorisi [8,9,10], PV modelleme [11], kaotik sistemler [12], şifreleme [13] örnek verilebilir.

Bu çalışmada CCII ile akım modlu, ikinci derece, evrensel bir süzgeç tasarlanarak süzgece Foster-I ağı ile oluşturulan model uygulanmıştır. Modeldeki kondansatör ve direnç değerleri 100 KHz frekans ve 1 nF eş değer kapasite için MATLAB programıyla hesaplanarak devreye uygulanmıştır. Çalışmada, α 'nın 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 değerleri için model oluşturulmuş ve $\alpha+1$ değerine bağlı olarak 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9 dereceli süzgeçler 2. derece süzgeç ile karşılaştırılarak modelin ve süzgecin başarısı ortaya konmuştur. 196 KHz kesim frekansı için analizi yapılan bu çalışma düşük frekanslı uygulamalarda rahatlıkla kullanılabilir. Düzenli olarak değişen süzgeç cevapları ve modelin tam sayılı süzgeçlere uygulanışının kolay olması kesirli dereceli süzgeçlerin öneminin daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır.

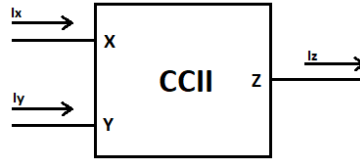
2. CCII İLE AKIM MODLU İKİNCİ DERECE EVRENSEL SÜZGECİN TASARLANMASI (DESIGNING A SECOND DEGREE UNIVERSAL FILTER WITH CURRENT MODE WITH CCII)

Bu çalışmada akım modlu, ikinci derece, evrensel bir süzgeç tasarlanmıştır (Şekil 1.). Süzgecin tasarımında CCII'ler, dirençler ve bir ucu topraklanmış kondansatörler kullanılmıştır. Türev alıcı devre kullanılarak oluşturulan bu süzgeçte üç çıkış bulunmaktadır. Bunlar alçak geçiren süzgeç çıkışı, bant geçiren süzgeç çıkışı ve yüksek geçiren süzgeç çıkışıdır. Ayrıca bant durduran süzgeç; alçak geçiren süzgeç ve yüksek geçiren süzgecin toplamından elde edilirken, tüm geçiren süzgeç; bant durduran süzgeç ve bant geçiren süzgecin farkından elde edilebilmektedir. Kesim frekansı 196 KHz olan bu süzgeç düşük frekans uygulamalarında rahatlıkla kullanılabilir.



Şekil 1: Akım modlu, ikinci derece evrensel süzgeç

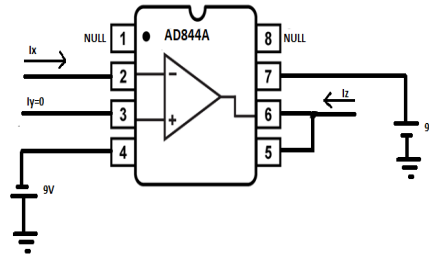
Şekil 1'deki devrede CCII, AD844A entegresinin uygun bağlantıları sonucu elde edilmiştir. Şekil 2'de CCII sembolü, Denklem 2.1'de CCII'nin akım, gerilim ilişkileri verilmiş, Şekil 3'te AD844A entegresinin CCII olarak kullanılması için gerekli entegre bağlantıları gösterilmiştir.



Şekil 2. CCII sembolü

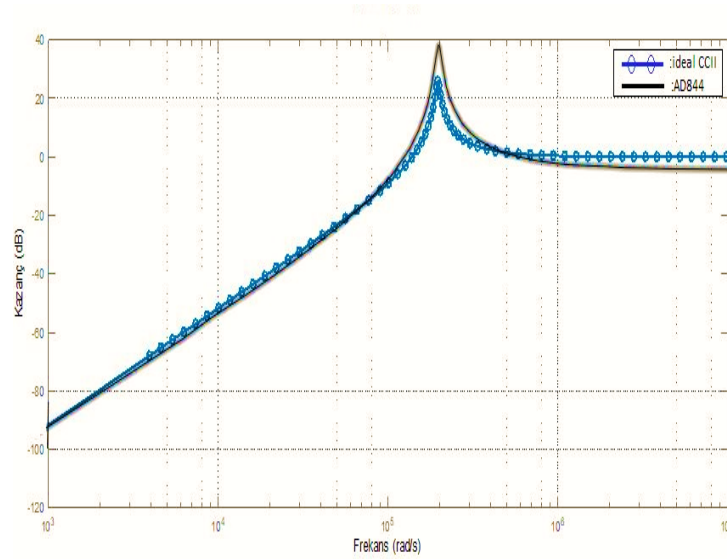
$$\begin{bmatrix} I_y \\ V_x \\ I_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & \pm 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_y \\ I_x \\ V_z \end{bmatrix} \quad 2.1$$

Denklem 2.1'de V_x , I_x , V_y , I_y sırayla CCII'nin giriş pimleri olan x ve y'nin gerilim ve akım değerleri; V_z , I_z çıkış pimi olan z'nin gerilim ve akım değerleridir.

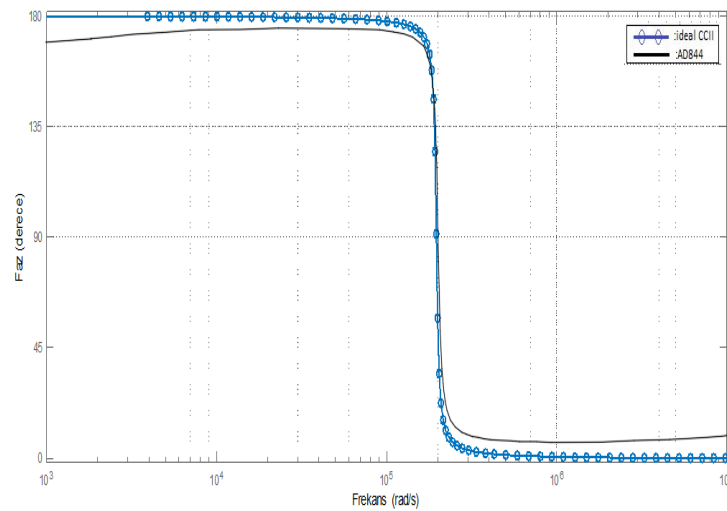


Şekil 3. AD844A'nın CCII olarak kullanılması için gerekli entegre bağlantıları

CCII olarak AD844A'nın kullanılmasındaki amaç; entegre avantajlarından faydalanmak, AD844A entegresinin piyasada kolayca bulunabilmesi ve AD844A entegresinin ideale yakın sonuçlar vermesidir (Şekil 4., Şekil 5.). Şekil 4'te AD844A ve ideal CCII'nin genlik cevapları, Şekil 5'te AD844A ve ideal CCII'nin faz cevapları, tasarlanan devrenin ikinci derece yüksek geçiren süzgeci için karşılaştırılmış; AD844A'nın, ideale çok yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Sonuçlar kesim frekansının 196 KHz değeri için çizdirilmiştir.



