

การพัฒนาโปรแกรมจำลองวงจรองความถี่แบบหลายหน้าที่โดยใช้วงจรสายพานกระแส

The Development of Simulation tool for Multifunction Biquadratic Filter using Current Conveyor

พินิจ เนื่องภิรมย์¹ กนกวรรณ เรืองศิริ² สุภร แทนแก้ว³ และ สมศักดิ์ อรรถกิตติมากุล⁴

¹มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา 128 ถ.ห้วยแก้ว ต.ช้างเผือก อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300

^{2,3}วิทยาลัยเทคโนโลยีจิตรลดา 604 สำนักพระราชวัง สนามเสือป่า เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300

⁴มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 1518 ถ.ประชากรายูร์1 เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

E-mail: elecnpnt@rmul.ac.th¹, kanokwan.rua@cdtc.ac.th², suporn.poo@cdtc.ac.th³ and ssa@kmutnb.ac.th⁴

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาโปรแกรมจำลองสำหรับวิเคราะห์วงจรองความถี่แบบหลายหน้าที่โดยใช้วงจรสายพานกระแสรุ่นที่ 2 ออกแบบและสร้างด้วยฟังก์ชัน GUI ของโปรแกรม MATLAB สามารถวิเคราะห์ฟังก์ชันของวงจรองความถี่ต่ำผ่าน วงจรองความถี่สูงผ่าน และวงจรองความถี่แถบผ่าน ผลการทดสอบพบว่าโปรแกรมจำลองวงจรองความถี่แบบหลายหน้าที่ที่พัฒนาขึ้นสามารถแสดงขนาดของคลื่นและผลตอบสนองทางความถี่ของวงจร โดยการจำลองมีความสอดคล้องกับผลการคำนวณด้วยโปรแกรม Pspice และตรงกับผลการทดสอบด้วยวงจร ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าโปรแกรมจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถประยุกต์ใช้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในโหมดกระแส และ โหมดแรงดันเพื่อใช้เป็นสื่อสำหรับการเรียนการสอนเรื่องวงจรองความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: วงจรองความถี่แบบหลายหน้าที่ โปรแกรมจำลอง วงจรสายพานกระแส

Abstract

This paper presents the development of biquadratic filter using the 2nd generation of Current Conveyor circuits (CCII). The biquadratic filter using CCH simulation program was performed by the GUI function of MATLAB program. The results showed that the biquadratic filter using CCH simulation program could present the function of filter circuit, it performs completely standard functions of low-pass filter circuit, high-pass filter circuit and band-pass filter circuit. The findings corresponded well with the PSpice and measurement. In conclusion, the simulation tool can be efficiently used as electronic circuit design in current mode and voltage mode which is apply for teaching aid on filter circuit topic.

Keywords: Biquadratic Filter, Simulation Tool, Current Conveyor

1. บทนำ

งานด้านวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์จะประกอบด้วยวงจรองความถี่เป็นสำคัญ ที่มีการนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง ตัวอย่างการใช้งาน ได้แก่ ระบบสื่อสาร ระบบเครื่องมือวัดและระบบประมวลผลสัญญาณ [1-2] เป็นต้น เมื่อพิจารณาถึงวงจรองความถี่แบบหลายหน้าที่ (Universal Biquad Filter) พบว่ามีข้อดีมากกว่าวงจรองความถี่ทั่วไปคือสามารถทำหน้าที่กรองความถี่ได้หลายแบบในเวลาเดียวกันโดยไม่ต้องปรับโครงสร้างของวงจรที่ใช้งาน

