

# เทคนิคการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์สำหรับวงจรรวม

## Design Techniques of Sinusoidal Oscillators for Integrated Circuits

อดิเรก จันตะคุณ<sup>1)</sup> และ วินัย ใจกล้า<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

วิทยาเขตขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000, Email: [mr.adirek@hotmail.com](mailto:mr.adirek@hotmail.com)

<sup>2)</sup> โปรแกรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์, คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา, เขตดุสิต, กรุงเทพฯ 10300

Email: [winai.ja@hotmail.com](mailto:winai.ja@hotmail.com)

### บทคัดย่อ

บทความวิชาการนี้นำเสนอการศึกษาเปรียบเทียบเทคนิคการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์สำหรับวงจรรวม ที่มีอยู่ในปัจจุบัน 6 วิธี คือ 1) วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่สร้างจากตัวต้านทานแบบลบ 2) วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่สร้างจากวงจรอินทิเกรเตอร์และดิฟเฟอเรนทิเอเตอร์ที่มีการสูญเสีย 3) วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่สร้างจากวงจรกรองผ่านทุกความถี่อันดับหนึ่งที่มีอัตราขยายกับวงจรอินทิเกรเตอร์ 4) วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่สร้างจากวงจรกรองผ่านทุกความถี่อันดับหนึ่ง 5) วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่สร้างจากวงจรดิฟเฟอเรนทิเอเตอร์ที่มีการสูญเสียและวงจรขยาย 6) วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่สร้างจากสมการอันดับสาม และนำเสนอตัวอย่างการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์โดยใช้หลักการของวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่สร้างจากตัวต้านทานแบบลบ พร้อมกับยืนยันผลการจำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม PSPICE และต่อวงจรทดสอบ พบว่าวงจรทำงานได้สอดคล้องกับที่คาดการณ์ไว้ตามทฤษฎี

### Abstract

This article presents the comparative study of the 6 recent techniques to design the

sinusoidal oscillators for integrated circuits which are 1) oscillator based-on negative resistor 2) oscillator based-on lossy integrator and differentiator 3) oscillator based-on gain controllable first order all-pass filter 4) oscillator based-on first order all-pass filter and lossless integrator 5) oscillator based-on lossless differentiator and amplifier 6) third order oscillator. In addition, the design of oscillator based-on negative resistor is presented as an example. The performance of this oscillator is confirmed by the PSPICE simulation and by the experiment. The obtained results agree well with the theoretical prediction.

### 1. บทนำ

วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์เป็นวงจรที่สำคัญและมีการนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง ในงานด้านวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ตัวอย่างการใช้งาน ได้แก่ ระบบสื่อสาร เช่น ในการมอดูเลตหรือดีมอดูเลตสัญญาณ ระบบเครื่องมือวัดและระบบประมวลผลสัญญาณ เป็นต้น จากการศึกษาพบว่าได้มีผู้เสนองานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์สำหรับ

วงจรรวมไว้มากมาย โดยใช้อุปกรณ์แอกทีฟที่แตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น วงจรขยายความนำถ่ายโอน [1-3] (Operational Transconductance Amplifier: OTA) วงจรสายพานกระแสยุคที่สอง [4-5] (Second Generation Current Conveyor: CCII) วงจรสายพานกระแสยุคที่สองควบคุมได้ด้วยกระแส [6-8] (Current Control Second Generation Current Conveyor: CCCII) วงจรขยายความนำถ่ายโอนสายพานกระแส [9-10] (Current Conveyor Transconductance Amplifier: CCTA) วงจรขยายความนำถ่านโอนผลต่างกระแส [11-16] (Current Differential Transconductance Amplifier: CDTA) เป็นต้น โดยบางวงจรทำงานในโหมดกระแส (Current-mode) บางวงจรทำงานในโหมดแรงดัน (Voltage-mode) หรือในวงจรเดียวกันมีทั้งสองโหมดพร้อมกัน อีกทั้งแต่ละวงจรมีเทคนิคในการออกแบบวงจรที่แตกต่างกันไป และส่วนใหญ่การนำเสนอผลการวิจัยเกี่ยวกับวงจรถ่ายโอนสัญญาณไซน์ มักนิยมนำเสนอวงจรที่สังเคราะห์หรือออกแบบแล้ว โดยไม่นำเสนอบล็อกไดอะแกรมหรือเทคนิคที่ใช้ในการออกแบบ ทำให้ผู้เริ่มศึกษาหรือค้นคว้าบางส่วนที่ไม่มีความชำนาญ ไม่สามารถสังเคราะห์หรือออกแบบวงจรถ่ายโอนสัญญาณได้ ดังนั้นเพื่อให้ง่ายต่อการสังเคราะห์และออกแบบวงจรถ่ายโอนสัญญาณไซน์ บทความนี้จึงได้รวบรวมและนำเสนอเทคนิคการสังเคราะห์และออกแบบวงจรถ่ายโอนสัญญาณไซน์ รวมทั้งได้อธิบายข้อดีของเทคนิคต่างๆ

