

วงจรกำเนิดสัญญาณแบบควอดเรเจอร์โหมดกระแสโดยใช้ CCCFTA กับ CCCII (Current-Mode Quadrature Oscillator Using CCCFTA and CCCII)

ธาดา คำแดง และผศ.ดร.สุภวัฒน์ ลาวัณย์วิสุทธิ

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศและการสื่อสาร

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวงจรกำเนิดสัญญาณแบบควอดเรเจอร์โหมดกระแส โดยใช้ CCCFTA กับ CCCII เป็นอุปกรณ์แอคทีฟ จุดเด่นของวงจรที่นำเสนอคือ สามารถปรับความถี่และเฟสในการกำเนิดสัญญาณได้อย่างอิสระจากกัน ในเชิงอิเล็กทรอนิกส์ โครงสร้างของวงจรไม่ซับซ้อน ประกอบไปด้วย CCCFTA และ CCCII อย่างละ 1 ตัว ร่วมกับตัวเก็บประจุที่ต่อลงกราวด์ 2 ตัว ผลการจำลองด้วยโปรแกรม PSpice พบว่าวงจรทำงานได้สอดคล้องตามที่คาดการณ์ไว้ในทางทฤษฎี วงจรมีอัตราค้ำกำลังงานเพียง 0.22mW ที่แหล่งจ่ายแรงดัน $\pm 2V$ และสามารถให้กำเนิดสัญญาณได้ตั้งแต่ระดับ kHz-MHz

คำสำคัญ

วงจรกำเนิดสัญญาณแบบควอดเรเจอร์, โหมดกระแส, CCCFTA, CCCII

1. บทนำ

สัญญาณรูปคลื่นซายน์ถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวางในงานด้านวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ตัวอย่างการใช้งาน ได้แก่ ระบบสื่อสาร ระบบเครื่องมือวัด และระบบประมวลผลสัญญาณ เป็นต้น โดยวงจรที่ทำหน้าที่ผลิตสัญญาณซายน์ได้แก่ วงจรกำเนิดสัญญาณ (Oscillator) ลักษณะเด่นของวงจรกำเนิดสัญญาณนิยมพัฒนาให้สามารถกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นซายน์ได้สองสัญญาณที่มีเฟสต่างกัน 90° หรือที่เรียกว่าสัญญาณควอดเรเจอร์ ทั้งนี้เพื่อนำไปใช้ในระบบสื่อสาร เช่น ในการมอดูเลตสัญญาณ SSB เป็นต้น [1]

เมื่อเร็วๆ นี้ ได้มีคิดค้น และนำเสนออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดใหม่อีกหนึ่งชนิด คือ current controlled current follower transconductance amplifier (CCCFTA) โดยลักษณะเฉพาะของ CCCFTA มีทรานซิสเตอร์ภายในจำนวนน้อย จึงทำให้มีอัตราดึงกำลังไฟฟ้านำและขนาดของชิปไอซีเล็ก ซึ่งถือได้ว่า CCCFTA เป็นอุปกรณ์ที่มีประโยชน์หลายอย่างในการออกแบบวงจรที่มีการประมวลผลสัญญาณแอนะล็อก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง วงจรกรองความถี่ หรือในวงจรกำเนิดสัญญาณ [2] นอกเหนือจากนี้แล้ว ยังสามารถปรับค่าอัตราขยายกระแสที่เอาต์พุตของอุปกรณ์ได้ อย่างไรก็ตาม จากการศึกษพบว่า ได้มีผู้นำเสนอวงจรกำเนิดสัญญาณโหมดกระแส โดยใช้อุปกรณ์แอคทีฟที่แตกต่างกันไป เช่น วงจรขยายความนำถ่ายไอออน [3,4], วงจรสายพานกระแส [5], Four-Terminal Floating Nullors (FTFN) [6-7], วงจรตามกระแส [8-9], current controlled current differencing buffered amplifiers (CCCDABAs) [10] และ differencing voltage current conveyor (DVCCs) [11] เป็นต้น แต่วงจรเหล่านั้นยังมีข้อด้อยดังต่อไปนี้

