

Akım Kontrollü Akım Taşıyıcılarda Sıcaklık Kompanzasyonu Sağlamak İçin Yeni Bir Devre Yaklaşımı ve Uygulamaları

A New Design for Temperature Compensation of Current Controlled Current Conveyors and Its Applications

Hamdi Ercan¹, Sezai Alper Tekin², Mustafa Alçı²

¹Sivil Havacılık Yüksekokulu, Uçak Elektrik – Elektronik Bölümü
Erciyes Üniversitesi
hamdiercan@erciyes.edu.tr

²Mühendislik Fakültesi, Elektrik – Elektronik Bölümü
Erciyes Üniversitesi
malci@erciyes.edu.tr, satekin@erciyes.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, geleneksel akım kontrollü akım taşıyıcının sıcaklıktan bağımsız bir çıkış akımı üretmesi için sıcaklık kompanzasyonu işlemini gerçekleştiren bir devre yapısı tasarlanmış ve önerilmiştir. Önerilen devre yapısı akım taşıyıcı ile gerçekleştirilen bant geçiren süzgeç ve osilatör devrelerinde sıcaklık kompanzasyonu sağlamak amacıyla kullanılmıştır. Bu yeni tasarımla kontrollü akım taşıyıcının giriş ucundan görülen parazitik direncinin sıcaklık hassasiyeti azaltılmıştır. Önerilen devre yapısı iki adet geleneksel akım taşıyıcı ve translineer bir bloktan oluşmaktadır. Devrelerin teorik analizleri yapılmış ve devrenin performansı PSpice programı kullanılarak yapılan benzetim sonuçlarıyla doğrulanmıştır. Yapılan uygulamalarda devrelerin sıcaklığa bağımlılığının azaldığı benzetim sonuçları ile gösterilmiştir.

Abstract

A simple and effective temperature compensation scheme which generates temperature-independent output current for controlled current conveyor and its application to current-mode bandpass filter and oscillator are designed and introduced. The temperature sensitivity of the controlled current conveyor parasitic resistance is reduced by this new design. This proposed circuit includes two conventional current conveyors and a translinear circuit. Theoretical analysis of the circuits has been carried out and performance of the proposed circuit is confirmed through PSpice simulation results. It is introduced that circuit's temperature-dependence is reduced in accordance with simulation result for applications of proposed circuit.

1. Giriş

Son yıllarda akım modlu devreler her geçen gün daha fazla ilgi uyandırmış ve aktif süzgeç, osilatör gibi analog devre bloklarının gerçekleştirilmesinde geleneksel gerilim modlu

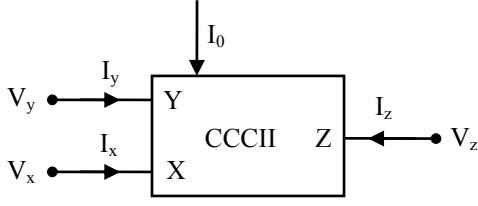
devrelerin yerini almaya başlamıştır [1]. Akım modlu devreler büyük bantgenişliği, yüksek değişim hızı, daha geniş doğrusallık ve dinamik saha, düşük güç tüketimi ve basit devre yapısı gibi karakteristik özellikler taşıdıklarından gerilim modlu devrelere rağmen geniş uygulama alanı bulmuşlardır [2,3].

Akım modlu devrelerin temel yapılarından olan akım taşıyıcılar analog devre uygulamalarının aranan yapı blokları haline gelmişlerdir. Burada ikinci kuşak akım taşıyıcının bir çeşidi olan ve elektronik olarak ayarlanabilen kontrollü akım taşıyıcı (controlled current conveyor-CCCII) elemanı önerilmiştir [4,5]. CCCII elemanı filtrelerde, osilatörlerde, çarpıcılarda ve sıcaklık kompanzasyonu gerektiren birçok akım modlu devre uygulamalarında kullanılmaktadır [6-8]. Kutuplama akımıyla kolaylıkla kontrol edilebilen girişteki parazitik direnç CCCII elemanı için önemli bir avantajdır. Bu direncin sıcaklığa bağımlılığı uygulamalarda çıkış akımını olumsuz yönde etkilemektedir [9].

