

โครงข่ายกรองความถี่โหมดกระแสแบบหลายหน้าที่ และการประยุกต์ใช้งาน*

วินัย ใจกล้า¹⁾ และ มนต์รี ศรีปรัชญานันท์²⁾

¹⁾ อาจารย์ โปรแกรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา 10300

²⁾ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนคร
เหนือ 10800

Email: jnai@riss.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอ โครงข่ายกรองความถี่โหมดกระแสแบบใหม่ที่สามารถให้ฟังก์ชันได้หลายหน้าที่ ลักษณะเด่นของโครงข่ายที่นำเสนอคือ สามารถควบคุมค่าควอลิตี้แฟกเตอร์ได้อย่างอิสระจากค่าความถี่ตัดโดยใช้กระแสที่ไบอัส OTA อีกทั้งโครงข่ายยังสามารถให้กำเนิดสัญญาณชายนแบบควอเทรเตอร์ได้ หากมีการกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมโดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงโครงสร้างวงจร จึงส่งผลให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นวงจรมอดูเลตสัญญาณ AM/ASK ที่ใช้ในระบบสื่อสารได้นอกจากใช้เป็นโครงข่ายกรองความถี่ ผลการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSPICE พบว่าวงจรทำงานได้สอดคล้องกับที่คาดการณ์ไว้ วงจรมีอัตราการใช้พลังงานกำลังงานสูงสุด 3.03mW ที่แหล่งจ่ายแรงดัน $\pm 1V$ นอกจากนี้ ด้วยโครงสร้างของโครงข่ายประกอบไปด้วยเพียง OTA จำนวน 4 ตัว ซึ่งแต่ละตัวสามารถทำงานได้ในความถี่ย่านกว้างถึง 40.19MHz ต่อกับตัวเก็บประจุที่ต่อลงกราวด์อีก 2 ตัว จึงมีความเหมาะสมสำหรับการพัฒนาไปสู่วงจรรวม เพื่อนำไปใช้ในระบบสื่อสารแบบไร้สายที่ใช้แบดเตอร์เป็นแหล่งจ่ายกำลัง

คำสำคัญ : วงจรกรองความถี่, วงจรกำเนิดสัญญาณ, วงจรมอดูเลต, โหมดกระแส, OTA

* รับต้นฉบับเมื่อวันที่ 26 ธันวาคม 2548 และได้รับบทความฉบับแก้ไขเมื่อวันที่ 6 พฤศจิกายน 2549

A Novel Versatile Current-mode Universal Biquadratic Network and its applications^{*}

Winai Jaikla¹⁾ and Montree Siripruchyanun²⁾

¹⁾ Lecturer, Electrical and electronics Program, Faculty of Industrial Technology,
Suan Sunandha Rajabhat University 10300

²⁾ Assistant Professor, Department of Teacher Training in Electrical Engineering,
Faculty of Technical Education, King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok 10800

Email: jnai@riss.ac.th

ABSTRACT

This article presents a novel current-mode universal biquadratic network providing standard transfer functions. The principal elements of proposed network are OTAs. The feature of this network is that the pole frequency quality factor can be orthogonally adjusted via input bias currents. Besides performing as a universal filter, with an appropriate condition, the proposed network can function as a quadrature oscillator without changing its circuit topology. The oscillation frequency and amplitude can be independently controlled via input bias currents. With the above major advantages, the proposed oscillator can be applied to provide AM/ASK that is widely used in communication systems. The PSPICE simulation results are depicted. The given results agree well with the theoretical anticipation, where the maximum power consumption is 3.03mW at $\pm 1V$ supply voltages. In addition, the circuit description is very simple, consisting of merely 4 OTAs and 2 grounded capacitors. Each OTA provides cutoff frequency up to 40.19MHz. Without any external resistors and using only grounded elements, the proposed circuit is very easy to further develop into an IC form for operating in a battery-powered portable wireless communication system equipment.

Keywords : filter, oscillator, modulator, current-mode, OTA

^{*} Original manuscript submitted: December 26, 2005 and Final manuscript received: November 6, 2006

บทนำ

ในงานด้านวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วงจรกรองความถี่และวงจรกำเนิดสัญญาณเป็นวงจรที่สำคัญและมีการนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง ตัวอย่างการใช้งาน ได้แก่ ระบบสื่อสาร ระบบเครื่องมือวัดและระบบประมวลผลสัญญาณ (Khan and Khawaja, 2000 and Ibrahim *et al*, 2005) เป็นต้น ลักษณะเด่นของวงจรทั้งสองที่มีการพยายามพัฒนากันมาก เป็นไปในลักษณะดังนี้ หากเป็นวงจรกรองความถี่จะพัฒนาให้เป็นวงจรกรองความถี่แบบหลายหน้าที่ (Universal biquadratic filter) ที่มีข้อดีกว่าวงจรกรองความถี่ทั่วไปคือ วงจรสามารถทำหน้าที่ได้หลายแบบ เช่น กรองความถี่ต่ำผ่าน สูงผ่าน กรองแถบความถี่ผ่าน กำจัดแถบความถี่ และกรองผ่านทุกความถี่สำหรับใช้ในการเลือกเฟสสัญญาณ ซึ่งให้ฟังก์ชันได้หลายแบบในเวลาเดียวกันโดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของวงจร โดยส่วนใหญ่แล้วฟังก์ชันที่มีการใช้งานมากที่สุดได้แก่ การกรองความถี่ต่ำผ่าน สูงผ่าน และกรองแถบความถี่ผ่าน (Toumazou and Lidgey, 1986 and Singh and Senani, 1990 and Hou C *et al*, 1999) ส่วนวงจรกำเนิดสัญญาณนิยมพัฒนาให้สามารถกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นชานันได้โดยมีเฟสต่างกัน 90° ซึ่งเรียกว่าสัญญาณควอดเรเตอร์ (Quadrature signal) ทั้งนี้เพื่อนำไปใช้ในระบบสื่อสาร เช่น ในการมอดูเลตสัญญาณ SSB เป็นต้น (Holzel, 1993 and Ahmed *et al*, 1997) แต่อย่างไรก็ตาม ที่ผ่านมาจะพบว่าวงจรกรองความถี่และวงจรกำเนิดสัญญาณนั้นจะมีลักษณะเฉพาะ กล่าวคือ วงจรกรองความถี่จะทำหน้าที่ได้เพียงกรองความถี่ ส่วนวงจรกำเนิดสัญญาณก็จะทำหน้าที่ได้เพียงให้กำเนิดสัญญาณเท่านั้น แต่จากการศึกษาพบว่าทั้งสองวงจรมีหลักการที่คล้ายคลึงกัน จะแตกต่างกันเพียงตำแหน่งโพลของโครงข่ายเท่านั้น

