

วงจรควอดเรเจอร์ออสซิลเลเตอร์โหมดกระแสโดยใช้ CDCTAs ที่สามารถควบคุมแอมพลิจูดด้วยวิธีการอิเล็กทรอนิกส์

Current-mode Quadrature oscillator Using CDCTAs with amplitude controllability

ยศวรณ จันทนา¹ กฤษณ์พร พรพรรัตน์ชัย² และ โกศล พิทักษ์ธยาพร³

^{1,2,3} ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ 83 หมู่ 11 ถ.สระบุรี-หล่มสัก ค.ส.เคียง อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์

โทรศัพท์ 056-717100 ต่อ 1490 E-mail: yotsawatms@gmail.com, kritphon.p@pcru.ac.th, koson@pcru.ac.th

EL29

การนำเสนอสัญญาณรูปคลื่นไซน์ชนิด ควอดเรเจอร์โหมด
ออสซิลเลเตอร์ที่มีค่าสูง โดยมีเอาต์พุตที่สามารถควบคุมแอม
พลิจูดด้วยวิธีการอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้ Current Differencing Cascaded
Transconductance Amplifiers (CDCTA) 2 ตัว และตัวเก็บประจุที่ต่อลง
กับพื้นดินและความถี่การกำเนิดสัญญาณสามารถควบคุมได้
ด้วยวิธีการอิเล็กทรอนิกส์อิสระจากกัน ผลการจำลองด้วยโปรแกรม
SPICE แสดงให้เห็นว่าผลการจำลองสอดคล้องกับที่คาดการณ์ไว้ด้วยอัตรา
บิดเบือนที่ต่ำมาก

การนำเสนอสัญญาณรูปคลื่นไซน์, CDCTA, โหมดกระแส

This research proposed an implementation of high-impedance
sinusoidal quadrature oscillator and 1 amplitude controlled
oscillator employing current differencing cascaded transconductance
amplifiers (CDCTA). The circuit is composed of two CDCTAs and two
capacitors connected to ground. Independently, the circuit can be
electronically controlled conditions and frequency. The result simulated
with SPICE are agreed with the theoretical prediction. The energy
consumption of the circuit are 2.82 mW.

Sinusoidal oscillator, CDCTA, electronically controlled,
Current-mode,

การนำเสนอสัญญาณรูปคลื่นไซน์ไปใช้งานด้านวิศวกรรมไฟฟ้า
อิเล็กทรอนิกส์เป็นไปอย่างกว้างขวาง เพื่อใช้เป็นอินพุตให้กับวงจร
อิเล็กทรอนิกส์ ตัวอย่างการใช้งาน ได้แก่ ระบบสื่อสาร ระบบ
ประมวลผลสัญญาณ เป็นต้น โดยวงจรที่ทำหน้าที่
กำเนิดสัญญาณได้แก่ วงจรกำเนิดสัญญาณ (Oscillator) ลักษณะเด่น
ของสัญญาณที่พัฒนาให้สามารถกำเนิดสัญญาณรูปคลื่น

ไซน์ได้สองสัญญาณที่มีเฟสต่างกัน 90 องศา หรือที่เรียกว่าสัญญาณควอด
เรเจอร์ ทั้งนี้เพื่อนำไปใช้ในระบบสื่อสาร เช่น ในการมอดูเลตสัญญาณ
เชิงแอมพลิจูดแบบคอสาย เป็นต้น [1] และในทศวรรษที่ผ่านมา มีความพยายามที่
จะลดแรงดันไฟฟ้าเลี้ยงในวงจรแอนะล็อก เนื่องจากความต้องการที่จะ
นำมาใช้กับอุปกรณ์แบบพกพา หรืออุปกรณ์ที่ใช้แบตเตอรี่ ดังนั้นจึงได้นำ
เทคนิคการทำงานในโหมดกระแสมาใช้ ทั้งนี้วงจรที่ใช้เทคนิคการทำงาน
ในโหมดกระแส ยังมีข้อดีอีกหลายอย่าง เช่น มีช่วงพิสัยพลวัตกว้าง มี
แบนด์วิดท์กว้าง ทำงานที่แรงดันต่ำได้ดีและบริโภคกำลังงานต่ำ [2]