Şekil 4. Yüksek geçiren süzgeç için AD844A ve ideal CCII'nin genlik cevapları



Şekil 5. Yüksek geçiren süzgeç için AD844A ve ideal CCII'nin faz cevapları

Denklem 2.2’de devrenin alçak geçiren, Denklem 2.3’te bant geçiren, Denklem 2.4’te yüksek geçiren, Denklem 2.5’te bant durduran, Denklem 2.6’da tüm geçiren süzgeçlerin transfer fonksiyonları verilmiştir.

$$H_{LP}(s) = \frac{I_{LP}}{I_{IN}} = \frac{1}{s^2 + s \frac{1}{R_3 C_2} + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad 2.2$$

$$H_{BP}(s) = \frac{I_{BP}}{I_{IN}} = \frac{s \frac{1}{R_3 C_2}}{s^2 + s \frac{1}{R_3 C_2} + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad 2.3$$

$$H_{HP}(s) = \frac{I_{HP}}{I_{IN}} = \frac{s^2}{s^2 + s \frac{1}{R_3 C_2} + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad 2.4$$

$$H_{NP}(s) = \frac{I_{NP}}{I_{IN}} = \frac{s^2 + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}}{s^2 + s \frac{1}{R_3 C_2} + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad 2.5$$

$$H_{AP}(s) = \frac{I_{AP}}{I_{IN}} = \frac{s^2 - s \frac{1}{R_3 C_2} + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}}{s^2 + s \frac{1}{R_3 C_2} + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad 2.6$$

Denklemlerde;

$$\text{Kazanç (K)} = 1 \quad 2.7$$

$$\text{Kesim frekansı } (\omega_0) = \sqrt{1/R_1 R_2 C_1 C_2} \quad 2.8$$

$$\text{Kalite faktörü (Q)} = R_3 C_2 \sqrt{1/R_1 R_2 C_1 C_2} \quad 2.9$$

$$\text{Bant genişliği} = (\omega_0 / Q) = 1 / R_3 C_2 \quad 2.10$$

Denklem 2.7’de devrenin kazanç değeri, Denklem 2.8’de kesim frekansı, Denklem 2.9’da kalite faktörü, Denklem 2.10’da bant genişliği verilmiştir.

3. KESİRLİ DERECE MODELİNİN FOSTER-I AĞI İLE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ (IMPLEMENTING THE FRACTIONAL ORDER MODEL WITH FOSTER-I NETWORK)

Kesirli dereceyi sağlamak amacıyla farklı yaklaşımlarla kapasite modelleri oluşturulmuştur [14,15]. Bu modeller kesirli türevi sağlayacak tasarımlarla elde edilmiştir. Denklem 3.1’de Caputo tanımı yer almaktadır.

$${}_a^C D_t^\alpha f(t) = \frac{1}{\Gamma(\alpha-n)} \int \frac{f^{(n)}(\tau) d\tau}{(t-\tau)^{\alpha+1-n}} \quad 3.1$$

Denklem 3.1’de $n - 1 < \alpha < n$, a başlangıç zamanı, t gerekli zaman hesaplaması ve α kesirli derece değeridir. Başlangıç değerleri göz önüne alınıp Laplace açılımı uygulanırsa 3.2’deki denklem elde edilir.

$$L\{ {}_a^C D_t^\alpha f(t) \} = s^\alpha F(s) \quad 3.2$$

3.2’deki denklemde α değeri, devreye esneklik sağlamak ve kesirli derece tasarımının yolunu açmaktadır. Empedans değeri:

$$Z(s) = k s^\alpha \quad 3.3$$

$$s = j\omega \quad 3.4$$

3.3’teki eşitlikte s yerine 3.4’ teki karşılığı yazılırsa empedans değeri genlik ve faz olarak Denklem 3.5’teki gibi ayrılır.

$$|Z| = k \omega^\alpha, \angle \alpha\pi / 2 \quad 3.5$$

3.5’ teki eşitlikte, saf dirençler için $\alpha = 0$, faz açısı 0; indüktörler için $\alpha = 1$, faz açısı $\pi / 2$; kapasiteler için $\alpha = -1$, faz açısı $-\pi / 2$ değerine eşit olur.

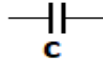
Kesirli derece ile ilgili yapılan çalışmalarda, kesirli dereceyi sağlamak amacıyla, R-C elemanlarının farklı kombinasyonları kullanılmıştır [16,17]. Paralel bağlı R-C bileşenlerinin seri bağlandığı Foster-I ağı modeli [18,19], seri bağlı R-C elemanlarının paralel bağlandığı model ve R-C elemanlarının karar ağacı şeklinde bağlandığı model [20] gibi kesirli dereceli kapasite eş değerleri kullanılmıştır. Bu çalışmada paralel direnç ve kapasitelerin birbirine seri bağlandığı Foster-I ağı kullanılmıştır. Eş değer modelin hesaplanması amacıyla; Denklem 3.6'da s bölgesinde hesaplanmak istenen empedans formu; Denklem 3.7'de n derece için CPE'nin (Continuous fraction expansion) genel formu verilmiştir. İstenen formda parametre değerlerinin hesaplanması amacıyla Denklem 3.8'deki Foster gerçekleştirme kullanılmıştır (Denklemlerde payın derecesi paydanın derecesinden büyük olamaz.) [21].

$$Z_C = \frac{1}{s^\alpha C} \quad 3.6$$

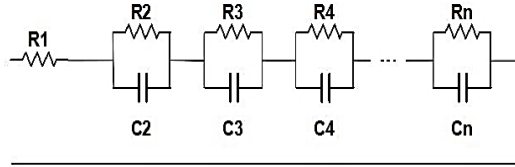
$$Z_C(s) = \frac{A_0 s^N + A_1 s^{N-1} + A_2 s^{N-2} + \dots + A_n s}{B_0 s^N + B_1 s^{N-1} + A_0 s^N + \dots + B_n s} \quad 3.7$$

$$Z(s) = R_1 + \sum_{n=1}^N \frac{\frac{1}{C_{p,n}}}{s + \frac{1}{C_{p,n} R_{p,n}}} \quad 3.8$$

Şekil 6'daki geleneksel kondansatörler ve dirençler kullanılarak Şekil 7'deki gibi n (n: paralel bağlı R-C bileşeni) adet bileşenden oluşan eş değer model elde edilmiştir.

