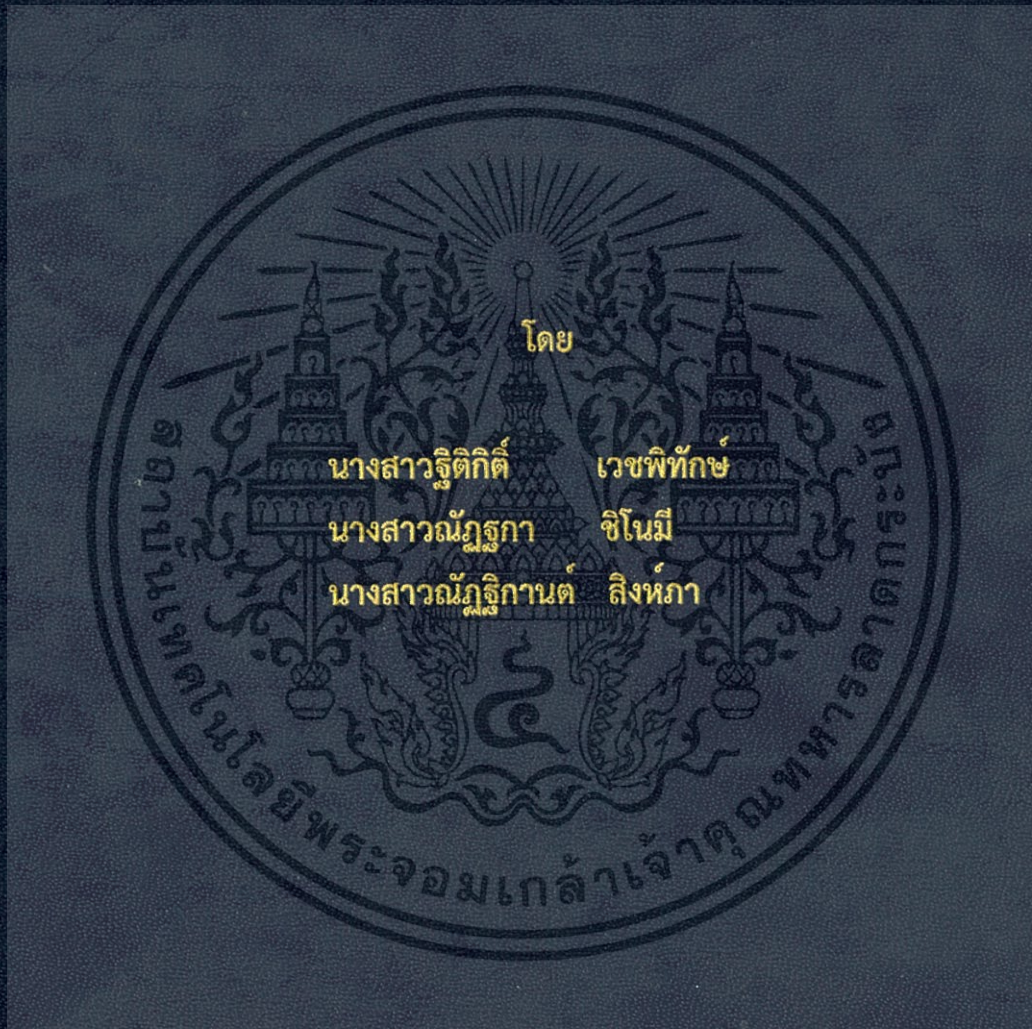


การศึกษาโปรแกรม LabVIEW สำหรับพลังงานทดแทน
LabVIEW for Modern Renewable Energy System



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

การศึกษาโปรแกรม LabVIEW สำหรับพลังงานทดแทน
LabVIEW for Modern Renewable Energy System



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LabVIEW for Modern Renewable Energy System



A PAPER SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE
DEGREE OF BACHELOR OF ELECTRICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2557

การศึกษาโปรแกรม LabVIEW สำหรับพลังงานทดแทน
LabVIEW for Modern Renewable Energy System



อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.เชาว์

ชมภูอินไหว

รศ.ดร.มณฑล

ลีลาจินดาไกรฤกษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2557

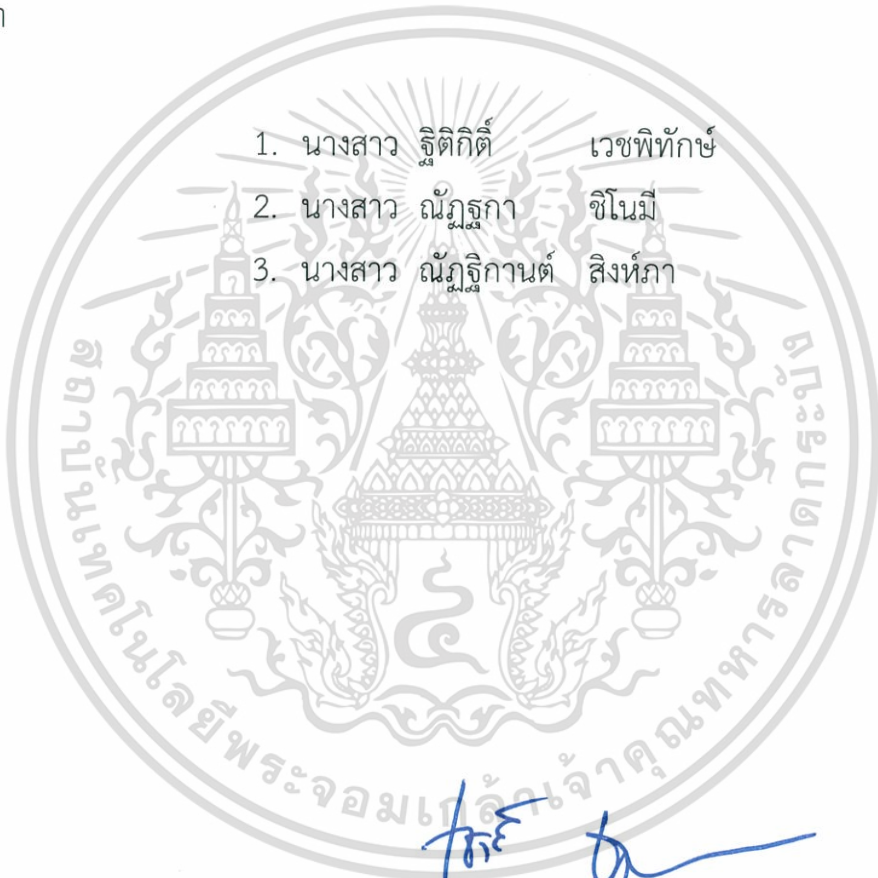
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง


เรื่อง การศึกษาโปรแกรม LabVIEW สำหรับพลังงานทดแทน

ผู้จัดทำ

1. นางสาว รุติกิติ เวชพิทักษ์
2. นางสาว ณัฏฐกา ชินนมี
3. นางสาว ณัฏฐิกานต์ สิงห์ภา




..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชาว์ ชมภูอินไหว)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.มณฑล สีลาจินดาไกรฤกษ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาโปรแกรม LabVIEW สำหรับพลังงานทดแทน

นางสาว ฐิติกิติ เวชพิทักษ์
นางสาว ณัฐธิดา ชีโนมี
นางสาว ณัฐธิกานต์ สิงห์ภา
ผศ.ดร.เชาว์ ชมภูอินไหว อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ.ดร.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2557

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาการใช้โปรแกรม LabVIEW ร่วมกับอุปกรณ์ DAQ เพื่อนำมาเป็นชุดอุปกรณ์วัดสำหรับใช้งานในระบบพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม โดยออกแบบให้มีการตรวจจับสัญญาณแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และพารามิเตอร์เฉพาะของแต่ละระบบ เช่น ความเข้มแสงอาทิตย์ ความเร็วลม ทิศทางลม อุณหภูมิ เป็นต้น และส่งพารามิเตอร์เหล่านี้ ผ่านอุปกรณ์ DAQ เข้าสู่โปรแกรม LabVIEW ซึ่งจะวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางไฟฟ้าอื่นๆ นอกเหนือจากที่รับเข้ามา ได้แก่ ค่ากำลังไฟฟ้า ค่ามมต่างเฟส ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของสัญญาณ เป็นต้น และจะตรวจการเกิดความผิดปกติของสัญญาณ รวมถึงการบันทึกและการอ่านข้อมูลสัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งในการทดสอบใช้งานจริงนั้นได้นำไปทดสอบในการวัดพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง และวัดความเร็วลมควบคู่กัน ผลที่ได้จากการวัดและวิเคราะห์จากโปรแกรม LabVIEW มีค่าใกล้เคียงกับผลจากการวัดด้วยเครื่องมือวัดอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LabVIEW for Modern Renewable Energy System

Thitikit

Vetpitak

Nutthaka

Chinomi

Natthikan

Singpa

Asst.Prof.Dr.Chow

Chompoo-Inwai

Advisor

Assoc.Prof.Dr.Monthon

Leelachindaileak

Advisor

Year 2014

ABSTRACT

This paper studies the use of LabVIEW program and DAQ as an instrument for measuring in Solar Energy system and Wind Energy system. It is designed to detect the voltage signal, the current signal and specific parameters of the systems such as solar irradiation, wind speed, wind direction and temperature etc. These parameters will be sent to LabVIEW via DAQ to analyze other electrical parameters such as the electrical power, the phase shift, the %THD; to find fault in the signal and to record the signal. The result in testing for solar and wind parameter is as accurate as using referenced measurement instrument.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ด้วยคำปรึกษา คำแนะนำ รวมถึงการตรวจสอบ และแก้ไขปริญญาานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ จากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชาว์ ชมภูอินทร์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้ง ในความอนุเคราะห์และขอขอบพระคุณทั้งสองท่านเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณพี่ภุชงค์ เจริญประสพสุข พี่สุทธิพงศ์ บุญทากลางและรุ่นพี่ในศูนย์วิจัย พลังงานและวิศวกรรมการส่องสว่างที่ให้ความรู้และคำแนะนำในการทำโครงงานครั้งนี้ ตลอดจน ช่วยเหลือในการทำปริญญาานิพนธ์จนสำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ให้การสนับสนุนด้าน เครื่องมือและอุปกรณ์ทดลองในการทำโครงงานจนสำเร็จได้

ขอขอบคุณเพื่อนนักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกคน สำหรับกำลังใจในการทำโครงงาน จนสำเร็จได้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และผู้มีพระคุณทุกท่านที่ได้กล่าวถึงในที่นี้ ที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจในการทำงานเสมอมา

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ.....	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 คุณภาพทางไฟฟ้าและนิยามของพารามิเตอร์คุณลักษณะทางไฟฟ้าที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1.1 แร่งดันกระเพื่อม (Voltage Fluctuation).....	5
2.1.2 ไฟกะพริบ (Flicker).....	6
2.1.3 แร่งดันไม่สมดุล (Voltage Unbalance).....	7
2.1.4 แร่งดันตก (Undervoltage).....	7
2.1.5 แร่งดันเกิน (Overvoltage).....	8
2.1.6 แร่งดันตกช่วงสั้น (Voltage Sag).....	8
2.1.7 แร่งดันเกินช่วงสั้น (Voltage Swell).....	9
2.1.8 ค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม (Total Harmonic Distortion).....	9
2.1.8.1 ความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกรวม (THDi).....	11
2.1.8.2 ความผิดเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกรวม (THDv).....	11
2.1.9 การแปรเปลี่ยนความถี่กำลังไฟฟ้า (Frequency Fluctuation).....	11
2.1.10 กำลังไฟฟ้า (Electrical Power).....	12
2.1.11 ส่วนประกอบสมมาตรทางไฟฟ้าสามเฟส.....	13
2.2 รายละเอียดของแผนแม่บทด้านพลังงานทางเลือกในประเทศไทย.....	15
2.2.1 แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้า 20 ปี (PDP).....	15
2.2.1.1 สาเหตุที่มีการปรับปรุงแผน PDP.....	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.2	แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศ พ.ศ. 2555-2573 ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 3	15
2.2.1.3	สรุปแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2555-2573 ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 3.....	16
2.2.2	แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (EE).....	18
2.2.3	แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (Alternative Energy Development Plan: AEDP).....	20
2.2.4	สถานการณ์พลังงานทางเลือกของประเทศไทยในปัจจุบัน	22
2.3	ระบบที่เกี่ยวข้องทางด้านอินพุตของงานวิจัยที่ออกแบบ	27
2.3.1	พลังงานแสงอาทิตย์	27
2.3.1.1	หลักการงานเบื้องต้นของระบบ	27
2.3.1.2	พารามิเตอร์เฉพาะของระบบ	28
2.3.1.3	มาตรการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์	29
2.3.1.4	ปัญหาและอุปสรรคในการผลิตไฟฟ้า	30
2.3.2	พลังงานลม.....	31
2.3.2.1	หลักการงานเบื้องต้นของระบบ	31
2.3.2.2	พารามิเตอร์เฉพาะของระบบ	31
2.3.2.3	มาตรการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์.....	32
2.3.2.4	ปัญหาและอุปสรรคในการผลิตไฟฟ้า	32
2.4	ส่วนโปรแกรม LabVIEW.....	33
2.4.1	ส่วนประกอบของโปรแกรม LabVIEW	33
2.4.1.1	Front Panel.....	33
2.4.1.2	Block Diagram	34
2.4.1.3	Icon และ Connector.....	35
2.4.2	ขั้นตอนและกระบวนการในการวัด	36
2.4.3	การติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์โดยใช้ DAQ	36
บทที่ 3	การออกแบบโปรแกรมและชุดอุปกรณ์	38
3.1	แนวคิดหลักที่ใช้ในการออกแบบโปรแกรม.....	38
3.2	การออกแบบโปรแกรม	41
3.2.1	หน้า Front Panel.....	43
3.2.2	ส่วนเริ่มต้นโปรแกรม	44
3.2.3	ส่วนควบคุมโปรแกรม.....	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3.1	การรับสัญญาณโดยใช้ DAQ.....	45
3.2.3.2	การรับค่าโดยการจำลองสัญญาณในโปรแกรม LabVIEW.....	46
3.2.4	ส่วนหน้าจอแสดงผลหลัก.....	46
3.2.4.1	การแสดงค่าพารามิเตอร์เฉพาะในระบบ.....	46
3.2.4.2	การแสดงกราฟของพารามิเตอร์เฉพาะในระบบ.....	46
3.2.4.3	การแสดงกราฟและค่าแรงดันและกระแสแต่ละเฟส.....	46
3.2.4.4	การแสดงกราฟกำลังทางไฟฟ้าแต่ละเฟส.....	47
3.2.4.5	การแสดงกราฟและค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้ารวมสามเฟส.....	48
3.2.4.6	การแสดงค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิก.....	48
3.2.4.7	การบันทึกข้อมูล.....	49
3.2.4.8	การอ่านข้อมูล.....	50
3.2.4.9	การแสดงผลเตือนเมื่อเกิดความผิดปกติ.....	50
3.3	การวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในระบบ.....	51
3.3.1	การวัดแรงดันไฟฟ้า.....	51
3.3.2	การวัดกระแสไฟฟ้า.....	53
3.3.3	การคำนวณกำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้า.....	53
3.4	การวัดค่าพารามิเตอร์เฉพาะในระบบ.....	54
3.4.1	การวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์.....	54
3.4.2	การวัดค่าความเร็วลมและทิศทางลม.....	55
3.4.3	การวัดอุณหภูมิ.....	56
3.4.4	การวัดความชื้นสัมพัทธ์.....	58
บทที่ 4	การทดลองและผลการทดลอง.....	59
4.1	การทดสอบความถูกต้องของชุดเครื่องมือวัด.....	59
4.1.1	การหาค่าเปรียบเทียบอัตราส่วนของชุดอุปกรณ์.....	60
4.1.2	การหาค่าเปรียบเทียบมมเฟส.....	62
4.1.3	การทดสอบเมื่อเปลี่ยนแปลงความถี่.....	74
4.1.4	การทดสอบขณะทำการวัด Linear Load และ Non-Linear Load.....	75
4.1.5	การตรวจสอบหาค่าความผิดเพี้ยนแรงดันและกระแสฮาร์มอนิก.....	76
4.1.6	การทดสอบส่วนการบันทึกผล.....	78
4.1.7	ส่วนการควบคุมชุดเครื่องมือวัดแบบออนไลน์.....	79
4.1.8	ผลการเปรียบเทียบชุดเครื่องมือวัดกับเครื่องวัดทางไฟฟ้าชนิดอื่น.....	79
4.2	ผลการทดลองชุดเครื่องมือวัดระบบพลังงานทดแทน.....	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 ส่วนการควบคุมชุดเครื่องมือวัดแบบออนไลน์.....	80
4.2.1.1 อุปกรณ์ตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ทางสภาพอากาศ	80
4.2.1.2 อุปกรณ์ตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า	80
4.2.2 การทดลองและผลการทดลองของชุดเครื่องมือวัดเมื่อนำไปใช้กับระบบจริง	81
4.2.2.1 ส่วนอินพุต.....	82
4.2.2.1.1 ความเร็วลม.....	82
4.2.2.1.2 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์.....	82
4.2.2.1.3 ความเข้มแสงอาทิตย์ แรงดัน กระแส และพลังงาน	83
4.2.2.2 ส่วนเอาต์พุต.....	84
4.2.3 การสรุปผลการทดลองเมื่อนำชุดเครื่องมือวัดไปใช้กับระบบพลังงานทดแทน	85
4.3 สรุปความสามารถในการทำงานของชุดอุปกรณ์วัดที่ออกแบบด้วย LabVIEW	86
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	87
5.1 สรุปผล.....	87
5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไขปัญหา	88
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	88
เอกสารอ้างอิง	89
ภาคผนวก	92
ภาคผนวก ก ข้อมูลทางฝั่ง DC และ AC.....	93
ภาคผนวก ข Data Acquisition (DAQ).....	105
ภาคผนวก ค คุณลักษณะเฉพาะของเครื่องมือวัด.....	115
ภาคผนวก ง คุณลักษณะเฉพาะของอุปกรณ์ต่างๆ.....	131
ภาคผนวก จ บทความวิชาการ.....	155
ประวัติผู้เขียน.....	159

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1	การวางแผนจัดลำดับขั้นตอนของการทำปริญญาโท	3
ตารางที่ 2.1	ความต้องการการใช้พลังงานในช่วงปี 2555-2573	17
ตารางที่ 2.2	กำลังการผลิตไฟฟ้าใหม่ในช่วงปี 2555-2573	17
ตารางที่ 2.3	สรุปกำลังการผลิตไฟฟ้าใหม่ในช่วงปี 2555-2573	17
ตารางที่ 2.4	เปรียบเทียบผลการจัดหาพลังงานไฟฟ้าปี 2573 ตามแผน PDP	18
ตารางที่ 2.5	สรุปศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานในปี 2573	20
ตารางที่ 2.6	ตารางค่าเป้าหมายปริมาณการใช้พลังงานทดแทน ตาม AEDP	21
ตารางที่ 2.7	เป้าหมายกำลังการผลิตติดตั้งไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเพื่อการขับเคลื่อนและติดตาม	22
ตารางที่ 2.8	ศักยภาพพลังงานทดแทนในประเทศไทย	25
ตารางที่ 2.9	สนับสนุนส่วนเพิ่มราคาซื้อขายไฟฟ้า (Adder Cost)	30
ตารางที่ 2.10	สนับสนุนส่วนเพิ่มราคาซื้อขายไฟฟ้า (Feed in Tariff, FIT)	30
ตารางที่ 2.11	สนับสนุนส่วนเพิ่มราคาซื้อขายไฟฟ้า (Adder Cost)	32
ตารางที่ 2.12	สรุปคำศัพท์ที่พบใน LabVIEW	36
ตารางที่ 4.1	การหาค่าอัตราส่วนจากการทดลองของหม้อแปลงกระแส	61
ตารางที่ 4.2	การหาค่าแรงดันเอาต์พุตสามเฟสที่ได้จากหม้อแปลงแรงดัน	61
ตารางที่ 4.3	ค่าอัตราส่วนที่ได้จากการทดลองของหม้อแปลงกระแสและหม้อแปลงแรงดัน	62
ตารางที่ 4.4	มุมต่างเฟสที่บันทึกจากเครื่องวัดอ้างอิงและโปรแกรม LabVIEW ของ R Load	65
ตารางที่ 4.5	มุมต่างเฟสที่บันทึกจากเครื่องวัดอ้างอิงและโปรแกรม LabVIEW ของ RL Load	68
ตารางที่ 4.6	มุมต่างเฟสที่บันทึกจากเครื่องวัดอ้างอิงและโปรแกรม LabVIEW ของ RC Load	70
ตารางที่ 4.7	มุมต่างเฟสที่บันทึกจากเครื่องวัดอ้างอิงและ LabVIEW ของโหลด R หลังปรับเทียบ	73
ตารางที่ 4.8	มุมต่างเฟสที่บันทึกจากเครื่องวัดอ้างอิงและ LabVIEW ของโหลด RL หลังปรับเทียบ	73
ตารางที่ 4.9	มุมต่างเฟสที่บันทึกจากเครื่องวัดอ้างอิงและ LabVIEW ของโหลด RC หลังปรับเทียบ	74
ตารางที่ 4.10	ความถี่จากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์เปรียบเทียบกับความถี่ที่บันทึกได้	75
ตารางที่ 4.11	ค่าพารามิเตอร์ Linear Load ของชุดเครื่องมือวัดเทียบกับเครื่องวัดอ้างอิง	75
ตารางที่ 4.12	ค่าพารามิเตอร์ Non-Linear Load ของชุดเครื่องมือวัดเทียบกับเครื่องวัดอ้างอิง	76
ตารางที่ 4.13	สรุปค่าความผิดพลาดฮาร์มอนิกในแต่ละเฟสของชุดเครื่องมือวัดเทียบกับเครื่องวัดอ้างอิง	76
ตารางที่ 4.14	ข้อดีข้อเสียระหว่าง DAQ and LabVIEW กับเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าชนิดอื่น	79

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 รูปคลื่นที่มีแรงดันกระเพื่อมแบบต่อเนื่อง	5
รูปที่ 2.2 รูปคลื่นที่มีแรงดันกระเพื่อมแบบไม่ต่อเนื่อง	6
รูปที่ 2.3 รูปคลื่นที่มีไฟกะพริบแบบรูปคลื่นไซน์	6
รูปที่ 2.4 รูปคลื่นที่มีไฟกะพริบแบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยม	7
รูปที่ 2.5 รูปคลื่นที่มีแรงดันไม่สมดุล	7
รูปที่ 2.6 รูปคลื่นที่มีแรงดันตก	8
รูปที่ 2.7 รูปคลื่นที่มีแรงดันเกิน	8
รูปที่ 2.8 รูปคลื่นที่มีแรงดันตกช่วงสั้นที่เกิดจากความผิดพลาดทางไฟฟ้า	9
รูปที่ 2.9 รูปคลื่นที่มีแรงดันเกินช่วงสั้นที่เกิดจากความผิดพลาดทางไฟฟ้า	9
รูปที่ 2.10 รูปคลื่นที่ความถี่ 50, 150, 250 Hz และรูปคลื่นที่รวม 3 สัญญาณ	10
รูปที่ 2.11 สเปกตรัมของฮาร์โมนิก	10
รูปที่ 2.12 รูปคลื่นที่มีการแปรเปลี่ยนความถี่กำลังไฟฟ้า	11
รูปที่ 2.13 รูปสามเหลี่ยมกำลัง (Power Triangle)	13
รูปที่ 2.14 ส่วนประกอบสมมาตรทางไฟฟ้าสามเฟส	13
รูปที่ 2.15 เฟสเซอร์แรงดันของระบบสมดุล	14
รูปที่ 2.16 เฟสเซอร์แรงดันของระบบไม่สมดุล	14
รูปที่ 2.17 ปริมาณการผลิต การใช้และการนำเข้า (สุทธิ) พลังงานเชิงพาณิชย์ขั้นต้น	22
รูปที่ 2.18 สัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนแต่ละเทคโนโลยี	23
รูปที่ 2.19 สัดส่วนมูลค่าการนำเข้าพลังงานต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมประชาชาติ (ณ ราคาตลาด)	26
รูปที่ 2.20 หน้าจอแสดงผล	34
รูปที่ 2.21 บล็อกไดอะแกรม	35
รูปที่ 2.22 ระบบ DAQ บนพีซี	37
รูปที่ 3.1 ภาพรวมของระบบที่จะนำมาวิเคราะห์	38
รูปที่ 3.2 วันไลน์ไดอะแกรมของระบบพลังงานแสงอาทิตย์	39
รูปที่ 3.3 ภาพรวมของระบบพลังงานแสงอาทิตย์	39
รูปที่ 3.4 หลักการทำงานของระบบพลังงานลมแบบ DFIG	40
รูปที่ 3.5 ภาพรวมของระบบพลังงานลม	40
รูปที่ 3.6 ภาพรวมของโปรแกรมที่ออกแบบ	41
รูปที่ 3.7 การรับค่าพารามิเตอร์จริงในระบบรวม	42
รูปที่ 3.8 การรับค่าพารามิเตอร์จริงในระบบพลังงานแสงอาทิตย์	42
รูปที่ 3.9 การรับค่าพารามิเตอร์จริงในระบบพลังงานลม	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.10 Front Panel ของโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์สัญญาณ	44
รูปที่ 3.11 บล็อกไดอะแกรมของโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์สัญญาณ	44
รูปที่ 3.12 Front Panel และบล็อกไดอะแกรมสำหรับส่วนเริ่มต้นโปรแกรม	45
รูปที่ 3.13 ส่วนควบคุมโปรแกรมซึ่งรับค่าโดยการจำลองสัญญาณ	45
รูปที่ 3.14 ส่วนควบคุมโปรแกรมซึ่งรับค่าโดยการจำลองสัญญาณ	46
รูปที่ 3.15 การแสดงค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าและรูปคลื่นสัญญาณ	47
รูปที่ 3.16 การแสดงกราฟกำลังทางไฟฟ้าแต่ละเฟส	47
รูปที่ 3.17 การแสดงกราฟและค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้ารวมสามเฟส	48
รูปที่ 3.18 การวิเคราะห์ฮาร์มอนิก	48
รูปที่ 3.19 การบันทึกข้อมูลแบบกำหนดระยะเวลา	49
รูปที่ 3.20 การบันทึกข้อมูลแบบเลือกจำนวนคาบ	49
รูปที่ 3.21 การอ่านข้อมูล	50
รูปที่ 3.22 การแสดงผลเตือนเมื่อเกิดความผิดปกติ	51
รูปที่ 3.23 วงจร Voltage Divider	52
รูปที่ 3.24 หม้อแปลงแรงดัน	52
รูปที่ 3.25 Current Sensor Arduino ACS712	53
รูปที่ 3.26 หม้อแปลงกระแส Salser MSQ-40 CT	53
รูปที่ 3.27 Solar Irradiation Sensor รุ่น DAVIS6450	54
รูปที่ 3.28 บล็อกไดอะแกรมการวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์	55
รูปที่ 3.29 Anemometer รุ่น DAVIS7911	56
รูปที่ 3.30 บล็อกไดอะแกรมการวัดค่าความเร็วลมและทิศทางลม	56
รูปที่ 3.31 วงจร Voltage Divider เพื่อทำการวัดค่าความต้านทานจาก Thermistor	57
รูปที่ 3.32 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ NTC Thermistor	57
รูปที่ 3.33 บล็อกไดอะแกรมสำหรับการวัดอุณหภูมิ	58
รูปที่ 3.34 เซนเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์ HIH 5030	58
รูปที่ 3.35 บล็อกไดอะแกรมสำหรับการวัดความชื้น	58
รูปที่ 4.1 แผนผังขั้นตอนการปฏิบัติงาน	59
รูปที่ 4.2 วงจรการทดสอบหาค่าเปรียบเทียบอัตราส่วนของชุดอุปกรณ์	60
รูปที่ 4.3 การทดสอบหาค่าเปรียบเทียบอัตราส่วนของชุดอุปกรณ์	60
รูปที่ 4.4 นำค่าเปรียบเทียบอัตราส่วนของหม้อแปลงกระแสและแรงดันที่ได้จากการทดลองไปเป็นค่าเปรียบเทียบใน LabVIEW	62
รูปที่ 4.5 กราฟแรงดันด้านอินพุตเป็นสัญญาณอ้างอิงเทียบกับกราฟแรงดันและกระแสด้านออก	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.6 มุมต่างเฟส V-I ที่แรงดัน 220 โวลต์ของ Linear Load ด้านอินพุตจากเครื่องมือวัดอ้างอิง	63
รูปที่ 4.7 มุมต่างเฟส V-I ที่แรงดัน 220 โวลต์ของ Linear Load ด้านเอาต์พุตจากชุดเครื่องมือวัด	63
รูปที่ 4.8 วงจรการทดสอบหาค่าปรับเทียบมุมเฟสที่เกิดจากหม้อแปลงกระแส ในกรณี R load	64
รูปที่ 4.9 การทดสอบหาค่าปรับเทียบมุมเฟสที่เกิดจากหม้อแปลงกระแส ในกรณี R load	64
รูปที่ 4.10 มุมต่างเฟส V-I ที่แรงดัน 220 โวลต์ของ R Load จาก CA-8335 Qualistar+	65
รูปที่ 4.11 มุมต่างเฟส V_a-I_a ที่แรงดัน 220 โวลต์ของ R Load จาก DAQ และ LabVIEW	65
รูปที่ 4.12 มุมต่างเฟส V_b-I_b ที่แรงดัน 220 โวลต์ของ R Load จาก DAQ และ LabVIEW	66
รูปที่ 4.13 มุมต่างเฟส V_c-I_c ที่แรงดัน 220 โวลต์ของ R Load จาก DAQ และ LabVIEW	66
รูปที่ 4.14 วงจรการทดสอบหาค่าปรับเทียบมุมเฟสที่เกิดจากหม้อแปลงกระแส ในกรณี RL load	67
รูปที่ 4.15 การทดสอบหาค่าปรับเทียบมุมเฟสที่เกิดจากหม้อแปลงกระแส ในกรณี RL load	67
รูปที่ 4.16 มุมต่างเฟส V-I ที่แรงดัน 220 โวลต์ของ RL Load จาก CA-8335 Qualistar+	68
รูปที่ 4.17 มุมต่างเฟส V_a-I_a ที่แรงดัน 220 โวลต์ของ RL Load จาก DAQ และ LabVIEW	68
รูปที่ 4.18 มุมต่างเฟส V_b-I_b ที่แรงดัน 220 โวลต์ของ RL Load จาก DAQ และ LabVIEW	69
รูปที่ 4.19 มุมต่างเฟส V_c-I_c ที่แรงดัน 220 โวลต์ของ RL Load จาก DAQ และ LabVIEW	69
รูปที่ 4.20 วงจรการทดสอบหาค่าปรับเทียบมุมเฟสที่เกิดจากหม้อแปลงกระแส ในกรณี RL load	70
รูปที่ 4.21 การทดสอบหาค่าปรับเทียบมุมเฟสที่เกิดจากหม้อแปลงกระแส ในกรณี RC load	70
รูปที่ 4.22 มุมต่างเฟส V-I ที่แรงดัน 55 โวลต์ของ RC Load จาก CA-8335 Qualistar+	71
รูปที่ 4.23 มุมต่างเฟส V_a-I_a ที่แรงดัน 55 โวลต์ของ RC Load จาก DAQ และ LabVIEW	71
รูปที่ 4.24 มุมต่างเฟส V_b-I_b ที่แรงดัน 55 โวลต์ของ RC Load จาก DAQ และ LabVIEW	72
รูปที่ 4.25 มุมต่างเฟส V_c-I_c ที่แรงดัน 55 โวลต์ของ RC Load จาก DAQ และ LabVIEW	72
รูปที่ 4.26 นำค่าปรับเทียบอัตราส่วนของหม้อแปลงกระแสและแรงดันที่ได้จากการทดลองไปเป็นค่าปรับเทียบในโปรแกรม LabVIEW	73
รูปที่ 4.27 รูปวงจรการทดสอบเมื่อเปลี่ยนแปลงความถี่	74
รูปที่ 4.28 เปรียบเทียบความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ของ Phase A	77
รูปที่ 4.29 เปรียบเทียบความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ของ Phase B	77
รูปที่ 4.30 เปรียบเทียบความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกส์ของ Phase C	78
รูปที่ 4.31 ตัวอย่างโปรแกรมที่บันทึกผล	78
รูปที่ 4.32 การควบคุมชุดเครื่องมือวัดแบบออนไลน์	79
รูปที่ 4.33 ไดอะแกรมการทดลองชุดเครื่องมือวัดระบบพลังงานทดแทน	80
รูปที่ 4.34 การทดลองใช้งานและวัดผลในสถานที่จริง	81
รูปที่ 4.35 การวัดผลในสถานที่จริงด้วยโปรแกรม LabVIEW	81
รูปที่ 4.36 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วลมกับเวลา	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.37	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ กับเวลา.....	82
รูปที่ 4.38	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์กับเวลา.....	83
รูปที่ 4.39	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน กระแส กับเวลา.....	83
รูปที่ 4.40	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง 4 พารามิเตอร์ของระบบ	84
รูปที่ 4.41	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กับเวลา.....	84
รูปที่ 4.42	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานกับเวลา.....	85
รูปที่ 4.43	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบกำลังกับเวลา	85
รูปที่ 4.44	สรุปความสามารถในการทำงานของชุดอุปกรณ์วัดที่ออกแบบด้วย LabVIEW.....	86



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา XII ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ประเทศไทยต้องพึ่งพาการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศเป็นหลัก โดยมีสัดส่วนการนำเข้าน้ำมันสูงถึงร้อยละ 80 ของปริมาณการใช้น้ำมันทั้งหมดภายในประเทศและยังมีแนวโน้มจะสูงขึ้นอีก เพราะไม่สามารถเพิ่มปริมาณการผลิตปิโตรเลียมในประเทศได้ทันกับความต้องการใช้งาน การพัฒนาพลังงานทดแทนอย่างจริงจังจะช่วยลดการพึ่งพาและการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงและพลังงานชนิดอื่น และยังช่วยกระจายความเสี่ยงในการจัดหาเชื้อเพลิงเพื่อการผลิตไฟฟ้าของประเทศ โดยพลังงานทดแทนถือเป็นหนึ่งในเชื้อเพลิงเป้าหมายที่คาดว่าจะสามารถนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าทดแทนก๊าซธรรมชาติได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลมแบบทุ้งกังหันลม พลังน้ำขนาดเล็ก ชีวมวล ก๊าซชีวภาพ และขยะ อาจสามารถพัฒนาให้เป็นพลังงานหลักในการผลิตไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยได้ในอนาคต[1]

สำหรับการตรวจวัดพารามิเตอร์ของระบบนั้นโดยทั่วไปจะใช้เครื่องมือวัดแบบอนาล็อกและแบบดิจิทัล เช่น โวลต์มิเตอร์ และแอมป์มิเตอร์ นั้น อุปกรณ์เหล่านี้นอกจากจะมีราคาสูงแล้วยังไม่สามารถตรวจจับและวัดสัญญาณในระยะไกล (online measuring) ได้ กล่าวคือจะต้องตรวจจับและวัดสัญญาณในระยะใกล้หรือ ณ ตำแหน่งที่ใช้งาน (on-site measuring) เท่านั้น และเมื่อเกิดความผิดปกติกับสัญญาณทางไฟฟ้า อุปกรณ์ดังกล่าวจะไม่สามารถบอกได้ว่าเกิดอะไรขึ้นกับระบบ เนื่องจากจะแสดงได้เฉพาะข้อมูลเชิงปริมาณ ไม่สามารถแสดงผลข้อมูลในเชิงคุณภาพได้ ยิ่งไปกว่านั้นเครื่องวัดดังกล่าวไม่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บค่าที่วัดได้ของสัญญาณตามช่วงเวลาการบันทึกที่ปรับตั้งไว้ให้ทำการเก็บค่าอัตโนมัติ จึงส่งผลให้การวิเคราะห์และแสดงผลการวัดจากเครื่องมือวัดดังกล่าวไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร

จากเหตุผลดังกล่าวกลุ่มวิจัยจึงมีความคิดที่จะออกแบบชุดอุปกรณ์เครื่องมือวัดสัญญาณทางไฟฟ้าและวิเคราะห์สัญญาณระยะไกล ซึ่งสามารถแสดงผลได้ทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพ และสามารถจัดเก็บข้อมูลในระยะเวลาที่กำหนดโดยอัตโนมัติไว้สำหรับใช้งานในระบบพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม

จากการศึกษางานวิจัยและปริญญาานิพนธ์ที่ผ่านมาหลายเล่ม พบว่ามีการใช้งานโปรแกรม LabVIEW ในลักษณะต่างๆ มากมาย เช่น ในด้านการตรวจจับ การวัดสัญญาณ รวมถึงการเฝ้าติดตามสัญญาณในระบบ แต่ทั้งนี้ไม่พบการใช้งานโปรแกรมดังกล่าวในการวิเคราะห์สัญญาณไฟฟ้ากับระบบพลังงานทดแทนต่างรูปแบบในอุปกรณ์ชุดเดียว

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 ศึกษาโปรแกรม LabVIEW เพื่อออกแบบชุดอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณทางไฟฟ้าที่สามารถแสดงผลและวิเคราะห์พร้อมทั้งยังสามารถจัดเก็บค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของพลังงานทดแทนโดยอัตโนมัติ เช่น แรงดัน กระแส กำลัง ตัวประกอบกำลัง เป็นต้น

1.2.2 ศึกษาความผิดพลาดทางไฟฟ้า พารามิเตอร์ต่างๆ และรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้า เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของชุดอุปกรณ์วัด

1.2.3 สามารถเขียนโปรแกรมกราฟิกเพื่อควบคุมการทำงานของ DAQ (Data Acquisition) ได้ในระดับพื้นฐาน

1.2.4 การนำโปรแกรม LabVIEW มาใช้งานจริงร่วมกับการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

1.3.1 ทำการศึกษาการใช้งานโปรแกรม LabVIEW และค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

1.3.2 ศึกษามาตรฐานเกี่ยวกับพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า IEEE 1159-2009

1.3.3 เขียนโปรแกรมกราฟิกในการวิเคราะห์เปรียบเทียบลักษณะของรูปคลื่นสัญญาณและค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม แล้วจึงนำผลที่ได้มาวิเคราะห์โดยเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้จากทางทฤษฎี

1.3.4 วัดสัญญาณจริงในระบบพลังงานทางเลือกโดยตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณผ่าน DAQ (Data Acquisition) พารามิเตอร์ดังกล่าว ได้แก่ แรงดัน กระแส กำลัง ตัวประกอบกำลังความผิดพลาดทางไฟฟ้า เป็นต้น

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวกับโปรแกรม LabVIEW สำหรับพลังงานทดแทน

1.4.2 ศึกษามาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า

1.4.3 ศึกษาการใช้และหลักการทำงานของโปรแกรม LabVIEW

1.4.4 เขียนโปรแกรมกราฟิก สำหรับวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของพลังงานทดแทน

1.4.5 ทำการเชื่อมต่อกับชุดอุปกรณ์ DAQ (Data Acquisition) เพื่อใช้งานกับพลังงานทดแทน และนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์

1.4.6 ทดสอบ วิเคราะห์ และแก้ไขปรับปรุงระบบ

1.4.7 สรุปผลการทดลองและจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์

ตารางที่ 1.1 การวางแผนจัดลำดับขั้นตอนของการทำปริญญานิพนธ์

วิธีการดำเนินการ	ปีการศึกษา 2557									
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1. ศึกษาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโปรแกรม LabVIEW สำหรับพลังงานทางเลือก										
2. ศึกษามาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า										
3. ศึกษาการใช้และหลักการทำงานของโปรแกรม LabVIEW										
4. เขียนโปรแกรมกราฟิกสำหรับวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของพลังงานทางเลือก										
5. ทำการเชื่อมต่อกับชุดอุปกรณ์ DAQ (Data Acquisition) เพื่อใช้งานกับพลังงานทางเลือก และนำข้อมูลที่ได้อุปกรณ์										
6. ทดสอบ วิเคราะห์ และแก้ไขปรับปรุงระบบ										
7. สรุปผลการทดลองและจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์										

←-----> วางแผน

←-----> ดำเนินงานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1.5.1 สามารถพัฒนาโปรแกรม LabVIEW เพื่อใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณแรงดัน กระแส และวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนได้

1.5.2 สามารถใช้โปรแกรม LabVIEW เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดสอบคุณภาพ กำลังไฟฟ้าของพลังงานทดแทนให้มีความแม่นยำและมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

1.5.3 เป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย โดยการลดการใช้เครื่องมือวัดต่างๆ ที่มีราคาสูง

1.5.4 ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงทางด้านพลังงาน ทดแทน และเป็นประโยชน์ในการศึกษาต่อยอดในงานวิจัยต่อไปในอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

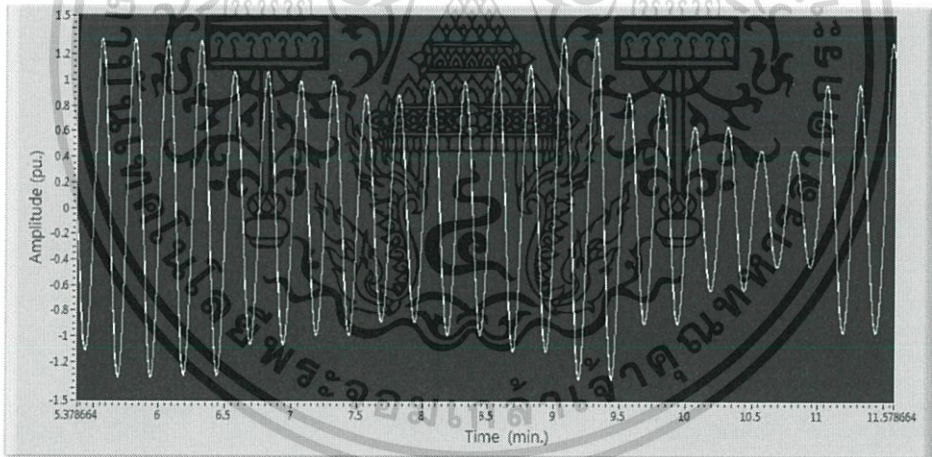
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุณภาพทางไฟฟ้าและนิยามของพารามิเตอร์คุณลักษณะทางไฟฟ้าที่เกี่ยวข้อง [3]

ปัจจุบันคำว่า คุณภาพกำลังไฟฟ้า (Power Quality) [2] เป็นคำที่พูดถึงบ่อยในเรื่องของความมั่นคงการจ่ายไฟฟ้าของระบบจากการไฟฟ้าฯ และกรณีเมื่อเกิดปัญหาอุปกรณ์ไฟฟ้ามีการทำงานผิดพลาด หรือหยุดการทำงานจากผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งเห็นได้ว่าคำนิยามของคำว่าคุณภาพกำลังไฟฟ้า ระหว่างการไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟจะพูดถึงในกรณีที่แตกต่างกันไป แต่ในความเป็นจริงแล้วมีความหมายเดียวกันซึ่งนิยามของคุณภาพกำลังไฟฟ้า ตามมาตรฐานสากล IEEE 1159-2009 ให้ความหมายของคุณภาพกำลังไฟฟ้า คือ คุณลักษณะกระแสแรงดัน และความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าในสภาวะปกติไม่ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้ามีการทำงานผิดพลาดหรือเกิดการเสียหาย

