

การพัฒนาโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์วงจรกรองแบบพาสซีฟโดยใช้ฟังก์ชัน GUI ของแมทแลป

Development of Program for Passive Filter Circuit Analysis using MATLAB GUI Function

สมมาตร ขำเกลี้ยง^{1*} และเสกสรร ชะนะ²
Sommart Khamkleang^{1*} and Sakesan Chana²

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์วงจรกรองแบบพาสซีฟโดยใช้ฟังก์ชัน GUI ของแมทแลป ประกอบด้วย 4 วงจร ได้แก่ วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน วงจรกรองความถี่สูงผ่าน วงจรกรองความถี่แถบผ่าน และวงจรกรองความถี่แถบหยุด สภาพแวดล้อมในการพัฒนาโปรแกรมจะทำตามอัลกอริทึมการทำงาน โดยการเขียนเอ็มไฟล์ฟังก์ชันร่วมกับฟังก์ชันเชิงวัตถุ ผลของการวิจัยพบว่าโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถวิเคราะห์วงจรพาสซีฟฟิลเตอร์ทั้ง 4 ชนิด มีผลการตอบสนองของขนาดและมุมสอดคล้องกับผลการคำนวณทางทฤษฎี และผลการประเมินคุณภาพของโปรแกรมจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 7 ท่าน พบว่ามีค่าอยู่ในระดับมาก

คำสำคัญ: ฟังก์ชัน GUI, แมทแลป, วงจรพาสซีฟ

Abstract

This research aims to develop a program for analysis of passive filters circuit by using function GUI of MATLAB, consists of 4 circuits, low-pass filter circuit, high-pass filter circuit, band-pass filter circuit, and band-rejection filter circuit. Environment for developing program to follow the algorithm, by writing m-file function with function object are development. The research found that the program developed to analyze passive filters circuit all 4 types affect the response of the size and angle, consistent with the theoretical calculations. The evaluation of the program by the experts of 7 persons found to be at a high level.

Keywords: GUI function, MATLAB, Passive Filters

บทนำ

วงจรไฟฟ้าที่สามารถออกแบบให้มีการตอบสนองของสัญญาณตามความถี่ที่ต้องการ โดยสัญญาณขาเข้าเป็นคลื่นรูปไซน์ที่สามารถเปลี่ยนแปลงความถี่ได้เรียกว่า วงจรกรอง ซึ่งถ้ากล่าวถึงวงจรกรองที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ เรียกว่าวงจรกรองแบบพาสซีฟ การตอบสนองจะมีขนาดสูงสุดไม่เกินหนึ่งเท่าของสัญญาณขาเข้า การตอบสนองของสัญญาณจะขึ้นอยู่กับขนาดและมุมของฟังก์ชันถ่ายโอนที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ของแหล่งจ่าย วงจรกรองจะแบ่งแถบความถี่ของการตอบสนองเป็นสองแถบหลักคือ แถบผ่าน เป็นแถบความถี่ที่มีการตอบสนองของสัญญาณ และแถบหยุด เป็นแถบความถี่ที่สัญญาณไม่สามารถผ่านไปได้ ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของวงจรกรองตามแถบการตอบสนองได้ 4 ชนิด คือ วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน วงจรกรองความถี่สูงผ่าน วงจรกรองความถี่

¹ ผศ., ² อ., โปรแกรมวิชาอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา 90000