ในทศวรรษที่ผ่านมามีความพยายามที่จะลดแรงดันไฟเลี้ยงในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องมาจากความต้องการที่จะนำมาใช้กับอุปกรณ์แบบพกพา หรืออุปกรณ์สื่อสารแบบไร้สายที่ต้องใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายกำลังงาน จึงมีขีดจำกัดในการสวิงแรงดันในการทำงานของวงจร ดังนั้นจึงมีการใช้เทคนิคการทำงานในโหมดกระแส (Current-Mode) ซึ่งมีข้อดีกว่าโหมดแรงดันหลายประการ ได้แก่ มีช่วงพลีพลวัตกว้าง (Larger Dynamic Range) มีแบนด์วิธกว้าง ทำงานที่แรงดันต่ำได้ดีและบริโภคกำลังงานต่ำ (Toumazou *et al*, 1990 and Hilaras and Laopoulos, 1996) จากการสำรวจพบว่าได้มีผู้เสนองานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวงจรกรองความถี่แบบหลายหน้าที่จำนวนหนึ่ง แต่โดยทั่วไปแล้วทั้งหมดนั้นยังมีการใช้อุปกรณ์พาสซีฟจำนวนมาก (Toumazou and Lidgey, 1986 and Singh and Senani, 1990 and Hou C *et al*, 1999) บางวงจรต้องใช้ตัวเก็บประจุแบบลอย ซึ่งไม่เหมาะที่จะสร้างเป็นวงจรรวม (Sagbas and Fidanboyulu, 2004 and Jiun-Wei, 2001)

จากปัญหาที่ได้นำเสนอหลักการข้างต้น ในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ นำเสนอโครงข่ายกรองความถี่โหมดกระแสแบบใหม่ที่สามารถให้รูปแบบการตอบสนองได้หลายแบบในเวลาเดียวกัน ซึ่งได้แก่ กรองความถี่ต่ำผ่าน กรองความถี่สูงผ่าน และกรองแถบความถี่ผ่าน โดยในโครงข่ายได้ใช้อุปกรณ์หลักคือ OTA ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่เป็นวงจรรวมถูกผลิตมาใช้ในเชิงพาณิชย์ จึงสามารถนำไปต่อใช้งานจริงได้ง่าย นอกเหนือจากนี้ ลักษณะเด่นของโครงข่ายที่นำเสนอคือ สามารถควบคุมค่าควอดรีตีแฟกเตอร์ได้

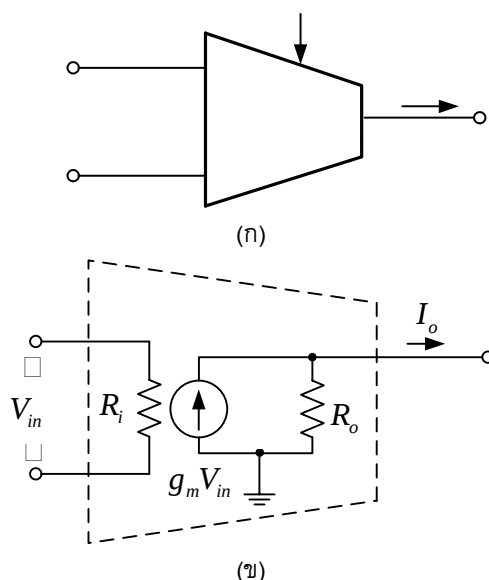
อย่างอิสระจากค่าความถี่ตัด โดยใช้กระแสที่ไบอัส OTA นอกเหนือจากที่ทำงานเป็นโครงข่ายกรองความถี่ได้แล้ว โครงข่ายที่นำเสนอนี้ยังสามารถให้กำเนิดสัญญาณชายนแบบควอดเรเตอร์ที่มีความต่างเฟสกัน 90° ได้ หากมีการกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมโดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงโครงสร้างวงจรแต่อย่างใด อีกทั้งยังสามารถควบคุมความถี่และเงื่อนไขของการกำเนิดสัญญาณได้ด้วยกระแสไบอัส OTA อีกด้วย จึงส่งผลให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นวงจรมอดูเลตสัญญาณ AM/ASK ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในระบบสื่อสารได้ ผลการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSPICE ยืนยันสมรรถนะของโครงข่ายที่นำเสนอได้เป็นอย่างดี

หลักการทำงานของวงจร

1. วงจรขยายความนำถ่ายโอน (Operational Transconductance Amplifier, OTA)