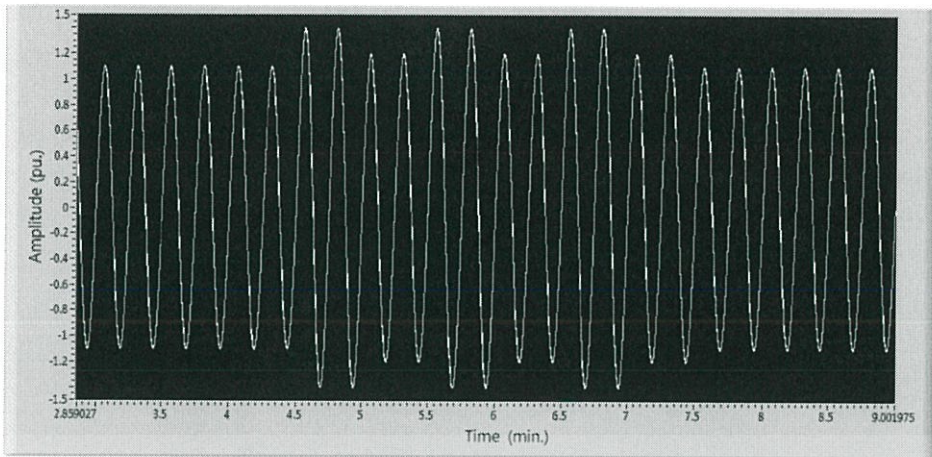
2.1.1 แรงดันกระเพื่อม (Voltage Fluctuation)

แรงดันกระเพื่อม คือ การเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าอาร์เอ็มเอสที่ไม่เกิน $\pm 5\%$ (0.95-1.05 p.u.) ทั้งแบบเป็นระบบและแบบไม่ต่อเนื่อง บางครั้งอาจเรียกว่า Flicker หรือ ไฟกะพริบ เช่น การทำงานของเตาหลอมไฟฟ้า (Arc Furnace) ทำให้เกิดการกะพริบที่หลอดไฟ



รูปที่ 2.1 รูปคลื่นที่มีแรงดันกระเพื่อมแบบต่อเนื่อง

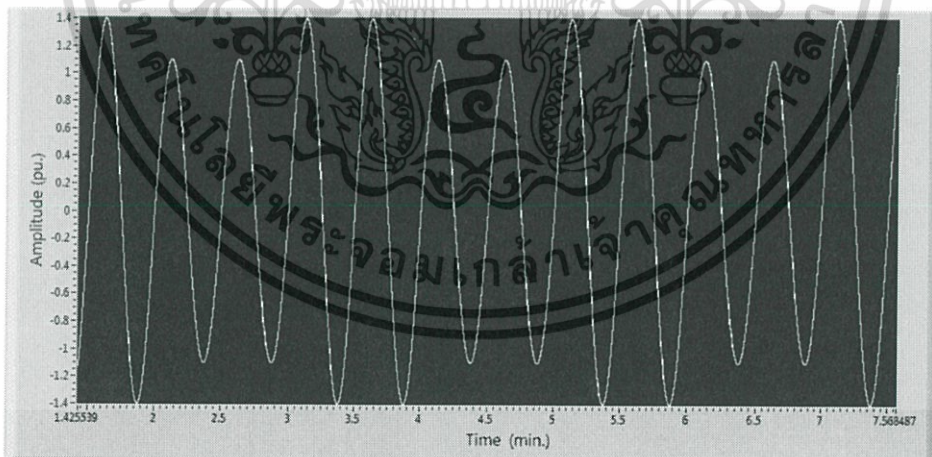
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 รูปคลื่นที่มีแรงดันกระแสเฟรมแบบไม่ต่อเนื่อง

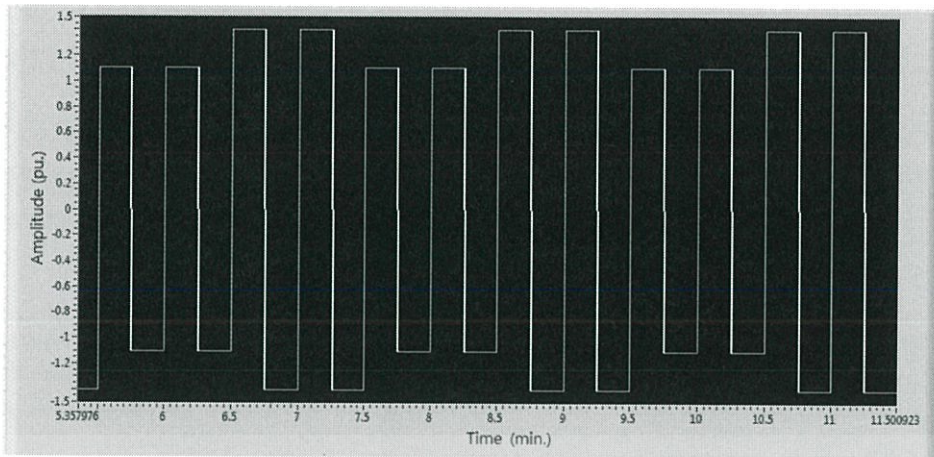
2.1.2 ไฟกะพริบ (Flicker)

ไฟกะพริบ คือ เหตุการณ์ที่ตาของเรามีความรู้สึกในการมองที่ไม่สม่ำเสมอของระดับแสงสว่างของหลอดไฟซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของความถี่ ตาของเรานั้นจะสังเกตเห็นหลอดไฟกะพริบได้ ไฟกะพริบจะขึ้นอยู่กับขนาดและความถี่ ความคลาดเคลื่อนทางคาบของแอมพลิจูด (Amplitude Modulated) จะเป็นไปในลักษณะการเพิ่มขึ้นและลดลงของค่าขนาดแรงดันไฟฟ้าในคาบเวลา ซึ่งสาเหตุที่ก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนในลักษณะนี้ส่วนใหญ่จะเกิดจากผลการทำงานของปั๊ม (Pump) และเตาหลอมไฟฟ้า เป็นต้น



รูปที่ 2.3 รูปคลื่นที่มีไฟกะพริบแบบรูปคลื่นไซน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 รูปคลื่นที่มีเฟสปรับแบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยม

2.1.3 แรงดันไม่สมดุล (Voltage Unbalance)

คือ แรงดันของระบบ 3 เฟสมีขนาดแตกต่างกันไม่เกิน 3% หรือมีมุมเปลี่ยนไปจาก 120 องศา เกิดจากความไม่สมดุลขนาดของโหลดแต่ละเฟส สามารถกำหนดได้จากอัตราส่วนขององค์ประกอบลำดับลบ V_{neg} (Negative Sequence) ต่อองค์ประกอบลำดับบวก V_{pos} (Positive Sequence) ดังรูป

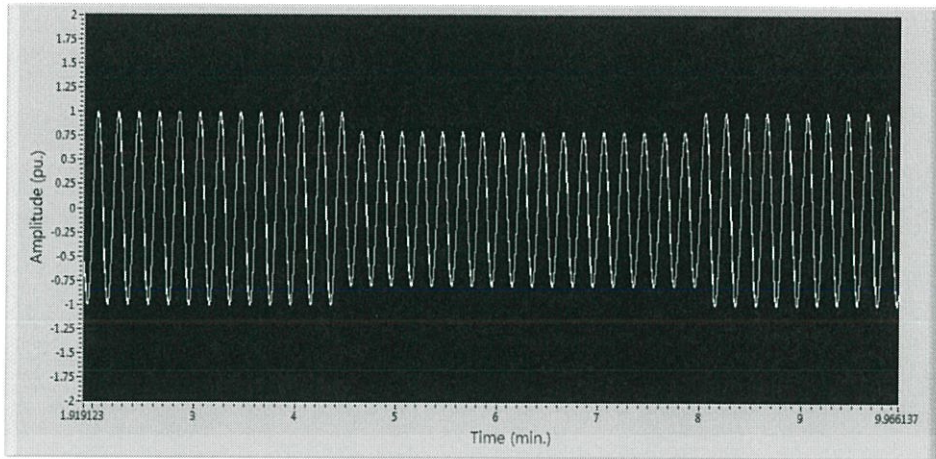


รูปที่ 2.5 รูปคลื่นที่มีแรงดันไม่สมดุล

2.1.4 แรงดันตก (Undervoltage)

คือ การเกิดแรงดันตกมากกว่า 10% (ส่วนใหญ่จะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 0.8-0.9 p.u.) เป็นเวลานานเกินกว่า 1 นาที เช่น การตั้งแท็บของหม้อแปลงไม่ถูกต้อง การเดินเครื่องจักรขนาดใหญ่หรือ การตัดตัวเก็บประจุขนาดใหญ่ออกจากระบบไฟฟ้า คำศัพท์ที่ไม่เป็นทางการคือ “ไฟตก” หรือ “Brownout” เป็นผลทำให้อุปกรณ์ได้รับความเสียหาย เนื่องจากการรับภาระเกิน (Overload)

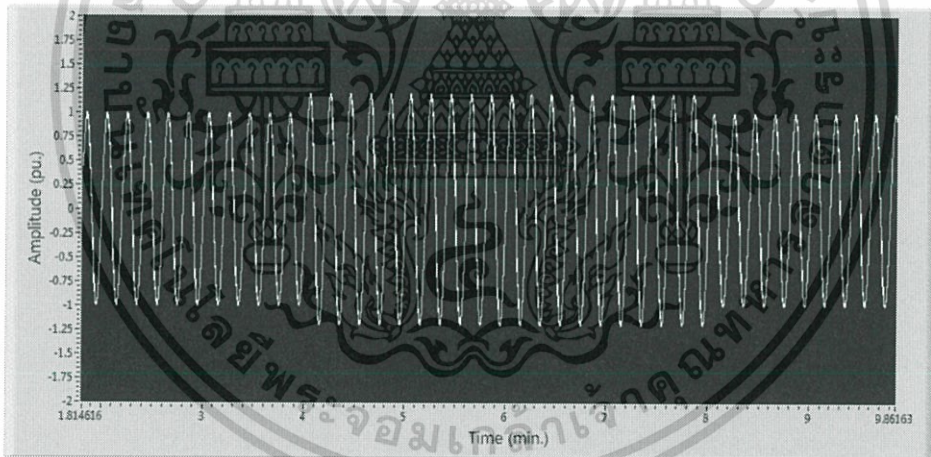
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 รูปคลื่นที่มีแรงดันตก

2.1.5 แรงดันเกิน (Overvoltage)

คือการเกิดแรงดันเกินมากกว่า 10% (ส่วนใหญ่จะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 1.1-1.2 p.u.) เป็นเวลานานเกินกว่า 1 นาที เนื่องจากการปลดโหลดขนาดใหญ่ออกจากระบบ ศัพท์ที่ไม่เป็นทางการคือ “ไฟเกิน” เป็นผลทำให้อุปกรณ์เสียหายเนื่องจากแรงดันเกิน

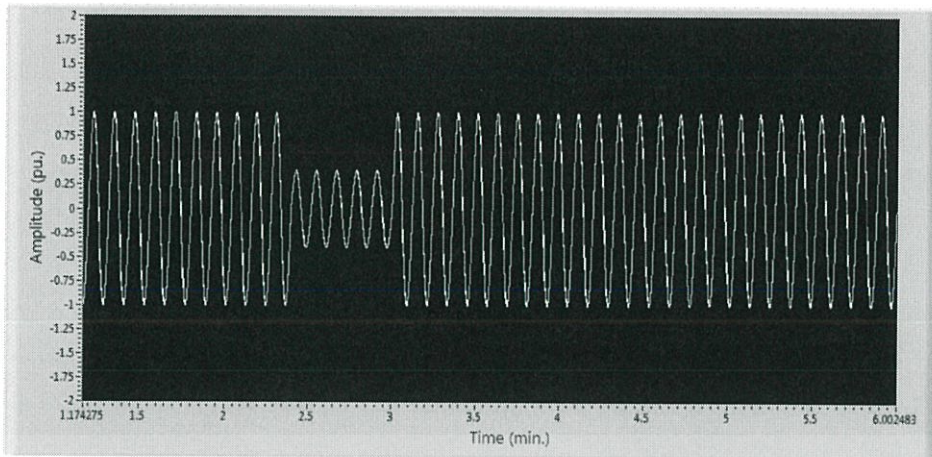


รูปที่ 2.7 รูปคลื่นที่มีแรงดันเกิน

2.1.6 แรงดันตกช่วงสั้น (Voltage Sag)

แรงดันตกช่วงสั้น หรือเรียกอีกอย่างว่า Voltage dip คือ แรงดันอาร์เอ็มเอสมีขนาดลดลงอยู่ระหว่าง 0.1-0.9 p.u. ในช่วงเวลาระหว่าง 0.01 ถึง 1 นาที ส่วนใหญ่เกิดขึ้นกับเฟสที่เกิดความผิดปกติทางไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.8 ทำให้แรงดันมีค่าลดลงเหลือ 0.2 p.u. ของแรงดันปกติ (80% sag) ในช่วงเวลา 3 คาบ

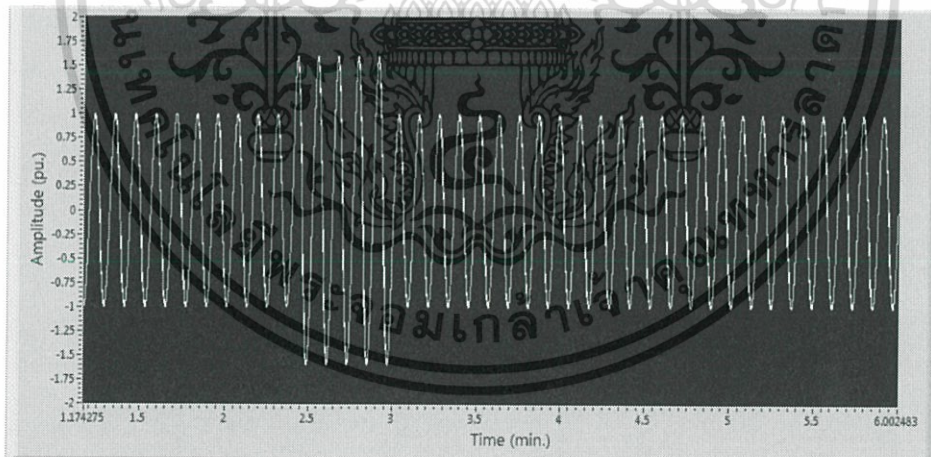
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 รูปคลื่นที่มีแรงดันตกช่วงสั้นที่เกิดจากความผิดพลาดทางไฟฟ้า

2.1.7 แรงดันเกินช่วงสั้น (Voltage Swell)

แรงดันเกินช่วงสั้น คือ แรงดันอาร์เอ็มเอสมีขนาดเพิ่มขึ้นระหว่าง 1.1-1.8 p.u. ในช่วงเวลา ระหว่าง 0.01 ถึง 1 นาที ดังรูปที่ 2.9 ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นกับเฟสที่ไม่ได้เกิดความผิดพลาดทางไฟฟ้า โดยตรง หรืออาจเกิดจากการปลดโหลดขนาดใหญ่ออกจากระบบหรือมีการต่อตัวเก็บประจุขนาดใหญ่ เข้าระบบ ผลทำให้อุปกรณ์ได้รับความเสียหาย หรือทำให้อุปกรณ์ที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะ ของแหล่งจ่ายไฟมีการทำงานผิดพลาดหรือหยุดการทำงาน



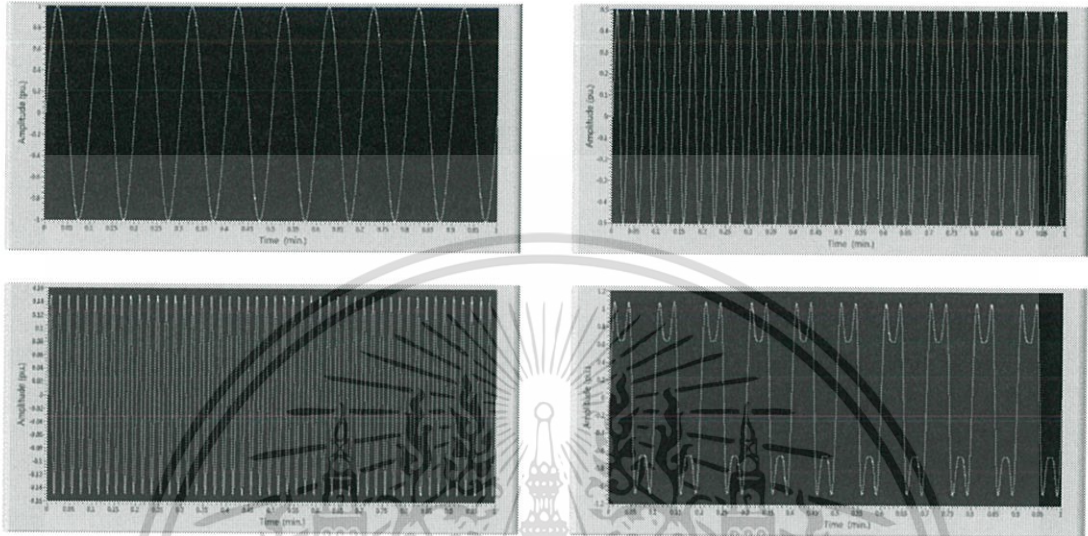
รูปที่ 2.9 รูปคลื่นที่มีแรงดันเกินช่วงสั้นที่เกิดจากความผิดพลาดทางไฟฟ้า

2.1.8 ค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม (Total Harmonic Distortion)

ฮาร์มอนิก [4] คือ ส่วนประกอบในรูปสัญญาณคลื่นไซน์ (Sine wave) ของสัญญาณหรือ ปริมาณเป็นคาบใดๆ ซึ่งมีความถี่เป็นจำนวนเต็มเท่าของความถี่หลักมูล (Fundamental Frequency ในระบบไฟฟ้าประเทศไทยมีค่า 50 Hz) เช่น ฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 มีค่าความถี่เป็น 150 Hz ฮาร์มอนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่ 5 มีค่าความถี่เป็น 250 Hz เป็นต้น ผลของฮาร์มอนิกเมื่อรวมกันกับสัญญาณความถี่หลักมูดด้วยทางขนาด (Amplitude) และมุมเฟส (Phase Angle) ทำให้สัญญาณที่เกิดขึ้นมีขนาดเปลี่ยนไป และมีรูปสัญญาณเพี้ยน (Distortion) ไปจากสัญญาณคลื่นไซน์ เป็นผลเกิดจากการใช้อุปกรณ์ประเภทที่ไม่เป็นเชิงเส้น ทำให้อุปกรณ์ในระบบไฟฟ้ามีการทำงานผิดพลาด และถ้ามีการขยายของฮาร์มอนิกที่มีขนาดมากพออาจจะทำให้อุปกรณ์เกิดการชำรุดขึ้นได้



รูปที่ 2.10 รูปคลื่นที่ความถี่ 50, 150, 250 Hz และรูปคลื่นที่รวม 3 สัญญาณ



รูปที่ 2.11 สเปกตรัมของฮาร์มอนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.8.1 ความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกรวม (THDi)

$$\%THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_{h,rms}^2}}{I_{1,rms}} \times 100\% \quad (2.1)$$

เมื่อ $I_{h,rms}$ คือ ค่า rms ของกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ h
 $I_{1,rms}$ คือ ค่า rms ของกระแสที่ความถี่หลักมูล

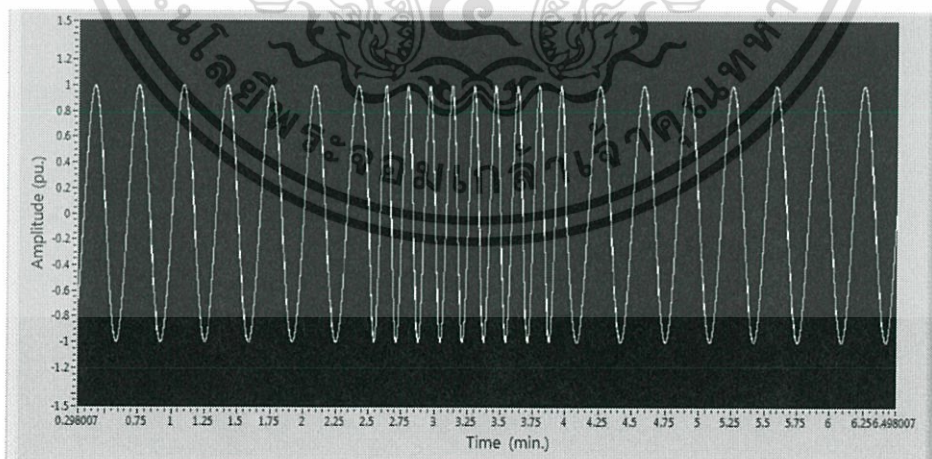
2.1.8.2 ความผิดเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกรวม (THDv)

$$\%THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_{h,rms}^2}}{V_{1,rms}} \times 100\% \quad (2.2)$$

เมื่อ $V_{h,rms}$ คือ ค่า rms ของแรงดันฮาร์มอนิกลำดับที่ h
 $V_{1,rms}$ คือ ค่า rms ของแรงดันที่ความถี่หลักมูล

2.1.9 การแปรเปลี่ยนความถี่กำลังไฟฟ้า (Power Frequency Variation)

การแปรเปลี่ยนความถี่กำลังไฟฟ้า คือ ปรากฏการณ์ที่ความถี่ของระบบไฟฟ้า มีค่าเปลี่ยนไปจากค่าความถี่ปกติ 50 Hz เป็นผลเกิดจากการทำงานของผิดพลาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่หรือมีการหลุดออกจากระบบ ทำให้มีกระทบต่อการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีการทำงานสัมพันธ์กับความถี่ระบบไฟฟ้า เช่น เครื่องกลไฟฟ้า



รูปที่ 2.12 รูปคลื่นที่มีการแปรเปลี่ยนความถี่กำลังไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.10 กำลังไฟฟ้า (Electrical Power)

แบ่งออกเป็น 3 ส่วน [5]

1. กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power: S) คือกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับวงจรหรือโหลด หน่วยเป็น โวลต์-แอมป์ (VA) หรือกิโลโวลต์-แอมป์ (kVA)

2. กำลังไฟฟ้าจริง (Real Power: P) คือกำลังไฟฟ้าที่ใช้งานจริง เช่น การขับเคลื่อนลิฟท์ การขับเคลื่อนของสายพาน เป็นต้น มีหน่วยเป็นวัตต์ (W) หรือกิโลวัตต์ (kW) ซึ่งสามารถวัดได้จากวัตต์มิเตอร์ (Wattmeter)

3. กำลังไฟฟ้าเสมือน (Reactive Power: Q) คือพลังงานที่ใช้ในการสร้างสนามแม่เหล็กเป็นกำลังไฟฟ้าที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ หรือกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไป เช่น พลังงานที่ไหลผ่านแกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้าหรือผ่าน Air Gap ของอินดักชันมอเตอร์ (Induction motor) เป็นต้น มีหน่วยเป็น วาร์ (Var) หรือกิโลวาร์ (kVar) ซึ่งสามารถวัดได้จากวาร์มิเตอร์ (Var meter)

โดยกำลังไฟฟ้าทั้งหมดนี้สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้ตามลำดับ

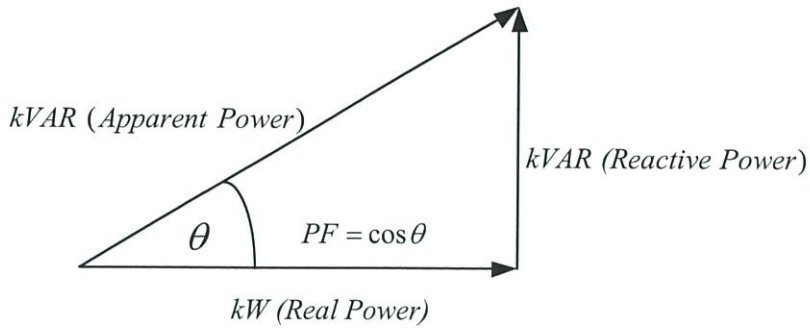
$$S = V_{rms} I_{rms} = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.3)$$

$$P = V_{rms} I_{rms} \cos \theta \quad (2.4)$$

$$Q = V_{rms} I_{rms} \sin \theta \quad (2.5)$$

4. ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) คือตัวเลขที่บอกถึงกำลังงานไฟฟ้าที่ได้ใช้ประโยชน์หรือเกิดการ ทำงานจริงกับขนาดของกำลังงานทั้งหมดที่ต้องการจากระบบไฟฟ้ามีค่าตั้งแต่ 0-1 ถ้ามีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าในวงจรมีความจุหรือความเหนี่ยวนำเพียงอย่างเดียว และถ้ามีค่าเป็น 1 แสดงว่าในวงจรมีความต้านทานเพียงอย่างเดียว

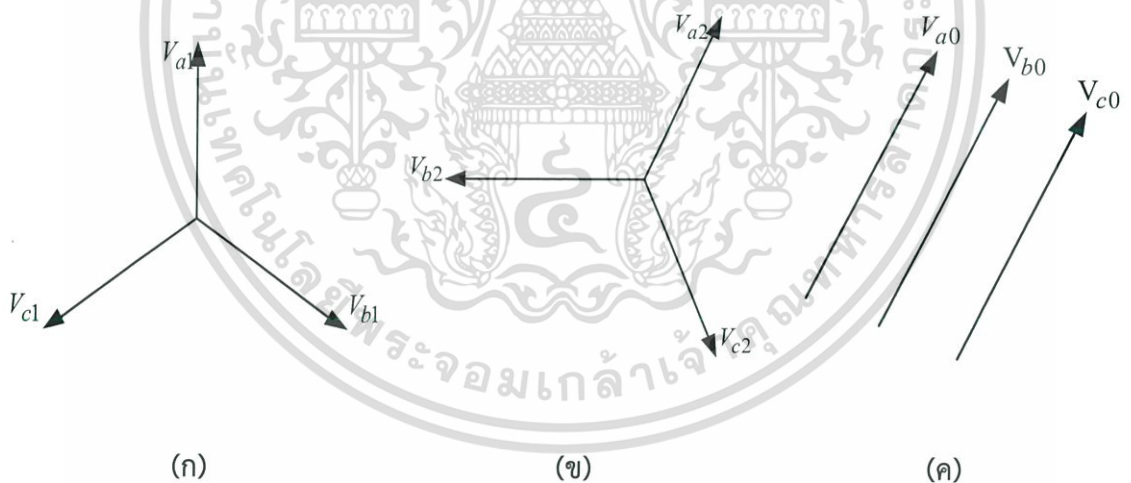
$$\text{Power Factor (P.F.)} = \frac{P}{S} \quad (2.6)$$



รูปที่ 2.13 รูปสามเหลี่ยมกำลัง (Power Triangle)

2.1.11 ส่วนประกอบสมมาตรทางไฟฟ้าสามเฟส

ส่วนประกอบสมมาตรนำมาใช้ในการวิเคราะห์แรงดันและกระแสไฟฟ้าสามเฟสในขณะที่เกิดระบบไม่สมดุล โดยกรณีที่ระบบสามเฟสสมดุล (Balance system) ส่วนประกอบสมมาตรลำดับเฟสลบและลำดับเฟสศูนย์มีค่าเป็นศูนย์ ส่วนกรณีระบบไม่สมดุล (Unbalance system) ส่วนประกอบสมมาตรลำดับเฟสลบและลำดับเฟสศูนย์ไม่เป็นศูนย์ โดยใช้อ้างอิงของส่วนประกอบ 3 ส่วน ซึ่งระบบไฟฟ้าสามเฟสสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ส่วนประกอบสมมาตรทางไฟฟ้าสามเฟส

- เมื่อ
- (ก) คือส่วนประกอบสมมาตรลำดับเฟสบวก (Positive Sequence)
 - (ข) คือส่วนประกอบสมมาตรลำดับเฟสลบ (Negative Sequence)
 - (ค) คือส่วนประกอบสมมาตรลำดับเฟสศูนย์ (Zero Sequence)

ส่วนประกอบสมมาตรลำดับเฟสบวก (Positive-sequence component)

ประกอบด้วย 3 เฟสเซอร์ (phasors) ที่มีขนาดเท่ากัน มุมเฟสต่างกัน 120 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบสมมาตรลำดับเฟสลบ (Negative-sequence components) ประกอบด้วย 3 เฟสเซอร์ (phasors) ที่มีขนาดเท่ากัน มุมเฟสต่างกัน 120 องศา แต่มีลำดับเฟสตรงข้ามกับส่วนประกอบสมมาตรลำดับเฟสบวก

ส่วนประกอบสมมาตรลำดับเฟสศูนย์ (Zero-sequence component) ประกอบด้วย 3 เฟสเซอร์ ที่มีขนาดเท่ากัน และมีมุมเฟสเท่ากัน (in phase) ดังนั้นสามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ของแรงดันแต่ละเฟสได้ดังนี้

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} \quad (2.7)$$

$$V_b = V_{b1} + V_{b2} + V_{b0} \quad (2.8)$$

$$V_c = V_{c1} + V_{c2} + V_{c0} \quad (2.9)$$

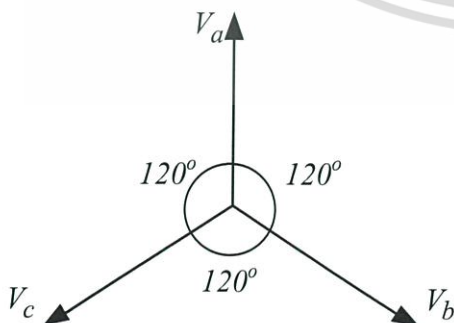
และสามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ด้านกระแสได้เช่นเดียวกัน

$$I_a = I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} \quad (2.10)$$

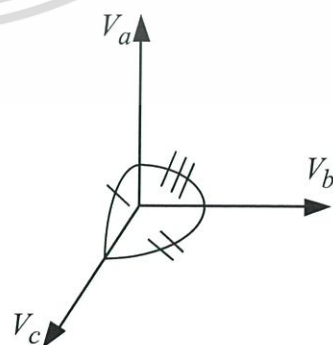
$$I_b = I_{b1} + I_{b2} + I_{b0} \quad (2.11)$$

$$I_c = I_{c1} + I_{c2} + I_{c0} \quad (2.12)$$

ในกรณีที่ระบบสมดุล (Balance system) ส่วนประกอบสมมาตรลำดับเฟสลบและลำดับเฟสศูนย์มีค่าเป็นศูนย์ ส่วนกรณีระบบไม่สมดุล (Unbalance system) ส่วนประกอบสมมาตรลำดับเฟสลบและลำดับเฟสศูนย์ไม่เป็นศูนย์ดังนั้นผลรวมทางเฟสเซอร์แสดงดังรูปที่ 2.15 และ 2.16 เราสามารถนำทฤษฎีของส่วนประกอบสมมาตร มาใช้ในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า เช่น การวิเคราะห์การลัดวงจร การวิเคราะห์แรงดันไม่สมดุล เป็นต้น



รูปที่ 2.15 เฟสเซอร์แรงดันของระบบสมดุล



รูปที่ 2.16 เฟสเซอร์แรงดันของระบบไม่สมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 รายละเอียดของแผนแม่บทด้านพลังงานหมุนเวียนในประเทศไทย

2.2.1 แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้า 20 ปี (PDP) [7]

แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศ (Power Development Plan : PDP) เป็นแผนแม่บทในการผลิตไฟฟ้าของประเทศ ว่าด้วยการจัดหาพลังงานไฟฟ้าในระยะยาว 15 - 20 ปี เพื่อสร้างความมั่นคงและความเพียงพอต่อความต้องการใช้ ในการพัฒนาคุณภาพชีวิตของประชาชนและเพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ โดยคำนึงถึงนโยบายพลังงานของประเทศและปัจจัยต่างๆ ทั้งด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม อาทิ การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ การกระจายการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า กำลังผลิตไฟฟ้าสำรองที่เหมาะสม การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน นโยบายการพัฒนาพลังงานหมุนเวียน เป็นต้น[6]

2.2.1.1 สาเหตุที่มีการปรับปรุงแผน PDP

แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศ (แผน PDP) จะมีการทบทวนเป็นระยะๆ หรือทุก 1 - 2 ปี เพื่อพิจารณาปัจจัยต่างๆ ว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปจากสมมุติฐานเดิมหรือไม่ เพื่อจัดทำฉบับใหม่หรือฉบับปรับปรุง ซึ่งจะมีการทบทวนแผนดังกล่าว เมื่อมีการปรับปรุงค่าพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าให้สอดคล้องกับสถานะเศรษฐกิจที่เปลี่ยนแปลงไป รวมถึงนโยบายที่เปลี่ยนแปลงของรัฐบาลอีกด้วย

ทั้งนี้ ในแผนดังกล่าวจะระบุค่าพยากรณ์ความต้องการพลังไฟฟ้า ซึ่งมีความสำคัญต่อการวางแผน PDP หากการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้ามีความถูกต้องและแม่นยำ จะทำให้การลงทุนในการขยายกำลังการผลิตไฟฟ้าเพื่อรองรับความต้องการไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นอยู่ในระดับที่เหมาะสม นอกจากนี้ จะระบุถึงโครงการโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ ถ่านหินและนิวเคลียร์ โครงการขนาดเล็กและเล็กมาก ทั้งที่เป็นระบบ Cogeneration และพลังงานหมุนเวียน เชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิต การขยายระบบส่งไฟฟ้า ประมาณการเงินลงทุนการขยายกำลังการผลิตไฟฟ้าและระบบส่งไฟฟ้า ผลกระทบค่าไฟฟ้า และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคการผลิตไฟฟ้า เป็นต้น

2.2.1.2 แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศ พ.ศ. 2555-2573 ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 3

แผน PDP ฉบับล่าสุดของประเทศ คือ แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศ พ.ศ. 2555-2573 ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 3 ได้รับความเห็นชอบจากคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (กพข.) และคณะรัฐมนตรี (ครม.) เมื่อวันที่ 8 มิถุนายน 2555 และ วันที่ 19 มิถุนายน 2555 ตามลำดับ โดยได้เน้นในเรื่องความมั่นคงและความพอเพียงของกำลังผลิตไฟฟ้า ได้คำนึงถึงการกระจายการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า และให้มีกำลังผลิตไฟฟ้าสำรองของระบบในระดับที่เหมาะสม ควบคู่ไปกับนโยบายของกระทรวงพลังงานในเรื่องการดูแลรักษาสิ่งแวดล้อม การเพิ่มประสิทธิภาพและลดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สอดคล้องกับแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554-2573) ส่งเสริมให้มีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนที่สอดคล้องกับแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก ร้อยละ 25 ใน 10 ปี (พ.ศ. 2555-2564) (Alternative Energy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Development Plan : AEDP 2012-2021) และการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพด้วยระบบการผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมกัน (Cogeneration)

จากนโยบายด้านพลังงานของประเทศ และสถานการณ์ทางเศรษฐกิจที่เปลี่ยนแปลง ได้ส่งผลต่อความต้องการใช้ไฟฟ้า และภาคการผลิตไฟฟ้า ดังนั้น เพื่อให้เกิดความชัดเจนในการจัดหาพลังงาน จึงได้มีการปรับปรุงแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศ พ.ศ. 2555-2573 ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 3 โดยมีประเด็นสำคัญดังนี้

1. ค่าพยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้า

- ใช้ข้อมูลประมาณการแนวโน้มเศรษฐกิจไทย หรือผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP) และผลิตภัณฑ์มวลรวมรายภาค (GRP) ของ สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ เมื่อวันที่ 29 พฤศจิกายน 2554 ซึ่งได้รวมนโยบายกระตุ้นเศรษฐกิจของรัฐบาล และผลกระทบจากอุทกภัยที่เกิดขึ้นในช่วงปลายปี 2554 แล้ว

- ใช้ข้อมูลการเพิ่มประสิทธิภาพและลดการใช้พลังงานไฟฟ้าสอดคล้องกับแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี กล่าวคือ “นโยบายจะลดระดับการใช้พลังงานต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมลงร้อยละ 25 ภายใน 20 ปี (พ.ศ. 2554-2573)” มีผลให้ค่าพยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้าของประเทศลดลง เนื่องจากมีการสนับสนุนการประหยัดพลังงาน และการใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ

2. การใช้แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกเพื่อทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลตามกรอบแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก ร้อยละ 25 ใน 10 ปี (พ.ศ. 2555-2564) (Alternative Energy Development Plan: AEDP 2012-2021) กล่าวคือ “นโยบาย จะใช้พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก เพื่อไปทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลให้ได้อย่างน้อยร้อยละ 25 ภายใน 10 ปี” จะทำให้จำนวนโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลบางส่วน เช่น ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ ถูกทดแทนด้วยโรงไฟฟ้าประเภทพลังงานหมุนเวียน

3. ความมั่นคงด้านพลังงาน ได้คำนึงถึงการกระจายการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าและให้มีกำลังผลิตไฟฟ้าสำรองของระบบในระดับที่เหมาะสม รวมถึงการลดผลกระทบจากภาวะ โลกร้อน

2.2.1.3 สรุปแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2555-2573 ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 3

1. การพยากรณ์ความต้องการการใช้พลังงานในช่วงปี 2555-2573 สรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 2.1 ความต้องการการใช้พลังงานในช่วงปี 2555-2573

ปี ค.ศ. (พ.ศ.)	PDP 2010 Rev.2		PDP 2010 Rev.3 กรณี High20%EE		เปลี่ยนแปลง (%)	
	Energy (GWh)	Peak (MW)	Energy (GWh)	Peak (MW)	Energy (GWh)	Peak (MW)
2012 (2555)	177,584	27,367	175,089	26,355	-1.4%	-3.7%
2020 (2563)	250,210	38,320	246,164	37,326	-1.6%	-2.6%
2030 (2573)	367,264	55,750	346,767	52,256	-5.6%	-6.3%

2. กำลังการผลิตไฟฟ้าใหม่ในช่วงปี 2555-2573 เพิ่มขึ้นจากกำลังการผลิตติดตั้ง ณ เดือน ธันวาคม 2554 จำนวน 55,065 เมกะวัตต์ เพื่อรองรับความต้องการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้น

ตารางที่ 2.2 กำลังการผลิตไฟฟ้าใหม่ในช่วงปี 2555-2573

(หน่วย: เมกะวัตต์)

	PDP 2010 Rev.2	PDP 2010 Rev.3
กำลังผลิตไฟฟ้า ณ ธันวาคม 2554	32,744	32,629
กำลังผลิตไฟฟ้าใหม่ ในช่วงปี 2555-2573	53,874	55,065
กำลังผลิตไฟฟ้าที่ปลดออกจากระบบ ในช่วงปี 2555-2573	-17,061	-16,847
รวมกำลังผลิตไฟฟ้าทั้งสิ้นถึงปี 2573	69,557	70,847

3. สรุปกำลังผลิตไฟฟ้าใหม่ในช่วงปี พ.ศ. 2555-2573 รวม 55,065 เมกะวัตต์ แยกตามประเภทโรงไฟฟ้า ดังนี้

ตารางที่ 2.3 สรุปกำลังการผลิตไฟฟ้าใหม่ในช่วงปี 2555-2573

(หน่วย: เมกะวัตต์)

ประเภทโรงไฟฟ้า	PDP 2010 Rev.2	PDP 2010 Rev.3
โรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน	4,433	9,516
โรงไฟฟ้าระบบ Cogeneration	8,319	6,374
โรงไฟฟ้าความร้อนร่วม (ก๊าซธรรมชาติ)	18,400	25,451
โรงไฟฟ้าถ่านหินสะอาด	7,740	4,400
โรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์	4,000	2,000
โรงไฟฟ้ากังหันแก๊ส	-	750
รับซื้อจากต่างประเทศ	10,982	6,572

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เปรียบเทียบผลการจัดหาพลังงานไฟฟ้าปี 2573 ตามแผน PDP ดังนี้

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบผลการจัดหาพลังงานไฟฟ้าปี 2573 ตามแผน PDP (หน่วย: เมกะวัตต์)

ประเภทโรงไฟฟ้า	PDP 2010 Rev.2	PDP 2010 Rev.3
ปริมาณกำลังผลิตไฟฟ้าสำรอง (%)	16.0%	16.1%
CO2 Emission (kg/kWh)	0.3864	0.3826
สัดส่วนกำลังผลิต		
- ก๊าซธรรมชาติ	47%	54%
- ถ่านหิน	16%	11%
- ซื้อไฟฟ้าต่างประเทศ	18%	12%
- พลังงานหมุนเวียน	6%	14%
- นิวเคลียร์	6%	3%
-พลังน้ำ	7%	6%
สัดส่วนโรงไฟฟ้า		
- กฟผ.	49%	43%
- IPP	14%	21%
- SPP และ VSPP	13%	11%
- นานาเข้าจากต่างประเทศ	18%	12%
-ไม่ระบุเจ้าของ	6%	13%

2.2.2 แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (EEDP) [8]

การอนุรักษ์พลังงานในแผนงานฉบับนี้มีความหมาย 2 นัย คือ การประหยัดหรือการลดการใช้พลังงานที่ไม่จำเป็น และการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ซึ่งหมายถึง การทำงานที่ได้ผลลัพธ์เท่าปกติแต่ใช้พลังงานน้อยกว่าปกติ ไม่ว่าจะเป็นการส่องสว่าง การทำน้ำร้อน การทำความเย็น การขนส่ง หรือการขับเคลื่อนเครื่องจักรกลในกระบวนการผลิต การอนุรักษ์พลังงานมีส่วนสำคัญในการเสริมสร้างความมั่นคงพลังงาน การลดค่าใช้จ่ายครัวเรือน การลดต้นทุนการผลิตและบริการ การลดการเสียดุลการค้าและการเพิ่มความสามารถในการแข่งขัน ตลอดจนการลดการปล่อยมลพิษและก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นต้นเหตุของการเกิดภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

ดังนั้น การอนุรักษ์พลังงานจึงเป็นนโยบายที่สำคัญของรัฐบาลเรื่อยมา โดยเฉพาะตั้งแต่การประกาศใช้พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานพ.ศ. 2535 โดยได้มีการจัดทำแผนการใช้จ่ายเงินกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในกิจกรรมการอนุรักษ์พลังงาน ในช่วงระยะเวลา 5 ปีมาแล้ว 3 ระยะ อย่างไรก็ตามเนื่องจากรัฐบาลเล็งเห็นว่า ในอนาคตปัญหาเรื่องราคาพลังงาน การแย่งชิงทรัพยากรพลังงานระหว่างประเทศ ปัญหาสิ่งแวดล้อม และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นผลพวงของการผลิตและใช้พลังงาน จะเป็นปัญหาที่จะมีความรุนแรงยิ่งขึ้น ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อ สวัสดิภาพของประชาชน และความสามารถในการแข่งขันเชิงเศรษฐกิจอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ กอปรกับ ผู้นำรัฐบาลได้ให้สัตยาบันต่อผู้นำกลุ่มประเทศความร่วมมือทางเศรษฐกิจภาคพื้นเอเชียแปซิฟิก (เอเปค) เมื่อปี 2550 ว่าจะร่วมกันส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานให้เป็นไปตามเป้าหมายที่ตั้งไว้สำหรับปี 2573 (ค.ศ. 2030) กระทรวงฯ จึงได้จัดทำแผนอนุรักษ์พลังงานระยะ 20 ปี (2554-2573) ขึ้น ทั้งนี้ เพื่อกำหนดแนวนโยบายและแนวทางการดำเนินการด้านการอนุรักษ์พลังงานของประเทศในระยะยาว ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักของการจัดทำแผนฯ 2 ประการ ดังนี้

1. เพื่อกำหนดเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานของประเทศในระยะสั้น 5 ปี และระยะยาว 20 ปี ทั้งในภาพรวมของประเทศ และในรายภาคเศรษฐกิจที่มีการใช้พลังงานมาก ได้แก่ ภาคขนส่ง ภาคอุตสาหกรรม ภาคอาคารธุรกิจ และภาคบ้านอยู่อาศัย

2. เพื่อกำหนดยุทธศาสตร์และแนวทางในการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานเพื่อให้บรรลุ เป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานที่ตั้งไว้ตามข้อ (1) รวมทั้งกำหนดมาตรการและแผนงานเพื่อเป็นกรอบ ในการจัดทำแผนปฏิบัติการการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานของหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

