

วงจรกรองความถี่หลายหน้าที่ในโหมดกระแสด้วย VDTA เพียงตัวเดียว

A Current-Mode Multifunction Biquadratic Filter Employing Single VDTA

ภัสส์ภุญช์ จิตมัทธนกุลศล¹ สมชาย ศรีสกุลเดียว¹ และศุภวัฒน์ ลาวณย์วิสุทธิ²

Received: July, 2015; Accepted: February, 2016

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวงจรกรองความถี่หลายหน้าที่ในโหมดกระแสด้วย VDTA เพียงตัวเดียว ที่สามารถสังเคราะห์ฟังก์ชันที่จำเป็นได้ทั้งหมด ได้แก่ ความถี่ต่ำผ่าน ความถี่สูงผ่าน แถบความถี่ผ่าน กำจัดแถบความถี่ และทุกความถี่ผ่าน โดยใช้วงจรขยายผลต่างแรงดันส่งผ่านความนำกระแส (Voltage Differencing Transconductance Amplifier: VDTA) จุดเด่นของวงจรคือ สามารถควบคุมความถี่ตัด และค่าควอลิตี้แฟกเตอร์ได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ โครงสร้างของวงจรไม่ซับซ้อน โดยประกอบไปด้วย VDTA เพียงตัวเดียว ต่อร่วมกับตัวเก็บประจุ 2 ตัว แบบต่อลงกราวด์ ปราศจากตัวต้านทานภายนอก นอกจากนี้ยังสามารถเลือกฟังก์ชันที่ต้องการด้วยวิธีการแบบดิจิทัล จึงมีความเหมาะสมสำหรับการพัฒนาไปสู่วงจรรวม เพื่อนำไปใช้ในระบบสื่อสารแบบไร้สายที่ใช้แบคเตอร์เป็นแหล่งจ่ายกำลัง ผลการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSpice พบว่าวงจรที่นำเสนอทำงานได้สอดคล้องกับทฤษฎีที่คาดการณ์ไว้ วงจรมีอัตราการใช้กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 1mW ที่แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า $\pm 1.5V$ และมีค่าผิดเพี้ยนทางฮาร์โมนิกส์ (THD) เท่ากับ 4.50%

คำสำคัญ : วงจรกรองความถี่หลายหน้าที่; โหมดกระแส; VDTA

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา

² คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ลพบุรี

E-mail: makyou_sula44@hotmail.com,

Abstract

This article presents a current-mode universal biquadratic filter performing completely standard functions: low-pass, high-pass, band-pass, band-reject and all-pass function, based-on single Voltage Differencing Transconductance Amplifier (VDTA). The features of the circuit are that: the quality factor and pole frequency can be tuned orthogonally via the input bias currents, the circuit description is very simple, consisting of single VDTA and 2 grounded capacitors. Additionally, each function response can be selected by digital method. Without any external resistors and using only grounded elements, the proposed circuit is very comfortable to further develop into an integrated circuit. The PSpice simulation results are depicted. The given results agree well with the theoretical anticipation. The maximum power consumption is approximately 1 mW at $\pm 1.5V$ power supply. THD 4.50%.

Keywords: Multifunction Filter; Current-mode; VDTA

บทนำ

เป็นที่ทราบกันดีว่าในงานด้านวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วงจรกรองความถี่เป็นวงจรหนึ่งที่สำคัญและมีการนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง ตัวอย่างการใช้งาน ได้แก่ ระบบสื่อสาร ระบบเครื่องมือวัดและระบบประมวลผลสัญญาณ (Sedra, A.S. and Smith, K.C., 1991; Ibrahim, M.A. et al., 2005) เป็นต้น วงจรกรองความถี่ที่นิยมใช้มีสองลักษณะคือ วงจรกรองความถี่ที่มีหลายอินพุตและมีเอาต์พุตเดียว (MISO) หรือเรียกว่าวงจรกรองความถี่แบบหลายหน้าที่ (Chunhua, W. et al., 2009) และวงจรกรองความถี่ที่มีอินพุตเดียวและมีหลายเอาต์พุต (SIMO) หรือที่เรียกว่าวงจรกรองความถี่แบบเอนกประสงค์ (Minaci, S. et al., 2000) ซึ่งวงจรกรองความถี่แบบหลายหน้าที่นั้นมีลักษณะเด่น คือมีโครงสร้างไม่ซับซ้อน และสามารถตอบสนองความถี่ทุกรูปแบบการใช้งาน (Chunhua, W. et al., 2008)

