

วงจรกำเนิดสัญญาณชาน์ชนิดควอดเรเจอร์ควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้ไอซี LM13700 และ AD630

Electronically Adjustable Sinusoidal Quadrature Oscillator Using ICs LM13700 and AD630

สุชาติ เขียวนอก¹ นิสิต อดอง¹ เสริมศักดิ์ ทิพย์วงศ์¹ สุวิชา พุทธารัตน์¹
และ โกศล พัทธสัถยาพรต^{1*}

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
83 หมู่ที่ 11 ตำบลสะเดียง อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ 67000 E-mail: koson.p@pcru.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอ วงจรกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นไซน์ชนิดควอดเรเจอร์โหมดแรงดัน โดยใช้ไอซี LM13700 และ AD630 ซึ่งมีขายทั่วไปเชิงพาณิชย์โดยมีตัวเก็บประจุ 2 ตัว และตัวต้านทาน 1 ตัว เงื่อนไขและความถี่การกำเนิดสัญญาณสามารถควบคุมได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์อิสระจากกัน ผลการจำลองด้วยโปรแกรม PSPICE สอดคล้องกับทฤษฎีที่คาดการณ์ไว้ ค่าผิดเพี้ยนทางฮาร์โมนิกสักรวมของวงจรที่นำเสนออยู่ในช่วง 0.46% - 5.4% อัตราบริโภคกำลังงานมีค่าเท่ากับ 162 mW

คำสำคัญ: วงจรกำเนิดสัญญาณชาน์ชนิดควอดเรเจอร์, ไอซีเชิงพาณิชย์

Abstract

This paper presents a voltage-mode quadrature sine waveform generator circuit using ICs LM13700 and AD630, commercially available with 2 capacitors and 1 resistor. The frequency of oscillation and the condition of oscillation can be electronically controlled independently. The results of the simulation with the PSPICE program are consistent with the predicted theory, the total harmonic distortion of the proposed circuit ranges from 0.46% - 5.4%. The power consumption rate is 162 mW.

Keywords: quadrature oscillator, commercially available ICs

1. บทนำ

วิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์จะมีการนำสัญญาณชาน์ไปใช้งานอย่างกว้างขวางโดยนำไปเพื่อป้อนเป็นอินพุตให้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกใช้งานในระบบต่างๆ ได้แก่ ระบบสื่อสาร ระบบ

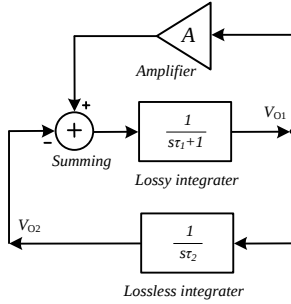
เครื่องมือวัด และระบบประมวลสัญญาณ เป็นต้น โดยวงจรที่ทำหน้าที่สร้างสัญญาณชาน์ได้แก่ วงจรกำเนิดสัญญาณ (Oscillator) นิยมจะพัฒนาให้มีการกำเนิดสัญญาณชาน์พร้อมกันสองสัญญาณโดยมีเฟสต่างกัน 90 องศา เรียกว่าสัญญาณควอดเรเจอร์ เพื่อนำไปใช้ในระบบเครื่องมือวัด เช่น การตรวจจับความไวต่อเฟสของสัญญาณ (Phase Sensitive Detection :PSD) เป็นต้น [1]