Bu çalışmada, iki adet CCCII elemanı ve bir translineer devre bloğundan oluşan sıcaklık kompanzasyonu yapılan yeni bir CCCII devre yapısı önerilmiştir. Parazitik giriş direncinin sıcaklığa bağımlılığı ortadan kaldırılarak akım taşıyıcının çıkış akımı için sıcaklık kompanzasyonu yapılmıştır. Önerilen devre yapısı CCCII kullanılarak gerçekleştirilen bantgeçiren süzgeç ve osilatör devrelerinde sıcaklık kompanzasyonu sağlamak için kullanılmıştır. Devrelerin teorik analizleri yapılarak, PSpice programı yardımıyla benzetim işlemi gerçekleştirilmiştir. Benzetim işleminin teorik sonuçları doğruladığı görülmüştür.

2. Akım Kontrollü Akım Taşıyıcı

Kontrollü akım taşıyıcının devre sembolü Şekil 1'de verilmiştir [4,9-11].



Şekil 1: Akım kontrollü akım taşıyıcı.

Şekil 1’de görülen akım taşıyıcının tanım bağıntıları Denklem (1.a)’da, I_x akımının I_0 kutuplama akımı ve V_T ısıl gerilimiyle olan ilişkisi ise Denklem (1.b)’de verilmiştir [10].

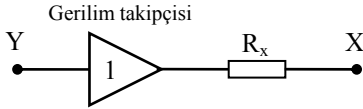
$$\begin{pmatrix} I_y \\ V_x \\ I_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & R_x & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_y \\ I_x \\ V_z \end{pmatrix} \quad (1.a)$$

$$I_x = 2I_0 \cdot \sinh(V_x/V_T) \quad (1.b)$$

Denklem (1)’de görülen R_x değeri CCCII elemanının X ucunun parazitik giriş direncidir. Denklem (1.b) ifadesinde $V_x \ll V_T$ olduğunda parazitik direnç aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$R_x = \frac{V_x}{I_x} = \frac{V_T}{2I_0} \quad (2)$$

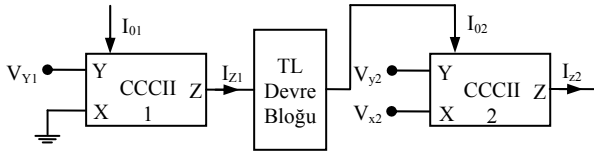
Burada, V_T ısıl gerilimdir. Bu ifade, R_x parazitik direncinin sıcaklığa bağımlı olduğunu göstermektedir. Bu parazitik direnç Denklem (2)’de görüldüğü gibi kutuplama akımı olan I_0 ile ayarlanabilmektedir. Akım taşıyıcının X ve Y giriş uçları arasındaki ilişki Şekil 2’deki eşdeğer devreyle modellenilebilir [9].



Şekil 2: X ve Y uçları arasındaki eşdeğer devre modeli

3. Önerilen Devre Topolojisi

Bir translineer (TL) devre bloğu [12] ve iki akım taşıyıcı kullanılarak tasarlanan sıcaklık kompanzasyonu yapılmış akım taşıyıcı blok olarak Şekil 3’de görülmektedir.



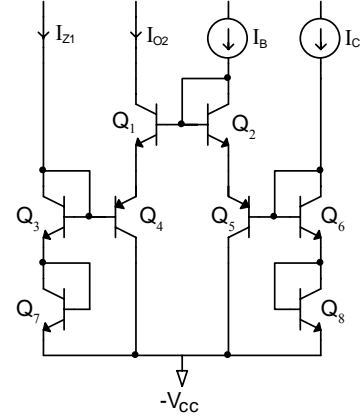
Şekil 3: Sıcaklığı kompanse edilmiş akım taşıyıcının blok yapısı.

Şekil 3’deki V_{x2} ve V_{y2} sıcaklık kompanzasyonu yapılan akım taşıyıcının X ve Y uçlarındaki gerilim ifadeleridir. I_{z2} ise akım taşıyıcının Z ucundaki akım ifadesidir.

Denklem (1.a)’daki matris ifadesinde $I_x = I_z$ olduğu görülmektedir. Birinci akım taşıyıcı blok devrenin I_{z1} akım ifadesi Denklem (3)’de verilmektedir.

$$I_{z1} = 2I_{01} \frac{V_{y1}}{V_T} \quad (3)$$

Translineer devre yapısı Şekil 4’de görülmektedir.



Şekil 4: Translineer devre bloğunun iç yapısı.