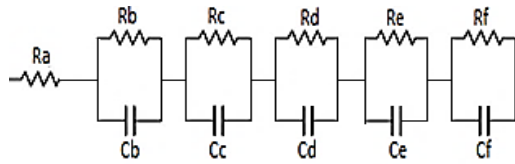


Şekil 6. Kondansatör sembolü ($Z_c=1/sC$)



Şekil 7. Kesirli dereceli kapasite eş değer modeli ($Z_c=1/s^\alpha C$)

Bu çalışmada Foster-I ağı ile n değeri 5 olacak şekilde model oluşturularak Şekil 8'deki eş değer kapasite modeli elde edilmiştir.



Şekil 8. Kesirli derece kapasite eş değeri ($n=5, Z_c=1/s^\alpha C$)

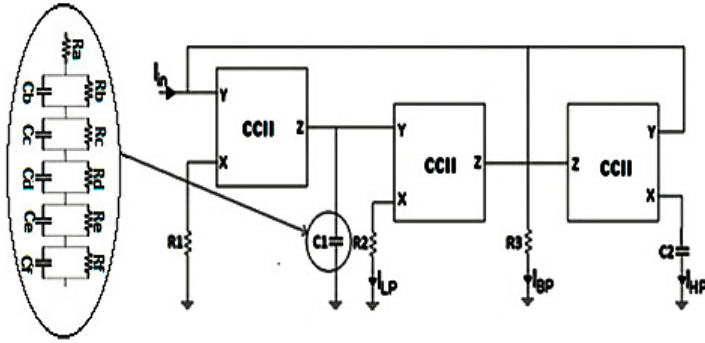
Şekil 6'daki kapasitenin empedansı $Z_C = 1/sC$; Şekil 7'deki eş değer modelin empedansı $Z_C = 1/s^\alpha C$ 'dir. Şekil 8 için α değeri $R_a, R_b, R_c, R_d, R_e, R_f, C_b, C_c, C_d, C_e$ ve C_f değerlerine bağlıdır ($0 \leq \alpha \leq 1$). Foster-I ağının $n=5$ ve α 'nın 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 değerleri için $R_a, R_b, R_c, R_d, R_e, R_f, C_b, C_c, C_d, C_e, C_f$ elemanlarının alacakları değerler MATLAB programıyla aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır. Burada frekans değeri 100 KHz, eş değer model kapasitenin değeri 1 nF'tır [21].

Tablo 1. Kesirli derece modeli direnç-kapasite değerleri ($\alpha=0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9$)

Eş değer model bileşenleri	Kesirli derece değerleri								
	$\alpha = 0.1$	$\alpha = 0.2$	$\alpha = 0.3$	$\alpha = 0.4$	$\alpha = 0.5$	$\alpha = 0.6$	$\alpha = 0.7$	$\alpha = 0.8$	$\alpha = 0.9$
Ra(Ω)	1007	634.4	395.5	242.4	114.67	82.95	44.53	21.18	7.52
Rb(Ω)	294.3	408.9	422.1	381	314.32	239.28	166	100.1	44.38
Rc(Ω)	185.2	313.5	389.6	419.2	408.89	365.46	295.9	207.3	106.4
Rd(Ω)	179.2	347.4	493.4	606.2	674.78	688.39	636.6	509.8	299.7
Re(Ω)	244.2	546.2	898.9	1.29 k	1.68 k	2.02 k	2.22 k	2.14 k	1.53 k
Rf(Ω)	604.6	1742	3810	7.52 k	14.29 k	27.14 k	53.52 k	116.6 k	334.7 k
Cb(nF)	30.24	24.50	26.50	32.62	43.66	63.02	99.41	1.80	4.41
Cc(nF)	2.76	1.74	1.49	1.47	1.61	1.91	2.51	3.80	7.85
Cd(nF)	9.40	5.13	3.83	3.30	3.14	3.27	3.75	4.97	8.98
Ce(nF)	0.233	0.112	7.29	5.49	4.55	4.1	4.06	4.60	7.07
Cf(nF)	0.614	0.248	0.134	8.22	5.39	3.69	2.60	1.87	1.36

4. KESİRLİ DERECE MODELİNİN AKIM MODLU İKİNCİ DERECE EVRENSEL SÜZGECE UYGULANMASI (APPLICATION OF FRACTIONAL ORDER MODEL TO SECOND DEGREE UNIVERSAL FILTER WITH CURRENT MODE)

Şekil 1'deki tam sayı dereceli devrede C1 yerine Şekil 8'deki kesirli derece kondansatör eş değer modeli Şekil 9'daki gibi konursa kesirli dereceli süzgeç devresi elde edilir. Devreye kesirli derece modelinin uygulanması ve kesirli derece modelinde bulunan direnç ve kondansatörlere sırayla Tablo 1'deki değerlerin verilmesiyle α 'nın 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 değerleri için süzgeç 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9 derecelerini alır ve 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6 denklemleri ile verilen transfer fonksiyonları sırayla 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 denklemlerine dönüşür.

**Şekil 9.** CCII ile akım modlu, kesirli dereceli evrensel süzgeç

$$H_{LP}^{FO}(s) = \frac{I_{LP}}{I_{IN}} = \frac{1}{s^{1+\alpha} + s^{\alpha} \frac{1}{R_3 C_2} + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad 4.1$$

$$H_{BP}^{FO}(s) = \frac{I_{BP}}{I_{IN}} = \frac{s^{\alpha} \frac{1}{R_3 C_2}}{s^{1+\alpha} + s^{\alpha} \frac{1}{R_3 C_2} + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad 4.2$$

$$H_{HP}^{FO}(s) = \frac{I_{HP}}{I_{IN}} = \frac{s^{1+\alpha}}{s^{1+\alpha} + s^{\alpha} \frac{1}{R_3 C_2} + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad 4.3$$

