

วงจรกำเนิดสัญญาณชายน้โหมดกระแสอย่างง่ายที่ควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้ CCCDTA เพียงตัวเดียว

Simple current-mode sinusoidal oscillator with electronic control using single CCCDTA

เดวิด ซีริพจน์^{1*}, สุวัฒน์ มณีวรรณ¹, ณัฐพล ภูครองทอง¹ และ วินัย ใจกล้า²

David Siriphot^{1*}, Suwat Maneewan¹, Nuttapon Pookrongtong¹ and Winai Jaikla²

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอวงจรกำเนิดสัญญาณชายน้โหมดกระแสที่ใช้ CCCDTA เป็นอุปกรณ์ แยกที่ฟเพียงตัวเดียวร่วมกับอุปกรณ์พาสซีฟที่ต่อลงกราวด์ จุดเด่นของวงจรที่นำเสนอคือ สามารถปรับความถี่และเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ โครงสร้างของวงจรไม่ซับซ้อน ประกอบไปด้วย CCCDTA จำนวน 1 ตัว ตัวต้านทานที่ต่อลงกราวด์ละ 1 ตัว และตัวเก็บประจุอีก 2 ตัว ซึ่งวงจรที่นำเสนอนี้ใช้เพียงอุปกรณ์พาสซีฟที่ต่อลงกราวด์ จึงเหมาะที่จะนำไปพัฒนาเป็นวงจรรวม นอกจากนี้แล้วยังมีค่าความต้านทานที่เอาต์พุตของวงจรมีค่าสูงทำให้สามารถนำไปต่อคาสเคดในโหมดกระแสหรือขับโหลดได้โดยตรงโดยไม่ต้องใช้วงจรกันชนกระแสภายนอก จากผลการจำลองด้วยโปรแกรม PSPICE พบว่า วงจรทำงานได้สอดคล้องตามที่คาดการณ์ไว้ในทางทฤษฎี วงจรมีอัตราตั้งกำลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 5.16 mW ที่แหล่งจ่ายแรงดันไฟเลี้ยงวงจร ± 2.5 โวลต์

คำสำคัญ: วงจรกำเนิดสัญญาณชายน้, โหมดกระแส, วงจรรวม, CCCDTA

Abstract

This article presents simple current-mode sinusoidal oscillator employing single Current Controlled Current Differencing Trans conductance Amplifier (CCCDTA) as active element. The features of the proposed circuit are that: the circuit topology is very simple consisting of single CCCDTA, single grounded resistor and two capacitors, thus the proposed circuit is easy to fabricate in chip: the oscillation condition and oscillation frequency can be electronically tuned. Moreover, the proposed circuit due to high output impedance enables

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ จังหวัดบุรีรัมย์ 31000

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10300

¹ Department of Technology Electronics, Faculty of Industrial Technology, Buriram Rajabhat University, Buriram Province 31000

² Department of Technology Electronics, Faculty of Industrial Technology, Suan Sunandha Rajabhat University, Bangkok Province 10300

* Corresponding author e-mail : dave_david@hotmail.co.th, Received : 13 January 2012; Accepted: 1 April 2013

(บทความวิจัยเรื่องนี้ได้นำเสนอการประชุมวิชาการพะเยาวิจัย ครั้งที่ 1 ในวันที่ 12-13 มกราคม 2555 ณ มหาวิทยาลัยพะเยา)

easy cascading or driving the load without external current buffer. The PS spice simulation results are depicted, and the given results agree well with the theoretical anticipation. The power consumption is approximately 5.16mW at $\pm 2.5V$ power supply voltages.