Önerilen devredeki akım taşıyıcılar ve translineer devre yapısı pasif eleman içermediğinden dolayı tümdevre yapısına uygun olup, kolaylıkla gerçekleştirilebileceği görülmektedir.

Translineer devre yapısındaki akımlar arasındaki ilişki Denklem (4)’de görülmektedir.

$$I_{02} = \frac{I_B I_C}{I_{z1}} \quad (4)$$

Denklem (4)’deki I_{02} akımı sıcaklık kompanzasyonunun sağlanacağı ikinci akım taşıyıcının kutuplama akımı olarak kullanılmaktadır. Buradan ikinci akım taşıyıcının Z ucunun akım ifadesi Denklem (5)’de verilmektedir.

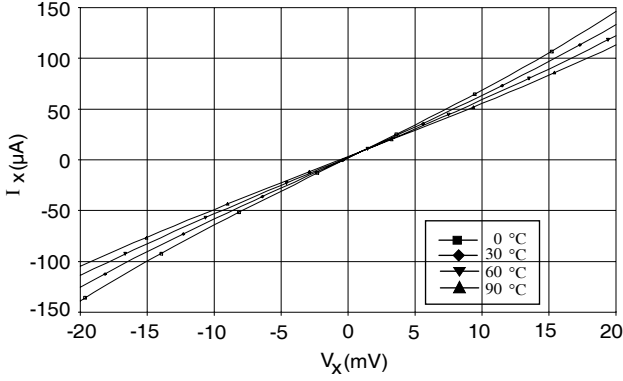
$$I_{x2} = \frac{I_B I_C V_{x2}}{I_{01} V_{y1}} \quad (5)$$

Devre blokları arasında uygun bağlantı yapılarak devre çıkışındaki akım ifadesi V_T geriliminden bağımsız hale getirilmiştir. Böylece parazitik direnç ifadesi Denklem (6)’da görüldüğü gibi elde edilmiştir.

$$R_x = \frac{I_{01} V_{y1}}{I_B I_C} \quad (6)$$

3.1. Önerilen Devre Topolojisinin Benzetim Sonuçları

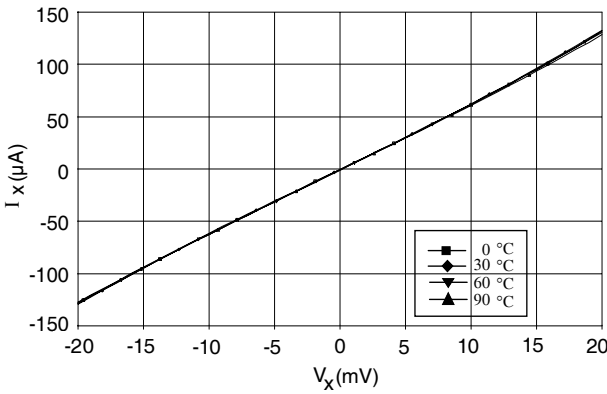
Şekil 1’de görülen akım kontrollü akım taşıyıcının analizi PSpice benzetim programı kullanılarak yapılmıştır. Devrenin farklı sıcaklık değerlerindeki X ucunun akım gerilim karakteristiği Şekil 5’de gösterilmiştir.



Şekil 5: CCCII elemanının farklı sıcaklık değerleri için X ucundaki akım gerilim karakteristiği.

Denklem (1)’den I_z akımının I_x akımına eşit olduğu bilinmektedir. Böylece sıcaklık değişimlerinden I_z akımının etkilendiği Şekil 5’de görülmektedir.

Şekil 3’de görülen sıcaklık kompanzasyonu yapılmış akım kontrollü akım taşıyıcının farklı sıcaklık değerlerindeki analizleri PSpice benzetim programı kullanılarak yapılmıştır. Devrelerin benzetimlerinde NR100N ve PR100N transistor tipi kullanılmıştır [13]. Devredeki I_{O1} , I_B , I_C akımları $50 \mu A$ alınmıştır. Besleme voltajı olarak $\pm 2.5 V$ kullanılmıştır. Şekil 6’da, önerilen devrede sıcaklık kompanzasyonu yapılmış ikinci akım taşıyıcının X ucunun akım gerilim karakteristiği görülmektedir.