ในทศวรรษที่ผ่านมาความพยายามที่จะลดแรงดันไฟเลี้ยง และการบริโภคกำลังไฟฟ้าในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องมาจากความต้องการที่จะนำมาใช้กับอุปกรณ์แบบพกพา หรืออุปกรณ์สื่อสารแบบไร้สายที่ต้องใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายกำลังงาน ดังนั้นจึงมีการพัฒนาให้วงจรหนึ่ง ๆ สามารถทำงานได้หลายหน้าที่ อีกทั้งใช้เทคนิคการทำงานในโหมดกระแส (Current-Mode) ซึ่งมีข้อดีหลายประการได้แก่ มีช่วงพลวัตกว้าง (Larger Dynamic Range) มีแบนด์วิดท์กว้าง ทำงานที่แรงดันต่ำได้ดีและมีการดึงกำลังไฟฟ้าต่ำ (Toumazou, C. et al., 1990; Bhaskar, D.R. et al., 1999) จากการศึกษาพบว่าได้มีผู้เสนองานวิจัยเกี่ยวกับวงจรกรองความถี่แบบหลายหน้าที่ แต่โดยทั่วไปแล้วทั้งหมดนั้นยังมีการใช้อุปกรณ์พาสซีฟจำนวนมาก (Shah, N.A. and Malik, M.A., 2005; Chang C.M. et al., 2001; Wang, H.Y. and Lee, C.T., 2005; Sharma, R.K. and Senani, R., 2004; Tu, S.H. et al., 2002) ใช้อุปกรณ์แอ็กทีฟจำนวนมาก

(Srisakultiew, S. et al., 2013; Lawanwisut, S. and Siripruchyanun, M., 2012) บางวงจรต้องใช้ตัวเก็บประจุแบบลอย (Shah, N.A. and Malink, M.A., 2005; Sagbas, M. and Fidanboyly, K., 2004; Wu, J. and El-masry, E.I., 1998) ซึ่งไม่เหมาะที่จะสร้างเป็นวงจรรวม (Hornig, J.W., 2005; Bhusan, M. and Newcomb, R.W., 1967) นอกจากนี้บางวงจรไม่สามารถให้ฟังก์ชันการใช้งานครบทุกฟังก์ชัน (Shah, N.A. and Malik, M.A., 2005; Wang, H.Y. and Lee, C.T., 2005; Sharma, R.K. and Senani, R., 2004; Shah, N.A. and Malink, M.A., 2005; Sagbas, M. and Fidanboyly, K., 2004; Wu, J. and El-masry, E.I., 1998; Pandey, N. et al., 2005; Senani, R. et al., 2004) ซึ่งส่วนมากจะให้ได้เพียง 3 ฟังก์ชันได้แก่ ความถี่ต่ำผ่าน ความถี่สูงผ่าน และแถบความถี่ผ่านเท่านั้น

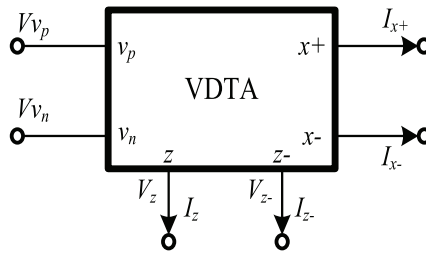
วงจรขยายความถี่จากผลต่างแรงดัน (Voltage Differencing Transconductance Amplifier: VDTA) เป็นอุปกรณ์แอททิฟที่มีการนำเสนอมานาน (Bilkova, V. et al., 2009) มีลักษณะเด่นของตัวอุปกรณ์คือ ความแตกต่างของแรงดันที่ขาอินพุต (V_{vp}, V_{vm}) จะส่งผ่านกระแสที่ขา z โดยอัตราส่งผ่านความนำกระแสด้วยค่าความนำกระแสตัวแรก และแรงดันตกคร่อมที่ z ยังทำให้ส่งผ่านกระแสไปยังขา $x+$ และ $x-$ ด้วยค่าความนำกระแสตัวที่สอง อีกทั้งค่าความนำกระแสยังสามารถควบคุมได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์จากกระแสไบแอสจากภายนอก จึงทำให้มีการนำเอาอุปกรณ์นี้ไปประยุกต์ใช้งานเป็นวงจรต่าง ๆ มากมาย เช่น วงจรกำเนิดสัญญาณ วงจรกรองความถี่ เป็นต้น

จากปัญหาที่ได้นำเสนอหลักการข้างต้นในบทความนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอวงจรกรองความถี่โหมดกระแสหลายหน้าที่โดยใช้ VDTA เพียงตัวเดียว ที่ลักษณะเด่นของวงจรที่นำเสนอ คือสามารถให้ฟังก์ชันการใช้งานได้ครบทุกฟังก์ชันโดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงโครงสร้างวงจร สามารถปรับค่าความถี่โพล และค่าควอลิตี้แฟกเตอร์ได้โดยใช้กระแสที่ไบแอสอย่างเป็นอิสระต่อกัน โครงสร้างวงจรไม่ซับซ้อนโดยมี VDTA เพียงตัวเดียว และตัวเก็บประจุที่ต่อลงกราวด์อีก 2 ตัว จึงเหมาะที่จะนำไปพัฒนาเป็นวงจรรวม เนื่องจากวงจรที่นำเสนอยังสามารถเลือกฟังก์ชันที่ต้องการด้วยวิธีการแบบดิจิทัล ให้เอาต์พุตผลการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSpice ยืนยันสมรรถนะของวงจรที่นำเสนอได้เป็นอย่างดี