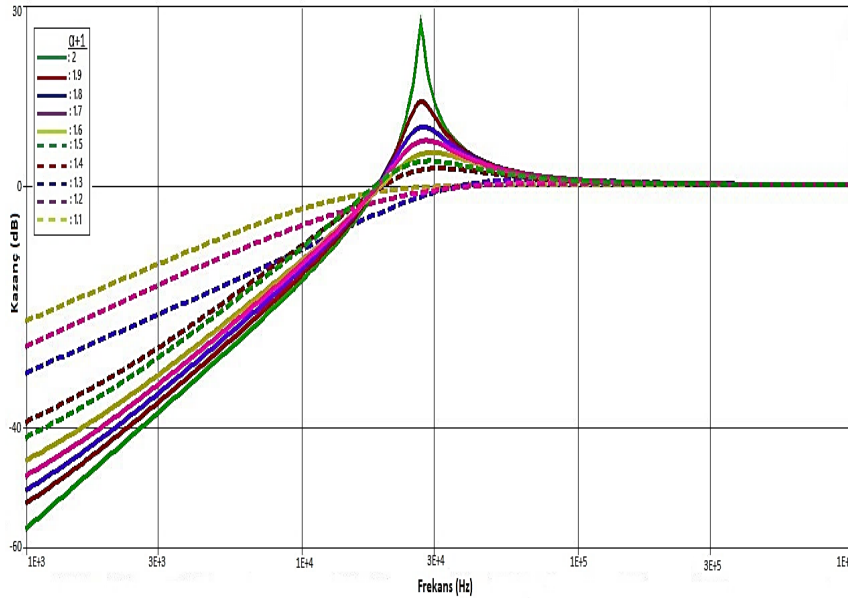
$$H_{NP}^{FO}(s) = \frac{I_{NP}}{I_{IN}} = \frac{s^{1+\alpha} + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}}{s^{1+\alpha} + s^\alpha \frac{1}{R_3 C_2} + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad 4.4$$

$$H_{AP}^{FO}(s) = \frac{I_{AP}}{I_{IN}} = \frac{s^{1+\alpha} - s^\alpha \frac{1}{R_3 C_2} + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}}{s^{1+\alpha} + s^\alpha \frac{1}{R_3 C_2} + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad 4.5$$

Denklem 4.1’de kesirli dereceli alçak geçiren, Denklem 4.2’de kesirli dereceli bant geçiren, Denklem 4.3’te kesirli dereceli yüksek geçiren, Denklem 4.4’te kesirli dereceli bant durdurucu, Denklem 4.5’te kesirli dereceli tüm geçiren süzgeçlerin transfer fonksiyonları verilmiştir. Transfer fonksiyonlarında derecenin 1 azalırken α değeri kadar arttığı görülmektedir. Modelde α ’nın 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 değerleri için süzgeç devresinin birinci derece süzgeçle ikinci derece süzgeç arasında 0.1 hassasiyetle ara değerleri kolayca alabileceği görülmektedir.

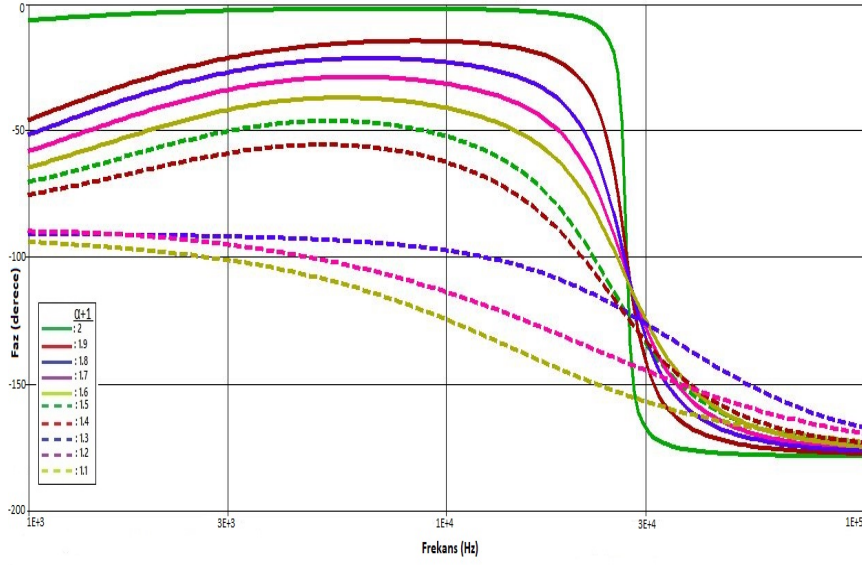
5. BENZETİM SONUÇLARI (SIMULATION RESULTS)

Şekil 1’deki devrede C1’in yerine Şekil 8’deki kesirli derece kondansatör eş değer modeli Şekil 9’da olduğu gibi konduktan sonra modeldeki direnç ve kondansatörlere sırayla Tablo 1’deki değerler verildiğinde süzgecin derecesi sırasıyla 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9 değerlerini alır. R1=200 Ω , R2= 1k Ω , R3=10 k Ω , C2=10 nF ve ikinci derece süzgeç için C1=10 nF değerleri verilmiştir. Devrede CCII olarak AD844A entegresinin Şekil 3’teki entegre bağlantısı kullanılmıştır. Kesirli dereceli süzgecin 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9 dereceleri 2. derece süzgeç ile karşılaştırılarak devrenin ORCAD PSPICE programıyla benzetimi yapılmıştır. Yüksek geçiren süzgeç, bant geçiren süzgeç, alçak geçiren süzgeç ve bant durdurucu süzgeçlerin genlik(kazanç) ve faz grafikleri çizdirilmiştir. Ayrıca yüksek geçiren süzgecin faz kaydırma durumunu gösteren zaman cevabı, direnç ve kondansatörlerin %5 değişimi için yüksek geçiren süzgecin Monte-Carlo kazanç ve faz cevapları çizdirilmiştir. Süzgeç 196 KHz kesim frekansı için analiz edilmiştir. Bu frekans değeri ile süzgeç düşük frekanslı uygulamalarda rahatlıkla kullanılabilir.



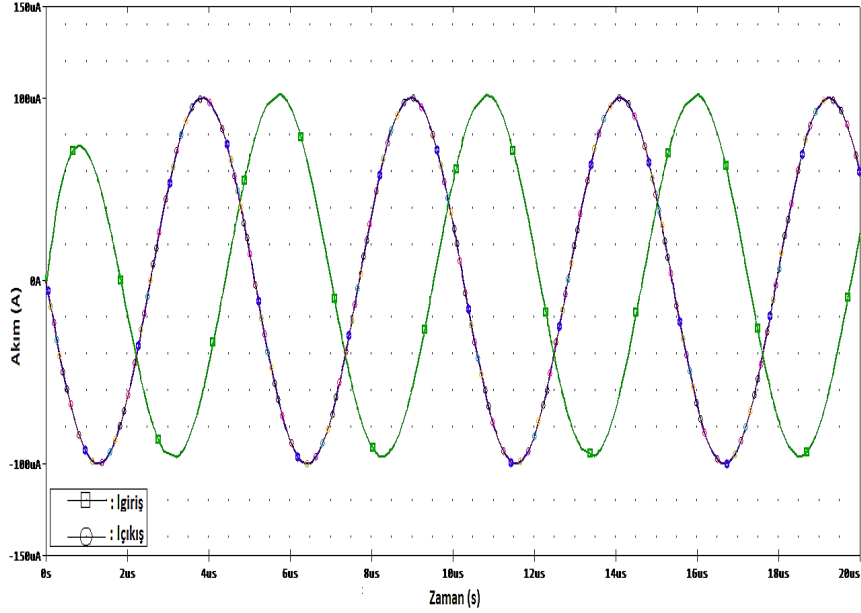
Şekil 10. Yüksek geçiren süzgeç kazanç grafiği ($\alpha+1=1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9$ ve 2)