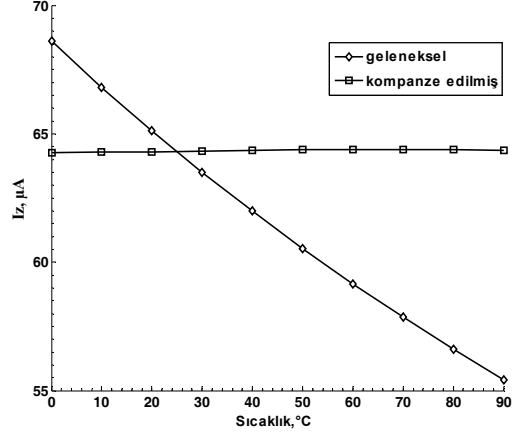


Şekil 6: Sıcaklık kompanzasyonu yapılmış CCCII elemanının farklı sıcaklık değerleri için X ucundaki akım gerilim karakteristiği.

Şekil 6’da görüldüğü gibi, farklı sıcaklık değerlerinde akım nanoamperler mertebesinde değişmektedir. Bu değerler ise ihmal edilebilir derecededir. Ayrıca Şekil 6 incelendiğinde, Şekil 5’dekinden farklı olarak orjinde sapma meydana gelmemektedir. Bu durum ise önerilen devrenin farklı sıcaklık

değerlerinde daha kararlı bir davranış sergilediğini göstermektedir.

Şekil 7’de geleneksel CCCII elemanı ve sıcaklık kompanzasyonu yapılmış CCCII elemanının Z ucundaki akımının sıcaklıkla değişimi görülmektedir.



Şekil 7: Geleneksel CCCII elemanı ve sıcaklık kompanzasyonu yapılmış CCCII elemanının Z ucundaki akımının sıcaklıkla değişimi.

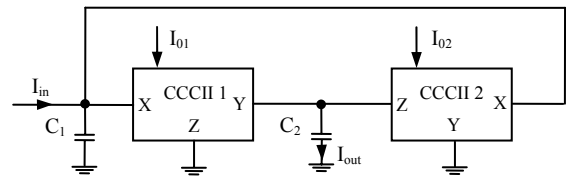
Geleneksel CCCII elemanının akım eğrisi incelendiğinde tam doğrusal bir yapı sergilemediği görülmektedir. Bu durum Denklem (1.b) ifadesindeki hiperbolik fonksiyonun akımı doğrusal olmayan bir şekilde etkilemesi olarak açıklanabilir.

Literatürde translineer yapıya sahip olan akım taşıyıcının sıcaklık kompanzasyonu yapılan bir devre önerilmiştir [12]. Önerilen devre yapısının pasif eleman içermesi ve besleme geriliminin çok yüksek olması gibi dezavantajları bulunmaktadır. Ayrıca çalışmada herhangi bir devre uygulaması verilerek sonuçları doğrulama yoluna gidilmemiştir.

4. Önerilen Devre Yapısının Bazı Uygulamaları

4.1. CCCII Tabanlı Akım Kontrollü Bant Geçiren Süzgeç Devresi

Geleneksel CCCII kullanılarak gerçekleştirilmiş olan akım kontrollü bant geçiren süzgeç devresi Şekil 8’de görülmektedir [9].



Şekil 8: Akım kontrollü bant geçiren süzgeç devresi.

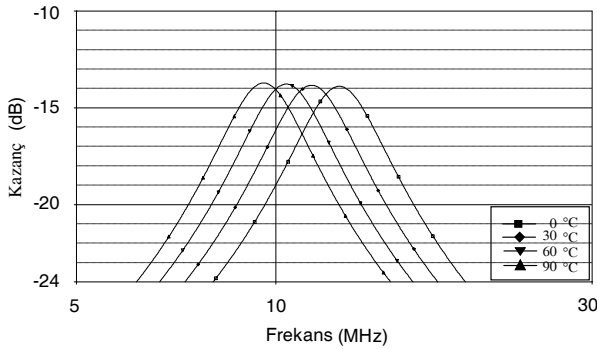
Devrede iki adet CCCII ve iki kapasitör kullanılmıştır. Devrenin frekans ifadesi Denklem (7)’de verilmektedir.

$$f_{01} = \frac{1}{2\pi R_x \sqrt{C_1 C_2}} \quad (7)$$

Bantgeçiren süzgeç devresinin kutuplama akımları ile R_x parazitik direnci kontrol edilebilmekte ve böylece filtrenin merkez frekansı ayarlanabilmektedir. Bu parazitik direnç sıcaklığa bağımlı olduğu için filtrenin merkez frekansı sıcaklık değişimlerinden etkilenmektedir. Şekil 8'de görülen devrede, Şekil 1'de görülen geleneksel CCCII elemanı yerine, Şekil 3'de önerilen CCCII elemanı kullanılarak bant geçiren süzgeç devresinin merkez frekansının sıcaklıkla değişimi azaltılmıştır. Bu durum Şekil 10'da görülmektedir.