Keywords: Sinusoidal oscillator, current mode, integrated circuit, CCCDTA

บทนำ

ในปัจจุบันนั้นจะพบว่าอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบพกพาที่ใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายได้เข้ามามีบทบาทต่อชีวิตมนุษย์เป็นอย่างมาก ดังนั้นวงจรที่อยู่ข้างในจะต้องสามารถใช้งานที่แรงดันต่ำๆ และดึงกำลังงานต่ำๆ เพื่อให้สามารถใช้งานได้เป็นเวลานาน หนึ่งในเทคนิคที่นิยมนำมาออกแบบวงจรในอุปกรณ์เหล่านี้ได้แก่ เทคนิควงจรในโหมดกระแส โดยเทคนิคนี้มีข้อดีหลายประการ เช่น มีแบนด์วิดท์กว้าง มีความเป็นเชิงเส้นสูง มีค่าพิสัยพลวัตกว้างและวงจรมีความง่ายเมื่อเทียบกับวงจรที่ทำงานในโหมดแรงดัน [1] ดังนั้นจึงมีวงจรประมวลผลสัญญาณที่ทำงานในโหมดกระแสได้ถูกนำเสนอไว้มากมายในวารสารต่าง ๆ

สัญญาณรูปคลื่นไซน์ได้ถูกนำมาใช้งานอย่างกว้างขวาง ทั้งในงานด้านการวัด ระบบเครื่องมือวัด การประมวลผลสัญญาณ ตลอดจนระบบอิเล็กทรอนิกส์และระบบสื่อสาร โดยทั่วไปแล้ววงจรที่สามารถให้กำเนิดรูปคลื่นไซน์ จะมีส่วนประกอบ 2 ส่วนหลักคือ โครงข่ายเลือกความถี่ (Frequency-selective network) ซึ่งโดยพื้นฐานแล้วประกอบไปด้วยอุปกรณ์พาสซีฟคือ ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ หรือตัวเหนี่ยวนำ อีกส่วนคือ วงจรขยายสัญญาณ [2] ที่ผ่านมานั้น มีการนำเสนอวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่มีความสามารถต่าง ๆ มากมาย เช่น ใช้จำนวนอุปกรณ์น้อยลงสามารถควบคุมค่าความถี่ (oscillation frequency) และกำหนดเงื่อนไขการกำเนิดสัญญาณ (oscillation condition) ได้โดยกระแสหรือแรงดันอย่างเป็นอิสระต่อกัน ทำงานโดยบริโศกกำลังและแรงดันไฟเลี้ยงต่ำ สัญญาณมีความถูกต้องสูง [3, 4, 5, 6] เป็นต้น แต่โดยทั่วไปแล้วทั้งหมดนั้น ยังมีการใช้อุปกรณ์ทั้งพาสซีฟและแอคทีฟอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งส่งผลให้เมื่อนำไปสร้างเป็นวงจรรวมแล้ว วงจรมีขนาดของชิปที่ใหญ่ [7, 8] อีกทั้งยังต้องการความสมพงษ์ (match) ของอุปกรณ์เหล่านั้นอีกด้วย

ประกอบกับในปัจจุบันการออกแบบวงจรแอนะล็อกต่าง ๆ อาทิเช่น วงจรกรองความถี่ วงจรคูณสัญญาณที่สามารถควบคุมค่าต่างๆ ด้วยกระแส กำลังได้รับความนิยมสูงอย่างมาก เนื่องจากมีลักษณะเด่นคือ สามารถควบคุมค่าได้ในย่านกว้างกว่าการควบคุมอุปกรณ์ที่เป็นพาสซีฟ เช่น ตัวต้านทาน หรือตัวเก็บประจุ มีความสะดวกต่อการนำไปสร้างเป็นวงจรรวม สามารถควบคุมการทำงานได้แม่นยำ และนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบควบคุมอัตโนมัติ หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ง่ายกว่าอีกด้วย [9]

เมื่อเร็วๆ นี้ได้มีผู้นำเสนออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งสามารถทำงานได้ในโหมดกระแสที่มีชื่อว่า Current Differencing Transconductance Amplifier (CDTA) ที่เหมาะจะนำไปออกแบบวงจรประมวลผลสัญญาณแอนะล็อก [10] โดยโครงสร้างวงจรที่ออกแบบโดย CDTA ไม่ซับซ้อน แต่เนื่องจาก CDTA ไม่สามารถควบคุมความต้านทานแฝงที่ขั้วอินพุตได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้นเมื่อนำ CDTA ไปออกแบบวงจรจึงต้องใช้ตัวต้านทานจำนวนหลายตัว ซึ่งไม่เหมาะที่จะนำไปสร้างเป็นวงจรรวม ต่อมาจึงมีผู้นำเสนอ CDTA ที่สามารถควบคุมความต้านทานแฝงที่อินพุตด้วยกระแสไบอัส และมีชื่อเรียกใหม่ว่า Current Controlled Current Differencing Transconductance Amplifier (CCCDTA) [11]