## 2. เทคนิคการออกแบบวงจรถ่ายโอนสัญญาณไซน์

จากการค้นคว้างานวิจัยด้านวงจรถ่ายโอนสัญญาณไซน์ ได้มีผู้นำเสนองานวิจัยไว้เป็นจำนวนมาก ซึ่งแต่ละวงจรมีเทคนิคที่แตกต่างกันไป ในบทความนี้ได้สรุปเป็นหลักการ 6 วิธีดังนี้

1) วงจรถ่ายโอนสัญญาณไซน์ที่สร้างจากตัวต้านทานแบบลบ [17] (Oscillator Based-on Negative Resistor)

2) วงจรถ่ายโอนสัญญาณไซน์ที่สร้างจากวงจรมินทิเกรเตอร์และดิฟเฟอเรนทิเอเตอร์ที่มีการสูญเสีย [1] (Oscillator Based-on Lossy Integrator and Differentiator)

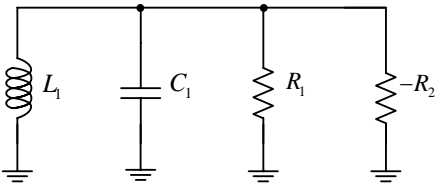
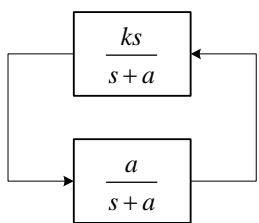
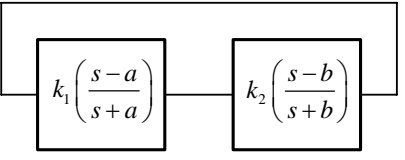
3) วงจรถ่ายโอนสัญญาณไซน์ที่สร้างจากวงจรรองผ่านทุกความถี่อันดับหนึ่งที่มีอัตราขยาย [11,15] (Oscillator Based-on Gain Controllable First Order All-pass Filter)

4) วงจรถ่ายโอนสัญญาณไซน์ที่สร้างจากวงจรรองผ่านทุกความถี่อันดับหนึ่งกับวงจรมินทิเกรเตอร์ [14] (Oscillator Based-on First Order All-pass Filter and Lossless Integrator)

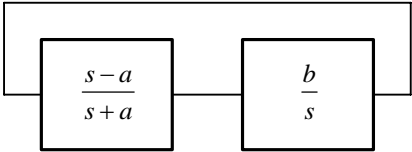
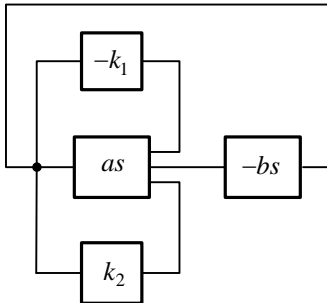
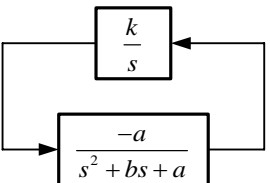
5) วงจรถ่ายโอนสัญญาณไซน์ที่สร้างจากวงจรมินทิเกรเตอร์ที่มีการสูญเสียและวงจรมินทิเกรเตอร์ [19] (Oscillator Based-on Lossless Differentiator and Amplifier)

6) วงจรถ่ายโอนสัญญาณไซน์ที่สร้างจากสมการอันดับสาม [12-13, 18] (3<sup>rd</sup> Order Oscillator)