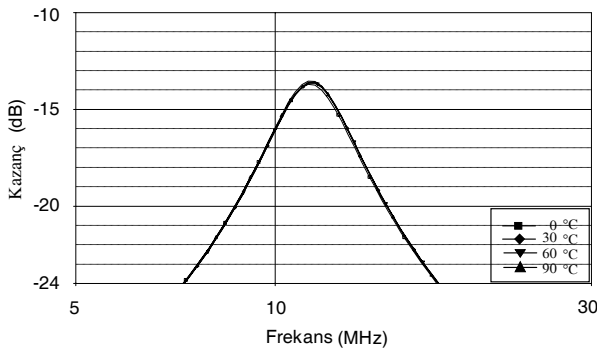
4.1.1 CCCII Tabanlı Akım Kontrollü Bant Geçiren Süzgeç Devresinin Benzetim Sonuçları

Şekil 8'de görülen CCCII tabanlı akım kontrollü bant geçiren süzgeç devresinin analizi PSpice benzetim programı kullanılarak yapılmıştır. Devrenin farklı sıcaklık değerlerindeki frekans cevabı Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9: CCCII tabanlı akım kontrollü bant geçiren süzgeç devresinin farklı sıcaklık değerlerindeki frekans cevabı.

Şekil 9'da görüldüğü gibi, geleneksel CCCII yapısı kullanılarak oluşturulmuş olan bant geçiren süzgeç devresi sıcaklık değişiminden etkilenmektedir. Sıcaklık değişimi ile bant geçiren süzgecin çalışma frekansı dikkat çekici şekilde değişmektedir.

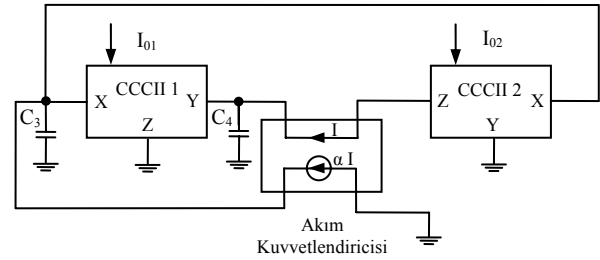


Şekil 10: Sıcaklık kompanzasyonu yapılmış CCCII elemanı kullanılarak gerçekleştirilmiş olan akım kontrollü bant geçiren süzgeç devresinin farklı sıcaklık değerlerindeki frekans cevabı.

Şekil 8'de görülen devrede sıcaklık kompanzasyonu yapılmış CCCII elemanı kullanılarak bant geçiren süzgeç devresinin farklı sıcaklık değerlerindeki analizleri PSpice benzetim programı yardımıyla yapılmıştır. Devrelerin benzetimlerinde NR100N ve PR100N transistör tipi kullanılmıştır. Devredeki I_{01} , I_B , I_C akımları $50 \mu A$ alınmıştır. Besleme voltajı olarak $\pm 2.5 V$ kullanılmıştır. C_1 ve C_2 kapasiteleri sırasıyla $130 pF$ ve $2 pF$ olarak alınmıştır. Şekil 10'da sıcaklık kompanzasyonu yapılmış olan devrenin farklı sıcaklık değerlerindeki frekans cevabı görülmektedir. Şekil 10'da görüldüğü gibi filtre devresinin çalışma frekansı kısmen sıcaklıktan bağımsız hale gelmiştir.

4.2. CCCII Tabanlı Akım Kontrollü Osilatör Devresi

Geleneksel CCCII kullanılarak gerçekleştirilmiş olan akım modlu osilatör devresi Şekil 11'de görülmektedir [14].



Şekil 11: Akım modlu osilatör devresi.