เมื่อเร็วๆ นี้ ได้มีการคิดค้นและนำเสนออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ใหม่อีก
หนึ่ง ชนิด คือ Current Differencing Cascaded Transconductance
Amplifiers (CDCTA) [3] ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีคุณลักษณะที่สามารถใช้ได้
ในโหมดกระแสและแรงดัน เหมาะที่จะใช้ในการออกแบบวงจรที่มีการ
ประมวลผลสัญญาณแอนะล็อก และสามารถปรับค่าอัตราขยายกระแสที่
เอาต์พุตของอุปกรณ์ได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์

จากการศึกษาพบว่าได้มีผู้นำเสนอวงจรกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นไซน์
โดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่แตกต่างกันไป เช่น OTAs [4-5] current
conveyors [6], current follower [7-8], fully differential second generation
current conveyor (FDCCII) [9] และ differencing voltage current
conveyor (DVCCs) [10] เป็นต้น แต่วงจรเหล่านั้นยังมีข้อด้อยดัง
รายละเอียดต่อไปนี้

- ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และพาสซีฟจำนวนมากโดยเฉพาะตัวต้านทาน [6, 10]
- ไม่สามารถควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ [6-8, 10]
- เอาต์พุตออสซิลเลเตอร์มีค่าไม่สูง [6-10]
- ใช้ตัวเก็บประจุแบบลอยซึ่งไม่เหมาะสมที่จะสร้างเป็นวงจรรวม [10]

• ไม่สามารถควบคุมเงื่อนไขและความถี่การกำเนิดสัญญาณได้อย่าง
อิสระจากกัน [4, 7-8]

จากปัญหาที่ได้กล่าวมาข้างต้น บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ
นำเสนอวงจรกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นไซน์ชนิดควอดเรเจอร์โหมดกระแส
โดยใช้ CDCTA ซึ่งเงื่อนไขและความถี่การกำเนิดสัญญาณสามารถ
ควบคุมได้อย่างอิสระจากกัน วงจรประกอบไปด้วย CDCTA 2 ตัว และ

ตัวเก็บประจุต่อลงกราวด์อีก 2 ตัว นอกจากนั้นวงจรที่นำเสนอมีเอาต์พุตอินพุตแชนส์สูงซึ่งง่ายต่อการต่อคาสเกด

2. หลักการและผลการจำลอง

2.1 หลักการทำงานของ CDCTA

เนื่องจากวงจรที่นำเสนอประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลักคือ CDCTA หัวข้อนี้จึงขอกล่าวถึง CDCTA พอสังเขป ซึ่งความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของ CDCTA แสดงด้วยสมการในเชิงเมทริกซ์ได้ดังนี้

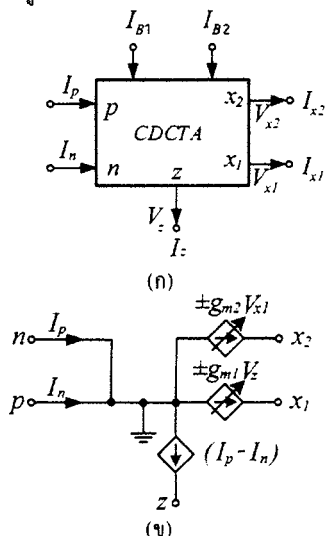
$$\begin{bmatrix} I_z, I_{zc} \\ I_{x1}, I_{xc} \\ I_{x2}, I_{xc} \\ V_{x2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \pm g_{m1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \pm g_{m2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_p \\ I_n \\ V_z \\ V_{x1} \end{bmatrix} \quad (1)$$

โดย CDCTA สามารถปรับค่าขยายความนำถ่ายโอน g_m ได้ โดยค่ากระแสไบแอสจากภายนอก I_B สำหรับโครงสร้าง CDCTA ที่มีโครงสร้างเป็นทรานซิสเตอร์ ค่าขยายความนำถ่ายโอนสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2)-(3)

$$g_{m1} = \frac{I_{B1}}{2V_T} \quad (2)$$

$$g_{m2} = \frac{I_{B2}}{2V_T} \quad (3)$$

เมื่อ V_T เป็นศักดาความร้อน โดยสัญลักษณ์และวงจรสมมูลของ CDCTA แสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 CDCTA (ก) สัญลักษณ์ (ข) วงจรสมมูล

2.2 วงจรกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นไซน์ที่นำเสนอ

วงจรที่นำเสนอเป็นวงจรกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นไซน์ชนิดโอเวอร์โหมดกระแสที่เอาต์พุตอินพุตแชนส์มีค่าสูง ดังแสดงในรูปที่ 2 วงจรประกอบไปด้วย CDCTA จำนวน 2 ตัว และตัวเก็บประจุต่อลงกราวด์อีกจำนวน 2 ตัว เมื่อทำการวิเคราะห์วงจรกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นไซน์ที่นำเสนอจะได้สมการคุณลักษณะดังนี้

