

วงจรควอดราเจอร์ออสซิลเลเตอร์โดยใช้วงจร DDCC

มนตรี คำเงิน ¹⁾

บทคัดย่อ

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

คำสำคัญ: วงจรควอดราเจอร์ออสซิลเลเตอร์ วงจรโหมดแรงดัน วงจร DDCC

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

Quadrature Oscillator Using DDCCs

Montree Kumngern^{*1)}

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° 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° phase difference by using additional DDCCs.

Keywords: Quadrature oscillator, voltage-mode, DDCC

^{*1)} 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

วงจรควอดราเจอร์ออสซิลเลเตอร์โดยทั่วไปคือวงจรที่ให้สัญญาณทางเอาต์พุตสองสัญญาณที่มีเฟสต่างกัน 90 องศา ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้ในระบบโทรคมนาคมและระบบการวัด เช่น เป็นตัวผสมสัญญาณแบบควอดราเจอร์และเป็นตัวกำเนิดสัญญาณซิงเกิลไซด์แบนด์ในระบบโทรคมนาคมหรือเป็นตัวกำเนิดสัญญาณแบบเวกเตอร์ (Vector generator) ในระบบเครื่องมือวัด เป็นต้น ดังนั้นจึงมีวงจรควอดราเจอร์ออสซิลเลเตอร์นำเสนอมากมายโดยใช้อุปกรณ์แอ็กทิฟที่แตกต่างกัน บทความใน (Chen et al., 1991), (Abuelma'atti, 1992) นำเสนอวงจรควอดราเจอร์ออสซิลเลเตอร์โดยใช้วงจรตาม กระแส (Current Follower) บทความใน (Ahmed et al., 1997), (Prommee and Dejhan, 2002) ใช้วงจรออปเปอร์เรชันแนลทรานส์คอนดักแตนซ์แอมพลิไฟเออร์เป็นอุปกรณ์พื้นฐาน บทความใน (Liu and Liao, 1996) นำเสนอวงจรควอดราเจอร์ออสซิลเลเตอร์โดยใช้วงจร FTFN (Four-Terminal Floating Nullor) เพียงตัวเดียว วงจรควอดราเจอร์ออสซิลเลเตอร์โดยใช้วงจรสายพานกระแสได้นำเสนอไว้ใน (Toker et al., 2001) (Horng et al., 2005) (Maheshwari and Khan, 2006) (Horng et al., 2006) วงจร CDTA (Current Differencing Transconductance Amplifier) ได้ถูกนำมาสร้างเป็นวงจรควอดราเจอร์ออสซิลเลเตอร์นำเสนอไว้ใน (Keskin and Biolek, 2006) ในขณะที่ (Horng, 2002) (Horng, 2003) นำเสนอวงจรควอดราเจอร์ออสซิลเลเตอร์โดยใช้วงจร DVCC (Differential Voltage Current Conveyor) และวงจร CDBA (Current Differencing Buffered Amplifier) ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามวงจรที่กล่าวมาทั้งหมดมักจะใช้อุปกรณ์พาสซีฟทั้งแบบต่อลงกราวด์และไม่ต่อลงกราวด์มากเกินไป วงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้อุปกรณ์พาสซีฟแบบลอยตัวเป็นวงจรที่ไม่เหมาะกับการนำไปสร้างเป็นวงจรรวมและยากต่อการสร้างเป็นวงจรออสซิลเลเตอร์ที่สามารถปรับค่าความถี่ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ ส่วนวงจรใน (Chen et al., 1991) (Abuelma'atti, 1992) (Liu and Liao, 1996) (Toker et al., 2001) เป็นวงจรที่มี

โครงสร้างซับซ้อน ในขณะที่วงจรใน (Prommee and Dejhan, 2002) (Maheshwari and Khan, 2006) (Horng et al., 2006) เป็นวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้อุปกรณ์แอ็กทิฟมากกว่าสองวงจร โดยวงจรใน (Prommee and Dejhan, 2002) ใช้วงจรออปเปอร์เรชันแนลทรานส์คอนดักแตนซ์แอมพลิไฟเออร์สามวงจร ในขณะที่วงจรออสซิลเลเตอร์ใน (Maheshwari and Khan, 2006) ใช้วงจรสายพานกระแสที่ควบคุมด้วยกระแสสลับและวงจรใน (Horng et al., 2006) ใช้วงจรสายพานกระแสสามวงจร

