

การทดสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายสมองกลฝังตัว  
ขนาดเล็ก สำหรับพัฒนาประสิทธิภาพระบบส่งวิทยุเอฟเอ็ม

นายสุบิน บุญยมนี

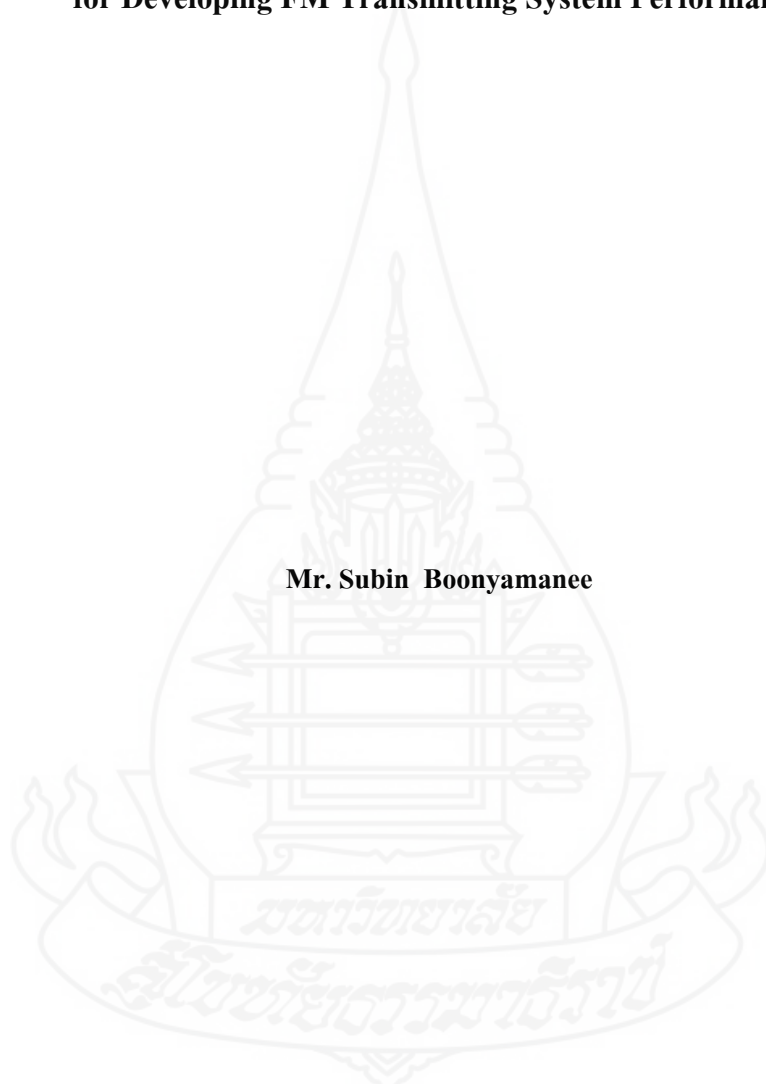


วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
แผนกวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมราชา

พ.ศ. 2557

**Testing and Analyzing the Performance of Small Embedded Network  
for Developing FM Transmitting System Performance**

**Mr. Subin Boonyamane**



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for  
the Degree of Master of Science in Information and Communication Technology

School of Science and Technology  
Sukhothai Thammathirat Open University

2014

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การทดสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายสมองกลฝังตัวขนาดเล็ก สำหรับพัฒนาประสิทธิภาพระบบส่งวิทยุเอฟเอ็ม
ชื่อและนามสกุล	นายสุบิน บุญยมติ
แขนงวิชา	เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
อาจารย์ที่ปรึกษา	1. อาจารย์ ดร. ขจิตพรณ กฤตพลวิมาน 2. อาจารย์ ดร. อำนาจ ขาวเน

วิทยานิพนธ์นี้ ได้รับความเห็นชอบให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรระดับปริญญาโท เมื่อวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2558

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(อาจารย์ ดร. รวิภัทร์ สูดผ่อง)

ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร. ขจิตพรณ กฤตพลวิมาน)

กรรมการ

(อาจารย์ ดร. อำนาจ ขาวเน)

กรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. สิริวรรณ ศรีพหล)

ประธานกรรมการบัณฑิตศึกษา

**ชื่อวิทยานิพนธ์** การทดสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายสมองกลฝังตัวขนาดเล็ก  
สำหรับพัฒนาประสิทธิภาพระบบส่งวิทยุเอฟเอ็ม

**ผู้วิจัย** นายสุบิน บุญยมณี รหัสนักศึกษา 2549600274 **ปริญญา** วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยี  
สารสนเทศและการสื่อสาร) **อาจารย์ที่ปรึกษา** (1) อาจารย์ ดร. ขจิตพรรณ กฤตพลวิมาน  
(2) อาจารย์ ดร. อำนวย ขาวเน **ปีการศึกษา** 2557

### บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ 1) เพื่อสร้างระบบสมองกลฝังตัวขนาดเล็กที่ทำงาน  
ร่วมกันเป็นเครือข่ายอีเทอร์เน็ต สำหรับควบคุมสั่งงานระบบส่งวิทยุเอฟเอ็มผ่านเว็บเพจ  
2) เพื่อทดสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้านการควบคุมระยะไกลระบบส่งวิทยุเอฟเอ็มที่มีกำลัง  
ส่งออกอากาศสูง

กระบวนการดำเนินงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 1) ออกแบบและสร้างวงจรระบบเครือข่าย  
สมองกลฝังตัวขนาดเล็กที่ทำงานร่วมกันระหว่าง ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC33 และไอซี  
ENC28J60 2) ทดสอบโมดูลควบคุมการทำงานระบบส่งวิทยุเอฟเอ็มผ่านเว็บเพจ 3) วิเคราะห์  
ประสิทธิภาพการทำงานของระบบเครือข่ายสมองกลฝังตัวขนาดเล็กด้านเวลาตอบสนอง อัตราการ  
ไหลผ่านของข้อมูล ความพร้อมใช้งาน และตรวจสอบค่าความผิดพลาดทางความถี่ของระบบส่ง  
วิทยุเอฟเอ็มที่มีกำลังออกอากาศสูงเมื่อเชื่อมต่อกับบอร์ดควบคุม

ผลการวิจัยได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของระบบเครือข่ายสมองกลฝัง  
ตัวขนาดเล็กที่ควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC33 และไมโครคอนโทรลเลอร์ CIE-M10  
พบว่าสามารถควบคุมระบบส่งวิทยุเอฟเอ็มได้ทั้งสองบอร์ด แต่ประสิทธิภาพทางด้านเวลา  
ตอบสนองและด้านอัตราการไหลผ่านของข้อมูลของบอร์ด CIE-M10 สูงกว่า ส่วนด้านความพร้อม  
ใช้งานและค่าความผิดพลาดทางความถี่มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับ  
การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 พบว่าบอร์ด CIE-M10 มีข้อจำกัดเรื่อง  
จำนวนขาอินพุตดิจิทัลและอินพุตแอนะล็อกที่ถูกนำมาใช้ได้มีจำนวนน้อยกว่าทำให้ขาดความ  
ยืดหยุ่นในการใช้งาน

**คำสำคัญ** ระบบเครือข่ายสมองกลฝังตัวขนาดเล็ก ระบบควบคุมเครือข่ายฝังตัว ENC28J60  
ไมโครคอนโทรลเลอร์ ET-dsPIC33WEB V1 ระบบส่งวิทยุเอฟเอ็ม

**Thesis title:** Testing and Analyzing the Performance of Small Embedded Network for Developing FM Transmitting System Performance

**Researcher:** Mr. Subin Bonyamane; **ID:** 2549600274; **Degree:** Master of Science (Information and Communication Technology);

**Thesis advisors:** (1) Dr. Khajitpan Kritpolviman; (2) Dr. Amnach Khawne;

**Academic year:** 2014

### Abstract

The objectives of this research were 1) to implement the small embedded Ethernet network systems for remote controlling FM radio transmitting systems via web page and 2) to test and analyze performances of remotely-controlled high power FM radio transmitting systems.

Research methodology included 1) designing and implementing the small embedded Ethernet network systems with cooperating between dsPIC33 microcontroller board and ENC28J60 embedded Ethernet controller chip 2) testing the web-based remote controlling module on FM radio transmitting systems and 3) analyzing the performances of small embedded Ethernet network systems regarding response time, throughput, availability and frequency errors of high power FM radio transmitting systems when interfacing with the small embedded Ethernet network systems.

Performances of small embedded Ethernet network systems implemented by dsPIC33 and CIE-M10 microcontroller boards were compared in this research. It was found that both microcontroller boards could remotely control FM radio transmitting systems effectively. Although, response time and throughput performances of CIE-M10 microcontroller board were slightly higher than dsPIC33 microcontroller board, the availability and frequency error performances of both boards were not much different. However, when comparing with the ET-dsPIC33WEB V1 microcontroller board, there were less of digital and analog inputs available for CIE-M10 microcontroller board as its constraint for further implementation.

**Keywords:** Small embedded Ethernet network systems, ENC28J60 embedded Ethernet controller chip, ET-dsPIC33WEB V1 microcontroller board, FM radio transmitting Systems

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์จากผู้ทรงคุณวุฒิหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาจารย์ ดร. ขจิตพรธม กฤตพลวิมาน อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ซึ่งท่านให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ในการวิจัยด้วยดีมาตลอด รวมทั้งตรวจแก้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้อย่างละเอียด ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณในความกรุณาจากอาจารย์เป็นอย่างสูง และขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร. อำนวย ขาวเน อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ที่ได้เสียสละเวลาในการให้คำปรึกษา ให้ความรู้ ตลอดจนถึงแนวทางการปฏิบัติ และข้อเสนอแนะต่างๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณาจารย์และผู้ทรงคุณวุฒิ ประจำหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต แผนกวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ที่คอยสั่งสอน อบรม มอบความรู้ และให้คำปรึกษาดำเนินการตลอดมา รวมถึงเพื่อนนักศึกษาที่คอยให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ เป็นอย่างดีจนกระทั่งงานวิจัยฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ด้วยดี และสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และทุกคนในครอบครัว ที่คอยสนับสนุนในด้านการเรียน และให้กำลังใจกับผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สุบิน บุญยมนี

กุมภาพันธ์ 2558

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญตาราง .....	ฅ
สารบัญภาพ .....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
วัตถุประสงค์การวิจัย .....	4
ขอบเขตการวิจัย .....	4
ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย .....	5
ประโยชน์ที่ได้จากการศึกษา .....	5
ลำดับการจัดเรียงเนื้อหาในวิทยานิพนธ์ .....	6
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง .....	7
ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC .....	7
ระบบควบคุมเครือข่ายฝังตัว .....	11
หลักการทํางานระบบเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม .....	15
บอร์ด CIE-M10 .....	2-
EEPROM .....	24
ระบบเครือข่ายแลน (Local Area Network) .....	24
มาตรฐาน IEEE 802.3 .....	25
การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายสมองกลฝังตัวขนาดเล็ก และความผิดพลาดทางความถี่ .....	26
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	28

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม โดยใช้เครือข่าย .....	33
หลักการทํางานของระบบเครือข่ายสมองกลฝังตัวขนาดเล็ก สำหรับควบคุม การออกอากาศระบบเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม .....	34
การทดสอบประสิทธิภาพ .....	51
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล .....	60
ตอนที่ 1 ผลการสร้างระบบเครือข่ายสมองกลฝังตัวขนาดเล็กสำหรับควบคุม ระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็ม .....	60
ตอนที่ 2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพ .....	68
บทที่ 5 สรุปการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ .....	96
สรุปการวิจัย .....	96
อภิปรายผล .....	102
ข้อเสนอแนะ .....	106
บรรณานุกรม .....	107
ประวัติผู้วิจัย .....	111





สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของ dsPIC33 .....	9
ตารางที่ 3.1 จุดเชื่อมต่ออินพุตสำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม .....	36
ตารางที่ 3.2 จุดเชื่อมต่อเอาต์พุตแสดงสถานะการทำงานของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม .....	37
ตารางที่ 3.3 จุดต่อเอาต์พุตแอนะล็อกเพื่อนำไปใช้งาน .....	38
ตารางที่ 3.4 การต่อขามโครคอนโทรลเลอร์เพื่อส่งคำสั่งเอาต์พุตกับจุดเชื่อมต่อเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม .....	34
ตารางที่ 3.5 การต่อขามโครคอนโทรลเลอร์เพื่อแสดงสถานะอินพุตกับจุดเชื่อมต่อเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม .....	41
ตารางที่ 3.6 การต่อขามโครคอนโทรลเลอร์เพื่อแสดงสถานะอินพุตแอนะล็อกกับจุดเชื่อมต่อเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม .....	42
ตารางที่ 3.7 เปรียบเทียบช่วงเวลาที่ระบบสามารถให้บริการได้ในระดับต่างๆ และช่วงเวลาที่ระบบให้บริการไม่ได้ ที่ยอมรับได้ในแต่ละช่วงเวลา .....	58
ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบพอร์ตการทำงานของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 และบอร์ด CIE-M10 .....	68
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าอัตราการไหลผ่านของข้อมูลเท่ากับ 3.7 ตัวอย่างต่อวินาที (1 ตัวอย่าง เท่ากับ 5,915 Bytes) ของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 .....	75
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าอัตราการไหลผ่านของข้อมูลเท่ากับ 5.7 ตัวอย่างต่อวินาที (1 ตัวอย่าง เท่ากับ 5,915 Bytes) ของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 .....	77
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าอัตราการไหลผ่านของข้อมูลเท่ากับ 5.7 ตัวอย่างต่อวินาที (1 ตัวอย่าง เท่ากับ 5,915 Bytes) ของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 .....	78
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าอัตราการไหลผ่านของข้อมูลเท่ากับ 6.5 ตัวอย่างต่อวินาที (1 ตัวอย่าง เท่ากับ 3,592 Bytes) ของบอร์ด CIE- M10 .....	80
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าอัตราการไหลผ่านของข้อมูลเท่ากับ 14.2 ตัวอย่างต่อวินาที (1 ตัวอย่าง เท่ากับ 3,592 Bytes) ของบอร์ด CIE-M10 .....	81
ตารางที่ 4.7 แสดงค่าอัตราการไหลผ่านของข้อมูลเท่ากับ 16.6 ตัวอย่างต่อวินาที (1 ตัวอย่าง เท่ากับ 3,592 Bytes) ของบอร์ด CIE-M10 .....	82

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.8	เปรียบเทียบผลการวัดอัตราการไหลผ่านของข้อมูลจากกราฟ และตารางการทดสอบ..... 83
ตารางที่ 4.9	เปรียบเทียบความพร้อมใช้งาน ในระดับต่างๆ และช่วงเวลาที่ระบบไม่สามารถ ให้บริการได้ ของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 และ บอร์ด CIE-M10 การใช้งาน ของโพรโทคอล TCP/IP.....86
ตารางที่ 4.10	เปรียบเทียบความพร้อมใช้งานในระดับต่างๆ และช่วงเวลาที่ระบบไม่สามารถ ให้บริการได้ ของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 และบอร์ด CIE-M10 ใช้งานของ โพรโทคอล HTTP สำหรับการแสดงผลบนเว็บเบราว์เซอร์.....87
ตารางที่ 4.11	เปรียบเทียบผลการทดสอบวัดค่าความถี่ผิดพลาด .....95
ตารางที่ 5.1	สรุปผลค่าประสิทธิภาพด้านเวลาตอบสนอง..... 99
ตารางที่ 5.2	สรุปผลค่าอัตราการไหลผ่านของข้อมูล..... 100
ตารางที่ 5.3	เปรียบเทียบความพร้อมใช้งานในระดับต่างๆ และช่วงเวลาที่ระบบ ไม่สามารถให้บริการได้ ของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 และบอร์ด CIE-M10 การใช้งานของโพรโทคอล TCP/IP..... 100
ตารางที่ 5.4	เปรียบเทียบความพร้อมใช้งานในระดับต่างๆ และช่วงเวลาที่ระบบไม่สามารถให้ บริการได้ของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 และบอร์ด CIE-M10 ใช้งานของ โพรโทคอล HTTP สำหรับการแสดงผลบนเว็บเบราว์เซอร์..... 101
ตารางที่ 5.5	เปรียบเทียบผลการทดสอบวัดค่าความถี่ผิดพลาด..... 101

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1	ตัวอย่างการเชื่อมต่อระหว่าง MCU (Multipoint Control Unit) กับ โมดูล ENC28J60 ผ่านบัส SPI.....	12
ภาพที่ 2.2	บล็อกไดอะแกรมการเชื่อมต่อ ENC28J60 กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ .....	12
ภาพที่ 2.3	แสดงขาสัญญาณในการติดต่อสื่อสารแบบ SPI .....	13
ภาพที่ 2.4	บล็อกไดอะแกรมหลักการทำงานของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม.....	15
ภาพที่ 2.5	ระบบควบคุมหน้าเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม.....	17
ภาพที่ 2.6	จอแสดงผลและปุ่มควบคุมการทำงานของเครื่องส่งวิทยุ.....	18
ภาพที่ 2.7	แสดงรายละเอียดตำแหน่งของขา TB1 ที่ผู้ใช้งานสามารถนำไปใช้งานได้.....	20
ภาพที่ 2.8	การควบคุมระยะไกล / ส่วนขยายและการเชื่อมต่อสถานะที่ใช้งานโดยทั่วไป.....	21
ภาพที่ 2.9	แสดงการเชื่อมต่อเพื่อดูค่าการวัดการทำงาน.....	23
ภาพที่ 2.10	ระบบเครือข่าย.....	24
ภาพที่ 3.1	องค์ประกอบพื้นฐานการควบคุมระบบการออกอากาศวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็ม....	34
ภาพที่ 3.2	ตำแหน่งเชื่อมต่อเพื่อควบคุมและแสดงผลสถานะการทำงานที่นำไปใช้งาน .....	35
ภาพที่ 3.3	ตำแหน่งเชื่อมต่อแสดงผลการตรวจวัดค่าการทำงานต่างๆ.....	36
ภาพที่ 3.4	ตำแหน่งการเชื่อมต่อสัญญาณควบคุมการปิดเปิดระบบเครื่องส่ง วิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็ม.....	39
ภาพที่ 3.5	ตำแหน่งเชื่อมต่อแสดงผลสถานะการทำงานของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็ม....	40
ภาพที่ 3.6	ตำแหน่งเชื่อมต่อสัญญาณเอาต์พุตแอนะล็อกกับบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1.....	42
ภาพที่ 3.7	การเปลี่ยนแปลงแก้ไขค่า Configuration ต่างๆ.....	43
ภาพที่ 3.8	แสดงการเชื่อมต่อ ET-dsPIC33WEB V1 เข้ากับการ์ดแลนของคอมพิวเตอร์ .....	44
ภาพที่ 3.9	การตั้งค่า IP ของเครื่องคอมพิวเตอร์ให้เป็น 192.168.149.80.....	45
ภาพที่ 3.10	แสดงผลจากการ Ping มีการเชื่อมต่อสมบูรณ์.....	45
ภาพที่ 3.11	ระบบของการควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่ง วิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็ม ใช้บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 .....	46
ภาพที่ 3.12	ระบบของการควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่ง วิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็ม ใช้บอร์ด CIE-M10 .....	47
ภาพที่ 3.13	พัฒนาโปรแกรมเพื่อทำการทดสอบการทำงานบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1.....	48

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 3.14 พัฒนาโปรแกรมเพื่อทำการทดสอบการทำงานบอร์ด CIE-M10.....	48
ภาพที่ 3.15 การเชื่อมต่อสายเอาต์พุตและอินพุต.....	49
ภาพที่ 3.16 จุดต่อระบบควบคุมการออกอากาศของระบบเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็ม... 50	
ภาพที่ 3.17 หน้าเว็บเพจสำหรับควบคุมการทำงานและแสดงสถานะการทำงาน การออกอากาศของระบบส่งวิทยุเสียงเอฟเอ็ม.....	51
ภาพที่ 3.18 แสดงระบบการเชื่อมต่อเพื่อให้ได้รับผลจากการทดสอบประสิทธิภาพ.....	52
ภาพที่ 3.19 ตัวอย่างการใช้โปรแกรม JMeter สำหรับวัดค่าเวลาตอบสนอง.....	53
ภาพที่ 3.20 ตัวอย่างการใช้โปรแกรม JMeter สำหรับวัดค่าอัตราการไหลผ่านของข้อมูล.....	54
ภาพที่ 3.21 ตัวอย่างการใช้โปรแกรม Alchemy Network Monitor PRO.....	57
ภาพที่ 3.22 แสดงผลการวัดค่าความพร้อมใช้งานระบบ .....	57
ภาพที่ 3.23 แสดงผลของเครื่องสเปกตรัมสำหรับวัดค่าผิดพลาดทางความถี่เป็นรูปภาพ.....	59
ภาพที่ 3.24 แสดงผลของเครื่องนับความถี่สำหรับวัดค่าผิดพลาดทางความถี่เป็นตัวเลข.....	59
ภาพที่ 4.1 ผลการควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม ในสถานะ ON HIGH ของบอร์ด dsPIC33WEB V1.....	61
ภาพที่ 4.2 ผลการควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม แสดงค่ากำลังส่ง FWD PWR ของบอร์ด dsPIC33WEB V1.....	62
ภาพที่ 4.3 ผลการควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม ในสถานะ SUMARY FAULT ของบอร์ด dsPIC33WEB V1.....	63
ภาพที่ 4.4 ผลการควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม ในสถานะ ON HIGH ของบอร์ด CIE-M10.....	64
ภาพที่ 4.5 ผลการควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม แสดงค่ากำลังส่ง FWD PWR ของบอร์ด CIE-M10.....	65
ภาพที่ 4.6 ผลการควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม ในสถานะ SUMARY FAULT ของบอร์ด CIE-M10.....	66
ภาพที่ 4.7 การเปรียบเทียบผลการทดสอบประสิทธิภาพเวลาตอบสนอง จำนวนผู้ใช้งาน 1 คน เมื่อส่ง request ของผู้ใช้งานจำนวน 500 ครั้ง .....	69

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.8 การเปรียบเทียบผลการทดสอบประสิทธิภาพเวลาตอบสนอง จำนวนผู้ใช้งาน 25 คน ส่ง request ของผู้ใช้งาน คนละจำนวน 20 ครั้ง.....	71
ภาพที่ 4.9 การเปรียบเทียบผลการทดสอบประสิทธิภาพเวลาตอบสนอง จำนวนผู้ใช้งาน 50 คน ส่ง request ของผู้ใช้งานจำนวน 10 ครั้ง.....	72
ภาพที่ 4.10 การทดสอบอัตราการไหลผ่านของข้อมูล จำนวน 1 คน ใช้บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ได้ค่าอัตราการไหลผ่านของข้อมูลเท่ากับ 220.762 ตัวอย่างก่อนที่ .....	75
ภาพที่ 4.11 การทดสอบอัตราการไหลผ่านของข้อมูล จำนวน 25 คน ใช้บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ได้ค่าอัตราการไหลผ่านของข้อมูล เท่ากับ 341.935 ตัวอย่างก่อนที่.....	76
ภาพที่ 4.12 การทดสอบอัตราการไหลผ่านของข้อมูล จำนวน 50 คน ใช้บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ได้ค่าอัตราการไหลผ่านของข้อมูล เท่ากับ 343.58 ตัวอย่างก่อนที่.....	78
ภาพที่ 4.13 การทดสอบอัตราการไหลผ่านของข้อมูล จำนวน 1 คน ใช้บอร์ด CIE-M10 ได้ค่าอัตราการไหลผ่านของข้อมูลเท่ากับ 388.616 ตัวอย่างก่อนที่.....	79
ภาพที่ 4.14 การทดสอบอัตราการไหลผ่านของข้อมูล จำนวน 25 คน ใช้บอร์ด CIE-M10 ได้ค่าอัตราการไหลผ่านของข้อมูลเท่ากับ 853.582 ตัวอย่างก่อนที่.....	80
ภาพที่ 4.15 การทดสอบอัตราการไหลผ่านของข้อมูล จำนวน 50 คน ใช้บอร์ด CIE-M10 ได้ค่าอัตราการไหลผ่านของข้อมูลเท่ากับ 994.56 ตัวอย่างก่อนที่.....	82
ภาพที่ 4.16 ผลการทดสอบค่าความพร้อมใช้งานภายใน 1 สัปดาห์ของ บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1.....	84
ภาพที่ 4.17 ผลการทดสอบค่าความพร้อมใช้งานภายใน 1 เดือนของ บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1.....	85
ภาพที่ 4.18 ผลการทดสอบค่าความพร้อมใช้งานภายใน 1 สัปดาห์ของบอร์ด CIE-M10.....	85
ภาพที่ 4.19 ผลการทดสอบค่าความพร้อมใช้งาน ภายใน 1 เดือนของบอร์ด CIE-M10.....	86
ภาพที่ 4.20 การใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมวัดสัญญาณความถี่แบนด์แคบ 99.25 MHz กรณีระบบไม่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ควบคุมภายนอก.....	89

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.21 การใช้เครื่องนับความถี่วัดสัญญาณความถี่แบนด์แคบ 99.25 MHz กรณีระบบ ไม่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ควบคุมภายนอก.....	90
ภาพที่ 4.22 การใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมวัดสัญญาณความถี่แบนด์แคบ 99.25 MHz เชื่อมต่อกับบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1.....	91
ภาพที่ 4.23 การใช้เครื่องนับความถี่วัดสัญญาณความถี่แบนด์แคบ 99.25 MHz เชื่อมต่อกับบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1.....	92
ภาพที่ 4.24 การใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมวัดสัญญาณความถี่แบนด์แคบ 99.25 MHz เชื่อมต่อกับบอร์ด CIE-M10.....	93
ภาพที่ 4.25 การใช้เครื่องนับความถี่วัดสัญญาณความถี่แบนด์แคบ 99.25 MHz เชื่อมต่อกับบอร์ด CIE-M10.....	94



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันระบบอินเทอร์เน็ตเข้ามามีบทบาทในชีวิตของผู้คน และมีแนวโน้มที่จะมีการใช้งานอินเทอร์เน็ตเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะในงานด้านเครือข่ายเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูล หรือจะใช้ติดต่อกันผ่านอินเทอร์เน็ตเพื่อควบคุมการใช้งานอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งในปัจจุบันไม่จำเป็นที่จะต้องใช้คอมพิวเตอร์เพื่อทำการเชื่อมต่อเพียงอย่างเดียว จึงได้มีการนำไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ที่ทำงานร่วมกับตัวควบคุมอุปกรณ์อีเทอร์เน็ต (Ethernet Controller) มาเชื่อมต่อเข้ากับระบบอินเทอร์เน็ต โดยมีความสามารถที่จะใช้ในการแสดงผลการทำงานต่างๆ ผ่านทางหน้าเว็บได้ ยกตัวอย่างเช่น ควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน เป็นต้น และยังสามารถที่จะควบคุมการทำงานผ่านทางหน้าเว็บได้ เมื่อนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ในการควบคุมการทำงานผ่านระบบอินเทอร์เน็ตจะทำให้สามารถที่จะดูผลการทำงานหรือควบคุมการทำงานทางไกล ซึ่งสามารถใช้งานผ่านเว็บเบราว์เซอร์เข้าไปทำการควบคุม โดยที่ไม่จำเป็นต้องไปควบคุมถึงตัวเครื่องจักร ทำให้ควบคุมการทำงานได้ในระยะไกลและยังช่วยลดเวลาในการทำงานเป็นอย่างมาก

เทคโนโลยีทางด้านระบบคอมพิวเตอร์ปัจจุบันที่เรียกว่า ระบบสมองกลฝังตัว (Embedded System) เข้าามีบทบาทต่อชีวิตประจำวันมากขึ้น อีกทั้งเทคโนโลยีด้านต่างๆ ที่เกี่ยวข้องทำให้สามารถสร้างระบบสมองกลฝังตัว และการใช้งานติดต่อสื่อสารรับส่งข้อมูลและเก็บข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายสมองกลฝังตัว ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาให้ระบบสมองกลฝังตัวมีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยมีการนำระบบสมองกลฝังตัวมาเชื่อมโยงเข้าด้วยกันเป็นเครือข่าย ซึ่งเรียกว่าระบบเครือข่ายสมองกลฝังตัว (Network Embedded System) เพื่อสามารถติดต่อสื่อสารรับส่งข้อมูลระหว่างระบบเครือข่ายสมองกลฝังตัวกับคอมพิวเตอร์ได้

เนื่องจากในงานวิจัยอื่นๆ ที่ผ่านมามีเกี่ยวข้องกับการนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ทางการออกอากาศวิทยุกระจายเสียง หรือทางด้านควบคุมการออกอากาศเครื่องส่งโทรทัศน์ ที่มีกำลังออกอากาศสูงโดยควบคุมผ่านระบบเครือข่าย เช่น 1) งานวิจัยของ Chunlai Zhou, Guangrong Li, Ming Dong และ Lanxiang Wang (2010) ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ARM ควบคุมและตรวจสอบสถานะการทำงานของเครื่องส่งโทรทัศน์และ

เครื่องวิทยุเอฟเอ็ม 2) งานวิจัยของ Chunlai Zhou และ Chengan Zhao (2007) ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ SX52BD ตระกูล Ubicom ทำงานร่วมกับ RTL8019AS ตรวจสอบสถานะการทำงานของเครื่องส่งโทรทัศน์ 3) Xu Shu-ping, Liang Chen-yan, Su Xiao-hui และ Bai Xiao-jun (2010) ใช้อุปกรณ์ UDS1100 คุมควบและตรวจเช็คสถานะการทำงานของเครื่องส่งโทรทัศน์ แต่ยังไม่เคยมีการทดสอบประสิทธิภาพในด้านเวลาตอบสนอง (Response Time) การวัดอัตราการไหลผ่านของข้อมูล (Throughput) การวัดประสิทธิภาพด้านความพร้อมใช้งาน (Availability) และการวัดค่าความผิดพลาดทางความถี่ (Frequency Error) ของการออกอากาศวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็ม เมื่อเชื่อมต่ออุปกรณ์ฮาร์ดแวร์สำหรับควบคุม ที่ทำหน้าที่เป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์ ในการควบคุมและตรวจเช็คสถานะการทำงานของอุปกรณ์ ดังกล่าว

ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นในการวัดประสิทธิภาพของการติดต่อสื่อสารระบบแบบเครือข่ายท้องถิ่น (Local Area Network:LAN) โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 16 บิตของบริษัทไมโครชิป ที่หาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาด ราคาถูก และสามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย มีคุณสมบัติที่สามารถทำงานเป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์แบบ TCP/IP โดยข้อมูลเว็บไซต์สามารถเก็บไว้ในหน่วยความจำภายนอก (EEPROM) การติดต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับระบบอินเทอร์เน็ทสามารถทำได้ โดยการใช้ไอซี ENC28J60 ซึ่งเป็นชิปสมองกลฝังตัวขนาดเล็กทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อกับระบบ LAN ซึ่งเป็นชิปสมองกลฝังตัวขนาดเล็กกะทัดรัด กินพลังงานต่ำ ใช้งานง่ายเมื่อเทียบกับตระกูล ARM เช่น บอร์ด ET-STM32F ARM KIT และบอร์ด Dev.B-LPC175x ซึ่งมีความยุ่งยากในการพัฒนาโปรแกรม เพราะบอร์ดนี้จะเน้นในการพัฒนาทางด้าน TFT LCD สำหรับแสดงผลทางภาพกราฟฟิกผ่านจอแอลซีดี ซึ่งมีราคาแพง และเมื่อเทียบกับบอร์ดของตระกูล Rabbit รุ่น Ethernet Microcontroller RCM4300, RCM4200, RCM3900, RCM3309 นั้น บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ของตระกูลไมโครชิป จะมีจุดเชื่อมต่อสัญญาณอินพุตเอาต์พุตกับอุปกรณ์ภายนอกได้มากและมีความคล่องตัว (flexible) ใ้ใช้งานมากกว่า และเมื่อเปรียบเทียบกับตระกูลอื่นๆ ตระกูลไมโครชิปสามารถเลือกรุ่นใช้งานให้มีความเหมาะสมกับงานที่ต้องการพัฒนาโปรแกรมได้หลายรุ่น เช่นขนาดหน่วยความจำ จำนวนอินพุต เอาต์พุต และ โมดูลภายในที่ต้องการ

บริษัท อีทีที จำกัด (2550) ได้ทำบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ที่มีลักษณะการทำงานร่วมกันระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ แบบ 16 บิต รุ่น dsPIC33FJ128GP708 กับ ไอซี ENC28J60 ดังนี้

dsPIC33FJ128GP708 เป็นไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ 16 บิต ทำหน้าที่ประมวลผลสัญญาณดิจิทัล เพื่อควบคุมการทำงานโมดูล ENC28J60 ให้เป็นตัวกลางการเชื่อมต่อระบบการสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับโครงข่ายอีเทอร์เน็ทที่มีขา (Pin) ใช้งานได้โดยอิสระมาก



ถึง 69 อินพุต/เอาต์พุต เพื่อเชื่อมต่อสำหรับควบคุมการทำงานอุปกรณ์ภายนอก มีขาที่เชื่อมต่อกับ ไอซี ENC28J60 เพื่อติดต่อสื่อสารกับโครงข่ายอินเทอร์เน็ต และขาอีกบางส่วนที่เชื่อมต่อกับ อุปกรณ์ อินพุต/เอาต์พุต เป็นการเฉพาะ เช่น SPI Memory Module ใช้สำหรับเก็บข้อมูลเว็บเพจที่จะ ไปแสดงผลในฝั่งไคลเอนต์

ส่วน ENC28J60 เป็นไอซีสมองกลฝังตัวขนาดเล็กสำหรับควบคุมเครือข่ายอีเทอร์เน็ต (Ethernet Controller) จะมีหน้าที่เป็นตัวกลางเชื่อมต่อระบบการสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC33FJ128GP708 กับโครงข่ายอินเทอร์เน็ตซึ่งรองรับการทำงานของโพรโทคอล TCP/IP ที่ความเร็วสูงสุด 10 Mb/s และมาตรฐานการสื่อสาร IEEE 802.3 โดยเชื่อมต่อสัญญาณควบคุมผ่าน SPI Bus กับไมโครคอนโทรลเลอร์

ในด้านเครื่องมือในการพัฒนาทางฮาร์ดแวร์มีการพัฒนา ICD2, ICD3 หรือ In-circuit Debugger/Programmer เพื่อให้การพัฒนาโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC สามารถกระทำได้อย่างสะดวก และง่ายขึ้น ตระกูลไมโครชิปมีฟังก์ชันไลบรารีโมดูลต่างๆ ในการใช้งาน แตกต่างกันไป ส่วนในด้านการพัฒนาซอฟต์แวร์ตระกูลไมโครชิปสามารถพัฒนาด้วยโปรแกรม ภาษาแอสเซมบลี และภาษา C ผ่านทางชุดซอฟต์แวร์ที่ชื่อ MPLAB IDE ร่วมกับ MPLAB C30 C Compiler เช่น ฟังก์ชันไลบรารีโมดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล (Analog To Digital Converter:ADC) ภายในไฟล์ ADC.h ฟังก์ชันไลบรารีโมดูลการสื่อสารข้อมูลอนุกรม (RS232) ภายในไฟล์ Uart.h ฟังก์ชันไลบรารีโมดูลการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal Processing:DSP) ภายในไฟล์ DSP.h และฟังก์ชันไลบรารีโมดูลการเชื่อมต่อกับระบบเครือข่าย เน็ตเวิร์คภายในไฟล์ TCPIP.h เป็นต้น ทำให้สะดวกในการพัฒนาโปรแกรม [ประจัน พลังสันติกุล (2551)]

ในงานวิจัยนี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลไมโครชิปรุ่น ET-dsPIC33WEB V1 ซึ่งเป็นบอร์ดทดลองของบริษัท ETT ที่มีจำหน่ายในประเทศไทย โดยทำงานร่วมกันระหว่างไอซี dsPIC33FJ128GP708 กับไอซี ENC28J60 กลายเป็นระบบเครือข่ายสมองกลฝังตัวขนาดเล็ก โดยเน้นการทดสอบประสิทธิภาพและศึกษาพฤติกรรมการทำงานของระบบผ่านเว็บเพจในการควบคุมอุปกรณ์ ฮาร์ดแวร์ทางด้านการออกอากาศวิทยุกระจายเสียง (Radio Broadcast) ที่มีกำลังออกอากาศสูง โดยเฉพาะเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม (FM Radio Transmitting) กำลังส่งออกอากาศ 2 กิโลวัตต์ (kW) ที่ใช้ในด้านธุรกิจการออกอากาศกระจายเสียงของหน่วยงาน บริษัททงศ์การสื่อสาร มวลชนแห่งประเทศไทยจำกัด (มหาชน) เช่น ควบคุมการ เปิด-ปิด การแสดงผลพารามิเตอร์ต่างๆ และตรวจสอบสถานะการทำงานของระบบส่งวิทยุเอฟเอ็ม ในการติดต่อสื่อสารรับส่งข้อมูลของระบบสมองกลฝังตัวขนาดเล็กและใช้ซอฟต์แวร์บนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล เพื่อนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์

ประสิทธิภาพ เช่น การวัดค่าเวลาตอบสนอง (Response Time) การวัดอัตราการไหลผ่านของข้อมูล (Throughput) ความสามารถในการให้บริการหรือ ความพร้อมใช้ของระบบ (Availability) และการวัดค่าความผิดพลาดทางความถี่ (Frequency Error) ของการออกอากาศวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็ม เมื่อเชื่อมต่ออุปกรณ์ฮาร์ดแวร์สำหรับควบคุมการทำงานของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ที่ทำหน้าที่เป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์ สำหรับควบคุมระบบส่งวิทยุเอฟเอ็ม

ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะทำให้ทราบถึงศักยภาพการทำงานของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ของตระกูลไมโครชิปที่ทำงานทางด้านการควบคุมอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ผ่านเครือข่าย ในการออกอากาศวิทยุกระจายเสียงที่มีกำลังออกอากาศสูง ว่ามีประสิทธิภาพและความเสถียรภาพมากน้อยเพียงใด

## 2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อสร้างระบบสมองกลฝังตัวขนาดเล็กที่ทำงานร่วมกันเป็นเครือข่ายอีเทอร์เน็ต สำหรับควบคุมส่งงานระบบส่งวิทยุเอฟเอ็มผ่านเว็บเพจ

2.2 เพื่อทดสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้านการควบคุมระยะไกลระบบส่งวิทยุเอฟเอ็มที่มีกำลังส่งออกอากาศสูง

## 3. ขอบเขตของการวิจัย

3.1 ออกแบบอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ระบบเครือข่ายสมองกลฝังตัวขนาดเล็ก เพื่อควบคุมระบบส่งวิทยุเอฟเอ็มผ่านทางเว็บเพจ โดยใช้บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ที่ทำงานร่วมกันระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ แบบ 16 บิต รุ่น dsPIC33FJ128GP708 กับ ไอซี ENC28J60

3.2 ทดสอบประสิทธิภาพ โดยวัดเวลาตอบสนอง วัดอัตราการไหลผ่านของข้อมูล และการวัดประสิทธิภาพด้านความสามารถในการให้บริการระบบในการเข้าถึงเว็บเพจที่โปรแกรมลงใน EEPROM และสามารถทดสอบความถูกต้องโดยใช้กรณีทดสอบ (Test Cases)

3.3 วัดค่าความผิดพลาดทางความถี่ (Frequency Error) ของการออกอากาศวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็ม เมื่อเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายสมองกลฝังตัวขนาดเล็กที่ใช้ควบคุมระบบส่งวิทยุเอฟเอ็ม

3.4 ทดสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพระหว่างการใช้บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 และบอร์ด CIE-M10

## 4. ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

### 4.1 รูปแบบการวิจัยและพัฒนา

4.1.1 ศึกษาคุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ แบบ 16 BIT เบอร์ dsPIC33FJ128GP708 ที่ทำงานร่วมกับ ENC28J60 เพื่อรองรับมาตรฐาน IEEE 802.3

4.1.2 ออกแบบวงจรและซอฟต์แวร์ เพื่อทดสอบการควบคุมผ่านทางเว็บเพจและใช้บันทึกข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบสมองกลฝังตัว

4.1.3 ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบ โดยใช้กรณีทดสอบเกี่ยวกับเวลาตอบสนอง การวัดอัตราการไหลผ่านของข้อมูล การวัดประสิทธิภาพด้านความพร้อมใช้งานในการส่งแพ็กเก็ตในแต่ละชุดและความสามารถในการรับส่งข้อมูลแบบแพ็กเก็ต และวัดค่าความผิดพลาดทางความถี่ของการออกอากาศวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็ม

### 4.2 เครื่องมือการวิจัย

เครื่องคอมพิวเตอร์ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล dsPIC ของบริษัทไมโครชิป (Microchip) แบบ 16 BIT รุ่น dsPIC33FJ128GP708 โมดูล ENC28J60 บอร์ด CIE-M10 และอุปกรณ์การเชื่อมต่อ

### 4.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC33FJ128GP708 ที่ทำงานร่วมกับโมดูล ENC28J60 เปรียบเทียบกับบอร์ด CIE-M10 ในการควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม โดยวิเคราะห์ด้านเวลาตอบสนอง การวัดอัตราการไหลผ่านของข้อมูล การวัดประสิทธิภาพด้านความพร้อมใช้งาน และวัดค่าความผิดพลาดทางความถี่ของการออกอากาศวิทยุเอฟเอ็ม

## 5. ประโยชน์ที่ได้จากการศึกษา

5.1 ต้นแบบการประยุกต์ใช้ระบบเครือข่ายสมองกลฝังตัวขนาดเล็ก ที่สามารถให้บริการระบบเครือข่ายเพื่อควบคุมระบบส่งวิทยุเอฟเอ็ม

5.2 ได้ทราบถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบสมองกลฝังตัวขนาดเล็ก ที่ทำงานร่วมกันเป็นเครือข่ายแบบอินเทอร์เนต

5.3 ได้ทราบผลของการตรวจสอบคำสั่งและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการสั่งงานในการควบคุมอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ระบบส่งวิทยุเอฟเอ็มผ่านเว็บเพจ

## 6. ลำดับการจัดเรียงเนื้อหาในวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทดังต่อไปนี้ บทที่ 1 เป็นบทนำซึ่งกล่าวถึงความ เป็นมาและความสำคัญของปัญหา รวมถึงวัตถุประสงค์ของการวิจัย บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎี พื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยนี้ บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ ควบคุมการทำงานเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม โดยใช้เครือข่ายสถาปัตยกรรมระบบ บทที่ 4 กล่าวถึงผล การวิเคราะห์ข้อมูล บทที่ 5 กล่าวถึงสรุปการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ



## บทที่ 2

### วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้จะใช้บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ทำการควบคุมระบบส่งวิทยุเอฟเอ็ม เพื่อวัดประสิทธิภาพการทำงาน ซึ่งบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 จะประกอบด้วยอุปกรณ์ภายในที่ทำงานร่วมกันระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ด dsPIC33FJ128GP708 และอุปกรณ์ควบคุมเครือข่ายฝังตัวรุ่น ENC28J60 โดยที่ dsPIC33FJ128GP708 ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานทั้งหมด และ ENC28J60 ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อระบบการสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับโครงข่ายอีเทอร์เน็ตกลายเป็นระบบเครือข่ายสมองกลฝังตัวขนาดเล็ก เพื่อควบคุมระบบส่งวิทยุเอฟเอ็ม

