

วงจรกำเนิดสัญญาณควอดเรเจอร์โหมดกระแสอันดับสามโดยใช้ CFCTA A Current-mode Third-order Quadrature Oscillator Based on CFCTA

ศุภวัฒน์ ลาวัณย์วิสุทธิ¹ ธาดา คำแดง² และวินัย ไจกล้า³

Supawat Lawanwisut¹ Tada Comedang² and Winai Jaikla³

¹สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศและการสื่อสาร คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

E-Mail s.lawanwisut@hotmail.com

²สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

E-Mail tada-comedang@hotmail.com

³สาขาวิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

E-Mail kawinai@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวงจรกำเนิดสัญญาณควอดเรเจอร์โหมดกระแส โดยใช้อุปกรณ์ส่งผ่านกระแสอนุกรมความนำถ่ายโอน (Current following cascaded transconductance amplifier, CFCTA) วงจรที่นำเสนอจะประกอบด้วย CFCTA เพียงตัวเดียว ต่อร่วมกับตัวเก็บประจุจำนวน 3 ตัว และตัวต้านทาน 1 ตัว เพื่อให้เกิดสมการคุณสมบัตินับอันดับสาม (Characteristic Equation) ซึ่งจะช่วยให้วงจรปรับความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ และเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณได้อย่างอิสระจากกัน

คำสำคัญ: วงจรกำเนิดสัญญาณแบบควอดเรเจอร์ อุปกรณ์ส่งผ่านกระแสอนุกรมความนำถ่ายโอน

Abstract

This article presents a current-mode quadrature oscillator, using the current following cascaded transconductance amplifier (CFCTA). The proposed circuit consists of a single CFCTA connected with, 3 grounded capacitors and 1 resistor. To achieve the third order characteristic equation, which makes the oscillation condition and oscillation frequency are independently controllable.

Keywords: Quadrature oscillator, Current following cascaded transconductance amplifier (CFCTA).

1. บทนำ

วงจรกำเนิดสัญญาณถือว่าเป็นวงจรพื้นฐานที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ โดยทั่วไปจะพบวงจรกำเนิดสัญญาณแบบควอดเรเจอร์ จะถูกนิยมใช้งานอย่างแพร่หลายเพราะสามารถให้กำเนิดสัญญาณที่มีความต่างเฟสกันได้ 90° ปัจจุบันจึงได้มีผู้สนใจในการพัฒนางานวงจรกำเนิดสัญญาณแบบควอดเรเจอร์ไปใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ รวมไปถึงจนถึงเป็นส่วนประกอบของวงจรต่างๆ เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของวงจรเป็นจำนวนมาก [1-2]

จากที่กล่าวมาข้างต้นในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์จะต้องการให้วงจรมีขนาดเล็ก เพื่อให้สามารถนำเข้าไปใส่ในวงจรรวมความจุสูงมาก (VLSI) ได้ ซึ่งเป็นที่นิยมในการออกแบบวงจรในภาคอุตสาหกรรมชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ จึงมีการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณในโหมดกระแส [3-4] ซึ่งจะส่งผลให้วงจรที่ได้รับการออกแบบในโหมดกระแสมีช่วงไดนามิกและแบนด์วิทที่กว้างขึ้น รวมไปถึงจนถึงสามารถลดส่วนประกอบของวงจรลงจึงส่งผลให้วงจรมีขนาดเล็กลงตามไปด้วย

จากการศึกษาเปรียบเทียบวงจรกำเนิดสัญญาณแบบ ควอดเรเจอร์อันดับสอง โดยใช้อุปกรณ์แอ็กทิฟที่มีประสิทธิภาพสูงที่แตกต่างกัน เช่น วงจรขยายความนำถ่ายโอน (OTA) [5], วงจรสายพานกระแส (CC) [6], วงจรส่งผ่านกระแส (CFA) [7], วงจรความนำถ่ายเปรียบเทียบผลต่างกระแส (CDTA) [8], และ วงจรสายพานกระแสเปรียบเทียบผลต่างแรงดัน (DVCC) [9] เป็นต้น พบว่าวงจรกำเนิดสัญญาณแบบควอดเรเจอร์อันดับที่สาม โดยใช้

