

# วงจรเรียงสัญญาณเต็มคลื่นโหมดกระแสแบบ แม่นยำโดยใช้วงจรสายพานกระแสและ OTA \*

วินัย ใจกล้า<sup>1)</sup> และ มนตรี ศิริปรัชญานันท์<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> อาจารย์ โปรแกรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

<sup>2)</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

Email: jnai@riss.ac.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอ วงจรเรียงสัญญาณเต็มคลื่นโหมดกระแสแบบแม่นยำโดยใช้วงจรสายพานกระแสร่วมกับ OTA ที่มีลักษณะเด่นของวงจรคือ สามารถเรียงสัญญาณกระแส โดยควบคุมขนาดของกระแสเอาต์พุตได้ด้วยกระแสไบอัส การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิรอบข้างส่งผลต่อการเบี่ยงเบนการทำงานของวงจรน้อย อีกทั้งยังสามารถควบคุมทิศทางของกระแสเอาต์พุตให้เป็นสัญญาณด้านบวกหรือด้านลบได้ด้วยแรงดัน โดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงหรือเพิ่มเติมโครงสร้างของวงจรอย่างวงจรที่มีการนำเสนอมาก่อนหน้านี้ โครงสร้างของวงจรประกอบด้วยเพียง วงจรสายพานกระแสที่ใช้กระแสควบคุมจำนวน 2 ตัว ซึ่งทำงานร่วมกันเป็นวงจรขยายกระแสที่เป็นอิสระต่ออุณหภูมิ และ OTA อีก 2 ตัว ซึ่งถูกใช้งานในย่านอิมิตัว ผลการทดสอบสมรรถนะผ่านการจำลองด้วย PSPICE พบว่าวงจรที่นำเสนอสามารถรองรับการทำงานที่ย่านอินพุตจาก  $-100\mu\text{A}$  ถึง  $100\mu\text{A}$  อย่างเป็นเชิงเส้น ที่แหล่งจ่าย  $\pm 1.5$  โวลต์ วงจรมีอัตราบริโภคพลังงานต่ำเพียง  $554.8\mu\text{W}$  และสามารถทำงานได้ในย่านความถี่สูงถึงระดับเมกะเฮิรต์ ด้วยลักษณะเด่นของวงจรที่นำเสนอนี้ จึงเหมาะที่จะนำไปพัฒนาเป็นวงจรรวมเพื่อนำไปใช้ในงานที่มีการประมวลผลสัญญาณโหมดกระแส

**คำสำคัญ :** วงจรเรียงสัญญาณ, วงจรสายพานกระแส, โอทีเอ

\* รับผิดชอบฉบับเมื่อวันที่ 1 มีนาคม 2549 และได้รับบทความฉบับแก้ไขเมื่อวันที่ 19 พฤษภาคม 2549

# A Novel Precision Current-mode Full-wave Rectifier Using Current-controlled Current Conveyors and OTAs\*

Winai Jaikla<sup>1)</sup> and Montree Siripruchyanun<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Lecturer, Electrical and electronics Program, Faculty of Industrial Technology,  
Suan Sunandha Rajabhat University

<sup>2)</sup> Assistant Professor, Department of Teacher Training in Electrical Engineering, Faculty of Technical  
Education, King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok

Email: jnai2004@yahoo.com

## ABSTRACT

This article introduces a novel version for implementing current-mode precision full-wave rectifier, employing second generation Current-controlled Current Conveyors (CCCIIs) cooperating with Operational Transconductance Amplifiers (OTAs). The features of the proposed circuit are that: it can rectify current signal with controllable output magnitude via an input bias current: the output current is free from ambient temperature variation. In addition, polarity of the output current signal can be arbitrarily controlled by voltage in the circuit to be either positive or negative without changing circuit topology, which differs from the previous literatures. Circuit description merely consists of a temperature-insensitive current amplifier using 2 CCCIIIs and 2 OTAs working in saturation-mode to serve as current-switching devices. The performances of the proposed circuit are investigated through PSPICE. They show that the proposed circuit can function as a current-mode precision full-wave rectifier where input current range from  $-100\mu\text{A}$  to  $100\mu\text{A}$  can be achieved at  $\pm 1.5\text{V}$  power supplies. The maximum power consumption is  $554.8\mu\text{W}$ . Furthermore, the highest frequency is restricted at megahertz range. With claimed outstanding features, it is very appropriate to further develop the proposed circuit to be a part of a monolithic chip for working in a current-mode signal processing.

**Keywords** : rectifier, current conveyor, OTA.

---

\*

Original manuscript submitted: March 1, 2005 and Final manuscript received: May 19, 2006

## บทนำ

วงจรรีจิสต์รียูตามแบบแมนยำถูกนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางในการประมวลผลสัญญาณ ตัวอย่างการใช้งานได้แก่ วงจรแปลงผันจากไฟสลับไปเป็นไฟกระแสตรง วงจรตรวจจับชั่วสัญญาณ วงจรตรวจจับค่ายอดสูงสุด วงจรตีมอดูเลตสัญญาณ AM และระบบควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติ เป็นต้น (Toumazou *et al.*, 1994 and Boonchai *et al.*, 2003) โดยวงจรรีจิสต์รียูตามแบบแมนยำพื้นฐานอยู่ในโหมตแรงดันจะใช้โอปแอมป์ต่อร่วมกับไดโอด (Coughlin and Drisoll, 1991) ในกรณีนี้สัญญาณเอาต์พุตจะเกิดการผิดเพี้ยนในช่วงการตัดผ่านศูนย์ อันเนื่องมาจากคุณสมบัติของไดโอด (Stephan, 2000) ต่อมาจึงได้มีผู้แก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยได้เสนอ วงจรรีจิสต์รียูตามแบบแมนยำโดยไม่ใช้ไดโอด (Sibum and Dae Mann, 1997) และได้มีการพัฒนาโดยใช้อุปกรณ์แอคทีฟชนิดอื่น แทนการใช้โอปแอมป์เพื่อให้มีความถี่ตอบสนองสูงขึ้น เช่น ใช้วงจรสายพานกระแ (Monpapassorn *et al.*, 2001) วงจรขยายป้อนกลับกระแ (Current Feedback Amplifier: CFA) (Gift, 2005)