#### 1. ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC

PIC คือไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ย่อมาจากคำว่า Peripheral Interface Controller ของบริษัทไมโครชิปซึ่งลักษณะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้จะรวมเอาคุณสมบัติสำคัญที่ใช้งานในแต่ละด้านการควบคุมทุกอย่างเอาไว้ในตัว ไม่ว่าจะเป็น PROGRAM MEMORY, RAM, EEPROM, SERIAL, I2C, PWM, A/D ฯลฯ โดยไม่จำเป็นต้องต่ออุปกรณ์เสริมจากภายนอกในตัวของ PIC จะมีฟังก์ชันที่ใช้ในการประมวลผล รวมทั้งหน่วยความจำ ซึ่งเหมือนกันซีพียูตัวหนึ่ง ในงานวิจัยนี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น dsPIC33F ในการวิจัย

dsPIC33F คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 16 บิต ที่มีระบบประมวลผล CPU (Central Processing Unit) หน่วยความจำ (Memory) และอินพุต/เอาต์พุตพอร์ต (I/O Port) ไว้ในโมดูลเดียวกัน ซึ่งแตกต่างจากไมโครโปรเซสเซอร์ตรงที่ไมโครโปรเซสเซอร์จะต้องต่ออุปกรณ์หน่วยความจำและพอร์ตอินเทอร์เฟซข้างนอก เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC33F มีขนาดเล็ก มีความยืดหยุ่น และมีความสามารถสูง จึงนิยมติดตั้งในอุปกรณ์ทางไฟฟ้าหรือ อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์นั้น เช่น ทีวี เครื่องซักผ้า มือถือ รีโมท กล้อง Electronic Control Unit รถยนต์ เครื่องบินหรือแม้กระทั่งบางส่วนของยานอวกาศ เป็นต้น ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC33F ของตระกูลไมโครชิปจะรวมความสามารถของไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ากับตัวควบคุมการประเมินผลสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal Controller) หรือเรียกว่า DSC ซึ่งมีความพิเศษนอกเหนือจาก

ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูลอื่นๆ ในด้านการควบคุมอุปกรณ์ภายนอกแล้ว ยังสามารถใช้งานด้านการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลที่เรียกว่า DSP (Digital Signal Processing) โดยการเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC33F จะใช้โปรแกรมภาษา C (MPLAB C) ผ่านฟังก์ชันไลบรารี โดยเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC33F ที่ควบคุมคุณสมบัติเกือบทั้งหมดของรุ่น dsPIC33F รวมทั้งมีฟังก์ชันไลบรารีโมดูล สำหรับใช้งาน

ประสิทธิภาพการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC33F สามารถทำงานที่ความเร็วสูงสุด 40 MIPS (Million Instructions Per Second: MIPS) (40 ล้านชุดคำสั่งต่อวินาที) เพราะใช้เทคโนโลยีการสร้างชิป (Silicon Fabrication) ที่ระดับ 0.25 ไมครอน การทำงานจึงทำได้รวดเร็วเพราะมีสัญญาณหน่วงเวลาดำ (Longest Path Delay) และพลังงานไฟฟ้าต่ำ ใช้ไฟเลี้ยงที่ขา VDD เท่ากับ 3.0 ถึง 3.6 โวลต์ อุณหภูมิใช้งานอยู่ที่ -40 ถึง 85 องศาเซลเซียส ใช้สัญญาณนาฬิกาเพียง 2 ลูก สามารถประมวลผลข้อมูลขนาด 16 บิต นอกจากนั้นยังเพิ่มความเร็วในการประมวลผลเพื่อให้สามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณดิจิทัล นั่นคือเพิ่มความสามารถของโมดูลแปลงสัญญาณดิจิทัล (ADC) ให้สามารถสุ่มสัญญาณได้เร็วขึ้น และมีความละเอียดขนาด 10 บิต และ 12 บิต

ตัวอย่างการใช้งาน ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล dsPIC33F

1. ศรพงศ์ คุรงค์เวโรจน์ (2550) ได้นำไปประยุกต์ใช้กับระบบติดตามการให้บริการของเจ้าหน้าที่งานซ่อมบำรุงเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้เทคโนโลยีเครือข่ายคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีอัลตราโซนิก ระบบที่พัฒนาประกอบด้วย 3 ส่วน 1) ชุดส่งสัญญาณอัลตราโซนิก 2) ส่วนควบคุมตัวรับรู้สำหรับสัญญาณคลื่นอัลตราโซนิก 3) ส่วนส่งข้อมูลไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้บอร์ด ET-dsPIC33 V1 ทำหน้าที่ส่งสัญญาณสอบถามข้อมูลกับส่วนควบคุมตัวรับรู้อัลตราโซนิก เพื่อตรวจสอบสถานะการทำงานของตัวรับรู้ในระบบว่าอยู่ในสถานะการพร้อมใช้ ทำหน้าที่เฝ้าสังเกตและรับข้อมูลการซ่อมบำรุงผ่านเครือข่าย TCP/IP

2. ภัทวัญ ภูริโสภิชฐ์ และแคทรียา กัญจนานภานิช (2556) สร้างเครื่องอ่านสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ เพื่อนำผลของสัญญาณที่บันทึกได้มาใช้ในการวินิจฉัยโรคและภาวะผิดปกติของหัวใจเบื้องต้น โดยใช้เซนเซอร์ตรวจจับกับร่างกายผ่านวงจรผสมสัญญาณ ขยาย และตัดสัญญาณรบกวนออก แล้วผ่านวงจรยกระดับสัญญาณให้เป็นสัญญาณที่มีระดับแรงดันแอนะล็อกให้มากกว่า 0 โวลต์ ใช้บอร์ด ET-dsPIC33 V1 ทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้าแอนะล็อกเป็นดิจิทัลและส่งข้อมูลผ่านการสื่อสารแบบอนุกรมเพื่อให้คอมพิวเตอร์แสดงผลสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

### 1.1 ขนาดของหน่วยความจำโปรแกรม

dsPIC33F มีขนาดของหน่วยความจำโปรแกรมสูงสุดอยู่ที่ 256 kB และทำงานเป็นหน่วยความจำแบบ Flash ที่สามารถเขียนและลบได้ด้วยไฟเลี้ยง 3.3 โวลต์ และสามารถโปรแกรม

ประมาณ 1,000 ครั้ง โดยมีการโปรแกรมได้ทั้งแบบ 64 หรือ 1 ชุดคำสั่งต่อไซเคิล จะมีประโยชน์เมื่อเก็บข้อมูลที่จะโปรแกรมไว้ในหน่วยความจำโปรแกรม สำหรับความเร็วในการลบโปรแกรม dsPIC33F จะลบข้อมูลได้ที่ละ 512 เวิร์ดต่อหนึ่งไซเคิล รายละเอียดตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของ dsPIC33F

Feature	dsPIC33F
Endurance	1,000
Program cycle	64 or 1
Erase cycle	512
AV. Tprog per instruction	25 $\mu$ s
Av. Terase per instruction	40 $\mu$ s

## 1.2 หน่วยความจำข้อมูลของ dsPIC33F

เป็นหน่วยความจำข้อมูลขนาด 16 บิต ในส่วน 2 กิโลไบต์แรกจะเป็นตำแหน่งของ SFR (Special Function Register) ส่วน 30 กิโลไบต์ต่อมาจะเป็นส่วนของ GPR (General Purpose RAM) ในส่วนนี้ยังแบ่งย่อยได้อีกสามส่วนคือ หน่วยความจำข้อมูล X (X Data RAM) หน่วยความจำข้อมูล Y (Y Data RAM), การเข้าถึงหน่วยความจำหลักโดยตรง (Direct memory access:DMA) จะมีเฉพาะ dsPIC33F และ PIC24H

จรีเมธ ผ่องจิต (2550) ได้กล่าวไว้ว่า หน่วยความจำข้อมูลของ dsPIC33F มีการเข้าถึงข้อมูลได้อิสระสามารถเขียนหรืออ่านหน่วยความจำได้พร้อมๆ กันทั้ง CPU และอุปกรณ์รอบข้างภายในตัวเอง เช่น PROGRAM MEMROY, RAM, EEPROM, SERIAL, I2C, PWM, A/D แต่ถ้ามมีการเขียนค่าใน DMA RAM ที่ตำแหน่งเดียวกันทั้ง CPU และอุปกรณ์รอบข้างภายในตัวเองพร้อมๆ กัน จะทำให้เกิดการชนกันของข้อมูลมีผลทำให้เกิดการเข้าถึงหน่วยความจำหลักโดยตรง ทำให้ขัดจังหวะทางซอร์ฟแวร์ขึ้น สำหรับหน่วยความจำข้อมูล 32 กิโลไบต์ที่เหลือจะมีไว้สำหรับเก็บข้อมูลภายในหน่วยความจำข้อมูล ซึ่งจะเรียกวิธีการนี้ว่า PSV (Program Space Visibility)

### 1.3 คุณสมบัติของ dsPIC33FJ128GP708 ที่ใช้ในการวิจัย

dsPIC33FJ128GP708 ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล dsPIC ของบริษัท Microchip มีการประมวลผลข้อมูลแบบ 16 บิต ซึ่งคุณสมบัติเด่นของ dsPIC33FJ128GP708 คือมี หน่วยประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal Processing) และ ทรัพยากรต่างๆ ดังต่อไปนี้

1) ความเร็วในการประมวลผล 40 MIPS (16 Bit Data / 24 Bit Instruction Code) สามารถทำงานที่ความเร็วสูงสุด 40 ล้านชุดคำสั่งต่อวินาที มีการใช้เทคโนโลยีการสร้างชิป (Silicon Fabrication) อยู่ในระดับ 0.25 ไมครอน ขนาดของทรานซิสเตอร์เล็กลง การทำงานจึงทำได้รวดเร็ว ใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำ อุณหภูมิความร้อนในการทำงานต่ำ

2) ฮาร์ดแวร์รองรับการคูณข้อมูล 16 X 16 บิต โดยใช้เวลาเพียง 1 ไชเคิลคำสั่ง ส่วนฮาร์ดแวร์รองรับการหารข้อมูล 32 บิต X 16 บิต ใช้โปรแกรม C Compiler ที่ถูกออกแบบให้มีความกระชับ Optimized Instruction Set ทำให้ใช้งานง่าย ด้านการคอมไพล์

3) รองรับการ Interrupt มากถึง 118 Vector Interrupt จาก 63 แหล่ง 7 Priority Level Program

4) รองรับการ DMA กับ Peripheral Hardware ได้ 8 ช่อง พร้อม DMA Buffer 2 kB

### 1.4 ระบบ (System)

มีแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาสามารถเลือกได้ทั้งจากภายในและภายนอก มีวงจร Power-Up Timer และ Oscillator Start-Up ระบบตรวจสอบสัญญาณนาฬิกา (Fail-Safe Clock Monitor) ระบบ Watchdog Timer ที่ใช้แหล่งสัญญาณนาฬิกาแบบ RC oscillator ที่แยกจากส่วนอื่นๆ ทำงานที่แรงดันระดับ 3.0 ถึง 3.6 โวลต์ ขาอินพุตและเอาต์พุต กินกระแส 4 mA แบบ Sink สามารถเชื่อมต่อกับสัญญาณ 5V TTL รองรับโหมดการทำงานแบบ Run, Idle และ Sleep modes สามารถปรับเปลี่ยนโหมดการทำงานของสัญญาณนาฬิกาได้หลากหลายเพื่อประสิทธิภาพและให้สอดคล้องกับการดูแลจัดการในเรื่องของพลังงาน

### 1.5 คุณสมบัติทางด้านสัญญาณแอนะล็อก (Analog Features)

โมดูลแปลงสัญญาณ Analog to Digital ความละเอียด 10 บิต จำนวน 24 ช่อง และสามารถโปรแกรมเป็น 12 บิต ได้ 2 ช่อง ความเร็วในการ Sampling สัญญาณสูงสุด 1.1 MSps (Mega Sample Per Second)

### 1.6 คุณสมบัติโดยทั่วไปของ MCU เบอร์ dsPIC33FJ128GP708

มีหน่วยความจำโปรแกรมแบบ Flash Memory ขนาด 128 kB หน่วยความจำข้อมูล SRAM ขนาด 16 kB อินพุต/เอาต์พุตพอร์ตใช้งานจำนวน 69 บิต โมดูลการสื่อสาร UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) จำนวน 2 ช่อง โมดูลการสื่อสารแบบ SPI (Serial



Peripheral Interface Bus) จำนวน 2 ช่อง รองรับทั้ง Master และ Slave Modes โมดูลการสื่อสารแบบ I2C (Inter Integrate Circuit ) จำนวน 2 ช่อง รองรับทั้ง Master และ Slave Modes โมดูลการสื่อสารแบบ CAN (Controller Area Network) จำนวน 2 ช่อง โมดูล Timer ขนาด 16 บิต จำนวน 9 ช่อง และสามารถจับคู่ใช้งานเป็น Timer ขนาด 32 Bit ได้พร้อมกันจำนวน 4 ช่อง โมดูล Capture , Compare / PWM จำนวน 8 ชุด ระบบฮาร์ดแวร์ RTCC, Real-Time Clock Calendar with Alarms ภายใน มีโมดูล ADC ขนาด 10 บิต จำนวน 24 ช่อง และสามารถโปรแกรมค่าเป็น 12 บิต ได้ 2 ช่อง ระบบการสื่อสารแบบขนาน DCI (Data Converter Interface) จำนวน 1 ช่อง

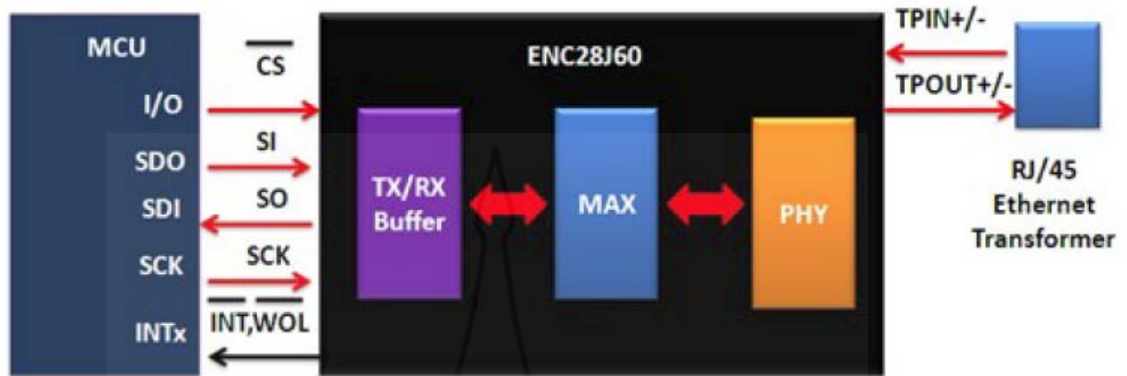
## 2. ระบบควบคุมเครือข่ายฝังตัว

ระบบควบคุมเครือข่ายฝังตัวคือ ระบบควบคุมที่สามารถเขียน โปรแกรมและป้อนคำสั่งลงในตัวไอซีเพื่อใช้ในการเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายและรับส่งข้อมูลในการควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ผ่านเครือข่าย ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ออกแบบมาเพื่อเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อระบบการสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับโครงข่ายอินเทอร์เน็ต จะรองรับการทำงานแบบโพรโทคอล TCP/IP และเป็นมาตรฐานการสื่อสาร IEEE 802.3

ENC28J60 เป็นชิประบบควบคุมเครือข่ายฝังตัว ที่พัฒนาโดยบริษัท Microchip ออกแบบมาเพื่อเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อระบบการสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ กับโครงข่ายอินเทอร์เน็ต รองรับการทำงานของโพรโทคอล TCP/IP เชื่อมต่อสัญญาณควบคุมผ่าน SPI Bus ความเร็วสูงสุด 10 Mbps โดยมี ชุดคำสั่งในการควบคุมเพื่อใช้ในการเชื่อมต่อเข้ากับระบบเครือข่าย ซึ่งตัวอุปกรณ์นี้สามารถใช้งานในการรับส่งข้อมูลเพื่อทำการควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ผ่านระบบเครือข่ายได้ เช่น Printer Server จะมีระบบควบคุมเครือข่ายฝังตัวอยู่ใน นอกเหนือจากนี้ ระบบควบคุมเครือข่ายฝังตัวยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัววัดหรือเป็นตัวควบคุมอุปกรณ์ได้ โดยไม่ต้องใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เมื่อต่อร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยตัวระบบควบคุมเครือข่ายฝังตัวจะเป็นตัวจัดการรับส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งจะรองรับไมโครชิป TCP/IP Stack โดยคุณสมบัติของ ENC28J60 มีดังนี้

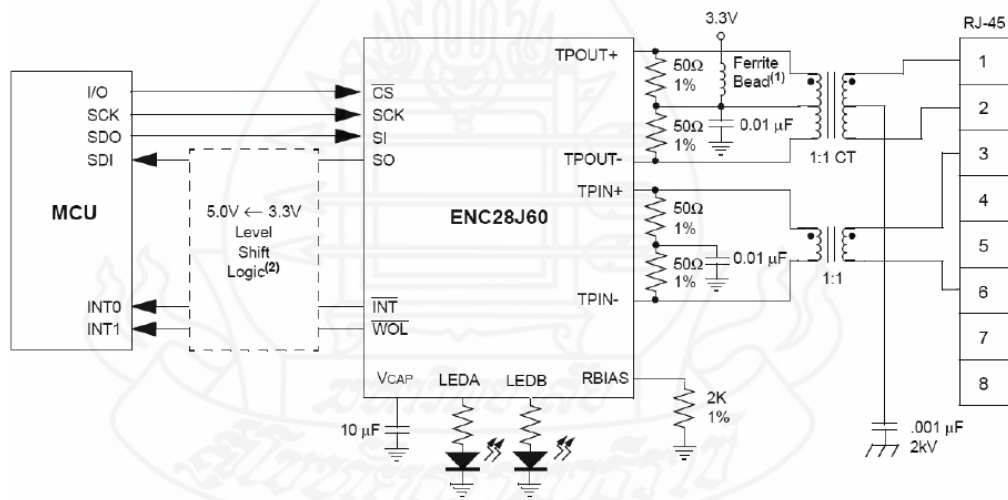
ENC28J60 เป็นอุปกรณ์ควบคุมเครือข่ายฝังตัวขนาด 28 ขา ภายในไอซีมีการติดต่อแบบ DMA และมีหน่วยความจำ Dual Port Ram ขนาด 8 kB มี SPI พอร์ตรองรับการติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ความเร็ว 10 Mbps โดยจะมีการแสดงสถานะการเชื่อมต่อสัญญาณอินเทอร์เน็ตด้วยแอลอีดี 2 ตัว ใช้ไฟเลี้ยง 3.3 โวลต์ และที่ขาอินพุตสามารถรับสัญญาณไฟ 5 โวลต์ได้ โดยการเชื่อมต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์จะใช้ขาทั้งหมด 5 เส้นคือ SI, SO, SCK, cs

และ INT ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ตัวอย่างการเชื่อมต่อระหว่าง MCU (Multipoint Control Unit) กับ โมดูล ENC28J60 ผ่านบัส SPI

ที่มา: [www.microchip.com](http://www.microchip.com)



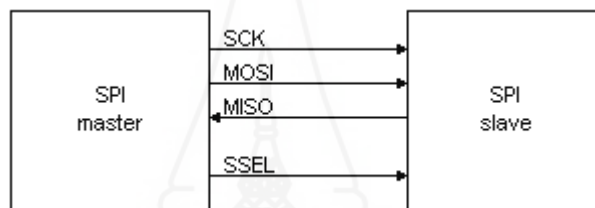
ภาพที่ 2.2 บล็อกไดอะแกรมการเชื่อมต่อ ENC28J60 กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์

ที่มา: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39662a.pdf>

ภาพที่ 2.2 แสดงถึงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของโมดูล ENC28J60 กับไมโครคอนโทรลเลอร์ จะใช้ขาทั้งหมด 5 เส้น คือ SI, SO, SCK, cs และ INT ส่วนที่เชื่อมกับ RJ-45 จะใช้ขาทั้งหมด 4 เส้น TPOUT+, TPOUT-, TPIN+, TPIN-

## 2.1 การเชื่อมต่อแบบบัส SPI

SPI (Serial Peripheral Interface Bus) คือ การติดต่อสื่อสารแบบอนุกรม ซึ่งสามารถรับ-ส่งข้อมูลในเวลาเดียวกันได้เป็นการสื่อสารแบบสองทิศทาง (Full-Duplex) และรับ-ส่งข้อมูลตามจังหวะสัญญาณนาฬิกา (Clock) ซึ่งเรียกว่าแบบ Synchronous โดยการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์จะประกอบด้วย Master และ Slave ซึ่ง Master ทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดว่าจะเริ่มรับ-ส่งข้อมูลเมื่อใดและกำหนดจังหวะการรับ-ส่งข้อมูล ในการสร้างสัญญาณนาฬิกาจะเป็นชิป MCU ที่ทำหน้าที่นี้ ส่วน Slave อาจเป็น MCU หรือ IC ที่เชื่อมต่อแบบ SPI ได้ เช่น ENC28J60 Module ทำหน้าที่คอยโต้ตอบกับตัว Master และสามารถมี Slave ได้มากกว่าหนึ่งตัว ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 แสดงขาสัญญาณในการติดต่อสื่อสารแบบ SPI

ที่มา: <http://www.fpga4fun.com/SPI1.html>

ในการเชื่อมต่อระหว่าง Master และ Slave จะใช้สัญญาณดังต่อไปนี้

MOSI (Master Out Slave In) เป็นการส่งบิตข้อมูลออกจาก Master ไปยัง Slave

MISO (Master In Slave Out) เป็นการรับบิตข้อมูลจาก Master ที่เข้ามาจาก Slave

SCK (Serial Clock) เป็นการสร้างสัญญาณนาฬิกาของ Master เพื่อใช้ในการกำหนดจังหวะการทำงานของบัสแบบ SPI

SSEL (Slave Select) เป็นสัญญาณจาก Master เพื่อเลือกชิปหรือ Slave ที่จะติดต่อสื่อสาร (ทำงานแบบ Active-Low)

## 2.2 บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1

ET-dsPIC33WEB V1 เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล dsPIC ของบริษัทไมโครชิป โดยได้นำเอาไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ประมวลผลข้อมูลแบบ 16 บิต เบอร์ dsPIC33FJ128GP708 มาพัฒนาเป็นบอร์ดใช้งาน ซึ่งคุณสมบัติเด่นของ dsPIC33FJ128GP708 คือ หน่วยประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal Processing)

สาเหตุที่เลือกใช้บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 เพราะต้องการทดสอบประสิทธิภาพและศึกษาพฤติกรรมการทำงานผ่านเว็บเพจในการควบคุมอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ทางการออกอากาศ

วิทยุกระจายเสียง ที่มีกำลังออกอากาศสูง โดยเฉพาะเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็มกำลังส่งออกอากาศ 2 กิโลวัตต์ ที่ใช้ในด้านธุรกิจการออกอากาศกระจายเสียงของหน่วยงาน *บริษัทองค์การสื่อสารมวลชนแห่งประเทศไทยจำกัด (มหาชน)* เช่น ควบคุมการ เปิด-ปิด การแสดงผลพารามิเตอร์ต่างๆ และตรวจสอบสถานะการทำงานของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม ในการติดต่อสื่อสารรับส่งข้อมูลของระบบสมองกลฝังตัวขนาดเล็ก และพัฒนาซอฟต์แวร์บนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล เพื่อนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเช่น การวัดเวลาตอบสนอง การวัดอัตราการใช้พลังงานของข้อมูล และการวัดความสามารถในการให้บริการของระบบ เพราะต้องการทราบถึงประสิทธิภาพการทำงานของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ของตระกูลไมโครชิพเพราะมีฟังก์ชันที่ทำงานทางด้านการควบคุมอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ผ่านเครือข่าย ในการออกอากาศวิทยุกระจายเสียงที่มีกำลังออกอากาศสูง ว่ามีประสิทธิภาพและความเสถียรภาพมากน้อยเพียงใด โดยมีทรัพยากรต่างๆ ของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 มีดังต่อไปนี้

### 1) หน่วยประมวลผล (CPU)

ความเร็วในการประมวลผล 40 MIPs (16 Bit Data / 24 Bit Instruction Code) ฮาร์ดแวร์รองรับการคูณข้อมูล 16 X 16 บิต โดยใช้เวลาเพียง 1 ไชเคลคคำสั่ง ฮาร์ดแวร์รองรับการหารข้อมูล 32 บิต X 16 บิต ใช้โปรแกรม C Compiler ที่มีความง่ายในการใช้งาน รองรับการ Interrupt มากถึง 118 Vector Interrupt จาก 63 แหล่ง 7 Priority Level รองรับการ DMA กับ Peripheral Hardware ได้ 8 ช่อง พร้อม DMA Buffer 2 kB

### 2) ระบบ (System)

มีแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาสามารถเลือกได้ ทั้งจากภายในและภายนอก มีวงจร Power-Up Timer และ Oscillator Start-Up มีระบบตรวจสอบสัญญาณนาฬิกา (Fail-Safe Clock Monitor) ระบบ Watchdog Timer ที่ใช้แหล่งสัญญาณนาฬิกาแบบ RC oscillator ที่แยกจากส่วนอื่นๆ ทำงานที่แรงดันระดับ 3.0 ถึง 3.6 โวลต์ มีอินพุต/เอาต์พุตพอร์ตกินกระแส 4mA แบบ Sink สามารถเชื่อมต่อกับสัญญาณ 5V TTL รองรับโหมดการทำงานแบบ Run, Idle และ Sleep modes สามารถปรับเปลี่ยนโหมดการทำงานของสัญญาณนาฬิกาได้หลากหลายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ และให้สอดคล้องกับการดูแลจัดการในเรื่องของพลังงาน

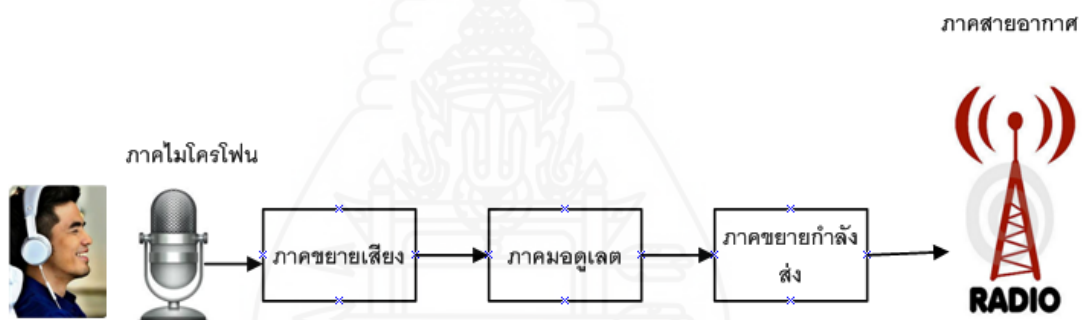
### 3) คุณสมบัติทางด้านสัญญาณแอนะล็อก (Analog Features)

โมดูลแปลงสัญญาณ Analog to Digital ความละเอียด 10-bit จำนวน 24 ช่อง และสามารถโปรแกรมเป็น 12 บิต ได้ 2 ช่อง ความเร็วในการ Sampling สัญญาณสูงสุด 1.1 MSps

ตัวอย่างการใช้งานบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 มี ดังนี้

ทรงพล นามคุณ และสุรเชษฐ์ สายสีโต (2553) ออกแบบระบบการควบคุมและแสดงสถานการณ์ทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ภายในบ้านได้ ที่ทำงานผ่านเว็บเบราว์เซอร์ เพื่อเชื่อมต่อกับเว็บเซิร์ฟเวอร์และเชื่อมต่อระบบเครือข่ายไร้สายภายในบ้าน โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นเซิร์ฟเวอร์ โดยการเก็บข้อมูลทุกอย่างของเซิร์ฟเวอร์ลงในหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ และให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งต้องอาศัยความสามารถของ Hardware TCP IP Stack, IP Stack Software TCP IP Stack ในการทำงานร่วมกับระบบอินเทอร์เน็ต โดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ET-dsPIC33WEB V1 ของบริษัท ETT เป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์ซึ่งข้อดีของการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นเซิร์ฟเวอร์คือ สามารถลดค่าใช้จ่ายในการซื้อคอมพิวเตอร์เพื่อนำมาใช้งาน

### 3. หลักการทำงานระบบเครื่องส่งวิทยุ เอฟเอ็ม



ภาพที่ 2.4 บล็อกไดอะแกรมหลักการทำงานเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม

- 1) ภาคไมโครโฟน (microphone) ทำหน้าที่แปลงคลื่นเสียงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า
- 2) ภาคขยายเสียง (audio amplifier) ทำหน้าที่ขยายแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากไมโครโฟนให้มีกำลังขยายมากขึ้น
- 3) ภาคมอดูเลต (frequency modulate oscillator) ทำหน้าที่นำสัญญาณเสียงไปมอดูเลตลงบนสัญญาณพาหะ โดยมีแอมป์หลอดกึ่งที่ตลอดเวลา แต่ความถี่สัญญาณเปลี่ยนแปลงตามความถี่ของสัญญาณพาหะ มีการควบคุมการเบี่ยงเบนทางความถี่โดยใช้ฮอสซิลเลเตอร์ (oscillator) สร้างความถี่คลื่นพาหะในช่วง 88-108 MHz เป็นตัวควบคุม
- 4) ภาคขยายกำลังส่ง (RF power amplifier) มีหน้าที่ขยายกำลังส่งเพื่อออกอากาศ
- 5) ภาคสายอากาศ (antenna) มีหน้าที่แพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

เครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม ที่ใช้ในการวิจัยเป็นเครื่องส่งยี่ห้อ Harris รุ่น Platinum Z2 solid-state FM radio เป็นเครื่องส่งวิทยุ Harris DIGIT Digital FM Exciter ตามมาตรฐานของ AES/EBU ที่เป็น digital audio generates, modulated RF carrier ถูกสร้างขึ้นโดยใช้กระบวนการดิจิทัลทั้งหมดเพื่อลดสัญญาณรบกวนและการผิดเพี้ยนของเครื่องส่ง FM (คุณภาพเสียงดิจิทัล 16 bit) โดยมีคุณสมบัติดังนี้

- 1) POWER OUTPUT ตั้งแต่ 500W ถึง 2.5 KW รุ่น Z2CD และมี VSWR ต่ำกว่า 1.1
- 2) มี IPA amplifiers สำรองที่เป็นแบบ autoswitching เพื่อลดการหยุดการทำงานฉับพลันของเครื่อง
- 3) มีไมโครโปรเซสเซอร์เป็นหลักสำหรับการควบคุมของ diagnostics และการแสดงผลต่างๆ รวมทั้งลอจิกและคำสั่งเพื่อทำการสวิตช์ชิงระหว่าง EXCITERS สำรองและ IPAS สำรอง
- 4) สามารถถอด RF Amplifier module เพื่อให้ทำการซ่อมขณะที่เครื่องส่งยังคงออกอากาศ แต่ต้องลดกำลังสัญญาณลง (“Hot-Pluggable” modules)
- 5) ออกแบบเป็นบรอดแบนด์โดยไม่มีการปรับจูนตั้งแต่ 87-108 MHz ความถี่สามารถเปลี่ยนได้โดยวิธีแมนวลใช้เวลาน้อยกว่า 5 นาที โดยใช้การตั้งค่าสวิตช์และใช้เวลาอย่างน้อย 0.5 วินาที โดยการเลือกการควบคุมจากภายนอก
- 6) สามารถเพิ่มกำลังสัญญาณให้เต็มตามข้อกำหนดเฉพาะภายใน 5 วินาทีหลังจากกดปุ่ม “ON”
- 7) ระบบการระบายความร้อนใช้ได้ทั้งแบบ internal blower และ external blower
- 8) การปรับ dual output power พร้อมด้วยการปรับกำลังสัญญาณสำหรับระบบที่ใช้กับ UPS หรือ GENERATOR BACKUP
- 9) มี Directional RF sample port
- 10) ใช้ได้ทั้งระบบไฟเฟสเดียว หรือ 3 เฟส 50/60 Hz

### 3.1 ระบบการควบคุมเครื่องส่ง

ระบบควบคุมจะใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมและแสดงผลได้มากกว่า 100 ฟังก์ชัน ในขณะที่เครื่องส่งทำงาน สามารถเรียกดูข้อมูลรายละเอียดต่างๆ ของระบบได้ที่จอแสดงผลข้อมูลซึ่งอยู่ที่ด้านหน้าของเครื่องส่ง ระบบควบคุมได้ออกแบบให้ติดต่อกับระบบควบคุมทางไกลแบบ standard parallel และรวมทั้งพอร์ตสื่อสารแบบอนุกรม RS-232 เพื่อใช้กับโมเด็มภายนอกควบคุม ระบบควบคุมของเครื่องส่งจะเป็นโมดูลอยู่ภายในเครื่องส่ง แต่สำหรับแผงควบคุมด้านหน้าเครื่องส่งจะมีเครื่องวัดระดับสัญญาณเอาต์พุตที่เป็น LCD display

ซึ่งสามารถใช้ดูกำลังสัญญาณออกอากาศ (POWER OUTPUT) อัตราส่วนของแรงดันสูงสุดและแรงดันต่ำสุดของรูปคลื่นนิ่งบนสายนำสัญญาณ (VSWR) แรงดันไฟฟ้าของโมดูลเพาเวอร์แอมป์ (PA VOLTAGE) และกระแสไฟฟ้าของโมดูลเพาเวอร์แอมป์ (PA CURRENT) จอ LCD อีกหนึ่งตัวสามารถใช้ดูแสดงค่าข้อมูล (DIAGNOSTIC DISPLAY) สำหรับดูค่าแรงดันภายในของเครื่องทุกโมดูล (INTERNAL VOLTAGES) อุณหภูมิ (TEMPERATURE) และรายละเอียดของการทำงานที่ผิดพลาดของเครื่องส่งที่บันทึกไว้ (FAULT LOG) เพื่อช่วยต่อการรู้ปัญหาของเครื่องส่ง

### 3.1.1 Transmitter Controls

ส่วนของควบคุมภาคส่งทั้งหมดจะอยู่ทางด้านขวาของหน้าเครื่องส่งดังภาพที่ 2.5 ส่วนควบคุมต่างๆ มีดังนี้

- 1) OFF เป็นการปิดเครื่องส่ง
- 2) ON-HIGH เป็นการเปิดเครื่องส่งโดยการกดปุ่ม “HIGH” ถ้าเครื่องส่งลดกำลังส่งลงโดยอัตโนมัติเนื่องจากมี VSWR สูง เมื่อกดปุ่ม “HIGH” เครื่องส่งจะกลับเป็น high power ตามปกติถ้าไม่มี VSWR แล้ว
- 3) ON-LOW เป็นการเปิดเครื่องส่งโดยการกดปุ่ม “LOW” ถ้าเครื่องส่งลดกำลังส่งลงโดยอัตโนมัติเนื่องจากมี VSWR สูง เมื่อกดปุ่ม “LOW” จะทำให้เครื่องส่งกลับไปอยู่ที่กำลังส่ง low power ตามเดิม
- 4) POWER (UP/DOWN ARROW) ใช้เพื่อเพิ่มหรือลดกำลังส่ง
- 5) REMOTE DISABLE (ติดตั้งอยู่ทางด้านซ้ายของ controller) ใช้เมื่อกดปุ่มนี้จะมีหลอด LED สีแดงติดเป็นการยกเลิกคำสั่งที่ติดต่อทาง REMOTE ทั้งหมด



ภาพที่ 2.5 ระบบควบคุมหน้าเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม

### 3.1.2 Transmitter Metering



ภาพที่ 2.6 จอแสดงผลและปุ่มควบคุมการทำงานของเครื่องส่งวิทยุ

จากภาพที่ 2.6 ทั้ง 5 ปุ่มได้แสดงผลเป็นการเลือกดูค่าที่สำคัญของเครื่องส่งในส่วน  
ของ Diagnostic Display ใช้เพื่อดูค่าต่างๆของเครื่องส่ง ดังนี้

- 1) FWD PWR (Forward Power) คือปุ่มสำหรับดูค่ากำลังสัญญาณ
- 2) RFL PWR (Reflected Power) คือปุ่มสำหรับดูค่ากำลังสัญญาณสะท้อนกลับ
- 3) PA Amps คือปุ่มดูค่ากระแสไฟฟ้าของโมดูลเพาเวอร์แอมป์
- 4) PA Volts คือปุ่มดูค่าแรงดันไฟฟ้าของโมดูลเพาเวอร์แอมป์
- 5) APC (Automatic Power Control) คือปุ่มดูค่าแรงดันไฟฟ้าสำหรับควบคุมกำลัง

สัญญาณออกอากาศอัตโนมัติ

- 1) Forward Power (FWD PWR) Units of Measure

หน่วยวัดค่าปรกติของกำลังสัญญาณส่งฟอร์เวิร์ดอ่านค่าเป็นเปอร์เซ็นต์  
ค่า 100% เป็นค่าของกำลังสัญญาณที่ออกตามปกติของเครื่องส่ง ค่าเปอร์เซ็นต์สามารถจะเคลิบเบรต  
ได้โดยเปลี่ยนค่า configuration ใน diagnostics ถ้าต้องการอ่านค่ากำลังสัญญาณส่งฟอร์เวิร์ดใน  
หน่วยเป็นกิโลวัตต์ สามารถทำได้โดยการกดปุ่ม FWD PWR ค้างไว้ประมาณ 3 วินาที หลังจาก  
3 วินาที ค่าที่แสดงจะเป็นค่ากำลังสัญญาณที่เป็นหน่วยกิโลวัตต์โดยอัตโนมัติ



## 2) Reflected Power (RFL PWR) Units of Measure

หน่วยวัดค่าปรกติของกำลังสัญญาณสะท้อนกลับคือค่า VSWR ถ้าต้องการอ่านค่ากำลังสัญญาณสะท้อนกลับสามารถเปลี่ยนเป็นกิโลวัตต์ได้ โดยการกดปุ่ม RFL PWR ค้างไว้ 3 วินาที หลังจากนั้นค่าก็จะเปลี่ยนเป็นกิโลวัตต์โดยอัตโนมัติ

### 3.1.3 Exciters









































ระบบของ exciter มี 2 ชุด ซึ่งถูกสั่งให้ทำงานโดยตัวควบคุม ถ้า Exciter A เสียจะเปลี่ยนไปที่ Exciter B ออกอากาศโดยอัตโนมัติ ถ้ามีปัญหาต่างๆ และเกิดการขัดข้องอื่นๆ ที่เกิดขึ้นกับเครื่องส่งจะเก็บบันทึกรายละเอียดข้อมูลการทำงานที่ผิดพลาดของเครื่องส่งที่ไว้ในระบบ เพื่อแสดงค่าข้อมูลที่จอแสดงผล การเลือกเอาต์พุตของ exciter จะเลือกโดย RF switch ตัวที่หนึ่ง และการทำงานของ IPA จะเลือกโดย RF switch ตัวที่สอง RF switch ทั้งสองตัวนี้จะควบคุมโดยส่วนควบคุมหลัก

## 3.2 การเชื่อมต่อการควบคุมทางไกล

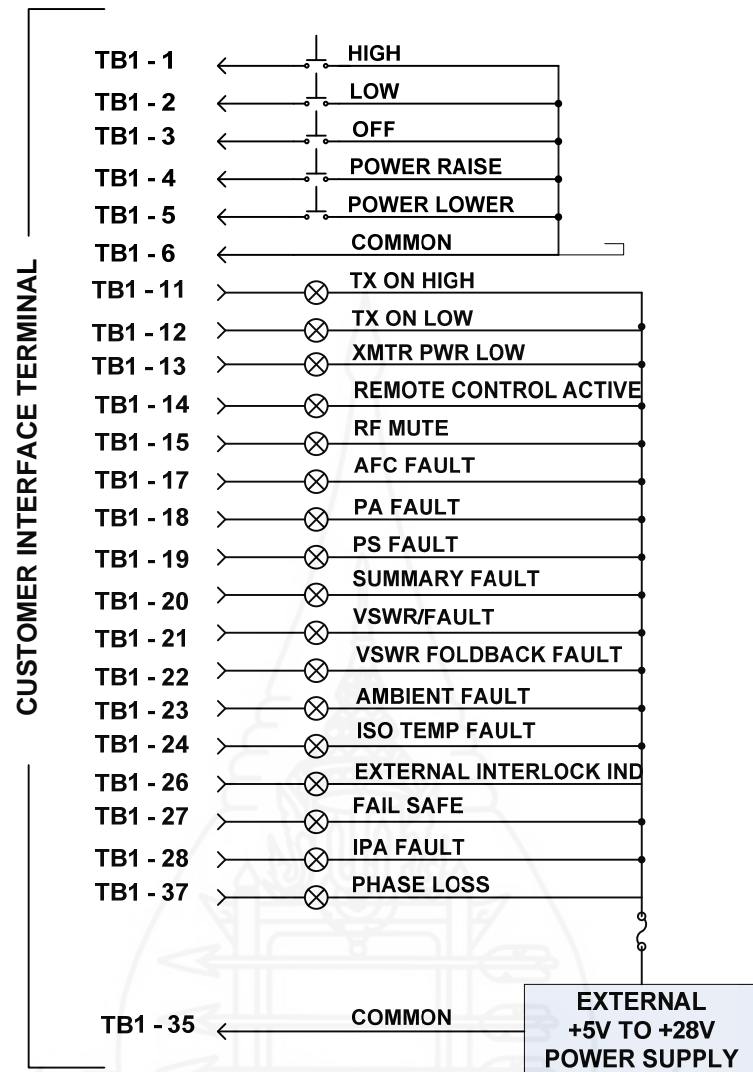
เครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็มมีอุปกรณ์รองรับระบบการควบคุมระยะไกลสำหรับตรวจสอบการทำงาน โดยการติดตั้งอุปกรณ์เชื่อมต่อเพื่อตรวจสอบอุณหภูมิและสถานะการทำงานไปยังอุปกรณ์ตรวจสอบหรือเว็บไซต์

### 3.2.1 การควบคุมระยะไกลและส่วนขยายเชื่อมต่อสถานะที่ใช้งานโดยทั่วไป

จุดเชื่อมต่อสำหรับการควบคุมระยะไกลของเครื่องที่จัดเตรียมไว้ด้านหลังเครื่องส่งเอฟเอ็ม จากภาพที่ 2.7 จุดต่อ TB1 (Terminal Board 1) ที่ผู้ใช้งานสามารถนำไปต่อใช้งานได้ TB1 จะมี 38 ขาเพื่อรองรับการทำงานการควบคุมระยะไกลดังรูป อ้างอิงจาก Harris Corporation (2003)

			
1 XMTR ON (HI)			
2 XMTR ON (LO)			SUMMARY FAULT 20
3 XMTR ON OFF			VSWR FAULT 21
4 XMTR RAISE			VSWR FOLDBACK 22
5 XMTR LOWER			AMB TEMP FAULT 23
6 GND			ISO LOAD FAULT 24
7 EXT INTERLOCK			GND 25
8 FAIL SAFE			INTERLOCK IND 26
9 CONFIGURABLE IN			FAIL SAFE IND 27
10 GND			IPA FAULT 28
11 XMTR ON HI IND			GND 29
12 XMTR ON LO IND			FWD PWR SAMPLE 30
13 XMTR PWR LO IND			RFL PWR SAMPLE 31
14 LOC REM LO IND			PAV SAMPLE 32
15 MUTE IND			PAI SAMPLE 33
16 GND			APC REF SAMPLE 34
17 AFC FAULT			GND 35
18 PA FAULT			SPARE OUT 36
19 PS FAULT			PHASE OUT 37
			

ภาพที่ 2.7 แสดงรายละเอียดตำแหน่งของขา TB1 ที่ผู้ใช้งานสามารถนำไปใช้งานได้  
ที่มา : ดัดแปลงมา Harris Corporation 2000, 2001 (2003: 2-23)



ภาพที่ 2.8 การควบคุมระยะไกล / ส่วนขยายและการเชื่อมต่อสถานะที่ใช้งาน โดยทั่วไป  
ที่มา: คัดแปลมาจาก Harris Corporation 2000, 2001 (2003: 2-25)

