



## วงจรกำเนิดสัญญาณแบบควอดเรเจอร์โดยใช้ CCCFTA เพียงตัวเดียวและใช้ อุปกรณ์พาสซีฟแบบต่อลงกราวนด์

ศุภวัฒน์ ลาวัญย์วิสุทธิ\*

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศและการสื่อสาร คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

มนตรี ศิริปรัชญานันท์

รองศาสตราจารย์ ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

\* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08-8278-5579 อีเมล: s.lawanwisut@hotmail.com

รับเมื่อ 19 สิงหาคม 2557 ตอรับเมื่อ 15 ธันวาคม 2557

DOI: 10.14416/j.kmutnb.2014.12.004 © 2015 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวงจรกำเนิดสัญญาณแบบควอดเรเจอร์ที่ใช้ CCCFTA เป็นอุปกรณ์แอ็กทีฟ จุดเด่นของวงจรที่นำเสนอคือ สามารถปรับความถี่และเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณได้อย่างอิสระจากกันด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ โครงสร้างของวงจรไม่ซับซ้อน ประกอบไปด้วย CCCFTA จำนวน 1 ตัวร่วมกับบัพเฟอร์ และตัวเก็บประจุที่ต่อลงกราวนด์อีก 2 ตัว โดยไม่ต้องใช้ตัวต้านทานภายนอก วงจรที่นำเสนอจึงเหมาะที่จะนำไปพัฒนาเป็นวงจรรวม ผลการจำลองด้วยโปรแกรม PSpice และการต่อวงจรจริงพบว่าวงจรทำงานได้สอดคล้องตามที่คาดการณ์ไว้ในทางทฤษฎี

**คำสำคัญ:** วงจรกำเนิดสัญญาณแบบควอดเรเจอร์ วงจรขยายความนำตามกระแสที่ควบคุมด้วยกระแส

การอ้างอิงบทความ: ศุภวัฒน์ ลาวัญย์วิสุทธิ และ มนตรี ศิริปรัชญานันท์, “วงจรกำเนิดสัญญาณแบบควอดเรเจอร์โดยใช้ CCCFTA เพียงตัวเดียวและใช้อุปกรณ์พาสซีฟแบบต่อลงกราวนด์,” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 25, ฉบับที่ 1, หน้า 45-51, ม.ค. - เม.ย. 2558. <http://dx.doi.org/10.14416/j.kmutnb.2014.12.004>



## Quadrature Oscillator Using Only Single CCCFTA and Grounded Passive Elements

**Supawat Lawanwisut\***

*Assistant Professor, Department of Information and Communication Engineering, Faculty of Industrial Technology, Thepsatri Rajabhat University, Lopburi, Thailand*

**Montree Siripruchyanun**

*Associate Professor, Department of Teacher Training in Electrical Engineering, Faculty of Technical Education, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand*

\* Corresponding Author, Tel. 08-8278-5579, E-mail: s.lawanwisut@hotmail.com

Received 19 August 2014; Accepted 15 December 2014

DOI: 10.14416/j.kmutnb.2014.12.004 © 2015 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

### Abstract

This article presents a quadrature oscillator employing Current-Controlled Current Follower Transconductance Amplifier (CCCFTA) as an active element. The oscillation frequency and oscillation condition can be electronically/orthogonally controlled via bias currents. The circuit description is very simple, consisting of merely single CCCFTA with buffer and 2 grounded capacitors without any external resistors. The proposed circuit is, therefore, suitable for IC architecture. The PSpice simulation and experimental results are consistent with the theoretical anticipation.

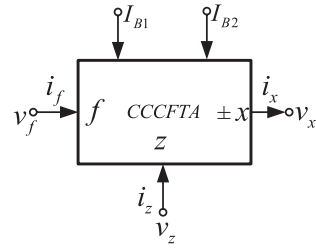
**Keywords:** Quadrature Oscillator, CCCFTA.