*Corresponding author: e-mail: khamkleang@gmail.com Tel. 080-714-0955

แถบผ่าน และวงจรกรองความถี่แถบหยุด [1] โดยที่การวิเคราะห์ผลตอบสนองของวงจรกรองความถี่แบบพาสซีฟที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือการนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยวิเคราะห์ผลการตอบสนองดังบทความวิจัยที่ [2-6] ทำให้สามารถเรียนรู้ และเข้าใจผลตอบสนองของวงจรได้อย่างรวดเร็ว แต่โปรแกรมคอมพิวเตอร์ดังกล่าวจำเป็นต้องใช้งบประมาณในการจัดซื้อ ทำให้ภาครัฐต้องสูญเสียงบประมาณจำนวนมาก การแก้ปัญหาอย่างหนึ่งคือการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ขึ้นมาใช้เองตามขั้นตอนการพัฒนาอย่างเป็นระบบ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้แมทแลปเป็นฐานในการพัฒนาทั้งในส่วนของการติดต่อกับผู้ใช้ (Graphic User Interface : GUI) และในส่วนของไฟล์ที่ใช้ในการประมวลผล ซึ่งจะช่วยลดระยะเวลาและความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในขั้นตอนการออกแบบให้กับผู้ใช้ [7] อีกทั้งยังทำให้ใช้งานได้ง่ายเนื่องจากมีหน้าต่างแสดงช่องสำหรับกรอกข้อมูลต่าง ๆ ที่จำเป็นสำหรับการออกแบบดังแสดงอยู่ในส่วนที่ 3 ของบทความเป็นส่วนที่แสดงโปรแกรมออกแบบที่ได้พัฒนาขึ้น และผลการทดสอบโปรแกรม สำหรับส่วนที่ 2 จะแสดงถึงระเบียบวิธีการวิจัย และส่วนที่ 4 เป็นการสรุปและอภิปรายบทความงานวิจัย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาคุณภาพของโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์วงจรกรองแบบพาสซีฟ โดยใช้ฟังก์ชันจีโอของแมทแลป
2. เพื่อหาคุณภาพของโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์วงจรกรองแบบพาสซีฟ โดยใช้ฟังก์ชันจีโอของแมทแลป

ระเบียบวิธีการวิจัย

การออกแบบวงจรพาสซีฟ

วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านจะมีลักษณะวงจรหลายรูปแบบ ในงานวิจัยนี้จะยกตัวอย่างวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอนุกรม RL [1] แสดงดังภาพที่ 1 สามารถหาฟังก์ชันถ่ายโอนในโดเมนความถี่เป็นดังนี้

$$V_o(s) = \frac{R/L}{s + R/L} V_i(s)$$

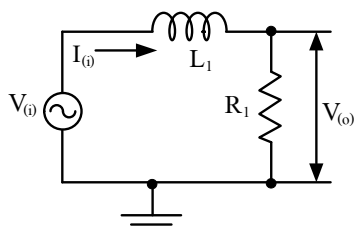
$$H(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{R/L}{s + R/L} \quad (1)$$

เมื่อพิจารณาการตอบสนองเชิงความถี่โดยแทน $s = j\omega$ ในสมการที่ (1) จะได้

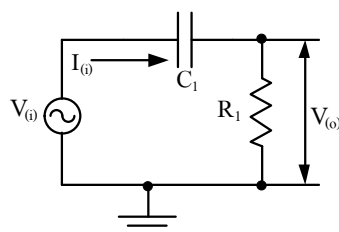
$$H(j\omega) = \frac{1}{1 + j\omega L/R} \quad (2)$$

จัดในรูปเชิงขั้วได้ดังนี้

$$\theta(j\omega) = -\tan^{-1}(\omega L/R) \quad (3)$$



ภาพที่ 1 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอนุกรม RL



ภาพที่ 2 วงจรกรองความถี่สูงผ่านอนุกรม RC

วงจรกรองความถี่สูงผ่าน

วงจรกรองความถี่สูงผ่านจะมีลักษณะวงจรหลายรูปแบบเช่นเดียวกัน ในงานวิจัยนี้จะยกตัวอย่างวงจรกรองความถี่สูงผ่านอนุกรม RC [1] แสดงดังภาพที่ 2 มีฟังก์ชันถ่ายโอนในโดเมนความถี่ดังนี้

$$V_O(s) = \frac{s}{s + 1/RC} V_i(s)$$

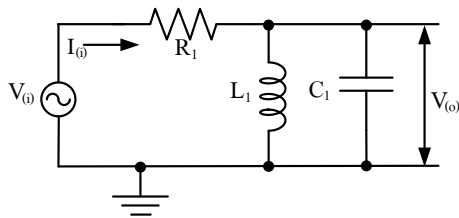
$$H(s) = \frac{V_O(s)}{V_i(s)} = \frac{s}{s + 1/RC} \quad (4)$$