เนื่องจากวงจรที่นำเสนอประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลักคือ วงจรขยายความนำถ่ายโอน หรือ OTA หัวข้อนี้จะขอกล่าวถึงคุณสมบัติของ OTA พอสังเขป

OTA จัดเป็นอุปกรณ์ขยายสัญญาณอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนผันแรงดันเป็นกระแส จัดได้ว่าเป็นอุปกรณ์แอคทีฟที่ีมีการทำงานในลักษณะแรงดันควบคุมแหล่งจ่ายกระแส (Voltage Controlled Current Source: VCCS) อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้าเรียกว่า ค่าความนำถ่ายโอน (Transconductance) หรือ g_m โดยทั่วไป OTA จะสร้างขึ้นจากสารกึ่งตัวนำซึ่งอยู่ในรูปแบบของวงจรรวมและมีคุณสมบัติพื้นฐานในทางอุดมคติ คือ มีค่าความต้านทานอินพุต (R_i) และความต้านทานเอาต์พุต (R_o) สูงจนเป็นอนันต์ ส่วนค่าความนำถ่ายโอนของ OTA สามารถควบคุมได้โดยกระแสไบอัสจากภายนอก สำหรับวงจรสมมูลทางอุดมคติและสัญลักษณ์ของ OTA แสดงดังในรูปที่ 1



รูปที่ 1 วงจรขยายความนำถ่ายโอน (ก) สัญลักษณ์ (ข) วงจรสมมูล

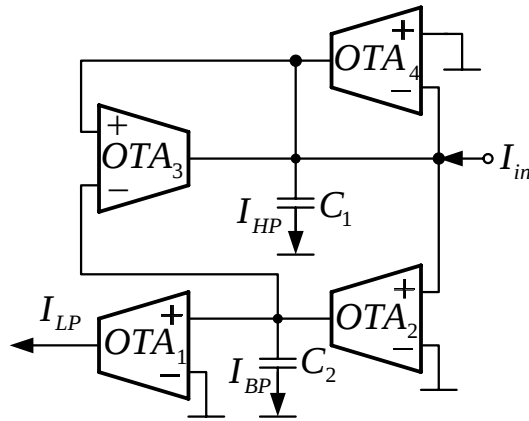
จากรูปที่ 1 สามารถแสดงกระแสเอาต์พุตของ OTA ได้ดังนี้

$$I_o = g_m (V_2 - V_1) \quad (1)$$

เมื่อ $g_m = I_B / 2V_T$ สำหรับ OTA ที่มีโครงสร้างเป็นไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์และ V_T คือศักดาความร้อน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 26mV ที่อุณหภูมิห้อง

2. โครงข่ายกรองความถี่โหมดกระแสแบบหลายหน้าที่ที่นำเสนอ

รูปที่ 2 แสดงโครงสร้างของโครงข่ายกรองความถี่ที่นำเสนอ โดยที่ I_{B1}, I_{B2}, I_{B3} และ I_{B4} เป็นกระแสไบอัสของ OTA_1, OTA_2, OTA_3 และ OTA_4 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาวงจรในรูปที่ 2 จะได้ฟังก์ชันการถ่ายโอนของโครงข่ายเป็นดังนี้



รูปที่ 2 โครงสร้างของวงจรกรองความถี่โหมดกระแสแบบหลายหน้าที่

$$\frac{I_{HP}}{I_{in}} = \frac{s^2}{s^2 + s \frac{1}{C_1} (g_{m4} - g_{m3}) + \frac{g_{m2} g_{m3}}{C_1 C_2}} \quad (2)$$

$$\frac{I_{BP}}{I_{in}} = \frac{sg_{m2}/C_2}{s^2 + s \frac{1}{C_1} (g_{m4} - g_{m3}) + \frac{g_{m2} g_{m3}}{C_1 C_2}} \quad (3)$$

$$\frac{I_{LP}}{I_{in}} = \frac{g_{m1} g_{m2}/C_1 C_2}{s^2 + s \frac{1}{C_1} (g_{m4} - g_{m3}) + \frac{g_{m2} g_{m3}}{C_1 C_2}} \quad (4)$$

จากสมการที่ (2)-(4) พบว่าความถี่ตัดจะเท่ากับ

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g_{m2}g_{m3}}{C_1C_2}} \quad (5)$$

และค่าควอลิตี้แฟกเตอร์จะเท่ากับ

$$Q_0 = \omega_0 \frac{C_1}{(g_{m4} - g_{m3})} \quad (6)$$

เมื่อกำหนดให้ $C_1 = C_2 = C$ และ $g_{m2} = g_{m3} = g_m$ แล้วแทนค่า $g_m = I_B / 2V_T$ จากสมการที่ (5) และ (6) สามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$\omega_0 = \frac{I_B}{2V_TC} \quad (7)$$

$$Q_0 = \frac{I_B}{I_{B4} - I_B} \quad (8)$$

จากสมการที่ (7) และ (8) พบว่า สามารถควบคุมค่าควอลิตี้แฟกเตอร์ (Q_0) โดยอิสระจากความถี่ตัด (ω_0) นั่นคือ ควบคุมค่าควอลิตี้แฟกเตอร์ได้ที่ I_{B4} และควบคุมความถี่ตัดได้ที่ I_B และ C นอกจากนี้โครงข่ายที่นำเสนอสามารถให้ค่าควอลิตี้แฟกเตอร์มีค่าสูงได้ ด้วยการปรับกระแสไบอัส I_{B4} ให้มีค่าเข้าใกล้ I_B มากๆ อย่างไรก็ตาม ไม่ควรที่จะปรับ I_B ให้มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ I_{B4} เพราะจะทำให้ค่าควอลิตี้แฟกเตอร์เข้าสู่จุดอิมิตัว จนไม่สามารถควบคุมได้ และจะไม่เป็นไปตามทฤษฎีที่ได้วิเคราะห์ไว้ในสมการที่ (8) ซึ่งวงจรที่นำเสนอจะแตกต่างจากวงจรรองความถี่ทั่วไป ที่เมื่อต้องการค่าควอลิตี้แฟกเตอร์สูง ต้องปรับค่าที่กระแสให้มีค่ามากตาม โดยแท้ที่จริงแล้วค่ากระแสจะมีขีดจำกัดอยู่ ส่งผลให้ค่าควอลิตี้แฟกเตอร์มีค่าจำกัดไปด้วย สำหรับแบนด์วิธของวงจรหาได้จาก