ในทศวรรษที่ผ่านมามีความพยายามที่จะลดแรงดันไฟเลี้ยงในวงจรรีจิสต์รียูตามอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องมาจากความต้องการที่จะนำมาใช้กับอุปกรณ์แบบพกพา หรืออุปกรณ์สื่อสารแบบไร้สายที่ต้องใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายกำลังงาน ดังนั้นจึงมีการใช้เทคนิคการทำงานในโหมตกระแ (Current-Mode) ซึ่งมีข้อดีหลายประการ ได้แก่ มีช่วงพิสัยพลวัตกว้าง (Larger Dynamic Range) มีแบนด์วิธกว้างและบริโภคกำลังงานต่ำ (Toumazou *et al.*, 1990 and Bhaskar *et al.*, 1999) นอกจากนี้เทคนิคการออกแบบวงจรให้ทำงานในโหมตกระแ ยังมีข้อดีอีกหลายประการซึ่งสามารถศึกษาได้จากเอกสารอ้างอิง (Hilas and Laopoulos, 1996 and Schmid, 2002) จากการสำรวจพบว่าได้มีผู้นำเสนองจรรีจิสต์รียูตามแบบเต็มคลื่นในโหมตกระแอยู่บ้าง (Kongsak *et al.*, 2004 and Khucharoenin and Kasemsuwan, 2003 and Vanchai and Rojanakorn, 2002) อย่างไรก็ตามพบว่า วงจรที่มีการนำเสนอทั้งหมดนี้ไม่สามารถปรับขนาดของกระแเอาต์พุตได้ ส่งผลให้เมื่อนำไปใช้งานจริงต้องเพิ่มวงจรรขยายกระแเพื่อให้กระแมีความตามต้องการ นอกเหนือจากนี้แล้ว หากต้องการกระแเอาต์พุตให้มีขั้วตรงข้ามจากเดิม จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของวงจร หรือเพิ่มวงจรถกลับขั้วกระแ (Current inverter) ซึ่งส่งผลให้วงจรมีความซับซ้อนขึ้น อีกทั้งบางวงจรมีการใช้อุปกรณ์พาสซีฟร่วมอยู่ด้วยซึ่งไม่เหมาะที่จะสร้างเป็นวงจรรวม (Anwar *et al.*, 1995) นอกเหนือจากนี้แล้ววงจรสวนใหญ่ของทั้งหมดที่กล่าวมานี้ อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิยังส่งผลต่อการทำงานมาก

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น ในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอ วงจรรีจิสต์รียูตามเต็มคลื่นโหมตกระแแบบแมนยำที่สามารถควบคุมขนาดของกระแเอาต์พุต และยังสามารถควบคุมทิศทางหรือขั้วของกระแเอาต์พุตได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของวงจร และเพิ่มเติมวงจรใดๆ ซึ่งการควบคุมทั้งหมดสามารถทำได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์กับการควบคุมอัตโนมัติได้โดยง่าย โครงสร้างของวงจรประกอบด้วย CCCII ร่วมกับ OTA อย่างละ 2 ตัว ผลการทดสอบสมรรถนะของวงจรโดยใช้ PSPICE พบว่า วงจรสามารถรองรับสัญญาณอินพุตได้กว้าง มีอัตราการใช้บริโภคกำลังงานต่ำ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิส่งผลต่อการทำงานน้อย สามารถทำงานได้ในย่านความถี่สูงถึงระดับเมกะเฮิรต์ และสามารถควบคุมขนาดและขั้วของกระแเอาต์พุตได้ดังที่คาดการณ์ไว้

## หลักการและวงจรที่นำเสนอ

### 1. วงจรขยายกระแส

รูปที่ 1 เป็นวงจรขยายกระแสที่ใช้วงจรถ่ายผันกระแสโดยพัฒนามาจาก (Fabre *et al.*, 1996) จากรูปหากโครงสร้างของวงจรเป็น CMOS สามารถแสดงกระแสเอาต์พุตได้ดังนี้

$$I_{O1} = \frac{R_{x1}}{R_{x2}} I_{in} \quad (1)$$

และ

$$I_{O2} = -\frac{R_{x1}}{R_{x2}} I_{in} \quad (2)$$

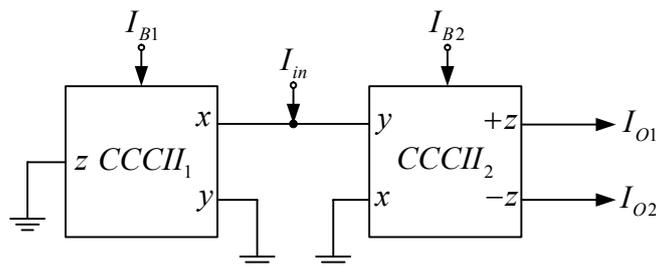
เมื่อ  $R_{x1} = \frac{1}{2\sqrt{\mu_n C_{ox}} (W/L) I_{B1}}$  และ  $R_{x2} = \frac{1}{2\sqrt{\mu_n C_{ox}} (W/L) I_{B2}}$  เมื่อ  $\mu_n C_{ox} (W/L)$  คือ พารามิเตอร์ทางกายภาพของทรานซิสเตอร์ สมการที่ (1) และ (2) เขียนใหม่ได้ดังนี้