Şekil 10’da CCII ile tasarlanan akım modlu, ikinci derece süzgecin kesirli derece modeli uygulanan halinin yüksek geçiren süzgeç için kazanç cevabı verilmiştir. Cevapta $\alpha+1=1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9$ kesirli derece değerleri 2. derece (tam sayılı) süzgeç ile karşılaştırılmıştır. Süzgeç cevabında α ’nın değerinin düşmesiyle süzgeç derecesinin de başarılı bir şekilde düştüğü bant hızlarındaki düşmeden açıkça anlaşılmaktadır.



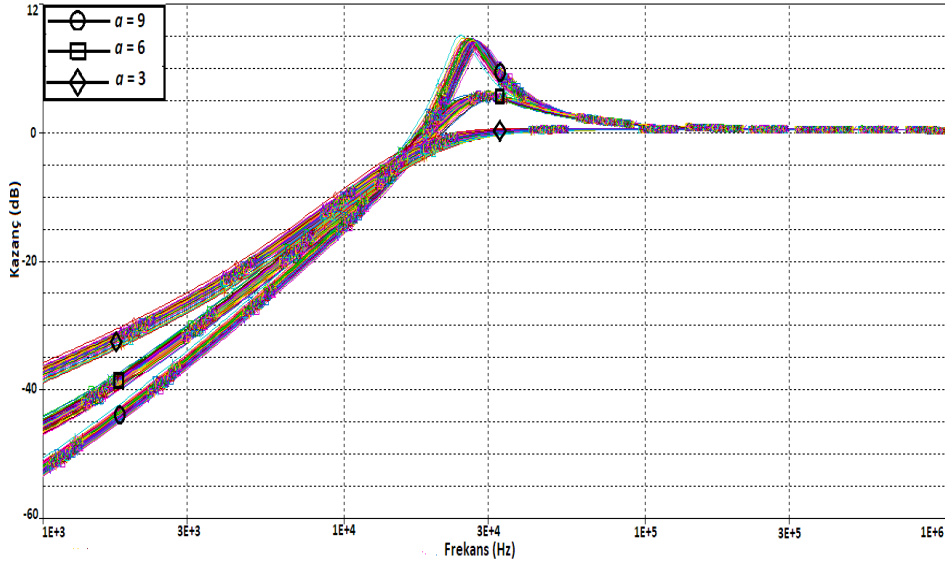
Şekil 11. Yüksek geçiren süzgeç faz grafiği ($\alpha+1=1.1,1.2,1.3,1.4,1.5,1.6,1.7,1.8,1.9$ ve 2)

Şekil 11'de CCII ile tasarlanan akım modlu, ikinci derece süzgecin kesirli derece modeli uygulanan halinin yüksek geçiren süzgeç için faz cevabı verilmiştir. Cevapta $\alpha+1=1.1,1.2,1.3,1.4,1.5,1.6,1.7,1.8,1.9$ kesirli derece değerleri 2. derece (tam sayılı) süzgeç ile karşılaştırılmıştır. Süzgeç cevabında α 'nın değerinin düşmesiyle süzgeç derecesinin de başarılı bir şekilde düştüğü faz eğrilerindeki dikliğin azalmasından, bant geçiş hızının düşmesinden açıkça anlaşılmaktadır.



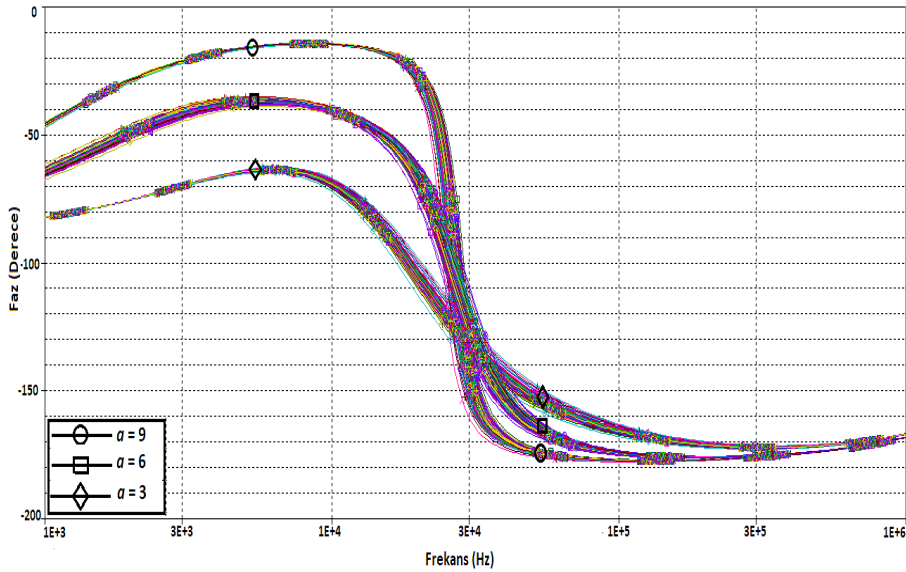
Şekil 12. Yüksek geçiren süzgeç zaman grafiği ($\alpha+1=1.1,1.2,1.3,1.4,1.5,1.6,1.7,1.8,1.9$ ve 2)

Şekil 12'de CCII ile tasarlanan akım modlu, ikinci derece süzgecin kesirli derece modeli uygulanan halinin yüksek geçiren süzgeç için zaman cevabı verilmiştir. Cevapta giriş ve çıkışın ($\alpha+1=1.1,1.2,1.3,1.4,1.5,1.6,1.7,1.8,1.9$) zaman ortamında benzetimi yapılarak faz kaydırma durumu gösterilmiştir.



