

วงจรกําเนิดสัญญาณแบบควอดเรเตอร์บนพื้นฐานของหลักการอินทิเกรเตอร์แบบกลับเฟส และไม่กลับเฟส โดยใช้ไดมอนด์ทรานซิสเตอร์

Sinusoidal Quadrature Oscillator based on Inverting and Non-inverting Integrators Using Diamond Transistor

ธาดา คำแดง¹ และ ศุภวัฒน์ ลาวัณย์วิสุทธิ์²

Tada Comedang¹ and Supawat Lawanwisut²

¹สาขาวิชาคอมพิวเตอร์อุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี E-Mail tada-comedang@hotmail.com

²สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศและการสื่อสาร คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอวงจรกําเนิดสัญญาณแบบควอดเรเตอร์โดยใช้ไดมอนด์ทรานซิสเตอร์ จุดเด่นของวงจรที่นำเสนอคือ สามารถสร้างสัญญาณที่มีความต่างเฟส 90 องศา ซึ่งวงจรสามารถให้กําเนิดความถี่ได้โดยปราศจากเงื่อนไขในการกําเนิดสัญญาณ บนพื้นฐานของหลักการอินทิเกรเตอร์แบบกลับเฟสและไม่กลับเฟส จากผลการจำลองด้วยโปรแกรม PSpice พบว่าวงจรสามารถให้กําเนิดสัญญาณแบบควอดเรเตอร์ได้อย่างแม่นยำ มีความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกส์รวม 1.24 % ที่ความถี่ 9.78 MHz และมีอัตราการบริโภคกำลังไฟฟ้า 0.21 วัตต์

คำสำคัญ : วงจรกําเนิดสัญญาณแบบควอดเรเตอร์ ไดมอนด์ทรานซิสเตอร์

Abstract

This paper proposes a quadrature sinusoidal oscillator employing Diamond Transistor. The features of the proposed circuit are that it can provide quadrature signals which differ 90 degree in phase, without any oscillation condition based on using inverting

and non-inverting integrators. From the simulation results using PSpice, it is found that the proposed oscillator offers the precision quadrature signal, where the total harmonic distortion (THD) is about 1.24 % at 9.78 MHz of frequency. The total power consumption is approximately 0.21 W.

Keywords : Quadrature Sinusoidal Oscillator, Diamond Transistor.

1. บทนำ

ในงานด้านวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วงจรกําเนิดสัญญาณเป็นวงจรที่สำคัญ และมีการนำไปใช้อย่างกว้างขวาง ตัวอย่างการใช้งาน ได้แก่ ระบบสื่อสาร ระบบเครื่องมือวัด และระบบประมวลผลสัญญาณเป็นต้น [1] ที่ผ่านมานั้น มีการนำเสนอวงจรกําเนิดสัญญาณไซน์ที่มีความสามารถต่างๆมากมาย เช่นใช้จำนวนอุปกรณ์น้อยลง สามารถควบคุมค่าความถี่ (Oscillation Frequency) และเงื่อนไขการกําเนิดสัญญาณ (Oscillation Condition) ได้โดยกระแสหรือแรงดัน อย่างเป็นอิสระต่อกันทำงานโดยบริโภคกำลังและแรงดัน

ไฟเลี้ยงต่ำ สัญญาณมีความถูกต้องสูง [2-5] วงจรกำเนิดสัญญาณนิยมพัฒนาให้สามารถกำเนิดรูปคลื่นไซน์ได้สองสัญญาณที่มีเฟสต่างกัน 90 องศา หรือที่เรียกว่าสัญญาณแบบควอดเรเจอร์ ทั้งนี้เพื่อนำไปใช้ในระบบสื่อสาร เช่นในการมอดูเลตสัญญาณ SSB เป็นต้น [6]

ในทศวรรษที่ผ่านมา มีความพยายามที่จะลดแรงดันไฟเลี้ยงในวงจรแอนะล็อก เนื่องมาจากความต้องการที่จะนำมาใช้กับอุปกรณ์แบบพกพา หรืออุปกรณ์ที่ใช้แบตเตอรี่ ดังนั้นจึงได้นำเทคนิคการทำงานในโหมดกระแส (Current – mode) มาใช้ ซึ่งมีข้อดีหลายประการได้แก่ มีช่วงพลวัตกว้าง (Large dynamic range) มีแบนด์วิธกว้างและบริโภคกำลังไฟฟ้าต่ำ [7-8] จากการศึกษาพบว่าได้มีผู้เสนอวงจรกำเนิดสัญญาณแบบควอดเรเจอร์ ที่ทำงานในโหมดกระแสเป็นจำนวนมาก ในการสังเคราะห์วงจรกำเนิดสัญญาณแบบควอดเรเจอร์สามารถใช้อุปกรณ์ต่างๆ เช่น DVCCs [9], CCCDBAs [10], FDCCIIIs [11], CDTAs [12], CC-CFA [13], เป็นต้น แต่เป็นที่น่าเสียดายที่วงจรเหล่านี้ยังไม่ได้ถูกนำมาใช้งานได้จริงในเชิงพาณิชย์ อันเนื่องมาจากต้นทุนในการผลิตที่สูง และความล่าช้าของการผลิตเป็นวงจรรวม (IC)