$$I_{O1} = \sqrt{\frac{I_{B2}}{I_{B1}}} I_{in} \quad (3)$$

และ

$$I_{O2} = -\sqrt{\frac{I_{B2}}{I_{B1}}} I_{in} \quad (4)$$

จากสมการที่ (3) และ (4) พบว่ากระแสเอาต์พุต  $I_{O1}$  และ  $I_{O2}$  มีขนาดเท่ากันแต่ทิศตรงกันข้ามกัน โดยสามารถควบคุมขนาดของกระแสเอาต์พุตได้ที่กระแสไบอัส  $I_{B1}$  และ  $I_{B2}$  และจากสมการจะเห็นว่าในทางอุดมคติกระแสเอาต์พุตไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ



รูปที่ 1 วงจรขยายกระแส

จากรูปที่ 1 หากโครงสร้างของวงจรเป็นไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์สามารถแสดงกระแสเอาต์พุตได้  $I_{O1}$  และ  $I_{O2}$  จะเหมือนกับสมการที่ (1) และ (2) แต่ที่  $R_{x1} = \frac{2V_T}{I_{B1}}$  และ  $R_{x2} = \frac{2V_T}{I_{B2}}$  เพราะฉะนั้น กระแสเอาต์พุตของวงจรขยายกระแสที่มีโครงสร้างเป็นไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์จะมีค่าเท่ากับ

$$I_{O1} = \frac{I_{B2}}{I_{B1}} I_{in} \quad (5)$$

และ

$$I_{O2} = -\frac{I_{B2}}{I_{B1}} I_{in} \quad (6)$$

จากสมการที่ (7) และ (8) พบว่ากระแสเอาต์พุต  $I_{O1}$  และ  $I_{O2}$  มีขนาดเท่ากันแต่ทิศทางตรงกันข้ามกัน โดยสามารถควบคุมขนาดของกระแสเอาต์พุตได้อย่างเป็นเชิงเส้นที่กระแสไบอัส  $I_{B1}$  และ  $I_{B2}$  และจากสมการจะเห็นได้ว่ากระแสเอาต์พุตไม่ขึ้นอยู่กั้อุณหภูมิเช่นเดียวกัน

## 2. การทำงานของ OTA ในช่วงอิมิตัว

จากรูปที่ 2 (ก) เป็นโครงสร้างของ OTA อย่างง่ายแบบ CMOS เมื่อ  $I_B, V_{in}$  และ  $I_o$  เป็นกระแสไบอัส แรงดันอินพุตและกระแสเอาต์พุตตามลำดับ เมื่อ CMOS ทุกตัวสมพงษ์ (Match) กันและทำงานในย่านอิมิตัว สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแส  $I_o$  กับค่าแรงดันที่อินพุต  $V_{in}$  ได้ดังนี้ (Alan, 1984)

$$I_o = \sqrt{\beta I_B V_{in}^2 - \left(\frac{\beta}{2}\right)^2 V_{in}^4} \quad (7)$$

เมื่อ  $\beta = \mu_n C_{ox} (W/L)$  โดย  $\mu_n$  คือ electron mobility,  $C_{ox}$  คือ oxide capacitance และ  $W/L$  คือ ความกว้างต่อความยาวของทรานซิสเตอร์

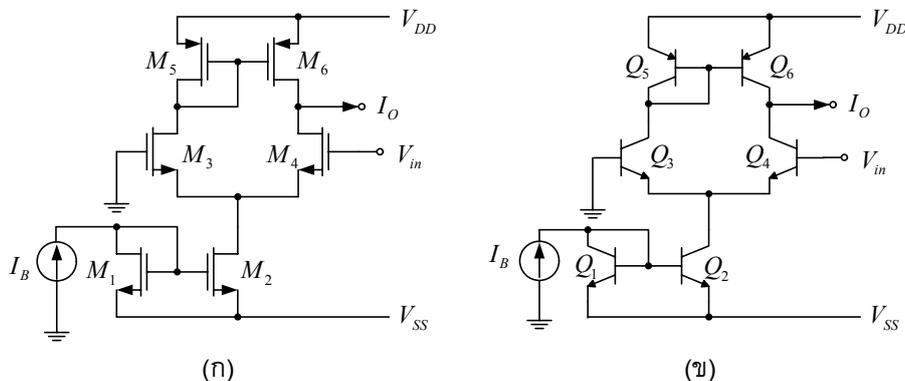
จากสมการที่ (7) หาก  $V_{in} \geq \sqrt{\frac{2I_B}{\beta}}$  โดยการใช้อนุกรมของเทเลอร์ (Taylor's series) กระแสเอาต์พุตจะมีค่าเท่ากับ

$$I_o = I_B \quad (8)$$

และถ้าหากแรงดันอินพุตมีค่าเป็นลบ กระแสเอาต์พุตจะมีค่าเท่ากับ

$$I_o = -I_B \quad (9)$$

จากสมการที่ (8) และ (9) พบว่าสามารถควบคุมทิศทางของกระแสเอาต์พุตได้ที่แรงดันอินพุต และ OTA จะทำงานก็ต่อเมื่อกระแสไบอัสเป็นบวกเท่านั้น