ในช่วงของทศวรรษที่ผ่านมา มีนักวิจัยหลายท่านพยายามที่จะลดแรงดันไฟเลี้ยงในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ให้น้อยลง เพื่อนำไปใช้กับอุปกรณ์แบบพกพา หรืออุปกรณ์สื่อสารแบบไร้สายที่ต้องใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายกำลังงาน ดังนั้นจึงนิยมออกแบบวงจรให้ทำงานในโหมดกระแส (Current-Mode) ซึ่งมีข้อดีหลายประการ ได้แก่ มีช่วงพลวัตที่กว้าง (Larger Dynamic Range) มีแบนด์วิธกว้างและบริโภคน้ำกำลังงานต่ำ [3-4] โดยอุปกรณ์ที่ทำงานในโหมดกระแสที่ถูกผลิตมาเป็นไอซีสำเร็จรูป อาทิเช่น ออปแอมป์ ไอทีเอ วงจรสายพานกระแส แต่เนื่องจากอุปกรณ์ OTA มีผลต่ออุณหภูมิรอบข้าง จึงส่งผลให้เอาต์พุตเกิดความผิดเพี้ยนสำหรับวงจรสายพานกระแสมีจุดเด่นที่ทำงานได้โดยไม่มีผลต่ออุณหภูมิรอบข้าง และสามารถบ่อนอินพุตได้ทั้งแรงดันและกระแส [5] จากข้อดีดังกล่าวทำให้วงจรสายพานกระแสเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการสร้างวงจรองความถี่แบบหลายหน้าที่

ประกอบกับในปัจจุบันได้มีการนำคอมพิวเตอร์มาใช้ในการเรียนการสอนเพิ่มมากขึ้น การพัฒนารูปแบบการเรียนรู้สมัยใหม่ มีการสอนเชิงทฤษฎีควบคู่กับการสอนในเชิงปฏิบัติ โดยการนำคอมพิวเตอร์มาจำลองผลในการทำงาน ส่งผลให้ผู้เรียนมีความเข้าใจในหลักการหรือทฤษฎีที่ซับซ้อนได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

สำหรับงานวิจัยนี้มีแนวคิดในการพัฒนาโปรแกรมจำลองวงจรองความถี่แบบหลายหน้าที่โดยใช้วงจรสายพานกระแสรุ่นที่ 2 ภายใต้อินเตอร์เฟซการเชื่อมโยงกับผู้ใช้ทางกราฟิก (GUI) ของโปรแกรม MATLAB[®] ที่สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ในรูปแบบของรูปคลื่นและ

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 8

Proceedings of the 8th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2016 (EENET 2016)

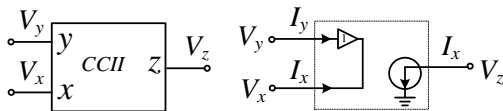
ผลการตอบสนองต่อความถี่ เพื่อให้สามารถใช้งานได้สะดวก และได้ผลการคำนวณที่รวดเร็ว ได้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้อง สอดคล้องกับโปรแกรมจำลองเชิงพาณิชย์ต่างๆ และสามารถประยุกต์ใช้กับงานวิจัยทางด้านวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ต่อไป

2. ทฤษฎี

2.1 วงจรสายพานกระแสคู่ที่ 2

วงจรสายพานกระแสคู่ที่ 2 (CCII) เป็นอุปกรณ์ที่นิยมประยุกต์ใช้งานในวงจรแอนะล็อกทั้งในโหมดแรงดันและกระแส จึงขออธิบายคุณลักษณะเฉพาะ ดังในสมการที่ (1) ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของวงจร CCII

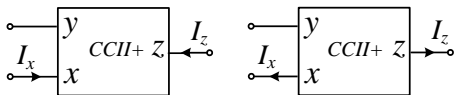
$$\begin{bmatrix} i_y \\ v_x \\ i_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & \pm 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_y \\ i_x \\ v_z \end{bmatrix} \quad (1)$$