วงจรกำเนิดสัญญาณชาน์ชนิดควอดเรเจอร์สามารถออกแบบเพื่อให้เกิดความสามารถในการควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ทันสมัย ด้วยคุณสมบัตินี้พารามิเตอร์ของวงจรเช่น ความถี่การกำเนิดสัญญาณ (Frequency of oscillation : FO) และเงื่อนไขการกำเนิดสัญญาณ (Condition of oscillation : CO) สามารถควบคุมได้โดยง่ายผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรกำเนิดสัญญาณประเภทนี้เรียกว่าวงจรกำเนิดสัญญาณควบคุมด้วยแรงดันไฟฟ้า (VCO) วงจรกำเนิดสัญญาณควบคุมด้วยแรงดันไฟฟ้าเหล่านี้ได้รับการออกแบบและใช้งานในชิป CMOS ซึ่งให้ข้อดีหลายประการเช่นการใช้พลังงานต่ำขนาดกะทัดรัดการทำงานที่แรงดันไฟฟ้าต่ำความเร็วสูง ฯลฯ อย่างไรก็ตามหากพิจารณาต้นทุนการลงทุนสำหรับการผลิตชิปเหล่านี้ก็มีความเสี่ยงที่จะผลิตจำนวนมาก แต่สำหรับการออกแบบวัตถุประสงค์เฉพาะหรือปริมาณวงจรมีขนาดเล็กการออกแบบของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ไอซีที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ทั่วไปจะดีกว่า ด้วยคุณสมบัตินี้ก็ยังถูกกว่าและสะดวกกว่าเมื่อเทียบกับการผลิตชิปไอซี [2] การสังเคราะห์วงจรแอนะล็อกโดยใช้ไอซีที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ ได้มีการเสนออย่างต่อเนื่อง [3-7] โดยเฉพาะการออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณชาน์ชนิดควอดเรเจอร์ที่สามารถควบคุมด้วยแรงดันไฟฟ้าโดยใช้ไอซีที่มีจำหน่ายทั่วไปเชิงพาณิชย์ [8-12]

2. หลักการของวงจรที่นำเสนอ

2.1 หลักการแนวคิดในการสังเคราะห์วงจร

วงจรกำเนิดสัญญาณชาวน์ชนิดคลอเคลรเจอร์สามารถสังเคราะห์ได้โดยใช้บล็อกไดอะแกรมพื้นฐานในรูปที่ 1 วงจรย่อยประกอบด้วยวงจรอินทิเกรเตอร์แบบสูญเสีย วงจรอินทิเกรเตอร์แบบไม่สูญเสีย วงจรแอมพลิฟายเออร์ และวงจรรวมสัญญาณ วงจรย่อยทั้งหมดอยู่ในโหมดแรงดัน



รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมพื้นฐาน

จากรูปที่ 1 วงจรกำเนิดสัญญาณชาวน์ชนิดคลอเคลรเจอร์จะได้สมการคุณลักษณะดังนี้

$$s^2 \tau_1 \tau_2 + s \tau_2 (1-A) + 1 = 0 \quad (1)$$

เมื่อ $s = j\omega$ จากสมการที่ (1) ค่าความถี่การกำเนิดสัญญาณและเงื่อนไขการกำเนิดสัญญาณจะได้ดังนี้

$$\text{OF: } \omega_0 = \sqrt{\frac{1}{\tau_1 \tau_2}} \quad (2)$$

$$\text{OC: } A \geq 1 \quad (3)$$

ความสัมพันธ์ขนาดสัญญาณเอาต์พุตทั้งสองของวงจรกำเนิดสัญญาณชาวน์ชนิดคลอเคลรเจอร์หาได้ดังนี้

$$\left| \frac{V_{O2}}{V_{O1}} \right|_{\tau_1=\tau_2} = \frac{1}{\tau_1 \omega_0} = 1 \quad (4)$$

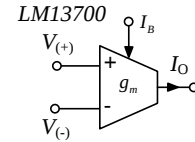
จากสมการที่ (4) ขนาดของสัญญาณเอาต์พุตทั้งสองมีค่าเท่ากันและความสัมพันธ์ของเฟสสัญญาณแสดงได้ดังนี้

$$\theta_{\frac{V_{O2}}{V_{O1}}} = -90^\circ \quad (5)$$

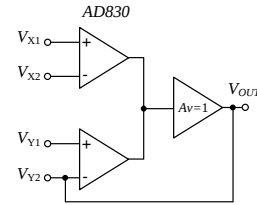
2.2 วงจรที่นำเสนอ

ตามสมการที่ (2) และ (3) ความถี่การกำเนิดสัญญาณขึ้นกับค่าคงที่ τ_1 และ τ_2 ซึ่งเงื่อนไขการกำเนิดสัญญาณปรับได้โดยอัตราขยาย A การควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์ของพารามิเตอร์เหล่านี้สามารถทำได้โดยใช้ไอซีเชิงพาณิชย์ สำหรับการสังเคราะห์วงจร โดยมี LM13700 ในรูปที่ 2 เป็นวงจรขยายความนำถ่ายโอน (Operational Transconductance