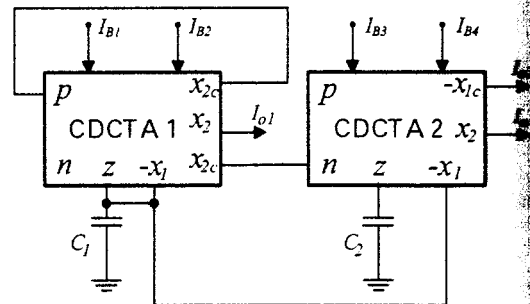
$$s^2 + s \frac{(g_{m1} - g_{m2})}{C_1} + \frac{g_{m2}g_{m3}}{C_1C_2}$$

ซึ่งเงื่อนไขและความถี่การกำเนิดสัญญาณเมื่อกำหนดให้ $C_1 = C_2 = C$ สามารถแสดงได้เป็น

$$I_{B1} = I_{B2}$$

และ

$$\omega_0 = \frac{1}{2CV_T} \sqrt{I_{B2}I_{B3}}$$



รูปที่ 2 วงจรกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นไซน์ที่นำเสนอ

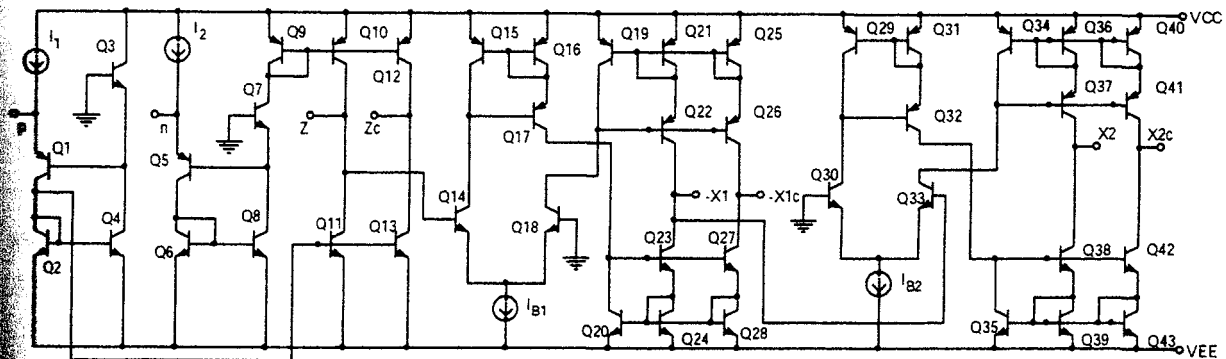
จากสมการที่ (5) และ (6) พบว่าเมื่อกำหนดให้ $I_{B1} = I_{B2}$ การกำเนิดสัญญาณสามารถควบคุมได้จากค่ากระแสไบแอส I_{B1} และ I_{B2} เงื่อนไขและความถี่การกำเนิดสัญญาณสามารถควบคุมได้อย่างอิสระกัน โดยเอาต์พุตที่สามารถควบคุมแอมพลิจูดได้แสดงความสัมพันธ์

$$I_O = g_{m4}V_{z1}$$

2.3 ความไวของวงจรที่นำเสนอ

ความไวของความถี่การกำเนิดสัญญาณของวงจรที่นำเสนอหาได้ดังนี้

$$S_{I_{B2}}^{\omega_0} = S_{I_{B3}}^{\omega_0} = \frac{1}{2}; S_{C_1}^{\omega_0} = S_{C_2}^{\omega_0} = -\frac{1}{2}; S_{V_T}^{\omega_0} = -1 \quad (8)$$