เมื่อพิจารณาการตอบสนองเชิงความถี่โดยแทน $s = j\omega$ ในสมการที่ (4) จะได้

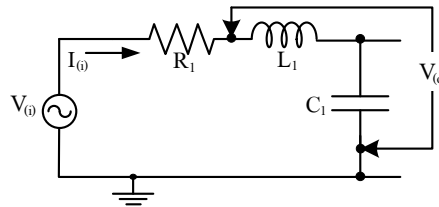
$$H(j\omega) = \frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC} \quad (5)$$

จัดในรูปเชิงขั้วได้ดังนี้

$$\theta(j\omega) = 90^\circ - \tan^{-1}(\omega RC) \quad (6)$$



ภาพที่ 3 วงจรกรองความถี่แถบผ่าน RLC



ภาพที่ 4 วงจรกรองความถี่แถบหยุดอนุกรม RLC

วงจรกรองความถี่แถบผ่าน

ในงานวิจัยนี้จะยกตัวอย่างวงจรกรองความถี่แถบผ่าน RLC [1] แสดงดังภาพที่ 3 มีฟังก์ชันถ่ายโอนในโดเมนความถี่ดังนี้

$$V_O(s) = \frac{Ls/(1 + LCs^2)}{R + Ls/(1 + LCs^2)} V_i(s)$$

$$H(s) = \frac{s/RC}{s^2 + s/RC + 1/LC} \quad (7)$$

เมื่อพิจารณาการตอบสนองเชิงความถี่โดยแทน $s = j\omega$ ในสมการที่ (7) จะได้

$$H(j\omega) = \frac{j\omega/RC}{(1/LC - \omega^2) + j\omega/RC} \quad (8)$$

จัดในรูปเชิงขั้วได้ดังนี้

$$\theta(j\omega) = 90^\circ - \tan^{-1} \left[\frac{\omega/RC}{1/LC - \omega^2} \right] \quad (9)$$

วงจรกรองความถี่แถบหยุด

วงจรกรองความถี่แถบหยุดอนุกรม RLC [1] แสดงดังภาพที่ 4 มีฟังก์ชันถ่ายโอนในโดเมนความถี่ดังนี้

$$V_o(s) = \frac{Ls + 1/sC}{R + Ls + 1/sC} V_i(s)$$
$$H(s) = \frac{s^2 + (1/LC)}{s^2 + (R/L)s + 1/LC} \quad (10)$$

เมื่อพิจารณาการตอบสนองเชิงความถี่โดยแทน $s = j\omega$ ในสมการที่ (10) จะได้

$$H(j\omega) = \frac{1/LC - \omega^2}{(1/LC - \omega^2) + j\omega R/L} \quad (11)$$

จัดในรูปเชิงขั้วได้ดังนี้

$$\theta(j\omega) = -\tan^{-1} \left[\frac{\omega R/L}{1/LC - \omega^2} \right] \quad (12)$$

การพัฒนาโปรแกรม

การพัฒนาโปรแกรมประกอบด้วย 7 ขั้นตอน [8] ดังต่อไปนี้

1) **การวิเคราะห์ปัญหา** ในงานวิจัยนี้จะเป็นการพัฒนาโปรแกรมเพื่อนำไปแก้ปัญหาคำนวณยุ่งยาก และลดต้นทุนในการจัดซื้อโปรแกรมมาใช้ในการวิเคราะห์วงจรกรองความถี่แบบพาสซีฟ โดยที่ผู้ใช้งานโปรแกรมสามารถเลือกวงจรทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน วงจรกรองความถี่สูงผ่าน วงจรกรองความถี่แถบผ่าน และวงจรกรองความถี่แถบหยุด การป้อนอินพุตจะเป็นการป้อนจากแป้นพิมพ์เป็นตัวเลข และใช้การเลือกข้อความผ่านเข้าไปประมวลผลตามสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการวิเคราะห์ในแต่ละวงจร ซึ่งผลลัพธ์จะแสดงในรูปของตัวเลข และเส้นกราฟ 2 มิติ