Amplifier ; OTA) ซึ่งไอซีที่สามารถปรับค่าความนำได้ด้วยกระแสไบแอส I_B จึงได้รับความนิยมนำไปประยุกต์และออกแบบเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์เป็นจำนวนมากโดยอัตราขยายความนำถ่ายโอนแสดงในสมการที่ (6) และ AD830 ในรูปที่ 3 ต่อใช้งานในลักษณะเป็นวงจรรวมสัญญาณแรงดัน มีความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันในแต่ละขาตั้งสมการที่ (7)



รูปที่ 2 ไอซี LM13700



รูปที่ 3 ไอซี AD830

$$g_m = \frac{I_B}{2V_T} \quad (6)$$

$$V_{OUT} = V_{X1} - V_{X2} + V_{Y1} \quad (7)$$

วงจรที่นำเสนอเป็นวงจรกำเนิดสัญญาณชาวน์ชนิดคลอเคลรเจอร์โหมดแรงดันดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งวงจรประกอบไปด้วยไอซี LM13700, AD830, ตัวต้านทาน 1 ตัว และตัวเก็บประจุที่อีก 2 ตัว เมื่อทำการวิเคราะห์วงจรกำเนิดสัญญาณชาวน์ที่นำเสนอจะได้สมการคุณลักษณะดังนี้

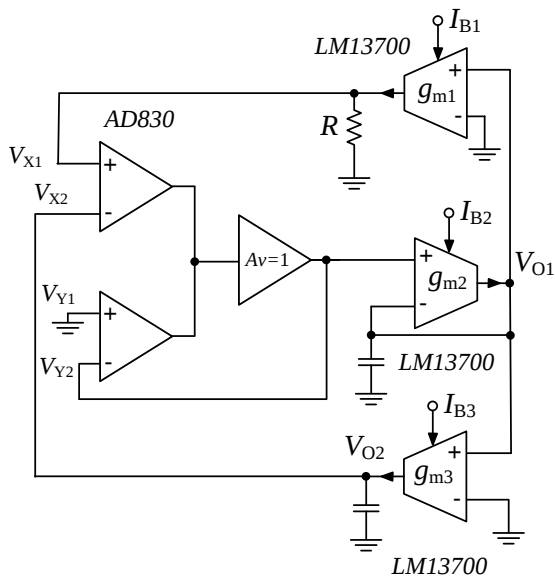
$$s^2 + s \frac{g_{m2}(1-g_{m1}R)}{C_1} + \frac{g_{m2}g_{m3}}{C_1C_2} = 0 \quad (8)$$

ซึ่งเงื่อนไขและความถี่การกำเนิดสัญญาณสามารถแสดงได้เป็น

$$g_{m1}R \geq 1 \quad (9)$$

และ

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g_{m2}g_{m3}}{C_1C_2}} \quad (10)$$



รูปที่ 4 วงจรที่นำเสนองาน

2.3 การวิเคราะห์วงจรกรณีไม่เป็นอุดมคติ

วงจรในกรณีที่ OTA ซึ่งใช้ในวงจรเกิดความไม่เป็นอุดมคติ สามารถวิเคราะห์และแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$I_O = \beta_{(+)} g_m V_{(+)} - \beta_{(-)} g_m V_{(-)} \quad (11)$$

เมื่อพารามิเตอร์ $\beta_{(+)}$ และ $\beta_{(-)}$ คือค่าความคลาดเคลื่อนของการส่งผ่านแรงดันจากอินพุตไปยังกระแสเอาต์พุต ซึ่งจะได้สมการคุณลักษณะของวงจรที่นำเสนอดังนี้

$$s^2 + \frac{sg_{m2}(\beta_{2(-)} - \beta_{1(+)}\beta_{2(+)}g_{m1}R)}{C_1} + \frac{\beta_{2(+)}\beta_{3(+)}g_{m1}g_{m2}}{C_1C_2} \quad (12)$$

เมื่อพิจารณาสมการที่ (12) จะได้ว่าเงื่อนไขการกำเนิดสัญญาณ และความถี่การกำเนิดสัญญาณดังนี้

$$\beta_{1(+)}\beta_{2(+)}g_{m1}R \geq \beta_{2(-)} \quad (13)$$

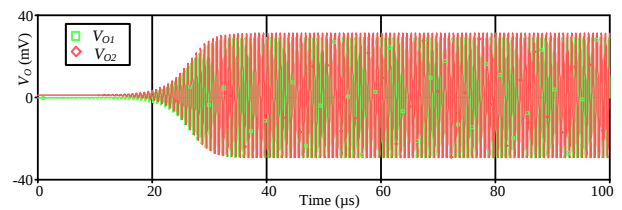
และ

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{\beta_{2(+)}\beta_{3(+)}g_{m2}g_{m3}}{C_1C_2}} \quad (14)$$

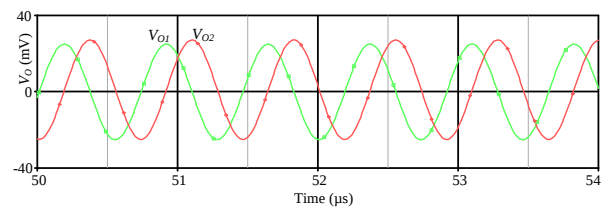
2.4 ผลการจำลองการทำงาน

เพื่อเป็นการยืนยันและทดสอบสมรรถนะของวงจรที่นำเสนองาน จึงได้จำลองการทำงานของวงจรผ่านโปรแกรม PSpice โดยใช้ไอซี

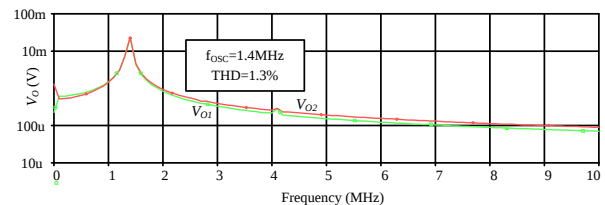
LM13700 และ AD830 ซึ่งป้อนแรงดันไฟเลี้ยงวงจร $\pm 5V$ เมื่อกำหนด $C_1=C_2=1nF$, $I_{B1}=100 \mu A$, $I_{B2}=I_{B3}=500 \mu A$ และ $R=525 \Omega$ การจำลองพบว่าแรงดันที่เอาต์พุตทั้งสองของวงจรเป็นรูปคลื่นไซน์ และมีความต่างเฟสกัน 90° ความถี่การกำเนิดสัญญาณเท่ากับ $1.4 MHz$ แต่จากการคำนวณตามสมการที่ (10) เท่ากับ $1.53 MHz$ ค่าผิดเพี้ยนทางฮาร์โมนิกสแควร์ (THD) ประมาณ 1.3% ผลการจำลองแสดงดังรูปที่ 5-7 โดยเมื่อปรับกระแสไบอัส $I_{B2}=I_{B3}$ ด้วยค่าต่าง ๆ จะได้ค่าความถี่จากการจำลองเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากทฤษฎีดังแสดงในรูปที่ 8



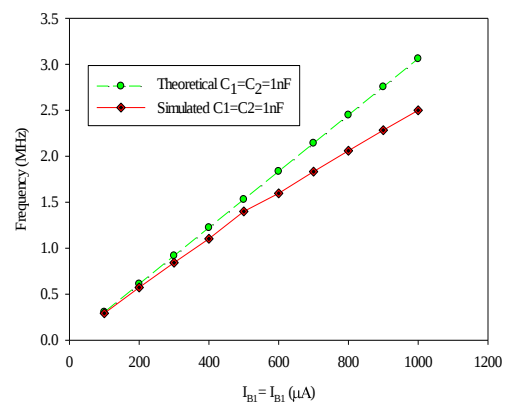
รูปที่ 5 สัญญาณเอาต์พุตชั่วขณะในสภาวะเริ่มต้น



รูปที่ 6 ผลตอบสนองช่วงอยู่ตัวของวงจรการกำเนิดสัญญาณ

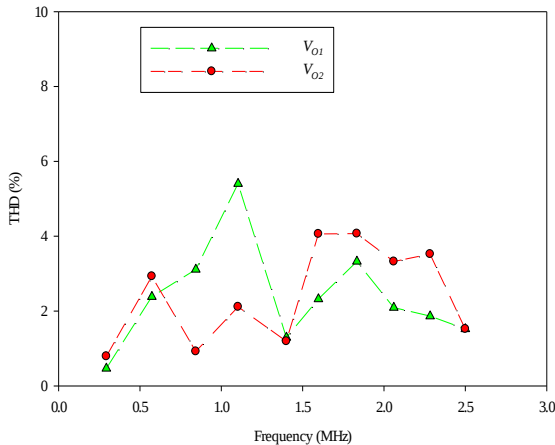


รูปที่ 7 เสปคตรัมของสัญญาณเอาต์พุต



รูปที่ 8 ความถี่ในการกำเนิดสัญญาณเมื่อเปลี่ยนกระแสไบอัส

ค่า THD สัญญาณเอาต์พุตของวงจรที่นำเสนออยู่ในช่วง 0.46% - 5.4% แสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 ค่าผิดเพี้ยนทางฮาร์โมนิกสรวมของวงจรที่นำเสนอ

