

## วงจรควอดราเจอร์ออสซิลเลเตอร์โดยใช้วงจร DDCC

มนตรี คำเงิน <sup>1)</sup>

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวงจรควอดราเจอร์ออสซิลเลเตอร์โดยใช้วงจร DDCC สองวงจรและใช้ตัวเก็บประจุและตัวต้านทานแบบต่อลงกราวด์อย่างละสองตัว วงจรที่นำเสนอสามารถกำเนิดสัญญาณเอ๊าท์พุทเป็นสัญญาณไซน์สองสัญญาณที่มีเฟสต่างกัน 90 องศา ค่าความถี่และเงื่อนไขการออสซิลเลทสามารถควบคุมได้อย่างอิสระจากกัน การใช้ตัวเก็บประจุและตัวต้านทานแบบต่อลงกราวด์ทำให้วงจรเหมาะกับการนำไปสร้างเป็นวงจรรวม โครงสร้างของวงจรที่นำเสนอสามารถสร้างได้ทั้งเทคโนโลยีซีมอสและไบโพลาร์ วงจรที่นำเสนอสามารถขยายเพิ่มเป็นวงจรออสซิลเลเตอร์สี่เอ๊าท์พุทที่มีเฟสต่างกัน 90 องศาได้โดยเพิ่มวงจร DDCC เข้าไปในวงจรอีกสองวงจร คุณสมบัติของวงจรออสซิลเลเตอร์ที่นำเสนอสามารถแสดงได้โดยการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSPICE ร่วมกับการวิเคราะห์ผลทางทฤษฎี

**คำสำคัญ:** วงจรควอดราเจอร์ออสซิลเลเตอร์ วงจรโหมดแรงดัน วงจร DDCC

---

<sup>1)</sup>อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 อีเมล: kkmontre@kmitl.ac.th

## Quadrature Oscillator Using DDCCs

Montree Kumngern<sup>\*1)</sup>

## Abstract

A new voltage-mode quadrature oscillator using two differential difference current conveyors (DDCCs), two grounded capacitors and two grounded resistors is presented, in this paper. The proposed circuit provides two output voltage sources with  $90^\circ$  phase difference. The oscillation frequency and oscillation condition are orthogonally controlled. The proposed circuit employs only grounded capacitors and resistors, which is ideal for integrated circuit implementation. Also, the proposed structure is eminently suitable fabrication both in CMOS and bipolar technologies. The theoretical results are verified by PSPICE simulation. In addition, the proposed oscillator can be easily expanded to four output voltage sources with  $90^\circ$  phase difference by using additional DDCCs.

**Keywords:** Quadrature oscillator, voltage-mode, DDCC

---

<sup>\*1)</sup> Lecturer, Department of Telecommunications Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520 E-mail: kkmontre@kmitl.ac.th

## 1. บทนำ

วงจรถอดรดาเจอร์ออสซิลเลเตอร์โดยทั่วไปคือวงจรถูกให้สัญญาณทางเอาต์พุตสองสัญญาณที่มีเฟสต่างกัน 90 องศา ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้ในระบบโทรคมนาคมและระบบการวัด เช่น เป็นตัวผสมสัญญาณแบบควอดรดาเจอร์และเป็นตัวกำเนิดสัญญาณซิงเกิลไซด์แบนด์ในระบบโทรคมนาคมหรือเป็นตัวกำเนิดสัญญาณแบบเวกเตอร์ (Vector generator) ในระบบเครื่องมือวัด เป็นต้น ดังนั้นจึงมีวงจรถอดรดาเจอร์ออสซิลเลเตอร์นำเสนอมากมายโดยใช้อุปกรณ์แอ็กทีฟที่แตกต่างกัน บทความใน (Chen et al., 1991), (Abuelma'atti, 1992) นำเสนอวงจรถอดรดาเจอร์ออสซิลเลเตอร์โดยใช่วงจรตาม กระแส (Current Follower) บทความใน (Ahmed et al., 1997), (Prommee and Dejhan, 2002) ใช่วงจรออปเปอร์เรชันแนลทรานส์คอนดักแตนซ์แอมพลิไฟเออร์เป็นอุปกรณ์พื้นฐาน บทความใน (Liu and Liao, 1996) นำเสนอวงจรถอดรดาเจอร์ออสซิลเลเตอร์โดยใช่วงจร FTFN (Four-Terminal Floating Nullor) เพียงตัวเดียว วงจรถอดรดาเจอร์ออสซิลเลเตอร์โดยใช่วงจรสายพานกระแสได้นำเสนอไว้ใน (Toker et al., 2001) (Horng et al., 2005) (Maheshwari and Khan, 2006) (Horng et al., 2006) วงจร CDTA (Current Differencing Transconductance Amplifier) ได้ถูกนำมาสร้างเป็นวงจรถอดรดาเจอร์ออสซิลเลเตอร์นำเสนอไว้ใน (Keskin and Bielek, 2006) ในขณะที่ (Horng, 2002) (Horng, 2003) นำเสนอวงจรถอดรดาเจอร์ออสซิลเลเตอร์โดยใช่วงจร DVCC (Differential Voltage Current Conveyor) และวงจรถอดรดาเจอร์ออสซิลเลเตอร์โดยใช่วงจร CDBA (Current Differencing Buffered Amplifier) ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามวงจรถอดรดาเจอร์ออสซิลเลเตอร์โดยใช่วงจรที่กล่าวมาทั้งหมดมักจะใช้ใช้อุปกรณ์พาสซีฟทั้งแบบต่อลงกราวด์และไม่ต่อลงกราวด์มากเกินไป วงจรถอดรดาเจอร์ออสซิลเลเตอร์ที่ใช้อุปกรณ์พาสซีฟแบบลอยตัวเป็นวงจรถอดรดาเจอร์ออสซิลเลเตอร์ที่สามารถปรับค่าความถี่ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ ส่วนวงจรถอดรดาเจอร์ออสซิลเลเตอร์โดยใช่วงจร DDCC เป็นวงจรถอดรดาเจอร์ออสซิลเลเตอร์ที่นำเสนอโดย (Chen et al., 1991) (Abuelma'atti, 1992) (Liu and Liao, 1996) (Toker et al., 2001) เป็นวงจรถอดรดา