2) **การออกแบบโปรแกรม** ใช้ผังงานอธิบายลำดับขั้นตอนการทำงาน โดยเริ่มต้นการทำงานด้วยการเข้าสู่หน้าต่างโปรแกรมหลัก กำหนดชนิดของวงจรกรองความถี่ เลือกรูปแบบของวงจร กำหนดค่าอุปกรณ์ได้แก่ค่าความต้านทาน ค่าความจุ และค่าความเหนี่ยวนำ และกำหนดค่าความถี่ที่ต้องการออกแบบ

3) **การเขียนโปรแกรม** โดยทำการสร้างส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน (Graphic User Interface) หรือ GUI ในส่วนของการรับค่าทางอินพุตและการแสดงผลทางเอาต์พุต ในส่วนของการประมวลผลจะเขียนอัลกอริทึมโดยใช้เอ็มไฟล์ (M-Script) ของโปรแกรม MATLAB® 2012a จากสมการทางคณิตศาสตร์ที่กล่าวไว้ในส่วนที่ 1 ของบทความ

4) **การทดสอบและแก้ไขโปรแกรม** เป็นการตรวจสอบความถูกต้องของผลการคำนวณเปรียบเทียบกับทฤษฎี แล้วตรวจสอบดูผลลัพธ์หลังจากนั้นทำการปรับปรุงแก้ไขโปรแกรม

5) **การจัดทำเอกสารและคู่มือการใช้งาน** แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ คู่มือสำหรับผู้ที่ใช้โปรแกรม (User's Manual) และคู่มือสำหรับผู้เขียนโปรแกรม (Programmer's Manual) จัดทำไฟล์เป็นนามสกุล .pdf และทำการเชื่อมต่อไว้ที่ปุ่ม การใช้งานของโปรแกรม

6) **การใช้งานจริง** ผู้วิจัยนำโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นไปทดลองใช้ตามสภาพแวดล้อมจริงกับผู้เชี่ยวชาญจำนวน 7 คน โดยผู้วิจัยทำการแนะนำการใช้และให้ผู้เชี่ยวชาญใช้โปรแกรม พร้อมทั้งประเมินผลการใช้งานโดยใช้แบบสอบถาม [1]

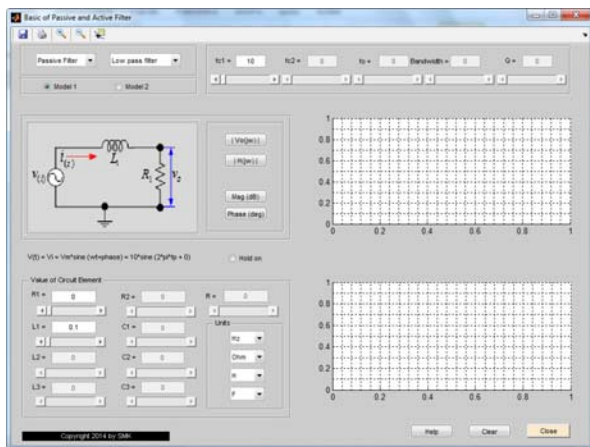
7) **การปรับปรุงและพัฒนาโปรแกรม** ขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงและพัฒนาโปรแกรมตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญที่ใช้จริง โดยการเพิ่มรายละเอียดของตัวแปรและสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณไว้ในตัวโปรแกรมของแต่ละวงจร

ผลการวิจัย

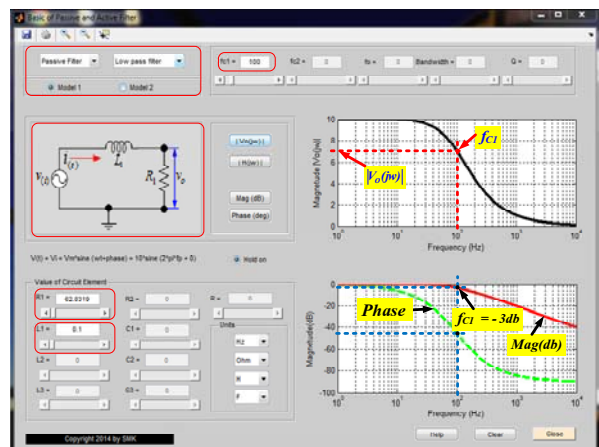
ผลการพัฒนาโปรแกรม

ผลการพัฒนาโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์วงจรกรองแบบพาสซีฟ แสดงในภาพที่ 5 สามารถอธิบายขั้นตอนการใช้งานได้ดังนี้