วงจรและหลักการทำงานของวงจร

1. อุปกรณ์แอททิฟที่ใช้ประกอบวงจรนำเสนอ

เนื่องจากวงจรที่นำเสนอประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลัก คือ VDTA ดังนั้นในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงคุณสมบัติของ VDTA พอสังเขป ในปี 2008 Dr.Biolek ได้นำเสนออุปกรณ์แอททิฟนี้ ที่สามารถเขียนสัญลักษณ์ได้ดังรูปที่ 1 ที่แสดงถึงตำแหน่งขาของอุปกรณ์ ความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแสที่ขา v_p, v_n, z และ x ของ VDTA สามารถอธิบายได้ด้วยสมการเมตริกซ์ในสมการที่ (1)



รูปที่ 1 สัญลักษณ์ของ VDTA

$$\begin{bmatrix} I_z \\ I_{x+} \\ I_{x-} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{m1} & -g_{m1} & 0 \\ 0 & 0 & g_{m2} \\ 0 & 0 & g_{m2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{Vp} \\ V_{Vn} \\ V_z \end{bmatrix} \quad (1)$$

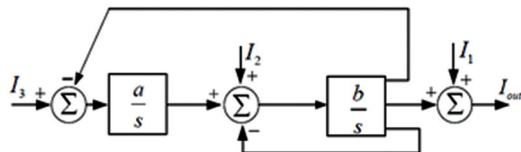
จากสมการที่ (1) g_{m1} และ g_{m2} คือค่าความนำกระแสของ VDTA ตามลำดับ ที่เกิดจากผลต่างแรงดันที่ขาอินพุต v_p และ v_n ซึ่งเป็นการส่งผ่านความนำกระแสที่เอาต์พุตชั่ว z และ $z-$ จะเป็นค่าความนำกระแสในส่วนที่หนึ่ง g_{m1} แรงดันที่ตกคร่อมขา z ก็จะเป็นการส่งผ่านความนำกระแสส่วนที่สองที่ขา $x+$ และ $x-$ โครงสร้างภายในของ VDTA เป็นทรานซิสเตอร์ชนิดไบโพลาร์ ดังนั้นค่า g_m สามารถเขียนได้ดังสมการที่ (2)

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

เมื่อ V_T คือศักดาความร้อน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 26mV ที่อุณหภูมิห้อง

2. วงจรกรองความถี่หลายหน้าที่ที่น่าสนใจ

โครงสร้างของวงจรกรองความถี่ที่น่าสนใจแสดงได้ดังรูปที่ 2 เป็นบล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจรกรองความถี่แบบหลายหน้าที่ เกิดจากการนำวงจรอินทิเกรเตอร์ชนิดไม่สูญเสีย 2 วงจร คือ วงจรอินทิเกรเตอร์แบบ a กับวงจรอินทิเกรเตอร์แบบ b ต่อดังรูปที่ 2 ที่สามารถเขียนสมการถ่ายโอนเอาต์พุตได้ดังสมการที่ (3) อีกทั้งหาค่าความถี่กลางและค่าควอลิตี้แฟกเตอร์ได้ดังสมการที่ (4)



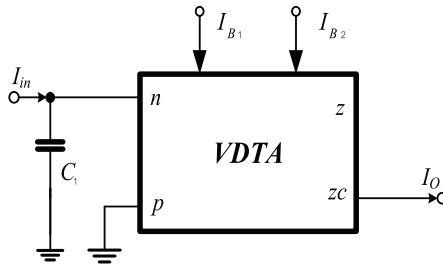
รูปที่ 2 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจรกรองความถี่แบบหลายหน้าที่

$$I_{out} = \frac{(s^2 + sb + ab)I_1 + sbI_2 + abI_3}{s^2 + sb + ab} \quad (3)$$

ค่าความถี่โพลและค่าควอลิตี้แฟกเตอร์สามารถทำได้

$$\omega_0 = \sqrt{ab} \text{ และ } Q_0 = \frac{\sqrt{ab}}{b} \quad (4)$$

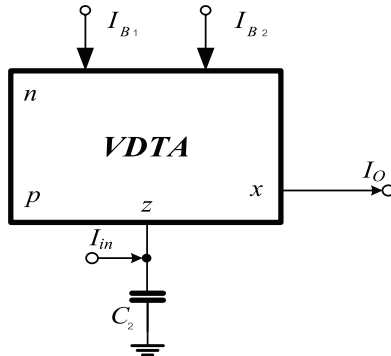
รูปที่ 3 เป็นวงจรอินทิเกรเตอร์แบบ a ในโหมดกระแสด้วย VDTA วงจรประกอบด้วย VDTA 1 ตัว ต่อร่วมกับตัวเก็บประจุแบบต่อลงกราวด์อีก 1 ตัว ที่เป็นวงจรอินทิเกรเตอร์แบบไม่สูญเสีย มีลักษณะเด่นคือสามารถปรับสภาวะการอินทิเกรเตอร์ได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ด้วยการปรับค่า g_{m1} ที่สามารถเขียนสมการถ่ายโอนได้ดังสมการที่ (5)



