



รายงานการวิจัย

การศึกษาและสร้างเครื่องต้นแบบการตรวจวัดและบันทึกการใช้พลังงาน
ไฟฟ้าแบบไร้สายสำหรับโครงข่ายเฝ้าติดตามคุณภาพกำลังไฟฟ้า
และประเมินผลการอนุรักษ์พลังงานอัจฉริยะ

**A Study and Implementation the Wireless Power Measurement
for a Smart Power Quality Monitoring
and Energy Saving Network**

นฤมล วันน้อย

สาขาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม

คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ประจำปีงบประมาณ 2558

(จ)

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาและสร้างเครื่องต้นแบบการตรวจวัดและบันทึกการใช้พลังงาน
ไฟฟ้าแบบไร้สายสำหรับโครงข่ายเฝ้าติดตามคุณภาพกำลังไฟฟ้า
และประเมินผลการอนุรักษ์พลังงานอัจฉริยะ

**A Study and Implementation the Wireless Power Measurement
for a Smart Power Quality Monitoring
and Energy Saving Network**

นฤมล วันน้อย

สาขาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม

คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ทุนอุดหนุนโดย

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ประจำปีงบประมาณ 2558

ชื่องานวิจัย	การศึกษาและสร้างเครื่องต้นแบบการตรวจวัดและบันทึกการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายสำหรับโครงข่ายเฝ้าติดตามคุณภาพกำลังไฟฟ้าและประเมินผลการอนุรักษ์พลังงานอัจฉริยะ
ผู้วิจัย	นฤมล วันน้อย
สาขาวิชา	เทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ปีเสร็จวิจัย 2559

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาและสร้างเครื่องต้นแบบการวัดและบันทึกการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบไร้สาย สำหรับโครงข่ายเฝ้าติดตามคุณภาพไฟฟ้าและการอนุรักษ์พลังงานโดยใช้โปรแกรมแลปวิว ร่วมกับชุดจัดเก็บข้อมูล (DAQ) โดยการส่งสัญญาณแบบไร้สายในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบเป็นการสื่อสารไร้สายแบบซิกบี (ZigBee) สำหรับการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าจะประกอบไปด้วยการตรวจวัดและบันทึกผล ค่าแรงดัน-กระแสไฟฟ้า, แรงดันฮามอนิกส์, การกระเพื่อมแรงดันไฟฟ้า, การเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า โดยการออกแบบเครื่องวัดนี้ใช้สำหรับการวัดไฟฟ้า 1 เฟส/220VAC ซึ่งในผลการวิจัยได้ทำการตรวจวัดคุณภาพกำลังไฟฟ้า ณ จุดเชื่อมต่อและทำการบันทึกผลช่วงเวลาการทำงานของพัดลมไฟฟ้าขนาด 50W 220Vac โดยปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าจะถูกส่งสัญญาณไปยังเครื่องรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผล โดยผลการศึกษาการวัดคุณภาพกำลังไฟฟ้าเมื่อทำการเปรียบเทียบผลกับเครื่องมือวัดมาตรฐานพบว่าค่าความผิดพลาดนั้นมีค่าน้อยมากและสามารถบันทึกเพื่อเปรียบเทียบช่วงเวลาการทำงานของพัดลมไฟฟ้าในสภาวะตะแกรงด้านดูดของพัดลมสะอาดและสกปรกได้ โดยผลการศึกษาที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าและการอนุรักษ์พลังงานได้

คำสำคัญ : เครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้าไร้สาย, คุณภาพกำลังไฟฟ้า, การอนุรักษ์พลังงาน

Research title A Study and Implementation the Wireless Power Measurement for
a Smart Power Quality Monitoring and Energy Saving Network.

Researcher Name Narumon Wannoi

Department Electrical Industrial Technology

Phetchabun Rajabhat University **Year** 2016

ABSTRACT

This paper presents a study and implementation the wireless power measurement for a smart power quality monitoring and energy saving network by used LABVIEW Program with Data Acquisition unit (DAQ). The wireless in this research has designed with ZigBee wireless communication. The power quality measurement and record consists voltage-current value, voltage Harmonic, Voltage swell and Voltage variances. This measurement prototype designed for measurement power quality at 1-Phase/220VAC. A study results have measured power quality at connection point and working period recorded of electric fan 50W/220Vac which the consumption of electric power will be transmitted to a power recorder and analyzer. The power quality measurement study results found error values less than when compare with standard measurement and it can record for compare working period of electric fan on clean and dirty condition of suction fan grating which the study results can applicate to improve the power quality and energy saving planning.

Keywords: Wireless Power Measurement, Power Quality, Energy Saving

(ช)

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีด้วยคำแนะนำและการให้คำปรึกษาจาก รศ.ดร.สุพัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา และคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าคณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุก ๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้าซึ่งเป็นอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ ในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ซึ่งให้คำแนะนำต่าง ๆ และความร่วมมือช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากบุคคลหลายฝ่าย ที่สละเวลาให้คำแนะนำ คำปรึกษา รวมถึงข้อเสนอแนะต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่ให้การสนับสนุนทุนในการทำวิจัย และคณาจารย์สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรมที่ให้คำแนะนำแก่ข้าพเจ้าเป็นอย่างดีและขอขอบพระคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยครั้งนี้มา ณ ที่นี้

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่ให้คำปรึกษาและให้การสนับสนุนในทุกๆเรื่องและทำให้ข้าพเจ้าทำงานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากการงานวิจัยฉบับนี้ข้าพเจ้าขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นฤมล วันน้อย

25 มีนาคม 2559

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 สมมุติฐานการวิจัย	2
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย	3
1.5 นิยามคำศัพท์เฉพาะ	4
1.6 ประโยชน์ของงานวิจัย	6
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 คุณภาพและมาตรฐานทางไฟฟ้า	7
2.2 ระบบหรือเครือข่ายไร้สาย	17
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	30
3.1 การออกแบบชุดตรวจจับแรงดันและกระแสไฟฟ้า	31
3.2 การออกแบบโปรแกรมการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้า	34
บทที่ 4 ผลการวิจัย	46
4.1 ผลศึกษาและสร้างเครื่องต้นแบบการตรวจวัดและบันทึกการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบไร้สาย	46
4.2 ผลศึกษารูปแบบโครงข่ายเพื่อสำหรับระบบเฝ้าติดตามคุณภาพทางไฟฟ้าและประเมินผลการอนุรักษ์พลังงานอัจฉริยะ	108

(ญ)

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 ผลการศึกษาเพื่อใช้เป็นเครื่องมือและข้อมูลในการจัดทำโครงข่าย ตรวจวัดคุณภาพกำลังไฟฟ้าและประเมินผลการอนุรักษ์พลังงานอัจฉริยะ ในอนาคต	112
4.4 ผลการศึกษาเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในสอนทางการศึกษาและเพื่อ พัฒนานวัตกรรมใหม่ของระบบเครื่องมือทางการวัดไฟฟ้าสำหรับ นักวิจัยรุ่นใหม่	112
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	114
5.1 สรุปผลการวิจัย	114
5.2 อภิปรายผล	114
5.3 ข้อเสนอแนะ	117
บรรณานุกรม	118
ภาคผนวก	119
ภาคผนวก ก. บทความงานวิจัย	120
ประวัตินักวิจัย	129

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	คุณลักษณะของความถี่ไฟฟ้ากำลัง	12
2-2	คุณลักษณะของการแปรเปลี่ยนแรงดันแหล่งจ่าย	13
2-3	คุณลักษณะของการเปลี่ยนแรงดันกะทันหัน	14
2-4	คุณลักษณะของแรงดันแหล่งจ่ายไม่ได้ดูล	15
2-5	คุณลักษณะของแรงดันฮามอนิกส์	15
2-6	ค่าที่กำหนดของแรงดันฮามอนิกส์แต่ละอันดับ สำหรับแรงดันต่ำ (LV)	16
2-7	ค่าที่กำหนดของแรงดันฮามอนิกส์แต่ละอันดับ สำหรับแรงดันปานกลาง (MV)	16
2-8	ค่าที่กำหนดของแรงดันฮามอนิกส์แต่ละอันดับ สำหรับแรงดันสูง (HV)	17
2-9	เทคโนโลยีที่สำคัญในเครือข่ายไร้สาย	28
4-1	ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัฒนาไฟฟ้า	51

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1-1 รูปแบบการทำงานเครื่องวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าแบบไร้สาย	3
1-2 ตัวอย่างโครงข่ายระบบเฝ้าติดตามคุณภาพทางไฟฟ้า และประเมินผลการอนุรักษ์พลังงานอัจฉริยะ	3
2-1 แสดงการจำแนกปรากฏการณ์ของคุณภาพแรงดันไฟฟ้า	8
2-2 คุณภาพของการจ่ายไฟฟ้า	11
3-1 บล็อกการทำงานเครื่องตรวจวัดวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าและตรวจวัด พลังงานไฟฟ้าแบบไร้สาย	30
3-2 หม้อแปลงกระแสขนาด 30A/1V ที่ใช้ในการวิจัย	33
3-3 หม้อแปลงกระแสขนาด 220Vac/6Vac ที่ใช้ในการวิจัย	34
3-4 การทดสอบการทำงานและการออกแบบโปรแกรมวิเคราะห์ผล	34
3-5 หน้าจอหลักการวิเคราะห์คุณภาพกำลังไฟฟ้าแบบไร้สาย	35
3-6 หน้าจอแสดงการวัดค่าฮามอนิกส์	36
3-7 หน้าจอแสดงการวิเคราะห์รูปคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้า	36
3-8 หน้าจอแสดงการแสดงผลการเปลี่ยนแปลงขนาดและการกระเพื่อมแรงดันไฟฟ้า	37
3-9 ส่วนโปรแกรมตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้า	37
3-10 ส่วนโปรแกรมตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า	38
3-11 ส่วนโปรแกรมตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าฮามอนิกส์	38
3-12 ส่วนโปรแกรมตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า	38
3-13 ส่วนโปรแกรมการบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า	39
3-14 ส่วนโปรแกรมการส่งและรับค่าสัญญาณผ่านชุด DAQ	39
3-15 ส่วนโปรแกรมการการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้า	39
3-16 หน้าจอหลักแสดงผลการทดสอบการวิเคราะห์คุณภาพกำลังไฟฟ้าแบบไร้สาย	40
3-17 หน้าจอแสดงผลการทดสอบรูปสัญญาณแรงดันและกระแส	40
3-18 หน้าจอแสดงการวัดค่าฮามอนิกส์ของแรงดันและกระแสไฟฟ้า	41
3-19 หน้าจอแสดงการทดสอบการวิเคราะห์รูปสัญญาณ	41
3-20 หน้าจอแสดงการกระเพื่อมสัญญาณและการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า	42

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3-21 การตั้งค่าของ การสื่อสารของอุปกรณ์ xbee 1 และ 2	43
3-22 หน้าจอการตั้งค่าภายในของของอุปกรณ์ xbee 1 และ 2	43
3-23 หน้าจอการทดสอบการส่งค่าจากอุปกรณ์ Xbee 1 ไปยัง Xbee 2	44
3-24 ค่าแรงดันควมคุมของ Xbee	44
3-25 วงจรภายในของอุปกรณ์ Xbee	45
3-26 การต่อวงจรในการทดสอบส่งค่าการเปลี่ยนแปลงแรงดันของ Xbee1 และ Xbee2	45
4-1 การติดตั้งและรูปแบบการตรวจวัด	47
4-2 การติดตั้งและรูปแบบส่งสัญญาณไร้สายโดยใช้ Xbee	47
4-3 หน้าจอหลักแสดงการตรวจวัด	48
4-4 หน้าจอหลักแสดงการตรวจวัดสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้า	48
4-5 หน้าจอแสดงการวิเคราะห์รูปคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้า	49
4-6 หน้าจอหลักแสดงการตรวจวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าฮามอนิกส์	49
4-7 หน้าจอหลักแสดงการตรวจวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าฮามอนิกส์	50
4-8 ค่าการสุ่มสอบเทียบตรวจวัดกำลังไฟฟ้า	50
4-9 ค่าการสุ่มสอบเทียบตรวจวัดกำลังไฟฟ้า	51
4-10 การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าของพัลลวมในสถานะตะแกรงด้านคูของพัลลวมสะอาดและสกปรก	107
4-11 การเชื่อมต่อระบบแลนไร้สายแบบ Peer to Peer	109
4-12 การเชื่อมต่อระบบแลนไร้สายแบบ Client / server	110
4-13 การเชื่อมต่อระบบแลนไร้สายแบบ Multiple access points and roaming	110
4-14 การเชื่อมต่อระบบแลนไร้สายแบบ Use of an Extension Point	111
4-15 การเชื่อมต่อระบบแลนไร้สายแบบ The Use of Directional Antennas	111
4-16 การประยุกต์และเป็นข้อมูลในการสอนเพิ่มเติมการเรียนการสอน (1)	113
4-17 การประยุกต์และเป็นข้อมูลในการสอนเพิ่มเติมการเรียนการสอน (2)	113

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันปริมาณการใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ทางด้านไฟฟ้ามีมากขึ้นเรื่อยๆ สิ่งสำคัญที่สุดคือคุณภาพของกำลังไฟฟ้าที่จะจ่ายให้กลับอุปกรณ์ไฟฟ้าเหล่านี้ว่ามีคุณภาพหรือไม่ซึ่งหากคุณภาพทางไฟฟ้าไม่ได้ก็อาจจะส่งผลเสียให้กลับอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือทำให้เกิดการเสียหายขึ้นได้ และในทางตรงกันข้ามปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ต่างๆ เหล่านี้เราสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้หรือไม่ซึ่งเป็นคำถามหลักสำหรับการจัดการด้านพลังงาน และเราจะทราบได้อย่างไรว่าพลังงานที่อุปกรณ์ไฟฟ้าอยู่นั้นมีปริมาณการใช้คงที่หรือมีปริมาณการใช้ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากสภาวะแวดล้อมหรือความเสื่อมของอุปกรณ์เอง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบเครื่องมือต้นแบบในการตรวจวัดคุณภาพกำลังไฟฟ้า ซึ่งประกอบไปด้วยคุณภาพแรงดันไฟฟ้า ซึ่งสามารถทำการตรวจวัดปริมาณและรูปร่าง การเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า ตรวจวัดปริมาณกำลังไฟฟ้าและบันทึกผล แต่ในการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าสำหรับสถานที่ที่มีอุปกรณ์หลายชนิดหลายประเภทและที่สำคัญอุปกรณ์แต่ละประเภทก็ไม่อยู่ใกล้กันซึ่งหากจะทำการเดินสายสัญญาณไกลๆ หลายๆ เส้นนั้นยิ่งทำให้สัญญาณเกิดการสูญเสียระหว่างสายและโอกาสในการเกิดสัญญาณรบกวนระหว่างได้อีกซึ่งทำให้สัญญาณที่วัดได้เกิดการผิดพลาดซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการวัดและวิเคราะห์ผล

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการวิจัยการส่งชุดข้อมูลแบบไร้สายมาประยุกต์ใช้ในระบบการวัดและการตรวจสอบกำลังไฟฟ้าซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวโดยได้ศึกษาและวิจัยการศึกษาเครื่องต้นแบบการตรวจวัดและบันทึกการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายสำหรับโครงข่ายเฝ้าติดตามคุณภาพกำลังไฟฟ้าและประเมินผลการอนุรักษ์พลังงานอัจฉริยะในอนาคต โดยได้ทำการออกแบบให้สามารถแสดงผลผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมแลปวิวในการออกแบบ ซึ่งออกแบบให้สามารถวัดคุณภาพไฟฟ้าให้เป็นแบบเรียลไทม์ หรือให้สามารถแสดงผลได้โดยตรง

ซึ่งข้อดีของการใช้โปรแกรมแลปวิวนั้นคือสามารถออกแบบชุดโปรแกรมในการบันทึกค่าและเรียกดูค่าที่บันทึกนั้นได้ง่ายจากข้อดีจุดนี้ในงานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบชุดโปรแกรมในการตรวจวัดปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าและส่งค่าปริมาณกำลังไฟฟ้าแบบไร้สายไปยังจุดเครื่องรับเพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ และศึกษารูปแบบการส่งข้อมูลแบบโครงข่ายเพื่อการพัฒนาารูปแบบการตรวจวัดและสร้างเป็นโครงข่ายเพื่อสำหรับระบบเฝ้าติดตามคุณภาพทางไฟฟ้าและประเมินผลการอนุรักษ์พลังงานอัจฉริยะ

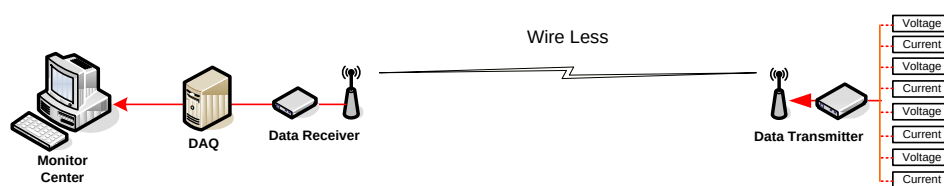
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาหลักการตรวจวัดคุณภาพทางไฟฟ้า, มาตรฐานคุณภาพทางไฟฟ้า
- 1.2.2 เพื่อศึกษาและสร้างเครื่องต้นแบบการตรวจวัดและบันทึกการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบไร้สาย
- 1.2.3 เพื่อศึกษารูปแบบโครงข่ายเพื่อสำหรับระบบเฝ้าติดตามคุณภาพทางไฟฟ้าและประเมินผลการอนุรักษ์พลังงานอัจฉริยะ
- 1.2.4 เพื่อใช้เป็นเครื่องมือและข้อมูลในการจัดทำโครงข่ายตรวจวัดคุณภาพกำลังไฟฟ้าและประเมินผลการอนุรักษ์พลังงานอัจฉริยะในอนาคต
- 1.2.5 เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในสอนทางการศึกษาและเพื่อพัฒนานวัตกรรมใหม่ของระบบเครื่องมือทางการวัดไฟฟ้าสำหรับนักวิจัยรุ่นใหม่

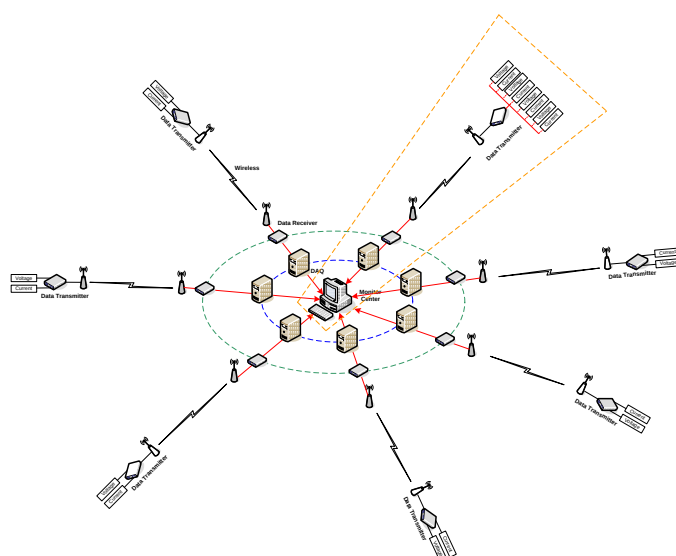
1.3 สมมติฐานการวิจัย

ในการศึกษานงานวิจัยเน้นการศึกษาการส่งข้อมูลในการวัดค่ากำลังไฟฟ้าและส่งข้อมูลการวัดแบบไร้สายโดยทำงานร่วมกับชุดจัดเก็บข้อมูลต้นทุนต่ำและโปรแกรมแลปวิวเพื่อรองรับการทำงานในลักษณะแบบโครงข่ายเพื่อการตรวจวัดและประเมินผลการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าโดยครอบคลุมโดยรูปแบบการตรวจวัดและส่งกำลังไฟฟ้าเป็นการวัดกำลังไฟฟ้าของโหลดทั่วไปขนาด 1 เฟสและส่งค่ามายังชุดเฝ้าระวังและบันทึกผลดังแสดงในภาพที่ 1-1 และ 1-2

ซึ่งจากภาพที่ 1-1 แสดงขอบเขตการทำงานซึ่งจะเป็นการตรวจวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าขนาด 1 เฟสจากนั้นก็ส่งข้อมูลด้วยชุดส่งข้อมูล (Data Transmitter) ซึ่งจะเป็นการส่งในลักษณะแบบไร้สายมายังชุดรับข้อมูล (Data Receiver) จากนั้นก็จะส่งชุดข้อมูลมายังเครื่องเฝ้าติดตามคุณภาพทางไฟฟ้าและประเมินผลโดยผ่านชุดจัดเก็บข้อมูล (DAQ) ซึ่งใช้เป็นชุดเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ (Computer Interface) โดยข้อมูลที่วัดได้ก็จะนำมาวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าและประมวลผลการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อเฝ้าและติดตามการใช้พลังงานเพื่อนำไปวิเคราะห์และวางแผนการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าต่อไป และเพื่อให้ระบบสามารถทำการตรวจวัดและประเมินผลได้ครอบคลุมทุกโหลดหรือแต่ละอุปกรณ์เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลหรือเพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานของแต่ละอุปกรณ์จึงทำการศึกษารูปแบบระบบโครงข่ายไร้สายระบบเฝ้าติดตามคุณภาพทางไฟฟ้าและประเมินผลเพื่อการอนุรักษ์พลังงานอัจฉริยะดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 1-2



ภาพที่ 1-1 รูปแบบการทำงานเครื่องวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าแบบไร้สาย



ภาพที่ 1-2 ตัวอย่างโครงข่ายระบบเฝ้าติดตามคุณภาพทางไฟฟ้า
และประเมินผลการอนุรักษ์พลังงานอัจฉริยะ

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

ในการทำวิจัยการศึกษาและสร้างเครื่องต้นแบบการตรวจวัดและบันทึกการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายสำหรับโครงข่ายเฝ้าติดตามคุณภาพกำลังไฟฟ้าและประเมินผลการอนุรักษ์พลังงานอัจฉริยะ ได้แบ่งขั้นตอนในการศึกษาไว้ทั้งหมด 5 ขั้นตอนด้วยกันซึ่งประกอบด้วย

1.4.1 ศึกษารูปแบบและมาตรฐานการตรวจวัด ซึ่งจะเป็นการศึกษามาตรฐานข้อกำหนดของคุณภาพไฟฟ้าเพื่อใช้เกณฑ์ในการวิเคราะห์

1.4.2 ออกแบบระบบการตรวจวัดระบบประมวลผลและแสดงผล (Power Quality Monitoring) และระบบบันทึกข้อมูล (Recording Design) โดยในการออกแบบจะใช้โปรแกรมแลปวิวในการออกแบบโปรแกรมในการประมวลผลและแสดงผล

1.4.3 การออกแบบระบบการส่งชุดข้อมูลแบบไร้สายและรูปแบบระบบโครงข่ายไร้สายเพื่อเฝ้าติดตามคุณภาพกำลังไฟฟ้าและประเมินผลการอนุรักษ์พลังงานอัจฉริยะ

1.4.4 ทดสอบ บันทึกรูปผล และเปรียบเทียบผล ในการทดสอบนั้นจะทำการทดสอบ ณ อาคารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

1.4.5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

1.5 นิยามคำศัพท์เฉพาะ

1.5.1 คุณภาพกำลังไฟฟ้า (Power Quality)

คือคุณลักษณะกระแสแรงดัน และความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าในสภาวะปกติไม่ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้ามีการทำงานผิดพลาดหรือเกิดการเสียหาย

1.5.2 แรงดันไฟฟ้า (Voltage)

คือแรงที่กระทำต่ออิเล็กตรอนเพื่อทำให้อิเล็กตรอนไหลในสายไฟ

1.5.3 กระแสไฟฟ้า (Current)

คือการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน โดยอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ เมื่อเกิดสภาพขาดอิเล็กตรอนจึงจ่ายประจุไฟฟ้าลบบอกไปแทนที่ ทำให้เกิดการไหลของอิเล็กตรอนในสายไฟจนกว่าประจุไฟฟ้าบวกจะถูกทำให้เป็นกลางหมด การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนหรือการไหลของอิเล็กตรอนในสายไฟ

1.5.4 ฮาร์โมนิกส์ (Voltage Harmonic)

คือส่วนประกอบในรูปสัญญาณคลื่นไซน์ (Sine wave) ของสัญญาณหรือปริมาณเป็นคาบใดๆซึ่งมีความถี่เป็นจำนวนเต็มเท่าของความถี่หลักมูล (Fundamental Frequency) ในระบบไฟฟ้าเรามีค่าเท่ากับ 50 Hz)

1.5.5 ความถี่หลักมูล (Fundamental Frequency)

คือความถี่หลักของระบบกำลังไฟฟ้าในงานวิจัยที่ใช้ศึกษาคือ 50 Hz

1.5.6 คุณภาพแรงดันไฟฟ้า (Voltage quality)

คือคุณลักษณะแรงดัน และความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าในสภาวะปกติไม่ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้ามีการทำงานผิดพลาดหรือเกิดการเสียหาย

1.5.7 แรงดันตก (Under voltage)

คือค่าแรงดัน rms มีขนาดลดลงระหว่าง 0.8-0.9 pu.ในช่วงเวลานานกว่า 1 min มีสาเหตุเกิดขึ้นจากผลของ การสวิตซ์ซึ่งโหลด ขนาดใหญ่เข้าระบบ

1.5.8 แรงดันเกิน (Over voltage)

คือค่าแรงดัน rms มีขนาดเพิ่มขึ้นระหว่าง 1.1-1.2 pu.ในช่วงเวลานานกว่า 1 min มีสาเหตุเกิดขึ้นจากผลของ การปลดโหลด ขนาดใหญ่ออกจากระบบ

1.5.9 แรงดันกระเพื่อม (Voltage Fluctuation)

คือการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องของค่าแรงดันไฟฟ้า มีขนาดไม่เกินช่วงแรงดัน 0.95-1.05 pu. เป็นผลเกิดจาก การใช้อุปกรณ์ ประเภทเตาหลอมแบบอาร์ค ทำให้เกิดไฟกระพริบ (Flicker) ที่หลอดไฟ และอาจส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ในระบบ ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันมาก

1.5.10 แรงดันไม่สมดุล (Voltage Unbalance)

คือแรงดันของระบบ 3 เฟสมีขนาดแตกต่างกัน (0.5-2%) หรือมีมุมเปลี่ยนไปจาก 120 องศา เกิดจากความไม่ สมดุลขนาด ของโหลดแต่ละเฟส

1.5.11 แรงดันผิดเพี้ยน (Voltage Distortion)

คือการเบี่ยงเบนในสภาวะคงตัวของรูปคลื่น ไซค์ที่มีความถี่ทางกำลังไฟฟ้า

1.5.12 แรงดันมีรอยบาก (Notching Voltage)

คือสิ่งรบกวนทางแรงดันไฟฟ้าลักษณะคล้ายกับสามอนิกส์และทรานเซียนท์ที่มีลักษณะต่อเนื่อง เป็นผลเกิดจากใช้อุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์กำลัง เมื่อกระแสถูกเปลี่ยนจากเฟสหนึ่งไปยังอีกเฟสหนึ่ง ผลทำให้อุปกรณ์ประเภทอิเล็กทรอนิกส์มีการทำงานผิดพลาด

1.5.13 ความถี่ไฟฟ้ากำลัง (Power Frequency)

คือจำนวนรอบของกระแสไฟฟ้าสลับต่อวินาทีมีหน่วยเป็น (Hz)

1.5.14 เครือข่ายไร้สาย (Wireless network)

คือระบบสื่อสารข้อมูลที่นำมาใช้ทดแทนหรือเพิ่มต่อกับระบบเครือข่ายแลนไร้สายแบบดั้งเดิม โดยใช้การส่งคลื่นความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความถี่วิทยุและคลื่นอินฟราเรดรับส่งข้อมูลแทนสายสัญญาณ

1.5.15 การเชื่อมต่อของเครือข่ายไร้สาย (Connection of Wireless network)

คือเป็นการสื่อสารที่อาศัยคลื่นความถี่วิทยุเป็นสื่อกลางในการรับส่งข้อมูลระหว่างจุด

1.5.16 เครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล (Wireless Personal Area Network: WPAN)

คือเทคโนโลยีการเข้าถึงไร้สายในพื้นที่เฉพาะบุคคล โดยมีระยะทางไม่เกิน 10 เมตรและมีอัตราการรับส่งข้อมูลความเร็วสูงมาก (สูงถึง 480 Mbps) สำหรับการติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ต่อพ่วงให้สามารถรับส่งข้อมูลถึงกันได้

1.5.17 เครือข่ายแลนไร้สาย (Wireless Local Area Network: WLAN)

คือ เทคโนโลยีการเข้าถึงไร้สายสำหรับใช้ในพื้นที่เฉพาะ ซึ่งจะครอบคลุมระยะทางอยู่ระหว่าง 50 ถึง 100 เมตร และมีอัตราการรับส่งข้อมูลความเร็วที่สูงถึงระดับ 100 Mbps

1.5.18 เครือข่ายเอนไร้สาย (Wireless Wide Area Network: WWAN)

คือ เครือข่ายไร้สายบริเวณกว้างที่อาจครอบคลุมพื้นที่ ทั่วประเทศหรือเขตภูมิภาค แต่ จะมี อัตราการรับส่งข้อมูลที่มีความเร็วได้ไม่เกิน 1.5 Mbps

1.5.19 บลูทูธ (Bluetooth)

คือ ระบบสื่อสารของอุปกรณ์ระบบอิเล็กทรอนิกส์แบบสองทางเป็นเทคโนโลยีไร้สายแบบ ระยะสั้น (Short-Range)

1.5.20 ไวแมกซ์ (WiMAX)

คือ เป็นชื่อย่อของ Worldwide Interoperability for Microwave Access มีวิวัฒนาการมาจากเทคโนโลยีการรับส่งข้อมูลโดยใช้คลื่นความถี่วิทยุย่านไมโครเวฟซึ่งเป็นเทคโนโลยี บรอดแบนด์ไร้สายความเร็วสูงรุ่นใหม่ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาบนมาตรฐาน IEEE 802.16 ซึ่งต่อมาก็ได้พัฒนา IEEE 802.16a

1.5 ประโยชน์ของงานวิจัย

1.5.1 ใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนทางด้านเทคโนโลยีไฟฟ้า, อิเล็กทรอนิกส์ และวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

1.5.2 นำความรู้ที่ได้จากการวิจัยปรับปรุง คุณภาพแรงดันไฟฟ้าเชิงวิศวกรรมและสร้างแผนงานในการอนุรักษ์พลังงาน

1.5.3 ใช้พัฒนาศักยภาพในการเรียนรู้เชิงปฏิบัติและต่อยอดนวัตกรรมเครื่องมือการตรวจวัดแบบโครงข่ายไร้สาย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

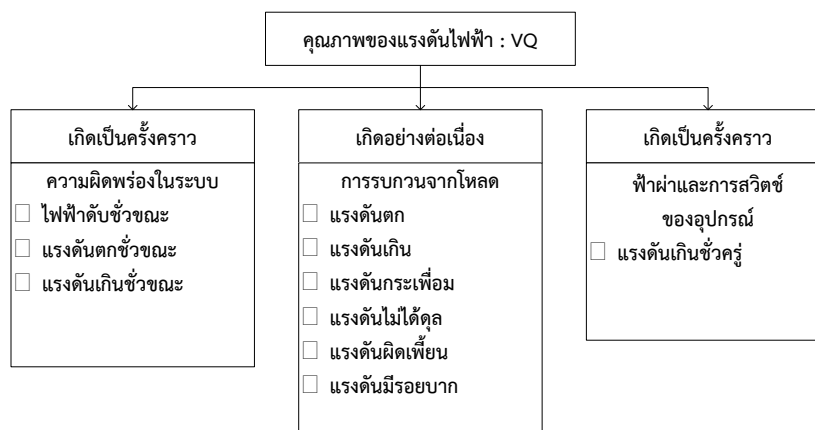
ในการศึกษาวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นในการศึกษาการสร้างเครื่องต้นแบบในการตรวจวัดคุณภาพกำลังไฟฟ้าและการส่งข้อมูลการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายและศึกษารูปแบบในการสร้างโครงข่ายไร้สายดังนั้นเพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ง่ายขึ้นจึงได้แบ่งส่วนการศึกษาในบทนี้ออกเป็นสองส่วนใหญ่คือส่วนเอกสารเนื้อหาที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยโดยประกอบไปด้วยคำนิยามศัพท์ที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย คุณภาพแรงดันไฟฟ้า ระบบหรือเครือข่ายไร้สาย และส่วนที่สองคือ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหาการศึกษาวิจัยนี้

2.1 คุณภาพและมาตรฐานทางไฟฟ้า

ปัจจุบันคำว่า คุณภาพกำลังไฟฟ้า (Power Quality) เป็นคำที่พูดถึงบ่อยในเรื่องของความมั่นคงการจ่ายไฟฟ้าของระบบจากการไฟฟ้าและกรณีเมื่อเกิดปัญหาอุปกรณ์ไฟฟ้ามีการทำงานผิดพลาด หรือหยุดการทำงานจากผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งเห็นได้ว่าคำ นิยามของคำว่าคุณภาพกำลังไฟฟ้า ระหว่างการไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟจะพูดถึงในกรณีที่แตกต่างกันไป แต่ในความเป็นจริง แล้วมีความหมายเดียวกันซึ่งนิยามของคุณภาพกำลังไฟฟ้า ตามมาตรฐานสากล IEC และ IEEE ให้ ความหมายของคุณภาพกำลังไฟฟ้า คือ คุณลักษณะกระแสแรงดัน และความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า ในสภาวะปกติไม่ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้ามีการทำงานผิดพลาดหรือเกิดการเสียหาย

คุณภาพแรงดันไฟฟ้า โดยความหมายที่แท้จริงแล้วจะหมายถึง "คุณภาพแรงดันไฟฟ้า “ การไฟฟ้าสามารถที่จะควบคุมหรือรักษาคุณภาพเฉพาะส่วนของแรงดันไฟฟ้าเท่านั้น ไม่สามารถที่จะควบคุมในส่วนของผู้ใช้กระแสไฟฟ้างoesไปใช้งานได้ อย่างไรก็ตาม การที่การไฟฟ้าจะรักษาระดับคุณภาพแรงดันให้อยู่ในเกณฑ์ที่ดีได้นั้น อาจมีความจำเป็นต้องกำหนด หรือบังคับให้ผู้ไฟฟ้าใช้กระแสไฟฟ้าในลักษณะที่ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพแรงดันไฟฟ้าในลักษณะที่ทำให้คุณภาพไฟฟ้าต่ำลงจนไม่ได้คุณภาพตามที่มาตรฐานกำหนดไว้ เช่น กำหนดให้ผู้ไฟฟ้ากรองกระแสฮาร์มอนิกส์ทิ้งบางส่วน เพื่อรักษาระดับแรงดันฮาร์มอนิกส์ ณ จุดต่อรวมให้อยู่ในระดับที่กำหนด หรือกำหนดให้ผู้ไฟฟ้าใช้กระแสที่กระเพื่อมอยู่ระดับกำหนด เพื่อลดผลต่อแรงดันกระเพื่อม เป็นต้น แต่ในยุคปัจจุบัน คุณภาพไฟฟ้าได้ขยายความครอบคลุมถึงเรื่องคุณภาพของแรงดันไฟฟ้าด้วย เนื่องจากอุปกรณ์สมัยใหม่ชนิดต่าง ๆ จะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้ามากขึ้น แรงดันที่ขาดหายไปในช่วงเวลาสั้น ๆ เช่น เพียง 1 -2 ไซเคิล ก็อาจมีผลทำให้อุปกรณ์ทำงานผิดพลาดได้แล้ว ซึ่ง สาเหตุของไฟฟ้าดับที่ส่งผลต่อค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้านั้น เกิดจากการเกิด

ความผิดปกติของระบบไฟฟ้าในรูปแบบต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการเกิดความผิดปกติลงดิน ความผิดปกติระหว่างสาย ซึ่งคุณภาพแรงดันไฟฟ้าสามารถอธิบายได้ดังภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 แสดงการจำแนกปรากฏการณ์ของคุณภาพแรงดันไฟฟ้า

ซึ่งแยกออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ กลุ่มที่เกิดเป็นครั้งคราว และกลุ่มที่เกิดอย่างต่อเนื่อง ปรากฏการณ์ที่เกิดเป็นครั้งคราวยังแยกได้เป็น 2 กลุ่มย่อย คือ กลุ่มที่เกิดจากผลของการเกิดความผิดปกติของระบบไฟฟ้ามีอยู่ 3 ปรากฏการณ์ คือ

- ไฟฟ้าดับชั่วขณะ (Short Time Interruption) ไม่เกิน 1 นาที หรือ 3 นาที
- แรงดันตกชั่วขณะ (Voltage Dip หรือ Voltage Sag)
- แรงดันเกินชั่วขณะ (Voltage Swell)

และกลุ่มที่เกิดจากปรากฏการณ์ฟ้าผ่าหรือการสวิตช์ของอุปกรณ์ของระบบไฟฟ้า เช่น การสับเข้าชุดตัวเก็บประจุกำลัง ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น คือ แรงดันเกินชั่วครู่ ปรากฏการณ์ที่เกิดอย่างต่อเนื่องส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการรบกวนของโหลด มีปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นดังนี้

- แรงดันตก (Under voltage)
- แรงดันเกิน (Overvoltage)
- แรงดันกระเพื่อม (Voltage Fluctuation)
- แรงดันไม่สมดุล (Voltage Unbalance)
- แรงดันผิดเพี้ยน (Voltage Distortion) แบ่งย่อยเป็น แรงดันฮาร์โมนิกส์ (Harmonic Voltage) และแรงดันอินเตอร์ฮาร์โมนิกส์ (Inter harmonic Voltage)
- แรงดันมีรอยบาก (Notching Voltage)

การแพร่กระจายของการรบกวนจากอุปกรณ์ที่สร้างการรบกวน เช่น ชุดขับเคลื่อนปรับความเร็วรอบของมอเตอร์สร้างกระแสฮาร์มอนิกส์หรือการวาบไฟตามผิวของลูกฉนวน ทำให้เกิดแรงดันตกชั่วขณะ เป็นต้น ไปสู่อุปกรณ์ที่ได้รับผลกระทบนั้น สามารถไปได้ 2 ทาง คือ แพร่ไปทางอากาศ ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และแพร่ไปตามสายตัวนำของระบบไฟฟ้า

2.1.1 ปรัชการด้านคุณภาพด้านแรงดันไฟฟ้า

คุณภาพของแรงดันไฟฟ้าจะเกี่ยวข้องกับเรื่องหลัก 3 เรื่อง คือ ความถี่ของแรงดัน, ขนาดของแรงดัน, รูปคลื่นของแรงดันแรงดันจะมีค่าไม่เท่ากับค่าที่ระบุหรือค่าพึงประสงค์ของมัน ค่าที่เบี่ยงเบนไปเล็กน้อยจากค่าที่ระบุหรือค่าพึงประสงค์นั้น เรียกว่า “การแปรเปลี่ยนค่าของแรงดัน” (Voltage Variation) ซึ่งเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา การตรวจวัดการแปรค่าจึงต้องทำอย่างต่อเนื่องในช่วงเวลาที่กำหนด เช่น 24 ชั่วโมง 1 สัปดาห์ 1 เดือน หรือ 1 ปี เป็นต้น ในบางครั้งแรงดันอาจมีการแปรเปลี่ยนค่าที่มีขนาดเบี่ยงเบนไปจากค่าที่ระบุ หรือค่าพึงประสงค์มากการเบี่ยงเบนอย่างมากอย่างกะทันหันนี้ เรียกว่า “เหตุการณ์”(Event) เช่น แรงดันลดค่าลงเป็นศูนย์ เนื่องจากการปลดปล่อยวงจรของอุปกรณ์ป้องกันระบบหรือการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของรูปคลื่นอย่างกะทันหันในช่วงเวลาสั้น ๆ จากการสับชุดตัวเก็บประจุเข้าสู่ระบบไฟฟ้า เป็นต้น

2.1.2 ปรัชการด้านคุณภาพด้านแรงดันไฟฟ้า

การแปรเปลี่ยนค่าของแรงดัน สามารถใช้อธิบายความถึงค่าพารามิเตอร์อื่น เช่น กระแส กำลังงาน ตัวประกอบกำลัง ฯลฯ ได้ด้วย ในภาวะการณ์ทำงานตามปกติ จะมีค่าเบี่ยงเบน ไปจากค่าที่ระบุ หรือค่าพึงประสงค์เพียงเล็กน้อยเท่านั้น บางขณะอาจมีค่าสูงกว่า และบางขณะอาจมีค่าต่ำกว่าค่าที่ระบุ หรือค่าพึงประสงค์