จากภาพที่ 2.8 การวิจัยนี้จะใช้งานที่ขา ดังนี้

TB1-1 HIGH การควบคุมระยะไกลเพื่อสั่งงาน High power ON

TB1-2 LOW การควบคุมระยะไกลเพื่อสั่งงาน LOW power ON

TB1-3 OFF การควบคุมระยะไกลเพื่อสั่งงานปิดเครื่องส่ง

TB1-4 RAISE การควบคุมระยะไกลเพื่อสั่งงานการเพิ่มกำลังเครื่องส่ง

TB1-5 LOWER การควบคุมระยะไกลเพื่อสั่งงานการลดกำลังเครื่องส่ง

TB1-6 Common จุดรวมของสัญญาณ

TB1-11 XMTR\_ON\_HIGH\_IND แสดงสถานะ High power

TB1-12 XMTR\_ON\_LOW\_IND แสดงสถานะ LOW power

TB1-13 XMTR\_PWR\_LOW\_IND แสดงสถานะกำลังส่งของเครื่องส่งผิดปกติหรือกำลังส่งตก

TB1-14 LOC\_REM\_IND แสดงสถานะการใช้งานจากระยะไกล

TB1-15 MUTE\_IND แสดงสถานะเมื่อเครื่องส่งหยุดทำงาน

TB1-17 AFC\_FAULT แสดงสถานะ Exciter เสีย

TB1-18 PA\_FAULT แสดงสถานะเมื่อ PA เสีย

TB1-19 PS\_FAULT แสดงสถานะเมื่อส่วนจ่ายไฟฟ้าเกิดปัญหาขัดข้อง

TB1-20 SUMMARY\_FAULT แสดงสถานะโดยรวมทั้งหมดเมื่อเกิดปัญหาขัดข้อง

TB1-21 VSWR\_FAULT แสดงสถานะเครื่องส่งมีการตรวจพบค่า VSWR สูงผิดปกติ

TB1-23 AMBIENT\_FAULT แสดงสถานะเมื่ออุณหภูมิภายในเครื่องส่งฯ สูง

TB1-26 INTERLOCK\_IND แสดงสถานะระบบ Interlock ของเครื่องส่งฯ

TB1-28 IPA\_FAULT แสดงสถานะโมดูล IPA เสีย

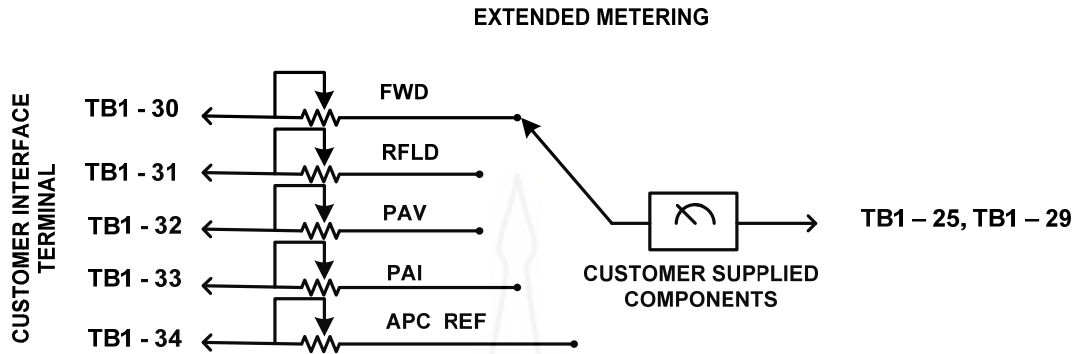
TB1-30 FWD\_PWR\_SAMPLE เอาต์พุตสัญญาณแอนะล็อก กำลังสัญญาณ 3.5V = 120 %

TB1-31 REL\_PWR\_SAMPLE เอาต์พุตสัญญาณแอนะล็อก กำลังสัญญาณสะท้อนกลับ 3.5V = full scale

TB1-32 PAV\_SAMPLE เอาต์พุตสัญญาณแอนะล็อก แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าของโมดูลเพาเวอร์แอมป์ 3.5V = full scale

TB1-33 PAI\_SAMPLE เอาต์พุตสัญญาณแอนะล็อก แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของโมดูลเพาเวอร์แอมป์ 3.5V = full scale

### 3.2.2 การเชื่อมต่อเพื่อดูค่าการวัดการทำงานเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม



ภาพที่ 2.9 แสดงการเชื่อมต่อเพื่อดูค่าการวัดการทำงาน

ที่มา: คัดแปลงมา Harris Corporation 2000, 2001 (2003: 2-26)

จากภาพที่ 2.9 แสดงการถึงการนำค่าเอาต์พุตสัญญาณแอนะล็อก TB1-30 Power output, TB1-31 Reflected power, TB1-32 PA Voltage, TB1-33 PA Current วัดเทียบกับขา TB1-25 หรือ TB1-29 ซึ่งเป็นขากราวด์ เพื่อนำสัญญาณจากแอนะล็อกแปลงไปเป็นสัญญาณดิจิทัล สำหรับการแสดงค่ามิเตอร์การทำงานต่างๆ

## 4. บอร์ด CIE-M10

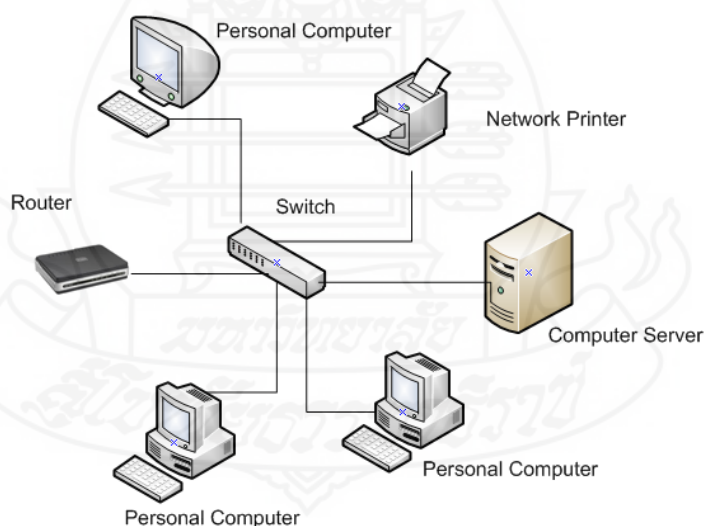
ซึ่งบอร์ด CIE-M10 เป็นโมดูล สมองกลฝังตัวขนาดเล็กที่มีลักษณะการทำงานเป็น โมดูลเซิร์ฟเวอร์ขนาดเล็กซึ่งมีระบบควบคุมเครือข่ายฝังตัวอยู่ใน สามารถสั่งงานผ่านทางหน้า เว็บไซต์ เพื่อใช้ในการตรวจสอบและควบคุมการทำงานอุปกรณ์ปลายทางผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยมีคุณสมบัติการใช้งานที่ง่ายต่อการพัฒนาและสามารถแก้ไขหน้าเว็บไซต์ได้โดยใช้ภาษา HTML มีการประมวลผลโดยชิพ ARM7 Core 32 bit มีอินพุตดิจิทัล 8 พอร์ต มีเอาต์พุตดิจิทัล 8 พอร์ตและมีอินพุตแอนะล็อก 1 พอร์ต (10 bits resolution ADC) สามารถรองรับ Modbus/TCP Protocol, DHCP and PPPoE, DNS, DDNS รองรับ Modbus/TCP Protocol, DHCP and PPPoE, DNS, DDNS ซึ่งมีลักษณะแตกต่างกับบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ที่มีระบบควบคุมเครือข่ายฝังตัว อยู่ภายนอก

งานวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยเลือกบอร์ด CIE-M10 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 เพราะบอร์ด CIE-M10 เป็นโมดูล สมองกลฝังตัวขนาดเล็กที่มีลักษณะการทำงานเป็น โมดูลเซิร์ฟเวอร์ขนาดเล็กมีระบบควบคุมเครือข่ายฝังตัวอยู่ในบอร์ดเดียวกัน ซึ่งมีลักษณะแตกต่างกับบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ที่มีระบบควบคุมเครือข่ายฝังตัวอยู่นอก

## 5. EEPROM

EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) เป็นหน่วยความจำอ่านอย่างเดียวชนิดโปรแกรมและลบได้ด้วยกระแสไฟฟ้า เป็นชิปชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติในการใช้งานคือ เป็นหน่วยความจำ หากต้องการแก้ไขจะต้องใช้สัญญาณไฟฟ้าลบ แล้วโปรแกรมข้อมูลใหม่ลงไป หน่วยความจำชนิดนี้จะเก็บข้อมูลไว้ได้ แม้ว่าจะไม่ใช้ไฟฟ้าเลี้ยง และอายุการใช้งานขึ้นกับจำนวนครั้งในการโปรแกรม

## 6. ระบบเครือข่ายแลน (Local Area Network)



ภาพที่ 2.10 ระบบเครือข่าย

การเชื่อมต่อเครือข่ายแบบแลน มี 5 รูปแบบ คือ

1) การเชื่อมต่อแบบบัส (Bus) มีการรับส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 10-100 MBps จะเชื่อมต่อกันบนสาย สัญญาณเส้นเดียวกัน โดยจะมีอุปกรณ์ที่เรียกว่า T-Connector เป็นตัวแปลง

สัญญาณข้อมูลเพื่อนำเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์และ Terminator ในการปิดหัวท้ายของสายในระบบเครือข่ายเพื่อควบคุมข้อมูลไม่ให้เกิดการสะท้อนกลับของสัญญาณ

2) การเชื่อมต่อแบบดาว (Star) เป็นระบบที่มีเป็นการต่อแบบรวมศูนย์ โดยเครื่องคอมพิวเตอร์ทุกเครื่องจะต่อสายเข้าไปที่อุปกรณ์ที่เรียกว่า ฮับ หรือ สวิตช์ โดยอุปกรณ์นี้ จะทำหน้าที่เปรียบเสมือนศูนย์กลางที่ทำหน้าที่กระจายข้อมูล โดยข้อดีของการต่อในรูปแบบนี้คือ หากสาย สัญญาณเกิดขาดในคอมพิวเตอร์เครื่องใดเครื่องหนึ่ง เครื่องคอมพิวเตอร์อื่นๆ จะสามารถใช้งานได้ปกติ แต่หากศูนย์กลางคือ ฮับ หรือ สวิตช์ เกิดเสียจะทำให้ระบบทั้งระบบไม่สามารถทำงานได้ทั้งระบบ

3) การเชื่อมต่อแบบวงแหวน (Ring) เป็นระบบที่มีการส่งข้อมูลไปในทิศทางเดียวกัน โดยจะมีเครื่องเซิร์ฟเวอร์ หรือ สวิตช์ ในการปล่อยโทเคนเพื่อตรวจสอบว่ามีเครื่องคอมพิวเตอร์ใดต้องการส่งข้อมูลหรือไม่และระหว่างการส่งข้อมูลเครื่องคอมพิวเตอร์อื่นๆ ที่ต้องการส่งข้อมูลจะต้องทำการรอให้ข้อมูลก่อนหน้านั้นถูกส่งให้สำเร็จเสียก่อน

4) การเชื่อมต่อแบบต้นไม้ (Tree) เป็นระบบที่มีลักษณะเชื่อมต่อโครงสร้างแบบดาว แต่จะมีโครงสร้างแบบต้นไม้ โดยมีสายนำสัญญาณแยกออกไปเป็นแบบกิ่งไม้เป็นวงรอบ แต่ละกลุ่มจะมีโหนดแม่ และโหนดลูก ในกลุ่มนั้นที่มีการสัมพันธ์กัน โดยแต่ละกลุ่มจะประกอบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ระดับต่างๆ กันอยู่หลายเครื่องต่อกันเป็นชั้นๆ มีตัวกลางสำหรับการสื่อสารข้อมูลไปสถานีอื่นๆ ได้เพราะทุกสถานีจะอยู่บนทางเชื่อม ในแต่ละกลุ่มจะส่งข้อมูลได้ที่ละสถานี โดยไม่ส่งพร้อมกัน

5) การเชื่อมต่อแบบผสม (Hybrid) เป็นลักษณะการเชื่อมต่อที่ผสมผสานกันของ การเชื่อมต่อแบบบัส การเชื่อมต่อแบบดาว และการเชื่อมต่อแบบวงแหวนเข้าด้วยกัน เพื่อเป็นการแก้ปัญหาถ้ามีโหนดใดโหนดหนึ่งเกิดเสียหาย ข้อมูลจะไม่สามารถส่งผ่านไปยังโหนดต่อไปได้ และจะทำให้เครือข่ายทั้งเครือข่ายขาดการติดต่อสื่อสาร มีข้อดีคือรองรับการทำงานของอุปกรณ์จากผู้ผลิตที่แตกต่างกันได้ และนำส่วนดีของการเชื่อมต่อแบบต่างๆ มาใช้ ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กัน

งานวิทยานิพนธ์นี้ใช้การเชื่อมโยงเครือข่ายแบบแลนประเภทดาวเหมือนภาพที่ 2.10

## 7. มาตรฐาน IEEE 802.3

IEEE 802.3 เครือข่าย Ethernet [ออนไลน์] ได้กล่าวถึงมาตรฐาน 802.3 ว่า เป็นการเชื่อมต่อแลนทั้งหมดที่ใช้หลักการของ CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) ที่มีอัตราการส่งข้อมูลตั้งแต่ 1 Mbps ถึง 100 Mbps

ระบบแลนส่งข้อมูลโดยใช้หลักการคล้ายๆกับการสนทนาระหว่างบุคคลหลายคน หากใครต้องการพูดก็สามารถพูดออกมาได้ในจังหวะที่ไม่มีคนอื่นพูด แต่ก็อาจเป็นไปได้ที่บุคคล 2 คนจะพูดออกมาพร้อมๆกัน ทำให้เกิดการชนกันของเสียงพูด เมื่อเป็นเช่นนั้นทั้งสองคนจะต้องหยุดพูดทันที แล้วรอจังหวะที่จะพูดใหม่อีกครั้ง ซึ่งหากใครพูดก่อนก็จะสามารถพูดได้ และบุคคลอื่นๆจะต้องฟังอย่างเดียว

วิธีการรับส่งข้อมูลของแลน IEEE 802.3 ซึ่งเป็นแบบ CSMA/CD ก็ทำงานในลักษณะเดียวกัน คือ โหนดใดที่ต้องการส่งข้อมูลลงในสื่อกลางการส่งข้อมูล จะตรวจสอบคุณสมบัติในสื่อกลาง ถ้าหากสื่อกลางในการส่งข้อมูลว่างก็จะทำการส่งข้อมูลได้ทันที แต่หากโหนดตั้งแต่ 2 โหนดขึ้นไปส่งข้อมูลลงในสื่อกลางพร้อมๆกัน สัญญาณข้อมูลจะเกิดการชนกันขึ้น ทุกๆ สถานีจะต้องหยุดการส่งข้อมูลแล้วรอเวลา ซึ่งช่วงเวลาของการรอแต่ละครั้งจะทำการสุ่มขึ้นมา (Random Time) หลังจากหมดเวลารอแล้วก็จะทำการตรวจสอบสัญญาณในสื่อกลางเพื่อส่งข้อมูลลงไปใหม่อีก

IEEE แบ่ง IEEE 802.3 เป็น 2 กลุ่มคือ Baseband และ Broadband พิจารณาจากลักษณะของสัญญาณไฟฟ้าที่ส่งลงไปในสาย

- 1) Baseband ใช้สัญญาณแบบดิจิทัลสำหรับสื่อสารในสาย มี 5 มาตรฐานคือ 10Base5, 10Base2, 10Base-T, 1Base5 และ 100Base-T
- 2) Broadband ใช้สัญญาณแบบแอนะล็อกสำหรับสื่อสารในสาย มีมาตรฐานเดียวคือ 10Broad36

## 8. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายสมองกลฝังตัวขนาดเล็ก และความผิดพลาดทางความถี่

การเลือกตัววัดประสิทธิภาพเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพได้แก่ การเลือกเกณฑ์หรือหลักการในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่เรียกว่า “ตัววัดประสิทธิภาพ” (Performance Metrics) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วตัววัดประสิทธิภาพจะมีความสัมพันธ์กับอัตราการไหลผ่านของข้อมูล (Throughput) เวลาตอบสนอง (Response Time) และความสามารถในการให้บริการของระบบ (Availability) เช่น ประสิทธิภาพของเครือข่าย ซึ่งวัดอยู่ในรูปของความเร็วได้แก่ อัตราการส่งข้อมูล (Throughput) และเวลาตอบสนอง (Response Time) ความถูกต้องได้แก่ อัตราความผิดพลาดในการส่งข้อมูล (Error Rate) และประสิทธิภาพของตัวประมวลผลวัดอยู่ในรูปของความเร็วในการประมวลผลคำสั่งต่างๆ โดยต้องมีการแจกแจงพารามิเตอร์ (Parameter) ประสิทธิภาพ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบโดยพารามิเตอร์ดังกล่าวอาจแบ่งเป็น



พารามิเตอร์ของระบบ : พารามิเตอร์ของฮาร์ดแวร์ และพารามิเตอร์ของซอฟต์แวร์

พารามิเตอร์ของภาระงาน : พารามิเตอร์ภาระงานเป็นคุณลักษณะของความต้องการของผู้ใช้ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ

ในการวัดประสิทธิภาพในงานวิจัยนี้จะวัดในด้านการทำงานดังนี้

**8.1 ด้านเวลาตอบสนอง (Response Time)** ของการส่งงานจากเครื่องคอมพิวเตอร์ไปยังบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 เพื่อควบคุมการทำงานของระบบส่งวิทยุเอฟเอ็ม มีการทดสอบการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ของระบบ เช่น ทดสอบการเพิ่มและลดกำลังส่งของระบบส่งวิทยุเอฟเอ็ม และทดสอบด้านภาระงาน โดยการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ จำนวน 1, 25 และ 50 เครื่อง ตามลำดับ ในการควบคุมสั่งงานจากระยะไกลพร้อมกัน โดยใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์ทำงานของจำนวนยูสเซอร์ หลายยูสเซอร์เพื่อเข้าถึงบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 (Server) พร้อมกัน แล้วแสดงสถานะผลการทำงานของระบบส่งวิทยุเอฟเอ็มกลับมายังเครื่องคอมพิวเตอร์เหล่านั้น เพื่อแสดงเวลาตอบสนองของการทำงานทั้งหมด

**8.2 ด้านอัตราการไหลผ่านของข้อมูล (Throughput)** เป็นการทดสอบอัตราการไหลของข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องลูกข่าย ที่มีการส่งหรือรับข้อมูลกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ซึ่งมีการเชื่อมต่อกับระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็ม ทดสอบการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ของระบบเช่น ทดสอบการเพิ่มและลดกำลังส่งของระบบส่งวิทยุเอฟเอ็ม และทดสอบด้านภาระงาน โดยการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ จำนวน 1, 25 และ 50 เครื่อง ตามลำดับ โดยใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์ทำงานของจำนวนยูสเซอร์หลายยูสเซอร์เพื่อเข้าถึงบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 พร้อมกัน ในการควบคุมสั่งการงานของระบบส่งวิทยุเอฟเอ็มจากระยะไกล โดยวัดอัตราการไหลผ่านของข้อมูลในการรับคำสั่งการควบคุมระบบส่งวิทยุเอฟเอ็ม เพื่อวิเคราะห์ความผิดพลาด

**8.3 ด้านประสิทธิภาพความพร้อมใช้งาน (Availability)** ตรวจสอบระบบเครือข่ายหรือระบบเซิร์ฟเวอร์ เพื่อตรวจสอบการทำงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและให้เกิดความต่อเนื่องของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 สำหรับควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็ม โดยเงื่อนไขในการทดสอบจะทดสอบการใช้งาน โพรโทคอล TCP/IP และ HTTP ซึ่งระยะเวลาในการ เป็นการทดสอบด้านการให้บริการใช้งานในระยะเวลา ประมาณ 1 สัปดาห์ และ 1 เดือนว่า มีความเสถียรภาพมากน้อยเพียงใด

**8.4 ด้านความผิดพลาดความถี่ (Frequency Error)** เป็นการทดสอบเปรียบเทียบวัดค่าความถี่ว่ามีผลต่อค่าความถี่คลื่นพาห้ของการออกอากาศของระบบส่งวิทยุเอฟเอ็ม หรือไม่อย่างไรเมื่อมีการเชื่อมกับบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ซึ่งในการทดสอบใช้เครื่องมือวัด 2 ชนิด คือ

เครื่องสเปกตรัม (Spectrum Analyzer) และเครื่องนับความถี่ (Frequency Counter) เพื่อให้ได้ค่าการวัดที่มีความละเอียดสูง โดยวิธีการวัดการทดสอบให้เป็นตามมาตรฐาน ETS-300 384 และมาตรฐานทางเทคนิคเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียง

## 9. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ 1) การไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ARM สำหรับควบคุมและตรวจสอบสถานะการทำงานของเครื่องส่งโทรทัศน์และเครื่องวิทยุเอฟเอ็ม 2) งานวิจัยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ SX52BD ตระกูล Ubicom ทำงานร่วมกับ RTL8019AS ตรวจสอบสถานะการทำงานของเครื่องส่งโทรทัศน์ 3) งานวิจัยที่ใช้ UDS1100 สำหรับควบคุมและตรวจเช็คสถานะการทำงานของเครื่องส่งโทรทัศน์ 4) FM Rebroadcasting บริษัท Ecreso world class system group และ 5) งานวิจัยการใช้อุปกรณ์ลอจิกแบบโปรแกรมได้ (FPGA) สำหรับดักจับข้อมูล เพื่อนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการวัดความเร็วและความผิดพลาดในการรับส่งข้อมูล

### 9.1 งานวิจัย Design and Implement of Monitoring Controller of TV Transmitter base on ARM-Linux

โดย Chunlai Zhou, Guangrong Li, Ming Dong และ Lanxiang Wang (2010) ได้ออกแบบเครื่องมือ สำหรับควบคุมและตรวจสอบสถานะการทำงานของเครื่องส่งโทรทัศน์และเครื่องวิทยุเอฟเอ็ม เมื่อปี ค.ศ. 2010 โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ARM เบอร์ AT91RM9200 ที่ทำงานบนระบบ Linux มีความสามารถในการประมวลผลและการเชื่อมต่อหลายอินพุต และมีโมดูล RTC จับเวลา หน่วยความจำรวม 128K และ SRAM 16K ความเร็วการประมวลผล 200 MIPs ที่ความถี่ 180 MHz มีโมดูลการเชื่อมต่อระบบเครือข่ายอีเทอร์เน็ต และมีขนาดกะทัดรัด ความน่าเชื่อถือสูงและสามารถปรับขยายอินพุตและเอาต์พุตได้ง่าย มีการออกแบบเอาต์พุต DO โดยใช้ชิป 74LVXC3245 และ ULN2004 เพื่อเปลี่ยนจากแรงดันไฟฟ้า 3.3V เป็น 12V เพื่อขับรีเลย์ ออกแบบอินพุต DI เชื่อมต่อกับไดโอด TLP521 ซึ่งเป็น Solid State Relay ทำหน้าที่เป็นฉนวนจากอินพุตภายนอก ในส่วน A/D มีการตรวจเช็คพารามิเตอร์ๆ เช่น Output power, Reflect power, High voltage, Filament voltage of the vacuum tube, Cathode current, Grid bias voltage, Grid current

ข้อดีของงานวิจัยนี้คือใช้ระบบควบคุมระบบการออกอากาศและตรวจสอบสภาวะการทำงานโทรทัศน์ที่ขนาดเล็กและมีประสิทธิภาพ มีความยืดหยุ่นในการเชื่อมต่ออินพุตและเอาต์พุตต่างๆ ง่ายควบคุมในงานที่เป็นเครือข่ายเป็นขนาดใหญ่

ข้อจำกัดของงานวิจัยนี้คือไม่ได้เน้นการทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมในด้านการวัดเวลาตอบสนอง ด้านอัตราการไหลผ่านของข้อมูล และการวัดประสิทธิภาพด้านความพร้อมใช้งาน

งานวิทยานิพนธ์นี้ที่จัดทำขึ้นนี้จะเน้นในเรื่องการวัดประสิทธิภาพในการควบคุมระบบส่งวิทยุ เอฟเอ็มว่ามีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใดโดยใช้อุปกรณ์ ขนาดเล็กและมีประสิทธิภาพ มีความยืดหยุ่นในการเชื่อมต่ออินพุตและเอาต์พุตต่างๆ และราคาถูก

## 9.2 งานวิจัย Monitoring System of TV Transmitter Based on Browser/Server mode

โดย Chunlai Zhou และ Chengan Zhao (2007) ได้ออกแบบระบบการตรวจสอบเครื่องส่งสัญญาณโทรทัศน์ทำงานบนเว็บเบราว์เซอร์และเว็บเซิร์ฟเวอร์ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ SX52BD ตระกูล Uvicom ทำงานร่วมกับ RTL8019AS ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมต่อกับระบบควบคุมอีเทอร์เน็ตโดยผ่านคอนเน็คเตอร์ HR901170A ซึ่งมี 24LC256 CMOS Serial EEPROM สำหรับเก็บข้อมูลเพื่อทำงานเป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์ ในงานวิจัยนี้ จะใช้ RS-232 เชื่อมต่อกับระบบเครื่องส่งโทรทัศน์เพื่อรับข้อมูลการตรวจสอบสภาวะการทำงานของเครื่องส่งโทรทัศน์ ในด้านการพัฒนาโปรแกรมจะใช้โปรแกรมตรวจสอบการทำงานผ่านระบบเน็ตเวิร์ค

ข้อดีของงานวิจัยนี้คือ การพัฒนาโปรแกรมใช้โปรแกรมตรวจสอบการทำงานผ่านระบบเน็ตเวิร์ค

ข้อจำกัดของงานวิจัยนี้คือ ตรวจสอบสภาวะการทำงานอย่างเดียวไม่ได้มีการทดสอบประสิทธิภาพในการใช้งาน มีการเชื่อมต่อกับเครื่องส่งโทรทัศน์โดยใช้ RS232 ที่ทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ SX52BD ตระกูล Uvicom กับ RTL8019AS ผ่านระบบเครือข่ายทำให้เกิดความล่าช้าในการตอบสนองในการควบคุม

งานวิทยานิพนธ์ที่จัดทำขึ้นนี้จะสามารถแก้ปัญหาและลดขั้นตอนการเชื่อมต่อระหว่างบอร์ดอุปกรณ์ควบคุมกับเครื่องส่งโทรทัศน์และเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพให้เข้าถึงการทำงานของการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์เครื่องลูกข่ายกับบอร์ดควบคุมที่ทำหน้าที่เป็นเซิร์ฟเวอร์ในการควบคุมการทำงานของระบบออกอากาศเครื่องส่งโทรทัศน์

### 9.3 งานวิจัย The Design and Implement of Transmitter Remote Control System Based on the Embed Web Server

โดย Xu Shu-ping, Liang Chen-yan, Su Xiao-hui และ Bai Xiao-jun (2010) ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ UDS1100 ของบริษัท Lantronix สำหรับควบคุมและตรวจเช็คสถานะการทำงานของเครื่องส่งโทรทัศน์ ซึ่งรองรับโพรโทคอล ARP, UDP, TCP, ICMP, Telnet, TFTP, AutoIP, DHCP, HTTP และ SNMP มีบทบาทสำคัญในการทำงานด้านเว็บเซิร์ฟเวอร์ร่วมกับการสื่อสารแบบอนุกรม RS232 ซึ่งจะมีการถ่ายโอนข้อมูลในการส่งลักษณะแพ็กเก็ต TCP/IP ไปในระบบเครือข่ายหรือส่งข้อมูลแพ็กเก็ต TCP/IP จากระบบเครือข่ายไปควบคุมเครื่องมืออุปกรณ์เครื่องส่งโทรทัศน์ ในระบบนี้จะทำงานผ่านเว็บเบราว์เซอร์ โดยใช้หลักการของ CGI (Common Gateway Interface) เพื่อควบคุมและอ่านค่าพารามิเตอร์ของเครื่องหรือแสดงสถานะของเครื่อง เช่น สีเขียวแสดงการใช้งานอุปกรณ์ที่สถานะปกติ สีเทาไม่ได้ใช้งาน สีแดงแสดงสถานะผิดปกติ และมีการแสดงค่าเป็นแถบสีเช่น มีค่าน้อยกว่า 80% แสดงสีเหลือง มีค่าระหว่าง 80 %-120 % แสดงค่าสีเขียว ค่ามากกว่า 120 % แสดงสีแดง

ข้อดีของงานวิจัยนี้คือ มีการตรวจเช็คสถานะ การทำงานของเครื่องส่งโทรทัศน์ ซึ่งรองรับโพรโทคอล ARP, UDP, TCP, ICMP, Telnet, TFTP, AutoIP, DHCP, HTTP และ SNMP Server ทำงานร่วมกับการสื่อสารแบบอนุกรม RS 232 ซึ่งจะมีการถ่ายโอนข้อมูล รองรับได้หลายโพรโทคอลจึงมีความยืดหยุ่นในการใช้งาน

ข้อจำกัดของงานวิจัยนี้คือการคำนวณค่าเวลาในการทำงานควบคุมอย่างเดียว ไม่มีการทดสอบประสิทธิภาพทางด้านเวลาตอบสนอง ด้านอัตราการไหลผ่านของข้อมูล และการทดสอบประสิทธิภาพด้านความสามารถในการใช้งาน

ในงานวิทยานิพนธ์ที่จัดทำขึ้นนี้มีข้อดีกว่างานวิจัยของ Xu Shu-ping คือสามารถทราบประสิทธิภาพทางด้านเวลาตอบสนอง อัตราการไหลผ่านของข้อมูล และการวัดประสิทธิภาพด้านความพร้อมใช้งาน จะใช้โพรโทคอลมาตรฐานที่ใช้งานทั่วไป คือ HTTP และ TCP ในการทดสอบ

### 9.4 ผลงาน FM Rebroadcasting บริษัท Ereso world class system group

ETSI Secretarial (1995) เป็นบริษัทจำหน่ายเครื่องวิทยุ FM 10 kW ที่มีคุณสมบัติเป็น Solid-state มีการเชื่อมต่อเป็นลักษณะเป็น CAN BUS ในระบบควบคุมภายใน รองรับการทำงานเชื่อมต่อแบบ RS232 และ TCP/IP มีระบบควบคุม ตรวจเช็คสถานะและมีการส่งเมลเมื่อเกิดสถานะขัดข้อง อุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อกับเครื่องส่งวิทยุ FM จะเป็นเครื่องสำเร็จรูปที่บริษัท Ereso world class system group จัดทำขึ้น ต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศที่มีราคาแพงและเป็นเครื่องที่ใช้งาน

ในด้านนี้โดยเฉพาะ ไม่มีความยืดหยุ่นเมื่อต้องการใช้งานต่อยอดด้านอินพุตและเอาต์พุตงานในด้านอื่น เพราะมีคุณสมบัติดังนี้คือ 6 Command/ Relay Outputs , 8 Status (Opto-coupler) Inputs

ข้อดีของงานวิจัยนี้คือ มีเชื่อมต่อเป็นลักษณะเป็น CAN BUS มีระบบควบคุมตรวจเช็คสถานะ และมีการส่งเมลเมื่อเกิดสถานะขัดข้อง

ข้อจำกัดของงานวิจัยนี้คือ เครื่องต้องนำเข้าจากต่างประเทศที่มีราคาแพง และเป็นเครื่องที่ใช้งานเฉพาะด้าน ไม่มีความยืดหยุ่น เมื่อต้องการใช้งานต่อยอดด้านอินพุตและเอาต์พุต

งานวิทยานิพนธ์ที่จัดทำขึ้นมานี้มีข้อดีกว่างานวิจัยของ Ecreso world class system group ในเรื่องของการนำเข้าจากต่างประเทศซึ่งมีราคาแพง สามารถหาซื้ออุปกรณ์ได้ภายในประเทศ และในเรื่องข้อจำกัดทางด้านอินพุต/เอาต์พุตพอร์ต สามารถเพิ่มอินพุต/เอาต์พุตพอร์ต ได้มากกว่างานวิจัยของ Ecreso world class system group

#### 9.5 งานวิจัย การพัฒนาเครื่องมือในการทดสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายสมองกลฝังตัวขนาดเล็กโดยใช้เอฟพีจีเอ

โดย นางสาวรฤก รักความสุข (2552) ได้ออกแบบเครื่องมือในการทดสอบและวิเคราะห์การทำงานของระบบเครือข่ายอีเทอร์เน็ตสมองกลฝังตัวขนาดเล็ก โดยใช้อุปกรณ์ Field-Programmable Gate Array (FPGA) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการดักจับข้อมูลของบัส SPI ที่มีการเชื่อมต่อระหว่างชิปไมโครคอนโทรลเลอร์กับชิปอีเทอร์เน็ตคอนโทรล และพัฒนาซอฟต์แวร์บนเครื่องส่วนบุคคล เพื่อนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการวัดความเร็วและความผิดพลาดในการรับส่งข้อมูลโดยสามารถวัดประสิทธิภาพของระบบสมองกลฝังตัวขนาดเล็กที่ทำงานร่วมกับระบบเครือข่ายอีเทอร์เน็ต โดยมีการตรวจจับชุดข้อมูลรูปแบบโพรโทคอล ICMP และUDP วัดระยะเวลาในการตอบสนองของสมองกลฝังตัว

ข้อดีของงานวิจัยนี้คือการทดสอบและวิเคราะห์การทำงานของระบบสมองกลฝังตัวร่วมกับเครือข่ายอีเทอร์เน็ต โดยเชื่อมโยงหลายชุดเข้ากับเครื่องต้นแบบ มีออกแบบวงจรดิจิทัล โดยใช้อุปกรณ์ลอจิกแบบโปรแกรมได้ เพื่อดักจับข้อมูลและพัฒนาซอฟต์แวร์บนเครื่องส่วนบุคคล

ข้อจำกัดของงานวิจัยนี้คืองานวิจัยนี้เป็นการทดสอบการทำงานที่จำลองขึ้น โดยไม่ได้เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ใช้งานจริง เช่น ระบบการออกอากาศเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม (Broadcasting) ที่มีกำลังส่งสูงเพราะกำลังส่งของการออกอากาศระบบวิทยุกระจายเสียงอาจจะมีผลต่อประสิทธิภาพในด้านสัญญาณรบกวน

งานวิทยานิพนธ์ที่จัดทำขึ้นมานี้มีข้อดีที่นางสาวรฤก รักความสุข ในเรื่องการทดสอบเพราะทดสอบกับอุปกรณ์ใช้งานจริงของระบบการออกอากาศเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็มที่มี

กำลังส่งสูงเพราะกำลังส่งของการออกอากาศระบบวิทยุกระจายเสียงอาจมีผลต่อประสิทธิภาพในด้านสัญญาณรบกวน

เนื่องจากในงานวิจัยอื่นๆ ที่ผ่านมายังไม่เคยนำไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลไมโครชิป มาใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ทางการออกอากาศวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็ม หรือควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็มที่มีกำลังออกอากาศสูงผ่านระบบเครือข่ายและไม่เคยมีการทดสอบประสิทธิภาพในด้านเวลาตอบสนอง ด้านอัตราการไหลผ่านของข้อมูล และความสามารถด้านความพร้อมใช้งานของการเข้าถึงการทำงานของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ซึ่งทำหน้าที่เป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์ สำหรับควบคุมระบบส่งวิทยุเอฟเอ็ม ดังกล่าว

ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นในการวัดประสิทธิภาพของระบบควบคุมการออกอากาศวิทยุกระจายเสียงโดยผ่านระบบสมองกลฝังตัวขนาดเล็กผ่านอินเทอร์เน็ต ซึ่งมีการติดต่อสื่อสารผ่านระบบ LAN โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 16 บิต ที่หาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาดราคาถูก และสามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย และแก้ไขจำกัดในด้านดิจิทัล อินพุต เอาต์พุต และอินพุตแอนะล็อกให้สามารถเพิ่มขยายจำนวนขาเชื่อมต่อได้ ซึ่งบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลไมโครชิปที่มีคุณสมบัติที่สามารถทำงานเป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์แบบ TCP/IP ที่ทำงานร่วมกับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ทางการออกอากาศวิทยุกระจายเสียงที่มีกำลังส่งในการออกอากาศสูง โดยเฉพาะเครื่องส่งวิทยุ FM กำลังส่งออกอากาศ 2 กิโลวัตต์ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานผิดพลาดได้เพราะเกิดสัญญาณรบกวน ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดงานวิจัยนี้ มีการวัดประสิทธิภาพในงานใช้งานจริงด้านความเร็วที่เกี่ยวข้องกับเวลาตอบสนอง ด้านความถูกต้อง เกี่ยวกับความเชื่อถือได้ในการรับส่งข้อมูล และความสามารถด้านความพร้อมใช้งาน

### บทที่ 3

## การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ควบคุมการทำงานเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม โดยใช้เครือข่าย

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการงานและวิธีการออกแบบฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ เพื่อสร้างเครื่องมือ ในการรับคำสั่งจากผู้ไปควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็มและแสดงผลการทำงานของระบบการออกอากาศวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็ม โดยผ่านระบบเครือข่ายแลน โดยการทำงานนี้จะใช้ บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ของบริษัท ETT เป็นอุปกรณ์หลักเพื่อควบคุมการทำงาน

ข้อจำกัดในด้านความสามารถเครื่องส่งวิทยุ FM ระบบเดิม

1. ลักษณะการติดตั้งของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็มไกลจากสำนักงาน พนักงานเข้าถึงยากเมื่อเกิดปัญหาขัดข้อง

2. ไฟแสดงสถานะการทำงานที่หน้าเครื่องส่งวิทยุ FM มีจำกัด ไม่แสดงสถานะการทำงานที่ผิดปกติในด้านอื่นๆ เช่น

AFC FAULT แสดงสถานะ Exciter เกิดปัญหาขัดข้อง

PA FAULT แสดงสถานะ PA เกิดปัญหาขัดข้อง

PS FAULT แสดงสถานะ Power supply เกิดปัญหาขัดข้อง

IPA FAULT แสดงสถานะ IPA เกิดปัญหาขัดข้อง

3. เมื่อเครื่องส่งวิทยุ FM เกิดขัดข้อง ทำให้พนักงานหรือช่างซ่อมบำรุงเสียเวลาในการวินิจฉัย และเสียเวลาในการเตรียมอุปกรณ์เครื่องมือในการตรวจสอบ

4. พนักงานหรือผู้ใช้ไม่สามารถตรวจสอบสถานะหรือควบคุมการทำงานจากที่อื่นได้ เช่น ที่บ้าน หรือภายนอกสถานปฏิบัติงาน

ข้อดีและประโยชน์ของงานวิจัย

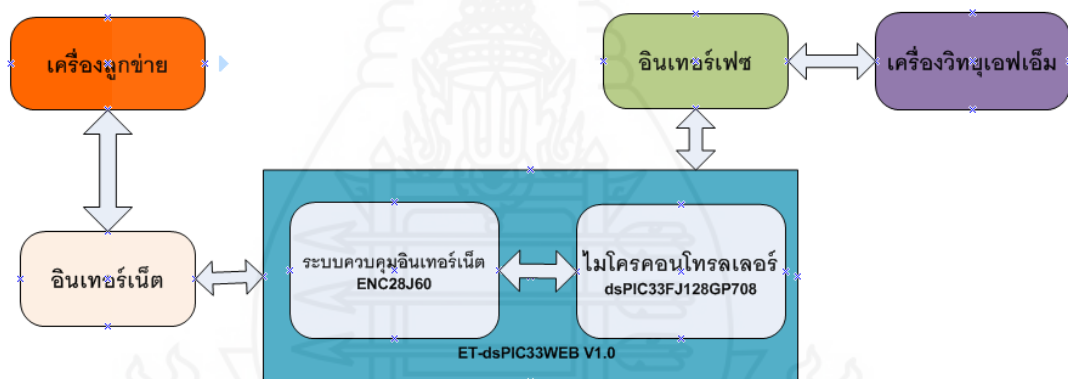
1. พนักงานหรือผู้ใช้สามารถเข้าถึงง่ายเมื่อเกิดปัญหาและวินิจฉัยอาการเสียของเครื่องได้ง่าย เช่น เมื่อระบบการออกอากาศวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็ม เกิดพลังงานสะท้อนกลับ (Power Reflected)

2. พนักงานหรือผู้ใช้สามารถตรวจสอบสถานะหรือควบคุมการทำงานจากที่อื่นได้

3. สามารถควบคุมระบบการออกอากาศวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็ม ผ่านอุปกรณ์ประเภท สมาร์ทโฟน หรือแท็บเล็ตที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android และระบบปฏิบัติการ IOS โดยไม่จำเป็นต้องมอนิเตอร์อยู่หน้าแผงควบคุมระบบการออกอากาศวิทยุเอฟเอ็ม ตลอดเวลา

4. สามารถใช้บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ที่ประกอบด้วย ENC28J60 ที่ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อระบบการสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับโครงข่ายอินเทอร์เน็ตของบริษัท ETT ที่หาซื้อได้ในประเทศ ราคาถูกและมีประสิทธิภาพสามารถประยุกต์ใช้งานในด้านการออกอากาศที่มีกำลังส่งสูง ขององค์กรขนาดใหญ่ เช่น บริษัทองค์การสื่อสารมวลชนแห่งประเทศไทยจำกัด (มหาชน)

## 1. หลักการทำงานของระบบเครือข่ายสมองกลฝังตัวขนาดเล็ก สำหรับควบคุมการออกอากาศระบบเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม



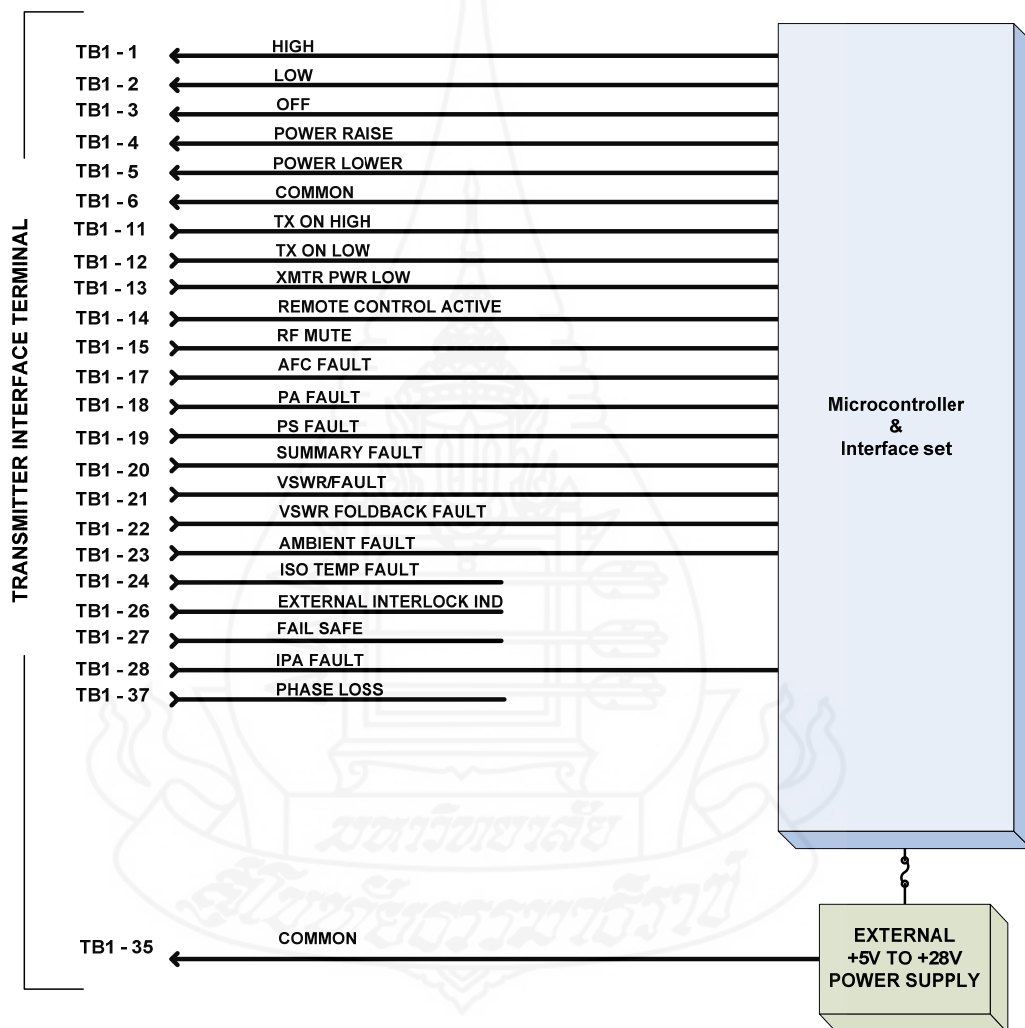
ภาพที่ 3.1 องค์ประกอบพื้นฐานการควบคุมระบบการออกอากาศวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็ม

