

28nm Prosesinde Dengelenmiş Farksal Giriş Devresi Tabanlı CCCII Tasarımı ve Kurgulanabilir Frekans Atik Süzgeç Yapısı Uygulaması

Design of Balanced Differential Pair Based CCCII Circuit and Configurable Frequency Agile Filter Application in 28nm Process

Emrah ARMAĞAN^{1,2}, Hakan KUNTMAN¹

¹Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Elektrik-Elektronik Fakültesi
İstanbul Teknik Üniversitesi, 34469, Maslak, İstanbul
armaganem@itu.edu.tr, kuntman@ehb.itu.edu.tr

²EMDC | Ericsson Mikroelektronik Tasarım Merkezi
İTÜ Ayazağa Kampüsü Koru Yolu
ARI-2 B Blok, 34469, Maslak, İstanbul
emrah.armagan@ericsson.com

Özet

Yoğunlaşan ve karmaşıklaşan haberleşme ihtiyacı günümüzde şifrelenmiş ve bilişsel haberleşme tekniklerine duyulan ilgiyi arttırmaktadır. Şifrelenmiş ve bilişsel haberleşme sistemlerinde yer alan yapılar hızlı frekans cevabı (frekans atiklik) ve kurgulanabilirlik gibi özellikler açısından standart yapılara göre avantajları bulunan yapılardır. Bu çalışmada, düşük güç tüketimi ve yüksek frekanslarda çalışma gibi özelliklerin sağlanması amacıyla akım modlu devrelerden yararlanılarak şifrelenmiş ve bilişsel haberleşme sistemlerinde kullanılacak devre yapılarının önerilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, STMicroelectronics` 28nm prosesinde CCCII yapıları tasarlanmış ve tasarlanan bu yapılar yardımıyla frekans atik ve kurgulanabilir süzgeç yapısı uygulaması bu proste ilk uygulama olarak gerçekleştirilmiştir. Uygulamada farklı protokollere sahip GPS sistemlerinin tek süzgeç yapısı ile kullanılabilmesi amaçlanmıştır.

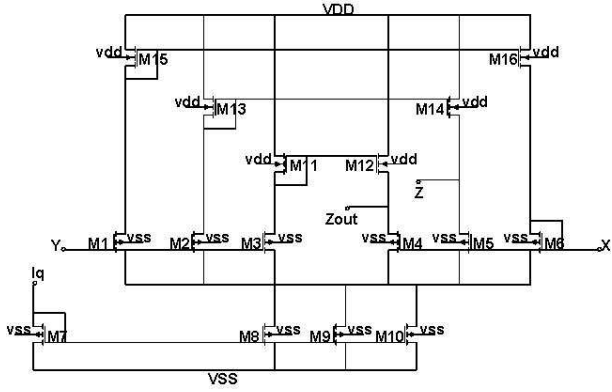
Abstract

Intensified and complex communication needs cause increasing interest in encrypted and cognitive communication techniques. Circuits used in encrypted and cognitive communication systems have some advantages over standard circuits such as, agility and configurability. The aim of this study is to provide circuits with lower power consumption and higher bandwidth to be used in encrypted and cognitive communication systems. For this reason, CCCII circuits designed with ST Microelectronics` 28nm Process and applications with frequency agile and configurable filters realized as a first example application in this process. It is planned to support different GPS protocols with unique filter circuit as an application.