2.1.3 แรงดันเปลี่ยนค่ากะทันหัน

แรงดันเปลี่ยนค่ากะทันหันเป็นการเปลี่ยนค่าอย่างรวดเร็วของแรงดันอาร์เอ็มเอสเฉลี่ย ระหว่างภาวะอยู่ตัวหรือภาวะเสถียร 2 ระดับ คือภาวะอยู่ตัวก่อนเกิดการเปลี่ยนแปลง และภาวะอยู่ตัวหลังเกิดการเปลี่ยนแปลงสาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากการสับเข้า หรือปลดออกของโหลดขนาดใหญ่ เช่น การเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดใหญ่ หากแรงดันเปลี่ยนค่ากะทันหันมีขนาดมากกว่าขีดเริ่มเปลี่ยนของแรงดันตกชั่วขณะ หรือแรงดันเกินชั่วขณะให้ถือเป็นเหตุการณ์ของแรงดันตกชั่วขณะ หรือแรงดันเกินชั่วขณะแทน

2.1.4 แรงดันกระเพื่อม

แรงดันกระเพื่อมเกิดจากขนาดของแรงดันมีค่าแปรเปลี่ยนอยู่ตลอดเวลา โดยแรงดันกระเพื่อมแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

2.1.4.1 แรงดันกระเพื่อมเป็นขั้น (Step) ซึ่งอาจเกิดอย่างสม่ำเสมอหรือไม่สม่ำเสมอ ในเทอมของเวลาที่ได้ เช่น เกิดจากการทำงานของเครื่องเชื่อมไฟฟ้า เครื่องรีดเหล็ก เป็นต้น

2.1.4.2 แรงดันกระเพื่อมเป็นวัฏจักร หรือแบบสุ่ม (Cyclic or Random) เป็นแรงดันกระเพื่อมที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์ของโหลดในขณะทำงาน เช่น การทำงานของเตาหลอมเหล็กแบบอาร์ก

แรงดันกระเพื่อมส่วนใหญ่จะส่งผลทำให้เกิดแสงกระเพื่อม (Light Flicker) หากแสงจากหลอดกระเพื่อมที่ความถี่ในช่วงเวลา 1 Hz ถึง 10 Hz ตามนุษย์จะไวต่อแสงกระเพื่อมในช่วงนี้มาก ซึ่งก่อให้เกิดความรำคาญได้ การวัดระดับแรงดันกระเพื่อมที่ส่งผลต่อแสงกระเพื่อมทำได้โดยวัดออกมาในเทอม P_{st} (Short Term Severity Level) และ P_{lt} (Long Term Severity Level) โดย P_{st} คำนวณจากทุก ๆ 10 นาที และ P_{lt} จะคิดทุก ๆ 2 ชั่วโมง

2.1.5 แรงดันตกชั่วขณะ

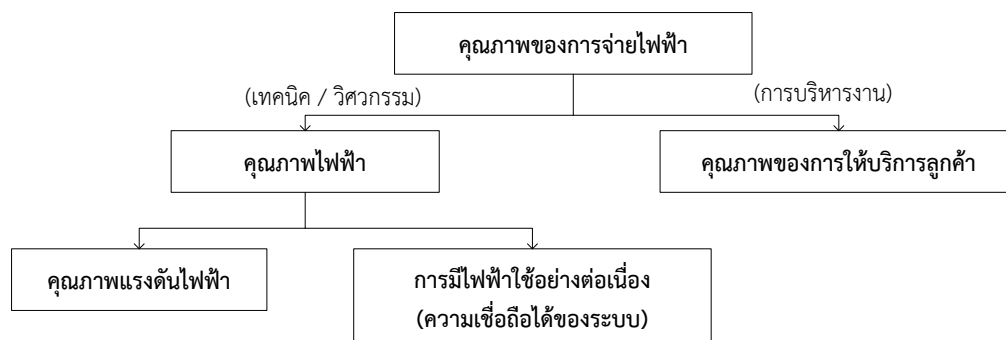
แรงดันตกชั่วขณะ เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจากความผิดปกติหรือการลัดวงจรในระบบไฟฟ้าทำให้แรงดันลดขนาดลงอย่างทันทีทันใด ทำให้มีค่าต่ำกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่กำหนดไว้แล้วตามด้วยการคืนตัวของแรงดันในช่วงเวลาสั้น ๆ ซึ่งมีความหมายดังต่อไปนี้ แ ร ง ค ้น อ่ำ อิง เป็นแรงดันที่ระบุเพื่อใช้อ้างอิงในการกำหนดค่าขีดเริ่มต่าง ๆ ความลึกของแรงดันตกชั่วขณะ หรือค่าอื่น ๆ โดยคิดเทียบเป็น % หรือ p.u. ขีดเริ่มเปลี่ยนตอนเริ่มต้นของแรงดันตกชั่วขณะ เป็นค่าแรงดันที่กำหนดขึ้น โดยเทียบกับแรงดันอ้างอิงเพื่อเป็นตัวกำหนดจุดเริ่มเกิดของแรงดันตกชั่วขณะ

โดยปกติแล้วมักกำหนดให้มีค่าอยู่ระหว่าง 85% ถึง 95% หรือ 0.85 – 0.95 pu ของแรงดันอ้างอิงขีดเริ่มเปลี่ยนตอนสิ้นสุดของแรงดันตกชั่วขณะ เป็นค่าแรงดันที่กำหนดขึ้น โดยเทียบกับแรงดันอ้างอิงเพื่อเป็นตัวกำหนดจุดสิ้นสุดของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ โดยปกติอาจกำหนดเป็นค่าเดียวกันกับขีดเริ่มเปลี่ยนตอนเริ่มต้น หรืออาจกำหนดให้มีค่าสูงกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนตอนเริ่มต้นประมาณ 1% แรงดันตกค้างของแรงดันตกชั่วขณะ เป็นค่าแรงดันต่ำสุดที่บันทึกได้ในขณะที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะอาจแสดงเป็นโวลต์ หรือร้อยละเทียบกับแรงดันอ้างอิง หรือ pu เทียบกับแรงดันอ้างอิงก็ได้ ความลึกของแรงดันตกชั่วขณะ คือผลต่างของแรงดันอ้างอิงกับแรงดันตกค้างช่วงเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะ เป็นระยะเวลาระหว่างจังหวะที่แรงดันลดต่ำกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนตอนเริ่มต้น และจังหวะที่แรงดันคืนตัวมีค่าสูงกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนตอนสิ้นสุด

2.1.6 การตรวจวัดข้อมูลคุณภาพไฟฟ้า

เนื่องจากผู้ใช้ไฟฟ้าภาคธุรกิจและอุตสาหกรรมมีการนำเอาอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าสมัยใหม่มาประยุกต์ใช้งานมากมาย ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้มีความไวต่อการรบกวนจากระบบไฟฟ้า จึงเป็นเรื่องที่ผู้ใช้ไฟฟ้ากลุ่มนี้ต้องการทราบคุณภาพไฟฟ้าที่เข้ามาใช้ นอกจากนี้ ระเบียบปฏิบัติต่าง ๆ

ในการให้บริการทางด้านไฟฟ้าเริ่มมีแนวโน้มที่จะมีการนำเรื่องคุณภาพไฟฟ้ามาประยุกต์ใช้มากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 2-2



ภาพที่ 2-2 คุณภาพของการจ่ายไฟฟ้า

ข้อมูลที่ต้องตรวจวัด ปรากฏการณ์ทางด้านคุณภาพไฟฟ้าสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง และปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเป็นครั้งคราว

สำหรับปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจะประกอบไปด้วย การแปรเปลี่ยนช่วงเวลายาว (ได้แก่ ไฟฟ้าดับนาน แรงดันตกและแรงดันเกิน), แรงดันไม่ได้คู่, แรงดันผิดเพี้ยน, แรงดันกระเพื่อม และการแปรเปลี่ยนของความถี่ไฟฟ้ากำลัง ส่วนสำหรับปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเป็นครั้งคราว จะประกอบไปด้วย แรงดันชั่วครู่ (ทั้ง อิมพัลส์และแบบแกว่ง) และการแปรเปลี่ยนช่วงเวลาสั้น (ได้แก่ ไฟฟ้าดับชั่วขณะ แรงดันตกชั่วขณะ และแรงดันเกินชั่วขณะ)

2.1.7 มาตรฐานและข้อกำหนดการวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้า

มาตรฐานคุณภาพไฟฟ้าเป็นสิ่งจำเป็นในธุรกิจไฟฟ้า ผู้ที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพไฟฟ้ามากมายหลายฝ่าย ประกอบด้วย การไฟฟ้า หรือผู้ขายไฟฟ้า, ผู้ใช้ไฟฟ้า หรือผู้ซื้อไฟฟ้า, ผู้ผลิตอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า, ผู้ผลิตอุปกรณ์ที่ใช้ป้องกัน หรือบรรเทาปัญหาคุณภาพไฟฟ้า, ผู้ทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้า, ผู้กำกับดูแลธุรกิจการซื้อขายไฟฟ้า

2.1.7.1 หน่วยงานกำหนดมาตรฐาน

มาตรฐานด้านคุณภาพไฟฟ้า ผู้ที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ เหล่านี้ อาจตกลงร่วมกันไม่ได้ว่าจะใช้เกณฑ์อะไร ค่าเท่าไร ในการควบคุมคุณภาพไฟฟ้าให้อยู่ระบบที่ทุกฝ่ายพอใจ ทั้งด้านเทคนิคและความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐกิจ ผู้ที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพไฟฟ้าต่าง ๆ เหล่านี้ ได้ตระหนักถึงความสำคัญของมาตรฐานด้านคุณภาพไฟฟ้า จึงได้สร้างมาตรฐานด้านคุณภาพไฟฟ้าออกมา

มากมายในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา พวกเขาตระหนักดีว่ามีความต้องการคุณภาพไฟฟ้าสูงขึ้น มีการใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ไวต่อการรบกวน มีการใช้อุปกรณ์แบบไม่เชิงเส้นที่สร้างกระแสฮาร์โมนิกมากขึ้น ระบบไฟฟ้ามีโครงข่ายขนาดใหญ่ขึ้นและซับซ้อนมากขึ้น มีการนำเทคโนโลยีใหม่ๆ มาประยุกต์ใช้ในระบบไฟฟ้ากำลังมากขึ้น สิ่งต่างๆ เหล่านี้ล้วนแต่ผลักดันให้ต้องมีมาตรฐานด้านคุณภาพไฟฟ้า เพื่อใช้เป็นแม่บททางด้านคุณภาพไฟฟ้า

ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงมาตรฐานด้านคุณภาพไฟฟ้าบางฉบับ เนื่องจากการปรับปรุงมาตรฐานด้านคุณภาพไฟฟ้าให้ทันสมัยอยู่ตลอดเวลา ดังนั้น ในการเลือกใช้งาน ผู้ที่เกี่ยวข้องโดยตรงทุกฝ่ายต้องตัดสินใจเองว่าจะใช้มาตรฐานใด ด้วยเหตุผลใด

2.1.8 มาตรฐาน EN 50160 – 2010

มาตรฐาน EN 50160– 2010 : Voltage Characteristics of Electricity Supplied by Public Electricity Networks เป็นมาตรฐานคุณภาพไฟฟ้าของประชาคมยุโรป จัดทำโดย CENELEC (European Committee Electro technical Standardization) ซึ่งมีสมาชิกทั้งหมด 31 ประเทศ (ปี 2010 ตามรายชื่อที่ปรากฏในมาตรฐาน) มีเนื้อหา ขอบข่าย และวัตถุประสงค์, เอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้อง, พจน์ และนิยาม, คุณลักษณะแหล่งจ่ายแรงดันต่ำ ($U_N \leq 1kV$), คุณลักษณะแหล่งจ่ายแรงดันปานกลาง ($1kV \leq U_C \leq 36kV$), คุณลักษณะแหล่งจ่ายแรงดันสูง ($U_C > 1kV$), มาตรฐานฉบับนี้จะแบ่งปรากฏการณ์ด้านคุณภาพไฟฟ้าออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มปรากฏการณ์ต่อเนื่อง (Continuous Phenomena) และกลุ่มเหตุการณ์แรงดัน (Voltage Event)

มาตรฐานฉบับนี้ กำหนดกฎเกณฑ์ต่าง ๆ ดังนี้

2.1.8.1 ความถี่ไฟฟ้ากำลัง ความถี่ที่ระบุ คือ 50 Hz โดยวัดค่าเฉลี่ยทุก 10 วินาที ในภาวะการทำงานปกติ ระบบโครงข่ายขนาดใหญ่ต้องที่ค่าตามเกณฑ์ที่กำหนดในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 คุณลักษณะของความถี่ไฟฟ้ากำลัง

ระดับแรงดัน	เกณฑ์ที่กำหนดความถี่ไฟฟ้ากำลัง
LV	-50 Hz $\pm 1\%$ (นั่นคือ 49.5-50.5 Hz) ในช่วงเวลา 99.5% ของ 1 ปี -50 Hz $+4\% / -6\%$ (นั่นคือ 47-52 Hz) ในช่วงเวลา 100% ของ 1 ปี
MV	เหมือนของ LV
HV	เหมือนของ LV

2.1.8.2 การแปรเปลี่ยนแรงดันแหล่งจ่ายแรงดันที่ระบุ (U_N) ของระบบแรงดันต่ำ คือ 230 V ระหว่างเฟสกับนิวทรัลในระบบ 1 เฟส และ 3 เฟส 4 สาย, ระหว่างเฟสกับเฟสในระบบ 3 เฟส 3 สาย, ส่วนระบบแรงดันปานกลาง และระบบแรงสูง ให้ผู้ที่เกี่ยวข้องแจ้งว่าใช้ค่าเท่าใดเป็น ค่าอ้างอิง, วัดค่าอาร์เอ็มเอสเฉลี่ยทุก 10 นาที ในภาวะการณ์ทำงานปกติ และคุณลักษณะของการ แปรเปลี่ยนแรงดันแหล่งจ่ายกำหนดในตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 คุณลักษณะของการแปรเปลี่ยนแรงดันแหล่งจ่าย

ระดับแรงดัน	เกณฑ์ที่กำหนดของการแปรเปลี่ยนแรงดันแหล่งจ่าย
LV	1.ในภาวะทำงานปกติการแปรเปลี่ยนแรงดันแหล่งจ่ายต้องไม่เกิน $\pm 10\%$ ของแรงดันที่ระบุ (U_N) 2.หากได้รับการร้องเรียนจากผู้ใช้ไฟฟ้า การไฟฟ้าจะดำเนินการวัดแรงดันค่า อาร์เอ็มเอสเฉลี่ยทุก 10 นาทีในแต่ละสัปดาห์ในภาวะการณ์ทำงานปกติ โดย 95% ของข้อมูลที่วัดได้ในช่วงเวลาแต่ละสัปดาห์ต้องอยู่ในช่วง $U_N \pm 10\%$ และ 100% ของข้อมูลที่วัดได้ในช่วงเวลาแต่ละสัปดาห์ต้องอยู่ในช่วง $U_N \pm 10\% / -15\%$ หากไม่เป็นไปตามเกณฑ์นี้ การไฟฟ้าต้องปรับปรุงระบบ ไฟฟ้าเพื่อลดผลกระทบกับผู้ใช้ไฟฟ้า
MV	1.ในภาวะทำงานปกติการแปรเปลี่ยนแรงดันแหล่งจ่ายต้องไม่เกิน $\pm 10\%$ ของแรงดันที่ระบุ (U_C) 2.หากได้รับการร้องเรียนจากผู้ใช้ไฟฟ้า การไฟฟ้าจะดำเนินการวัดแรงดันค่า อาร์เอ็มเอสเฉลี่ยทุก 10 นาทีเป็นเวลาอย่างน้อย 1 สัปดาห์ (นั่นคือมีข้อมูลรวม 1,008 ข้อมูล) โดย 99% ของข้อมูลที่วัดได้ต้องมีค่าต่ำกว่า $U_C + 10\%$ และ 99% ของข้อมูลที่วัดได้ต้องมีค่าสูงกว่า $U_C - 10\%$ และ 100% ของข้อมูลที่วัด ได้ต้องมีค่าอยู่ในช่วง $U_C \pm 15\%$ หากไม่เป็นไปตามเกณฑ์นี้ การไฟฟ้าต้อง ปรับปรุงระบบไฟฟ้าเพื่อลดผลกระทบกับผู้ใช้ไฟฟ้า
HV	เป็นไปตามสัญญาการซื้อขายไฟฟ้า ระหว่างการไฟฟ้ากับผู้ไฟฟ้าแต่ละราย มาตรฐานไม่ได้กำหนดเกณฑ์ไว้

2.1.8.3 การเปลี่ยนแรงดันกะทันหัน

- การเปลี่ยนแรงดันกะทันหันเดี่ยว ส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนโหลดของผู้ใช้ไฟฟ้า การสวิตช์ในระบบไฟฟ้า หรือจากความผิดปกติ
- ความรุนแรงแสงกะพริบ เกิดจากแรงดันกระเพื่อม
- เกณฑ์ขีดจำกัดการเปลี่ยนแรงดันกะทันหันกำหนดในตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 คุณลักษณะของการเปลี่ยนแรงดันกะทันหัน

ระดับแรงดัน	เกณฑ์ที่กำหนดของการเปลี่ยนแรงดันกะทันหัน
LV	1.การเปลี่ยนแรงดันกะทันหันเดี่ยว ให้เป็นไปตามเกณฑ์ของ IEC 61000-2-2 2.ความรุนแรงแสงกะพริบ ในภาวะการทำงานปกติในช่วงเวลาแต่ละสัปดาห์ ค่า P_{lt} ต้องไม่เกิน 1 ใน 95% ของเวลาทั้งหมด
MV	1.การเปลี่ยนแรงดันกะทันหันเดี่ยว ให้เป็นไปตามเกณฑ์ของ IEC 61000-2-12 2.ความรุนแรงแสงกะพริบ ในภาวะการทำงานปกติในช่วงเวลาแต่ละสัปดาห์ ค่า P_{lt} ต้องไม่เกิน 1 ใน 95% ของเวลาทั้งหมด
HV	1.ไม่ได้กำหนดเกณฑ์ของการเปลี่ยนแรงดันกะทันหันเดี่ยว 2.ความรุนแรงแสงกะพริบ ในภาวะการทำงานปกติในช่วงเวลาแต่ละสัปดาห์ ค่า P_{lt} ต้องไม่เกิน 1 ใน 95% ของเวลาทั้งหมด

2.1.8.4 แรงดันแหล่งจ่ายไม่ได้คู่

- พิจารณาในภาวะทำงานปกติ
- พิจารณาแต่ละคาบเป็นเวลานาน คาบละ 1 สัปดาห์
- เกณฑ์ขีดจำกัดของแรงดันไม่ได้คู่ กำหนดในตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 คุณลักษณะของแรงดันแหล่งจ่ายไม่ได้ดุล

ระดับแรงดัน	เกณฑ์ที่กำหนดของแรงดันแหล่งจ่ายไม่ได้ดุล
LV	-95% ของข้อมูลค่าอาร์เอ็มเอสเฉลี่ยทุก 10 นาที ของอัตราส่วนส่วนประกอบลำดับลบต่อส่วนประกอบลำดับบวกของแรงดันแหล่งจ่าย ต้องมีค่าอยู่ในช่วง 0% ถึง 2%
MV	เหมือนของ LV
HV	เหมือนของ LV

2.1.8.5 แรงดันสามอนิกส์

- พิจารณาในภาวะทำงานปกติ พิจารณาแต่ละคาบเป็นเวลานาน คาบละ 1 สัปดาห์ โดย เกณฑ์ขีดจำกัดของแรงดันประโยชน์สามอนิกส์กำหนดในตารางที่ 2-5, 2-6, 2-7, 2-8

ตารางที่ 2-5 คุณลักษณะของแรงดันประโยชน์สามอนิกส์

ระดับแรงดัน	เกณฑ์ที่กำหนดของแรงดันประโยชน์สามอนิกส์
LV	-95% ของข้อมูลค่าอาร์เอ็มเอสเฉลี่ยทุก 10 นาที ของแรงดันสามอนิกส์แต่ละอันดับต้องมีค่าไม่เกินค่าที่กำหนดในตารางที่ 3.6 - THD ของแรงดันแหล่งจ่าย (คิดถึงอันดับที่ 40) ต้องมีค่าไม่เกิน 8%
MV	-95% ของข้อมูลค่าอาร์เอ็มเอสเฉลี่ยทุก 10 นาที ของแรงดันสามอนิกส์แต่ละอันดับต้องมีค่าไม่เกินค่าที่กำหนดในตารางที่ 3.7 - THD ของแรงดันแหล่งจ่าย (คิดถึงอันดับที่ 40) ต้องมีค่าไม่เกิน 8%
HV	-95% ของข้อมูลค่าอาร์เอ็มเอสเฉลี่ยทุก 10 นาที ของแรงดันสามอนิกส์แต่ละอันดับต้องมีค่าไม่เกินค่าชี้บอก(Indicative)ที่แสดงในตารางที่ 3.8 - ยังไม่ได้กำหนดเกณฑ์ขีดจำกัดของแรงดันสามอนิกส์แต่ละอันดับ - ยังไม่ได้กำหนดเกณฑ์ขีดจำกัดของค่า THD

ตารางที่ 2-6 ค่าที่กำหนดของแรงดันฮามอนิกส์แต่ละอันดับ สำหรับแรงดันต่ำ(LV)

ฮามอนิกส์อันดับคี่				ฮามอนิกส์อันดับคู่	
ไม่เป็นจำนวนเท่าของ 3		เป็นจำนวนเท่าของ 3			
อันดับ	ขนาด (%)	อันดับ	ขนาด (%)	อันดับ	ขนาด (%)
5	6.0	3	5.0	2	2.0
7	5.0	9	1.5	4	1.0
11	3.5	15	0.5	6-24	0.5
13	3.0	21	0.5		
17	2.0				
19	1.5				
23	1.5				
25	1.5				
หมายเหตุ : ไม่กำหนดค่าฮามอนิกส์อันดับสูงกว่า 25 เนื่องจากมีขนาดเล็ก					

ตารางที่ 2-7 ค่าที่กำหนดของแรงดันฮามอนิกส์แต่ละอันดับ สำหรับแรงดันปานกลาง (MV)

ฮามอนิกส์อันดับที่				ฮามอนิกส์อันดับคู่	
ไม่เป็นจำนวนเท่าของ 3		เป็นจำนวนเท่าของ 3			
อันดับ	ขนาด (%)	อันดับ	ขนาด (%)	อันดับ	ขนาด (%)
5	6.0	3	5.0*	2	2.0
7	5.0	9	1.5	4	1.0
11	3.5	15	0.5	6-24	0.5
13	3.0	21	0.5		
17	2.0				
19	1.5				
23	1.5				
25	1.5				
หมายเหตุ : ไม่กำหนดค่าฮามอนิกส์อันดับสูงกว่า 25 เนื่องจากมีขนาดเล็ก และส่วนใหญ่ทำนายไม่ได้เนื่องจากผลของเรโซแนนซ์					
*ขึ้นกับการออกแบบโครงข่าย ค่าของฮามอนิกส์อันดับที่ 3 มีขนาดเล็กกว่าอย่างมีนัยสำคัญ					

ตารางที่ 2-8 ค่าที่กำหนดของแรงดันฮามอนิกส์แต่ละอันดับ สำหรับแรงดันสูง (HV)

ฮามอนิกส์อันดับคี่				ฮามอนิกส์อันดับคู่	
ไม่เป็นจำนวนเท่าของ 3		เป็นจำนวนเท่าของ 3			
อันดับ	ขนาด (%)	อันดับ	ขนาด (%)	อันดับ	ขนาด (%)
5	5.0	3	3.0*	2	1.9
7	4.0	9	1.3	4	1.0
11	3.0	15	0.5	6-24	0.5
13	2.5	21	0.5		
17	**				
19	**				
23	**				
25	**				
หมายเหตุ : *ขึ้นกับการออกแบบโครงข่ายค่าของฮามอนิกส์อันดับที่ 3, **อยู่ระหว่างการพิจารณา					

2.1.8.6 แรงดันอินเตอร์ฮามอนิกส์

ในระดับแรงดันต่ำและแรงดันปานกลางยังไม่ได้กำหนดขีดจำกัดแรงดันอินเตอร์ฮามอนิกส์เนื่องจากข้อมูลยังไม่เพียงพอในบางกรณี ถึงแม้แรงดันอินเตอร์ฮามอนิกส์จะมีระดับต่ำ ก็สามารถทำให้เกิดปรากฏการณ์แสงกระเพื่อม หรือเกิดการรบกวนระบบควบคุมแบบรีปเปิลได้ในระดับแรงดันสูงไม่กำหนดขีดจำกัดแรงดันอินเตอร์ฮามอนิกส์เนื่องจากมีความถี่เรโซแนนซ์ต่ำ

2.1.8.7 แรงดันการส่งสัญญาณบนสายเมน

ในกรณีที่มีการส่งสัญญาณบนสายเมนในระบบแรงดันต่ำ และ แรงดันปานกลาง, จำนวนข้อมูลที่วัดได้มากกว่า 99% ในแต่ละวันที่วัดได้จากสัญญาณค่าเฉลี่ยในทุก ๆ 3 วินาทีต้องมีค่าไม่เกินที่กำหนด, ไม่กำหนดขีดจำกัดแรงดันการส่งสัญญาณบนสายเมน เนื่องจากมีความถี่เรโซแนนซ์ต่ำ

2.2 ระบบหรือเครือข่ายไร้สาย

ปัจจุบันการใช้งานด้านเครือข่ายไร้สายได้ขยายตัวออกไปจากแรกที่มีการใช้งานเฉพาะในองค์กรเท่านั้นแต่ปัจจุบันได้มีการนำไปใช้งานในหลากหลายภาคส่วนอุตสาหกรรม ทั้งหน่วยงานภาครัฐอุตสาหกรรมการผลิต และด้านการแพทย์ ซึ่งได้นำระบบเครือข่ายไร้สายมาช่วยเพิ่มขีดความสามารถและประสิทธิภาพการทำงานด้วยการลดพันธนาการที่ยึดเอาเครื่องคอมพิวเตอร์ที่

ต้องตั้งอยู่เฉพาะบนโต๊ะทำงานให้มีอิสระในการเคลื่อนที่ไปในทุกแห่ง ทำให้ระบบเครือข่ายไร้สายมีการเติบโตอย่างก้าวกระโดดในปัจจุบัน ก่อนที่จะไปศึกษาเทคนิคและมาตรฐานที่ใช้ในระบบเครือข่ายไร้สาย จึงควรที่จะรู้ความหมายและลักษณะการเชื่อมต่อของเครือข่ายไร้สาย ดังต่อไปนี้

2.2.1 ความหมายของเครือข่ายแลนไร้สาย

เครือข่ายแลนไร้สาย (Wireless Local Area Network WLAN) คือ ระบบสื่อสารข้อมูลที่นำมาใช้ทดแทนหรือเพิ่มต่อกับระบบเครือข่ายแลนไร้สายแบบดั้งเดิม โดยใช้การส่งคลื่นความถี่แม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความถี่วิทยุและคลื่นอินฟราเรดรับส่งข้อมูลแทนสายสัญญาณ ในการรับและส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องผ่านอากาศทะลุกำแพงเพดาน และสิ่งก่อสร้างอื่นๆ โดยไม่ใช้สัญญาณ นอกจากนั้น เครือข่ายแลนไร้สายยังมีคุณสมบัติครอบคลุมทุกอย่างเหมือนระบบเครือข่ายแลนแบบใช้สาย คุณสมบัติที่สำคัญของเครือข่ายแลนไร้สายก็คือ การที่ไม่ต้องใช้สายในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ในเครือข่ายแลนทำให้การเคลื่อนย้ายการใช้งานทำได้โดยสะดวก ไม่เหมือนระบบเครือข่ายแลนแบบใช้สายที่ต้องใช้เวลาและการลงทุนในการปรับเปลี่ยนตำแหน่งการใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์โดยส่วนใหญ่ เวลากล่าวถึงเครือข่ายไร้สาย (wireless network) จะหมายถึง เครือข่ายแลนไร้สาย เนื่องจากว่าเครือข่ายไร้สายทุกๆ ไปจะใช้อุปกรณ์เครือข่ายแลนไร้สายเป็นส่วนมาก เพราะอุปกรณ์ไร้สายต่าง ๆ ในเครือข่ายแลนจะใช้คลื่นความถี่วิทยุในช่วงแถบความถี่เสรี (ISM)

2.2.2 การเชื่อมต่อของเครือข่ายไร้สาย

ระบบเครือข่ายไร้สาย เกิดขึ้นครั้งแรก ในปี พ.ศ. 2541 บนเกาะฮาวาย โดยโครงการของนักศึกษาของมหาวิทยาลัยฮาวาย ที่ชื่อว่า “ออลเน็ต (ALOHNET)” ขณะนั้นลักษณะการส่งข้อมูลเป็นแบบสองทิศทางส่งไปและกลับแบบง่าย ๆ ผ่านคลื่นวิทยุ โดยในครั้งนั้นได้ทำการสื่อสารกันระหว่างคอมพิวเตอร์ 7 เครื่องซึ่งตั้งอยู่บนเกาะ 4 เกาะโดยรอบเกาะฮาวาย และมีศูนย์กลางการเชื่อมต่ออยู่ที่เกาะ ๑ แห่ง ที่ชื่อว่า “โออะฮู (Oahu)” การเชื่อมต่อของเครือข่ายไร้สาย ใช้เทคนิคในการสื่อสารด้วยสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า 2 ประเภท คือ ประเภทใช้คลื่นความถี่วิทยุ และประเภทใช้คลื่นอินฟราเรด

การเชื่อมต่อด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency: RF) เป็นการสื่อสารที่อาศัยคลื่นความถี่วิทยุเป็นสื่อกลางในการรับส่งข้อมูลระหว่างจุด ซึ่งอยู่ในรูปแบบของระบบเครือข่ายแลนแบบไร้สายซึ่งมีคุณสมบัติที่เด่นชัด คือ เป็นช่วงคลื่นที่สามารถสร้างขึ้นใช้งานได้ง่ายส่งไปได้ระยะทางไกลๆ สามารถเดินทางผ่านวัตถุกีดขวาง ต่าง ๆ ได้ เป็นอย่างดี และยังเดินทางออกจากแหล่งกำเนิดไปทุกทิศทุกทาง คลื่นวิทยุที่ใช้อยู่ย่านความถี่ ISM ซึ่งเป็นย่านความถี่เสรีหรือความถี่สาธารณะสามารถใช้งานโดยไม่ต้องขออนุญาต โดยแต่ละประเทศมีช่องสัญญาณที่อนุญาตให้ใช้

งานแตกต่างกัน สำหรับประเทศไทย กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารได้ออกคู่มือประกอบการกฎกระทรวง เรื่องกำหนดให้เครื่องวิทยุคมนาคมและสถานีวิทยุคมนาคมบางประเภทได้รับยกเว้นไม่ต้องได้รับใบอนุญาต พ.ศ.2547 ได้กำหนดให้เครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้งานเครือข่ายแลนไร้สายในย่านความถี่ 2.4-2.5 GHz และมีกำลังส่งไม่เกิน 100 mW เป็นคลื่นวิทยุคมนาคมที่ได้รับยกเว้นไม่ต้องได้รับใบอนุญาตโดยทั่วไปแล้วระบบเครือข่ายไร้สายจะใช้สัญญาณคลื่นความถี่วิทยุซึ่งแบ่งเป็น 2 แบบ คือ แถบความถี่แคบ (narrow band) และแถบความถี่สเปกตรัม (spread spectrum)

การเชื่อมต่อด้วยอินฟราเรด ถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวางในการสื่อสารระยะใกล้ เช่น รีโมตสำหรับควบคุมวิทยุ โทรศัพท์ และวิดีโอ เป็นต้น อินฟราเรดเป็นหน่วยหนึ่งของสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่เหนือคลื่นวิทยุและต่ำกว่าแสงที่มองเห็น โดยแสงอินฟราเรดสามารถใช้รับส่งข้อมูลได้ คุณสมบัติเด่นของการรับส่งข้อมูลผ่านคลื่นอินฟราเรด คือ เดินทางเป็นแนวตรงราคาถูกและง่ายต่อการผลิตใช้งาน แต่คลื่นประเภทนี้มีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถเดินทางผ่านวัตถุหรือสิ่งกีดขวางได้แม้ว่าอุปกรณ์ทั้งสองชั้นนั้นจะใช้ความถี่เดียวกัน ยิ่งไปกว่านั้นอุปกรณ์ที่ใช้คลื่นอินฟราเรดยังปลอดภัยต่อการถูกลักลอบดักฟังสัญญาณ ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้ทำให้คลื่นอินฟราเรดสามารถนำมาใช้ในการสื่อสารในระบบเครือข่ายแลนได้เป็นอย่างดีนอกจากนั้นอินฟราเรดยังมีคุณสมบัติในการนำมาใช้กับสถานะที่มีการแทรกสอดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีแบนด์วิดท์ที่ กว้าง สามารถใช้ได้ดีกับอัตราการส่งที่สูงกว่าความถี่คลื่นวิทยุด้วย อย่างไรก็ตาม การเชื่อมต่อด้วยอินฟราเรดก็มีข้อจำกัด คือไม่ เหมาะสมกับวัตถุที่เคลื่อนที่ เพราะมันมีระยะทางที่จำกัดไม่สามารถผ่านวัตถุทึบแสงได้ เช่น กำแพง จากข้อจำกัดเรื่องระยะทางนี้จึงทำให้การนำอินฟราเรดมาใช้งานในเครือข่ายน้อย

2.2.3 เทคนิคการส่งข้อมูลในเครือข่ายไร้สาย

การเชื่อมต่อในเครือข่ายไร้สายนิยมใช้คลื่นความถี่วิทยุ (RF) เป็นตัวกลางในการสื่อสารข้อมูล ซึ่งจะถูกนำไปใช้สำหรับส่งข้อมูลระหว่างจุด โดยมีเทคนิคการส่งข้อมูลในระบบเครือข่ายไร้สายดังนี้

2.2.3.1 เทคนิคแบบความถี่แคบ

เทคนิคแบบความถี่แคบ (narrow band technology) เป็นการรับส่งสัญญาณคลื่นวิทยุบนความถี่เฉพาะที่รู้จักในชื่อของแถบความถี่ ISM สัญญาณจะมีกำลังต่ำ (โดยทั่วไปประมาณ 1 มิลลิวัตต์) และใช้ในการรับส่งข้อมูลระหว่างต้นทางกับปลายทางเพียง 1 คู่ เท่านั้น และไม่สามารถส่งสัญญาณข้ามโหนดไปมาได้ การรับส่งข้อมูลแบบนี้เปรียบได้กับคู่สายโทรศัพท์ที่สามารถคุยได้เฉพาะต้นทางกับปลายทางแต่ไม่สามารถคุยพร้อมกันได้หลาย ๆ คน

2.2.3.2 เทคนิคแบบแถบความถี่สเปกตรัม

เทคนิคแบบแถบความถี่สเปกตรัม (spread spectrum technology) ระบบเครือข่ายไร้สายส่วนใหญ่นิยมใช้เทคนิคแบบความถี่สเปกตรัม ซึ่งใช้ความถี่ที่กว้างกว่าเทคนิคแบบความถี่แคบ ซึ่งเทคนิคแบบความถี่สเปกตรัม คือ วิธีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณข้อมูลเพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ความถี่วิทยุมากกว่าความจำเป็น แรกทีเดียวเทคนิคนี้ได้รับการพัฒนาขึ้นมาใช้ในกิจการทางทหารซึ่งต้องการความเชื่อถือได้ในระดับสูงมากในระหว่างการรบ เพื่อป้องกันมิให้ฝ่ายตรงข้ามใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ดักฟังสัญญาณเพื่อขโมยความลับหรือรบกวนการทำงาน เพราะในระบบนี้การส่งสัญญาณถูกส่งออกไปหลายความถี่พร้อมกันจึงทำให้การดักฟังเป็นไปได้ยากขึ้น รวมทั้งการรบกวนการสื่อสารก็ยากมากขึ้นด้วย เพราะจะต้องค้นหาคลื่นความถี่ทั้งหมดให้ได้ โดยการส่งสัญญาณจะใช้แถบความถี่ ISM ที่ช่วงความถี่ระหว่าง 902-928 MHz และ 2.4-2.484 GHz ซึ่งไม่จำเป็นต้องได้รับอนุญาตจาก FCC เทคนิคนี้ต้องใช้แบนด์วิดท์มากกว่าแบนด์วิดท์ของข้อมูล เทคนิคแบบแถบความถี่สเปกตรัมสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ ดีเอสเอสเอส และเอฟเอสเอสเอส มีรายละเอียดดังนี้

ดีเอสเอสเอส (Direct Sequence Spread Spectrum: DSSS) เป็นเทคนิคที่ยังใช้คลื่นพาห์ที่ต้องระบุความถี่ที่ใช้ ข้อมูลจะถูกกระจายให้ช่วงแบนด์วิดท์กว้างขึ้นในรูปแบบของรหัสเฉพาะโดยจะสร้างบิตซัดเซซสำหรับบิตทุกบิตที่ขนส่งซึ่งเรียกว่าชิป (Chip) หรือรหัสชิปปิง (Chipping code) เทคนิคนี้ต้องการแบนด์วิดท์มากกว่าวิธีการขนส่งแบบเทคนิคแบบความถี่แคบ ซึ่งมีข้อดีกว่าเทคนิคแบบแถบความถี่แคบ คือ ถ้าเกิดเหตุการณ์ที่ปลายทางได้รับข้อมูลแล้ว มีบางบิตของข้อมูลเกิดผิดพลาดหรือเสียหายในระหว่างการส่งข้อมูลปลายทางฝั่งรับข้อมูลสามารถที่จะทำการกู้คืน (recover) ข้อมูลที่เสียกลับมาได้ จากข้อมูลที่เกิดความผิดพลาดหรือเสียหายระหว่างการส่งโดยไม่ต้องให้ต้นทางส่งข้อมูลมาให้ใหม่

เอฟเอสเอสเอส (Frequency Hopping Spread Spectrum: FHSS) การส่งสัญญาณรูปแบบนี้จะใช้ความถี่ พาห์เพียงความถี่ เดียว และจะเปลี่ยนแปลงความถี่ ไปมาอย่างต่อเนื่อง ในลักษณะหรือรูปแบบที่เป็นที่เข้าใจตรงกันระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับสามารถทำงานประสานกันได้ วิธีการส่งแบบนี้ป้องกันสัญญาณรบกวนที่เกิดจากความถี่ข้างเคียงได้เป็นอย่างดี เพราะความถี่ที่ใช้จะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา โดยการส่งและรับแต่ละครั้งที่ ส่วนหัวของแพ็กเก็ตข้อมูลจะสามารถที่จะปรับเปลี่ยนความถี่ไปได้ตลอดเวลาอันจะทำให้เกิดความปลอดภัยของข้อมูลสูงมากขึ้น ระบบเครือข่ายแลนไร้สายแบบเอฟเอสเอสเอส สามารถส่งข้อมูลไปพร้อมๆ กันหลายช่องสัญญาณได้ด้วยการกำหนดให้มีรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงหลาย ๆ รูปแบบทำงาน

ไปพร้อมกัน ซึ่งจะสามารถใช้ประโยชน์แถบความถี่ได้ดีกว่าและทำให้เครือข่ายมีประสิทธิภาพสูงกว่า

2.2.3.3 เทคนิคโอเอฟดีเอ็ม

เทคนิคโอเอฟดีเอ็ม (Orthogonal Frequency Division Multiplexes: OFDM) เทคนิคนี้ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มความเร็วในการรับส่งข้อมูลในมาตรฐานใหม่ๆ ของระบบเครือข่ายไร้สาย คือ LESS 802.11a และ IEEE 802.11g การส่งสัญญาณคลื่นวิทยุแบบนี้เป็นการมัลติเพล็กซ์สัญญาณโดยช่องสัญญาณความถี่จะถูกแบ่งออกเป็นความถี่พาห่อย่อย (subcarrier) หลายๆ ความถี่ โดยแต่ละความถี่พาห่อย่อยจะตั้งฉากซึ่งกันและกันทำให้มันเป็นอิสระต่อกัน ความถี่ที่คลื่นพาห่ที่ตั้งฉากกันนั้นทำให้ไม่ มีปัญหาการซ้อนทับกันของสัญญาณที่อยู่ติดกัน

2.2.4 ประเภทของเครือข่ายไร้สาย

เทคโนโลยีการเข้าถึงข้อมูลเฉพาะในส่วนที่เป็นการเข้าถึงเครือข่ายบรอดแบนด์ไร้สาย (Broadband Wireless Access: BWA) นั้น สามารถแยกกลุ่มออกได้ตามลักษณะของการเข้าถึง มีรายละเอียดดังนี้