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบเทคนิคการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์

| วิธีที่ | เทคนิคการออกแบบ   | Basic Configuration  | Characteristic Equation  | $\omega_c$    | $\omega_{osc}$                            |
|---------|---|--|--|---------------|---|
| 1       | วงจรถูกกำเนิดสัญญาณไซน์ที่สร้างจากตัวต้านทานแบบลบ                                     |    | $s^2 + \frac{a}{L_1} \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) + \frac{1}{L_1 C_1} = 0$ | $R_1 = R_2$   | $\omega_{osc} = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}}$ |
| 2       | วงจรถูกกำเนิดสัญญาณไซน์ที่สร้างจากวงจรถ่ายโอนเทอเรียลและดิฟเฟอเรนเชียลที่มีเกาสูญเสีย |     | $s^2 + a(2 - k)s + a^2 = 0$  | $k = 2$       | $\omega_{osc} = a$                        |
| 3       | วงจรถูกกำเนิดสัญญาณไซน์ที่สร้างจากวงจรถ่ายโอนทุกความถี่อันดับหนึ่งที่มีอัตราขยาย      |  | $s^2 (k_1 k_2 + 1) + 2ab(1 - k_1 k_2)s + (k_1 k_2 + 1)ab = 0$                              | $k_1 k_2 = 1$ | $\omega_{osc} = \sqrt{ab}$                |

ตารางที่ 1 (ต่อ) เปรียบเทียบเทคนิคการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์

| วิธีที่ | เทคนิคการออกแบบ   | Basic Configuration   | Characteristic Equation  | $\omega_c$  | $\omega_{osc}$                       |
|---------|---|---|--|-------------|--------------------------------------|
| 4       | วงจรถูกกำเนิดสัญญาณไซน์ที่สร้างจากวงจรถูกกรองผ่านทุกความถี่อันดับหนึ่งกับวงจรถูกอินทิเกรเตอร์ |   | $s^2 + s(a - b) + ab = 0$  | $a = b$     | $\omega_{osc} = \sqrt{ab}$           |
| 5       | วงจรถูกกำเนิดสัญญาณไซน์ที่สร้างจากวงจรถูกดิฟเฟอเรนทิเอเตอร์ที่มีค่าคงที่คูณและวงจรถูกขยาย     |   | $s^2 + \frac{a}{k_2} \frac{1}{k_1} - \frac{1}{k_2} \frac{b}{a} s + \frac{1}{ab} = 0$ | $k_1 = k_2$ | $\omega_{osc} = \sqrt{\frac{1}{ab}}$ |
| 6       | วงจรถูกกำเนิดสัญญาณไซน์ที่สร้างจากสมการอันดับสาม  |  | $s^3 + bs^2 + as + ck = 0$   | $ab = ck$   | $\omega_{osc} = \sqrt{a}$            |

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของเทคนิคการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์

| วิธีที่ | เทคนิคการออกแบบ  | การปรับความถี่และ<br>เงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณ | ข้อดี-ข้อเสีย  |
|---------|--|--|--|
| 1       | วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่สร้างจากตัวต้านทานแบบลบ                                       | ปรับได้อิสระจากกัน                             | องค์ประกอบของวงจรประกอบด้วยอุปกรณ์พาสซีฟพื้นฐาน ทำให้ง่ายต่อการออกแบบวงจร แต่ตัวต้านทานชนิดลบต้องเป็นตัวต้านทานแบบแอคทีฟเท่านั้น ซึ่งสามารถสร้างได้จากอุปกรณ์แอคทีฟทั่วไป เช่น CCII, OTA, PFTFN [17] เป็นต้น   |
| 2       | วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่สร้างจากวงจรอินทิเกรเตอร์และดิฟเฟอเรนทิเอเตอร์ที่มีการสูญเสีย | ปรับได้อิสระจากกัน                             | องค์ประกอบของวงจรประกอบด้วยวงจรถอดิฟเฟอร์เรนทิเอเตอร์ซึ่งจะมีอัตราขยายที่สูงขึ้นเมื่อความถี่สูงขึ้นจะทำให้ชดเชยกับการตอบสนองทางความถี่ของอุปกรณ์แอคทีฟ หากนำมาใช้กับการกำเนิดสัญญาณ ก็จะสามารถทำให้เกิดเสถียรภาพของลูปเกน เมื่อความถี่สูงขึ้น [1] ส่วนเงื่อนไขการกำเนิดสัญญาณต้องออกแบบให้วงจรอินทิเกรเตอร์ หรือดิฟเฟอเรนทิเอเตอร์ที่มีการสูญเสียมีอัตราขยายภายในตัวเองเพื่อให้สามารถรับค่า $k=2$ จนบางครั้งอาจต้องใช้วงจรขยายต่อรวมเพื่อปรับค่า $k$ ของวงจร ทำให้ต้องใช้อุปกรณ์เพิ่มขึ้นอีก |
| 3       | วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่สร้างจากวงจรกรองผ่านทุกความถี่อันดับหนึ่งที่มีอัตราขยาย       | ปรับได้อิสระจากกัน                             | การออกแบบวงจรใช้วงจรกรองผ่านทุกความถี่ที่มีอัตราขยายจำนวน 2 ชุดต่อเรียงกันทำให้ง่ายต่อการสร้าง เพราะใช้วงจรชนิดเดียวกัน แต่วงจรขยายแต่ละชุดต้องปรับอัตราขยายได้ [11,15]  |