รูปที่ 3 วงจรอินทิเกรเตอร์ชนิดไม่สูญเสีย แบบ a

$$\frac{I_O}{I_{in}} = \frac{g_{m1}}{sC_1} \quad (5)$$

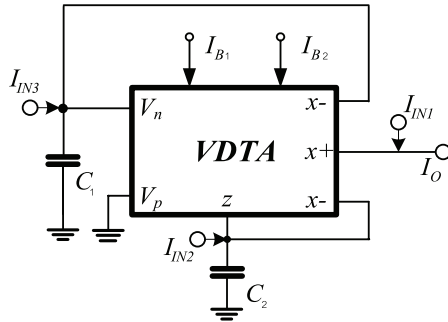
จากรูปที่ 4 เป็นวงจรอินทิเกรเตอร์แบบ b ในโหมดกระแสด้วย VDTA เพียงตัวเดียวเช่นกัน ต่อร่วมกับตัวเก็บประจุแบบต่อลงกราวด์ เป็นวงจรอินทิเกรเตอร์แบบไม่สูญเสีย ที่สามารถเขียนสมการถ่ายโอนได้ดังสมการที่(6) จากสมการจะเห็นได้ว่าสภาวะการอินทิเกรเตอร์นั้นสามารถปรับค่าได้ด้วย g_{m2} ซึ่งเป็นลักษณะเด่นของวงจรที่น่าเสนอเช่นกัน



รูปที่ 4 วงจรอินทิเกรเตอร์ชนิดไม่สูญเสีย แบบ b

$$\frac{I_x}{I_{in}} = \frac{g_{m2}}{sC_2} \quad (6)$$

ดังนั้นเมื่อนำวงจรอินทิเกรเตอร์แบบ a ในรูปที่ 3 และวงจรอินทิเกรเตอร์แบบ b ในรูปที่ 4 มาต่อร่วมกัน จะได้วงจรกรองความถี่หลายหน้าที่ที่นำเสนอในโหมดกระแสด้วย VDTA เพียงตัวเดียว ต่อทำงานร่วมกับตัวเก็บประจุ 2 ตัว แบบต่อลงกราวด์ที่มี 3 อินพุต และ 1 เอาต์พุต ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 วงจรกรองความถี่ที่นำเสนอ

เมื่อพิจารณาโครงข่ายในรูปที่ 5 และใช้คุณสมบัติของ VDTA ในหัวข้อที่ผ่านมา จะสามารถเขียนสมการถ่ายโอนได้กระแสเอาต์พุตของวงจрдังสมการที่ (7)

$$I_O = \frac{(s^2 + s \frac{g_{m2}}{C_2} + \frac{g_{m1}g_{m2}}{C_1C_2})I_{IN1} + s \frac{g_{m2}}{C_2}I_{IN2} + \frac{g_{m1}g_{m2}}{C_1C_2}I_{IN3}}{s^2 + s \frac{g_{m2}}{C_2} + \frac{g_{m1}g_{m2}}{C_1C_2}} \quad (7)$$

จากสมการที่ (7) จะเห็นได้ว่าสัญญาณอินพุต I_{IN1} , I_{IN2} และ I_{IN3} สามารถควบคุมได้แบบดิจิทัล (Maruyama, Y. et al., 2002) ตามตารางที่ 1 เมื่อแทนค่าอินพุตเข้าไปในสภาวะต่าง ๆ จะได้สมการถ่ายโอนมาตรฐานอันดับที่สอง ดังสมการที่ (8) - (12) ซึ่งเป็นสมการกรองความถี่ต่ำผ่าน ความถี่สูงผ่าน แลบความถี่ผ่าน ทหุดความถี่ผ่าน และทุกความถี่ผ่าน ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ขนาดของกระแสอินพุตของแบบตอบสนองความถี่

แบบตอบสนองการกรองความถี่	I_{IN1}	I_{IN2}	I_{IN3}
ความถี่ต่ำผ่าน	0	0	1
ความถี่สูงผ่าน	-1	-1	1
แลบความถี่ผ่าน	0	1	0
ทหุดแลบความถี่	1	-1	0
ทุกความถี่ผ่าน	1	-2	0

$$\frac{I_{LP}}{I_{IN}} = \frac{\frac{g_{m1}g_{m2}}{C_1C_2}}{s^2 + s\frac{g_{m2}}{C_2} + \frac{g_{m1}g_{m2}}{C_1C_2}} \quad (8)$$

$$\frac{I_{HP}}{I_{IN}} = \frac{s^2}{s^2 + s\frac{g_{m2}}{C_2} + \frac{g_{m1}g_{m2}}{C_1C_2}} \quad (9)$$

$$\frac{I_{BP}}{I_{IN}} = \frac{s\frac{g_{m2}}{C_2}}{s^2 + s\frac{g_{m2}}{C_2} + \frac{g_{m1}g_{m2}}{C_1C_2}} \quad (10)$$