$$BW = \frac{\omega_0}{Q_0} = \frac{I_{B4} - I_B}{2V_TC} \quad (9)$$

จากสมการที่ (9) ค่าแบนด์วิธของวงจรสามารถปรับอย่างเป็นเชิงเส้นผ่าน I_{B4}

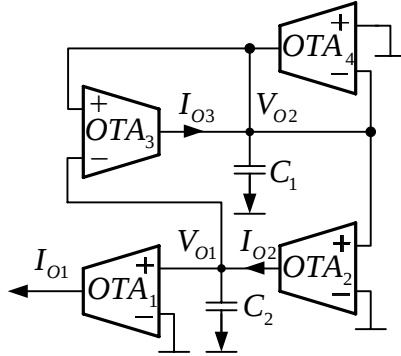
3. ความไวของวงจร

ความไวของความถี่ตัดในโครงข่ายที่นำเสนอหาได้จาก

$$S_{I_B}^{\omega_0} = 2; S_C^{\omega_0} = -2; S_{I_{B3}}^{\omega_0} = 0. \quad (10)$$

ขณะที่ความไวของควอลิตี้แฟกเตอร์คือ

$$S_{I_B}^{Q_0} = 1 - \frac{I_B}{I_{B4} - I_B}; S_{I_{B4}}^{Q_0} = -\frac{I_{B4}}{I_{B4} - I_B} \quad (11)$$



รูปที่ 3 การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายเป็นวงจรกำเนิดสัญญาณแบบควอดเรเตอร์

4. การประยุกต์ใช้งานเป็นวงจรกำเนิดสัญญาณแบบควอดเรเตอร์

จากโครงสร้างวงจรเดิมในรูปที่ 2 เมื่อไม่ป้อนสัญญาณอินพุต ดังรูปที่ 3 สามารถแสดงสมการคุณลักษณะของวงจรได้ดังนี้

$$s^2 + s \frac{1}{C_1} (g_{m4} - g_{m3}) + \frac{g_{m2} g_{m3}}{C_1 C_2} = 0 \quad (12)$$

จากสมการที่ (12) พบว่า วงจรจะสามารถกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นไซน์ (Oscillate) ได้ เมื่อ

$$g_{m4} = g_{m3} \quad (13)$$

สมการที่ (13) เรียกว่า เงื่อนไขการออสซิลเลต (Oscillation condition) นั่นก็คือ ปรับกระแส $I_{B4} = I_{B3}$ และสามารถหาความถี่ที่กำเนิด (Oscillation frequency) ได้ดังนี้

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g_{m2} g_{m3}}{C_1 C_2}} \quad (14)$$

เพื่อ่ายต่อการพิจารณา หากกำหนดให้ $C_1 = C_2 = C$ และ $g_{m2} = g_{m3} = g_m$ เมื่อแทนค่า $g_m = I_B / 2V_T$ จากสมการที่ (14) สามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$\omega_0 = \frac{I_B}{2V_T C} \quad (15)$$

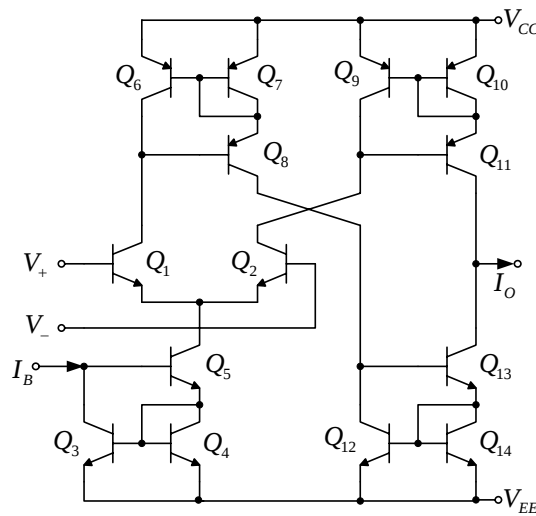
จากสมการที่ (15) พบว่า ค่าความถี่ของสัญญาณสามารถควบคุมได้จากค่ากระแส I_B และ C ส่วนกระแส I_{O1} ในรูปที่ 3 จะหาได้จาก

$$I_{O1} = g_{m1} V_{O1} \quad (16)$$

เมื่อ $g_{m1} = I_{B1} / 2V_T$ สามารถแสดงสมการที่ (16) ได้ใหม่ดังนี้

$$I_{O1} = \frac{I_{B1}}{2V_T} V_{O1} \quad (17)$$

จากสมการที่ (17) พบว่าสามารถควบคุมขนาดของกระแส I_{O1} ได้อย่างเป็นเชิงเส้นที่ I_{B1} ซึ่งหากป้อนกระแส I_{B1} เป็นสัญญาณข้อมูลข่าวสาร ก็จะได้สัญญาณเอาต์พุต I_{O1} เป็นสัญญาณ AM (Amplitude Modulation) เมื่อป้อนสัญญาณ I_{B1} เป็นสัญญาณแอมพลิจูด หรือเป็นสัญญาณ ASK (Amplitude Shift Keying) หากป้อน I_{B1} เป็นสัญญาณดิจิทัล และจากวงจรดังรูปที่ 3 พบว่า วงจรสามารถให้กำเนิดสัญญาณแบบควอดเรเตอร์ได้ทั้งโหมดกระแสและโหมดแรงดันที่เอาต์พุต I_{O2} กับ I_{O3} และ V_{O1} กับ V_{O2} ตามลำดับ เนื่องจาก OTA ที่ต่อร่วมตัวเก็บประจุทำงานเป็นวงจรอินทิเกรเตอร์