1. เริ่มต้นการใช้งานโปรแกรมโดยทำการเลือกชนิดของวงจรกรอง ที่ประกอบไปด้วย วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน และ วงจรกรองความถี่สูงผ่าน สามารถเลือกลักษณะของวงจรได้ 2 รูปแบบคือ รูปแบบที่ 1 (Model 1) มีลักษณะเป็นวงจรกรองอนุกรม RL และรูปแบบที่ 2 (Model 2) มีลักษณะเป็นวงจรกรองอนุกรม RC ในส่วนของวงจรกรองความถี่แถบผ่าน และวงจรกรองความถี่แถบหยุด สามารถเลือกลักษณะของวงจรได้ 2 รูปแบบเช่นเดียวกันคือ รูปแบบที่ 1 (Model 1) มีลักษณะเป็นวงจรกรองอนุกรม RLC และรูปแบบที่ 2 (Model 2) มีลักษณะเป็นวงจรกรองขนาน LC ต่ออนุกรมกับ R หลังจากนั้นโปรแกรมจะแสดงลักษณะของวงจรตามลำดับ
2. กำหนดค่าความถี่คutoffที่ต้องการออกแบบ (f_{c1} และ f_{c2})
3. กำหนดค่าอุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่ค่าตัวเก็บประจุ (C) หรือค่าตัวเหนี่ยวนำตามลักษณะของวงจรแต่ละชนิด
4. เลือกผลการวิเคราะห์วงจรซึ่งแสดงเป็นเส้นกราฟ 2 มิติ ประกอบด้วย การตอบสนองของแรงดัน การตอบสนองความถี่ และการตอบสนองในรูปแบบเชิงขั้ว



ภาพที่ 5 โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์วงจรกรองแบบพาสซีฟ



ภาพที่ 6 การวิเคราะห์วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอนุกรม RL

ผลการวิเคราะห์วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอนุกรม RL

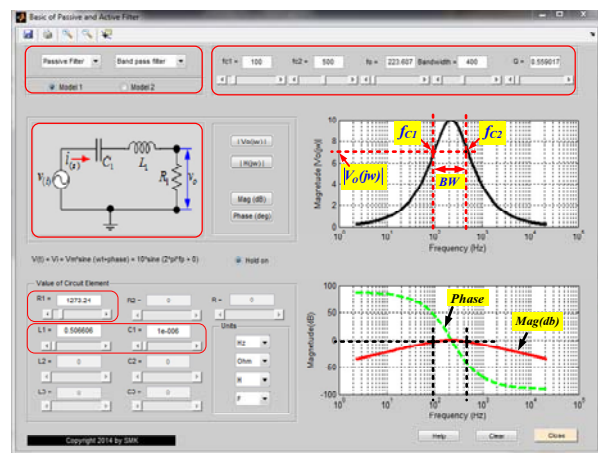
การวิเคราะห์วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอนุกรม RL โดยกำหนดค่าความถี่คutoff (f_{c1}) มีค่าเท่ากับ 100 เฮิรตซ์ ค่าความเหนี่ยวนำ (L_1) เท่ากับ 0.1 เฮนรี่ มีค่าแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ($V(t)$) เท่ากับ $10\sin(\omega t)$ โวลต์ ผลการวิเคราะห์วงจรแสดงดังภาพที่ 6 พบว่าผลการคำนวณหาตัวต้านทาน (R_1) ที่นำมาต่อในวงจรมีค่าเท่ากับ 62.83 โอห์ม โดยที่ผลการตอบสนองของขนาดแรงดันเอาต์พุต ($|V_o(j\omega)|$) มีค่าเท่ากับ 7.07 โวลต์ ที่ความถี่ 100 เฮิรตซ์ เมื่อพิจารณา Bode plot พบว่าผลตอบสนองของขนาดที่ความถี่ 100 เฮิรตซ์ มีขนาดเท่ากับ -3.01 dB โดยที่ผลตอบสนองทางมุมมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง -90° เมื่อพิจารณาที่ความถี่ 100 เฮิรตซ์ มีค่ามุมเท่ากับ 45°