จุดเด่น (Highlights) ของแผน มีดังนี้

1. มีเป้าหมายที่จะลดความเข้มการใช้พลังงาน (energy intensity) ลง 25% ในปี 2573 เมื่อเทียบกับปี 2548 และลดการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย (final energy) ลง 20% ในปี 2573 หรือ ประมาณ 30,000 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe)

2. ภาคเศรษฐกิจที่จะต้องมีการอนุรักษ์พลังงานมากที่สุดคือ ภาคขนส่ง (13,300 ktoe ในปี 2573) และภาคอุตสาหกรรม (11,300 ktoe ในปี 2573)

3. จะทำให้ค่า Energy Elasticity (อัตราส่วนของอัตราการเพิ่มขึ้นของการใช้พลังงานต่อการเติบโตของ GDP) ลดลงจากค่าเฉลี่ยเมื่อ 20 ปีที่ผ่านมาคือ 0.98 เหลือ 0.7 ใน 20 ปีข้างหน้า

4. จะก่อให้เกิดผลการประหยัดพลังงานสะสมเฉลี่ย 14,500 ktoe ต่อปีคิดเป็นมูลค่า 271,700 ล้านบาทต่อปีและหลีกเลี่ยงการปล่อย CO₂ สะสมเฉลี่ย 48 ล้านตันต่อปี

5. จะมีมาตรการทั้งภาคบังคับด้วยกฎระเบียบกับภาคการสนับสนุน และส่งเสริม โดยภาค บังคับที่สำคัญ คือ การบังคับใช้พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 และฉบับ ปรับปรุง พ.ศ. 2550 และการกำหนดมาตรฐานขั้นต่ำและฉลากประสิทธิภาพพลังงาน ส่วนภาคการ สนับสนุนและส่งเสริมที่สำคัญ คือ การให้เงินอุดหนุนเพื่อชดเชยผลประหยัดพลังงานที่ตรวจพิสูจน์ หรือประเมินได้ (Standard Offer Program หรือ SOP)

6. จะเน้นมาตรการที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทิศทางตลาด (market transformation) และพฤติกรรมของผู้ใช้พลังงาน โดยการบังคับให้ติดฉลากแสดงประสิทธิภาพพลังงานของอุปกรณ์/ เครื่องใช้อาคาร และยานยนต์เพื่อให้ผู้บริโภคมีทางเลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. จะมีการบังคับให้ธุรกิจพลังงานขนาดใหญ่ เช่น ธุรกิจไฟฟ้า น้ำมันและก๊าซ ต้องดำเนินการมาตรการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานให้กับผู้ใช้พลังงานตามมาตรฐานขั้นต่ำ (Energy Efficiency Resource Standard หรือ EERS) แทนการดำเนินการแบบสมัครใจในอดีต

8. จะมีมาตรการช่วยเหลือทั้งด้านการเงินและเทคนิคสำหรับผู้ประกอบการรายย่อย เช่น SMEs โดยเฉพาะการให้เงินอุดหนุนผ่าน Standard Offer Program (SOP) และการให้ความช่วยเหลือทางเทคนิคผ่าน Energy Efficiency Resource Standard (EERS)

9. เนื่องจากในอนาคตการใช้ยานยนต์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ แผนนี้จึงมีมาตรการส่งเสริมการใช้ยานยนต์ที่มีประสิทธิภาพพลังงานสูง เช่น การบังคับติดฉลากแสดงประสิทธิภาพพลังงาน การบังคับเกณฑ์มาตรฐานขั้นต่ำ และการใช้มาตรการทางภาษีเป็นต้น

10. จะมีการกระจายภาระความรับผิดชอบด้านการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานสู่ภาคส่วนต่างๆ ของสังคมมากขึ้น โดยให้ภาคเอกชนเป็นหุ้นส่วนที่สำคัญ และการเพิ่มบทบาทขององค์การบริหารส่วนท้องถิ่น รวมทั้งการให้หน่วยงานภาครัฐแสดงบทบาทเป็นแบบอย่างที่ดีในการอนุรักษ์พลังงาน

ตารางที่ 2.5 สรุปศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานในปี 2573

ภาคเศรษฐกิจ	ศักยภาพ (ktoe)	สัดส่วน (ร้อยละ)
ขนส่ง	16,250	44
อุตสาหกรรม	13,790	38
อาคารธุรกิจและบ้านอยู่อาศัย	6,710	18
รวม	36,750	100

2.2.3 แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (Alternative Energy Development Plan: AEDP) [1]

แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกของประเทศไทย เป็นแผนที่มีเป้าหมายจะใช้พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกให้ได้ 25% ของการใช้พลังงานของประเทศในปี พ.ศ. 2564 โดยมีการทำแผนตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554 มีกรอบเวลาของแผน 10 ปี ในช่วง พ.ศ. 2555 – 2564 (Alternative Energy Development Plan: AEDP 2012-2021) ต่อมากรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ได้ปรับค่าเป้าหมายของแผนให้สอดคล้องตาม Country Strategy ในยุทธศาสตร์ 3 คือ ยุทธศาสตร์การเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศ ยุทธศาสตร์สร้างโอกาสบนความเสมอภาคและเท่าเทียมกันในสังคม และยุทธศาสตร์การเติบโตบนคุณภาพชีวิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์ มีดังนี้

1. เพื่อให้ประเทศไทยสามารถพัฒนาพลังงานทดแทนให้เป็นหนึ่งในพลังงานหลักของประเทศ ทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลและและการนำเข้าน้ำมันได้อย่างยั่งยืนในอนาคต โดยในแผนนี้จะไม่รวมเป้าหมายการพัฒนาก๊าซธรรมชาติในภาคขนส่ง (NGV)
2. เพื่อเสริมสร้างความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศ
3. เพื่อเสริมสร้างการใช้พลังงานทดแทนในระดับชุมชนในรูปแบบชุมชนสีเขียวแบบครบวงจร
4. เพื่อสนับสนุนอุตสาหกรรมการผลิตเทคโนโลยีพลังงานทดแทนในประเทศ
5. เพื่อวิจัยพัฒนาส่งเสริมเทคโนโลยีพลังงานทดแทนของไทยให้สามารถแข่งขันในตลาดสากล

ตารางที่ 2.6 ตารางค่าเป้าหมายปริมาณการใช้พลังงานทดแทน ตาม AEDP

ประเภท	หน่วย	เป้าหมายเดิม		เป้าหมายใหม่	
		KTOE	KTOE	ล้านหน่วย	
ไฟฟ้า					
1. พลังงานลม		89	134	1,283	
2. พลังงานแสงอาทิตย์		56	224	2,484	
3. ไฟฟ้าพลังน้ำ		85	756	5,604	
4. พลังงานชีวมวล		1,933	1,896	14,008	
5. ก๊าซชีวภาพ		54	270	1,050	
6. พลังงานจากขยะ		72	72	518	
7. พลังงานรูปแบบใหม่		1 (ไฮโดรเจน)	0.86	10	
รวม		2,290	3,352.86	24,956	
สัดส่วนทดแทนไฟฟ้า	%	6%		10.1%	
ความร้อน					
1. พลังงานแสงอาทิตย์	KTOE	38		100	
2. พลังงานชีวมวล	KTOE	6,760		8,200	
3. ก๊าซชีวภาพ	KTOE	600		1,000	
3.1 ก๊าซชีวภาพ				797	
3.2 CBG (5% ของ NGV)				203	
6. พลังงานจากขยะ	KTOE	35		35	
รวม	KTOE	7,433		9,355	

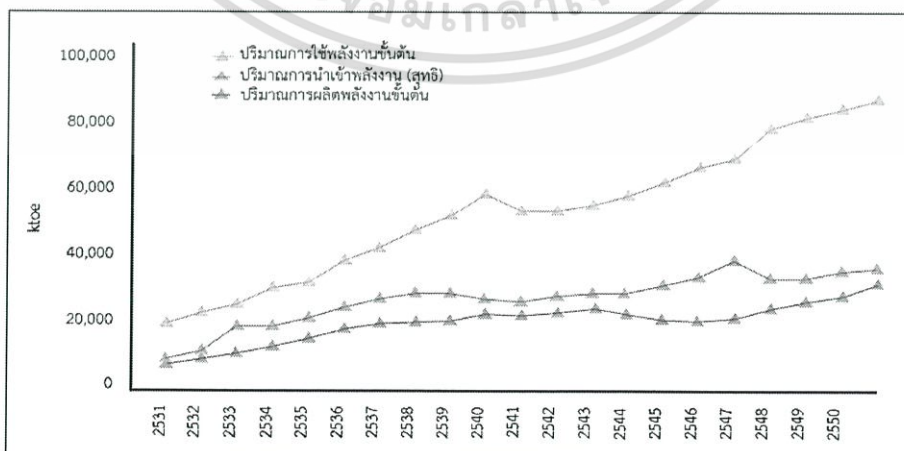
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 เป้าหมายกำลังการผลิตติดตั้งไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเพื่อการขับเคลื่อนและติดตาม

ประเภท	เป้าหมายปริมาณการผลิต ไฟฟ้าในปี 2564	กำลังการผลิตติดตั้งสะสมในปี 2564
	ล้านหน่วย: GW-hr	MW
1. พลังงานลม	1,283	1,200
2. พลังงานแสงอาทิตย์	2,484	2,000
3. ไฟฟ้าพลังน้ำ	5,604	1,608
		<ul style="list-style-type: none"> • EGAT Pump storage 1,284 MW • Small-Hydro 324 MW
4. พลังงานชีวมวล	14,008	3,630
5. ก๊าซชีวภาพ	1,050	600
6. พลังงานจากขยะ	518	160
7. พลังงานรูปแบบใหม่	10	3
	<ul style="list-style-type: none"> • ความร้อนใต้พิภพ 1 MW • คลื่นหรือกระแสน้ำ 2 MW 	
รวม	24,956 ล้านหน่วย	9,201 MW

2.2.4 สถานการณ์พลังงานทดแทนของประเทศไทยในปัจจุบัน [9]

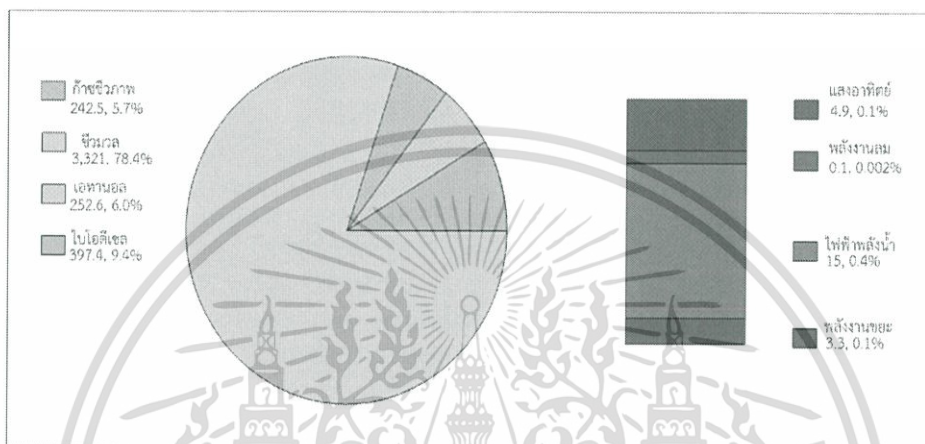
ในปี 2551 ประเทศไทยมีการใช้พลังงานเชิงพาณิชย์ขั้นต้นทั้งสิ้น 81,958 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe) โดยมีอัตราเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 11 ตั้งแต่ปี 2531 ถึงปี 2551 (รูปที่ 2.17) ขณะที่ปริมาณพลังงานที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศทั้งสิ้น 48,655 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 59 ของปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมดคิดเป็นมูลค่าทั้งสิ้น 1.2 ล้านล้านบาท



รูปที่ 2.17 ปริมาณการผลิต การใช้และการนำเข้า (สุทธิ) พลังงานเชิงพาณิชย์ขั้นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานการณ์ราคาน้ำมันที่เพิ่มสูงขึ้น และปริมาณสำรองน้ำมันของโลกลดลงอย่างต่อเนื่อง ประกอบกับนโยบายการส่งเสริมพลังงานทดแทนของรัฐบาลอย่างจริงจังได้ผลักดันให้ปริมาณการใช้พลังงานทดแทนในประเทศเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในปี 2551 มีการใช้พลังงานทดแทนทั้งสิ้น 4,237 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ คิดเป็นร้อยละ 6.4 ของปริมาณการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย โดยเพิ่มขึ้นร้อยละ 29.5 จากปี 2550 พลังงานทดแทนที่นำมาใช้ประโยชน์กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ ชีวมวลทั้งในรูปไฟฟ้า และความร้อน จำนวน 3,322 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ รองลงมาได้แก่ ก๊าซชีวภาพทั้งในรูปไฟฟ้าและความร้อน ไบโอดีเซลและเอทานอล ตามลำดับ



รูปที่ 2.18 สัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนแต่ละเทคโนโลยี
หน่วย: พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe)

การเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนเป็นร้อยละ 6.4 ของปริมาณการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายหรือเท่ากับ 4,237 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ส่งผลให้ประเทศไทยสามารถลดการนำเข้าพลังงานได้คิดเป็นมูลค่าประมาณ 99,500 ล้านบาท และยังช่วยลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ถึง 13 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ซึ่งการขยายตัวอย่างมากของพลังงานทดแทนเป็นผลมาจาก นโยบายและมาตรฐานการส่งเสริมพลังงานทดแทนจำนวนมากที่รัฐบาลได้ดำเนินอย่างจริงจัง ได้แก่

1. มาตรการส่งเสริมทางด้านกฎระเบียบ/นโยบาย

ได้แก่ ระเบียบรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กและขนาดเล็กมาก (SPP และ VSPP) การกำหนดมาตรฐานเชื้อเพลิงชีวภาพทั้งไบโอดีเซล และเอทานอล

2. มาตรการจูงใจทางการเงิน

ได้แก่ การกำหนดส่วนเพิ่มราคาซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน (Adeer) การให้เงินกู้ดอกเบี้ยต่ำผ่านโครงการเงินหมุนเวียน การให้เงินสนับสนุนเพื่อลดภาระการลงทุนเริ่มต้นการจัดตั้งกองทุนเพื่อร่วมลงทุนและส่งเสริมการลงทุนในโครงการอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทน (ESCO Fund) การส่งเสริมให้ภาคเอกชนพัฒนาโครงการตามกลไกการพัฒนาที่สะอาด (CDM) การใช้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรการภาษีเพื่อลดทุนเริ่มต้น ได้แก่ สิทธิประโยชน์จากคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน (BOI) และการจัดสรรงบประมาณให้หน่วยงานภาครัฐดำเนินการพัฒนาโครงการที่ยากสำหรับการพัฒนาโดยภาคเอกชน เนื่องจากเกี่ยวข้องกับการขออนุญาตจากหน่วยงานราชการหลายหน่วยงาน

3. มาตรการส่งเสริมการวิจัยพัฒนาและสาธิต

รัฐบาลได้สนับสนุนงบประมาณในการศึกษาและจัดทำแผนวิจัยพัฒนาและสาธิตตลอดจนมาตรการเชิงนโยบายต่างๆ ที่จะส่งเสริมให้เกิดการใช้พลังงานหมุนเวียนมากขึ้นเพื่อให้สามารถบรรลุเป้าหมายการแก้ไขปัญหาด้านพลังงานของประเทศที่ได้กำหนดไว้รวมถึงงบประมาณในการวิจัยและพัฒนาด้านเทคนิคและงานส่งเสริมและสาธิต ให้แก่หน่วยงาน สถาบันการศึกษา และองค์กรต่างๆ โดยมีงานวิจัยหลายโครงการที่ให้ผลตอบแทนคุ้มค่าในเชิงพาณิชย์และสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดให้เกิดผลอย่างเป็นรูปธรรม

4. มาตรการรณรงค์และการประชาสัมพันธ์เผยแพร่องค์ความรู้ทางด้านพลังงานทดแทน

รัฐบาลได้สนับสนุนงบประมาณในการรณรงค์และการประชาสัมพันธ์เผยแพร่องค์ความรู้ทางด้านพลังงานทดแทน เพื่อสร้างจิตสำนึกให้ทุกภาคส่วนตระหนักถึงความสำคัญของพลังงานทดแทน สร้างความเชื่อมั่นให้นักลงทุนหันมาลงทุนในกิจการด้านพลังงานทดแทน ประชาชนหันมาใช้พลังงานทดแทนอย่างต่อเนื่องและแพร่หลาย

ทิศทางการพัฒนาพลังงานทดแทนของประเทศไทยและวิสัยทัศน์ มีดังนี้

1. ปัจจัยสำคัญที่ผลักดันการพัฒนาพลังงานทดแทนของประเทศไทย

พลังงานเป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศ ส่งผลให้ประเทศไทยไม่สามารถหลีกเลี่ยงการสร้างความมั่นคงทางพลังงานควบคู่ไปกับการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจอย่างยั่งยืนได้ ดังนั้นในการสร้างความมั่นคงด้านพลังงานให้กับประเทศไทยนั้น การพัฒนาพลังงานทดแทนเป็นแนวทางสำคัญเป็นอย่างมากแนวทางหนึ่ง ทั้งนี้ ปัจจัยสำคัญที่ผลักดันการพัฒนาพลังงานของประเทศไทยประกอบไปด้วยความจำเป็นในการจัดแหล่งพลังงานให้เพียงพอต่อความต้องการของประเทศ ความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งพลังงานทดแทนในประเทศ ความมั่นคงทางด้านพลังงานและความจำเป็นในการลดผลกระทบต่อภาวะโลกร้อน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(ก) ความจำเป็นในการจัดหาแหล่งพลังงานให้เพียงพอต่อความต้องการของประเทศ

จากสมมติฐานการขยายตัวของความต้องการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายของประเทศระหว่างปี 2552-2554 เท่ากับร้อยละ 2 และตั้งแต่ปี 2555 ถึงปี 2565 เท่ากับร้อยละ 3 ส่งผลให้ปริมาณการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายของประเทศในปี 2554 เท่ากับ 70,300 พันตันเทียบเท่ากับร้อยละ 3 ส่งผลให้ปริมาณการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายของประเทศในปี 2554 เท่ากับ 70,300 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ปี 2559 เท่ากับ 81,500 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ และปี 2565 เท่ากับ 97,300 พันตันเทียบเท่า น้ำมันดิบ อย่างไรก็ตาม จากผลการศึกษาพบว่าการผลิตพลังงานจากแหล่งพลังงานในประเทศระหว่างปี 2552 ถึงปี 2565 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากปัจจุบันมากนัก ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องพัฒนาแหล่งพลังงานทดแทนในประเทศเพื่อตอบสนองความต้องการพลังงานที่เพิ่มสูงขึ้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข) ความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งพลังงานทดแทนในประเทศ

จากการศึกษารวบรวมและสำรวจศักยภาพพลังงานทดแทนในประเทศไทย พบว่า ประเทศไทยจัดได้ว่าเป็นประเทศที่มีศักยภาพทางด้านพลังงานทดแทนอยู่ในระดับสูง เนื่องจาก ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมจึงมีผลิตผลทางการเกษตรจำนวนมาก ขณะเดียวกันมี อุตสาหกรรมการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรซึ่งล้วนแล้วแต่อำนวยให้เกิดวัตถุดิบนำมาผลิตพลังงานทั้งชีวมวล ก๊าซชีวภาพรวมไปถึงไบโอดีเซลและเอทานอล นอกจากนี้ยังจัดได้ว่าเป็นประเทศไทยที่มีศักยภาพด้านพลังงานธรรมชาติ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ มีความเข้มแสงอาทิตย์รวมเฉลี่ยประมาณ 18.2 เมกะจูล/ตารางเมตร/วัน หรือ 5.05 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ตารางเมตร/วัน ศักยภาพพลังงานทดแทน ประเภทต่างๆสามารถแจกแจงได้ดังนี้

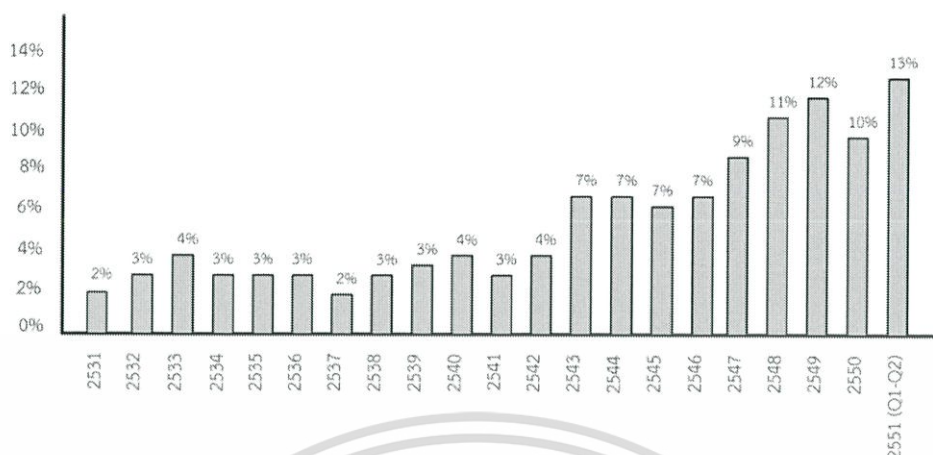
ตารางที่ 2.8 ศักยภาพพลังงานทดแทนในประเทศไทย

ประเภทพลังงาน	ศักยภาพในการผลิต ไฟฟ้า (MW)	ศักยภาพในการผลิต พลังงานความร้อน (ktoe)	ศักยภาพในการผลิต เชื้อเพลิงชีวภาพ (ล้านลิตร/วัน)
กลุ่มพลังงานธรรมชาติ			
พลังงานแสงอาทิตย์	50,000	154	-
พลังงานลม	1,600	-	-
ไฟฟ้าพลังน้ำ	700	-	-
กลุ่มพลังงานชีวภาพ			
ชีวมวล	4,400	7,400	-
ก๊าซชีวภาพ	190	600	-
พลังงานขยะ	400	78	-
กลุ่มเชื้อเพลิงชีวภาพ			
เอทานอล	-	-	3.0
ไบโอดีเซล	-	-	4.2

(ค) ความมั่นคงทางด้านพลังงาน ประเทศไทยเป็นประเทศที่ต้องพึ่งพาการนำเข้าพลังงาน จากต่างประเทศจำนวนมาก โดยตั้งแต่ปี 2531 จนถึงปี 2551 การนำเข้าพลังงานขั้นต้นเชิงพาณิชย์ ซึ่ง สัดส่วนการนำเข้าน้ำมันอยู่ในระดับร้อยละ 80 ของปริมาณการนำเข้าทั้งหมดโดยในช่วงปี 2531 ถึงปี 2532 สัดส่วนมูลค่าการนำเข้าพลังงานจะอยู่ระหว่างร้อยละ 2-4 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมประชาชาติ และสัดส่วนดังกล่าวเพิ่มสูงขึ้นเป็นร้อยละ 7 ในปี 2543 เป็นร้อยละ 11 ในปี 2548 และสูงขึ้นเป็น ร้อยละ 13 ในช่วงไตรมาสที่ 1 และ 2 ของปี 2551 (รูปที่ 2.19) และพบว่าสัดส่วนการนำเข้าพลังงาน มีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากปริมาณการผลิตพลังงานภายในประเทศไม่สามารถปรับตัวสูงขึ้นได้ ตามความต้องการใช้ ดังนั้นหากไม่พัฒนาพลังงานทดแทนอย่างจริงจัง จะส่งผลให้ประเทศไทยต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำเข้าพลังงานเพิ่มขึ้นไปอยู่ในระดับร้อยละ 70 ซึ่งสภาวการณ์ดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพทางด้านพลังงานและด้านเศรษฐกิจของประเทศอย่างมาก



รูปที่ 2.19 สัดส่วนมูลค่าการนำเข้าพลังงานต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมประชาชาติ (ณ ราคาตลาด)

(ง) ความจำเป็นในการลดผลกระทบต่อภาวะโลกร้อน ผลการศึกษาคาดการณ์แนวโน้มพลังงานของโลกขององค์การพลังงานระหว่างประเทศ (International Energy Agency) พบว่าจากแนวโน้มการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของภาคพลังงานในปัจจุบัน จะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลกสูงถึง 6 องศาเซลเซียสโดยเฉลี่ยในระยะยาว จึงจำเป็นที่ทั่วโลกจะต้องดำเนินมาตรการเพื่อลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างเร่งด่วน หลายประเทศทั่วโลกได้อยู่ภายใต้ข้อตกลงในอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ขณะเดียวกันประเทศสหรัฐอเมริกา ก็หันมาให้ความสนใจในการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างจริงจังเพื่อตอบสนองต่อกระแสของโลกและหลีกเลี่ยงการกีดกันทางการค้าที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคต และเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืนของประเทศ ประเทศไทยจำเป็นต้องกำหนดมาตรการและแนวทางที่ชัดเจนเพื่อรองรับปัญหาภาวะโลกร้อน ทั้งนี้การพัฒนาและส่งเสริมพลังงานทดแทนเป็นแนวทางหนึ่งในการดำเนินการเพื่อลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของปัญหาโลกร้อน

2. ทิศทางพลังงานทดแทนในอนาคต

เมื่อพิจารณาปัจจัยทั้งหมดที่ได้กล่าวมาข้างต้น น้ำมันจะยังคงเป็นแหล่งพลังงานหลักของโลกและประเทศไทยในอีก 15-20 ปีข้างหน้า แต่ปริมาณน้ำมันที่จะจัดหาได้ ต้นทุนในการผลิตรวมไปถึงราคาน้ำมันจะยังคงผันผวนค่อนข้างมาก ซึ่งวิกฤตการณ์ราคาน้ำมันในช่วงต้นปี 2551 ได้ส่งผลให้ประเทศต่างๆ เริ่มตื่นตัวกับข้อเท็จจริงที่ว่าแหล่งน้ำมันและเชื้อเพลิงฟอสซิลมีจำกัด รวมไปถึงการตื่นตัวต่อปัญหาภาวะโลกร้อน ทำให้โลกเริ่มปรับตัวเข้าสู่ระบบพลังงานที่ ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำ ปัญหาภาวะโลกร้อนดังกล่าวจะเริ่มเข้ามามีบทบาทในการกำหนดทิศทางและนโยบายทางด้านพลังงานของประเทศต่างๆ ทั่วโลก ประเทศไทยเองก็เช่นกันนอกจากจะมุ่งเน้นการพัฒนาพลังงานทดแทนเป็นพลังงานหลักของประเทศ เพื่อความมั่นคงทางด้านพลังงานแล้วยังเพื่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รองรับปัญหาภาวะโลกร้อนโดยให้ความสำคัญกับการส่งเสริมพลังงานทดแทนที่มีศักยภาพทางด้าน เศรษฐศาสตร์สูงก่อนเป็นลำดับแรกๆ และมุ่งวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อให้สามารถนำแหล่ง พลังงานทดแทนที่มีอยู่มากใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อประเทศชาติและประชาชนในระยะยาว รวมทั้ง การสร้างองค์ความรู้ด้านพลังงานทดแทนเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมภายในประเทศให้สามารถผลิต อุปกรณ์และชิ้นส่วนของระบบการผลิตการใช้พลังงานทดแทนได้เพิ่มมากขึ้น

2.3 ระบบที่เกี่ยวข้องทางด้านอินพุตของงานวิจัยที่ออกแบบ

อินพุตจะเป็นตัวจ่ายสัญญาณให้กับระบบเพื่อนำสัญญาณไปวิเคราะห์ค่าต่างๆ และระบบที่ จะนำมาพิจารณาเพื่อใช้เป็นอินพุตให้แก่งานวิจัยที่ออกแบบได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม

2.3.1 พลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์ [10] เป็นพลังงานทดแทนประเภทหมุนเวียนที่ใช้แล้วเกิดขึ้นใหม่ได้ ตามธรรมชาติ เป็นพลังงานที่สะอาด ปราศจากมลพิษ มีปริมาณมากมายมหาศาลอยู่ทั่วทุกหนแห่ง ของโลกสามารถนำมาใช้อย่างไม่หมดสิ้น และเป็นพลังงานที่มีศักยภาพสูง ดังนั้นหากมนุษย์สามารถ นำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพก็จะเป็นหนทางในการแก้ไขสภาพความไม่แน่นอน ของราคาจากพลังงานน้ำมัน ซึ่งนับวันจะมีแนวโน้มที่ราคาพุ่งสูงขึ้นและมีความผันผวนสูง ส่งผล กระทบต่อการพัฒนาของประเทศที่จำเป็นต้องพึ่งพาการนำเข้าน้ำมัน และประเทศไทยก็ได้รับ ผลกระทบเป็นอย่างมาก ซึ่งในการใช้พลังงานแสงอาทิตย์สามารถจำแนกออกเป็น 2 รูปแบบคือ การ ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า และการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อน

2.3.1.1 หลักการทำงานเบื้องต้นของระบบ

การผลิตไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ที่สามารถนำมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและ เหมาะสมกับประเทศไทย คือ การใช้เซลล์แสงอาทิตย์ (solar cell) ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยน พลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการนำสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน ผ่านกระบวนการทาง วิทยาศาสตร์ เพื่อผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์ ซึ่งดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์แล้วเปลี่ยนเป็นพาหะนำ ไฟฟ้า ทันทีที่แสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์ จะเกิดการถ่ายเทพลังงานระหว่างกัน พลังงานจาก แสงอาทิตย์จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า (อิเล็กตรอน) ขึ้นในสารกึ่งตัวนำ สามารถต่อ กระแสไฟฟ้างดกล่าวไปใช้งานได้

จากหลักการทำงานดังกล่าว ทำให้เกิดการสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานจากเซลล์ แสงอาทิตย์ขึ้นกันเป็นจำนวนมาก โดยใช้เทคโนโลยีที่แตกต่างกันออกไป ตามชนิดของสารหลักที่ใช้ใน การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งปัจจุบันนิยมใช้กันอยู่ คือ เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำและไม่ทำจากสารกึ่ง ตัวนำประเภทซิลิคอน

2.3.1.2 พารามิเตอร์เฉพาะของระบบ

ตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกันและมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ ตลอดจนการนำไปคำนวณระบบหรือคำนวณจำนวนแผงแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ในแต่ละพื้นที่ มีดังนี้ [11]

1. ความเข้มของแสง

กระแสไฟฟ้าจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง หมายความว่าเมื่อความเข้มของแสงสูง กระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าหรือโวลต์แทบจะไม่แปรไปตามความเข้มของแสงมากนัก ความเข้มของแสงที่ใช้วัดเป็นมาตรฐานคือ ความเข้มของแสงที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่ง ปราศจากเมฆหมอกและวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่ง ปราศจากเมฆหมอกและวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งความเข้มของแสงจะมีค่าเท่ากับ 100 mW ต่อ ตร.ซม. หรือ 1,000 ต่อ ตร.ม. ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 1.5 (Air Mass 1.5) และถ้าแสงอาทิตย์ทำมุม 60 องศากับพื้นโลกความเข้มของแสงจะมีค่าเท่ากับประมาณ 75 mW ต่อ ตร.ซม. หรือ 750 W ต่อ ตร.ม. ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 2 กรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะใช้ค่า AM 1.5 เป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของแผง

2. อุณหภูมิ

กระแสไฟฟ้าจะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุกๆ 1 องศาที่เพิ่มขึ้น จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5% และในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐานที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของแผงแสงอาทิตย์คือ ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เช่น กำหนดไว้ว่าแผงแสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าที่วงจรถัด (Open Circuit Voltage หรือ V_{oc}) ที่ 21 โวลต์ ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เช่น กำหนดไว้ว่าแผงแสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าที่วงจรถัด (Open Circuit Voltage หรือ V_{oc}) ที่ 21 โวลต์ ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสก็จะหมายความว่าแรงดันไฟฟ้าที่จะได้จากแผงแสงอาทิตย์ เมื่อยังไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสจะเท่ากับ 21 โวลต์ ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 25 องศาเซลเซียส เช่น อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสจะทำให้แรงดันไฟฟ้าของแผงแสงอาทิตย์ลดลง 2.5% ($0.5\% \times 5$ องศาเซลเซียส) นั่นคือแรงดันของแผงแสงอาทิตย์ที่ V_{oc} จะลดลง 0.525 โวลต์ ($21 \text{ โวลต์} \times 2.5\%$) เหลือเพียง 20.475 โวลต์ ($21 \text{ โวลต์} - 0.525 \text{ โวลต์}$) สรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแรงดันไฟฟ้าก็จะลดลง ซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงแสงอาทิตย์ลดลงด้วยจากข้อกำหนดดังกล่าวข้างต้นก่อนที่ผู้ใช้จะเลือกใช้แผงแสงอาทิตย์ จะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของแผงที่ระบุไว้ในแผงแต่ละชนิดด้วยว่า ใช้มาตรฐานอะไรหรือมาตรฐานที่ใช้วัดแตกต่างกันหรือไม่ เช่นแผงชนิดหนึ่งระบุจะให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 80 วัตต์ ที่ความเข้มแสง 1,200 วัตต์ ต่อ ตร.ม. ณ อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสขณะที่อีกชนิดหนึ่งระบุจะให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 75 วัตต์ ที่ความเข้มแสง 1,000 วัตต์ ต่อ ตร.ม. และอุณหภูมิมาตรฐาน 25 องศาเซลเซียสแล้ว จะพบว่าแผงที่ระบุจะให้กำลังไฟฟ้า 80 วัตต์ จะให้กำลังไฟฟ้าต่ำกว่า จากสาเหตุดังกล่าว ผู้ที่จะใช้แผงจึงต้องคำนึงถึงข้อกำหนดเหล่านี้ในการเลือกใช้แผงแต่ละชนิดด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.3 มาตรการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ [12]

- วันที่ 4 กันยายน 2549 กพช.เห็นชอบส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนตาม มาตรการส่วนเพิ่มอัตราซื้อไฟฟ้า (Adder)
- วันที่ 4 ธันวาคม 2549 กพช. เห็นชอบการกำหนด Adder จากพลังงานแสงอาทิตย์ อัตรา 8 บาทต่อหน่วย ระยะเวลา 7 ปี
- วันที่ 16 พฤศจิกายน 2550 กพช. เห็นชอบให้ปรับปรุง Adder จากพลังงานแสงอาทิตย์ อัตรา 8 บาทต่อหน่วย ระยะเวลา 10 ปี
- วันที่ 16 มกราคม 2552 กพช. เห็นชอบกรอบแผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี พ.ศ. 2551-2565 (REDP: 2008-2022) เป้าหมายส่งเสริมพลังงานทดแทนผลิต ไฟฟ้า ณ ปี 2565 เท่ากับ 5,608 MW (เป้าหมาย Solar 500 MW)
- พฤษภาคม 2553 ข้อมูลปริมาณพลังงานไฟฟ้าเสนอขายจากโครงการพลังงานหมุนเวียน รวมทั้งสิ้น 7,827.07 MW (Solar สูงกว่าเป้าหมาย 5 เท่า)
- วันที่ 28 มิถุนายน 2553 กพช. เห็นชอบหยุดรับข้อเสนอขายไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์
- ปรับลด Adder (Solar) 8 บาทต่อหน่วย เป็น 6.50 บาทต่อ หน่วย (สำหรับโครงการที่เสนอแต่ยังไม่ตอบรับ)
 - ให้ปรับปรุงรูปแบบการรับซื้อไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนด้วย มาตรการ Feed in Tariff (Fit)
- วันที่ 30 พฤศจิกายน 2554 กพช. เห็นชอบให้ยกเลิกเลิก REDP: 2551-2565 และเห็นชอบ แผนการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี พ.ศ 2555-2564 (AEDP: 2012-2564) กำหนดเป้าหมายการผลิต ไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนรวม 9,201 MW (พลังงานแสงอาทิตย์ 2,000 MW)
- วันที่ 16 กรกฎาคม 2556 กพช. เห็นชอบปรับเป้าหมาย AEDP: 2012-2021 กำหนดเป้าหมาย การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนรวม 13,927 MW เพื่อให้ สอดคล้องตาม Country Strategy (พลังงานแสงอาทิตย์ 3,000 MW)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.9 สนับสนุนส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้า (Adder Cost)

เชื้อเพลิง	ส่วนเพิ่ม (Baht/kWh)			ระยะเวลาสนับสนุน (ปี)
	VSPP	SPP	3 จังหวัดภาคใต้	
พลังงานแสงอาทิตย์	8.00/6.50	8.00/6.50	1.50	7

ตารางที่ 2.10 สนับสนุนส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้า (Feed in Tariff, FIT)

รูปแบบการติดตั้ง	อัตรา FiT ปี 2557-2558		
	กำลังผลิต (kW)	FiT (Baht/kWh)	ระยะเวลาสนับสนุน (ปี)
แบบติดตั้งบนหลังคา (อาคารธุรกิจ/โรงงาน) (Solar PV Rooftop)	> 10-250	6.40	25
	> 250-1,000	6.01	25
แบบติดตั้งบนหลังคา (บ้านอยู่อาศัย)	≤ 10	6.85	25
แบบติดตั้งบนพื้นดิน (Solar Farm)	≤ 90000	5.66	25

2.3.1.4 ปัญหาและอุปสรรคในการผลิตไฟฟ้า [13]

1. รายจ่าย ประกอบด้วย ต้นทุนการลงทุนและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ
2. ต้นทุน ได้แก่ เงินที่ใช้ลงทุนในการพัฒนาโครงการ เช่น การซื้อที่ดิน แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ฯลฯ ตลอดจนค่าติดตั้งดำเนินการทดสอบ ในการดำเนินการพัฒนาโครงการ
3. ค่าใช้จ่าย ได้แก่ ค่าดำเนินการในการเดินเครื่องหลังจากการพัฒนาโครงการแล้วเสร็จ เช่น ค่าจ้างพนักงาน ค่าซ่อมแซม ดอกเบี้ยเงินกู้ ค่าใช้จ่ายอื่นๆ ภาษี ฯลฯ แต่ละเทคโนโลยีจะมีค่าใช้จ่ายเหล่านี้อาจไม่เหมือนกันขึ้นอยู่กับเทคโนโลยี ขนาด และมาตรการส่งเสริมการลงทุนของรัฐ
4. ประโยชน์หรือรายรับ รายรับที่ได้รับจากโครงการ แยกออกเป็น 2 รูปแบบคือ
 - ประโยชน์โดยตรงทางการเงิน อันได้แก่ รายได้จากการขายพลังงานในกรณีที่ขายให้แก่ภายนอกหรือการลดค่าใช้จ่ายพลังงานที่ใช้อยู่เดิม การขายวัสดุที่เหลือจากการผลิตพลังงาน รายได้จาก CDM
 - ประโยชน์ทางอ้อม คือ ประโยชน์ที่มีไม่ใช่เป็นเม็ดเงินโดยตรงแต่สามารถประเมินเป็นรูปเงินได้ เช่น การลดการกำจัดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งในการประเมินผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ จะใช้ประโยชน์ที่เกิดจากทั้งทางตรงและทางอ้อม ผู้ประกอบการจะต้องหาข้อมูลให้ถูกต้องและถี่ถ้วนถึงราคาพลังงานที่จะขายได้หรือสามารถทดแทนได้ด้วย

2.3.2 พลังงานลม

พลังงานลม [14] คือพลังงานตามธรรมชาติที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ความกดดันของบรรยากาศและแรงจากการหมุนของโลก สิ่งเหล่านั้นเป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดความเร็วลมและกำลังลมเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปว่าลมเป็นพลังงานรูปหนึ่งที่มีอยู่ในตัวเอง ในปัจจุบันมนุษย์จึงได้ให้ความสำคัญแนะนำพลังงานจากลมมาใช้ประโยชน์มากขึ้น เนื่องจากพลังงานลมมีอยู่โดยทั่วไป ไม่ต้องซื้อหา เป็นพลังงานจากลมมาใช้ประโยชน์มากขึ้น เนื่องจากพลังงานลมมีอยู่โดยทั่วไป ไม่ต้องซื้อหา เป็นพลังงานสะอาดไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสภาพแวดล้อม และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างไม่รู้จักหมดสิ้น พลังงานลมก็เหมือนกับพลังงานแสงอาทิตย์คือไม่ต้องซื้อ ซึ่งปัจจุบันได้มีการนำเอาพลังงานลมมาใช้ประโยชน์มากขึ้น แต่ยังมีปัญหาในการวิจัยพัฒนานำเอาพลังงานลมมาใช้งาน เนื่องจากปริมาณของลมไม่สม่ำเสมอตลอดปี แต่ก็ยังมีพื้นที่บางพื้นที่สามารถนำเอาพลังงานลมมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ เช่น พื้นที่บริเวณชายฝั่งทะเล เป็นต้น

ซึ่งอุปกรณ์ที่ช่วยในการเปลี่ยนจากพลังงานลมออกมาเป็นพลังงานในรูปอื่นๆ เช่น ใช้กังหันลม (Wind Turbine) เพื่อเปลี่ยนให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ใช้กังหันโรงสี (Windmill) เพื่อเปลี่ยนให้เป็นพลังงานกล คือเมื่อต่อเข้ากับประตูดวิดน้ำเพื่อระบายน้ำหรือต่อเข้ากับเครื่องจักรกลก็สามารถใช้สีข้าวหรือนวดแบ่งได้ ใช้กังหันสูบน้ำ (Wind Pump) เป็นต้น

2.3.2.1 หลักการทำงานเบื้องต้นของระบบ

การนำลมมาใช้ประโยชน์จะต้องอาศัยเครื่องจักรกลสำคัญ คือ “กังหันลม” มารับพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมให้เป็นพลังงานกลได้จากนั้นนำพลังงานกลมาใช้ประโยชน์โดยตรง เช่น การสูบน้ำ การผลิตไฟฟ้า เป็นต้น การพัฒนากังหันลมเพื่อนำมาใช้ประโยชน์เริ่มมีมาตั้งแต่สมัยอียิปต์โบราณจนถึงยุคปัจจุบัน โดยการออกแบบกังหันลมต้องอาศัยความรู้ทางด้านพลศาสตร์ของลมและหลักวิศวกรรมศาสตร์ในแขนงต่างๆ เพื่อให้ได้กำลังงาน พลังงาน และประสิทธิภาพสูงสุด

2.3.2.2 พารามิเตอร์เฉพาะของระบบ

1. ความเร็วลม เป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่ต้องคำนึงถึงความเร็วลมมักแตกต่างกันจากปีหนึ่งไปอีกปีหนึ่ง ฤดูกาลหนึ่งไปฤดูกาลหนึ่ง หรือช่วงเวลาระหว่างวัน ซึ่งสามารถตรวจวัดได้โดยใช้ anemometer วัดค่าหรือใช้ข้อมูลความเร็วลมจากสถานที่ใกล้เคียง
2. การกระจายตัวของความเร็วลม โดยทั่วไปลมไม่ได้พัดด้วยความเร็วลมคงที่ตลอดวัน แหล่งพลังงานลมที่ดีควรมีความเร็วลมที่ค่อนข้างคงที่ตลอดวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทิศทางลม ก่อนติดตั้งเครื่องจักรผลิตไฟฟ้าพลังงานลม ควรตรวจสอบทิศทางลมก่อนเพื่อนให้ได้พลังงานที่สูงที่สุด

2.3.2.3 มาตรการสนับสนุนการผลิตพลังงานลม [16]

ตารางที่ 2.11 สนับสนุนส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้า (Adder Cost)

เชื้อเพลิง	กำลังผลิต (kW)	ส่วนเพิ่ม (Baht/kWh)			ระยะเวลาสนับสนุน (ปี)
		VSP	SPP	3 จังหวัดภาคใต้	
พลังงานลม	≤ 50	4.50	-	1.50	10
	> 50	3.50	3.50	1.50	10

2.3.2.4 ปัญหาและอุปสรรคในการผลิตไฟฟ้า [15]