Şekil 11'de görülen osilatör devresi Şekil 8'de görülen süzgeç devresi ve akım kuvvetlendiricisi kullanılarak elde edilmiştir. Osilasyon şartının sağlanması için akım kuvvetlendiricinin kazancı olan α değerinin 2 olması gerekmektedir [13]. Osilasyon frekansı kutuplama akımı ile orantılı olarak değiştirilebilmektedir. CCCII elemanının X ucundaki sonlu giriş direnci R_x Denklem (2)'de görüldüğü gibi sıcaklıkla ve kutuplama akımı ile değişmektedir.

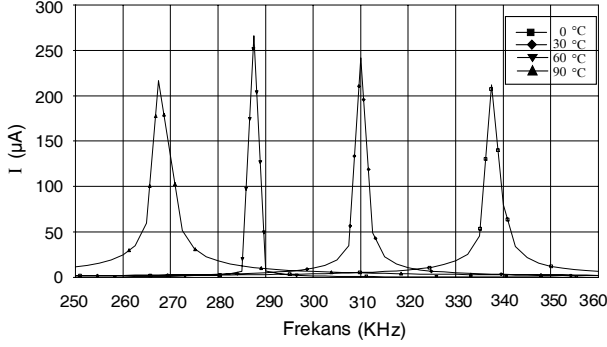
Şekil 11'deki devrenin osilasyon frekans ifadesi Denklem (8)'de görülmektedir.

$$f_{02} = \frac{1}{2\pi R_x \sqrt{C_3 C_4}} \quad (8)$$

Denklem (2) ve Denklem (8)'den görüldüğü gibi R_x direnci ile dolayısıyla sıcaklıkla osilatörün osilasyon frekansı değişmektedir. Şekil 11'de görülen devrede geleneksel CCCII elemanı yerine önerilen CCCII elemanı kullanılarak devrenin osilasyon frekansının sıcaklıkla değişimi azaltılmıştır. Bu durum Şekil 13'de görülmektedir.

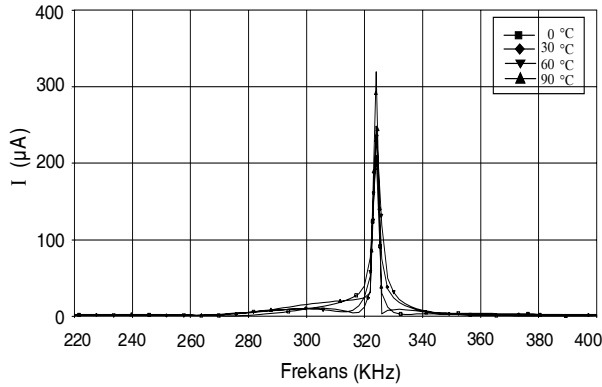
4.2.1 CCCII Tabanlı Akım Kontrollü Osilatör Devresinin Benzetim Sonuçları

Şekil 11'de görülen CCCII tabanlı akım kontrollü osilatör devresinin analizi PSpice benzetim programı kullanılarak yapılmıştır. Devrenin farklı sıcaklık değerlerindeki frekans cevabı Şekil 12'de gösterilmiştir.



Şekil 12: CCCII tabanlı akım kontrollü osilatör devresinin farklı sıcaklık değerlerindeki frekans cevabı.

Şekil 11'de görülen devrede geleneksel CCCII elemanı yerine sıcaklık kompanzasyonu yapılmış CCCII elemanı kullanılarak benzetimler tekrar gerçekleştirilmiştir. Devrelerin benzetimlerinde NR100N ve PR100N transistör tipi kullanılmıştır. Devredeki I_{O1} , I_B , I_C akımları 50 μ A alınmıştır. Besleme voltajı olarak ± 2.5 V kullanılmıştır. C_3 ve C_4 kapasiteleri 0.01 μ F olarak alınmıştır. Şekil 13'de sıcaklık kompanzasyonu yapılmış olan devrenin farklı sıcaklık değerlerindeki frekans cevabı görülmektedir.



Şekil 13: Sıcaklık kompanzasyonu yapılmış CCCII elemanı kullanılarak gerçekleştirilmiş olan akım kontrollü osilatör devresinin farklı sıcaklık değerlerindeki frekans cevabı.