อุปกรณ์แอ็กทีฟที่แตกต่างกันไป เช่น วงจรสายพาน กระแสร่นที่ส่องที่สามารถควบคุมได้ในเชิงอิเล็กทรอนิกส์ (CCCII) [10], OTAs [11-12], และ CDTA [13] จะมีความผิดเพี้ยนของสัญญาณเอาต์พุตต่ำกว่า

ดังนั้นในบทความนี้จะนำเสนอวงจรกำเนิดสัญญาณ ควอเดรเจอร์โหมดกระแสอันดับสามโดยใช้ อุปกรณ์ส่งผ่านกระแสอนุกรมความนำถ่ายโอน (CFCTA) ซึ่งจากหลักการของ CFCTA จะส่งผลดีให้วงจรที่นำเสนอสามารถทำงานได้ตามสมการคุณลักษณะอันดับสามในโหมดกระแส โดยใช้ CFCTA เพียงตัวเดียว อีกทั้งใช้ อุปกรณ์พาสซีฟต่อรวมเพียง 4 ตัว โดยประสิทธิภาพ และ ผลเอาต์พุตของวงจรจะถูกจำลองการทำงานผ่านโปรแกรม PSpice เพื่อพิสูจน์ความถูกต้องของทฤษฎีที่นำเสนอในบทความนี้

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 Current following cascaded transconductance amplifier (CFCTA)

CFCTA สามารถเขียนสัญลักษณ์ทางไฟฟ้าและวงจรสมมูลได้จากรูปที่ 1 และสามารถเขียนสมการคุณลักษณะได้ดังนี้

$$\begin{pmatrix} V_f \\ I_z \\ I_{x1,xc1} \\ I_{x2,xc2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \pm g_{m1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \pm g_{m2} & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_f \\ V_z \\ V_{x1} \\ V_{x2} \end{pmatrix} \quad (1)$$

g_{m1} คือ ค่าความนำถ่ายโอนของ CFCTA สำหรับ CFCTA ที่ออกแบบด้วย CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) ค่าความนำถ่ายโอนจะแสดงได้ดังนี้

$$g_{m1} = \sqrt{\mu_n C_{OX} (W/L) I_{B1}} \quad (2)$$

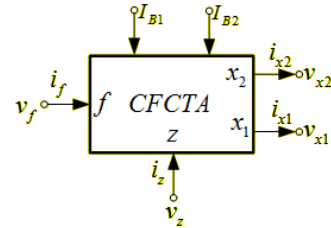
และ g_{m2} ค่าความนำถ่ายโอนจะแสดงได้ดังนี้

$$g_{m2} = \sqrt{\mu_n C_{OX} (W/L) I_{B2}} \quad (3)$$

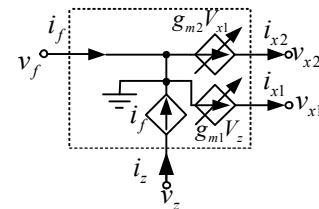
2.2 หลักการของวงจรกำเนิดสัญญาณ

หลักการทำงานของวงจรประกอบไปด้วย วงจรอินทิเกรเตอร์ที่ไม่มีการสูญเสียแบบไม่กลับเฟส (Non-

inverting Lossless Integrator) และวงจรกรองความถี่ต่ำอันดับสองแบบกลับเฟส ซึ่งแสดงแผนผังการทำงานในรูปที่ 2 โดยมีสมการคุณสมบัตินี้ (Characteristic Equation) ของวงจรถัดนี้ดังนี้



(ก)

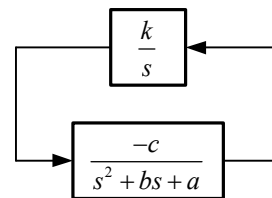


(ข)

รูปที่ 1 (ก) สัญลักษณ์ และ (ข) วงจรเทียบเคียงของ CFCTA

2.2 หลักการของวงจรกำเนิดสัญญาณ

หลักการทำงานของวงจรประกอบไปด้วย วงจรอินทิเกรเตอร์ที่ไม่มีการสูญเสียแบบไม่กลับเฟส (Non-inverting Lossless Integrator) และวงจรกรองความถี่ต่ำอันดับสองแบบกลับเฟส ซึ่งแสดงแผนผังการทำงานในรูปที่ 2 โดยมีสมการคุณสมบัตินี้ (Characteristic Equation) ของวงจรถัดนี้ดังนี้