บทความนี้นำเสนอวงจรควอดราเจอร์ออสซิลเลเตอร์ที่ทำงานในแบบสัญญาณแรงดันโดยใช้วงจร DDCC ที่นำเสนอไว้ใน (Chiu et al., 1996) สองวงจรและใช้ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุแบบต่อลงกราวด์อย่างละสองตัวเพื่อกำเนิดสัญญาณเอาต์พุตสองเอาต์พุตที่มีเฟสต่างกัน 90 องศา ค่าความถี่ของการออสซิลเลทและเงื่อนไขของการออสซิลเลทสามารถควบคุมได้โดยอิสระจากกัน การใช้ตัวเก็บประจุแบบต่อลงกราวด์ทำให้วงจรที่นำเสนอเหมาะกับการนำไปสร้างเป็นวงจรรวม การปรับค่าความถี่ของการออสซิลเลทด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์สามารถทำได้โดยการแทนตัวต้านทานด้วยเจเพทหรือมอสเฟท (Horng, 2002) (Horng, 2003) วงจรออสซิลเลเตอร์ที่นำเสนอสามารถสร้างขยายเป็นวงจรควอดราเจอร์ออสซิลเลเตอร์สี่เอาต์พุตที่มีเฟสต่างกัน 90 องศาได้โดยการใช้วงจร DDCC เพิ่มอีกสองวงจร

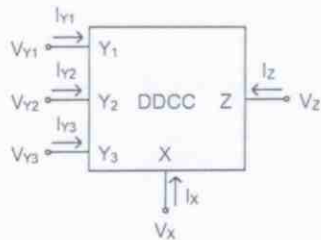
2. วงจรที่นำเสนอ

รูปที่ 1 แสดงสัญลักษณ์ทางไฟฟ้าของวงจร DDCC (Chiu et al., 1996) ความสัมพันธ์ทางไฟฟ้าชั่วคราวของวงจร DDCC สามารถแสดงได้คือ

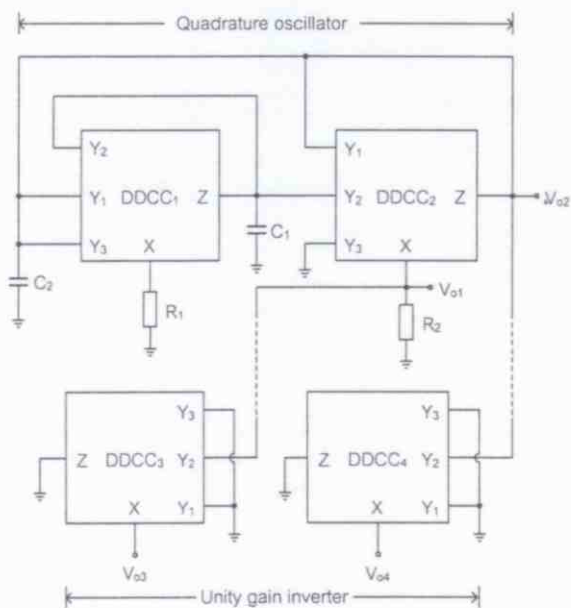
$$\begin{pmatrix} V_X \\ I_{Y1} \\ I_{Y2} \\ I_{Y3} \\ I_Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_{Y1} \\ V_{Y2} \\ V_{Y3} \\ I_X \end{pmatrix} \quad (1)$$

วงจร DDCC เป็นวงจรที่มีอินพุตสามอินพุตคือขั้ว Y_1 , Y_2 และ Y_3 โดยแต่ละอินพุตจะมีอิมพีแดนซ์สูงมาก ส่วนที่ขั้ว X เป็นเอาต์พุตแรงดันที่กำหนดได้คือ $V_X = V_{Y1} - V_{Y2} + V_{Y3}$ ในขณะเดียวกันถ้าป้อนกระแสเข้าที่ขั้ว X จะได้กระแสที่