เนื่องจากประเทศไทยเป็นเขตที่มีความเร็วลมต่ำถึงปานกลาง ดังนั้นการนำเทคโนโลยีกังหันลมจากต่างประเทศจึงไม่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในประเทศ อีกทั้งกังหันลมที่เหมาะสมในประเทศควรออกแบบและผลิตให้เหมาะสมต่อลมในประเทศที่มีช่วงความเร็วลมที่ 4-5 เมตรต่อวินาที และกังหันลมแต่ละขนาดควรผลิตไฟฟ้าได้ไม่ต่ำกว่า 20% ของการผลิตพลังงานสูงสุด (Rated Power) เช่นกังหันลมขนาด 1 กิโลวัตต์ หรือ 1000 วัตต์ นั้นควรมีการผลิตไฟฟ้าได้ที่มีความเร็วลมเฉลี่ย 4 เมตรต่อวินาที ให้ได้ประมาณ 200 วัตต์ เป็นขั้นต่ำ อันจะมีผลให้มีความคุ้มค่าต่อการลงทุนหรือการใช้งาน กังหันลมขนาดเล็กผลิตในประเทศได้และสามารถซ่อมบำรุงได้เองย่อมเหมาะสมต่อการใช้งานในประเทศ และเป็นการสร้างงานและรายได้ในประเทศดังนั้นขนาดของกังหันลมที่เหมาะสมที่ผลิตในประเทศได้ควรอยู่ที่ขนาด 1-250 กิโลวัตต์ หรือขนาดใหญ่สุดไม่ควรเกิน 500 กิโลวัตต์ จึงสามารถออกแบบและผลิตใช้งานได้จริงสำหรับประเทศไทยเราที่มีความเร็วลมต่ำเนื่องจากข้อจำกัดในด้านวัสดุศาสตร์ที่จะทำให้กังหันลมนั้นเอง

โดยกังหันลมควรมีคุณลักษณะทางเทคนิคคือ เริ่มผลิตไฟฟ้าที่ความเร็วลมไม่เกิน 3 เมตรต่อวินาทีและผลิตไฟฟ้าสูงสุดที่ความเร็วลมไม่เกิน 10 เมตรต่อวินาที จึงจะใช้งานกับลมในประเทศไทยได้

2.4 ส่วนโปรแกรม LabVIEW

โปรแกรม LabVIEW [16] คือ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างเพื่อนำมาใช้ในด้านการวัดและเครื่องมือวัดสำหรับงานทางวิศวกรรม LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench ซึ่งหมายความว่า เป็นโปรแกรมที่สร้าง เครื่องมือวัดเสมือนจริงในห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรม ดังนั้นจุดประสงค์หลักของการทำงานของโปรแกรมนี้อีกคือการจัดการในด้านการวัดและเครื่องมือวัด อย่างมีประสิทธิภาพโดยการใช้การเขียนโปรแกรมด้วยภาษาโค้ดรูปภาพ (Graphical programming) หรือเรียกอีกอย่างว่าภาษา G (Graphical Language) และมีการต่อสายส่งค่าข้อมูลคล้ายกับการวาดโพลชาร์ตที่เข้าใจได้ง่าย สำหรับโปรแกรมประเภทตัวหนังสือ หรือเรียกอีกชื่อว่า Text Base จะมีปัญหาในการจัดการกับตำแหน่งการส่งผ่านข้อมูลตามอุปกรณ์เชื่อมต่อเช่น Port หรือ Card ต่างๆ รวมถึงการจัดวางตำแหน่งในหน่วยความจำเพื่อที่จะสามารถรวบรวมข้อมูลมาใช้ในการคำนวณและเก็บข้อมูลให้ได้ประโยชน์สูงสุด ปัญหาเหล่านี้ได้รับการแก้ไขใน LabVIEW โดยได้มีการบรรจุโปรแกรมจำนวนมาก หรือ Libraries ไว้สำหรับจัดการกับปัญหาเหล่านั้น ไม่ว่าจะอุปกรณ์การเชื่อมต่อจะเป็น DAQ (Data Acquisition) GPIB (General Purpose Interface Bus หรือก่อนหน้านี้รู้จักกันในชื่อ Hewlett Packard Interface Bus, HP-IB) พอร์ตอนุกรม หรือ Serial Port เพื่อใช้ติดต่อกับอุปกรณ์ที่ส่งผ่านข้อมูลแบบอนุกรม (Serial Instrument)

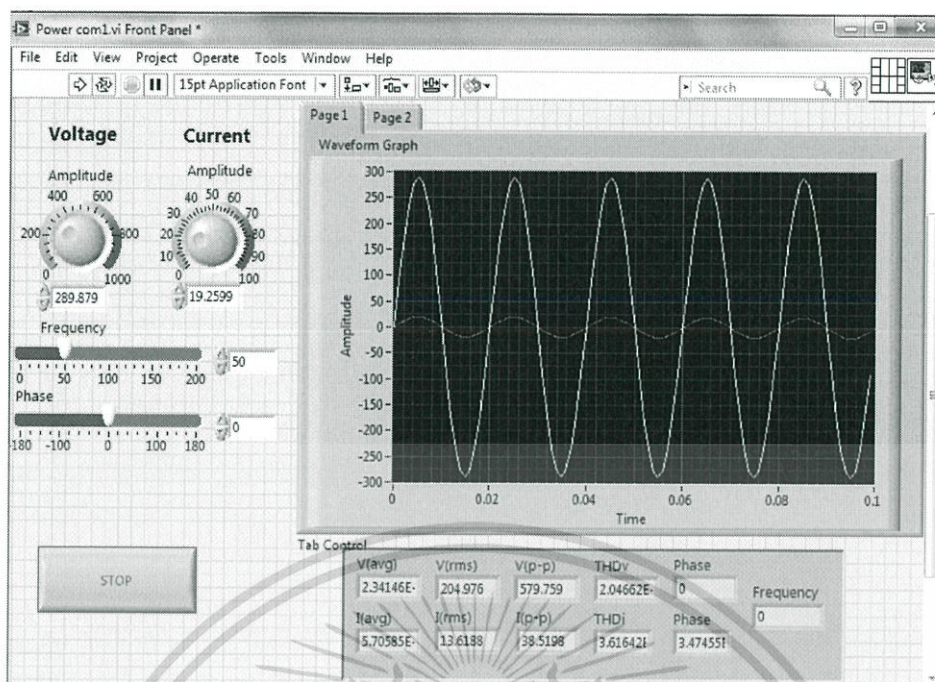
ซึ่งชุดพัฒนาจะมาพร้อมกับชุดฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์และวิศวกรรม สำหรับการวิเคราะห์ประมวลผล และแสดงข้อมูล รวมถึงความสามารถต่างๆ ในการใช้งานร่วมกับฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์อื่นๆ ได้ดี ทำให้ LabVIEW ถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวางในแทบทุกส่วนของอุตสาหกรรมและการวิจัยที่ต้องการระบบอัตโนมัติในการวัดและการควบคุม เช่น อุตสาหกรรมการผลิต อิเล็กทรอนิกส์ ยานยนต์ การทหารและอากาศยาน พลังงาน การสื่อสารและเครื่องมือแพทย์ เป็นต้น

2.4.1 ส่วนประกอบของโปรแกรม LabVIEW

โปรแกรมที่เขียนขึ้นมาโดย LabVIEW จะเรียกว่า Virtual Instrument (VI) เพราะลักษณะที่ปรากฏทางจอภาพเมื่อผู้ใช้ใช้งานจะเหมือนกับเครื่องมือหรืออุปกรณ์ทางวิศวกรรม ซึ่งภายในอุปกรณ์เสมือนจริงเหล่านั้นจะเป็นการทำงานของฟังก์ชัน Subroutine และโปรแกรมหลักเหมือนกับภาษาทั่วไป สำหรับ VI จะประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญสามส่วนโดยทั้งสามส่วนจะประกอบกันขึ้นมาเป็นอุปกรณ์เสมือนจริง ลักษณะและหน้าที่ของส่วนประกอบทั้งสามมีดังต่อไปนี้

2.4.1.1 Front Panel

เป็นส่วนที่ใช้สื่อความกันระหว่างผู้ใช้กับโปรแกรม (หรือที่นิยมเรียก user interface) โดยทั่วไปจะมีลักษณะเหมือนกับหน้าปัทม์ของเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้งานด้านการวัดต่างๆ ไป โดยทั่วไปจะประกอบด้วย สวิตช์ปิดเปิด ปุ่มบิด ปุ่มกด จอแสดงผลหรือแม้แต่ว่าผู้ใช้สามารถกำหนด ลักษณะของ หน้าจอแสดงผล แสดงในรูปแบบต่อไปนี้

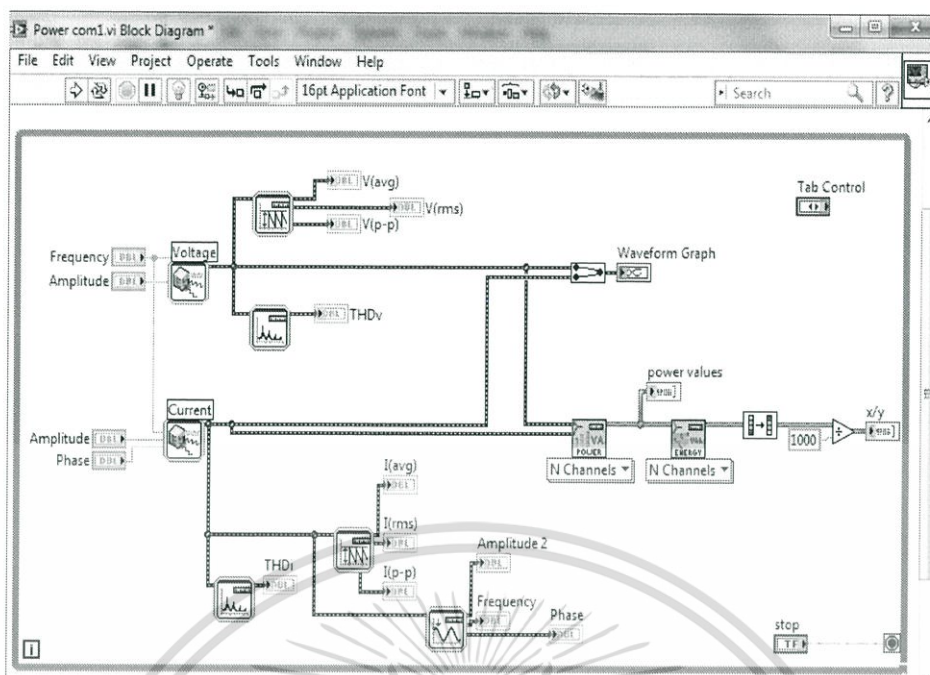


รูปที่ 2.20 หน้าจอแสดงผล

2.4.1.2 Block Diagram

เปรียบเสมือนกับ Source Code หรือโปรแกรมของ LabVIEW ซึ่งจะแสดงอยู่ในรูปของภาษา G ซึ่งบล็อกไดอะแกรมนี้ ถือว่าเป็นโปรแกรมที่จะสามารถทำงานได้ทันที และข้อดีอีกประการหนึ่งก็คือ LabVIEW จะมีการตรวจสอบความผิดพลาดของโปรแกรมตลอดเวลา ทำให้โปรแกรมจะทำงานได้ก็ต่อเมื่อไม่มีข้อผิดพลาดในโปรแกรมนั้นโดยผู้ใช้สามารถที่จะดูรายละเอียดของความผิดพลาดแสดงให้เห็นได้ตลอดเวลา ทำให้การเขียนโปรแกรมสะดวกขึ้น

ส่วนประกอบภายในบล็อกไดอะแกรมนี้จะประกอบด้วย ฟังก์ชัน ค่าคงที่ โปรแกรมควบคุมการทำงานหรือโครงสร้าง จากนั้นในแต่ละส่วนเหล่านี้ ซึ่งจะปรากฏในรูปของบล็อกเมื่อได้รับการต่อสาย (wire) สำหรับ Block ที่เหมาะสมเข้าด้วยกัน เพื่อกำหนดลักษณะการไหลของข้อมูลระหว่างบล็อกเหล่านั้น ทำให้ข้อมูลได้รับการประมวลผลตามที่ต้องการ และแสดงผลออกมาให้แก่ผู้ใช้



รูปที่ 2.21 บล็อกไดอะแกรม

2.4.1.3 Icon และ Connector

เปรียบเสมือนโปรแกรมย่อย Subroutine ในโปรแกรมปกติทั่วไปโดย icon จะหมายถึง block diagram ตัวหนึ่งที่มีการส่งข้อมูลเข้าและออกผ่านทาง Connector ซึ่งใน LabVIEW จะเรียก Subroutine นี้ว่า subVI ข้อดีของการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา G นี้ก็คือเราสามารถสร้าง VI ที่ละส่วนขึ้นมาให้ทำงานด้วยตัวเองได้อย่างอิสระ จากนั้นในภายหลังหากเราต้องการเราก็สามารถเขียนโปรแกรมอื่นขึ้นมาเพื่อเรียกใช้งาน VI ที่เราเคยสร้างขึ้นก่อนหน้านี้ทีละตัว ซึ่งทำให้ VI ที่เราเขียนขึ้นก่อนกลายเป็น subVI ไป การเขียนในลักษณะนี้เราเรียกว่า เขียนเป็น module นอกจากนี้ คำศัพท์ต่างๆที่ใช้กันใน LabVIEW ส่วนใหญ่จะแตกต่างจากที่ใช้ในภาษาการเขียนโปรแกรมตัวหนังสือทั่วไปในหลายๆด้าน จึงสามารถสรุปคำศัพท์ที่พบใน LabVIEW ส่วนใหญ่ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.12 สรุปคำศัพท์ที่พบในLabVIEW

LabVIEW	โปรแกรมพื้นฐาน	หน้าที่
VI	Program	ตัวโปรแกรมหลัก
Function	Function	ฟังก์ชันสำเร็จรูปที่สร้างขึ้นมากับโปรแกรมนั้นเช่น sin, log เป็นต้น
SubVI	Subroutine	โปรแกรมย่อยที่ถูกเรียกใช้โดยโปรแกรมหลัก
Front Panel	User Interface	ส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้
Block Diagram	Program Code	การเขียนตามขั้นตอนของทีแต่ละโปรแกรมกำหนดขึ้น

2.4.2 ขั้นตอนและกระบวนการในการวัด

ในงานด้านการวัดและเครื่องมือวัดทางวิศวกรรม จะประกอบด้วยขั้นตอนหรือกระบวนการวัดหลักๆ ตามลำดับ ดังนี้

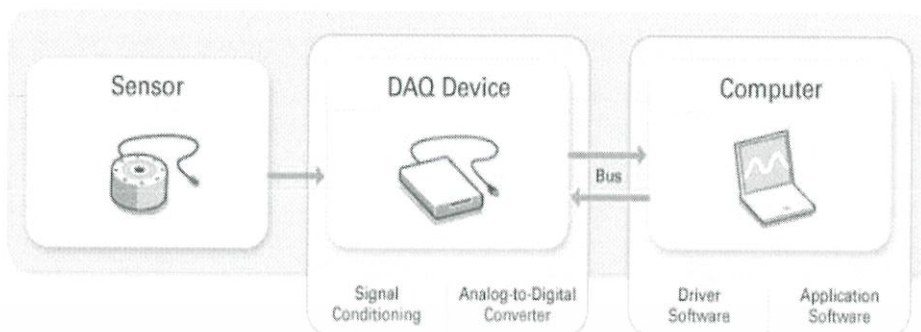
1. Sensor - Transducer ทำหน้าที่เปลี่ยนปรากฏการณ์ทางธรรมชาติหรือปริมาณต่างๆ ทางฟิสิกส์ให้เป็นปริมาณทางไฟฟ้าที่สามารถตรวจจับได้ ไม่ว่าจะเป็น กระแส ความต่างศักย์ แรงเคลื่อนไฟฟ้า หรือความต้านทานไฟฟ้า
2. Signal Conditioner ทำหน้าที่ปรับแต่งปริมาณสัญญาณที่ได้จากขั้นที่ 1 ให้มีขนาดปริมาณหรือลักษณะที่เหมาะสม เพราะสัญญาณที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 นั้น อาจมีขนาดไม่เหมาะสมหรือมีสัญญาณรบกวนมากเกินไปที่จะนำไปวิเคราะห์ในทันทีได้
3. Data Acquisition ทำหน้าที่ประมวลผลความหมายหรือเปลี่ยนสัญญาณในลักษณะ Analog ให้มาอยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล เพื่อประโยชน์ในการตีความหมายและใช้ในการควบคุมหน้าที่ของ DAQ boards อาจจะเป็นการอ่านสัญญาณ analog (A/D Conversion) การสร้างสัญญาณอนาล็อก (D/A conversion) เขียนและอ่านสัญญาณ เพื่อเชื่อมต่อกับ Transducer

2.4.3 การติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์โดยใช้ DAQ

การติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์และ transducer จึงเป็นเรื่องสำคัญสำหรับคอมพิวเตอร์โดยปกติแล้ว สามารถที่จะติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ภายนอกได้โดยการผ่าน Input/Output Board (I/O Board) ซึ่ง I/O board นี้จะมีหลายแบบ แต่กลุ่มของเราจะใช้ระบบ DAQ ซึ่งเป็นแบบที่สำคัญและสามารถเชื่อมต่อโดยผ่านคำสั่งของ LabVIEW ได้ทันที

ระบบ DAQ บนพีซี คือ กระบวนการในการอ่านค่าสัญญาณทางไฟฟ้าแล้วนำไปเก็บไว้ในหน่วยความจำบนพีซีเพื่อการวัด วิเคราะห์ จัดเก็บ หรือแสดงผลต่อไป ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของ

แต่ละแอปพลิเคชัน ซึ่งระบบ DAQ บนพีซีจะมีส่วนประกอบหลักอยู่สามส่วนด้วยกัน คือ ส่วนของแหล่งสัญญาณไฟฟ้า ส่วนอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ DAQ และพีซี ดังรูป



รูปที่ 2.22 ระบบ DAQ บนพีซี [17]

สัญญาณที่เราจะวัดอาจเป็นสัญญาณอนาล็อก ($\pm 10V$ หรือ $4\sim 20mA$) หรือสัญญาณดิจิทัล หรืออาจจะมาจากเซ็นเซอร์ ซึ่งสัญญาณเหล่านี้จะถูกต่อสายเข้าไปที่ฮาร์ดแวร์ DAQ ซึ่งภายในอุปกรณ์ DAQ บางรุ่นก็จะมีส่วนอิเล็กทรอนิกส์เสริมที่เรียกว่า Signal conditioning ซึ่งจะทำหน้าที่ในการปรับปรุงสัญญาณให้เหมาะสมก่อนที่จะส่งต่อเข้าวงจร Analog-to-digital converter (ADC) ต่อไปเช่น ถ้าสัญญาณมีขนาดเล็กเกินไป ก็จะต้องปรับปรุงโดยการขยายให้ใหญ่ขึ้น หรือถ้าสัญญาณเข้ามาใหญ่เกินไป ก็ต้องลดทอนสัญญาณให้เล็กลง เป็นต้น (ถ้าสัญญาณมีลักษณะเหมาะสมแล้วเราก็ไม่จำเป็นต้องมี Signal conditioning มาใช้ทุกครั้งเสมอไป) สำหรับฮาร์ดแวร์ DAQ แบบพื้นฐานที่ไม่มี Signal Conditioning ก็จะสามารถวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วง $\pm 10V$ เท่านั้น โดยฮาร์ดแวร์ DAQ นี้จะถูกติดตั้งบนพีซีผ่านทางช่องทางที่เรียกว่าบัส เช่น USB PCel และ Ethernet เป็นต้น โดยที่มีการติดตั้งไดรฟ์เวอร์สำหรับฮาร์ดแวร์ และมีแอปพลิเคชันที่เขียนด้วยซอฟต์แวร์สำหรับพัฒนาระบบ เช่น LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

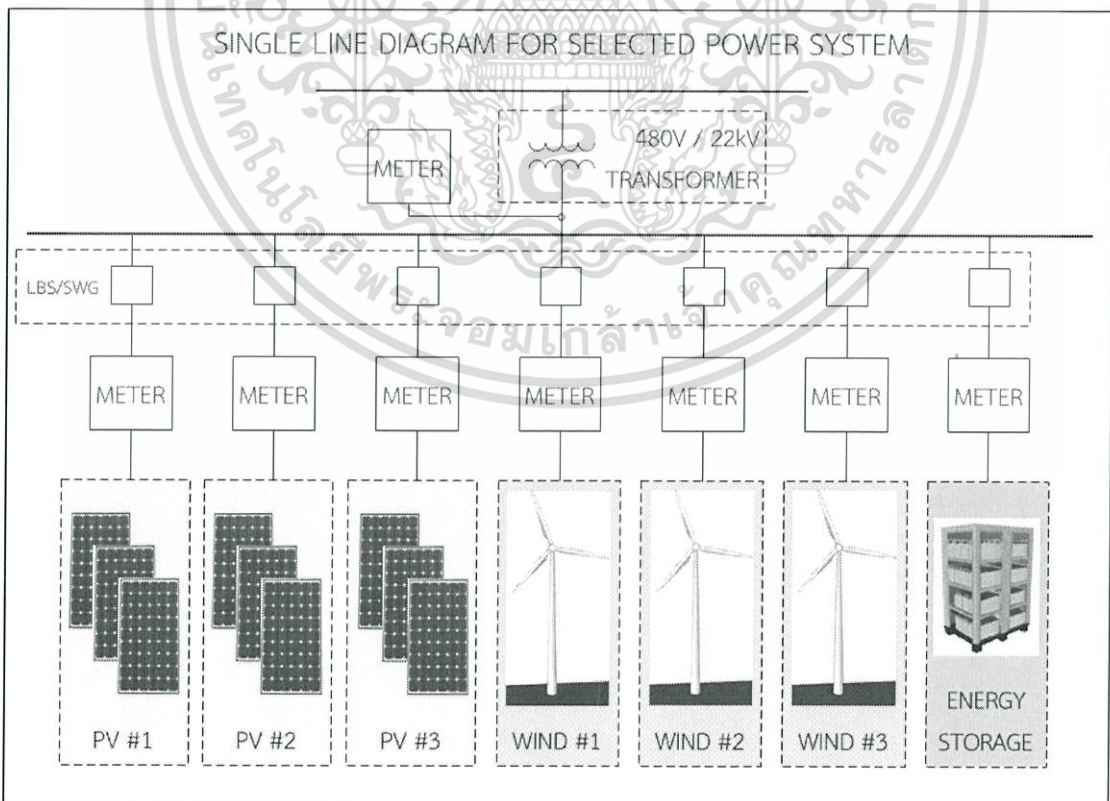
บทที่ 3

การออกแบบโปรแกรมและชุดอุปกรณ์

3.1 แนวคิดหลักที่ใช้ในการออกแบบโปรแกรม

โครงการนี้ต้องการทราบสิ่งที่จะนำมาวิเคราะห์ในการเดินเครื่องโรงไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน ซึ่งจะพิจารณาการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลม และเนื่องจากต้องการวัดค่าพารามิเตอร์จริง จึงใช้เซ็นเซอร์ต่างๆ ในการตรวจวัดพารามิเตอร์เฉพาะของแต่ละระบบ จากนั้นจะนำค่าที่รับมาจากเซ็นเซอร์ ส่งเข้าไปแสดงผลและวิเคราะห์ในโปรแกรม LabVIEW

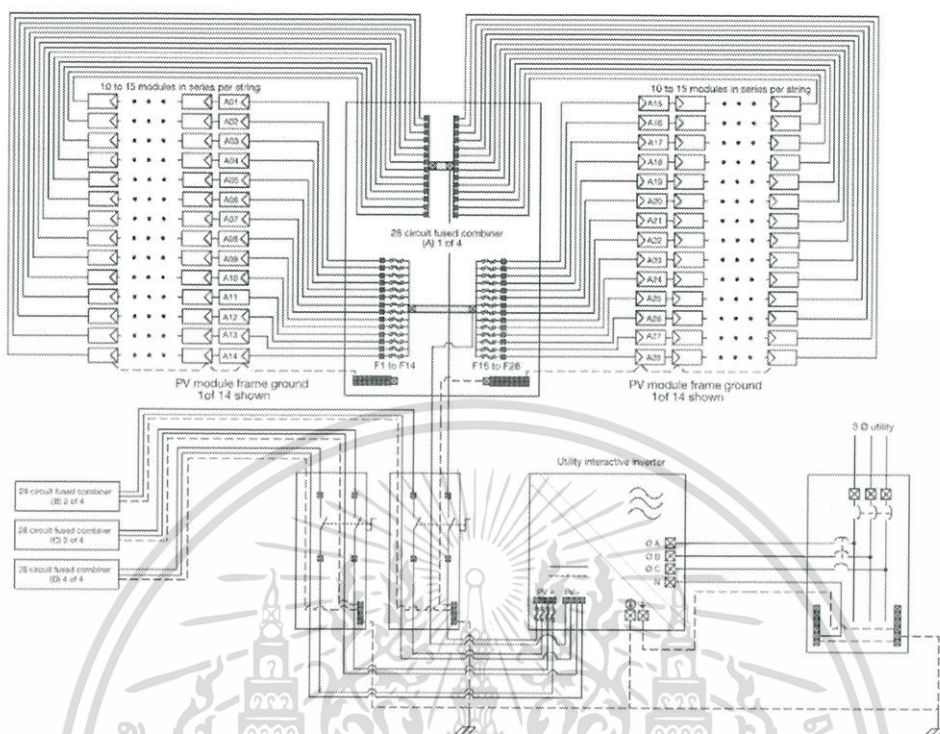
ดังนั้น จึงได้ออกแบบโปรแกรมและชุดอุปกรณ์เพื่อใช้ในการจำลองสัญญาณ การวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสัญญาณ แสดงผลจากการวิเคราะห์ บันทึกผลของข้อมูล นำข้อมูลที่บันทึกได้มาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของระบบไฟฟ้าพลังงานทดแทนทั้งในสภาวะปกติและสภาวะที่เกิดความผิดปกติทางไฟฟ้า โดยทำการออกแบบเพื่อให้ความถูกต้องในการวัด รวมทั้งสามารถนำไปใช้งานได้ง่ายไม่มีความยุ่งยากซับซ้อนและพกพาชุดอุปกรณ์ไปวัดค่าพลังงานทางทดแทนตามสถานที่ต่างๆ ได้อย่างสะดวก โดยภายในภาคเรียนที่ 1 เป็นการออกแบบโปรแกรมสำหรับการวัดและวิเคราะห์สัญญาณ และในภาคเรียนที่ 2 เป็นการออกแบบชุดอุปกรณ์และโปรแกรมสำหรับการรับค่าพารามิเตอร์จริงของระบบพลังงานทดแทนที่จะนำไปวิเคราะห์ ซึ่งภาพรวมของระบบที่จะนำมาพิจารณาจะแสดงดังรูปที่ 3.1



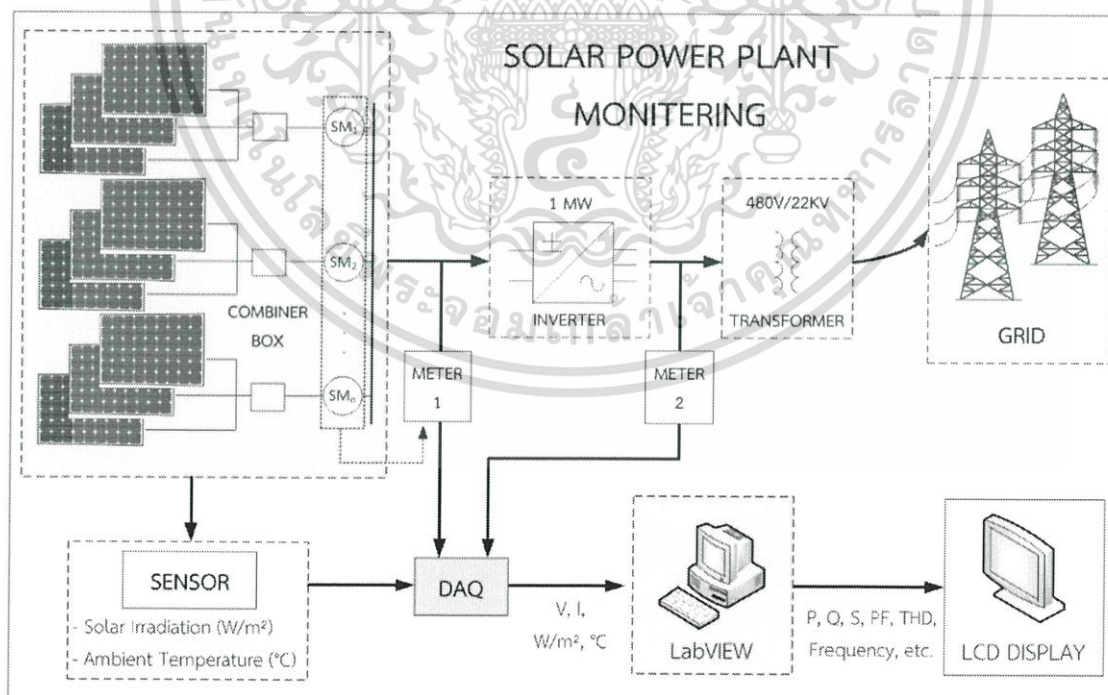
รูปที่ 3.1 ภาพรวมของระบบที่จะนำมาวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับระบบพลังงานแสงอาทิตย์โดยทั่วไปสามารถแสดงเป็นวันไลน์ไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 3.2 และภาพรวมของระบบที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 3.3



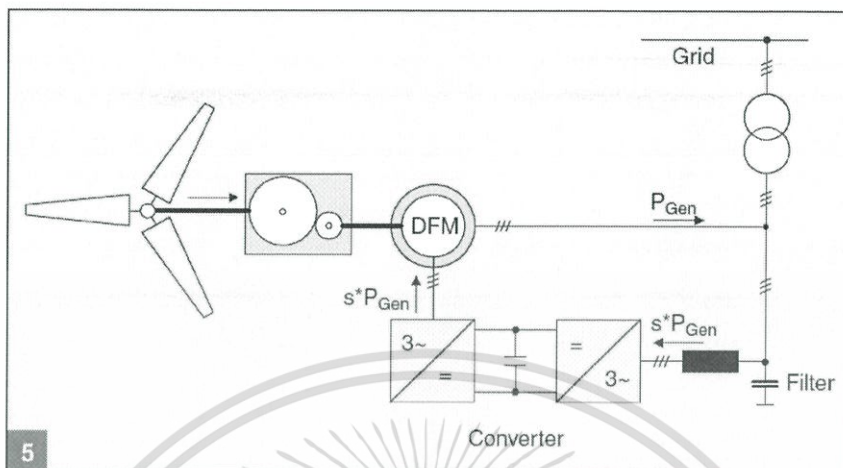
รูปที่ 3.2 วันไลน์ไดอะแกรมของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ [18]



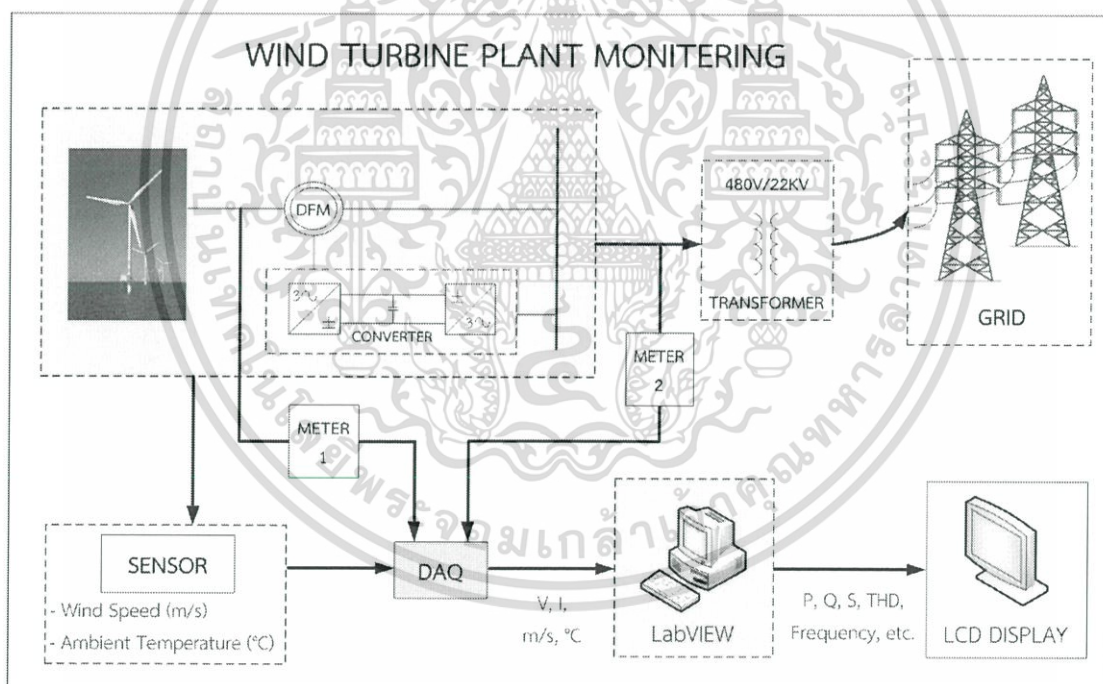
รูปที่ 3.3 ภาพรวมของระบบพลังงานแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของระบบพลังงานลม โครงการนี้เลือกที่จะใช้กังหันลมแบบ Doubly Fed Induction Generator (DFIG) ซึ่งกำลังเป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบัน โดยมีหลักการทำงานดังรูปที่ 3.4 และภาพรวมของระบบที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 หลักการทำงานของระบบพลังงานลมแบบ DFIG [19]

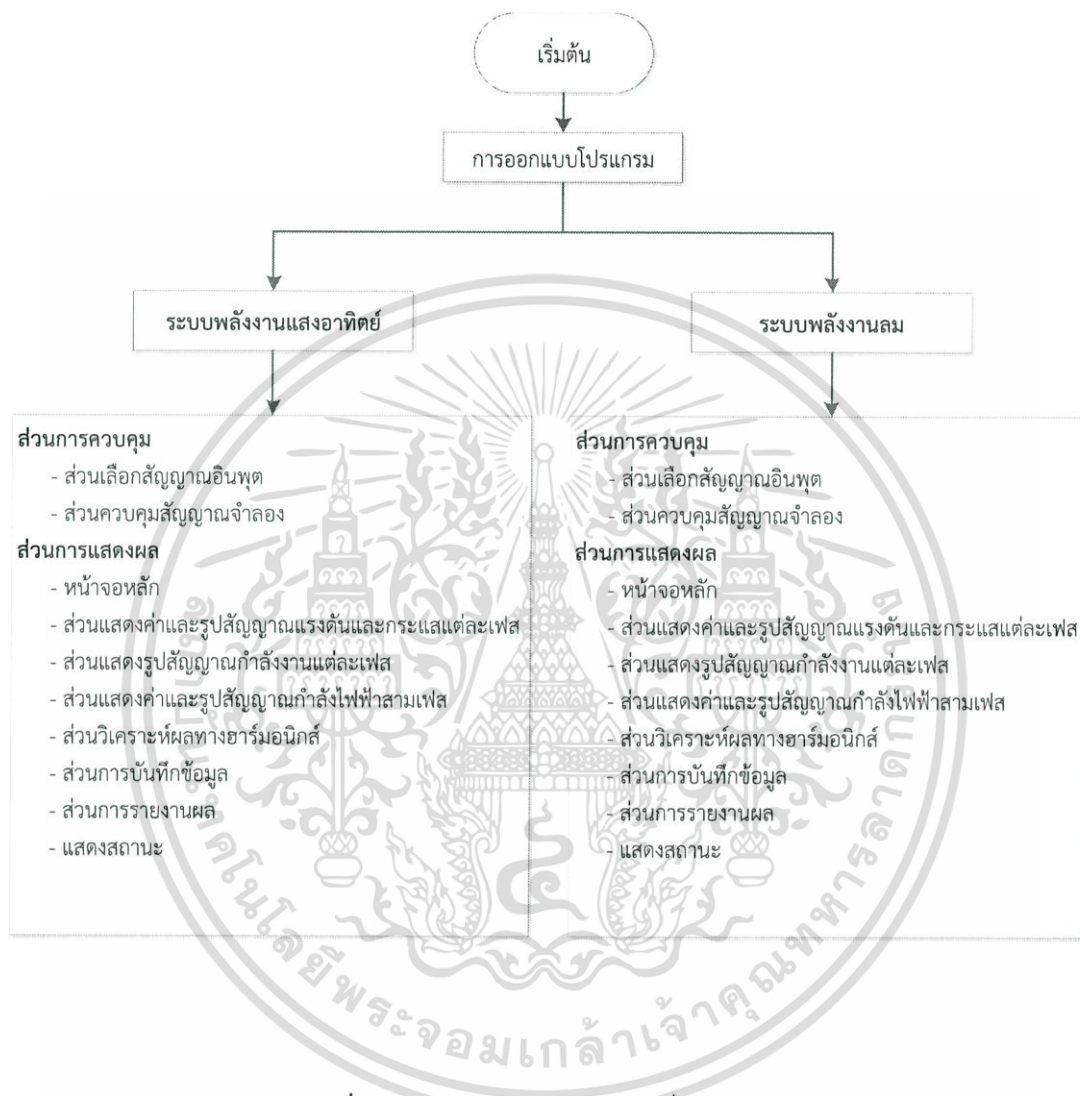


รูปที่ 3.5 ภาพรวมของระบบพลังงานลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

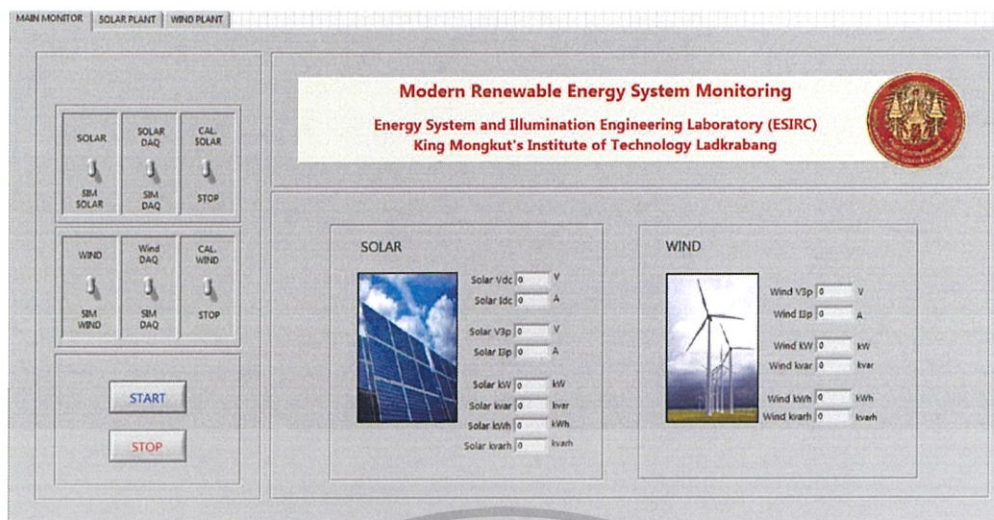
3.2 การออกแบบโปรแกรม

ในส่วนของการออกแบบโปรแกรมนั้นจะเป็นการออกแบบสำหรับการรับพารามิเตอร์จริงจากระบบที่จะพิจารณาผ่าน DAQ แล้วนำมาแสดงผลยังโปรแกรม LabVIEW ดังนั้นในส่วนที่จะต้องออกแบบจึงจะประกอบไปด้วยระบบรวม ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ และระบบพลังงานลม

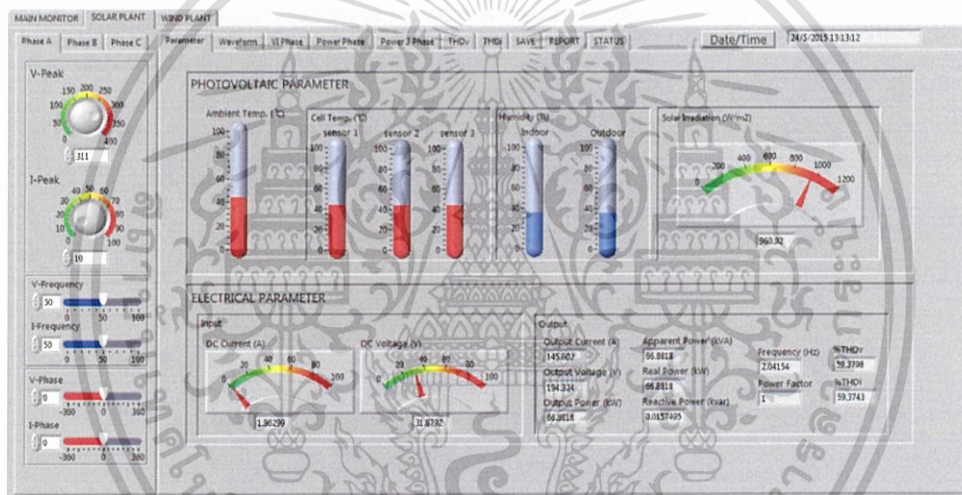


รูปที่ 3.6 ภาพรวมของโปรแกรมที่ออกแบบ

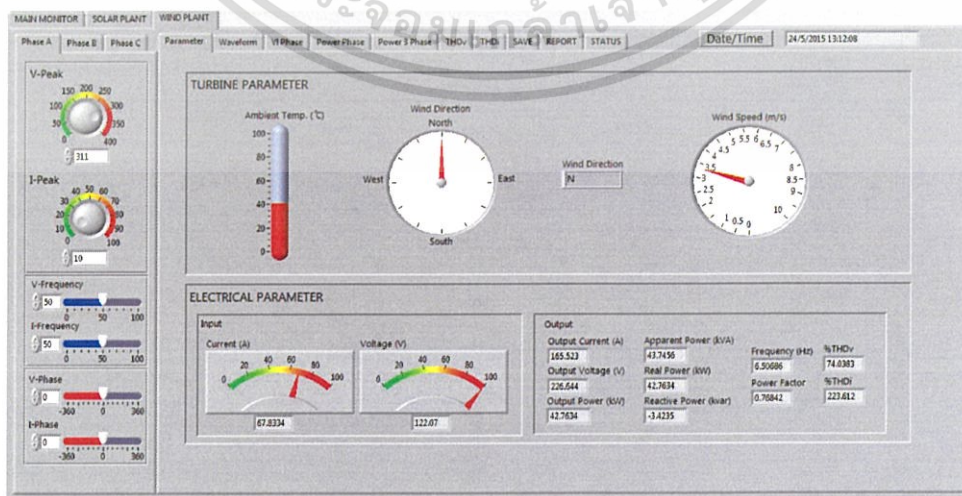
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 การรับค่าพารามิเตอร์จริงในระบบรวม



รูปที่ 3.8 การรับค่าพารามิเตอร์จริงในระบบแสงอาทิตย์



รูปที่ 3.9 การรับค่าพารามิเตอร์จริงในระบบพลังงานลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