เจอร์ออสซิลเลเตอร์ในขณะที่ยังคงอยู่ใน (Prommee and Dejhan, 2002) (Maheshwari and Khan, 2006) (Horng et al., 2006) เป็นวงจรถอดรดาเจอร์ออสซิลเลเตอร์ที่ใช้อุปกรณ์แอ็กทีฟมากกว่าสองวงจรถอดรดาเจอร์ โดยวงจรถอดรดาเจอร์ (Prommee and Dejhan, 2002) ใช่วงจรออปเปอร์เรชันแนลทรานส์คอนดักแตนซ์แอมพลิไฟเออร์สามวงจรถอดรดาเจอร์ ในขณะที่วงจรถอดรดาเจอร์ออสซิลเลเตอร์ใน (Maheshwari and Khan, 2006) ใช่วงจรสายพานกระแสที่ควบคุมด้วยกระแสสี่วงจรถอดรดาเจอร์และวงจรถอดรดาเจอร์ใน (Horng et al., 2006) ใช่วงจรสายพานกระแสสามวงจรถอดรดาเจอร์

บทความนี้นำเสนอวงจรถอดรดาเจอร์ออสซิลเลเตอร์ที่ทำงานในแบบสัญญาณแรงดันโดยใช่วงจร DDCC ที่นำเสนอไว้ใน (Chiu et al., 1996) สองวงจรถอดรดาเจอร์และใช้ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุแบบต่อลงกราวด์อย่างละสองตัวเพื่อกำเนิดสัญญาณเอาต์พุตสองเอาต์พุตที่มีเฟสต่างกัน 90 องศา ค่าความถี่ของวงจรถอดรดาเจอร์และเงื่อนไขของวงจรถอดรดาเจอร์สามารถควบคุมได้โดยอิสระจากกัน การใช้ตัวเก็บประจุแบบต่อลงกราวด์ทำให้วงจรถอดรดาเจอร์เหมาะสมกับการนำไปสร้างเป็นวงจรถอดรดาเจอร์รวม การปรับค่าความถี่ของวงจรถอดรดาเจอร์ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์สามารถทำได้โดยการแทนตัวต้านทานด้วยเจเพทหรือมอสเฟท (Horng, 2002) (Horng, 2003) วงจรถอดรดาเจอร์ออสซิลเลเตอร์ที่นำเสนอสามารถสร้างขยายเป็นวงจรถอดรดาเจอร์ออสซิลเลเตอร์สี่เอาต์พุตที่มีเฟสต่างกัน 90 องศาได้โดยการใช้วงจรถอดรดาเจอร์ DDCC เพิ่มอีกสองวงจรถอดรดาเจอร์