3. สรุป

บทความวิจัยนี้ได้นำเสนอ วงจรกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นไซน์ ชนิดควอเตอร์เจอร์โฮมดแรงดัน โดยใช้ไอซี LM13700 และ AD830 ร่วมกับตัวเก็บประจุ 2 ตัว และตัวต้านทาน 1 ตัว เงื่อนไขและความถี่การกำเนิดสัญญาณสามารถปรับค่าได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์และแยกอิสระจากกัน อัตราบริโภคกำลังงานเท่ากับ 162 mW จำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSPICE พบว่าวงจรทำงานได้สอดคล้องกับที่คาดการณ์ไว้

4. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่ให้การสนับสนุนและความช่วยเหลือในการจัดทำบทความนี้ ซึ่งได้ช่วยให้บทความนี้สำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

[1] W. Jaikla, S. Adhan, P. Suwanjan, and M. Kumngrern, "Current/voltage controlled quadrature sinusoidal oscillators for phase sensitive detection using commercially available IC," in *Sensors*, vol. 20, no. 5, pp. 1319, 2020.

[2] S. Siripongdee, W. Jaikla, "Electronically controllable grounded inductance simulators using single commercially available IC: LT1228," *AEU-Int. Electron. Commun.*, vol. 76, pp.1-10, 2017.

[3] E. Yuce, R. Verma, N. Pandey, S. Minaei, "New CFOA-based first-order all-pass filters and their applications," in *AEU-Int. Electron. Commun.*, vol. 103, pp. 57-63, 2019.

[4] G. Barile, L. Safari, G. Ferri, V. Stornelli, "A VCII-based stray insensitive analog interface for differential capacitance sensors," in *Sensors* vol. 19, pp. 3545, 2019.

[5] B. Han, Y. Xu, F. Dong, "Design of current source for multi-frequency simultaneous electrical impedance tomography," in *Rev. Sci. Instrum.*, vol. 88, no. 9, 2017.

[6] E. Yuce, "DO-CCII/DO-DVCC based electronically fine tunable quadrature oscillators," in *J. Circuit. Syst. Comput.*, vol. 26, no. 2, 2017

[7] E. Yuce, S. Minaei, O. Cicekoglul, "Limitations of the simulated inductors based on a single current conveyor," in *IEEE Trans. Circuits Syst.*, vol. 53, pp.2860-2867, 2006.

[8] S.-F. Wang, H.-P. Chen, Y. Ku, Y.-C. Lin, "Versatile tunable voltage-mode biquadratic filter and its application in quadrature oscillator," in *Sensors*, vol. 19, pp. 2349, 2019.

[9] R. Sotner, L. Polak, J. Petrzela, L. Langhammer, "Practical design of the voltage controllable quadrature oscillator for operation in MHz bands employing new behavioral model of variable-voltage-gain currentconveyor of second generation," in *J. Comput. Electron.*, vol. 17, pp. 1685-1694, 2018.

[10] R. Sotner, J. Jerabek, N. Herencsar, J. Petrzela, "Methods for Extended Tunability in Quadrature Oscillators Based on Enhanced Electronic Control of Time Constants," in *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 67, pp1495-1505, 2018.

[11] R. Sotner, N. Herencsar, J. Jerabek, L. Langhammer, J. Polak, "On practical construction of electronically controllable compact current amplifier based on commercially available elements and its application," in *AEU-Int. Electron. Commun.*, vol. 81, pp. 56-66, 2017.

[12] R. Sotner, J. Jerabek, L. Langhammer, J. Polak, N. Herencsar, R. Prokop, J. Petrzela, W. Jaikla, "Comparison of Two Solutions of Quadrature Oscillators With Linear Control of Frequency of Oscillation Employing Modern Commercially Available Devices," in *Circuits Syst. Signal Process.*, vol. 34, pp. 3449-3469, 2015.