- ใช้อุปกรณ์แอคทีฟและพาสซีฟจำนวนมากโดยเฉพาะตัวต้านทาน [4-5, 6-7, 8, 10-11]
- ไม่สามารถควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ [6-7, 5, 11]
- ใช้ตัวเก็บประจุแบบลอยซึ่งไม่เหมาะสมที่จะสร้างเป็นวงจรรวม [11]
- ไม่สามารถควบคุมเงื่อนไขและความถี่ในการกำเนิดสัญญาณได้อย่างอิสระจากกัน [3, 8-9, 11]

จากปัญหาที่ได้กล่าวมาข้างต้น บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอวงจรกำเนิดสัญญาณซายน์แบบควอดเรเจอร์โหมดกระแสที่ใช้ CCCFTA และ CCCII โดยเงื่อนไขและความถี่ในการกำเนิดสัญญาณสามารถควบคุมได้อย่างอิสระจากกัน วงจรประกอบไปด้วยเพียง CCCFTA และ CCCII อย่าง 1 ตัวและตัวเก็บประจุที่ต่อลงกราวด์อีก 2 ตัว นอกจากนี้วงจรที่

นำเสนอมีเอาต์พุตอินพีแดนซ์สูงจึงง่ายต่อการต่อคาสเคด ผลการจำลองด้วยโปรแกรม PSpice สอดคล้องกับที่ได้คาดการณ์ไว้ในทางทฤษฎี

2. หลักการทำงานของวงจร

2.1 CCCFTA

เนื่องจากวงจรที่นำเสนอประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลักคือ CCCFTA หัวข้อนี้จึงขอกล่าวถึง CCCFTA พอสังเขป ซึ่งความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของ CCCFTA แสดงด้วยสมการในเชิงเมตริกซ์ได้ดังนี้ [2]

$$\begin{bmatrix} v_f \\ i_z \\ i_x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_f & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & \pm g_m & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_f \\ v_z \\ v_x \end{bmatrix} \quad (1)$$

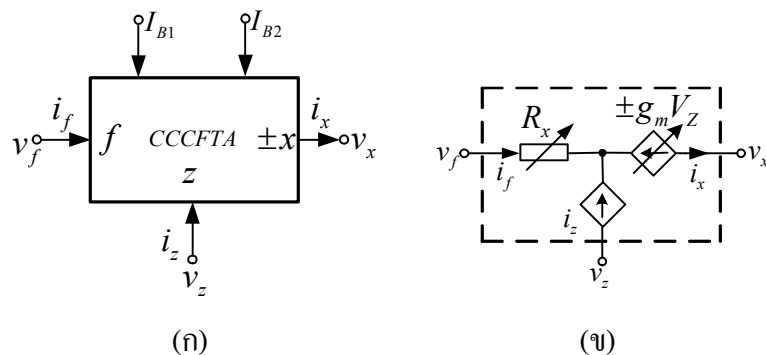
โดยที่ CCCFTA มีค่าความต้านทานแฝงทางค่านินพุตของขา f คือ R_x ในกรณีที่สร้างจากทรานซิสเตอร์ CMOS มีค่า

$$R_f = \frac{1}{\sqrt{8\beta_n I_{B1}}} \quad (2)$$

ส่วนค่าขยายความนำถ่ายโอน g_m แสดงได้เป็น (3)

$$g_m = \sqrt{\beta_n I_{B2}} \quad (3)$$

เมื่อ $\beta_n = \mu_n C_{ox} (W/L)$ คือค่าพารามิเตอร์ทางกายภาพของ CMOS ส่วนสัญลักษณ์และวงจรสมมูลของ CCCFTA แสดงดังรูปที่ 1 (ก) และ (ข) ตามลำดับ



รูปที่ 1 CCCFTA (ก) สัญลักษณ์ (ข) วงจรเทียบเท่า

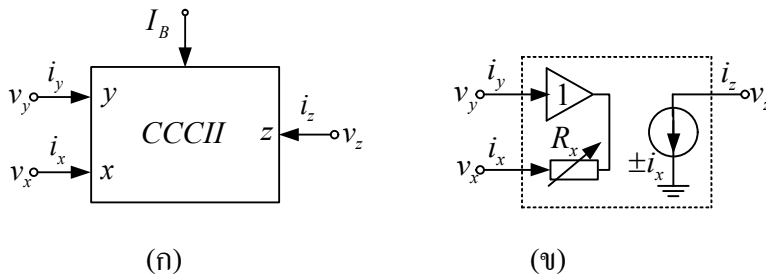
2.2 วงจรสายพานกระแสยุคที่สองที่ควบคุมด้วยกระแส (CCCII)