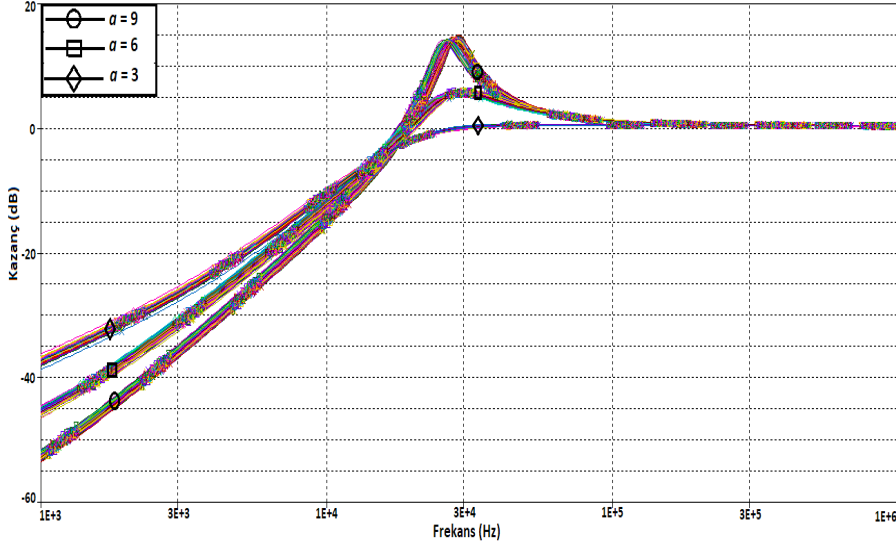
Şekil 13. $R_1, R_2, R_3, R_a, R_b, R_c, R_d, R_e, R_f$ değerlerinin %5 Gaussian değişimi için Monte-Carlo yüksek geçiren süzgeç kazanç grafiği

Şekil 13'te CCII ile tasarlanan akım modlu, ikinci derece süzgecin kesirli derece modeli uygulanan halinin yüksek geçiren süzgeç için Monte-Carlo kazanç grafiği verilmiştir. Süzgeçte kullanılan direnç değerlerinin %5'lik değişimi için kazanç cevaplarının değişimi, süzgeç derecesinin 1.3, 1.6, 1.9 değerleri için gösterilmiştir. Direnç değerlerindeki değişimlerin süzgeç cevabında çok küçük değişikliklere neden olduğu görülmektedir.



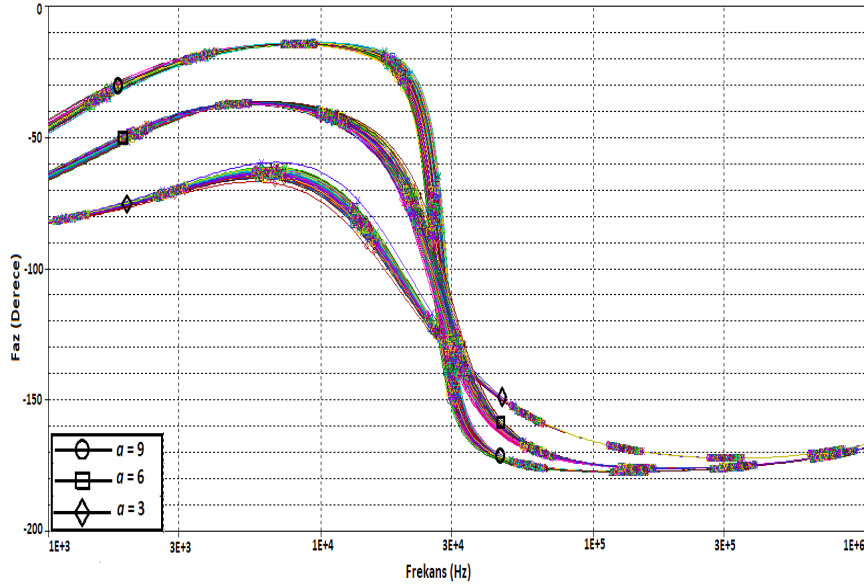
Şekil 14. $R_1, R_2, R_3, R_a, R_b, R_c, R_d, R_e, R_f$ değerlerinin %5 Gaussian değişimi için Monte-Carlo yüksek geçiren süzgeç faz grafiği

Şekil 14'te CCII ile tasarlanan akım modlu, ikinci derece süzgecin kesirli derece modeli uygulanan halinin yüksek geçiren süzgeç için Monte-Carlo faz grafiği verilmiştir. Süzgeçte kullanılan direnç değerlerinin %5'lik değişimi için faz cevaplarının değişimi, süzgeç derecesinin 1.3, 1.6, 1.9 değerleri için gösterilmiştir. Direnç değerlerindeki değişimlerin süzgeç cevabında çok küçük değişikliklere neden olduğu görülmektedir.



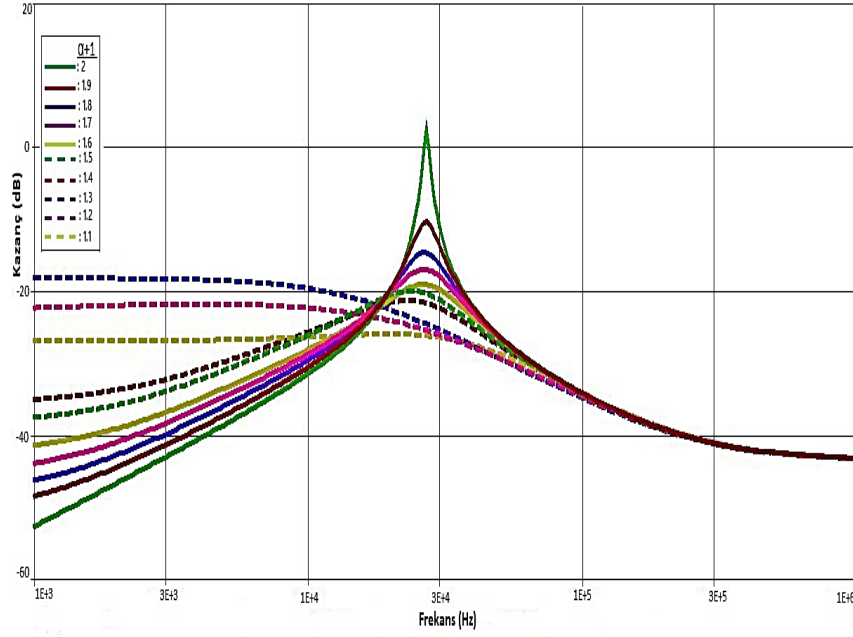
Şekil 15. $C_2, C_b, C_c, C_d, C_e, C_f$ değerlerinin %5 Gaussian değişimi için Monte-Carlo yüksek geçiren süzgeç kazanç grafiği

Şekil 15'te CCII ile tasarlanan akım modlu, ikinci derece süzgecin kesirli derece modeli uygulanan halinin yüksek geçiren süzgeç için Monte-Carlo kazanç grafiği verilmiştir. Süzgeçte kullanılan kondansatör değerlerinin %5'lik değişimi için kazanç cevaplarının değişimi, süzgeç derecesinin 1.3, 1.6, 1.9 değerleri için gösterilmiştir. Kondansatör değerlerindeki değişimlerin süzgeç cevabında çok küçük değişikliklere neden olduğu görülmektedir.