### 1. บทนำ

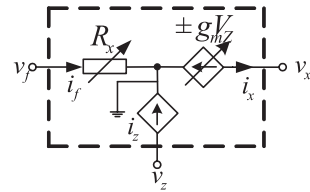
วงจรกำเนิดสัญญาณเป็นวงจรที่มีการนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง ตัวอย่างการใช้งาน ได้แก่ ระบบสื่อสาร ระบบเครื่องมือวัด ระบบเครื่องมือแพทย์ ในวงจรรีเลย์ทรอนิกส์และระบบประมวลผลสัญญาณ เป็นต้น ลักษณะเด่นของวงจรกำเนิดสัญญาณนิยมพัฒนาให้สามารถกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นไซน์ได้สองสัญญาณที่มีเฟสต่างกัน  $90^\circ$  หรือที่เรียกว่าสัญญาณควอดเรเจอร์ ทั้งนี้เพื่อนำไปใช้ในระบบสื่อสาร เช่น ในการมอดูเลตสัญญาณ SSB เป็นต้น [1] ได้มีผู้นำเสนอวงจรกำเนิดสัญญาณโดยใช้อุปกรณ์แอ็กทีฟที่แตกต่างกันไปมากมาย เช่น วงจรขยายความนำถ่ายโอน [2], [3] วงจรสายพานกระแส [4] วงจรตามกระแส [5], [6] วงจรการชนเปรียบเทียบผลต่างกระแส [7] และวงจรสายพานกระแสเปรียบเทียบแรงดันผลต่าง [8] เป็นต้น แต่วงจรเหล่านั้นยังมีข้อด้อยดังต่อไปนี้

- ใช้อุปกรณ์แอ็กทีฟและพาสซีฟจำนวนมากโดยเฉพาะตัวต้านทาน [2]-[5], [7]-[10]
- ไม่สามารถควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ [4], [8]-[10]
- ใช้ตัวเก็บประจุแบบลอย [8]
- ไม่สามารถควบคุมเงื่อนไขและความถี่การกำเนิดสัญญาณได้อย่างอิสระจากกัน [2]-[6], [8]

ได้มีนักวิจัยนำเสนออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งสามารถทำงานได้ในโหมดกระแสที่มีชื่อว่า Current Follower Transconductance Amplifier (CFTA) [11] ที่เหมาะจะนำไปออกแบบวงจรประมวลผลสัญญาณแอนะล็อกซึ่ง CFTA สามารถทำงานได้ทั้งในโหมดแรงดันและโหมดกระแสโครงสร้างของวงจรไม่ซับซ้อน แต่ CFTA ไม่สามารถควบคุมความต้านทานแฝงที่ขั้วอินพุตได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้นเมื่อนำ CFTA ไปออกแบบวงจรจึงไม่สามารถควบคุมค่าความต้านทานแฝงจากกระแสไบแอสได้จึงมีผู้นำเสนอ CFTA ที่สามารถควบคุมความต้านทานแฝงที่อินพุต ด้วยกระแสไบแอสและมีชื่อเรียกใหม่ว่า Current Control Current Follower Transconductance Amplifier (CCCFTA) [12]



(ก) สัญลักษณ์ทางไฟฟ้า



(ข) วงจรสมมูล

รูปที่ 1 แอ็กทีฟพีวีดีงบล็อก CCCFTA ที่นำเสนอ

บทความนี้แนะนำเสนอวงจรกำเนิดสัญญาณควอดเรเจอร์โดยใช้แอ็กทีฟพีวีดีงบล็อกที่เรียกว่า CCCFTA เพียงตัวเดียว และใช้อุปกรณ์พาสซีฟต่อลงกราวด์เพื่อให้สามารถควบคุมค่าความถี่และเงื่อนไขของการกำเนิดสัญญาณได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์อย่างเป็นอิสระต่อกัน โดยไม่ใช้ตัวต้านทานภายนอกดังรูปที่ 1

### 2. วงจรและหลักการทํางานของวงจร

#### 2.1 หลักการทํางานของ CFTA ที่ควบคุมด้วยกระแส

วงจรถูกนำเสนอใช้ใช้อุปกรณ์หลัก คือ CCCFTA หัวข้อนี้จึงขอล่าวถึง CCCFTA ซึ่งความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของ CCCFTA แสดงด้วยสมการในเชิงเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} V_f \\ I_z \\ I_x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_x & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \pm g_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_f \\ V_x \\ V_z \end{bmatrix} \quad (1)$$