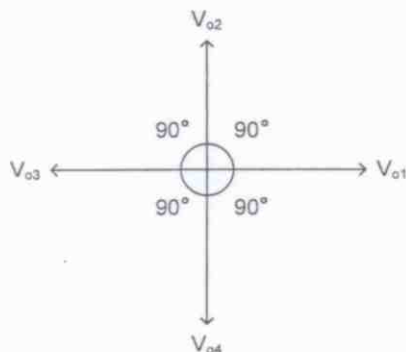
ขั้ว Z เท่ากับกระแสที่ขั้ว X ($I_Z = I_X$) จากคุณสมบัติดังกล่าวที่ขั้ว X จึงควรมีอิมพีแดนซ์ที่ต่ำส่วนที่ขั้ว Z ควรมีอิมพีแดนซ์ที่สูง



รูปที่ 1 สัญลักษณ์ของวงจร DDCC



รูปที่ 2 วงจรควบคุมความถี่ออสซิลเลเตอร์ที่นำเสนอ



รูปที่ 3 เฟสเซอร์ไดอะแกรมแรงดันเอาต์พุตของวงจรออสซิลเลเตอร์ในรูปที่ 2

จากหลักการของวงจรออสซิลเลเตอร์ที่นำเสนอใน (Ahmed et al., 1997) คือวงจรควบคุมความถี่ออสซิลเลเตอร์สามารถสร้างขึ้นด้วยการต่อคาบคอดกันระหว่าง

วงจรกรองผ่านทุกความถี่และวงจรอินทิเกรเตอร์แบบไม่มีการสูญเสียแล้วป้อนกลับ วงจรกรองความถี่ผ่านทุกความถี่คือวงจรที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานในการประมวลผลสัญญาณแบบอนาล็อก ที่ผ่านมามีวงจรกรองผ่านทุกความถี่นำเสนอไว้มากมายหลายวงจรในวารสารต่างๆ 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 DDCC₁ และ DDCC₂ ตัวเก็บประจุ C₁ และ C₂ และตัวต้านทาน R₁ และ R₂ วงจร DDCC₁, DDCC₂ และ R₁C₁ จะถูกต่อเป็นวงจรกรองผ่านทุกความถี่ ส่วน R₂C₂ และ DDCC₂ ทำงานเป็นวงจรอินทิเกรเตอร์แบบไม่มีการสูญเสีย สมการคุณสมบัติของวงจรควอดราเจอร์ออสซิลเลเตอร์ในรูปที่ 2 สามารถแสดงได้เป็น

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

ดังนั้นเงื่อนไขของการออสซิลเลชันสามารถกำหนดได้คือ

$$C_2 R_2 = C_1 R_1 \quad (3)$$

และค่าความถี่ของการออสซิลเลชันมีค่าเท่ากับ

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{C_1 C_2 R_1 R_2}} \quad (4)$$

ความต่างเฟสระหว่างแรงดันที่โหนด V_{o1} และ V_{o2} สามารถกำหนดได้คือ

$$V_{o2} = -s R_2 C_2 V_{o1} \quad (5)$$

ดังนั้นสัญญาณ V_{o1} และ V_{o2} จึงมีคุณสมบัติแบบควอดราเจอร์ ค่าเงื่อนไขการออสซิลเลชันสามารถปรับได้โดยปรับค่า C₁ หรือ C₂ ในขณะที่ค่าความถี่ของการออสซิลเลชันสามารถปรับค่าได้โดยเปลี่ยนค่า R (R=R₁=R₂) เป็นค่าต่างๆ จากรูปที่ 2 เมื่อ R₁ และ R₂ เป็นตัวต้านทานแบบต่อลงกราวด์ดังนั้นถ้าแทน R₁ และ R₂ ด้วยเฟดหรือ

มอสเฟต วงจรในรูปที่ 2 จะกลายเป็นวงจรควบคุมแรงดันอินพุตด้วยวงจร DDCC แบบควบคุมด้วยแรงดัน (Horng, 2002) (Horng, 2003)