ผลการวิเคราะห์วงจรกรองความถี่สูงผ่านอนุกรม RC

การวิเคราะห์วงจรกรองความถี่สูงผ่านอนุกรม RC โดยกำหนดค่าความถี่คัตออฟ (f_{c1}) มีค่าเท่ากับ 1,000 เฮิรตซ์ ค่าตัวเก็บประจุ (C_1) เท่ากับ 1 ไมโครฟารัด มีค่าแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ($V(t)$) เท่ากับ $10\sin(\omega t)$ โวลต์ ผลการวิเคราะห์วงจรแสดงดังภาพที่ 7 พบว่า ผลการคำนวณค่าตัวต้านทาน (R_1) ที่นำมาต่อในวงจรมีค่าเท่ากับ 159.15 โอห์ม โดยที่ผลการตอบสนองของขนาดแรงดันเอาต์พุต ($|V_o(j\omega)|$) มีค่าเท่ากับ 7.07 โวลต์ ที่ความถี่ 1,000 เฮิรตซ์ เมื่อพิจารณา Bode plot พบว่าผลตอบสนองของขนาดที่ความถี่ 1,000 เฮิรตซ์ มีขนาดเท่ากับ -3.01 dB โดยที่ผลตอบสนองทางมุมมีค่าตั้งแต่ 90° ถึง 0° เมื่อพิจารณาที่ความถี่ 1,000 เฮิรตซ์ มีค่ามุมเท่ากับ 45°



ภาพที่ 7 การวิเคราะห์วงจรกรองความถี่สูงผ่านอนุกรม RC



ภาพที่ 8 การวิเคราะห์วงจรกรองความถี่แถบผ่าน RLC

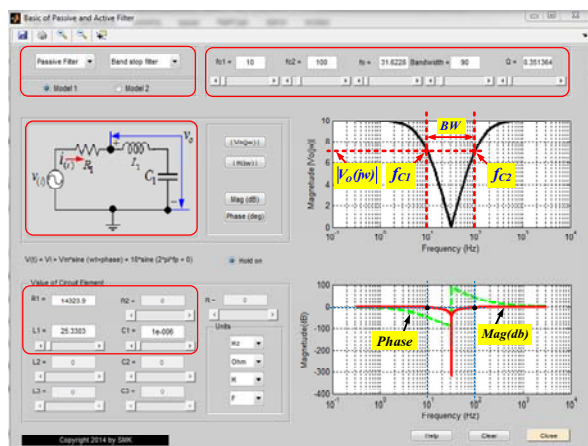
ผลการวิเคราะห์วงจรกรองความถี่แถบผ่าน RLC

การวิเคราะห์วงจรกรองความถี่แถบผ่าน RLC ที่ความถี่ต้น (f_{c1}) เท่ากับ 100 เฮิรตซ์ ที่ความถี่ปลาย (f_{c2}) เท่ากับ 500 เฮิรตซ์ โดยกำหนดค่าของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับมีค่า $v(t) = 10\sin(\omega t + \theta)$ มีค่าตัวเก็บประจุ (C) เท่ากับ 1 ไมโครฟารัด