ลักษณะสมบัติของ CCCFTA โดยทั่วไปจะมีลักษณะคล้าย CFTA แต่ CCCFTA จะมีค่าความต้านทานแฝง

ที่อินพุต โดยที่ CCCFTA มีค่าความต้านทานแฝงด้านอินพุตของขา  $f$  คือ  $R_f$  ซึ่งสามารถควบคุมค่า  $R_f$  ได้โดยกระแสไบแอส  $I_{B1}$  ดังแสดงได้ตามสมการ

$$R_f = \frac{V_T}{2I_{B1}} \quad (2)$$

และ

$$g_m = \frac{I_{B2}}{2V_T} \quad (3)$$

เมื่อ  $g_m$  คือ ค่าความนำถ่ายโอนของ CCCFTA และ  $V_T$  คือค่าศักดาความร้อน (Thermal Voltage) ซึ่งจะมีค่าประมาณ 26mV ที่อุณหภูมิห้อง และ  $I_{B1}$  คือกระแสไบแอส ค่าความต้านทานแฝง ส่วนค่าความนำถ่ายโอน สามารถควบคุมได้ที่กระแสไบแอส  $I_{B2}$

## 2.2 วงจรกำเนิดสัญญาณแบบควอดเรเจอร์ที่นำเสนอ

วงจรกำเนิดสัญญาณแบบควอดเรเจอร์ที่ควบคุมได้ในเชิงอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ ออกแบบวงจรโดยใช้ CCCFTA จำนวน 1 ตัว ร่วมกับบัฟเฟอร์และตัวเก็บประจุที่ต่อลงกราวด์จำนวน 2 ตัว แสดงในรูปที่ 2 โดยที่  $I_{B1}$  และ  $I_{B2}$  เป็นกระแสไบแอสของ CCCFTA ตามลำดับ รูปที่ 3 แสดงวงจรบัฟเฟอร์ที่ใช้งาน ซึ่งสามารถเขียนฟังก์ชันโอนย้ายคือ  $V_w = V_z$  และเมื่อพิจารณาวงจรในรูปที่ 2 และใช้คุณสมบัติของ CCCFTA ในหัวข้อที่ผ่าน สามารถเขียนฟังก์ชันโอนย้ายได้ดังนี้

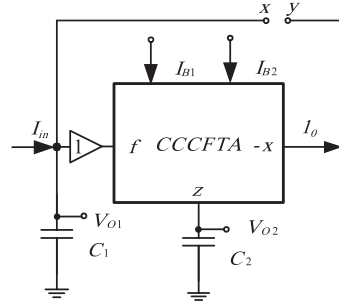
$$\frac{I_o}{I_{in}} = \frac{-g_m}{s^2 C_1 C_2 R_f} \quad (4)$$

เมื่อต่อจุด  $x, y$  เข้าด้วยกัน จะทำให้  $I_o = I_{in}$

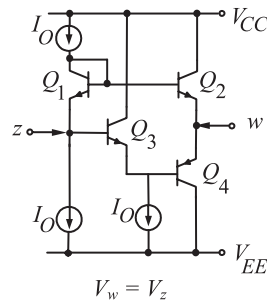
จากสมการที่ (4) จะได้

$$1 = \frac{-g_m}{s^2 C_1 C_2 R_f} \quad (5)$$

จากสมการที่ (5) สามารถจัดสมการได้ใหม่ดังนี้



รูปที่ 2 วงจรกำเนิดสัญญาณแบบควอดเรเจอร์ที่นำเสนอ



รูปที่ 3 วงจรบัฟเฟอร์ [13]

$$\omega^2 = \frac{g_m}{C_1 C_2 R_f} \quad (6)$$

จากสมการที่ (6) จะได้เงื่อนไขในการกำเนิดความถี่คือ

$$\omega = \sqrt{\frac{g_m}{C_1 C_2 R_f}} \quad (7)$$

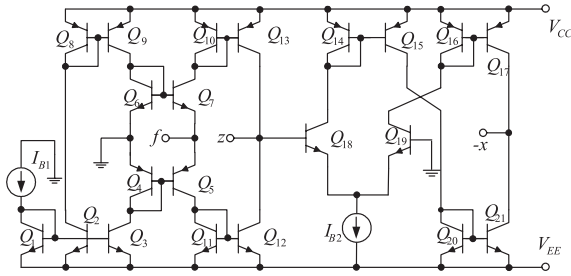
จากสมการที่ (7) เมื่อพิจารณาวงจรในช่วงอยู่ตัวของสัญญาณชายนสามารถเขียนได้เป็น