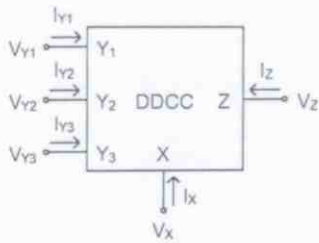
## 2. วงจรถอดรดาเจอร์ที่นำเสนอ

รูปที่ 1 แสดงสัญลักษณ์ทางไฟฟ้าของวงจรถอดรดาเจอร์ DDCC (Chiu et al., 1996) ความสัมพันธ์ทางไฟฟ้าชั่วคราวของวงจรถอดรดาเจอร์ DDCC สามารถแสดงได้คือ

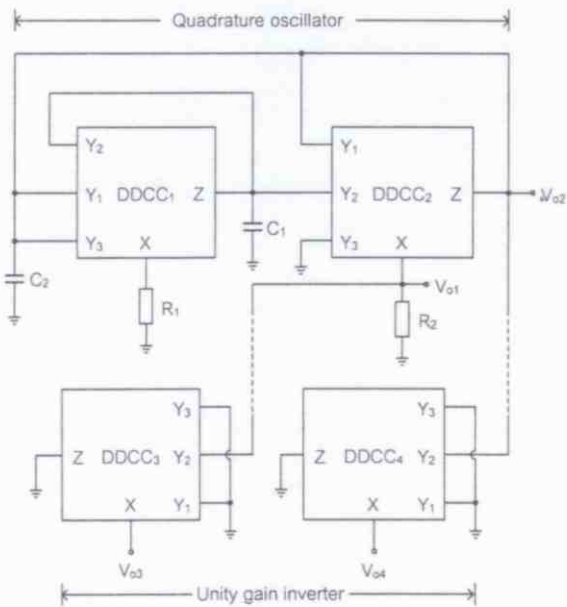
$$\begin{pmatrix} V_X \\ I_{Y_1} \\ I_{Y_2} \\ I_{Y_3} \\ I_Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_{Y_1} \\ V_{Y_2} \\ V_{Y_3} \\ I_X \end{pmatrix} \quad (1)$$

วงจรถอดรดาเจอร์ DDCC เป็นวงจรถอดรดาเจอร์ที่มีอินพุตสามอินพุตคืออินพุต  $Y_1$ ,  $Y_2$  และ  $Y_3$  โดยแต่ละอินพุตจะมีอิมพีแดนซ์สูงมาก ส่วนที่อินพุต  $X$  เป็นเอาต์พุตแรงดันที่กำหนดได้คือ  $V_X = V_{Y_1} - V_{Y_2} + V_{Y_3}$  ในขณะที่เดียวกันถ้าป้อนกระแสเข้าที่อินพุต  $X$  จะได้กระแสที่

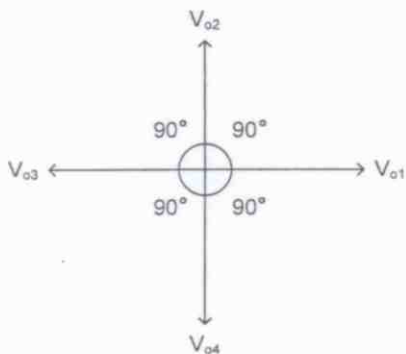
ขั้ว Z เท่ากับกระแสที่ขั้ว X ( $I_z = I_x$ ) จากคุณสมบัติดังกล่าวที่ขั้ว X จึงควรมีอิมพีแดนซ์ที่ต่ำส่วนที่ขั้ว Z ควรมีอิมพีแดนซ์ที่สูง



รูปที่ 1 สัญลักษณ์ของวงจร DDCC



รูปที่ 2 วงจรควบคุมแอมพลิจูดของออสซิลเลเตอร์ที่นำเสนอส



รูปที่ 3 เฟสเซอร์ไดอะแกรมแรงดันเอาต์พุตของวงจรออสซิลเลเตอร์ในรูปที่ 2

จากหลักการของวงจรออสซิลเลเตอร์ที่นำเสนอส (Ahmed et al., 1997) คือวงจรควบคุมแอมพลิจูดของออสซิลเลเตอร์สามารถสร้างขึ้นด้วยการต่อคาบคอดกันระหว่าง

วงจรกรองผ่านทุกความถี่และวงจรอินทิเกรเตอร์แบบไม่มีการสูญเสียแล้วป้อนกลับ วงจรกรองความถี่ผ่านทุกความถี่คือวงจรที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานในการประมวลผลสัญญาณแบบอนาล็อก ที่ผ่านมามีวงจรกรองผ่านทุกความถี่ที่นำเสนอไว้มากมายหลายวงจรในวารสารต่างๆ ตัวอย่างเช่น (Cicekoglu et al., 1999) (Maheshwari et al., 2003) (Maheshwari, 2005) แต่วงจรเหล่านี้มักใช้ตัวเก็บประจุและตัวต้านทานแบบไม่ต่อลงกราวด์ทำให้ไม่เหมาะกับการนำมาสร้างเป็นวงจรควอดราเจอร์ออสซิลเลเตอร์ที่เหมาะสมกับการนำไปสร้างเป็นวงจรรวม