2.2.4.1 เครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล (Wireless Personal Area Network: WPAN)

คือเทคโนโลยีการเข้าถึงไร้สายในพื้นที่เฉพาะบุคคล โดยมีระยะทางไม่เกิน 10 เมตรและมีอัตราการรับส่งข้อมูลความเร็วสูงมาก (สูงถึง 480 Mbps) สำหรับการติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ต่อพ่วงให้สามารถรับส่งข้อมูลถึงกันได้ และยังใช้สำหรับการรับส่งสัญญาณวิดีโอ ที่สั่นที่มีความละเอียดภาพสูง (high definition video signal) เทคโนโลยีที่รองรับ คือ บลูทูธ (Bluetooth) และซิกบี (Zigbee)

2.2.4.2 เครือข่ายแลนไร้สาย (Wireless Local Area Network: WLAN)

คือ เทคโนโลยีการเข้าถึงไร้สายสำหรับใช้ในพื้นที่เฉพาะ ซึ่งจะครอบคลุมระยะทางอยู่ระหว่าง 50 ถึง 100 เมตร และมีอัตราการรับส่งข้อมูลความเร็วที่สูงถึงระดับ 100 Mbps โดยการติดตั้งสถานีฐานที่เรียกว่า อุปกรณ์กระจายสัญญาณ เพื่อทำหน้าที่ เชื่อมต่อสัญญาณระหว่างอุปกรณ์ต้นทางและอุปกรณ์ปลายทาง (terminal equipment) ในลักษณะที่เป็นเซลล์ขนาดเล็กมาก (pico cells) ที่ไม่แตกต่างจากเซลล์ของระบบ

โทรศัพท์เคลื่อนที่มากนัก เทคโนโลยีใช้กันแพร่หลาย คือ WiFi ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 และมาตรฐานที่พัฒนาจากมาตรฐานดังกล่าวส่วนประกอบที่สำคัญของแลนไร้สาย (ฝ่ายผลิตหนังสือตำราวิชาการคอมพิวเตอร์ , 2551: 126)-อุปกรณ์กระจายสัญญาณไร้สาย (Access Point) ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางของการสื่อสารไร้สาย โดยอุปกรณ์กระจายสัญญาณ

ไร้สายจะรับส่งสัญญาณของเครื่องต่าง ๆ ที่ เชื่อมต่อ เพื่อให้เครื่องคอมพิวเตอร์หรือเครื่อง โคลเอนต์ สามารถเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายได้

การ์ดเครือข่ายไร้สาย (Wireless Network Card) การที่เครื่อง คอมพิวเตอร์จะเชื่อมต่อกับเครือข่ายแลนไร้สายได้นั้น จำเป็นต้องมีการ์ดเครือข่ายแลนไร้สายที่ ติดตั้งภายในเครื่องหรือภายนอก เพื่อเชื่อมต่อไปยังอุปกรณ์กระจายสัญญาณไร้สายที่เปิดให้บริการ ในปัจจุบันสำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุคในปัจจุบันนี้ ได้ผนวกอุปกรณ์สื่อสารไร้สายมาให้ แล้ว

2.2.4.3 เครือข่ายเอนไร้สาย (Wireless Wide Area Network: WWAN)

คือ เครือข่ายไร้สายบริเวณกว้างที่อาจครอบคลุมพื้นที่ ทั่วประเทศหรือเขต ภูมิภาค แต่ จะมีอัตราการรับส่งข้อมูลที่มีความเร็วได้ไม่เกิน 1.5 Mbps เนื่องจากมุ่งเน้นที่การใช้ งานแบบเคลื่อนที่ ทั้งนี้เทคโนโลยีการเข้าถึงของเครือข่ายไร้สายบริเวณกว้าง คือ เทคโนโลยีใน ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ คือ ดับเบิลยูซีดีเอ็มเอ (WCDMA) ซีดีเอ็มเอ (CDMA) และไวมักซ์ (WiMAX) ตามมาตรฐาน IEEE 802.16 และมาตรฐานที่พัฒนาจากมาตรฐาน IEEE 802.16 ดังกล่าว

2.2.5 มาตรฐานเครือข่ายไร้สาย

การกำหนดมาตรฐานต่าง ๆ ในเครือข่ายไร้สายมีจุดประสงค์เพื่อให้การทำงานของ อุปกรณ์ไร้สายตามมาตรฐาน ต่าง ๆ ที่ กำหนดไว้ สามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ใน เครือข่ายทั้งที่ เป็นเครือข่ายใช้สายและเครือข่ายไร้สายมาตรฐานที่ใช้ในระบบเครือข่ายไร้สายที่นิยม ใช้มีดังนี้

2.2.5.1 IEEE

-IEEE 802.11 โดยองค์กรมาตรฐานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ หรือ IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) ได้กำหนดมาตรฐานหลักของระบบ เครือข่ายไร้สายและอุปกรณ์เครือข่ายไร้สาย คือ มาตรฐาน IEEE 802.11 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ถูก กำหนดขึ้นมาเพื่อใช้ในเครือข่ายแลนไร้สาย หรือ ที่รู้จักกันในอีกชื่อหนึ่งว่า Wi-Fi ซึ่งอ่านว่า “ ไว-ไฟ” มาตรฐาน IEEE 802.11 ได้รับการตีพิมพ์ครั้งแรกในปี พ . ศ. 2540 ซึ่งอุปกรณ์ตามมาตรฐาน ดังกล่าวมีข้อกำหนดระบุไว้ว่า ผลิตภัณฑ์เครือข่ายไร้สายในส่วนของระดับชั้นกายภาพ นั้นจะมี ความสามารถในการรับส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 1, 2, 5.5, 11 และ 54 Mbps ด้วยตัวกลางอินฟราเรด หรือคลื่นวิทยุที่ความถี่ 2.4 GHz และ 5 GHz ส่วนในระดับชั้น MAC layer นั้นได้กำหนดกลไกของ การทำงานแบบ CSM/CD (Carrier Sense Multiple/Collision Detection) ของมาตรฐาน IEEE 802.3 Ethernet และมีกลไกในการเข้ารหัสข้อมูลก่อนแพร่กระจายสัญญาณไปบนอากาศ พร้อมกับมี

การตรวจสอบผู้ใช้งาน (WEP) อีกด้วย ซึ่งเป็นทางเลือกสำหรับสร้างความปลอดภัยให้กับเครือข่ายแลนไร้สายได้ในระดับหนึ่งเนื่องจากมาตรฐาน IEEE 802.11 เวอร์ชันแรกเริ่มมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำและยังไม่รองรับหลักการคุณภาพของบริการ (Quality of Service: QoS) ซึ่งเป็นที่ต้องการของตลาด อีกทั้งกลไกรักษาความปลอดภัยที่ใช้ยังมีช่องโหว่อีกมาก IEEE จึงได้จัดตั้งคณะทำงานขึ้นมาหลายชุดด้วยกัน เพื่อทำการปรับปรุงเพิ่มเติมมาตรฐานให้มีศักยภาพสูงขึ้น โดยมาตรฐานต่าง ๆ ที่คณะทำงานพัฒนาขึ้นมาที่น่าสนใจและเป็นที่รู้จักกันดีได้แก่

- IEEE 802.11a ได้ถูกตีพิมพ์มาตรฐานเพิ่มเติมเมื่อปี พ.ศ. 2542 มาตรฐาน IEEE 802.11a ใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่า โอเอฟดีเอ็ม (OFDM) เพื่อปรับปรุงความสามารถของอุปกรณ์ให้รับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงที่สุดที่ 54 Mbps แต่จะใช้คลื่นวิทยุความถี่ 5 GHz ซึ่งย่านความถี่สาธารณะสำหรับใช้งานในประเทศสหรัฐอเมริกาที่มีสัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์อื่นน้อยกว่าในย่านความถี่ดังกล่าวไม่สามารถนำมาใช้งานได้อย่างสาธารณะ ตัวอย่างเช่น ประเทศไทยไม่อนุญาตให้มีการใช้งานอุปกรณ์ IEEE 802.11a เนื่องจากความถี่ย่าน 5 GHz ได้ถูกจัดสรรสำหรับกิจการอื่นอยู่ก่อนแล้ว นอกจากนี้ข้อจำกัดอีกอย่างหนึ่งของอุปกรณ์ IEEE 802.11a ที่ใช้ในระบบแลนไร้สายก็คือรัศมีของสัญญาณมีขนาดค่อนข้างสั้นประมาณ 30 เมตร ซึ่งสั้นกว่ารัศมีสัญญาณของอุปกรณ์ IEEE 802.11b ที่ใช้ในระบบแลนไร้สาย ที่มีขนาดประมาณ 100 เมตร สำหรับการใช้งานภายในอาคาร อีกทั้งอุปกรณ์ IEEE 802.11a ยังมีราคาสูงกว่า IEEE 802.11b ดังนั้นอุปกรณ์ IEEE 802.11a จึงได้รับความนิยมน้อยกว่า IEEE 802.11b

- IEEE 802.11b ได้ถูกตีพิมพ์มาตรฐานเพิ่มเติมเมื่อปี พ.ศ. 2542 ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีและใช้งานกันอย่างแพร่หลายมากที่สุด มาตรฐาน IEEE 802.11b ใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่า ซีซีเค (Complimentary Code Keying: CCK ผสมกับ ดีเอสเอสเอส (DSSS) เพื่อปรับปรุงความสามารถของอุปกรณ์ให้รับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงสุดที่ 11 Mbps ผ่านคลื่นวิทยุความถี่ 2.4 GHz ซึ่งเป็นย่านความถี่เสรีที่เรียกว่า ISM ซึ่งถูกจัดสรรไว้อย่างสากลสำหรับการใช้งานอย่างสาธารณะด้านวิทยาศาสตร์ อุตสาหกรรม และการแพทย์ โดยอุปกรณ์ที่ใช้ความถี่ย่านนี้ เช่น IEEE 802.11 บลูทูธ โทรศัพท์ไร้สาย และเตาไมโครเวฟ เป็นต้น ส่วนใหญ่และอุปกรณ์ IEEE 802.11 ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะเป็นอุปกรณ์ตามมาตรฐาน IEEE 802.11b และใช้เครื่องหมายการค้าที่รู้จักกันดีในนาม Wi-Fi ซึ่งเครื่องหมายการค้าดังกล่าวถูกกำหนดขึ้นโดยสมาคมดับบลิวอีซีเอ (Wireless Ethernet Compatibility Alliance: WECA) ซึ่งเป็นหน่วยงานที่ทำการทดสอบและรับรองผลิตภัณฑ์ Wi-Fi โดยอุปกรณ์ที่ได้รับเครื่องหมายการค้าดังกล่าวได้ผ่านการตรวจสอบแล้วว่า เป็นไปตามมาตรฐาน IEEE 802.11b และสามารถนำไปใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ยี่ห้ออื่น ๆ ที่ได้รับเครื่องหมายไวไฟ (Wi-Fi) ได้

-IEEE 802.11e เป็นการปรับปรุง MAC Layer ของ IEEE 802.11 เพื่อให้สามารถรับรองการใช้งานตามหลักการประกันคุณภาพบริการเครือข่ายคอมพิวเตอร์ (QoS) สำหรับการประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับมัลติมีเดีย เนื่องจาก IEEE 802.11e เป็นการปรับปรุง MAC Layer ดังนั้นมาตรฐานเพิ่มเติมจึงสามารถนำไปใช้กับอุปกรณ์ IEEE 802.11e ทุกเวอร์ชันได้

-IEEE 802.11f เป็นที่รู้จักกันในนาม ไอเอพีพี (Inter Access Point Protocol: IAPP) ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ออกแบบมาสำหรับการบริหารจัดการกับผู้ใช้งานที่เคลื่อนที่ข้ามเขตการให้บริการของอุปกรณ์กระจายสัญญาณ ตัวหนึ่งไปยังอุปกรณ์กระจายสัญญาณ อีกตัวหนึ่ง เพื่อให้บริการในแบบโรมมิ่งสัญญาณระหว่างกัน

-IEEE 802.11g ได้นำเทคโนโลยี โอเอฟดีเอ็มมาประยุกต์ใช้ในความเร็วสูงสุดที่ 54 Mbps ส่วนความยาวคลื่นในการส่งสัญญาณของ อุปกรณ์ IEEE 802.11g จะอยู่ระหว่างความยาวคลื่นในการส่งสัญญาณของอุปกรณ์ IEEE 802.11a และ IEEE 802.11b เนื่องจากความถี่ 2.4 GHz เป็นย่านความถี่สาธารณะสากลอีกทั้งอุปกรณ์ IEEE 802.11g สามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์ IEEE 802.11b ได้ ดังนั้นจึงมีแนวโน้มสูงที่อุปกรณ์ IEEE 802.11g จะได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายมากยิ่งขึ้นและในที่สุดจะมาแทนที่ IEEE 802.11b

-IEEE 802.11h เป็นมาตรฐานที่ออกแบบมาสำหรับผลิตภัณฑ์สำหรับเครือข่ายไร้สายที่ใช้งานย่านความถี่ 5 GHz ให้ทำงานถูกต้องตามข้อกำหนดการใช้ความถี่ของประเทศในทวีปยุโรป

-IEEE 802.11i เป็นมาตรฐานที่ออกแบบปรับปรุง MAC layer ของ IEEE 802.11ในด้านความปลอดภัยเนื่องจากเครือข่าย IEEE 802.11 มีช่องโหว่อยู่มากโดยเฉพาะอย่างยิ่งการเข้ารหัสข้อมูล (encryption) ด้วยคีย์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงจึงนำเทคนิคขั้นสูงมาใช้ในการเข้ารหัสข้อมูลด้วยคีย์ที่มีการเปลี่ยนค่าอยู่เสมอและการตรวจสอบผู้ใช้ที่มีความปลอดภัยสูง

-IEEE 802.11k เป็นมาตรฐานที่ใช้จัดการการทำงานของเครือข่ายระบบไร้สายและจัดการการใช้งานคลื่นวิทยุให้มีประสิทธิภาพมีฟังก์ชันการเลือกช่องสัญญาณการโรมมิ่งและการควบคุมกำลังส่งของสัญญาณโดยทำการปรับแต่งค่าให้เหมาะสมกับการทำงานการหารัศมีของสัญญาณการใช้งานสำหรับเครื่องไคลเอนต์ ที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ระบบจัดการสามารถทำงานจากศูนย์กลางได้

-IEEE 802.11n เป็นมาตรฐานของผลิตภัณฑ์เครือข่ายไร้สายที่คาดหมายกันว่าจะเข้ามาแทนที่มาตรฐาน IEEE 802.11a IEEE 802.11b และ IEEE 802.11g ที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบันโดยสามารถรับส่งข้อมูลด้วยอัตราในระดับ 100 เมกะบิตต่อวินาที

-IEEE 802.11x เป็นมาตรฐานที่ใช้งานกับระบบรักษาความปลอดภัยซึ่งก่อนเข้าใช้งานระบบเครือข่ายไร้สายจะต้องตรวจสอบสิทธิในการใช้งานก่อน โดย IEEE 802.11x จะใช้ โพรโตคอลอย่าง LEAP PEAP EAP-TLS และ EAP-FAST ซึ่งรองรับการตรวจสอบผ่านเซิร์ฟเวอร์ เช่น RADIUS หรือ Kerberos เป็นต้นจะเห็นได้ว่าเป็นมาตรฐาน 802.11 ที่ใช้งานในเครือข่ายไร้สายจะมีหลายมาตรฐานแต่มาตรฐานที่เป็นที่รู้จักและสามารถใช้งานในประเทศไทยได้มีอยู่ 3 มาตรฐานคือ IEEE 802.11a IEEE 802.11b และ IEEE 802.11g และที่ได้รับความนิยมมากที่สุด คือ มาตรฐาน IEEE 802.11g และในการเลือกซื้ออุปกรณ์เพื่อนำมาใช้ในเครือข่ายไร้สายนั้นก่อนตัดสินใจซื้ออุปกรณ์ใด ๆ ผู้ซื้อควรตรวจสอบรายละเอียดของอุปกรณ์แต่ละชนิดให้เรียบร้อย โดยตรวจสอบดูว่า อุปกรณ์ชิ้นนั้นรองรับมาตรฐานใดและมาตรฐานนั้นได้รับการรับรองอย่างเป็นทางการแล้วหรือไม่หากว่าอุปกรณ์ตัวนั้นผ่านตามมาตรฐานก็จะได้ตรา WIFI certified ซึ่งก็จะทำให้ทราบว่าอุปกรณ์นั้นสามารถติดต่อกับสิ่งจำเป็นและเป็นสิ่งสำคัญเพื่อจะได้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพและใช้งานได้โดยไม่มีปัญหา

2.2.5.2 บลูทูธ

บลูทูธ (Bluetooth) คือ ระบบสื่อสารของอุปกรณ์ระบบอิเล็กทรอนิกส์แบบสองทางเป็นเทคโนโลยีไร้สายแบบระยะสั้น (Short-Range) คือ มีกำลังส่งต่ำมีระยะทำการระหว่างอุปกรณ์ที่รองรับบลูทูธด้วยกันเพียง 10 เมตร ซึ่งจะใช้สำหรับต่อเข้าระบบเน็ตเวิร์คขนาดเล็ก ๆ ที่อุปกรณ์แต่ละตัวอยู่ไม่ห่างกันมากที่เรียกว่า เครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล (WPAN) โดยบลูทูธนี้จะทำงานเคลื่อนที่ความถี่ 2.4 GHz ซึ่งเป็นความถี่ที่เรียกแถบความถี่เสรี (ISM) โดยความถี่นี้ไม่มีใครเป็นเจ้าของลิขสิทธิ์บลูทูธจะใช้สัญญาณวิทยุความถี่สูง 2.4 GHz แต่จะแยกย่อยออกไปแต่ละประเทศในแถบยุโรปและอเมริกาจะใช้ช่วง 2.400 ถึง 2.4835 GHz แบ่งออกเป็น 79 ช่องสัญญาณและจะใช้ช่องสัญญาณที่แบ่งนี้เพื่อส่งข้อมูลสลับช่องไปมา 1,600 ครั้งต่อวินาที ในขณะที่ญี่ปุ่นจะใช้ความถี่ 2.402 ถึง 2.480 GHz แบ่งออกเป็น 23 ช่อง ระยะในการใช้งานของบลูทูธจะอยู่ที่ 5-10 เมตร โดยมีระบบป้องกันโดยใช้การป้อนรหัสก่อนการเชื่อมต่อและป้องกันการดักสัญญาณระหว่างสื่อสารโดยระบบจะสลับช่องสัญญาณไปมาบลูทูธจะมีความสามารถในการเลือกเปลี่ยนความถี่ที่ใช้ในการติดต่อเองอัตโนมัติโดยที่ไม่จำเป็นต้องเรียงตามหมายเลขช่องทำให้การดักฟังหรือการลักลอบขโมยข้อมูลทำได้ยากขึ้น คือเทคโนโลยีในการรับส่งสัญญาณที่เรียกว่า FHSS โดยหลักของบลูทูธจะถูกออกแบบมาเพื่อใช้กับอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็ก

เนื่องจากการขนส่งข้อมูลในจำนวนที่ไม่มากอย่างเช่น ไฟล์ภาพ เสียง แอปพลิเคชันต่าง ๆ และสามารถเคลื่อนย้ายได้ง่ายโดยขอให้อยู่ในระยะที่กำหนดไว้เท่านั้น นอกจากนี้ยังใช้พลังงานต่ำกินไฟน้อยและสามารถใช้งานได้นานโดยไม่ ต้องนำไปชาร์จไฟบ่อยๆ ด้วยคุณสมบัติจึงเหมาะกับการใช้งานกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ เครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุค และคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ รวมถึงเครื่องคอมพิวเตอร์พกพาเรียกว่า พีดีเอ (personal digital assistants PDA) จัปวค ปาล์ม (Palm) หรือ พ็อกเก็ตพีซี (Pocket PC)

2.2.5.3 ไวแมกซ์

ไวแมกซ์ (WiMAX) เป็นชื่อย่อของ Worldwide Interoperability for Microwave Access มีวิวัฒนาการมาจากเทคโนโลยีการรับส่งข้อมูลโดยใช้คลื่นความถี่วิทยุย่านไมโครเวฟซึ่งเป็นเทคโนโลยี บรอดแบนด์ไร้สายความเร็วสูงรุ่นใหม่ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาบนมาตรฐาน IEEE 802.16 ซึ่งต่อมาก็ได้พัฒนา IEEE 802.16a ขึ้นรัศมีทำการประมาณ 50 กิโลเมตรมีอัตราความเร็วในการส่งผ่านข้อมูลสูงสุดถึง 75 Mbps ซึ่งเดิมมีรูปแบบการสื่อสารแบบเป็นเส้นตรง (Line of Sight: LOS) และเป็นการเชื่อมต่อเพื่อส่งสัญญาณจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง (Point-to-Point) ต่อมามีการพัฒนาเปลี่ยนแปลงให้ไวแมกซ์มีรูปแบบการสื่อสาร แพร่ กระจายคลื่นวิทยุรอบทิศทาง (Omni-direction) หรือแบบกำหนดทิศทาง (directional) โดยขึ้นกับการเลือกใช้กับเสาอากาศดังนั้นไวแมกซ์จึงเป็นการสื่อสารแบบไม่เป็นเส้นตรง (Non Line of Sight: NLOS) เช่นเดียวกับการแพร่กระจายคลื่นวิทยุในกรณีของโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ทั่วไปไวแมกซ์สามารถทำงานได้แม้กระทั่งมีสิ่งกีดขวางเช่น ต้นไม้หรือ อาคารได้เป็นอยู่ วงโคจรรองรับการใช้งานวิดิทัศน์หรือการใช้งานเสียงซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้ทรัพยากรของเครือข่ายมากอย่างแต่ก่อนอีกทั้งในเรื่องของความปลอดภัยยังได้เพิ่มคุณสมบัติของความเป็นส่วนตัวซึ่งต้องได้รับอนุญาตก่อนที่จะเข้าออกโครงข่ายและข้อมูลต่าง ๆ ที่รับส่งก็จะได้รับการเข้ารหัส (encryption) ทำให้การรับส่งข้อมูลบนมาตรฐานนี้มีความปลอดภัยมากขึ้นสำหรับมาตรฐานของเทคโนโลยีไวแมกซ์ที่มีการพัฒนาขึ้นมาในขณะนี้มันมีดังต่อไปนี้

-IEEE 802.16-2001 เป็นมาตรฐานที่ให้การเชื่อมโยง 1.6 -4.8 กิโลเมตร เป็นมาตรฐานเดียวที่สนับสนุนการสื่อสารแบบเป็นเส้นตรง (LOS) โดยมีการใช้งานในช่วงความถี่ที่สูงมากคือ 10-66 GHz

-IEEE 802.16a เป็นมาตรฐานที่แก้ไขปรับปรุงจาก IEEE 802.16 เดิม โดยใช้งานที่ความถี่ 2-11 GHz ซึ่งคุณสมบัติเด่นที่ได้รับการแก้ไขจากมาตรฐาน 802.16 เดิม คือ คุณสมบัติรองรับการทำงานแบบไม่เป็นเส้นตรง (NLOS) ซึ่งมีคุณสมบัติการทำงานได้เมื่อมีสิ่งกีดขวางอาทิเช่น ต้นไม้ อาคาร เป็นต้น นอกจากนี้ยังช่วยให้สามารถขยายระบบโครงข่ายเชื่อมต่อไว้

สายความเร็วสูงได้อย่างกว้างขวางด้วยรัศมีทำการประมาณ 50 กิโลเมตร และมีอัตราความเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงสุดถึง 75 เมกะบิตต่อวินาที (Mbps) ทำให้สามารถรองรับการเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายที่ใช้สายประเภทที่ 1 (T1-type) กว่า 60 ช่องสัญญาณและการเชื่อมต่อแบบ ดิเอสแอล (DSL) ตามบ้านเรือนที่พักอาศัยอีกหลายร้อยครัวเรือนได้พร้อมกันโดยไม่เกิดปัญหาในการใช้งาน

-IEEE 802.16-2004 เป็นมาตรฐานที่พัฒนาขึ้นโดยการนำข้อดีของมาตรฐานต่าง ๆ IEEE 802.16a 802.16c และ 802.16d มารวมกัน โดยสามารถใช้งานที่ความถี่ 2-66 กิกะเฮิรตซ์ รัศมีทำการที่ไกลประมาณ 50 กิโลเมตร

-IEEE 802.16e เป็นมาตรฐานที่ออกแบบมาให้สนับสนุนการใช้งานร่วมกับอุปกรณ์พกพาประเภทต่าง ๆ เช่น อุปกรณ์ พีดีเอ โน้ตบุค เป็นต้น โดยใช้งานที่ความถี่ 2-5 กิกะเฮิรตซ์ ให้รัศมีทำงานที่ 1.6-4.8 กิโลเมตร มีระบบที่ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถสื่อสารโดยให้คุณภาพในการสื่อสารที่ดีและมีเสถียรภาพขณะใช้งานแม้จะมีการเคลื่อนที่ช้าๆ อยู่ตลอดเวลาที่ตาม 4. ซิกบีการประยุกต์ใช้งานระบบติดตามและควบคุมแบบไร้สาย (monitoring and control) แบบไร้สายสำหรับอุตสาหกรรมและที่อยู่อาศัยนั้นถ้าจะนำมาใช้งานในเชิงพาณิชย์ได้จริงนั้นตัวอุปกรณ์จะต้องมีช่วงเวลาของการใช้งานแบบเตอร์รี่ที่ยาวนานในการสื่อสารข้อมูลด้วยอัตราที่ต่ำและต้องมีความซับซ้อนน้อยกว่ามาตรฐานสื่อสารไร้สายแบบไร้สายแบบอื่น ๆ ด้วยซึ่งมาตรฐานของการสื่อสารไร้สายส่วนใหญ่มีการสื่อสารด้วยอัตราการรับส่งข้อมูลที่สูงและใช้กำลังไฟฟ้ามากถ้านำมาประยุกต์ใช้ในระบบการติดตามและควบคุมนั้นระบบจะมีความซับซ้อนมากทำให้มีราคาแพงตามไปด้วย นอกจากนี้สมรรถนะของระบบที่จะนำมาใช้จริงในท้องตลาดจำเป็นต้องมีความเชื่อถือได้ มีความปลอดภัยและมีราคาถูก ทั้งนี้ระบบสื่อสารไร้สายดังกล่าวจะต้องสามารถระบุแอดเดรสเฉพาะตัวที่ใช้ในการควบคุมระหว่างเซนเซอร์พื้นฐานในโครงข่ายได้ ดังนั้นองค์การ IEEE จึงพัฒนามาตรฐานของการสื่อสารไร้สายที่นำมาประยุกต์ใช้สำหรับงานข้างต้น คือ มาตรฐาน IEEE 802.15 หรือที่รู้จักกันในชื่อว่า ซิกบี (ZigBee) โดยมาตรฐานนี้ใช้งานสำหรับการสื่อสารความเร็วต่ำและมีช่วงเวลาการใช้งานจากแบตเตอรี่ได้หลายเดือนหรือหลายปีและมีความซับซ้อนน้อยมากโดยย่านความถี่ที่ถูกนำมาใช้งานนั้นจะอยู่ในย่านความถี่ที่ไม่ต้องขออนุญาตกำหนดย่านความถี่ใช้งานตามมาตรฐานไว้ 3 ย่านความถี่ คือ ย่านความถี่ 2.4 GHz ย่านความถี่ 915 MHz และย่านความถี่ 868 MHz โดยแต่ละย่านความถี่จะมีช่องสัญญาณ 16 ช่อง 10 ช่องและ 1 ช่องตามลำดับส่วนอัตรารับส่งข้อมูล (ทางอากาศ) จะอยู่ที่ 250 Kbps 40 Kbps 20 Kbps ตามลำดับเช่นกัน และเนื่องจากมีระยะทางในการรับส่งข้อมูลไม่ไกล คือ รัศมีการทำงานอยู่ระหว่าง 10-100 เมตร ซิกบี จึงเหมาะที่จะนำมาใช้ในเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล (WPAN) ซึ่งมาตรฐานนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับบ้านอัตโนมัติเซนเซอร์ไร้สายของเล่นที่โต้ตอบได้และรีโมตคอนโทรล เป็นต้น

โดย IEEE 802.15.4 จะถูกกำหนดไว้ในชั้นกายภาพ (physical) และระดับชั้นแมค (Media Access Controller: MAC) ส่วนในระดับชั้นเน็ตเวิร์ก(network) นั้นถูกกำหนดโดยกลุ่มที่ชื่อว่า ZigBee Alliance ที่เป็นการรวมกลุ่มจากบริษัทต่าง ๆ มากกว่า 60 บริษัทจากเทคโนโลยีที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้นสามารถสรุปเทคโนโลยีที่สำคัญได้ดังตารางที่ 2-9 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2-9 เทคโนโลยีต่างที่สำคัญในเครือข่ายไร้สาย

เทคโนโลยี	มาตรฐาน	เครือข่าย	ระยะทาง (เมตร)	ความถี่ (GHz)
ยูดับเบิลยูบี (UWB)	802.15.3a	Wireless PAN	10	7.5
บลูทูธ (Bluetooth)	802.15.1	Wireless PAN	10	2.4
ซิกบี (Zigbee)	802.15.4	Wireless PAN	10	2.4, 0.9, 0.8
ไวไฟ (WiFi)	802.11a	Wireless LAN	100	5
	802.11b	Wireless LAN	100	2.4
	802.11g,n	Wireless LAN	100	2.4

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาวิจัยนั้นได้ทำการศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการศึกษาเพื่อพัฒนางานวิจัยโดยประกอบไปด้วย

2.3.1 นฤมล วันน้อย, การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์สำหรับแสดงผลและวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพแรงดันไฟฟ้าแบบรายงานผลโดยตรงของอาคารเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์, ปีที่พิมพ์ 2558, [ประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ครั้งที่ 2 “งานวิจัยเพื่อพัฒนาท้องถิ่น”](#)

2.3.2 นฤมล วันน้อย, เครื่องต้นแบบแสดงผลคุณภาพกำลังไฟฟ้าและบันทึกผลอัจฉริยะด้วยระบบจัดเก็บข้อมูลโดยใช้โปรแกรมแลปวิวสำหรับการจัดการการอนุรักษ์พลังงาน, ปีที่พิมพ์ 2558, การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 7 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม3

2.3.3 Chompoo-inwai, Chow and Mungkornassawakul, Jade, Japan July 8-12 2012, The Data Acquisition system and lab view program in being a smart and low cost three phase disturbance measuring unit, international conference on electrical engineering (ICEEE 2012).

2.3.4 Chow chompoo-inwai and Jade Mungkornassawakul, USA April 4-5 2013. A smart recording power analyzer prototype using Lab view and low cost data acquisition (DAQ) in being a smart renewable monitoring system, IEEE green tech.

2.3.5 IEEE standard 1159-1995, IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality

2.3.6 IEEE standard 519-1992, 1993, IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power systems

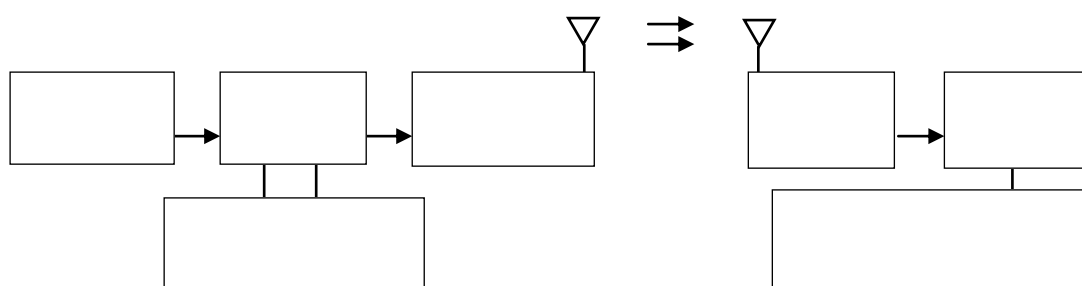
2.3.7 Power Quality Analysis a Distribution Measurement System at 2003 IEEE Bologna Power Tech Conference, June 23th-26th, Italy

2.3.8 M. McGranaghan: "Trends in power quality monitoring", IEEE Power Engineering Review, Volume: 21 Issues: 10, Oct 2001.

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการการออกแบบเครื่องมือตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าแบบไร้สายซึ่งใช้เป็นเครื่องต้นแบบ โดยเนื้อหาในบทนี้จะประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักๆคือ การออกแบบชุดตรวจจับแรงดันและกระแสไฟฟ้า การออกแบบโปรแกรมการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้า และการออกแบบระบบส่งข้อมูลแบบไร้สาย โดยสำหรับการออกแบบโปรแกรมนั้นในงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรมแลปวิว(LabVIEW) ในการออกแบบและโดยใช้งานร่วมกับชุดจัดเก็บข้อมูล (DAQ) และสำหรับการออกแบบระบบส่งข้อมูลแบบไร้สายนั้นได้ใช้เทคโนโลยีการส่งข้อมูลแบบ เอ็กบี มาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้โดยระบบการทำงานสามารถอธิบายได้ดังแสดงบล็อกการทำงานได้ดังภาพที่ 3-1



ภาพที่3-1 บล็อกการทำงานเครื่องตรวจวัดวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้า
และตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าแบบไร้สาย

จากภาพที่ 3-1 ระบบการตรวจวัดของเครื่องตรวจวัดวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าและบันทึกการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายประกอบไปด้วยชุดตรวจจับแรงดันและกระแสไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 1 เฟสและทำการส่งสัญญาณมายังชุดจัดเก็บข้อมูล (DAQ) โดยจะมีชุดป้องกันแรงดันและกระแสไฟฟ้าเกิน ซึ่งสัญญาณที่ได้ ชุดจัดเก็บข้อมูล (DAQ) ก็จะทำการแปลงสัญญาณ อนุลอกเป็นดิจิตอลส่งต่อไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมแลปวิวในการติดต่อสื่อสารและใช้ออกแบบในการตรวจวัดและวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าและสามารถออกแบบโปรแกรมคำนวณกำลังไฟฟ้าจากสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้า รวมถึงยังสามารถแปลงสัญญาณกำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้เป็นสัญญาณดิจิตอลและส่งสัญญาณผ่านชุดจัดเก็บข้อมูล#1 (DAQ-1) และส่งค่าไปยังชุดส่งสัญญาณ เอ็กบี (X-Bee Transmitter) เพื่อส่งสัญญาณไปยังชุดรับสัญญาณ เอ็กบี (X-Bee receiver) โดยการส่งจะเป็นแบบไร้โดยสัญญาณที่รับมาจากชุดรับสัญญาณก็จะส่งสัญญาณมายังชุดจัดเก็บข้อมูล#2 (DAQ-2) และสัญญาณนี้ก็จะถูกส่งต่อไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์กลางเพื่อบันทึกและวิเคราะห์ปริมาณและรูปแบบการใช้พลังงานไฟฟ้าเครื่องอุปกรณ์

3.1 การออกแบบชุดตรวจจับแรงดันและกระแสไฟฟ้า

หม้อแปลงเครื่องมือวัด (Instrument Transformer) หม้อแปลงเครื่องมือวัด เป็นเครื่องสำเร็จ (Apparatus) ที่ใช้สำหรับแปลงแรงดันหรือกระแส เพื่อให้สามารถใช้ได้กับเครื่องวัดไฟฟ้าภายในพิสัยความถี่กำลัง โดยเครื่องวัดปกติ การขยายพิสัยวัดกระแสทำได้โดยใช้ขั้ว การขยายพิสัยวัดแรงดันทำได้โดยใช้ตัวต้านทานอนุกรม (ตัวคูณ) ซึ่งสามารถทำได้โดยสะดวก และพบเห็นทั่วไปในการวัดกระแสตรง อย่างไรก็ตาม วิธีนี้มีขีดจำกัดที่ค่ากระแสและแรงดันไม่สูงมาก เมื่อกระแสมีค่าสูงมากเกินไปก็รื้อไขแอมแปร์ กำลังที่สูงเกินไปในชั้นจะมีค่ามากพอ นอกจากนั้นจะต้องคิดถึงการฉนวนเครื่องมือวัดให้พอเพียง ซึ่งเป็นเรื่องยากถ้ากระแสที่จะวัดอยู่ที่หลายร้อยหรือหลายพันโวลต์เหนือดิน ในกรณีที่ต้องวัดค่าที่มีพิสัยกว้างให้มีความถูกต้อง เป็นเรื่องที่ไม่เหมาะสมที่จะต้องมีการวัดที่สามารถวัดค่าพิสัยกว้างให้ถูกต้องทั้งหมด แต่โดยการลดกระแสหรือแรงดันค่าสูงลงมาด้วยอัตราส่วนที่รู้ค่า และถูกต้องหลายๆค่าโดยใช้หม้อแปลง และใช้เครื่องมือวัดที่สามารถวัดขนาดกระแสหรือแรงดันค่าไม่สูง แต่มีความถูกต้องมากวัดค่า จะสามารถได้พิสัยกว้าง โดยมีความถูกต้องตามต้องการแต่ประหยัดและปลอดภัย

เราสามารถแบ่งหม้อแปลงเครื่องมือวัดตามการใช้งานได้เป็นหม้อแปลงกระแส (Current Transformer (CT)) และหม้อแปลงแรงดัน (Potential Transformer (PT)) หม้อแปลงเครื่องมือวัดมีลักษณะเหมือนหม้อแปลงกำลังทั่วไป (สามารถใช้วงจรสมมูลของหม้อแปลงธรรมดาได้) แต่มีข้อพิเศษที่แตกต่างคือจำเป็นต้องรู้อัตราส่วนจำนวนรอบอย่างแน่นอน เนื่องจากค่าความผิดพลาดหนึ่งรอบใน 200 ถ้าพิจารณาในลักษณะหม้อแปลงกำลัง จะทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันน้อยมาก แต่ก็ผิดพลาดมากถ้าพิจารณาในการนำไปใช้ด้านการวัด

แรงดันตกคร่อมในขดลวดจะต้องมีค่าต่ำที่สุด เพื่อหลีกเลี่ยงการเคลื่อนเฟสหรือการเปลี่ยนอัตราส่วนการแปลง โดยการออกแบบหม้อแปลงให้มีค่ารีแอคแตนซ์รั่วซึมต่ำ และโดยใช้สายตัวนำ (ทองแดง) ให้มีขนาดโตกว่าที่ต้องการ ดังนั้นในกรณีหม้อแปลงกำลัง การไหลจะถูกจำกัดโดยผลเนื่องจากความร้อน แต่การไหลของหม้อแปลงเครื่องมือวัดจะถูกจำกัดโดยค่าความถูกต้อง

เราอาจแบ่งหม้อแปลงเครื่องมือวัดตามความถูกต้องออกได้เป็น 5 ชั้น คือ 0.1, 0.2, 0.5, 1.0 และ 3.0 สามชั้นแรกใช้สำหรับการทดสอบหรืองานวัดละเอียด สองชั้นหลังจะใช้สำหรับการวัดทั่วไป

3.1.1 หม้อแปลงกระแส

กระแสไหลที่ต้องการวัด จะไหลผ่านขดปฐมภูมิ ซึ่งอาจจะเป็นลวดตัวนำเส้นเดียว ถือว่าเป็นหนึ่งรอบทางปฐมภูมิ ขดลวดทุติยภูมิจะมีจำนวนรอบมากกว่า และจะต่อกับมาตรวัดกระแส ขดลวดของรีเลย์หรือขดลวดของวัดค่ามิเตอร์ การทำงานของหม้อแปลงกระแสจะขึ้นอยู่กับ

สมดุลของค่าแอมแปร์-รอบที่สร้างขึ้น โดยขดปฐมภูมิและทุติยภูมิ ถ้าหม้อแปลงเป็นอุดมคติ คือ ไม่มีกระแสทำแม่เหล็ก (Magnetizing Current) หรือความสูญเสียในแกน จะได้ดังสมการที่ 1

$$\frac{I_p}{I_s} = n_{ct} \quad (1)$$

โดยกำหนดให้ n_{ct} คือ อัตราส่วนรอบของหม้อแปลงกระแสโดย $n_{ct} = \frac{n_s}{n_p}$