วงจรสายพานกระแสยุคที่สองที่ควบคุมด้วยกระแส เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โห้หมดกระแสที่มี 4 ขั้ว โดย CCCII ได้ถูกนำเสนอครั้งแรกโดย Fabre และคณะ ในปี ค.ศ. 1995 [12] ซึ่งได้พัฒนามาจากวงจรสายพานกระแสยุคที่สอง (CCII) แต่ CCCII จะมีคุณสมบัติพิเศษกว่า CCII ที่สามารถควบคุมความต้านทานแฝงที่ขั้วอินพุตได้ด้วยกระแสไบแอสจากภายนอกซึ่งจะได้อธิบายรายละเอียดในลำดับต่อไป ในจำนวน 4 ขั้วของ CCCII สามารถแบ่งออกได้เป็นสามกลุ่มคือ ขั้วสัญญาณอินพุต 2 ขั้ว (x และ y) ขั้วกระแสเอาต์พุต 1 ขั้ว (z) และขั้วกระแสควบคุม 1 ขั้ว (I_B) โดยสัญลักษณ์และวงจรสมมูลของ CCCII แสดงได้ดังรูปที่ 2 (ก) และ (ข) ตามลำดับความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแสที่ขา x, y และ z ของ CCCII ในอุดมคติ สามารถอธิบายได้ด้วยสมการเมตริกซ์ ดังต่อไปนี้

$$\begin{bmatrix} i_y \\ v_x \\ i_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & R_x & 0 \\ 0 & \pm 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_y \\ i_x \\ v_z \end{bmatrix} \quad (4)$$

เมื่อ CCCII ที่มีโครงสร้างเป็นทรานซิสเตอร์ CMOS ความต้านทานที่ขั้ว x สามารถแสดงได้เป็น

$$R_x = \frac{1}{\sqrt{8\beta_n I_{B1}}} \quad (5)$$



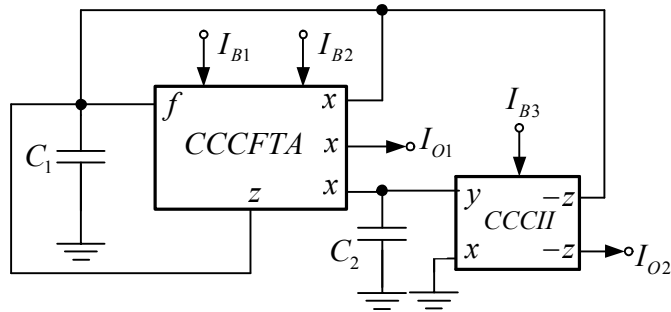
รูปที่ 2 CCCII (ก) สัญลักษณ์ (ข) วงจรเทียบเท่า

2.3 วงจรกำเนิดสัญญาณที่นำเสนอ

โครงสร้างของวงจรกำเนิดสัญญาณที่นำเสนอแสดงได้ดังรูปที่ 3 โดยที่ I_{B1} และ I_{B2} เป็นค่ากระแสไบแอสของ CCCFTA ส่วน I_{B3} เป็นค่ากระแสไบแอสของ CCCII เมื่อพิจารณาวงจรในรูป

ที่ 3 และใช้คุณสมบัติของ CCCFTA และ CCCII ในหัวข้อที่ 2.1 และ 2.2 จะได้สมการคุณสมบัติของวงจร (Characteristic Equation) เป็น

$$s^2 C_1 C_2 + s C_2 \left(\frac{2}{R_f} - g_m \right) + \frac{g_m}{R_x} = 0 \quad (6)$$