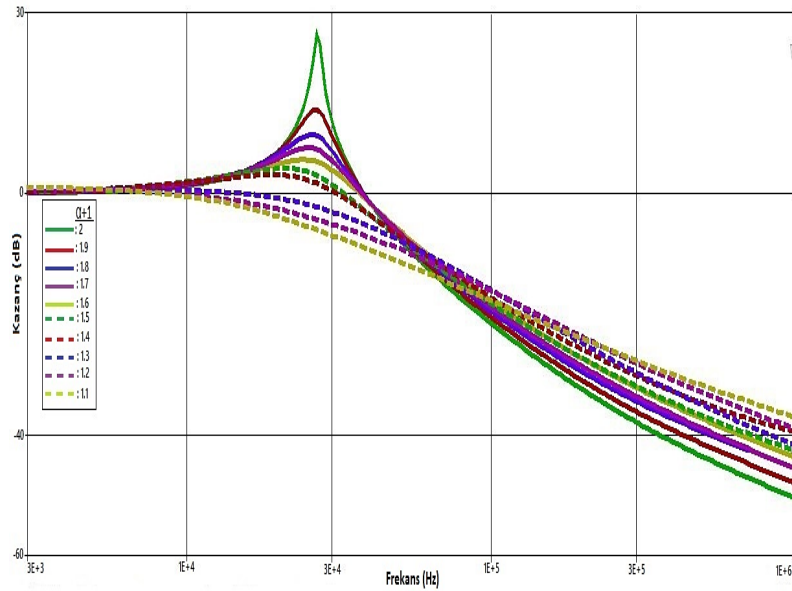
Şekil 16. $C_2, C_b, C_c, C_d, C_e, C_f$ değerlerinin %5 Gaussian değişimi için Monte-Carlo yüksek geçiren süzgeç faz grafiği

Şekil 16'da CCII ile tasarlanan akım modlu, ikinci derece süzgecin kesirli derece modeli uygulanan halinin yüksek geçiren süzgeç için Monte-Carlo faz grafiği verilmiştir. Süzgeçte kullanılan kondansatör değerlerinin %5'lik değişimi için faz cevaplarının değişimi, süzgeç derecesinin 1.3, 1.6, 1.9 değerleri için gösterilmiştir. Kondansatör değerlerindeki değişimlerin süzgeç cevabında çok küçük değişikliklere neden olduğu görülmektedir.



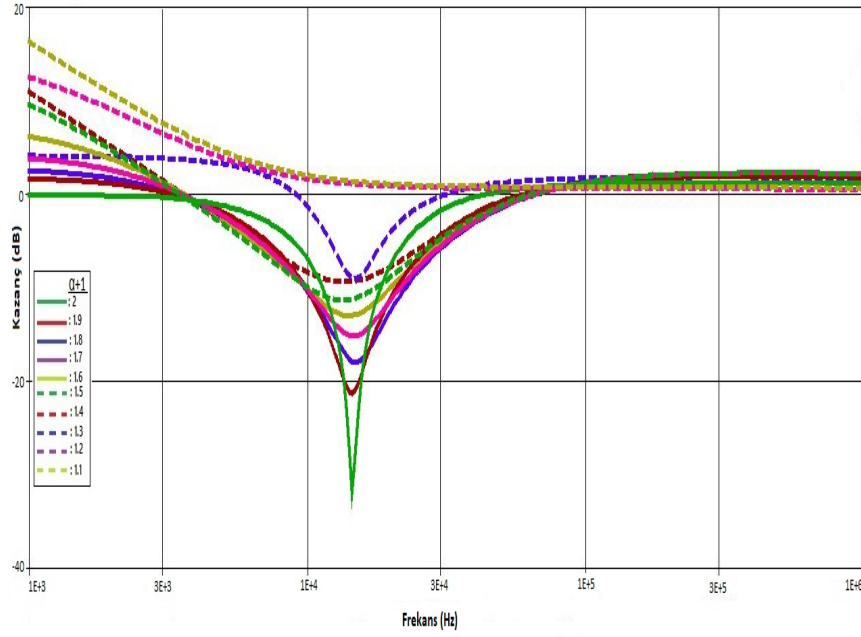
Şekil 17. Bant geçiren süzgeç kazanç grafiği ($\alpha+1=1.1,1.2,1.3,1.4,1.5,1.6,1.7,1.8,1.9$ ve 2)

Şekil 17’de CCII ile tasarlanan akım modlu, ikinci derece süzgecin kesirli derece modeli uygulanan halinin bant geçiren süzgeç için kazanç cevabı verilmiştir. Cevapta $\alpha+1=1.1,1.2,1.3,1.4,1.5,1.6,1.7,1.8,1.9$ kesirli derece değerleri 2. derece (tam sayılı) süzgeç ile karşılaştırılmıştır. Süzgeç cevabında α ’nın değerinin düşmesiyle süzgeç derecesinin de başarılı bir şekilde düştüğü görülmektedir. Ancak bant geçiren süzgeç, birinci derece ile sağlanamadığından $\alpha+1$ değeri bire yaklaştıkça cevabın bozulduğu, eğrinin bant geçiren süzgeç cevabından uzaklaştığı görülmektedir.



Şekil 18. Alçak geçiren süzgeç kazanç grafiği ($\alpha+1=1.1,1.2,1.3,1.4,1.5,1.6,1.7,1.8,1.9$ ve 2)

Şekil 18’de CCII ile tasarlanan akım modlu, ikinci derece süzgecin kesirli derece modeli uygulanan halinin alçak geçiren süzgeç için kazanç cevabı verilmiştir. Cevapta $\alpha+1=1.1,1.2,1.3,1.4,1.5,1.6,1.7,1.8,1.9$ kesirli derece değerleri 2. derece (tam sayılı) süzgeç ile karşılaştırılmıştır. Süzgeç cevabında α değerinin düşmesiyle süzgeç derecesinin de başarılı bir şekilde düştüğü bant geçiş hızındaki düşmeden açıkça anlaşılmaktadır.



Şekil 19. Bant durduran süzgeç kazanç grafiği ($\alpha+1=1.1,1.2,1.3,1.4,1.5,1.6,1.7,1.8,1.9$ ve 2)

Şekil 19'da CCII ile tasarlanan akım modlu, ikinci derece süzgecin kesirli derece modeli uygulanan halinin bant durduran süzgeç için kazanç cevabı verilmiştir. Cevapta $\alpha+1=1.1,1.2,1.3,1.4,1.5,1.6,1.7,1.8,1.9$ kesirli derece değerleri 2. derece (tam sayılı) süzgeç ile karşılaştırılmıştır. Süzgeç cevabında α değerinin düşmesiyle süzgeç derecesinin de başarılı bir şekilde düştüğü görülmektedir. Ancak bant durduran süzgeç birinci derece ile sağlanamadığından $\alpha+1$ değeri bire yaklaştıkça cevabın bozulduğu, eğrinin bant durduran süzgeç cevabından uzaklaştığı görülmektedir.