ปกติจะออกแบบให้ขดลวดทุติยภูมิจ่ายกระแสทุติยภูมิขนาด 5 A. แผ่นป้ายชื่อบนตัวจะกำหนดอัตราส่วนของหม้อแปลง เช่น 500:5 A. ค่านี้ไม่ใช่อัตราส่วนรอบ เพียงแต่แสดงว่า กระแสปฐมภูมิ 500 A. จะให้กระแสทุติยภูมิ 5 A. เพื่อต่อขดทุติยภูมิเข้ากับแอมมิเตอร์พิสัย 5 A. เพราะว่าโหลดในระบบจะกำหนดกระแสปฐมภูมิ กระแสทุติยภูมิจะสัมพันธ์กับกระแสปฐมภูมิ โดยอัตราส่วนรอบผกผัน (โดยประมาณ) ในการสร้าง จะต้องทำให้กระแสทำแม่เหล็ก ความสูญเสียในแกน และเส้นแรงรั้วซึมน้อยที่สุด เพื่อจะแน่ใจว่า อัตราส่วนกระแสปฐมภูมิต่อทุติยภูมิจริงๆ จะเข้าใกล้อัตราส่วนรอบผกผันซึ่งในงานวิจัยได้ออกแบบหม้อแปลงกระแสขนาด 30A/1V ดังภาพที่ 3-1 ซึ่งเป็นเครื่องวัดแบบ Clip-on เป็น CT แบบหนึ่ง โดยแกนเหล็กสามารถแยกออกจากกัน เพื่อให้สอดเข้าไปวัดสายตัวนำ (ทำให้สามารถวัดค่ากระแสโดยไม่จำเป็นต้องตัดวงจร)



ภาพที่3-2 หม้อแปลงกระแสขนาด 30A/1V ที่ใช้ในการวิจัย

3.1.2 หม้อแปลงแรงดัน

ในการส่งกำลังไฟฟ้าเพื่ออยู่อาศัยหรือเพื่ออุตสาหกรรม กำลังไฟฟ้าจะถูกส่งในรูปแบบแรงดันสูงผ่านสายส่งซึ่งสูงเป็นร้อยกิโลโวลต์ เป็นการยากที่จะวัดค่าแรงดันสูงโดยตรงอย่างปลอดภัย เมื่อใช้หม้อแปลงแรงดันลดแรงดันลงให้มีขนาดที่สามารถใช้โวลต์มิเตอร์แรงดันต่ำที่มีความถูกต้องสูงวัด และสามารถคำนวณกลับเป็นแรงดันจริงได้ จะเห็นได้ว่า การใช้หม้อแปลง

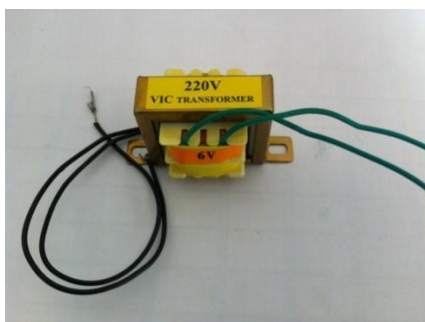
แรงดันจะช่วยขยายพิสัยของโวลต์มิเตอร์แรงดันต่ำที่มีอยู่ และทำหน้าที่แยกระบบการวัดออกจากสายส่งแรงดันสูง

ในการวัดจะใช้หม้อแปลงแรงดัน เพื่อลดแรงดันด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงที่อาจสูงเป็นร้อยกิโลโวลต์ลง เหลือแรงดันทุติยภูมิมาตรฐาน 110, 120 V ดังสมการที่ 2

$$\frac{V_p}{V_s} = n_{vt} \quad (2)$$

โดยกำหนดให้ n_{vt} เป็นอัตราส่วนรอบของหม้อแปลงแรงดันที่กำหนด โดย $n_{vt} = \frac{n_p}{n_s}$

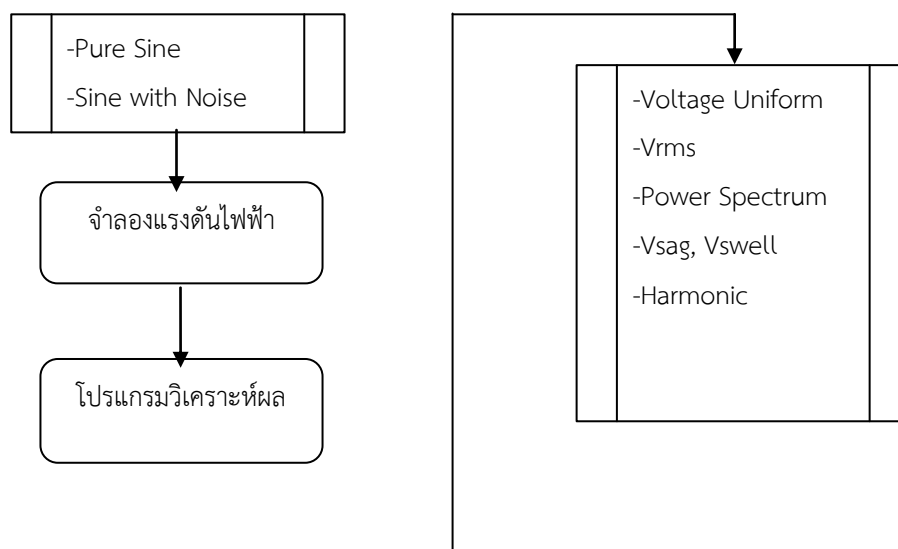
ซึ่งในงานวิจัยได้ออกแบบหม้อแปลงแรงดันขนาด 220Vac/6Vac ดังภาพที่ 3-3

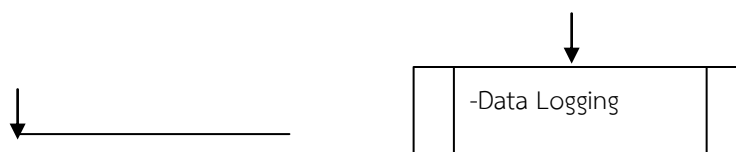


ภาพที่ 3-3 หม้อแปลงกระแสนาขนาด 220Vac/6Vac ที่ใช้ในการวิจัย

3.2 การออกแบบโปรแกรมการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้า

การออกแบบวงจรและทดสอบการทำงานของวงจรสำหรับการวิเคราะห์ผลของรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าได้ทำการออกแบบเพื่อให้แสดงผลผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมแลปวิวในการออกแบบซึ่งขบวนการในการทำงานและวิเคราะห์ผลนั้นสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3-4





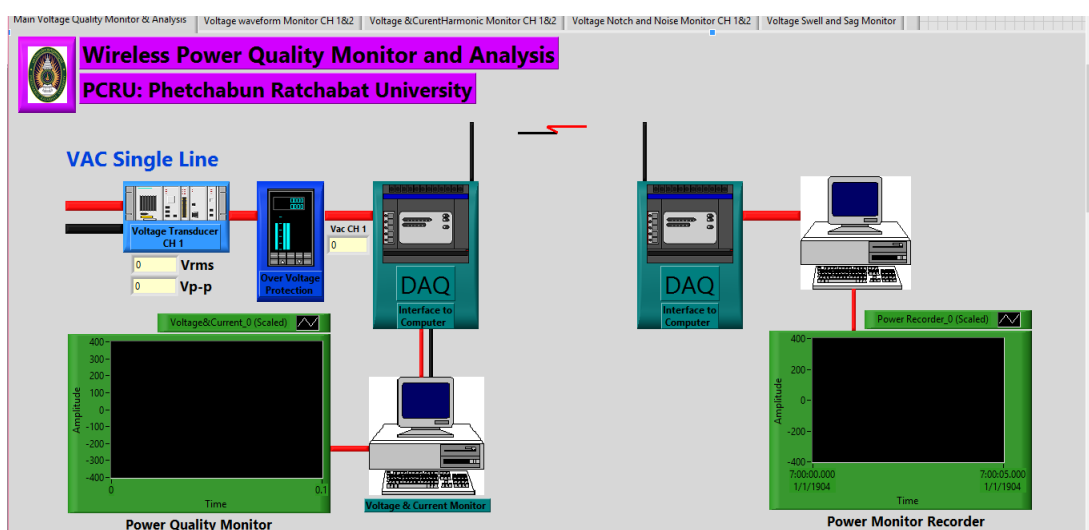
ภาพที่ 3-4 การทดสอบการทำงานและการออกแบบ โปรแกรมวิเคราะห์ผล

3.2.1 การออกแบบหน้าจอเพื่อแสดงผล

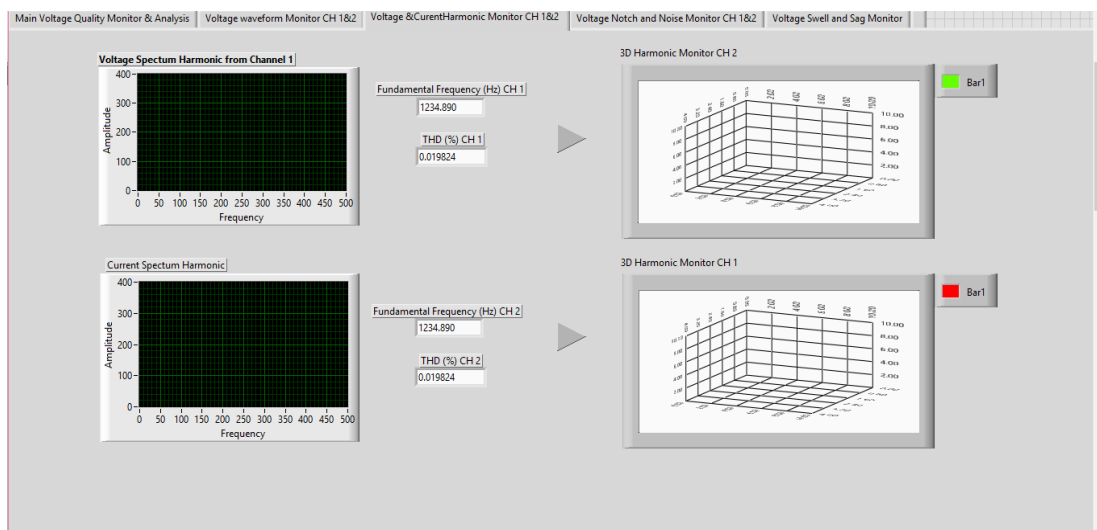
การออกแบบหน้าจอแสดงผลได้กำหนดให้มีการแสดงผลโดยแบ่งออกเป็น 4 จอแสดงผลซึ่งประกอบหน้าจอหลักและหน้าจอแสดงผลและวิเคราะห์ย่อยๆออกเป็นได้ดังแสดงใน

ภาพที่ 3-5, 3-6, 3-7, 3-8

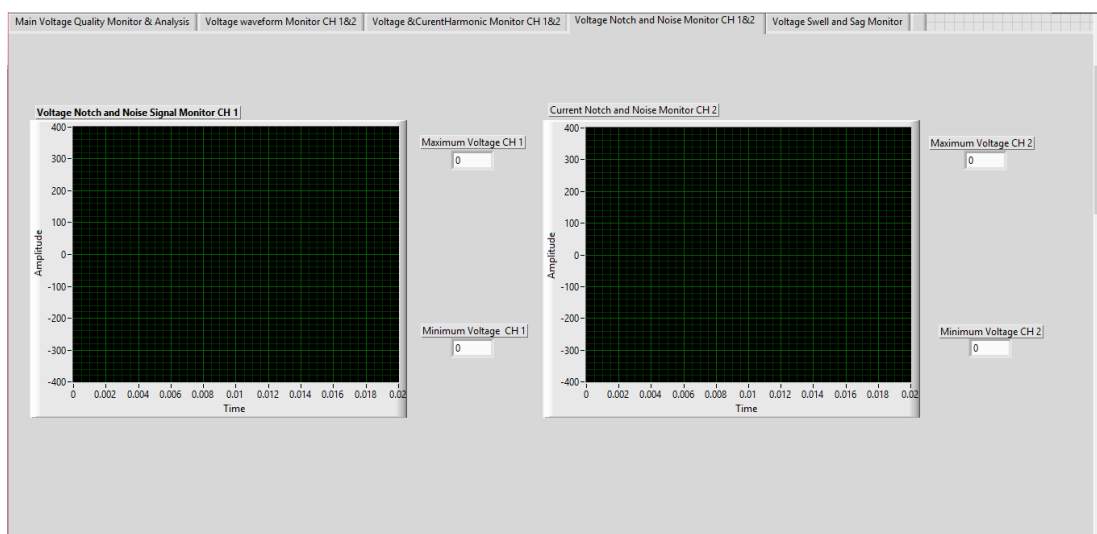
จากภาพที่ 3-5 แสดงหน้าจอหลักในการแสดงผลโดยจะแสดงข้อมูลสัญญาณต่างของสัญญาณขาเข้าทั้งสองสัญญาณซึ่งประกอบไปด้วยแรงดันอาร์เอ็มเอสและแรงดันพิกทิก จากชุดตรวจจับแรงดันไฟฟ้า จากภาพที่ 3-6 แสดงผลการวัดฮาร์โมนิกส์ของแรงดันไฟฟ้า รวมถึงลำดับของฮาร์โมนิกส์และค่าเปอร์เซ็นต์ของ %THD, ภาพที่ 3-7 หน้าจอการแสดงผลในการตรวจวัดสัญญาณรบกวนและสัญญาณรบกวนโดยได้แสดงผลค่าสูงสุดและต่ำสุดของขนาดพิกทิกและสุดท้ายภาพที่ 3-8 แสดงผลสัญญาณเพื่อตรวจวัดสัญญาณกระเพื่อมและแสดงผลกราฟการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าอาร์เอ็มเอสโดยผลการแสดงทั้งหมดนั้นจะแสดงผลแบบแบบเรียลไทม์ (Real Time)



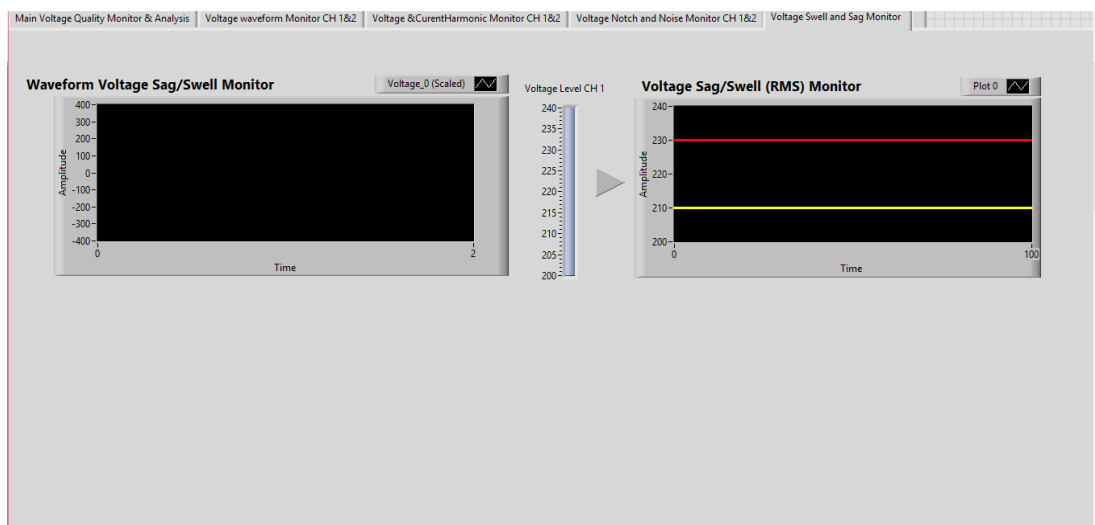
ภาพที่ 3-5 หน้าจอหลักการวิเคราะห์คุณภาพกำลังไฟฟ้าแบบไร้สาย



ภาพที่ 3-6 หน้าจอแสดงการวัดค่าฮาร์โมนิกส์



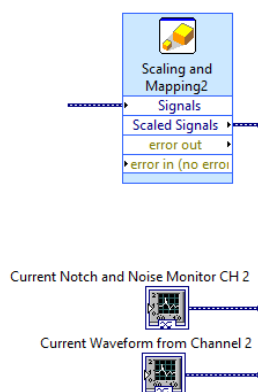
ภาพที่ 3-7 หน้าจอแสดงการวิเคราะห์รูปคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้า



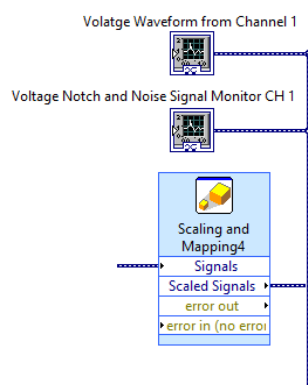
ภาพที่ 3-8 หน้าจอแสดงการแสดงผลการเปลี่ยนแปลงขนาดและการกระเพื่อมแรงดันไฟฟ้า

3.2.2 การออกแบบโปรแกรมตรวจวัดคุณภาพแรงดันไฟฟ้าและการส่งสัญญาณไร้สาย

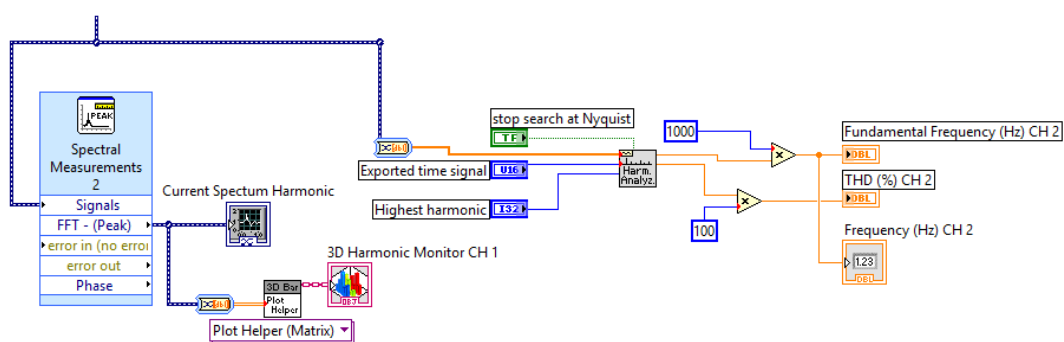
ในส่วนของการออกแบบโปรแกรมซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรมแลปวิวในการออกแบบสำหรับการวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าซึ่งประกอบด้วย การตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าฮาร์มอนิกส์ การกระเพื่อมแรงดันไฟฟ้า การเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า และการตรวจวัดรูปแบบการใช้พลังงาน โดยสามารถแสดงส่วนของโปรแกรมในส่วนต่างๆ ได้ดังภาพที่ 3-9, 3-10, 3-11, 3-12, 3-13, 3-14, 3-15



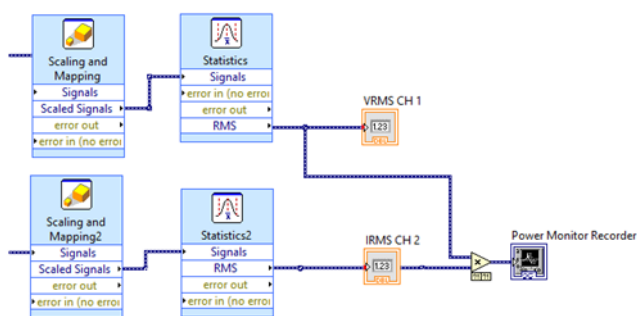
ภาพที่ 3-9 ส่วนโปรแกรมตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้า



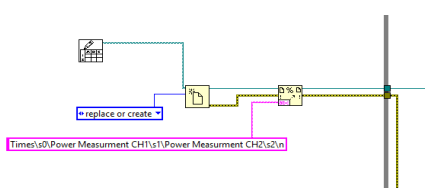
ภาพที่ 3-10 ส่วนโปรแกรมตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า

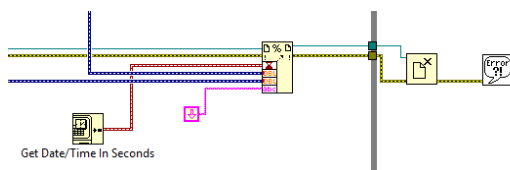


ภาพที่ 3-11 ส่วนโปรแกรมตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าฮาร์มอนิกส์

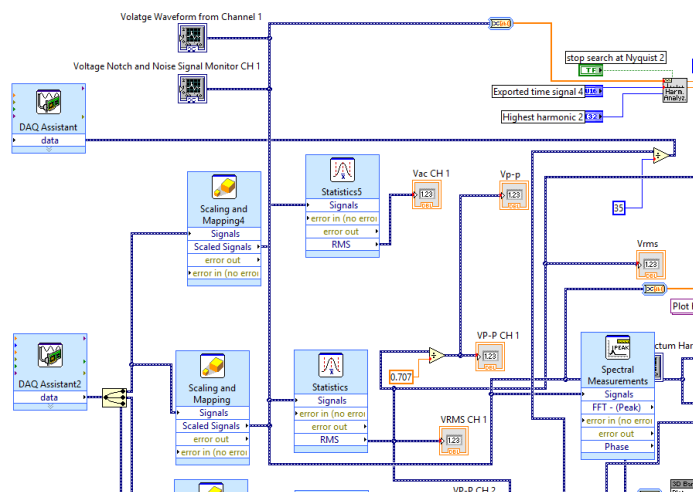


ภาพที่ 3-12 ส่วนโปรแกรมตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า

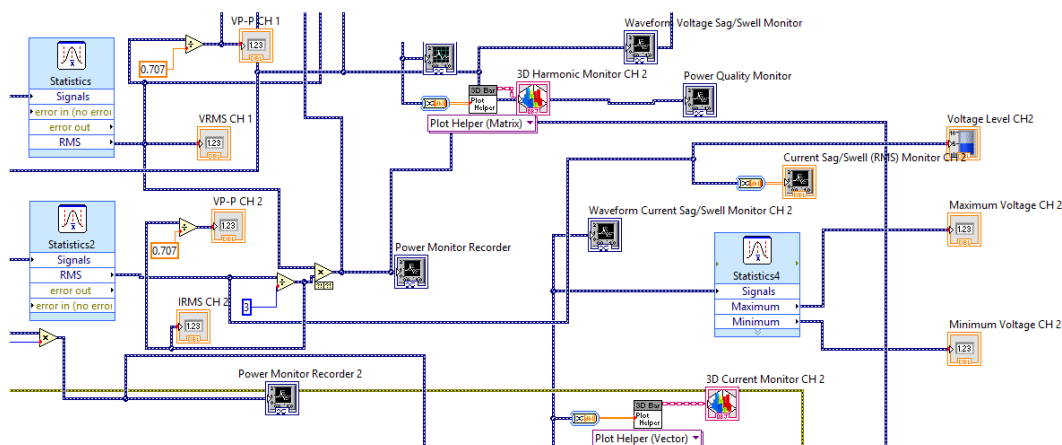




ภาพที่ 3-13 ส่วนโปรแกรมการบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า



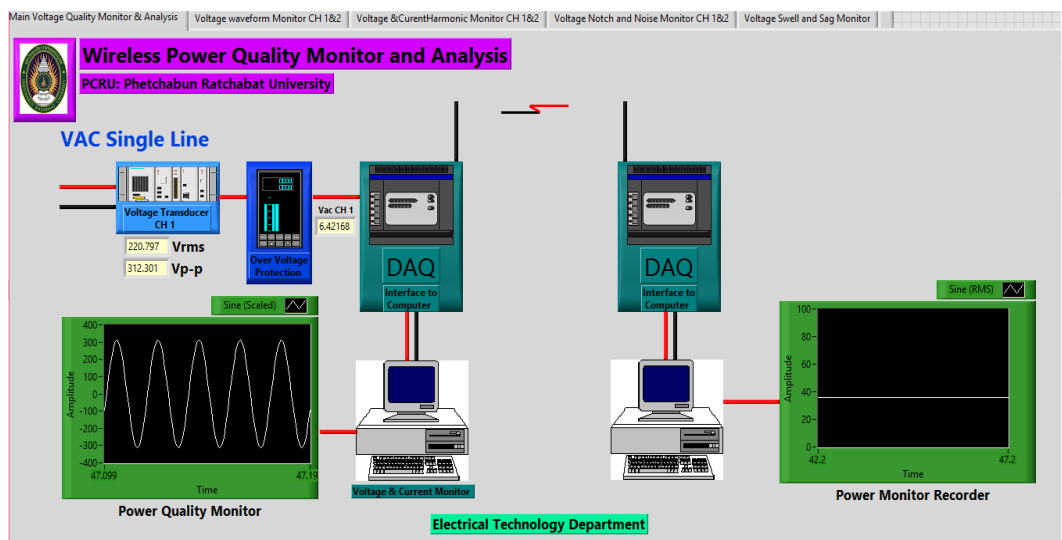
ภาพที่ 3.14 ส่วนโปรแกรมการส่งและรับค่าสัญญาณผ่านชุด DAQ



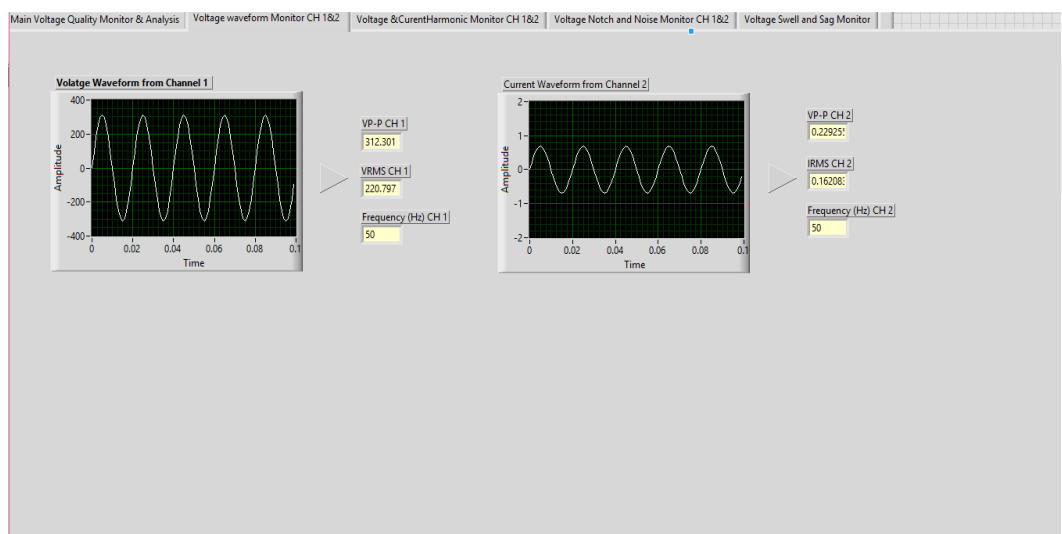
ภาพที่ 3-15 ส่วนโปรแกรมการการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้า

3.2.3 การทดสอบโปรแกรมตรวจวัดคุณภาพแรงดันไฟฟ้าและการส่งสัญญาณไร้สาย

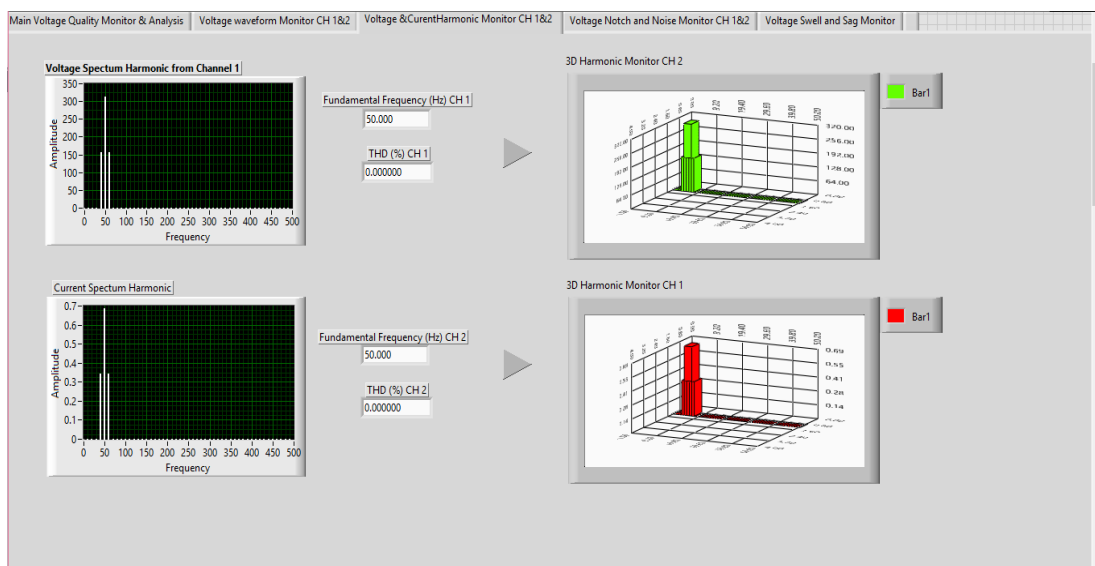
การทดสอบโปรแกรมนั้นได้ทำการสร้างสัญญาณจำลองแรงดันที่มีขนาดแรงดัน 220Vac ที่ความถี่ 50Hz มุมเฟสเริ่มที่ 0 องศา และกระแสไฟฟ้าที่มีขนาด 0.16 Amp ความถี่ 50Hz เพื่อทำการทดสอบโปรแกรมว่าสามารถอ่านค่าและส่งค่าได้ถูกต้องหรือไม่โดยสัญญาณทั้งนั้นเป็นสัญญาณเพียวไซน์ (Pure Sine) ผลการทดสอบนั้นสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3-16, 3-17, 3-18, 3-19, 3-20



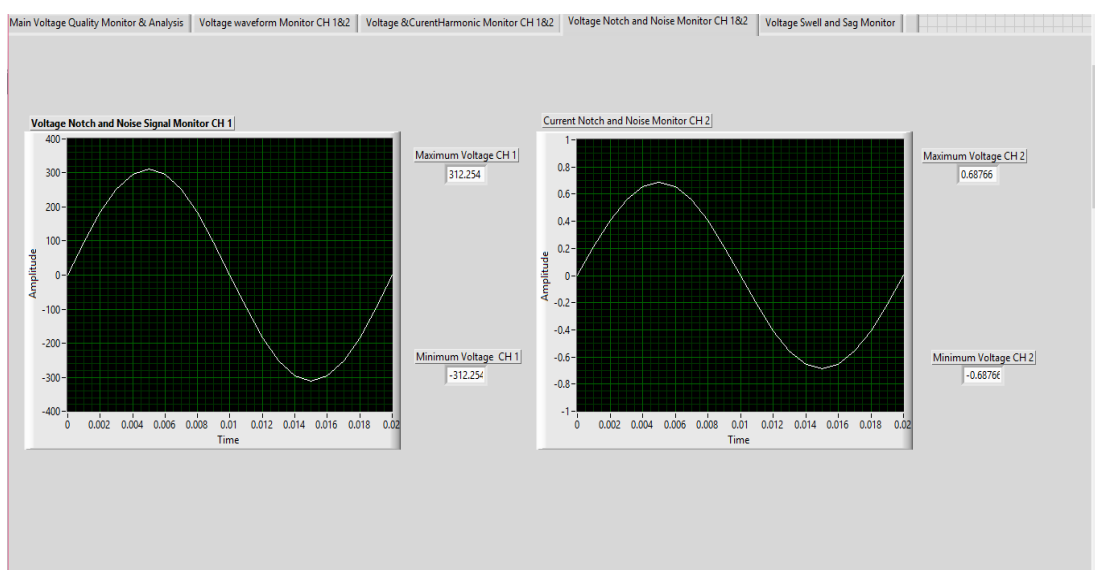
ภาพที่ 3-16 หน้าจอหลักแสดงการทดสอบการวิเคราะห์คุณภาพกำลังไฟฟ้าแบบไร้สาย



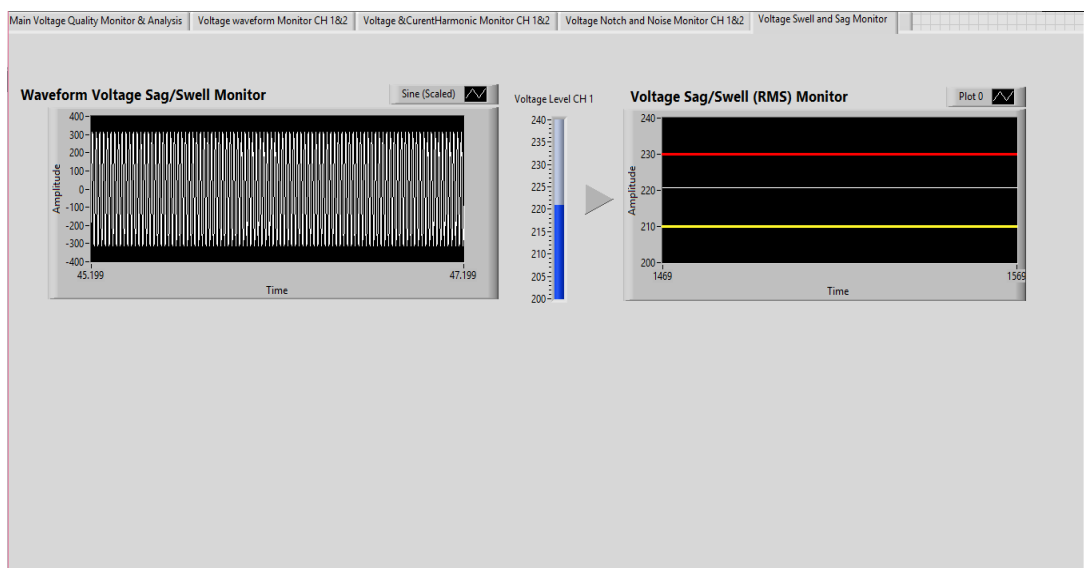
ภาพที่ 3-17 หน้าจอแสดงผลการทดสอบรูปสัญญาณแรงดันและกระแส



ภาพที่ 3-18 หน้าจอแสดงการวัดค่าฮาร์โมนิกของแรงดันและกระแสไฟฟ้า



ภาพที่ 3-19 หน้าจอแสดงการทดสอบการวิเคราะห์รูปสัญญาณ



ภาพที่ 3-20 หน้าจอแสดงการกระเพื่อมสัญญาณ
และการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า

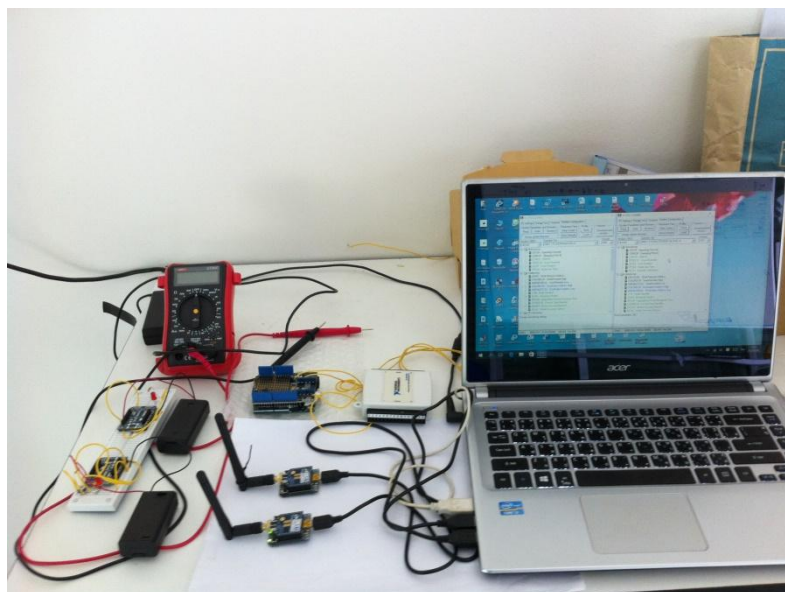
จากภาพที่ 3-16, 3-17, 3-18, 3-19, 3.20 แสดงผลการทดสอบการตรวจวัดคุณภาพกำลังไฟฟ้าซึ่งพบว่าสามารถตรวจวัดค่าแรงดันและค่ากระแสไฟฟ้าได้ถูกต้องโดยค่าความผิดพลาดอยู่ที่ 0.45% และค่าฮาร์โมนิกส์ วัดได้ 50Hz (Fundamental) และไม่มีค่าฮาร์โมนิกส์ส่วนการกระเพื่อมและการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าไม่มี

3.2.4 การออกแบบระบบส่งข้อมูลแบบไร้สาย

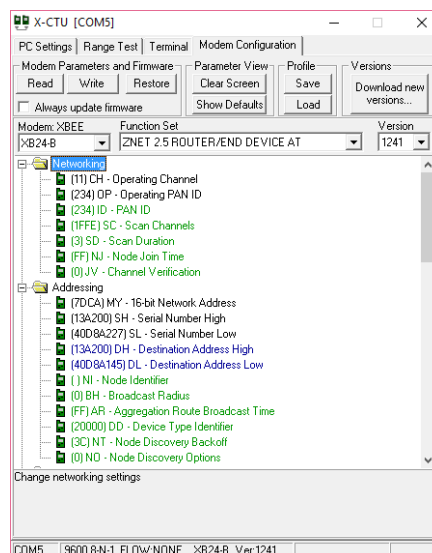
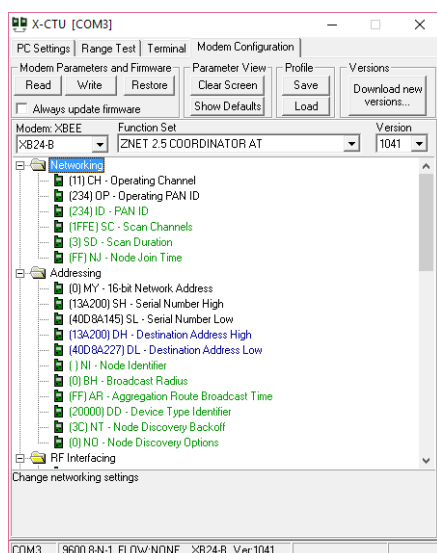
ในงานวิจัยสำหรับการออกแบบระบบส่งข้อมูลแบบไร้สายนั้นได้เลือกใช้การสื่อสารไร้สายแบบ ชิกบี (Zigbee) โดยใช้ xbee serie1 ซึ่งเป็นอุปกรณ์ส่งข้อมูลในย่านความถี่ 2.4 GHZ โดยจะทำการออกแบบให้ส่งสัญญาณกำลังไฟฟ้าเพื่อทำการบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงไฟฟ้า โดยสามารถแสดงภาพของอุปกรณ์ ในการตั้งค่า xbee ให้สามารถสื่อสารกันได้ดังแสดงในภาพที่ 3-21, 3-22, 3-23

จากภาพที่ 3-21, 3-22, 3-23 แสดงการตั้งค่าของ Xbee จำนวนสองชุดเพื่อให้สามารถสื่อสารกันได้โดยใช้โปรแกรม X-CTU ดังแสดงในภาพที่ 3-22 ซึ่งเป็นโปรแกรมเฉพาะสำหรับการติดตั้งค่า Xbee โดยผลการติดตั้งค่า อุปกรณ์ xbee ทั้งสองตัวนั้นสามารถสื่อสารกันได้โดยการทดสอบส่งค่าดังแสดงในรูปที่ 3-23 จากนั้นทดสอบการส่งค่าแรงดันไฟฟ้าเพื่อทำการทดสอบการส่งค่าแบบสัญญาณอะนาล็อก โดยใช้วงจรปรับแรงดัน (Voltage regulator) ให้กับชุด xbee ที่ 1 โดยแรงดันไม่ให้เกิน 3 Vdc ตามข้อมูลโครงสร้างของ xbee ดังแสดงในภาพที่ 3-24 และรูปแบบวงจรภายในของ Xbee สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3-25 ซึ่งการต่อวงจรในการทดสอบนั้นสามารถแสดง

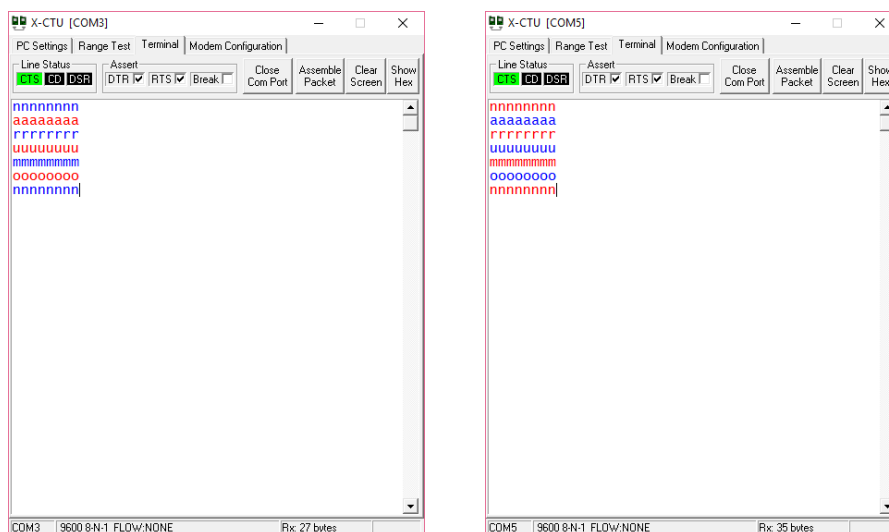
ได้ดังภาพที่ 3-26 ซึ่งใช้หลอด LED ในการทดสอบการส่งค่าแบบอะนาล็อกซึ่งผลการทดสอบนั้นพบว่าสามารถส่งค่าการปรับเปลี่ยนแรงดันจาก xbee ตัวที่ 1 ไปยัง xbee ตัวที่ 2 ได้



ภาพที่ 3-21 การตั้งค่าของ การสื่อสารของอุปกรณ์ xbee 1 และ 2



ภาพที่ 3-22 หน้าจอการตั้งค่าภายในของของอุปกรณ์ xbee 1 และ 2



ภาพที่ 3-23 หน้าจอการทดสอบการส่งค่าจากอุปกรณ์ Xbee 1 ไปยัง Xbee 2

DC Characteristics of the XBee/XBee-PRO

Symbol	Parameter	Condition	Min	Typical	Max	Units
V_{IL}	Input Low Voltage	All Digital Inputs	-	-	$0.2 * V_{CC}$	V
V_{IH}	Input High Voltage	All Digital Inputs	$0.8 * V_{CC}$	-	-	V
V_{OL}	Output Low Voltage	$V_{CC} \geq 2.7$ V	-	-	$0.18 * V_{CC}$	V
V_{OH}	Output High Voltage	$V_{CC} \geq 2.7$ V	$0.82 * V_{CC}$	-	-	V
I_{IIN}	Input Leakage Current	$V_{IN} = V_{CC}$ or GND, all inputs, per pin	-	-	0.5uA	uA
I_{OHS}	Output source current (standard)	All digital outputs except RSSI/PWM, DIO10, DIO4			4	mA
I_{OHH}	Output source current (high current)	RSSI/PWM, DIO10, DIO4 digital outputs			8	mA
I_{OLS}	Output sink current (standard)	All digital inputs except RSSI/PWM, DIO10, DIO4			4	mA
I_{OLH}	Output sink current (high current)	RSSI/PWM, DIO10, DIO4 digital outputs			8	mA
$I_{OH} + I_{OL}$	Total output current for all I/O pins	All digital outputs			40	mA
V_{REFI}	VREF Internal	EM250 has an internal reference that is fixed	1.19	1.2	1.21	V
V_{IADC}	ADC input voltage range		0		V_{REFI}	V
R_{IS}	Input impedance	When taking a sample	1			M Ohm
R_i	Input impedance	When not taking a sample	10			M Ohm

Note – The signal-ended ADC measurements are limited in their range and only guaranteed for accuracy in the range 0 to V_{REFI} . The nature of the ADC's internal design allows for measurements outside of this range (+/- 200mV), but the accuracy of such measurements are not guaranteed.