$$\frac{I_{BRP}}{I_{IN}} = \frac{s^2 + \frac{g_{m1}g_{m2}}{C_1C_2}}{s^2 + s\frac{g_{m2}}{C_2} + \frac{g_{m1}g_{m2}}{C_1C_2}} \quad (11)$$

$$\frac{I_{AP}}{I_{IN}} = \frac{s^2 - s\frac{g_{m2}}{C_2} + \frac{g_{m1}g_{m2}}{C_1C_2}}{s^2 + s\frac{g_{m2}}{C_2} + \frac{g_{m1}g_{m2}}{C_1C_2}} \quad (12)$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g_{m1}g_{m2}}{C_1C_2}} \quad (13)$$

และ

$$Q_0 = \sqrt{\frac{g_{m1}C_2}{g_{m2}C_1}} \quad (14)$$

เมื่อแทนค่า $g_m = \frac{I_B}{2V_T}$ ในสมการ (13) และ (14) จะได้ว่า

$$\omega_0 = \frac{1}{2V_T} \sqrt{\frac{I_{B1}I_{B2}}{C_1C_2}} \quad (15)$$

และ

$$Q_0 = \sqrt{\frac{I_{B1}C_2}{I_{B2}C_1}} \quad (16)$$

จากสมการที่ (15) และ (16) จะเห็นว่าค่าความถี่โพลและค่าควอลิตี้แฟกเตอร์สามารถปรับแต่งได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ด้วยการปรับกระแส I_{B1} และ I_{B2} นอกจากนี้แบนด์วิดท์ของระบบสามารถทำได้จากสมการที่ (17)

$$BW = \frac{\omega_0}{Q_0} = \frac{g_{m2}}{C_2} = \frac{I_{B2}}{2V_T C_2} \quad (17)$$

3. ความไวของโครงข่าย

ความไวของวงจรกรองความถี่ที่นำเสนอหาได้ตามสมการที่ (18) และ (19)

$$S_{C_1, C_2}^{\omega_0} = -\frac{1}{2}, S_{I_{B1}, I_{B2}}^{\omega_0} = \frac{1}{4} \quad (18)$$

และ

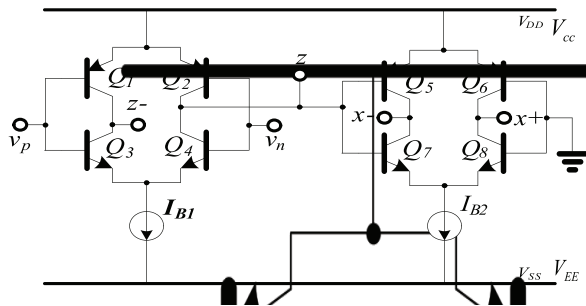
$$S_{C_1}^{Q_0} = \frac{1}{2}, S_{C_2}^{Q_0} = -\frac{1}{2}, S_{I_{B1}}^{Q_0} = \frac{1}{4}, S_{I_{B2}}^{Q_0} = -\frac{1}{4} \quad (19)$$

โดยค่าความไวของอุปกรณ์แอคทีฟ และพาสซีฟทั้งหมดต้องมีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่า 1 เสมอ

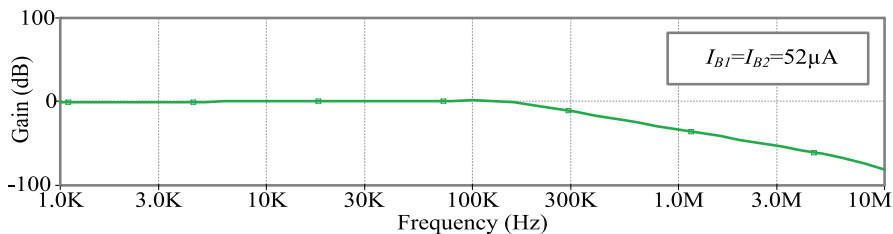
ผลการจำลองการทำงาน

เพื่อเป็นการยืนยันและทดสอบสมรรถนะของวงจรที่นำเสนอ ดังรูปที่ 5 จึงได้จำลองการทำงานของวงจรผ่านโปรแกรม PSpice สำหรับทรานซิสเตอร์ PNP และ NPN ที่ใช้ในการจำลองการทำงานของวงจรได้ใช้พารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์เบอร์ PR200N และ NR200N ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์อาร์เรย์ ALA400 ของ AT&T (Frey, D.R., 1993) โดยใช้ VDTA ที่ให้เอาต์พุตที่ขา x แบบบวกและลบที่มีโครงสร้างภายในของอุปกรณ์ดังรูปที่ 6 ต่อร่วมกับตัวเก็บประจุ $C_1 = C_2 = 1nF$ ทั้งสองตัวโดยให้แหล่งจ่ายวงจรทำงานที่ $\pm 1.5V$ โหลดของระบบเป็นตัวต้านทาน 1Ω และให้กระแสไบแอส $I_{B1} = I_{B2} = 52\mu A$ กำหนดสภาวะของอินพุตตามตารางที่ 1 ทำให้ได้ผลการจำลองการตอบสนองความถี่ได้ครบทั้ง 5 พิงก์ซัน ดังรูปที่ 6 แสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนในแต่ละรูปแบบการตอบสนองทางความถี่ตามเงื่อนไขของอินพุตเป็นความถี่ต่ำผ่าน ความถี่สูงผ่าน แถบความถี่ผ่าน แถบหยุดความถี่ และโดยเฉพาะในรูปที่ 7(จ) แสดงให้เห็นค่ามุมและผลตอบสนองของทุกความถี่ผ่าน ค่าความถี่โพลจากการจำลองเท่ากับ 158.117 KHz และค่าความถี่โพลที่ได้จากการสมการที่ (15) มีค่าเท่ากับ 159.154 KHz จะเห็นว่ามีค่าผิดพลาดระหว่างทาง