ผลการวิเคราะห์วงจรจากภาพที่ 8 พบว่าตัวต้านทาน (R_1) มีค่าเท่ากับ 397.887 โอห์ม ตัวเหนี่ยวนำ (L_1) มีค่าเท่ากับ 0.506 เฮนรี ความถี่กลาง (f_0) มีค่าเท่ากับ 223.607 เฮิรตซ์ แถบผ่านความถี่ (BW) มีค่าเท่ากับ 400 เฮิรตซ์ และตัวประกอบคุณภาพ (Q) มีค่าเท่ากับ 0.559 โดยที่ผลการตอบสนองของขนาดแรงดันเอาต์พุต ($|V_o(j\omega)|$) มีค่าเท่ากับ 7.07 โวลต์ ที่ความถี่ต้น และความถี่ปลาย ซึ่งมีขนาดแรงดันสูงสุดที่ความถี่กลาง เมื่อพิจารณา Bode plot พบว่าผลตอบสนองของขนาดที่ความถี่ต้น และความถี่ปลายมีขนาดเท่ากับ -3.0 dB และมีขนาดเท่ากับ 0 dB ที่ความถี่กลาง โดยที่ผลตอบสนองทางมุมมีค่าตั้งแต่ 90° ถึง -90° เมื่อพิจารณาที่ความถี่ต้นมีค่ามุมเท่ากับ 45° และความถี่ปลายมีค่ามุมเท่ากับ -45° และ ที่ความถี่กลาง มีค่ามุมเท่ากับ 0°

ผลการวิเคราะห์วงจรกรองความถี่แถบหยุดอนุกรม RLC

การวิเคราะห์วงจรกรองความถี่แถบหยุดอนุกรม RLC ที่ความถี่ต้น (f_{c1}) เท่ากับ 10 เฮิรตซ์ ที่ความถี่ปลาย (f_{c2}) เท่ากับ 100 เฮิรตซ์ โดยกำหนดค่าของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับมีค่า $v(t) = 10\sin(\omega t + \theta)$ มีค่าตัวเก็บประจุ (C) เท่ากับ 1 ไมโครฟารัด



ภาพที่ 9 การวิเคราะห์วงจรความถี่แถบหยุดอนุกรม RLC

ผลการวิเคราะห์วงจรจากภาพที่ 9 พบว่าตัวต้านทาน (R_1) มีค่าเท่ากับ 14323.9 โอห์ม ตัวเหนี่ยวนำ (L_1) มีค่าเท่ากับ 25.33 เฮนรี ความถี่กลาง (f_0) มีค่าเท่ากับ 31.6228 เฮิร์ตซ์ แถบผ่านความถี่ (BW) มีค่าเท่ากับ 90 เฮิร์ตซ์ และตัวประกอบคุณภาพ (Q) มีค่าเท่ากับ 0.35 โดยที่ผลการตอบสนองของขนาดแรงดันเอาต์พุต ($|V_o(j\omega)|$) มีค่าเท่ากับ 7.07 โวลต์ ที่ความถี่ต้น และความถี่ปลาย ซึ่งมีขนาดแรงดันสูงสุดที่ความถี่กลาง เมื่อพิจารณา Bode plot พบว่าผลตอบสนองของขนาดที่ความถี่ต้น และความถี่ปลายมีขนาดเท่ากับ -3.0 dB และมีขนาดเท่ากับ -317.8 dB ที่ความถี่กลาง โดยที่ผลตอบสนองทางมุมมีค่าที่ความถี่ต้นถึงความถี่กลาง ตั้งแต่ 0° ถึง -90° และที่ความถี่กลางถึงความถี่ปลาย ตั้งแต่ 90° ถึง 0° เมื่อพิจารณาที่ความถี่ต้นมีค่ามุมเท่ากับ -45° และความถี่ปลายมีค่ามุมเท่ากับ 45° และที่ความถี่กลางมีค่ามุมเท่ากับ $\pm 90^\circ$

ผลการประเมินคุณภาพของโปรแกรม

ตารางที่ 1 ผลการประเมินคุณภาพของโปรแกรมจากผู้เชี่ยวชาญ

ลำดับ	ความคิดเห็น	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
1.	ด้านโครงสร้าง	4.33	0.60	มาก
2.	ด้านการใช้งาน	4.56	0.53	มากที่สุด
3.	ด้านการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอน	4.50	0.53	มาก
เฉลี่ยรวมทุกด้าน		4.46		มาก