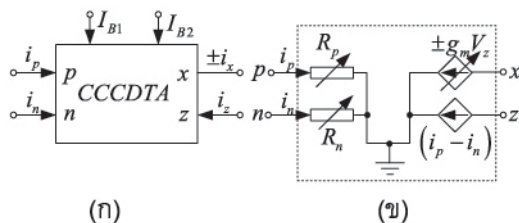
จากหลักการที่ได้กล่าวมาข้างต้น บทความวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อนำเสนอ โครงสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นไซน์แบบใหม่ ซึ่งวงจรที่นำเสนอนี้มีข้อดีคือ สามารถให้กำเนิดสัญญาณไซน์อันเป็นสัญญาณหนึ่งที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย สามารถควบคุมค่าความถี่และเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ อีกทั้งใช้จำนวนอุปกรณ์น้อย โดยประกอบไปด้วยเพียง CCCDTA จำนวน 1 ตัว ร่วมกับตัวเก็บประจุและตัวต้านทานที่ต่อลงกราวด์อย่างละ 1 ตัว และตัวเก็บประจุ อีก 1 ตัว ที่ต่อร่วมกันกับค่าตัวต้านทานแฝงที่อยู่ภายใน CCCDTA ด้วย

ลักษณะเด่นดังกล่าว ประกอบกับการใช้จำนวนอุปกรณ์แอคทีฟจำนวนน้อย และไม่ต้องการอุปกรณ์ใดที่สมพ้องกัน วงจรที่นำเสนอจึงมีความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน หรือพัฒนาให้อยู่ในรูปแบบวงจรรวม ผลการจำลองการทำงานของวงจรโดย PSpice แสดงถึงความสอดคล้องกับทฤษฎีที่ได้มีการวิเคราะห์ไว้เป็นอย่างดี

หลักการทำงานของวงจร

หลักการพื้นฐานของ CCCDTA

เนื่องจากวงจรที่นำเสนอประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลักคือ CCCDTA หัวข้อนี้จึงขอกกล่าวถึง CCCDTA พอสังเขป CCCDTA เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โหนดกระแสที่มี 6 ขั้ว โดย CCCDTA ได้พัฒนามาจาก CDTA แต่ CCCDTA จะมีคุณสมบัติพิเศษกว่า CDTA ที่สามารถควบคุมความต้านทานแฝงที่ขั้วอินพุตทั้งสองได้ด้วยกระแสไบอัสจากภายนอก ซึ่งจะได้อธิบายรายละเอียดในลำดับต่อไป ในจำนวน 6 ขั้วของ CCCDTA สามารถแบ่งออกได้เป็นสามกลุ่มคือ ขั้วกระแสอินพุต 2 ขั้ว ขั้วกระแสเอาต์พุต 2 ขั้วและขั้วกระแสควบคุม 2 ขั้ว โดยสัญลักษณ์และวงจรสมมูลของ CCCDTA แสดงได้ดังภาพที่ 1(ก) และ (ข) ตามลำดับ



ภาพที่ 1 CCCDTA (ก) สัญลักษณ์ (ข) วงจรสมมูล

ซึ่งความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของ CCCDTA แสดงด้วยสมการในเชิงเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} V_p \\ V_n \\ I_x \\ I_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_p & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_n & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \pm g_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_p \\ I_n \\ V_x \\ V_z \end{bmatrix} \quad (1)$$