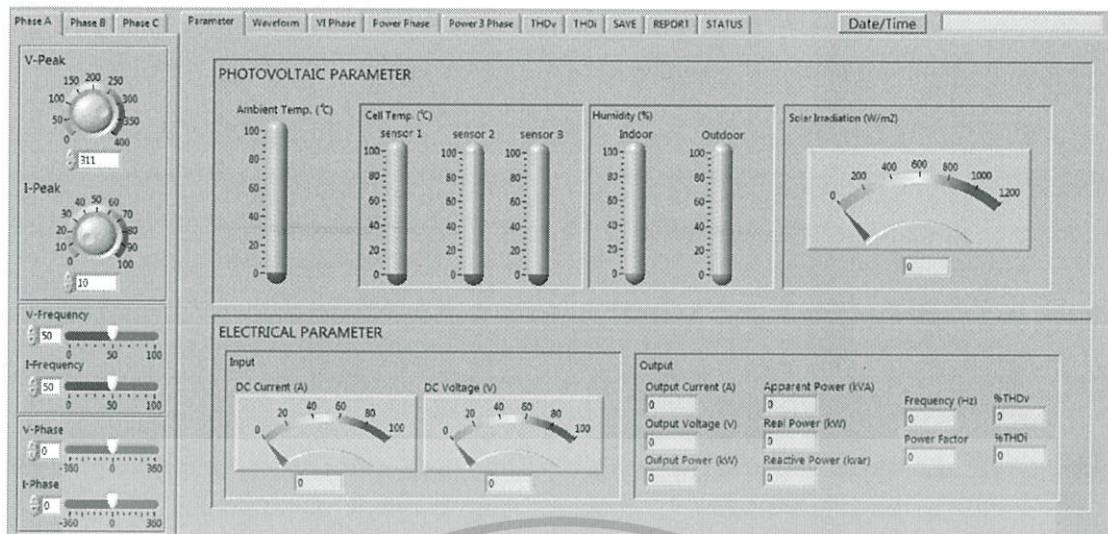
3.2.1 หน้า Front Panel

การออกแบบโปรแกรมในการวิเคราะห์สัญญาณให้ Front Panel แสดงผลเป็น 3 หมวดหลัก ดังนี้

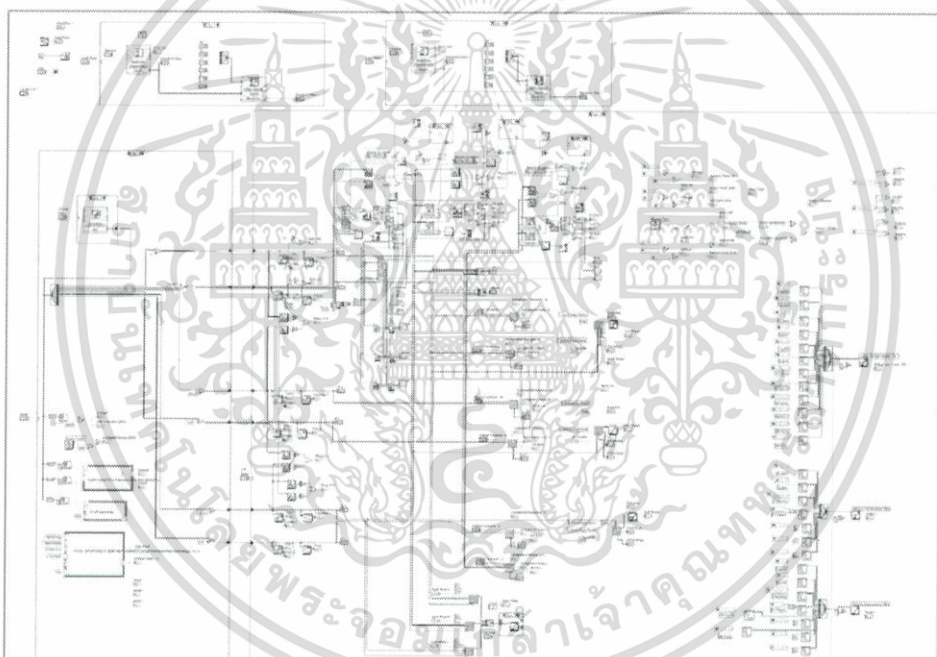
- หมวด Main Monitor จะแสดงค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าจากการนำสัญญาณที่ป้อนเข้ามาโดยอินพุตทางฝั่งควบคุม เช่น ค่ากำลังไฟฟ้าจริง ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ เป็นต้น
- หมวด Solar
- หมวด Wind

ภายในหมวด Solar และ Wind จะแบ่งออกเป็นหมวดย่อยไว้เพื่อควบคุมสัญญาณและแสดงค่าพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ไว้ ดังนี้

- หมวด Parameter จะแสดงผลค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าและพารามิเตอร์เฉพาะของระบบพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม
- หมวด Waveform จะแสดงผลเป็นกราฟของค่าพารามิเตอร์เฉพาะแต่ละระบบ และค่าพลังงานสะสมรวมไปถึงแสดงผลการคำนวณรายรับที่อาจจะได้หากนำไฟฟ้าที่ผลิตได้ไปขายให้กับการไฟฟ้า
- หมวด VI Phase จะแสดงผลเป็นกราฟของสัญญาณแรงดันและกระแสซึ่งในแต่ละเฟส และแสดงค่าสูงสุด ค่ารากเฉลี่ยกำลังสอง (rms) ค่าความถี่ ค่า Power Factor และการ Lead-Lag
- หมวด Power Phase จะแสดงกราฟของกำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าเสมือน และกำลังไฟฟ้าปรากฏของแต่ละเฟส
- หมวด Power 3 Phase จะแสดงผลกราฟของสัญญาณแรงดัน กระแส กำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าเสมือน และกำลังไฟฟ้าปรากฏที่รวมแล้วสามเฟส
- หมวด THDv จะแสดงค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมและกราฟ FFT ของแรงดัน
- หมวด THDi จะแสดงค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมและกราฟ FFT ของกระแส
- หมวด Save จะมีไว้สำหรับการบันทึกข้อมูลจากกราฟสัญญาณ แบ่งเป็นการบันทึกข้อมูลตามจำนวนไซเคิลที่ต้องการ และการบันทึกผลทุกๆ นาทีที่ต้องการจะเก็บ
- หมวด Report การอ่านข้อมูลซึ่งแสดงผลเป็นกราฟสัญญาณ
- หมวด Status จะแสดงผลการเตือนเหตุการณ์ผิดปกติในระบบ เช่น ช่วงที่เกิดภาวะแรงดันเกินและแรงดันตก เป็นต้น



รูปที่ 3.10 Front Panel ของโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์สัญญาณ

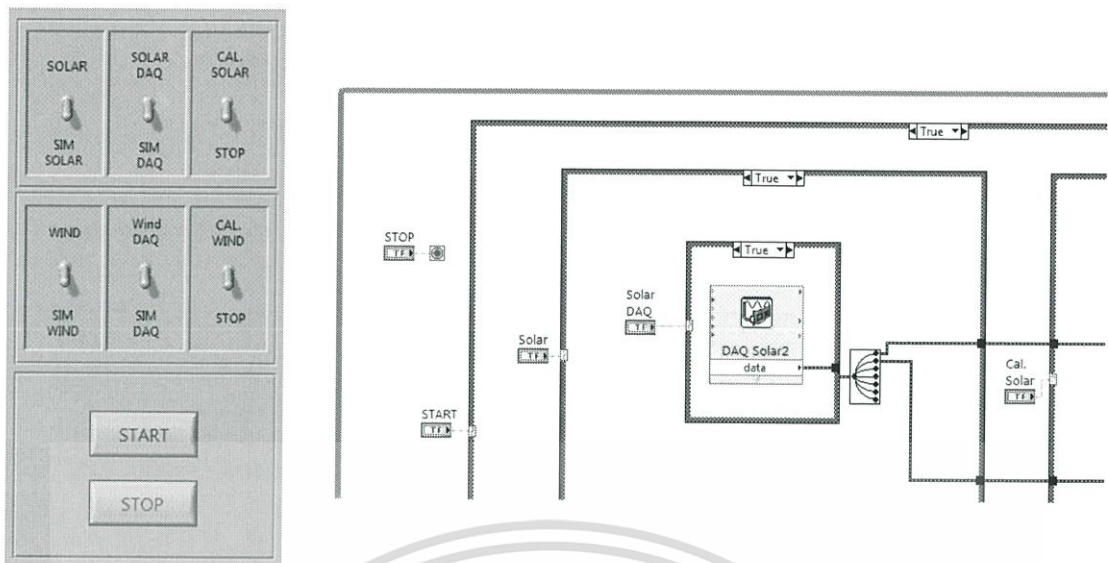


รูปที่ 3.11 บล็อกไดอะแกรมของโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์สัญญาณ

3.2.2 ส่วนเริ่มต้นโปรแกรม

ในส่วนนี้จะมีปุ่มให้เลือกเพื่อเริ่มต้นการทำงานของโปรแกรมและปุ่มหยุดการทำงานของโปรแกรม ถัดมาคือส่วนเลือกใช้งานระบบพลังงานแสงอาทิตย์และระบบพลังงานลม โดยที่สามารถเลือกได้ว่าจะใช้ค่าจากการจำลองขึ้นเองโดยแผงควบคุม (รูปที่ 3.11) หรือจะรับค่าจริงผ่านอุปกรณ์ DAQ หรือจะใช้งานฟังก์ชันการจำลองของอุปกรณ์ DAQ จากนั้นจะเป็นปุ่มสำหรับเลือกเพื่อให้โปรแกรมเริ่มต้นการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



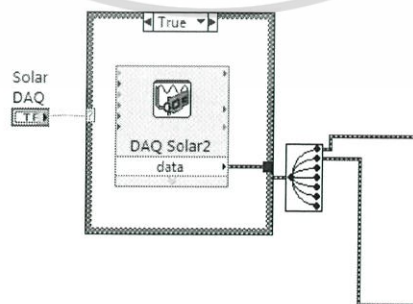
รูปที่ 3.12 Front Panel และบล็อกไดอะแกรมสำหรับส่วนเริ่มต้นโปรแกรม

3.2.3 ส่วนควบคุมโปรแกรม

ส่วนควบคุมโปรแกรมเป็นการรับค่าพารามิเตอร์พื้นฐานที่จะนำไปใช้ในการคำนวณในโปรแกรม LabVIEW ซึ่งได้ทำการออกแบบไว้ให้รับค่าได้จาก DAQ และรับค่าโดยการจำลองสัญญาณขึ้นเองในโปรแกรม

3.2.3.1 การรับสัญญาณโดยใช้ DAQ

การรับสัญญาณจาก DAQ นั้นจะแบ่งเป็นการรับค่าจริงจากภายนอกเข้ามาและการรับค่าที่จำลองขึ้นโดยอุปกรณ์ DAQ เอง ซึ่งสัญญาณที่รับเข้ามานั้นส่วนหนึ่งจะรับค่าพื้นฐานคือแรงดันและกระแส เพื่อนำไปคำนวณหาค่าทางไฟฟ้า ได้แก่ ค่ากำลังไฟฟ้า และค่าพลังงานไฟฟ้า นำไปวิเคราะห์หาค่า %THD และค่าผิดพ่วงทางไฟฟ้า และอีกส่วนหนึ่งจะรับค่าพารามิเตอร์ของระบบพลังงานแสงอาทิตย์และระบบพลังงานลม

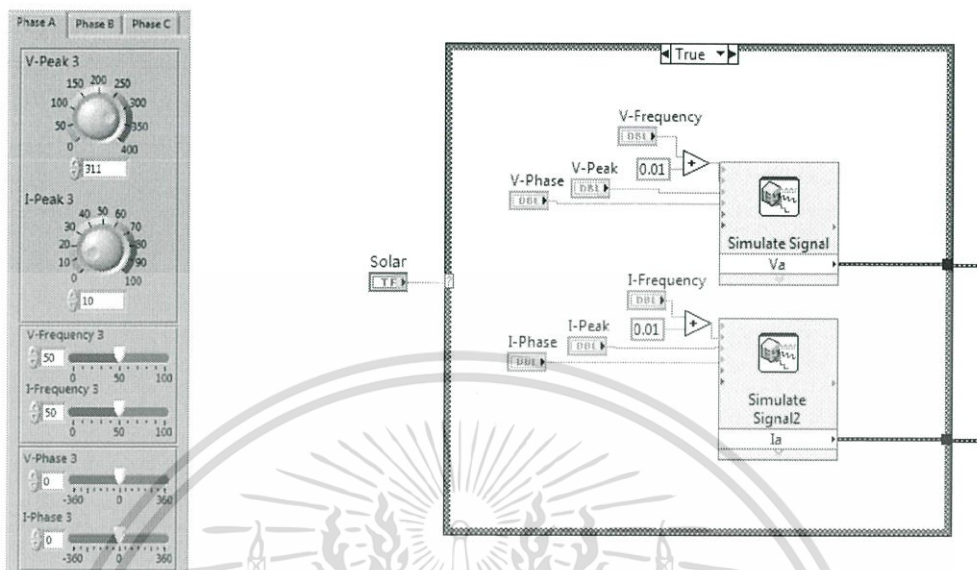


รูปที่ 3.13 ส่วนควบคุมโปรแกรมซึ่งรับค่าโดยการจำลองสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3.2 การรับค่าโดยการจำลองสัญญาณในโปรแกรม LabVIEW

การรับค่าโดยการจำลองสัญญาณขึ้นเองด้วยโปรแกรม LabVIEW เพื่อนำไปคำนวณค่าทางไฟฟ้า นั้น ค่าพื้นฐานที่จะต้องจำลองคือ ค่าแรงดัน กระแส ความถี่ และมุมเฟส



รูปที่ 3.14 ส่วนควบคุมโปรแกรมซึ่งรับค่าโดยการจำลองสัญญาณ

3.2.4 ส่วนหน้าจอบันทึกผลหลัก

หน้าจอบันทึกผลหลักนั้นจะแสดงให้เห็นเป็นภาพรวมของข้อมูลพลังงานที่ผ่านการวิเคราะห์แล้วของแต่ละระบบ ณ เวลานั้น ซึ่งจะประกอบไปด้วยค่าแรงดัน กระแส

3.2.4.1 การแสดงค่าพารามิเตอร์เฉพาะในระบบ

สำหรับระบบพลังงานแสงอาทิตย์จะแสดง ค่า Solar Irradiation อุณหภูมิ ความชื้น แรงดันและกระแสไฟตรง ส่วนระบบพลังงานลม จะแสดงค่าความเร็วลม ทิศทางลม และอุณหภูมิ

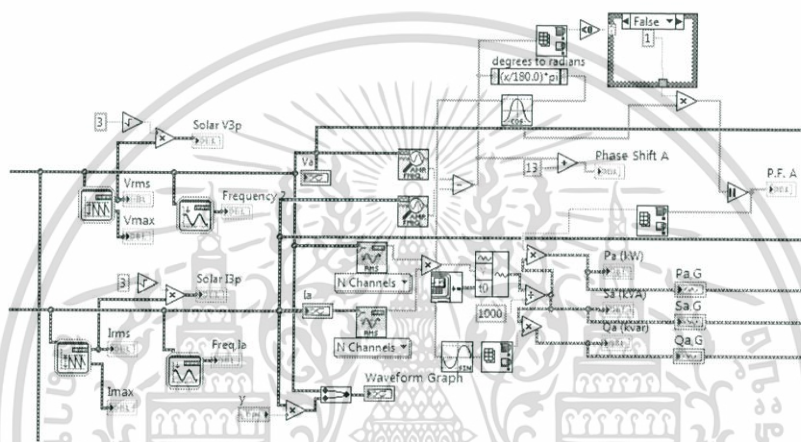
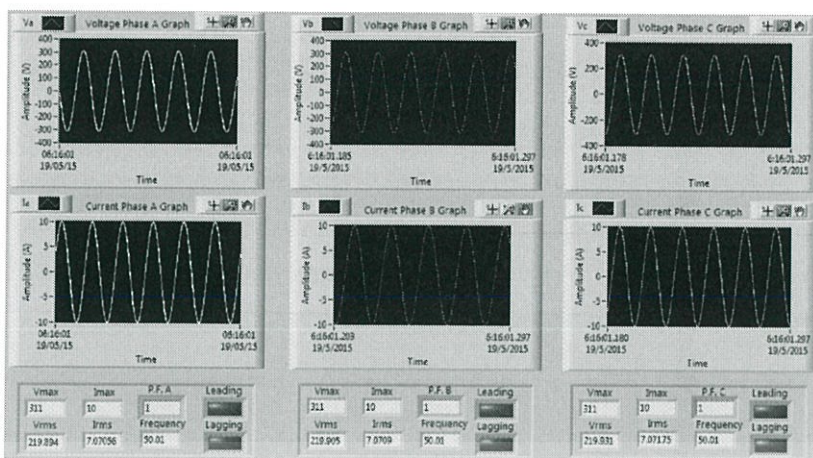
3.2.4.2 การแสดงกราฟของพารามิเตอร์เฉพาะในระบบ

สำหรับพลังงานแสงอาทิตย์จะแสดง กราฟพลังงาน กราฟอุณหภูมิ กราฟ Solar Irradiation และกราฟกำลังงาน ส่วนพลังงานลมจะแสดง กราฟพลังงาน กราฟอุณหภูมิ กราฟความเร็วลม และกราฟกำลังงาน

3.2.4.3 การแสดงกราฟและค่าแรงดันและกระแสแต่ละเฟส

แสดงกราฟแรงดันและกระแสในแต่ละเฟส รวมถึงค่าสูงสุด ค่ารากเฉลี่ยกำลังสอง และค่าความถี่ เป็นต้น ดังรูปที่ 3.15

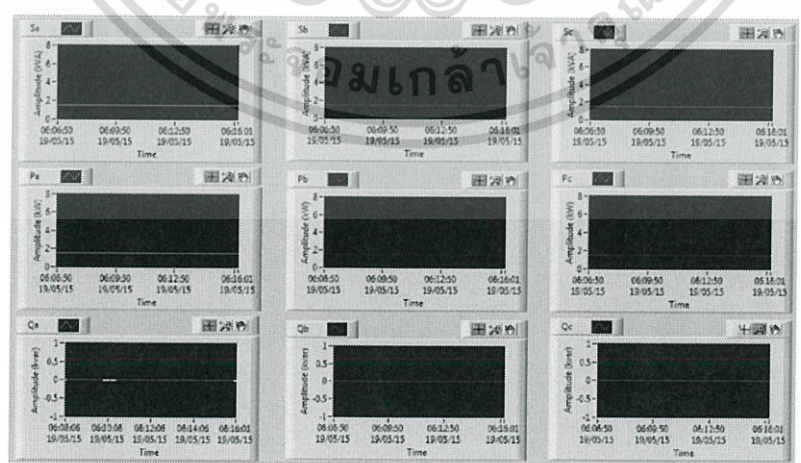
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 การแสดงค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าและรูปคลื่นสัญญาณ

3.2.4.4 การแสดงกราฟกำลังทางไฟฟ้าแต่ละเฟส

แสดงกราฟกำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าเสมือน และกำลังไฟฟ้าปรากฏของแต่ละเฟส

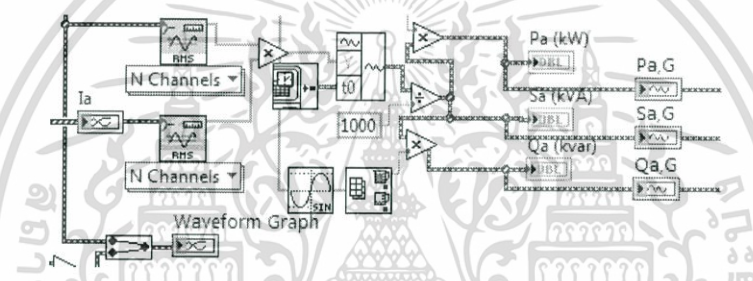
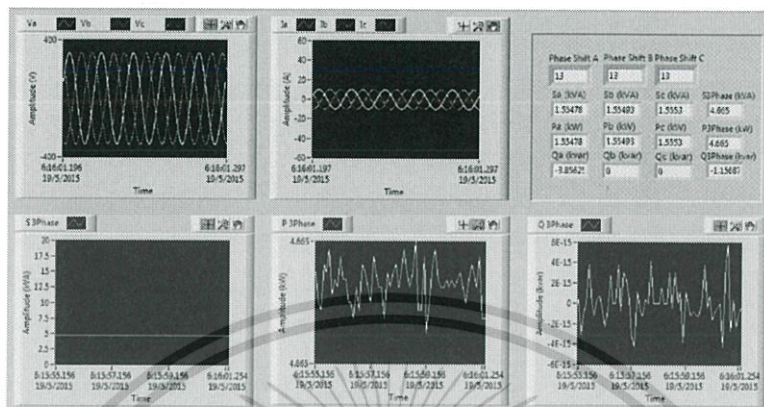


รูปที่ 3.16 การแสดงกราฟกำลังทางไฟฟ้าแต่ละเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4.5 การแสดงกราฟและค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้ารวมสามเฟส

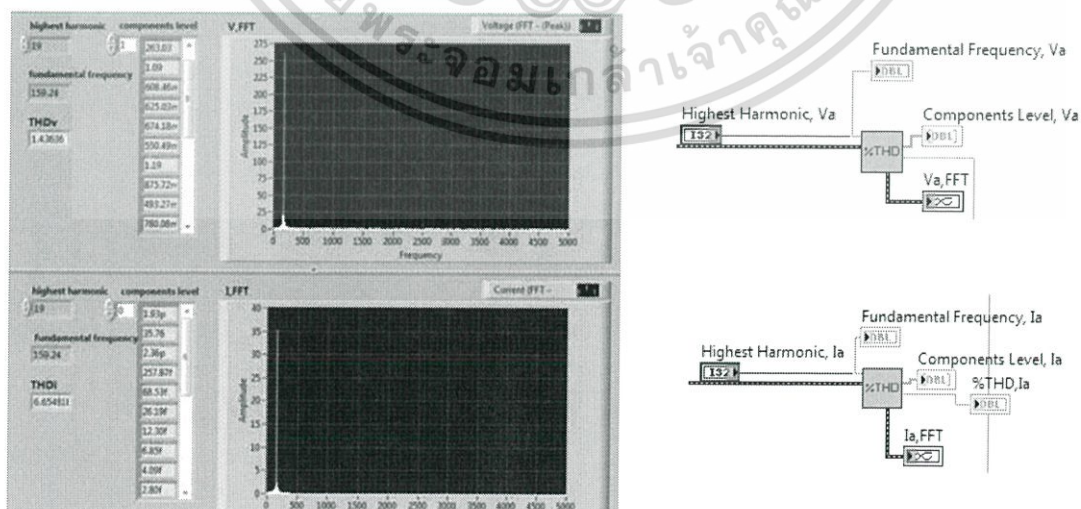
แสดงกราฟแรงดันและกระแสทั้งสามเฟสรวมกัน กราฟกำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าเสมือน และกำลังไฟฟ้าปรากฏทั้งสามเฟสรวมกัน และแสดงค่าพารามิเตอร์กำลังทางไฟฟ้าของทั้งสามเฟสรวมกันและของแต่ละเฟสแยก



รูปที่ 3.17 การแสดงกราฟและค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้ารวมสามเฟส

3.2.4.6 การแสดงค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิก

แสดงค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกของทั้งแรงดันและกระแสของแต่ละเฟส

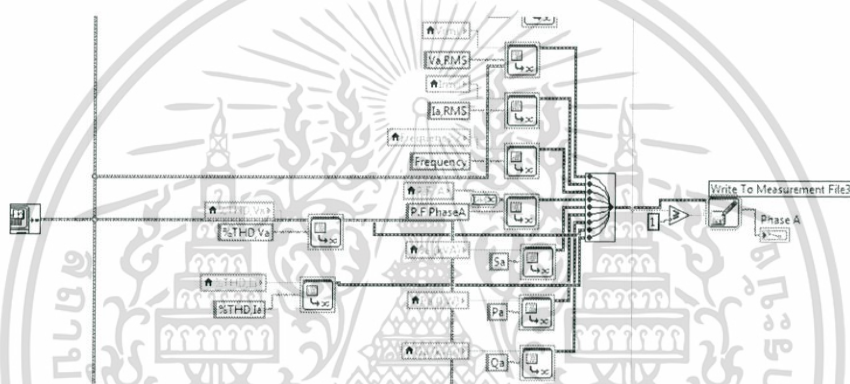
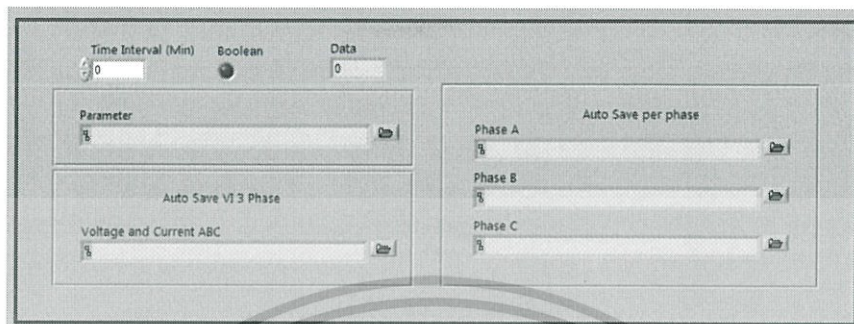


รูปที่ 3.18 การวิเคราะห์ฮาร์มอนิก

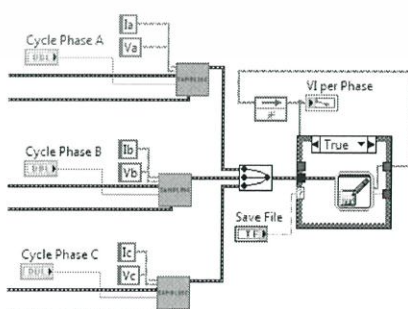
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4.7 การบันทึกข้อมูล

การบันทึกข้อมูลแบ่งเป็นการบันทึกข้อมูลโดยกำหนดระยะเวลาที่ต้องการบันทึกแต่ละค่า และการบันทึกข้อมูลของแต่ละเฟสโดยเลือกจำนวนคาบที่ต้องการบันทึก



รูปที่ 3.19 การบันทึกข้อมูลแบบกำหนดระยะเวลา

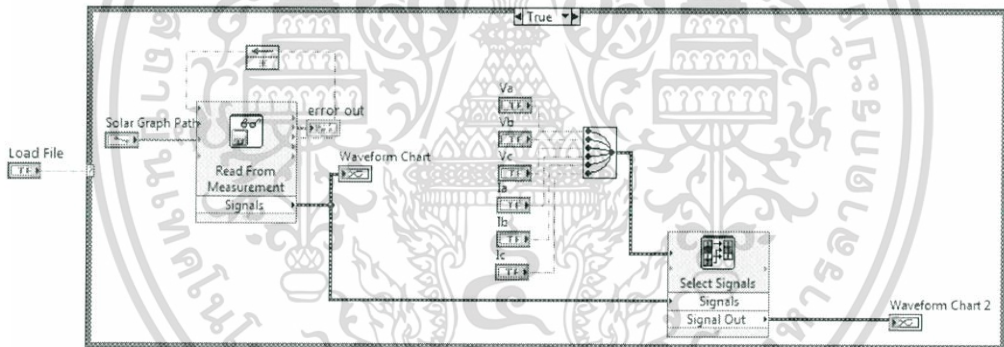
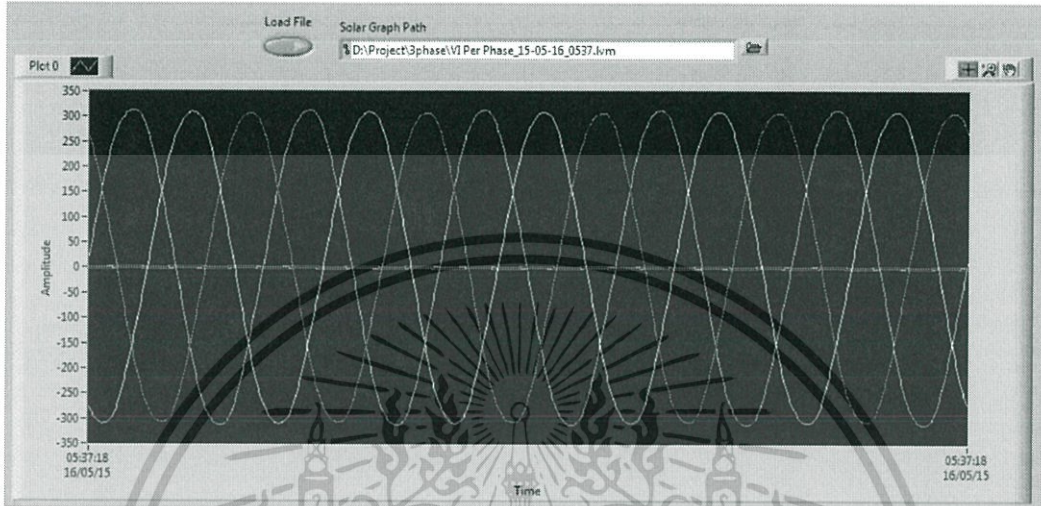


รูปที่ 3.20 การบันทึกข้อมูลแบบเลือกจำนวนคาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4.8 การอ่านข้อมูล

การอ่านข้อมูลนั้นมีปุ่ม Load File เป็นตัวกำหนดการเริ่มต้นและหยุดทำงานในส่วนของการอ่านข้อมูล เมื่อเลือกไฟล์ที่ต้องการและกดปุ่มแล้ว จะแสดงผลเป็นรูปคลื่นสัญญาณทันที และสามารถเลือกอ่านไฟล์ใหม่ได้อย่างต่อเนื่องจนกว่าจะกดปุ่มอีกครั้ง ซึ่งเป็นการหยุดการทำงานในส่วนของการอ่านข้อมูล

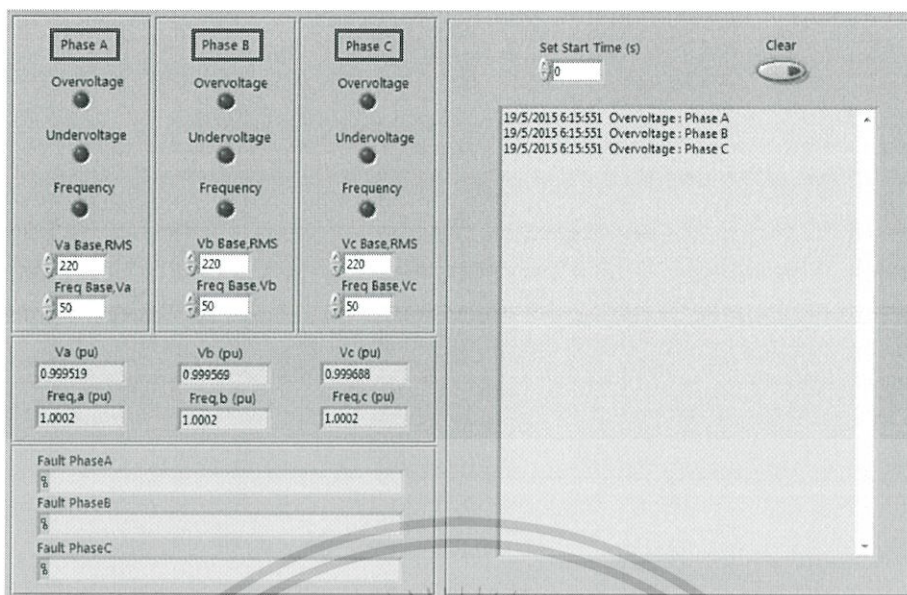


รูปที่ 3.21 การอ่านข้อมูล

3.2.4.9 การแสดงผลเตือนเมื่อเกิดความผิดปกติ

การแสดงผลการเตือนเมื่อเกิดความผิดปกตินั้นจะให้แสดงข้อมูลของ วัน เวลา และ ลักษณะความผิดปกติที่เกิดขึ้นในแถบแสดงสถานะ จะแสดงไฟเตือนขึ้นที่แถบหน้าจอหลัก และเมื่อเกิดความผิดปกติที่เฟสใดๆ จะทำการบันทึกข้อมูลที่เกิดความผิดปกตินั้นโดยอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 การแสดงผลเตือนเมื่อเกิดความผิดปกติ

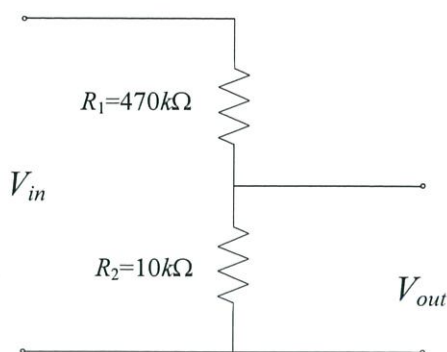
3.3 การวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในระบบ

การวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ประกอบด้วย การวัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้า ในโปรแกรมจะมีการวัดทั้งระบบไฟฟ้ากระแสสลับและไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งจะใช้อุปกรณ์ในการแปลงแรงดันและกระแสที่แตกต่างกัน เพื่อนำไปจ่ายเข้า DAQ ซึ่งสามารถรับแรงดันได้ไม่เกิน $\pm 10V$

3.3.1 การวัดแรงดันไฟฟ้า

การวัดแรงดันไฟฟ้าสำหรับไฟฟ้ากระแสตรงจะใช้ Voltage Divider เพื่อลดทอนระดับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยที่ Voltage Divider ที่ใช้ $R_1=479\text{ k}\Omega$, $R_2=10\text{ k}\Omega$ ดังนั้นจะมีอัตราส่วนแรงดัน คือ 48/1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



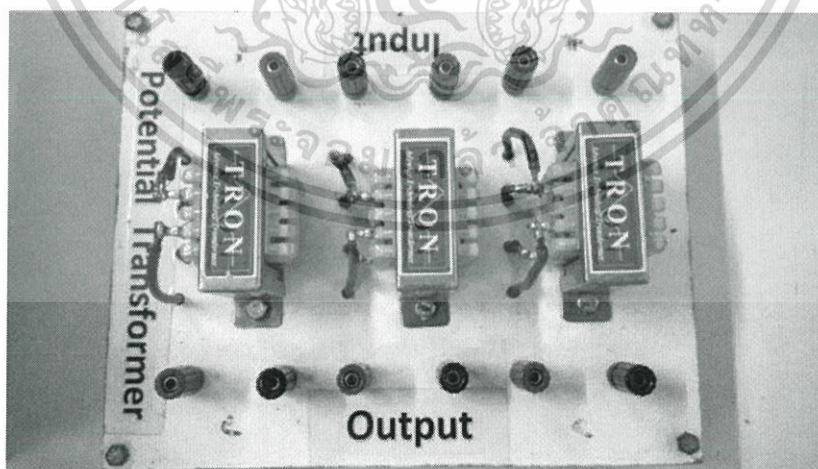
รูปที่ 3.23 วงจร Voltage Divider

$$V_{out1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{in} \quad (3.1)$$

$$V_{out1} = \frac{10k}{470k + 10k} V_{in} \quad (3.2)$$

$$V_{out1} = \frac{1}{48} V_{in} \quad (3.3)$$

การวัดแรงดันไฟฟ้าสำหรับไฟฟ้ากระแสสลับจะใช้หม้อแปลงแรงดันเพื่อทอนระดับแรงดันไฟฟ้าโดยมีอัตราส่วนคือ 800/16 เมื่อนำไปคูณกับค่าที่รับได้จาก DAQ จึงจะออกเป็นค่าแรงดันจริงของระบบ



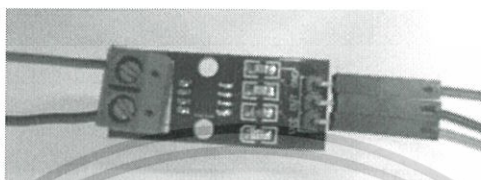
รูปที่ 3.24 หม้อแปลงแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การวัดกระแสไฟฟ้า

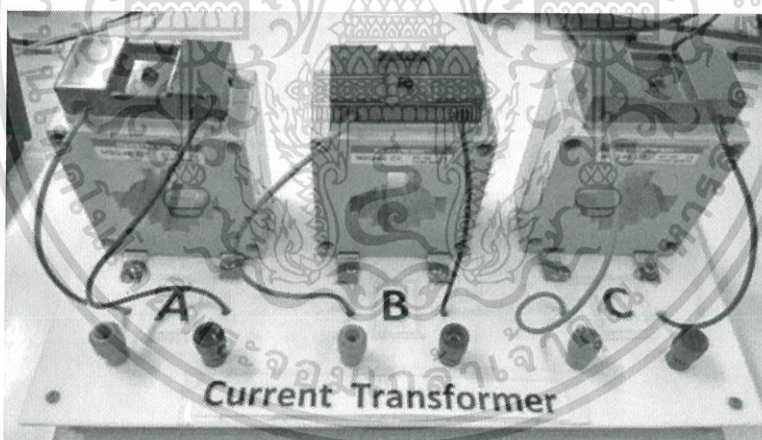
การวัดกระแสไฟฟ้าสำหรับไฟฟ้ากระแสตรงจะใช้ Current Sensor Allegro ACS712 ในการวัดซึ่งจะได้เป็นค่าแรงดัน เมื่อจ่ายเข้า DAQ จะต้องมีการคูณอัตราส่วนเพิ่มเพื่อแปลงจากค่าแรงดันให้กลับเป็นค่ากระแสดังเดิม ซึ่งอัตราส่วนนั้นได้จาก Datasheet ของเซนเซอร์วัดกระแส มีค่าคือ 10 mV/1A

แต่เนื่องจากมี Offset อยู่ที่ 2.5 V ดังนั้น จึงต้องลบออกจากค่าที่ได้ก่อนที่จะนำไปหารค่าอัตราส่วน 10mV



รูปที่ 3.25 Current Sensor Arduino ACS712

การวัดกระแสไฟฟ้าสำหรับไฟฟ้ากระแสสลับนั้นจะใช้หม้อแปลงกระแส Salser MSQ-40 CT ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นค่าแรงดันเช่นกัน และอัตราส่วนของหม้อแปลงกระแสตาม Nameplate คือ 200/5



รูปที่ 3.26 หม้อแปลงกระแส Salser MSQ-40 CT

3.3.3 การคำนวณกำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้า

ได้จากการคำนวณโดยใช้ค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า รวมไปถึงมุมเฟสระหว่างแรงดันและกระแสที่ตรวจวัดได้

สำหรับไฟฟ้ากระแสตรงจะมีสมการในการวัดกำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P = VI \quad (3.4)$$

สำหรับไฟฟ้ากระแสสลับจะคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าจาก

$$P = S \cos \theta \quad (3.5)$$

จากสมการที่ 3.5 โปรแกรม LabVIEW ที่ออกแบบไว้จะสามารถคำนวณหาค่า S ได้จาก

$$S = V_{rms} \times I_{rms} \quad (3.6)$$

$$\cos = \cos[\theta_v - \theta_i] \quad (3.7)$$

จึงนำไปคำนวณหาพลังงานได้จากสูตร

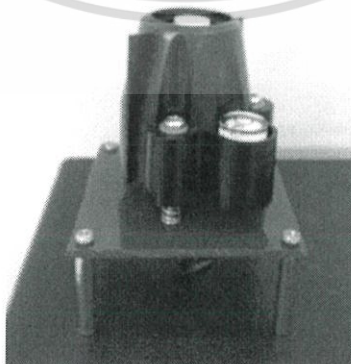
$$E = Pt \quad (3.8)$$

3.4 การวัดค่าพารามิเตอร์เฉพาะในระบบ

เนื่องจากมีชุดอุปกรณ์ในการวัดสภาพอากาศซึ่งประกอบไปด้วยเครื่องวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องวัดความเร็วลม เครื่องวัดทิศทางลม อุณหภูมิและความชื้น

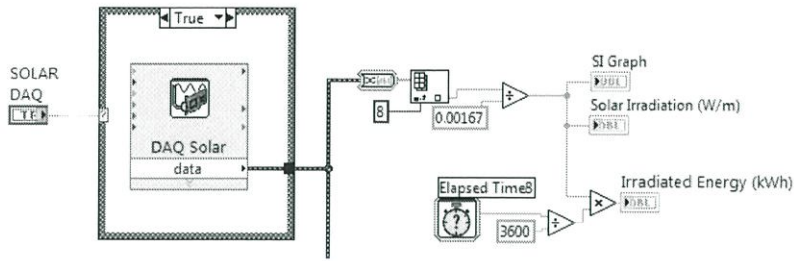
3.4.1 การวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์

เครื่องตรวจวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์ หรือ Solar Irradiation Sensor รุ่น DAVIS6450 ทำงานโดยการรับรังสีจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์แล้วแปลงเป็นกระแสไฟฟ้า แต่ค่าที่ออกมาจะเป็นแรงดัน ซึ่งมีอัตราส่วนคือ เมื่อค่าพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับ 1 W/m^2 จะได้ค่าแรงดัน 1.67 mV แล้วต่อผ่านพอร์ตของอุปกรณ์ DAQ ดังนั้นเมื่อเรานำค่ามาใช้ในโปรแกรมจึงต้องคูณค่าแรงดันที่รับเข้ามาได้ด้วยอัตราส่วน $1/1.67 \text{ mV}$ จึงจะได้เป็นค่าพลังงานแสงอาทิตย์จริง



รูปที่ 3.27 Solar Irradiation Sensor รุ่น DAVIS6450

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.28 บล็อกไดอะแกรมการวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์

3.4.2 การวัดค่าความเร็วลมและทิศทางลม

เครื่องตรวจจับความเร็วลมหรือ Anemometer จากข้อมูลผลิตภัณฑ์ ทำให้ทราบว่าที่ความเร็วลม 1 mph Anemometer จะหมุน 1,600 รอบต่อชั่วโมง (1,600 rev/hr) หรือที่ความเร็วลม 1.006 m/s Anemometer จะหมุนด้วยความถี่ 1 รอบต่อวินาที หรือความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะมีค่าเท่ากับ 1 เฮิรตซ์ (Hz)

สำหรับการวัดทิศทางลม จะใช้ Potentiometer เมื่อทิศทางลมมีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลให้ค่าความต้านทานภายในของ Potentiometer มีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ส่งผลให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงตามความต้านทานที่เปลี่ยนไป โดยการเปลี่ยนแปลงจะมีลักษณะเป็นเชิงเส้น

จาก Voltage Divider จะได้สมการดังนี้

$$V_{out} = V_{in} \left(\frac{n}{20 - n + n} \right) \text{ เมื่อ } V_{in} = 9V \quad (3.9)$$

$$V_{out} = V_{in} \left(\frac{n}{20} \right) \text{ เมื่อ } n = 0 - 20k\Omega \quad (3.10)$$

$$n = \left(\frac{\theta}{18} \right) \text{ เมื่อ } \theta = 0 - 360^\circ \quad (3.11)$$

แทนสมการ (3.11) ใน (3.10)

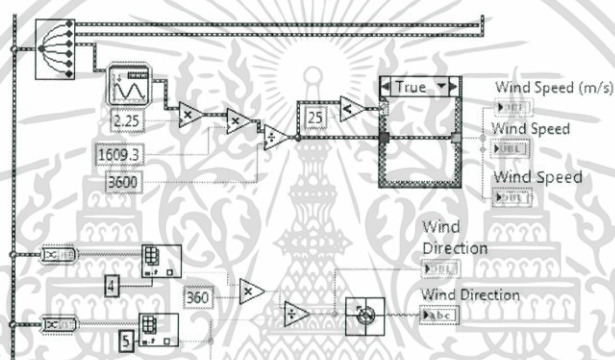
$$V_{out} = V_{in} \left(\frac{\theta}{360} \right) \quad (3.12)$$

$$\theta = 360 \left(\frac{V_{out}}{V_{in}} \right) \text{ เมื่อ } \theta \text{ คือทิศทางของลมหน่วย องศา} \quad (3.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.29 Anemometer รุ่น DAVIS7911



รูปที่ 3.30 บล็อกไดอะแกรมการวัดค่าความเร็วลมและทิศทางลม

3.4.3 การวัดอุณหภูมิ

วัดอุณหภูมิโดยใช้ NTC Thermistor ซึ่งค่าความต้านทานของ Thermistor จะมีการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป โดยที่ค่าความต้านทาน R ของ Thermistor ที่อุณหภูมิ T ใดๆ สามารถอธิบายได้ด้วยสมการ ดังนี้

$$T(R) = [A + B \ln \frac{R}{R_{ref}} + C \ln^2 \frac{R}{R_{ref}} + D \ln^3 \frac{R}{R_{ref}}]^{-1} \quad (3.14)$$