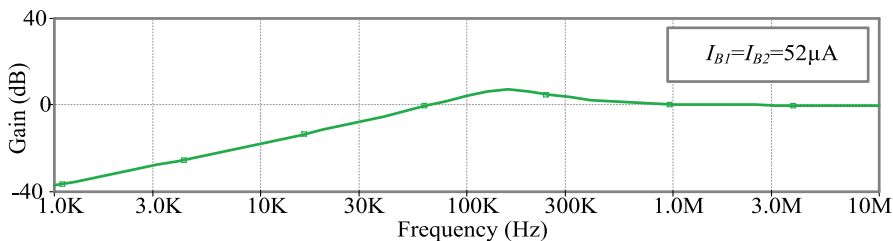
ทฤษฎีและการจำลองเพียง 0.65% เท่านั้น จากนั้นพบว่าถ้าปรับกระแส I_{B1} และ I_{B2} พร้อมกันคือ $26\mu A$, $52\mu A$, $104\mu A$ จะได้ผลการจำลองในรูปที่ 7 จะเห็นว่าสามารถปรับความถี่กลางได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ และเมื่อทำการปรับกระแส $I_{B1} = 26\mu A$, $52\mu A$, $104\mu A$ และให้ $I_{B2} = 52\mu A$ จะได้ผลตอบสนองดังรูปที่ 8 ส่วนรูปที่ 9 และ 10 เป็นการเปรียบเทียบสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตเมื่อป้อนค่าความถี่โพลเป็นสัญญาณชานความถี่ 158.117KHz ให่วงจรที่นำเสนอ โดยกำหนดเงื่อนไขอินพุตเป็นแถบความถี่ผ่านจะมีค่า THD = 4.50% และมีอัตราการใช้กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 1mW



รูปที่ 6 โครงสร้างภายในของ VDTA

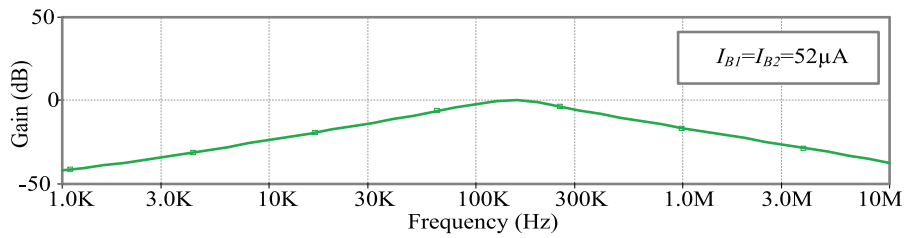


(ก) ผลตอบสนองความถี่ต่ำผ่าน

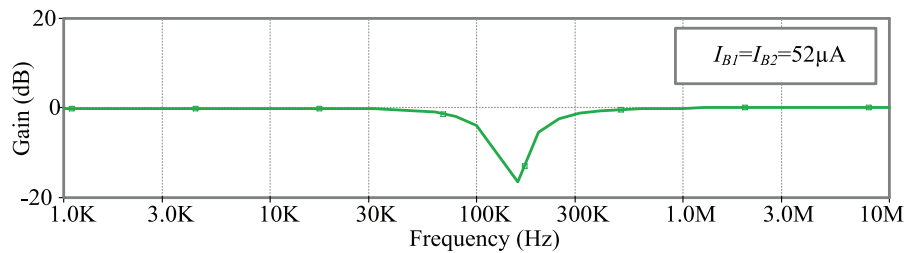


(ข) ผลตอบสนองความถี่สูงผ่าน

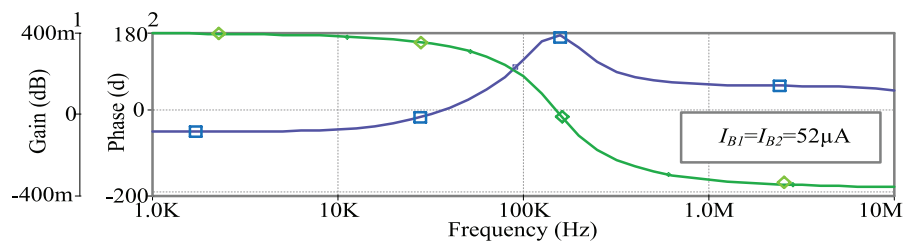
รูปที่ 7 ผลจำลองการทำงานของวงจรกรองความถี่หลายหน้าที่