จากภาพที่ 3.1 เป็นการแสดงองค์ประกอบพื้นฐานการควบคุมระบบการออกอากาศวิทยุเอฟเอ็มเมื่อเครื่องลูกข่ายมีการสั่งงานเพื่อควบคุมระบบการออกอากาศวิทยุเอฟเอ็มผ่านอินเทอร์เน็ตไปยังบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ซึ่งประกอบไปด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC33FJ128GP708 ทำงานร่วมกับระบบควบคุมอินเทอร์เน็ต ENC28J60 เพื่อส่งสัญญาณคำสั่งควบคุมออกทางขาเอาต์พุตผ่านชุดอินเทอร์เน็ตเฟซไปควบคุมเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม และเมื่อเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็มทำงานตามคำสั่ง ก็จะส่งสัญญาณสถานะการทำงานของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม เข้าทางอินพุตชุดอินเทอร์เน็ตเฟซกลับเข้ามาบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 มาแสดงผลการทำงานที่เครื่องลูกข่าย

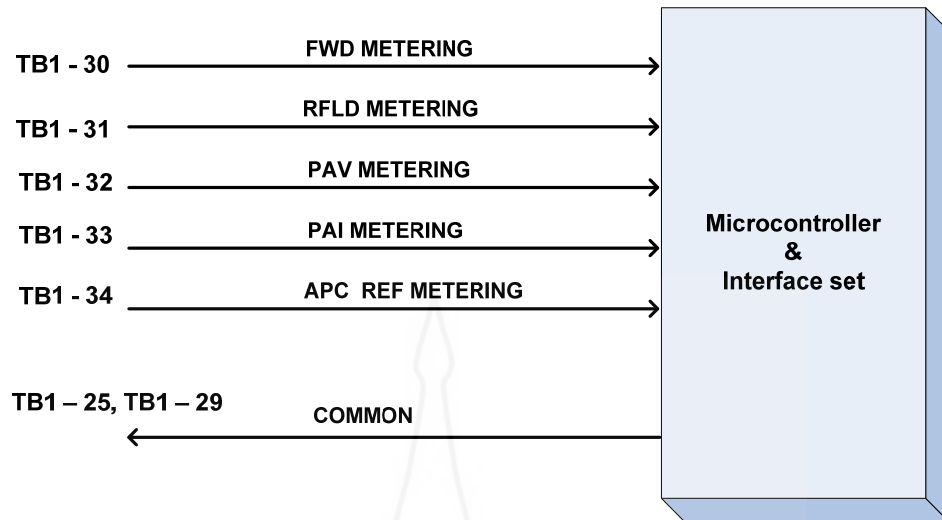


### 1.1 เครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม (FM Transmitter)

ในระบบของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม ผู้วิจัยได้ค้นคว้าหาข้อมูลเกี่ยวกับการเชื่อมต่อระบบควบคุมทางไกลของตัวเครื่อง เพื่อให้สามารถควบคุมและตรวจสอบสถานะการทำงานของเครื่องได้ เช่นเครื่องส่งจะรับคำสั่งจากบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 เพื่อควบคุมการทำงานว่า ON หรือ OFF และมีการส่งข้อมูลเพื่อตรวจสอบสถานะการทำงานของเครื่องส่งโดยจุดต่อที่หลังเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็มที่จะนำไปใช้งานมีดังภาพที่ 3.2 และภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.2 ตำแหน่งเชื่อมต่อเพื่อควบคุมและแสดงผลสถานะการทำงานที่นำไปใช้งาน  
ที่มา : ดัดแปลงมาจาก Harris Corporation 2000, 2001 (2003: 2-25)



ภาพที่ 3.3 ตำแหน่งเชื่อมต่อแสดงผลการตรวจวัดค่าการทำงานต่างๆ

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก Harris Corporation 2000, 2001 (2003: 2-26)

## 1.2 ชุดส่วนติดต่อเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม (Interface set)

จุดเชื่อมต่ออินพุตสำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ที่นำไปแสดงที่หน้าเว็บเพจ ในงานวิจัยนี้ แสดงรายละเอียดในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 จุดเชื่อมต่ออินพุตสำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม

TB1-1	XMTR_ON_HIGH	การควบคุมระยะไกลเพื่อสั่งงาน High power ON จะทำงานที่สถานะ Active Low
TB1-2	XMTR_ON_LOW	การควบคุมระยะไกลเพื่อสั่งงาน LOW power ON จะทำงานที่สถานะ Active Low (กำลังส่งของเครื่องส่งจะลดลงมาครึ่งหนึ่งของกำลังส่งสถานะปกติ)
TB1-3	XMTR_ON_OFF	การควบคุมระยะไกลเพื่อสั่งงานปิดเครื่องส่ง จะทำงานที่สถานะ Active Low
TB1-4	XMTR_RAISE	การควบคุมระยะไกลเพื่อสั่งงานการเพิ่มกำลังเครื่องส่ง จะทำงานที่สถานะ Active Low
TB1-5	XMTR_LOWER	การควบคุมระยะไกลเพื่อสั่งงานการลดกำลังเครื่องส่ง จะทำงานที่สถานะ Active Low

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก Harris Corporation 2000, 2001 (2003: 2-30)

จุดเชื่อมต่อเอาต์พุตแสดงสถานะการทำงานของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็มไปยัง ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่นำไปแสดงที่หน้าเว็บเพจของงานวิจัยนี้ แสดงรายละเอียดในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 จุดเชื่อมต่อเอาต์พุตแสดงสถานะการทำงานของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม

TB1-11	XMTR_ON_HIGH_IND	แสดงสถานะ High power
TB1-12	XMTR_ON_LOW_IND	แสดงสถานะ LOW power (กำลังส่งของเครื่องส่ง เครื่องหนึ่งที่กำลังส่งสถานะปกติ)
TB1-13	XMTR_PWR_LOW_IND	แสดงสถานะกำลังส่งของเครื่องส่งผิดปกติหรือกำลังส่ง ตก
TB1-14	LOC_REM_IND	แสดงสถานะการใช้งาน Remote
TB1-15	MUTE_IND	แสดงสถานะเมื่อเครื่องส่ง Mute
TB1-17	AFC_FAULT	แสดงสถานะ Exciter เสีย
TB1-18	PA_FAULT	แสดงสถานะเมื่อ PA เสีย เช่น PA Overcurrent, PA Undercurrent PA Overtemp
TB1-19	PS_FAULT	แสดงสถานะเมื่อ Power supply เกิดปัญหาขัดข้อง
TB1-20	SUMMARY_FAULT	แสดงสถานะโดยรวมทั้งหมดเมื่อเกิดปัญหาขัดข้อง
TB1-21	VSWR_FAULT	แสดงสถานะเครื่องส่งมีการตรวจพบค่า VSWR สูง ผิดปกติ
TB1-23	AMBIENT_FAULT	แสดงสถานะเมื่ออุณหภูมิภายในเครื่องส่งฯ สูง
TB1-26	INTERLOCK_IND	แสดงสถานะระบบ Interlock ของเครื่องส่งฯ
TB1-28	IPA_FAULT	แสดงสถานะโมดูล IPA เสีย เช่น IPA over current, IPA Over temp, IPA overload

ที่มา : ดัดแปลงมาจาก Harris Corporation 2000, 2001 (2003: 2-30 – 2-31)

จุดต่อเอาต์พุตแอนะล็อกเพื่อนำไปแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ นำไปแสดงที่ เว็บเพจแสดงรายละเอียดในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 จุดต่อเอาต์พุตแอนะล็อกเพื่อนำไปใช้งาน

TB1-30	FWD_PWR_SAMPLE	เอาต์พุตสัญญาณแอนะล็อก Power output 3.5V = 120 %
TB1-31	REL_PWR_SAMPLE	เอาต์พุตสัญญาณแอนะล็อก Reflected power 3.5V = full scale
TB1-32	PAV_SAMPLE	เอาต์พุตสัญญาณแอนะล็อก แสดงค่า PA Voltage 3.5V = full scale
TB1-33	PAI_SAMPLE	เอาต์พุตสัญญาณแอนะล็อก แสดงค่า PA Current 3.5V = full scale

ที่มา : ดัดแปลงมาจาก Harris Corporation 2000, 2001 (2003: 2-31)

### 1.3 บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1

บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ที่ใช้ในงานวิจัยนั้น เป็นการทำงานร่วมกันระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ dsPIC33FJ128GP708 กับอินเทอร์เน็ตคอนโทรลเลอร์ เบอร์ ENC28J60 จะมีสัญญาณให้ใช้งานได้โดยอิสระมากถึง 69 อินพุต/เอาต์พุต โดยหน้าที่หลักของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 คือ

PGD3/EMUD3/AN0/CN2/RB0	20	RB0
PGC3/EMUC3/AN1/CN3/RB1	19	RB1
AN2/SS1/CN4/RB2	18	RB2
AN3/CN5/RB3	17	RB3
AN4/CN6/RB4	16	RB4
AN5/CN7/RB5	15	RB5
PGC1/EMUC1/AN6/OCFA/RB6	21	RB6
PGD1/EMUD1/AN7/RB7	22	RB7
U2CTS/AN8/RB8	27	RB8
AN9/RB9	28	RB9
AN10/RB10	29	RB10
AN11/RB11	30	RB11
TCK/AN12/RB12	33	RB12
TDI/AN13/RB13	34	RB13
U2RTS/AN14/RB14	35	RB14
AN15/OCFB/CN12/RB15	36	RB15

} สัญญาณเอาต์พุตควบคุมการทำงาน  
เครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม

ภาพที่ 3.4 ตำแหน่งการเชื่อมต่อสัญญาณควบคุมการปิดเปิดระบบส่งวิทยุเอฟเอ็ม

จากภาพที่ 3.4 แสดงจุดต่อสำหรับควบคุมการปิดเปิดระบบเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็ม มาเชื่อมต่อกับบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ขาที่ใช้งานแสดงรายละเอียดในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 การต่อขาไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อส่งคำสั่งเอาต์พุตกับจุดเชื่อมต่อเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม

ไมโครคอนโทรลเลอร์	เครื่องส่งวิทยุ	หน้าที่
RB11	TB1-1	สั่งงาน High power ON
RB12	TB1-2	สั่งงาน LOW power ON
RB13	TB1-3	สั่งงานปิดเครื่องส่ง
RB14	TB1-4	สั่งงานการเพิ่มกำลังเครื่องส่ง
RB15	TB1-5	สั่งงานการลดกำลังเครื่องส่ง

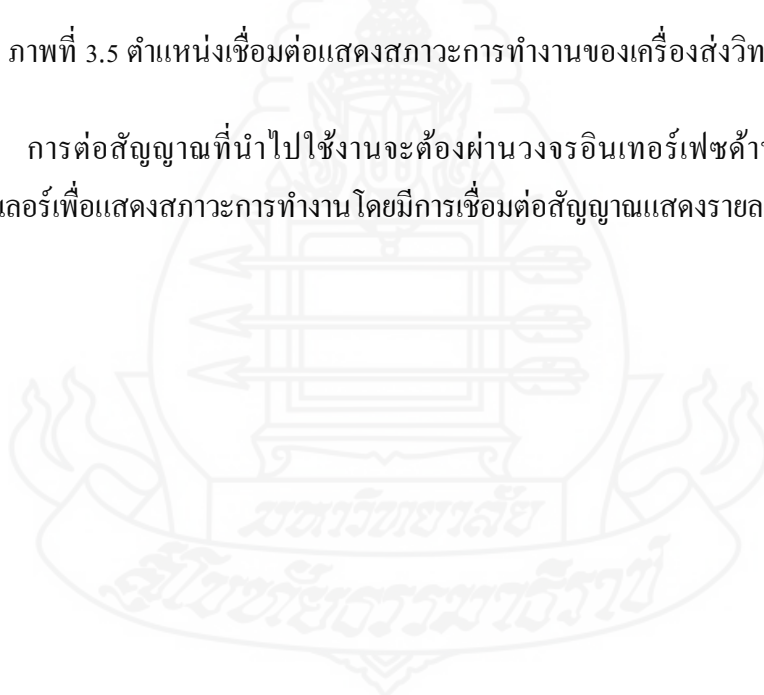
การแสดงสถานะการทำงานของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็มที่จะนำมาเชื่อมต่อกับบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 แสดงรายละเอียดในภาพที่ 3.5

OC1/RD0	58	RD0
OC2/RD1	61	RD1
OC3/RD2	62	RD2
OC4/RD3	63	RD3
OC5/CN13/RD4	66	RD4
OC6/CN14/RD5	67	RD5
OC7/CN15/RD6	68	RD6
OC8/CN16/RD7	69	RD7
IC1/RD8	54	RD8
IC2/RD9	55	RD9
IC3/RD10	56	RD10
IC4/RD11	57	RD11
IC5/RD12	64	RD12
IC6/CN19/RD13	65	RD13
IC7/U1CTS/CN20/RD14	37	RD14
IC8/U1RTS/CN21/RD15	38	RD15

สัญญาณอินพุตแสดงสถานะการทำงานของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม

ภาพที่ 3.5 ตำแหน่งเชื่อมต่อแสดงสภาวะการทำงานของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม

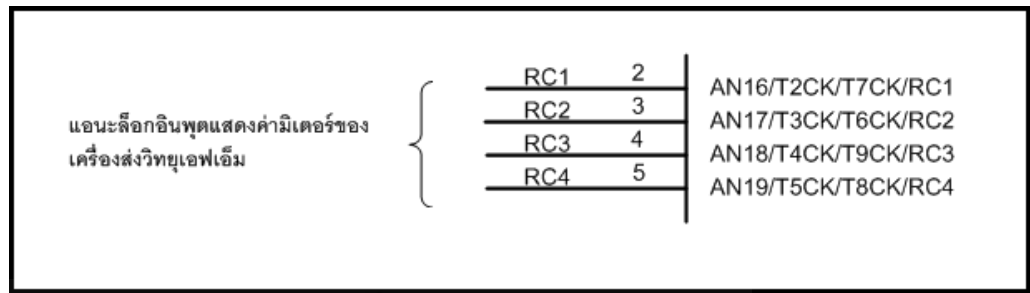
การต่อสัญญาณที่นำไปใช้งานจะต้องผ่านวงจรอินเทอร์เฟซด้านอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อแสดงสภาวะการทำงานโดยมีการเชื่อมต่อสัญญาณแสดงรายละเอียดในตารางที่ 3.5



ตารางที่ 3.5 การต่อขาไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อแสดงสถานะอินพุตกับจุดเชื่อมต่อเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม

ไมโครคอนโทรลเลอร์	เครื่องส่งวิทยุ	หน้าที่
RD7	TB1-11	แสดงสถานะ High power
RD8	TB1-12	แสดงสถานะ LOW power (กำลังส่งของเครื่องส่ง ครั้งหนึ่งของกำลังส่งสถานะปกติ)
RD9	TB1-13	แสดงสถานะกำลังส่งของเครื่องส่งผิดปกติหรือกำลัง ส่งตก
RD10	TB1-14	แสดงสถานะการใช้งาน Remote
RD11	TB1-15	แสดงสถานะเมื่อเครื่องส่ง Mute
RD12	TB1-17	แสดงสถานะ Exciter เสีย
RD13	TB1-18	แสดงสถานะเมื่อ PA เสีย เช่น PA Overcurrent, PA Undercurrent, PA Overtemp
RB0	TB1-19	แสดงสถานะเมื่อ Power supply เกิดปัญหาขัดข้อง
RB1	TB1-20	แสดงสถานะโดยรวมทั้งหมดเมื่อเกิดปัญหาขัดข้อง
RB2	TB1-21	แสดงสถานะเครื่องส่งมีการตรวจพบค่า VSWR สูง ผิดปกติ
RB3	TB1-23	แสดงสถานะเมื่ออุณหภูมิภายในเครื่องส่งฯ สูง
RB4	TB1-26	แสดงสถานะระบบ Interlock ของเครื่องส่งฯ
RB5	TB1-28	แสดงสถานะโมดูล IPA เสีย เช่น IPA over current, IPA Over temp, IPA overload

การแสดงผลไมเตอร์เอาต์พุตแอนะล็อกเพื่อนำไปแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลเพื่อตรวจสอบค่ามิเตอร์การทำงานของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็มที่จะนำมาเชื่อมต่อกับบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 แสดงรายละเอียดในภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 ตำแหน่งเชื่อมต่อสัญญาณเอาต์พุตแอนะล็อกกับบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1

การต่อสัญญาณที่นำไปใช้งานจะต้องผ่านวงจรอินเทอร์เฟซด้านอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อแสดงมิเตอร์การทำงานโดยมีการเชื่อมต่อสัญญาณแสดงรายละเอียดในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 การต่อขาไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อแสดงสถานะอินพุตแอนะล็อกกับจุดเชื่อมต่อเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม

ไมโครคอนโทรลเลอร์	เครื่องส่งวิทยุ	หน้าที่
RC1	TB1-30	เอาต์พุตสัญญาณแอนะล็อก Power output 3.5V = 120 %
RC2	TB1-31	เอาต์พุตสัญญาณแอนะล็อก Reflected power 3.5V = full scale
RC3	TB1-32	เอาต์พุตสัญญาณแอนะล็อก แสดงค่า PA Voltage 3.5V = full scale
RC4	TB1-33	เอาต์พุตสัญญาณแอนะล็อก แสดงค่า PA Current 3.5V = full scale

#### 1.4 การเชื่อมต่อสัญญาณอินเทอร์เน็ท

การเชื่อมต่อสัญญาณอินเทอร์เน็ท สามารถเชื่อมต่อผ่านเครือข่ายแลน และในระบบอินเทอร์เน็ทจากภายนอก โปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์ที่ใช้คือ Internet Explorer หรือ โปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์ทั่วไปโดยวิธีการกำหนดค่า Configuration ของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 จะแก้ไขผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรม RS232 ช่อง 2 (RS232-CH2) โดยใช้โปรแกรม Serial Terminal คือ Hyper Terminal โดยให้สั่งเชื่อมต่อด้วยเงื่อนไขดังนี้



Baudrate = 19200BPS

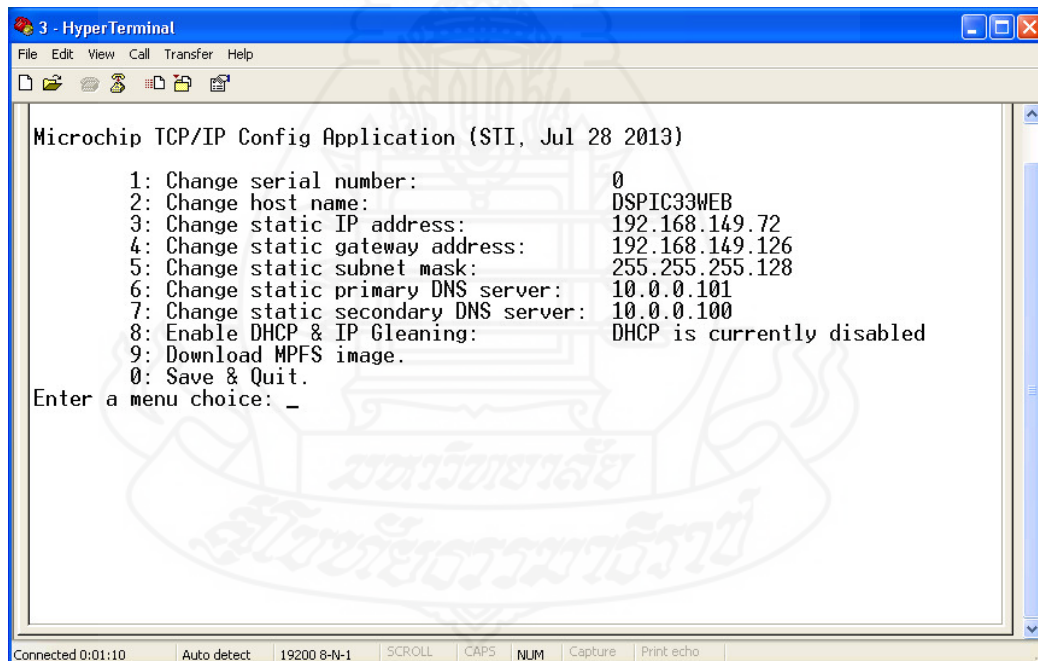
Data Bit = 8 Bit

Parity Bit = None

Stop Bit = 1 Bit

Flow Control = None

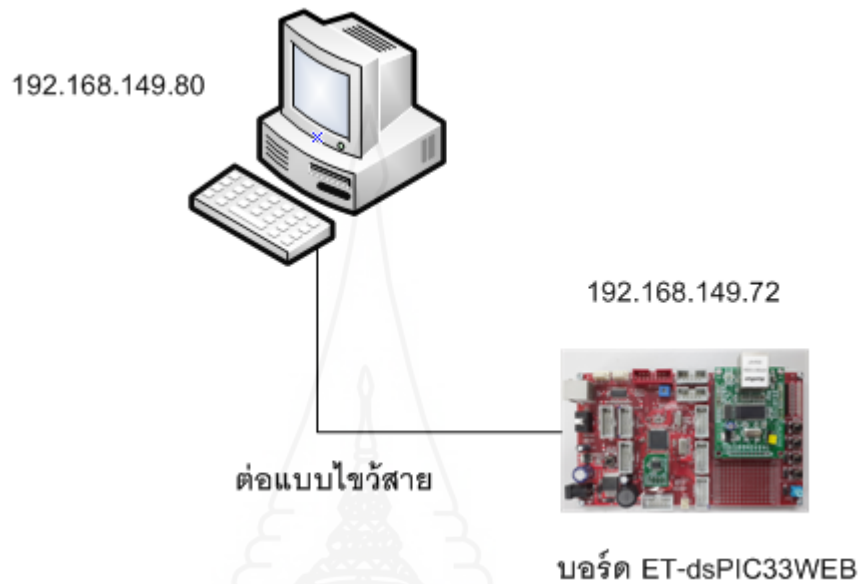
เมื่อเปิดโปรแกรม Hyper Terminal และกำหนดการเชื่อมต่อเรียบร้อยแล้ว พร้อมกับต่อสายสัญญาณจาก RS232-CH2 ของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 กับ Comport PC แล้ว ทำการกดสวิทช์ SW1 ที่ต่อกับ Port-RD8 ค้างไว้พร้อมกับกดสวิทช์ RESET ของบอร์ดแล้วปล่อย โดยที่ SW1 ยังกดค้าง ก็จะเข้าสู่โหมดการ Setup Configuration ของบอร์ด จะมีการส่งข้อความและเมนูคำสั่งกลับมาทางพอร์ต RS232-CH2 ซึ่งสามารถกดคีย์ เลือกตัวเลขตามหัวข้อต่างๆ เพื่อทำการเปลี่ยนแปลงแก้ไขค่า Configuration ต่างๆ ได้ดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 การเปลี่ยนแปลงแก้ไขค่า Configuration ต่างๆ

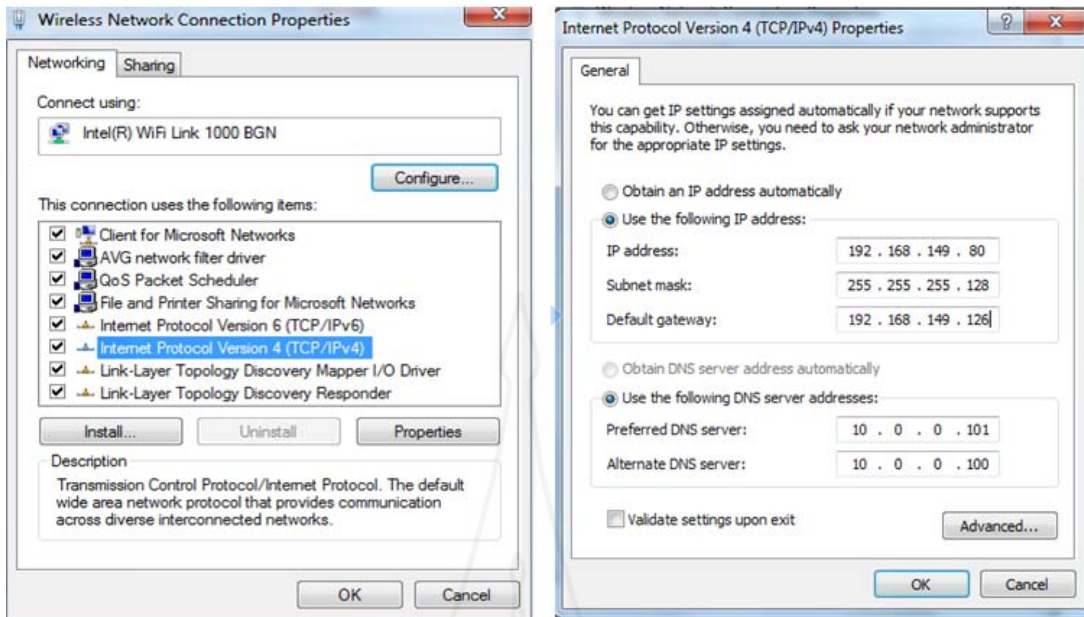
ลักษณะการเชื่อมต่อสายแลนระหว่างบอร์ด เข้ากับระบบเครือข่ายแลนโดย กรณีที่เชื่อมต่อผ่านสับจะต้องใช้สายแบบต่อตรง และกรณีที่เชื่อมต่อเข้ากับการ์ดแลนของเครื่องคอมพิวเตอร์จะต้องใช้สายแบบไขว้ เพราะอุปกรณ์เหมือนกันเมื่อเชื่อมต่อกันต้องใช้สาย LAN

แบบครอส (Crossover Cable) เนื่องจาก ET-dsPIC33WEB V1 เปรียบเสมือนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นเซิร์ฟเวอร์ ดังภาพที่ 3.8



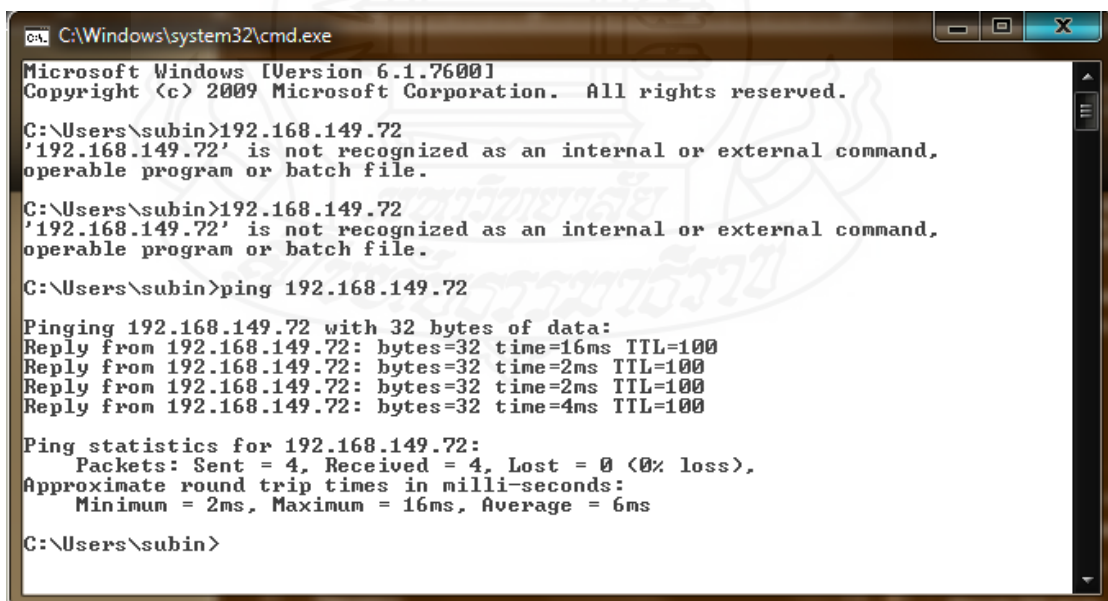
ภาพที่ 3.8 แสดงการเชื่อมต่อ ET-dsPIC33WEB V1 เข้ากับการ์ดแลนของคอมพิวเตอร์

ทำการเซตค่า IP Address ของคอมพิวเตอร์ให้ Subnet mask: และ IP address ให้เป็นคลาสเดียวกันกับบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 โดย IP ของบอร์ด คือ 192.168.149.72 และตั้งค่า IP ของเครื่องคอมพิวเตอร์ให้เป็น 192.168.149.80 ดังปรากฏในภาพที่ 3.9



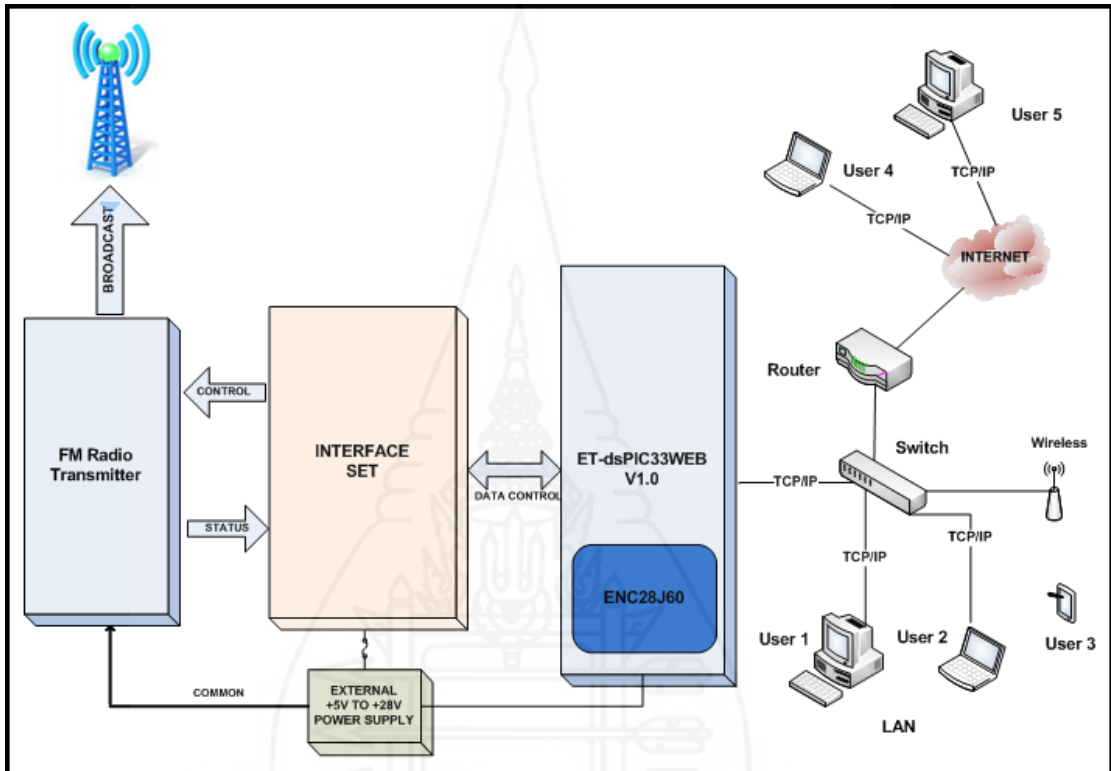
ภาพที่ 3.9 การตั้งค่า IP ของเครื่องคอมพิวเตอร์ให้เป็น 192.168.149.80

ทดสอบการเชื่อมต่อโดยใช้วิธีการ Ping ไปที่หมายเลข IP ของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 นี้ คือ 192.168.149.72 โดยพิมพ์คำสั่ง ping 192.168.149.72 แล้ว Enter โดยผลจากการ Ping หากการเชื่อมต่อสมบูรณ์ ก็จะแสดงข้อความดังภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 แสดงผลจากการ Ping มีการเชื่อมต่อสมบูรณ์

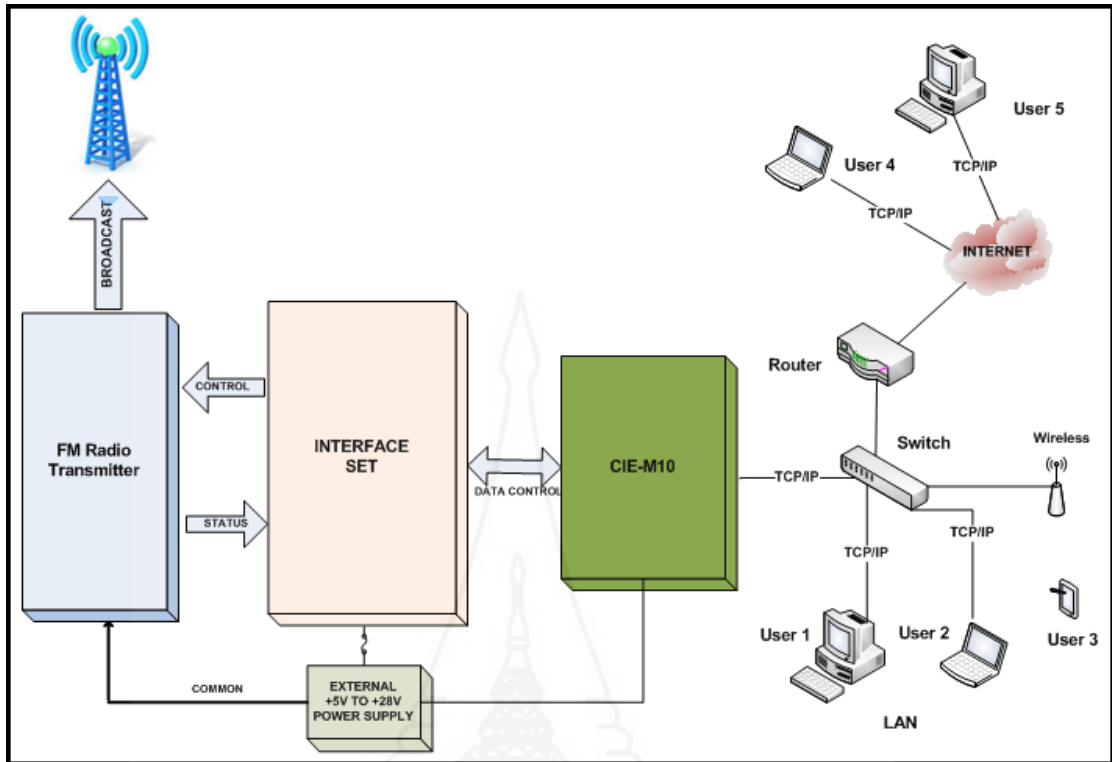
ระบบการควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็มมีชุดเชื่อมต่อระหว่างเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็มกับบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 สำหรับเชื่อมต่อสัญญาณควบคุม สัญญาณสถานะการทำงาน และแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้ลดต่ำลงเพื่อให้สามารถทำงานได้กับบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ดังแสดงรายละเอียดในภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.11 ระบบของการควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็ม ใช้บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1

จากภาพที่ 3.11 การเชื่อมต่อเครือข่ายแลนใช้สวิตซ์ทำหน้าที่ขยายพอร์ตการเชื่อมต่อสำหรับควบคุมระบบส่งวิทยุเอฟเอ็มผ่านบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ของพนักงานที่อยู่ในพื้นที่ภายในอาคารสำนักงาน แต่สำหรับการเชื่อมต่อเครือข่ายอินเทอร์เน็ตจะเป็นการควบคุมระบบส่งวิทยุเอฟเอ็มระยะไกลเมื่อพนักงานอยู่นอกสถานที่

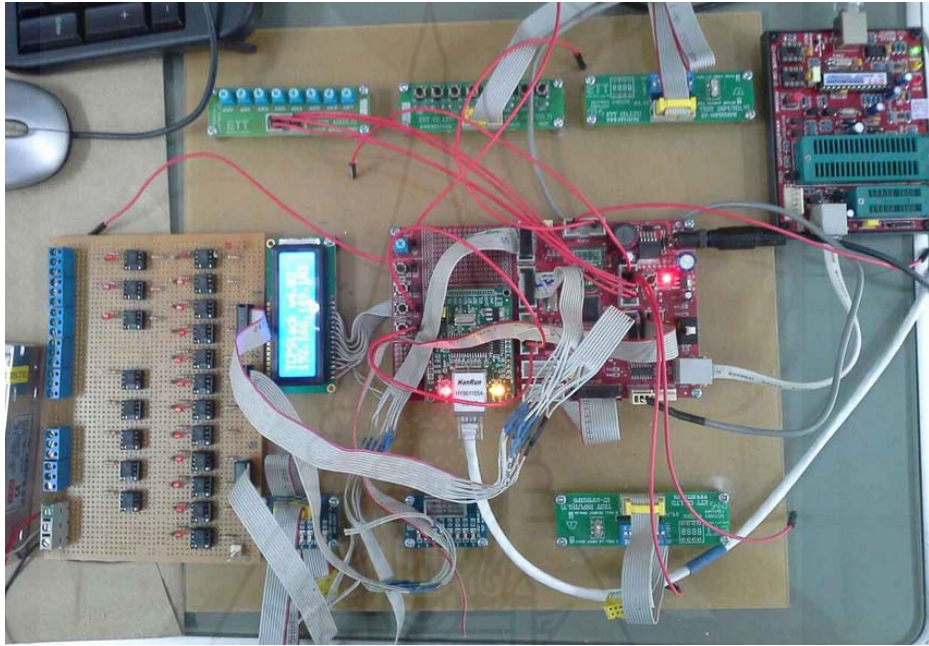
ส่วนระบบการควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็มมีชุดเชื่อมต่อระหว่างเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็มกับบอร์ด CIE-M10 สำหรับเชื่อมต่อสัญญาณควบคุมสถานะการทำงาน และแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้ลดต่ำลงเพื่อให้สามารถทำงานได้กับบอร์ด CIE-M10 ดังแสดงรายละเอียดในภาพที่ 3.12



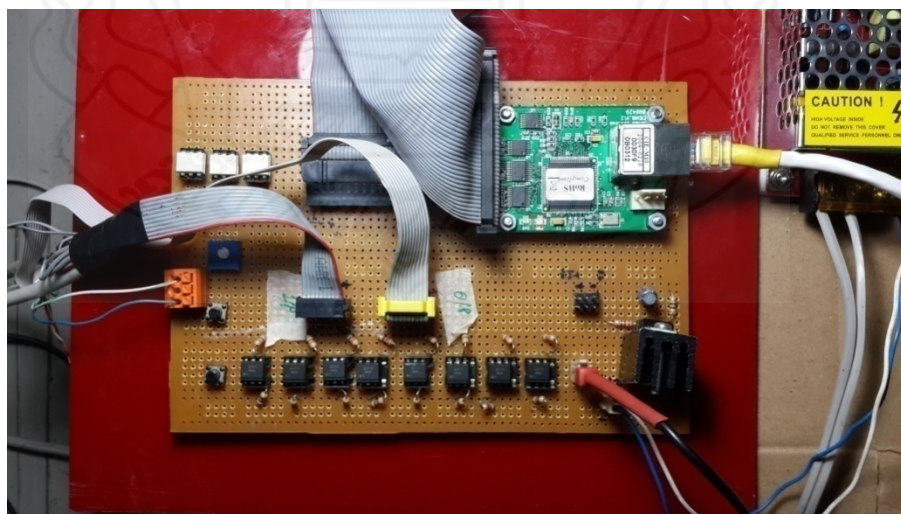
ภาพที่ 3.12 ระบบของการควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็ม ใช้บอร์ด CIE-M10

จากภาพที่ 3.12 การเชื่อมต่อเครือข่ายแลนใช้สวิทซ์ทำหน้าที่ขยายพอร์ตการเชื่อมต่อสำหรับควบคุมระบบส่งวิทยุเอฟเอ็มผ่านบอร์ด CIE-M10 ของพนักงานที่อยู่ในพื้นที่ภายในอาคารสำนักงาน แต่สำหรับการเชื่อมต่อเครือข่ายอินเทอร์เน็ตจะเป็นการควบคุมระบบส่งวิทยุเอฟเอ็มระยะไกลเมื่อพนักงานอยู่นอกสถานที่ ซึ่งมีหลักการเชื่อมต่อเครือข่ายแลนเหมือนกับบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1

ผู้วิจัยทดสอบและพัฒนาโปรแกรมโดยใช้โปรแกรมภาษาซี เพื่อควบคุมการทำงาน และตรวจสอบสถานะการทำงานตามเงื่อนไขต่างๆ โดยใช้บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 แสดงรายละเอียดในภาพที่ 3.13 และเพื่อเปรียบเทียบในการวัดประสิทธิภาพการควบคุมระบบส่งวิทยุ เอฟเอ็ม กับบอร์ด CIE-M10 ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบชุดอินเทอร์เฟซเพื่อการทดสอบดังภาพที่ 3.14

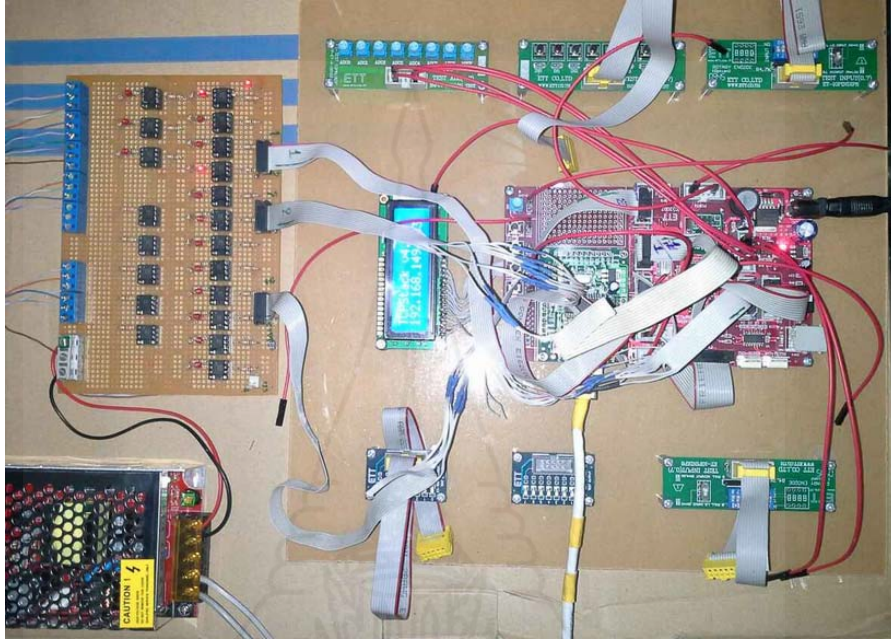


ภาพที่ 3.13 พัฒนาโปรแกรมเพื่อทำการทดสอบการทำงานบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1



ภาพที่ 3.14 พัฒนาโปรแกรมเพื่อทำการทดสอบการทำงานบอร์ด CIE-M10

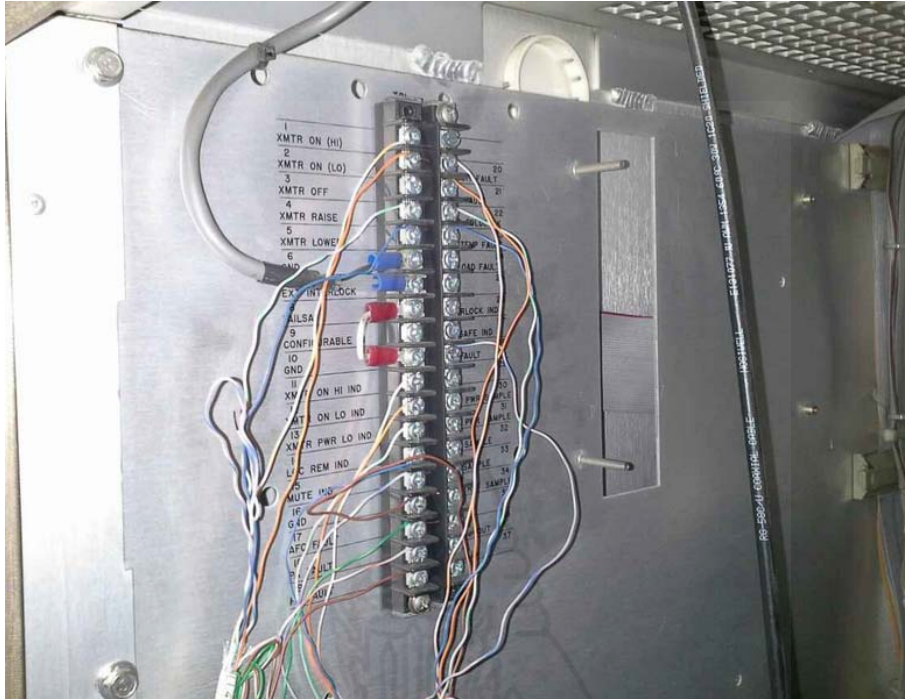
การเชื่อมต่อสายเอาต์พุตและอินพุตของ บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 กับชุดอินเทอร์เฟซเพื่อไปควบคุมการทำงานของระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็ม แสดงรายละเอียดในภาพที่ 3.15



ภาพที่ 3.15 การเชื่อมต่อสายเอาต์พุตและอินพุต



จุดเชื่อมต่อสำหรับควบคุมและแสดงสถานะการออกอากาศของระบบส่งวิทยุเอฟเอ็ม  
ที่มาจากชุดอินเทอร์เฟซ แสดงรายละเอียดในภาพที่ 3.16



ภาพที่ 3.16 จุดต่อระบบควบคุมการออกอากาศของระบบเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็ม

หน้าเว็บเพจสำหรับควบคุมการทำงานและแสดงสถานะการทำงาน โดยมีแอนะล็อกอินพุตจำนวน 4 ช่อง เพื่อแสดงค่า PWR FWD, REF FWD, PA VOLTS และ PA AMPS ดิจิทัลอินพุตจำนวน 15 ช่อง และดิจิทัลเอาต์พุตจำนวน 4 ช่อง แสดงรายละเอียดในภาพที่ 3.17



dsPIC33WEB TEST

Station : STI  
Build date: Jan 21 2015 23:42:38

PWR FWD	2011 w.
RFL FWD (VSWR)	1
PA VOLTS	51 V.
PA AMPS	62 A.