รูปที่ 2 โครงสร้างพื้นฐานของ OTA (ก) CMOS (ข) ไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์

จากรูปที่ 2 (ข) เป็นโครงสร้างของ OTA แบบไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์  $I_B, V_{in}$  และ  $I_o$  เป็นกระแสไบอัส แรงดันอินพุตและกระแสเอาต์พุตตามลำดับ เมื่อทรานซิสเตอร์ทุกตัวสมพงษ์กันและทำงานในย่านอิมิตัวสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแส  $I_o$  กับค่าแรงดันที่อินพุต  $V_{in}$  สามารถแสดงได้ดังนี้ (Alan, 1984)

$$I_o = I_B \tanh\left(\frac{V_{in}}{2V_T}\right) \quad (10)$$

เมื่อ  $V_T$  คือค่าศักดาความร้อน

จากสมการที่ (10) หาก  $V_{in} \gg 2V_T$  โดยการใช้อนุกรมของเทเลอร์เช่นเดียวกัน กระแสเอาต์พุตจะมีค่าเท่ากับ

$$I_o = I_B \quad (11)$$

และถ้าหากแรงดันอินพุตมีค่าเป็นลบ กระแสเอาต์พุตจะมีค่าเท่ากับ

$$I_o = -I_B \quad (12)$$

จากสมการที่ (11) และ (12) พบว่าสามารถควบคุมทิศทางของกระแสเอาต์พุตได้ที่แรงดันอินพุต และ OTA จะทำงานก็ต่อเมื่อกระแสไบอัสเป็นบวกเท่านั้น ซึ่งจากสมการทั้งหมดพบว่าการทำงานของ OTA ในช่วงอิมิตัวนี้ กระแสเอาต์พุตจะไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิด้วย

### 3. วงจรเรียงสัญญาณที่นำเสนอ

วงจรเรียงสัญญาณที่นำเสนอแสดงในรูปที่ 3 หากโครงสร้างของวงจรเป็น CMOS และ OTA ทำงานในช่วงอิมิตัว อาศัยหลักการที่กล่าวมาข้างต้นสามารถแสดงกระแสเอาต์พุตของ  $OTA_1$  และ  $OTA_2$  ได้ดังนี้

$$I_{OTA1} = \begin{cases} \sqrt{I_{B2}} I_m & \text{if } 0 \leq t \leq \pi \\ \sqrt{I_{B1}} I_m & \text{if } \pi \leq t \leq 2\pi \\ 0 & \text{if } \pi \leq t \leq 2\pi \end{cases} \quad (13)$$

$$I_{OTA2} = \begin{cases} 0 & \text{if } 0 \leq t \leq \pi \\ \sqrt{I_{B2}} I_m & \text{if } \pi \leq t \leq 2\pi \\ \sqrt{I_{B1}} I_m & \text{if } \pi \leq t \leq 2\pi \end{cases} \quad (14)$$

ซึ่งกระแสเอาต์พุต ( $I_o$ ) หาได้จาก

$$I_o = I_{OTA1} + I_{OTA2} \quad (15)$$

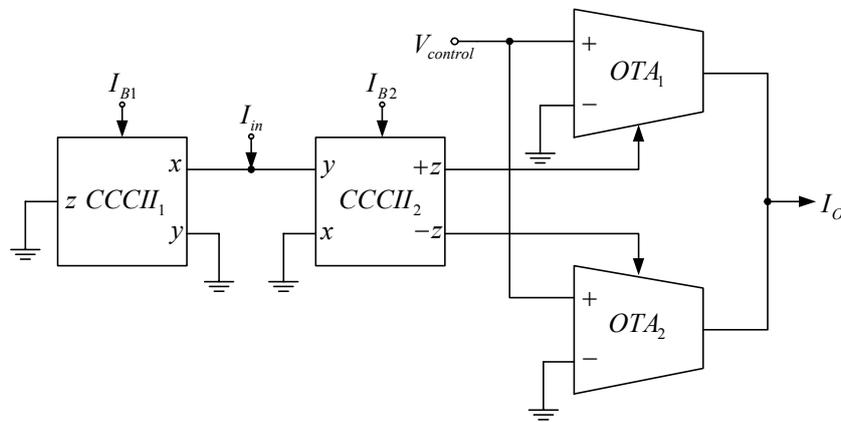
แทนค่าสมการที่ (13) และ (14) ลงในสมการที่ (15) กระแสเอาต์พุตจะมีค่าเท่ากับ

$$I_O = \frac{\sqrt{I_{B2}}}{\sqrt{I_{B1}}} |I_{in}| \quad \text{if } V_C \gg \sqrt{\frac{2I_{Z2}}{\beta}} \quad (16A)$$

$$I_O = -\frac{\sqrt{I_{B2}}}{\sqrt{I_{B1}}} |I_{in}| \quad \text{if } V_C \ll -\sqrt{\frac{2I_{Z2}}{\beta}} \quad (16B)$$

เมื่อ  $I_{Z2}$  คือกระแสเอาต์พุตของ CCCII<sub>2</sub>

จากสมการที่ (16A) และ (16B) พบว่ากระแสเอาต์พุตไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ สามารถปรับขนาดได้ที่  $I_{B1}$  หรือ  $I_{B2}$  และปรับทิศทางของกระแสเอาต์พุตได้ที่  $V_C$