รูปที่ 2 บล็อกไดอะแกรมในการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณ

$$s^3 + bs^2 + as + ck = 0 \quad (4)$$

จากสมการที่ (4) จะได้เงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณ (Oscillation Condition: OC) และความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ (Oscillation Frequency: ω_o) ดังนี้

$$OC : ab = ck \quad (5)$$

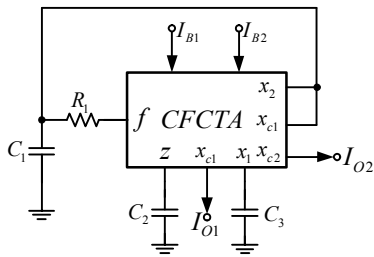
และ

$$\omega_o = \sqrt{a} \quad (6)$$

จากสมการที่ (5) และ (6) หาก a เท่ากับ c พบว่าสามารถปรับความถี่ในการกำเนิดสัญญาณและเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณได้อย่างอิสระจากกันนั่นคือปรับเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณที่ b กับ k ส่วนความถี่ในการกำเนิดสัญญาณปรับได้ที่ a

2.3 การวิเคราะห์สมการของวงจรกำเนิดสัญญาณ

จากแผนผังการทำงานในรูปที่ 2 สามารถสังเคราะห์วงจรกำเนิดสัญญาณโดยใช้ CFCTA เป็นอุปกรณ์แอ็กทิฟ โดยวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับสองแบบกลับเฟสในรูปที่ 3 จะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรเท่ากับ



รูปที่ 3 วงจรกำเนิดสัญญาณที่นำเสนอ

$$\frac{I_O}{I_{in}} = \frac{-\frac{g_{m1}}{C_1 C_2 R_1}}{s^2 + \frac{1}{C_1 R_n} s + \frac{g_{m1}}{C_1 C_2 R_1}} \quad (7)$$

ส่วนวงจรอินทิเกรเตอร์ที่ไม่มีการสูญเสียแบบไม่กลับเฟสในรูปที่ 3 จะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรเท่ากับ

$$\frac{I_O}{I_{in}} = \frac{g_{m2}}{s C_3} \quad (8)$$

จากสมการที่ (5) และ (6) จะได้เงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณและความถี่ในการกำเนิดสัญญาณดังนี้

$$\frac{1}{C_1 R_1} = \frac{g_{m2}}{C_3} \quad (10)$$

และ

$$\omega_o = \sqrt{\frac{g_{m1}}{C_1 C_2 R_1}} \quad (11)$$

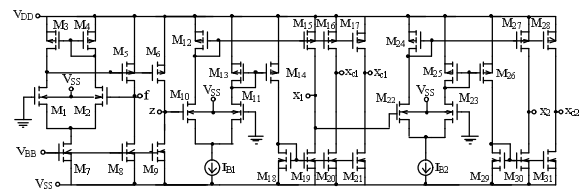
3. ผลจำลองการทำงาน

การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณควอเดรเจอร์ในงานบทความนี้จะใช้เทคโนโลยีทรานซิสเตอร์ CMOS ขนาด $0.25\mu\text{m}$ ของบริษัท TSMC [14] ในการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSpice โดยค่าของ W/L จะแสดงไว้ในตารางที่ 1 โครงสร้างภายในของ CFCTA แสดงดังรูปที่ 4 โดยกำหนดให้ CFCTA ทำงานที่ $V_{DD} = V_{SS} = \pm 1.25\text{V}$ และ $V_{BB} = -0.55\text{V}$

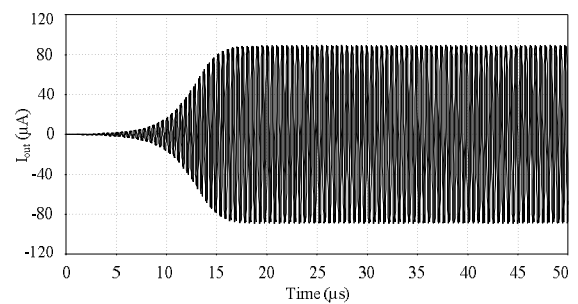
ตารางที่ 1 ขนาดของทรานซิสเตอร์ (W/L)