Status :

ON HIGH	ON LOW	PWR LOW	REMOTE
U-LINK	PILOT		

Alarm :

RF MUTE	AFC	PA	PS	SUM FAULT
VSWR	FOLDBACK	AMBIENT	IPA	

Controls:

ON HIGH ON LOW RAISE LOWER OFF

ภาพที่ 3.17 หน้าเว็บเพจสำหรับควบคุมการทำงานและแสดงสถานะการทำงานของ  
การออกอากาศของระบบส่งวิทยุเอฟเอ็ม

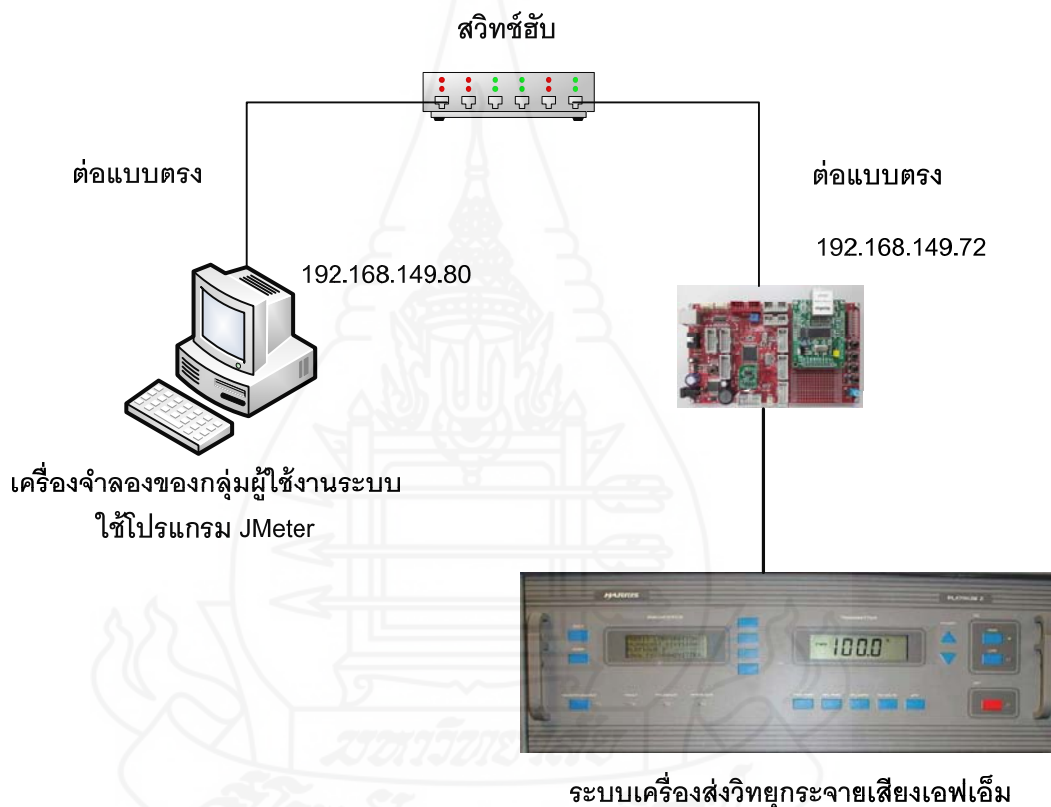
## 2. การทดสอบประสิทธิภาพ

การวัดประสิทธิภาพการควบคุมระบบการทำงานของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ที่เชื่อมต่อกับระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม โดยผ่านระบบเน็ตเวิร์ก โดยใช้โปรแกรม JMeter เป็นเครื่องมือในการทดสอบ โดยการทดสอบนั้นจะมีเงื่อนไขในการทดสอบดังนี้

- 1) มีการปรับพารามิเตอร์ทางด้านกำลังส่งของเครื่องส่ง เพื่อทำการทดสอบการทำงานควบคุมผ่านหน้าเว็บเพจ
- 2) มีการปรับพารามิเตอร์ทางด้านภาระงานตามคุณลักษณะความต้องการของผู้ใช้ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ โดยใช้โปรแกรม JMeter ทดสอบ
- 3) มีการทดสอบเปรียบเทียบกันระหว่างการนำบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 และบอร์ด CIE-M10 เชื่อมต่อกับระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็มที่มีกำลังการออกอากาศสูง ควบคุมผ่านระบบเน็ตเวิร์กเพื่อตรวจสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงาน

4) มีการทดสอบเปรียบเทียบค่าผิดพลาดทางความถี่ในการเชื่อมต่อกับระบบควบคุมการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็มระหว่างบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 และบอร์ด CIE-M10 เพราะบอร์ด CIE-M10 เป็นโมดูลสมองกลฝังตัวขนาดเล็กที่มีลักษณะการทำงานเป็นโมดูลเซิร์ฟเวอร์ขนาดเล็ก มีระบบควบคุมเครือข่ายฝังตัวอยู่ภายใน ซึ่งมีลักษณะแตกต่างกับบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ที่มีระบบควบคุมเครือข่ายฝังตัวอยู่นอก

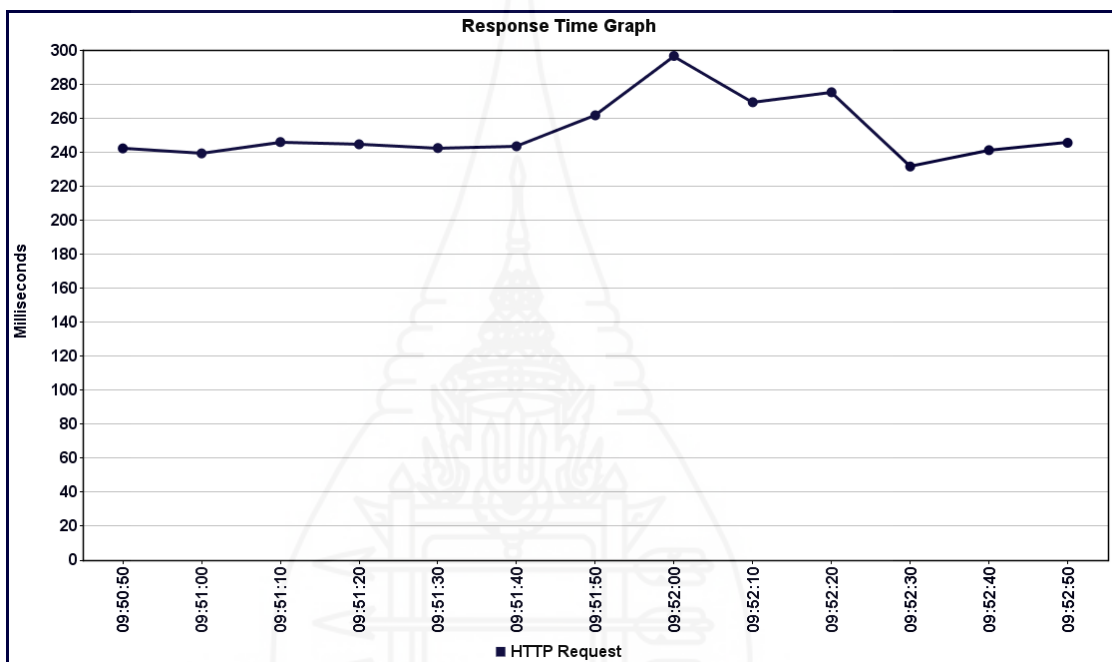
รูปแบบการต่อใช้งานเพื่อทำการวัดประสิทธิภาพการทำงานของระบบเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม ดังแสดงในภาพที่ 3.18



ภาพที่ 3.18 แสดงระบบการเชื่อมต่อเพื่อให้ได้รับผลจากการทดสอบประสิทธิภาพ

2.1 การวัดค่าเวลาตอบสนอง เป็นการวัดค่าของเวลาที่เริ่มนับตั้งแต่เครื่องลูกข่ายส่งแพ็กเก็ต Request ออกไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 เป็นการทดสอบการติดต่อระหว่างเครื่องต้นทางและปลายทาง โดยส่งแพ็กเก็ตขนาดเล็กออกไปจนกระทั่งได้รับแพ็กเก็ต

ข้อมูลครบทั้งหมดกลับมา หรือวัดค่าเวลาตอบสนอง โดยสั่งงานทุกคำสั่งที่เชื่อมต่อกับระบบควบคุมการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็มและวัดค่าเวลาในการส่งคำสั่งการ แสดงสถานะของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็มไปยังเครื่องลูก แต่ละสถานะการทำงาน เช่น เมื่อสั่งงานทุกคำสั่ง ON หรือ OFF การทำงานเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็มแล้วมีการแสดงสถานะการทำงาน ของเครื่องกลับมายังเครื่องลูกโดยใช้โปรแกรม JMeter ซึ่งเป็นโปรแกรมลักษณะ Open Source หรือ Freeware เพื่อนำกราฟมาวิเคราะห์เวลาตอบสนอง ดังภาพที่ 3.19



ภาพที่ 3.19 ตัวอย่างการใช้โปรแกรม JMeter สำหรับวัดค่าเวลาตอบสนอง

**2.2 การวัดอัตราการไหลผ่านของข้อมูล** เป็นการทดสอบอัตราการไหลของข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องลูกข่ายที่มีการส่งหรือรับข้อมูลกับบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ซึ่งมีการเชื่อมต่อกับระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็ม โดยที่อัตราของจำนวนบิตต่อวินาที ของการส่งผ่านอยู่ในเครือข่าย จะเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพในการเชื่อมต่อผ่านอินเทอร์เน็ต โดยทั่วไปการวัดอัตราปริมาณงานสูงสุดในเครือข่ายสามารถทำได้โดยทำการส่งไฟล์ขนาดใหญ่ครั้งหนึ่งแล้ววัดเวลาในการส่งไฟล์นั้นว่าใช้เวลาไปทั้งหมดเท่าใด จากนั้นทำการคำนวณหาปริมาณงาน โดยการนำขนาดของไฟล์ที่ใช้ส่งออกไปมาตั้งหารด้วยเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการส่งไฟล์นั้น โดยจะมีหน่วยวัดเป็นเมกะบิตต่อวินาที กิโลบิตต่อวินาที หรือ บิตต่อวินาที แต่ในการทดสอบนี้จะใช้โปรแกรม JMeter ทำการทดสอบ ดังภาพที่ 3.20



ภาพที่ 3.20 ตัวอย่างการใช้โปรแกรม JMeter สำหรับวัดค่าอัตราการไหลผ่านของข้อมูล

**2.3 การวัดความสามารถในการให้บริการของระบบ หรือความพร้อมใช้งาน** คือการวัดการทำงานของระบบงานที่ช่วยให้มั่นใจได้ว่าระบบที่พัฒนาขึ้นนั้นจะสามารถให้บริการได้ตามเงื่อนไขที่กำหนดโดยเป็นการวัดจากผู้ให้บริการส่งคำสั่งไปยังบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ที่เชื่อมต่อกับระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็ม หากระบบสามารถให้บริการได้เรียกว่า **“Availability”** แต่หากระบบไม่สามารถให้บริการได้เรียกว่าเกิด **“Unavailable”** และช่วงเวลาที่เกิด Unavailable นี้ เรียกว่า **“Downtime”** แสดงรายละเอียดในตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 เปรียบเทียบช่วงเวลาที่ระบบสามารถให้บริการได้ในระดับต่างๆ และช่วงเวลาที่ระบบให้บริการไม่ได้ ที่ยอมรับได้ในแต่ละช่วงเวลา

ช่วงเวลาที่ระบบสามารถ ให้บริการได้ /Availability (%)	ช่วงเวลาที่ระบบให้บริการไม่ได้ (Downtime)		
	ใน 1 ปี	ใน 1 เดือน	ใน 1 สัปดาห์
90% ("one nine")	36.5 วัน	72 ชั่วโมง	16.8 ชั่วโมง
95%	18.25 วัน	36 ชั่วโมง	8.4 ชั่วโมง
97%	10.96 วัน	21.6 ชั่วโมง	5.04 ชั่วโมง
98%	7.30 วัน	14.4 ชั่วโมง	3.36 ชั่วโมง
99% ("two nines")	3.65 วัน	7.20 ชั่วโมง	1.68 ชั่วโมง
99.5%	1.83 วัน	3.60 ชั่วโมง	50.4 นาที
99.8%	17.52 ชั่วโมง	86.23 นาที	20.16 นาที
99.9% ("three nines")	8.76 ชั่วโมง	43.2 นาที	10.1 นาที
99.95%	4.38 ชั่วโมง	21.56 นาที	5.04 นาที
99.99% ("four nines")	52.56 นาที	4.32 นาที	1.01 นาที
99.999% ("five nines")	5.26 นาที	25.9 วินาที	6.05 วินาที
99.9999% ("six nines")	31.5 วินาที	2.59 วินาที	0.605 วินาที

ที่มา : นายรัชพล ษณะนาคินทร์, Microsoft Most Valuable Professional: Exchange Server

การวัดความสามารถในการให้บริการของระบบจะใช้โปรแกรม Alchemy Network Monitor เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับการตรวจสอบระบบเครือข่ายและระบบเซิร์ฟเวอร์เพื่อให้การทำงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและเกิดความต่อเนื่อง สามารถตรวจสอบการทำงานของระบบเซิร์ฟเวอร์ของได้หลายโพรโทคอล เช่น TCP/IP, HTTP(S)/FTP, UDP, SMTP, POP3 เป็นต้น

ส่วนการตรวจสอบการทำงานของแต่ละโพรโทคอล จะมีการแสดงสถานะการทำงานเป็นเครื่องหมายถูก (✓) สีเขียว หมายถึงการทำงานของระบบสามารถให้บริการได้ปกติ ดังภาพที่ 3.21 ตัวอย่างของการตรวจสอบการทำงานของโพรโทคอล TCP/IP ของบอร์ด dsPIC33WEB แต่ถ้ามีการแสดงสถานะเป็นเครื่องหมายอัศเจรีย์ (!) จะแสดงถึงการทำงานของระบบที่ไม่สามารถให้บริการได้ โปรแกรมนี้สามารถส่งสัญญาณเตือนเมื่อระบบเซิร์ฟเวอร์ที่ตรวจสอบเกิดปัญหา รวมทั้งยังสามารถเลือกวิธีการแก้ไขเบื้องต้นได้ เช่นสั่งให้ Restart Service

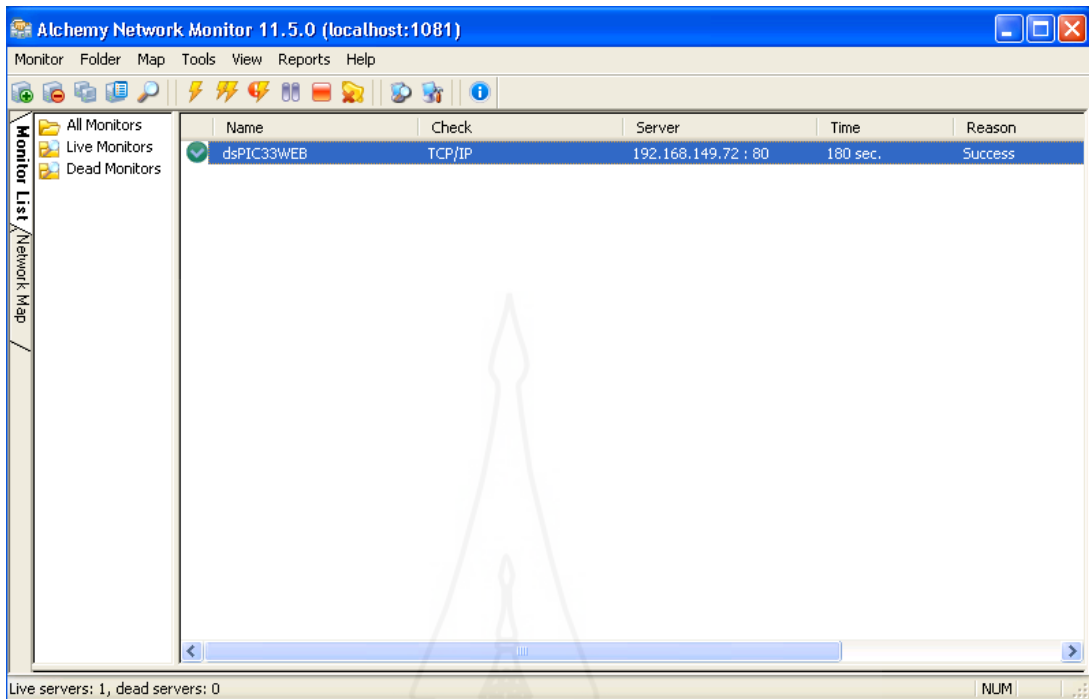
ส่วนในด้านการรายงานผลทดสอบสามารถที่จะสร้าง Report and Log ให้ใช้งานได้หลายชนิดตามความต้องการของผู้ใช้ เช่น HTML, Text , CSV และ ODBC-compatible database สำหรับติดต่อกับฐานข้อมูล เพื่ออำนวยความสะดวกให้แก่ผู้ใช้งาน

สำหรับงานวิทยานิพนธ์นี้ มีการตรวจสอบทำงานของโพรโทคอล TCP/IP และ HTTP ดังนี้คือ

1) โพรโทคอล TCP/IP เป็นการตรวจสอบการทำงานโพรโทคอล TCP/IP ของเซิร์ฟเวอร์ว่ามีลักษณะการทำงานสำหรับการเปิดและปิดซ็อกเก็ตของโพรโทคอล TCP / IP หรือไม่ ซึ่งต้องมีการระบุที่อยู่ TCP / IP หรือชื่อ Host และพอร์ต 80 สำหรับเว็บเซิร์ฟเวอร์ ในการทดสอบ

2) โพรโทคอล HTTP เป็นการตรวจสอบการเชื่อมต่อกับเว็บเซิร์ฟเวอร์ระยะไกลเป็นการตรวจสอบว่าโพรโทคอล HTTP URL ของบอร์ดสมองกลฝังตัวผ่านเครือข่ายที่ทำหน้าที่เป็นเซิร์ฟเวอร์ ว่าคุณสมบัติของการแสดงผลสามารถเรียกดูของเครื่องลูกข่ายประสบความสำเร็จในการส่งผ่าน Header ของคำสั่ง HTTP ไปยังเว็บเซิร์ฟเวอร์หรือไม่ ถ้าเซิร์ฟเวอร์มีการตอบกลับมามีข้อผิดพลาด โปรแกรมจะแสดงผลว่า URL นี้อยู่ในสถานะ "Down" หรือเป็นช่วงเวลาที่ไม่สามารถให้บริการได้ และมีการแจ้งให้ผู้ดูแลระบบเครือข่ายทราบเกี่ยวกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น

ในการตรวจสอบความพร้อมใช้งาน หรือความสามารถในการให้บริการของบอร์ดสมองกลฝังตัวผ่านเครือข่ายนี้จะมีการรายงานผลผ่านเว็บเบราว์เซอร์ ดังภาพที่ 3.22 ซึ่งแสดงตัวอย่างการแสดงผลการรายงาน ซึ่งประกอบ Monitor ที่ต้องการตรวจสอบ จำนวนเวลาของระบบที่สามารถให้บริการได้ เรียกว่า “UP” และจำนวนเวลาของระบบที่ไม่สามารถให้บริการได้เรียกว่า “DOWN” มีหน่วยเป็นนาทีและเป็นเปอร์เซ็นต์ ส่วน Total คือจำนวนเวลาในการทำงานทั้งหมดของบอร์ดสมองกลฝังตัวผ่านเครือข่าย



ภาพที่ 3.21 ตัวอย่างการใช้โปรแกรม Alchemy Network Monitor PRO

Monitor	UP (min)	DOWN (min)	UP (%)	DOWN (%)	Total
dsPIC33web	126	0	100	0	126
android	0	35	0	100	35
New Monitor	207	2	99	0	209

Generated by Alchemy Network Monitor (web-enabled)  
Copyright (c) M.I.S.Helpers, 1999-2011  
[www.mishelpers.com](http://www.mishelpers.com)

ภาพที่ 3.22 ตัวอย่างการแสดงผลการวัดค่าความพร้อมใช้งานระบบ

2.4 วัดค่าความผิดพลาดทางความถี่ เป็นการทดสอบเปรียบเทียบวัดค่าความผิดพลาดทางความถี่ (Frequency Error) มีความสำคัญมากในการประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียงเพราะถ้า

ความถี่ที่ออกอากาศมีค่าผิดพลาด ทำให้เกิดปัญหาสัญญาณรบกวนซึ่งกันและกันของสถานี เครื่องส่งวิทยุในย่านเดียวกัน หรือรบกวนอุปกรณ์เครื่องมือสำคัญอื่นๆ เช่น เครื่องมือแพทย์ ระบบควบคุมการจราจรทางอากาศ ระบบเครื่องมือสื่อสารสำหรับเตือนภัยธรรมชาติ

งานวิจัยนี้ทำการทดสอบวัดสัญญาณรบกวนจากการควบคุมระบบส่งวิทยุเอฟเอ็ม ว่ามีผลต่อค่าความถี่คลื่นพาห้ของการออกอากาศหรือไม่อย่างไร ซึ่งในการทดสอบใช้เครื่องมือวัด 2 ชนิด คือ เครื่องสเปกตรัม (Spectrum Analyzer) และเครื่องนับความถี่ (Frequency Counter) เพื่อให้ได้ค่าการวัดที่มีความละเอียดสูง โดยวิธีการวัดการทดสอบให้เป็นไปตามมาตรฐาน ETS-300 384 และมาตรฐานทางเทคนิคเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียง เอกสารอ้างอิงจาก ETSI Secretarial (1995) และตามหลักเกณฑ์การทดลองการประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียง กสทช. มท. 8001 2555 “หลักเกณฑ์การอนุญาตทดลองประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียง พ.ศ. 2555” ซึ่งกำหนดนิยามและขีดจำกัดของการทดสอบ ค่าผิดพลาดทางความถี่ดังนี้

นิยาม ค่าผิดพลาดทางความถี่ หมายถึง ค่าความแตกต่างระหว่างความถี่คลื่นพาห้ ในขณะที่ไม่มีการมอดูเลต กับความถี่ที่ระบุ (Nominal Frequency) ของภาคเครื่องส่ง

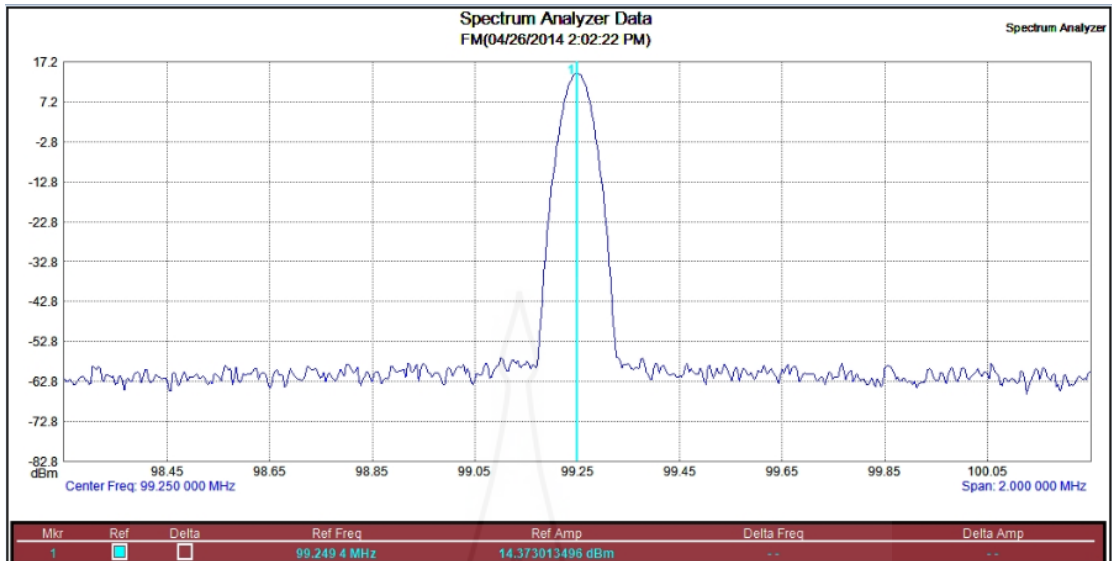
ขีดจำกัด ค่าผิดพลาดทางความถี่จะต้องไม่เกิน  $\pm 2$  กิโลเฮิร์ตซ์ (kHz) ของความถี่คลื่นพาห้ในขณะที่ไม่มีการมอดูเลต

การหาคำนวณหาค่าผิดพลาดทางความถี่ มีสมการดังนี้

$$f_{\text{(ค่าความถี่ผิดพลาด)}} = f_{\text{(ค่าความถี่คลื่นพาห้ขณะไม่มอดูเลต)}} - f_{\text{(ค่าความถี่ที่ระบุของภาคเครื่องส่ง)}} \quad (3.1)$$

ดังนั้นถ้าค่าผิดพลาดมีค่าเกิน  $\pm 2$  กิโลเฮิร์ตซ์ (kHz) ก็จะไม่เป็นไปตามหลักเกณฑ์การทดลองการประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียง กสทช. มท. 8001 2555 ทำให้เกิดปัญหาสัญญาณรบกวนได้ เครื่องมือสำหรับวัดค่าความผิดพลาดทางความถี่ แสดงดังภาพที่ 3.23 และภาพที่ 3.24





ภาพที่ 3.23 แสดงผลของเครื่องสเปกตรัมสำหรับวัดค่าผิดพลาดทางความถี่เป็นรูปกราฟ



ภาพที่ 3.24 แสดงผลของเครื่องนับความถี่สำหรับวัดค่าผิดพลาดทางความถี่เป็นตัวเลข

จากภาพที่ 3.24 แสดงค่าความถี่คลื่นพาห้ที่ไม่ได้มีการมอดูเลต 99.249369 MHz ความถี่ของระบบส่งวิทยุเอฟเอ็มที่ใช้งานวิจัยนี้มีค่าความถี่ 99.25 MHz

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

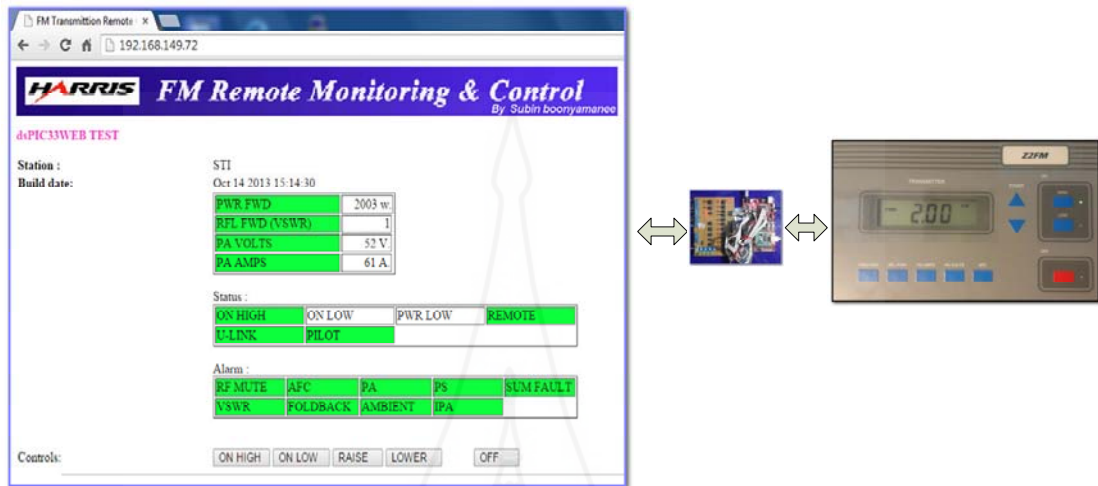
งานวิจัยนี้ได้ทดสอบและเปรียบเทียบระบบเครือข่ายสมองกลฝังตัวขนาดเล็กที่ใช้บอร์ด dsPIC33WEB V1 กับการใช้บอร์ด CIE-M10 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพเวลาตอบสนอง อัตราการไหลผ่านของข้อมูล ความพร้อมใช้ และวัดค่าความผิดพลาดทางความถี่

ในการประยุกต์ใช้งานบริษัทซิลิโคนส์ได้นำบอร์ด CIE-M10 มาพัฒนาเพิ่มเติมในส่วนหน้าคอนแทกอินพุต เอาต์พุตรีเลย์และส่วนติดต่อกับพอร์ต RS232 เพื่อจำลองการใช้งานอินเทอร์เน็ตแบบ Virtual Port ซึ่งมีชื่อว่าบอร์ด AP-250 V 1.0 Remote I/O Controller สำหรับจำหน่ายในท้องตลาดสำหรับการใช้งานควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าในบ้านหรือในโรงงาน เช่นหลอดไฟ ส่องสว่าง มอเตอร์และการตรวจจับสถานะอุปกรณ์ต่างๆ

#### ตอนที่ 1 ผลการสร้างระบบเครือข่ายสมองกลฝังตัวขนาดเล็กสำหรับควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็ม

##### 1.1 ผลการทดสอบบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม

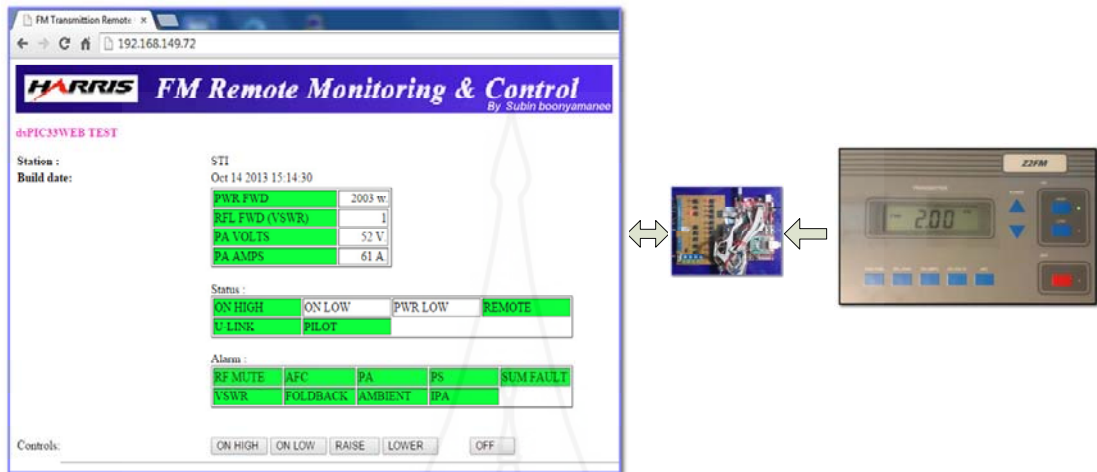
1.1.1 การควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็มในสถานะ ON HIGH กรณีใช้บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 แสดงดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ผลการควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็มในสถานะ ON HIGH ของบอร์ด dsPIC33WEB V1

จากภาพที่ 4.1 แสดงผลสถานะ ON HIGH เมื่อมีการกดปุ่ม ON HIGH ที่หน้าเว็บไซต์หรือกดปุ่มสวิตช์ HIGH ที่หน้าเครื่องส่งวิทยุ จะมีแถบสีเขียวขึ้นที่หน้าเว็บไซต์ และที่หน้าเครื่องส่งวิทยุก็จะมีหลอดไฟแอลอีดีสีเขียวติดสว่างพร้อมกัน โดยมีบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ทำหน้าที่เชื่อมต่อสัญญาณควบคุมและแสดงผล ซึ่งแสดงให้เห็นถึงสถานะการออกอากาศที่ปกติ

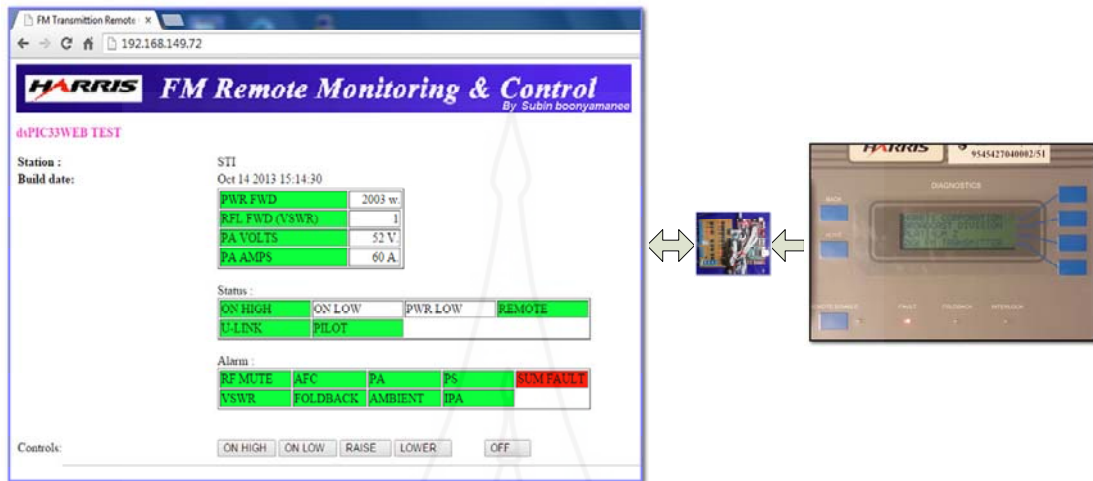
**1.1.2 การควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม แสดงค่ากำลังส่ง FWD PWR กรณีใช้บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 แสดงดังภาพที่ 4.2**



ภาพที่ 4.2 ผลการควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม แสดงค่ากำลังส่ง FWD PWR ของบอร์ด dsPIC33WEB V1

จากภาพที่ 4.2 แสดงผลของค่ากำลังส่งในการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็มที่หน้าเว็บไซต์ โดยหลักการแสดงผลบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 จะรับค่าแรงดันมาจากเครื่องส่งวิทยุแล้วทำการประมวลผลแล้วส่งค่าที่ได้ไปแสดงเป็นค่าตัวเลขที่หน้าเว็บไซต์ โดยค่าที่ได้จะมีค่ากำลังส่งใกล้เคียงกันคือหน้าเว็บไซต์มีเท่ากับ 2003 วัตต์ ส่วนที่หน้าเครื่องส่งวิทยุมีค่าเท่ากับ 2.00 กิโลวัตต์

1.1.3 การควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม ในสถานะ  
**SUMMARY FAULT** กรณีใช้บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 แสดงดังภาพที่ 4.3

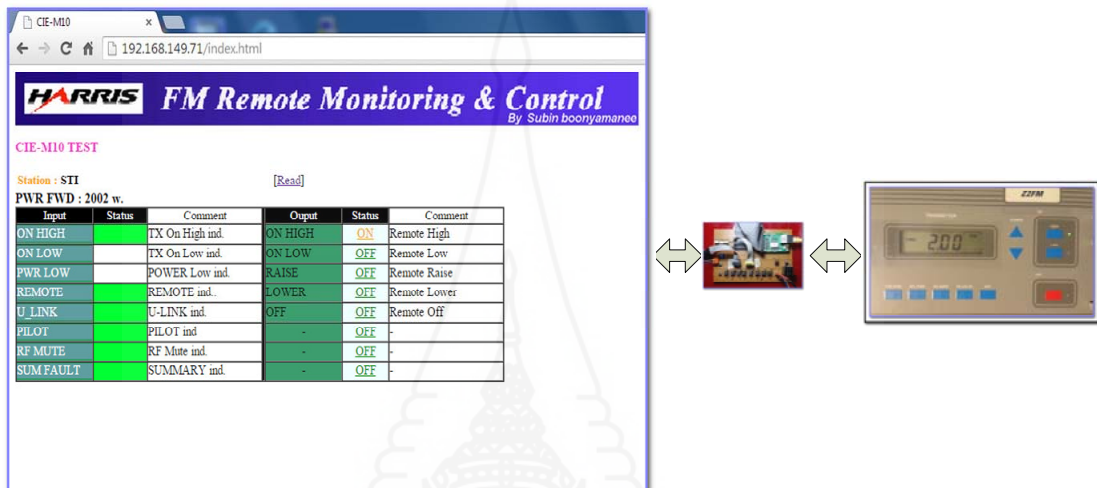


ภาพที่ 4.3 ผลการควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็มในสถานะ  
**SUMMARY FAULT** ของบอร์ด dsPIC33WEB V1

จากภาพที่ 4.3 แสดงผลการสภาวะ **SUMMARY FAULT** หรือสภาวะที่เกิดการ **FAULT** เมื่อเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็มเกิดขัดข้องในแต่ละภาคการทำงานของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียง เอฟเอ็มทั้งหมด เนื่องจากเครื่องส่งวิทยุที่ผู้วิจัยใช้ทำการทดสอบในการควบคุม เป็นเครื่องส่งวิทยุที่มีสภาพการทำงานที่ปกติและสมบูรณ์ ดังนั้นเพื่อที่จะทดสอบให้ได้ครบทุกฟังก์ชันการทำงาน ผู้วิจัยจึงทำการทดสอบโดยถอดโมดูล PA ออกเพื่อให้มีการแสดงผลแจ้งเตือนเสมือนว่ามีการขัดข้องของเครื่องส่งวิทยุจริงๆ จึงได้ผลตามภาพที่ 4.3 ซึ่งมีการแสดงผลโดยหลอดไฟแอลอีดีสีแดง ติดสว่างที่หน้าเครื่องส่งวิทยุในสภาวะ **FAULT** และในส่วนของเว็บไซต์ก็จะมีการแสดงผลในช่องของ PA และ **SUMMARY FAULT** ขึ้นเป็นแถบสีแดง ซึ่งในการแสดงผลที่หน้าเว็บไซต์บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 มีหน้าที่รับสภาวะการทำงานที่เป็นลักษณะลอจิกมาจากเครื่องส่งวิทยุ แล้วทำการประมวลผลเพื่อให้เห็นที่หน้าเว็บไซต์เมื่อมีการร้องขอจากลูกข่ายหรือมีการเข้าเว็บไซต์จากลูกข่าย

## 1.2 ผลการทดสอบบอร์ด CIE-M10 ควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็ม

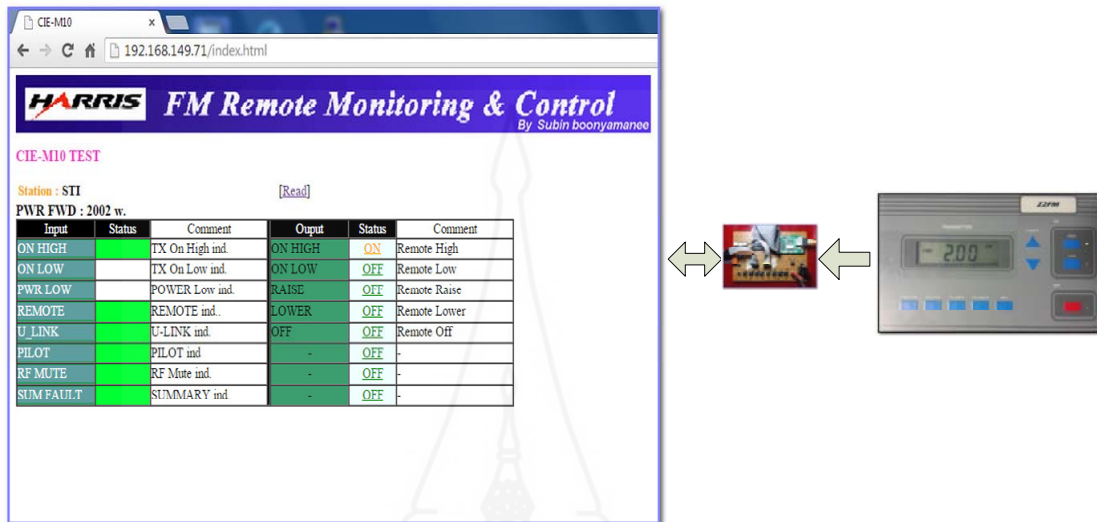
### 1.2.1 การควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม ในสถานะ ON HIGH กรณีใช้บอร์ด CIE-M10



ภาพที่ 4.4 ผลการควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็มในสถานะ ON HIGH ของบอร์ด CIE-M10

จากภาพที่ 4.4 แสดงผลการสถานะ ON HIGH เมื่อมีการกดปุ่ม ON ที่หน้าเว็บไซต์หรือกดปุ่มสวิตช์ HIGH ที่หน้าเครื่องส่งวิทยุจะมีแถบสีเขียวขึ้นที่หน้าเว็บไซต์ และที่หน้าเครื่องส่งวิทยุก็จะมีหลอดไฟแอลอีดีสีเขียวติดสว่างพร้อมกันโดยมีบอร์ด CIE-M10 ทำหน้าที่เชื่อมต่อสัญญาณควบคุมและแสดงผล ซึ่งแสดงให้เห็นถึงสถานะการออกอากาศที่ปกติ

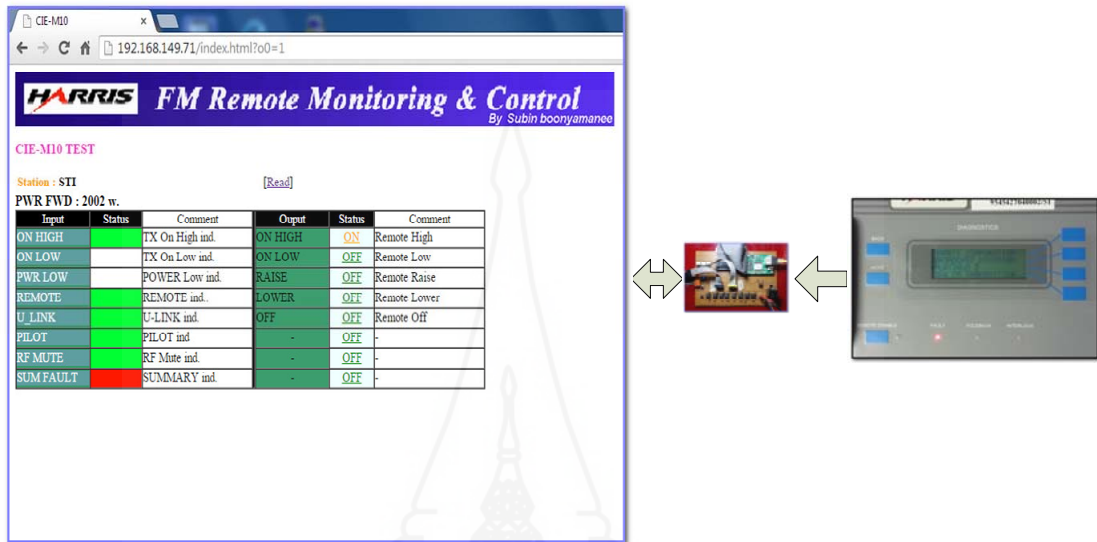
### 1.2.2 การควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม แสดงค่ากำลังส่ง FWD PWR กรณีใช้บอร์ด CIE-M10