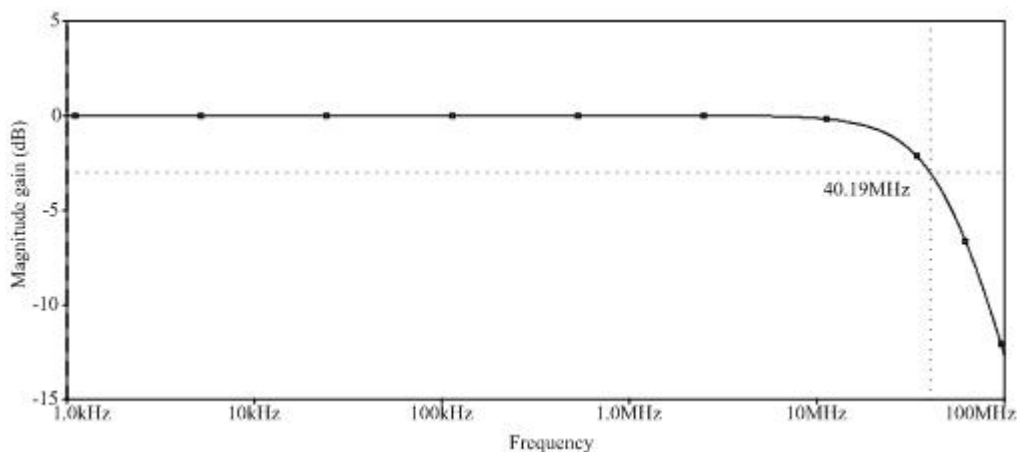


รูปที่ 4 โครงสร้างของ OTA

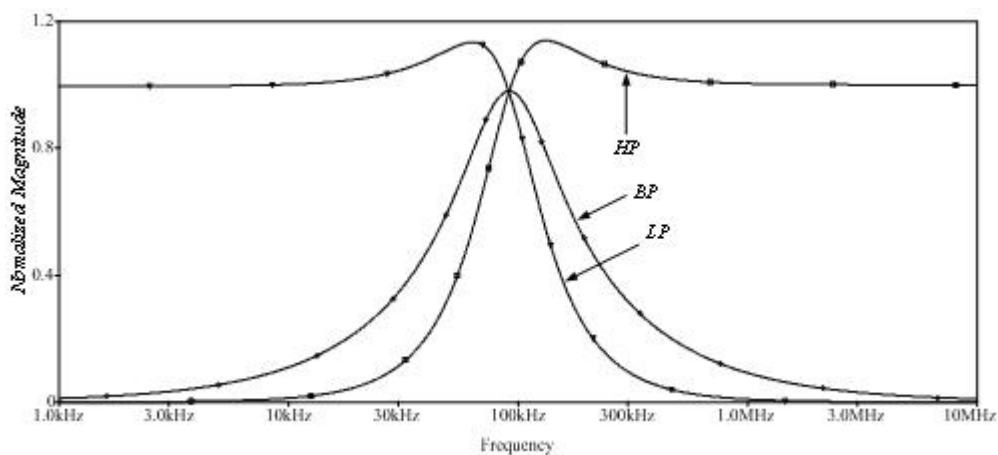
ผลการจำลองการทำงาน

เพื่อเป็นการยืนยันและทดสอบสมรรถนะของวงจรที่นำเสนอ จึงได้จำลองการทำงานของวงจรผ่านโปรแกรม PSPICE สำหรับทรานซิสเตอร์ PNP และ NPN ที่ใช้ในการจำลองการทำงานของวงจรได้ใช้พารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์เบอร์ PR200N และ NR200N ตามลำดับ ซึ่งเป็น