รูปที่ 3 วงจรรีจิสต์รียากแต้มนำเสนอ

จากรูปที่ 3 หากโครงสร้างของวงจรถูกเป็นไปโพลาร์ทรานซิสเตอร์และ OTA ทำงานในช่วงอิมิตัวอาศัยหลักการที่กล่าวมาข้างต้นสามารถแสดงกระแสเอาต์พุตของ OTA<sub>1</sub> และ OTA<sub>2</sub> ได้ดังนี้

$$I_{OTA1} = \begin{cases} \frac{I_{B2}}{I_{B1}} I_{in} & \text{if } 0 \leq t \leq \pi \\ 0 & \text{if } \pi \leq t \leq 2\pi \end{cases} \quad (17)$$

$$I_{OTA2} = \begin{cases} 0 & \text{if } 0 \leq t \leq \pi \\ \frac{I_{B2}}{I_{B1}} I_{in} & \text{if } \pi \leq t \leq 2\pi \end{cases} \quad (18)$$

ซึ่งกระแสเอาต์พุตหาได้จาก

$$I_O = I_{OTA1} + I_{OTA2} \quad (19)$$

แทนค่าสมการที่ (17) และ (18) ลงในสมการที่ (19) กระแสเอาต์พุตจะมีค่าเท่ากับ

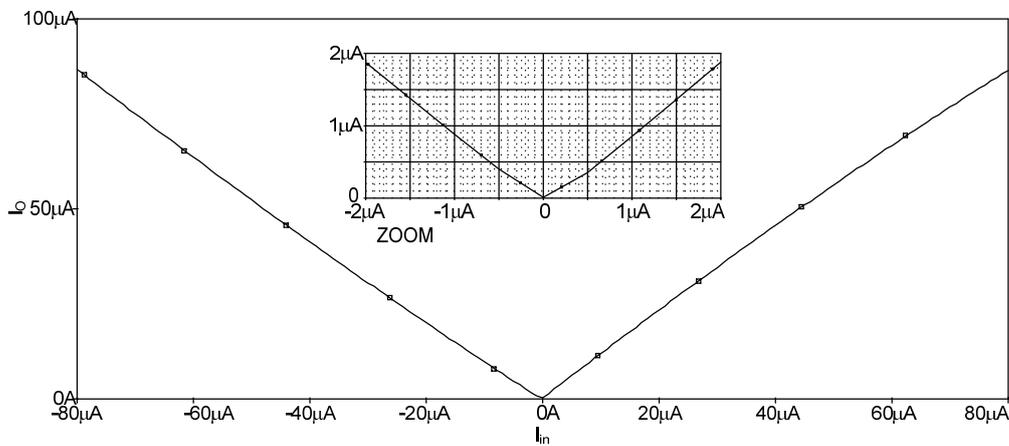
$$I_O = \frac{I_{B2}}{I_{B1}} |I_{in}| \quad \text{if } V_C \gg 2V_T \quad (20A)$$

$$I_O = -\frac{I_{B2}}{I_{B1}}|I_m| \quad \text{if } V_C \ll -2V_T \quad (20B)$$

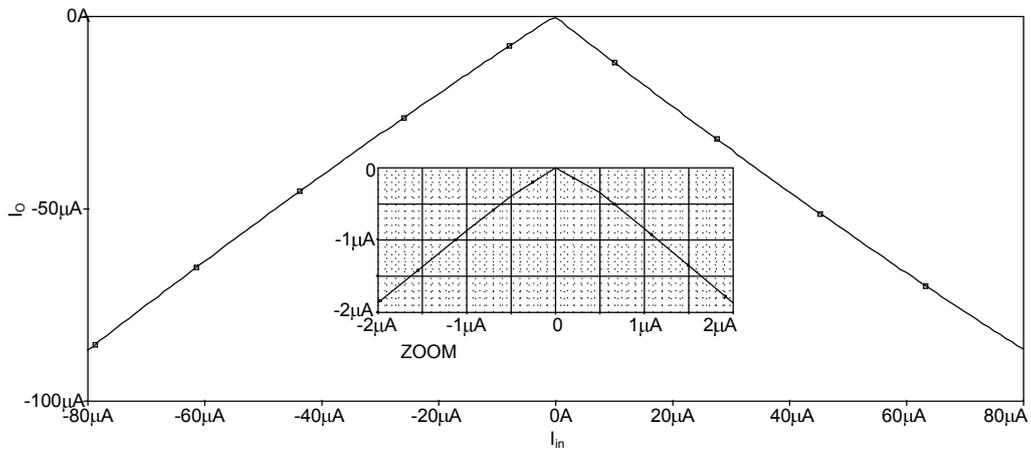
จากสมการที่ (20A) และ (20B) พบว่ากระแสเอาต์พุตไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ สามารถปรับอัตราขยายได้อย่างเป็นเชิงเส้นที่  $I_{B1}$  หรือ  $I_{B2}$  และควบคุมทิศทางของกระแสเอาต์พุตได้ที่  $V_C$