ภาพที่ 4.5 ผลการควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม แสดงค่ากำลังส่ง FWD PWR ของบอร์ด CIE-M10

จากภาพที่ 4.5 แสดงผลของค่ากำลังส่งในการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็มที่หน้าเว็บไซต์ โดยหลักการแสดงผล บอร์ด CIE-M10 จะรับค่าแรงดันมาจากเครื่องส่งวิทยุแล้วทำการประมวลผลแล้วส่งค่าที่ได้ไปแสดงเป็นค่าตัวเลขที่หน้าเว็บไซต์ โดยค่าที่ได้จะมีค่ากำลังส่งใกล้เคียงกันคือหน้าเว็บไซต์มีเท่ากับ 2002 วัตต์ ส่วนที่หน้าเครื่องส่งวิทยุมีค่าเท่ากับ 2.00 กิโลวัตต์

### 1.2.3 การควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม ในสถานะ SUMMARY FAULT กรณีใช้บอร์ด CIE-M10



ภาพที่ 4.6 ผลการควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็มในสถานะ SUMMARY FAULT ของบอร์ด CIE-M10

จากภาพที่ 4.6 แสดงผลการสถานะ SUMMARY FAULT หรือสถานะที่เกิดการ FAULT เมื่อเครื่องส่งวิทยุเกิดขัดข้องในแต่ละภาคของเครื่องส่งวิทยุทั้งหมด วิธีการทดสอบก็มีลักษณะคล้ายกับการทดสอบบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 โดยถอดโมดูล PA ออก เพื่อให้มีการแสดงผลแจ้งเตือนเสมือนว่ามีการขัดข้องของเครื่องส่งวิทยุจริงๆ จึงได้ผลตามภาพที่ 4.6 ซึ่งมีการแสดงผลโดยหลอดไฟแอลอีดีสีแดงติดสว่างที่หน้าเครื่องส่งวิทยุในสถานะ FAULT และในส่วนของเว็บไซต์ก็จะมีการแสดงผลในช่องของ PA และ SUMMARY FAULT ขึ้นเป็นแถบสีแดง ซึ่งในการแสดงผลที่หน้าเว็บไซต์ บอร์ด CIE-M10 ทำหน้าที่รับสถานะการทำงานที่เป็นลักษณะล่อจิกมาจากเครื่องส่งวิทยุ แล้วทำการประมวลผลเพื่อให้เห็นที่หน้าเว็บไซต์เมื่อมีการร้องขอจากลูกข่ายหรือมีการเข้าเว็บไซต์จากลูกข่าย

จากการทดสอบการควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็ม กรณีใช้บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 และกรณีใช้บอร์ด CIE-M10 ข้อจำกัดของบอร์ด CIE-M10 มีดิจิทัลอินพุตที่น้อยกว่าบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ที่สามารถตรวจสอบสถานะด้านอื่นๆ ได้ เช่น โมดูลเพาเวอร์แอมป์เสี่ย (PA FAULT) โมดูลเพาเวอร์ซัพพลาย (PS FAULT) และการเช็คสถานะอุณหภูมิของเครื่องส่งสูง (AMBIENT FAULT) เป็นสาเหตุทำให้ตารางอินพุตของบอร์ดทั้งสองไม่



เท่ากับ แต่เอาต์พุตของบอร์ดทั้งสองสามารถใช้งานได้เพียงพอการควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็ม

### 1.3 สรุปผลการเปรียบเทียบ

จากการทดสอบการทำงานเพื่อควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็มระหว่างบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 และบอร์ด CIE-M10 มีลักษณะการทำงานในด้านการควบคุมที่ไม่แตกต่างกัน คือสามารถนำมาควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็มได้ทั้งสองบอร์ด แต่การตรวจสอบทุกสภาวะการทำงานของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็ม บอร์ด CIE-M10 มีข้อจำกัดในเรื่องของดิจิทัลอินพุตที่น้อยกว่าบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ซึ่งบอร์ดนี้มีดิจิทัลอินพุตสำหรับตรวจสอบสภาวะการทำงานที่มากถึง 15 พอร์ต (อินพุตดิจิทัล) หรือ 15 สภาวะการทำงานของเครื่องส่งวิทยุ แต่บอร์ด CIE-M10 มีเพียง 8 พอร์ต ซึ่งน้อยเกินไปสำหรับการตรวจสอบสภาวะการทำงานของระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็ม และในส่วนของเอาต์พุตดิจิทัลสำหรับควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุ ตามคู่มือการทำงานของเครื่องส่งวิทยุสามารถควบคุมการทำงานของเครื่องได้เพียง 5 พอร์ต (เอาต์พุต) คือ ON HIGH, ON LOW, RAISE, LOWER และ OFF ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ออกแบบไว้เพียง 5 พอร์ต สำหรับการเชื่อมต่อระบบเครื่องส่งวิทยุกับบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 และบอร์ด CIE-M10 ซึ่งเพียงพอกับการทำงานในด้านการควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็ม โดยบอร์ดทั้งสองมีเอาต์พุตดิจิทัลเท่ากัน 8 พอร์ต แต่ก็นำมาใช้ควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็มเพียง 5 พอร์ต และในส่วนอินพุตแอนะล็อก บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 สามารถออกแบบให้ใช้งานได้ถึง 8 พอร์ต แต่บอร์ด CIE-M10 สามารถใช้ได้เพียง 1 พอร์ต (อินพุต) ซึ่งไม่เพียงพอสำหรับการใช้งานในการอ่านมิเตอร์ของระบบเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็ม

ในการทำงานของเครื่องส่งวิทยุสำหรับการตรวจสอบค่ามิเตอร์ระบบเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็ม ผู้วิจัยก็ได้ออกแบบการอ่านค่ามิเตอร์ตามคู่มือการทำงานของเครื่องส่งวิทยุ ให้สามารถอ่านมิเตอร์ได้ทั้งหมด 4 ค่า หรือ 4 พอร์ต (อินพุตแอนะล็อก) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 มีความยืดหยุ่นในการใช้งานที่มากกว่าบอร์ด CIE-M10 ซึ่งไม่สามารถขยายพอร์ตอินพุตแอนะล็อกและพอร์ตอินพุตดิจิทัลได้ ดังนั้นจึงเป็นข้อจำกัดการใช้งานของบอร์ด CIE-M10 แสดงเปรียบเทียบตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบพอร์ตการทำงานของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 และบอร์ด CIE-M10

อุปกรณ์	อินพุตดิจิทัล	เอาต์พุตดิจิทัล	อินพุตแอนะล็อก
ET-dsPIC33WEB V1	15 อินพุต	5 เอาต์พุต	4 อินพุต
CIE-M10	8 อินพุต	5 เอาต์พุต	1 อินพุต

จากตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบพอร์ตการทำงานของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 และบอร์ด CIE-M10 สำหรับใช้งานควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม จากตารางแสดงให้เห็นว่า อินพุตดิจิทัลและอินพุตแอนะล็อกของบอร์ด CIE-M10 มีข้อจำกัดในด้านการใช้งานของพอร์ต

## ตอนที่ 2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพ

### 2.1 การทดสอบประสิทธิภาพเวลาตอบสนอง

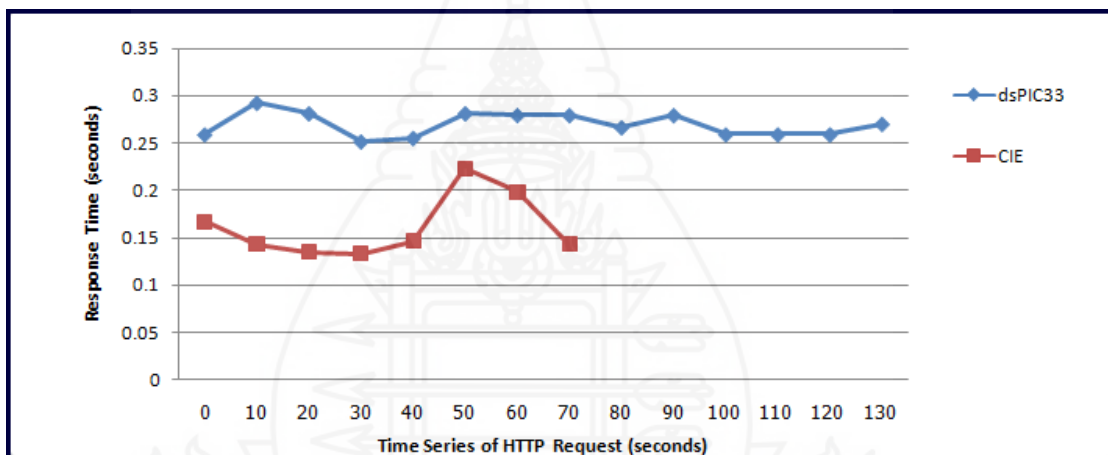
ในการควบคุมการทำงานหรือการตรวจสอบสถานะการทำงานของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็มระยะไกล เป็นการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นเครื่องลูกข่ายหรือไคลเอนต์กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทำหน้าที่เป็นเครื่องแม่ข่ายหรือเซิร์ฟเวอร์ จะต้องรับส่งข้อความระหว่างกันโดยผ่านระบบเครือข่าย โดยลักษณะการทำงานเริ่มต้นที่โปรแกรมด้านไคลเอนต์ทำการร้องขอโดยผ่าน HTTP request ไปยังเซิร์ฟเวอร์ เมื่อไคลเอนต์ได้รับข้อมูลจาก HTTP Response แล้ว ก็จะทำการแปลความหมายของข้อมูลเพื่อแสดงผลที่จอภาพ ขณะที่ฝั่งเซิร์ฟเวอร์ได้รับ HTTP Request แล้วจะทำการแปลความหมายของข้อมูลที่ได้รับ เพื่อส่งออฟเจกต์ที่ด้านไคลเอนต์ต้องการ กลับไปผ่าน HTTP

ส่วนในการทดสอบประสิทธิภาพด้านเวลาตอบสนองจะเป็นการวัดระยะเวลาตั้งแต่เครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่ายหรือไคลเอนต์ทำการร้องขอข้อมูลไปยังเครื่องแม่ข่ายจนได้ข้อมูลกลับมา ยังฝั่งเครื่องลูกข่ายโดยใช้เครื่องมือ JMeter สามารถจำลองผู้ใช้งานเพื่อเข้าควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็ม ผ่านเครือข่ายแบบอีเทอร์เน็ตทีละหลายๆ ได้ โดยเน้นการทดสอบในการส่ง request ไปยังเซิร์ฟเวอร์ จำนวน 500 ตัวอย่าง ซึ่งบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 มีการส่งข้อมูล 5,915 Bytes ต่อ 1 ตัวอย่าง ส่วนบอร์ด CIE-M10 มีการส่งข้อมูล 3,592 Bytes ต่อ 1 ตัวอย่าง

เนื่องจากจุดประสงค์ของผู้วิจัยต้องการทดสอบการส่ง request ทั้งหมด 500 ตัวอย่างในแต่ละกรณี ซึ่งมีการหน่วงเวลา 10 วินาทีในการทยอยส่ง request ของแต่ละครั้งของผู้ใช้งานเพื่อให้ค่าที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกันมีความชัดเจน สะดวกในการทดสอบ อ่านค่ากราฟได้ง่ายขึ้นและเพียงพอต่อการทดสอบเปรียบเทียบ ซึ่งผู้วิจัยเป็นผู้กำหนดเอง

### 2.1.1 การทดสอบโดยกำหนดจำนวนผู้ใช้งานจำนวน 1 คน

กำหนดจำนวนผู้ใช้งาน 1 คน ในเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเดียวกันหน่วงเวลา 10 วินาทีในการส่ง request ของแต่ละครั้งของผู้ใช้งาน 1 คน และกำหนดจำนวนครั้งหรือรอบในการส่ง request ของผู้ใช้งานจำนวน 500 ตัวอย่าง ซึ่งหมายความว่าผู้ใช้งาน 1 คน ต้องการให้วนการทำงานซ้ำกัน 500 ตัวอย่าง เพื่อทดสอบเปรียบเทียบว่าผู้ใช้งาน 1 คน เมื่อส่ง request ไป 500 ตัวอย่าง จะมีกราฟเวลาตอบสนองมีลักษณะเป็นอย่างไร จากการทดสอบและเปรียบเทียบได้ผล ดังภาพที่ 4.7



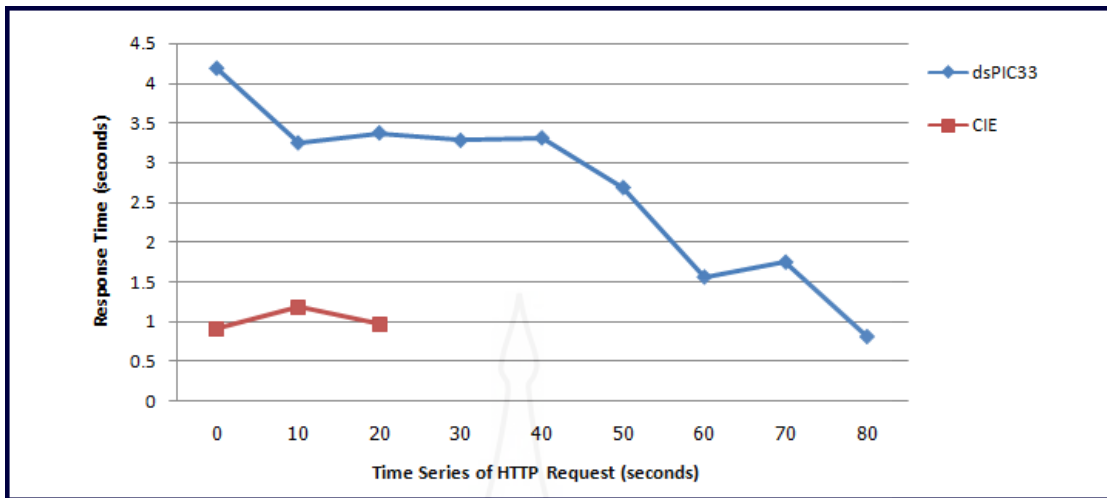
ภาพที่ 4.7 การเปรียบเทียบผลการทดสอบประสิทธิภาพเวลาตอบสนอง จำนวนผู้ใช้งาน 1 คน เมื่อส่ง request ของผู้ใช้งานจำนวน 500 ตัวอย่าง

จากภาพที่ 4.7 กราฟในแนวแกน X ที่มีชื่อว่า Time Series of HTTP Request คือลำดับเวลาที่ส่ง request โดยกราฟทั้ง 2 เส้น แสดงค่าเวลาตอบสนองของแต่ละบอร์ดที่มีการส่ง request ครบ 500 ตัวอย่าง มีหน่วยเป็นวินาที ซึ่งบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 มีการส่งข้อมูล 5,915 Bytes ต่อ 1 ตัวอย่าง ส่วนบอร์ด CIE-M10 มีการส่งข้อมูล 3,592 Bytes ต่อ 1 ตัวอย่าง จากการเปรียบเทียบในการทดลองประสิทธิภาพเวลาตอบสนองในการส่ง request จำนวนผู้ใช้งาน 1 คน เมื่อส่ง request ของผู้ใช้งานจำนวน 500 ตัวอย่าง ระหว่างบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 และบอร์ด CIE-M10 พบว่าบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 จำนวนผู้ใช้งาน 1 คน มีการส่ง request จำนวน 500 ตัวอย่าง ใช้เวลา 130 วินาที มีค่าเวลาตอบสนองเฉลี่ย 0.269 วินาที ส่วนบอร์ด CIE-M10 จำนวนผู้ใช้งาน 1 คน มีการ

ส่ง request จำนวน 500 ตัวอย่าง ใช้เวลา 80 วินาที มีค่าเวลาตอบสนองเฉลี่ย 0.152 วินาที แสดงให้เห็นว่าบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 มีค่าเวลาตอบสนองที่มากกว่าบอร์ด CIE-M10 และจากกราฟในแนວແກນ X ผู้ใช้งานมีการร้องขอโดยผ่าน HTTP request ไปยังเซิร์ฟเวอร์บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ใช้เวลานานกว่าบอร์ด CIE-M10 เป็นเวลา 60 วินาที เพราะบอร์ด CIE-M10 มีการประมวลผลที่เร็วกว่า อัตราการไหลผ่านข้อมูลมากกว่า และจำนวนข้อมูล (จำนวนไบต์ต่อ 1 ตัวอย่าง) น้อยกว่า จึงทำให้การส่งข้อมูลเสร็จเร็วกว่า กราฟจึงสั้นกว่ากราฟของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ส่วนกราฟเวลาตอบสนองของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 มีลักษณะเป็นแนวเส้นตรงเพราะไม่เกิดปัญหาคอขวดหรือการจัดคิวในการส่ง request ส่วนกราฟของบอร์ด CIE-M10 ที่มีค่าเวลาตอบสนองที่สูงในช่วงเวลาขณะหนึ่งคือ ตั้งแต่ช่วงเวลา 40-70 วินาที เพราะสาเหตุเกิดจากความร้อนของตัวบอร์ดจึงเกิดความไม่เสถียรของการทำงาน

### 2.1.2 กำหนดจำนวนผู้ใช้งานที่ต้องการ 25 คน

เนื่องจากผู้วิจัยต้องการทดสอบการส่ง request ทั้งหมด 500 ตัวอย่าง ได้กำหนดค่าพารามิเตอร์การทดสอบดังนี้ คือ ในช่วงเวลา 10 วินาทีแรก มีการทยอยในการส่ง request ของผู้ใช้งาน 25 คน และกำหนดจำนวนครั้งหรือรอบในการส่ง request ของผู้ใช้งานจำนวน 20 ครั้ง โดยทุกๆ 10 วินาที ไม่สนใจว่าจะส่งกี่ request ก็ตาม แต่ให้ครบ 500 ตัวอย่าง ซึ่งหมายความว่าผู้ใช้งาน 25 คน มีการส่ง request คนละ 20 ครั้ง มีลักษณะการส่ง request เป็นการส่งแบบสุ่ม โดยแต่ละคนส่งที่เวลาใดก็ได้ ดังนั้นจึงเป็นการส่ง request ทั้งหมด 500 ตัวอย่าง เพื่อทดสอบเปรียบเทียบว่าผู้ใช้งาน 25 คน เมื่อส่ง request ทั้งหมด 500 ตัวอย่าง กราฟเปรียบเทียบเวลาตอบสนอง มีลักษณะเป็นอย่างไร จากการทดสอบและเปรียบเทียบได้ผลดังภาพที่ 4.8



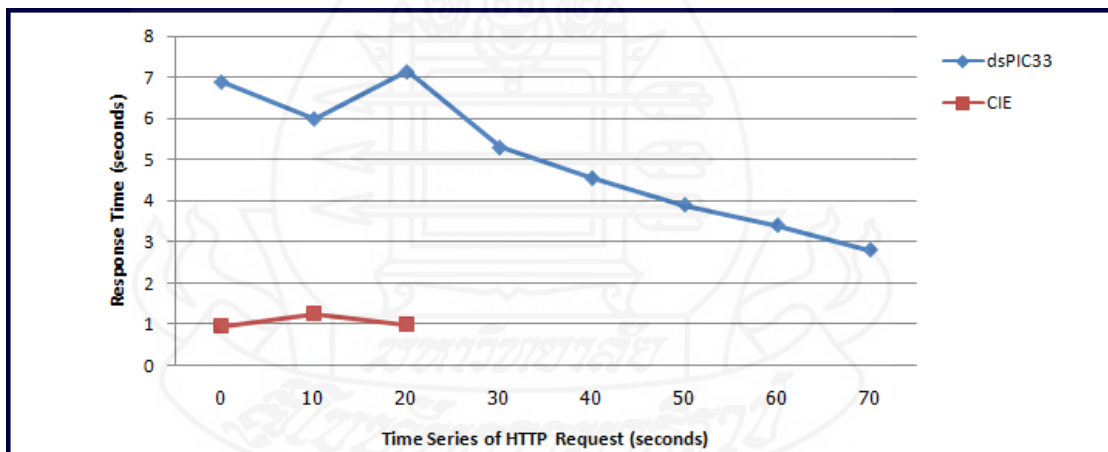
ภาพที่ 4.8 การเปรียบเทียบผลการทดสอบประสิทธิภาพเวลาตอบสนองจำนวนผู้ใช้งาน 25 คน  
ส่ง request ของผู้ใช้งาน คนละจำนวน 20 ครั้ง

จากภาพที่ 4.8 กราฟแสดงให้เห็นว่ามีการส่ง request ของแต่ละบอร์ดครบ 500 ตัวอย่าง ซึ่งบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 มีการส่งข้อมูล 5,915 Bytes ต่อ 1 ตัวอย่าง ส่วนบอร์ด CIE-M10 มีการส่งข้อมูล 3,592 Bytes ต่อ 1 ตัวอย่าง จากการเปรียบเทียบการทดสอบประสิทธิภาพเวลาตอบสนองในการส่ง request ของจำนวนผู้ใช้งาน 25 คน โดยมีการแบ่งให้ผู้ใช้งานแต่ละคนส่ง request คนละ 20 request (ลักษณะการส่ง request เป็นการส่งแบบสุ่ม) เพื่อให้ได้การส่ง request ทั้งหมดจำนวน 500 ตัวอย่าง ผลจากการทดสอบระหว่างบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 และบอร์ด CIE-M10 พบว่าบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 จำนวนผู้ใช้งาน 25 คน มีการส่ง request จำนวน 500 ตัวอย่าง ใช้เวลา 80 วินาที โดยมีการแบ่งให้ผู้ใช้งานส่ง request คนละ 20 request มีค่าเวลาการตอบสนองเฉลี่ย 2.622 วินาที ส่วนบอร์ด CIE-M10 จำนวนผู้ใช้งาน 25 คน มีการส่ง request จำนวน 500 ตัวอย่าง ใช้เวลา 20 วินาที โดยมีการแบ่งให้ผู้ใช้งานส่ง request คนละ 20 request มีค่าเวลาการตอบสนองเฉลี่ย 1.033 วินาที แสดงให้เห็นว่าบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 มีเวลาการตอบสนองที่มากกว่า บอร์ด CIE-M10 และจากกราฟในแนวนอน X ผู้ใช้งานมีการร้องขอโดยผ่าน HTTP request ไปยังเซิร์ฟเวอร์ บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ใช้เวลานานกว่าบอร์ด CIE-M10 เป็นเวลา 60 วินาที เพราะบอร์ด CIE-M10 มีการประมวลผลที่เร็วกว่า อัตราการไหลผ่านข้อมูลที่มากกว่า และจำนวนข้อมูล (จำนวนไปต์ต่อ 1 ตัวอย่าง) น้อยกว่า จึงทำให้การส่งข้อมูลเสร็จเร็วกว่า กราฟจึงสั้นกว่ากราฟของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ส่วนกราฟเวลาตอบสนองของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 จะมีค่าเวลาตอบสนองลดลงในช่วงปลายของกราฟเพราะภาระการทำงานของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 เริ่มลดลง ซึ่งแตกต่างกับตอนเริ่มต้นในการส่ง request คือ เมื่อมีการส่ง

request จำนวนมาก หรือมีความพยายามที่จะส่ง request ให้เกินขีดจำกัดของการประมวลผลของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 เนื่องจากจำนวนผู้ใช้งานในการส่ง request ต้องมีการเข้าคิวรอการทำงานเพื่อส่งข้อมูลกลับไปยังผู้ใช้ (HTTP Response) จึงเกิดการสะสมทางด้านเวลา ส่งผลให้เวลาตอบสนองมีค่ามาก และมีผลทำให้การส่ง request บางส่วนเกิดความผิดพลาดหรือเกิดความล้มเหลวของการส่ง request

### 2.1.3 การทดสอบโดยกำหนดจำนวนผู้ใช้งานจำนวน 50 คน

ผู้วิจัยต้องการทดสอบการส่ง request ทั้งหมด 500 ตัวอย่าง ได้กำหนดค่าพารามิเตอร์การทดสอบดังนี้ คือในช่วงเวลา 10 วินาทีแรก มีการทยอยในการส่ง request ของผู้ใช้งาน 50 คน และกำหนดจำนวนครั้งหรือรอบในการส่ง request ของผู้ใช้งานจำนวน 10 ครั้ง โดยทุกๆ 10 วินาที ไม่สนใจว่าจะส่งกี่ request ก็ตาม แต่ให้ครบ 500 ตัวอย่าง ซึ่งหมายความว่าผู้ใช้งาน 50 คน มีการส่ง request คนละ 10 ครั้ง มีลักษณะการส่ง request เป็นการส่งแบบสุ่ม โดยแต่ละคนส่งที่เวลาใดก็ได้ ดังนั้นจึงเป็นการส่ง request ทั้งหมด 500 ตัวอย่าง เพื่อทดสอบเปรียบเทียบว่าผู้ใช้งาน 50 คน เมื่อส่ง request ทั้งหมด 500 ตัวอย่าง จะมีเวลาตอบสนองเป็นอย่างไร จากการทดสอบและเปรียบเทียบได้ผลดังภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 การเปรียบเทียบผลการทดสอบประสิทธิภาพเวลาตอบสนอง จำนวนผู้ใช้งาน 50 คน ส่ง request ของผู้ใช้งาน คนละจำนวน 10 ครั้ง

จากภาพที่ 4.9 กราฟแสดงให้เห็นว่ามีการส่ง request ของแต่ละบอร์ดครบ 500 ตัวอย่าง ซึ่งบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 มีการส่งข้อมูล 5,915 Bytes ต่อ 1 ตัวอย่าง ส่วนบอร์ด CIE-M10 มีการส่งข้อมูล 3,592 Bytes ต่อ 1 ตัวอย่าง จากการเปรียบเทียบการทดสอบประสิทธิภาพเวลา

ตอบสนองในการส่ง Request จำนวนผู้ใช้งาน 50 คน โดยมีการแบ่งให้ผู้ใช้งานแต่ละคนส่ง request คนละ 10 request (ลักษณะการส่ง request เป็นการส่งแบบสุ่ม) เพื่อให้ได้การส่ง request ทั้งหมด จำนวน 500 ตัวอย่าง ผลจากการทดสอบระหว่างบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 และบอร์ด CIE-M10 พบว่าบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 จำนวนผู้ใช้งาน 50 คน มีการส่ง request จำนวน 500 ตัวอย่าง ใช้เวลา 70 วินาที โดยมีการแบ่งให้ผู้ใช้งานส่ง request คนละ 10 request มีค่าเวลาตอบสนองเฉลี่ย 5.303 วินาที ส่วนบอร์ด CIE-M10 จำนวนผู้ใช้งาน 50 คน มีการส่ง request จำนวน 500 ตัวอย่าง ใช้เวลา 20 วินาที โดยมีการแบ่งให้ผู้ใช้งานส่ง request คนละ 10 request มีค่าเวลาตอบสนองเฉลี่ย 1.188 วินาที แสดงให้เห็นว่าบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 มีค่าเวลาตอบสนองที่มากกว่าบอร์ด CIE-M10 และจากกราฟในแนวนอน X ผู้ใช้งานมีการร้องขอโดยผ่าน HTTP request ไปยังเซิร์ฟเวอร์ บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ใช้เวลานานกว่า บอร์ด CIE-M10 เป็นเวลา 50 วินาที เพราะบอร์ด CIE-M10 มีการประมวลผลที่เร็วกว่า อัตราการไหลผ่านข้อมูลมากกว่า และจำนวนข้อมูล (จำนวน ไบต์ต่อ 1 ตัวอย่าง) น้อยกว่า จึงทำให้การส่งข้อมูลเสร็จเร็วกว่า กราฟจึงสั้นกว่ากราฟของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ส่วนกราฟเวลาตอบสนองของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 จะมียค่าเวลาตอบสนองลดลงในช่วงปลายของกราฟเพราะภาระการทำงานของการทำงานของการรับส่ง request ของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 เริ่มลดลง ซึ่งแตกต่างกับตอนเริ่มต้นในการส่ง request คือ เมื่อมีการส่ง request จำนวนมาก หรือมีความพยายามที่จะส่ง request ให้เกินขีดจำกัดของการประมวลผลของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 เนื่องจากจำนวนผู้ใช้งานในการส่ง request ต้องมีการเข้าคิวรอการทำงานเพื่อส่ง ข้อมูลกลับไปยังผู้ใช้ (HTTP Response) จึงเกิดการสะสมทางด้านเวลา ส่งผลให้เวลาตอบสนองมีค่า มาก และมีผลทำให้การส่ง request บางส่วนเกิดความผิดพลาดหรือเกิดความล้มเหลวของการส่ง request

สรุปจากการทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพเวลาตอบสนองในการส่ง Request จำนวนผู้ใช้งาน 1 คน 25 คน และ 50 คน บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 มีค่าเวลาตอบสนองที่ มากกว่าบอร์ด CIE-M10 จากภาพที่ 4.7 เมื่อเปรียบเทียบผู้ใช้งาน 1 คน กราฟเวลาตอบสนองของ บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 มีลักษณะเป็นแนวเส้นตรงเพราะไม่เกิดปัญหาคอขวดหรือการจัดคิว ในการส่ง request จึงมีความเสถียรของการทำงาน ส่วนกราฟของบอร์ด CIE-M10 มีค่าเวลา ตอบสนองที่สูงในช่วงเวลาหนึ่งคือ ตั้งแต่ช่วงเวลา 40-70 วินาที เพราะสาเหตุเกิดจากความร้อนของ ตัวบอร์ดจึงเกิดความไม่เสถียรของการทำงานในช่วงเวลาดังกล่าว และในการทดสอบยังพบอีกว่า ถ้าผู้ใช้งานมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นเป็น 25 คน และ 50 คน ค่าเวลาตอบสนองจะเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ ดังภาพที่ 4.8 และภาพที่ 4.9 กราฟเวลาตอบสนองของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ในช่วงแรกมีค่า เวลาตอบสนองมีค่ามาก เพราะมีการส่ง request จำนวนมากหรือมีความพยายามที่จะส่ง request

ให้เกินขีดจำกัดของการประมวลผลของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 เนื่องจากจำนวนผู้ใช้งานในการส่ง request ต้องมีการเข้าคิวรอการทำงานเพื่อส่งข้อมูลกลับไปยังผู้ใช้ (HTTP Response) จึงเกิดการสะสมทางด้านเวลา ส่งผลให้เวลาตอบสนองมีค่ามาก และมีผลทำให้การส่ง request บางส่วนเกิดความผิดพลาดหรือเกิดความล้มเหลวของการส่ง request กราฟเวลาตอบสนองจะสูงในช่วงแรก แล้วลดลงในช่วงเวลาที่ท้ายเพราะการส่ง request ใกล้เคียง กราฟเวลาตอบสนองของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 จะมีค่าเวลาตอบสนองลดลงในช่วงปลายของกราฟเพราะภาระการทำงานของ การส่ง request ของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 เริ่มลดลง ส่วนกราฟของบอร์ด CIE-M10 จะมีค่าเวลาตอบสนองคงที่

จากภาพที่ 4.7 ภาพที่ 4.8 และภาพที่ 4.9 จากกราฟในแนวแกน X ผู้ใช้งานมีการร้องขอโดยผ่าน HTTP request ไปยังเซิร์ฟเวอร์ บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ใช้เวลานานกว่าบอร์ด CIE-M10 เพราะบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลแบบ 16 บิต ซึ่งมีโมดูลอินเทอร์เน็ตคอนโทรลเลอร์เชื่อมต่อกับโครงข่ายอินเทอร์เน็ตแบบแยกกับตัวบอร์ด แต่บอร์ด CIE-M10 ใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผล 32 บิต มีโมดูลการเชื่อมต่อกับโครงข่ายแบบอินเทอร์เน็ตในบอร์ดเดียวกัน จึงทำให้บอร์ด CIE-M10 มีการประมวลผลที่เร็วกว่า อัตราการไหลผ่านข้อมูลที่มากกว่า และจำนวนข้อมูล (จำนวนไบต์ต่อ 1 ตัวอย่าง) น้อยกว่า และทำให้การส่งข้อมูลเสร็จเร็วกว่า ลักษณะกราฟของบอร์ด CIE-M10 จึงสั้นกว่ากราฟของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1

## 2.2 การทดสอบอัตราการไหลผ่านของข้อมูล

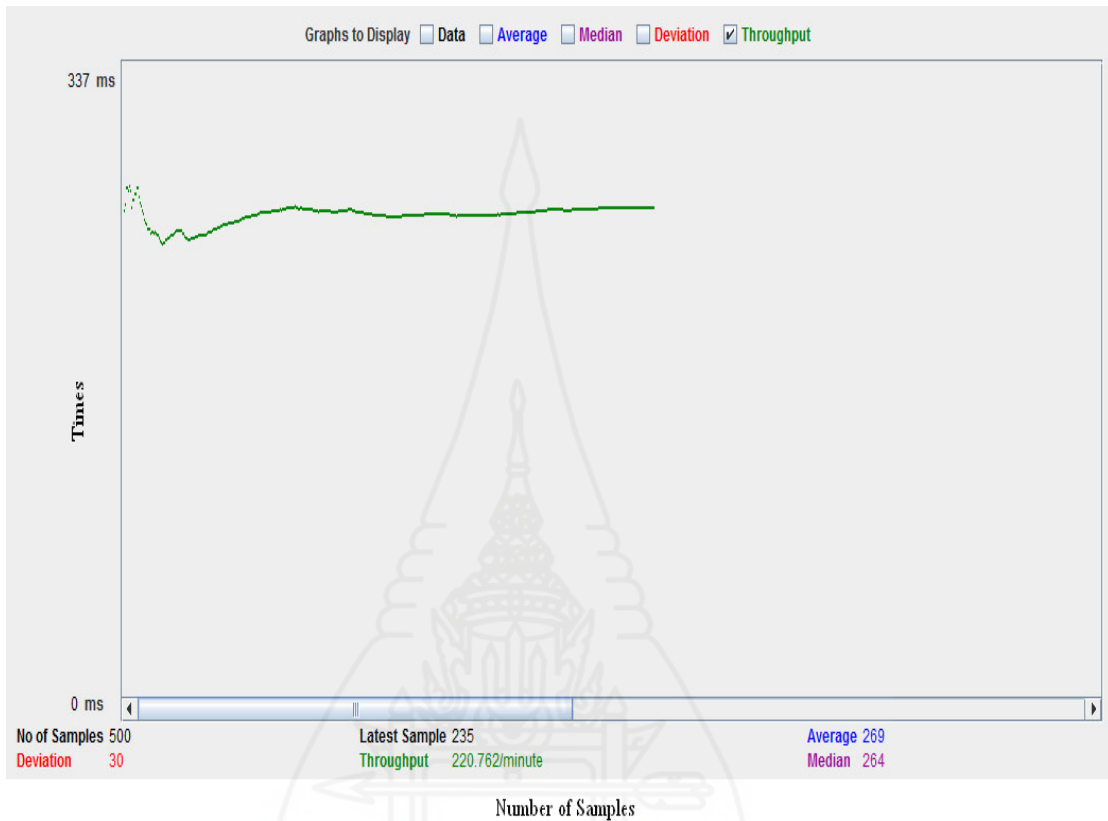
เป็นการวัดอัตราการไหลผ่านของข้อมูลของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 และบอร์ด CIE-M10 แล้วนำมาเปรียบเทียบกัน ในการควบคุมเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม การทดสอบจะเน้นในการส่ง request ไปเซิร์ฟเวอร์ จำนวน 500 ครั้ง หรือทดสอบ 500 ตัวอย่าง (sample) แล้วเปรียบเทียบดูว่าระหว่างบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 และ บอร์ด CIE-M10 ว่าบอร์ดใดมีปริมาณงานมากกว่ากัน โดยมีการทดสอบกับผู้ใช้งานจำนวน 1 คน, 25 คน และ 50 คน ตามลำดับ ในการส่ง request แต่ละครั้งไปยังเซิร์ฟเวอร์มีการหน่วงเวลา 10 วินาที รวมการส่ง request ทั้งหมด จำนวน 500 ตัวอย่าง แต่ละครั้งในการทดสอบ โดยการทดสอบนี้ให้ความสำคัญกับค่าอัตราการไหลผ่านของข้อมูลเพียงอย่างเดียว

การทดสอบจะใช้โปรแกรม JMeter ทดสอบ โดยคุณสมบัติของโปรแกรมสามารถกำหนดผู้ใช้งานได้หลายคน สามารถจำลองผู้ใช้งานควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็มผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต



### 2.2.1 ทดสอบอัตราการไหลผ่านของข้อมูลกรณีใช้บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1

1) กำหนดจำนวนผู้ใช้งานจำนวน 1 คน ได้ผลการทดสอบดังภาพที่ 4.10



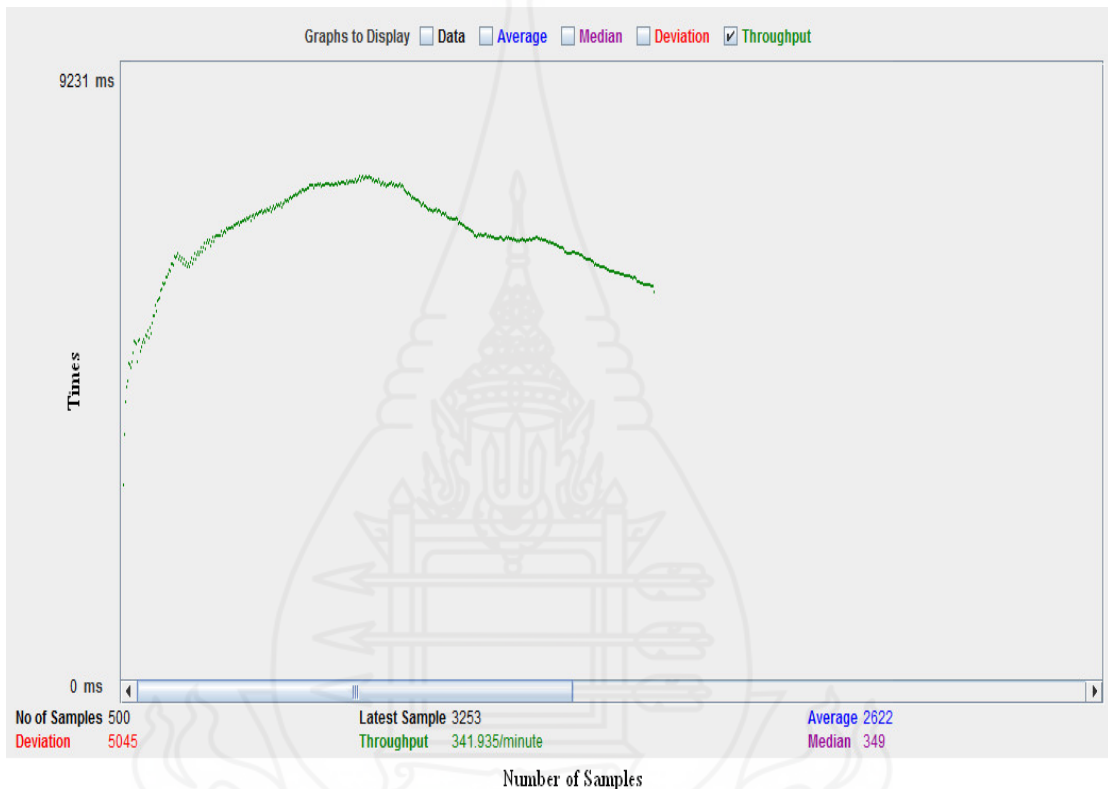
ภาพที่ 4.10 การทดสอบอัตราการไหลผ่านของข้อมูล จำนวน 1 คน ใช้บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ได้ค่าอัตราการไหลผ่านของข้อมูลเท่ากับ 220.762 ตัวอย่างต่อวินาที

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าอัตราการไหลผ่านของข้อมูลเท่ากับ 3.7 ตัวอย่างต่อวินาที (1 ตัวอย่าง เท่ากับ 5,915 Bytes) ของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1

Label	#Samples	Response Time (ms)			Std Dev.	Error %	Throughput (Sample/sec)	kB/s	Avg. Bytes
		Average	Min	Max					
HTTP Request	500	269	207	389	30.44 (ms)	0.00	3.7	21.25	5,915.0

จากภาพที่ 4.10 แสดงกราฟการทดสอบอัตราการไหลผ่านของข้อมูล จำนวน 1 คน ได้ค่าอัตราการไหลผ่านของข้อมูลเท่ากับ 220.762 ตัวอย่างต่อวินาที (1 ตัวอย่าง เท่ากับ 5,915 Bytes) ดังตารางที่ 4.2 แสดงค่าอัตราการไหลผ่านของข้อมูลที่ลักษณะเป็นตารางจากโปรแกรมทดสอบอ่านค่าได้เท่ากับ 3.7 ตัวอย่างต่อวินาที (220.762 ตัวอย่างต่อวินาที) นั่นคือส่งครบ 500 ตัวอย่างที่ 130 วินาที

2) กำหนดจำนวนผู้ใช้งานจำนวน 25 คน ได้ผลการทดสอบดังภาพที่ 4.11



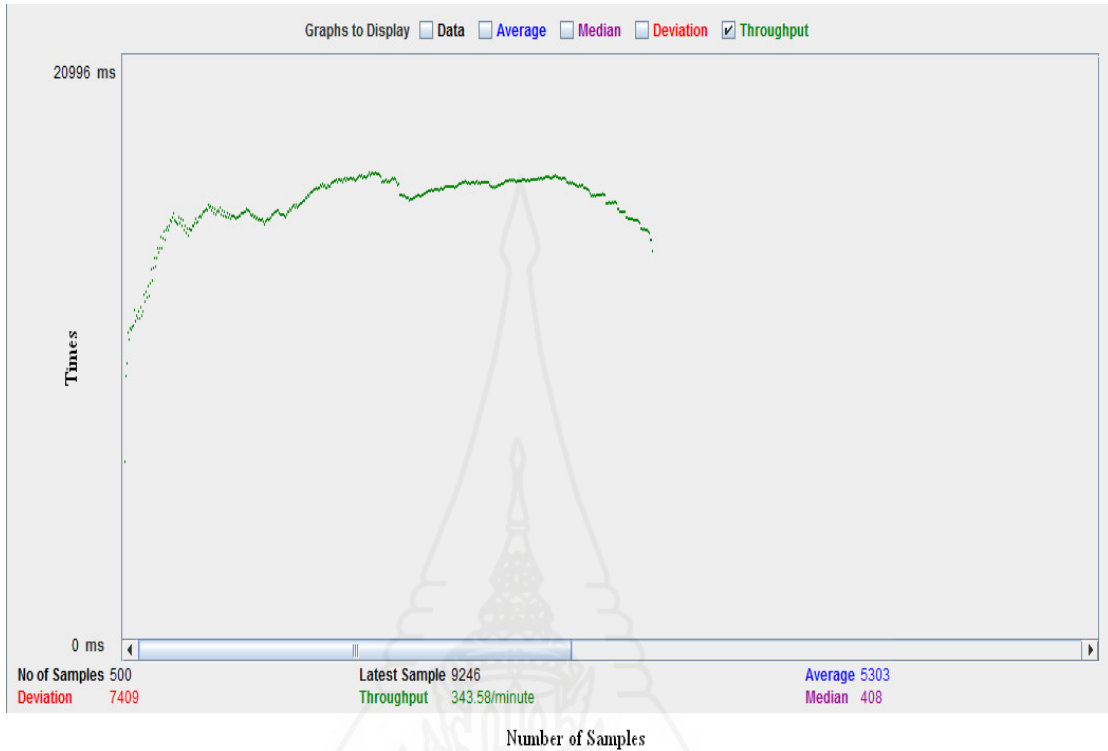
ภาพที่ 4.11 การทดสอบอัตราการไหลผ่านของข้อมูล จำนวน 25 คน ใช้บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ได้ค่าอัตราการไหลผ่านของข้อมูลเท่ากับ 341.935 ตัวอย่างต่อวินาที

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าอัตราการไหลผ่านของข้อมูลเท่ากับ 5.7 ตัวอย่างต่อวินาที  
(1 ตัวอย่าง เท่ากับ 5,915 Bytes) ของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1