โดยใช้หลักการใน (Ahmed et al., 1997) และคุณสมบัติของวงจร DDCC ที่นำเสนอใน (Chiu et al., 1996) วงจรควอดราเจอร์ออสซิลเลเตอร์ที่นำเสนอสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2 วงจรออสซิลเลเตอร์ที่ให้สัญญาณเอาต์พุตแบบควอดราเจอร์สองเอาต์พุตประกอบด้วยวงจร DDCC<sub>1</sub> และ DDCC<sub>2</sub> ตัวเก็บประจุ C<sub>1</sub> และ C<sub>2</sub> และตัวต้านทาน R<sub>1</sub> และ R<sub>2</sub> วงจร DDCC<sub>1</sub>, DDCC<sub>2</sub> และ R<sub>1</sub>C<sub>1</sub> จะถูกต่อเป็นวงจรกรองผ่านทุกความถี่ ส่วน R<sub>2</sub>C<sub>2</sub> และ DDCC<sub>2</sub> ทำงานเป็นวงจรอินทิเกรเตอร์แบบไม่มีการสูญเสีย สมการคุณสมบัติของวงจรควอดราเจอร์ออสซิลเลเตอร์ในรูปที่ 2 สามารถแสดงได้เป็น

$$s^2 C_1 C_2 R_1 R_2 + s(C_2 R_2 - C_1 R_1) + 1 = 0 \tag{2}$$

ดังนั้นเงื่อนไขของการออสซิลเลชันสามารถกำหนดได้คือ

$$C_2 R_2 = C_1 R_1 \tag{3}$$

และค่าความถี่ของการออสซิลเลชันมีค่าเท่ากับ

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{C_1 C_2 R_1 R_2}} \tag{4}$$

ความต่างเฟสระหว่างแรงดันที่โหนด V<sub>01</sub> และ V<sub>02</sub> สามารถกำหนดได้คือ

$$V_{02} = -s R_2 C_2 V_{01} \tag{5}$$

ดังนั้นสัญญาณ V<sub>01</sub> และ V<sub>02</sub> จึงมีคุณสมบัติแบบควอดราเจอร์ ค่าเงื่อนไขการออสซิลเลชันสามารถปรับได้โดยปรับค่า C<sub>1</sub> หรือ C<sub>2</sub> ในขณะที่ค่าความถี่ของการออสซิลเลชันสามารถปรับค่าได้โดยเปลี่ยนค่า R (R=R<sub>1</sub>=R<sub>2</sub>) เป็นค่าต่างๆ จากรูปที่ 2 เมื่อ R<sub>1</sub> และ R<sub>2</sub> เป็นตัวต้านทานแบบต่อลงกราวด์ดังนั้นถ้าแทน R<sub>1</sub> และ R<sub>2</sub> ด้วยเจฟเฟอร์หรือ

มอสเฟต วงจรในรูปที่ 2 จะกลายเป็นวงจรควบคุมแรงจอร์ออกซิลเลเตอร์แบบควบคุมด้วยแรงดัน (Horng, 2002) (Horng, 2003)

จากคุณสมบัติของวงจร DDCC เมื่อป้อนสัญญาณอินพุตเข้าที่ขั้ว  $Y_2$  จะได้สัญญาณที่ขั้ว X ที่มีเฟสต่างจากอินพุต 180 องศา ดังนั้นเมื่อใช้วงจร DDCC สองวงจร โดยกำหนดขั้ว  $Y_1$  และ  $Y_3$  ต่อกันกราวดินในขณะที่ให้ขั้ว X เป็นเอาต์พุตและนำขั้ว  $Y_2$  ของวงจร DDCC<sub>3</sub> และ DDCC<sub>4</sub> ทั้งสองมาต่อที่โนด  $V_{o1}$  และ  $V_{o2}$  ตามลำดับ จะทำให้ได้สัญญาณเอาต์พุต  $V_{o3}$  และ  $V_{o4}$  ที่มีเฟสต่างกัน 180 องศา กับ  $V_{o1}$  และ  $V_{o2}$  ตามลำดับ ซึ่งเฟสเซอร์โคอะแกรมของแรงดันเอาต์พุตทั้งสองสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3