### ผลการจำลอง

เพื่อเป็นการยืนยันสมรรถนะของวงจรที่นำเสนอ จึงได้จำลองการทำงานของวงจรผ่านโปรแกรม PSPICE เพื่อความกระชับได้แสดงผลเฉพาะผลการจำลองที่ใช้มอสทรานซิสเตอร์เท่านั้น สำหรับทรานซิสเตอร์ PMOS และ NMOS ที่ใช้ในการจำลองการทำงานของวงจรได้ใช้พารามิเตอร์ของ TSMC CMOS เทคโนโลยี (Erkan *et al*, 2005) โดยกำหนดให้อัตราส่วน W/L ( $\mu\text{m}/\mu\text{m}$ ) ของ PMOS ทรานซิสเตอร์เท่ากับ 55/2.4 และ NMOS ทรานซิสเตอร์เท่ากับ 12/2.4 วงจรทำงานที่แหล่งจ่าย  $\pm 1.5$  โวลต์ ซึ่งหากขนาดของทรานซิสเตอร์มีขนาดเล็กลงจะทำให้วงจรมีอัตราการบริโภคนำพลังงานต่ำลงและตอบสนองความถี่ได้สูงขึ้น แต่จะทำให้กระแสเอาต์พุตมีออฟเซตเพิ่มขึ้น รูปที่ 4 แสดงคุณสมบัติการถ่ายโอนทางไฟตรงของวงจรเรียงสัญญาณแบบเต็มคลื่นระหว่างกระแสอินพุตเทียบกับแรงดันอินพุต โดยปรับค่า  $I_{B1}, I_{B2}$  และ  $V_C$  เท่ากับ  $80\mu\text{A}, 80\mu\text{A}$  และ  $0.5\text{V}$  ตามลำดับ เห็นได้อย่างชัดเจนว่า วงจรที่นำเสนอนี้สามารถรองรับสัญญาณอินพุตได้ในช่วงกว้าง อีกทั้งยังสามารถควบคุมทิศทางของกระแสเอาต์พุตได้จาก  $V_C$

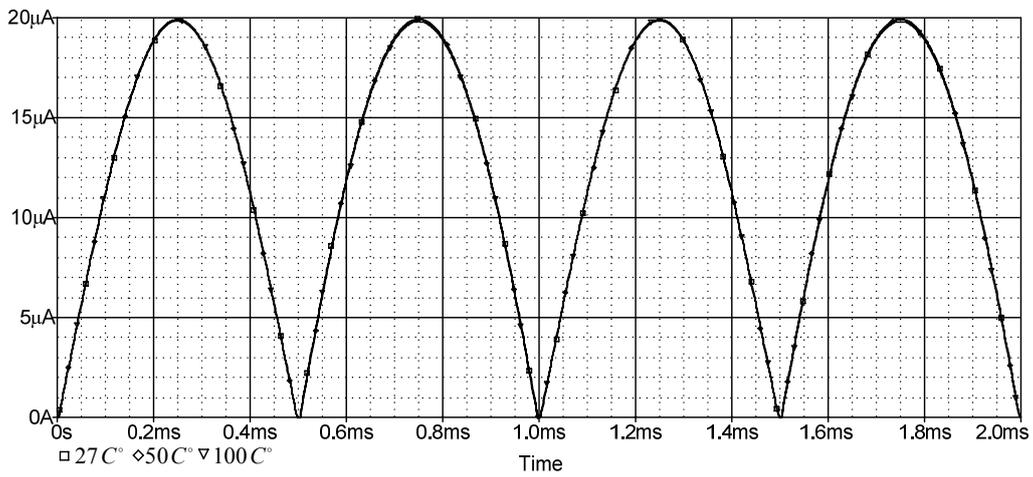


(ก)

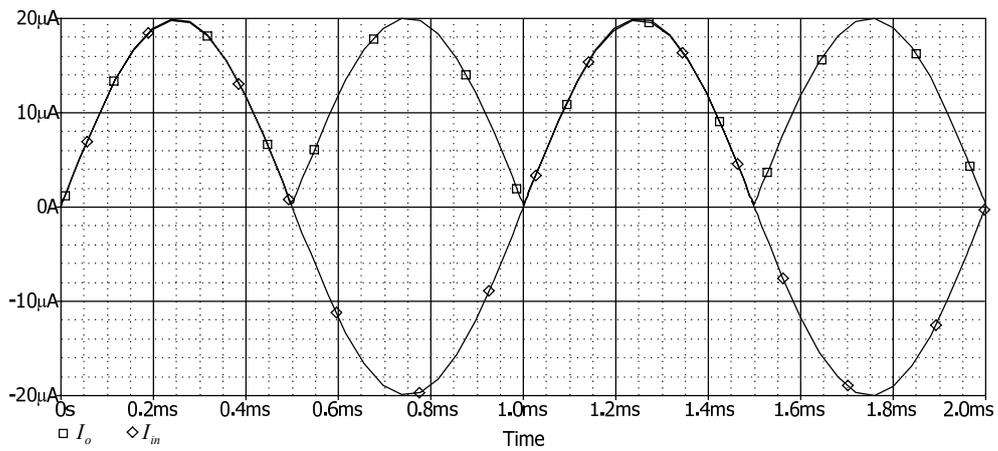


(ข)

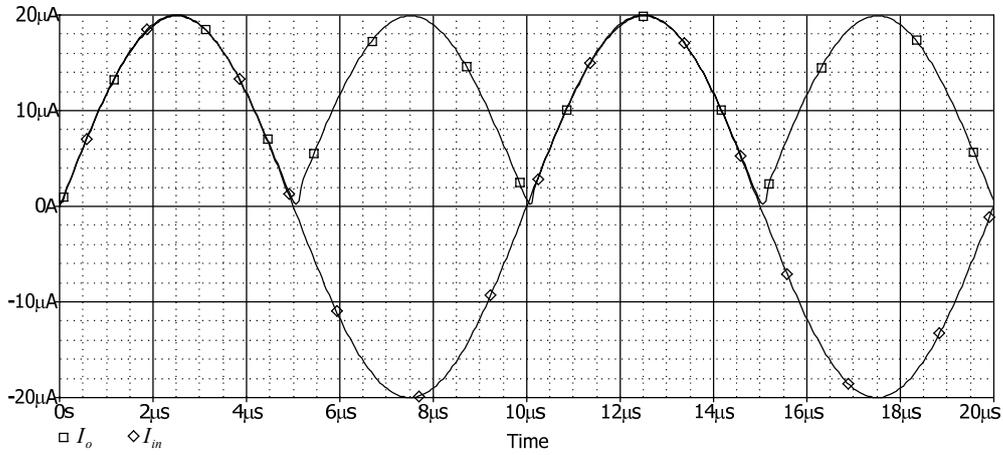
รูปที่ 4 คุณสมบัติการถ่ายโอนทางไฟตรงของวงจรมื่อ (ก)  $V_c = 0.5V$  (ข)  $V_c = -0.5V$