จากคุณสมบัติของวงจร DDCC เมื่อป้อนสัญญาณอินพุตเข้าที่ขั้ว Y_2 จะได้สัญญาณที่ขั้ว X ที่มีเฟสต่างจากอินพุต 180 องศา ดังนั้นเมื่อใช้วงจร DDCC สองวงจร โดยกำหนดขั้ว Y_1 และ Y_3 ต่อลงกราวด์ในขณะที่ให้ขั้ว X เป็นเอาต์พุตและนำขั้ว Y_2 ของวงจร DDCC₃ และ DDCC₄ ทั้งสองมาต่อที่โหนด V_{o1} และ V_{o2} ตามลำดับ จะทำให้ได้สัญญาณเอาต์พุต V_{o3} และ V_{o4} ที่มีเฟสต่างกัน 180 องศา กับ V_{o1} และ V_{o2} ตามลำดับ ซึ่งเฟสเซอร์โตะแอมป์ของแรงดันเอาต์พุตทั้งสองสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 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 $\alpha_{kp}=1-\varepsilon_p$ เมื่อ $|\varepsilon_p| \ll 1$ แสดงค่า Voltage Tracking Error ของขั้ว V_{Y1} และ V_{Y3} ต่อขั้ว V_x $\alpha_{kn}=1-\varepsilon_n$ และ $|\varepsilon_n| \ll 1$ แสดงค่า Voltage Tracking Error ของขั้ว V_{Y2} ต่อขั้ว V_x และ $\beta_k=1-\delta_k$ และ $|\delta_k| \ll 1$ แสดงค่า Current Tracking Error ของวงจร DDCC วงจรที่ k เมื่อใช้สมการที่ (6) สมการคุณสมบัติของวงจรออสซิลเลเตอร์ในรูปที่ 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 $\alpha_{xy}=\alpha_{2p}-\alpha_{2n}$ ดังนั้นค่าเงื่อนไขและความถี่การออสซิลเลชันจะเขียนใหม่ได้คือ

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

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

จากสมการที่ (8) และ (9) แสดงได้ว่าค่า Tracking Error ของวงจร DDCC มีผลกระทบทำให้ต่อเงื่อนไขการออสซิลเลชันและความถี่ของการออสซิลเลชันเปลี่ยนไป แต่ค่าความถี่ของการออสซิลเลชันและเงื่อนไขของการออสซิลเลชันยังคงสามารถปรับค่าได้โดยอิสระจากกัน เช่นเดิม เงื่อนไขการออสซิลเลชันของวงจรที่เปลี่ยนแปลงไปอาจจะสามารถแก้ไขได้โดยกำหนดค่า C_1 ต่อ C_2 ให้เหมาะสม จากสมการที่ (9) ค่าความไวของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และพาสซีฟของวงจรควบคุมแรงดันอินพุตด้วยวงจร DDCC ที่มีค่าอยู่ในช่วง -0.5 ถึง 0.5

4. การจำลองการทำงาน

เพื่อทดสอบวงจรควบคุมแรงดันอินพุตด้วยวงจร DDCC นำเสนอวงจรออสซิลเลเตอร์ในรูปที่ 2 จะถูกจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSPICE โดยใช้พารามิเตอร์ออสซิลเลชันจาก 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 แสดงสัญญาณแรงดันเอาต์พุตแบบควบคุมแรงดันอินพุตของวงจรในรูปที่ 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 เพื่อให้แน่ใจได้ว่าวงจรจะเกิดการออสซิลเลชันอย่างแน่นอน จากรูปที่ 5 ความถี่มีค่าเท่ากับ $64kHz$ ในขณะที่ค่าที่ได้จากสมการที่ (4) คือ $66.37kHz$ รูปที่ 6 แสดงแรงดันเอาต์พุตที่โหนด V_{o1} V_{o2} V_{o3} และ V_{o4} ของวงจรในรูปที่ 2 เมื่อใช้วงจร DDCC₃ และ DDCC₄ มาต่อเป็นวงจรกลับเฟสสัญญาณ จากรูปสามารถแสดงได้ว่าวงจรที่นำเสนอสามารถให้สัญญาณเอาต์พุตที่สัญญาณที่มีเฟสต่างกัน 90 องศา