ตารางที่ 2 (ต่อ) เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของเทคนิคการออกแบบวงจรถ่ายทอดสัญญาณไซน์

| วิธีที่ | เทคนิคการออกแบบ   | การปรับความถี่และ<br>เฟสในการกำเนิดสัญญาณ   | ข้อดี-ข้อเสีย   |
|---------|---|---|---|
| 4       | วงจรถ่ายทอดสัญญาณไซน์ที่สร้างจาก<br>วงจรรองผ่านทุกความถี่อันดับหนึ่ง<br>กับวงจรมินิโมเฟสเซอร์         | ปรับได้ไม่อิสระจากกัน   | การปรับเฟสและความถี่ในการกำเนิดสัญญาณต้องปรับ $a$ กับ $b$ ให้ค่า<br>เท่ากันเสมอ ไม่สามารถแยกปรับตัวใดตัวหนึ่งได้อย่างอิสระ ทั้งนี้สามารถดู<br>ตัวอย่างการออกแบบวงจรถ่ายทอดโดยวิธีนี้ได้จาก [14]                       |
| 5       | วงจรถ่ายทอดสัญญาณไซน์ที่สร้างจาก<br>วงจรมินิโมเฟสเซอร์เรกติแองกูลาร์ที่มีการ<br>สูญเสียและวงจรถ่ายทอด | ปรับได้อิสระจากกัน  | องค์ประกอบของวงจรถ่ายทอดด้วยวงจรถ่ายทอดที่ทำหน้าที่ป้อนกลับ<br>สัญญาณเอาต์พุตเพื่อสร้างเฟสในการกำเนิดสัญญาณ ทำให้ง่ายต่อ<br>การออกแบบวงจรถ่ายทอด แต่ต้องใช้จำนวนอุปกรณ์แอกทีฟเพิ่มขึ้น ดังที่เคยถูก<br>นำเสนอโดย [19] |
| 6       | วงจรถ่ายทอดสัญญาณไซน์ที่สร้างจาก<br>สมการอันดับสาม  | ปรับได้อย่างอิสระจากกัน<br>ถ้า $a = c$ จะสามารถ ปรับ<br>เฟสในการกำเนิดสัญญาณที่<br>$b$ กับ $k$ ส่วนความถี่ในการ<br>กำเนิดสัญญาณปรับได้ที่ $a$ | สัญญาณไซน์จะมีความผิดเพี้ยนทางฮาร์โมนิคต่ำกว่าวงจรถ่ายทอด<br>สัญญาณไซน์อันดับสอง ดังที่เคยถูกนำเสนอจากนักวิจัยจำนวนมาก เช่น<br>[12-13, 18]  |

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบของค้ประกอบพื้นฐาน (Basic Configuration), สมการคุณสมบัตินิ (Characteristic Equation), เงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณ (Oscillation Condition,  $oc$ ) และความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ (Oscillation Frequency,  $w_{osc}$ ) ของแต่ละเทคนิคการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ ส่วนตารางที่ 2 อธิบายเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของแต่ละเทคนิคการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์

### 3. การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์

ตัวอย่างในการออกแบบวงจร ใช้เทคนิคการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่สร้างจากตัวต้านทานแบบลบ โดยใช้ OTA เป็นอุปกรณ์แอกทีฟที่พวงจรตัวเหนี่ยวนำและวงจรถ่วงตัวต้านทานแบบลบแสดงดังรูปที่ 1 จะได้วงจรถ่วงกำเนิดสัญญาณไซน์ที่สร้างจากตัวต้านทานแบบลบ ดังรูปที่ 2 และสมการคุณสมบัตินิของวงจรถ่วงคือ

$$s^2 + \frac{s}{R_1} - g_{m3} \frac{s}{C_1 C_2} + \frac{g_{m1} g_{m2}}{C_1 C_2} = 0 \quad (1)$$