โดยที่ความต้านทานที่ขั้ว p และ n สามารถแสดงได้เป็น

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

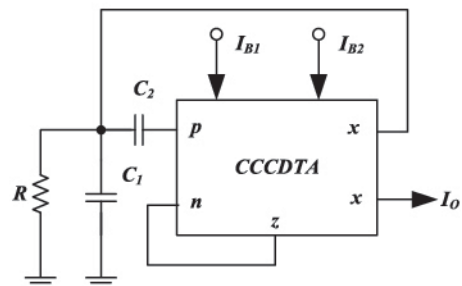
ส่วนค่าความนำถ่ายโอนมีค่าเท่ากับ

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

เมื่อ V_T คือ ค่าศักดาความร้อน (Thermal voltage) มีค่าประมาณ 26mV ที่อุณหภูมิห้อง ส่วน I_{B1} และ I_{B2} คือ กระแสไบอัสภายนอก จากสมการที่ (2) และ (3) พบว่าทั้งค่าความต้านทานแฝงและค่าความนำถ่ายโอนสามารถควบคุมด้วยกระแสไบอัสหรือที่เรียกว่าการควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์

หลักการของวงจรกำเนิดสัญญาณที่นำเสนอ

โครงสร้างของวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่ที่นำเสนอแสดงได้ดังภาพที่ 2 โดยที่ I_{B1} และ I_{B2} เป็นค่ากระแสไบอัสของ CCCDTA ต่อร่วมกับอุปกรณ์พาสซีฟ R, C1 และ C2 ดังภาพ



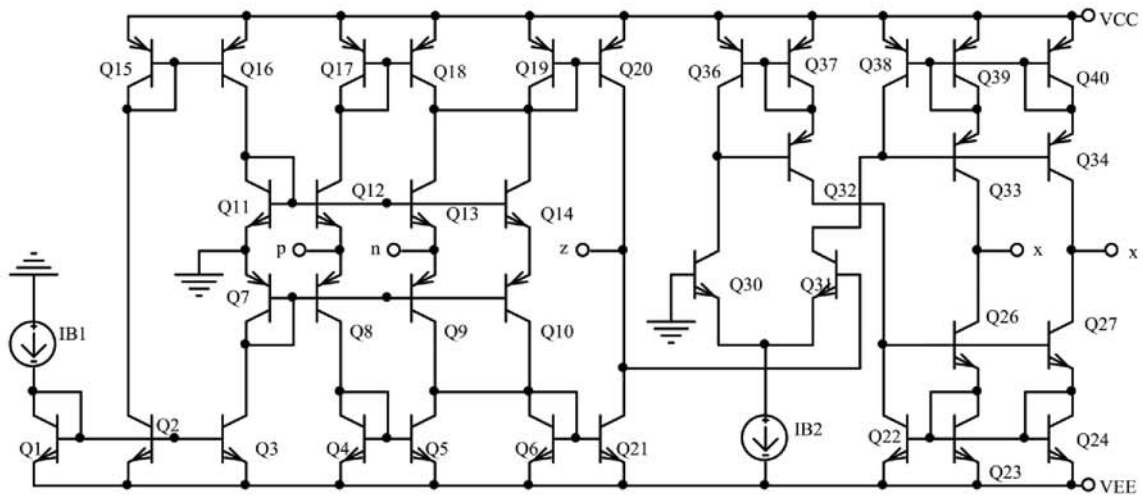
ภาพที่ 2 วงจรกำเนิดสัญญาณที่นำเสนอ

เมื่อพิจารณาวงจรในภาพที่ 2 และใช้คุณสมบัติของ CCCDTA จะได้สมการคุณสมบัติของวงจร (characteristic equation) เป็นดังสมการที่ (4)

$$s^2 C_1 C_2 R R_p + s \left(C_1 R + C_2 R_p - \frac{C_2 R R_n g_m}{2} \right) + 1 = 0 \quad (4)$$

จากสมการที่ (4) จะได้ความถี่และเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณเป็น

$$f_{osc} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{C_1 C_2 R_p}} \quad (5)$$