รูปที่ 3 โครงสร้างของวงจรที่นำเสนอ

จากสมการที่ (6) พบว่าวงจรจะสามารถให้กำเนิดสัญญาณได้เมื่อ

$$OC : oc : \frac{2}{R_f} = g_m \quad (7)$$

สมการที่ (7) เรียกว่าเงื่อนไขการกำเนิดสัญญาณ (Oscillation condition) ซึ่งสามารถทำได้โดยปรับกระแสไบแอส $I_{B2} = 32I_{B1}$ และสามารถหาความถี่ที่กำเนิด (Oscillation frequency) ได้ดังนี้

$$OF : \omega_{osc} = \sqrt{\frac{g_m}{R_x C_1 C_2}} \quad (8)$$

เมื่อแทนค่าความต้านทานและความนำถ่ายโอนดังที่ได้แสดงไว้ในสมการที่ (2) และ (3) จากสมการที่ (6) สามารถเขียนได้ใหม่เป็น

$$\omega_{osc} = \sqrt{\frac{\sqrt{\beta_n I_{B2}} \sqrt{8\beta_n I_{B3}}}{C_1 C_2}} \quad (9)$$

จากสมการที่ (7) - (8) พบว่าสามารถปรับเงื่อนไขและความถี่ในการกำเนิดสัญญาณได้อย่างอิสระจากกัน นั่นคือ สามารถปรับเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณได้ที่ I_{B1} และ I_{B2} ส่วนความถี่ในการกำเนิดสัญญาณสามารถควบคุมได้ที่ I_{B3} เมื่อพิจารณาวงจรในรูปที่ 3 อีกครั้งจะได้ฟังก์ชันโอนย้ายของ I_{O1} และ I_{O2} เป็น

$$\frac{I_{O2}(s)}{I_{O1}(s)} = \frac{1}{s C_2 R_x} \quad (10)$$

เมื่อพิจารณาในช่วงอยู่ตัว (Steady state) ของสัญญาณไซน์จากสมการที่ (10) สามารถเขียนได้ใหม่เป็น

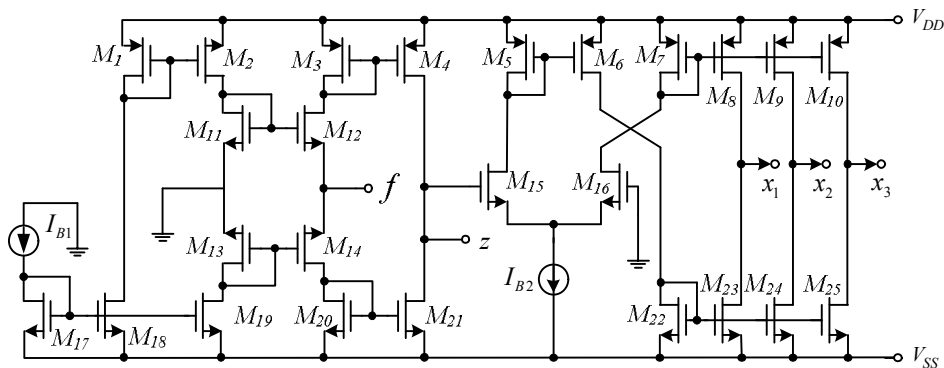
$$\frac{I_{O2}(j\omega)}{I_{O1}(j\omega)} = \frac{1}{\omega C_2 R_x} e^{-90^\circ} \quad (11)$$

จากสมการที่ (11) พบว่า I_{O2} และ I_{O1} จะมีเฟสต่างกัน

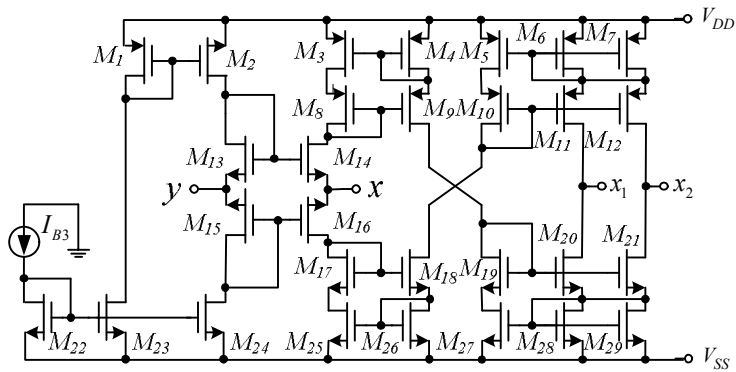
$$\phi = 90^\circ \quad (12)$$

3. ผลการจำลองการทำงาน

เพื่อเป็นการยืนยันสมรรถนะของวงจรที่นำเสนอ จึงได้จำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม PSpice สำหรับทรานซิสเตอร์ PMOS และ NMOS ที่ใช้ในการจำลองการทำงานของวงจรได้ใช้พารามิเตอร์ของ $0.18\mu\text{m}$ TSMC CMOS เทคโนโลยี [13] โครงสร้างภายในของ CCCFTA และ CCCII แสดงดังรูปที่ 5 และ 6 ตามลำดับ วงจรทำงานที่แหล่งจ่าย $\pm 2\text{V}$ ลำดับแรกปรับกระแสไบแอส $I_{B1}=10\mu\text{A}$, $I_{B2}=150\mu\text{A}$, $I_{B3}=30\mu\text{A}$ ตัวเก็บประจุ $C_1=C_2=0.1\text{nF}$ ตามลำดับ