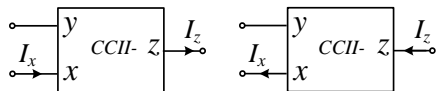
(ก) สัญลักษณ์

(ข) วงจรสมมูล

รูปที่ 1 วงจรสายพานกระแสคู่ CCII



(ก) CCII+



(ข) CCII-

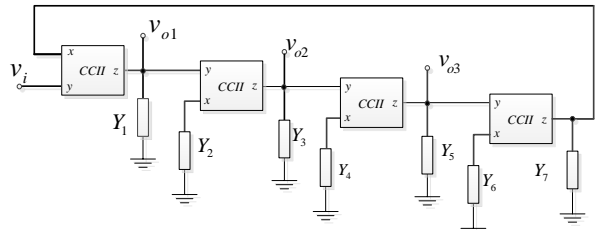
รูปที่ 2 ชนิดของวงจรสายพานกระแสคู่ CCII

รูปที่ 1 (ก) แสดงสัญลักษณ์ และ (ข) แสดงวงจรสมมูลภายในของ CCII ตามลำดับ ซึ่งสามารถสร้างได้จากวงจรทรานซิสเตอร์และวงจรสะท้อนกระแสจากวงจรสมมูลของวงจร CCII ซึ่งพบว่า อุปกรณ์ประเภท 3 ขั้ว ได้แก่ ขั้ว x, y และ z โดยขั้ว x เป็นขั้วที่มีค่าอิมพีแดนซ์ทางด้านขาเข้า (Input Impedance) อยู่ที่ค่าๆ หนึ่ง ขั้ว y จะเป็นขั้วที่มีค่าอิมพีแดนซ์ทางด้านขาเข้าสูง และขั้ว z จะเป็นขั้วที่มีค่าอิมพีแดนซ์ทางด้านขาออกสูง โดยวงจร CCII มีกระแสทางด้านขั้ว z คือ i_z เท่ากับกระแสทางด้านขั้ว x สำหรับ i_x ถ้าทิศทางกระแส i_x และ i_z มีทิศทางเดียวกันคือไหลเข้าหรือไหลออกจากวงจรเหมือนกันจะจัดเป็นวงจร CCII

แบบบวก ใช้สัญลักษณ์ด้วยว่า CCII+ ส่วนในกรณีที่กระแสทั้งสองกลับทิศทางกัน จะถูกจัดเป็น CCII- แบบลบ นิยมเขียนแทนด้วยอักษรย่อว่า CCII- [6] แสดงดังรูปที่ 2

2.2 วงจรกรองความถี่

โครงสร้างของวงจรกรองความถี่แบบหลายหน้าที่ [7] แสดงดังรูปที่ 3 เมื่อพิจารณาวงจรและอาศัยคุณสมบัติของ CCII จะได้สมการเอาต์พุตดังนี้



รูปที่ 3 วงจรกรองความถี่แบบหลายหน้าที่

$$V_{o1} = \frac{V_{in} Y_7 - \frac{V_{in} Y_2 Y_4 Y_6 Y_7}{Y_1 Y_3 Y_5 + Y_2 Y_4 Y_6}}{Y_1} \quad (2)$$

$$V_{o2} = \frac{V_{in} Y_2 Y_7 - Y_2 \left[\frac{V_{in} Y_2 Y_4 Y_6 Y_7}{Y_1 Y_3 Y_5 + Y_2 Y_4 Y_6} \right]}{Y_1 Y_3} \quad (3)$$

$$V_{o3} = \frac{V_{in} Y_2 Y_4 Y_7 - Y_2 Y_4 \left(\frac{V_{in} Y_2 Y_4 Y_6 Y_7}{Y_1 Y_3 Y_5 + Y_2 Y_4 Y_6} \right)}{Y_1 Y_3 Y_5} \quad (4)$$

โดยที่ V_{o1} คือ สมการเอาต์พุตของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน V_{o2} คือ สมการเอาต์พุตของวงจรกรองความถี่แถบผ่าน V_{o3} คือ สมการเอาต์พุตของวงจรกรองความถี่สูงผ่าน Y_x คือ ค่าแอดมิตแตนซ์ของวงจร

จากรูปที่ 3 หาค่าแอดมิตแตนซ์ในแต่ละสาขาได้ดังนี้

$$Y_1 = sC_1 + (1/R_1), \quad Y_2 = sC_2, \quad Y_3 = 1/R_3, \quad Y_4 = sC_4, \quad Y_5 = 1/R_5, \quad Y_6 = 1/R_6 \quad \text{และ} \quad Y_7 = 1/R_7$$

จากสมการที่ (2) - (4) พบว่าสามารถหาค่าความถี่ตัด (ω_o) ได้ดังนี้

$$\omega_o = \sqrt{\frac{R_6}{C_2 C_4 R_1 R_3 R_5}} \quad (5)$$

และค่าควอลิตี้แฟกเตอร์ (Q) หาได้จาก

$$Q = \frac{1}{C_1} \sqrt{\frac{C_2 C_4 R_3 R_5}{R_1 R_6}} \quad (6)$$

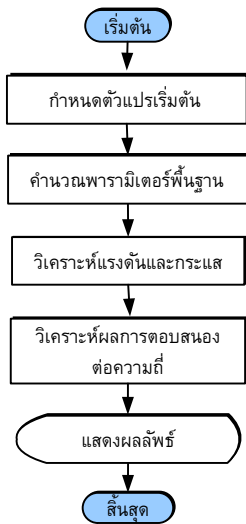
บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 8

Proceedings of the 8th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2016 (EENET 2016)

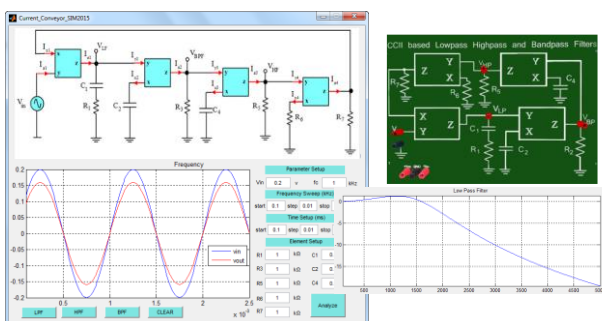
3. การออกแบบและพัฒนาโปรแกรมจำลอง

โปรแกรมจำลองการวิเคราะห์วงจรกรองความถี่แบบหลาย โดยใช้หลักการของวงจรสายพานกระแสรุ่นที่ 2 ออกแบบและพัฒนาโดยใช้ฟังก์ชัน GUI (Graphic User Interface) ของโปรแกรม MATLAB® เพื่อเป็นส่วนในการติดต่อระหว่างผู้ใช้งานมีหลักการออกแบบดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ผังงานการทำงานของโปรแกรมจำลอง

รูปที่ 4 แสดงผังงานของการสร้างโปรแกรมจำลอง โดยเริ่มจากการกำหนดตัวแปรพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง เช่น ค่าตัวต้านทาน ค่าตัวเก็บประจุ ค่าแรงดันด้านเข้า และค่าความถี่ที่กำหนด เพื่อใช้สำหรับคำนวณค่าพารามิเตอร์พื้นฐานเช่นค่าแอดมิตแตนซ์ ก่อนที่จะส่งผลลัพธ์ที่ได้ไปวิเคราะห์หาแรงดันเอาต์พุตและผลการตอบสนองต่อความถี่ เพื่อแสดงผลลัพธ์ต่อไป หน้าต่างโปรแกรมจำลองที่ได้จากการสร้างด้วยฟังก์ชัน GUI ของโปรแกรม MATLAB แสดงดังรูปที่ 5



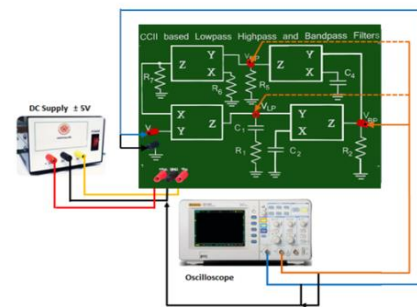
รูปที่ 5 เมนูหลักและหน้าต่างการป้อนข้อมูล

รูปที่ 5 แสดงหน้าต่างโปรแกรมจำลองสำหรับวิเคราะห์วงจรกรองความถี่แบบหลายหน้าที่โดยใช้อุปกรณ์ประเภทวงจรสายพานกระแส ที่สามารถให้เอาต์พุตได้ 3 ลักษณะคือวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

วงจรกรองความถี่สูงผ่าน และวงจรกรองความถี่แถบผ่าน ตัวโปรแกรมประกอบไปด้วยหน้าต่างย่อย 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนของการรับข้อมูลด้านเข้าที่เป็นการกำหนดพารามิเตอร์พื้นฐาน ส่วนของการประมวลผลผ่านเมนูปุ่มกดเพื่อสั่งการ และส่วนของการแสดงผลในลักษณะของกราฟที่สามารถแสดงผลลัพธ์ประเภทรูปคลื่นและกราฟของการตอบสนองต่อความถี่ของวงจร

4. ผลของการวิจัย

สำหรับการยืนยันการทำงานและทดสอบสมรรถนะของโปรแกรมจำลองที่พัฒนาขึ้น ของวงจรดังรูปที่ 3 จึงได้มีการจำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจากฟังก์ชัน GUI (Graphic User Interface) ของโปรแกรม MATLAB® เปรียบเทียบกับโปรแกรม Pspice และผลการทดสอบวงจรจริงที่สร้างขึ้น แสดงดังรูปที่ 6 โดยวงจรมีเอาต์พุต 3 รูปแบบ ได้แก่ วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน วงจรกรองความถี่สูงผ่าน และวงจรกรองความถี่แถบผ่าน



รูปที่ 6 การวัดและทดสอบวงจรสายพานกระแส

การทำงานของวงจร ใช้วงจรสายพานกระแสยุคที่ 2 ซึ่งเป็นไอซีสำเร็จรูปเบอร์ Ad 844 กำหนด $V_m = 1V_{pp}$, $C_1 = C_2 = C_4 = 100nF$ และ $R_1 = R_3 = R_5 = R_6 = R_7 = 1k\Omega$ ที่แรงดันไฟเลี้ยง $\pm 5V$ แล้วทำการวัดผลการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน วงจรความถี่แบบสูงผ่าน และวงจรความถี่แถบผ่าน ดังรูปที่ 7 รูปที่ 8 และรูปที่ 9 ตามลำดับ

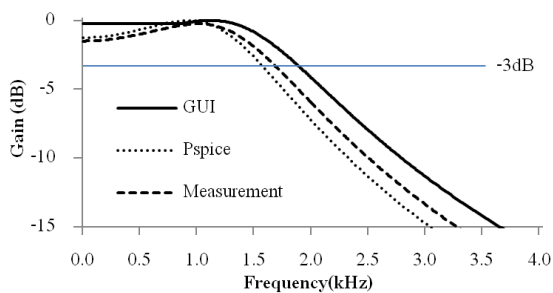
4.1 วงจรกรองความถี่แบบต่ำผ่าน

รูปที่ 7 แสดงผลการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจำลองที่พัฒนาขึ้น(GUI) เปรียบเทียบกับ โปรแกรมจำลอง Pspice และผลจากการวัดจริง พบว่าวงจรให้ผลการตอบสนองต่อความถี่ ที่ความถี่ตัด (-3dB) เท่ากับ 2kHz, 1.7kHz และ 1.85kHz ตามลำดับของวิธีการทั้งสามวิธี และมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 5\%$ โดยภาพรวมผลการวิเคราะห์วงจรของโปรแกรม GUI มีความสอดคล้องกับโปรแกรม Pspice และผลการวัดจริงในค่าที่ยอมรับได้

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 8

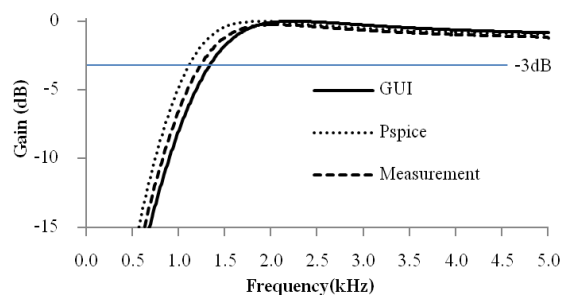
Proceedings of the 8th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2016 (EENET 2016)



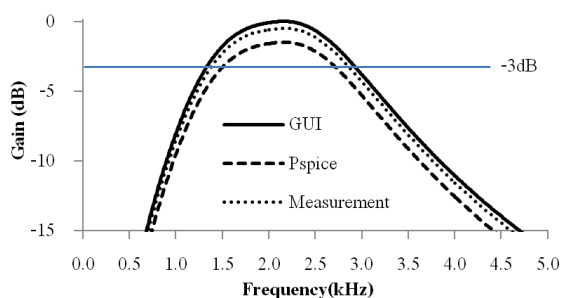
รูปที่ 7 ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