ภาพที่ 3 โครงสร้างภายในของ CCCDTA

และ

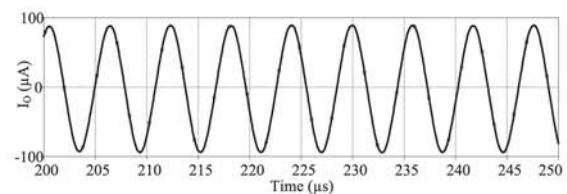
$$C_1 R + C_2 R_p = \frac{C_2 R R_n g_m}{2} \quad (6)$$

จากสมการที่ (5) และ (6) เห็นได้อย่างชัดเจนว่า เมื่อ ค่าความต้านทานแฝงและค่าความนำถ่ายโอนเป็นไปตามสมการที่ (2) และ (3) จะพบว่าวงจรที่นำเสนอสามารถควบคุมความถี่ในการกำเนิดสัญญาณและเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ และจากวงจรในภาพที่ 2 ยังพบอีกว่าความต้านทานที่เอาต์พุตมีค่าสูงจึงสามารถขับโหลดได้โดยไม่ต้องใช้วงจรกันชนกระแสภายนอก

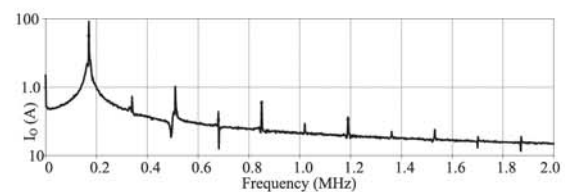
ผลการจำลองการทำงาน

เพื่อเป็นการยืนยันและทดสอบสมรรถนะของวงจรที่ได้สังเคราะห์และออกแบบไว้ในภาพที่ 2 จึงได้มีการจำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม PSpice สำหรับทรานซิสเตอร์ PNP และ NPN ที่ใช้ในการจำลองการทำงานของวงจร ได้ใช้พารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์เบอร์ PR200N และ NR200N ตามลำดับ ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์อาร์เรย์ ALA400 ของ AT&T [12] โดยกำหนดให้ CCCDTA ทำงานที่แรงดัน $\pm 2.5V$ และมีโครงสร้างภายในดังภาพที่ 3 โดยปรับ $I_{B1} = 15\mu A$, $I_{B2} = 382\mu A$ และ $C_1 = C_2 = 1nF$, $R = 1k\Omega$ ตามลำดับ ผลการจำลองการทำงานลำดับแรกแสดงในภาพที่ 4

เป็นกระแสเอาต์พุต I_o จะพบว่าสัญญาณเป็นสัญญาณไซน์ที่มีความถี่ 170kHz ส่วนในภาพที่ 5 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณที่ความถี่ 170kHz ซึ่งมีค่าผิดเพี้ยนทางฮาร์โมนิกส์ (Total Harmonic Distortion: THD) เท่ากับ 1.77%

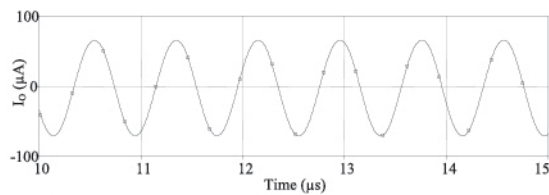


ภาพที่ 4 กระแสเอาต์พุตที่ความถี่ 170kHz

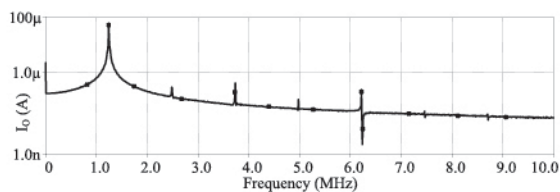


ภาพที่ 5 สเปกตรัมของสัญญาณในภาพที่ 4

เมื่อทำการทดลองเปลี่ยนค่ากระแส $I_{B2} = 351\mu A$ และเปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุ $C_1 = C_2 = 0.1nF$ มีผลทำให้ค่าความถี่ที่ได้มีค่าเปลี่ยนไป โดยพบว่าค่าความถี่สูงขึ้นเป็น 1.24MHz ดังภาพที่ 6 และในภาพที่ 7 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณที่ความถี่ 1.24MHz ซึ่งมีค่าผิดเพี้ยนทางฮาร์โมนิกส์ (THD) เท่ากับ 0.836%



ภาพที่ 6 กระแสเอาต์พุตที่มีความถี่ 1.24MHz.