ในปี ค.ศ. 2006 บริษัท Burr Brown/Texas Instruments ได้วางจำหน่ายไดมอนด์ทรานซิสเตอร์ (OPA 860) [14] ข้อดีของไดมอนด์ทรานซิสเตอร์ คือสามารถนำมาออกแบบทดแทนเป็นตัวอุปกรณ์แบบต่างๆ ที่นำเสนอไปแล้วข้างต้น อีกทั้งยังตอบสนองความถี่ได้สูงถึง 80 MHz ซึ่งเหมาะกับการออกแบบวงจรแอนะล็อกในปัจจุบันที่ต้องการวงจรที่สามารถทำงานที่ความถี่สูงได้

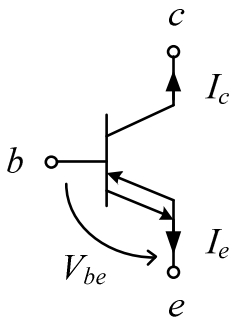
บทความวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมาย เพื่อนำเสนอวงจรกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นไซน์ บนพื้นฐานของหลักการอินทิเกรเตอร์ ซึ่งทำให้ง่ายในการออกแบบและลดความซับซ้อนของวงจร นอกเหนือจากนี้แล้ววงจรยังทำงานได้โดยปราศจากเงื่อนไขของการกำเนิดสัญญาณและอุปกรณ์แบบลอย วงจรที่นำเสนอจึงมีความเหมาะสมในการนำไปใช้งานจริง ผลการจำลองการทำงานของวงจรโดย PSpice แสดงถึงความสอดคล้องกับทฤษฎีที่ได้มีการวิเคราะห์ไว้

2. วงจรและหลักการทำงานของวงจร

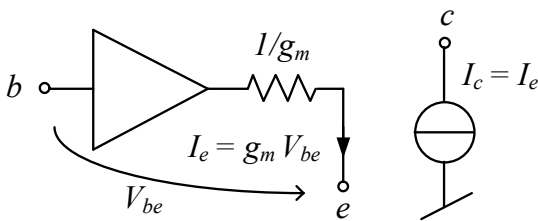
2.1. หลักการทำงานของไดมอนด์ทรานซิสเตอร์

เนื่องจากวงจรที่นำเสนอมีไดมอนด์ทรานซิสเตอร์ (Diamond Transistor) เป็นอุปกรณ์หลัก หัวข้อนี้จึงขอกล่าวถึงคุณสมบัติของไดมอนด์ทรานซิสเตอร์พอสังเขป ในรูปที่ 1 (ก) และ (ข) แสดงสัญลักษณ์และวงจรสมมูลย์ของไดมอนด์ทรานซิสเตอร์ เป็นที่ชัดเจนว่าไดมอนด์ทรานซิสเตอร์ทำงานเป็นวงจรสายพานกระแสรุ่นที่สอง (CCII+) โดยที่ชาอิมิตเตอร์ (e) จะมีค่าความต้านทานแฝง (Parasitic Resistance) ซึ่งมีค่าเท่ากับค่าของความนำถ่ายโอน (Transconductance; g_m) แต่ค่าความนำถ่ายโอนของไดมอนด์ทรานซิสเตอร์มีค่าค่อนข้างสูงอยู่ที่ประมาณ 100mA/V ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหานี้จะนำ R_E มาต่อร่วมแสดงได้ในรูปที่ 2 ซึ่งทำให้ค่าความนำถ่ายโอนมีค่าดังนี้ [14]

$$g'_m = \frac{g_m}{1 + g_m R_E} \approx \frac{1}{R_E} \text{ for } g_m \gg \frac{1}{R_E}. \quad (1)$$

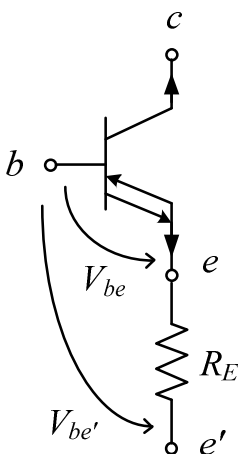


(ก)