รูปที่ 3 โครงสร้างภายใน CDCTA

สมมติว่ากระแสที่ไหลในทรานซิสเตอร์ไม่เป็นอุดมคติ

ในทรานซิสเตอร์ที่ CDCTA ซึ่งใช้ในวงจรเกิดความไม่เป็นอุดมคติสามารถหาได้จาก

$$I_z = \alpha_p I_p - \alpha_n I_n; I_{x1} = \beta_z g_{m1} V_z \quad (9)$$

$$I_{x2} = \beta_{x1} V_{x1} \quad (10)$$

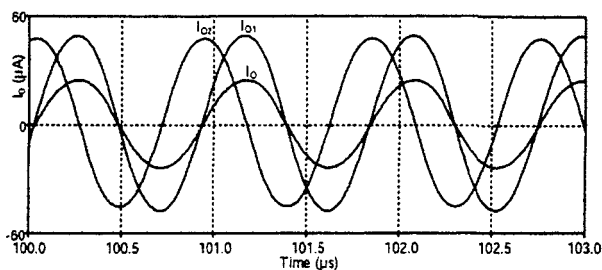
พารามิเตอร์ α_p , α_n เป็นค่าเบี่ยงเบนไปจาก 1 ซึ่งทำให้เกิดค่าของการส่งผ่านกระแส I_p และ I_n ไปเป็น I_z ส่วน β_z และ β_{x1} เป็นค่าเบี่ยงเบนไปจาก 1 ซึ่งทำให้เกิดค่าผิดพลาดของการส่งผ่านกระแส V_z ไปเป็นกระแส I_{x1} และแรงดัน V_{x1} ไปเป็นกระแส I_{x2} การพิจารณาความผิดพลาดนี้แล้ว สามารถหาสมการของความถี่การกำเนิดสัญญาณใหม่ ได้ดังนี้

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{(\beta_{z1} g_{m1} - \alpha_{p1} \beta_{x11} g_{m2})}{C_1} + \frac{\beta_{z2} \beta_{x11} g_{m2} g_{m3}}{C_1 C_2}} \quad (11)$$

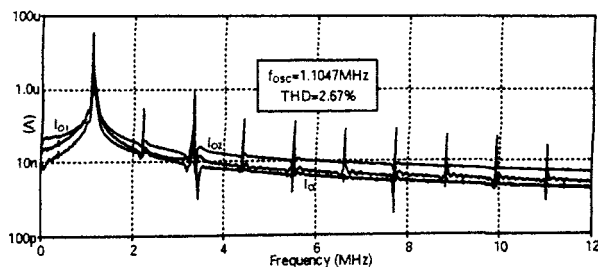
$$\omega_0 = \sqrt{\frac{\beta_{z2} \beta_{x11} g_{m2} g_{m3}}{C_1 C_2}} \quad (12)$$

ขั้นตอนการทำงาน

ในการยืนยันและทดสอบสมรรถนะของวงจรที่นำเสนอ จึงได้ทำการจำลองวงจรด้วยโปรแกรม PSpice สำหรับทรานซิสเตอร์แบบ NMOS และ PNMOS ที่ใช้ในการจำลองการทำงานของวงจรได้ใช้ทรานซิสเตอร์ของทรานซิสเตอร์เบอร์ PR200N และ NR200N ตามลำดับ และทรานซิสเตอร์อาร์เรย์ ALA400 ของ AT&T [11] CDCTA ที่นำเสนอใช้โครงสร้างเทคโนโลยีไบโพลาร์ ดังแสดงในรูปที่ 3

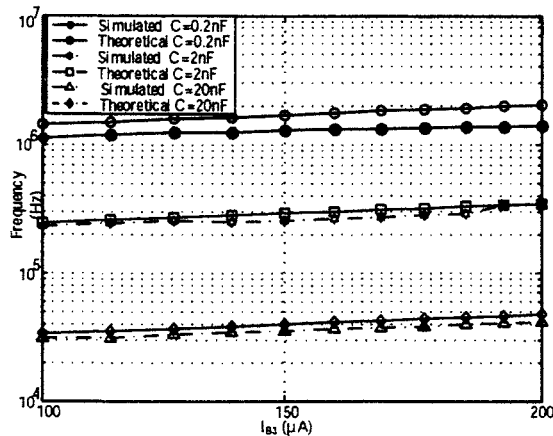


รูปที่ 4 สัญญาณเอาต์พุตในโหมดกระแส



รูปที่ 5 สเปกตรัมของสัญญาณเอาต์พุต

โดยกำหนดให้ CDCTA ทำงานที่แรงดัน $\pm 2.5V$ ตัวเก็บประจุ $C_1 = C_2 = C = 0.2nF$, $I_{B1} = I_{B3} = 90\mu A$, $I_{B2} = 92\mu A$ และ $I_{B4} = 50\mu A$ การจำลองพบว่ากระแสที่เอาต์พุตทั้งหมดของวงจรเป็นรูปคลื่นไซน์ส่วน I_{O1} และ I_{O2} และมีความต่างเฟสกัน 90° ความถี่การกำเนิดสัญญาณเท่ากับ $1.1047MHz$ แต่จากการคำนวณตามสมการที่ (6) เท่ากับ $1.39MHz$ ค่าผิดเพี้ยนทางฮาร์มอนิกส์รวม (THD) ประมาณ 2.67% ผลการจำลองแสดงดังรูปที่ 4 และ 5