ภาพที่ 7 สเปกตรัมของสัญญาณในภาพที่ 6

สรุปผล

บทความวิจัยนี้ได้นำเสนอวงจรถ่ายทอดสัญญาณชานน์ใหม่แสดงที่ใช้ CCCDTA โดยความถี่และเฟสในการถ่ายทอดสัญญาณสามารถควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ ผลการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSpice พบว่าวงจรถ่ายทอดได้สอดคล้องกับที่คาดการณ์ไว้ด้วยโครงสร้างของวงจรที่ประกอบไปด้วยเพียง CCCDTA จำนวน 1 ตัว ร่วมกับตัวเก็บประจุและตัวต้านทานที่ต่อขนานกันลงกราวด์อย่างละ 1 ตัว ในขณะเดียวกันก็ใช้ตัวเก็บประจุ อีก 1 ตัว ที่ต่อร่วมกันกับค่าตัวต้านทานแฝงที่อยู่ใน CCCDTA วงจรที่นำเสนอจึงมีความเหมาะสมในการพัฒนาไปสู่จรรวม เพื่อนำไปใช้ในระบบสื่อสารแบบไร้สายที่ใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายกำลัง ตลอดจนนำไปต่อใช้งานจริงเนื่องจากโครงสร้างวงจรไม่ซับซ้อน

เอกสารอ้างอิง

1. C. Toumazou, F.J. Lidgley and D.G. Haigh, Analogue IC design: the current-mode approach, Peter Peregrinus, London, 1990.
2. Khan, I.A. and Khawaja, S. 2000. An integrable gm-C quadrature oscillator. International Journal of Electronics. 81: p.353-1357.
3. Abuelma'atti, M.T. and Al-qahtani, M.A. Low component second-generation current conveyor-based multiphase sinusoidal oscillator. International Journal of Electronics. 1998; 84: p.45-52.
4. Barthelemy, H., Meillere, S. and Kussener, E. 2002. CMOS sinusoidal oscillator based on current-controlled current conveyors. Electronics Letters. 38: p.1254-1256.
5. Bayard, J. 2004. Single grounded resistance tuneable sinusoidal oscillator. IEE Proceeding-G, Circuits, Devices and Systems. 151: p.74-77.
6. Chang C.M. and Liao, T.S. 2002. Novel sinusoidal oscillators using a single dual current output OTA. International Journal of Electronics. 89: p.493-503.
7. Tsukutani, T., Higashimura, M., Sumi, Y. and Fuhui, Y. 2000. Electronically tunable current-mode active-only biquadratic filter. International Journal of Electronics. 87: p.307-314.
8. Tsukutani, T., Kinugasa, Y., Sumi, Y., Higashimura, M. and Fuhui, Y. 2003. Novel current-mode active-only biquad with loss-less and lossy integrators. International Journal of Electronics. 90: p.627-633.
9. Singh, A. K. and Senani, R. Low-component-count active-only immittance and their application in realising simple multifunction biquads. Electronics Letters. 1998; 34: p.718-719.
10. Bielek, D. CDTA-building block for current-mode analog signal processing. Proceedings of the European conference on circuit theory and design 2003-ECCTD'03. Krakow. Poland, 2003; 3 : p.397-400.
11. W. Jaikla and M. Siripruchyanun, "Current controlled current differencing transconductance amplifier (CCCDTA): a new building block and its applications," Proceedings of ECTI conference 2006, Ubon-ratchathani, Thailand, p. 348-351, 2006.
12. Frey, D.R. Log-domain filtering: an approach to current-mode filtering. IEE Proceeding-G, Circuits, Devices and Systems. 1993; 140: p.406-416