(ข)

รูปที่ 1 สัญลักษณ์และวงจรสมมูลย์ของไดมอนด์ทรานซิสเตอร์

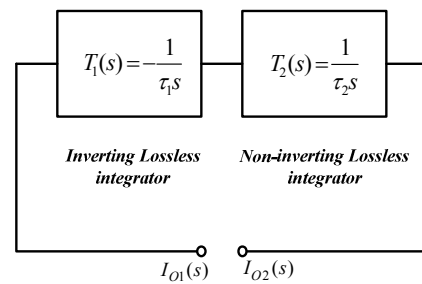


รูปที่ 2 การต่อ R_E ร่วมกับไดมอนด์ทรานซิสเตอร์

2.2. หลักการของวงจรกำเนิดสัญญาณ

หลักการทำงานของวงจรที่นำเสนอประกอบไปด้วยวงจรอินทิเกรเตอร์ที่ไม่มีการสูญเสีย (Lossless Integrator) 2 วงจร วงจรเป็นแบบกลับเฟส และแบบไม่กลับเฟส ตามลำดับ ซึ่งแสดงแผนผังการทำงานในรูปที่ 3 โดยมีฟังก์ชันการถ่ายโอนดังนี้ [15]

$$G(s) = \frac{I_{o1}(s)}{I_{o2}(s)} = T_1(s)T_2(s) = -\frac{1}{\tau_1\tau_2s^2} \quad (2)$$



รูปที่ 3 แผนผังการกำเนิดสัญญาณที่นำเสนอ [15]

ในการทำงานเป็นวงจรกำเนิดสัญญาณต้องกำหนดให้อัตราขยายวงรอบ (Loop Gain) เท่ากับหนึ่ง ดังนั้น

$$T_1(s)T_2(s) = -\frac{1}{\tau_1\tau_2s^2} = 1 \quad (3)$$

นั่นคือ

$$s^2 + \frac{1}{\tau_1\tau_2} = 0 \quad (4)$$

เมื่อแทนค่า $s = j\omega$ ลงในสมการที่ (4) จะได้

$$\omega^2 = \frac{1}{\tau_1\tau_2} \quad (5)$$

จากสมการที่ (4) ความถี่ของการกำเนิด

สัญญาณจะได้

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{\tau_1 \tau_2}} \quad (6)$$

จากสมการที่ (6) พบว่าสามารถปรับค่าความถี่ในการกำเนิดสัญญาณได้จากค่าคงตัวเวลา (Time Constant) τ_1 และ τ_2

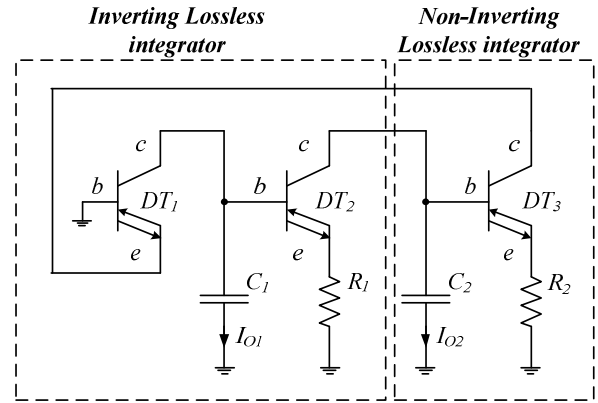
2.3. วงจรกำเนิดสัญญาณที่นำเสนอ

จากแผนผังการทำงานในรูปที่ 3 สามารถออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณโดยใช้ไดมอนด์ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์แอคทีฟต่อร่วมกับ C_1 , C_2 และ R_1 , R_2 ซึ่งแสดงในรูปที่ 4 โดยส่วนแรกของวงจรอินทิเกรเตอร์ที่ไม่มีการสูญเสียแบบกลับเฟส (Inverting Lossless integrator) มีอินพุตที่ขา e ของ DT_1 และเอาต์พุตอยู่ที่ขา c ของ DT_2 วงจรจะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนเท่ากับ

$$T_1(s) = -\frac{1}{R_1 C_1 s} \quad (7)$$

ส่วนที่สองของวงจรอินทิเกรเตอร์ที่ไม่มีการสูญเสียแบบไม่กลับเฟส (Non-Inverting Lossless integrator) มีอินพุตที่ขา b และเอาต์พุตอยู่ที่ขา c ของ DT_3 วงจรจะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนเท่ากับ

$$T_2(s) = -\frac{1}{R_2 C_2 s} \quad (8)$$



รูปที่ 4 วงจรสมบูรณของวงจรกำเนิดสัญญาณที่นำเสนอ

จากสมการที่ (7) และ (8) เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4 จะพบว่าวงจรอินทิเกรเตอร์แบบกลับเฟสและไม่กลับเฟสเป็นการต่ออนุกรมกัน ดังนั้นจะได้สมการดังนี้

$$T_1(s)T_2(s) = -\frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2 s^2} \quad (9)$$