1. Giriş

Son yıllarda, haberleşme ve iletişim sektörü toplumun önemli parçalarından biri olmakla birlikte, bu sektörlerin ortaya çıkarmış olduğu teknolojik gelişmeler de ekonomik ve bilişsel anlamda önemli konuları oluşturmuştur. Ses, veri ve çok içerikli dosya iletimine bağlı uygulama alanlarının büyük bir hızla artışı ise farklı iletişim ve haberleşme biçimleri için yeni standartların ortaya çıkmasına neden olmuştur, [1-4]. İlk aşamalarda her bir standarda ait özel yapılarla gerçekleştirilen haberleşme biçimleri bir süre sonra devre yapılarının sayıca artmasına ve karmaşıklaşmasına yol açmıştır. Bu şekilde, her bir devre belirlenmiş olan tek bir standardı desteklemekte ve belirlenen uygulamaya hizmet edebilmektedir, [1-2]. Günümüzde ise bu eğilim değişerek ortak devre yapıları ile çoklu standart desteklemesine olanak sağlamak amacıyla yoğunlaşmıştır. Bu amaçla kullanılan devrelerin çoklu standartları destekleyebilmek için hızlı frekans cevabı, geniş çalışma bandı aralığı, düşük güç tüketimi ve ayarlanabilirlik gibi özellikleri sağlaması gerekmektedir.

Geçtiğimiz yıllarda akım modlu devrelere olan yaklaşım teknolojinin getirmiş olduğu avantajlar ve akım modlu devrelerin gerilim modlu devrelere oranla sağlamış olduğu yüksek çalışma frekansları, düşük güç tüketimi ve benzeri özellikler nedeniyle önem kazanmıştır. Bir üç kapılı analog eleman olan ikinci kuşak akım taşıyıcı (CCII), gerilim modlu eşleniği olan işlemsel kuvvetlendiricinin özelliklerine ek olarak yüksek band genişliği, geniş dinamik çalışma aralığı ve yüksek geçiş eğimi (Slew Rate) gibi özellikleri sağlamasından dolayı tasarımlarda önem kazanmıştır, [5]. Daha sonra bu yapının eksik yönü olan kurgulanabilirlik ve ayarlanabilirlik özelliğini sunan ikinci kuşak akım kontrollü akım taşıyıcı (CCCII) yapısının kullanımı önem kazanarak akım modlu

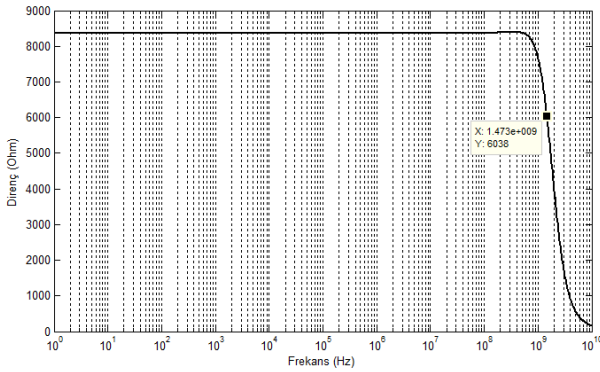


Şekil 3: Tasarımı yapılan dengelenmiş farksal giriş tabanlı, çift Z uçlu CMOS CCCII yapısı.

Kullanılan MOSFETlere ait W/L oranları; $M_1 - M_6$: 20, $M_7 - M_{10}$: 30, $M_{11} - M_{16}$: 50 olarak seçilmiştir.

2.3. Tasarlanan CCCII Yapısına ait Karakteristikler

Gerçeklenen yapıya ait Spectre benzetimi sonuçları $10\mu A$ kutuplama akımı için elde edilmiştir. Şekil 4'te devreye ait R_x direncinin frekansla değişimi verilmektedir.

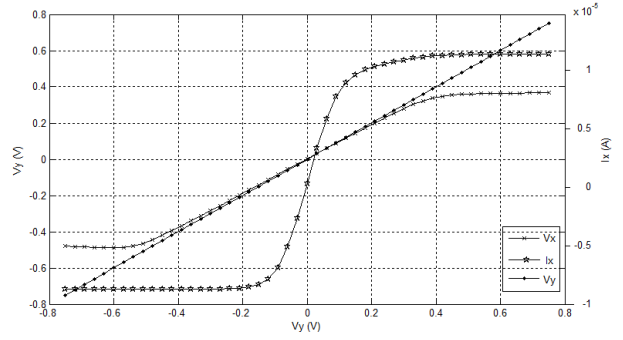


Şekil 4: R_x direncinin frekans ile değişimi.