จากตารางที่ 1 พบว่า ด้านโครงสร้างของโปรแกรมมีผลคะแนนการประเมินเฉลี่ยเท่ากับ 4.33 มีคุณภาพอยู่ในระดับมาก ด้านการใช้งานของโปรแกรม มีผลคะแนนการประเมินเฉลี่ยเท่ากับ 4.56 มีคุณภาพอยู่ในระดับมากที่สุด และด้านการใช้ประกอบการเรียนการสอนมีผลคะแนนการประเมินเฉลี่ยเท่ากับ 4.50 มีคุณภาพอยู่ในระดับมาก โดยมีผลคะแนนการประเมินเฉลี่ยทั้งโปรแกรม มีค่าเท่ากับ 4.46 มีคุณภาพอยู่ในระดับมาก

สรุปและการอภิปรายผล

โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์วงจรกรองแบบพาสซีฟโดยใช้ฟังก์ชันจียูโอของ MATLAB ที่พัฒนาขึ้น สามารถวิเคราะห์วงจร ได้ 4 แบบ ได้แก่ วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน วงจรกรองความถี่สูงผ่าน วงจรกรองความถี่แถบผ่าน และวงจรกรองความถี่แถบหยุด ใช้งานง่าย สะดวก มีผลการคำนวณที่ถูกต้อง รวดเร็ว ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการศึกษาทางด้านวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจลักษณะของการตอบสนองของวงจรกรองแบบพาสซีฟ ซึ่งสามารถเชื่อมโยงระหว่างทฤษฎีกับการปฏิบัติได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] William H. Jr., Jack E. Kemmerly and Steven M. Durbin. (2007). **Engineering Circuit Analysis. Seventh Edition.** McGraw-Hill.
- [2] Brandisky, K.G., Stanchev, K.P., Iacheva, I.I., Stancheva, R.D., Petrakieva, S.K., Terzieva, S.D. and Mladenov, V.M. (2005). Computer-Aided Education in Theoretical Electrical Engineering at the Technical University of Sofia: Part II. **Computer as a Tool, 2005. EUROCON 2005.** 768-771. Nov. 21-24, 2005, The International Conference on, Volume: 1,
- [3] Menendez, L.M., Salaverria, A., Mandado, E. and Dacosta, J.G. (2006). Virtual Electronics Laboratory: A new tool to improve Industrial Electronics Learning. **IEEE Industrial Electronics, IECON 2006 - 32nd Annual Conference on,** 5445-5448. 6-10 Nov. 2006.
- [4] S. Khamkleang and S. Akatimagool. (2009). "Microwave Planar Circuit Design Tool in the teaching of Microwave Engineering", **Electrical Engineering/ Electronics, Computer, in Telecommunications and Information Technology, 2009, ECTI-CON 2009. 6th International Conference on,** 830-833. May 2009, Volume 2.
- [5] Gati, J. and Kartyas, G. (2010). Virtual Classrooms for Robotics and other Engineering Applications. **Robotics in Alpe-Adria-Danube Region (RAAD), 2010 IEEE 19th International Workshop on,** 481-486. 24-26 June 2010.
- [6] Raud, Z. and Vodovozov, V. (2010). Virtual Lab to Study Power Electronic Converters. **Power Electronics Electrical Drives Automation and Motion (SPEEDAM), 2010 International Symposium on,** 703-708. 14-16 June 2010.
- [7] สมมาตร ขำเกลี้ยง และไพศาล คงเรือง. (2557). "การออกแบบระบบไฟฟ้าที่มีโหลดเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า ตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556 โดยใช้จียูโอของแมทแลป", ใน **การประชุมวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรมระดับชาติ ครั้งที่ 7 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ประเทศไทย**, 34-39. วันที่ 6 พฤศจิกายน 2557 ณ หอประชุมเบญจรัตน์ อาคารนวมินทรราชินี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [8] ศิวดล นวลนภดล และสมมาตร ขำเกลี้ยง. (2557). "การวิเคราะห์และออกแบบวงจรไบอัสทรานซิสเตอร์โดยใช้จียูโอของแมทแลป สำหรับการเรียนการสอนวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์", ใน **การประชุมวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรมระดับชาติ ครั้งที่ 7 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ประเทศไทย**, 144-149. วันที่ 6 พฤศจิกายน 2557 ณ หอประชุมเบญจรัตน์ อาคารนวมินทรราชินี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.