$$\frac{V_{O2}}{V_{O1}} = \frac{1}{s C_2 R_f} \quad (8)$$

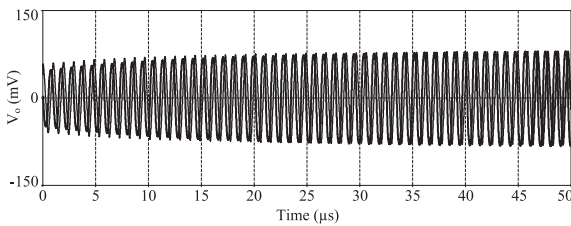
จากสมการที่ (8) จัดรูปใหม่ได้เป็น

$$\frac{V_{O2}}{V_{O1}} = \frac{1}{\omega C_2 R_f} e^{j90} \quad (9)$$

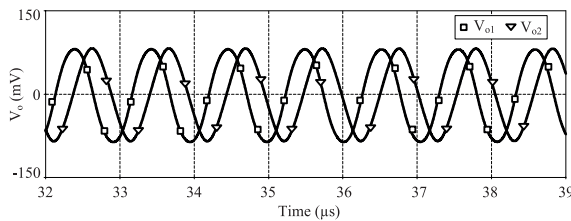
จากสมการที่ (9) พบว่า  $V_{O2}$  และ  $V_{O1}$  จะมีเฟสต่างกัน



รูปที่ 4 โครงสร้างภายในของ CCCFTA



รูปที่ 5 สัญญาณเอาต์พุตในสภาวะเริ่มต้น



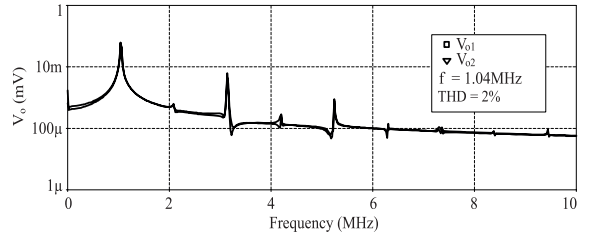
รูปที่ 6 สัญญาณเอาต์พุตในสภาวะอยู่ตัว

$$\phi = 90^\circ \quad (10)$$

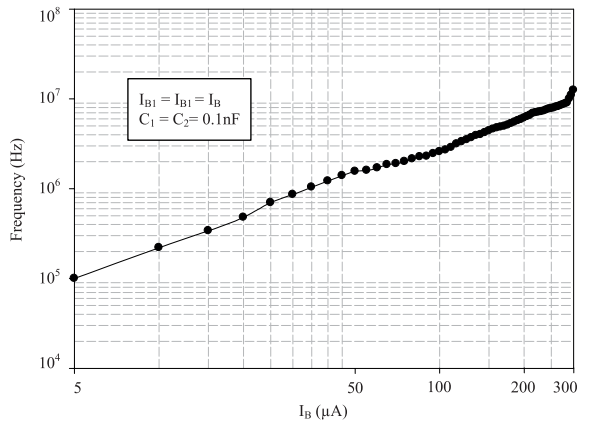
จากสมการที่ (10) ยืนยันได้ว่าวงจรกำเนิดสัญญาณที่นำเสนอสามารถให้กำเนิดสัญญาณแบบควอดเรเจอร์ได้

### 3 ผลจำลองการทำงาน

เพื่อเป็นการยืนยันสมรรถนะของวงจรที่นำเสนอ จึงได้จำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม PSpice สำหรับพารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์เบอร์ PR200N และ NR200N ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์อาร์เรย์ ALA400 ของ AT&T [14] โดยใช้โครงสร้างภายในของ CCCFTA ในรูปที่ 4 และตั้งกระแสไบแอส  $I_{B1} = 5\mu A$ ,  $I_{B2} = 70\mu A$