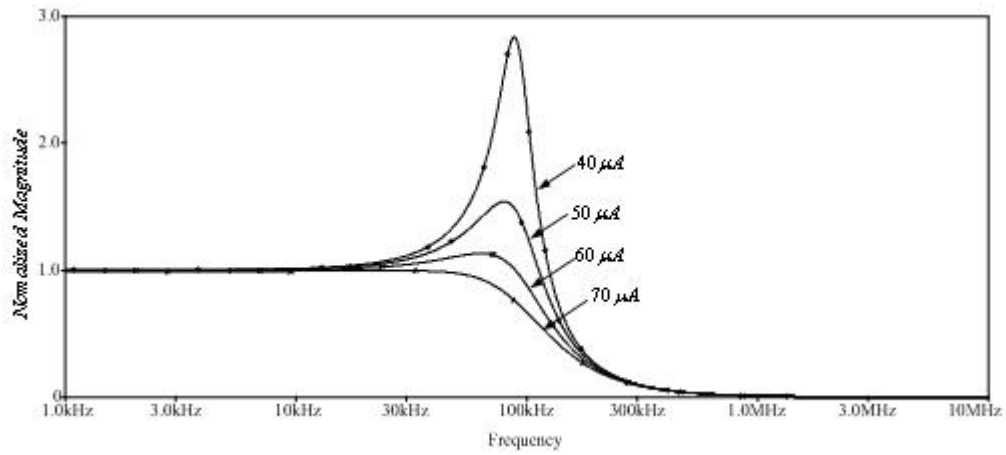
ทรานซิสเตอร์อาร์เรย์ ALA400 ของ AT&T ที่สามารถทำงานได้จนถึงย่านความถี่สูงมาก (Ultra High Frequency) (Frey, 1993) โดยใช้ OTA ที่มีโครงสร้างดังรูปที่ 4 วงจรทำงานที่แหล่งจ่าย $\pm 1V$ รูปที่ 5 เป็นผลตอบสนองทางความถี่ของ OTA ที่ $-3dB$ จะเห็นได้ว่า OTA สามารถทำงานได้ในย่านความถี่กว้างถึง $40.19MHz$ เมื่อกระแสไบอัสที่ป้อนให้ OTA เท่ากับ $50\mu A$ ส่วนการจำลองการทำงานของวงจรกรองความถี่ที่นำเสนอ ลำดับแรกตัวเก็บประจุทั้งสองที่ใช้ในวงจรมีค่าเท่ากันคือ $100pF$ ปรับกระแสไบอัส I_{B1}, I_{B2} และ I_{B3} เท่ากับ $30\mu A$ และ I_{B4} เท่ากับ $60\mu A$ รูปที่ 6 เป็นผลตอบสนองทางความถี่ที่ประกอบไปด้วย Lowpass, Highpass และ Bandpass ส่วนในรูปที่ 7 ถึง 9 เป็นผลการจำลองเพื่อควบคุมค่าควอลิตี้แฟกเตอร์ โดยการปรับค่ากระแสไบอัส I_{B4} ไว้ที่ $40\mu A, 50\mu A, 60\mu A$ และ $70\mu A$ ในกรณีนี้ได้ปรับกระแสไบอัส I_{B1}, I_{B2} และ I_{B3} มีค่าเท่ากันคือ $30\mu A$ และตัวเก็บประจุทั้งสองที่ใช้ในวงจรมีค่าเท่ากันคือ $1nF$ จากผลการจำลองพบว่าสอดคล้องตามสมการที่ 7 และ 8 นั่นคือ สามารถปรับค่าควอลิตี้แฟกเตอร์ได้อย่างเป็นอิสระจากความถี่ตัดด้วยกระแสไบอัส I_{B4}



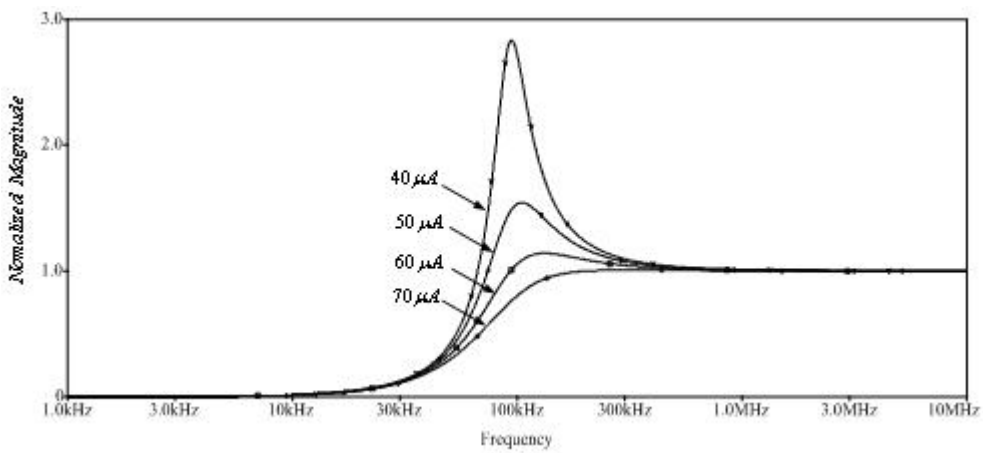
รูปที่ 5 ผลตอบสนองทางความถี่ที่ $-3dB$ ของ OTA



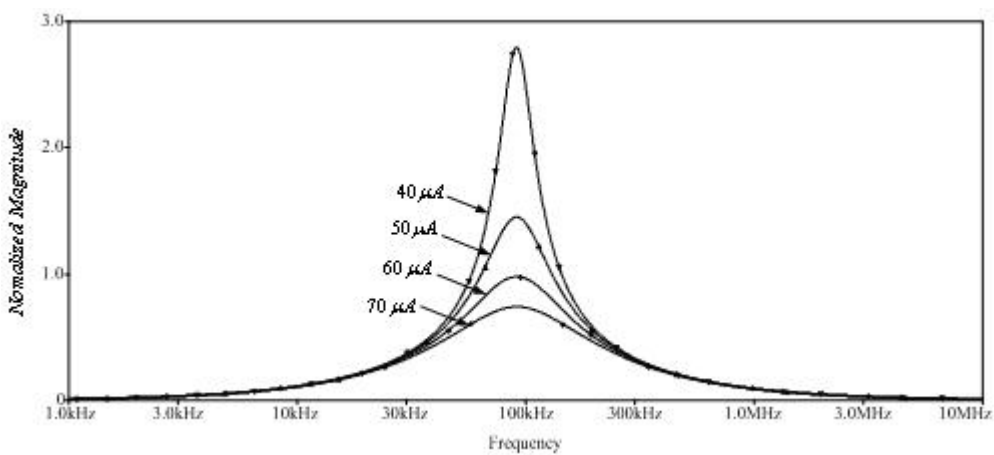
รูปที่ 6 ผลตอบสนองทางขนาดของฟังก์ชันต่างๆของวงจรกรองความถี่ที่นำเสนอ