4.2 วงจรกรองความถี่แบบสูงผ่าน

รูปที่ 8 ผลการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่สูงผ่าน ที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจำลองที่พัฒนาขึ้น เปรียบเทียบกับโปรแกรมจำลอง Pspice และผลจากการวัดจริง พบว่า วงจรให้ผลการตอบสนองต่อความถี่ ที่ความถี่ตัด (-3dB) เท่ากับ 1.39 kHz, 1.02 kHz และ 1.32kHz ตามลำดับของวิธีการทั้งสามวิธี และเมื่อเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนทางการวัด พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 5\%$



รูปที่ 8 ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่สูงผ่าน



รูปที่ 9 ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่แถบผ่าน

4.3 วงจรกรองความถี่แถบผ่าน

รูปที่ 9 แสดงผลการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่แถบผ่าน ที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจำลองที่พัฒนาขึ้น เปรียบเทียบกับโปรแกรมจำลอง Pspice และผลจากการวัดจริง พบว่า วงจรให้ผลการตอบสนองต่อความถี่ ที่ความถี่ตัด (-3dB) เท่ากับ 1.3-3 kHz, 1.5-2.8 kHz และ 1.33-2.95 kHz ตามลำดับ โดยภาพรวมผลการวิเคราะห์ทั้งสามวิธีมีความสอดคล้องกัน

5. สรุปผล

โปรแกรมจำลองวงจรกรองความถี่พัฒนาขึ้น โดยอาศัยฟังก์ชัน GUI ของโปรแกรม MATLAB เพื่อให้ผู้ใช้สามารถป้อนข้อมูลตามความต้องการใช้งานและแสดงผลการทำงานได้อย่างรวดเร็ว การออกแบบจะใช้ทฤษฎีของวงจรสายพานกระแสรุ่นที่ 2 โดยผลการวิเคราะห์ที่ใช้โปรแกรมจำลองที่พัฒนาขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับผลของโปรแกรม Pspice และผลจากการทดสอบพบว่ามีค่าความผิดพลาดไม่เกิน $\pm 5\%$ เนื่องจากข้อจำกัดและความละเอียดในกระบวนการการคำนวณของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นกับโปรแกรมการจำลอง Pspice ที่แตกต่างกัน และเครื่องมือที่ใช้ในการวัดและทดสอบจะมีค่าของการสูญเสียทางอุปกรณ์ อย่างไรก็ตามโปรแกรมจำลองที่พัฒนาขึ้นสำหรับวิเคราะห์วงจรกรองความถี่แบบหลายหน้าที่นี้สามารถใช้ในการออกแบบและวิเคราะห์วงจรกรองความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีจิตรลดา ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ใช้ห้องทดลองสำหรับการทดสอบชิ้นงานที่ออกแบบ และภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ใช้งานเครื่องมือวัดทางอิเล็กทรอนิกส์และโปรแกรมจำลอง Pspice

เอกสารอ้างอิง

- [1] A. S. Sedra and K. C. Smith, "Microelectronic Circuits," 3rd edition, Florida: Holt, Rinehart and Winston, 1991.
- [2] M. A. Ibrahim, S. Minaei, and H. A. Kuntman, "A 22.5 MHz Current-mode KHN-biquad using Differential Voltage Current Conveyor and Grounded Passive Elements," *Int. J. Electron. Commun. (AEU)*, 2005, pp. 59:311-318
- [3] C. Toumazou, F. J. Lidgey, and D.G. Haigh, "Analogue IC Design: the Current-mode Approach," London: Peter Peregrinus., 1990.
- [4] C. S. Hilas and T n. Laopoulos, "Circuit Design: a Study on Voltage-mode to Current-mode Conversion Technique," *Proceedings of MELECON '96, Bari, Italy*, May 1996: pp.1309-1312.
- [5] F. Giuseppe and G. Nicola Carlo, "Low-voltage Low-Power Novel CCII Topologies and Application," *IEEE Trans.*, 2001 pp.1095-1098.
- [6] A. Sedra, K. Smith, "A Second - Generation Current-Conveyor and its Applications," *IEEE Trans. vol.CT-17*, 1970, pp.132-134.
- [7] H. Jiun-Wei, L. Jiumm-Ru, C. Chia-Wen and L. Maw-Huei, "High Input Impedance Voltage-mode Multifunction Filters using Plus-type CCIs," *Electronics Letts.*, 1997, 33, pp.132-134.