จะได้เงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณไซน์ คือ

$$oc : R_2 = \frac{1}{g_{m3}} \quad (2)$$

และ ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณไซน์จะได้

$$w_{osc} = \sqrt{\frac{g_{m1} g_{m2}}{C_1 C_2}} \quad (3)$$

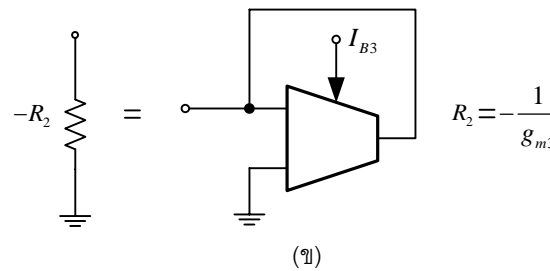
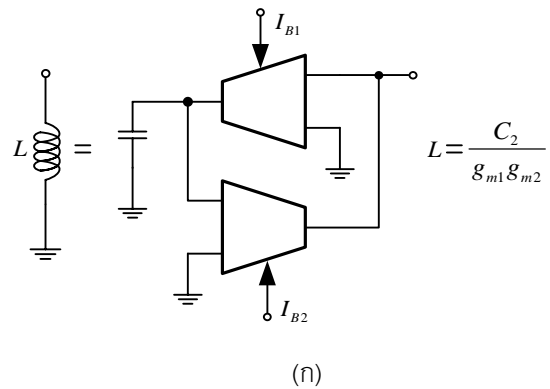
แทนค่าความนำถ้ายอิน จาก  $g_m = I_B / 2V_T$  จะได้ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณไซน์ใหม่ ดังนี้

$$w_{osc} = \frac{1}{2V_T} \sqrt{\frac{I_{B1} I_{B2}}{C_1 C_2}} \quad (4)$$

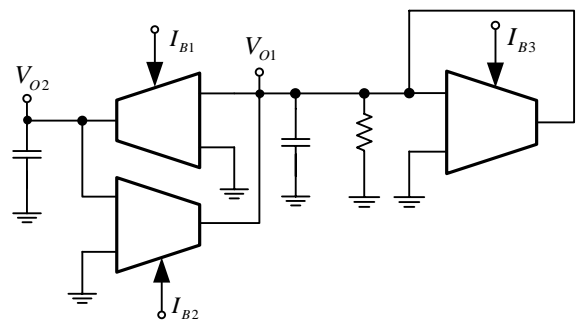
และจากสมการที่ (4) จะได้เงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณไซน์ คือ

$$I_{B3} = \frac{2V_T}{R_2} \quad (5)$$

จากสมการที่ (4) - (5) พบว่าเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณไซน์สามารถปรับได้อิสระจากความถี่ โดยการปรับกระแส  $I_{B3}$  และความต้านทาน  $R_2$  ส่วนความถี่ของสัญญาณไซน์สามารถปรับได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ จากการปรับค่ากระแส  $I_{B1}$  หรือ  $I_{B2}$



รูปที่ 1 (ก) วงจรตัวเหนี่ยวนำ (ข) วงจรถ่วงตัวต้านทานแบบลบ



รูปที่ 2 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่สร้างจากตัวต้านทานแบบลบ

จากวงจรในรูปที่ 2 จะพบว่าวงจรสามารถให้กำเนิดสัญญาณแบบควอดเรเจอร์ได้ โดยฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer function) ระหว่าง  $V_{o2}$  กับ  $V_{o1}$  คือ

$$\frac{V_{o2}(s)}{V_{o1}(s)} = \frac{g_{m1}}{sC_2} \quad (6)$$

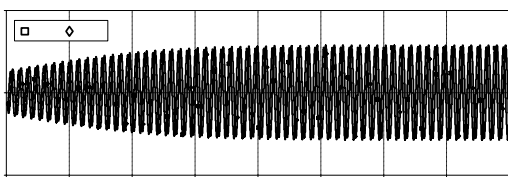
และในสภาวะคงตัว (Steady state) จะได้สมการที่ (6) เป็น

$$\frac{V_{o2}(j\omega)}{V_{o1}(j\omega)} = \frac{g_{m1}}{j\omega C_2} e^{-j90^\circ} \quad (7)$$