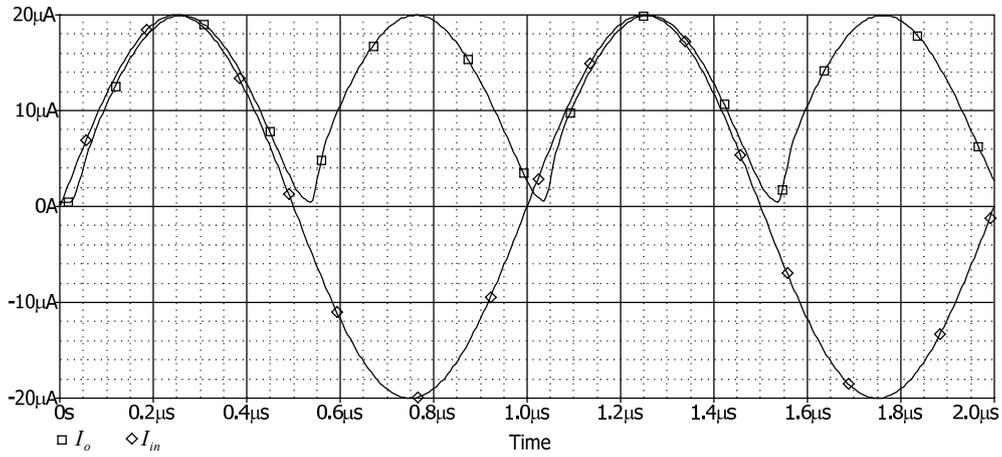
รูปที่ 5 กระแสเอาต์พุตเมื่ออุณหภูมิมีค่าเท่ากับ  $27C^\circ$ ,  $50C^\circ$  และ  $100C^\circ$



(ก)



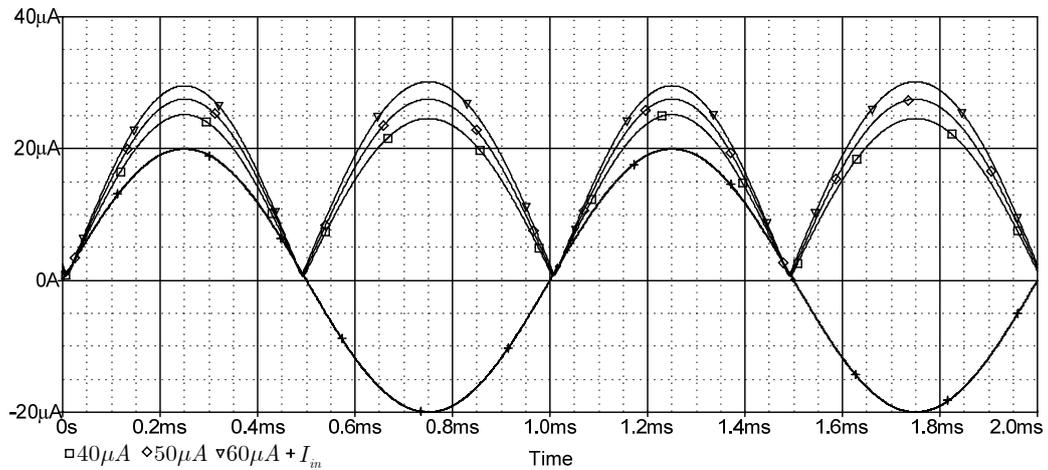
(ข)



(ค)

รูปที่ 6 ผลของกระแสเอาต์พุตเทียบกับกระแสอินพุตเมื่อกระแสอินพุตมีความถี่

(ก) 1 kHz (ข) 100 kHz (ค) 1 MHz



รูปที่ 7 กระแสเอาต์พุตเทียบกับอินพุตเมื่อ  $I_{B1} = 40 \mu A$  และ  $I_{B2} = 40 \mu A, 50 \mu A$  และ  $60 \mu A$

รูปที่ 5 แสดงแสดงกระแสเอาต์พุตเทียบกับอินพุตเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป 3 ค่า คือ

$27^{\circ}C$  ,  $50^{\circ}C$  และ  $100^{\circ}C$  พบว่า กระแสเอาต์พุตนั้นไม่ขึ้นอยู่กับค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ เนื่องมาจากการชดเชยผลของอุณหภูมิในวงจรรขยายกระแสตนเอง ส่วนรูปที่ 6 แสดงกระแสเอาต์พุต เทียบกับอินพุตเมื่อเปลี่ยนแปลงความถี่อินพุต แสดงให้เห็นว่า วงจรที่นำเสนอสามารถทำงานได้ในย่าน ความถี่สูงถึงระดับเมกะเฮิร์ต โดยที่ขนาดของสัญญาณเอาต์พุตไม่มีการเปลี่ยนแปลง และรูปที่ 7 แสดง กระแสเอาต์พุตเทียบกับอินพุตเมื่อมีการควบคุมค่ากระแสไบอัส  $I_{B1} = 40\mu A$  และ  $I_{B2} = 40\mu A, 50\mu A$  และ  $60\mu A$  สังเกตได้ชัดเจนว่า สามารถควบคุมค่ากระแสเอาต์พุตได้จากกระแสไบอัส  $I_{B2}$