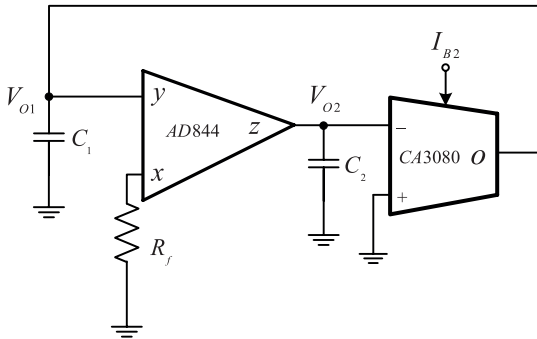
รูปที่ 7 สเปกตรัมของสัญญาณที่ความถี่ 1.04 MHz



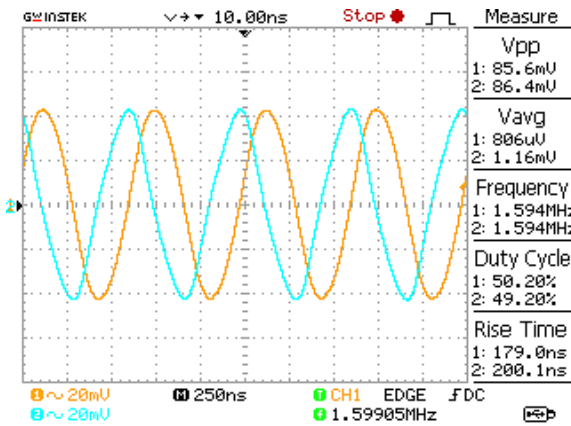
รูปที่ 8 ความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตเมื่อปรับกระแสไบแอส และตัวเก็บประจุ

ตัวเก็บประจุ  $C_1 = C_2 = 0.1nF$  ตามลำดับ กำหนดให้ไฟเลี้ยงของวงจรมีค่าเท่ากับ  $\pm 2V$  และการทดลองจริงโดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ เบอร์ AD844 และ CA3080 ผลการจำลองการทำงาน รูปที่ 5 สัญญาณเอาต์พุตในสภาวะเริ่มต้น ส่วนรูปที่ 6 เป็นกระแสเอาต์พุต  $V_{O1}$  และ  $V_{O2}$  ในสภาวะอยู่ตัว จะพบว่าสัญญาณทั้งสองมีเฟสต่างกัน  $90^\circ$  ตามที่ได้วิเคราะห์ไว้ในสมการที่ (10)

ในรูปที่ 7 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณที่ความถี่ 1.04 MHz ซึ่งมีค่าผิดเพี้ยนทางฮาร์โมนิกส์ (THD) เท่ากับ 2% ค่าความถี่ในการกำเนิดเมื่อเปลี่ยนค่ากระแสไบแอส  $I_{B1} = I_{B2} = I_B$  และตัวเก็บประจุ  $C_1 = C_2 = C$  ค่าความถี่ในการกำเนิดสัญญาณเมื่อเปลี่ยนค่ากระแสไบแอส และตัวเก็บประจุ ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 9 วงจรกำเนิดสัญญาณแบบควอเตรเจอร์ที่ใช้  
 ทดลองต่อวงจรจริง



รูปที่ 10 สัญญาณเอาต์พุตผลทดลองต่อวงจรจริง

ทำการทดลองต่อวงจรจริงตามรูปที่ 9 ใช้ไฟเลี้ยง  
 วงจรเท่ากับ  $\pm 5V$  ป้อนกระแสไบแอส  $I_{B2} = 370\mu A$   
 ตัวต้านทาน  $R_f = 28\Omega$  ตัวเก็บประจุ  $C_1 = C_2 = 1nF$   
 ในการต่อวงจรจริงไม่ต้องใช้วงจรบัฟเฟอร์เนื่องจาก  
 ที่อินพุต y มีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์สูง ซึ่งจะได้สัญญาณ  
 เอาต์พุต  $V_{O1}$  และ  $V_{O2}$  ดังรูปที่ 10

#### 4. สรุป

บทความนี้นำเสนอ วงจรกำเนิดสัญญาณแบบ  
 ควอเตรเจอร์โดยใช้ CCCFTA ต่อร่วมกับตัวเก็บประจุ  
 แบบต่อลงกราวด์ ซึ่งลักษณะเด่นของวงจรที่นำเสนอ  
 ในบทความนี้คือสามารถปรับเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณ