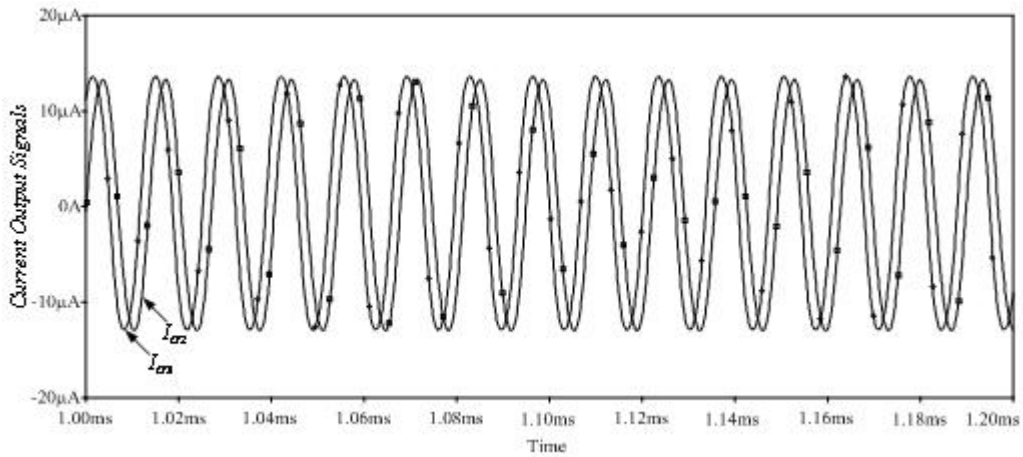
รูปที่ 7 ผลตอบสนองทางขนาดของฟังก์ชัน Lowpass (I_{LP}) เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า I_{B4}



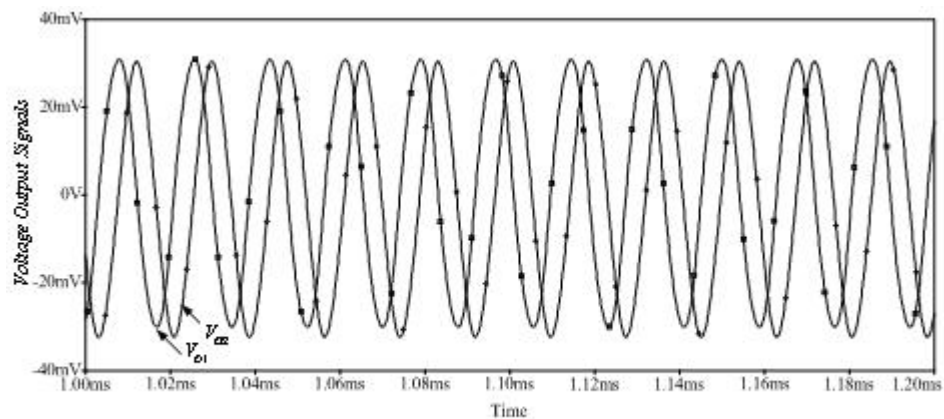
รูปที่ 8 ผลตอบสนองทางขนาดของฟังก์ชัน Highpass (I_{HP}) เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า I_{B4}



รูปที่ 9 ผลตอบสนองทางขนาดของฟังก์ชัน Bandpass (I_{BP}) เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า I_{B4}