(ค) ผลตอบสนองย่านความถี่ผ่าน

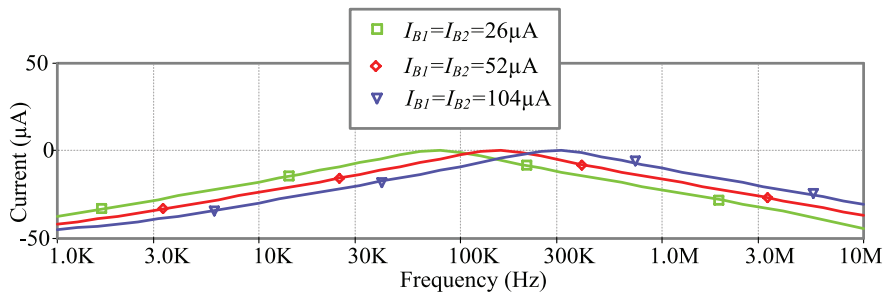


(ง) ผลตอบสนองกำจัดแถบความถี่

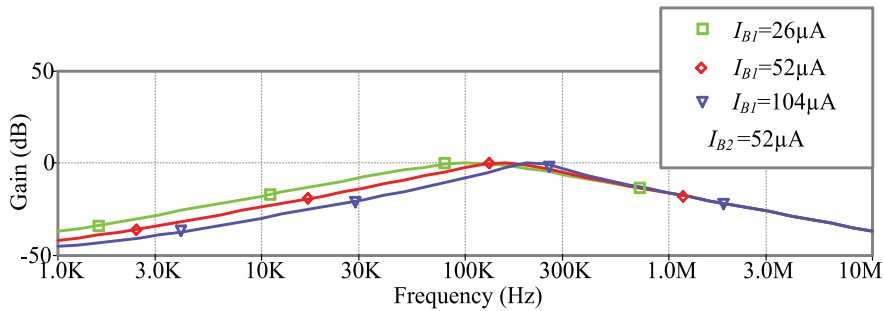


(จ) ผลตอบสนองทุกความถี่ผ่าน

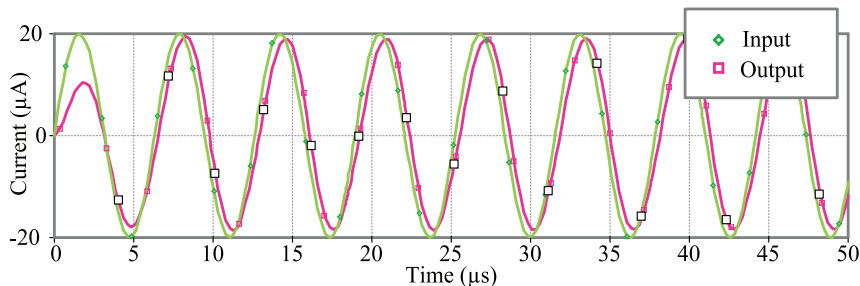
รูปที่ 7 ผลจำลองการทำงานของวงจรกรองความถี่หลายหน้าที่ (ต่อ)



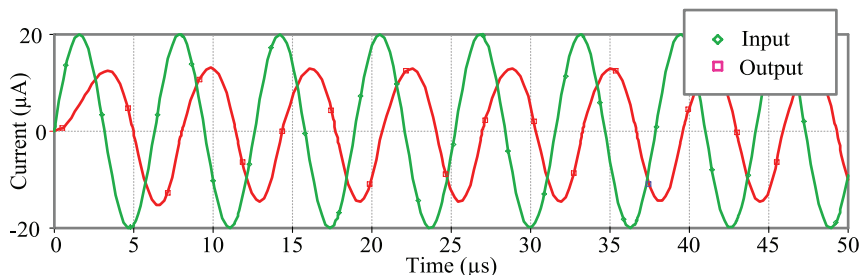
รูปที่ 8 ผลตอบสนองแถบความถี่ผ่าน เมื่อให้ $I_{B1} = I_{B2} = 26\mu A$, $52\mu A$ และ $104\mu A$



รูปที่ 9 ผลตอบสนองแถบความถี่ผ่าน เมื่อให้ $I_{B1} = 26\mu A$, $52\mu A$, $104\mu A$ และ $I_{B2} = 52\mu A$