Şekil 13'de görüldüğü gibi sıcaklık kompanzasyonu yapılmış CCCII elemanının kullanımı ile osilatörün çalışma frekansının sıcaklığa bağımlılığı azaltılmıştır.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada geleneksel akım kontrollü akım taşıyıcı için sıcaklık kompanzasyonu yapılmıştır. Bu işlemi gerçekleştirmek için geleneksel akım taşıyıcı ve translineer devre yapısı kullanılmıştır. Önerilen devre yapısı PSpice benzetim programı kullanılarak analiz edilmiş ve sonuçlar geleneksel CCCII yapısı ile karşılaştırılmıştır. Önerilen devre yapısının sıcaklıktan bağımsız bir akıma sahip olduğu benzetim sonuçları doğrultusunda ortaya konmuştur. Önerilen devre yapısı akım kontrollü akım taşıyıcı tabanlı bant geçiren süzgeç ve akım kontrollü osilatör yapılarında sıcaklık kompanzasyonu sağlamak amacıyla kullanılmıştır. Benzetim sonuçlarının teorik sonuçları doğruladığı görülmüştür. Buna göre, önerilen devre yapısının özellikle sıcaklık

kompanzasyonu gerektiren hassas elektronik devre uygulamalarında elverişli bir temel yapı olarak kullanılabilirliği düşünülmektedir.

6. Kaynaklar

- [1] Palmisano, G., Palumbo, G. ve Pennisi, S., *CMOS Current Amplifiers*, Kluwer Academic Publishers, Boston (MA), p.1-9, 1999.
- [2] Schmid, H., "Approximating the Universal Active Element", *IEEE Transaction on Circuit Systems-II: Analog and Digital Signal Processing*, Vol: 47 (11), p.1160-1169, 2000.
- [3] Tokmakçı, M., Alçı, M., Uzunhisarcıklı, E., "CCII-Based Defuzzification Circuit for Fuzzy Logic Controllers", *Int. Fuzzy Systems Association World Congress- IFSA'2003*, 29 June- 2 July 2003.
- [4] Fabre, A., Saaid, O., Wiest, F. ve Boucheron, C., "High Frequency Applications Based On a New Current Controlled Conveyor", *IEEE Transactions on Circuits and Systems -I: Fundamental Theory and Applications*, Vol: 43 (2), pp. 82-91, 1996.
- [5] Yuce, E., Minaei, S. ve Cicekoglu, O., "Resistorless floating immittance function simulators employing current controlled conveyors and a grounded capacitor" *Electrical Engineering (Archiv fur Elektrotechnik)*, Vol: 88, Number 6, pp 519-525, August 2006 .
- [6] Kiranon, W., Kerson, J. ve Wardkein, P., "Current controlled oscillator based on translinear conveyors" *Electronics Letters*, Vol: 32 (15), pp. 1330-1331, 1996.
- [7] Minaei, S. ve Türköz, S., "New current-mode current-controlled universal filter implemented from single-output current controlled conveyors", *Frequenz*, Vol: 54 (5-6), pp. 138-140, 2000.
- [8] Çiçekoğlu, O., Kuntman, H. ve Berk, S., "Allpass filters using a single current conveyor", *International journal of Electronics*, Vol: 86 (8), pp. 947-955, 1999.
- [9] Fabre, A., Saaid, O., Wiest, F. ve Boucheron, C., "Current controlled bandpass filter based on translinear conveyor", *Electronics Letters*, Vol. 31, No. 20, P. 1727-1728, September 1995.
- [10] Fabre, A., Alami, M., "Universal current mode biquad implemented from two second generation current conveyors", *IEEE Transactions on Circuits and Systems - I: Fundamental Theory and Applications*, Vol: 42 (7), pp. 383-385, 1995.
- [11] Siripruchyanun, M. ve Jaikla, W., "Current controlled current conveyor transconductance amplifier (CCCCTA): a building block for analog signal processing", *Electrical Engineering (Archiv fur Elektrotechnik)*, accepted 8 Dec 2007.
- [12] Surakamponorn, W., Riewruja, V., Kumwachara, K. ve Fongsamut, C., "Temperature compensation of translinear current conveyor and OTA", *Electronics Letters*, Vol. 34 No. 8, pp. 707-709, 76th April 1998.
- [13] Frey, D. R., "Log-domain filtering: An approach to currentmode filtering", *IEE Proc. Pt. G*, Vol: 140 (6), pp. 406-416, 1993.
- [14] Kiranon, W., Kesorn, J. ve Wardkein, P., "Current controlled oscillator based on translinear conveyor", *Electronics Letters*, Vol. 32, No. 15, pp. 1330-1331, July 1996.