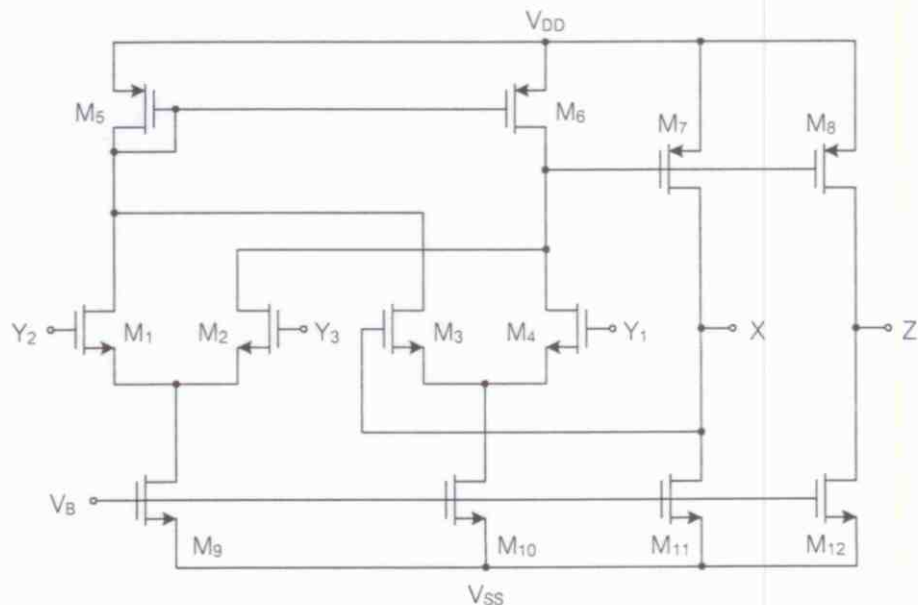
ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ที่ใช้จำลองการทำงาน

.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
 RSH=2.73 LD=0.04U VMAX=130E3 NSUB=1.71E17 PB=0.761 ETA=0.00 THETA=0.129 PHI=0.905
 GAMMA=0.69 KAPPA=0.10 CJ=76.4E-5 MJ=0.357 CJSW=5.68E-10 MJSW=0.302 CGSO=1.38E-10
 CGDO=1.38E-10 CGBO=3.45E-10 KF=3.07E-28 AF=1 WD=+0.11U DELTA=+0.42 NFS=1.2E11
 DELL=0U LIS=2 ISTMP=10 TT=0.1E-9

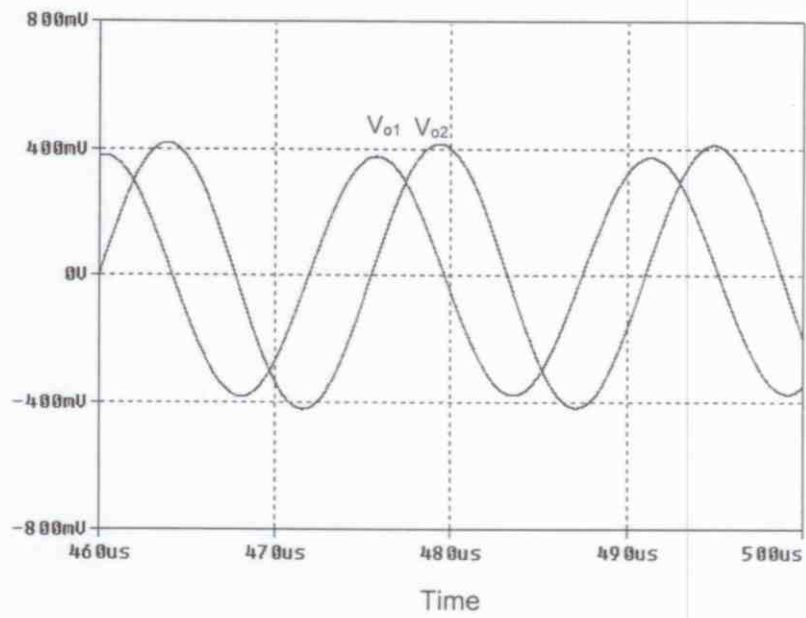
.MODEL PMOS LEVEL=3 UO=100 TOX=1.0E-8 TPG=1 VTO=-0.58 JS=0.38E-6 XJ=0.10U RS=886
 RSH=1.81 LD=0.03U VMAX=113E3 NSUB=2.08E17 PB=0.911 ETA=0.00 THETA=0.120 PHI=0.905
 GAMMA=0.76 KAPPA=2 CJ=85E-5 MJ=0.429 CJSW=4.67E-10 MJSW=0.631 CGSO=1.38E-10
 CGDO=1.38E-10 CGBO=3.45E-10 KF=1.08E-29 AF=1 WD=+0.14U DELTA=0.81 NFS=0.52E11
 DELL=0U LIS=2 ISTMP=10 TT=0.1E-9