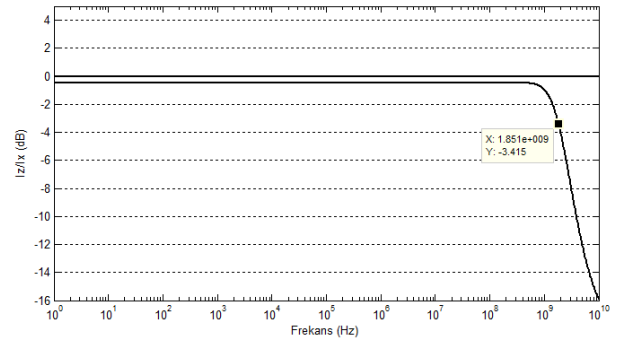
Verilmiş olan grafikten de görüldüğü gibi, devrenin X ucunda gözlenen direnç değeri yaklaşık olarak 1,5 GHz frekans değerlerine kadar yeterli performansı sağlamaktadır.

Devrenin X ve Y uçlarının işaret izleme performansı Şekil 5'te verilmiştir. Verilmiş olan şekilden de görüldüğü gibi devre besleme gerilim değerleriyle karşılaştırıldığında yüksek bir başarımla ve geniş bir aralıkta X ve Y uçları arasında gerilim izlemesine olanak sağlamaktadır.

Tasarımı yapılan CCCII devresine ait akım transfer kazancını içeren gösterim Şekil 6 ile Z ve X uçları arasındaki akım transferine ait geçici durum benzetimi ise Şekil 7'deki gösterim ile verilmiştir.



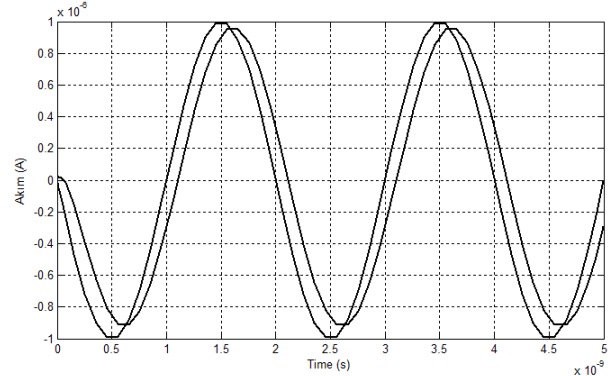
Şekil 5: CCCII yapısının gerilim izleme ve $1K\Omega$ yük için akım izleme karakteristiği.



Şekil 6: Devreye ait X ve Z uçları arasındaki akım transfer kazanç grafiği.

Verilmiş olan şekillerden de anlaşıldığı üzere, tasarımı yapılan devre X ve Z uçları arasında yeterli akım izlemesini yüksek frekanslara kadar sürdürebilmektedir.

Elde edilmiş olan davranışlar devrenin yüksek frekans değerlerine kadar yeterli performansı sağlayabileceğini göstermektedir.



Şekil 7: Devrenin X ve Z uçlarına ait geçici durum benzetimi davranışı.

3. Süzgeç Yapısı Uygulaması ve Karakteristikleri

Tasarlanmış olan CCCII yapısında kullanılan proses teknolojisinin ve tasarım konfigürasyonunun avantajlarının kullanılabilmesi ve test edilmesi amacıyla, uygulama olarak günümüzün önem arz eden konularından olan frekans atik ve kurgulanabilir süzgeç yapısı seçilmiştir. Bu tarz haberleşmelerde ortamı algılayıp değerlendirebilen ve sürekli olarak haberleşme kanalındaki aktarımını ve çalışma frekansını ayarlayabilen yapılara ihtiyaç duyulmaktadır.