เมื่อกำหนดให้ $A = 0.003354016$

$B = 0.0002569355$

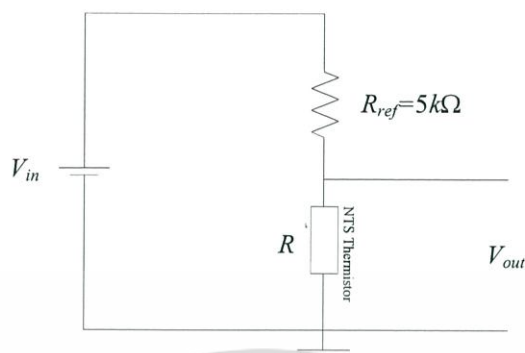
$C = 2.626311 \times 10^{-6}$

และ $D = 6.75278 \times 10^{-8}$

และค่า R_{ref} คือค่าความต้านทานที่อุณหภูมิอ้างอิงหรืออุณหภูมิห้อง ที่ 25°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจาก Thermistor จะเปลี่ยนแปลงความต้านทาน ตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป แต่เนื่องจากพอร์ตของอุปกรณ์ DAQ สามารถวัดได้แค่แรงดัน ไม่สามารถวัดค่าความต้านทานได้ จึงจำเป็นต้องออกแบบวงจรแบ่งแรงดันเพื่อทำการวัดค่าความต้านทานของ Thermistor ดังรูปที่ 3.31



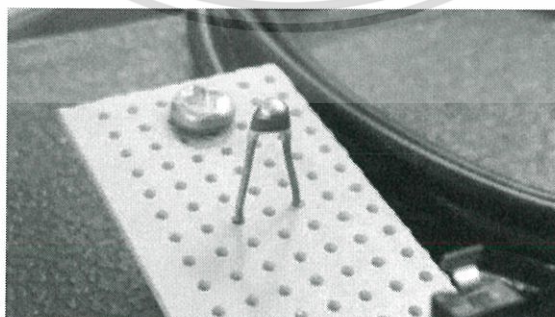
รูปที่ 3.31 วงจร Voltage Divider เพื่อทำการวัดค่าความต้านทานจาก Thermistor

เมื่อกำหนดให้ $V_{in}=5V$ เป็นแหล่งจ่ายให้กับวงจร และมีค่าความต้านทาน $R_{ref}=5\Omega$ และ R คือ Thermistor ซึ่งจะมีค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ดังนั้นจะสามารถหาแรงดันขาออก (V_{out}) ได้ด้วยโปรแกรม LabVIEW ตามสมการที่ (3.15)

$$V_{out} = V_{in} \frac{R}{R + R_{ref}} \quad (3.15)$$

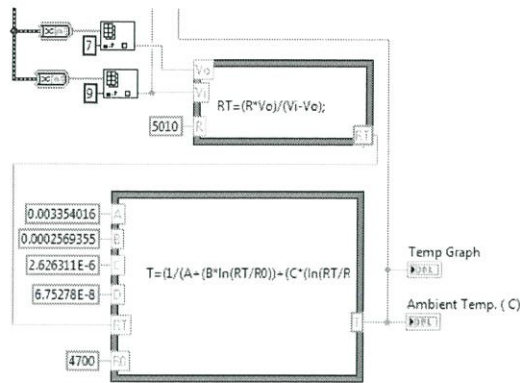
$$R = \frac{V_{out} R_{ref}}{V_{in} - V_{out}} \quad (3.16)$$

เมื่อได้ค่าความต้านทานของ Thermistor ตามสมการที่ (3.16) แล้วนำไปแทนค่าลงในสมการ (3.14) จะได้ค่าของอุณหภูมิตามที่ต้องการ และสามารถนำไปเขียนฟังก์ชันในโปรแกรม LabVIEW ได้ดังรูปที่ 3.32



รูปที่ 3.32 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ NTC Thermistor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



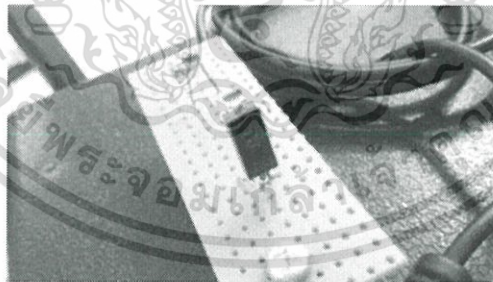
รูปที่ 3.33 บล็อกไดอะแกรมสำหรับการวัดอุณหภูมิ

3.4.4 การวัดความชื้นสัมพัทธ์

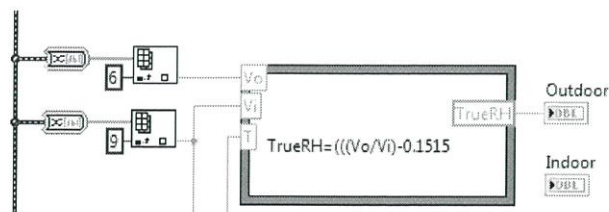
เซนเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์ HIH 5030 เป็นเซนเซอร์วัดความชื้นแบบคาปาซิทีฟ ช่วงในการวัดความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 0-100% ตัวเซนเซอร์จะอาศัยไฟเลี้ยงเป็นแรงดันกระแสตรง 5 โวลต์ เอาต์พุตของเซนเซอร์จะออกเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งมีสัดส่วนเป็นเชิงเส้นกับค่าความชื้นสัมพัทธ์ ได้สมการดังนี้

$$\text{SensorRH} = \frac{V_{out} / V_{in} - 0.1515}{0.00636} \quad (3.17)$$

$$\text{TrueRH} = \frac{\text{SensorRH}}{1.0546 - 0.00216T} \quad (3.18)$$



รูปที่ 3.34 เซนเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์ HIH 5030



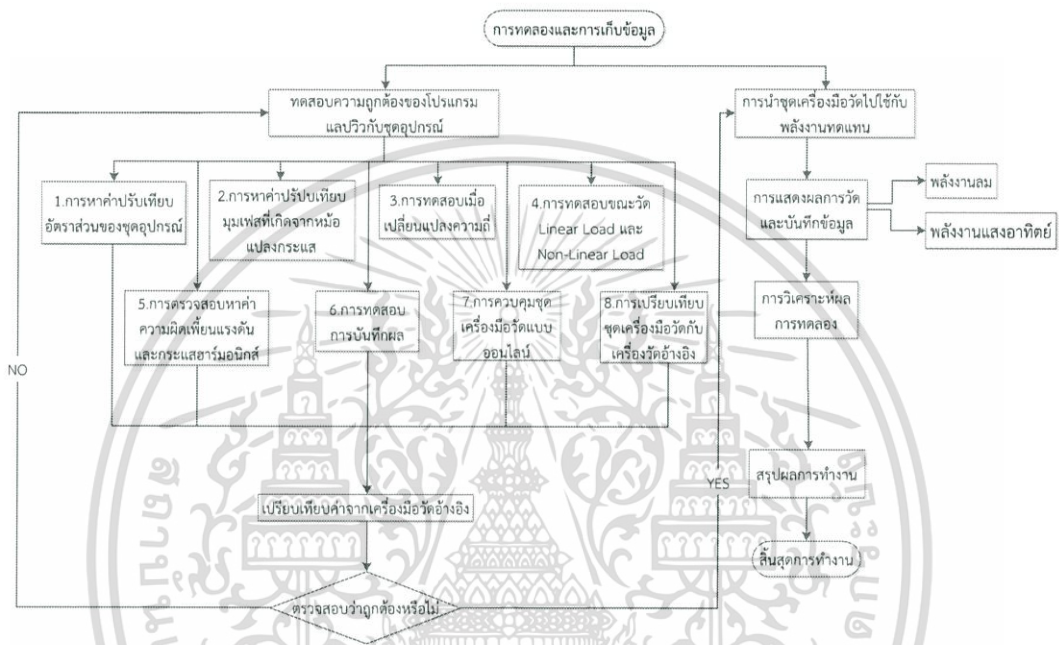
รูปที่ 3.35 บล็อกไดอะแกรมสำหรับการวัดความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและการเก็บข้อมูล

เพื่อให้ชุดเครื่องมือวัดที่ออกแบบมีความน่าเชื่อถือและสามารถนำไปใช้งานกับระบบพลังงานทดแทนได้จริง จึงทำการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม LabVIEW กับชุดอุปกรณ์ โดยมีขั้นตอนการปฏิบัติตาม Flow Chart ดังรูปที่ 4.1



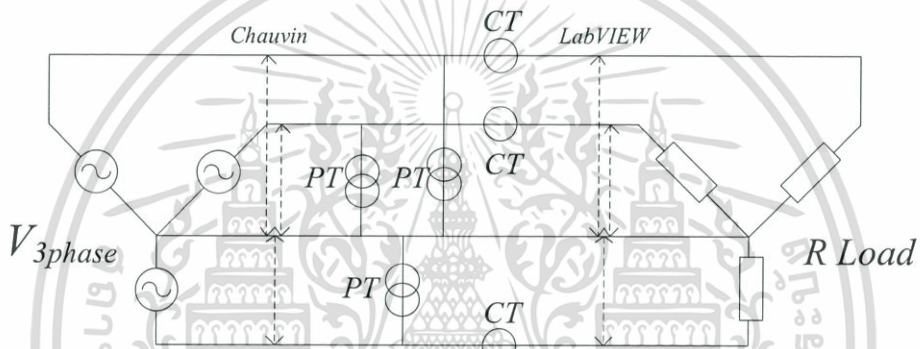
รูปที่ 4.1 แผนผังขั้นตอนการปฏิบัติงาน

4.1 การทดสอบความถูกต้องของชุดเครื่องมือวัด

เนื่องจากชุดเครื่องมือวัดนั้นได้ใช้โปรแกรม LabVIEW ในการวัดและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆทางไฟฟ้า จึงได้ทำการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม LabVIEW จากชุดอุปกรณ์หม้อแปลงกระแส หม้อแปลงแรงดัน และวงจรป้องกันแรงดันเกิน โดยหม้อแปลงกระแสและหม้อแปลงแรงดันจะประกอบไปด้วยแกนเหล็กและขดลวดจำนวนมาก ทำให้เกิดการสูญเสียที่ขดลวดอันเนื่องมาจากกระแสไหลวน ถ้านำชุดเครื่องมือวัดไปใช้โดยไม่ได้ปรับเทียบค่าก่อนจะทำให้ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่ตรวจจับได้มีความคลาดเคลื่อนไปจากค่าจริง ส่วนวงจรป้องกันแรงดันเกินจะประกอบไปด้วยตัวต้านทานและซีเนอร์ไดโอด ดังนั้นก่อนที่จะนำชุดเครื่องมือวัดไปใช้กับพลังงานทดแทนจะต้องทำการทดลองเพื่อหาค่าปรับเทียบของชุดเครื่องมือวัดก่อน

4.1.1 การหาค่าเปรียบเทียบอัตราส่วนของชุดอุปกรณ์

ทำการหาค่าความคลาดเคลื่อนของหม้อแปลงกระแส หม้อแปลงแรงดัน เพื่อให้ค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้มีความถูกต้อง โดยในการทดลองหาค่าเปรียบเทียบนี้จะใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าสามเฟสต่อผ่านหม้อแปลงแรงดัน และหม้อแปลงกระแส ซึ่งใช้โพลดเป็นหลอดเผาไส้สามเฟสต่อแบบสตาร์ ทำการป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับโพลดที่ระดับแรงดัน 20%-110% ของแรงดัน 220 Vrms บันทึกค่ากระแสจริงที่ได้จากแคลมป์แอมป์กับกระแสเอาต์พุตที่ได้จากหม้อแปลงกระแสทั้งสามเฟส และคำนวณหาอัตราส่วนของหม้อแปลงกระแสทั้งสามเฟสดังตารางที่ 4.1 ส่วนการหาค่าเปรียบเทียบอัตราส่วนของหม้อแปลงแรงดันก็ทำเช่นเดียวกันกับหม้อแปลงกระแสแสดงดังตารางที่ 4.2 สรุปผลการเปรียบเทียบของหม้อแปลงกระแส และหม้อแปลงแรงดันได้ดังตารางที่ 4.3 และรูปวงจรถ่ายค่าเปรียบเทียบแสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 วงจรการทดสอบหาค่าเปรียบเทียบอัตราส่วนของชุดอุปกรณ์



รูปที่ 4.3 การทดสอบหาค่าเปรียบเทียบอัตราส่วนของชุดอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 การหาค่าอัตราส่วนจากการทดลองของหม้อแปลงกระแส

Input Voltage (Volt)	Primary Current (A)			Secondary Current (A)			Actual Ratio		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
20% (44V)	0.742	0.739	0.743	0.0188	0.0204	0.0179	44.47	44.93	45.79
30% (66V)	0.907	0.909	0.912	0.0219	0.0230	0.0219	45.42	42.72	45.86
40% (88V)	1.060	1.060	1.060	0.0256	0.0256	0.0250	43.41	43.58	45.74
50% (110V)	1.200	1.190	1.190	0.0283	0.0283	0.0277	44.46	42.85	44.76
60% (132V)	1.320	1.310	1.310	0.0310	0.0323	0.0302	43.38	43.56	46.8
70% (154V)	1.430	1.430	1.430	0.0330	0.0337	0.0323	43.73	42.83	45.57
80% (176V)	1.540	1.540	1.530	0.0380	0.0360	0.0349	45.53	44.78	45.84
90% (198V)	1.650	1.640	1.640	0.0373	0.0384	0.0362	44.54	43.79	45.49
100% (220V)	1.740	1.740	1.730	0.0402	0.0410	0.0390	45.28	42.94	46.76
110% (242V)	1.830	1.830	1.830	0.0432	0.0433	0.0414	43.61	44.56	45.46

ตารางที่ 4.2 การหาค่าแรงดันเอาต์พุตสามเฟสที่ได้จากหม้อแปลงแรงดัน

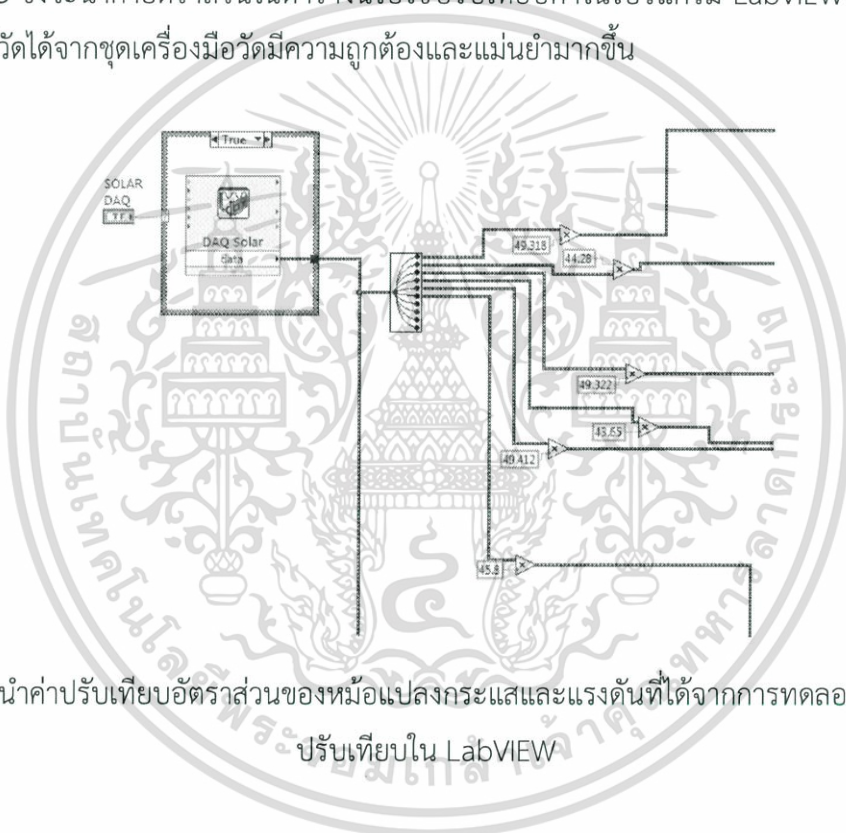
Input Voltage (Volt)	Primary Voltage (V)			Secondary Voltage (V)			Actual Ratio		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
20% (44V)	44.80	44.45	44.70	0.905	0.900	0.903	49.50	49.39	49.50
30% (66V)	66.40	65.80	66.40	1.345	1.331	1.340	49.39	49.43	49.54
40% (88V)	88.10	88.50	88.40	1.785	1.792	1.788	49.36	49.39	49.44
50% (110V)	110.70	110.60	111.10	2.245	2.241	2.247	49.31	49.35	49.44
60% (132V)	132.70	131.70	133.40	2.692	2.671	2.697	49.29	49.31	49.46
70% (154V)	155.60	154.40	155.70	3.157	3.133	3.156	49.29	49.28	49.33
80% (176V)	177.10	175.80	177.20	3.593	3.564	3.593	49.29	49.33	49.32
90% (198V)	198.00	196.50	198.30	4.016	3.988	4.021	49.30	49.27	49.32
100% (220V)	220.40	218.90	221.20	4.476	4.443	4.479	49.24	49.27	49.39
110% (242V)	242.00	240.30	242.70	4.918	4.884	4.915	49.21	49.20	49.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ค่าอัตราส่วนที่ได้จากการทดลองของหม้อแปลงกระแสและหม้อแปลงแรงดัน

Phase	เปรียบเทียบที่นำไปใช้ในชุดเครื่องมือวัด			
	Current Transformer		Voltage Transformer	
	Nameplate Ratio	Actual Ratio	Nameplate Ratio	Actual Ratio
A	40	44.28	50	49.32
B	40	43.65	50	49.32
C	40	45.80	50	49.41

จากผลการทดสอบในการหาเปรียบเทียบของชุดอุปกรณ์ทำให้ได้อัตราส่วนจากการทดลองดังตารางที่ 4.3 ซึ่งจะนำค่าอัตราส่วนในตารางนี้ไปใช้ปรับเทียบค่าในโปรแกรม LabVIEW ดังรูปที่ 4.4 เพื่อให้ค่าที่วัดได้จากชุดเครื่องมือวัดมีความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น

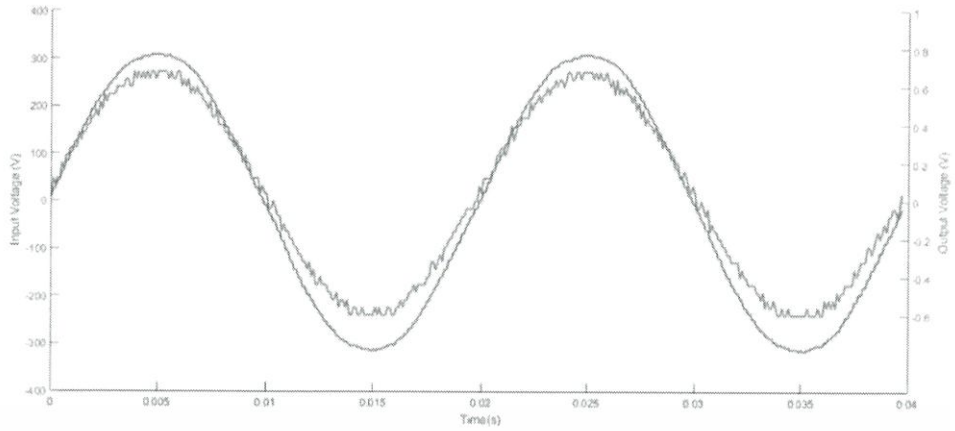


รูปที่ 4.4 นำค่าปรับเทียบอัตราส่วนของหม้อแปลงกระแสและแรงดันที่ได้จากการทดลองไปเป็นค่าปรับเทียบใน LabVIEW

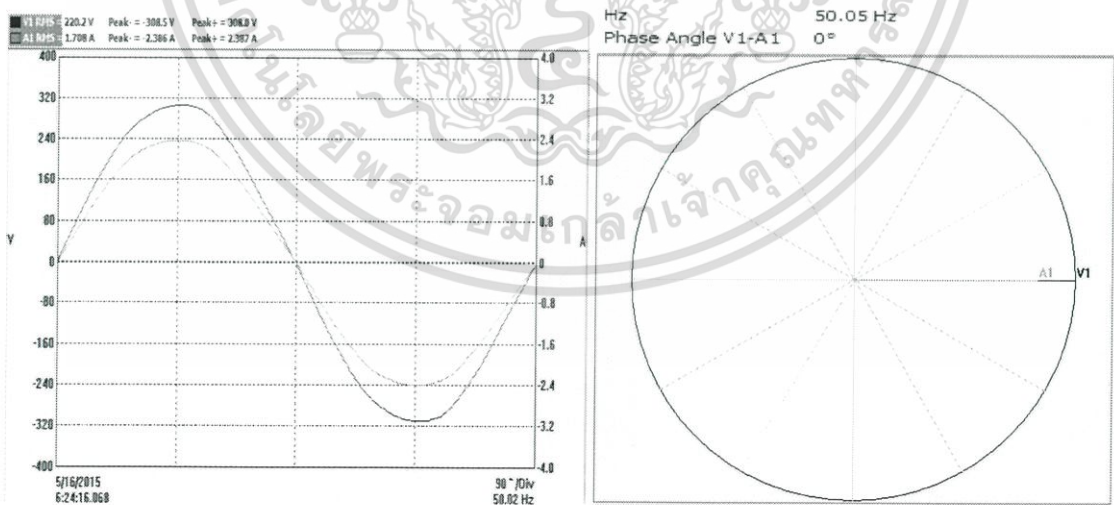
4.1.2 การหาปรับเทียบมุมเฟส

ชุดอุปกรณ์ที่จะมีผลต่อค่ามุมเฟสที่เป็นไปได้คือ หม้อแปลงแรงดันและหม้อแปลงกระแส เนื่องจากประกอบไปด้วยแกนเหล็กและขดลวดจำนวนมาก เมื่อทดสอบโดยการป้อนแรงดันไฟฟ้าหนึ่งเฟสต่อผ่านหม้อแปลงแรงดันและหม้อแปลงกระแส ซึ่งโหลดที่ใช้เป็นโหลดเผาไส้ (Linear Load) เมื่อเปรียบเทียบค่ามุมเฟสทางด้านอินพุตจากเครื่องมือวัดอ้างอิง (CA- 8335 Qualistar+) และเอาต์พุตจากชุดเครื่องมือวัด (DAQ และ LabVIEW) เมื่อใช้กราฟแรงดันด้านอินพุตเป็นสัญญาณอ้างอิงจะพบว่า มีเพียงแต่กราฟกระแสด้านเอาต์พุตเท่านั้นที่มีค่ามุมเฟสที่เปลี่ยนแปลงไปดังรูปที่ 4.6 และ 4.7 แต่กราฟแรงดันด้านเอาต์พุตไม่มีค่ามุมต่างเฟส จึงสรุปได้ว่าหม้อแปลงกระแสเท่านั้นที่มีผลต่อมุมเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

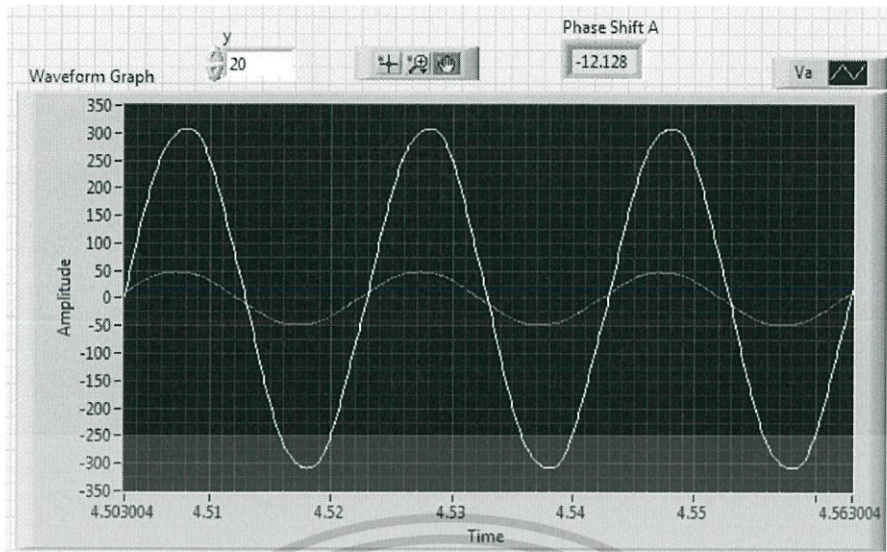


รูปที่ 4.5 กราฟแรงดันด้านอินพุตเป็นสัญญาณอ้างอิงเทียบกับกราฟแรงดันและกระแสด้านออก



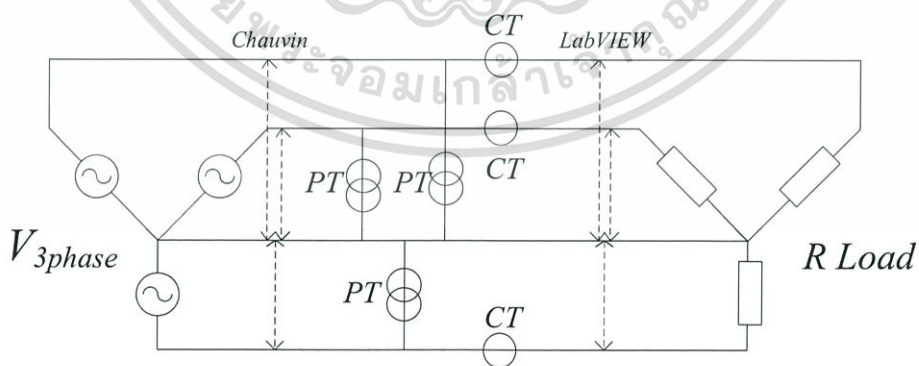
รูปที่ 4.6 มุมต่างเฟส V-I ที่แรงดัน 220 โวลต์ของ Linear Load ด้านอินพุตจากเครื่องมือวัดอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



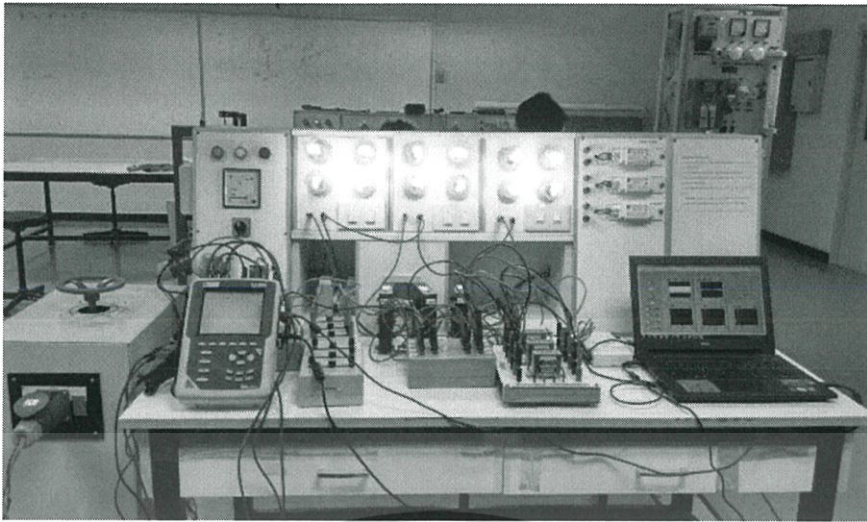
รูปที่ 4.7 มุมต่างเฟส V-I ที่แรงดัน 220 โวลต์ของ Linear Load ด้านเอาต์พุตจากชุดเครื่องมือวัด

ดังนั้น จึงทำการหาค่าเปรียบเทียบมุมเฟสที่เกิดจากหม้อแปลงกระแส เนื่องจากค่ามุมต่างเฟสที่บันทึกได้จากชุดเครื่องมือวัดในกรณี R Load, RL Load และ RC Load มีความคลาดเคลื่อนไปเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่บันทึกได้จากเครื่องมือวัดอ้างอิง (CA-8335 Qualistar+) โดยรูปวงจรถอดสอบในแต่ละกรณีคือรูปที่ 4.9, 4.15, 4.21 ค่าของ V-I ที่แรงดัน 220 โวลต์ในแต่ละกรณีแสดงได้ดังตารางที่ 4.4, 4.5, 4.6 และรูปแสดงมุมต่างเฟสทางด้านอินพุตจากเครื่องมือวัดอ้างอิงแสดงได้ดังรูปที่ 4.10, 4.16, 4.22 ตามลำดับโพลต์และเอาต์พุตจากชุดเครื่องมือวัดในกรณี R Load แสดงดังรูปที่ 4.11, 4.12, 4.13 ตามลำดับเฟส กรณี RL Load แสดงดังรูปที่ 4.17, 4.18, 4.19 ตามลำดับเฟส และกรณี RC Load แสดงดังรูปที่ 4.23, 4.24, 4.25 ตามลำดับเฟส



รูปที่ 4.8 วงจรถอดสอบหาค่าเปรียบเทียบมุมเฟสที่เกิดจากหม้อแปลงกระแส ในกรณี R load

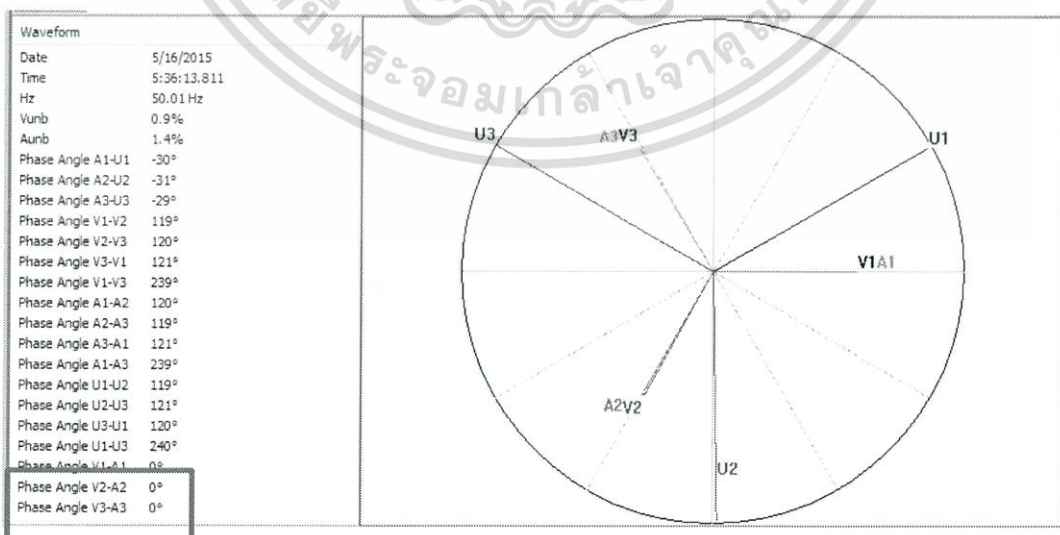
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 การทดสอบหาค่าปรับเทียบมุมเฟสที่เกิดจากหม้อแปลงกระแส ในกรณี R Load

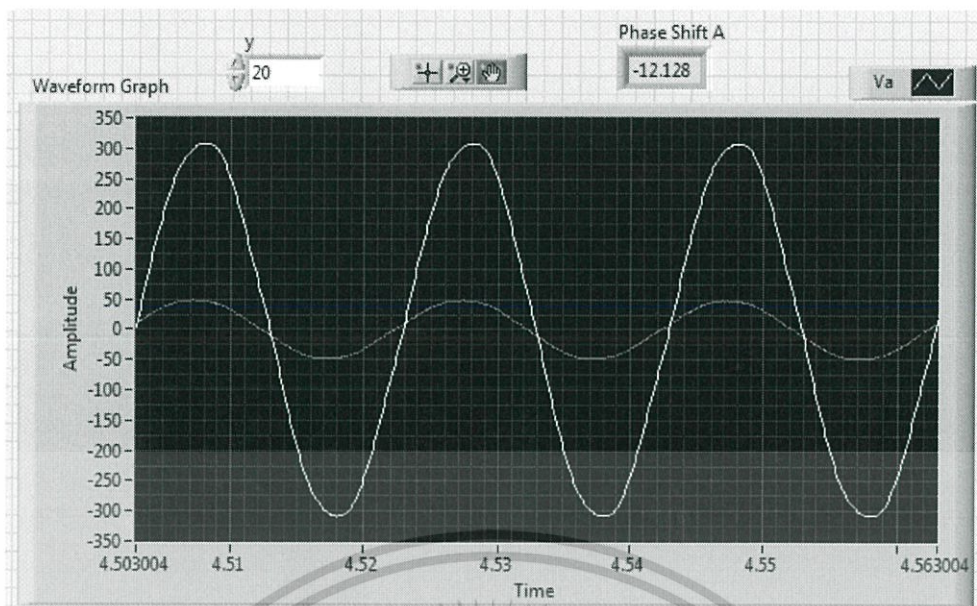
ตารางที่ 4.4 มุมต่างเฟสที่บันทึกจากเครื่องวัดอั้งอิงและโปรแกรม LabVIEW ของ R Load

Input Voltage (Volt)	มุมต่างเฟส (Degree)			
	CA-8335 Qualistar+	CT (A)	CT (B)	CT (C)
55	0	-13.86	-8.69	-14.72
110	0	-12.96	-8.29	-13.57
165	0	-12.44	-8.00	-13.18
220	0	-12.13	-7.77	-12.56
242	0	-12.00	-7.69	-13.26

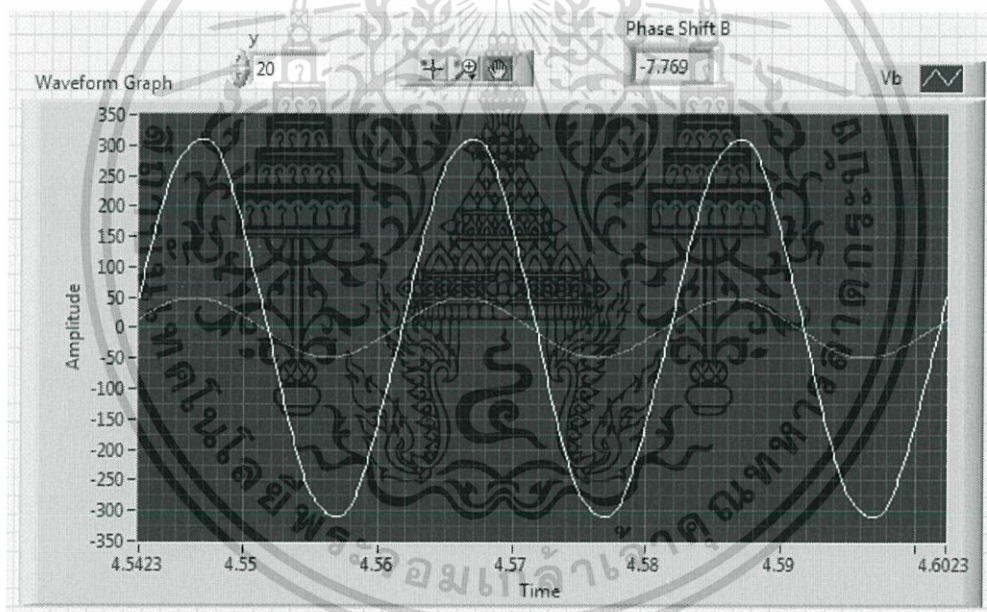


รูปที่ 4.10 มุมต่างเฟส V-I ที่แรงดัน 220 โวลต์ของ R Load จาก CA-8335 Qualistar+

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

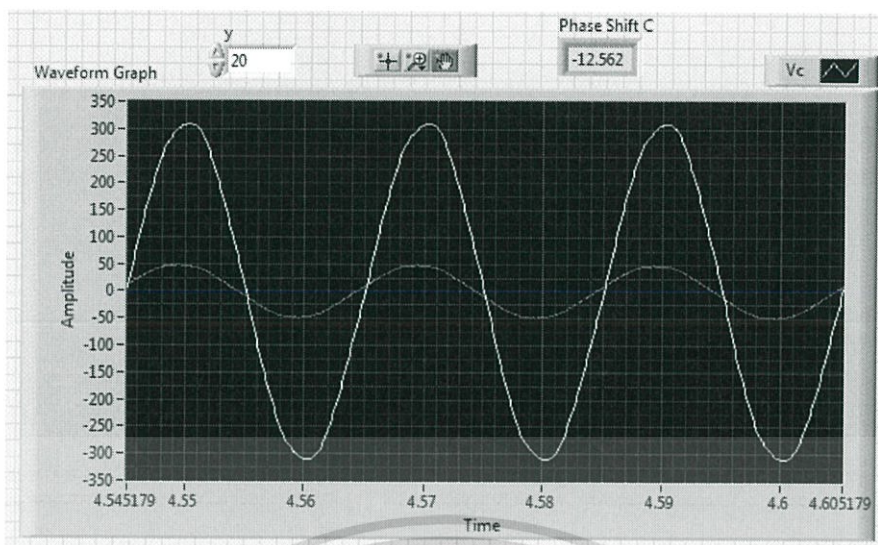


รูปที่ 4.11 มุมต่างเฟส V_a-I_a ที่แรงดัน 220 โวลต์ของ R Load จาก DAQ และ LabVIEW

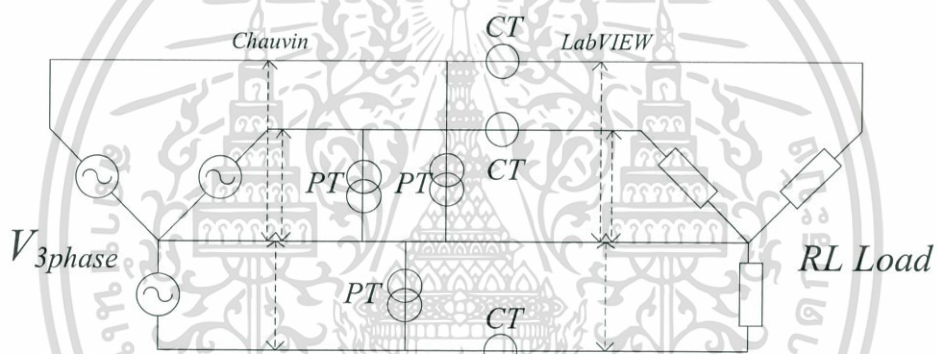


รูปที่ 4.12 มุมต่างเฟส V_b-I_b ที่แรงดัน 220 โวลต์ของ R Load จาก DAQ และ LabVIEW

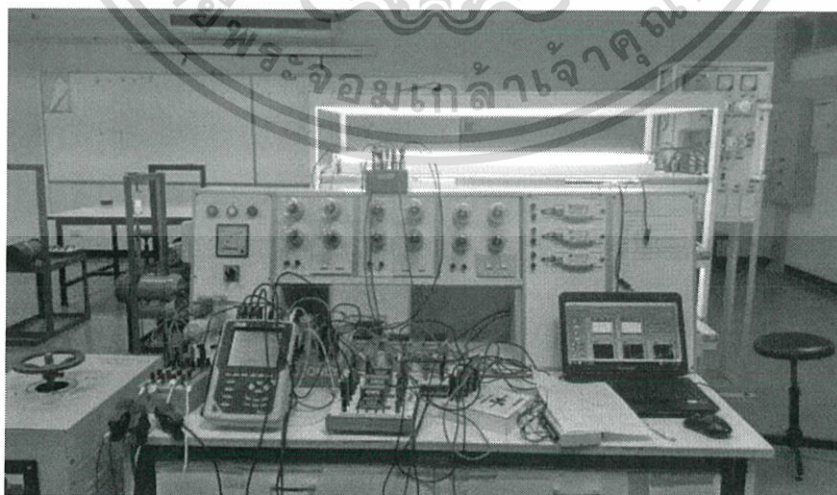
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 มุมต่างเฟส V_c-I_c ที่แรงดัน 220 โวลต์ของ R Load จาก DAQ และ LabVIEW



รูปที่ 4.14 วงจรการทดสอบหาค่าปรับเทียบมุมเฟสที่เกิดจากหม้อแปลงกระแส ในกรณี RL load



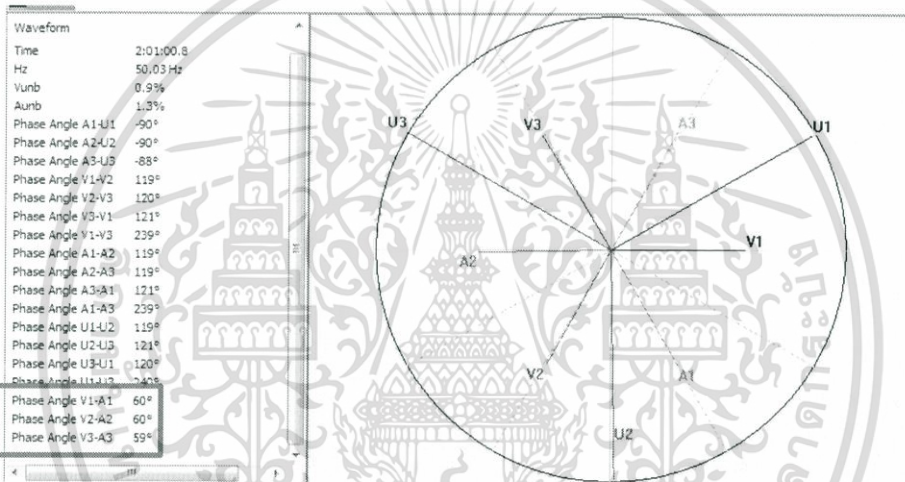
รูปที่ 4.15 การทดสอบหาค่าปรับเทียบมุมเฟสที่เกิดจากหม้อแปลงกระแส ในกรณี RL load

โหลดที่ใช้คือหลอด Fluorescent T8 และใช้บัลลาสต์แกนเหล็ก

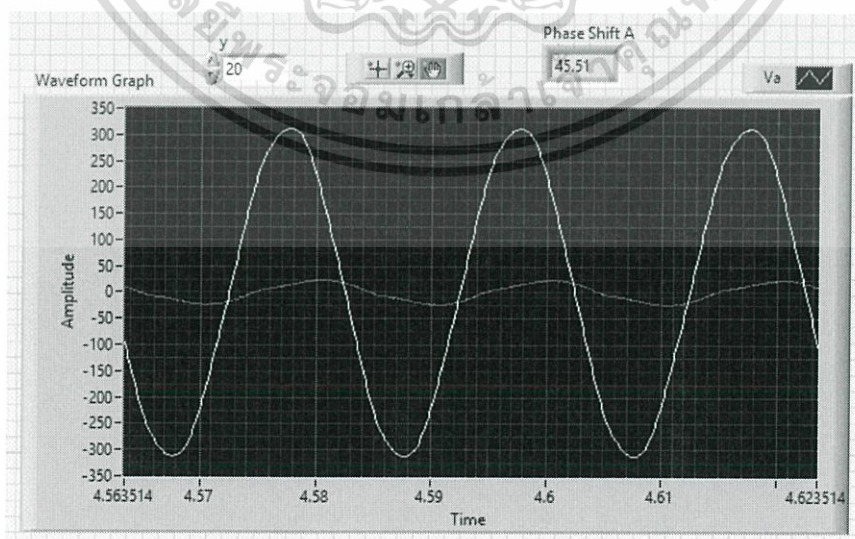
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 มุมต่างเฟสที่บันทึกจากเครื่องวัดอั้งอิงและโปรแกรม LabVIEW ของ RL Load

Input Voltage (Volt)	มุมต่างเฟส (Degree)					
	CT (A)		CT (B)		CT (C)	
	CA-8335 Qualistar+	DAQ และ LabVIEW	CA-8335 Qualistar+	DAQ และ LabVIEW	CA-8335 Qualistar+	DAQ และ LabVIEW
55	-	-	-	-	-	-
110	-	-	-	-	-	-
165	47.00	29.93	47.00	34.82	48.00	29.02
220	60.00	45.51	60.00	49.87	59.00	44.71
242	62.00	48.79	62.00	53.10	62.00	47.64