ตารางที่ 2 ค่า W/L ของมอสทรานซิสเตอร์ในวงจร DDCC

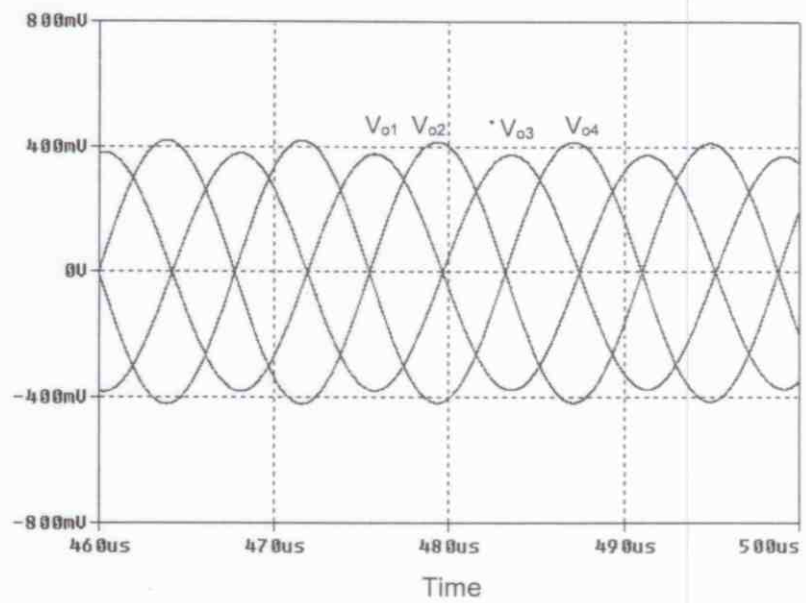
ทรานซิสเตอร์	W (μm)	L (μm)
M1-M4	1.6	1
M5-M6	8	1
M7-M8	20	1
M9-M10	29	1
M11-M12	90	1



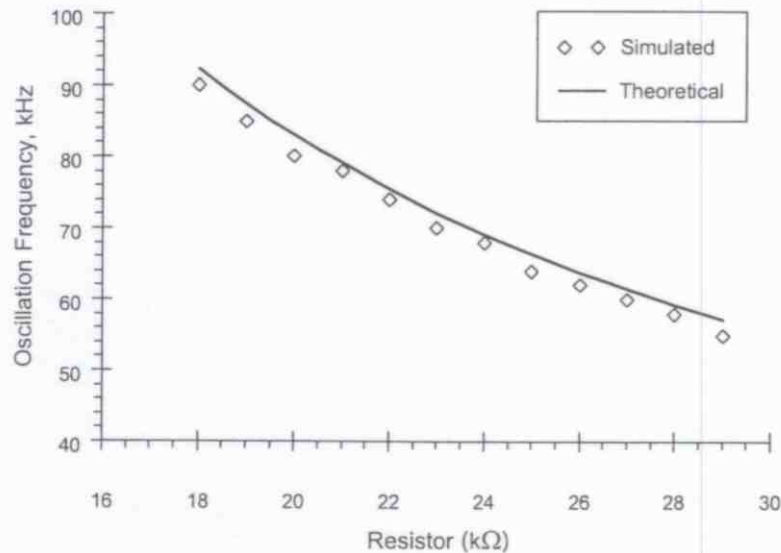
รูปที่ 4 วงจร DDCC ที่ใช้ในการจำลองการทำงานวงจรออสซิลเลเตอร์ที่นำเสนอ