จากสมการที่ (9) สามารถควบคุมความถี่ของการกำเนิดสัญญาณได้จากการปรับค่า C_1 , C_2 และ R_1 , R_2 โดยเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 3 จากวงจรอินทิเกรเตอร์ที่ไม่มีการสูญเสียแบบกลับเฟสในช่วงอยู่ตัว (Steady State) ของสัญญาณไซน์ จะเขียนได้ดังนี้

$$T_1(s) = -\frac{1}{R_1 C_1 s} \quad (10)$$

จากสมการที่ (10) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$T_1(j\omega) = -\frac{1}{\omega R_1 C_1} e^{j90} \quad (11)$$

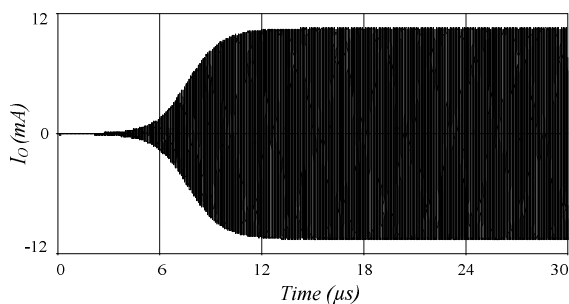
จากสมการที่ (11) จะแสดงให้เห็นว่าสัญญาณ $I_{O1}(s)$ และ $I_{O2}(s)$ มีเฟสต่างกัน

$$\phi = 90^\circ \quad (12)$$

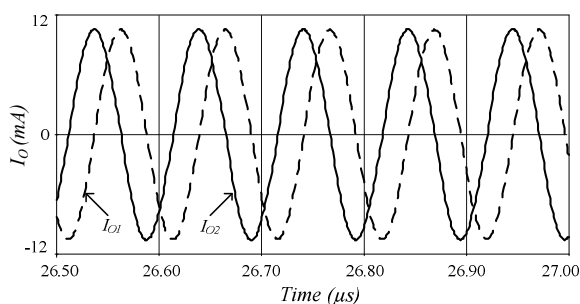
ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามอดูเลชันเฟสจากสมการที่ (12) มีค่าเท่ากับ 90 องศา ซึ่งเป็นไปตามคุณสมบัติของวงจรกำเนิดสัญญาณแบบควอดเรเจอร์

4. ผลจำลองการทำงาน

เพื่อเป็นการยืนยัน และทดสอบสมรรถนะของวงจรกำเนิดสัญญาณที่นำเสนอ ได้มีการจำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม PSpice โดยค่าตัวเก็บประจุ C_1 , C_2 มีค่า 0.1nF และตัวต้านทาน R_1 , R_2 มีค่า 150Ω สำหรับไดมอนด์ทรานซิสเตอร์ที่ใช้ในการจำลองการทำงานของวงจร คือเบอร์ OPA860 กำหนดให้วงทำงานที่แรงดัน $\pm 5V$ ผลของวงจรแสดงได้ในรูปที่ 5-7



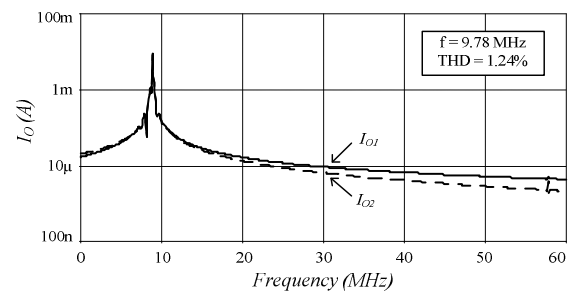
รูปที่ 5 สัญญาณควอดเรเจอร์ในสภาวะเริ่มต้น



รูปที่ 6 สัญญาณควอดเรเจอร์กระแสเอาต์พุตในสภาวะอยู่ตัว

รูปที่ 5-6 แสดงสัญญาณคลื่นไซน์มีความต่างเฟสกัน 90 องศา ที่มีขนาดกระแสอยู่ที่ $\pm 10.50mA$ รูปที่ 7