ภาพที่ 3-24 ค่าแรงดันควมคุมของ Xbee

บทที่ 4

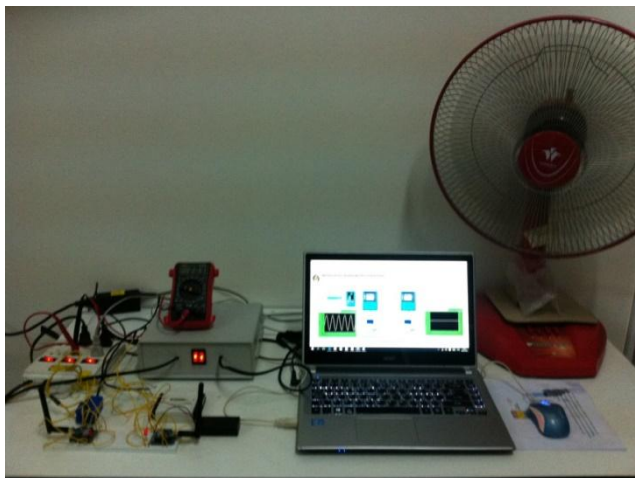
ผลการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและสร้างเครื่องต้นแบบการตรวจวัดและบันทึกการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายสำหรับโครงข่ายเฝ้าติดตามคุณภาพกำลังไฟฟ้าและประเมินผลการอนุรักษ์พลังงานอัจฉริยะ โดยสามารถแบ่งผลการศึกษาวิจัยเพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยโดยผลการศึกษาสามารถแบ่งได้ดังนี้

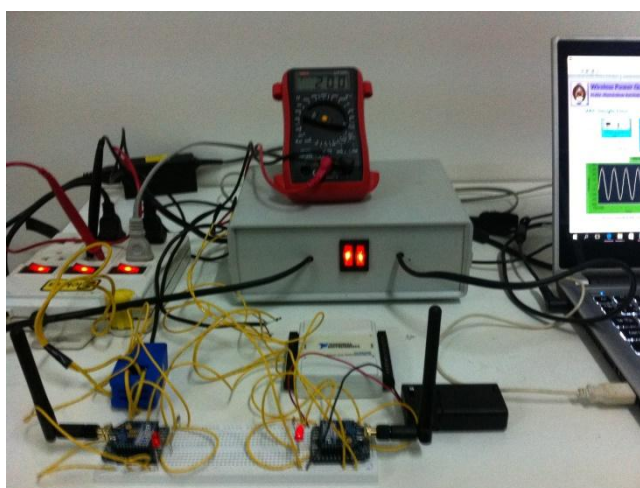
- ผลศึกษาและสร้างเครื่องต้นแบบการตรวจวัดและบันทึกการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบไร้สาย
- ผลศึกษารูปแบบโครงข่ายเพื่อสำหรับระบบเฝ้าติดตามคุณภาพทางไฟฟ้าและประเมินผลการอนุรักษ์พลังงานอัจฉริยะ
- ผลการศึกษาเพื่อใช้เป็นเครื่องมือและข้อมูลในการจัดทำโครงข่ายตรวจวัดคุณภาพกำลังไฟฟ้าและประเมินผลการอนุรักษ์พลังงานอัจฉริยะในอนาคต
- ผลการศึกษาเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในสอนทางการศึกษาและเพื่อพัฒนานวัตกรรมใหม่ของระบบเครื่องมือทางการวัดไฟฟ้าสำหรับนักวิจัยรุ่นใหม่

4.1 ผลศึกษาและสร้างเครื่องต้นแบบการตรวจวัดและบันทึกการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบไร้สาย

ในงานวิจัยได้ได้จำลองการตรวจวัดปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมแบบตั้งพื้นทั่วไปโดยมุ่งเน้นในการตรวจวัดคุณภาพแรงดันไฟฟ้า ณ จุดส่งจ่ายไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์โดยได้ทำการตรวจวัดคุณภาพกำลังไฟฟ้า ณ จุดการจ่ายไฟให้พัดลมไฟฟ้า ขนาด 50 watt โดยแรงดันไฟฟ้า 220 Vac/ 0.23 Amp และทำการส่งค่ากำลังไฟฟ้าแบบไร้สายเพื่อทำการบันทึกค่าและวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานกำลังไฟฟ้าของพัดลมตั้งพื้นทั่วไปโดยสามารถแสดงรูปการวัดได้ดังภาพที่ 4-1



ภาพที่ 4-1 การติดตั้งและรูปแบบการตรวจวัด

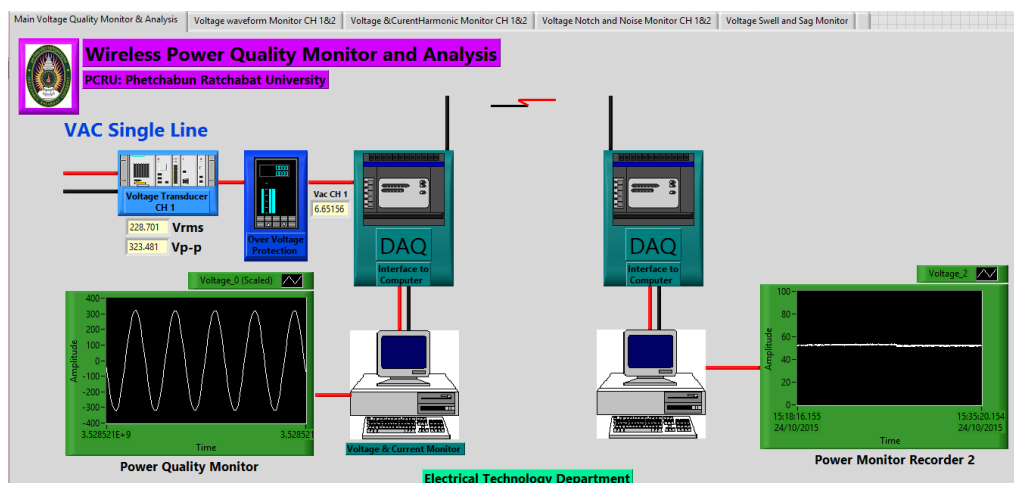


ภาพที่ 4-2 การติดตั้งและรูปแบบส่งสัญญาณไร้สายโดยใช้ Xbee

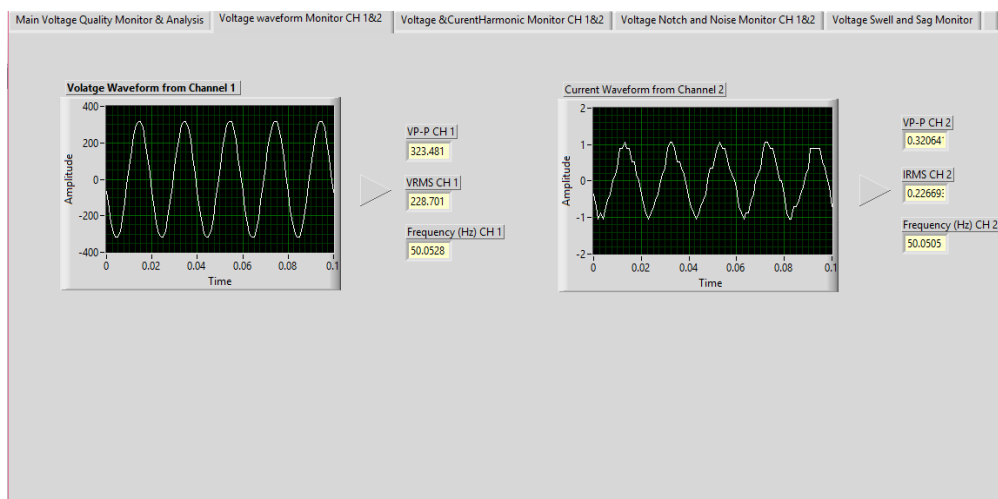
4.1.1 ผลการวิเคราะห์ค่าคุณภาพกำลังไฟฟ้า ณ จุดส่งไฟให้กับพัดลมไฟฟ้า

ผลการวิเคราะห์ค่าคุณภาพกำลังไฟฟ้า ณ จุดส่งไฟให้กับพัดลมไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4-3, 4-4, 4-5, 4-6, 4-7 ซึ่งได้ แสดงผลการตรวจวัดคุณภาพกำลังไฟฟ้า ณ จุดส่งจ่ายโดยได้ทำการทดสอบกับพัดลมขนาด 50 วัตต์ 220Vac 0.21A เมื่อทำการวิเคราะห์ผล แรงดันฮาร์โมนิกส์ (THD voltage) พบว่าค่าไม่เกินมาตรฐานเมื่อเทียบกับมาตรฐานของการไฟฟ้า ส่วนภูมิภาคประเทศไทยกำหนดไว้คือสำหรับแรงดันต่ำกว่า 400Vac โดยค่าจะไม่ให้เกิน 5%THDv ซึ่งค่าที่เครื่องมือนี้วัดได้อยู่ที่ 1.3%THDv และเมื่อทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระดับ

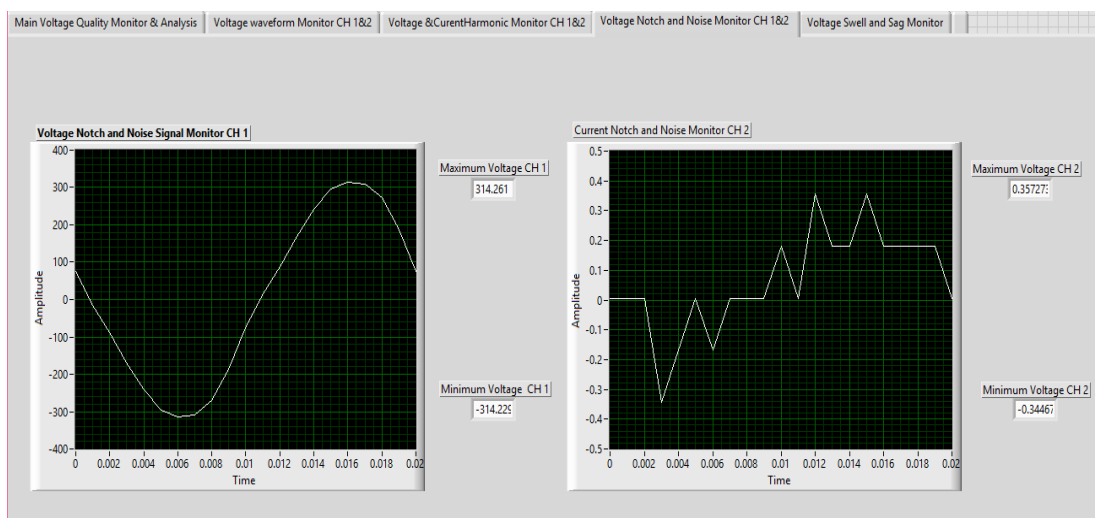
แรงดันไฟฟ้านั้นพบว่าขนาดแรงดันไฟฟ้าค่อนข้างสูงคืออยู่ที่ 223 Vac แต่ไม่เกินมาตรฐานการควบคุมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคประเทศไทยกำหนดไว้คือ 200-240Vac และการกระเพื่อมแรงดันไฟฟ้านั้นเกิดขึ้นน้อยมากเนื่องจากกำลังไฟฟ้าของโหลดที่ทำการทดสอบนั้นไม่ค่อนข้างต่ำ



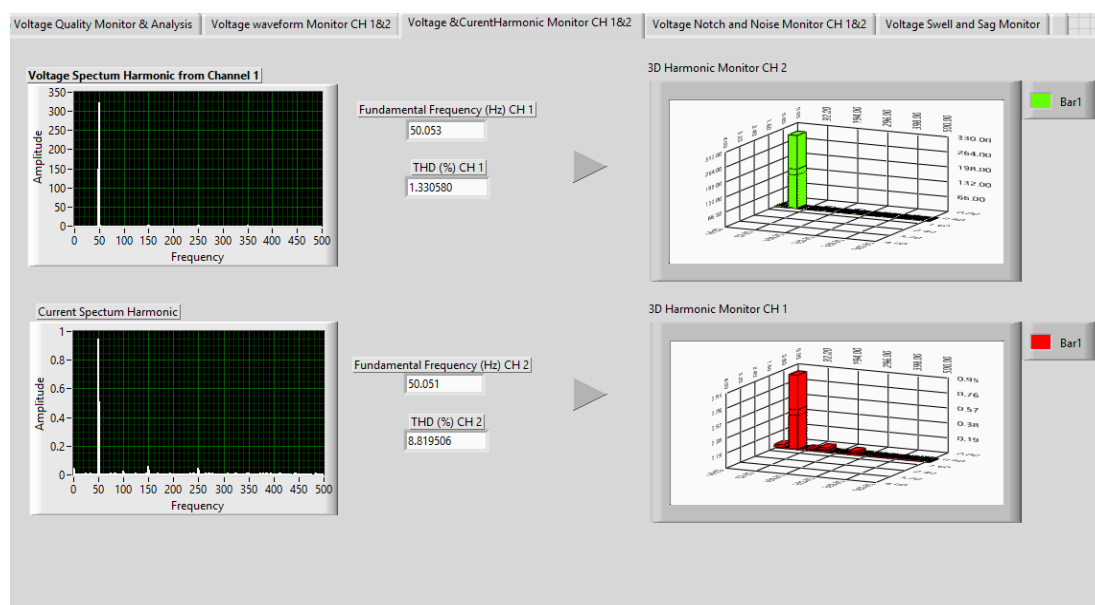
ภาพที่ 4-3 หน้าจอหลักแสดงการตรวจวัด



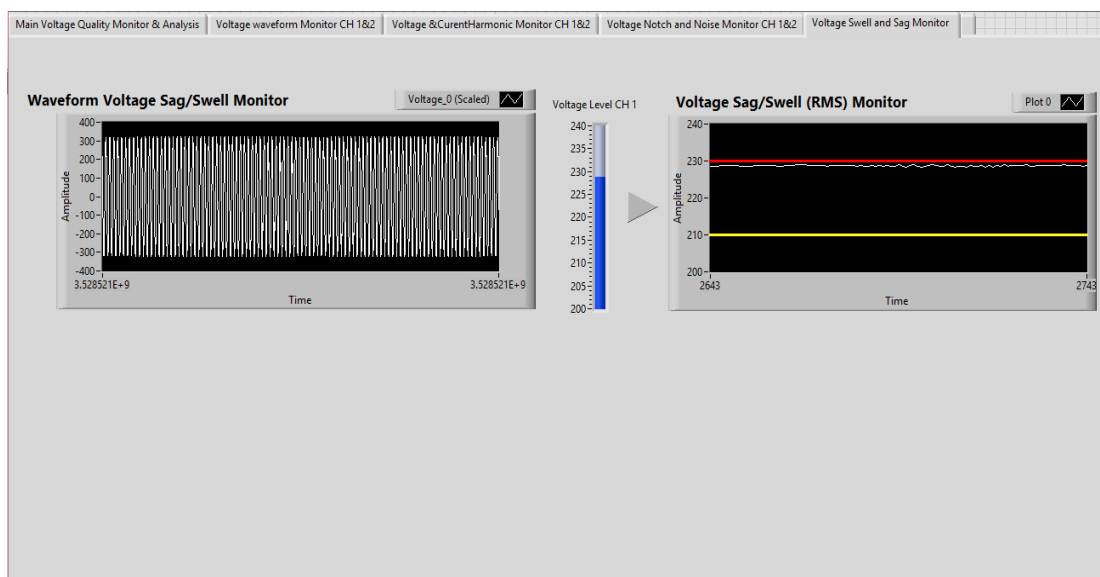
ภาพที่ 4-4 หน้าจอหลักแสดงการตรวจวัดสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้า



ภาพที่ 4-5 หน้าจอแสดงการวิเคราะห์รูปคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้า



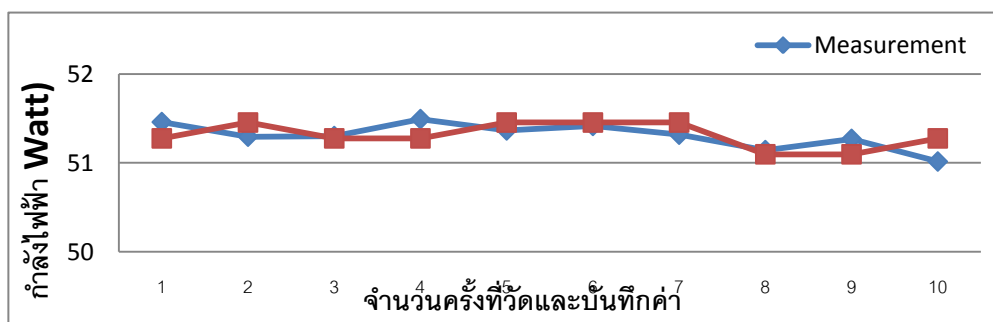
ภาพที่ 4-6 หน้าจอหลักแสดงการตรวจวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกส์



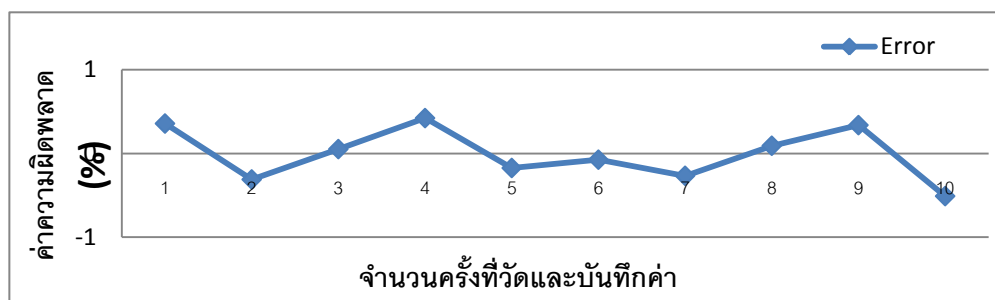
ภาพที่ 4-7 หน้าจอหลักแสดงการตรวจวัดการกระเพื่อมและระดับแรงดันไฟฟ้า

4.1.2 ผลการตรวจวัดรูปแบบการใช้พลังงานไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้าแบบตั้งพื้น

ในงานวิจัยได้จำลองสถานการณ์ในการศึกษาในการตรวจวัดการใช้พลังงานเพื่อนำไปสู่การวางแผนการอนุรักษ์พลังงานโดยได้ทำการทดสอบค่าส่งผ่านกำลังไฟฟ้าโดยทดสอบวัดค่ากำลังไฟฟ้าเพื่อทำการเปรียบเทียบต้นทุนและปลายทางโดยผลการสอบเทียบพบว่าค่าความผิดพลาดนั้นอยู่ที่ไม่เกิน $\pm 5\%$ ซึ่งได้ทำการสุ่มตรวจวัด 10 ค่าด้วยกันโดยผลการสอบเทียบสามารถแสดงไว้ดังรูปภาพที่ 4-8, 4-9



ภาพที่ 4-8 ค่าการสุ่มสอบเทียบตรวจวัดกำลังไฟฟ้า



ภาพที่ 4-9 ค่าการสุ่มสอบเทียบตรวจวัดกำลังไฟฟ้า

โดยผลการตรวจวัดในการทดลองนั้นได้ทำการตั้งเงื่อนไขการตรวจวัดและเปรียบเทียบพลังงานที่พัฒมทำงานคือ กำลังไฟฟ้าขณะพัฒมทำงานปกติและมีสิ่งกีดขวางด้านคูคของพัฒมได้ทำการทดสอบการตรวจวัดเป็นเวลา 25 นาที โดยเก็บค่าทุก 1 วินาที โดยผลการตรวจวัดสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4-1 และภาพที่ 4-10

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัฒมไฟฟ้า

Min:sec	Date	Power Measurement
05:17.1	24/10/2015	51.453767
05:18.1	24/10/2015	51.810999
05:19.1	24/10/2015	51.632383
05:20.1	24/10/2015	51.453767
05:21.1	24/10/2015	51.810999
05:22.1	24/10/2015	51.453767
05:23.1	24/10/2015	51.453767
05:24.1	24/10/2015	51.632383
05:25.1	24/10/2015	51.27515
05:26.1	24/10/2015	51.27515
05:27.1	24/10/2015	51.632383
05:28.1	24/10/2015	51.632383
05:29.1	24/10/2015	51.632383
05:30.1	24/10/2015	51.989615

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัฒมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
05:31.1	24/10/2015	51.632383

05:32.1	24/10/2015	51.632383
05:33.1	24/10/2015	51.27515
05:34.1	24/10/2015	51.632383
05:35.1	24/10/2015	51.27515
05:36.1	24/10/2015	51.27515
05:37.1	24/10/2015	50.739302
05:38.1	24/10/2015	51.632383
05:39.1	24/10/2015	51.632383
05:40.1	24/10/2015	51.27515
05:41.1	24/10/2015	51.632383
05:42.1	24/10/2015	51.453767
05:43.1	24/10/2015	51.632383
05:44.1	24/10/2015	51.27515
05:45.1	24/10/2015	51.453767
05:46.1	24/10/2015	51.453767
05:47.1	24/10/2015	51.810999
05:48.1	24/10/2015	51.453767
05:49.1	24/10/2015	51.632383
05:50.1	24/10/2015	51.096534
05:51.1	24/10/2015	51.453767
05:52.1	24/10/2015	51.632383
05:53.1	24/10/2015	51.453767
05:54.1	24/10/2015	51.27515
05:55.1	24/10/2015	51.096534
05:56.1	24/10/2015	51.27515
05:57.1	24/10/2015	51.096534

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
05:58.1	24/10/2015	51.453767
05:59.1	24/10/2015	51.096534
06:00.1	24/10/2015	51.453767
06:01.1	24/10/2015	51.810999
06:02.1	24/10/2015	51.632383
06:03.1	24/10/2015	51.810999

06:04.1	24/10/2015	51.632383
06:05.1	24/10/2015	51.453767
06:06.1	24/10/2015	51.632383
06:07.1	24/10/2015	51.096534
06:08.1	24/10/2015	51.453767
06:09.1	24/10/2015	51.453767
06:10.1	24/10/2015	51.453767
06:11.1	24/10/2015	51.096534
06:12.1	24/10/2015	51.096534
06:13.1	24/10/2015	51.453767
06:14.1	24/10/2015	51.27515
06:15.1	24/10/2015	51.096534
06:16.1	24/10/2015	51.810999
06:17.1	24/10/2015	51.453767
06:18.1	24/10/2015	51.096534
06:19.1	24/10/2015	51.096534
06:20.1	24/10/2015	51.453767
06:21.1	24/10/2015	51.453767
06:22.1	24/10/2015	51.453767
06:23.1	24/10/2015	51.27515
06:24.1	24/10/2015	51.453767

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
06:25.1	24/10/2015	51.632383
06:26.1	24/10/2015	51.810999
06:27.1	24/10/2015	51.810999
06:28.1	24/10/2015	51.632383
06:29.1	24/10/2015	51.632383
06:30.1	24/10/2015	51.096534
06:31.1	24/10/2015	51.096534
06:32.1	24/10/2015	51.632383
06:33.1	24/10/2015	51.632383
06:34.1	24/10/2015	51.632383
06:35.1	24/10/2015	51.810999

06:36.1	24/10/2015	51.453767
06:37.1	24/10/2015	51.453767
06:38.1	24/10/2015	51.453767
06:39.1	24/10/2015	51.453767
06:40.1	24/10/2015	51.096534
06:41.1	24/10/2015	51.096534
06:42.1	24/10/2015	51.096534
06:43.1	24/10/2015	51.096534
06:44.1	24/10/2015	51.096534
06:45.1	24/10/2015	51.453767
06:46.1	24/10/2015	51.989615
06:47.1	24/10/2015	51.632383
06:48.1	24/10/2015	51.989615
06:49.1	24/10/2015	51.632383
06:50.1	24/10/2015	51.632383
06:51.1	24/10/2015	51.810999

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
06:52.1	24/10/2015	51.810999
06:53.1	24/10/2015	51.632383
06:54.1	24/10/2015	51.632383
06:55.1	24/10/2015	51.632383
06:56.1	24/10/2015	51.453767
06:57.1	24/10/2015	51.453767
06:58.1	24/10/2015	51.632383
06:59.1	24/10/2015	51.810999
07:00.1	24/10/2015	51.632383
07:01.1	24/10/2015	51.27515
07:02.1	24/10/2015	51.096534
07:03.1	24/10/2015	51.453767
07:04.1	24/10/2015	51.096534
07:05.1	24/10/2015	51.096534
07:06.1	24/10/2015	51.632383
07:07.1	24/10/2015	51.453767

07:08.1	24/10/2015	51.632383
07:09.1	24/10/2015	52.168231
07:10.1	24/10/2015	51.989615
07:11.1	24/10/2015	51.632383
07:12.1	24/10/2015	51.27515
07:13.1	24/10/2015	51.632383
07:14.1	24/10/2015	51.453767
07:15.1	24/10/2015	51.27515
07:16.1	24/10/2015	51.453767
07:17.1	24/10/2015	51.632383
07:18.1	24/10/2015	51.632383

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
07:19.1	24/10/2015	51.27515
07:20.1	24/10/2015	51.096534
07:21.1	24/10/2015	51.096534
07:22.1	24/10/2015	51.27515
07:23.1	24/10/2015	50.917918
07:24.1	24/10/2015	51.632383
07:25.1	24/10/2015	51.096534
07:26.1	24/10/2015	51.453767
07:27.1	24/10/2015	51.453767
07:28.1	24/10/2015	51.453767
07:29.1	24/10/2015	51.453767
07:30.1	24/10/2015	51.453767
07:31.1	24/10/2015	51.096534
07:32.1	24/10/2015	51.632383
07:33.1	24/10/2015	51.453767
07:34.1	24/10/2015	51.810999
07:35.1	24/10/2015	51.632383
07:36.1	24/10/2015	51.27515
07:37.1	24/10/2015	51.453767
07:38.1	24/10/2015	51.27515
07:39.1	24/10/2015	51.27515

07:40.1	24/10/2015	51.453767
07:41.1	24/10/2015	51.453767
07:42.1	24/10/2015	51.453767
07:43.1	24/10/2015	51.453767
07:44.1	24/10/2015	51.096534
07:45.1	24/10/2015	51.096534

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
07:46.1	24/10/2015	51.27515
07:47.1	24/10/2015	51.096534
07:48.1	24/10/2015	50.917918
07:49.1	24/10/2015	51.096534
07:50.1	24/10/2015	51.632383
07:51.1	24/10/2015	51.453767
07:52.1	24/10/2015	51.453767
07:53.1	24/10/2015	51.27515
07:54.1	24/10/2015	51.632383
07:55.1	24/10/2015	51.632383
07:56.1	24/10/2015	51.632383
07:57.1	24/10/2015	51.453767
07:58.1	24/10/2015	51.096534
07:59.1	24/10/2015	51.096534
08:00.1	24/10/2015	51.27515
08:01.1	24/10/2015	51.632383
08:02.1	24/10/2015	51.27515
08:03.1	24/10/2015	51.453767
08:04.1	24/10/2015	51.27515
08:05.1	24/10/2015	51.453767
08:06.1	24/10/2015	51.27515
08:07.1	24/10/2015	51.453767
08:08.1	24/10/2015	51.632383
08:09.1	24/10/2015	51.810999
08:10.1	24/10/2015	51.810999
08:11.1	24/10/2015	51.27515

08:12.1	24/10/2015	51.632383
---------	------------	-----------

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
08:13.1	24/10/2015	51.27515
08:14.1	24/10/2015	51.096534
08:15.1	24/10/2015	51.096534
08:16.1	24/10/2015	51.453767
08:17.1	24/10/2015	51.096534
08:18.1	24/10/2015	51.27515
08:19.1	24/10/2015	51.632383
08:20.1	24/10/2015	51.27515
08:21.1	24/10/2015	51.632383
08:22.1	24/10/2015	51.096534
08:23.1	24/10/2015	51.632383
08:24.1	24/10/2015	51.810999
08:25.1	24/10/2015	51.632383
08:26.1	24/10/2015	51.810999
08:27.1	24/10/2015	51.632383
08:28.1	24/10/2015	51.27515
08:29.1	24/10/2015	51.453767
08:30.1	24/10/2015	51.096534
08:31.1	24/10/2015	51.27515
08:32.1	24/10/2015	51.27515
08:33.1	24/10/2015	51.096534
08:34.1	24/10/2015	51.632383
08:35.1	24/10/2015	51.27515
08:36.1	24/10/2015	51.632383
08:37.1	24/10/2015	51.632383
08:38.1	24/10/2015	51.27515
08:39.1	24/10/2015	51.632383

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
08:40.1	24/10/2015	51.810999
08:41.1	24/10/2015	51.453767

08:42.1	24/10/2015	51.632383
08:43.1	24/10/2015	51.453767
08:44.1	24/10/2015	51.632383
08:45.1	24/10/2015	51.096534
08:46.1	24/10/2015	51.632383
08:47.1	24/10/2015	51.453767
08:48.1	24/10/2015	51.453767
08:49.1	24/10/2015	51.632383
08:50.1	24/10/2015	51.096534
08:51.1	24/10/2015	51.27515
08:52.1	24/10/2015	51.632383
08:53.1	24/10/2015	51.632383
08:54.1	24/10/2015	51.096534
08:55.1	24/10/2015	51.096534
08:56.1	24/10/2015	51.453767
08:57.1	24/10/2015	51.453767
08:58.1	24/10/2015	51.453767
08:59.1	24/10/2015	51.27515
09:00.1	24/10/2015	51.453767
09:01.1	24/10/2015	51.27515
09:02.1	24/10/2015	51.632383
09:03.1	24/10/2015	51.096534
09:04.1	24/10/2015	51.632383
09:05.1	24/10/2015	51.810999
09:06.1	24/10/2015	51.27515

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
09:07.1	24/10/2015	51.810999
09:08.1	24/10/2015	51.27515
09:09.1	24/10/2015	51.453767
09:10.1	24/10/2015	51.453767
09:11.1	24/10/2015	51.27515
09:12.1	24/10/2015	51.632383
09:13.1	24/10/2015	51.632383

09:14.1	24/10/2015	51.27515
09:15.1	24/10/2015	51.096534
09:16.1	24/10/2015	51.453767
09:17.1	24/10/2015	51.27515
09:18.1	24/10/2015	51.632383
09:19.1	24/10/2015	51.27515
09:20.1	24/10/2015	51.810999
09:21.1	24/10/2015	51.096534
09:22.1	24/10/2015	52.168231
09:23.1	24/10/2015	51.453767
09:24.1	24/10/2015	51.096534
09:25.1	24/10/2015	51.27515
09:26.1	24/10/2015	51.27515
09:27.1	24/10/2015	51.453767
09:28.1	24/10/2015	51.632383
09:29.1	24/10/2015	51.453767
09:30.1	24/10/2015	51.453767
09:31.1	24/10/2015	51.632383
09:32.1	24/10/2015	51.096534
09:33.1	24/10/2015	51.632383

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
09:34.1	24/10/2015	51.632383
09:35.1	24/10/2015	51.810999
09:36.1	24/10/2015	51.632383
09:37.1	24/10/2015	51.989615
09:38.1	24/10/2015	51.810999
09:39.1	24/10/2015	51.632383
09:40.1	24/10/2015	51.453767
09:41.1	24/10/2015	51.27515
09:42.1	24/10/2015	51.632383
09:43.1	24/10/2015	51.453767
09:44.1	24/10/2015	51.632383
09:45.1	24/10/2015	51.632383

09:46.1	24/10/2015	51.632383
09:47.1	24/10/2015	51.810999
09:48.1	24/10/2015	51.810999
09:49.1	24/10/2015	51.453767
09:50.1	24/10/2015	51.632383
09:51.1	24/10/2015	51.632383
09:52.1	24/10/2015	51.453767
09:53.1	24/10/2015	51.810999
09:54.1	24/10/2015	51.453767
09:55.1	24/10/2015	51.632383
09:56.1	24/10/2015	51.632383
09:57.1	24/10/2015	51.453767
09:58.1	24/10/2015	51.096534
09:59.1	24/10/2015	51.096534
10:00.1	24/10/2015	51.632383

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
10:01.1	24/10/2015	51.453767
10:02.1	24/10/2015	51.453767
10:03.1	24/10/2015	51.453767
10:04.1	24/10/2015	51.632383
10:05.1	24/10/2015	51.632383
10:06.1	24/10/2015	51.632383
10:07.1	24/10/2015	51.453767
10:08.1	24/10/2015	51.632383
10:09.1	24/10/2015	51.632383
10:10.1	24/10/2015	51.632383
10:11.1	24/10/2015	51.096534
10:12.1	24/10/2015	51.453767
10:13.1	24/10/2015	51.810999
10:14.1	24/10/2015	51.632383
10:15.1	24/10/2015	51.810999
10:16.1	24/10/2015	51.632383
10:17.1	24/10/2015	51.810999

10:18.1	24/10/2015	51.632383
10:19.1	24/10/2015	51.810999
10:20.1	24/10/2015	51.632383
10:21.1	24/10/2015	51.632383
10:22.1	24/10/2015	51.810999
10:23.1	24/10/2015	51.810999
10:24.1	24/10/2015	51.632383
10:25.1	24/10/2015	51.989615
10:26.1	24/10/2015	51.810999
10:27.1	24/10/2015	51.632383

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
10:28.1	24/10/2015	51.632383
10:29.1	24/10/2015	51.810999
10:30.1	24/10/2015	51.632383
10:31.1	24/10/2015	51.810999
10:32.1	24/10/2015	51.632383
10:33.1	24/10/2015	51.453767
10:34.1	24/10/2015	51.810999
10:35.1	24/10/2015	51.632383
10:36.1	24/10/2015	51.632383
10:37.1	24/10/2015	51.453767
10:38.1	24/10/2015	51.810999
10:39.1	24/10/2015	51.27515
10:40.1	24/10/2015	51.632383
10:41.1	24/10/2015	51.810999
10:42.1	24/10/2015	51.453767
10:43.1	24/10/2015	51.632383
10:44.1	24/10/2015	51.989615
10:45.1	24/10/2015	51.810999
10:46.1	24/10/2015	51.632383
10:47.1	24/10/2015	51.632383
10:48.1	24/10/2015	51.632383
10:49.1	24/10/2015	51.632383

10:50.1	24/10/2015	51.810999
10:51.1	24/10/2015	51.453767
10:52.1	24/10/2015	51.810999
10:53.1	24/10/2015	51.453767
10:54.1	24/10/2015	51.632383

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
10:55.1	24/10/2015	51.632383
10:56.1	24/10/2015	51.810999
10:57.1	24/10/2015	51.632383
10:58.1	24/10/2015	51.810999
10:59.1	24/10/2015	51.453767
11:00.1	24/10/2015	51.632383
11:01.1	24/10/2015	51.453767
11:02.1	24/10/2015	51.27515
11:03.1	24/10/2015	51.632383
11:04.1	24/10/2015	51.096534
11:05.1	24/10/2015	51.632383
11:06.1	24/10/2015	51.096534
11:07.1	24/10/2015	51.632383
11:08.1	24/10/2015	51.632383
11:09.1	24/10/2015	51.632383
11:10.1	24/10/2015	51.632383
11:11.1	24/10/2015	51.810999
11:12.1	24/10/2015	51.810999
11:13.1	24/10/2015	51.453767
11:14.1	24/10/2015	51.632383
11:15.1	24/10/2015	51.632383
11:16.1	24/10/2015	51.632383
11:17.1	24/10/2015	51.810999
11:18.1	24/10/2015	51.810999
11:19.1	24/10/2015	51.453767
11:20.1	24/10/2015	51.453767
11:21.1	24/10/2015	51.810999

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
11:22.1	24/10/2015	51.632383
11:23.1	24/10/2015	51.632383
11:24.1	24/10/2015	51.632383
11:25.1	24/10/2015	51.27515
11:26.1	24/10/2015	51.632383
11:27.1	24/10/2015	51.453767
11:28.1	24/10/2015	51.632383
11:29.1	24/10/2015	51.632383
11:30.1	24/10/2015	51.632383
11:31.1	24/10/2015	51.27515
11:32.1	24/10/2015	51.632383
11:33.1	24/10/2015	51.632383
11:34.1	24/10/2015	51.453767
11:35.1	24/10/2015	51.27515
11:36.1	24/10/2015	51.632383
11:37.1	24/10/2015	51.632383
11:38.1	24/10/2015	51.453767
11:39.1	24/10/2015	51.810999
11:40.1	24/10/2015	51.632383
11:41.1	24/10/2015	51.632383
11:42.1	24/10/2015	51.810999
11:43.1	24/10/2015	51.453767
11:44.1	24/10/2015	51.632383
11:45.1	24/10/2015	51.632383
11:46.1	24/10/2015	51.810999
11:47.1	24/10/2015	51.632383
11:48.1	24/10/2015	51.632383

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
11:49.1	24/10/2015	51.27515
11:50.1	24/10/2015	51.632383
11:51.1	24/10/2015	51.096534

11:52.1	24/10/2015	51.810999
11:53.1	24/10/2015	51.632383
11:54.1	24/10/2015	51.632383
11:55.1	24/10/2015	51.632383
11:56.1	24/10/2015	51.453767
11:57.1	24/10/2015	51.810999
11:58.1	24/10/2015	51.810999
11:59.1	24/10/2015	51.810999
12:00.1	24/10/2015	51.632383
12:01.1	24/10/2015	51.810999
12:02.1	24/10/2015	51.810999
12:03.1	24/10/2015	51.810999
12:04.1	24/10/2015	51.989615
12:05.1	24/10/2015	51.632383
12:06.1	24/10/2015	51.632383
12:07.1	24/10/2015	51.810999
12:08.1	24/10/2015	51.632383
12:09.1	24/10/2015	51.096534
12:10.1	24/10/2015	51.453767
12:11.1	24/10/2015	51.810999
12:12.1	24/10/2015	51.632383
12:13.1	24/10/2015	51.453767
12:14.1	24/10/2015	51.453767
12:15.1	24/10/2015	50.917918

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
12:16.1	24/10/2015	51.27515
12:17.1	24/10/2015	51.632383
12:18.1	24/10/2015	51.632383
12:19.1	24/10/2015	51.989615
12:20.1	24/10/2015	51.632383
12:21.1	24/10/2015	51.810999
12:22.1	24/10/2015	51.810999
12:23.1	24/10/2015	51.27515