CMOS	W (μm)	L (μm)
M_1, M_2	1	0.25
$M_3-M_4, M_{12}-M_{17}, M_{24}-M_{18}$	5	0.25
$M_7-M_9, M_{18}-M_{21}$	3	0.25
$M_{10}-M_{11}, M_{22}-M_{23}, M_{29}-M_{31}$	15	0.25

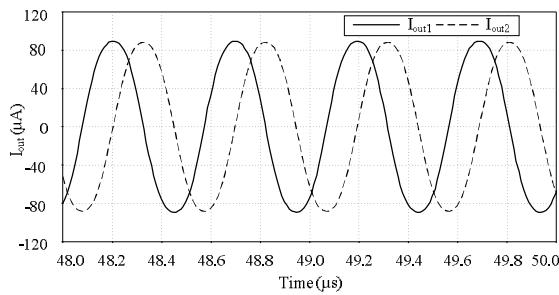
จากการจำลองการทำงานของวงจรสามารถทำให้เกิดกระแส (I_{out1}, I_{out2}) เมื่อ มีการปรับกระแสไบแอส $I_{B1} = I_{B2} = 100\mu\text{A}$ ตัวเก็บประจุ $C_1 = C_2 = C_3 = 100\text{pF}$ และ ตัวต้านทานมีค่าเท่ากับ 800Ω แสดงในรูปที่ 5 ส่วนรูปที่ 6 แสดงสัญญาณรูปคลื่นขายนีมีความต่างเฟสกัน 90°



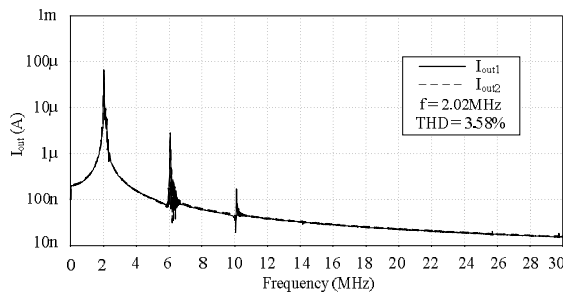
รูปที่ 4 โครงสร้างภายในของ CFCTA



รูปที่ 5 สัญญาณกระแสเอาต์พุตในสถานะเริ่มต้น



รูปที่ 6 สัญญาณควอดเรเจอร์กระแสเอาต์พุตสถานะอยู่ตัว



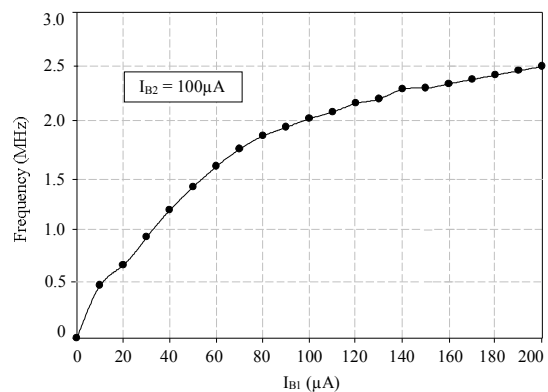
รูปที่ 7 สเปกตรัมของสัญญาณที่ความถี่ 2.02 MHz

รูปที่ 9 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณที่ความถี่ 2.02MHz มีค่าผิดเพี้ยนทางฮาร์โมนิกส์รวม 3.58% และในรูปที่ 10 เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงกระแส I_{B1} ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ผลจากการทดลองมีความสอดคล้องกับสมการที่ (11) อีกทั้งวงจรสามารถทำงานได้สูงถึงระดับ MHz

4. สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอวงจรกำเนิดสัญญาณควอดเรเจอร์โหมตกระแสอันดับสามโดยใช้ CFCTA โดยใช้ CFCTA เพียง 1 ตัวต่อร่วมกับตัวเก็บประจุ 3 ตัว และตัวต้านทาน 1 ตัว จุดเด่นของวงจรที่นำเสนอ คือ วงจรสามารถปรับความถี่ในการกำเนิดสัญญาณ และเงื่อนไขในการกำเนิดสัญญาณได้อย่างอิสระจากกัน ผลการทดลองสมรรถนะของวงจรพบว่า วงจรมีอัตราการใช้พลังงานต่ำที่ความถี่ 2.02MHz นอกเหนือจากนี้แล้ว ด้วยโครงสร้างที่ประกอบด้วยอุปกรณ์แอ็กทีฟเพียง 1 ตัว จึงมีเหมาะสมสำหรับนำไปใส่ในวงจรรวมความจุสูงมาก (VLSI) ได้ ซึ่งเป็นที่นิยมในการออกแบบวงจรในภาคอุตสาหกรรมชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ แต่เมื่อมาดูผลของวงจรที่นำเสนอพบอัตราการใช้พลังงานต่ำที่ค่อนข้างสูง อันเนื่องมาจาก

การออกแบบอุปกรณ์แอ็กทีฟในบทความนี้ยังคงใช้เทคนิคการทำงานของทรานซิสเตอร์แบบปกติ ซึ่งจะทำให้วงจรไม่สามารถทำงานได้ที่ระดับแรงดันต่ำมาก ดังนั้นในงานวิจัยครั้งต่อไปผู้เขียนจะทำการพัฒนางจรให้มีอัตราการใช้พลังงานต่ำที่ต่ำกว่าระดับ 0.7V โดยใช้เทคนิคการทำในระดับทรานซิสเตอร์แบบพิเศษ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวงจรที่นำเสนอจะเป็นแนวทางในการออกแบบ หรือพัฒนาสำหรับผู้สนใจต่อไป



รูปที่ 10 ความถี่การกำเนิดสัญญาณเมื่อปรับกระแส I_{B1}

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] A. S. Sedra and K. C. Smith, Microelectronic Circuits. 4th edition. New York: Oxford University Press, pp. 984-986, 1998.
- [2] I. A. Khan and S. Khawaja, An integrable gm-C quadrature oscillator. Int. J. Electronics, 87(1): 1353-1357. 2000.
- [3] Y.W. Bai and H.C. Chen, "An Adjustable Design For The Real Time Clock of High-End Server Systems," IEEE Conference on Electrical and Computer Engineering, pp. 183-188, May 2008.
- [4] N. Kiattimaneeratana and E. Leelarasmee, "A Triangular Ring Oscillator with frequency independent of threshold voltage," The 33rd Electrical Engineering Conference, pp. 1040-1044, December 2010.
- [5] K. Kumwachara and W. Surakamponorn, An integrable temperatureinsensitive gm-RC

- quadrature oscillator. International Journal of Electronics, 90(1): 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 Transaction on Circuits and Systems-I, 43: 153-155, 1996.
- [7] M. T. Abuelma'atti, Grounded capacitor current-mode oscillator using single current follower. IEEE Transaction Circuits and Systems-I, 39: 1018-1020, 1992.
- [8] A. Lahiri, New current-mode quadrature oscillators using CDTA. IEICE Electronics Express, 6(3): 135-140, 2009.
- [9] J. W. Horng, Current-mode quadrature oscillator with grounded capacitors and resistors using two DVCCs. IEICE Transaction Fundamentals Electronics, Communications and Computer Sciences, E86-A: 2152-2154, 2003.
- [10] S. Maheshwari, and I. A. Khan, Current controlled third-order quadrature oscillator. IEE Proceeding on Circuits Devices Systems, 152: 605-607, 2005.
- [11] P. Prommee, K. Dejhan, An integrable electronic-controlled quadrature sinusoidal oscillator using CMOS operational transconductance amplifier. International Journal of Electronics, 89: 365-379, 2002.
- [12] T. Tsukutani, Y. Sumi, and Y. Fukui, Electronically controlled currentmode oscillators using MO-OTAs and grounded capacitors. Frequenz, 60: 220-223, 2006.
- [13] J. W. Horng, Current-mode third-order quadrature oscillator using CDTAs, Active and Passive Electronic Components, Article ID 789171, doi:10.1155/2009/789171, 2009.
- [14] VIS. 0.25-Pm Logic Salicide Process Design Rule. Taiwan, 2003.