รูปที่ 10 ผลตอบสนองแถบความถี่ผ่านที่ความถี่ตัดป้อนสัญญาณชานน์ 158.114kHz



รูปที่ 11 ผลตอบสนองความถี่ต่ำผ่านที่ความถี่ตัด

บทสรุป

บทความนี้นำเสนอวงจรกรองความถี่โหมดกระแสหลายหน้าที่โดยใช้ VDTA ลักษณะเด่นของวงจรที่นำเสนอคือ สามารถให้ฟังก์ชันการใช้งานได้ครบทุกฟังก์ชันโดยมีเอาต์พุตเพียงจุดเดียวที่สามารถเลือกฟังก์ชันที่ต้องการได้แบบดิจิทัล (Maruyama, Y. et al., 2002) สามารถปรับค่าความถี่โพล และค่าควอลิตี้แฟกเตอร์ได้โดยใช้กระแสที่ไบแอสได้อย่างเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งง่ายต่อการควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Toumazou, C. et al., 1990) ผลการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSpice พบว่าวงจรทำงานได้สอดคล้องกับที่คาดการณ์ไว้ วงจรมีอัตราการใช้กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 1mW ที่แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ± 1.5 V อีกทั้งโครงสร้างของวงจรไม่ซับซ้อน ซึ่งประกอบไปด้วยเพียง VDTA เพียงตัวเดียว ร่วมกับตัวเก็บประจุที่ต่อลงกราวด์อีก 2 ตัว จึงมีความเหมาะสมในการพัฒนาไปสู่วงจรรวม เพื่อนำไปใช้ระบบสื่อสารแบบไร้สายที่ใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายกำลัง

References

- Bhaskar, D.R., Sharma, V.K., Monis, M. and Rizvi, S.M. (1999). New Current-mode Universal Biquad Filter. *Microelectronics Journal*. Vol. 30. pp. 837-839
- Bhusan, M., Newcomb, R.W. (1967). Grounding of Capacitors in Integrated Circuits. *Electronics Letters*. Vol. 3. pp. 148-149
- Chang, C.M., Liao, T.S., Yu, T.Y., Lin, E.S., Teng, C.H. and Hou, C.L. (2001). Novel Universal Current-mode Filters using Unity-Gain Cells. *International Journal of Electronics*. Vol. 86. pp. 929-932
- Hong, J.W. (2005). Current-Conveyors Based Allpass Filters and Quadrature Oscillators Employing Grounded Capacitors and Resistors. *Computers and Electrical Engineering*. Vol. 31. pp. 81-92
- Lawanwisut, S. and Siripruchyanun, M. (2012). A Current-mode Multifunction Biquadratic Filter using CFTAs. *The Journal of KMUTNB*. Vol. 22. No. 3. pp. 479-485
- Maruyama, Y., Hyogo, A. and Sekine, K. (2002). A Digitally Programmable CMOS Biquad Filter using Current-mode Integrators. *IEICE Transaction on Fundamentals*. Vol. E85-A. No. 2. pp. 316-323
- Pandey, N., Paul, S.K., Bhattacharyya, A. and Jain, S.B. (2005). A Novel Current Controlled Current-mode Universal Filter: SITO Approach. *IEICE Electronics Express*. Vol. 2. pp. 451-457
- Sagbas, M. and Fidanboylyu, K. (2004). Electronically Tunable Current-mode Second-order Universal Filter using Minimum Elements. *Electronics Letters*. Vol. 40. pp. 2-4
- Senani, R., Singh, V.K., Singh, A.K. and Bhaskar, D.R. (2004). Novel Electronically Controllable Current-mode Universal Biquad Filter. *IEICE Electronics Express*. Vol. 1. pp. 410-415
- Shah, N.A. and Malik, M.A. (2005). Voltage/Current-mode Universal Filter using FTFN and CFA. *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*. Vol. 45. pp. 197-203
- Shah, N.A. and Malink, M.A. (2005). High Impedance Voltage and Current-mode Multifunction Filters. *International Journal Electronics and Communications (AEU)*. Vol. 59. pp. 262-266
- Sharma, R.K. and Senani, R. (2004). Universal Current-mode Biquad using a Single CFOA. *International Journal of Electronics*. Vol. 91. pp. 175-183
- Srisakultiew, S., Lawanwisut, S., Buripun, N. and Siripruchyanun, M. (2013). A Current-mode Electronically Controllable Multifunction Biquadratic Filter using CC-CCTAs. *RMUTI Journal*. Vol. 6. No. 1. pp. 1-10

- Toumazou, C., Lidgey, F.J. and Haigh, D.G. (1990). *Analogue IC n: the Current-mode Approach*. London: Peter Peregrinus
- Tu, S.H., Chang, C.M. and Liao, K.P. (2002). Novel Versatile Insensitive Universal Current-mode Biquad Employing Two Second-generation Current Conveyors. *International Journal of Electronics*. Vol. 89. pp. 897-903
- Wang, H.Y. and Lee, C.T. (2005). Versatile Insensitive Current-mode Universal Biquad Implementation using Current Conveyors. *IEEE Transaction on Circuits and Systems II*. Vol. 48. pp. 409-413
- Wu, J. and El-masry, E.I. (1998). Universal Voltage and Current-mode OTAs Based Biquads. *International Journal of Electronics*. Vol. 85. pp. 553-560