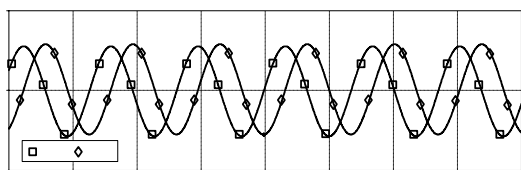
ความแตกต่างของเฟสระหว่าง  $V_{o2}$  กับ  $V_{o1}$  คือ

$$f = -90^\circ \quad (8)$$

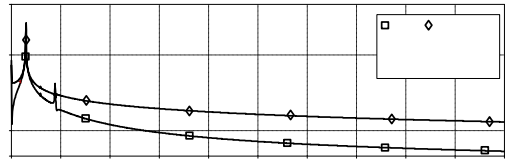
การทดสอบสมรรถนะการทำงานของวงจรในรูปที่ 2 ได้จำลองการทำงานและต่อวงจรทดสอบโดยใช้ OTA เบอร์ LM13700 แหล่งจ่ายแรงดัน  $\pm 5$  โวลต์ เพื่อความสะดวกในการจำลองการทำงานและต่อวงจรทดสอบได้เลือกค่าความต้านทาน  $R_1 = 1k\Omega$ ,  $C_1 = C_2 = 2nF$  เนื่องจากเป็นค่ามาตรฐานที่หาได้ง่าย ส่วนกระแสไบอัส  $I_{B1} = I_{B2} = 100\mu A$  และ  $I_{B3} = 55\mu A$  รูปที่ 3 แสดงสัญญาณเอาต์พุตของวงจรในสภาวะชั่วคราว ส่วนรูปที่ 4 เป็นสัญญาณเอาต์พุตของวงจรในสภาวะคงตัว จะเห็นได้ว่าสัญญาณเอาต์พุตมีเฟสแตกต่างกัน  $90^\circ$



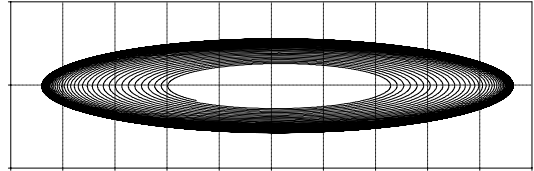
รูปที่ 3 สัญญาณเอาต์พุตในสภาวะชั่วคราว



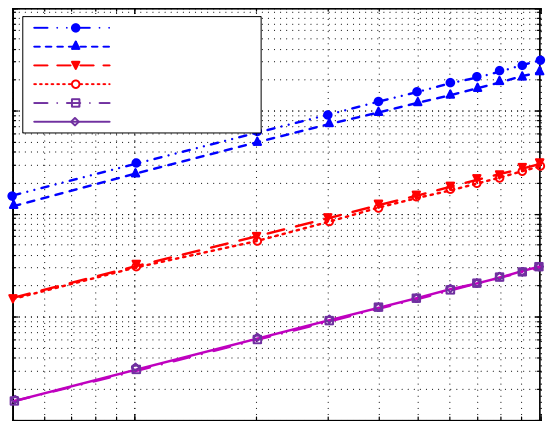
รูปที่ 4 สัญญาณเอาต์พุตในสภาวะคงตัว



รูปที่ 5 สเปกตรัมของสัญญาณเอาต์พุต



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างเฟสของสัญญาณเอาต์พุต



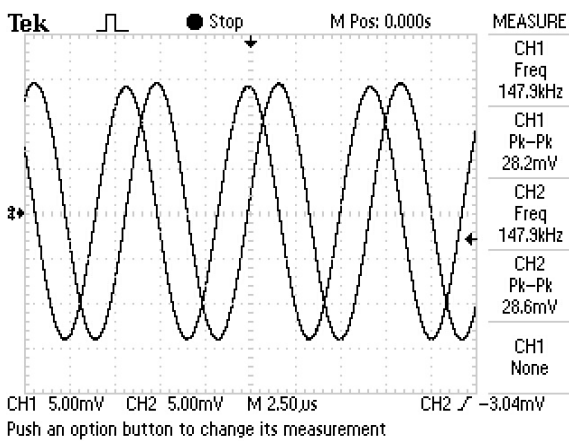
รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ของความถี่ของสัญญาณกับกระแสไบอัส  $I_{B1}, I_{B2}$  เมื่อค่าความจุแตกต่างกัน