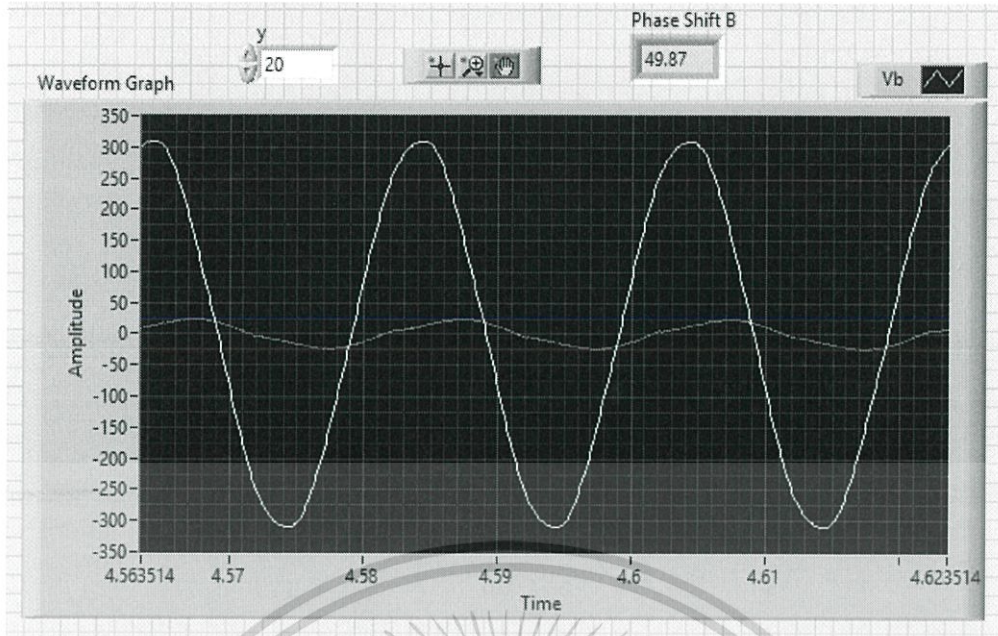


รูปที่ 4.16 มุมต่างเฟส V-I ที่แรงดัน 220 โวลต์ของ RL Load จาก CA-8335 Qualistar+

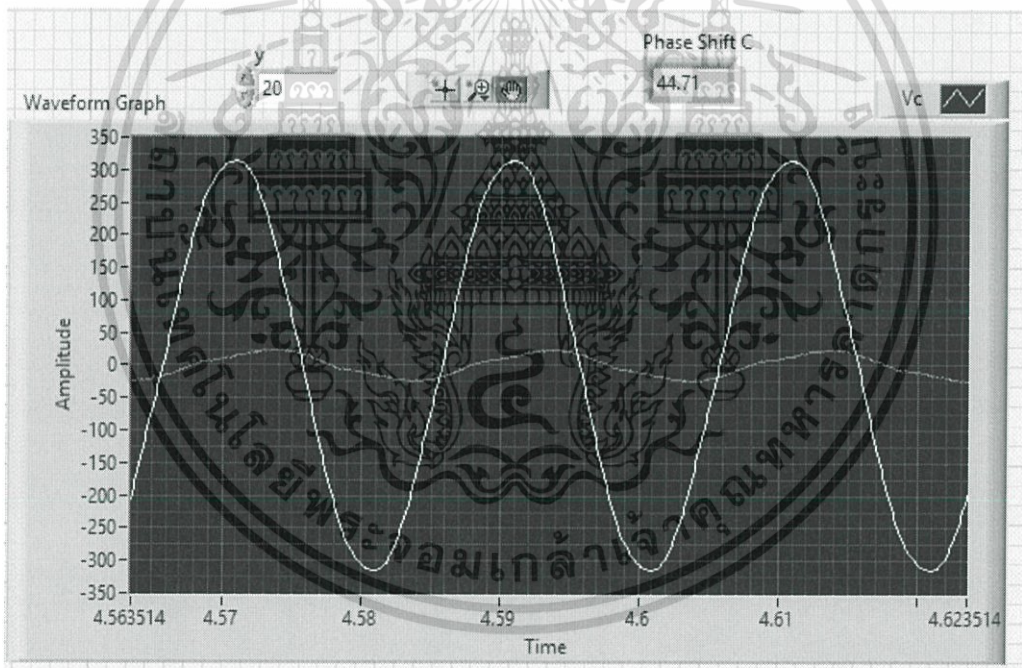


รูปที่ 4.17 มุมต่างเฟส V_a - I_a ที่แรงดัน 220 โวลต์ของ RL Load จาก DAQ และ LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

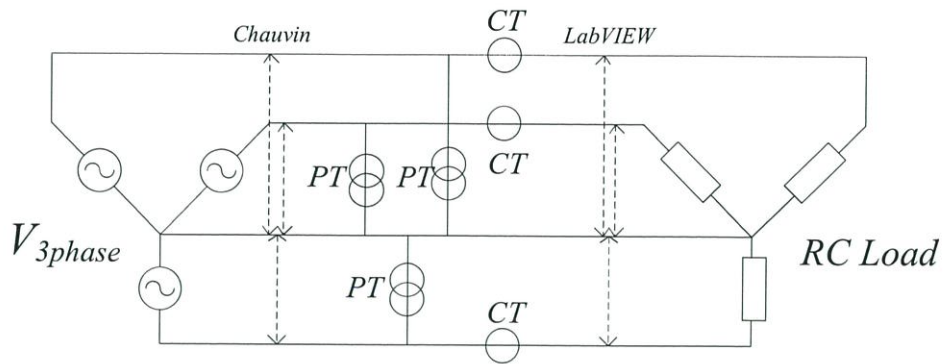


รูปที่ 4.18 มุมต่างเฟส V_b-I_b ที่แรงดัน 220 โวลต์ของ RL Load จาก DAQ และ LabVIEW

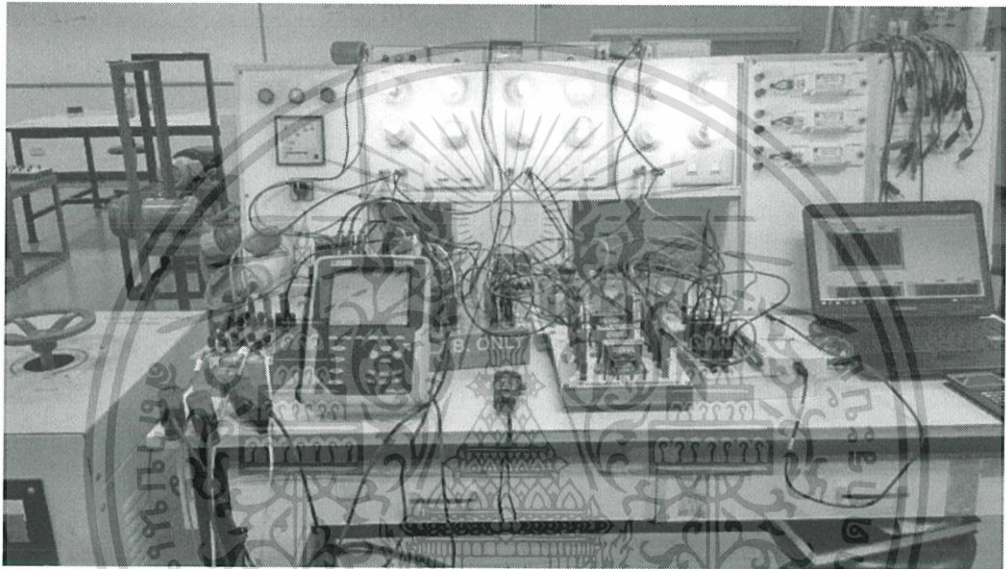


รูปที่ 4.19 มุมต่างเฟส V_c-I_c ที่แรงดัน 220 โวลต์ของ RL Load จาก DAQ และ LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 วงจรการทดสอบหาค่าปรับเทียบมุมเฟสที่เกิดจากหม้อแปลงกระแส ในกรณี RL load

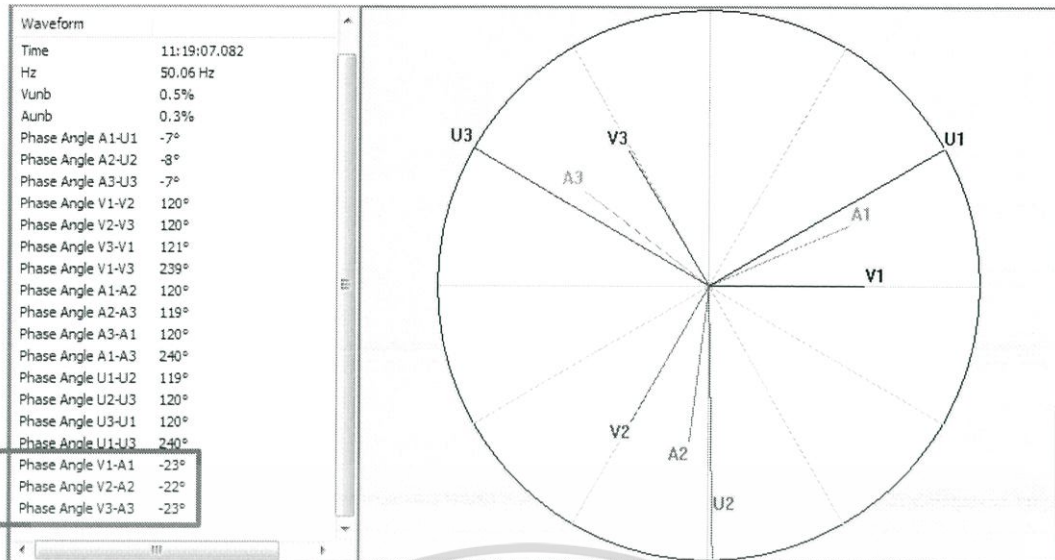


รูปที่ 4.21 การทดสอบหาค่าปรับเทียบมุมเฟสที่เกิดจากหม้อแปลงกระแส ในกรณี RC load โหลดที่ใช้คือหลอดเผาไส้และตัวเก็บประจุขนาด 100 μF

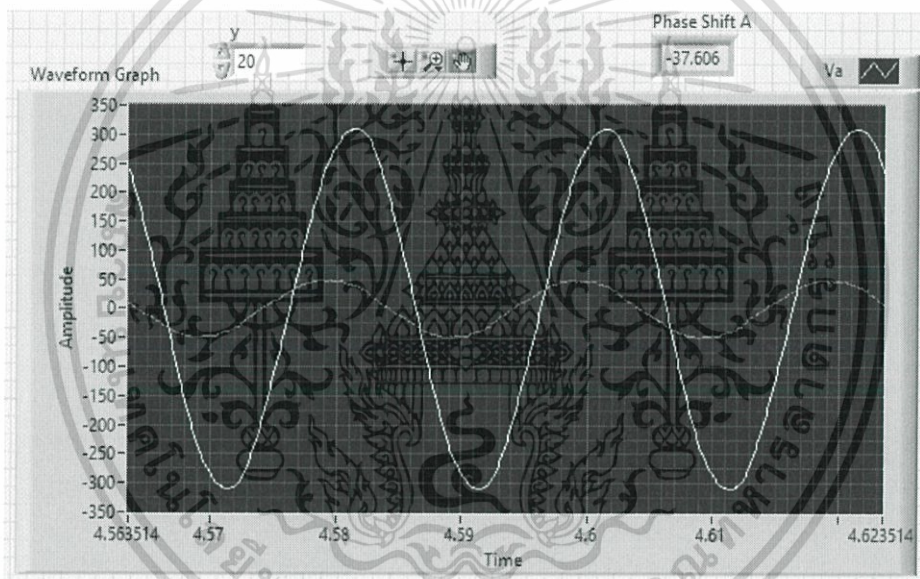
ตารางที่ 4.6 มุมต่างเฟสที่บันทึกจากเครื่องวัดอั้งอิงและโปรแกรม LabVIEW ของ RC Load

Input Voltage (Volt)	มุมต่างเฟส (Degree)					
	CT (A)		CT (B)		CT (C)	
	CA-8335 Qualistar+	DAQ และ LabVIEW	CA-8335 Qualistar+	DAQ และ LabVIEW	CA-8335 Qualistar+	DAQ และ LabVIEW
55	-12.00	-29.90	-12.00	8.52	-12.00	-53.50
110	-17.00	-33.36	-16.00	4.61	-17.00	-57.73
165	-21.00	-36.39	-20.00	2.36	-20.00	-60.93
220	-23.00	-37.62	-22.00	0.30	-23.00	-63.38
242	-25.00	-37.96	-23.00	0.64	-23.00	-66.97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

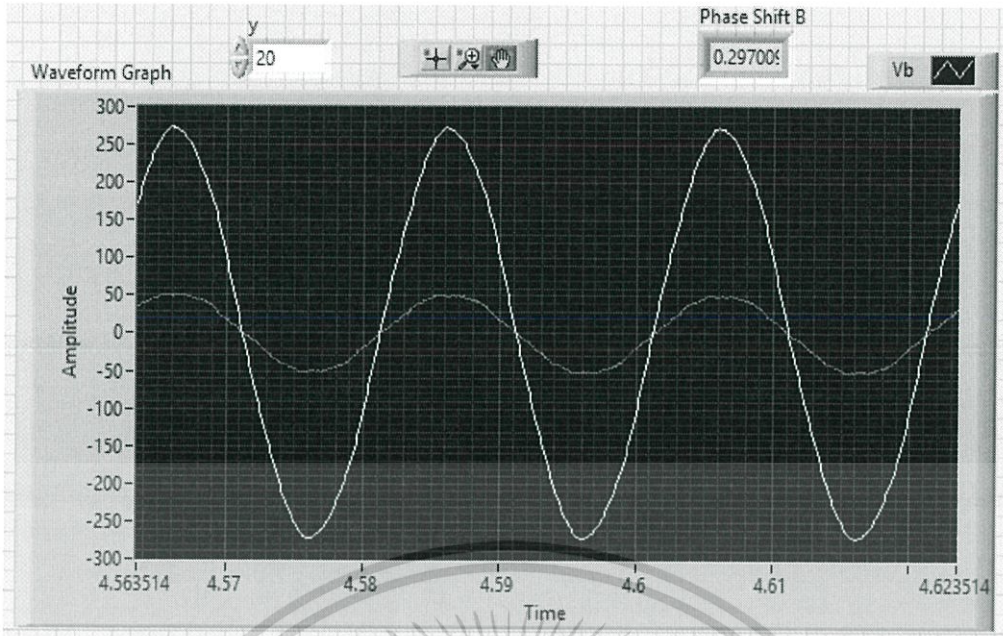


รูปที่ 4.22 มุมต่างเฟส V-I ที่แรงดัน 55 โวลต์ของ RC Load จาก CA-8335 Qualistar+

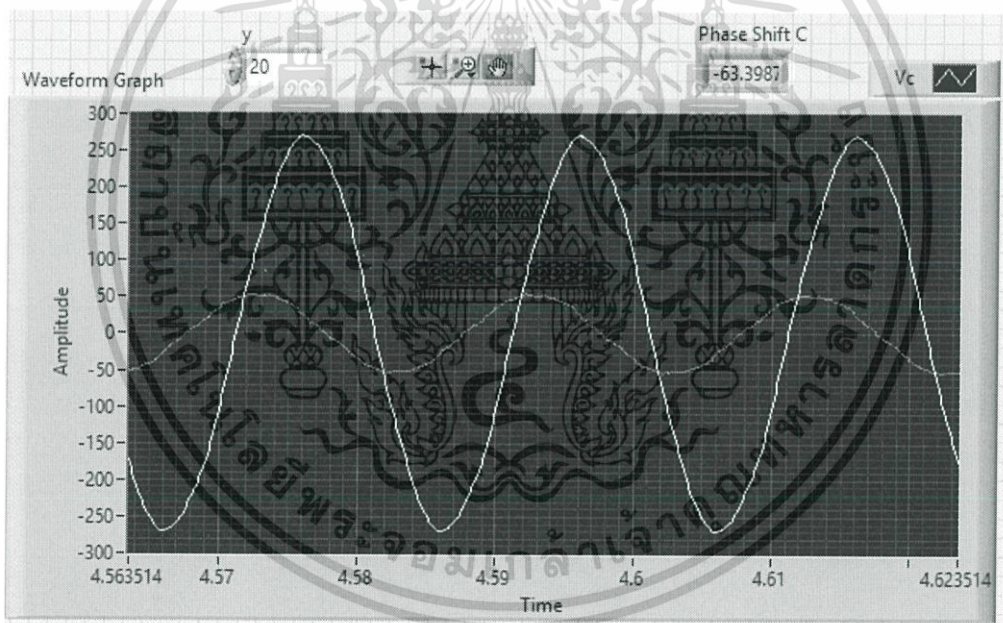


รูปที่ 4.23 มุมต่างเฟส V_a - I_a ที่แรงดัน 55 โวลต์ของ RC Load จาก DAQ และ LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



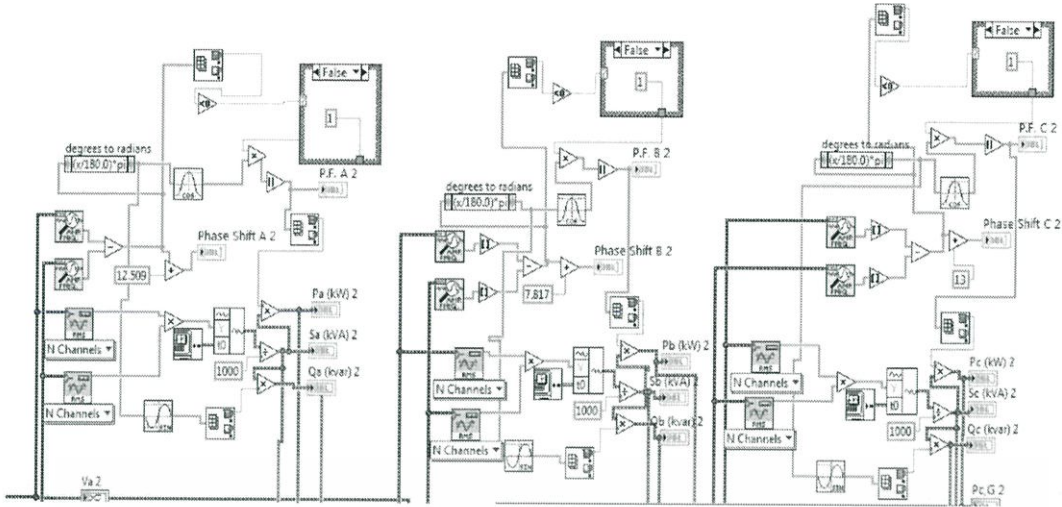
รูปที่ 4.24 มุมต่างเฟส V_b-I_b ที่แรงดัน 55 โวลต์ของ RC Load จาก DAQ และ LabVIEW



รูปที่ 4.25 มุมต่างเฟส V_c-I_c ที่แรงดัน 55 โวลต์ของ RC Load จาก DAQ และ LabVIEW

จากนั้นทำการหาเปรียบเทียบเพื่อให้มุมเฟสที่บันทึกได้จากชุดเครื่องมือวัดมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้นโดยเปรียบเทียบค่ากับเครื่องมือวัดอ้างอิง (CA-8335 Qualistar+) ซึ่งพบว่าเปรียบเทียบใหม่ที่ได้นำมาลบออกจากเดิมของหม้อแปลงกระแสแต่ละตัวคือคือ 12.509 , 7.817 , 13. องศา ตามลำดับเมื่อใส่ค่าเปรียบเทียบในโปรแกรม LabVIEW ดังรูปที่ 4.26 แล้วจะพบว่ามุมต่างเฟสที่บันทึกได้จากชุดเครื่องมือวัดมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่บันทึกได้จากเครื่องวัดอ้างอิงมากขึ้นดังแสดงดังตารางที่ 4.7, 4.8, 4.9 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 นำค่าเปรียบเทียบอัตราส่วนของหม้อแปลงกระแสและแรงดันที่ได้จากการทดลองไปเป็นค่าเปรียบเทียบในโปรแกรม LabVIEW

ตารางที่ 4.7 มุมต่างเฟสที่บันทึกจากเครื่องวัดอ้างอิงและ LabVIEW ของโหลด R หลังปรับเทียบ

Input Voltage (Volt)	มุมต่างเฟส (Degree)			
	CA-8335 Qualistar+	DAQ และ LabVIEW		
		CT (A)	CT (B)	CT (C)
55	0	-0.77	-0.78	-1.49
110	0	-0.67	-0.36	-0.61
165	0	0.14	-0.10	-0.09
220	0	0.42	0.06	0.28
242	0	0.51	0.12	0.42

ตารางที่ 4.8 มุมต่างเฟสที่บันทึกจากเครื่องวัดอ้างอิงและ LabVIEW ของโหลด RL หลังปรับเทียบ

Input Voltage (Volt)	มุมต่างเฟส (Degree)					
	CT (A)		CT (B)		CT (C)	
	CA-8335 Qualistar+	DAQ และ LabVIEW	CA-8335 Qualistar+	DAQ และ LabVIEW	CA-8335 Qualistar+	DAQ และ LabVIEW
55	-	-	-	-	-	-
110	-	-	-	-	-	-
165	47.00	42.44	47.00	42.64	48.00	42.02
220	60.00	58.02	60.00	57.69	59.00	57.71
242	62.00	61.30	62.00	60.92	62.00	60.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

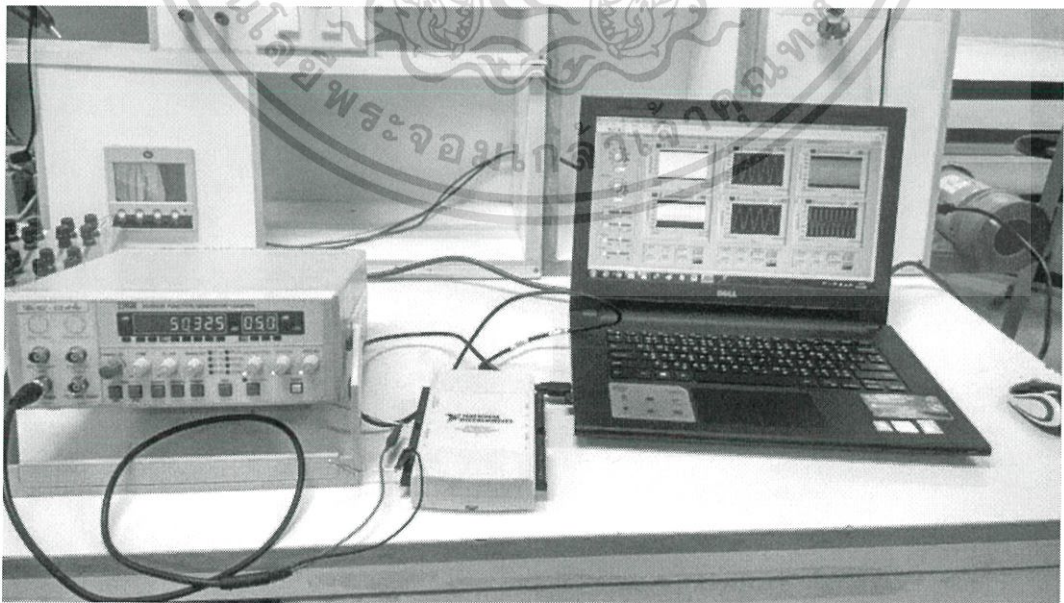
ตารางที่ 4.9 มุมต่างเฟสที่บันทึกจากเครื่องวัดอ้างอิงและ LabVIEW ของโหลด RC หลังปรับเทียบ

Input Voltage (Volt)	มุมต่างเฟส (Degree)					
	CT (A)		CT (B)		CT (C)	
	CA-8335 Qualistar+	DAQ และ LabVIEW	CA-8335 Qualistar+	DAQ และ LabVIEW	CA-8335 Qualistar+	DAQ และ LabVIEW
55	-12.00	-41.93	-12.00	-16.56	-12.00	16.80
110	-17.00	-20.35	-16.00	13.13	-17.00	-45.35
165	-21.00	-22.99	-20.00	10.28	-20.00	-48.10
220	-23.00	-25.15	-22.00	8.21	-23.00	-50.45
242	-25.00	-27.42	-23.00	6.54	-23.00	-53.76

จากผลการทดลองในการหาปรับเทียบมุมเฟส พบว่ามุมเฟสสำหรับโหลดชนิดที่แตกต่างกัน จะมีมุมต่างเฟสต่างกัน และในการทดลองต่อไปจะใช้ค่าปรับเทียบมุมเฟสของโหลดความต้านทาน

4.1.3 การทดสอบเมื่อเปลี่ยนแปลงความถี่

เพื่อทำการตรวจสอบว่าชุดเครื่องมือวัดที่ทำการออกแบบขึ้นมานั้นสามารถตรวจจับความเปลี่ยนแปลงความถี่ได้จริงและมีความถูกต้อง สิ่งที่ทำการศึกษาทดลองคือใช้ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ในการสร้างสัญญาณไซน์ที่มีความถี่ต่างๆ ในการเปลี่ยนแปลงความถี่ไฟฟ้าโดยเริ่มจากความถี่ 50 Hz, 150 Hz, 1 kHz, 1.5 kHz จนถึง 2.5 kHz และทำการบันทึกค่าความถี่ที่ชุดเครื่องมือวัดแสดงค่า ซึ่งจะพบว่าค่าความถี่ที่บันทึกได้จากชุดอุปกรณ์จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าความถี่จากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์แสดงดังตารางที่ 4.10 และรูปวงจรถ่ายทอดเมื่อเปลี่ยนแปลงความถี่แสดงดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 รูปวงจรถ่ายทอดเมื่อเปลี่ยนแปลงความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ความถี่จากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์เปรียบเทียบกับความถี่ที่บันทึกได้

Function Generator Frequency (Hz)	LabVIEW Frequency (Hz)
50	50.01
150	150.08
1000	1001.26
1500	1503.52
2500	2499.42

4.1.4 การทดสอบขณะทำการวัด Linear Load และ Non-Linear Load

ทดสอบโดยชุดเครื่องมือวัดเทียบกับเครื่องวัดอ้างอิง (CA-8335 Qualistar+) ที่แรงดัน 220 โวลต์ 50 เฮิรท์โดยมีผลการทดสอบดังตารางที่ 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.11 ค่าพารามิเตอร์ Linear Load ของชุดเครื่องมือวัดเทียบกับเครื่องวัดอ้างอิง

Parameter	Linear Load					
	Phase A		Phase B		Phase C	
	CA-8335 Qualistar+	DAQ และ LabVIEW	CA-8335 Qualistar+	DAQ และ LabVIEW	CA-8335 Qualistar+	DAQ และ LabVIEW
V (V)	220.40	220.20	220.70	221.30	219.40	220.13
I (A)	1.68	1.67	1.68	1.68	1.67	1.73
S (VA)	368.30	367.85	369.90	372.89	366.30	381.60
P (W)	368.30	367.38	369.90	373.07	366.30	380.39
Q (VAR)	0.50	13.25	3.30	11.75	3.10	27.60
PF	1.00	0.9994	1.00	0.9995	1.00	0.997
THDv (%)	1.90	1.97	1.90	2.03	1.90	1.87
THDi (%)	2.00	2.14	2.10	2.11	1.90	1.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 ค่าพารามิเตอร์ Non-Linear Load ของชุดเครื่องมือวัดเทียบกับเครื่องวัดอ้างอิง

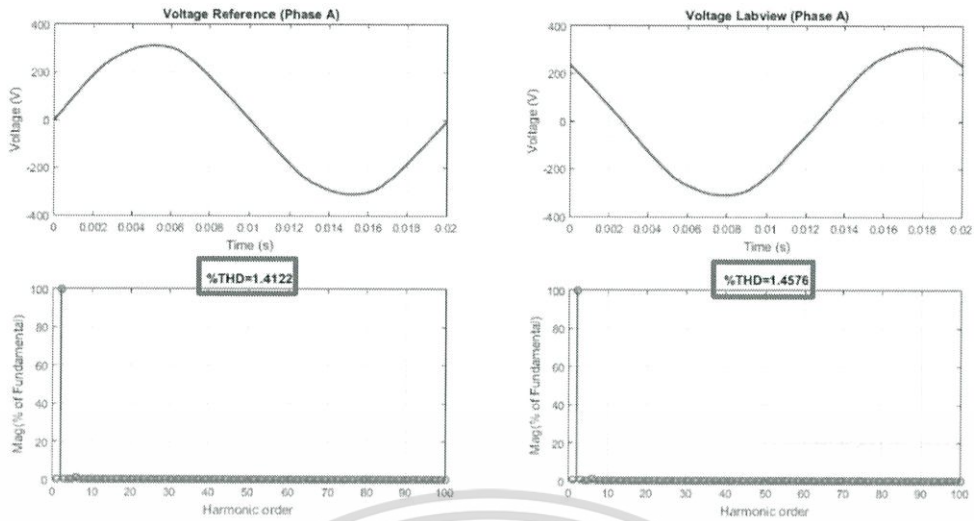
Parameter	Non-Linear Load					
	Phase A		Phase B		Phase C	
	CA-8335 Qualistar+	DAQ และ LabVIEW	CA-8335 Qualistar+	DAQ และ LabVIEW	CA-8335 Qualistar+	DAQ และ LabVIEW
V (V)	220.40	220.20	220.40	221.03	219.60	220.25
I (A)	0.79	0.78	0.79	0.79	0.78	0.80
S (VA)	174.70	170.96	173.90	174.82	171.90	176.77
P (W)	88.50	88.10	88.10	88.76	87.70	84.62
Q (VAR)	150.50	146.04	149.70	150.59	148.40	155.41
PF	0.51	0.52	0.51	0.51	0.51	0.48
THDv (%)	1.60	1.73	1.80	1.82	1.90	1.92
THDi (%)	10.10	11.34	10.20	10.78	10.20	11.20

4.1.5 การตรวจสอบหาค่าความผิดเพี้ยนแรงดันและกระแสฮาร์มอนิก

เพื่อทดสอบว่าชุดเครื่องมือวัดที่ออกแบบขึ้นมาสามารถตรวจวัดฮาร์มอนิกได้อย่างถูกต้อง จึงวิเคราะห์ฮาร์มอนิกของแรงดันและกระแสโดยใช้ RL Load จากการวิเคราะห์ผลของฮาร์มอนิกจากชุดเครื่องมือวัด (DAQ and LabVIEW) เปรียบเทียบกับเครื่องวัดอ้างอิง (CA-8335 Qualistar+) ด้วยโปรแกรม MATLAB จะพบว่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกในแต่ละเฟสมีค่าใกล้เคียงกัน ผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.28, 4.29, 4.30 ตามลำดับเฟส จากผลการตรวจสอบแสดงให้เห็นว่าค่าความผิดเพี้ยนแรงดันและกระแสฮาร์มอนิกของชุดเครื่องมือวัดมีความถูกต้องแม่นยำ

ตารางที่ 4.13 สรุปค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกในแต่ละเฟสของชุดเครื่องมือวัดเทียบกับเครื่องวัดอ้างอิง

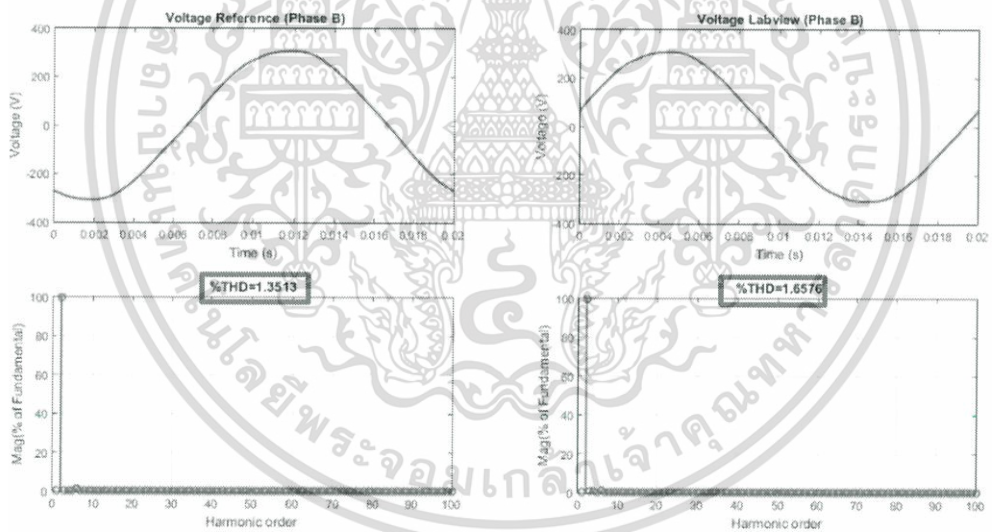
Phase	Total Harmonic Distortion (%)	
	CA-8335 Qualistar+	DAQ and LabVIEW
A	1.4122	1.4576
B	1.3513	1.6576
C	1.3720	1.5049



CA-8335 Qualistar+

LabVIEW

รูปที่ 4.28 เปรียบเทียบความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกของ Phase A

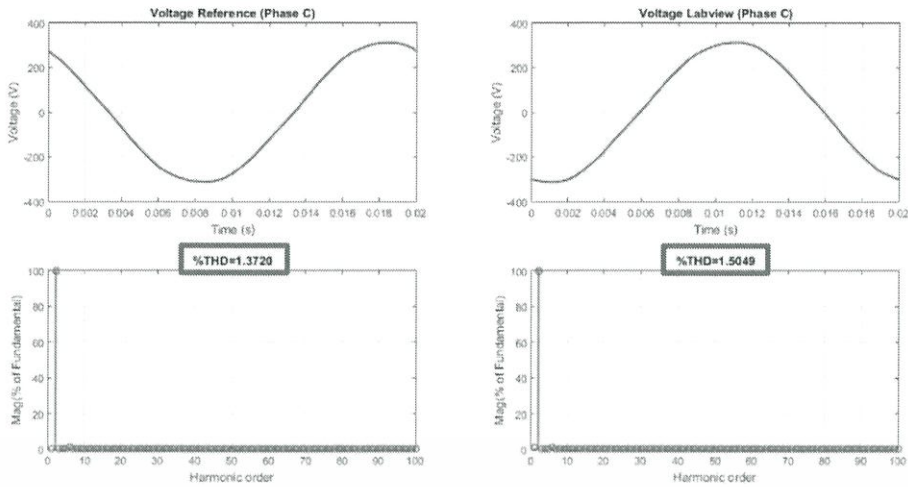


CA-8335 Qualistar+

LabVIEW

รูปที่ 4.29 เปรียบเทียบความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกของ Phase B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



CA-8335 Qualistar+

LabVIEW

รูปที่ 4.30 เปรียบเทียบความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกของ Phase C

4.1.6 การทดสอบส่วนการบันทึกผล

ส่วนการบันทึกผลนี้จะมีการบันทึกข้อมูลทางด้านพารามิเตอร์ต่างๆได้อย่างมีประสิทธิภาพคือเมื่อนำไฟล์ข้อมูลทางพารามิเตอร์ที่บันทึกได้มาพล็อตเทียบกับระหว่างโปรแกรม MATLAB และ LabVIEW ดังเช่นในการตรวจสอบหาค่าความผิดเพี้ยนแรงดันและกระแสฮาร์มอนิกข้างต้น พบว่ามีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเล็กน้อยแต่ยังอยู่เกณฑ์ที่ยอมรับได้

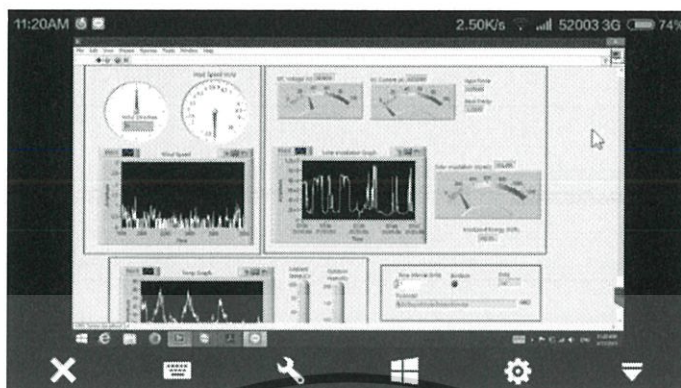
Time	Solar Voltage	Solar Current	Production	Output Power	Solar Irradiation	Irradiated Energy	Ambient Temp.	Wind Direction	Wind Speed
5/24/2015 13:22:20.857	31.958086	2.028764	0.377534	68.071366	989.474725	8.597923	43.734529	2.765598	2
5/24/2015 13:22:40.855	31.910727	1.887347	0.532983	47.891291	999.321329	14.535682	40.082253	4.153106	0.99
5/24/2015 13:23:01.347	31.9423	1.982721	0.887456	52.819988	1012.909643	26.545515	41.117279	1.168266	1.4
5/24/2015 13:23:21.512	31.973872	1.913657	1.00774	44.934161	1021.574654	26.446359	42.453895	2.514039	2.8
5/24/2015 13:23:41.654	29.905897	1.979432	0.969877	34.707411	344.522436	10.844273	41.124424	4.78142	1.1
5/24/2015 13:24:01.993	29.41653	1.992588	1.915388	36.95493	254.524558	9.590581	40.670589	0.870183	4.2
5/24/2015 13:24:21.907	29.763823	1.979432	2.012399	51.370167	286.033661	12.202338	39.465179	2.858548	2.1
5/24/2015 13:24:42.077	32.384309	1.976144	2.443632	54.534542	963.676623	46.101179	37.619061	7.302774	1.2
5/24/2015 13:25:00.876	32.415882	2.018898	2.693309	53.45682	1026.497956	54.857763	38.697369	4.780817	2.3
5/24/2015 13:25:20.899	32.415882	1.98601	3.128332	56.319436	1048.357418	61.86245	39.538874	1.47895	2.5
5/24/2015 13:25:40.895	32.368523	1.969566	3.684862	60.305812	1044.615709	67.388241	41.616855	1.178896	1.3
5/24/2015 13:26:00.862	32.163304	2.032053	3.321764	49.430844	968.206061	68.035159	41.056228	1.067719	4.8
5/24/2015 13:26:20.861	29.57439	1.930101	3.314438	45.902127	250.782852	18.977963	38.489607	4.773002	4.6
5/24/2015 13:26:40.880	29.400743	1.98601	4.316194	55.501452	226.363299	18.3815	39.314064	1.286065	0.87
5/24/2015 13:27:00.857	29.558604	1.857748	3.610939	43.335486	225.969435	19.522616	37.803544	3.138029	1.2
5/24/2015 13:27:20.855	30.710987	1.943256	3.221554	36.245357	359.292329	33.039418	38.087106	0.808443	2.9
5/24/2015 13:27:40.858	29.637534	1.979432	4.988521	52.823291	216.910569	21.152039	38.891662	0.840166	3.4
5/24/2015 13:28:00.854	29.700679	1.972855	7.169416	71.706588	213.365795	22.052794	38.565555	0.357192	7.3
5/24/2015 13:28:20.857	30.0164	1.98601	5.061883	53.645283	231.68046	25.163482	36.861114	2.573003	2.5
5/24/2015 13:28:40.866	30.553126	1.976144	6.187005	55.685844	285.442885	32.589052	37.179791	2.385985	4.8
5/24/2015 13:29:00.861	32.889463	1.953122	7.654521	65.617831	885.691526	106.04942	36.917467	2.68069	2.6

รูปที่ 4.31 ตัวอย่างโปรแกรมที่บันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.7 ส่วนการควบคุมชุดเครื่องมือวัดแบบออนไลน์

ในส่วนของการควบคุมชุดเครื่องมือวัดแบบออนไลน์สามารถทำการควบคุมและแสดงผลได้อย่างมีประสิทธิภาพในระยะไกลได้ โดยการเชื่อมต่อผ่านอินเทอร์เน็ต แสดงได้ดังรูปที่ 4.32



รูปที่ 4.32 การควบคุมชุดเครื่องมือวัดแบบออนไลน์

4.1.8 ผลการเปรียบเทียบชุดเครื่องมือวัดกับเครื่องวัดทางไฟฟ้าชนิดอื่น

จากผลการทดลองทั้งหมดจะพบว่าชุดอุปกรณ์การตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า 3 เฟสสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเทียบเคียงได้กับเครื่องมือวัดชนิดอื่นที่มีขายตามท้องตลาด โดยสามารถแสดงตารางการเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียระหว่างชุดอุปกรณ์ตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า 3 เฟสโดยใช้โปรแกรม LabVIEW กับอุปกรณ์การวัด 3 ชนิด คือ DAQ และ LabVIEW, CA-8335 Qualistar+, RIGOL Oscilloscopes DS1000B

ตารางที่ 4.14 ข้อดีข้อเสียระหว่าง DAQ และ LabVIEW กับเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าชนิดอื่น

หัวข้อ	DAQ และ LabVIEW	CA-8335 Qualistar+	RIGOL Oscilloscopes DS1000B Series
1.ราคาของชุดอุปกรณ์	65,000 Baht	150,000 Baht	16,000 Baht
2.อัตราการสุ่ม (Sampling Rate)	400,000 S/s	12800 S/s	2×10^9 S/s
3.ควบคุมระยะไกล	ทำได้	ไม่ได้	ไม่ได้
4.การบันทึกข้อมูลอย่างต่อเนื่อง	ทำได้ (ขึ้นกับความจุ)	ทำไม่ได้	ทำไม่ได้
5.การบันทึกข้อมูลกรณีเกิดความผิดปกติทางไฟฟ้า	ทำได้	ทำไม่ได้	ทำไม่ได้
6.ความยืดหยุ่นในการใช้งาน	ไม่จำกัด	จำกัด	จำกัด
7.ค่าความแม่นยำในการวัด	แม่นยำ	แม่นยำสูง	แม่นยำสูง

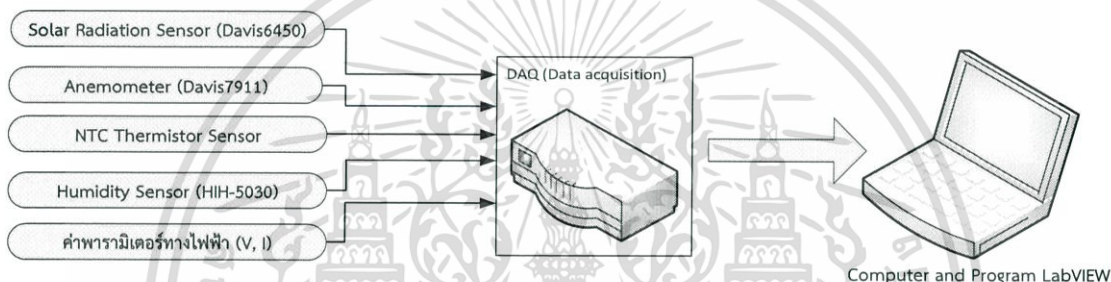
หมายเหตุ สำหรับ DAQ และ LabVIEW คิดราคาเฉพาะอุปกรณ์ DAQ และลิขสิทธิ์โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.15 พบว่า ชุดเครื่องมือวัดที่ได้ทำการออกแบบผ่าน DAQ และ LabVIEW นั้นมีจุดเด่นที่มีราคาถูก สามารถคุมควระยะไกล บันทึกข้อมูลอย่างต่อเนื่อง และ มีความยืดหยุ่นในการใช้งาน คือสามารถปรับปรุงและพัฒนาฟังก์ชันในการทำงานเพื่อให้ความเหมาะสมกับงานที่ทำการวัดได้ตลอดเวลา

4.2 ผลการทดลองชุดเครื่องมือวัดระบบพลังงานทดแทน

เมื่อได้นำชุดเครื่องมือวัดที่ได้ทำการออกแบบมาทดลองใช้งานจริงกับพลังงานทดแทนในที่นี้คือระบบพลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลมโดยในการทดลองจะทำการวัดค่าของพลังงานแสงอาทิตย์ ความเร็วลม ทิศทางลม อุณหภูมิ ความชื้นและค่ากำลังไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ โดยใช้ตัวตรวจจับ (sensor) ส่งสัญญาณมายัง DAQ และใช้โปรแกรม LabVIEW ในการประมวลผลแสดงผลและบันทึกผลการวัดแบบเรียลไทม์ แสดงไดอะแกรมการทดลองดังรูปที่ 4.33



รูปที่ 4.33 ไดอะแกรมการทดลองชุดเครื่องมือวัดระบบพลังงานทดแทน

4.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด

อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ในระบบพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม จะแบ่งประเภทตามลักษณะการวัดซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

4.2.1.1 อุปกรณ์ตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ทางสภาพอากาศ

การตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ทางสภาพอากาศจะใช้เครื่องตรวจจับ คือ

- Anemometer (Davis 7911) ใช้ในการตรวจจับความเร็วและทิศทางลม
- Humidity Sensor (HIH-5030) ใช้ในการตรวจจับความชื้น
- NTC Thermistor ใช้ในการตรวจจับอุณหภูมิ
- Solar Irradiation Sensor (Davis 6450) ใช้ในการตรวจจับความเข้มแสง

4.2.1.2 อุปกรณ์ตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า

การตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าจะใช้เครื่องตรวจจับ คือ

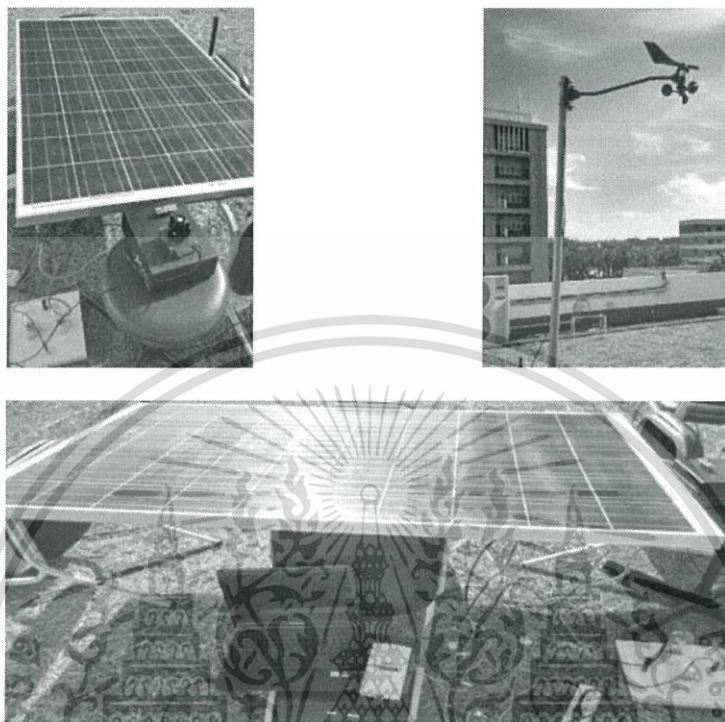
- Current Transducer ในการตรวจจับค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลด
- Voltage Divider ใช้ในการลดทอนแรงดันไฟฟ้าให้สามารถใช้ร่วมกับ

ข้อจำกัดทางแรงดันของอุปกรณ์ DAQ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

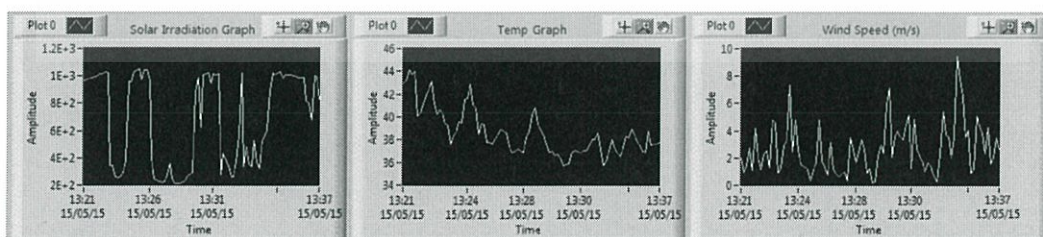
4.2.2 การทดลองและผลการทดลองของชุดเครื่องมือวัดเมื่อนำไปใช้กับระบบจริง

ในการทดลองได้ทำการติดตั้ง Anemometer (Davis 7911) และ แผงโซลาร์เซลล์แผงละ 245 วัตต์ จำนวน 1 แผง โดยจะใช้หลอดไฟขนาด 100 W จำนวน 50 หลอดเพื่อจำลองการเป็นโหลดให้กับระบบ แสดงได้ดังรูปที่ 4.34



รูปที่ 4.34 การทดลองใช้งานและวัดผลในสถานที่จริง

เมื่อทำการรันโปรแกรม LabVIEW ที่ได้ออกแบบไว้สำหรับชุดเครื่องมือวัดระบบพลังงานทดแทนจะมีการประมวลสัญญาณที่ได้รับเข้ามาจากอุปกรณ์ตรวจจับ เพื่อทำการวัด วิเคราะห์และบันทึกผลตามโปรแกรมที่ได้ทำการออกแบบไว้ แล้วนำข้อมูลที่บันทึกที่ได้จากชุดเครื่องมือวัดมาทำการวิเคราะห์ทางสถิติ ซึ่งข้อมูลที่ทำกรบันทึกได้แบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนอินพุต และ เอาต์พุต ดังนี้



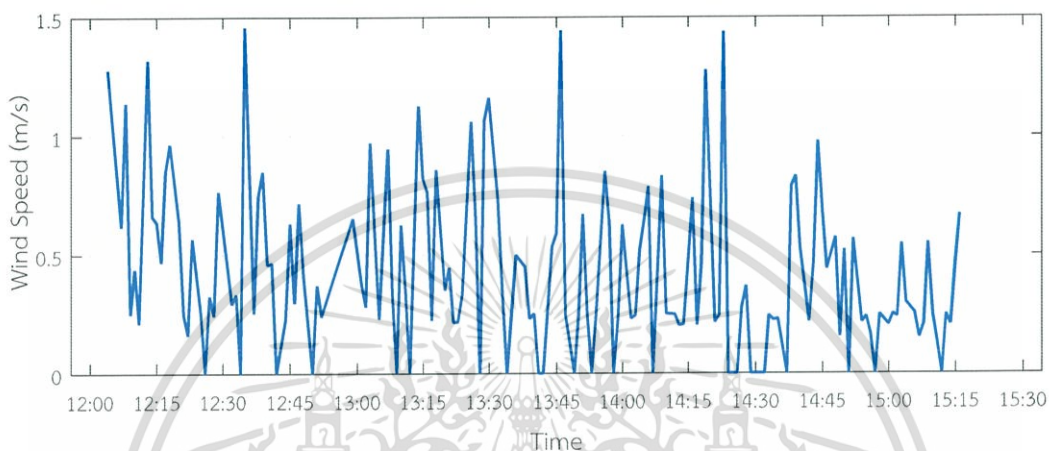
รูปที่ 4.35 การวัดผลในสถานที่จริงด้วยโปรแกรม LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.1 ส่วนอินพุต

ส่วนอินพุตเป็นการวัดค่าความเร็วลม อุณหภูมิ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มแสงอาทิตย์ กำลังไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าและกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งข้อมูลที่ทำการบินที่วันที่ 17 พ.ค. 2558 ช่วงเวลา 12.04-15.16 น. ซึ่งข้อมูลสามารถดูได้ที่ภาคผนวก ก.