แสดงสเปกตรัมของสัญญาณที่ความถี่ 9.78MHz ซึ่งมีค่าผิดเพี้ยนทางฮาร์โมนิกส์รวม 1.24 % ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ผลจากการทดลองมีความถูกต้องตามที่วิเคราะห์ไว้ในสมการที่ (9)–(11)



รูปที่ 7 สเปกตรัมของสัญญาณที่ความถี่ 9.78 MHz

5. สรุปผลการวิจัย

บทความวิจัยนี้ได้นำเสนอวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ชนิดควอดเรเจอร์ ที่สามารถให้สัญญาณได้ในโหมดกระแสโดยใช้ ไดมอนด์ทรานซิสเตอร์จำนวน 3 ตัว ต่อร่วมกับตัวเก็บประจุ 2 ตัว และตัวต้านทาน 2 ตัวแบบต่อลงกราวด์ ซึ่งทำให้วงจรยังทำงานได้โดยปราศจากเงื่อนไขของการกำเนิดสัญญาณ และอุปกรณ์แบบลอย ผลการทดลองสมรรถนะของวงจรพบว่า มีอัตราการบริโภคกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.21 W ที่ความถี่ 9.78 MHz นอกเหนือจากนี้แล้วด้วยโครงสร้างที่ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่จำหน่ายในเชิงพาณิชย์ จึงมีความสะดวกในการนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับวงจรรวมขนาดใหญ่ (VLSI)

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] R. F. Graf: "Oscillator Circuits.", Newnes Boston, 1997, pp. 164.
- [2] J. Bayard, "Single grounded resistance tuneablesinusoidal oscillator". IEE Proceeding-G, Circuits, Devices and System, Vol. 151, pp. 74-77, 2004.

- [3] M.T. Abuelma'atti, and M.A. Al-qahtani, "Lowcomponent second-generation current conveyor-based multiphase sinusoidal oscillator". Int. J.Elec., Vol. 84, pp. 45-52, 1998.
- [4] H. Barthelemy, S. Meillere, and E. Kussener, "CMOS sinusoidal oscillator based on current-controlled current conveyors.", ElectronicsLetters, Vol.38, pp. 1254-1256, 2002.
- [5] C.M. Chang and Liao, "T.S. Novel sinusoidaloscillators using a single dual current outputOTA." Int. J. Elec., Vol. 89, pp. 493-503, 2002.
- [6] I. A. Khan, and S. Khawaja, "An integrable gm-Cquadrature oscillator", Int. J. Elec., vol. 87, pp. 1353-1357, 2000.
- [7] C. Toumazou, F. J. Lidgely, and D. G. Haigh, "Analogue IC design: the current-modeapproach," Peregrinus, London, UK, 1990.
- [8] D. R. Bhaskar, V. K. Sharma, M. Monis and S. M. I.Rizvi, "New current-mode universal biquad filter", Microelectronics Journal, vol. 30, pp. 837-839, 1999.
- [9] J.W. Horng, "Current-Mode Quadrature Oscillatorwith Grounded Capacitors and Resistors UsingTwo DVCCs", IEICE Trans. ,vol.E86-A, pp2152-2154, 2003.
- [10] W. Jaikla and M. Siripruchyanun, "AVersatileQuadrature Oscillator and Universal Biquad FilterUsing CCCDBAs" Proceeding of ECTI-CON,Thailand, 2006, pp. 501-504.
- [11] J.W. Horng, C.L. Hou, C.M. Chang, H.P. Chou, C.T.Lin, and Y.H. Wen, "Quadrature Oscillators with Grounded Capacitors and Resistors UsingFDCCIIIs", ETRI Journal, vol.28, pp. 486-494, 2006.
- [12] D.Biolek, V. Biolkova, A. Ümit Keskin , "Currentmode quadrature oscillator using two CDTAs andtwo grounded capacitors," Proceedings of the 5th WSEAS Int. Conf., Canary Islands Spain, pp.368-370, 2006.
- [13] J. Kumbun, P. Silapan, M. Siripruchyanun and P.Prommee, "A Current-mode Quadrature Oscillator Based on CC-CFAs," IEEE, 2009.
- [14] OPA860. Wide Bandwidth Operational Transconductance Amplifier (OTA) and Buffer.Datasheet, Texas Instruments, SBOS331B, June20.
- [15] มนตรี ศิริปรัชญานันท์, "วงจรกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นไซน์ชนิดควอดเรเตอร์โหมดกระแสที่ใช้อุปกรณ์แอคทีฟและสามารถควบคุมความถี่ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์", การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 27 (EECON27), หน้าที่ 245-248, 2547.