Kullanılan süzgeç yapısı Fabre ve ekibi tarafından önerilen frekans atik, aktif süzgeç yapısıdır. Yapı temelde basit ikinci dereceden süzgeç yapısını kullanmaktadır. Temel yapı sınıf 0 olarak adlandırılmış ve frekans atik devre yapısının ana elemanı olarak kullanılmıştır, [9]. Sınıf 0 olarak verilen yapı Şekil 8 ile gösterilmiştir.



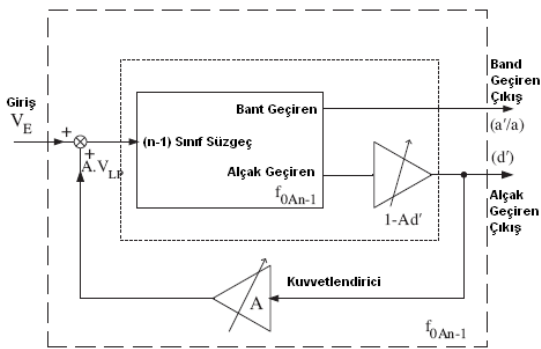
Şekil 8: İki farklı çıkışlı, basit, ikinci dereceden süzgeç yapısı.

Verilmiş olan yapıya ait geçiş fonksiyonları ise şu şekilde verilebilir, [9]:

$$F_{BP}(s) = (V_{BP} / V_{IN})(s) = (a's) / (1 + as + bs^2) \quad (7)$$

$$F_{LP}(s) = (V_{LP} / V_{IN})(s) = d' / (1 + as + bs^2) \quad (8)$$

Fabre ve ekibi tarafından önerilmiş olan n. dereceden frekans atik süzgeç yapısını ait blok şeması ise Şekil 9'da verilmiştir. Verilen şekilde gösterilen sınıf n frekans atik süzgeç yapısı için öngörülen süzgeç karakteristikleri ise Çizelge 1 ile verilmiştir.



Şekil 9: Sınıf n frekans atik süzgeç yapısı [9].

Çizelge 1: Temel süzgeç yapısı ve n. sınıf frekans atik süzgeç yapısına ait karakteristikler [9].

	Temel Devre (Şekil 9)	n.Sınıf Frekans Atik Süzgeç (Şekil 10)
Merkez Frekansı	$f_o = 1/2\pi\sqrt{b}$	$f_{oA} = \sqrt{(1-Ad')}f_o$
Q-Faktörü	$Q = \sqrt{b}/a$	$Q_A = \sqrt{(1-Ad')} \cdot Q$
BP Kazancı	$G_{BP} = a'/a$	$G_{BPA} = G_{BP}$
BP:-3dB Band Genişliği	$\Delta f = a/2\pi b$	$\Delta f_A = \Delta f$
LP Kazancı	$G_{LP} = d'$	$G_{LPA} = G_{LP} / (1-Ad')$

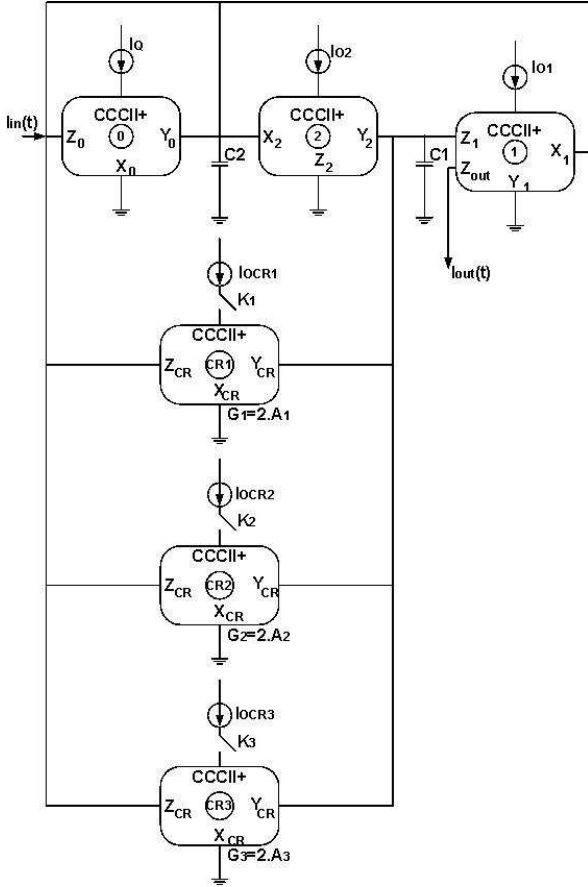
3.1. Tasarlanan Frekans Atik ve Kurgulanabilir Süzgeç Yapısı