### 3. วิเคราะห์คุณสมบัติของวงจร

จากการทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันก่อนหน้านี้ สมมติว่าวงจร DDCC มีคุณสมบัติเป็นอุดมคติ แต่ความจริงแล้วในทางปฏิบัติการส่งผ่านแรงดันและกระแสของวงจร DDCC จะไม่เป็นอุดมคติ แต่จะมีความผิดพลาดในการส่งผ่านเกิดขึ้น ถ้ารวมค่าพารามิเตอร์ที่ไม่เป็นอุดมคติของวงจร DDCC ไว้ในการคำนวณ สมการที่ (1) จะสามารถเขียนใหม่ได้คือ

$$\begin{pmatrix} V_x \\ I_{Y1} \\ I_{Y2} \\ I_{Y3} \\ I_Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_{kp} & -\alpha_{kn} & \alpha_{kp} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \beta_k \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_{Y1} \\ V_{Y2} \\ V_{Y3} \\ I_x \end{pmatrix} \quad (6)$$

โดยที่  $\alpha_{kp}=1-\epsilon_p$  เมื่อ  $|\epsilon_p| \ll 1$  แสดงค่า Voltage Tracking Error ของขั้ว  $V_{Y1}$  และ  $V_{Y3}$  ต่อขั้ว  $V_x$   $\alpha_{kn}=1-\epsilon_n$  และ  $|\epsilon_n| \ll 1$  แสดงค่า Voltage Tracking Error ของขั้ว  $V_{Y2}$  ต่อขั้ว  $V_x$  และ  $\beta_k=1-\delta_1$  และ  $|\delta_1| \ll 1$  แสดงค่า Current Tracking Error ของวงจร DDCC วงจรที่ k เมื่อใช้สมการที่ (6) สมการคุณสมบัติของวงจรออกซิลเลเตอร์ในรูปที่ 2 สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$s^2 C_1 C_2 R_1 R_2 + s(C_2 R_2 \beta_1 \alpha_{1n} - C_1 R_1 \beta_2 \alpha_{xy}) + (2\beta_1 \beta_2 \alpha_{1p} \alpha_{xy} - \beta_1 \alpha_{1n} \alpha_{xy}) = 0 \quad (7)$$

โดยที่  $\alpha_{xy}=\alpha_{2p}-\alpha_{2n}$  ดังนั้นค่าเงื่อนไขและความถี่การออกซิลเลทจะเขียนใหม่ได้คือ

$$C_2 R_2 \beta_1 \alpha_{1n} = C_1 R_1 \beta_2 \alpha_{xy} \quad (8)$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{2\beta_1 \beta_2 \alpha_{1p} \alpha_{xy} - \beta_1 \alpha_{1n} \alpha_{xy}}{C_1 C_2 R_1 R_2}} \quad (9)$$

จากสมการที่ (8) และ (9) แสดงได้ว่าค่า Tracking Error ของวงจร DDCC มีผลกระทบทำให้ต่อเงื่อนไขการออกซิลเลทและความถี่ของการออกซิลเลทเปลี่ยนไป แต่ค่าความถี่ของการออกซิลเลทและเงื่อนไขของการออกซิลเลทยังคงสามารถปรับค่าได้โดยอิสระจากกัน เช่นเดิม เงื่อนไขการออกซิลเลทของวงจรที่เปลี่ยนแปลงไปอาจจะสามารถแก้ไขได้โดยกำหนดค่า  $C_1$  ต่อ  $C_2$  ให้เหมาะสม จากสมการที่ (9) ค่าความไวของอุปกรณ์แอกทิฟและพาสซีฟของวงจรควบคุมแรงจอร์ออกซิลเลเตอร์ที่นำเสนอดังกล่าว  $\omega_0$  มีค่าอยู่ในช่วง -0.5 ถึง 0.5

### 4. การจำลองการทำงาน

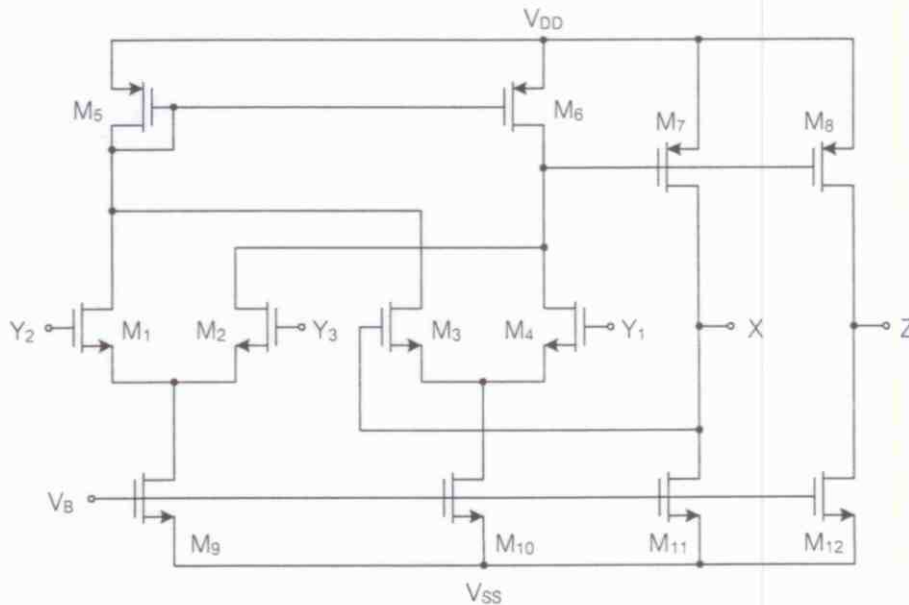
เพื่อทดสอบวงจรควบคุมแรงจอร์ออกซิลเลเตอร์ที่นำเสนอดังกล่าวออกซิลเลเตอร์ในรูปที่ 2 จะถูกจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSPICE โดยใช้พารามิเตอร์ซีมอส 0.5 $\mu$ m จาก MIETEC ดังแสดงในตารางที่ 1 วงจร DDCC ที่ใช้ในการจำลองการทำงานแสดงดังรูปที่ 4 โดยใช้ค่าอัตราส่วน W/L ของมอสทรานซิสเตอร์ตาม (Minaei and Ibrahim, 2005) ดังแสดงในตารางที่ 2 กำหนดแหล่งจ่ายแรงดัน  $\pm 2V$  และแรงดันไบอัส  $V_{bb}$  เท่ากับ  $-1.2V$  รูปที่ 5 แสดงสัญญาณแรงดันเอาต์พุตแบบควบคุมแรงจอร์ออกซิลเลเตอร์ในรูปที่ 2 เมื่อกำหนดค่าการออกแบบ  $C_1$  เท่ากับ 115pF ในขณะที่  $C_2$  เท่ากับ 80pF ส่วน  $R_1$  และ  $R_2$  เท่ากับ 25k $\Omega$  ในการออกแบบกำหนดให้ค่า  $C_1$  มีค่ามากกว่า  $C_2$  เพื่อให้แน่ใจได้ว่าวงจรจะเกิดการออกซิลเลทขึ้นอย่างแน่นอน จากรูปที่ 5 ความถี่มีค่าเท่ากับ 64kHz ในขณะที่ค่าที่ได้จากสมการที่ (4) คือ 66.37kHz รูปที่ 6 แสดงแรงดันเอาต์พุตที่โนด  $V_{o1}$   $V_{o2}$   $V_{o3}$  และ  $V_{o4}$  ของวงจรในรูปที่ 2 เมื่อใช้วงจร DDCC<sub>3</sub> และ DDCC<sub>4</sub> มาต่อเป็นวงจรถับเฟสสัญญาณ จากรูปสามารถแสดงได้ว่าวงจรที่นำเสนอสามารถให้สัญญาณเอาต์พุตสี่สัญญาณที่มีเฟสต่างกัน 90 องศา

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ที่ใช้จำลองการทำงาน

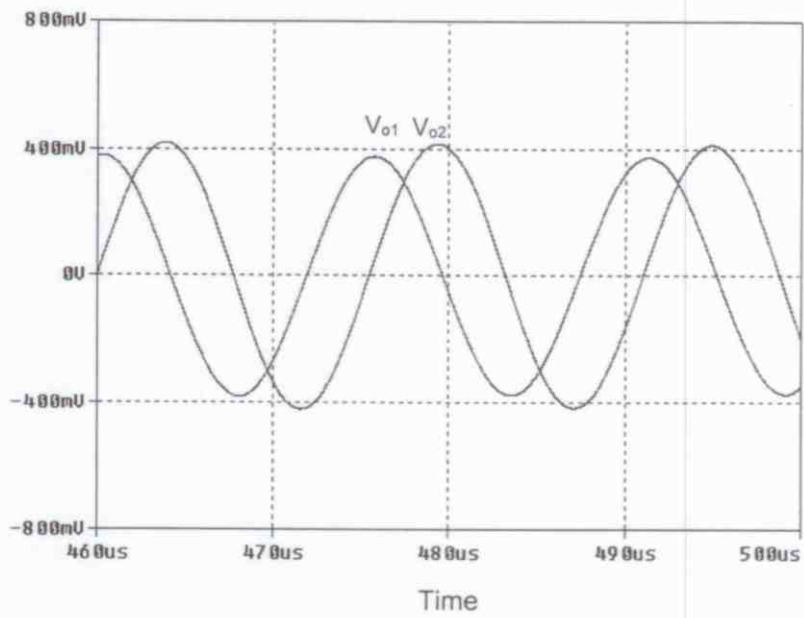
|  |
|--|
| .MODEL NMOS LEVEL=3 UO=460.5 TOX=1.0E-8 TPG=1 VTO=+0.62 JS=1.08E-6 XJ=0.15U RS=417<br>RSH=2.73 LD=0.04U VMAX=130E3 NSUB=1.71E17 PB=0.761 ETA=0.00 THETA=0.129 PHI=0.905<br>GAMMA=0.69 KAPPA=0.10 CJ=76.4E-5 MJ=0.357 CJSW=5.68E-10 MJSW=0.302 CGSO=1.38E-10<br>CGDO=1.38E-10 CGBO=3.45E-10 KF=3.07E-28 AF=1 WD=+0.11U DELTA=+0.42 NFS=1.2E11<br>DELL=0U LIS=2 ISTMP=10 TT=0.1E-9 |
| .MODEL PMOS LEVEL=3 UO=100 TOX=1.0E-8 TPG=1 VTO=-0.58 JS=0.38E-6 XJ=0.10U RS=886<br>RSH=1.81 LD=0.03U VMAX=113E3 NSUB=2.08E17 PB=0.911 ETA=00 THETA=0.120 PHI=0.905<br>GAMMA=0.76 KAPPA=2 CJ=85E-5 MJ=0.429 CJSW=4.67E-10 MJSW=0.631 CGSO=1.38E-10<br>CGDO=1.38E-10 CGBO=3.45E-10 KF=1.08E-29 AF=1 WD=+0.14U DELTA=0.81 NFS=0.52E11<br>DELL=0U LIS=2 ISTMP=10 TT=0.1E-9          |

ตารางที่ 2 ค่า W/L ของมอสทรานซิสเตอร์ในวงจร DDCC

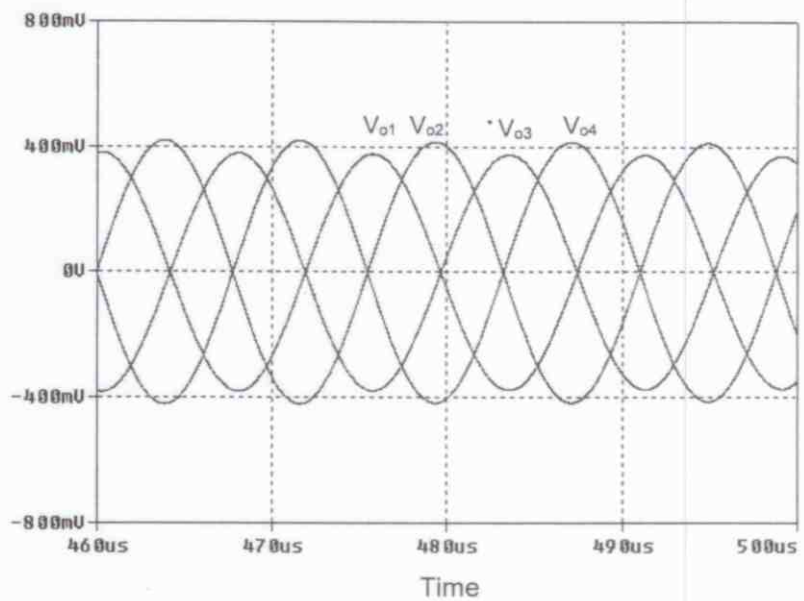
| ทรานซิสเตอร์ | W (μm) | L (μm) |
|--------------|--------|--------|
| M1-M4        | 1.6    | 1      |
| M5-M6        | 8      | 1      |
| M7-M8        | 20     | 1      |
| M9-M10       | 29     | 1      |
| M11-M12      | 90     | 1      |