12:24.1	24/10/2015	51.632383
12:25.1	24/10/2015	51.989615
12:26.1	24/10/2015	51.632383
12:27.1	24/10/2015	51.632383
12:28.1	24/10/2015	51.096534
12:29.1	24/10/2015	51.632383
12:30.1	24/10/2015	51.096534
12:31.1	24/10/2015	51.453767
12:32.1	24/10/2015	51.27515
12:33.1	24/10/2015	51.27515
12:34.1	24/10/2015	51.810999
12:35.1	24/10/2015	51.453767
12:36.1	24/10/2015	51.453767
12:37.1	24/10/2015	51.27515
12:38.1	24/10/2015	51.810999
12:39.1	24/10/2015	51.453767
12:40.1	24/10/2015	51.632383
12:41.1	24/10/2015	51.810999
12:42.1	24/10/2015	51.453767

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
12:43.1	24/10/2015	51.810999
12:44.1	24/10/2015	51.096534
12:45.1	24/10/2015	51.632383
12:46.1	24/10/2015	51.632383
12:47.1	24/10/2015	51.453767
12:48.1	24/10/2015	51.810999
12:49.1	24/10/2015	51.453767
12:50.1	24/10/2015	51.096534
12:51.1	24/10/2015	51.096534
12:52.1	24/10/2015	51.453767
12:53.1	24/10/2015	51.632383
12:54.1	24/10/2015	51.453767
12:55.1	24/10/2015	51.096534

12:56.1	24/10/2015	51.632383
12:57.1	24/10/2015	51.810999
12:58.1	24/10/2015	51.453767
12:59.1	24/10/2015	51.632383
13:00.1	24/10/2015	51.632383
13:01.1	24/10/2015	51.989615
13:02.1	24/10/2015	51.453767
13:03.1	24/10/2015	51.989615
13:04.1	24/10/2015	51.810999
13:05.1	24/10/2015	51.632383
13:06.1	24/10/2015	51.632383
13:07.1	24/10/2015	51.453767
13:08.1	24/10/2015	51.632383
13:09.1	24/10/2015	51.096534

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
13:10.1	24/10/2015	51.27515
13:11.1	24/10/2015	51.096534
13:12.1	24/10/2015	51.810999
13:13.1	24/10/2015	51.632383
13:14.1	24/10/2015	51.453767
13:15.1	24/10/2015	51.27515
13:16.1	24/10/2015	51.453767
13:17.1	24/10/2015	51.453767
13:18.1	24/10/2015	52.346847
13:19.1	24/10/2015	51.632383
13:20.1	24/10/2015	51.810999
13:21.1	24/10/2015	51.632383
13:22.1	24/10/2015	51.632383
13:23.1	24/10/2015	51.453767
13:24.1	24/10/2015	51.632383
13:25.1	24/10/2015	51.632383
13:26.1	24/10/2015	51.989615
13:27.1	24/10/2015	51.453767

13:28.1	24/10/2015	51.632383
13:29.1	24/10/2015	51.989615
13:30.1	24/10/2015	51.632383
13:31.1	24/10/2015	51.453767
13:32.1	24/10/2015	51.453767
13:33.1	24/10/2015	51.453767
13:34.1	24/10/2015	51.453767
13:35.1	24/10/2015	51.632383
13:36.1	24/10/2015	51.632383

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
13:37.1	24/10/2015	51.632383
13:38.1	24/10/2015	51.810999
13:39.1	24/10/2015	51.632383
13:40.1	24/10/2015	51.096534
13:41.1	24/10/2015	51.096534
13:42.1	24/10/2015	51.632383
13:43.1	24/10/2015	51.096534
13:44.1	24/10/2015	51.632383
13:45.1	24/10/2015	51.453767
13:46.1	24/10/2015	51.27515
13:47.1	24/10/2015	51.453767
13:48.1	24/10/2015	51.632383
13:49.1	24/10/2015	51.453767
13:50.1	24/10/2015	51.810999
13:51.1	24/10/2015	51.453767
13:52.1	24/10/2015	51.989615
13:53.1	24/10/2015	51.810999
13:54.1	24/10/2015	51.453767
13:55.1	24/10/2015	51.632383
13:56.1	24/10/2015	51.632383
13:57.1	24/10/2015	51.096534
13:58.1	24/10/2015	51.632383
13:59.1	24/10/2015	51.27515

14:00.1	24/10/2015	51.27515
14:01.1	24/10/2015	51.810999
14:02.1	24/10/2015	51.453767
14:03.1	24/10/2015	51.632383

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
14:04.1	24/10/2015	51.632383
14:05.1	24/10/2015	51.632383
14:06.1	24/10/2015	51.810999
14:07.1	24/10/2015	51.810999
14:08.1	24/10/2015	51.632383
14:09.1	24/10/2015	51.810999
14:10.1	24/10/2015	51.632383
14:11.1	24/10/2015	51.632383
14:12.1	24/10/2015	51.632383
14:13.1	24/10/2015	51.810999
14:14.1	24/10/2015	51.810999
14:15.1	24/10/2015	51.989615
14:16.1	24/10/2015	51.810999
14:18.0	24/10/2015	51.27515
14:18.1	24/10/2015	51.27515
14:19.1	24/10/2015	51.810999
14:20.1	24/10/2015	51.453767
14:21.1	24/10/2015	51.453767
14:22.1	24/10/2015	51.453767
14:23.1	24/10/2015	51.632383
14:24.1	24/10/2015	51.632383
14:25.1	24/10/2015	51.632383
14:26.1	24/10/2015	51.453767
14:27.1	24/10/2015	51.810999
14:28.1	24/10/2015	51.453767
14:29.1	24/10/2015	51.632383
14:30.1	24/10/2015	51.27515

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
14:31.1	24/10/2015	51.632383
14:32.1	24/10/2015	51.632383
14:33.1	24/10/2015	51.810999
14:34.1	24/10/2015	51.453767
14:35.1	24/10/2015	51.632383
14:36.1	24/10/2015	51.632383
14:37.1	24/10/2015	51.810999
14:38.1	24/10/2015	51.453767
14:39.1	24/10/2015	51.632383
14:40.1	24/10/2015	51.632383
14:41.1	24/10/2015	51.810999
14:42.1	24/10/2015	51.989615
14:43.1	24/10/2015	51.989615
14:44.1	24/10/2015	51.453767
14:45.1	24/10/2015	51.632383
14:46.1	24/10/2015	51.453767
14:47.1	24/10/2015	51.810999
14:48.1	24/10/2015	51.632383
14:49.1	24/10/2015	51.989615
14:50.1	24/10/2015	51.989615
14:51.1	24/10/2015	51.810999
14:52.1	24/10/2015	51.810999
14:53.1	24/10/2015	51.453767
14:54.1	24/10/2015	51.989615
14:55.1	24/10/2015	51.453767
14:56.1	24/10/2015	51.810999
14:57.1	24/10/2015	51.632383

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
14:58.1	24/10/2015	51.632383
14:59.1	24/10/2015	51.453767
15:00.1	24/10/2015	51.096534
15:01.1	24/10/2015	51.453767

15:02.1	24/10/2015	51.632383
15:03.1	24/10/2015	50.917918
15:04.1	24/10/2015	51.810999
15:05.1	24/10/2015	51.632383
15:06.1	24/10/2015	51.632383
15:07.1	24/10/2015	51.810999
15:08.1	24/10/2015	51.27515
15:09.1	24/10/2015	51.810999
15:10.1	24/10/2015	51.632383
15:11.1	24/10/2015	51.27515
15:12.1	24/10/2015	51.632383
15:13.1	24/10/2015	51.453767
15:14.1	24/10/2015	51.27515
15:15.1	24/10/2015	51.27515
15:16.1	24/10/2015	51.453767
15:17.1	24/10/2015	51.453767
15:18.1	24/10/2015	51.632383
15:19.1	24/10/2015	52.168231
15:20.1	24/10/2015	51.632383
15:21.1	24/10/2015	51.632383
15:22.1	24/10/2015	51.632383
15:23.1	24/10/2015	51.453767
15:24.1	24/10/2015	51.810999

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
15:25.1	24/10/2015	51.989615
15:26.1	24/10/2015	51.632383
15:27.1	24/10/2015	51.453767
15:28.1	24/10/2015	51.632383
15:29.1	24/10/2015	51.632383
15:30.1	24/10/2015	51.632383
15:31.1	24/10/2015	51.810999
15:32.1	24/10/2015	51.27515
15:33.1	24/10/2015	51.096534

15:34.1	24/10/2015	51.453767
15:35.1	24/10/2015	51.453767
15:36.1	24/10/2015	51.632383
15:37.1	24/10/2015	51.632383
15:38.1	24/10/2015	51.453767
15:39.1	24/10/2015	51.632383
15:40.1	24/10/2015	51.27515
15:41.1	24/10/2015	51.632383
15:42.1	24/10/2015	51.632383
15:43.1	24/10/2015	51.632383
15:44.1	24/10/2015	51.453767
15:45.1	24/10/2015	51.27515
15:46.1	24/10/2015	51.27515
15:47.1	24/10/2015	51.27515
15:48.1	24/10/2015	51.632383
15:49.1	24/10/2015	51.453767
15:50.1	24/10/2015	51.453767
15:51.1	24/10/2015	51.632383

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
15:52.1	24/10/2015	51.810999
15:53.1	24/10/2015	51.989615
15:54.1	24/10/2015	51.632383
15:55.1	24/10/2015	52.168231
15:56.1	24/10/2015	52.346847
15:57.1	24/10/2015	52.882695
15:58.1	24/10/2015	52.525463
15:59.1	24/10/2015	52.525463
16:00.1	24/10/2015	51.989615
16:01.1	24/10/2015	52.525463
16:02.1	24/10/2015	52.525463
16:03.1	24/10/2015	52.346847
16:04.1	24/10/2015	52.525463
16:05.1	24/10/2015	52.168231

16:06.1	24/10/2015	52.882695
16:07.1	24/10/2015	52.346847
16:08.1	24/10/2015	52.346847
16:09.1	24/10/2015	52.525463
16:10.1	24/10/2015	52.346847
16:11.1	24/10/2015	52.525463
16:12.1	24/10/2015	52.346847
16:13.1	24/10/2015	52.525463
16:14.1	24/10/2015	51.989615
16:15.1	24/10/2015	52.346847
16:16.1	24/10/2015	52.346847
16:17.1	24/10/2015	52.168231
16:18.1	24/10/2015	52.346847

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
16:19.1	24/10/2015	52.346847
16:20.1	24/10/2015	52.346847
16:21.1	24/10/2015	52.346847
16:22.1	24/10/2015	52.882695
16:23.1	24/10/2015	52.168231
16:24.1	24/10/2015	52.525463
16:25.1	24/10/2015	52.346847
16:26.1	24/10/2015	52.346847
16:27.1	24/10/2015	52.525463
16:28.1	24/10/2015	52.525463
16:29.1	24/10/2015	52.168231
16:30.1	24/10/2015	52.525463
16:31.1	24/10/2015	52.346847
16:32.1	24/10/2015	52.882695
16:33.1	24/10/2015	52.882695
16:34.1	24/10/2015	52.525463
16:35.1	24/10/2015	52.525463
16:36.1	24/10/2015	52.346847
16:37.1	24/10/2015	52.525463

16:38.1	24/10/2015	52.346847
16:39.1	24/10/2015	52.346847
16:40.1	24/10/2015	52.346847
16:41.1	24/10/2015	52.525463
16:42.1	24/10/2015	52.525463
16:43.1	24/10/2015	52.346847
16:44.1	24/10/2015	52.704079
16:45.1	24/10/2015	53.061311

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
16:46.1	24/10/2015	52.346847
16:47.1	24/10/2015	51.989615
16:48.1	24/10/2015	52.704079
16:49.1	24/10/2015	52.525463
16:50.1	24/10/2015	52.704079
16:51.1	24/10/2015	52.704079
16:52.1	24/10/2015	52.525463
16:53.1	24/10/2015	52.525463
16:54.1	24/10/2015	52.525463
16:55.1	24/10/2015	52.525463
16:56.1	24/10/2015	52.525463
16:57.1	24/10/2015	52.525463
16:58.1	24/10/2015	53.061311
16:59.1	24/10/2015	52.882695
17:00.1	24/10/2015	52.525463
17:01.1	24/10/2015	52.346847
17:02.1	24/10/2015	52.525463
17:03.1	24/10/2015	52.704079
17:04.1	24/10/2015	52.168231
17:05.1	24/10/2015	51.989615
17:06.1	24/10/2015	52.346847
17:07.1	24/10/2015	52.525463
17:08.1	24/10/2015	52.346847
17:09.1	24/10/2015	52.525463

17:10.1	24/10/2015	52.525463
17:11.1	24/10/2015	52.346847
17:12.1	24/10/2015	52.525463

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
17:13.1	24/10/2015	52.168231
17:14.1	24/10/2015	52.704079
17:15.1	24/10/2015	52.525463
17:16.1	24/10/2015	52.882695
17:17.1	24/10/2015	52.525463
17:18.1	24/10/2015	51.989615
17:19.1	24/10/2015	52.168231
17:20.1	24/10/2015	52.346847
17:21.1	24/10/2015	52.346847
17:22.1	24/10/2015	52.525463
17:23.1	24/10/2015	52.168231
17:24.1	24/10/2015	52.168231
17:25.1	24/10/2015	52.346847
17:26.2	24/10/2015	52.704079
17:27.1	24/10/2015	52.346847
17:28.1	24/10/2015	52.525463
17:29.1	24/10/2015	52.525463
17:30.1	24/10/2015	52.525463
17:31.1	24/10/2015	52.704079
17:32.1	24/10/2015	52.346847
17:33.1	24/10/2015	52.525463
17:34.1	24/10/2015	52.168231
17:35.1	24/10/2015	52.525463
17:36.1	24/10/2015	52.346847
17:37.1	24/10/2015	52.346847
17:38.1	24/10/2015	52.525463
17:39.1	24/10/2015	52.882695

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
---------	------	-------------------

17:40.1	24/10/2015	52.525463
17:41.1	24/10/2015	52.346847
17:42.1	24/10/2015	52.346847
17:43.1	24/10/2015	52.168231
17:44.1	24/10/2015	52.346847
17:45.1	24/10/2015	52.346847
17:46.1	24/10/2015	52.525463
17:47.1	24/10/2015	52.525463
17:48.1	24/10/2015	52.525463
17:49.1	24/10/2015	52.346847
17:50.1	24/10/2015	51.810999
17:51.1	24/10/2015	53.061311
17:52.1	24/10/2015	52.525463
17:53.1	24/10/2015	51.989615
17:54.1	24/10/2015	52.168231
17:55.1	24/10/2015	52.525463
17:56.1	24/10/2015	52.525463
17:57.1	24/10/2015	52.168231
17:58.1	24/10/2015	52.168231
17:59.1	24/10/2015	51.989615
18:00.1	24/10/2015	52.346847
18:01.1	24/10/2015	52.525463
18:02.1	24/10/2015	52.346847
18:03.1	24/10/2015	52.525463
18:04.1	24/10/2015	52.346847
18:05.1	24/10/2015	52.525463
18:06.1	24/10/2015	52.882695

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
18:07.1	24/10/2015	52.525463
18:08.1	24/10/2015	52.704079
18:09.1	24/10/2015	52.346847
18:10.1	24/10/2015	52.346847
18:11.1	24/10/2015	52.346847

18:12.1	24/10/2015	52.346847
18:13.1	24/10/2015	53.061311
18:14.1	24/10/2015	51.989615
18:15.1	24/10/2015	52.525463
18:16.1	24/10/2015	52.168231
18:17.1	24/10/2015	51.989615
18:18.1	24/10/2015	52.346847
18:19.1	24/10/2015	52.525463
18:20.1	24/10/2015	52.346847
18:21.1	24/10/2015	51.989615
18:22.1	24/10/2015	52.168231
18:23.1	24/10/2015	52.525463
18:24.1	24/10/2015	52.346847
18:25.1	24/10/2015	52.882695
18:26.1	24/10/2015	52.882695
18:27.1	24/10/2015	52.525463
18:28.1	24/10/2015	52.346847
18:29.1	24/10/2015	52.346847
18:30.1	24/10/2015	52.704079
18:31.1	24/10/2015	52.346847
18:32.1	24/10/2015	52.346847
18:33.1	24/10/2015	52.525463

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
18:34.1	24/10/2015	52.525463
18:35.1	24/10/2015	52.346847
18:36.1	24/10/2015	52.346847
18:37.1	24/10/2015	52.346847
18:38.1	24/10/2015	52.346847
18:39.1	24/10/2015	52.525463
18:40.1	24/10/2015	51.810999
18:41.1	24/10/2015	52.525463
18:42.1	24/10/2015	52.704079
18:43.1	24/10/2015	52.704079

18:44.1	24/10/2015	52.704079
18:45.1	24/10/2015	52.525463
18:46.1	24/10/2015	52.525463
18:47.1	24/10/2015	52.882695
18:48.1	24/10/2015	52.346847
18:49.1	24/10/2015	52.168231
18:50.1	24/10/2015	52.525463
18:51.1	24/10/2015	51.989615
18:52.1	24/10/2015	52.346847
18:53.1	24/10/2015	52.525463
18:54.1	24/10/2015	52.704079
18:55.1	24/10/2015	52.525463
18:56.1	24/10/2015	52.346847
18:57.1	24/10/2015	52.346847
18:58.1	24/10/2015	52.168231
18:59.1	24/10/2015	52.346847
19:00.1	24/10/2015	52.704079

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
19:01.1	24/10/2015	52.346847
19:02.1	24/10/2015	52.525463
19:03.1	24/10/2015	52.525463
19:04.1	24/10/2015	52.704079
19:05.1	24/10/2015	52.168231
19:06.1	24/10/2015	52.704079
19:07.1	24/10/2015	52.525463
19:08.1	24/10/2015	52.346847
19:09.1	24/10/2015	52.346847
19:10.1	24/10/2015	52.704079
19:11.1	24/10/2015	53.061311
19:12.1	24/10/2015	53.061311
19:13.1	24/10/2015	52.525463
19:14.1	24/10/2015	52.525463
19:15.1	24/10/2015	52.704079

19:16.1	24/10/2015	52.525463
19:17.1	24/10/2015	52.882695
19:18.1	24/10/2015	52.346847
19:19.1	24/10/2015	52.704079
19:20.1	24/10/2015	53.061311
19:21.1	24/10/2015	52.525463
19:22.1	24/10/2015	52.525463
19:23.1	24/10/2015	52.882695
19:24.1	24/10/2015	52.704079
19:25.1	24/10/2015	52.882695
19:26.1	24/10/2015	53.061311
19:27.1	24/10/2015	52.346847

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
19:28.1	24/10/2015	52.346847
19:29.1	24/10/2015	52.525463
19:30.1	24/10/2015	52.882695
19:31.1	24/10/2015	52.168231
19:32.1	24/10/2015	52.882695
19:33.1	24/10/2015	52.882695
19:34.1	24/10/2015	52.525463
19:35.1	24/10/2015	52.882695
19:36.1	24/10/2015	52.346847
19:37.1	24/10/2015	52.882695
19:38.1	24/10/2015	52.346847
19:39.1	24/10/2015	52.525463
19:40.1	24/10/2015	52.525463
19:41.1	24/10/2015	52.525463
19:42.1	24/10/2015	52.525463
19:43.1	24/10/2015	52.704079
19:44.1	24/10/2015	52.882695
19:45.1	24/10/2015	52.882695
19:46.1	24/10/2015	52.704079
19:47.1	24/10/2015	52.882695

19:48.1	24/10/2015	52.704079
19:49.1	24/10/2015	52.346847
19:50.1	24/10/2015	52.704079
19:51.1	24/10/2015	52.346847
19:52.1	24/10/2015	52.882695
19:53.1	24/10/2015	52.882695
19:54.1	24/10/2015	52.882695

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
19:55.1	24/10/2015	52.704079
19:56.1	24/10/2015	53.061311
19:57.1	24/10/2015	52.882695
19:58.1	24/10/2015	52.882695
19:59.1	24/10/2015	52.525463
20:00.1	24/10/2015	52.346847
20:01.1	24/10/2015	52.525463
20:02.1	24/10/2015	53.061311
20:03.1	24/10/2015	52.525463
20:04.1	24/10/2015	52.525463
20:05.1	24/10/2015	52.704079
20:06.1	24/10/2015	52.704079
20:07.1	24/10/2015	52.525463
20:08.1	24/10/2015	52.168231
20:09.1	24/10/2015	52.704079
20:10.1	24/10/2015	52.882695
20:11.1	24/10/2015	52.525463
20:12.1	24/10/2015	52.346847
20:13.1	24/10/2015	52.525463
20:14.1	24/10/2015	52.704079
20:15.1	24/10/2015	52.525463
20:16.1	24/10/2015	52.704079
20:17.1	24/10/2015	52.882695
20:18.1	24/10/2015	52.168231
20:19.1	24/10/2015	52.168231

20:20.1	24/10/2015	52.346847
20:21.1	24/10/2015	52.525463

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
20:22.1	24/10/2015	52.882695
20:23.1	24/10/2015	52.525463
20:24.1	24/10/2015	52.525463
20:25.1	24/10/2015	53.239927
20:26.1	24/10/2015	52.882695
20:27.1	24/10/2015	52.704079
20:28.1	24/10/2015	52.525463
20:29.1	24/10/2015	52.882695
20:30.1	24/10/2015	52.525463
20:31.1	24/10/2015	52.346847
20:32.1	24/10/2015	52.346847
20:33.1	24/10/2015	52.525463
20:34.1	24/10/2015	52.704079
20:35.1	24/10/2015	52.346847
20:36.1	24/10/2015	53.061311
20:37.1	24/10/2015	52.882695
20:38.1	24/10/2015	52.346847
20:39.1	24/10/2015	52.525463
20:40.1	24/10/2015	52.525463
20:41.1	24/10/2015	52.346847
20:42.1	24/10/2015	52.525463
20:43.1	24/10/2015	52.704079
20:44.1	24/10/2015	52.525463
20:45.1	24/10/2015	52.525463
20:46.1	24/10/2015	52.525463
20:47.1	24/10/2015	52.525463
20:48.1	24/10/2015	52.882695

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
20:49.1	24/10/2015	52.525463

20:50.1	24/10/2015	52.882695
20:51.1	24/10/2015	52.704079
20:52.1	24/10/2015	52.704079
20:53.1	24/10/2015	52.704079
20:54.1	24/10/2015	52.525463
20:55.1	24/10/2015	52.704079
20:56.1	24/10/2015	52.882695
20:57.1	24/10/2015	52.704079
20:58.1	24/10/2015	52.882695
20:59.1	24/10/2015	52.882695
21:00.1	24/10/2015	52.525463
21:01.1	24/10/2015	52.882695
21:02.1	24/10/2015	52.882695
21:03.1	24/10/2015	52.346847
21:04.1	24/10/2015	52.704079
21:05.1	24/10/2015	52.882695
21:06.1	24/10/2015	52.525463
21:07.1	24/10/2015	52.882695
21:08.1	24/10/2015	52.882695
21:09.1	24/10/2015	52.882695
21:10.1	24/10/2015	52.882695
21:11.1	24/10/2015	53.061311
21:12.1	24/10/2015	52.525463
21:13.1	24/10/2015	52.346847
21:14.1	24/10/2015	52.882695
21:15.1	24/10/2015	52.346847

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
21:16.1	24/10/2015	52.525463
21:17.1	24/10/2015	52.525463
21:18.1	24/10/2015	52.525463
21:19.1	24/10/2015	52.882695
21:20.1	24/10/2015	52.346847
21:21.1	24/10/2015	52.346847

21:22.1	24/10/2015	52.525463
21:23.1	24/10/2015	52.525463
21:24.1	24/10/2015	52.525463
21:25.1	24/10/2015	52.882695
21:26.1	24/10/2015	53.061311
21:27.1	24/10/2015	52.882695
21:28.1	24/10/2015	52.346847
21:29.1	24/10/2015	52.525463
21:30.1	24/10/2015	53.061311
21:31.1	24/10/2015	52.704079
21:32.1	24/10/2015	53.061311
21:33.1	24/10/2015	53.061311
21:34.1	24/10/2015	52.704079
21:35.1	24/10/2015	52.882695
21:36.1	24/10/2015	52.525463
21:37.1	24/10/2015	52.882695
21:38.1	24/10/2015	53.061311
21:39.1	24/10/2015	53.061311
21:40.1	24/10/2015	52.525463
21:41.1	24/10/2015	52.882695
21:42.1	24/10/2015	52.882695

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
21:43.1	24/10/2015	52.525463
21:44.1	24/10/2015	52.882695
21:45.1	24/10/2015	52.882695
21:46.1	24/10/2015	52.704079
21:47.1	24/10/2015	52.346847
21:48.1	24/10/2015	52.882695
21:49.1	24/10/2015	53.061311
21:50.1	24/10/2015	52.525463
21:51.1	24/10/2015	52.882695
21:52.1	24/10/2015	52.882695
21:53.1	24/10/2015	53.061311

21:54.1	24/10/2015	52.882695
21:55.1	24/10/2015	52.882695
21:56.1	24/10/2015	52.525463
21:57.1	24/10/2015	52.525463
21:58.1	24/10/2015	52.882695
21:59.1	24/10/2015	53.061311
22:00.1	24/10/2015	52.882695
22:01.1	24/10/2015	52.525463
22:02.1	24/10/2015	53.061311
22:03.1	24/10/2015	53.239927
22:04.1	24/10/2015	52.525463
22:05.1	24/10/2015	52.882695
22:06.1	24/10/2015	53.061311
22:07.1	24/10/2015	52.704079
22:08.1	24/10/2015	52.525463
22:09.1	24/10/2015	53.061311

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
22:10.1	24/10/2015	52.882695
22:11.1	24/10/2015	52.704079
22:12.1	24/10/2015	53.239927
22:13.1	24/10/2015	52.346847
22:14.1	24/10/2015	52.882695
22:15.1	24/10/2015	52.882695
22:16.1	24/10/2015	53.061311
22:17.1	24/10/2015	52.704079
22:18.1	24/10/2015	53.061311
22:19.1	24/10/2015	53.061311
22:20.1	24/10/2015	52.882695
22:21.1	24/10/2015	52.882695
22:22.1	24/10/2015	52.704079
22:23.1	24/10/2015	52.882695
22:24.1	24/10/2015	52.525463
22:25.1	24/10/2015	53.061311

22:26.1	24/10/2015	52.882695
22:27.1	24/10/2015	52.704079
22:28.1	24/10/2015	53.061311
22:29.1	24/10/2015	52.882695
22:30.1	24/10/2015	53.061311
22:31.1	24/10/2015	52.882695
22:32.1	24/10/2015	53.061311
22:33.1	24/10/2015	53.061311
22:34.1	24/10/2015	52.704079
22:35.1	24/10/2015	52.704079
22:36.1	24/10/2015	53.061311

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
22:37.1	24/10/2015	52.346847
22:38.1	24/10/2015	53.061311
22:39.1	24/10/2015	53.061311
22:40.1	24/10/2015	53.418543
22:41.1	24/10/2015	52.882695
22:42.1	24/10/2015	52.525463
22:43.1	24/10/2015	52.704079
22:44.1	24/10/2015	52.882695
22:45.1	24/10/2015	52.882695
22:46.1	24/10/2015	52.346847
22:47.1	24/10/2015	53.061311
22:48.1	24/10/2015	52.882695
22:49.1	24/10/2015	53.061311
22:50.1	24/10/2015	52.704079
22:51.1	24/10/2015	53.239927
22:52.1	24/10/2015	52.882695
22:53.1	24/10/2015	52.704079
22:54.1	24/10/2015	53.061311
22:55.1	24/10/2015	53.061311
22:56.1	24/10/2015	52.704079
22:57.1	24/10/2015	52.882695

22:58.1	24/10/2015	53.061311
22:59.1	24/10/2015	52.525463
23:00.1	24/10/2015	53.061311
23:01.1	24/10/2015	52.704079
23:02.1	24/10/2015	52.525463
23:03.1	24/10/2015	53.239927

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
23:04.1	24/10/2015	53.239927
23:05.1	24/10/2015	52.882695
23:06.1	24/10/2015	53.061311
23:07.1	24/10/2015	53.061311
23:08.1	24/10/2015	53.061311
23:09.1	24/10/2015	52.882695
23:10.1	24/10/2015	53.061311
23:11.1	24/10/2015	53.061311
23:12.1	24/10/2015	53.239927
23:13.1	24/10/2015	53.239927
23:14.1	24/10/2015	52.882695
23:15.1	24/10/2015	53.061311
23:16.1	24/10/2015	53.239927
23:17.1	24/10/2015	53.061311
23:18.1	24/10/2015	52.882695
23:19.1	24/10/2015	52.882695
23:20.1	24/10/2015	53.061311
23:21.1	24/10/2015	53.061311
23:22.1	24/10/2015	53.061311
23:23.1	24/10/2015	52.882695
23:24.1	24/10/2015	52.882695
23:25.1	24/10/2015	53.239927
23:26.1	24/10/2015	53.061311
23:27.1	24/10/2015	52.882695
23:28.1	24/10/2015	53.239927
23:29.1	24/10/2015	53.061311

23:30.1	24/10/2015	53.061311
---------	------------	-----------

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
23:31.1	24/10/2015	52.882695
23:32.1	24/10/2015	53.061311
23:33.1	24/10/2015	53.239927
23:34.1	24/10/2015	53.061311
23:35.1	24/10/2015	53.061311
23:36.1	24/10/2015	53.418543
23:37.1	24/10/2015	53.061311
23:38.1	24/10/2015	53.061311
23:39.1	24/10/2015	53.061311
23:40.1	24/10/2015	52.882695
23:41.1	24/10/2015	53.061311
23:42.1	24/10/2015	53.597159
23:43.1	24/10/2015	52.882695
23:44.1	24/10/2015	52.882695
23:45.1	24/10/2015	53.061311
23:46.1	24/10/2015	53.061311
23:47.1	24/10/2015	53.061311
23:48.1	24/10/2015	53.418543
23:49.1	24/10/2015	53.061311
23:50.1	24/10/2015	52.882695
23:51.1	24/10/2015	52.882695
23:52.1	24/10/2015	53.418543
23:53.1	24/10/2015	52.882695
23:54.1	24/10/2015	53.061311
23:55.1	24/10/2015	53.239927
23:56.1	24/10/2015	53.061311
23:57.1	24/10/2015	53.061311

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
23:58.1	24/10/2015	53.061311
23:59.1	24/10/2015	52.882695

24:00.1	24/10/2015	53.061311
24:01.1	24/10/2015	52.525463
24:02.1	24/10/2015	52.882695
24:03.1	24/10/2015	52.346847
24:04.1	24/10/2015	52.882695
24:05.1	24/10/2015	52.346847
24:06.1	24/10/2015	53.061311
24:07.1	24/10/2015	52.882695
24:08.1	24/10/2015	52.882695
24:09.1	24/10/2015	52.704079
24:10.1	24/10/2015	53.418543
24:11.1	24/10/2015	52.704079
24:12.1	24/10/2015	53.061311
24:13.1	24/10/2015	52.882695
24:14.1	24/10/2015	53.239927
24:15.1	24/10/2015	52.882695
24:16.1	24/10/2015	52.882695
24:17.1	24/10/2015	53.239927
24:18.1	24/10/2015	52.882695
24:19.1	24/10/2015	53.061311
24:20.1	24/10/2015	53.061311
24:21.1	24/10/2015	52.882695
24:22.1	24/10/2015	53.061311
24:23.1	24/10/2015	53.061311
24:24.1	24/10/2015	53.061311

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
24:25.1	24/10/2015	52.882695
24:26.1	24/10/2015	53.061311
24:27.1	24/10/2015	53.061311
24:28.1	24/10/2015	52.882695
24:29.1	24/10/2015	53.239927
24:30.1	24/10/2015	52.525463
24:31.1	24/10/2015	53.061311

24:32.1	24/10/2015	52.882695
24:33.1	24/10/2015	53.239927
24:34.1	24/10/2015	53.239927
24:35.1	24/10/2015	53.239927
24:36.1	24/10/2015	52.882695
24:37.1	24/10/2015	53.061311
24:38.1	24/10/2015	52.704079
24:39.1	24/10/2015	53.418543
24:40.1	24/10/2015	53.061311
24:41.1	24/10/2015	53.061311
24:42.1	24/10/2015	52.704079
24:43.1	24/10/2015	53.239927
24:44.1	24/10/2015	53.597159
24:45.1	24/10/2015	53.061311
24:46.1	24/10/2015	53.061311
24:47.1	24/10/2015	53.061311
24:48.1	24/10/2015	53.061311
24:49.1	24/10/2015	53.418543
24:50.1	24/10/2015	53.061311
24:51.1	24/10/2015	52.882695

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
24:52.1	24/10/2015	52.704079
24:53.1	24/10/2015	52.882695
24:54.1	24/10/2015	52.525463
24:55.1	24/10/2015	52.882695
24:56.1	24/10/2015	53.061311
24:57.1	24/10/2015	53.418543
24:58.1	24/10/2015	53.597159
24:59.1	24/10/2015	53.061311
25:00.1	24/10/2015	53.418543
25:01.1	24/10/2015	53.239927
25:02.1	24/10/2015	53.418543
25:03.1	24/10/2015	53.418543

25:04.1	24/10/2015	53.061311
25:05.1	24/10/2015	52.882695
25:06.1	24/10/2015	52.882695
25:07.1	24/10/2015	53.061311
25:08.1	24/10/2015	53.239927
25:09.1	24/10/2015	52.704079
25:10.1	24/10/2015	52.704079
25:11.1	24/10/2015	53.061311
25:12.1	24/10/2015	53.597159
25:13.1	24/10/2015	53.061311
25:14.1	24/10/2015	52.704079
25:15.1	24/10/2015	53.061311
25:16.1	24/10/2015	53.418543
25:17.1	24/10/2015	52.882695
25:18.1	24/10/2015	53.061311

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
25:19.1	24/10/2015	52.704079
25:20.1	24/10/2015	53.239927
25:21.1	24/10/2015	53.061311
25:22.1	24/10/2015	53.239927
25:23.1	24/10/2015	53.239927
25:24.1	24/10/2015	53.239927
25:25.1	24/10/2015	53.239927
25:26.1	24/10/2015	53.418543
25:27.1	24/10/2015	53.239927
25:28.1	24/10/2015	53.239927
25:29.1	24/10/2015	53.061311
25:30.1	24/10/2015	53.418543
25:31.1	24/10/2015	53.239927
25:32.1	24/10/2015	53.061311
25:33.1	24/10/2015	53.061311
25:34.1	24/10/2015	53.239927
25:35.1	24/10/2015	53.061311

25:36.1	24/10/2015	53.418543
25:37.1	24/10/2015	52.882695
25:38.1	24/10/2015	53.239927
25:39.1	24/10/2015	53.239927
25:40.1	24/10/2015	52.525463
25:41.1	24/10/2015	53.239927
25:42.1	24/10/2015	53.239927
25:43.1	24/10/2015	53.239927
25:44.1	24/10/2015	53.418543
25:45.1	24/10/2015	53.061311

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
25:46.1	24/10/2015	53.239927
25:47.1	24/10/2015	53.239927
25:48.1	24/10/2015	53.775775
25:49.1	24/10/2015	53.061311
25:50.1	24/10/2015	53.239927
25:51.1	24/10/2015	53.239927
25:52.1	24/10/2015	53.239927
25:53.1	24/10/2015	53.418543
25:54.1	24/10/2015	53.061311
25:55.1	24/10/2015	53.239927
25:56.1	24/10/2015	53.239927
25:57.1	24/10/2015	53.418543
25:58.1	24/10/2015	53.061311
25:59.1	24/10/2015	53.418543
26:00.1	24/10/2015	52.882695
26:01.1	24/10/2015	53.418543
26:02.1	24/10/2015	53.239927
26:03.1	24/10/2015	53.061311
26:04.1	24/10/2015	52.882695
26:05.1	24/10/2015	53.061311
26:06.1	24/10/2015	53.061311
26:07.1	24/10/2015	53.239927

26:08.1	24/10/2015	52.882695
26:09.1	24/10/2015	52.525463
26:10.1	24/10/2015	53.061311
26:11.1	24/10/2015	53.061311
26:12.1	24/10/2015	52.525463

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
26:13.1	24/10/2015	53.061311
26:14.1	24/10/2015	53.061311
26:15.1	24/10/2015	53.061311
26:16.1	24/10/2015	53.239927
26:17.1	24/10/2015	53.418543
26:18.1	24/10/2015	53.239927
26:19.1	24/10/2015	53.061311
26:20.1	24/10/2015	53.418543
26:21.1	24/10/2015	53.239927
26:22.1	24/10/2015	52.882695
26:23.1	24/10/2015	53.239927
26:24.1	24/10/2015	53.418543
26:25.1	24/10/2015	53.061311
26:26.1	24/10/2015	53.061311
26:27.1	24/10/2015	53.239927
26:28.1	24/10/2015	53.239927
26:29.1	24/10/2015	53.239927
26:30.1	24/10/2015	52.882695
26:31.1	24/10/2015	53.061311
26:32.1	24/10/2015	53.418543
26:33.1	24/10/2015	53.239927
26:34.1	24/10/2015	53.061311
26:35.1	24/10/2015	53.239927
26:36.1	24/10/2015	52.882695
26:37.1	24/10/2015	52.882695
26:38.1	24/10/2015	53.061311
26:39.1	24/10/2015	53.061311

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
26:40.1	24/10/2015	53.418543
26:41.1	24/10/2015	53.239927
26:42.1	24/10/2015	53.061311
26:43.1	24/10/2015	53.418543
26:44.1	24/10/2015	53.061311
26:45.1	24/10/2015	53.061311
26:46.1	24/10/2015	53.061311
26:47.1	24/10/2015	53.061311
26:48.1	24/10/2015	53.061311
26:49.1	24/10/2015	53.239927
26:50.1	24/10/2015	53.418543
26:51.1	24/10/2015	53.239927
26:52.1	24/10/2015	53.239927
26:53.1	24/10/2015	53.239927
26:54.1	24/10/2015	53.239927
26:55.1	24/10/2015	52.882695
26:56.1	24/10/2015	53.061311
26:57.1	24/10/2015	53.061311
26:58.1	24/10/2015	53.061311
26:59.1	24/10/2015	52.704079
27:00.1	24/10/2015	53.597159
27:01.1	24/10/2015	53.239927
27:02.1	24/10/2015	52.882695
27:03.1	24/10/2015	52.882695
27:04.1	24/10/2015	53.061311
27:05.1	24/10/2015	53.239927
27:06.1	24/10/2015	53.239927

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
27:07.1	24/10/2015	53.061311
27:08.1	24/10/2015	53.239927
27:09.1	24/10/2015	53.239927

27:10.1	24/10/2015	52.882695
27:11.1	24/10/2015	53.239927
27:12.1	24/10/2015	53.239927
27:13.1	24/10/2015	53.418543
27:14.1	24/10/2015	53.239927
27:15.1	24/10/2015	53.239927
27:16.1	24/10/2015	53.597159
27:17.1	24/10/2015	53.061311
27:18.1	24/10/2015	52.882695
27:19.1	24/10/2015	53.418543
27:20.1	24/10/2015	53.418543
27:21.1	24/10/2015	52.882695
27:22.1	24/10/2015	53.061311
27:23.1	24/10/2015	52.882695
27:24.1	24/10/2015	53.239927
27:25.1	24/10/2015	53.418543
27:26.1	24/10/2015	52.882695
27:27.1	24/10/2015	52.882695
27:28.1	24/10/2015	52.704079
27:29.1	24/10/2015	52.168231
27:30.1	24/10/2015	51.453767
27:31.1	24/10/2015	51.810999
27:32.1	24/10/2015	51.989615
27:33.1	24/10/2015	52.168231

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
27:34.1	24/10/2015	51.810999
27:35.1	24/10/2015	52.168231
27:36.1	24/10/2015	51.989615
27:37.1	24/10/2015	51.989615
27:38.1	24/10/2015	52.346847
27:39.1	24/10/2015	51.453767
27:40.1	24/10/2015	52.168231
27:41.1	24/10/2015	51.989615

27:42.1	24/10/2015	51.632383
27:43.1	24/10/2015	51.810999
27:44.1	24/10/2015	52.168231
27:45.1	24/10/2015	52.168231
27:46.1	24/10/2015	51.989615
27:47.1	24/10/2015	51.632383
27:48.1	24/10/2015	51.989615
27:49.1	24/10/2015	51.989615
27:50.1	24/10/2015	51.810999
27:51.1	24/10/2015	51.989615
27:52.1	24/10/2015	52.346847
27:53.1	24/10/2015	52.346847
27:54.1	24/10/2015	51.989615
27:55.1	24/10/2015	52.346847
27:56.1	24/10/2015	51.632383
27:57.1	24/10/2015	51.810999
27:58.1	24/10/2015	51.989615
27:59.1	24/10/2015	51.632383
28:00.1	24/10/2015	52.168231