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Üç CCII (current conveyor, AD844A entegresi), üç direnç ve iki adet bir ucu topraklanmış kondansatör içeren bu devre akım modlu olarak tasarlanmıştır. Elemanları piyasada kolayca bulunup oluşturulabilecek bu tam sayı dereceli devrede, kondansatörlerden C1 kaldırılıp yerine eş değer model konulduğunda kesirli derece özelliği kazanmaktadır. $n=5$ için Foster-I modeli kullanılarak elde edilen ve parametreleri 100 KHz frekans, 1 nF kapasite değeri için MATLAB programı kullanılarak hesaplanan bu modelin devreye uygulanması ile elde edilen sonuçların benzetimler kısmında oldukça başarılı olduğu görülmektedir. Benzetimlerden anlaşıldığı gibi düşük dereceli süzgeçler bant geçiş hızı yönünden yavaş olurken yüksek dereceli süzgeçlerde dalgalanmalar meydana gelebilmektedir. Derece olarak tam sayı kullanıldığında birinden vazgeçmek gerekirken; kesirli derece ile beraber bu iki durumun arasını bulma şansı doğmuştur. Tam sayı dereceli süzgeçlerin, benzetimler kısmındaki 2. derece süzgeç cevapları dışındaki sonuçları veremediği göz önüne alındığında; şu ana kadar tam sayı kullanmanın büyük bir eksiklik olduğu açıkça görülmektedir. Dalgalanma ve bant geçiş hızlarındaki sorunu çözen, süzgeçlere esneklik sağlayan kesirli derece uygulaması birçok alanda kullanılmakta, bu ve benzeri çalışmalarla kullanımının daha da yaygınlaşması ümit edilmektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

CCII kullanılarak akım modlu, kesirli dereceli evrensel süzgeç tasarımı ve gerçekleştirilmesi isimli makalemiz ile ilgili herhangi bir kurum, kuruluş veya kişiyle mali çıkar çatışması yoktur ve yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] B. Maundy, A. S. Elwakil, T. J. Freeborn, On the practical realization of higher-order filters with fractional stepping. *Signal Processing*, 91:3 (2011) 484-491.
- [2] T. Freeborn, B. Maundy, A. S. Elwakil, Approximated fractional order Chebyshev lowpass filters. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015.
- [3] T. J. Freeborn, Comparison of $(1+\alpha)$ Fractional-Order Transfer Functions to Approximate Lowpass Butterworth Magnitude Responses. *Circuits, Systems, and Signal Processing*, 35:6 (2016) 1983-2002.
- [4] A. G. Radwan, A. S. Elwakil, A. M. Soliman, Fractional-order sinusoidal oscillators: design procedure and practical examples. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 55:7 (2008) 2051-2063.
- [5] C. Zhao, D. Xue, Y. Chen, A fractional order PID tuning algorithm for a class of fractional order plants. In *IEEE International Conference Mechatronics and Automation*, (2005) 216-221.
- [6] E. Sahin, M. S. Ayas, I. H. Altas, A PSO optimized fractional-order PID controller for a PV system with DC-DC boost converter. In *2014 16th International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition*, (2014) 477-481.
- [7] T. J. Freeborn, A survey of fractional-order circuit models for biology and biomedicine. *IEEE Journal on emerging and selected topics in circuits and systems*, 3:3 (2013) 416-424.
- [8] C. Ma, Y. Hori, Fractional-order control: Theory and applications in motion control (past and present). *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 1:4 (2007) 6-16.
- [9] H. Li, Y. Luo, Y. Chen, A fractional order proportional and derivative (FOPD) motion controller: tuning rule and experiments. *IEEE Trans. Control Syst. Technol.*, 18:2 (2010) 516–520.
- [10] P. Fanghella, Fractional-order control of a micrometric linear axis. *J. Control Sci. Eng.*, 2013.
- [11] A. M. AbdelAty, A. G. Radwan, A. S. Elwakil, C. Psychalinos, Transient and steady-state response of a fractional-order dynamic PV model under different loads. *Journal of Circuits, Systems and Computers*, 27:2 (2018) 1850023.
- [12] C. Li, X. Liao, J. Yu, Synchronization of fractional order chaotic systems. *Physical Review E*, 68:6 (2003) 067203.
- [13] L. Chen, H. Yin, T. Huang, L. Yuan, S. Zheng, L. Yin, Chaos in fractional-order discrete neural networks with application to image encryption. *Neural Networks*, 125 (2020) 174-184.
- [14] J. Dvorak, J. Jerabek, Z. Polesakova, D. Kubanek, P. Blazek, Multifunctional Electronically Reconfigurable and Tunable Fractional-Order Filter. *Elektronika ir Elektrotechnika*, 25:1 (2019) 26-30.
- [15] P. Bertias, C. Psychalinos, A. S. Elwakil, B. Maundy, Minimum MOS transistor count fractional-order voltage-mode and current-mode filters. *Technologies*, 7: 4 (2019) 85.
- [16] A. Soltan, A. G. Radwan, A. M. Soliman, "Fractional order Sallen–Key and KHN filters: stability and poles allocation.". *Circuits, Systems, and Signal Processing*, 34:5 (2015) 1461-1480.

- [17] G. Tsirimokou, A systematic procedure for deriving RC networks of fractional-order elements emulators using MATLAB. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 78 (2017) 7-14.
- [18] A. S. Ali, A. G. Radwan, A. M. Soliman, Fractional order Butterworth filter: active and passive realizations. *IEEE journal on emerging and selected topics in circuits and systems*, 3:3 (2013) 346-354.
- [19] E. M. Hamed, A. M. AbdelAty, L. A. Said, A. G. Radwan, Effect of different approximation techniques on fractional-order KHN filter design. *Circuits, Systems, and Signal Processing*, 37:12 (2018) 5222-5252.
- [20] A. G. Radwan, A. M. Soliman, A. S. Elwakil, First-order filters generalized to the fractional domain. *Journal of Circuits, Systems, and Computers*, 17:1 (2008) 55-66.
- [21] F. Sen, A. Kircay, MO-CCCII Based Current-Mode Fractional-Order Universal Filter. *Journal of Circuits, Systems and Computers*, 30:08 (2021) 2150132.