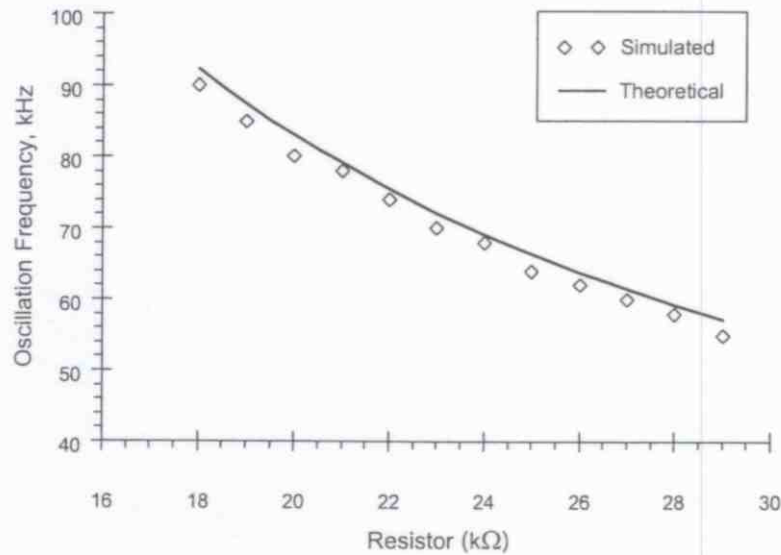
รูปที่ 4 วงจร DDCC ที่ใช้ในการจำลองการทำงานวงจรออสซิลเลเตอร์ที่นำเสนอ



รูปที่ 5 สัญญาณอินพุต  $V_{o1}$  และ  $V_{o2}$  เมื่อ  $C_1=115\text{pF}$   $C_2=80\text{pF}$  และ  $R_1=R_2=25\text{k}\Omega$



รูปที่ 6 สัญญาณที่อินพุต  $V_{o1}$   $V_{o2}$   $V_{o3}$  และ  $V_{o4}$  เมื่อใช่วงจร  $DDCC_3$  และ  $DDCC_4$



รูปที่ 7 การเปลี่ยนค่าความถี่การออสซิลเลตด้วยการเปลี่ยนค่าความต้านทานเป็นค่าต่างๆ

รูปที่ 7 แสดงผลการจำลองการทำงานเมื่อเปลี่ยนค่าความต้านทาน  $R$  ( $R=R_1=R_2$ ) จาก  $18\text{k}\Omega$  ถึง  $29\text{k}\Omega$  โดยกำหนดให้  $C_1=115\text{pF}$  และ  $C_2=80\text{pF}$  เช่นเดิม จากรูปที่ 7 ความถี่การออสซิลเลตที่ได้จากการจำลองการทำงานและค่าทางทฤษฎีแตกต่างกันเล็กน้อยซึ่งสาเหตุอาจจะมาจากค่า Tracking Error ของวงจร DDCC ซึ่งได้วิเคราะห์และแสดงไว้ตามสมการที่ (9)

## 5. สรุป

บทความนี้นำเสนอวงจรควอดราเจอร์ออสซิลเลเตอร์ที่ทำงานในโหมดแรงดันโดยใช้วงจร DDCC สองวงจรถูกเก็บประจุและตัวต้านทานแบบต่อลงกราวด์อย่างละสองตัว วงจรที่นำเสนอให้สัญญาณเอาต์พุตแรงดันมีเฟสต่างกัน 90 องศา ค่าความถี่การออสซิลเลตและเงื่อนไขการออสซิลเลตสามารถควบคุมได้โดยอิสระจากกัน ถ้าต้องการวงจรควอดราเจอร์ออสซิลเลเตอร์ที่สามารถปรับค่าความถี่การออสซิลเลตได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์สามารถทำได้โดยแทนตัวต้านทานทั้งสองด้วยเจเพทหรือมอสเฟต โครงสร้างวงจรที่นำเสนอสามารถนำไปสร้างเป็นวงจรรวมได้ทั้งเทคโนโลยีซีมอสและไบโพลาร์และถ้าต้องการสัญญาณเอาต์พุตเฟสสามารถสร้างได้โดยเพิ่มวงจรกลับขั้วสัญญาณที่สร้างจากวงจร DDCC เข้าไปอีกสองวงจร

## 6. เอกสารอ้างอิง

- Abuelma'atti M. T., 1992. "Grounded capacitor current-mode oscillator using single current follower." IEEE Transactions on Circuits and Systems-I. 39: 1018-1020.
- Ahmed M. T., Khan I. A., and Minhaj N. 1997. "On transconductance-C quadrature oscillators." International Journal of Electronics. 83: 201-207.
- Chen J.-J., Chen C.-C., Tsao H.-W., and Liu S.-I. 1991. "Current-mode oscillators using single current follower." Electronics Letters. 27: 2056-2059.
- Chiu W., Liu S.-I., Tsao H.-W., and Chen J.-J. 1996. "CMOS differential difference current conveyors and their applications." IEE Proceeding-Circuits Devices and Systems. 143: 91-96.
- Cicekoglu O., Kuntman H., and Berk S. 1999. "All-pass using a single current conveyor." International Journal of Electronics. 86: 947-955.