รูปที่ 5 สัญญาณโหนด 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 สัญญาณที่โหนด V_{o1} V_{o2} V_{o3} และ V_{o4} เมื่อใช้วงจร $DDCC_3$ 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 สองวงจร ตัวเก็บประจุและตัวต้านทานแบบต่อลงกราวด์อย่างละสองตัว วงจรที่นำเสนอให้สัญญาณเอาต์พุตแรงดันมีเฟสต่างกัน 90 องศา ค่าความถี่การออสซิลเลตและเงื่อนไขการออสซิลเลตสามารถควบคุมได้โดยอิสระจากกัน ถ้าต้องการวงจรควอดราเจอร์ออสซิลเลเตอร์ที่สามารถปรับค่าความถี่การออสซิลเลตได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์สามารถทำได้โดยแทนตัวต้านทานทั้งสองด้วยเจเฟทหรือมอสเฟท โครงสร้างวงจรที่นำเสนอสามารถนำไปสร้างเป็นวงจรรวมได้ทั้งเทคโนโลยีซีมอสและไบโพลาร์และถ้าต้องการสัญญาณเอาต์พุตสี่เฟสสามารถสร้างได้โดยเพิ่มวงจรกลับขั้วสัญญาณที่สร้างจากวงจร 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.

- Horng J.-W. 2002. "Current differencing buffered amplifiers based single resistance controlled quadrature oscillator employing grounded capacitors." *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*. E85-A: 1416-1419.
- Horng J.-W. 2003. "Current-mode quadrature oscillator with grounded capacitors and resistors using Two DVCCs." *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*. E86-A: 2152-2154.
- Horng J.-W., Hou C.-L., Chang C.-M., Chung W.-Y., Tang H.-W., and Wen Y.-H. 2005. "Quadrature oscillator using CCII's." *International Journal of Electronics*. 92: 21-31.
- Horng J.-W., Hou C.-L., Chang C.-M., Chou H.-P., Lin C.-P., and Wen Y.-H. 2006. "Quadrature oscillator using CCII's." *ETRI Journal*. 28: 486-494.
- Keskin A. U. and Biolek D. 2006. "Current mode quadrature oscillator using current differencing transconductance amplifier (CDTA)." *IEE Proceeding of Circuits Devices and Systems*. 153: 214-218.
- Liu S.-I. and Liao Y.-H. 1996. "Current-mode quadrature sinusoidal oscillator using single FTFN." *International Journal of Electronics*. 81: 171-175.
- Maheshwari S. 2005. "New voltage and current-mode APS using current controlled conveyor." *International Journal of Electronics*. 91: 735-743.
- Maheshwari S. and Khan I. A. 2003. "Simple first-order translinear-C current-mode all-pass section." *International Journal of Electronics*. 90: 79-85.
- Maheshwari S. and Khan I. A. 2006. "Current controlled third order quadrature oscillator." *IEE Proceeding of Circuits Devices and Systems*. 152: 605-607.
- Minaei S. and Ibrahim M. A. 2005. "General configuration for realizing current-mode first-order all-pass filter using DVCC." *International Journal of Electronics*. 92: 347-356.
- Prommee P. and Dejhan K. 2002. "An integrable electronic-controlled quadrature sinusoidal oscillator using CMOS operational transconductance amplifier." *International Journal of Electronics*. 89: 365-379.
- Toker A., Ozcan S., Kuntman H., and Cicekoglu O. 2001. "Supplementary all-pass sections with reduced number of passive elements using a single current conveyor." *International Journal of Electronics*. 88: 969-976.