Label	#Samples	Response Time (ms)			Std Dev. (ms)	Error %	Throughput (Sample/sec)	kB/s	Avg. Bytes
		Average	Min	Max					
HTTP Request	500	2,622	149	21,088	5,045.04	5.60	5.7	31.74	5,703.0

จากภาพที่ 4.11 แสดงกราฟการทดสอบอัตราการไหลผ่านของข้อมูล จำนวน 25 คน ลักษณะการส่ง request เป็นการส่งแบบสุ่ม ได้ค่าอัตราการไหลผ่านของข้อมูลเท่ากับ 341.935 ตัวอย่างต่อวินาที (1 ตัวอย่าง เท่ากับ 5,915 Bytes) และตารางที่ 4.3 แสดงค่าอัตราการไหลผ่านของข้อมูลที่มีลักษณะเป็นตารางจากโปรแกรมทดสอบอ่านค่าได้เท่ากับ 5.7 ตัวอย่างต่อวินาที (341.935 ตัวอย่างต่อวินาที) นั่นคือส่งครบ 500 ตัวอย่างที่ 80 วินาที เนื่องจากการทดสอบอัตราการไหลผ่านของข้อมูล โปรแกรม JMeter มีการส่ง request แบบสุ่ม ทำให้ไม่ทราบผลของผู้ใช้แต่ละคนว่ามีการส่ง request คนละกี่ตัวอย่างต่อวินาที และผลของกราฟก็ไม่แสดงให้เห็นทราบ

3) กำหนดจำนวนผู้ใช้งานจำนวน 50 คน ได้ผลการทดสอบดังภาพที่ 4.12



ภาพที่ 4.12 การทดสอบอัตราการไหลผ่านของข้อมูล จำนวน 50 คน ใช้บอร์ด ET dsPIC33WEB V1 ได้ค่าอัตราการไหลผ่านของข้อมูลเท่ากับ 343.58 ตัวอย่างต่อวินาที

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าอัตราการไหลผ่านของข้อมูลเท่ากับ 5.7 ตัวอย่างต่อวินาที (1 ตัวอย่าง เท่ากับ 5,915 Bytes) ของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1

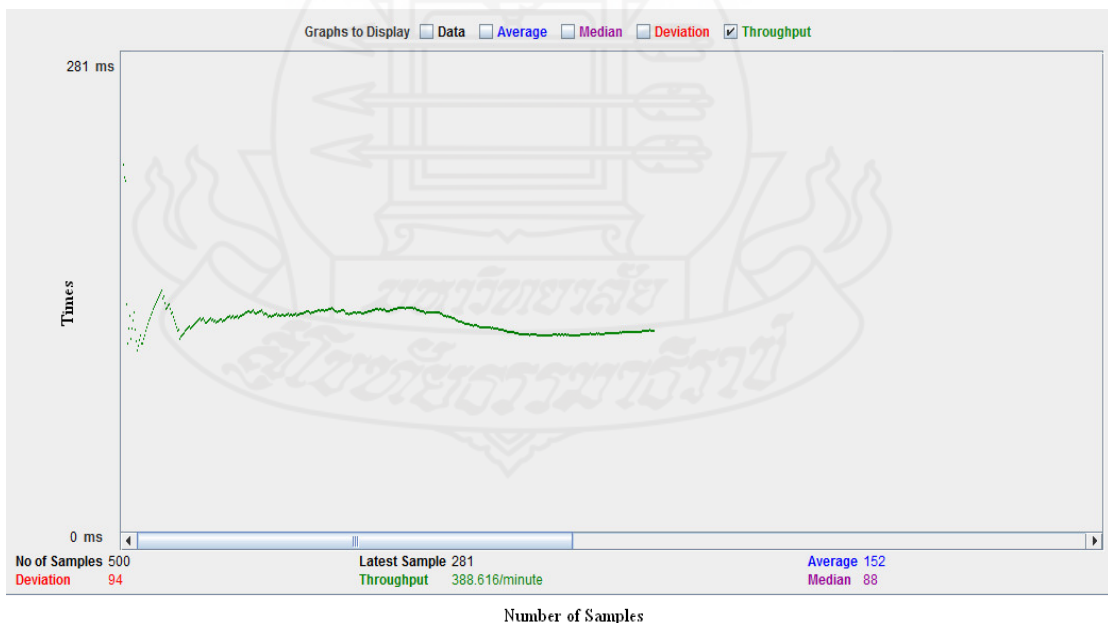
Label	#Samples	Response Time (ms)			Std Dev. (ms)	Error %	Throughput (Sample/sec)	kB/s	Avg. Bytes
		Average	Min	Max					
HTTP Request	500	5,303	180	21,142	7,409.80	16.00	5.7	29.69	5,309.4

จากภาพที่ 4.11 แสดงกราฟการทดสอบอัตราการไหลผ่านของข้อมูล จำนวน 50 คน ลักษณะการส่ง request เป็นการส่งแบบสุ่ม ได้ค่าอัตราการไหลผ่านของข้อมูลเท่ากับ 343.58 ตัวอย่างต่อวินาที (1 ตัวอย่าง เท่ากับ 5,915 Bytes) และตารางที่ 4.4 แสดงค่าอัตราการไหลผ่านของข้อมูลที่มีลักษณะเป็นตารางจากโปรแกรมทดสอบอ่านค่าได้เท่ากับ 5.7 ตัวอย่างต่อวินาที (343.58 ตัวอย่างต่อวินาที) นั่นคือส่งครบ 500 ตัวอย่างที่ 70 วินาที และจากการเปรียบเทียบอัตราการไหลผ่านของข้อมูลระหว่างผู้ใช้งานจำนวน 25 คน และ 50 คน มีค่าไม่ต่างกันมากเพราะผู้ใช้งานจำนวน 50 คน มีการเพิ่มจำนวน request ที่ส่งเข้ามาทดสอบระบบพร้อมกันมาก ทำให้อัตราการไหลผ่านของข้อมูลลดลงมา ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีส่วนใดส่วนหนึ่งในระบบงานเกิดปัญหาขอขวดเพื่อเข้าคิวรอการทำงาน ต่างจากผู้ใช้งานจำนวน 25 คน ที่มีการเพิ่มจำนวน request ที่ส่งเข้ามาทดสอบระบบพร้อมกันน้อยกว่า จึงทำให้อัตราการไหลผ่านของข้อมูลมีความเสถียรกว่า

เนื่องจากการทดสอบอัตราการไหลผ่านของข้อมูล โปรแกรม JMeter มีการส่ง request แบบสุ่ม ทำให้ไม่ทราบผลของผู้ใช้แต่ละคนว่ามีการส่ง request คนละกี่ตัวอย่างต่อวินาที และผลของกราฟก็ไม่แสดงให้ทราบ

### 2.2.2 ทดสอบอัตราการไหลผ่านของข้อมูลของบอร์ด CIE-M10

- 1) กำหนดจำนวนผู้ใช้งานจำนวน 1 คน ได้ผลการทดสอบดังภาพที่ 4.13



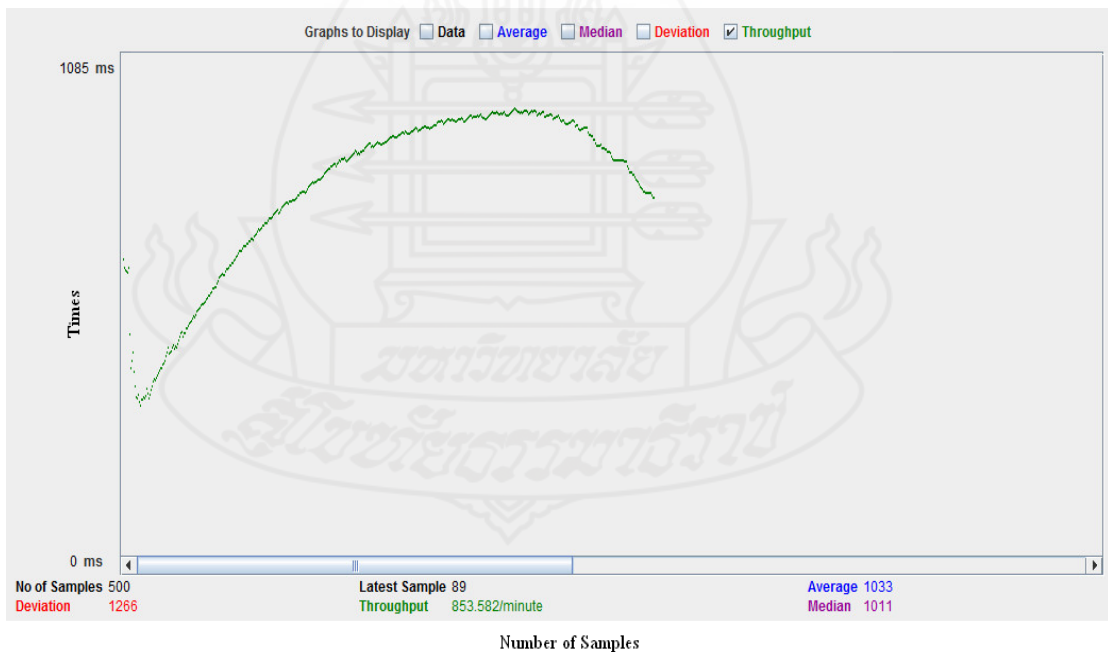
ภาพที่ 4.13 การทดสอบอัตราการไหลผ่านของข้อมูล จำนวน 1 คน ใช้บอร์ด CIE-M10 ได้ค่าอัตราการไหลผ่านของข้อมูลเท่ากับ 388.616 ตัวอย่างต่อวินาที

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าอัตราการไหลผ่านของข้อมูลเท่ากับ 6.5 ตัวอย่างต่อวินาที (1 ตัวอย่าง เท่ากับ 3,592 Bytes) ของบอร์ค CIE- M10

Label	#Samples	Response Time (ms)			Std Dev. (ms)	Error %	Throughput (Sample/sec)	kB/s	Avg. Bytes
		Average	Min	Max					
HTTP Request	500	152	83	558	94.36	0.00	6.5	22.72	3,592.0

จากภาพที่ 4.13 แสดงกราฟการทดสอบอัตราการไหลผ่านของข้อมูล จำนวน 1 คน ได้ค่าอัตราการไหลผ่านของข้อมูลเท่ากับ 388.616 ตัวอย่างต่อวินาที (1 ตัวอย่าง เท่ากับ 3,592 Bytes) และตารางที่ 4.5 แสดงค่าอัตราการไหลผ่านของข้อมูลที่ลักษณะเป็นตารางจากโปรแกรมทดสอบอ่านค่าได้เท่ากับ 6.5 ตัวอย่างต่อวินาที (388.616 ตัวอย่างต่อวินาที) นั่นคือส่งครบ 500 ตัวอย่างที่ 70 วินาที

2) กำหนดจำนวนผู้ใช้งานจำนวน 25 คน ได้ผลการทดสอบดังภาพที่ 4.14



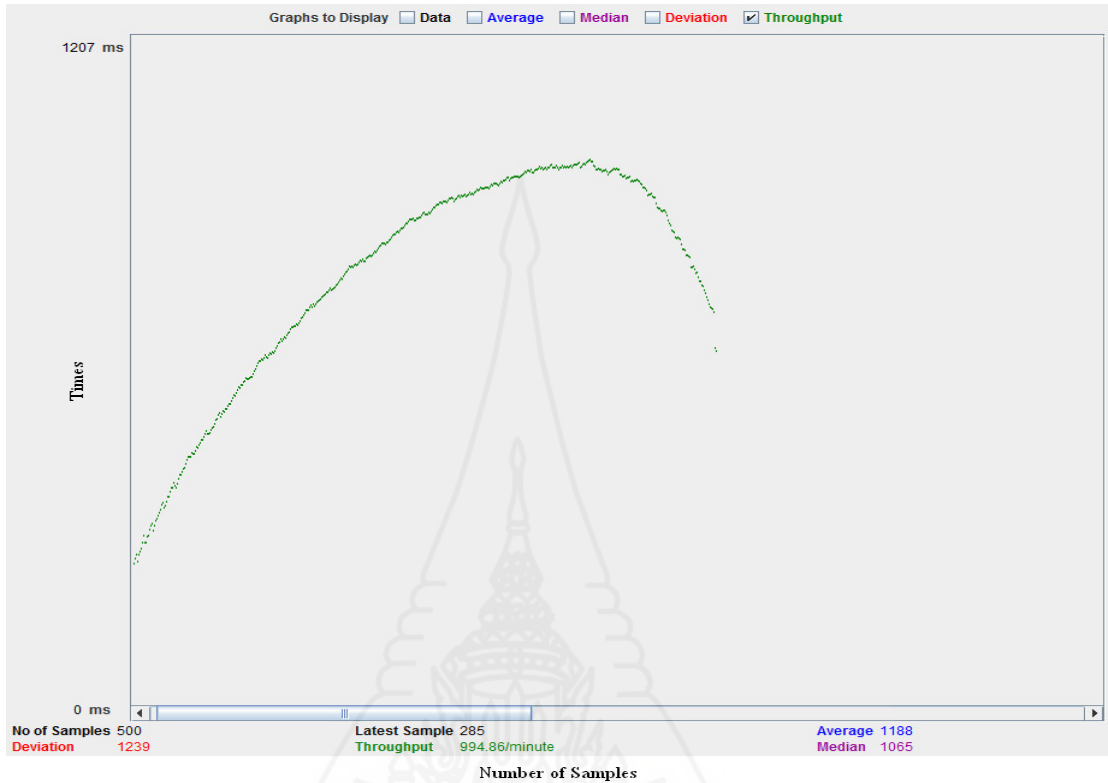
ภาพที่ 4.14 การทดสอบอัตราการไหลผ่านของข้อมูล จำนวน 25 คน ใช้บอร์ค CIE-M10 ได้ค่าอัตราการไหลผ่านของข้อมูลเท่ากับ 853.582 ตัวอย่างต่อวินาที

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าอัตราการไหลผ่านของข้อมูลเท่ากับ 14.2 ตัวอย่างต่อวินาที  
(1 ตัวอย่าง เท่ากับ 3,592 Bytes) ของบอร์ด CIE-M10

Label	#Samples	Response Time (ms)			Std Dev. (ms)	Error %	Throughput (Sample/sec)	kB/s	Avg. Bytes
		Average	Min	Max					
HTTP Request	500	1,033	84	13,039	1,266.37	52.00	14.2	39.33	2,830.7

จากภาพที่ 4.14 แสดงกราฟการทดสอบอัตราการไหลผ่านของข้อมูล จำนวน 25 คน ลักษณะการส่ง request เป็นการส่งแบบสุ่ม ได้ค่าอัตราการไหลผ่านของข้อมูลเท่ากับ 853.582 ตัวอย่างต่อวินาที (1 ตัวอย่าง เท่ากับ 3,592 Bytes) และตารางที่ 4.6 แสดงค่าอัตราการไหลผ่านของข้อมูลที่มีลักษณะเป็นตารางจากโปรแกรมทดสอบอ่านค่าได้เท่ากับ 14.2 ตัวอย่างต่อวินาที (853.582 ตัวอย่างต่อวินาที) นั่นคือส่งครบ 500 ตัวอย่างที่ 20 วินาที เนื่องจากการทดสอบอัตราการไหลผ่านของข้อมูล โปรแกรม JMeter มีการส่ง request แบบสุ่ม ทำให้ไม่ทราบผลของผู้ใช้แต่ละคนว่ามีกรส่ง request คนละกี่ตัวอย่างต่อวินาที และผลของกราฟก็ไม่แสดงให้ทราบ

3) กำหนดจำนวนผู้ใช้งานจำนวน 50 คน ได้ผลการทดสอบดังภาพที่ 4.15



ภาพที่ 4.15 การทดสอบอัตราการไหลผ่านของข้อมูล จำนวน 50 คน ใช้บอร์ด CIE-M10 ได้ค่าอัตราการไหลผ่านของข้อมูลเท่ากับ 994.56 ตัวอย่างต่อวินาที

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าอัตราการไหลผ่านของข้อมูลเท่ากับ 16.6 ตัวอย่างต่อวินาที (1 ตัวอย่าง เท่ากับ 3,592 Bytes) ของบอร์ด CIE-M10

Label	#Samples	Response Time (ms)			Std Dev. (ms)	Error %	Throughput (Sample/sec)	kB/s	Avg. Bytes
		Average	Min	Max					
HTTP Request	500	1,188	94	13,258	1,239.05	72.20	16.6	41.02	2,533.3



จากภาพที่ 4.15 แสดงกราฟการทดสอบอัตราการใช้หน่วยของข้อมูล จำนวน 50 คน ได้ค่าอัตราการใช้หน่วยของข้อมูลเท่ากับ 994.560 ตัวอย่างต่อวินาที (1 ตัวอย่าง เท่ากับ 3,592 Bytes) และตารางที่ 4.7 แสดงค่าอัตราการใช้หน่วยของข้อมูลที่ลักษณะเป็นตารางจากโปรแกรมทดสอบ อ่านค่าได้เท่ากับ 16.6 ตัวอย่างต่อวินาที (994.560 ตัวอย่างต่อวินาที) นั่นคือส่งครบ 500 ตัวอย่างที่ 20 วินาที เนื่องจากการทดสอบอัตราการใช้หน่วยของข้อมูล โปรแกรม JMeter มีการส่ง request แบบ ลุ่ม ทำให้ไม่ทราบผลของผู้ใช้แต่ละคนว่ามีการส่ง request คนละกี่ตัวอย่างต่อวินาที และผลของ กราฟก็ไม่แสดงให้ทราบ

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบผลการวัดอัตราการใช้หน่วยของข้อมูลจากกราฟและตารางการทดสอบ

จำนวนผู้ใช้	บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1		บอร์ด CIE-M10	
	อ่านค่าจากกราฟ (ตัวอย่างต่อวินาที)	อ่านค่าจากตาราง (ตัวอย่างต่อวินาที)	อ่านค่าจากกราฟ (ตัวอย่างต่อวินาที)	อ่านค่าจากตาราง (ตัวอย่างต่อวินาที)
1 คน	220.762	3.7	388.616	6.5
25 คน	341.935	5.7	853.582	14.2
50 คน	343.580	5.7	994.560	16.6

จากตารางการทดสอบถ้าจำนวนผู้ใช้งานมีมากขึ้นจะทำให้ค่า Throughput มีค่ามาก เพราะมีการรับและส่ง Request พร้อมๆ กันมาก เมื่อเปรียบเทียบอัตราการใช้หน่วยของข้อมูล พบว่าบอร์ด CIE-M10 มีอัตราการใช้หน่วยของข้อมูลมากกว่า บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 เพราะ บอร์ด CIE-M10 ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีการประมวลผลทำงานแบบ 32 บิต มีโมดูลการ เชื่อมต่อกับโครงข่ายแบบอีเทอร์เน็ตแบบในตัว จึงมีค่าอัตราการใช้หน่วยของข้อมูล ที่มากกว่า แต่ บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผล แบบ 16 บิต มีโมดูล อีเทอร์เน็ตคอนโทรลเลอร์เชื่อมต่อกับโครงข่ายอีเทอร์เน็ตแบบแยกกับตัวบอร์ด จึงมีค่าอัตราการใช้หน่วยของข้อมูลที่น้อยกว่า

### 2.3 การวัดประสิทธิภาพด้านความพร้อมใช้

ขั้นตอนในการทดสอบ ผู้วิจัยได้ทดสอบบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 และ บอร์ด CIE-M10 ตามลำดับ โดยเชื่อมต่อกับเครื่องส่งวิทยุเอเอ็มเพื่อดูค่าประสิทธิภาพด้านความพร้อมในการให้บริการ โดยใช้เครื่องมือ Alchemy Network ซึ่งเป็นเครื่องมือสำหรับตรวจเช็คระบบเครือข่าย หรือระบบเซิร์ฟเวอร์ เพื่อตรวจสอบว่าระบบมีการทำงานมีประสิทธิภาพและต่อเนื่องหรือไม่

โดยเงื่อนไขในการทดสอบจะทดสอบการใช้งานโพรโทคอล TCP/IP และ HTTP ซึ่งระยะเวลาในการทดสอบจะทดสอบช่วงเวลา 1 สัปดาห์ และช่วงเวลา 1 เดือน ตามลำดับ เพื่อวัดค่าประสิทธิภาพด้านความพร้อมใช้ของแต่ละบอร์ด

การวัดประสิทธิภาพด้านความพร้อมใช้ ผู้วิจัยใช้เครื่องมือ Alchemy Network ซึ่งเป็นเครื่องมือสำหรับตรวจเช็คระบบเครือข่ายหรือระบบเซิร์ฟเวอร์ เพื่อตรวจสอบความต่อเนื่องการทำงานของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็ม ในการตรวจสอบควรใช้เครื่องสำรองไฟเพราะจะได้ทราบค่าที่แท้จริงในด้านความพร้อมใช้ช่วยให้มั่นใจได้ว่าระบบที่พัฒนาขึ้นนั้นสามารถให้บริการได้ตามเงื่อนไขที่กำหนด ส่วนระยะเวลาในการทดสอบควรมีการทดสอบเวลา 1 ปี

### 2.3.1 การทดสอบประสิทธิภาพด้านความพร้อมใช้งานบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1

การทดสอบ dsPIC33WEB\_TCP/IP เป็นการทดสอบประสิทธิภาพด้านความพร้อมในการให้บริการการใช้งานของโพรโทคอล TCP/IP ส่วน dsPIC33WEB\_HTTP เป็นการทดสอบประสิทธิภาพด้านความพร้อมใช้งานของโพรโทคอล HTTP สำหรับการแสดงผลบนเว็บเบราว์เซอร์

1) การทดสอบค่าความพร้อมใช้งานของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ในหนึ่งสัปดาห์ ได้ผลการทดสอบดังภาพที่ 4.16

Server Availability Totals Report					
2014/03/20 00:00:00 thru 2014/03/26 23:59:59 Folder: All Monitors					
Monitor	UP (min)	DOWN (min)	UP (%)	DOWN (%)	Total
dsPIC33WEB_TCP/IP	10074	0	100	0	10074
dsPIC33WEB_HTTP	10074	0	100	0	10074

ภาพที่ 4.16 ผลการทดสอบค่าความพร้อมใช้งานภายใน 1 สัปดาห์ของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1

จากภาพที่ 4.16 dsPIC33web\_TCP/IP มีค่าความพร้อมใช้งาน 100 % ในหนึ่งสัปดาห์ ส่วน dsPIC33WEB1\_HTTP มีค่าความพร้อมใช้งาน 100 % ในหนึ่งสัปดาห์ เช่นกัน

2) การทดสอบค่าความพร้อมใช้งานบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ในหนึ่งเดือน ได้ผลการทดสอบดังภาพที่ 4.17

Server Availability Totals Report					
2014/03/20 00:00:00 thru 2014/04/18 23:59:59 Folder: All Monitors					
Monitor	UP (min)	DOWN (min)	UP (%)	DOWN (%)	Total
dsPIC33WEB_TCP/IP	42267	931	97	2	43198
dsPIC33WEB_HTTP	41428	1770	95	4	43198

ภาพที่ 4.17 ผลการทดสอบค่าความพร้อมใช้งานภายใน 1 เดือนของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1

จากภาพที่ 4.17 dsPIC33web\_TCP/IP มีค่าความพร้อมใช้งาน 97 % ในหนึ่งเดือน ส่วน dsPIC33WEB\_HTTP มีค่าความพร้อมใช้งาน 95 % ในหนึ่งเดือน

### 2.3.2 การทดสอบประสิทธิภาพด้านความพร้อมใช้งาน CIE-M10

CIE-M10\_TCP/IP ถูกนำมาทดสอบประสิทธิภาพด้านความพร้อมในการให้บริการ การใช้งานของโพรโทคอล TCP/IP ส่วน CIE-M10\_HTTP เป็นการทดสอบประสิทธิภาพด้านความพร้อมใช้งานของโพรโทคอล HTTP สำหรับการแสดงผลบนเว็บเบราว์เซอร์

1) การทดสอบค่าความพร้อมใช้งาน บอร์ด CIE-M10 ในหนึ่งสัปดาห์ ได้ผลการทดสอบดังภาพที่ 4.18

Server Availability Totals Report					
2014/08/04 00:00:00 thru 2014/08/10 23:59:59 Folder: All Monitors					
Monitor	UP (min)	DOWN (min)	UP (%)	DOWN (%)	Total
CIE-M10_TCP/IP	10075	0	100	0	10075
CIE-M10_HTTP	10075	0	100	0	10075

ภาพที่ 4.18 ผลการทดสอบค่าความพร้อมใช้งานภายใน 1 สัปดาห์ของบอร์ด CIE-M10

จากภาพที่ 4.18 CIE-M10\_TCP/IP มีค่าความพร้อมใช้งาน 100 % ในหนึ่งสัปดาห์ ส่วน CIE-M10\_HTTP มีค่าความพร้อมใช้งาน 100 % ในหนึ่งสัปดาห์ เช่นกัน

2) การทดสอบค่าความพร้อมใช้งาน บอร์ด CIE-M10 ในหนึ่งเดือน ได้ผลการทดสอบดังภาพที่ 4.19

Server Availability Totals Report					
2014/08/04 00:00:00 thru 2014/09/02 23:59:59 Folder: All Monitors					
Monitor	UP (min)	DOWN (min)	UP (%)	DOWN (%)	Total
CIE-M10_TCP/IP	43178	21	99	0	43199
CIE-M10_HTTP	42217	982	97	2	43199

ภาพที่ 4.19 ผลการทดสอบค่าความพร้อมใช้งาน ภายใน 1 เดือนของบอร์ด CIE-M10

จากภาพที่ 4.19 CIE-M10\_TCP/IP มีค่าความพร้อมใช้งาน 99 % ในหนึ่งเดือน ส่วน CIE-M10\_HTTP มีค่าความพร้อมใช้งาน 97 % ในหนึ่งเดือน

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบความพร้อมใช้งาน ในระดับต่างๆ และช่วงเวลาที่ระบบไม่สามารถให้บริการได้ ของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 และ บอร์ด CIE-M10 การใช้งานของ โพรโทคอล TCP/IP

ช่วงเวลาที่ระบบสามารถให้บริการได้				ช่วงเวลาที่ระบบไม่สามารถให้บริการได้			
ET-dsPIC33WEB V1		CIE-M10		ET-dsPIC33WEB V1		CIE-M10	
1 เดือน	1 สัปดาห์	1 เดือน	1 สัปดาห์	1 เดือน	1 สัปดาห์	1 เดือน	1 สัปดาห์
97%	100 %	99%	100 %	3%	0%	1%	0%

จากตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบด้านความพร้อมใช้งาน โพรโทคอล TCP/IP ทั้งสองบอร์ด พบว่าในช่วงเวลา 1 สัปดาห์ ระบบสามารถให้บริการได้ 100% แต่ในช่วงเวลา 1 เดือน ระบบที่ใช้บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 สามารถให้บริการได้ 97% ระบบไม่สามารถให้บริการได้ 3% ส่วนบอร์ด CIE-M10 ในช่วงเวลา 1 เดือน สามารถให้บริการได้ 99% ระบบไม่สามารถให้บริการได้ 1% สาเหตุที่ทำให้ค่าความพร้อมใช้งานทั้งสองบอร์ดลดลงเพราะเกิดจากความร้อนที่สะสมในตัวบอร์ด จึงทำให้หยุดทำงาน ไปชั่วขณะ และจากการเปรียบเทียบผลการทดสอบทั้งสองบอร์ด พบว่าบอร์ด CIE-M10 มีค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถให้บริการของระบบที่สูงกว่า บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 จึงมีประสิทธิภาพด้านความพร้อมใช้งานกว่า

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบความพร้อมใช้งานในระดับต่างๆ และช่วงเวลาที่ระบบไม่สามารถให้บริการได้ ของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 และบอร์ด CIE-M10 ใช้งานของ โพรโทคอล HTTP สำหรับการแสดงผลบนเว็บเบราว์เซอร์

ช่วงเวลาที่สามารถให้บริการได้				ช่วงเวลาที่ไม่สามารถให้บริการได้			
ET-dsPIC33WEB V1		CIE-M10		ET-dsPIC33WEB V1		CIE-M10	
1 เดือน	1 สัปดาห์	1 เดือน	1 สัปดาห์	1 เดือน	1 สัปดาห์	1 เดือน	1 สัปดาห์
95%	100 %	97%	100 %	5%	0	3%	0

จากตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบด้านความพร้อมใช้งาน โพรโทคอล HTTP ใช้สำหรับการแสดงผลบนเว็บเบราว์เซอร์ จากการทดสอบทั้งสองบอร์ดพบว่าในช่วงเวลา 1 สัปดาห์ ระบบสามารถให้บริการได้ 100% แต่ในช่วงเวลา 1 เดือน กรณีบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ระบบสามารถให้บริการได้ 95% ระบบไม่สามารถให้บริการได้ 5% ส่วนกรณีบอร์ด CIE-M10 ในช่วงเวลา 1 เดือน ระบบสามารถให้บริการได้ 97% ระบบไม่สามารถให้บริการได้ 3% สาเหตุที่ทำให้ความพร้อมใช้งานทั้งสองบอร์ดลดลงเพราะเกิดจากความร้อนที่สะสมในตัวบอร์ดจึงทำให้หยุดทำงานไปช่วงขณะ จากผลการเปรียบเทียบทั้งสองบอร์ด พบว่าบอร์ด CIE-M10 มีค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถให้บริการของระบบที่สูงกว่า บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 จึงมีประสิทธิภาพด้านความพร้อมใช้งานมากกว่า

#### 2.4 การทดสอบเปรียบเทียบการทำงานของระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุ เอฟเอ็ม วัดค่าความผิดพลาดทางความถี่ โดยใช้เครื่องสเปกตรัม และเครื่องนับความถี่

การทดสอบเปรียบเทียบวัดค่าความผิดพลาดทางความถี่ ค่าความผิดพลาดทางความถี่มีความสำคัญมากในการประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียงเพราะถ้าความถี่ที่ออกอากาศมีค่าผิดพลาดเกินกำหนดอาจทำให้เกิดปัญหาสัญญาณรบกวนซึ่งกันและกันของสถานีเครื่องส่งวิทยุในย่านเดียวกัน หรือรบกวนอุปกรณ์เครื่องมืออื่น

การทดสอบค่าความผิดพลาดทำโดยสร้างคลื่นความถี่คลื่นพาห้ของสัญญาณวิทยุในกรณีดังต่อไปนี้

1. กรณีที่ระบบเครื่องส่งวิทยุไม่ได้มีการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ควบคุม
2. กรณีที่ระบบเครื่องส่งวิทยุเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ควบคุม บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1
3. กรณีที่ระบบเครื่องส่งวิทยุเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ควบคุม บอร์ด CIE-M10

ในการทดสอบจะใช้ความถี่คลื่นพาห์เท่ากับ 99.25 MHz เพราะเป็นความถี่ของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็มออกอากาศ ที่เชื่อมต่อกับบอร์ดควบคุม ET-dsPIC33WEB V1 และ CIE-M10 กำลังส่งออกอากาศ 2 กิโลวัตต์ โดย มีการตั้งค่าเครื่องสเปกตรัมดังนี้

Start Frequency	=	98.25	MHz
Stop Frequency	=	100.25	MHz
Center Frequency	=	99.25	MHz
Frequency Span	=	2	MHz
Resolution Bandwidth(RBW)	=	30	kHz
Video Bandwidth(VBW)	=	3	kHz
Input Attenuation	=	40	dB

Start Frequency คือค่าความถี่เริ่มต้นที่จะวัด คือ 98.25 MHz

Stop Frequency คือค่าความถี่สิ้นสุดที่จะวัด คือ 100.25 MHz

Span คือ เป็นการปรับช่วงความกว้างของความถี่ที่จะวัด โดยหาได้จาก

$$\text{Frequency Span} = \text{Stop Frequency} - \text{Start Frequency} \quad (4.1)$$

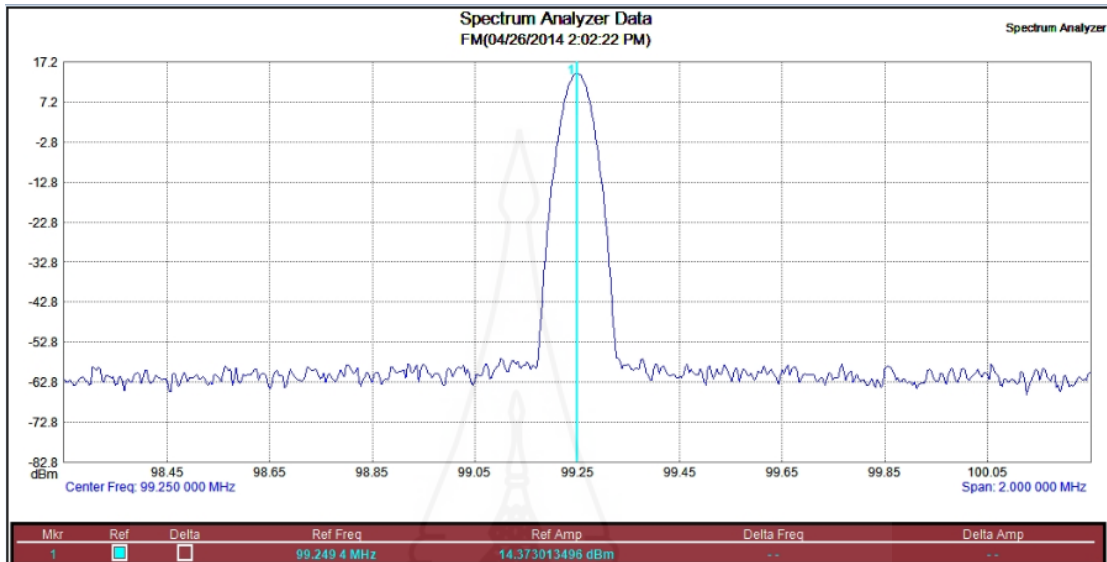
$$2 \text{ MHz} = 100.25 - 98.25 \text{ MHz}$$

Resolution Bandwidth คือ ค่าของแบนด์วิดท์ที่มีผลต่อการแสดงผลคือ ถ้าค่า RBW ยิ่งน้อยจะได้รูปกราฟแสดงผลที่มีความเที่ยงตรงมากขึ้น แต่เวลาที่ใช้ในการ Sweep ก็ยาวนานขึ้น

Video Bandwidth คือการตรวจสอบสัญญาณให้ได้สัญญาณวิดีโอซึ่งจะถูกนำไปแสดงเป็นสัญญาณในด้านแนวตั้งของหน้าจอ

Input Attenuation คือ ค่าการปรับการลดทอนของสัญญาณที่จะวัดให้มีความเหมาะสมในการอ่านค่า

2.4.1 การวัด กรณีเครื่องส่งอย่างเดียวโดยระบบเครื่องส่งไม่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ควบคุมภายนอก ใช้เครื่องวิเคราะห์ สเปกตรัมวัดค่าความถี่ ได้ผลการทดสอบดังภาพที่ 4.20



ภาพที่ 4.20 การใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมวัดสัญญาณความถี่แบนด์แคบ 99.25 MHz กรณีระบบไม่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ควบคุมภายนอก

จากภาพที่ 4.20 จากการวัดโดยใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectrum Analyzer) จากการกด Peaks/Markers หรือ PEAK SEARCH ที่ระดับสัญญาณสูงสุดวัดได้ค่าความถี่ 99.2494 MHz เพราะฉะนั้นคำนวณได้ค่าความถี่ผิดพลาดดังนี้

$$\begin{aligned}
 f_{\text{(ค่าความถี่ผิดพลาด)}} &= 99.2500 - 99.2494 \\
 &= 0.0006 \text{ MHz หรือ เท่ากับ } 0.6 \text{ kHz}
 \end{aligned}$$

เนื่องจากในการทดสอบไม่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ควบคุมภายนอก และค่าที่คำนวณได้ไม่เกิน จิตจำกัดในการทดสอบของมาตรฐาน กสทช. คือ  $\pm 2$  kHz ดังนั้น จึงถือได้ว่าไม่มีผลกระทบใดๆ ในการออกอากาศ และเป็นไปตามมาตรฐานของการทดลองการประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียง กสทช. มท. 8001 2555

2.4.2 การวัดค่า กรณีเครื่องส่งอย่างเดียวโดยระบบเครื่องส่งไม่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ควบคุมภายนอก ใช้เครื่องนับความถี่วัดค่า ได้ผลการทดสอบดังภาพที่ 4.21



ภาพที่ 4.21 การใช้เครื่องนับความถี่วัดสัญญาณความถี่แบนด์แคบ 99.25 MHz กรณีระบบไม่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ควบคุมภายนอก

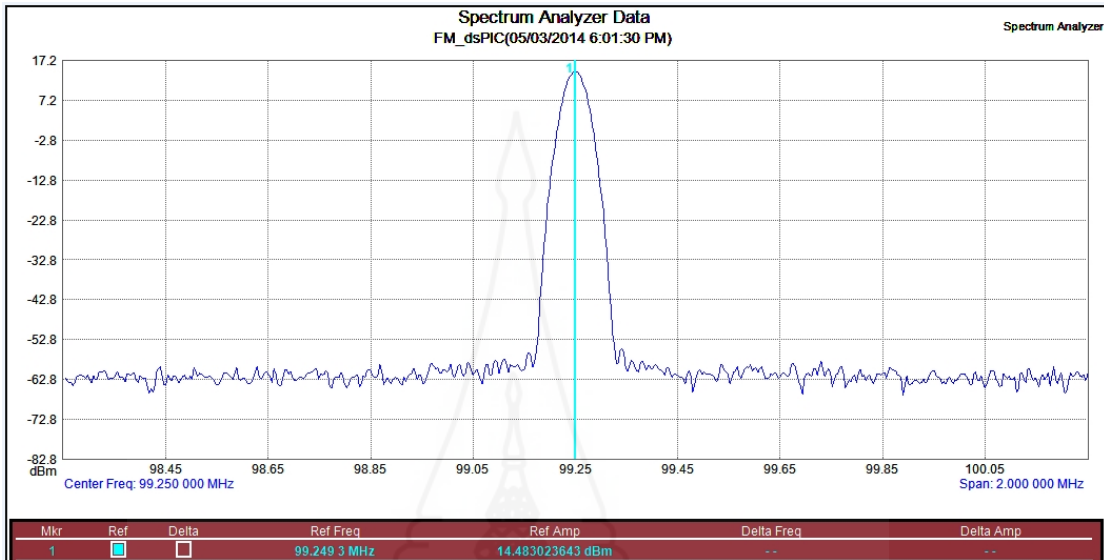
จากภาพที่ 4.21 วัดได้ค่าความถี่ 99.249369 MHz คำนวณหาค่าความถี่ผิดพลาดได้ดังนี้

$$f_{\text{(ค่าความถี่ผิดพลาด)}} = 99.250000 - 99.249369 = 0.000631 \text{ MHz หรือ } 0.631 \text{ kHz}$$

ดังนั้น ได้ค่าผิดพลาดทางความถี่เท่ากับ 0.631 kHz ซึ่งไม่เกิน  $\pm 2$  kHz เป็นไปตามมาตรฐานของการประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียง กสทช. มท. 8001 2555



**2.4.3 การวัดค่า กรณีระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม เชื่อมต่อกับ บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ใช้เครื่องมือสเปกตรัมวัดค่าความถี่ ได้ผลการทดสอบดังภาพที่ 4.22**



ภาพที่ 4.22 การใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมวัดสัญญาณความถี่แบนด์แคบ 99.25 MHz เชื่อมต่อกับ บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1

จากภาพที่ 4.22 จากการวัดสัญญาณเมื่อเชื่อมต่อกับ บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 โดยใช้เครื่องมือสเปกตรัม จากการกด Peaks/Markers จะได้ค่าความถี่ที่มีระดับสัญญาณสูงสุดที่ความถี่ 99.2493 MHz คำนวณได้ค่าความถี่ผิดพลาดดังนี้

$$\begin{aligned}
 f_{\text{(ค่าความถี่ผิดพลาด)}} &= 99.2500 - 99.2493 \\
 &= 0.0007 \text{ MHz หรือ เท่ากับ } 0.7 \text{ kHz}
 \end{aligned}$$

จากผลการทดสอบโดยใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมวัดและคำนวณได้ค่าความถี่ผิดพลาดได้เท่ากับ 0.7 kHz ซึ่งมีค่าไม่เกิน  $\pm 2$  kHz ดังนี้ จึงถือได้ว่าไม่มีผลกระทบใดๆ ในการออกอากาศ และเป็นไปตามมาตรฐานของการประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียง กสทช. มท. 8001 2555

2.4.4 การวัดค่า กรณีระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม เชื่อมต่อกับบอร์ด *ET-dsPIC33WEB V1* โดยใช้เครื่องนับความถี่วัดค่า ได้ผลการทดสอบดังภาพที่ 4.23



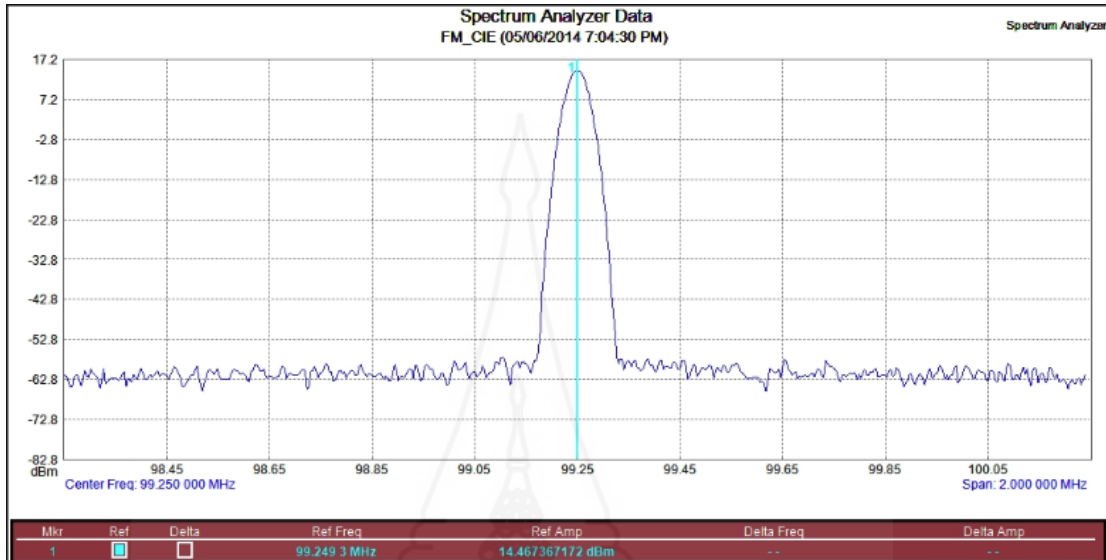
ภาพที่ 4.23 การใช้เครื่องนับความถี่วัดสัญญาณความถี่แบนด์แคป 99.25 MHz เชื่อมต่อกับบอร์ด *ET-dsPIC33WEB V1*

จากภาพที่ 4.23 วัดได้ค่าความถี่ 99.249304 MHz คำนวณหาค่าความถี่ผิดพลาดได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 f_{\text{(ค่าความถี่ผิดพลาด)}} &= 99.250000 - 99.249304 \\
 &= 0.000696 \text{ MHz หรือ } 0.696 \text{ kHz}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น ได้ค่าผิดพลาดทางความถี่เท่ากับ 0.696 kHz ซึ่งไม่เกิน  $\pm 2$  kHz เป็นไปตามมาตรฐานของการประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียง กสทช. มท. 8001 2555 และการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ควบคุมบอร์ด *ET-dsPIC33WEB V1* จึงไม่มีผลกระทบในการออกอากาศวิทยุกระจายเสียงของความถี่ 99.25 MHz

2.4.5 การวัดค่า กรณีระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม เชื่อมต่อกับบอร์ด CIE-M10 ใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมวัดค่าความถี่ ได้ผลทดสอบดังภาพที่ 4.24



ภาพที่ 4.24 การใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมวัดสัญญาณความถี่แบนด์แคบ 99.25 MHz เชื่อมต่อกับบอร์ด CIE-M10