ได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์อย่างเป็นอิสระจากความถี่  
 ในการกำเนิดสัญญาณ และจากต่อทดลองจริงสามารถ  
 ยืนยันได้ว่าวงจรที่ได้นำเสนอนี้สามารถกำเนิดสัญญาณ  
 แบบควอเตรเจอร์ได้จริงตามทฤษฎี นอกเหนือจากนี้แล้ว  
 ด้วยโครงสร้างวงจรที่ต่อรวมอยู่กับตัวเก็บประจุแบบต่อ  
 ลงกราวด์จึงเหมาะสมในการพัฒนาเป็นวงจรรวมเนื่องจาก  
 จะใช้พื้นที่ในชิปน้อยกว่า

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] I. A. Khan and S. Khawaja, "An Integrable gm-C quadrature Oscillator," *Int. J. Electron.*, vol. 87, pp. 1353-1357, 2000.
- [2] S. Minaei and O. Cicekoglu, "New current-mode integrator, all-pass section and quadrature oscillator using only active elements," *1st IEEE Int. Conf. Circuits and Systems for Communications*, vol. 28, pp. 70-73, 2002.
- [3] K. Kumwachara and W. Surakamponrom, "An integrable temperature-insensitive gm-RC quadrature oscillator," *International Journal of Electronics*, vol. 90, pp. 599-605, 2003.
- [4] M. T. Abuelma'atti and A. A. Al-Ghumaiz, "Novel CCI-based single-element-controlled oscillators employing grounded resistors and capacitors," *IEEE Transaction on Circuits and Systems*, vol. 43, pp.153-155, 1996.
- [5] J. J. Chen, C. C. Chen, H. W. Tsao, and S. I. Liu, "Current-mode oscillators using single current follower," *Electronics Letters*, vol. 27, pp. 2056-2059, 1991.
- [6] M.T. Abuelma'atti, "Grounded capacitor current-mode oscillator using single current follower," *IEEE Transaction Circuits and Systems-I: Fundamental Theory and Applications*, vol. 39, pp. 1018-1020, 1992.



- [7] W. Jaikla and M. Siripruchyanun, "A versatile quadrature oscillator and universal biquad filter using CCCDBAs," in *Proceedings of ECTI Conference 2006*, Ubonratchathani, Thailand, pp. 501-504.
- [8] J. W. Horng, "Current-mode quadrature oscillator with grounded capacitors and resistors using Two DVCCs," *IEICE Trans. Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, E86-A, pp. 2152-2154, 2003.
- [9] M.T. Abuelma'atti and H.A. Al-Zaher, "Current-mode sinusoidal oscillators using single FTFN," *IEEE Transaction of Circuits and Systems-II: Analog and Digital Signal Processing*, vol. 46, pp. 69-74, 1999.
- [10] U. Cam, A. Toker, O. Cicekoglu, and H. Kuntman, "Current-mode high output impedance sinusoidal oscillator configuration employing single FTFN," *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, vol. 24, pp. 231-238, 2000.
- [11] N. Herencsar, J. Koton, K. Vrba, and I. Lattenberg, "Novel SIMO type current-mode universal filter using CFTAs and CMIIs," in *Processing of the 31th International Conference on Telecommunications and Signal Processing*, 2008, pp. 107-110.
- [12] N. Herencsar, J. Koton, K. Vrba, A. Lahiri, and O. Cicekoglu, "Current-controlled CFTA-based current-mode SITO universal filter and quadrature oscillator," *International Conference on Applied Electronics (AE)*, 2010, pp. 1-4.
- [13] M. Siripruchyanun, P. Silapan, and W. Jaikla, "Low-offset BiCMOS Current Controlled Current Differencing Buffered Amplifier (CC-CDBA) and Applications," *International Journal of ECTI Transactions on Electrical ENG., Electronics, and Communication*, vol. 6, pp.81-89, 2008.
- [14] D.R. Frey, "Log-domain filtering: an approach to current-mode filtering," *IEEE Proceedings of Circuit Devices Systems*, vol. 140, pp. 406-416, 1993.