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
28:01.1	24/10/2015	52.346847
28:02.1	24/10/2015	52.168231
28:03.1	24/10/2015	52.346847
28:04.1	24/10/2015	51.989615
28:05.1	24/10/2015	51.989615
28:06.1	24/10/2015	51.810999
28:07.1	24/10/2015	51.989615
28:08.1	24/10/2015	51.632383
28:09.1	24/10/2015	51.632383
28:10.1	24/10/2015	51.632383
28:11.1	24/10/2015	52.346847
28:12.1	24/10/2015	51.632383
28:13.1	24/10/2015	51.810999

28:14.1	24/10/2015	51.632383
28:15.1	24/10/2015	51.989615
28:16.1	24/10/2015	51.989615
28:17.1	24/10/2015	52.346847
28:18.1	24/10/2015	51.632383
28:19.1	24/10/2015	51.632383
28:20.1	24/10/2015	51.810999
28:21.1	24/10/2015	51.632383
28:22.1	24/10/2015	51.989615
28:23.1	24/10/2015	52.168231
28:24.1	24/10/2015	52.168231
28:25.1	24/10/2015	51.27515
28:26.1	24/10/2015	51.27515
28:27.1	24/10/2015	51.810999

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
28:28.1	24/10/2015	51.989615
28:29.1	24/10/2015	52.346847
28:30.1	24/10/2015	51.989615
28:31.1	24/10/2015	51.989615
28:32.1	24/10/2015	51.810999
28:33.1	24/10/2015	51.453767
28:34.1	24/10/2015	51.810999
28:35.1	24/10/2015	51.810999
28:36.1	24/10/2015	52.168231
28:37.1	24/10/2015	51.632383
28:38.1	24/10/2015	51.632383
28:39.1	24/10/2015	51.27515
28:40.1	24/10/2015	51.989615
28:41.1	24/10/2015	51.632383
28:42.1	24/10/2015	51.453767
28:43.1	24/10/2015	51.810999
28:44.1	24/10/2015	51.810999
28:45.1	24/10/2015	51.632383

28:46.1	24/10/2015	51.989615
28:47.1	24/10/2015	51.632383
28:48.1	24/10/2015	51.632383
28:49.1	24/10/2015	52.346847
28:50.1	24/10/2015	51.810999
28:51.1	24/10/2015	52.346847
28:52.1	24/10/2015	51.989615
28:53.1	24/10/2015	52.168231
28:54.1	24/10/2015	51.989615

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
28:55.1	24/10/2015	51.989615
28:56.1	24/10/2015	51.810999
28:57.1	24/10/2015	52.346847
28:58.1	24/10/2015	51.989615
28:59.1	24/10/2015	52.168231
29:00.1	24/10/2015	52.168231
29:01.1	24/10/2015	52.168231
29:02.1	24/10/2015	51.989615
29:03.1	24/10/2015	51.632383
29:04.1	24/10/2015	51.989615
29:05.1	24/10/2015	51.989615
29:06.1	24/10/2015	51.810999
29:07.1	24/10/2015	52.168231
29:08.1	24/10/2015	51.632383
29:09.1	24/10/2015	51.989615
29:10.1	24/10/2015	52.168231
29:11.1	24/10/2015	52.168231
29:12.1	24/10/2015	51.989615
29:13.1	24/10/2015	52.346847
29:14.1	24/10/2015	52.346847
29:15.1	24/10/2015	51.989615
29:16.1	24/10/2015	51.810999
29:17.1	24/10/2015	51.810999

29:18.1	24/10/2015	51.989615
29:19.1	24/10/2015	52.168231
29:20.1	24/10/2015	51.989615
29:21.1	24/10/2015	52.168231

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
29:22.1	24/10/2015	51.989615
29:23.1	24/10/2015	52.525463
29:24.1	24/10/2015	52.346847
29:25.1	24/10/2015	52.168231
29:26.1	24/10/2015	52.525463
29:27.1	24/10/2015	52.168231
29:28.1	24/10/2015	51.989615
29:29.1	24/10/2015	52.168231
29:30.1	24/10/2015	52.168231
29:31.1	24/10/2015	52.168231
29:32.1	24/10/2015	51.810999
29:33.1	24/10/2015	51.989615
29:34.1	24/10/2015	51.989615
29:35.1	24/10/2015	51.810999
29:36.1	24/10/2015	51.989615
29:37.1	24/10/2015	52.346847
29:38.1	24/10/2015	51.989615
29:39.1	24/10/2015	51.989615
29:40.1	24/10/2015	51.989615
29:41.1	24/10/2015	52.346847
29:42.1	24/10/2015	52.525463
29:43.1	24/10/2015	52.525463
29:44.1	24/10/2015	52.346847
29:45.1	24/10/2015	52.168231
29:22.1	24/10/2015	51.989615
29:23.1	24/10/2015	52.525463
29:24.1	24/10/2015	52.346847

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

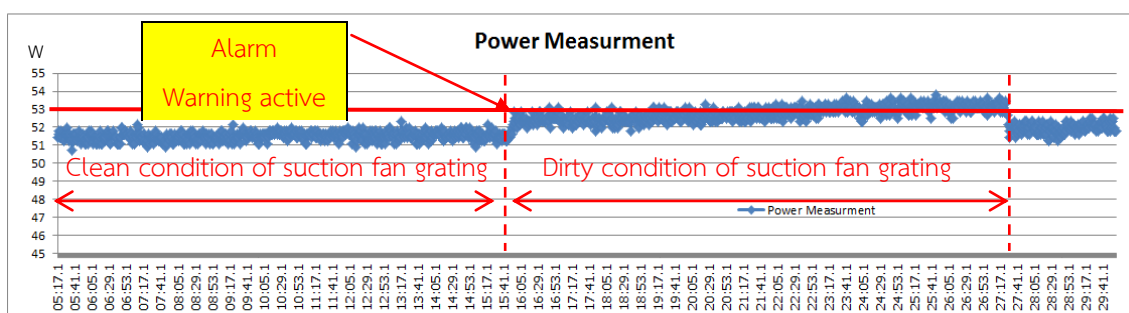
Min:sec	Date	Power Measurement
29:25.1	24/10/2015	52.168231
29:26.1	24/10/2015	52.525463
29:27.1	24/10/2015	52.168231
29:28.1	24/10/2015	51.989615
29:29.1	24/10/2015	52.168231
29:30.1	24/10/2015	52.168231
29:31.1	24/10/2015	52.168231
29:32.1	24/10/2015	51.810999
29:33.1	24/10/2015	51.989615
29:34.1	24/10/2015	51.989615
29:35.1	24/10/2015	51.810999
29:36.1	24/10/2015	51.989615
29:37.1	24/10/2015	52.346847
29:38.1	24/10/2015	51.989615
29:39.1	24/10/2015	51.989615
29:40.1	24/10/2015	51.989615
29:41.1	24/10/2015	52.346847
29:42.1	24/10/2015	52.525463
29:43.1	24/10/2015	52.525463
29:44.1	24/10/2015	52.346847
29:45.1	24/10/2015	52.168231
29:46.1	24/10/2015	52.168231
29:47.1	24/10/2015	51.810999
29:48.1	24/10/2015	51.989615
29:49.1	24/10/2015	51.810999
29:50.1	24/10/2015	52.346847
29:51.1	24/10/2015	51.810999

ตารางที่ 4-1 ผลการบันทึกปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า (ต่อ)

Min:sec	Date	Power Measurement
29:52.1	24/10/2015	52.525463
29:53.1	24/10/2015	51.989615
29:54.1	24/10/2015	52.346847
29:55.1	24/10/2015	52.346847

29:56.1	24/10/2015	52.525463
29:57.1	24/10/2015	51.989615
29:58.1	24/10/2015	51.810999
29:59.1	24/10/2015	51.810999
30:00.1	24/10/2015	51.810999

จากผลการศึกษาในการตรวจวัดในตารางที่ 4-1 สามารถนำมาพล็อตกราฟได้โดยสามารถแสดงผลได้ในภาพที่ 4-10 ซึ่งในภาพที่ 4-10 แสดงผลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าการใช้พลังงานของพัดลมแบบไร้สายโดยค่าความผิดพลาดเมื่อเทียบกับการวัดค่าแบบใช้สายอยู่ที่ 0.5% ซึ่งในการทดลองนั้นได้ทำการตั้งเงื่อนไขการตรวจวัดและเปรียบเทียบพลังงานที่พัดลมทำงานคือ กำลังไฟฟ้าขณะพัดลมนั้นทำงานปกติและมีสิ่งกีดขวางด้านดูดของพัดลม พบว่ากำลังไฟฟ้าขณะทำงานปกติอยู่ที่ประมาณ 51.5W แต่เมื่อมีสิ่งกีดขวางด้านดูดกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นประมาณ 53-54 W



ภาพที่ 4-10 การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าของพัดลมในสถานะตะแกรงด้านดูดของพัดลมสะอาดและสกปรก

ซึ่งทำให้ใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้นดังนั้นการเพิ่มขึ้นกำลังไฟฟ้าง่าวนั้นบ่งบอกถึงต้องมีการจัดการตรวจสอบ หรือบำรุงรักษาอุปกรณ์เพื่อให้กำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นนั้นลดลงหรือใกล้เคียงค่าเดิม ซึ่งผลการทดสอบนั้นสามารถนำไปกำหนดแผนการบำรุงรักษาหรือระยะเวลาตรวจสอบเพื่อการอนุรักษ์พลังงานให้ยั่งยืนได้โดยสามารถสร้างระบบเตือนเมื่อค่าพลังงานไฟฟ้าขึ้นไปถึงค่าลิมิต (Limit) เพื่อให้ทำการทำความสะอาดหรือบำรุงรักษาในแผนงานอนุรักษ์พลังงานได้

4.2 ผลศึกษารูปแบบโครงข่ายเพื่อสำหรับระบบเฝ้าติดตามคุณภาพทางไฟฟ้าและประเมินผลการอนุรักษ์พลังงานอัจฉริยะ

ระบบเครือข่ายไร้สาย (WLAN = Wireless Local Area Network) คือ ระบบการสื่อสารข้อมูลที่มีรูปแบบในการสื่อสารแบบไม่ใช้สาย โดยการใช้การส่งคลื่นความถี่วิทยุในย่านวิทยุ RF และ คลื่นอินฟราเรด ในการรับและส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่อง ผ่านอากาศ, ทะลุกำแพง, เพดานหรือสิ่งก่อสร้างอื่นๆ โดยปราศจากความต้องการของการเดินสาย นอกจากนั้นระบบเครือข่ายไร้สายก็ยังมีคุณสมบัติครอบคลุมทุกอย่างเหมือนกับระบบ LAN แบบใช้สายที่สำคัญก็คือการที่ไม่ต้องใช้สายทำให้การเคลื่อนย้ายการใช้งานทำได้โดยสะดวก ไม่เหมือนระบบ LAN แบบใช้สายที่ต้องใช้เวลาและการลงทุนในการปรับเปลี่ยนตำแหน่งการใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์

4.2.1 ประโยชน์ของระบบเครือข่ายไร้สาย

- 4.2.1.1 มีความคล่องตัวสูง ดังนั้นไม่ว่าเราจะเคลื่อนที่ไปที่ไหน หรือเคลื่อนย้ายคอมพิวเตอร์ไปตำแหน่งใด ก็ยังมีการเชื่อมต่อ กับเครือข่ายตลอดเวลา トラバドที่ยังอยู่ในระยะการส่งข้อมูล
- 4.2.1.2 สามารถติดตั้งได้ง่ายและรวดเร็ว เพราะไม่ต้องเสียเวลาติดตั้งสายเคเบิล และไม่รกรุงรัง
- 4.2.1.3 สามารถขยายระบบเครือข่ายได้ง่าย เพราะเพียงแคมี พืชการ์ดมาต่อเข้ากับโน้ตบุ๊กหรือ พืชการ์ดเข้าสู่เครือข่ายได้ทันที
- 4.2.1.4 ลดค่าใช้จ่ายโดยรวม ที่ผู้ลงทุนต้องลงทุน ซึ่งมีราคาสูง เพราะในระยะยาวแล้ว ระบบเครือข่ายไร้สายไม่จำเป็นต้องเสียค่าบำรุงรักษาและการขยายเครือข่ายก็ลงทุนน้อยกว่าเดิมหลายเท่า เนื่องด้วย ความง่ายในการติดตั้ง
- 4.2.1.5 เครือข่ายไร้สายทำให้องค์กรสามารถปรับขนาดและความเหมาะสมได้ง่ายไม่ยุ่งยาก เพราะสามารถโยกย้ายตำแหน่งการใช้งาน โดยเฉพาะระบบที่มีการเชื่อมระหว่างจุดต่อจุด เช่น ระหว่างตึก

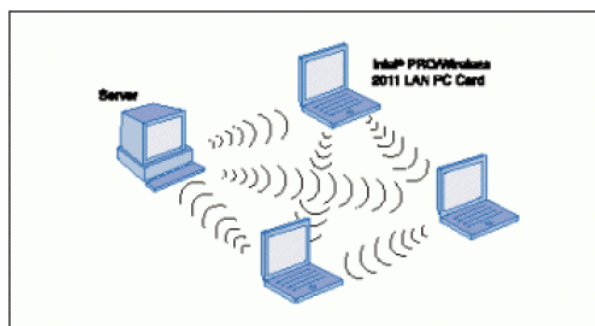
4.2.2 รูปแบบการเชื่อมต่อของระบบเครือข่ายไร้สาย

ผลการศึกษาลักษณะรูปแบบการเชื่อมของระบบเครือข่ายไร้สาย เนื่องด้วยระบบเครือข่ายไร้สายเป็นระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ที่ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ไม่มากนัก และมักจำกัดอยู่ในอาคารหลังเดียวหรืออาคารในละแวกเดียวกัน การใช้งานที่น่าสนใจที่สุดของเครือข่ายไร้สายก็คือ ความสะดวกสบายที่ไม่ต้องติดอยู่กับที่ ผู้ใช้สามารถเคลื่อนที่ไปมาได้โดยที่ยังสื่อสารอยู่ในระบบเครือข่ายดังนั้นในผลการศึกษาวิจัยจึงเน้นไปที่โครงข่ายขนาดเล็กซึ่งสามารถยกตัวอย่างได้ดังนี้

4.2.2.1 Peer-to-peer (ad hoc mode)

รูปแบบการเชื่อมต่อระบบแลนไร้สายแบบ Peer to Peer เป็นลักษณะ การเชื่อมต่อแบบโครงข่ายโดยตรงระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ จำนวน 2 เครื่องหรือมากกว่านั้น เป็นการใช้งานร่วมกันของ wireless adapter cards โดยไม่ได้มีการเชื่อมต่อกับเครือข่ายแบบใช้สายเลย โดยที่เครื่องคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องจะมีความเท่าเทียมกัน สามารถทำงานของตนเองได้และขอใช้บริการเครื่องอื่นได้ เหมาะสำหรับการ

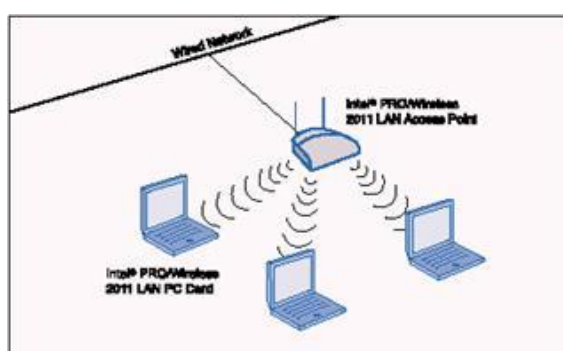
นำมาใช้งานเพื่อจุดประสงค์ในด้านความเร็วหรือติดตั้งได้โดยง่ายเมื่อไม่มีโครงสร้างพื้นฐานที่จะรองรับ ยกตัวอย่างเช่น ในศูนย์ประชุม, หรือการประชุมที่จัดขึ้นนอกสถานที่ดังแสดงในรูปที่ 4-11



ภาพที่4-11 การเชื่อมต่อระบบแลนไร้สายแบบ Peer to Peer

4.2.2.2 Client/server (Infrastructure mode)

ระบบเครือข่ายไร้สายแบบ Client / server หรือ Infrastructure mode เป็นลักษณะการรับส่งข้อมูลโดยอาศัย Access Point (AP) หรือเรียกว่า “Hot spot” ทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมต่อระหว่างระบบเครือข่ายแบบใช้สายกับเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่าย (client) โดยจะกระจายสัญญาณคลื่นวิทยุเพื่อ รับ-ส่งข้อมูลเป็นรัศมีโดยรอบ เครื่องคอมพิวเตอร์ที่อยู่ในรัศมีของ AP จะกลายเป็น เครือข่ายกลุ่มเดียวกันทันที โดยเครื่องคอมพิวเตอร์ จะสามารถติดต่อกัน หรือติดต่อกับ Server เพื่อแลกเปลี่ยนและค้นหาข้อมูลได้ โดยต้องติดต่อผ่าน AP เท่านั้น ซึ่ง AP 1 จุด สามารถให้บริการเครื่องลูกข่ายได้ถึง 15-50 อุปกรณ์ ของเครื่องลูกข่าย เหมาะสำหรับการนำไปขยายเครือข่ายหรือใช้ร่วมกับระบบเครือข่ายแบบใช้สายเดิมในออฟฟิศ, ห้องสมุด หรือในห้องประชุม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้มากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4-12

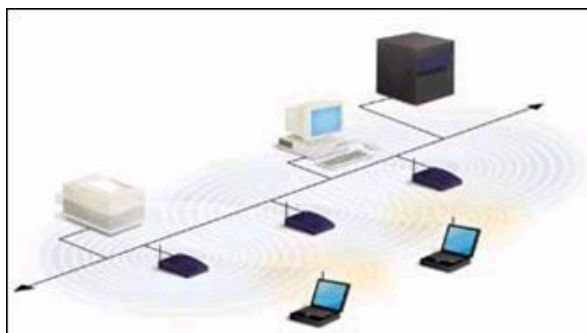


ภาพที่4-12 การเชื่อมต่อระบบแลนไร้สายแบบ Client / server

4.2.3 Multiple access points and roaming

โดยทั่วไปแล้ว การเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ กับ Access Point ของเครือข่ายไร้สายจะอยู่ในรัศมีประมาณ 500 ฟุต ภายในอาคาร และ 1000 ฟุต ภายนอกอาคาร หากสถานที่ที่ติดตั้งมีขนาดกว้าง

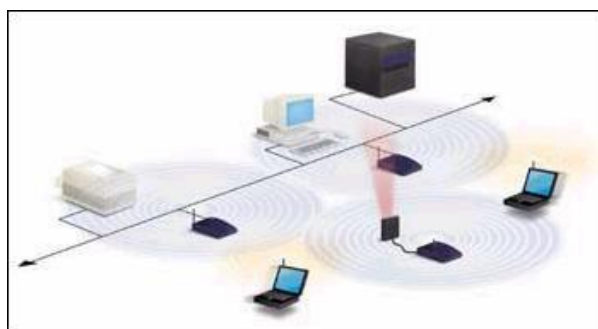
มากๆ เช่น บริเวณภายในมหาวิทยาลัย สนามบิน จะต้องมีการเพิ่มจุดการติดตั้ง AP ให้มากขึ้น เพื่อให้การรับส่งสัญญาณในบริเวณของเครือข่ายขนาดใหญ่ เป็นไปอย่างครอบคลุมทั่วถึง ดังแสดงในรูปที่ 4-13



ภาพที่4-13 การเชื่อมต่อระบบแลนไร้สายแบบ Multiple access points and roaming

4.2.4 Use of an Extension Point

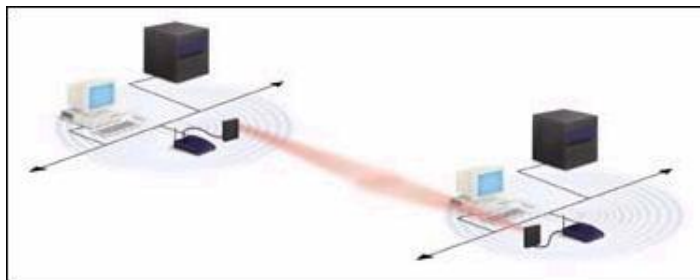
กรณีที่โครงสร้างของสถานที่ติดตั้งเครือข่ายแบบไร้สายมีปัญหาผู้ออกแบบระบบอาจจะใช้ Extension Points ที่มีคุณสมบัติเหมือนกับ Access Point แต่ไม่ต้องผูกติดไว้กับเครือข่ายไร้สาย เป็นส่วนที่ใช้เพิ่มเติมในการรับส่งสัญญาณ ดังแสดงในรูปที่ 4-14



ภาพที่4-14 การเชื่อมต่อระบบแลนไร้สายแบบ Use of an Extension Point

4.2.5 The Use of Directional Antennas

ระบบแลนไร้สายแบบนี้เป็นแบบใช้เสาอากาศในการรับส่งสัญญาณระหว่างอาคารที่อยู่ห่างกัน โดยการติดตั้งเสาอากาศที่แต่ละอาคาร เพื่อส่งและรับสัญญาณระหว่างกันดังแสดงในรูปที่ 4-15



ภาพที่4-15 การเชื่อมต่อระบบแลนไร้สายแบบ The Use of Directional Antennas

4.3 ผลการศึกษาเพื่อใช้เป็นเครื่องมือและข้อมูลในการจัดทำโครงข่ายตรวจวัดคุณภาพกำลังไฟฟ้าและประเมินผลการอนุรักษ์พลังงานอัจฉริยะในอนาคต

จากผลการศึกษาและรูปแบบการตรวจวัดในงานวิจัยนี้สามารถนำข้อมูลจากการศึกษาเพื่อนำไปออกแบบหรือจัดทำโครงข่ายการตรวจวัดคุณภาพกำลังไฟฟ้าและประเมินผลการอนุรักษ์พลังงานอัจฉริยะในอนาคตเพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะการตรวจวัดและรับส่งข้อมูลโดยได้กำหนดลักษณะการตรวจวัดไว้สองประเภทใหญ่ๆคือ

- การตรวจวัดและส่งข้อมูลภายในอาคาร
- การตรวจวัดและส่งข้อมูลระหว่างอาคาร

4.3.1 รูปแบบโครงข่ายการตรวจวัดและส่งข้อมูลภายในอาคาร

โดยการตรวจวัดคุณภาพกำลังไฟฟ้าภายในอาคารจะเลือกใช้ระบบเครือข่ายไร้สายแบบ Client / server หรือ Infrastructure mode ซึ่งมีลักษณะการรับส่งข้อมูลโดยอาศัย Access Point (AP) หรือเรียกว่า “Hot spot” ทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมต่อระหว่างระบบเครือข่ายแบบใช้สายกับเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่าย (client) โดยจะกระจายสัญญาณคลื่นวิทยุเพื่อ รับ-ส่งข้อมูลเป็นรัศมีโดยรอบ เครื่องคอมพิวเตอร์ที่อยู่ในรัศมีของ AP จะกลายเป็น เครือข่ายกลุ่มเดียวกันทันที โดยเครื่องคอมพิวเตอร์ จะสามารถติดต่อกัน หรือติดต่อกับ Server เพื่อแลกเปลี่ยนและค้นหาข้อมูลได้ โดยต้องติดต่อผ่าน AP เท่านั้น ดังแสดงในภาพที่ 4-12

ซึ่งระบบนี้นั้นมีข้อดีคือ ในการตรวจวัดนั้นสามารถเพิ่มจุดอุปกรณ์ตรวจวัดได้และส่งสัญญาณมายังคอมพิวเตอร์ศูนย์กลางเพื่อทำการประมวลผลและบันทึกผล

4.3.2 รูปแบบโครงข่ายการตรวจวัดและส่งข้อมูลระหว่างอาคาร

การตรวจวัดและส่งข้อมูลกำลังไฟฟ้าระหว่างอาคารนั้นจะเลือกใช้รูปแบบการเชื่อมต่อระบบแลนไร้สายแบบ The Use of Directional Antenna ซึ่งระบบแลนไร้สายแบบนี้เป็นแบบใช้เสาอากาศในการรับส่งสัญญาณระหว่างอาคารที่อยู่ห่างกัน โดยการติดตั้งเสาอากาศที่แต่ละอาคาร เพื่อส่งและรับสัญญาณระหว่างกันดังแสดงในภาพที่ 4-15

4.4 ผลการศึกษาเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในสอนทางการศึกษาและเพื่อพัฒนานวัตกรรมใหม่ของระบบเครื่องมือทางการวัดไฟฟ้าสำหรับนักวิจัยรุ่นใหม่

ในการศึกษาวิจัยนี้ได้นำข้อมูลต่างในการศึกษาค้นคว้าวิจัยเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในสอนทางการศึกษาและเพื่อพัฒนานวัตกรรมใหม่ของระบบเครื่องมือทางการวัดไฟฟ้าสำหรับนักวิจัยรุ่นใหม่ซึ่งเหมาะกับนิสิตนักศึกษาที่สนใจศึกษาและพัฒนาเครื่องตรวจวัดนี้

โดยนำไปประยุกต์และเป็นข้อมูลในการสอนเพิ่มเติมการเรียนการสอนในรายวิชา วิเคราะห์วงจรไฟฟ้า ซึ่งมีเนื้อหาการใช้เครื่องมือการตรวจวัดทางไฟฟ้า ซึ่งเป้าหมายในการนำมาประกอบการเรียนการสอนเพื่อใช้เป็นแนวทางการพัฒนาเพื่อต่อยอดนวัตกรรมเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าและนำเสนอรูปแบบ เทคโนโลยีในการตรวจวัดแบบใหม่ อีกทั้งสามารถนำไปคิดค้น พัฒนาในการทำโครงงานของนิสิตภาคเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรมได้อีกช่องทาง โดยการประยุกต์และเป็นข้อมูลในการสอนเพิ่มเติมการเรียนการสอนสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4-16, 4-17 ซึ่งผลการเรียนการสอนสามารถแสดงให้เห็นนิสิตนักศึกษาเข้าใจและมองภาพการพัฒนาแบบเครื่องการตรวจวัดอีกด้านของเทคโนโลยี นอกจากการตรวจวัดแบบเดิมคือการใช้ มัลติมิเตอร์, สโคป เป็นต้นในการตรวจวัด



ภาพที่ 4-16 การประยุกต์และเป็นข้อมูลในการสอนเพิ่มเติมการเรียนการสอน (1)



ภาพที่ 4-17 การประยุกต์และเป็นข้อมูลในการสอนเพิ่มเติมการเรียนการสอน (2)

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาวิจัยเครื่องมือวัดคุณภาพกำลังไฟฟ้าแบบไร้สายได้ทำการออกแบบให้สามารถตรวจวัดวิเคราะห์คุณภาพกำลังไฟฟ้า ณ จุดส่งจ่ายไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าขนาด 1 เฟสที่แรงดัน 220Vac โดยใช้โปรแกรมแลปวิวในการออกแบบ ซึ่งประกอบไปด้วย การตรวจวัดขนาดและรูปสัญญาณของแรงดันและกระแสไฟฟ้า การตรวจวัดและวิเคราะห์ระดับฮาร์มอนิกส์ทั้งแรงดันและกระแสไฟฟ้า การตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงและการกระเพื่อมของระดับแรงดันไฟฟ้า รวมถึงการส่งสัญญาณปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าไร้สายแบบซิกบี (ZigBee) เพื่อลดปัญหาการเดินสายในระยะไกลๆ ไปยังจุดรวบรวมและบันทึกข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อทำการจัดการการอนุรักษ์พลังงาน โดยจะทำการวิเคราะห์รูปแบบและปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและกำหนดค่าแจ้งเตือนเมื่อรูปแบบ และปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้นกว่าเดิมมากเพื่อทำงานบำรุงรักษาหรือกำหนดมาตรการเพื่อลดการใช้พลังงาน ซึ่งผลการวิจัยพบว่าชุดวิเคราะห์คุณภาพกำลังไฟฟ้าสามารถตรวจวัดวิเคราะห์คุณภาพกำลังไฟฟ้า ณ จุดส่งจ่ายไฟฟ้าได้ซึ่งผลการวิเคราะห์จะเป็นแบบเรียลไทม์ (Real Time) และสามารถส่งข้อมูลการใช้กำลังไฟฟ้ามายังจุดรวบรวมข้อมูลและบันทึกข้อมูลได้ โดยเครื่องมือวัดคุณภาพกำลังไฟฟ้าแบบไร้สายต้นแบบนี้สามารถนำไปวัดรูปแบบการใช้พลังงานของโหลดไฟฟ้าอื่นๆ ได้เพื่อการจัดการอนุรักษ์พลังงานที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้นอีก

5.2 อภิปรายผล

จากการศึกษาวิจัยการศึกษาและสร้างเครื่องต้นแบบการตรวจวัดและบันทึกการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายสำหรับโครงข่ายเฝ้าติดตามคุณภาพกำลังไฟฟ้าและประเมินผลการอนุรักษ์พลังงานอัจฉริยะสามารถอธิบายผลการศึกษได้โดยจะแยกการอธิบายตามหัวข้อตามวัตถุประสงค์เพื่อให้ครอบคลุมการศึกษาวิจัย

5.1.1 การศึกษาหลักการตรวจวัดคุณภาพทางไฟฟ้า, มาตรฐานคุณภาพทางไฟฟ้า

ผลการในงานวิจัยนี้ได้รวบรวมเนื้อหาของหลักการตรวจวัดคุณภาพกำลังไฟฟ้าซึ่งจะมุ่งเน้นในการตรวจวัดคุณภาพแรงดันไฟฟ้าซึ่งประกอบไปด้วยระดับแรงดันไฟฟ้า รูปสัญญาณแรงดันไฟฟ้า ระดับฮาร์มอนิกส์ การเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าในลักษณะต่างๆ โดยในผลการศึกษาวิจัยจะทำการวัดและตรวจสอบคุณภาพแรงดันไฟฟ้า ณ จุดส่งจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยอ้างอิงค่ามาตรฐานของการตรวจวัด ซึ่งสามารถใช้อ้างอิงและเป็นข้อมูลในการเรียนการสอนได้

5.1.2 การศึกษาและสร้างเครื่องต้นแบบการตรวจวัดและบันทึกการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบไร้

สาย

ผลการศึกษาวิจัยการสร้างเครื่องต้นแบบการตรวจวัดและบันทึกการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายได้ออกออกแบบโดยใช้งานบนโปรแกรมแลปวิวซึ่งทำงานร่วมกับชุดประมวลผลสัญญาณ (DAQ) ในการแสดงผลการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าและบันทึกผลซึ่งการส่งข้อมูลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าแบบไร้สายนั้นได้ใช้เทคโนโลยีการสื่อสารแบบซิกบี โดยใช้อุปกรณ์ Xbee serie1 ซึ่งผลการตรวจวัดผลการวิเคราะห์ค่าคุณภาพกำลังไฟฟ้า ณ จุดส่งไฟให้กับพัดลมไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ได้ทำการตรวจวัดคุณภาพกำลังไฟฟ้า ณ จุดส่งจ่ายโดยได้ทำการทดสอบกับพัดลมขนาด 50 วัตต์ 220Vac 0.21A เมื่อทำการวิเคราะห์ผลแรงดันฮาร์โมนิกส์ (THD voltage) พบว่าค่าไม่เกินมาตรฐานเมื่อเทียบกับมาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคประเทศไทยกำหนดไว้คือสำหรับแรงดันต่ำกว่า 400Vac โดยค่าจะไม่ให้เกิน 5%THDv ซึ่งค่าที่เครื่องมือที่วัดได้ออยู่ที่ 1.3%THDv และเมื่อทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้านั้นพบว่าขนาดแรงดันไฟฟ้าก่อนข้างสูงคืออยู่ที่ 223 Vac แต่ไม่เกินมาตรฐานการควบคุมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคประเทศไทยกำหนดไว้คือ 200-240Vac และการกระเพื่อมแรงดันไฟฟ้านั้นเกิดขึ้นน้อยมากเนื่องจากกำลังไฟฟ้าของโหลดที่ทำการทดสอบนั้นไม่ค่อนข้างต่ำ

และผลในการตรวจวัดและทดสอบวัดค่ากำลังไฟฟ้าเพื่อทำการเปรียบเทียบต้นทุนทางและปลายทางโดยผลการสอบเทียบพบว่าค่าความผิดพลาดนั้นอยู่ที่ไม่เกิน $\pm 5\%$ ซึ่งได้ทำการสุ่มตรวจวัด 10 ค่า และในการทดลองนั้นได้ทำการตั้งเงื่อนไขการตรวจวัดและเปรียบเทียบพลังงานที่พัดลมทำงานคือ กำลังไฟฟ้าขณะพัดลมนั้นทำงานปกติและมีสิ่งกีดขวางด้านดูดของพัดลม พบว่ากำลังไฟฟ้าขณะทำงานปกติอยู่ที่ประมาณ 51.5w แต่เมื่อมีสิ่งกีดขวางด้านดูดกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นประมาณ 53-54 w ซึ่งทำให้ใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้นดังนั้นการเพิ่มขึ้นกำลังไฟฟ้าดังกล่าวนี้บ่งบอกถึงต้องมีการจัดการตรวจสอบ หรือบำรุงรักษาอุปกรณ์เพื่อให้กำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นนั้นลดลงหรือใกล้เคียงค่าเดิมซึ่งผลการทดสอบนั้นสามารถนำไปกำหนดแผนการบำรุงรักษาหรือระยะการตรวจสอบเพื่อการอนุรักษ์พลังงานให้ยั่งยืนได้โดยสามารถสร้างระบบเตือนเมื่อค่าพลังงานไฟฟ้าขึ้นไปถึงค่าลิมิต (Limit) เพื่อให้ทำการทำความสะอาดหรือบำรุงรักษาในแผนงานอนุรักษ์พลังงานได้

5.1.3 การศึกษารูปแบบโครงข่ายเพื่อสำหรับระบบเฝ้าติดตามคุณภาพทางไฟฟ้าและประเมินผลการอนุรักษ์พลังงานอัจฉริยะ

ผลการศึกษาลักษณะรูปแบบการเชื่อมของระบบเครือข่ายไร้สาย เนื่องด้วยระบบเครือข่ายไร้สายเป็นระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ที่ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ไม่มากนัก และมักจำกัดอยู่ในอาคารหลังเดียวหรืออาคารในละแวกเดียวกัน โดยการศึกษาวิจัยได้นำเสนอรูปแบบโครงข่ายอยู่ 5 แบบด้วยกันคือ

- 5.1.3.1 Peer-to-peer (ad hoc mode)
- 5.1.3.2 Client/server (Infrastructure mode)
- 5.1.3.3 Multiple access points and roaming
- 5.1.3.4 Use of an Extension Point
- 5.1.3.5 The Use of Directional Antennas

5.1.4 รูปแบบโครงข่ายเพื่อสำหรับระบบเฝ้าติดตามคุณภาพทางไฟฟ้าและประเมินผลการอนุรักษ์พลังงานอัจฉริยะ

จากผลการศึกษาและรูปแบบการตรวจวัดในงานวิจัยนี้สามารถนำข้อมูลจากการศึกษาเพื่อนำไปออกแบบหรือจัดทำโครงข่ายการตรวจวัดคุณภาพกำลังไฟฟ้าและประเมินผลการอนุรักษ์พลังงานอัจฉริยะในอนาคตเพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะการตรวจวัดและรับส่งข้อมูลโดยได้กำหนดลักษณะการตรวจวัดไว้สองแบบคือรูปแบบโครงข่ายการตรวจวัดและส่งข้อมูลภายในอาคาร โดยการตรวจวัดคุณภาพกำลังไฟฟ้าภายในอาคารจะเลือกใช้ระบบเครือข่ายไร้สายแบบ Client / server หรือ Infrastructure mode ซึ่งมีลักษณะการรับส่งข้อมูลโดยอาศัย Access Point (AP) หรือเรียกว่า “Hot spot” ทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมต่อระหว่างระบบเครือข่ายแบบไร้สายกับเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่าย (client) โดยจะกระจายสัญญาณคลื่นวิทยุเพื่อ รับ-ส่งข้อมูลเป็นรัศมีโดยรอบ เครื่องคอมพิวเตอร์ที่อยู่ในรัศมีของ AP จะกลายเป็น เครือข่ายกลุ่มเดียวกันทันที โดยเครื่องคอมพิวเตอร์ จะสามารถติดต่อกัน หรือติดต่อกับ Server เพื่อแลกเปลี่ยนและค้นหาข้อมูลได้ โดยต้องติดต่อผ่าน AP เท่านั้น และรูปแบบโครงข่ายการตรวจวัดและส่งข้อมูลระหว่างอาคารการตรวจวัดและส่งข้อมูลกำลังไฟฟ้าระหว่างอาคารนั้นจะเลือกใช้รูปแบบการเชื่อมต่อระบบแลนไร้สายแบบ The Use of Directional Antenna ซึ่งระบบแลนไร้สายแบบนี้เป็นแบบใช้เสาอากาศในการรับส่งสัญญาณระหว่างอาคารที่อยู่ห่างกัน โดยการติดตั้งเสาอากาศที่แต่ละอาคาร เพื่อส่งและรับสัญญาณระหว่างกัน

5.1.4 การศึกษาเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในสอนทางการศึกษาและเพื่อพัฒนานวัตกรรมใหม่ของระบบเครื่องมือทางการวัดไฟฟ้าสำหรับนักวิจัยรุ่นใหม่

ข้อมูลในการศึกษาวิจัยนั้นได้นำไปประยุกต์และเป็นข้อมูลในการสอนเพิ่มเติมการเรียนการสอนในรายวิชา การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า ซึ่งมีการใช้เครื่องมือตรวจวัดไฟฟ้าโดยมีเป้าหมายเพื่อใช้เป็นแนวทางการพัฒนาเพื่อต่อยอดนวัตกรรมเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าในการทำโครงงานของนิสิตภาคเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม ซึ่งผลการเรียนการสอนสามารถแสดงให้เห็นนิสิตนักศึกษาเข้าใจและมองภาพการพัฒนาแบบเครื่องการตรวจวัดอีกด้านของเทคโนโลยี นอกจากการตรวจวัดแบบเดิมคือการใช้ มัลติมิเตอร์, สโคป เป็นต้นในการตรวจวัด

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาวิจัยเป็นเพียงเครื่องต้นแบบแต่สามารถที่จะนำไปพัฒนาขีดความสามารถเพื่อให้สามารถตรวจวัดวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าที่ขนาดใหญ่ขึ้นได้ หรือเพิ่มกำลังวัตต์ในการส่งข้อมูลได้เพื่อให้สามารถส่งข้อมูลในระยะทางไกลๆได้ รวมถึงการนำไปออกแบบเป็นโครงข่ายการตรวจวัดพลังงาน และยังสามารถนำไปประยุกต์เพื่อการวิเคราะห์และบันทึกการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าเช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน และข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ผลคุณภาพกำลังไฟฟ้ายังสามารถนำไปวิเคราะห์และปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี

บรรณานุกรม

หนังสือ

กิจไพบูรณ์ ชีวพันธุ์ศรี. LabVIEW. ซอฟต์แวร์เพื่อการพัฒนากระบวนการวัดและควบคุม, 2554.
ไชยะ แซ่มซ้อย. คู่มือคุณภาพไฟฟ้า. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์.
โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554.

Roger C. Dugan, Mark F. McGranaghan, H. Wayne Beaty. Electrical Power Systems Quality.

บทความในวารสาร

Chompoo-inwai, Chow and Mungkornassawaku, Jade. The Data Acquisition system and lab view program in being a smart and low cost three phase disturbance measuring unit. Japan : international conference on electrical engineering (ICEEE 2012), Japan July 8-12 2012.

Chow chompoonwai and Jade Munkornassawakul. A smart recording power analyzer prototype using Lab view and low cost data acquisition (DAQ) in being a smart renewable monitoring system. USA : IEEE green tech, April 4-5 2013.

M. McGranaghan. Trends in power quality monitoring. IEEE Power Engineering Review, Volume21 Issues : 10 Oct 2001.

ภาคผนวก

(121)

การศึกษาและสร้างเครื่องต้นแบบการตรวจวัดและบันทึกการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบไร้สาย
สำหรับโครงข่ายเฝ้าติดตามคุณภาพกำลังไฟฟ้าและประเมินผลการอนุรักษ์พลังงาน
อัจฉริยะ.