รูปที่ 6 ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณเมื่อเปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุและกระแสไบอัส

นอกจากนี้ได้ปรับค่ากระแสไบอัส I_{B3} เมื่อ C มีค่า $20nF$, $2nF$ และ $0.2nF$ ซึ่งได้ผลดังแสดงในรูปที่ 6 โดยค่าความถี่เปลี่ยนแปลงสอดคล้องกับสมการที่ (6) แต่ที่ค่าความถี่สูงพบว่าความจุแฝงในตัว CDCTA จะส่งผลต่อความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ

3. บทสรุป

บทความวิจัยนี้ได้นำเสนอ วงจรกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นไซน์ ชนิดควอเตอร์โคมครอส และสามารถใช้เอาต์พุตที่ควบคุมแอมพลิจูดได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเอาต์พุตมีแอมพลิจูดสูงโดยใช้เพียง CDCTA 2 ตัว ค่อยร่วมกับตัวเก็บประจุที่ต่อลงกราวด์อีก 2 ตัว เงื่อนไขและความถี่ในการกำเนิดสัญญาณสามารถปรับค่าได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์และแยกอิสระจากกัน จึงเหมาะสมสำหรับการนำไปพัฒนาให้อยู่ในลักษณะวงจรรวม อัตราบริโภคกำลังงานเท่ากับ 2.82 mW ที่แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ผลการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSPICE พบว่าวงจรทำงานได้สอดคล้องกับที่คาดการณ์ไว้

เอกสารอ้างอิง

- [1] T.Maneechukate and et, al, "Wide-band amplitude control of the second-order oscillator circuit," Int. J. Electron. Commun.(AEU), Vol.62, 666-673, 2008.
- [2] C. Toumazou, F.J. Lidgley and D.G. Haigh, Analogue IC design: the current-mode approach, Peter Peregrinus, London, 1990.
- [3] X. Jun, W. Chunhua, and J. Jie, "Current Differencing Cascaded Transconductance Amplifier (CDCTA) and Its Applications on

- Current-Mode nth-Order Filters," *Circuits, System, and Signal Processing*, Springer Science+Business Media New York 2010.
- [4] S. Minaei and O. Cicekoglu, "New current-mode integrator allpass section and quadrature oscillator using only active elements," 1st IEEE Int'l Conf. Circuits and Systems for Communications, pp. 26-28, pp.70-73, 2002.
- [5] K. Kumwachara and W. Surakamponthorn, "An integrator temperature-insensitive gm-RC quadrature oscillator," *Int. J. Electronics*, vol. 90, no. 1, pp.599-605, 2003.
- [6] M. T. Abuelma'atti and A.A. Al-Ghumaiz, "Novel CCI-based single-element-controlled oscillators employing grounded resistors and capacitors," *IEEE Trans. on Circuits and Systems: Fundamental Theory and Applications*, vol. 43, pp. 153-155, 1996.
- [7] J. J. Chen, C.C. Chen, H.W. Tsao, and S.I. Liu, "Current-mode oscillators using single current follower," *Electronics Letters*, vol. 27, pp. 2056-2059, 1991.
- [8] M.T. Abuelma'atti, "Grounded capacitor current-mode oscillators using single current follower," *IEEE Trans. Circuits and Systems: I: Fundamental Theory and Applications*, vol. 39, pp. 1018-1022, 1992.
- [9] J. W. Horng, C. L. Hou, C. M. Chang, H. P. Chou, C. T. Lin and H. Wen, "Quadrature oscillators with grounded capacitors and resistors using FDCCIs," *ETRI Journal*, vol. 28, pp. 486-490, 2006.
- [10] J. W. Horng, "Current-mode quadrature oscillator with grounded capacitors and resistors using two DVCCs," *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, vol. E86-A, pp. 2152-2154, 2003.
- [11] W. Tangsirrat and W. Tanjaroen, "Current-mode sinusoidal quadrature oscillator with independent control of oscillation frequency and condition using CDCTAs," *Indian Journal of Physics & Applied Physics*, vol.48, pp.363-366, May, 2010.