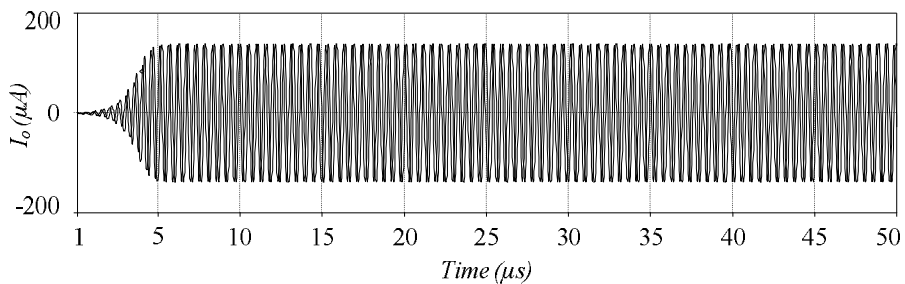


รูปที่ 4 โครงสร้างภายในของ CCCFTA

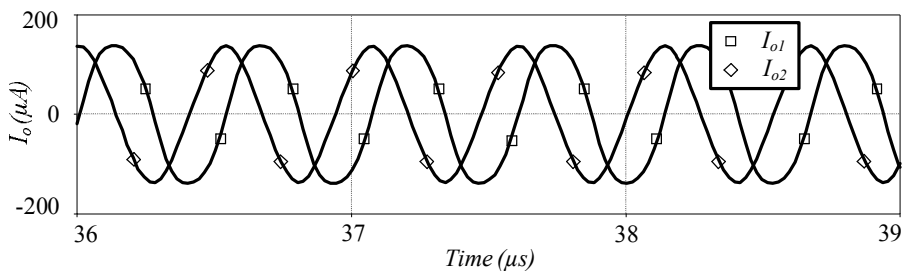


รูปที่ 5 โครงสร้างภายในของ CCCII

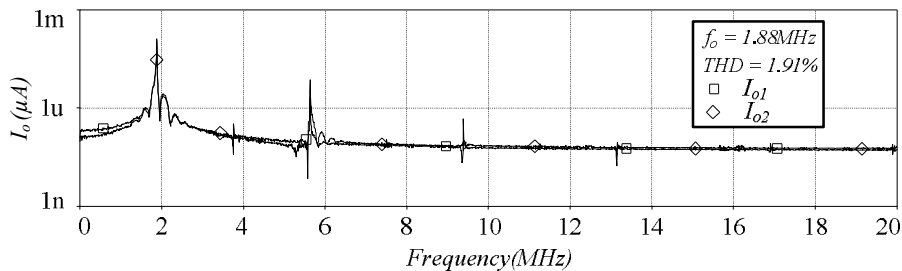
ผลการจำลองการทำงานลำดับแรกแสดงในรูปที่ 6 เป็นสัญญาณเอาต์พุตในสถานะเริ่มต้น ส่วนรูปที่ 7 เป็นกระแสเอาต์พุต I_{O1} และ I_{O2} จะพบว่าสัญญาณทั้งสองมีเฟสต่างกัน 90° ตามที่ได้วิเคราะห์ไว้ในสมการที่ (12) ส่วนในรูปที่ 8 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณที่มีความถี่ 1.88MHz มีค่าผิดเพี้ยนทางฮาร์มอนิกส์ (THD) เท่ากับ 1.91% ค่าความถี่ในการกำเนิดสัญญาณเมื่อเปลี่ยนค่ากระแสไบแอส I_{B3} และตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 แสดงไว้ดังรูปที่ 9 โดย $C_1 = C_2 = C$



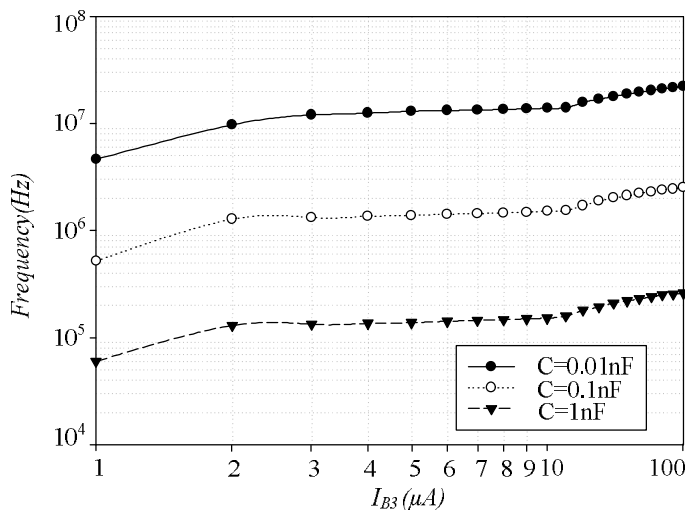
รูปที่ 6 สัญญาณเอาต์พุตในสถานะเริ่มต้น



รูปที่ 7 สัญญาณเอาต์พุตในสถานะอยู่ตัว



รูปที่ 8 สเปกตรัมของสัญญาณที่ความถี่ 1.88MHz



รูปที่ 9 ความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตเมื่อปรับกระแสไบอัส และตัวเก็บประจุ

บรรณานุกรม

- [1] Khan I.A. and Khawaja S., "An integrable gm-C quadrature oscillator". Int. J. Electronics, 87:1353-1357, 2000.
- [2] N.Herencsar, j. Koton, K.Vrba, Lahiri, O. Cicekoglu, "Current controlled CFTA-based current-mode SITO universal filter and quadrature oscillatro," 2010 International Conferent on Applied Electronics (AE), pp.1-4, 2010
- [3] Minaei S., and Cicekoglu O., "New current-mode integrator, all-pass section and quadrature oscillator using only active elements". 1st IEEE Int. Conf. Circuits and Systems for Communications, 28:70-73, 2002.
- [4] Kumwachara K., and Surakamponorn W., "An integrable temperature-insensitive gm-RC quadrature oscillator". Int. J. Electronics, 90:599-605, 2003.

- [5] Abuelma'atti M. T., and Al-Ghumaiz A. A., "Novel CCI-based single-element-controlled oscillators employing grounded resistors and capacitors". IEEE Trans. on Circuits and Systems-I: Fundamental Theory and Applications, 43:153-155, 1996.
- [6] Abuelma'atti M. T., and Al-Zaher H. A., "Current-mode sinusoidal oscillators using single FTFN". IEEE Trans. Circuits and Systems-II: Analog and Digital Signal Proc., 46:69-74, 1999.
- [7] Cam U., Toker A., Cicekoglu O., and Kuntman H., "Current-mode high output impedance sinusoidal oscillator configuration employing single FTFN". Analog Integrated Circuits and Signal Proc., 24:231-238, 2000.
- [8] Chen J. J., Chen C. C., Tsao H. W., and Liu S. I., "Current-mode oscillators using single current follower". Electronics Letters, 27:2056-2059, 1991.
- [9] Abuelma'atti M. T., "Grounded capacitor current-mode oscillator using single current follower". IEEE Trans. Circuits and Systems-I: Fundamental Theory and Applications, 39:1018-1020, 1992.
- [10] Jaikla W. and Siripruchyanan M., "A Versatile quadrature oscillator and universal biquad filter using CCCDBAs". Proceedings of ECTI con 2006, Ubon-ratchathani, Thailand, May 2006:501-504.
- [11] Horng J. W., "Current-Mode Quadrature Oscillator with Grounded Capacitors and Resistors Using Two DVCCs," IEICE Trans. Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, E86-A:2152-2154, 2003.
- [12] A. Fabre, O. Saaïd, F. Wiest, and C. Boucheron, "Current controllable bandpass filter based on translinear conveyors," Electronics Letters, vol. 31, pp.1727-1728, 1995.
- [13] TheMOSIS Service. 2013. Available :
<http://www.mosis.com/pages/Technical/Testdata/tsmc-018-prm>.