## บทสรุป

ในบทความนี้ได้นำเสนอ วงจรรีจิสต์รียูทแอมป์คลีนโหมตกระแสแบบแมนย่าโดยใช้วงจรสายพานกระแสร่วมกับ OTA ที่สามารถรีจิสต์รียูทกระแส โดยควบคุมขนาดของกระแสเอาต์พุตได้ด้วยกระแสไบอัสของวงจรสายพานกระแส การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิรอบข้างส่งผลต่อการทำงานของ วงจรน้อย อีกทั้งยังสามารถควบคุมทิศทางของกระแสเอาต์พุตให้เป็นสัญญาณด้านบวกหรือด้านลบได้ด้วยแรงดันอินพุตของ OTA โดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของวงจรถ้าเพิ่มเติมนวงจรรอื่นแต่อย่างไร โครงสร้างของวงจรถูกประกอบด้วย วงจรสายพานกระแสที่ใช้กระแสควบคุมจำนวน 2 ตัว กับ OTA อีก 2 ตัว ผลการจำลองการทำงานด้วย PSPICE พบว่าวงจรถ้าเสนอสามารถรองรับการทำงานที่ย่านอินพุต จาก  $-100\mu A$  ถึง  $100\mu A$  อย่างเป็นเชิงเส้น ที่แหล่งจ่าย  $\pm 1.5$  โวลต์ วงจรมีอัตราบริโภคพลังงานต่ำเพียง  $554.8\mu W$  และสามารถทำงานได้ในย่านความถี่สูงถึงระดับเมกะเฮิร์ต วงจรถ้าเสนอเหมาะที่จะนำไป พัฒนาเป็นวงจรรวมเพื่อนำไปใช้ในงานที่มีการประมวลผลสัญญาณในโหมตกระแส

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก ทุนอุดหนุนการวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ประจำปีงบประมาณ 2549

## เอกสารอ้างอิง

- Alan B. Grebene. 1984. **Bipolar and mos analog integrated circuit design**. New York: John Wiley & Sons.
- Anwar A., Khan M., Abou el-ela and AL-turaigi M.A. 1995. Current-mode precision rectifier. **International Journal of electronics**. 79: 853-859
- Bhaskar D. R., Sharma V. K., Monis M and Rizvi S. M. I. 1999. New curren-mode universal biquad filter. **Microelectronics Journal**. vol. 30: 837-839
- Boonchai Boonchu and Wanlop Surakampontom. 2003. A CMOS Current-mode squarer/rectifier circuit. **Proceedings of the IEEE International Symposium on Circuits and Systems**. volume 1: I-405-I-408
- Coughlin R.F. and Drisoll F.F. 1998. **Operational Amplifier and Linear Integrated Circuit**. New Jersery : Pantice Hall.
- Erkan Yuce, Sezai Tokat, Aydın Kızılkaya and Oguzhan Cicekoglu. 2005. CCII-based PID controllers employing grounded passive components. **International Journal of Electronics and Communications (AEU)**. In Press, Corrected Proof
- Fabre A., Saaid O., Wiest F., Boucheron C., 1996. High frequency applications based on a new current controlled conveyor. **Proceedings of the IEEE International Symposium on Circuits and Systems**. volume 43: 82-91.

- Gift S. J. G. 2005. New precision rectifier with high accuracy and wide bandwidth. **International Journal of electronics**. 92: 601-617.
- Hilas C. S. and Laopoulos T.N. 1996. **Circuit design: a study on voltage-mode to current-mode conversion technique**. Proceedings of MELECON 96; May 1996; Bari, Italy,; 1309-1312.
- Khucharoensin, S. and Kasemsuwan V. 2003. High performance CMOS current-mode precision full-wave rectifier (PFWR). **Proceedings of the IEEE International Symposium on Circuits and Systems**. volume 1: I-41-I-44
- Kongsak A., Worapong T., Vanchai R. and Vanlop S. 2004. Sinusoidal frequency doubler and full-wave rectifier based on translinear current-controlled current conveyors. **International Journal of electronics**. 91: 227-239
- Monpapasorn A. Dejhan K. and Cheevasuvit F. 2001. A full-wave rectifier using a current conveyor and current mirror. **International Journal of electronics**. 88: 751-758.
- Sibum JUN and Dae Mann KIM. 1997. CMOS precision half-wave rectifier transconductance. **IEICE Transaction on Fundamentals of electronics, communications and computer sciences**, vol. E80-A:2000-2005
- Schmid H. 2002. Why the terms 'current mode' and 'voltage mode' neither divide nor qualify circuits. **IEEE International Symposium on Circuits and Systems**. Vol 2.: II-29-II-32
- Stephan J.G. Gift. 2000. Novel precision full-wave rectifier. **The 7th IEEE International Conference on Circuits and Systems**. Vol 1: 206-209
- Toumazou C., Lidgey F. J. and Haigh D. G.. 1990. **Analogue IC design: the current-mode approach**, London: Peter Peregrinus.
- Toumazou C, Lidgey F.J. and Chattong S. 1994. High frequency current conveyor precision full-wave rectifier. **Electronic Letter**. 30:745-746.
- Vanchai R. and Rojanakorn G. 2002. A low-voltage wide-band CMOS precision full-wave rectifier. **International Journal of electronics**. 89: 467-476