รูปที่ 5 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณเอาต์พุต จะเห็นได้ว่ามีค่าความผิดเพี้ยนรวม (Total Harmonic Distortion: THD) ของสัญญาณประมาณ 1.037% ที่ความถี่ 147.870kHz. รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเฟสของสัญญาณเอาต์พุตโดยใช้การวัดความสัมพันธ์ทางเฟสแบบลิซซาจูด (Lissagous)

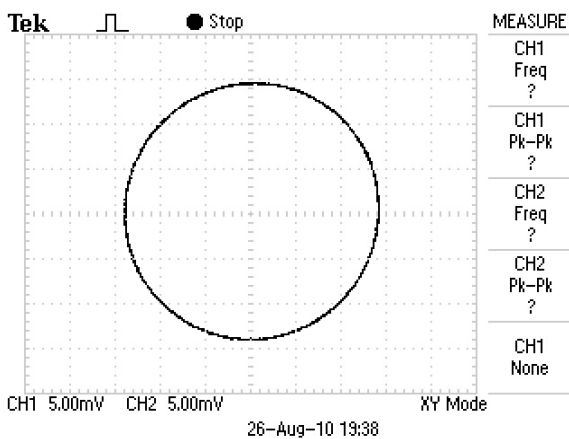
ส่วนรูปที่ 7 เป็นการยืนยันให้เห็นว่าความถี่ของสัญญาณสามารถปรับได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์โดยการปรับกระแสไบอัส  $I_{B1}$  กับ  $I_{B2}$  เมื่อค่าความจุมีค่าแตกต่างกัน



ผลการต่อวงจรทดสอบการทำงานของวงจรเป็นการยืนยันว่าวงจรที่ออกแบบสามารถนำไปใช้งานได้จริง แสดงได้ดังรูปที่ 8 จะพบว่าสัญญาณทั้งสองมีความถี่เดียวกัน ส่วนรูปที่ 9 เป็นการทดสอบวัดความแตกต่างเฟสกันแบบลิตซาชจุด จะพบว่าสัญญาณมีเฟสแตกต่างกันประมาณ  $90^\circ$



รูปที่ 8 สัญญาณเอาต์พุต เมื่อต่อวงจรทดสอบ



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างเฟสของสัญญาณเอาต์พุต เมื่อต่อวงจรทดสอบ

#### 4. สรุป

บทความนี้นำเสนอการศึกษาเปรียบเทียบเทคนิคการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ 6 วิธีจากการเปรียบเทียบจุดเด่นและด้อยของแต่ละเทคนิค

ในตารางที่ 2 พบว่า ส่วนมากสามารถปรับเฟสและความถี่ในการกำเนิดสัญญาณได้อย่างอิสระจากกัน ยกเว้นเทคนิคที่ 4 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่สร้างจากวงจรกรองผ่านทุกความถี่อันดับหนึ่งกับวงจรอินทิเกรเตอร์ แม้เทคนิคนี้จะมีข้อดีตามที่กล่าวมา แต่โครงสร้างของเทคนิคนี้ไม่ซับซ้อนทำให้เมื่อนำไปออกแบบวงจรใช้อุปกรณ์จำนวนน้อยกว่า ในส่วนของตัวอย่างในการออกแบบวงจรได้เลือกใช้เทคนิควงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ที่สร้างจากตัวต้านทานแบบลบโดยใช้ OTA เป็นอุปกรณ์แอกทีฟหลัก จากผลการทดสอบวงจรที่ได้จากโปรแกรม PSPICE และการต่อวงจรจริงพบว่า เทคนิคนี้สามารถปรับเฟสในการกำเนิดสัญญาณไซน์ได้ที่ตัวต้านทานชนิดบวกและลบ ( $R_1$  และ  $OTA_3$ ) ขณะที่ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณไซน์สามารถปรับได้ที่ค่าความเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ ( $OTA_1$ ,  $OTA_2$ ,  $C_1$  และ  $C_2$ )

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

บทความวิชาการนี้ได้รับการสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์ ที่ให้คำแนะนำมาโดยตลอด และขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิที่ให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะในการเขียนบทความ

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] มนตรี สมดุลยกันก, พฤษส์ ล้อมเตตา และพิพัฒน์ พรหมมี, “วงจรถ่ายสัญญาณรูปไซน์แบบควอดเรเจอร์รูปแบบกระแสโดยใช้อินทิเกรเตอร์และดิฟเฟอเรนทิเอเตอร์” วารสารวิชาการ

พระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 18 ฉบับที่ 3  
พ.ศ. 2551

- [2] M. T. Abuelma'atti and A. Bentrchia, "A New mixed-mode OTA-C filter/oscillator circuit", *J. of Active and Passive Electronic Devices*. Vol. 3, 211–221, 2008.
- [3] B. Knobnob and M. Kumngern, "Electronically Tunable Quadrature Oscillator with Voltage and Current Outputs", *6th International Conference on Electrical Engineering/ Electronics Computer Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON 2009)*, Pattaya, Thailand, May 6 – 9, 2009.
- [4] A. A. Khan, S. Bimal., K. K. Dey and S. S. Roy, "Novel RC sinusoidal oscillator using second-generation current conveyor", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 54, 2402-2406, 2005.
- [5] P. A. Martinez, J. Sabadell, C. Aldea and S. Celma, "Variable Frequency Sinusoidal Oscillators Based on CCII+", *IEEE Transactions on circuits and systems-I: fundamental theory and applications*, Vol. 46, No. 11, November 1999.
- [6] M. Kumngern, B. Knobnob and K. Dejhan, "Single-Resistance-Contralled Current-Mode Quadrature Sinusoidal Oscillator CCCII", *6th International Conference on Electrical Engineering/Electronics Computer Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON 2009)*, Pattaya, Thailand, May 6 – 9, 2009.
- [7] N. Minhaj, "Electronically tunable CCCII-based function generator", *International Conference on Control Automation Communication and Energy Conservation 2009 (INCACEC 2009)*, June 4-6, 2009.
- [8] P. Prommee, M. Somdunayakanok and K. Angkeaw, "CCCI-based Multiphase Sinusoidal Oscillator Employing High-pass Sections", *6th International Conference on Electrical Engineering/Electronics Computer Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON 2009)*, Pattaya, Thailand, May 6 – 9, 2009.
- [9] S. Roman, S. Josef and D. Tomas, "Tunable oscillator using two CCTA-s and only grounded passive elements", *9th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC2010)*, May 16-19, 2010.
- [10] W. Jaikla, P. Silapan, C. Chanapromma and M. Siripruchyanun, "Practical Implementation of CCTA Based on Commercial CCII and OTA", *2008 The International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS2008)*, Bangkok, THAILAND, December 8 – 11, 2008.

- [11] A. Uygur and H. Kuntman, "CDTA-based quadrature oscillator design". *14th European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2006)*, Florence, Italy, September 4-8, 2006.
- [12] J. Horng, "Current-Mode Third-Order Quadrature Oscillator Using CDAs", *Active and Passive Electronic Components*, Vol. 2009, 1-5, 2009.
- [13] J. Horng, H. Lee, and J. Wu, "Electronically Tunable Third-Order Quadrature Oscillator Using CDAs", *Radioengineering*, Vol. 19, No. 2, June 2010, 326-330, 2010.
- [14] W. Jaikla, M. Siripruchyanun, J. Bajer and D. Birolek, "A Simple Current-Mode Quadrature Oscillator Using Single CDTA", *Radioengineering*, Vol. 17, No. 4, 33-40, 2008.
- [15] A. U. Keskin and D. Birolek, "Current mode quadrature oscillator using current differencing transconductance amplifiers (CDTA)", *IEE Proc.-Circuits Devices Syst*, Vol. 153, No. 3, 214-218, June 2006.
- [16] A. Lahiri, "New current-mode quadrature oscillators using CDTA", *IEICE Electronics express*, Vol.6, No. 3. 135-140, 2009.
- [17] P. Kumar and R. Senani, "New grounded simulated inductance circuit using a single PFTFN", *Analog Integr Circ Sig Process*, Vol. 62, 105-112, 2010.
- [18] S. Maheshwari, "Current-mode third-order quadrature oscillator", *IET Circuits Devices Syst.*, Vol. 4, Iss. 3, 188-195, 2009.
- [19] A. Jantakun, N. Pisutthipong and M. Siripruchyanun, "An Active-only High Output-impedance Current-mode Universal Biquad Filter and Quadrature Oscillator Based on Lossless Differentiators", *7th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications, and Information Technology (ECTI-CON 2010)*, Chaigmai, Thailand, May19-21, 2010.