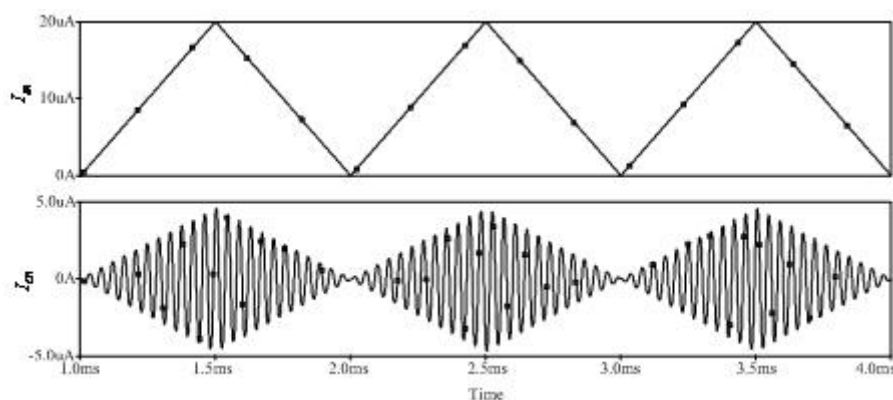


รูปที่ 10 สัญญาณควอดเรเตอร์ในโหมดกระแสที่วัดจาก I_{O2} และ I_{O3}

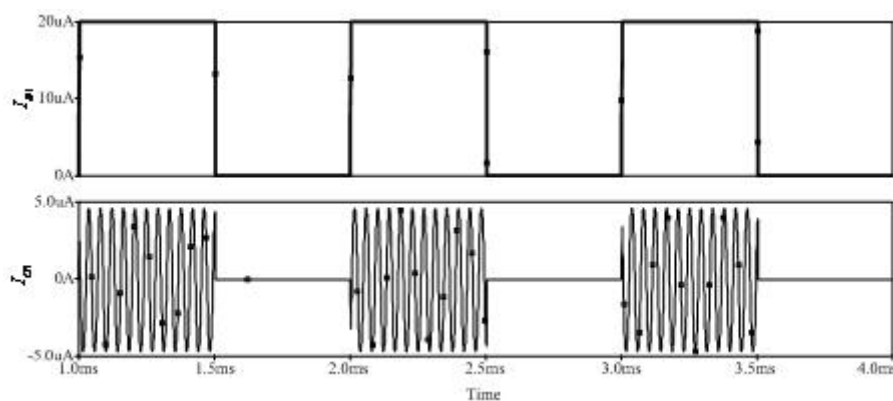


รูปที่ 11 สัญญาณควอดเรเตอร์ในโหมดแรงดันที่วัดจาก V_{O1} และ V_{O2}

ส่วนผลในรูปที่ 10 และ 11 เป็นผลการกำเนิดสัญญาณควอดเรเตอร์ในโหมดกระแสและแรงดันตามลำดับ เมื่อปรับค่า $I_{B2} = I_{B3} = 20\mu A$ และ $I_{B4} = 22\mu A$ สำหรับรูปที่ 12 เป็นสัญญาณ I_{O1} เมื่อป้อนกระแสไบอัส I_{B1} เป็นสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยม สังเกตได้ว่าสัญญาณเอาต์พุต I_{O1} เป็นสัญญาณ AM ส่วนรูปที่ 13 แสดงสัญญาณ I_{O1} เมื่อป้อนกระแสไบอัส I_{B1} เป็นสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมและเห็นได้ว่าสัญญาณเอาต์พุตเป็นสัญญาณ ASK



รูปที่ 12 สัญญาณ I_{O1} เมื่อกระแสไบอัส I_{B1} เป็นสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยม



รูปที่ 13 สัญญาณ I_{O1} เมื่อกระแสไบอัส I_{B1} เป็นสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม

บทสรุป

บทความนี้ได้นำเสนอ โครงข่ายกรองความถี่โหมดกระแสแบบใหม่ที่สามารถให้ฟังก์ชันได้หลายหน้าที่ลักษณะเด่นของโครงข่ายที่นำเสนอคือ สามารถควบคุมค่าควอลิตี้แฟกเตอร์ได้อย่างอิสระจากค่าความถี่ตัด โดยใช้กระแสที่ไบอัส OTA นอกเหนือนี้ยังสามารถให้กำเนิดสัญญาณชายนแบบควอเดเรเตอร์ได้ ซึ่งยังสามารถควบคุมความถี่และขนาดของสัญญาณที่กำเนิดได้ด้วยกระแสไบอัส OTA อีกด้วย จึงส่งผลให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นวงจรมอดูเลตสัญญาณ AM/ASK ได้ ผลการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSPICE พบว่าวงจรทำงานได้สอดคล้องกับที่คาดการณ์ไว้ วงจรมีอัตราการใช้พลังงานสูงสุด 3.03mW ที่แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า $\pm 1V$ นอกเหนือจากนี้ ด้วยโครงสร้างของโครงข่ายนี้ประกอบไปด้วยเพียง OTA จำนวน 4 ตัว ซึ่งแต่ละตัวสามารถทำงานได้ในความถี่ย่านกว้างถึง 40.19MHz ร่วมกับตัวเก็บประจุที่ต่อลงกราวด์อีก 2 ตัว จึงมีความเหมาะสมในการพัฒนาไปสู่วงจรรวม เพื่อนำไปใช้ระบบสื่อสารแบบไร้สายที่ใช้แบดเตอร์เป็นแหล่งจ่ายกำลัง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก ทุนอุดหนุนการวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ประจำปีงบประมาณ 2549

เอกสารอ้างอิง

- Ahmed M. T., Khan I. A., and Minhaj N.. 1997. On transconductance-C quadrature oscillators. **International Journal of electronics**. 83(2):201-207.
- Frey D. R. 1993. Log-domain filtering: an approach to current-mode filtering. **IEEE Transactions on Circuit and System**. 140: 406-416.
- Hilas C. S. and Laopoulos Tn.. 1996. Circuit design: a study on voltage-mode to current-mode conversion technique. **Proceedings of MELECON '96**. Bari, Italy, May: 1309-1312.
- Holzel R. 1993. A simple wide-band sine wave quadrature oscillator. **IEEE Transection on Instrumentation and Measurement**. 42(3):758-760.
- Hou C. L., Huang C. C., Lan Y. S., Shaw J. J., and Chang C. M.. 1999. Current-mode and voltage-mode universal biquads using a single current-feedback amplifier. **International Journal of electronics**. 86(8):929-932.
- Ibrahim M. A. Minaei S., and Kuntman H. A.. 2005. A 22.5 MHz current-mode KHN-biquad using differential voltage current conveyor and grounded passive elements. **International Journal of Electronics and Communications**. 59:311-318.
- Jiun-Wei H.. 2001. High-input impedance voltage-mode universal biquadratic filter using three plus-type CCII's. **IEEE Transactions on Circuit and System** Vol.48:996-997.
- Khan I. A. and Khawaja S.. 2000. An integrable gm-C quadrature oscillator. **International Journal of electronics**. 87:1353-1357.
- Sagbas M., and Fidanboyly K. 2004. Electronically tunable current-mode second-order universal filter using minimum elements. **Electronic Letter**. 40(1):2-4.
- Singh V. K. and Senani R. 1990. New multifunction active filter configuration employing current conveyors. **Electronic Letter**. 26:1814-1816.
- Toumazou C. and Lidgey F. J.. 1986. Universal active filter using current conveyors. **Electronic Letter**. 22:662-664.
- Toumazou C., Lidgey F. J., and Haigh D. G. 1990. **Analogue IC design: the current-mode approach**. London: Peter Peregrinus.