A Study and Implementation the Wireless Power Measurement for a Smart Power Quality Monitoring and Energy Saving Network

นฤมล วันน้อย

Narumon Wannoi

วิชาเอกเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

n_pue23@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาและสร้างเครื่องต้นแบบการวัดและบันทึกการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบไร้สาย สำหรับโครงข่ายเฝ้าติดตามคุณภาพไฟฟ้าและการอนุรักษ์พลังงานโดยใช้โปรแกรมแลปวิว ร่วมกับชุดจัดเก็บข้อมูล (DAQ) โดยการส่งสัญญาณแบบไร้สายในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบเป็นการสื่อสารไร้สายแบบซิกบี (ZigBee) สำหรับการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าจะประกอบไปด้วยการตรวจวัดและบันทึกผล ค่าแรงดัน-กระแสไฟฟ้า, แรงดันฮาร์โมนิกส์, การกระเพื่อมแรงดันไฟฟ้า, การเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า โดยการออกแบบเครื่องวัดนี้ใช้สำหรับกรวัดไฟฟ้า 1 เฟส/220VAC ซึ่งในผลการวิจัยได้ทำการตรวจวัดคุณภาพกำลังไฟฟ้า ณ จุดเชื่อมต่อและทำการบันทึกผลช่วงเวลาการทำงานของพัดลมไฟฟ้าขนาด 50W 220Vac โดยปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าจะถูกส่งสัญญาณไปยังเครื่องรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผล โดยผลการศึกษาการวัดคุณภาพกำลังไฟฟ้าเมื่อทำการเปรียบเทียบผลกับเครื่องมือวัดมาตรฐานพบว่าค่าความผิดพลาดนั้นมีค่าน้อยมากและสามารถบันทึกเพื่อเปรียบเทียบช่วงเวลาการทำงานของพัดลมไฟฟ้าในสภาวะตะแกรงด้านดูดของพัดลมสะอาดและสกปรกได้ โดยผลการศึกษาที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าและการอนุรักษ์พลังงานได้

คำสำคัญ: เครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้าไร้สาย คุณภาพกำลังไฟฟ้า การอนุรักษ์พลังงาน

Abstract

This paper presents a study and implementation the wireless power measurement for a smart power quality monitoring and energy saving network by used LABVIEW Program with Data Acquisition unit (DAQ). The wireless in this research has designed with ZigBee wireless communication. The power quality measurement and record consists voltage-current value, voltage Harmonic, Voltage swell and Voltage variances. This measurement prototype designed for measurement power quality at 1-Phase/220VAC. A study results have measured power quality at connection point and working period recorded of electric fan 50W/220Vac which the consumption of electric power will be transmitted to a power

recorder and analyzer. The power quality measurement study results found error values less than when compare with standard measurement and it can record for compare working period of electric fan on clean and dirty condition of suction fan grating which the study results can applicate to improve the power quality and energy saving planning.

Keywords: Wireless Power Measurement, Power Quality, Energy Saving

1. บทนำ

ในการตรวจวัดคุณภาพและกำลังไฟฟ้าสำหรับสถานที่ที่มีอุปกรณ์หลายชนิดหลายประเภทและที่สำคัญอุปกรณ์แต่ละประเภทก็ไม่อยู่ใกล้กันซึ่งหากจะทำการเดินสายสัญญาณไกลๆหลายๆเส้นนั้นยิ่งทำให้สัญญาณเกิดการสูญเสียระหว่างสายและโอกาสในการเกิดสัญญาณรบกวนระหว่างได้อีกซึ่งทำให้สัญญาณที่วัดได้เกิดการเพี้ยนและผิดรูปซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการวัดและวิเคราะห์ผล ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการวิจัยการส่งชุดข้อมูลแบบไร้สายมาประยุกต์ใช้ในระบบการวัดและการตรวจสอบกำลังไฟฟ้าซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวโดยได้ศึกษาและวิจัยการศึกษาเครื่องต้นแบบการตรวจวัดและบันทึกการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายสำหรับโครงข่ายเฝ้าติดตามคุณภาพกำลังไฟฟ้าและประเมินผลการอนุรักษ์พลังงานอัจฉริยะในอนาคต

1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.1.1 เพื่อศึกษาหลักการตรวจวัดคุณภาพทางไฟฟ้า, มาตรฐานคุณภาพทางไฟฟ้า

1.1.2 เพื่อศึกษาและสร้างเครื่องต้นแบบการตรวจวัดและบันทึกการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบไร้สาย

1.1.3 เพื่อศึกษารูปแบบโครงข่ายเพื่อสำหรับระบบเฝ้าติดตามคุณภาพทางไฟฟ้าและประเมินผลการอนุรักษ์พลังงานอัจฉริยะ

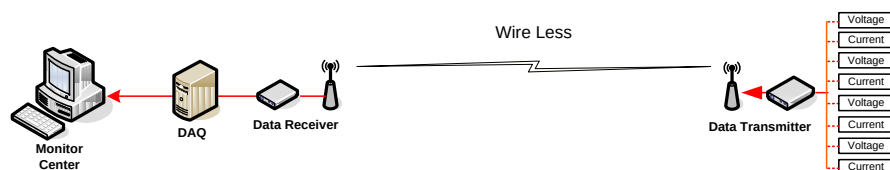
1.1.4 เพื่อใช้เป็นเครื่องมือและข้อมูลในการจัดทำโครงข่ายตรวจวัดคุณภาพกำลังไฟฟ้าและประเมินผลการอนุรักษ์พลังงานอัจฉริยะในอนาคต

1.1.5 เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในสอนทางการศึกษาและเพื่อพัฒนานวัตกรรมใหม่ของระบบเครื่องมือทางการวัดไฟฟ้าสำหรับนักวิจัยรุ่นใหม่

1.2 ขอบเขตการวิจัย

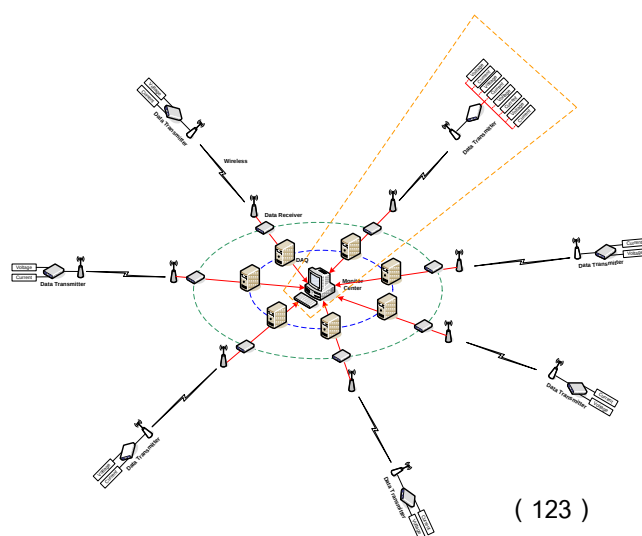
ในการศึกษางานวิจัยเน้นการศึกษาการส่งข้อมูลในการวัดค่ากำลังไฟฟ้าและส่งข้อมูลการวัดแบบไร้สายโดยทำงานร่วมกับชุดจัดเก็บข้อมูลต้นทุนต่ำและโปรแกรมแลปวิวเพื่อรองรับการทำงานในลักษณะแบบโครงข่ายเพื่อการตรวจวัดและประเมินผลการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าโดยครอบคลุม โดยรูปแบบการตรวจวัดและส่งกำลังไฟฟ้าเป็นการวัดกำลังไฟฟ้าของโหลดทั่วไปขนาด 1 เฟสและส่งค่ามายังชุดเฝ้าระวังและบันทึกผลดังแสดงในภาพที่ 1 และ 2

ภาพที่ 1 รูปแบบการทำงานเครื่องวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้าแบบไร้สาย



จากภาพที่ 1 แสดงขอบเขตการทำงานซึ่งจะเป็นการตรวจวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าขนาด 1 เฟส จากนั้นก็จะส่งข้อมูลด้วยชุดส่งข้อมูล (Data Transmitter) ซึ่งจะเป็นการส่งในลักษณะแบบไร้สายมายังชุดรับข้อมูล (Data Receiver) จากนั้นก็จะส่งชุดข้อมูลมายังเครื่องเฝ้าติดตามคุณภาพทางไฟฟ้าและประเมินผลโดยผ่านชุดจัดเก็บข้อมูล (DAQ) ซึ่งใช้เป็นชุดเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ (Computer Interface) โดยข้อมูลที่วัดได้ก็จะนำมาวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าและประเมินผลการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อเฝ้าและติดตามการใช้พลังงานเพื่อนำไปวิเคราะห์และวางแผนการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าต่อไป

ภาพที่ 2 ตัวอย่างโครงข่ายระบบเฝ้าติดตามคุณภาพทางไฟฟ้าและประเมินผลการอนุรักษ์พลังงานอัจฉริยะ



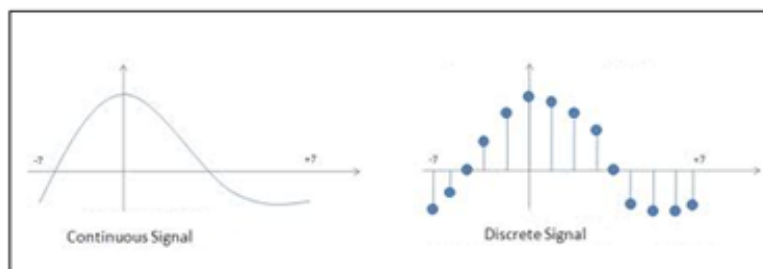
และเพื่อให้ระบบสามารถทำการตรวจวัดและประเมินผลได้ครอบคลุมทุกโหลดหรือแต่ละอุปกรณ์เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลหรือเพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานของแต่ละอุปกรณ์จึงทำการศึกษารูปแบบระบบโครงข่ายไร้สายระบบเฝ้าติดตามคุณภาพทางไฟฟ้าและประเมินผลเพื่อการอนุรักษ์พลังงานอัจฉริยะดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 2

1.3 แนวคิดหลักการทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.3.1 คุณภาพแรงดันไฟฟ้า

การวิเคราะห์คุณภาพแรงดันไฟฟ้าซึ่งสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องวัดและส่งแรงดันไฟฟ้าจะเป็นสัญญาณไซน์ซึ่งเป็นสัญญาณอะนาลอกแต่เนื่องจากคอมพิวเตอร์จะเก็บและประมวลผลข้อมูลในรูปสัญญาณแบบดิจิทัลเท่านั้น ดังนั้นกระบวนการนี้จึงเป็นการเปลี่ยนสัญญาณอะนาลอกที่เป็นเส้นกราฟต่อเนื่องให้กลายเป็นจุดของข้อมูลดิจิทัลที่ไม่ต่อเนื่อง (A/D) ด้วยวิธีการสุ่มสัญญาณ (Sampling) ด้วยอัตราเร็วที่คงที่ดังแสดงในภาพที่ 3 ซึ่งอัตราการสุ่มนั้นตามทฤษฎีของ Nyquist สัญญาณจะต้องถูกสุ่มด้วยความเร็วอย่างน้อยสองเท่าของความถี่สูงสุดที่มีอยู่ในสัญญาณ เพื่อให้สามารถนำจุดข้อมูลเหล่านั้นมาสร้างเป็นเวฟฟอร์มกลับมาให้เหมือนกับต้นฉบับได้

ภาพที่ 3 การแปลงสัญญาณด้วยวิธีการสุ่มสัญญาณ



ดังนั้นเมื่อได้จุดข้อมูลมาสร้างเป็นเวฟฟอร์มเหมือนกับต้นฉบับก็จะดึงข้อมูลเหล่านี้มาพล็อตเป็นรูปสัญญาณโดยใช้โปรแกรมแลปวิวในการประมวลผลและสร้างแอปพลิเคชันในการแสดงผลผ่านหน้าจocomพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงและคุณภาพแรงดันไฟฟ้าแบบแสดงผลโดยตรง

1.3.2 การสื่อสารไร้สายซิกบี (ZigBee)

ซิกบีมีการประยุกต์ใช้งานระบบติดตามและควบคุมแบบไร้สาย (monitoring and control) แบบไร้สายสำหรับอุตสาหกรรมและที่อยู่อาศัยนั้นถ้าจะนำมาใช้งานในเชิงพาณิชย์ได้จริงนั้นตัวอุปกรณ์จะต้องมีช่วงเวลาของการใช้งานแบตเตอรี่ที่ยาวนานในการสื่อสารข้อมูลด้วยอัตราที่ต่ำและต้องมีความซับซ้อนน้อยกว่ามาตรฐานสื่อสารไร้สายแบบไร้สายแบบอื่น ๆ ด้วยซึ่งมาตรฐานของการสื่อสารไร้สายส่วนใหญ่มีการสื่อสารด้วยอัตราการรับส่งข้อมูลที่สูงและใช้กำลังไฟฟ้ามากถ้านำมาประยุกต์ใช้ในระบบการติดตามและควบคุมนั้นระบบจะมีความซับซ้อนมากทำให้มีราคาแพงตามไปด้วย นอกจากนี้สมรรถนะของระบบที่จะนำมาใช้จริงในท้องตลาดจำเป็นต้องมีความเชื่อถือได้มีความปลอดภัยและมีราคาถูก ทั้งนี้ระบบสื่อสารไร้สายดังกล่าวจะต้องสามารถระบุแอดเดรสเฉพาะตัวที่ใช้ในการควบคุมระหว่างเซนเซอร์พื้นฐานในโครงข่ายได้ดังนั้นองค์การ IEEE จึงพัฒนามาตรฐานของการสื่อสารไร้สายที่นำมาประยุกต์ใช้สำหรับงานข้างต้น คือ มาตรฐาน IEEE 802.15 หรือที่รู้จักกันในชื่อว่า ซิกบี (ZigBee) โดยมาตรฐานนี้ใช้งานสำหรับการสื่อสารความเร็วต่ำ และมีช่วงเวลาการใช้งานจากแบตเตอรี่ได้หลายเดือนหรือหลายปีและมีความซับซ้อนน้อยมาก โดยย่านความถี่ ที่ถูกนำมาใช้งานนั้นจะอยู่ในย่านความถี่ ที่ไม่ต้องขออนุญาตกำหนดย่านความถี่ใช้งานตามมาตรฐานไว้ 3 ย่านความถี่ คือ ย่านความถี่ 2.4 GHz ย่านความถี่ 915 MHz และย่านความถี่ 868 MHz โดยแต่ละย่านความถี่จะมีช่องสัญญาณ 16 ช่อง 10 ช่องและ 1 ช่องตามลำดับส่วนอัตรารับส่งข้อมูล (ทางอากาศ) จะอยู่ที่ 250 Kbps 40 Kbps 20 Kbps ตามลำดับเช่นกัน และเนื่องจากมีระยะทางในการรับส่งข้อมูลไม่ไกล คือ รัศมีการทำงานอยู่ ระหว่าง 10-100 เมตร ซิกบี จึงเหมาะที่จะนำมาใช้ในเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล (WPAN) ซึ่งมาตรฐานนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับบ้านอัตโนมัติ เซนเซอร์ไร้สายของเล่นที่ ได้ตอบโต้และรีโมตคอนโทรลเป็นต้น โดย IEEE 802.15.4 จะถูกกำหนดไว้ในชั้นกายภาพ (physical) และระดับชั้นแมค (Media Access Controller: MAC) ส่วนในระดับชั้นเน็ตเวิร์ก (network) นั้นถูกกำหนดโดยกลุ่มที่ชื่อว่า ZigBee Alliance

2. วิธีการทดลองหรือวิธีการศึกษา

ในการทำวิจัยการศึกษาและสร้างเครื่องต้นแบบการตรวจวัดและบันทึกการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบไร้สาย สำหรับโครงข่ายเฝ้าติดตามคุณภาพกำลังไฟฟ้าและประเมินผลการอนุรักษ์พลังงานอัจฉริยะ ได้แบ่งขั้นตอนในการศึกษาไว้ทั้งหมด 5 ขั้นตอนด้วยกันซึ่งประกอบด้วย

2.1 การศึกษารูปแบบและมาตรฐานการตรวจวัด ซึ่งจะเป็นการศึกษามาตรฐานข้อกำหนดของคุณภาพไฟฟ้าเพื่อใช้เกณฑ์ในการวิเคราะห์

2.2 การออกแบบระบบการตรวจวัด ระบบประมวลผลและแสดงผล (Power Quality Monitoring) และระบบบันทึกข้อมูล (Recording Design) โดยในการออกแบบจะใช้โปรแกรมแลปวิวในการออกแบบโปรแกรมในการประมวลผลและแสดงผล

2.3 การออกแบบระบบการส่งชุดข้อมูลแบบไร้สายและรูปแบบระบบโครงข่ายไร้สายเพื่อเฝ้าติดตามคุณภาพกำลังไฟฟ้าและประเมินผลการอนุรักษ์พลังงานอัจฉริยะ

2.4 การทดสอบ บันทึกผล และเปรียบเทียบผล

2.5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

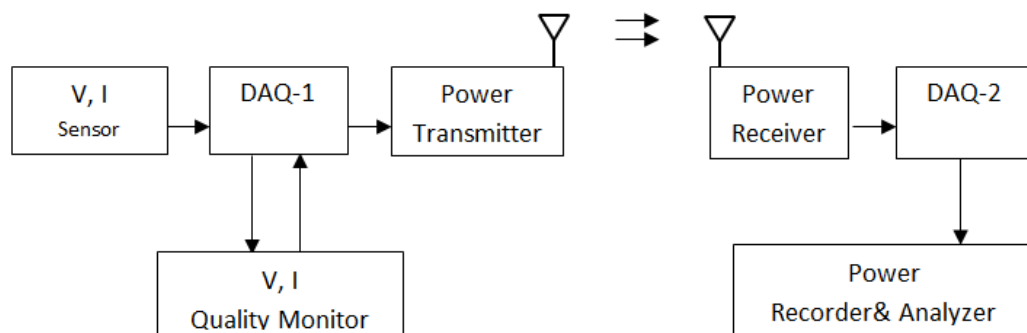
3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล หรือผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผลการศึกษาวิจัยได้ทำการออกแบบการเครื่องตรวจวัดและวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าซึ่งประกอบด้วยแรงดัน-กระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิก การกระเพื่อมแรงดันไฟฟ้า การเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า ณ จุดเชื่อมต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าและทำการตรวจวัดการใช้พลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยส่งข้อมูลแบบไร้สาย เพื่อทำการบันทึกและวิเคราะห์การใช้พลังงานและใช้เป็นเครื่องต้นแบบสำหรับโครงข่ายการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งในการศึกษาได้ตั้งเงื่อนไขการตรวจวัดและเปรียบเทียบพลังงานที่พัฒมทำงานคือกำลังไฟฟ้าขณะพัฒมนั้นทำงานปกติและมีสิ่งกีดขวางด้านดูดของพัฒม

3.1 การออกแบบเครื่องตรวจวัดวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าแบบไร้สาย

ระบบการตรวจวัดของเครื่องตรวจวัดวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าและบันทึกการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายประกอบด้วยชุดตรวจวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 1 เฟสและทำการส่งสัญญาณมายังชุดจัดเก็บข้อมูล (DAQ) โดยจะมีชุดป้องกันแรงดันและกระแสไฟฟ้าเกิน ซึ่งสัญญาณที่ได้ ชุดจัดเก็บข้อมูล (DAQ) ก็จะมีการแปลงสัญญาณ อนุลอกเป็นดิจิตอลส่งต่อไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมแลปวิวในการติดต่อสื่อสารและใช้ออกแบบในการตรวจวัดและวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าและสามารถออกแบบโปรแกรมคำนวณกำลังไฟฟ้าจากสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้า รวมถึงยังสามารถแปลงสัญญาณกำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้เป็นสัญญาณดิจิตอลและส่งสัญญาณผ่านชุดจัดเก็บข้อมูล #1 (DAQ-1) และส่งค่าไปยังชุดส่งสัญญาณเอ็กบี (X-Bee Transmitter) เพื่อส่งสัญญาณไปยังชุดรับสัญญาณเอ็กบี (X-Bee receiver) โดยการส่งจะเป็นแบบไร้โดยสัญญาณที่รับมาจากชุดรับสัญญาณก็จะส่งสัญญาณมายังชุดจัดเก็บข้อมูล #2 (DAQ-2) และสัญญาณนี้ก็จะถูกส่งต่อไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์กลางเพื่อบันทึกและวิเคราะห์ปริมาณและรูปแบบการใช้พลังงานไฟฟ้าเครื่องอุปกรณ์ โดยสามารถแสดงบล็อกการทำงานได้ดังภาพที่ 4

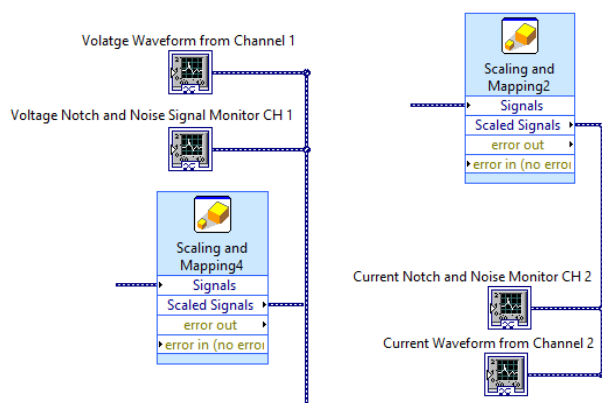
ภาพที่ 4 บล็อกการทำงานเครื่องตรวจวัดวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าและตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าแบบไร้สาย



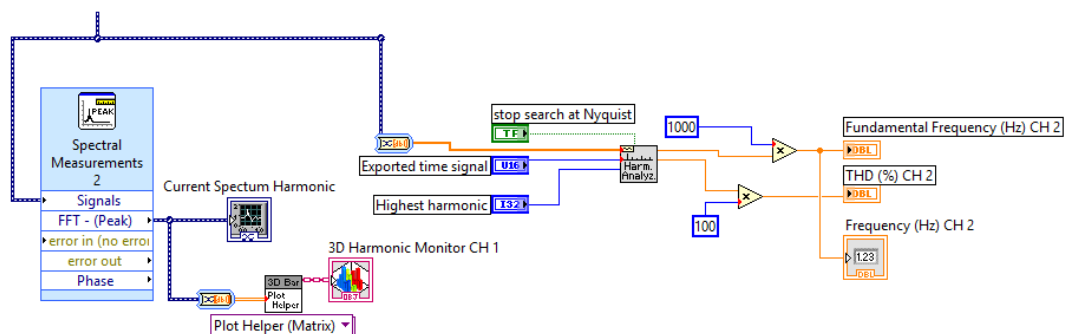
(125)

ในส่วนของการออกแบบโปรแกรมซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรมแลปวิวในการออกแบบสำหรับการวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าซึ่งประกอบด้วย การตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าฮาร์มอนิกส์ การกระเพื่อมแรงดันไฟฟ้า การเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า และการตรวจวัดรูปแบบการใช้พลังงานโดยสามารถแสดงส่วนของโปรแกรมในส่วนต่างๆได้ดังรูปภาพที่ 5-8

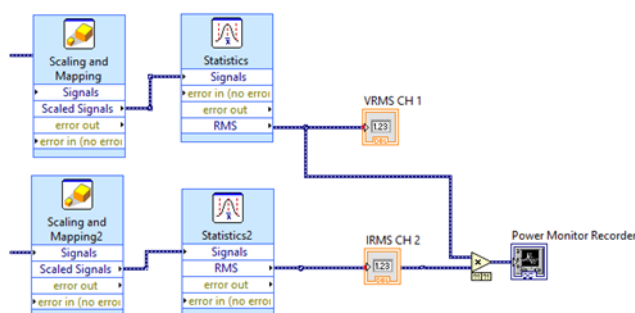
ภาพที่5 ส่วนโปรแกรมตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงแรงดันและกระแสไฟฟ้า



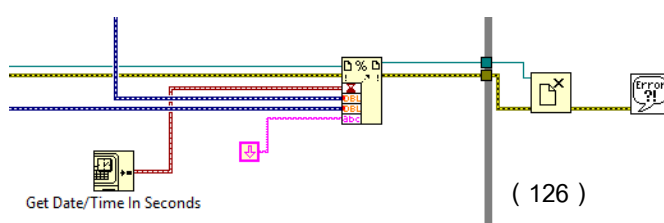
ภาพที่6 ส่วนโปรแกรมตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าฮาร์มอนิก



ภาพที่7 ส่วนโปรแกรมตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า



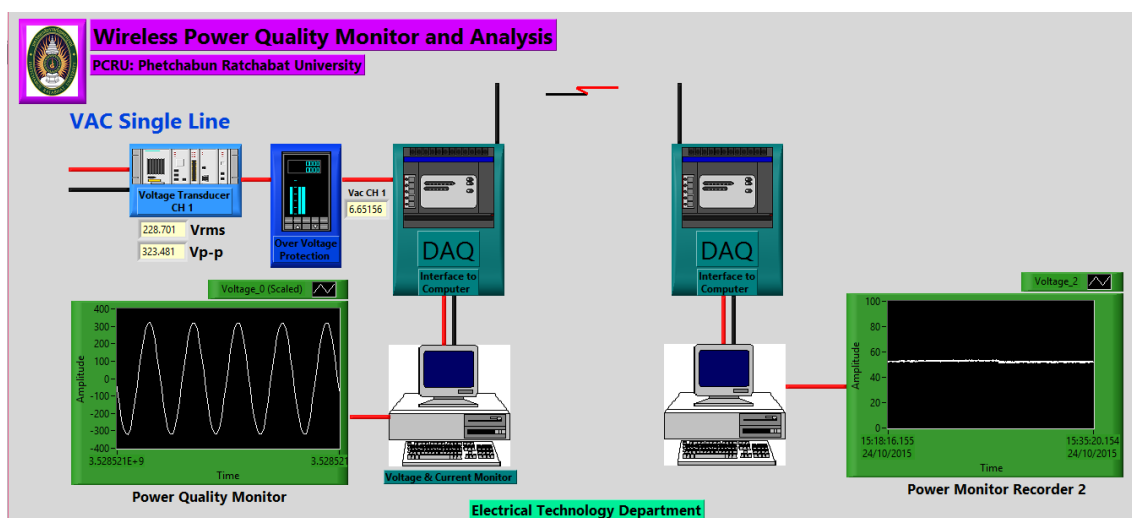
ภาพที่8 ส่วนโปรแกรมการบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า



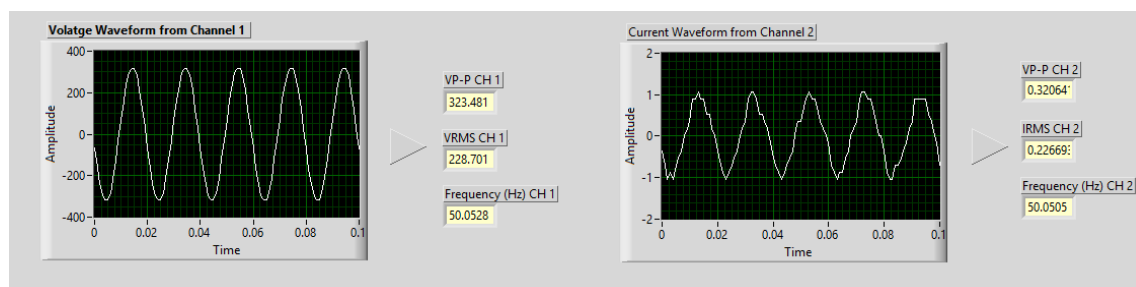
3.2 ผลการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้า ณ จุดจ่ายไฟฟ้าสำหรับพัดลมไฟฟ้า

ในงานวิจัยได้มุ่งเน้นในการตรวจวัดคุณภาพแรงดันไฟฟ้า ณ จุดส่งจ่ายไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์โดยได้ทำการสอบเทียบค่าการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าโดยพบว่ามีความผิดพลาดอยู่ที่ 0.45% และผลการตรวจวัดวิเคราะห์สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 9-12

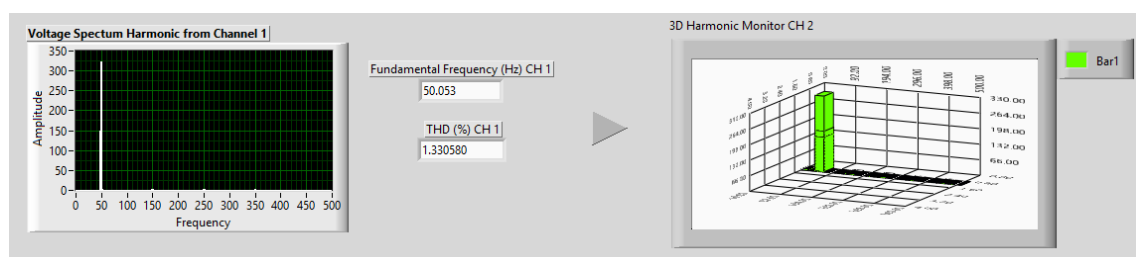
ภาพที่9 หน้าจอหลักแสดงการตรวจวัด



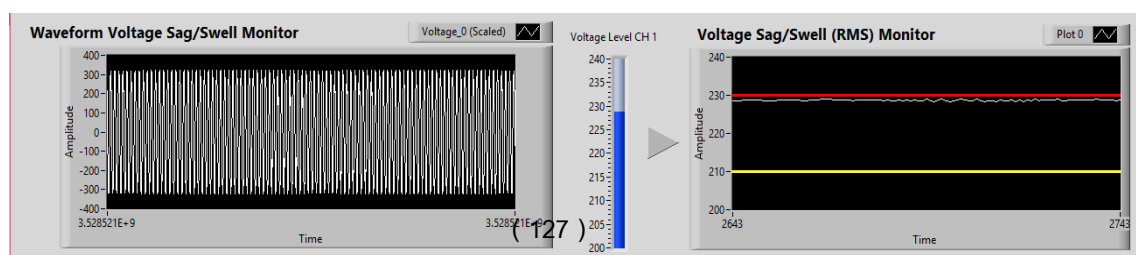
ภาพที่10 หน้าจอหลักแสดงการตรวจวัดสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้า



ภาพที่11 หน้าจอหลักแสดงการตรวจวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิก



ภาพที่12 หน้าจอหลักแสดงการตรวจวัดการกระเพื่อมและระดับแรงดันไฟฟ้า

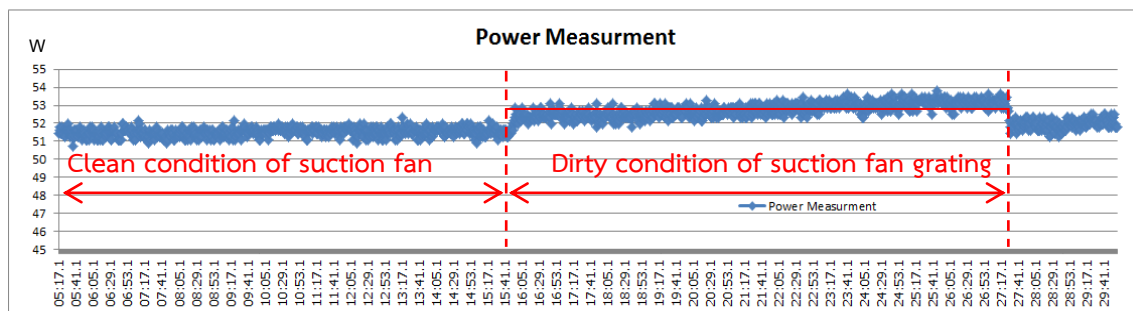


จากผลการศึกษาภาพที่ 9-12 แสดงผลการตรวจวัดคุณภาพกำลังไฟฟ้า ณ จุดส่งจ่ายโดยได้ทำการทดสอบกับพัดลมขนาด 50 วัตต์ 220Vac 0.21A เมื่อทำการวิเคราะห์ผลแรงดันฮาร์มอนิกส์ (THD voltage) พบว่าค่าไม่เกินมาตรฐานเมื่อเทียบกับมาตรฐานของไฟฟ้าส่วนภูมิภาคประเทศไทยกำหนดไว้คือสำหรับแรงดันต่ำกว่า 400Vac โดยค่าจะไม่ให้เกิน 5%THDv ซึ่งค่าที่เครื่องมือนี้วัดได้อยู่ที่ 1.3%THDv และเมื่อทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้านั้นพบว่าขนาดแรงดันไฟฟ้าค่อนข้างสูงคืออยู่ที่ 223 Vac แต่ไม่เกินมาตรฐานการควบคุมของไฟฟ้าส่วนภูมิภาคประเทศไทยกำหนดไว้คือ 200-240Vacและการกระเพื่อมแรงดันไฟฟ้านั้นเกิดขึ้นน้อยมากเนื่องจากกำลังไฟฟ้าของโหลดที่ทำการทดสอบนั้นไม่ค่อนข้างต่ำ

3.3 ผลการตรวจวัดรูปแบบการใช้พลังงานไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า

ในงานวิจัยได้จำลองสถานการณ์ในการศึกษาในการตรวจวัดการใช้พลังงานเพื่อนำไปสู่การวางแผนการอนุรักษ์พลังงานไว้สองกรณีโดยผลการตรวจวัดสามารถแสดงไว้ดังภาพที่ 13

ภาพที่13 การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าของพัดลมในสถานะตะแกรงด้านดูดของพัดลมสะอาดและสกปรก



จากผลการศึกษาภาพที่ 13 แสดงผลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าการใช้พลังงานของพัดลมแบบไร้สายโดยค่าความผิดเพี้ยนเมื่อเทียบกับการวัดค่าแบบใช้สายอยู่ที่ 0.5%ซึ่งในการทดลองนั้นได้ทำการตั้งเงื่อนไขการตรวจวัดและเปรียบเทียบพลังงานที่พัดลมทำงานคือ กำลังไฟฟ้าขณะพัดลมนั้นทำงานปกติและมีสิ่งกีดขวางด้านดูดของพัดลม พบว่ากำลังไฟฟ้าขณะทำงานปกติอยู่ที่ประมาณ 51.5W แต่เมื่อมีสิ่งกีดขวางด้านดูดกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นประมาณ 53-54 W ซึ่งทำให้ใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้นดังนั้นการเพิ่มขึ้นกำลังไฟฟ้างกล่าวนั้นบ่งบอกถึงต้องมีการจัดการตรวจสอบ หรือบำรุงรักษาอุปกรณ์เพื่อให้กำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นนั้นลดลงหรือใกล้เคียงค่าเดิมซึ่งผลการทดสอบนั้นสามารถนำไปกำหนดแผนการบำรุงรักษาหรือระยะการตรวจสอบเพื่อการอนุรักษ์พลังงานให้ยั่งยืนได้

4. สรุป

การศึกษาวิจัยเครื่องมือวัดคุณภาพกำลังไฟฟ้าแบบไร้สายได้ทำการออกแบบให้สามารถตรวจวัดวิเคราะห์คุณภาพกำลังไฟฟ้า ณ จุดส่งจ่ายไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าขนาด 1 เฟสที่แรงดัน 220Vac โดยใช้โปรแกรมแลปวิวในการออกแบบ ซึ่งประกอบไปด้วย การตรวจวัดขนาดและรูปสัญญาณของแรงดันและกระแสไฟฟ้า การตรวจวัดและวิเคราะห์ระดับฮาร์มอนิกทั้งแรงดันและกระแสไฟฟ้า การตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงและการกระเพื่อมของระดับแรงดันไฟฟ้า รวมถึงการส่งสัญญาณปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าไร้สายแบบซิกบี (ZigBee) เพื่อลดปัญหาการเดินสายในระยะไกลไปยังจุดรวบรวมและบันทึกข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อทำการจัดการการอนุรักษ์พลังงาน โดยจะทำการวิเคราะห์รูปแบบและปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและกำหนดค่าแจ้งเตือนเมื่อรูปแบบ และปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้นกว่าเดิมมากเพื่อทำงานบำรุงรักษาหรือกำหนดมาตรการเพื่อลดการใช้พลังงาน ซึ่งผลการวิจัยพบว่าชุดวิเคราะห์คุณภาพกำลังไฟฟ้าสามารถตรวจวัดวิเคราะห์คุณภาพกำลังไฟฟ้า ณ จุดส่งจ่ายไฟฟ้าได้ซึ่งผลการวิเคราะห์จะเป็นแบบเรียลไทม์ (Real Time) และสามารถส่งข้อมูลการใช้กำลังไฟฟ้ามายังจุดรวบรวมข้อมูลและบันทึกข้อมูลได้ โดยเครื่องมือวัดคุณภาพกำลังไฟฟ้าแบบไร้สายต้นแบบนี้สามารถนำไปวัดรูปแบบการใช้พลังงานของโหลดไฟฟ้าอื่นๆได้เพื่อการจัดการอนุรักษ์พลังงานที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้นอีกทั้งสามารถนำไปพัฒนาขีดความสามารถเพื่อให้สามารถตรวจวัดวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าที่ขนาดใหญ่ขึ้นได้ หรือเพิ่มกำลังวัดในการส่งข้อมูลได้เพื่อให้สามารถส่งข้อมูลในระยะทางไกลๆได้ รวมถึงการนำไปออกแบบเป็นโครงข่ายการตรวจวัดพลังงาน และยังสามารถนำไปประยุกต์เพื่อการวิเคราะห์และบันทึกการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าเช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน และข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ผลคุณภาพกำลังไฟฟ้ายังสามารถนำไปวิเคราะห์และปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี

5. เอกสารอ้างอิง

กิจไพบูรณ์ ชิวพันธุ์ศรี. พ.ศ.2554. Lab VIEW ซอฟต์แวร์เพื่อการพัฒนากระบวนการวัดและควบคุม
 ไชยะ แซ่มซ้อย. 2554. คู่มือคุณภาพไฟฟ้า วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. โรงพิมพ์
 แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Chompoo-inwai, Chow and Mungkornassawakul, Jade, Japan July 8-12 2012, The Data
 Acquisition system and lab view program in being a smart and low cost three phase
 disturbance measuring unit, international conference on electrical engineering
 (ICEEE 2012).

Chow chompoo-inwai and Jade Mungkornassawakul, USA April 4-5 2013. A smart recording
 power analyzer prototype using Lab view and low cost data acquisition (DAQ) in
 being a smart renewable monitoring system, IEEE green tech.

Roger C. Dugan. Mark F. McGranaghan. H. Wayne Beaty, Electrical Power Systems Quality.

ประวัตินักวิจัย

1. ชื่อ-นามสกุล นาง นฤมล วันน้อย
Mrs. Narumon Wannoi
2. หมายเลขประจำตัวประชาชน 3409901105146
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
4. หน่วยงานและสถานที่ติดต่อได้สะดวก
สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีการเกษตร
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์ 76000
โทรศัพท์ 056-717100 ต่อ 1702, 0-8752-7598-8
E-mail : n_pue23@hotmail.com
5. ประวัติการศึกษา
ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
6. สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ
อิเล็กทรอนิกส์กำลัง
7. ประสบการณ์เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
ชื่อผลงานวิจัย, การควบคุมมุมต่างเฟสของแรงดันและกระแสขาออก
ของวงจรเรโซแนนซ์ แบบขนานโดยใช้ พีแอลแอล
ชื่อโครงการ, ระบบไฟส่องสว่างแบบแอลอีดีโดยใช้แหล่งจ่ายไฟจาก
แผงเซลล์แสงอาทิตย์
ชื่อโครงการ, การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์สำหรับแสดงผลและวิเคราะห์
ข้อมูลคุณภาพแรงดันไฟฟ้าแบบรายงานผลโดยตรงของอาคารเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัย
ราชภัฏเพชรบูรณ์
ชื่อผลงานวิจัย, การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์สำหรับแสดงผลและ
วิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพแรงดันไฟฟ้าแบบรายงานผลโดยตรงของอาคารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์, ปีที่พิมพ์ 2558, [ประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏ
เพชรบูรณ์ ครั้งที่ 2 “งานวิจัยเพื่อพัฒนาท้องถิ่น”](#)

ชื่อโครงการ, เครื่องต้นแบบแสดงผลคุณภาพกำลังไฟฟ้าและบันทึกผล
อัจฉริยะด้วยระบบจัดเก็บข้อมูลโดยใช้โปรแกรมแลปวิวสำหรับการจัดการการอนุรักษ์พลังงาน

ชื่อผลงานวิจัย, เครื่องต้นแบบแสดงผลคุณภาพกำลังไฟฟ้าและบันทึก
ผลอัจฉริยะด้วยระบบจัดเก็บข้อมูลโดยใช้โปรแกรมแลปวิวสำหรับการจัดการการอนุรักษ์พลังงาน,
ปีที่พิมพ์ 2558, การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 7 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

ชื่อผลงานวิจัย, การประเมินความเพียงพอกำลังการผลิตจากกราฟกำลัง
ของเครื่องกักหน้ลมต่อระบบกำลังไฟฟ้าด้วยการจำลองมอนติคาร์โล, ปีที่พิมพ์ 2559, การประชุม
วิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 8 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม