การพัฒนาเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเสมือนจริงสำหรับการวิเคราะห์วงจรกรองความถี่พาสซีพ

จงรัก สามารถ[1,2*] และ สมศักดิ์ อรรคทิมากูล[2]

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเสมือนจริงสำหรับการวิเคราะห์วงจรกรองความถี่พาสซีพโดยมีชุดการวัดเชื่อมต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์เป็นชุดควบคุมการทำงานและใช้โปรแกรม MATLAB ในการแสดงผลข้อมูล การดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่ การออกแบบฮาร์ดแวร์ การพัฒนาโปรแกรมควบคุมและแสดงผล และการทดสอบคุณภาพของเครื่องที่พัฒนาขึ้น ผลจากการทดสอบพบว่า เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายสามารถกำเนิดสัญญาณไซน์และกวาดความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพในย่านความถี่ช่วง 20 Hz ถึง 200 kHz ให้ผลการตอบสนองการทำงานที่สอดคล้องกับผลจากการใช้เครื่องมือวัดจริงโดยมีค่าความผิดพลาดไม่เกินร้อยละ ±5 จุดเด่นของเครื่องมือที่สร้างขึ้นนี้มีราคาที่เหมาะสมและสามารถวิเคราะห์ผลได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นสรุปได้ว่าเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเสมือนจริงสามารถพัฒนาไปใช้ในงานอุตสาหกรรมหรือใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: วงจรกรองความถี่พาสซีพ, เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเสมือนจริง, โปรแกรม MATLAB

---

[1] สาขาวิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์, คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

[2] ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า, คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[*] ผู้ติดต่อ, อีเมล์: s.jongruki@gmail.com รับเมื่อ 26 เมษายน 2556 ตอบรับเมื่อ 30 กรกฎาคม 2556

The Development of Virtual Network Analyzer for Passive Filter Analysis

Jongruk Samart[1,2*] and Somsak Akatimagool[2]

Abstract

This research presents a development of virtual network analyzer for passive filter analysis. The measurement set is controlled using microcomputer and the operating frequency response is displayed by MATLAB program. The research process consists of 3 parts as: hardware design, program development and quality evaluation. The research results showed that the measurement set can generate and swept effectively the sine wave at frequencies form 20 Hz to 200 kHz. The operating test of the developed virtual network analyzer agreed with the instrument with maximum error is less than ±5%. The features of this research are low cost and fast computation time. Conclusion, the developed virtual network analyzer can be used effectively as a teaching aid and can develop to apply in industry.

Keywords : Passive Filter Circuits, Virtual Network Analyzer**,** MATLAB Program

[1] Department of Teacher Training in Electronic Engineering, Faculty of Technical Education, Rajamangala University of Technology Isan KhonKaen Campus.

[2] Department of Teacher Training in Electrical Engineering, Faculty of Technical Education, King Mongkut's University of Technology North Bangkok.

[*] Corresponding author, e-mail: s.jongruki@gmail.com Received 26 April 2013, Accepted 30 July 2013

1. บทนำ

ปัจจุบันการพัฒนางานด้านเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ได้เจริญก้าวหน้าและทันสมัยเพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีบทบาทในการดำรงชีวิตของมนุษย์ในรูปของเครื่องใช้ไฟฟ้า เครื่องอำนวยความสะดวกภายในบ้าน เครื่องมือทางการแพทย์ เครื่องมือสื่อสาร เป็นต้น โดยส่วนใหญ่จะพัฒนาให้มีขนาดเล็กและมีความเร็วสูง ดังนั้นเครื่องมือเหล่านั้นต้องทำงานที่ความถี่สูงมากๆซึ่งจะมีปัญหาเรื่องของสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นฉะนั้นวงจรกรองความถี่จึงเป็นส่วนประกอบที่สำคัญและจำเป็นภายในเครื่องมือและอุปกรณ์เหล่านั้นซึ่งจะทำหน้าที่คัดแยกหรือกรองเอาเฉพาะสัญญาณที่ต้องการใช้งานออกจากสัญญาณทั้งหมดที่เข้ามาในระบบ ดังนั้นจึงมีนักวิจัย [1-3] ให้ความสนใจในการวิเคราะห์และออกแบบวงจรกรองความถี่ที่รองรับกับการใช้งานในย่านความถี่ต่างๆ เช่น ย่านความถี่คลื่นสั้น ย่านความถี่วิทยุ ย่านความถี่ไมโครเวฟ เป็นต้น ในการทดลอง วิเคราะห์และทดสอบวงจรกรองความถี่ต่างๆจำเป็นต้องอาศัยเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer) สำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการ ห้องวิจัย หรือในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆแต่พบว่าราคาของเครื่องมือดังกล่าวมีราคาสูงมากๆประมาณ 2-5 ล้านบาทและเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายส่วนใหญ่จะตอบสนองในย่านความถี่สูงในช่วงความถี่โดยประมาณ 100 MHz ถึง 40 GHz ซึ่งไม่สามารถครอบคลุมการใช้งานในย่านความถี่ต่ำๆได้

สำหรับการศึกษาด้านวิศวกรรมไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม การวิเคราะห์และออกแบบวงจรกรองความถี่เป็นหัวข้อที่สำคัญที่ได้ระบุไว้ในหลายรายวิชาในระดับปริญญาตรีทั้งในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต เป็นต้น ดังตัวอย่างการวิเคราะห์หลักสูตรสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล [4-5] พบว่า รายวิชาที่มีหัวข้อการสอนเรื่องวงจรกรองความถี่มีทั้งในรายวิชาของหมวดวิชาบังคับและหมวดวิชาเลือกเสรี ได้แก่ วิชาวิศวกรรมสายส่งและโครงข่ายการสื่อสาร อิเล็กทรอนิกส์วิศวกรรม วิศวกรรมไมโครเวฟ เป็นต้น ดังนั้นการวัดและทดสอบเพื่อวิเคราะห์ผลตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ในย่านความถี่ระดับกลาง (100 Hz - 500 kHz) นับเป็นเรื่องจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการฝึกทักษะในทางปฏิบัติที่สามารถกระทำได้โดยการป้อนความถี่ในย่านต่างๆ วัดค่าของสัญญาณที่ทางเข้าเปรียบเทียบกับทางออกและบันทึกผลการตอบสนองแล้วนำผลที่ได้พล็อตกราฟ [8] ซึ่งพบว่าในการปฏิบัติงานจริงต้องใช้เครื่องมือและอุปกรณ์จำนวนมาก ตลอดจนต้องเสียเวลามากและไม่สะดวกต่อการปฏิบัติงานสำหรับการวิเคราะห์เพื่อออกแบบวงจรกรองความถี่ที่ต้องการ

ในระยะเวลาที่ผ่านมามีการปฏิรูปการศึกษาที่ส่งผลให้มีการพัฒนารูปแบบการเรียนรู้ กิจกรรมการเรียนการสอน และสื่อการสอนให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ที่สามารถส่งเสริมให้ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเพิ่มขึ้น [3, 6-7] และเมื่อพิจารณาสื่อการสอนที่พัฒนาขึ้น ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบระบบที่สามารถแสดงผลการทำงานได้อย่างถูกต้องและสะดวกต่อการนำไปใช้งาน แต่มีข้อจำกัดในด้านการฝึกทักษะทางปฏิบัติที่ผู้เรียนไม่ได้สัมผัสกับเครื่องมือและอุปกรณ์จริง และจากการศึกษางานวิจัยต่างๆ [9-11] พบว่าได้มีการพัฒนาชุดเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าที่สามารถวัด

สัญญาณจากวงจรจริงและควบคุมโดยใช้คอมพิวเตอร์เพื่อช่วยลดเวลาและอำนวยความสะดวกในใช้งานที่เรียกว่า เครื่องมือวัดเสมือนจริง (Virtual Instrument) โดยลักษณะของเครื่องมือวัดเสมือนจริงเป็นนวัตกรรมทางด้านเทคโนโลยีที่ผสมผสานระหว่างชุดควบคุมและวงจรวัดจริงกับชุดประมวลผลและแสดงผลที่ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ดังที่ในปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาขึ้นเป็นเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าสมัยใหม่ที่ใช้งานในภาคอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมากและมีราคาสูงมากเช่นกัน

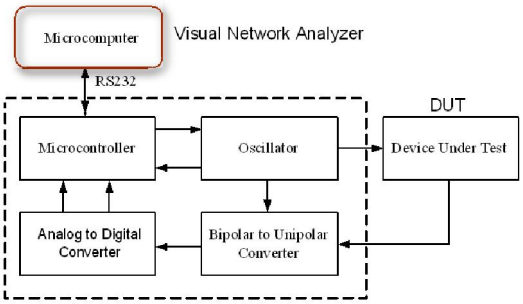
ดังนั้นบทความวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการพัฒนาเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเสมือนจริงสำหรับการศึกษาวงจรกรองความถี่พาสซีพที่ควบคุมการทำงานโดยใช้คอมพิวเตอร์และใช้โปรแกรม MATLAB ในการแสดงผลการตอบสนองทางความถี่สำหรับการประยุกต์ใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนเพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดจนช่วยลดระยะเวลาในการทดลองและประหยัดงบประมาณในการจัดหาเครื่องมือและอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่มีราคาสูง

2. การดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนในการพัฒนาเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเสมือนจริงสำหรับวงจรกรองความถี่พาสซีพ อธิบายได้ดังนี้

2.1 การออกแบบระบบการทำงาน

เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเสมือนจริง ประกอบด้วยการทำงานร่วมกัน 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนของฮาร์ดแวร์และส่วนของโปรแกรมควบคุมและแสดงผล บล็อกไดอะแกรมของเครื่องที่ออกแบบดังแสดงในรูปที่ 1 ในส่วนของฮาร์ดแวร์ประกอบภาคสำคัญๆ 5 ภาค ดังนี้



รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเสมือนจริง

1) ไมโครคอมพิวเตอร์ (Microcomputer) ทำหน้าที่ควบคุมสั่งงานและรับส่งข้อมูลผ่านชุดการวัดซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมและแสดงผลของการวัดสัญญาณ โดยใช้โปรแกรม MATLAB

2) ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ในงานวิจัยนี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PIC18F458 ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลกับไมโครคอมพิวเตอร์ ควบคุมการกวาดความถี่ (Frequency sweep) ของวงจรกำเนิดสัญญาณ (Oscillator) และวัดระดับแรงดันที่อินพุตและเอาต์พุตของวงจรทดสอบ (Device Under Test : DUT)

3) ภาคกำเนิดสัญญาณ ในงานวิจัยนี้จะใช้ไอซีเบอร์ XR2206 ทำหน้าที่สร้างสัญญาณรูปคลื่นไซน์มีขนาด ±10 V ซึ่งสามารถกวาดความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพในย่านความถี่ช่วงตั้งแต่ 20 Hz ถึง 200 kHz ที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

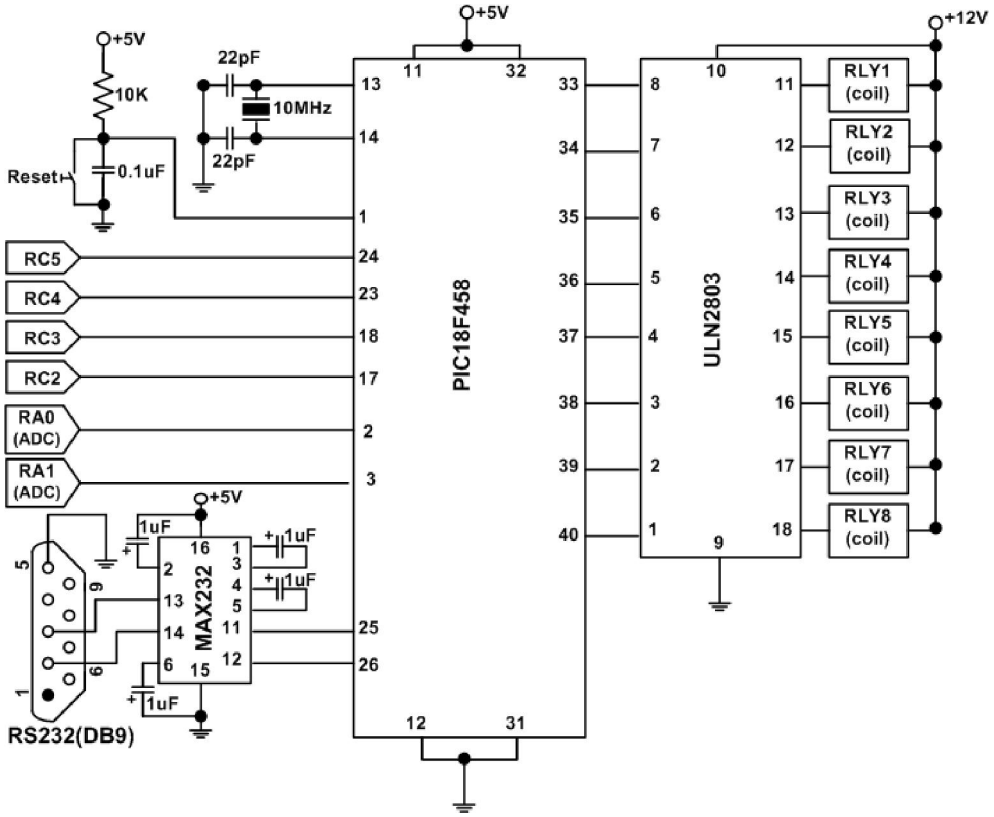
4) ภาคเปลี่ยนระดับสัญญาณ (Bipolar to Unipolar Converter) ทำหน้าที่เปลี่ยนระดับสัญญาณที่ได้จากการ

วัดจากอินพุตและเอาต์พุตของวงจรทดสอบไปเป็นระดับสัญญาณในช่วง 0–5 V เพื่อส่งต่อไปยังภาคแปลงสัญญาณ

5) ภาคแปลงสัญญาณ (Analog to Digital Converter) ทำหน้าที่แปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลเพื่อส่งต่อไปประมวลผลที่ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป

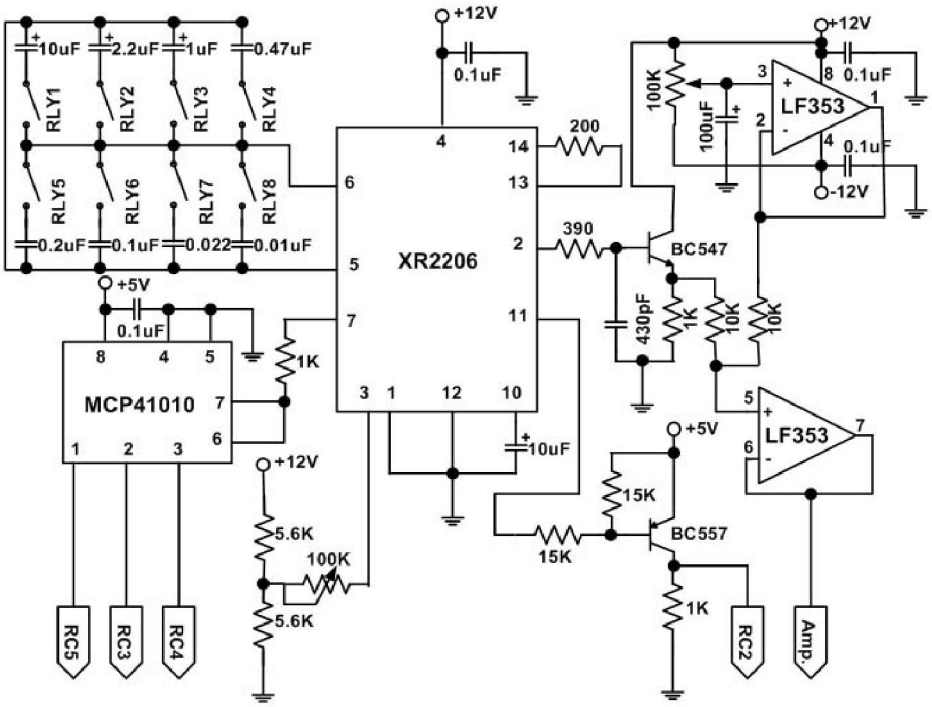
2.2 การออกแบบและสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์

ภาคการทำงานต่างๆภายในชุดการวัดของเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเสมือนจริงประกอบด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำคัญๆสามารถแสดงวงจรและอธิบายการทำงานได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2 วงจรควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์

การติดต่อระหว่างเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ชุดการวัดกระทำผ่านพอร์ตอนุกรม RS232 โดยมีไอซีเบอร์ MAX232 ทำหน้าที่เปลี่ยนระดับสัญญาณเพื่อให้สามารถสื่อสารกันได้ ดังในรูปที่ 2



รูปที่ 3 วงจรกำเนิดสัญญาณ

การกำเนิดความถี่และการกวาดสัญญาณของวงจรแสดงในรูปที่ 3 กระทำได้โดยการการปรับเปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุ ซึ่งต่ออยู่ที่ขา 5 และ 6 และการปรับค่าความต้านทานอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างโดยใช้ไอซีเบอร์ MCP41010 ที่ต่ออยู่กับขา 7 ของไอซีเบอร์ XR2206 เพื่อการกำเนิดความถี่อย่างมีประสิทธิภาพได้ค่าของความถี่ที่ถูกต้องนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการปรับเปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุที่เหมาะสมสำหรับย่านของการกำเนิดในแต่ละย่าน ค่าตัวเก็บประจุสำหรับแต่ละช่วงความถี่ในวงจรได้จากการคำนวณโดยการใช้สมการที่ (1) ซึ่งเป็นสมการจากคู่มือไอซีแล้วปรับตั้งเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมเนื่องจากการทำงานของวงจรจริงมีปัจจัยอื่นๆเข้ามาเกี่ยวข้อง

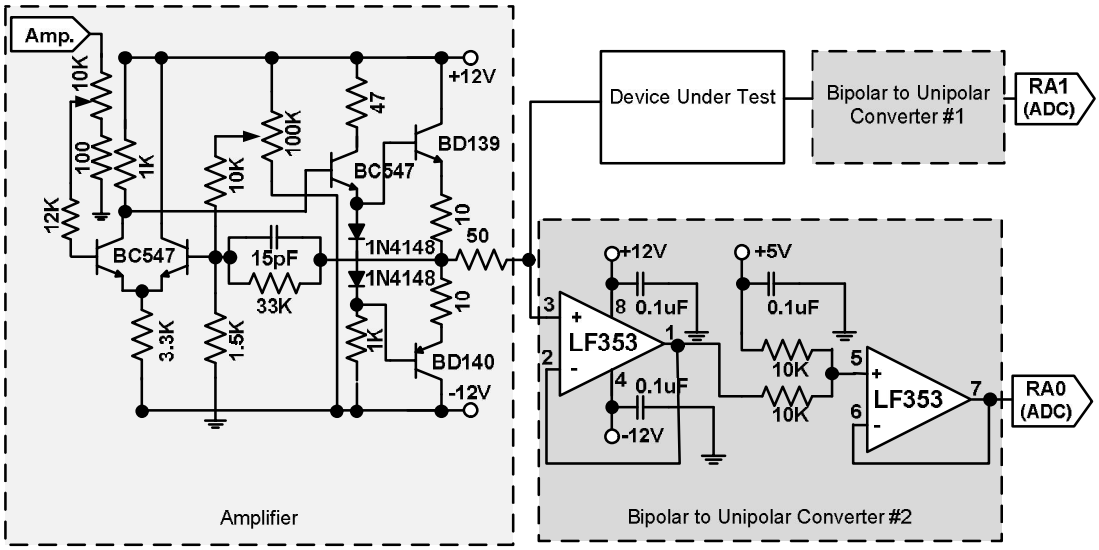
$$f_0 = \frac{1}{RC} \ [Hz] \qquad (1)$$

เมื่อ f_0 หมายถึง ความถี่ที่กำเนิด

R หมายถึง ความต้านทาน ($4\ k\Omega < R < 200\ k\Omega$)

C หมายถึง ตัวเก็บประจุ ($1\ nF < C < 100\ uF$)

การกำเนิดความถี่นั้นจำเป็นต้องนำความถี่ที่กำเนิดได้ป้อนย้อนกลับเข้ามาตรวจสอบความถูกต้องก่อนการวัดขนาดของสัญญาณที่อินพุตและเอาต์พุตของวงจรทดสอบซึ่งการดำเนินการทั้งหมดควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์



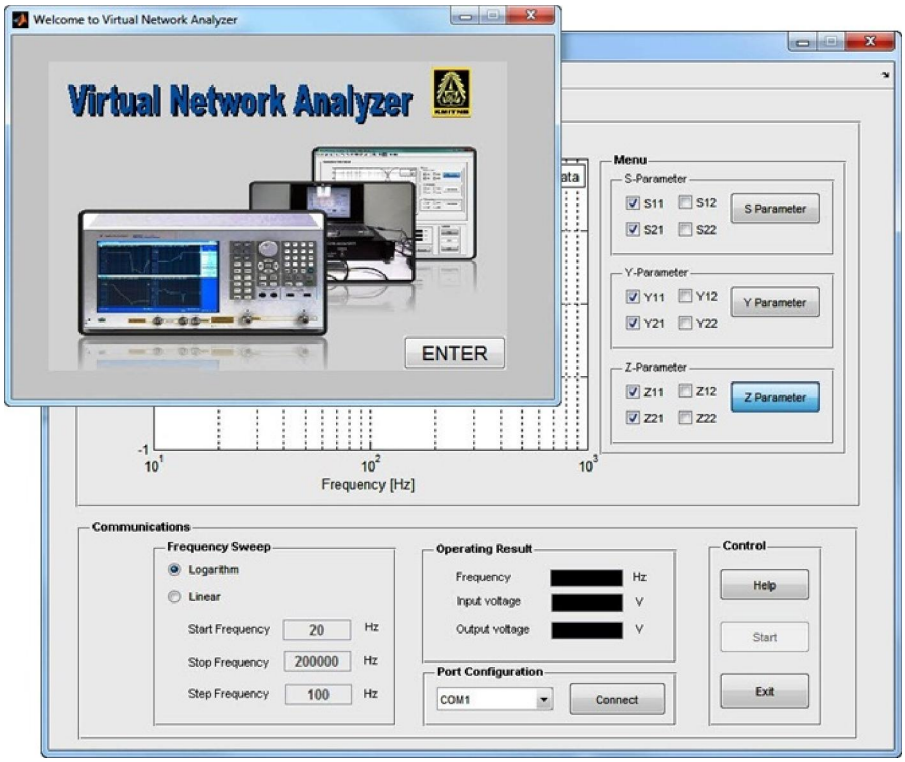
รูปที่ 4 วงจรขยายและวงจรเปลี่ยนระดับสัญญาณ

รูปที่ 4 แสดงสัญญาณเอาต์พุตจากวงจรกำเนิดความถี่จะถูกป้อนเข้าสู่อินพุตวงจรขยายสัญญาณเพื่อให้ได้สัญญาณขนาด ±10 V ก่อนป้อนเข้าสู่วงจรทดสอบและวงจรเปลี่ยนระดับสัญญาณ ด้วยขนาดของสัญญาณที่ได้จากวงจรขยายสัญญาณซึ่งเป็นสัญญาณอินพุตของวงจรทดสอบและสัญญาณที่ได้จากเอาต์พุตของวงจรทดสอบที่มีค่าประมาณ ±10 V ดังนั้นจึงต้องนำสัญญาณที่ได้ผ่านวงจรเปลี่ยนระดับสัญญาณก่อนป้อนเข้าสู่วงจรแปลงสัญญาณซึ่งวงจรเปลี่ยนระดับสัญญาณประกอบด้วยออปแอมป์ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ ความต้านทานและแรงดันไฟฟ้า 5 V ทำหน้าที่ปรับขนาดสัญญาณจากเอาต์พุตวงจรบัฟเฟอร์ให้อยู่ในช่วง 0-5 V การวิเคราะห์เพื่อหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างแรงดันที่เอาต์พุตวงจรบัฟเฟอร์กับแรงดันไฟฟ้า 5 V สามารถวิเคราะห์ได้โดยอาศัยทฤษฎีการวางซ้อน

2.3 การพัฒนาโปรแกรม

โปรแกรมสำหรับควบคุมและการแสดงผลสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่ โปรแกรมควบคุมและการแสดงผลที่ไมโครคอมพิวเตอร์พัฒนาโดยโปรแกรม MATLAB และโปรแกรมควบคุมการทำงานของชุดการวัดจริงที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งพัฒนาด้วยโปรแกรมภาษาซี ดังมีรายละเอียดดังนี้

2.3.1 โปรแกรมควบคุมและแสดงผล พัฒนาโดยใช้อินเตอร์เฟสด้วยกราฟิก (GUI) เพื่อให้สะดวกในการใช้งานโปรแกรมทำงานภายใต้โปรแกรม MATLAB ดังแสดงหน้าต่างโปรแกรมที่ออกแบบในรูปที่ 5 ซึ่งประกอบด้วยส่วนหลัก 2 ส่วน ดังนี้

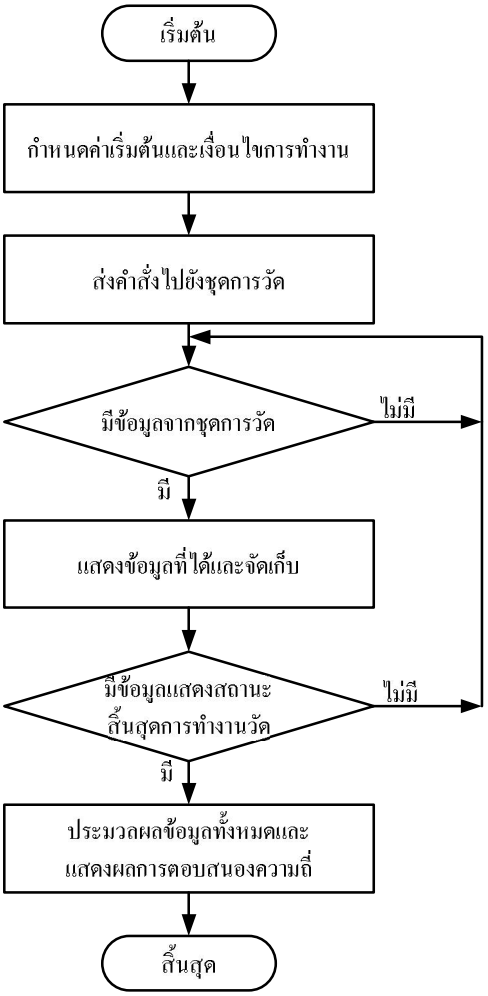


รูปที่ 5 หน้าต่างโปรแกรมการวิเคราะห์โครงข่ายเสมือนจริง

1) ส่วนของการกำหนดค่าเริ่มต้น และเงื่อนไขการติดต่อสื่อสารกับชุดการวัด ได้แก่ การกำหนดความถี่เริ่มต้น ความถี่สิ้นสุดสำหรับใช้ในการทดสอบ ขั้นของความถี่ และการกำหนดพอร์ตสำหรับการเชื่อมต่อ เป็นต้น

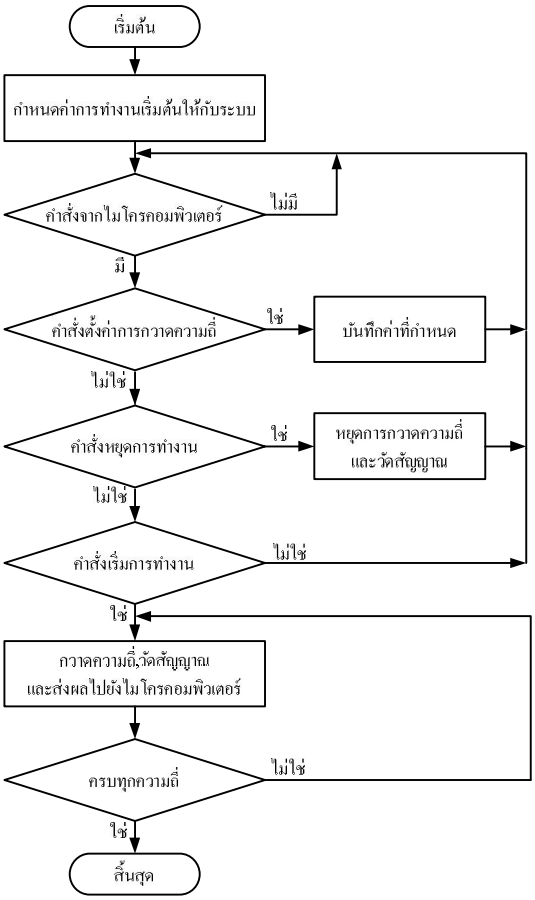
2) ส่วนการแสดงผล เป็นการแสดงผลการตอบสนองทางความถี่ของวงจรทดสอบในย่านความถี่ที่ผู้ใช้กำหนด ได้แก่ แสดงในแบบอิมพีแดนซ์พารามิเตอร์ แอดมิตแตนซ์พารามิเตอร์ และสแกตเตอร์ริ่งพารามิเตอร์ เป็นต้น

ผังงานการทำงานของโปรแกรมดังแสดงในรูปที่ 6 เริ่มต้นการทำงานที่ผู้ใช้ต้องกำหนดค่าเริ่มต้นและเงื่อนไขในการทำงาน ได้แก่ ความถี่เริ่มต้น ความถี่สุดท้าย ขั้นความถี่ และพอร์ตในการติดต่อสื่อสารกับชุดการวัด ในลำดับถัดไปเมื่อผู้ใช้งานคลิกที่ปุ่มเริ่มต้นทำงานโปรแกรมจะส่งคำสั่งและค่าที่กำหนดต่างๆไปยังชุดการวัดและรอรับข้อมูลซึ่งเป็นผลของการวัดจนกระทั่งครบทุกค่าความถี่แล้วจึงทำการประมวลผลและแสดงผลการตอบสนองความถี่ในรูปพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ อิมพีแดนซ์พารามิเตอร์ แอดมิตแตนซ์พารามิเตอร์ สแกตเตอร์ริ่งพารามิเตอร์ ตามที่ผู้ใช้ต้องการ

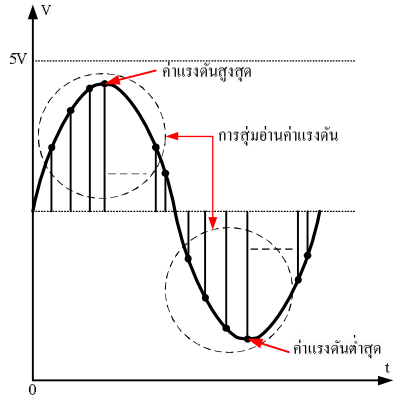


รูปที่ 6 ผังงานโปรแกรมการวิเคราะห์โครงข่ายเสมือนจริง

2.3.2 โปรแกรมควบคุมชุดการวัด เป็นโปรแกรมที่พัฒนาด้วยโปรแกรมภาษาซี รายละเอียดดังแสดงในผังงานในรูปที่ 7 ซึ่งการทำงานของโปรแกรมควบคุมชุดการวัด เริ่มต้นด้วยการกำหนดการทำงานเริ่มต้นของระบบ เช่น กำหนดการสร้างความถี่เริ่มต้นที่ 1 kHz อัตราในการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม เป็นต้น ลำดับต่อไปรอรับคำสั่งและค่ากำหนดต่างๆ จากไมโครคอมพิวเตอร์ซึ่งเมื่อได้รับคำสั่งเริ่มต้นจะทำการสร้างและกวาดความถี่พร้อมกับการวัดและแปลงสัญญาณที่ได้จากอินพุตและเอาต์พุตของวงจรทดสอบเพื่อส่งเป็นข้อมูลไปยังไมโครคอมพิวเตอร์และเปลี่ยนความถี่ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งสิ้นสุดการวัดที่ความถี่สุดท้ายหรือได้รับคำสั่งสิ้นสุดการทำงานตามที่ผู้ใช้ต้องการ



รูปที่ 7 ผังงานโปรแกรมชุดการวัดใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 8 การวัดขนาดสัญญาณรูปคลื่นไซน์

สำหรับแนวคิดในการวัดขนาดสัญญาณรูปคลื่นไซน์เมื่อพิจารณาสัญญาณเอาต์พุตของวงจรทดสอบซึ่งผ่านการเปลี่ยนระดับสัญญาณโดยวงจรในรูปที่ 4 ดังที่กล่าวมาแล้วนั้นจะได้สัญญาณดังในรูปที่ 8 การหาค่าแรงดันสูงสุดและต่ำสุดเพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าแรงดันยอดถึงยอด (V_{P-P}) ของสัญญาณในการวัดที่แต่ละความถี่สำหรับเป็นค่าแรงดันอินพุตและเอาต์พุตเพื่อคำนวณหาผลตอบทางความถี่ของวงจรทดสอบนั้น มีหลักการในการเขียนโปรแกรม เป็นดังนี้

1.) กำหนดค่าแรงดันสูงสุดและต่ำสุดเริ่มต้นไว้ก่อนล่วงหน้าซึ่งการกำหนดค่าแรงดันสูงสุดเริ่มต้นจะต้องกำหนดให้มีค่าต่ำกว่าค่าสูงสุดของสัญญาณจริงและค่าแรงดันต่ำสุดเริ่มต้นจะต้องกำหนดให้สูงกว่าค่าแรงดันสัญญาณต่ำสุดจริง เช่น แรงดันสูงสุดเริ่มต้น 0 V และแรงดันต่ำสุดเริ่มต้น 5 V เป็นต้น

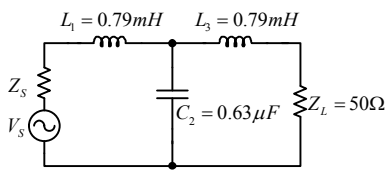
2.) ทำการสุ่มและอ่านค่าแรงดันจากสัญญาณแล้วทำการเปรียบเทียบกับค่าสูงสุดและต่ำสุดที่กำหนดไว้ ถ้าค่าที่ได้สูงกว่าค่าสูงสุดหรือต่ำกว่าค่าต่ำสุดให้เปลี่ยนค่าสูงสุดหรือต่ำสุดนั้นใหม่ตามค่าที่อ่านได้หรือค่าที่นำมาเปรียบเทียบนั้น แต่ถ้าไม่ใช่ให้สุ่มอ่านค่าแรงดันค่าต่อไปจนครบจำนวน 4,000 ครั้ง โดยช่วงเวลาการสุ่มแต่ละครั้งมีค่าเท่ากับ 1.5 µs

3. ผลการวิจัย

การทดสอบการทำงานของเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเสมือนจริงดังมีรายละเอียดการทดสอบดังนี้

3.1 การทดสอบวัดผลด้วยเครื่องที่พัฒนากับวงจรทดสอบ

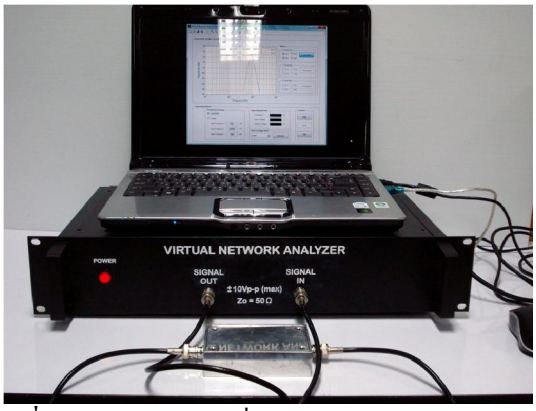
วงจรใช้สำหรับการทดสอบในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยวงจรกรองความถี่ ที่มีผลตอบสนองแบบบัตเตอร์เวิร์ต อันดับ 3 จำนวน 2 วงจร ได้แก่ วงจรกรองความถี่ต่ำ มีค่าความถี่ตัด $f_C = 10\ kHz$ และวงจรกรองความถี่แถบผ่านที่มีค่าความถี่กลาง $f_0 = 10\ kHz$ ความถี่หยุดแถบ $f_1 = 5\ kHz$ ความถี่หยุดแถบ $f_2 = 15\ kHz$ ซึ่งวงจรดังกล่าวได้ผ่านการออกแบบตามทฤษฎีและจำลองผลประกอบกับการปรับปรุงค่าอุปกรณ์ด้วยโปรแกรมจำลอง วงจรกรองความถี่ที่ใช้ในการทดสอบที่สร้างขึ้นดังแสดงในรูปที่ 9 และรูปที่ 10 แสดงส่วนประกอบของเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเสมือนจริงที่พัฒนาขึ้น



(ก) วงจรกรองความถี่ต่ำ $f_C = 10\ kHz$

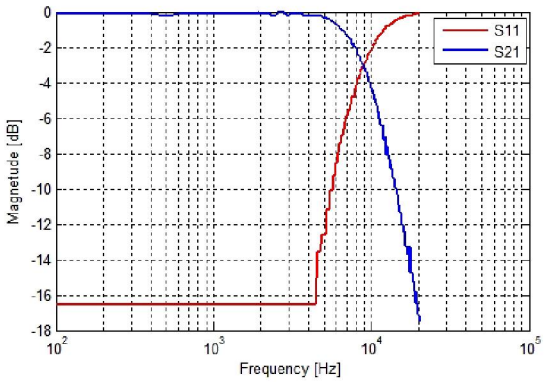
(ข) วงจรทดสอบที่สร้าง

รูปที่ 9 วงจรกรองความถี่ต่ำและวงจรที่สร้างขึ้น



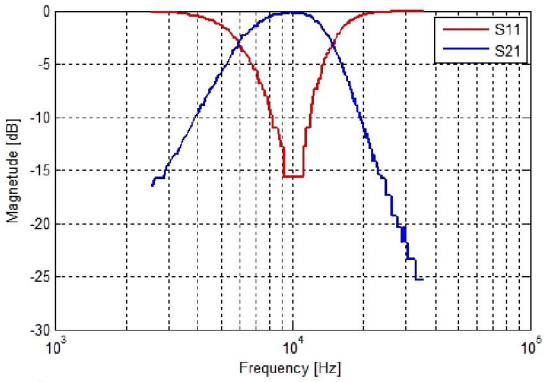
รูปที่ 10 ส่วนประกอบเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเสมือนจริง

ผลการทดสอบวงจรกรองความถี่ต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 11 พบว่า การตอบสนองของ dB (S21) ที่ตำแหน่ง –3 dB ได้ความถี่ตัดมีค่าเท่ากับ 9.5 kHz ซึ่งแตกต่างจากการคำนวณเนื่องจากการสูญเสียที่เกิดขึ้นในเครื่องมือวัดและวงจรทดสอบ



รูปที่ 11 ผลตอบสนองทางความถี่วงจรกรองความถี่ต่ำ

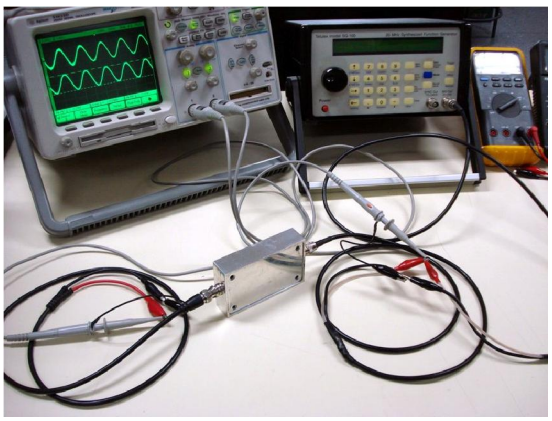
ผลการทดสอบวงจรกรองความถี่แถบผ่านในรูปที่ 12พบว่า การตอบสนองของ dB (S21) ที่ตำแหน่ง –3 dB ได้ความถี่ตัดด้านต่ำมีค่าเท่ากับ 5.8 kHz และความถี่ตัดด้านสูงมีค่าเท่ากับ 14.8 kHz ซึ่งมีความแตกต่างจากการคำนวณเนื่องจากค่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นในเครื่องมือวัดและวงจรจริงที่ใช้สำหรับการทดสอบ



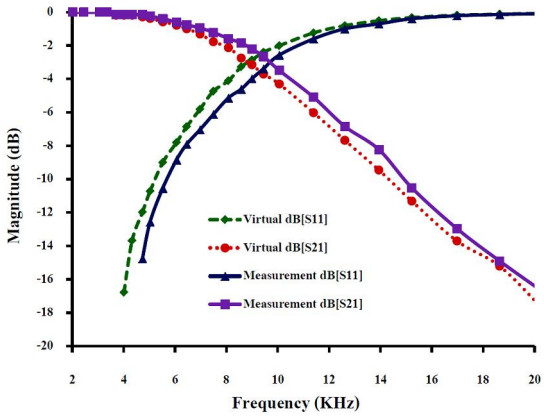
รูปที่ 12 ผลตอบสนองทางความถี่วงจรกรองความถี่แถบผ่าน

3.2 การเปรียบเทียบผลการวัด

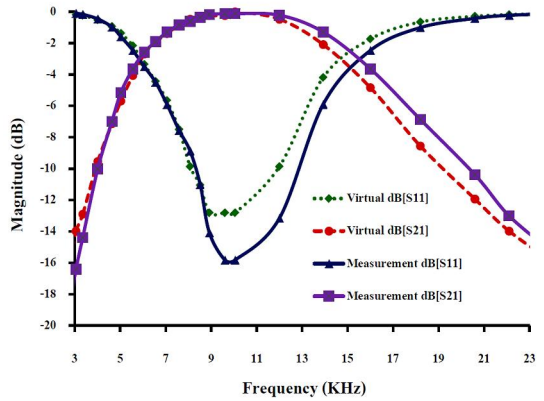
การใช้เครื่องมือวัดเพื่อเก็บข้อมูลไปเปรียบเทียบกับผลการวัดด้วยเครื่องมือวัดที่พัฒนาขึ้นดังรูปที่ 13 ประกอบด้วยขั้นตอนดำเนินการได้แก่ การป้อนสัญญาณเข้าที่วงจรทดสอบ การวัดค่าแรงดันที่อินพุตและเอาต์พุต การจดบันทึกค่า การปรับเปลี่ยนความถี่ไปจนครบทุกความถี่ที่ต้องการวัด การคำนวณหาค่าสแกตเตอร์ริ่งพารามิเตอร์และการนำข้อมูลที่ได้ไปเขียนกราฟเปรียบเทียบผลการตอบสนองทางความถี่ ดังในรูปที่ 14 และรูปที่ 15



รูปที่ 13 การวัดวงจรกรองความถี่ด้วยเครื่องมือวัด



รูปที่ 14 การเปรียบเทียบผลของวงจรกรองความถี่ต่ำ



รูปที่ 15 การเปรียบเทียบผลของวงจรกรองความถี่แถบผ่าน

จากรูปที่ 14 และรูปที่ 15 แสดงผลการเปรียบเทียบการตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำและวงจรกรองความถี่แถบผ่านตามลำดับด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเสมือนจริงกับเครื่องมือวัด พบว่าให้ผลที่สอดคล้องกันและใกล้เคียงกับค่าที่ออกแบบโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ±5 % เนื่องจากผลกระทบจากความไวในการตรวจจับสัญญาณและการสูญเสียภายในวงจรของเครื่องวัดที่พัฒนาขึ้น

3.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพ

ผลการเปรียบเทียบ พบว่า เครื่องมือวัดที่พัฒนาขึ้นมีค่าความคลาดเคลื่อน ±5 % โดยเปรียบเทียบกับผลการวัดด้วยเครื่องมือวัดแต่สามารถทำงานได้เร็วกว่า 15 เท่า เวลาการทำงานดังแสดงในตารางที่ 1 ดังนั้นจึงสามารถใช้ทดแทนเครื่องมือวัดได้อย่างมีประสิทธิภาพและเพียงพอต่อการใช้งานในย่านความถี่ 20 Hz ถึง 200 kHz

ตารางที่ 1 เวลาการทำงานของเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเสมือนจริง

หัวข้อ	เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเสมือนจริง	เครื่องมือวัดจริง
เวลาการทำงาน (จำนวน 50 ความถี่)	4 นาที	60 นาที

4. สรุปผล

การพัฒนาเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเสมือนจริงสำหรับการวิเคราะห์วงจรกรองความถี่พาสซีฟและประยุกต์ใช้เป็นสื่อประกอบการเรียนการสอนโดยเครื่องประกอบด้วยชุดการวัดใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษาซีเชื่อมต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมและการแสดงผลการวิเคราะห์ทำงานภายใต้โปรแกรม MATLAB เครื่องที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้เร็วกว่า 15 เท่า และมีราคาถูก ให้ผลการทำงานสอดคล้องกับเครื่องมือวัดโดยมีค่าความผิดพลาดไม่เกินร้อยละ ±5 ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเสมือนจริงสามารถพัฒนาไปใช้ในงานอุตสาหกรรมหรือใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5. เอกสารอ้างอิง

[1] D. Baez-Lopez, D. Baez-Yillegas, R. Alcantara, J. Romero, and T. Escalante, "A package for filter design based on MATLAB", The 31st Annual Frontiers in Education Conference, vol. 3, 2001, pp. F4D-12-6.

[2] M. Sagawa, K. Takahashi, and M. Makimoto, "Miniaturized hairpin resonators filter and their application to receiver front-end MIC's", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 45 (7), 2000, pp. 1078-1085.

[3] S. Khamkleang and S. Akatimagool, "Microwave planar circuit design tool in the teaching of microwave engineering", The ECTI-CON 6th International Conference, vol. 02, 2009, pp. 830-833.

[4] Rajamangala University of Technology Isan, "Bachelor of Engineering Program in Electronics and Telecommunication Engineering", 2010. (in Thai)

[5] Rajamangala University of Technology Isan, "Bachelor of Science in Technical Education Program in Electronics and Telecommunication Engineering", 2010. (in Thai)

[6] S. Choocadee and S. Akatimagool, "The Development of MIDEAP learning model for microwave engineering education in topic of waveguide and application", The 3th National Conference on Technical Education, Bangkok, Thailand, 2010, pp. 677-682. (in Thai)

[7] J. Samart and S. Akatimagool, "The development of gipsa learning model and instructional media on filter circuits for application in telecommunication engineering education", The 4th National Conference on Technical Education, Bangkok, Thailand, 2011, pp. 221-226. (in Thai)

[8] L. Satish and S. Vora, "Amplitude Frequency Response Measurement : A Simple Technique", Education, IEEE Transactions, 53 (3), 2010, pp. 365-371.

[9] S. Hengkietisak, S. Tipyakanont, C. Tangsiriworakul, C. Manop, and W. Senavongse, "Laboratory digital signal analysis with virtual spectrum analyzer", ICIT-IEEE International Conference, 2005, pp. 857-860.

[10] Y. Morozov, "Radio engineering measurements based on virtual instruments technique", The 9th International Workshop and Tutorials in Electron Devices and Materials, 2008, pp. 150-152.

[11] E. Luncă, A. Sălceanu, S. Hanganu and C. Donciu, "Virtual instrument aiming to extend the capabilities of the spectrum analyzers", The 13th International Symposium on Measurements for Research and Industry Applications, 2004, pp. 683-686.