จากภาพที่ 4.24 จากการวัดสัญญาณเมื่อเชื่อมต่อกับ บอร์ด CIE-M10 โดยใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม จากการกด Peaks/Markers จะได้ค่าระดับสัญญาณที่ความถี่สูงสุด 99.2493 MHz คำนวณได้ค่าความถี่ผิดพลาดดังนี้

$$\begin{aligned}
 f_{\text{(ค่าความถี่ผิดพลาด)}} &= 99.2500 - 99.2493 \\
 &= 0.0007 \text{ MHz หรือ เท่ากับ } 0.7 \text{ kHz}
 \end{aligned}$$

จากผลการทดสอบ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมวัดและคำนวณได้ค่าความถี่ผิดพลาดได้เท่ากับ 0.7 kHz ซึ่งมีค่าไม่เกิน  $\pm 2$  kHz ดังนี้ จึงถือได้ว่าไม่มีผลกระทบใดๆ ในการออกอากาศ และเป็นไปตามมาตรฐานของการประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียง กสทช. มท. 8001 2555

2.4.6 การวัดค่า กรณีระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม เชื่อมต่อกับบอร์ด CIE-M10 ใช้เครื่องนับความถี่วัดค่า ได้ผลทดสอบดังภาพที่ 4.25



ภาพที่ 4.25 การใช้เครื่องนับความถี่วัดสัญญาณความถี่แบนด์แคป 99.25 MHz เชื่อมต่อกับบอร์ด CIE-M10

จากภาพที่ 4.26 วัดได้ค่าความถี่ 99.249275 MHz กำหนดหาค่าความถี่ผิดพลาดได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 f_{\text{(ค่าความถี่ผิดพลาด)}} &= 99.250000 - 99.249275 \\
 &= 0.000725 \text{ MHz หรือ } 0.725 \text{ kHz}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น ได้ค่าผิดพลาดทางความถี่เท่ากับ 0.725 kHz ซึ่งไม่เกิน  $\pm 2$  kHz เป็นไปตามมาตรฐานของการประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียง กสทช. มท. 8001 2555 และการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ควบคุมบอร์ด CIE-M10 จึงไม่มีผลกระทบในการออกอากาศวิทยุกระจายเสียงของความถี่ 99.25 MHz

สรุปผลจากการทดสอบค่าความผิดพลาดของการสร้างคลื่นความถี่คลื่นพาห้ของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็ม พบว่าสัญญาณวิทยุในกรณีที่เครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็ม ไม่ได้มีการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ควบคุมและในกรณีที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ควบคุมบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 และ บอร์ด CIE-M10 ตามลำดับนั้น จากการทดสอบโดยใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมและเครื่องนับความถี่ ได้ผลการทดสอบตามตารางที่ 4.11 สรุปเปรียบเทียบได้ ดังนี้

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบผลการทดสอบวัดค่าความถี่ผิดพลาด

เครื่องมือวัด	ลักษณะการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก		
	เครื่องส่ง FM (ไม่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์)	เครื่องส่ง FM กับบอร์ด ET-dsPIC33 V1	เครื่องส่ง FM กับ บอร์ด CIE-M10
เครื่องสเปกตรัม	0.600 kHz	0.700 kHz	0.700 kHz
เครื่องนับความถี่	0.631 kHz	0.696 kHz	0.725 kHz

จากตารางที่ 4.11 ในการคำนวณหาค่าความถี่ผิดพลาดพบว่าระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม ที่ไม่ได้เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ทดสอบโดยใช้เครื่องมือวัดทั้ง 2 ชนิด จะมีค่าต่ำกว่าในกรณีที่มีการเชื่อมต่อกับบอร์ด ET-dsPIC33 V1 และบอร์ด CIE-M10 และเมื่อเปรียบเทียบลักษณะการเชื่อมต่อระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็มกับบอร์ด ET-dsPIC33 V1 และบอร์ด CIE-M10 พบว่าเมื่อใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมวัดสัญญาณความถี่และคำนวณค่าความถี่ผิดพลาดได้เท่ากันคือ 0.700 kHz แต่ในกรณีที่ใช้เครื่องนับความถี่วัดสัญญาณความถี่และคำนวณค่าความถี่ผิดพลาด เมื่อเปรียบเทียบกับระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม ที่เชื่อมต่อกับบอร์ด ET-dsPIC33 V1 (ค่าความถี่ผิดพลาดเท่ากับ 0.696 kHz) ค่าความถี่ผิดพลาดกว่าระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็มที่เชื่อมต่อกับบอร์ด CIE-M10 (ค่าความถี่ผิดพลาดเท่ากับ 0.725 kHz) คือ 0.029 kHz

ดังนั้น ค่าที่วัดได้ของการทดสอบทั้งหมดเมื่อกำหนดหาค่าความถี่ผิดพลาดจะมีค่าไม่เกิน  $\pm 2$  กิโลเฮิรตซ์ และเป็นไปตามมาตรฐานหลักเกณฑ์การประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียง กสทช. มท. 8001 2555 นั่นคือสามารถใช้ทั้ง 2 บอร์ด คือ dsPIC33 และ CIE-M10 ในการเชื่อมต่อและควบคุมการทำงานของระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม โดยไม่มีผลกระทบต่อ การออกอากาศวิทยุกระจายเสียงที่ความถี่ 99.25 MHz ซึ่งเป็นความถี่เครื่องส่ง และจะไม่เกิดปัญหา สัญญาณรบกวนซึ่งกันและกันของสถานีเครื่องส่งวิทยุในย่านเดียวกัน

## บทที่ 5

### สรุปการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยเรื่อง “การทดสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายสมองกลฝังตัวขนาดเล็กที่ทำงานร่วมกันระหว่าง dsPIC33 และ ENC28J60 สำหรับพัฒนาประสิทธิภาพระบบเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม” ได้ข้อสรุปผลการวิจัย การอภิปรายผล และข้อเสนอแนะดังนี้

#### 1. สรุปการวิจัย

สรุปผลการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 หัวข้อ ดังนี้ ตอนที่ 1 สรุปการสร้างระบบเครือข่ายสมองกลฝังตัวขนาดเล็ก สำหรับควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม แบ่งการทดสอบเป็น 2 หัวข้อดังนี้คือ ผลการทดสอบบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม และผลการทดสอบบอร์ด CIE-M10 ควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม ตอนที่ 2 สรุปการทดสอบประสิทธิภาพประกอบด้วย การทดสอบประสิทธิภาพเวลาสนอง การทดสอบอัตราการไหลผ่านของข้อมูล การวัดประสิทธิภาพด้านความพร้อมใช้ การทดสอบเปรียบเทียบการทำงานของระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็มโดยวัดค่าความผิดทางความถี่ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมและเครื่องนับความถี่

ตอนที่ 1 สรุปการสร้างระบบเครือข่ายสมองกลฝังตัวขนาดเล็ก สำหรับควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม

1.1 ผลการทดสอบบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็มได้ผลดังนี้

1.1.1 การควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็มในสถานะ **ON HIGH** ของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 จะแสดงผลสถานะ ON HIGH เมื่อมีการกดปุ่ม ON HIGH ที่หน้าเว็บไซต์หรือกดปุ่มสวิตซ์ HIGH ที่หน้าเครื่องส่งวิทยุจะมีแถบสีเขียวขึ้นที่หน้าเว็บไซต์ และที่หน้าเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็มก็จะมีหลอดไฟแอลอีดีสีเขียวติดสว่างพร้อมกัน โดยมี

บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ทำหน้าที่เชื่อมต่อสัญญาณควบคุมและแสดงผล ซึ่งแสดงให้เห็นถึงสถานะการออกอากาศที่ปกติ

**1.1.2 การควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็มแสดงค่ากำลังส่ง FWD PWR** ของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 เป็นการแสดงผลของค่ากำลังส่งในการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุที่หน้าเว็บไซต์ โดยหลักการแสดงผล บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 จะรับค่าแรงดันมาจากเครื่องส่งวิทยุแล้วทำการประมวลผลแล้วส่งค่าที่ได้ไปแสดงเป็นค่าตัวเลขที่หน้าเว็บไซต์ โดยค่าที่ได้จะมีค่ากำลังส่งใกล้เคียงกันคือ หน้าเว็บไซต์มีเท่ากับ 2003 วัตต์ ส่วนที่หน้าเครื่องส่งวิทยุมีค่าเท่ากับ 2.00 กิโลวัตต์

**1.1.3 การควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็มในสถานะ SUMMARY FAULT** ของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 จะแสดงสถานะ SUMMARY FAULT หรือสถานะที่เกิดการ FAULT เมื่อเครื่องส่งวิทยุเกิดขัดข้องของในแต่ละภาคของเครื่องส่งวิทยุทั้งหมด ซึ่งมีการแสดงผลโดยหลอดไฟแอลอีดีสีแดงติดสว่างที่หน้าเครื่องส่งวิทยุในสถานะ FAULT และในส่วนองเว็บไซต์ก็จะมีการแสดงผลในช่องของ PA และ SUMMARY FAULT ขึ้นเป็นแถบสีแดง ในการแสดงผลที่หน้าเว็บไซต์บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 มีหน้าที่รับสถานะการทำงานที่เป็นลักษณะลจิกมาจากเครื่องส่งวิทยุแล้วทำการประมวลผลเพื่อให้เห็นที่หน้าเว็บไซต์เมื่อมีการร้องขอจากลูกข่ายหรือมีการเข้าเว็บไซต์จากลูกข่าย

**1.2 ผลการทดสอบบอร์ด CIE-M10 ควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็มได้ผล ดังนี้**

**1.2.1 การควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็มในสถานะ ON HIGH** ของบอร์ด CIE-M10 แสดงผลการสถานะ ON HIGH เมื่อมีการกดปุ่ม ON ที่หน้าเว็บไซต์หรือกดปุ่มสวิตซ์ HIGH ที่หน้าเครื่องส่งวิทยุจะมีแถบสีเขียวขึ้นที่หน้าเว็บไซต์ และที่หน้าเครื่องส่งวิทยุก็จะมีหลอดไฟแอลอีดีสีเขียวติดสว่างพร้อมกัน โดยมีบอร์ด CIE-M10 ทำหน้าที่เชื่อมต่อสัญญาณควบคุมและแสดงผล ซึ่งแสดงให้เห็นถึงสถานะการออกอากาศที่ปกติ

**1.2.2 การควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็มแสดงค่ากำลังส่ง FWD PWR** ของบอร์ด CIE-M10 แสดงผลของค่ากำลังส่งในการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุที่หน้าเว็บไซต์โดยหลักการแสดงผล บอร์ด CIE-M10 จะรับค่าแรงดันมาจากเครื่องส่งวิทยุแล้วทำการประมวลผลแล้วส่งค่าที่ได้ไปแสดงเป็นค่าตัวเลขที่หน้าเว็บไซต์ โดยค่าที่ได้จะมีค่ากำลังส่งใกล้เคียงกันคือหน้าเว็บไซต์มีเท่ากับ 2002 วัตต์ ส่วนที่หน้าเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็มมีค่าเท่ากับ 2.00 กิโลวัตต์

**1.2.3 การควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็มในสถานะ SUMMARY FAULT** ของบอร์ด CIE-M10 จะแสดงสถานะ SUMMARY FAULT หรือสถานะที่

เกิดการ FAULT เมื่อเครื่องส่งวิทยุเกิดขัดข้อง ในแต่ละภาคของเครื่องส่งวิทยุทั้งหมด ซึ่งมีการแสดงผลโดยหลอดไฟแอลอีดีสีแดงติดสว่างที่หน้าเครื่องส่งวิทยุในสภาวะ FAULT และในส่วน of เว็บไซต์ก็จะมีการแสดงผลในช่องของ PA และ SUMMARY FAULT ขึ้นเป็นแถบสีแดง ซึ่งในการแสดงผลที่หน้าเว็บไซต์ บอร์ด CIE-M10 จะมีหน้าที่รับสภาวะการทำงานที่เป็นลักษณะล่อจิกมาจากเครื่องส่งวิทยุแล้วทำการประมวลผลเพื่อให้แสดงที่หน้าเว็บไซต์เมื่อมีการร้องขอจากเครื่องลูกข่ายหรือมีการเข้าเว็บไซต์จากเครื่องลูกข่าย

### 1.3 สรุปผลการเปรียบเทียบได้ดังนี้

จากการทดสอบการทำงานเพื่อควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม ระหว่าง บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 และ บอร์ด CIE-M10 มีลักษณะการทำงานในด้านการควบคุมที่ไม่แตกต่างกัน คือสามารถนำมาควบคุมการออกอากาศระบบเครื่องส่งวิทยุได้ทั้งสองบอร์ด แต่การตรวจสอบการทำงาน of ทุกสภาวะการทำงาน of เครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม บอร์ด CIE-M10 มีข้อจำกัดในเรื่องของดิจิทัลอินพุตที่น้อยกว่ากับบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ซึ่งบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 มีดิจิทัลอินพุตสำหรับตรวจสอบสภาวะการทำงานที่มากถึง 15 พอร์ต หรือ 15 สภาวะการทำงาน of เครื่องส่งวิทยุ แต่บอร์ด CIE-M10 มีเพียง 8 พอร์ต ซึ่งน้อยเกินไปสำหรับการตรวจสอบสภาวะการทำงานในการควบคุมการออกอากาศระบบเครื่องส่งวิทยุ และในส่วน of เอาต์พุตดิจิทัลสำหรับการควบคุมระบบการออกอากาศ of เครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม ตามคู่มือการทำงาน of เครื่องส่งวิทยุสามารถควบคุมการทำงาน of เครื่องได้เพียง 5 พอร์ต (เอาต์พุต) คือ ON HIGH, ON LOW, RAISE, LOWER และ OFF ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ออกแบบไว้เพียง 5 พอร์ต สำหรับการเชื่อมต่อระบบเครื่องส่งวิทยุกับบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 และบอร์ด CIE-M10 ซึ่งเพียงพอกับการทำงาน in ด้านการควบคุมระบบการออกอากาศ of เครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม โดยบอร์ดทั้งสองมีเอาต์พุตดิจิทัลเท่ากัน 8 พอร์ต แต่ก็นำมาใช้ควบคุมระบบการออกอากาศ of เครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม เพียง 5 พอร์ต และในส่วนอินพุตแอนะล็อก บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 สามารถออกแบบให้ใช้งานได้ถึง 8 พอร์ต แต่บอร์ด CIE-M10 สามารถใช้ได้เพียง 1 พอร์ต (อินพุต) ซึ่งไม่เพียงพอสำหรับการใช้งานในการอ่านระดับค่าต่างๆ of ระบบการออกอากาศ of เครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม

ซึ่งในการทำงาน of ระบบการออกอากาศ of เครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม สำหรับการตรวจสอบค่าต่างๆ of ระบบเครื่องส่งวิทยุ ผู้วิจัยได้ออกแบบการอ่านค่าตามคู่มือการทำงาน of เครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม ให้สามารถอ่านค่าได้ทั้งหมด 4 ค่า หรือ 4 พอร์ต (อินพุตแอนะล็อก) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 มีความยืดหยุ่นในการใช้งานที่มากกว่าบอร์ด CIE-M10 ซึ่งไม่สามารถขยายพอร์ตอินพุตแอนะล็อกและพอร์ตอินพุตดิจิทัลได้ ดังนั้นจึงเป็นข้อจำกัดการใช้งาน of บอร์ด CIE-M10



## ตอนที่ 2 สรุปการทดสอบประสิทธิภาพ

2.1 การทดสอบประสิทธิภาพเวลาตอบสนอง ผู้วิจัยได้ใช้เครื่องมือ JMeter เพื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพด้านเวลาตอบสนอง ซึ่งเป็นการทดสอบการวัดระยะเวลาตั้งแต่เครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่ายหรือ โคลเอนต์ทำการร้องขอข้อมูลไปยังเครื่องแม่ข่ายจนได้ข้อมูลกลับมายังฝั่งเครื่องลูกข่ายเพื่อเปรียบเทียบกันระหว่างบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 และ บอร์ด CIE-M10 ในการควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม การทดสอบจะเน้นการส่ง request ไปเซิร์ฟเวอร์ จำนวน 500 ครั้ง แล้วเปรียบเทียบดูว่าระหว่างบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 และ บอร์ด CIE-M10 มีประสิทธิภาพด้านเวลาตอบสนองเป็นอย่างไร ซึ่งได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 สรุปผลค่าประสิทธิภาพด้านเวลาตอบสนอง

จำนวนผู้ใช้งาน	ET-dsPIC33WEB V1	CIE-M10
1 คน	0.269 วินาที	0.152 วินาที
25 คน	2.622 วินาที	1.033 วินาที
50 คน	5.303 วินาที	1.188 วินาที

2.2 การทดสอบอัตราการไหลผ่านของข้อมูล ผู้วิจัยได้ใช้เครื่องมือ JMeter เพื่อทดสอบอัตราการไหลผ่านของข้อมูลของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 และ บอร์ด CIE-M10 เปรียบเทียบกัน ในการควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม การทดสอบจะเน้นในการส่ง request ไปเซิร์ฟเวอร์ จำนวน 500 ครั้ง แล้วเปรียบเทียบดูว่าระหว่างบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 และ บอร์ด CIE-M10 ว่าบอร์ดใดจะมีปริมาณงานมากกว่ากัน โดยมีการทดสอบกับผู้ใช้งานจำนวน 1 คน 25 คน และ 50 คน ตามลำดับ โดยแต่ละครั้งในการส่ง request หนึ่งเวลา 10 วินาทีในการส่งแต่ละครั้งไปยังเซิร์ฟเวอร์ รวมการส่ง request ทั้งหมด จำนวน 500 ครั้ง ของแต่ละครั้งในการทดสอบซึ่งได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 สรุปผลค่าอัตราการไหลผ่านของข้อมูล

จำนวนผู้ใช้งาน	ET-dsPIC33WEB V1	CIE-M10
1 คน	220.762 ตัวอย่างต่อนาที	388.616 ตัวอย่างต่อนาที
25 คน	341.935 ตัวอย่างต่อนาที	853.582 ตัวอย่างต่อนาที
50 คน	343.580 ตัวอย่างต่อนาที	994.560 ตัวอย่างต่อนาที

2.3 การวัดประสิทธิภาพด้านความพร้อมใช้ ผู้วิจัยได้ใช้เครื่องมือ Alchemy Network ซึ่งเป็นเครื่องมือสำหรับตรวจสอบระบบเครือข่ายหรือระบบเซิร์ฟเวอร์ เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานและความต่อเนื่อง โดยเงื่อนไขในการทดสอบจะทดสอบการใช้งานโพรโทคอล TCP/IP และ HTTP ซึ่งระยะเวลาในการทดสอบจะทดสอบช่วงเวลา 1 สัปดาห์ และช่วงเวลา 1 เดือน ตามลำดับ เพื่อวัดค่าประสิทธิภาพด้านความพร้อมใช้ของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 และ บอร์ด CIE-M10 สรุปผลได้ดังนี้

ตารางที่ 5.3 เปรียบเทียบความพร้อมใช้งานในระดับต่างๆ และช่วงเวลาในระบบไม่สามารถให้บริการได้ ของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 และ บอร์ด CIE-M10 การใช้งานของโพรโทคอล TCP/IP

ช่วงเวลาที่สามารถให้บริการได้				ช่วงเวลา que ระบบไม่สามารถให้บริการได้			
ET-dsPIC33WEB V1		CIE-M10		ET-dsPIC33WEB V1		CIE-M10	
1 เดือน	1 สัปดาห์	1 เดือน	1 สัปดาห์	1 เดือน	1 สัปดาห์	1 เดือน	1 สัปดาห์
97%	100 %	99%	100 %	3%	0%	1%	0%

ตารางที่ 5.4 เปรียบเทียบความพร้อมใช้งานในระดับต่างๆ และช่วงเวลา que ระบบไม่สามารถให้บริการได้ของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 และบอร์ด CIE-M10 ใช้งานของโปรโตคอล HTTP สำหรับการแสดงผลบนเว็บเบราว์เซอร์

ช่วงเวลา que ระบบสามารถให้บริการได้				ช่วงเวลา que ระบบไม่สามารถให้บริการได้			
ET-dsPIC33WEB V1		CIE-M10		ET-dsPIC33WEB V1		CIE-M10	
1 เดือน	1 สัปดาห์	1 เดือน	1 สัปดาห์	1 เดือน	1 สัปดาห์	1 เดือน	1 สัปดาห์
95%	100 %	97%	100 %	5%	0	3%	0

2.4 การทดสอบเปรียบเทียบการทำงานของระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็ม โดยการวัดค่าความผิดพลาดทางความถี่ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมและเครื่องนับความถี่ เป็นการทดสอบค่าความผิดพลาดของการสร้างคลื่นความถี่คลื่นพาห้ของสัญญาณวิทยุ ในกรณีที่ไม่ได้มีการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ควบคุม และในกรณีที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ควบคุมบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 และ บอร์ด CIE-M10 ตามลำดับ เพื่อทำการเปรียบเทียบว่าบอร์ดอุปกรณ์มีผลต่อค่าความถี่คลื่นพาห้ของการออกอากาศหรือไม่ ซึ่งในการทดสอบจะใช้เครื่องมือวัด 2 ชนิด คือ เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม และเครื่องนับความถี่ เพื่อให้ได้ค่าการวัดที่มีความละเอียดสูง โดยวิธีการวัดการทดสอบให้เป็นไปตามมาตรฐาน ETS-300 384 และมาตรฐานทางเทคนิคเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียง ให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์การทดลองการประกอบกิจการวิทยุ กระจายเสียง กสทช. มท. 8001 2555 ซึ่งสรุปผลได้ ดังนี้

ตารางที่ 5.5 เปรียบเทียบผลการทดสอบวัดค่าความถี่ผิดพลาด

เครื่องมือวัด	ลักษณะการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก		
	เครื่องส่ง FM (ไม่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์)	เครื่องส่ง FM กับบอร์ด dsPIC33	เครื่องส่ง FM กับบอร์ด CIE-M10
เครื่องสเปกตรัม	0.600 kHz	0.700 kHz	0.700 kHz
เครื่องนับความถี่	0.631 kHz	0.696 kHz	0.725 kHz

## 2. อภิปรายผล

งานวิจัยนี้ ผู้จัดทำขึ้นมาเพื่อวัดประสิทธิภาพของการทำงานของระบบสมองกลฝังตัวขนาดเล็ก ที่ทำงานร่วมกันเป็นเครือข่ายแบบอินเทอร์เน็ตซึ่งศึกษาพฤติกรรมการทำงานของระบบในการควบคุมอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็มและพัฒนาประสิทธิภาพด้านการควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม ที่มีกำลังส่งออกอากาศสูง ดังต่อไปนี้

### 2.1 การสร้างระบบเครือข่ายสมองกลฝังตัวขนาดเล็กสำหรับควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้สร้างระบบเครือข่ายสมองกลฝังตัวขนาดเล็ก สำหรับควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม โดยเฉพาะชุดอินเทอร์เฟซสำหรับเชื่อมต่อกับระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม ทั้งสองบอร์ดคือบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 และบอร์ด CIE-M10 ซึ่งผู้วิจัยได้เขียนโปรแกรมคำสั่งเพื่อให้ระบบเครือข่ายสมองกลฝังตัวขนาดเล็กนี้สามารถควบคุมระยะไกลและทำตามเงื่อนไขที่กำหนดในการควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม ผลจากการทดสอบการทำงานระหว่างบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 และบอร์ด CIE-M10 พบว่ามีลักษณะการทำงานในด้านการควบคุมที่ไม่แตกต่างกัน คือสามารถนำมาควบคุมการออกอากาศระบบเครื่องส่งวิทยุระยะไกลได้ทั้งสองบอร์ด แต่บอร์ด CIE-M10 มีข้อจำกัดในเรื่องของอินพุตดิจิทัลสำหรับการตรวจสอบสถานะการทำงานของแต่ละภาคส่วนและอินพุตแอนะล็อกสำหรับตรวจสอบระดับค่าต่างๆ ในการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็มที่ไม่ละเอียดเท่าบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ซึ่งจะมีผลต่อการซ่อมบำรุงเมื่อเกิดปัญหาขัดข้องของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม ในการวิเคราะห์ปัญหาเบื้องต้นสำหรับการซ่อมบำรุง อีกทั้งทำให้เกิดความล่าช้าในการซ่อมบำรุง และไม่สะดวกในการจัดเตรียมอะไหล่สำรองสำหรับเปลี่ยนเมื่อเกิดปัญหาขัดข้องเมื่อช่างซ่อมบำรุงกับเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็มอยู่ต่างพื้นที่กัน ทั้งนี้จะมีผลทำให้การออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็มเกิดความไม่ต่อเนื่อง ซึ่งอาจเป็นสาเหตุทำให้ค่าความนิยมของผู้รับฟังลดลงและอาจเป็นสาเหตุทำให้ผู้สนับสนุนรายการลดลงด้วย ซึ่งจะมีผลกระทบในด้านรายได้ขององค์กรลดลงตามมา

## 2.2 การทดสอบประสิทธิภาพ

**2.2.1 การทดสอบประสิทธิภาพด้านการตอบสนองเวลา** วัตถุประสงค์ของการทดสอบ ผู้วิจัยต้องการทราบว่าระหว่างบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 และ บอร์ด CIE-M10 บอร์ดใดมีประสิทธิภาพด้านการตอบสนองเวลาในการควบคุมอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ระบบส่งวิทยุเอฟเอ็มผ่านเครือข่ายแบบแบบอีเทอร์เน็ตที่ดีกว่า จากผลการวิจัยพบว่า บอร์ด CIE-M10 มีประสิทธิภาพด้านการตอบสนองเวลาที่ดีกว่าบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 เพราะจากตาราง 5.1 แสดงให้เห็นถึงการตอบสนองด้านเวลาเมื่อเปรียบเทียบกัน แสดงให้เห็นว่า ถ้าการตอบสนองด้านเวลาน้อยในการเชื่อมต่อประสานแสดงค่าหรือควบคุมระบบผ่านหน้าเว็บจะเร็ว แต่ถ้าค่าการตอบสนองด้านเวลายิ่งมากเท่าไร การเชื่อมต่อประสานข้อมูลผ่านหน้าเว็บจะช้า งานวิจัยนี้บอร์ด CIE-M10 ค่าการตอบสนองด้านเวลาน้อยกว่าบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 เนื่องจากใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลแบบ 32 bit ซึ่งมีโมดูลการเชื่อมต่อกับโครงข่ายแบบอีเทอร์เน็ตในตัว แต่บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 มีการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลแบบ 16 bit ซึ่งมีโมดูลอินเทอร์เฟซคอนโทรลเลอร์เชื่อมต่อระหว่างบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 กับโครงข่ายอีเทอร์เน็ตแบบแยกกับตัวบอร์ด จึงทำให้ค่าการตอบสนองด้านเวลามาก

**2.2.2 การทดสอบอัตราการไหลผ่านของข้อมูล** วัตถุประสงค์ของการทดสอบ ผู้วิจัยต้องการทราบว่าระหว่างบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 และ บอร์ด CIE-M10 บอร์ดใดมีอัตราการไหลผ่านของข้อมูลที่ดีกว่า จากผลการวิจัยพบว่า บอร์ด CIE-M10 มีอัตราการไหลผ่านของข้อมูลที่ดีกว่าบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 เพราะจากตารางที่ 5.2 พบว่าถ้าจำนวนผู้ใช้งานมีมากขึ้น จะทำให้ค่าอัตราการไหลผ่านมีค่ามากเพราะมีการรับและส่ง Request พร้อมๆ กันจำนวนมาก บอร์ด CIE-M10 มีอัตราการไหลผ่านของข้อมูลที่มากกว่า บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 เนื่องจากตัวแม่ข่ายมีการประมวลผลการทำงานที่สูงกว่า ย่อมมีอัตราการไหลผ่านของข้อมูลในโครงข่ายอีเทอร์เน็ตที่ดีกว่า

**2.2.3 การวัดประสิทธิภาพด้านความพร้อมใช้** เป็นการตรวจสอบความต่อเนื่องในการทำงานชนิดโพรโทคอล TCP/IP และ HTTP ของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 และ บอร์ด CIE-M10 เพื่อเปรียบเทียบกัน ผลจากงานวิจัยพบว่า จากตารางที่ 5.3 และ ตารางที่ 5.4 บอร์ด CIE-M10 มีค่าเปอร์เซ็นต์ของระบบที่สามารถให้บริการได้สูงกว่าบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 สาเหตุส่วนหนึ่งเกิดจากความร้อนของระบบสมองกลของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 จึงทำให้ระบบหยุดทำงานไม่สามารถให้บริการได้บ้างช่วง เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ระบบทำงานไม่ต่อเนื่อง ควรแก้ไขโดยการติดตั้งระบบระบายความร้อน

**2.2.4 การทดสอบเปรียบเทียบการทำงานของระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม วัดค่าความผิดพลาดทางความถี่โดยใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม และเครื่องนับความถี่** เป็นการทดสอบหาค่าความผิดพลาดของการสร้างคลื่นความถี่คลื่นพาห้ของสัญญาณวิทยุ ทั้ง 3 กรณี คือกรณีที่ "ไม่ได้มีการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ควบคุม กรณีระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็มเชื่อมต่อกับบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 และ กรณีระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม เชื่อมต่อกับบอร์ด CIE-M10

จากการวิจัยพบว่าผลที่ได้เป็นไปตาม มาตรฐานของการประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียง กสทช. มท. 8001 2555 คือได้ค่าผิดพลาดทางความถี่ไม่เกิน  $\pm 2$  kHz รายละเอียดดังตารางที่ 5.5 เพราะฉะนั้นจากการวัดค่าและการคำนวณค่าผิดพลาดทางความถี่การเชื่อมต่อกับบอร์ดควบคุมจะไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของวิทยุกระจายเสียงที่ความถี่ 99.25 MHz ซึ่งเป็นความถี่ของเครื่องส่ง

### 2.3 ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัย

จากงานวิจัยชิ้นนี้ ผู้วิจัยได้สร้างเครื่องต้นแบบระบบสมองกลฝังตัวที่สามารถให้บริการระบบเครือข่ายเพื่อควบคุมและตรวจสอบสถานะอุปกรณ์ทางด้านระบบส่งวิทยุเอฟเอ็ม โดยใช้บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 และบอร์ด CIE-M10 แล้วเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของทั้งสองบอร์ด ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพการทำงานของแต่ละบอร์ดในการใช้งานควบคุมระบบส่งวิทยุเอฟเอ็ม ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 สำหรับใช้งานในการควบคุมระบบส่งวิทยุเอฟเอ็ม เพราะมีราคาที่ถูกกว่าและสามารถพัฒนาต่อขยายการใช้งานได้มากกว่าบอร์ด CIE-M10 และจากงานวิจัยนี้ทำให้ทราบถึงคุณสมบัติของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ว่ามีความเหมาะสมสำหรับใช้งานในการควบคุมระบบส่งวิทยุเอฟเอ็ม มากกว่าบอร์ด CIE-M10

จากการทดสอบ แม้ว่าบอร์ด CIE-M10 จะมีประสิทธิภาพทางด้านเวลาตอบสนองและอัตราการไหลผ่านของข้อมูลที่ดีกว่า ทดสอบโดยกำหนดให้ผู้ใช้งานจำนวน 1 คน 25 คน และ 50 คน ตามลำดับ เข้าทำงานผ่านบอร์ดควบคุมระบบสมองกลฝังตัวผ่านเครือข่ายเพื่อควบคุมระบบส่งวิทยุเอฟเอ็ม ทั้งสองบอร์ด ซึ่งในการใช้งานจริงสำหรับการควบคุมระบบส่งวิทยุเอฟเอ็ม จะมีผู้เข้าใช้งานควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็มพร้อมกันไม่เกิน 5 คน ซึ่งใช้เวลาตอบสนองและอัตราการไหลผ่านของข้อมูลที่ไม่มากนัก นี่ก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ผู้วิจัยไม่เลือกใช้บอร์ด CIE-M10 มาควบคุมระบบส่งวิทยุเอฟเอ็ม

และในส่วนการทดสอบประสิทธิภาพของความพร้อมใช้งานและค่าผิดพลาดทางความถี่ทั้งสองบอร์ดมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นผู้วิจัยจะเลือกใช้บอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 และในด้านการตรวจสอบสถานะการทำงานและตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับควบคุมระบบส่ง

วิทยุเอฟเอ็ม บอร์ด CIE-M10 ยังขาดความสมบูรณ์ในการตรวจสอบสถานะการทำงาน ในเรื่องของ อินพุตดิจิทัลสำหรับการตรวจสอบสถานะการทำงานของแต่ละภาคส่วนและอินพุตแอนะล็อก สำหรับตรวจสอบค่าต่างๆ ในการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม ซึ่งไม่ละเอียดเท่ากับบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1

## 2.4 ข้อจำกัดของงานวิจัย

จากงานวิจัยชิ้นนี้ทำให้ทราบถึงสมรรถนะการทำงานของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 สำหรับใช้งานทางด้านการควบคุมโดยเฉพาะงานควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็มซึ่งมีจำกัด ดังนี้คือ

2.4.1 มีข้อจำกัดในด้านการพัฒนาเว็บไซต์ ในส่วนของการสร้างภาพกราฟิกที่มีความละเอียดสูงไม่สามารถทำได้เพราะมีหน่วยความจำ EEPROM เพียง 32 กิโลไบต์ สำหรับเก็บเว็บเพจที่เป็นไฟล์ HTML และไฟล์ CGI Script สำหรับการควบคุมมีค่าน้อย แต่สามารถแก้ไขโดยการเพิ่มหน่วยความจำ EEPROM ให้มากขึ้น

2.4.2 ในการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานจะต้องแปลงไฟล์โปรแกรมหรือคอมไพล์ให้เป็นรหัสเลขฐานสิบหกแล้วโปรแกรมใส่ในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่วนข้อมูลไฟล์ HTML และไฟล์ CGI Scrip จะต้องคอมไพล์ให้เป็นไฟล์ .bin แล้วนำไปบันทึกในตัว EEPROM ของบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1

2.4.3 ด้านเวลาตอบสนอง ถ้าจำนวนผู้ใช้งานเข้าระบบเครือข่ายสมองกลฝั่งตัวขนาดเล็กสำหรับควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็มจำนวน 1 คนจะไม่มีปัญหา ด้านเวลาตอบสนองมากนัก แต่ถ้าจำนวนผู้ใช้งานเข้าระบบพร้อมๆ กัน 25 คน หรือ 50 คน จะทำให้ค่าเวลาตอบสนองมากขึ้น สาเหตุเกิดจากจำนวนผู้ใช้งานในการส่ง request ต้องมีการเข้าคิวรอ จึงเกิดการสะสมทางด้านเวลา ส่งผลให้เวลาตอบสนองมีค่ามาก ดังนั้นมีผลทำให้การส่ง request ในบางส่วนที่ส่งไปทำให้เกิดความผิดพลาดหรือเกิดความล้มเหลวในการส่ง request

2.4.4 ด้านอัตราการไหลผ่านของข้อมูล เมื่อจำนวนผู้ใช้งานเข้าระบบเครือข่ายสมองกลฝั่งตัวขนาดเล็กสำหรับควบคุมระบบการออกอากาศของเครื่องส่งวิทยุเอฟเอ็ม มากขึ้นจากจำนวนผู้ใช้งาน 1 คน 25 คน และ 50 คน จะทำให้ค่าอัตราการไหลผ่านของข้อมูลมากขึ้นตามลำดับ แต่ถ้าเทียบกับระบบเครือข่ายสมองกลฝั่งตัวขนาดเล็กรุ่นอื่นๆ เช่น บอร์ด CIE-M10 จะมีค่าอัตราการไหลผ่านของข้อมูลมากกว่า เนื่องจากชิพที่ใช้ประมวลผลเป็นชิพขนาด 32 บิต

2.4.5 ด้านความพร้อมใช้ เมื่อทดสอบการทำงานระบบเครือข่ายสมองกลฝั่งตัวขนาดเล็กบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 ในหนึ่งสัปดาห์มีค่าความพร้อมใช้งานได้ 100 เปอร์เซ็นต์

แต่ถ้าทดสอบความพร้อมใช้งานในหนึ่งเดือนบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1 จะมีค่าเปอร์เซ็นต์ความพร้อมใช้งานลดลง เนื่องจากปัญหาความร้อนที่เกิดขึ้น

### 3. ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยชิ้นนี้สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดสำหรับควบคุมระบบส่งวิทยุเอฟเอ็มได้ ซึ่งผู้วิจัยได้ใช้ไมโครคอนโทรลขนาดเล็ก เขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมระบบส่งวิทยุเอฟเอ็ม โดยนำโปรแกรมที่เขียนมาแปลโปรแกรมให้เป็นไฟล์รหัสเลขฐานสิบหก แล้วโปรแกรมใส่ในไมโครคอนโทรลเลอร์ และงานวิจัยชิ้นนี้ ผู้วิจัยไม่ได้เขียนโปรแกรมป้องกัน การเข้าใช้งานสำหรับควบคุมระบบส่งวิทยุเอฟเอ็ม แต่ในอนาคตสามารถพัฒนาต่อยอดในการใช้นาระบบ security firewall มาใช้งานกับบอร์ดควบคุมระบบส่งวิทยุเอฟเอ็ม และเพิ่มฟังก์ชันการควบคุม frequency deviation ให้สามารถปรับอัตโนมัติได้ หรือสามารถต่อยอดนำเอาคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่มีชื่อว่า Raspberry pi ซึ่งทำงานด้วยระบบปฏิบัติการ Linux มาควบคุม ระบบระบบส่งวิทยุเอฟเอ็มได้ โดยการพัฒนาโปรแกรมไม่ต้องแปลโปรแกรมให้เป็นไฟล์รหัสเลขฐานสิบหก ซึ่งทำให้สะดวกในการใช้งานและมีราคาใกล้เคียงกับการใช้งานบอร์ด ET-dsPIC33WEB V1



บรรณานุกรม



## บรรณานุกรม

- กิติพล พันธุ์อ่อน. (2550). "เหตุผลที่ควรเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 16 บิต" *เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์* 2550, 305 (สิงหาคม) : 191-196.
- จรีเมธ ฝ่องจิตร. (2549). "สร้าง Web Server อย่างง่ายด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ 16 บิต ตอนที่ 1" *เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์* 2549, 294 (ตุลาคม): 121-129.
- จรีเมธ ฝ่องจิตร. (2549). "สร้าง Web Server อย่างง่ายด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ 16 บิต ตอนจบ" *เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์* 2549, 296 (ธันวาคม): 150-157.
- จรีเมธ ฝ่องจิตร. (2550). "การใช้งานไมโครชิป TCP/IP Stack เวอร์ชัน 4.11 ตอนที่ 1" *เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์* 2550, 308 (ตุลาคม): 128-133.
- จรีเมธ ฝ่องจิตร. (2550). "การใช้งานไมโครชิป TCP/IP Stack เวอร์ชัน 4.11 ตอนที่ 2" *เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์* 2550, 309 (พฤศจิกายน): 186-192.
- จรีเมธ ฝ่องจิตร. (2550). "การใช้งานไมโครชิป TCP/IP Stack เวอร์ชัน 4.11 ตอนจบ" *เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์* 2550, 310 (ธันวาคม) : 173-178.
- จรีเมธ ฝ่องจิตร. (2550). "dsPIC33F ดิจิทัลซิกแนลคอนโทรลเลอร์" *เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์* 2550, 298 (กุมภาพันธ์): 208-217.
- จรีเมธ ฝ่องจิตร. (2550). "เรียนรู้การใช้งานโมดูล DMA ของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC33/PIC24H" *เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์* 2550, 304 (กรกฎาคม): 180-185.
- ทรงพล นามคุณ และสุรเชษฐ์ สายสีโส. (2553). "Wireless Sensor Networks for Smart Home"; (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์). มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- ชัยสิทธิ์ บุตรกริม. (2550). "ควบคุมอุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านระบบเครือข่าย Web Server Mini Control device" *เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์* 2550, 303 (มิถุนายน): 123-137.
- นกร ภัคดีชาติ ณีภูษพล วงศ์สุนทรชัย กฤษดา ใจเย็น และชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. (2549). *คู่มือการทดลองทดลองเบื้องต้น dsPIC Microcontroller ด้วยโปรแกรมภาษา C กับ MPLAB C30* (พิมพ์ครั้งที่ 3) กรุงเทพมหานคร อินโนเวทีฟ เอ็กเพอริเมนต์.
- บริษัท ดีไซน์ เกทเวย์ จำกัด. (2548). "Ethernet IO Board (Embedded Network Controller) อุปกรณ์ Embedded System เชื่อมต่อผ่านระบบเครือข่าย" *เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์* 2548, 277 (กรกฎาคม): 216-222.
- บริษัท อีทีที จำกัด. (2550). "คู่มือการใช้งาน User 's Manual ET-dsPIC33WEB V1", (CD).

- ประจัน พลังสันติกุล. (2551). *dsPIC30F Programming กับ MPLAB C คอมไพเลอร์*  
กรุงเทพมหานคร แอพซอฟต์เทค.
- ภักวัจน์ ฐิริโสภิชฐ์ และแคทรียา กัญจนานภานิช. (2556). “เครื่องอ่านสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ”  
(วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์).  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- วรฤก รักความสุข. (2553). "การพัฒนาเครื่องมือในการทดสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของ  
ระบบเครือข่ายสมองกลฝังตัวขนาดเล็กโดยใช้เอฟพีจีเอ" (วิทยานิพนธ์ปริญญา  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า  
พระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.
- ศรพงศ์ ดุรงค์เวโรจน์. (2550). "ระบบติดตามการให้บริการของเจ้าหน้าที่งานซ่อมบำรุงเครื่อง  
คอมพิวเตอร์" (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์). สาขาวิชา  
วิทยาการคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และสารสนเทศ บัณฑิตวิทยาลัย.
- สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการ โทรทัศน์และกิจการ โทรคมนาคมแห่งชาติ.  
(2555). “มาตรฐานทางเทคนิคเครื่องส่งวิทยุกระจายเสียงสำหรับการทดลองประกอบ  
กิจการวิทยุกระจายเสียง” ประกาศ ณ ปี 2555.
- “หลักเกณฑ์การอนุญาตทดลองประกอบกิจการวิทยุกระจายเสียง พ.ศ. 2555”. (2555 19 กันยายน).  
ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 129 ตอนพิเศษ 144 ง หน้า 21.
- Chunlai Zhou, Chengan Zhao. (2007). "Monitoring System of TV Transmitter Based  
on Browser/Server mode " Department of Automation Control Communication  
University of China.
- Chunlai Zhou, Guangrong Li , Ming Dong, Lanxiang Wang. (2010). "Design and Implement of  
Monitoring Controller of TV Transmitter base on ARM-Linux " Department of  
Automation Control Communication University of China.
- Ecreso world class system group. (2013). "FM TRANSMIT CATALOG Offering efficient  
transmission of the highest quality radio signals for broadcast networks" (CD).
- ETSI Secretarial. (1995). “ETS 300 384 : Radio Broadcasting System ; Very High Frequency  
(VHF), Frequency Modulated, Sound Broadcasting Transmitters,” European  
Telecommunication Standard, January 1995.
- Harris Corporation. (2003). *Platinum Z2 CD™* “FM Transmitter Manual 888-2406-002”,(CD).

IEEE 802.3 เครือข่าย Ethernet [ออนไลน์], 8 ธันวาคม พ.ศ. 2555 เข้าถึงจาก:

<http://itaom.blogspot.com/2012/12/ieee-8023-ethernet.html>.

Xu Shu-ping, Liang Chen-yan, Su Xiao-hui ,Bai Xiao-jun. (2010). "The Design and Implement of Transmitter Remote Control System Based on the Embed Web Server" Computer Science and Engineering College, Xi'an Technological University.



## ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นายสุบิน บุญยมนิ
วัน เดือน ปีเกิด	20 พฤศจิกายน 2514
สถานที่เกิด	อำเภอทุ่งเสลี่ยม จังหวัดสุโขทัย
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยนเรศวร ปีการศึกษา 2546
สถานที่ทำงาน	สถานีโทรทัศน์และซ่อมบำรุง บมจ อสมท. จ.สุโขทัย
ตำแหน่ง	ช่างอิเล็กทรอนิกส์อาวุโส