Fabre ve ekibi tarafından bilişsel, şifreli haberleşme teknikleri için önerilmiş olan yapının bilişsel haberleşme türlerine yakınlığından dolayı, çalışmamızda aynı yapının çok protokollü bir GPS süzgeç yapısında kullanılması öngörülmüştür. Hâlihazırda bulunan kırkık üstü sistemlerde farklı kıtaların konumlandırma sistemleri için farklı protokoller bulunmakta ve bunların herbirinin desteklenmesi ayrı süzgeç yapılarına gereksinim duyulmasına yol açmaktadır. Bu çalışmada, kurgulanan devre yapısının çok protokollü konumlandırma sistemleri için önerilen ayrı süzgeçlerin yerini alabileceği gösterilmektedir. Çarpıcı yapısıyla düşük frekanslara indirgenen işaretler için tek süzgeç yapısı ile farklı protokollere ait merkez frekansların desteklenebileceği açıktır.

GPS süzgeç yapısının gerçekleştirilmesi için yapılan incelemenin ardından uygulama olarak 4. dereceden band geçiren süzgeç yapısının gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Kurgulanan yapıya ait blok gösterimi Şekil 10'da verilmiştir. Tasarlanan devre Şekil 11 ile verilen temel devrenin 4 adet kaskat bağlanması ile kurgulanmıştır. Kurgulanan yapıda paralelde yer alan geri besleme yolu sayısı temel frekans dışında desteklenecek frekans aralığı sayısına bağlıdır. Bu yapıda, her bir devre için yer alan paralel geri besleme devreleri aynı akımlar ve anahtarlarla kurgulanmış olup aynı zamanlama ile geri besleme yolları açılarak devrenin başka bir merkez frekansına geçmesi tetiklenebilmektedir.



Şekil 10: 4.Dereceden frekans atik süzgeç yapısı.



Şekil 11: Süzgeç tasarımında kullanılan temel yapı [9].

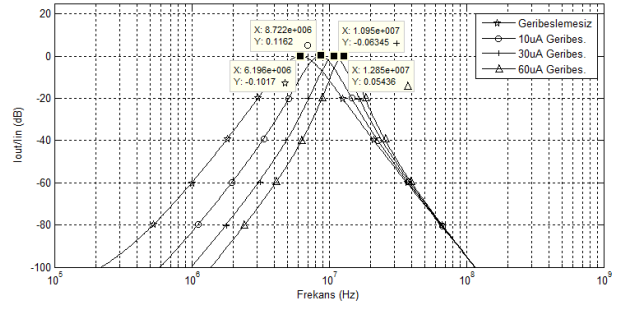
3.2. Tasarlanan Frekans Atık ve Kurgulanabilir Süzgeç Yapısına ait Karakteristikler

Tasarlanan süzgeç yapısında her bir katta yer alan kazanç ayarlamaları eşit olup geçirme bandında devrenin akım kazancını 0 dB olarak ayarlamak için kullanılmaktadır. Bunun dışında yer alan süzgeç hattındaki CCCII yapılarının kutuplama akımları $10\mu\text{A}$ olarak seçilmiştir. Geri besleme hattının kapalı olduğu durumda süzgece ait frekans geçiş davranışı ve devrenin geri besleme hattında yer alan akım anahtarlarının açılması ile açılan geri besleme yolları yardımıyla devreye ait geçirme bandının merkez frekansının kaydırılması Şekil 12 ile gözlemlenebilir.

Süzgeç yapısında, geri beslemesiz (⊖) 6.14MHz, $10\mu\text{A}$ geri besleme hattı için (○) 8.60MHz, $30\mu\text{A}$ geri besleme hattı için (+) 10.94MHz ve $60\mu\text{A}$ geri besleme hattı için (Δ) 12.85MHz merkez frekansına ait dört adet band geçiren süzgeç yapısı elde edilmiştir. Bu durumlar için ayarlamaları sırayla $13.5\mu\text{A}$, $14.4\mu\text{A}$, $16.5\mu\text{A}$ ve $17.2\mu\text{A}$ olarak bulunmuştur. Geri besleme akımlarının farklı değerlerde seçilmesi ile çok yüksek frekansların gerçekleştirilmesi de mümkündür.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, dengelenmiş farksal giriş katıyla gerçekleştirilmiş CCCII yapısı tasarlanmış olup devrenin uygulaması olarak frekans atık, kurgulanabilir süzgeç yapısı seçilmiştir



Şekil 12: Tasarlanan süzgece ait farklı merkez frekanslar için band geçirme karakteristiği.

Tasarlanan devrenin hedeflenen davranışı sergilediği benzetim sonuçlarıyla gösterilmiştir. Kurgulanan devre yapısının çok protokollü konumlandırma yapılarında yer alan ayrık süzgeçlerin yerini alabileceği gösterilmiştir. Tasarlanan devre, kullanılan 28nm prosesi açısından ilk uygulama olması ve günümüz teknolojilerinin kutuplama ve çalışma aralıklarını sınaması nedeniyle önemlidir.

5. Teşekkür

Bu çalışma Ericsson Mikroelektronik Tasarım Merkezi (EMDC) ofisinde gerçekleştirilmiş olup, çalışmada STMicroelectronics 28 nm kütüphanelerinden yararlanılmıştır. Yazarlar EMDC'ye desteklerinden dolayı teşekkür ederler.

6. Kaynaklar

- [1] Mak P., Seng-Side U, Rui P. M., "Transceiver structure selection: Review, State-of-the-art survey and case study", *IEEE Circuits and Systems Magazine*, Vol 7., Issue 2., pp. 6 - 25, 2007.
- [2] Razavi B., "RF Microelectronics", *Prentice Hall*, ISBN: 978-0128875718, 1997.
- [3] Sun Y., "Generalized Bandpass Sampling Receivers for Software Defined Radio", *Doctoral Thesis*, Royal Institute of Technology, ICT, Stockholm, Sweden, 2006.
- [4] Mitola J., "The software radio architecture", *IEEE Comm. Magazine*, Vol. 33, No. 5, pp. 26 - 38, 1995.
- [5] Kurashina T., Ogawa S., Watanabe K., "A CMOS Rail-to-Rail Current Conveyor", *IEICE Trans Fundamentals*, Vol. E85-A, No. 12, pp. 2894 - 2900, 2002.
- [6] Fabre A., Saaid O., Wiest F., 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, No. 2, pp 82 - 91, 1996.
- [7] Chipipop B., Chairsricharoen R., Sirinaovakul B., "A novel balanced differential-pair multi-output CMOS CCCII", *Industrial Electronics and Applications*, 2008, pp 351 - 356.
- [8] Chipipop B., Chairsricharoen R., Sirinaovakul B., "A balanced differential-pair CMOS CCCII with negative intrinsic resistance", *IEEE Signals, Circuits and Systems International Symposium*, 2009, pp 1 - 4.
- [9] Lakys Y., Godara B., Fabre A., "Cognitive and encrypted communications: state of the art and a new approach for frequency-agile filters", *Turk J Elec Eng & Comp Sci*, Vol.19, No:2, 2011, pp 251 - 273.