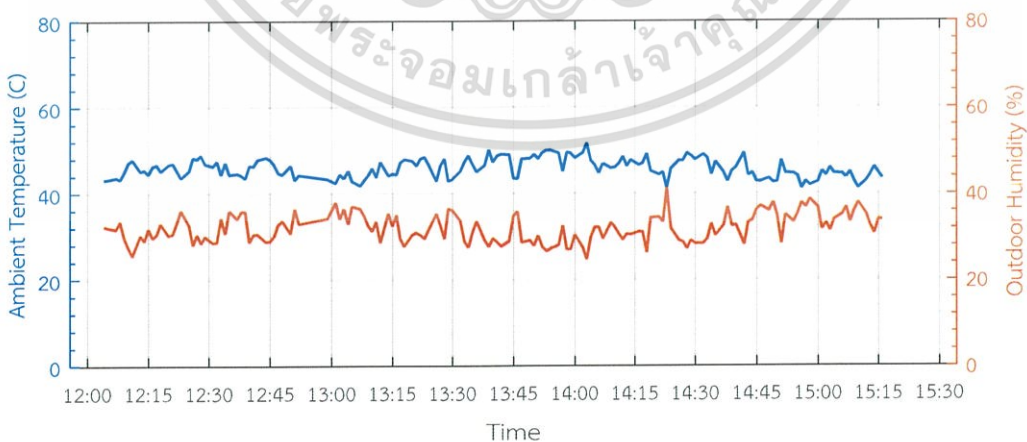
4.2.2.1.1 ความเร็วลม



รูปที่ 4.36 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วลมกับเวลา

จากการทดลอง และบันทึกผลค่าความเร็วลมเฉลี่ย ทุกๆ 1 นาที พบว่า ความเร็วลมสูงสุดที่วัดได้ เท่ากับ 1.458 m/s ที่เวลา 12.35 น. ในส่วนของความเร็วลมต่ำที่สุด เท่ากับ 0 m/s ซึ่งค่าเฉลี่ยของของความเร็วลม ณ เวลาที่ทำการบินทดลอง เท่ากับ 0.429 m/s

4.2.2.1.2 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์



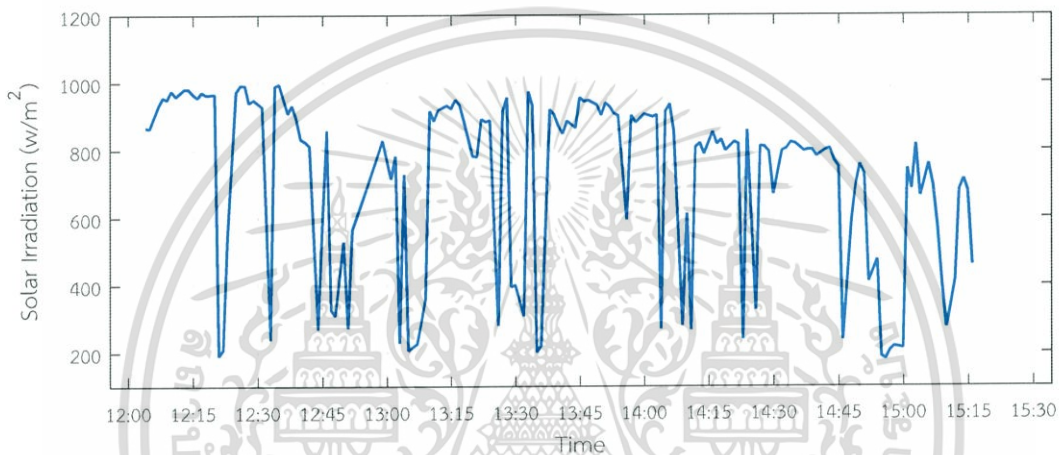
รูปที่ 4.37 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ กับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

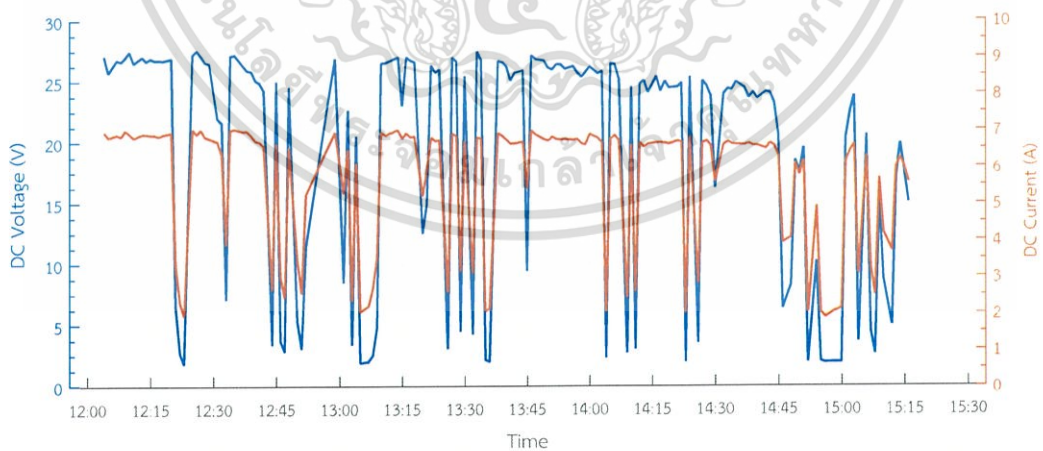
จากการวัดและบันทึกผลเฉลี่ย ทุกๆ 1 นาที ค่าอุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้ เท่ากับ $51.73\text{ }^{\circ}\text{C}$ ที่เวลา 14:03 น. อุณหภูมิต่ำสุด เท่ากับ $41.148\text{ }^{\circ}\text{C}$ ที่เวลา 14:56 น. อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาการทดลอง เท่ากับ $45.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ และ ค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดที่วัดได้ เท่ากับ 41.26% ที่เวลา 14:23 น. ความชื้นต่ำสุด เท่ากับ 24.70% ที่เวลา 14:03 น. และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอดช่วงเวลาการทดลอง เท่ากับ 41.26%

จากข้อมูลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เมื่อมองถึงความสัมพันธ์กัน จะเห็นได้ว่าค่าอุณหภูมิจะแปรผกผันกับค่าความชื้น เมื่ออุณหภูมิสูงจะมีค่าความชื้นต่ำ ที่ความชื้นสูงจะมีอุณหภูมิต่ำ

4.2.2.1.3 ความเข้มแสงอาทิตย์ แรงดัน กระแส และกำลังงาน

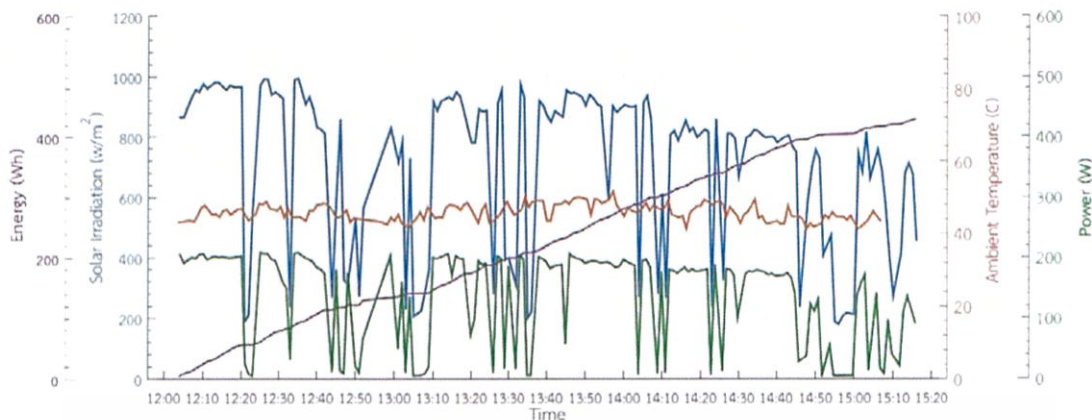


รูปที่ 4.38 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์กับเวลา



รูปที่ 4.39 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน กระแส กับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

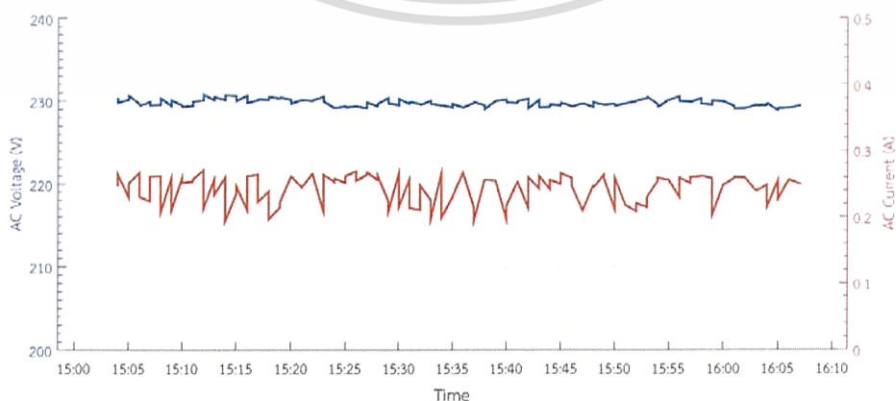


รูปที่ 4.40 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง 4 พารามิเตอร์ของระบบ

จากการวัดและบันทึกผลเฉลี่ย ทุกๆ 1 นาที พบว่าค่าแรงดัน กระแส และกำลังงานจะแปรผันตรงกับค่าพลังงานแสงอาทิตย์ กล่าวคือ เมื่อค่าพลังงานแสงอาทิตย์มากจะทำให้แรงดันที่แผงโซลาร์เซลล์สูงขึ้น ส่งผลทำให้กระแสที่จ่ายไหล (ในการทดลองใช้โหลดเป็นหลอดไส้ขนาด 100 W จำนวน 50 ดวง) มีค่าคงที่ ส่งผลทำให้พลังงานที่ได้มีค่าสูงขึ้น ในทางกลับกันถ้าค่าพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าน้อย (ไม่มีแดด) แรงดันที่แผงโซลาร์เซลล์จะมีลดลง ทำให้กระแสที่ไหลไม่คงที่ โดยที่มีค่าน้อยลง ส่งผลให้พลังงานที่ได้มีค่าน้อยลงด้วย

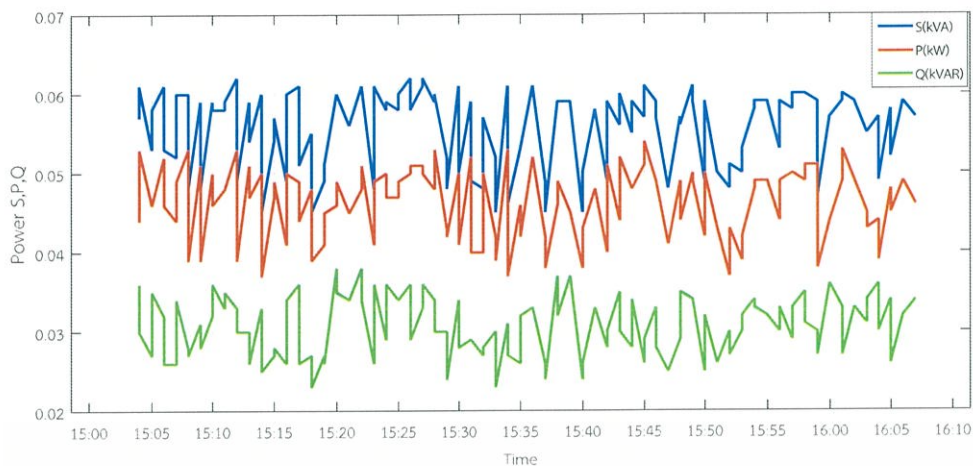
4.2.2.2 ส่วนเอาต์พุต

ส่วนเอาต์พุตเป็นส่วนที่วัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่ผ่านอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์แปลงแรงดันกระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ โดยทำการวัดค่า แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้า (S P และ Q) ตัวประกอบกำลัง ค่าความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกรวม ที่อินเวอร์เตอร์ พิกัดแรงดัน 230 โวลต์ 1 เฟส จ่ายโหลดคอมพิวเตอร์แอลอีดี ขนาด 55 วัตต์ ซึ่งข้อมูลทำการบันทึกวันที่ 20 พ.ค. 2558 ช่วงเวลา 15.04-16.05 น. ซึ่งข้อมูลสามารถดูได้ที่ภาคผนวก ก. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลแสดงได้ดังรูปที่ 4.41-4.43

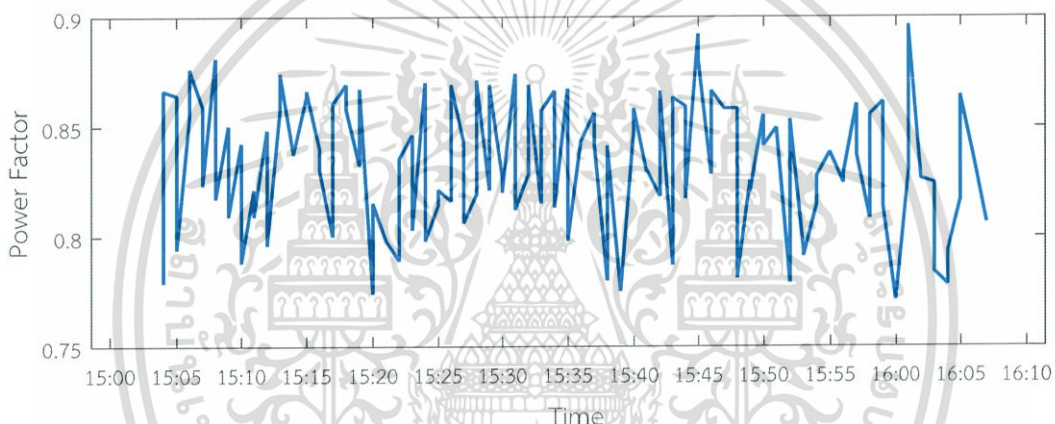


รูปที่ 4.41 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.42 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานกับเวลา



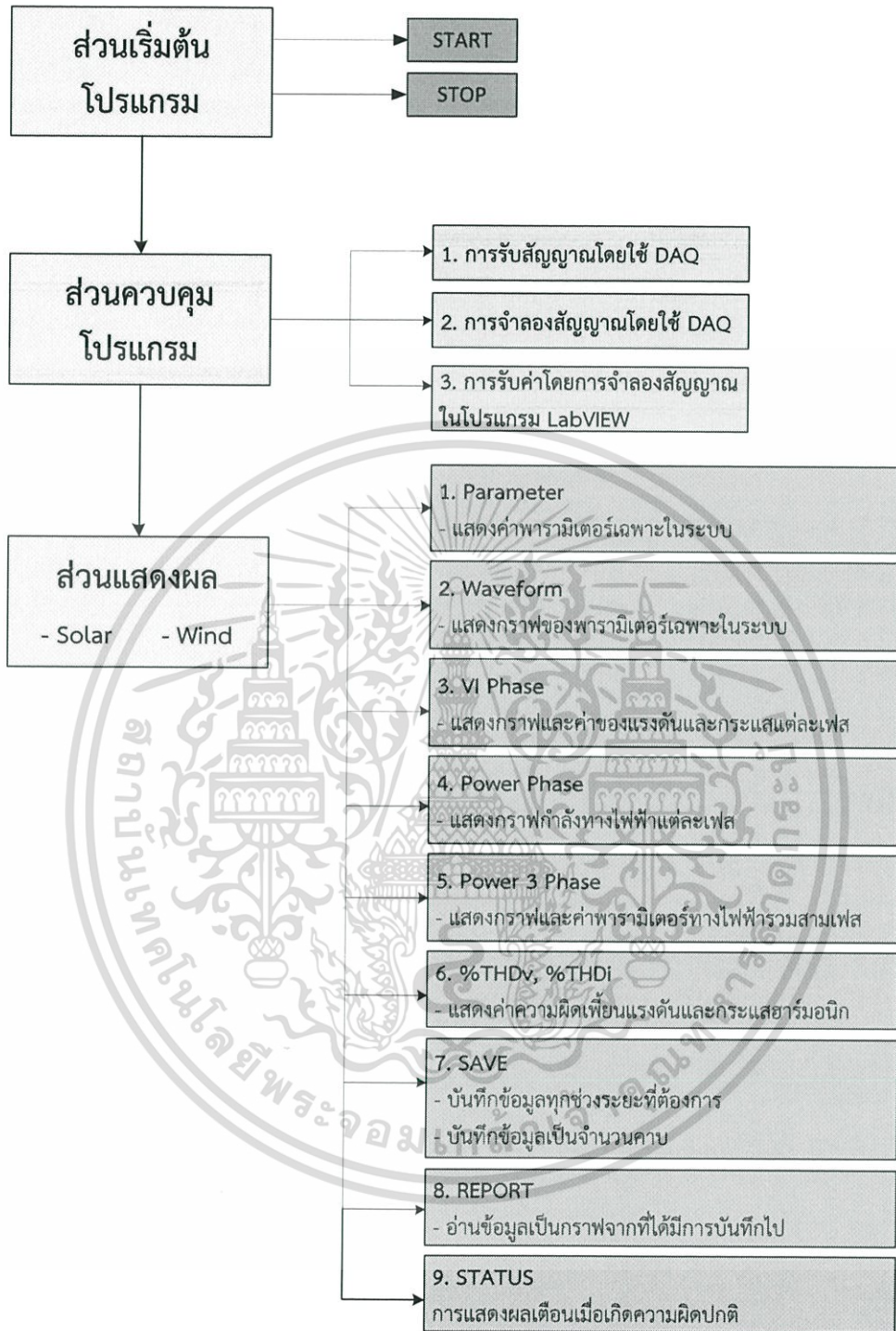
รูปที่ 4.43 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบกำลังกับเวลา

4.2.3 การสรุปผลการทดลองเมื่อนำชุดเครื่องมือวัดไปใช้กับระบบพลังงานทดแทน

จากการทดลองติดตั้งชุดเครื่องมือวัดบริเวณชั้น 4 อาคารปฏิบัติการหลังที่ 2 ภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในวันที่ 17 พฤษภาคม 2558 ตั้งแต่เวลา 12:04 น. ถึงเวลา 13:16 น. เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่า ชุดอุปกรณ์เครื่องมือวัดที่ทำการออกแบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในระบบพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ โดยสามารถวัดได้ทั้งค่าทางปริมาณและคุณภาพตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งเอาไว้ คือ สามารถรับค่าจากอุปกรณ์ตรวจจับ เช่น ค่าความเร็วลม ทิศทางลม ความเข้มแสงอาทิตย์ รวมถึงอุณหภูมิ และความชื้นอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งปริมาณต่างๆ เหล่านี้สามารถนำมาประกอบการพิจารณาเพื่อติดตั้งหรือผลิตพลังงานทดแทนในด้านพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 สรุปความสามารถในการทำงานของชุดอุปกรณ์วัดที่ออกแบบด้วย LabVIEW



รูปที่ 4.44 สรุปความสามารถในการทำงานของชุดอุปกรณ์วัดที่ออกแบบด้วย LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผล

5.1 สรุปผล

ในปฏิญญาฉบับนี้ ได้นำเสนอชุดอุปกรณ์เครื่องมือวัดและการบันทึกข้อมูลของระบบพลังงานทดแทนที่มากกว่า 1 ระบบ ในที่นี้คือพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการประยุกต์ใช้โปรแกรม LabVIEW ซึ่งผู้จัดทำได้ทำการออกแบบโปรแกรมให้ชุดอุปกรณ์เครื่องมือวัดนี้มีความสามารถของแสดงดังรูปที่ 5 คือ สามารถวัดและตรวจจับได้ทั้งพารามิเตอร์ทางสภาพอากาศและพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าต่างๆ แล้วนำมาประมวลผลผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ นอกเหนือจากนั้นเครื่องมือวัดนี้ยังสามารถจำลองสัญญาณแล้วทำการวิเคราะห์สัญญาณตามที่ต้องการได้อีกด้วย ส่วนการบันทึกข้อมูลสามารถทำได้สองรูปแบบคือการบันทึกข้อมูลโดยกำหนดระยะเวลาที่ต้องการการบันทึกในแต่ละค่า และการบันทึกข้อมูลของแต่ละเฟสโดยเลือกจำนวนคาบที่ต้องการบันทึก

ชุดอุปกรณ์เครื่องมือวัดที่ทำการออกแบบ สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในระบบพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ โดยสามารถวัดได้ทั้งค่าเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งเอาไว้ คือ สามารถรับค่าจากอุปกรณ์ตรวจจับ เช่น ค่าความเร็วลม ทิศทางลม ความเข้มแสงอาทิตย์ รวมถึงอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งปริมาณต่างๆ เหล่านี้สามารถนำมาประกอบการพิจารณาเพื่อติดตั้งหรือผลิตพลังงานทดแทนในด้านพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ได้ ข้อมูลต่างๆ ที่ทำการวัดได้นั้นจะถูกนำมาแสดงผลแบบ Real Time บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ผ่านทาง Front Panel ของโปรแกรม LabVIEW ซึ่งได้ทำการออกแบบมาให้มีลักษณะเหมือนกับหน้าต่างของเครื่องมือวัดทำให้ผู้อ่านข้อมูลสามารถอ่านข้อมูลได้ง่าย อีกทั้งข้อมูลที่ทำการวัดได้นั้นยังถูกบันทึกค่าเก็บไว้ในรูปของไฟล์ *.lvm ซึ่งสามารถนำไปเปิดในโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อทำการอ่านข้อมูลได้ และยังสามารถนำข้อมูลไปสร้างกราฟเพื่อเปรียบเทียบข้อมูลทำให้ง่ายต่อการนำไปวิเคราะห์

จุดเด่นของชุดอุปกรณ์คือ มีความสามารถเหนือกว่าเครื่องมือวัดอื่นๆ ในหลายด้าน เช่นการควบคุมระยะไกล การตรวจจับและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ได้หลากหลายพร้อมทั้งบันทึกค่าแบบอัตโนมัติ อาจเรียกได้ว่าเป็นชุดอุปกรณ์แบบ Multi-tasking Processor คือสามารถทำงานวัดค่าและบันทึกค่าได้ในเวลาเดียวกันโดยบันทึกข้อมูลที่มีไฟล์ไม่ใหญ่มาก ซึ่งเมื่อเทียบราคากับประสิทธิภาพแล้ว จะเห็นว่ามีความคุ้มค่ากว่าอุปกรณ์ที่มีขายในปัจจุบันเป็นอย่างมาก

5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไขปัญหา

- 1) เนื่องจากโปรแกรมการทำงานของอุปกรณ์ DAQ จำเป็นต้องทำงานกับระบบคอมพิวเตอร์ จึงต้องติดตั้งเครื่องคอมพิวเตอร์ไว้ในที่ทำการวัด ทำให้เสี่ยงต่อการสูญหาย จึงต้องผลัดเวรยามดูแล และคอยตรวจสอบการทำงานของโปรแกรมตลอดเวลา เพื่อให้การทำงานดำเนินไปอย่างเรียบร้อย
- 2) ข้อจำกัดของการใช้งานคอมพิวเตอร์คือจำเป็นต้องใช้ไฟฟ้าตลอดเวลาเพราะแบตเตอรี่ของคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กไม่สามารถอยู่ได้ตลอด 24 ชั่วโมง ทำให้ไม่สามารถใช้งานได้ในบางสถานที่ จึงจำเป็นต้องทำการวัดในสถานที่ที่ใกล้กับแหล่งที่มีไฟฟ้า ซึ่งส่วนใหญ่จะถูกล้อมรอบด้วยตึกสูงซึ่งอาจบดบังสภาพอากาศข้อมูลที่ตรวจวัดได้จึงอาจมีความคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง
- 3) ข้อจำกัดเรื่องพอร์ตของอุปกรณ์ DAQ มีไม่เพียงพอ จึงไม่สามารถทดลองทั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมแบบสามเฟสพร้อมกันได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

ในการเปรียบเทียบของหม้อแปลงกระแสนั้น เมื่อโหลดต่างชนิดกัน ค่าอัตราส่วนเปรียบเทียบที่ได้จะแตกต่างกัน ดังนั้นก่อนใช้งานชุดอุปกรณ์วัดทุกครั้งควรจะมีการเปรียบเทียบใหม่เสมอ เพื่อความเที่ยงตรงของการวัดผล

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน. “แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี”. สืบค้นจาก http://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/kb00_a101_แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกใน10ปี.pdf.
- [2] ศักดิ์ชัย นรสิงห์. (2545). “คุณภาพกำลังไฟฟ้า”. *อินดัสเทรียล*, 8(94), 95-101.
- [3] IEEE Std 1159-2009, *IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*, June 2009.
- [4] ศักดิ์ชัย นรสิงห์. (2545). “ฮาร์มอนิกสในระบบไฟฟ้า”. *อินดัสเทรียล*, 8(97), 97-101.
- [5] ผศ.ศุภชัย สุรินทร์วงศ์. (2539) “เทคโนโลยีไฟฟ้ากระแสสลับ”. เล่ม1. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น).
- [6] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, กระทรวงพลังงาน. “แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้า”. สืบค้นจาก <http://www.touchtechdesign.com/eppo/แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้า/>.
- [7] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. “PDP 2010 ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 3”. สืบค้นจาก <http://www.egat.co.th/images/businessop/PDP2010-Rev3-Thai-Cab19Jun2012-T.pdf>.
- [8] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, กระทรวงพลังงาน. “แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554 - 2573)”. สืบค้นจาก http://www.eppo.go.th/ccep/download/NEEP2030_FINAL.pdf.
- [9] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, กระทรวงพลังงาน. “แผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี (พ.ศ. 2551 – 2565)”. สืบค้นจาก http://www.eppo.go.th/ccep/energy_3-5.html.
- [10] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, กระทรวงพลังงาน. “พลังงานแสงอาทิตย์”. สืบค้นจาก <http://www.eppo.go.th/power/powerN/PICP/File/%2819%29.pdf>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [11] กองพัฒนาพลังงานทดแทน, การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. “เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)”. สืบค้นจาก <http://www3.egat.co.th/re/solarcell/solarcell.htm>.
- [12] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน. “มาตรการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์”. สืบค้นจาก http://www.clt.or.th/main/Training/2557/57.12.24.01.Training_insti.pdf.
- [13] เดชนิยม. “ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์”. สืบค้นจาก [http://ebapp4.egat.co.th/LotusQuickr/4ned/Main.nsf/\\$defaultview/86952CD568928AB447257C4300355D81/\\$File/1ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์.docx?OpenElement](http://ebapp4.egat.co.th/LotusQuickr/4ned/Main.nsf/$defaultview/86952CD568928AB447257C4300355D81/$File/1ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์.docx?OpenElement).
- [14] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, กระทรวงพลังงาน. “พลังงานลม”. สืบค้นจาก <http://www.eppo.go.th/power/powerN/PICP/File/%2817%29.pdf>.
- [15] สมาคมกังหันลม (ประเทศไทย). “อนาคตของธุรกิจพลังงานลมหลังการเปลี่ยนแปลง”. สืบค้นจาก http://www.thaiwindenergy.org/attachments/view/?attach_id=34098.
- [16] กิจไพบูลย์ ชิวพันธุ์ศรี. (2557) “LabVIEW ซอฟต์แวร์เพื่อการพัฒนากระบวนการวัดและควบคุม”. กรุงเทพมหานคร :บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด(มหาชน).
- [17] National Instruments Corporation. “What Is Data Acquisition?”. Retrieved from <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/>.
- [18] J. Berdner, “From kW to MW: System Design Considerations,” SOLARPRO, Oct-Nov. 2008 Retrieved from <http://solarprofessional.com/articles/design-installation/from-kw-to-mw-system-design-considerations>
- [19] S. MÜLLER, M. DEICKE, and RIK W. DE DONCKER, “Doubly Fed Induction Generator Systems for Wind Turbines,” IEEE Industry Applications Magazine, June 2001, pp. 26-33.
- [20] อนุรักษ์ วชิรกุล ธนพจน์ เอกพิสิฐเมธี ประมาณ สิงห์เรือง วิทวัส กลิ่นหอม, “ระบบการวัดและวิเคราะห์พลังงานทดแทนแบบชาญฉลาด,” **ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต,** สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง, 2556.
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [21] เกรียงไกร อยู่สุวรรณ จักรกฤษณ์ รัตนพันธ์ เจตนน์ มังกรอัสวกุล ฉัตรชัย บุญยีน, “ชุดอุปกรณ์ตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าชนิดสามเฟสโดยใช้โปรแกรมแลปวิว,” *ปริญญา นิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต*, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง, 2553.
- [23] National Instrument, LabVIEW, “Measurement Manual”, July 2000.
- [24] วริษฐา เอื้อสุขกุล ศิทธิธา วงศ์สุวรรณ สารัช ปวีณฐิติกาล, “ระบบควบคุมอัจฉริยะสำหรับอาคารศูนย์พลังงานทดแทนแห่งอนาคต,” *ปริญญา นิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต*, สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง, 2555.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บันทึกผลข้อมูลทางฝั่ง DC

บันทึกวันที่ 17 พ.ค. 2558 เวลา 12.04 น. – 15.06 น. ณ ระเบียงชั้น 4 อาคาร ECC

Time	Solar Irradiation (W/m ²)	Ambient Temp. (C)	Outdoor Humidity (%)	Wind Speed (m/s)	Vdc (V)	Idc (V)	Input Power (W)
12:04	865.41	43.14	32.48	1.28	27.10	6.96	188.55
12:05	865.01	43.32	32.11	1.06	25.72	6.81	175.10
12:07	930.59	43.71	31.79	0.62	26.76	6.88	184.13
12:08	955.60	43.26	33.58	1.14	26.65	6.83	182.06
12:09	950.09	44.99	29.75	0.25	27.00	7.00	188.96
12:10	975.49	47.16	27.54	0.44	27.46	6.90	189.54
12:11	958.95	47.83	25.59	0.21	26.53	6.80	180.41
12:13	980.81	45.24	30.34	1.32	27.02	6.90	186.31
12:14	980.61	45.45	29.06	0.66	26.67	6.89	183.83
12:15	965.84	44.55	31.89	0.63	26.91	6.88	185.02
12:16	955.80	46.34	29.74	0.47	26.75	6.87	183.76
12:17	970.57	46.72	30.53	0.85	26.75	6.84	182.88
12:18	964.07	45.24	33.08	0.96	26.73	6.88	184.00
12:20	964.46	46.76	30.29	0.64	26.89	6.93	186.42
12:21	189.14	47.00	30.78	0.25	6.57	3.32	21.83
12:22	208.44	45.40	33.36	0.16	2.69	2.29	6.15
12:23	542.05	43.66	36.08	0.57	1.79	1.93	3.46
12:25	972.14	45.32	32.77	0.25	27.19	7.03	191.18
12:26	991.64	48.35	28.15	0.00	27.55	6.89	189.83
12:27	990.85	48.09	30.55	0.32	27.08	7.01	189.87
12:28	939.65	48.88	28.56	0.24	26.58	6.81	181.08
12:29	948.51	46.97	30.08	0.76	26.46	6.77	179.28
12:31	927.83	46.39	28.68	0.45	21.97	6.69	146.93

Time	Solar Irradiation (W/m ²)	Ambient Temp. (C)	Outdoor Humidity (%)	Wind Speed (m/s)	Vdc (V)	Idc (V)	Input Power (W)
12:32	599.16	47.52	28.79	0.29	21.59	6.33	136.65
12:33	236.60	44.45	34.36	0.33	7.10	3.85	27.30
12:34	988.88	47.16	30.80	0.00	27.11	7.00	189.82
12:35	994.59	44.47	36.00	1.46	27.19	7.03	191.18
12:37	908.14	44.67	34.23	0.25	26.32	6.97	183.43
12:38	931.77	44.21	35.87	0.75	25.90	6.98	180.63
12:39	893.17	43.57	35.87	0.85	25.83	6.85	177.04
12:40	831.73	46.45	28.77	0.46	25.09	6.71	168.41
12:41	824.05	46.36	30.56	0.46	24.89	6.68	166.13
12:42	811.84	47.89	30.61	0.00	24.27	6.56	159.31
12:44	267.33	48.38	28.94	0.23	3.37	2.63	8.86
12:45	590.29	47.97	29.02	0.63	24.98	6.65	166.19
12:46	858.51	46.73	30.19	0.30	3.70	2.99	11.06
12:47	326.01	44.79	32.86	0.71	2.83	2.42	6.86
12:48	308.09	44.44	33.73	0.41	24.57	6.54	160.63
12:50	527.47	46.51	30.77	0.00	5.33	3.46	18.45
12:51	271.26	43.12	36.50	0.37	3.05	2.55	7.77
12:52	563.31	44.31	33.00	0.24	11.45	5.25	60.14
12:59	828.58	43.37	34.28	0.65	26.89	6.94	186.68
13:01	714.95	42.49	37.95	0.38	8.48	5.27	44.75
13:02	782.50	44.48	34.20	0.28	22.66	6.48	146.88
13:03	227.74	43.58	36.49	0.97	3.37	2.33	7.84
13:04	728.34	45.31	32.99	0.58	20.54	6.10	125.26
13:05	205.09	42.80	37.06	0.23	1.90	2.04	3.87
13:07	224.39	41.84	36.52	0.94	2.01	2.21	4.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time	Solar Irradiation (W/m ²)	Ambient Temp. (C)	Outdoor Humidity (%)	Wind Speed (m/s)	Vdc (V)	Idc (V)	Input Power (W)
13:08	288.40	43.13	34.87	0.34	2.52	2.68	6.74
13:09	359.88	44.27	32.61	0.00	4.79	3.52	16.84
13:10	915.82	45.91	31.31	0.62	26.50	6.94	183.94
13:11	886.28	43.79	33.52	0.35	26.54	6.86	182.09
13:12	918.58	47.34	28.68	0.00	26.70	6.91	184.49
13:14	932.17	44.19	35.40	1.12	27.02	7.01	189.33
13:15	922.71	44.63	32.49	0.82	23.02	6.77	155.97
13:16	949.10	44.41	35.07	0.76	27.00	6.92	186.74
13:17	933.74	47.27	29.42	0.22	26.75	6.81	182.26
13:18	885.69	47.93	27.82	0.86	26.59	6.83	181.54
13:20	781.71	47.59	30.50	0.35	12.53	5.21	65.20
13:21	780.14	46.52	30.94	0.45	14.94	5.92	88.39
13:22	891.60	48.09	30.41	0.21	26.32	6.80	179.01
13:23	883.53	48.47	29.55	0.22	25.75	6.72	172.95
13:24	887.66	46.80	31.61	0.33	25.99	6.72	174.71
13:26	278.55	42.90	35.37	1.06	3.05	2.56	7.83
13:27	913.07	46.60	32.59	0.65	26.99	6.90	186.27
13:28	955.41	48.10	29.52	0.00	26.64	6.84	182.30
13:29	393.56	42.88	36.45	1.06	4.47	3.13	14.01
13:30	398.28	43.33	36.14	1.16	25.45	6.71	170.85
13:32	306.71	45.29	33.78	0.73	4.25	3.07	13.08
13:33	973.92	47.41	28.88	0.33	27.47	6.79	186.58
13:34	930.79	48.81	27.55	0.00	26.76	6.78	181.40
13:35	199.97	46.79	31.01	0.25	2.14	2.07	4.42
13:36	219.27	45.07	33.62	0.50	1.98	2.12	4.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time	Solar Irradiation (W/m ²)	Ambient Temp. (C)	Outdoor Humidity (%)	Wind Speed (m/s)	Vdc (V)	Idc (V)	Input Power (W)
13:38	919.56	46.60	29.17	0.45	26.69	6.92	184.64
13:39	904.01	50.19	27.73	0.23	26.59	6.85	182.15
13:40	870.53	47.34	29.62	0.25	26.28	6.74	177.22
13:41	848.67	48.74	28.78	0.00	25.09	6.63	166.43
13:42	885.69	49.14	27.75	0.00	25.71	6.63	170.51
13:44	866.00	49.03	28.98	0.53	25.90	6.68	172.96
13:45	954.62	43.57	34.87	0.59	9.43	5.40	50.93
13:46	943.98	43.49	35.78	1.45	27.13	6.99	189.57
13:47	947.13	48.09	28.67	0.25	26.83	6.88	184.57
13:49	932.56	48.20	29.12	0.00	26.72	6.75	180.38
13:50	902.82	49.06	27.91	0.25	26.13	6.72	175.49
13:51	939.45	48.07	30.23	0.67	25.98	6.81	176.91
13:52	928.23	49.51	27.58	0.25	26.40	6.75	178.33
13:53	907.75	50.04	26.68	0.00	26.39	6.74	177.79
13:54	901.64	50.07	27.21	0.25	26.04	6.75	175.71
13:56	591.87	49.41	28.09	0.85	26.24	6.73	176.66
13:57	901.84	45.16	32.53	0.64	25.71	6.75	173.47
13:58	881.36	49.56	27.03	0.00	25.38	6.63	168.32
13:59	893.17	49.34	27.17	0.23	25.75	6.61	170.15
14:00	905.98	48.26	30.44	0.62	26.20	6.89	180.39
14:02	897.90	49.44	27.51	0.23	25.66	6.78	174.00
14:03	903.42	51.73	24.70	0.24	25.85	6.65	171.97
14:04	268.11	47.74	29.87	0.52	2.30	2.02	4.64
14:05	913.07	46.56	32.17	0.64	26.46	6.77	179.11
14:06	935.71	44.77	32.19	0.79	26.39	6.85	180.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

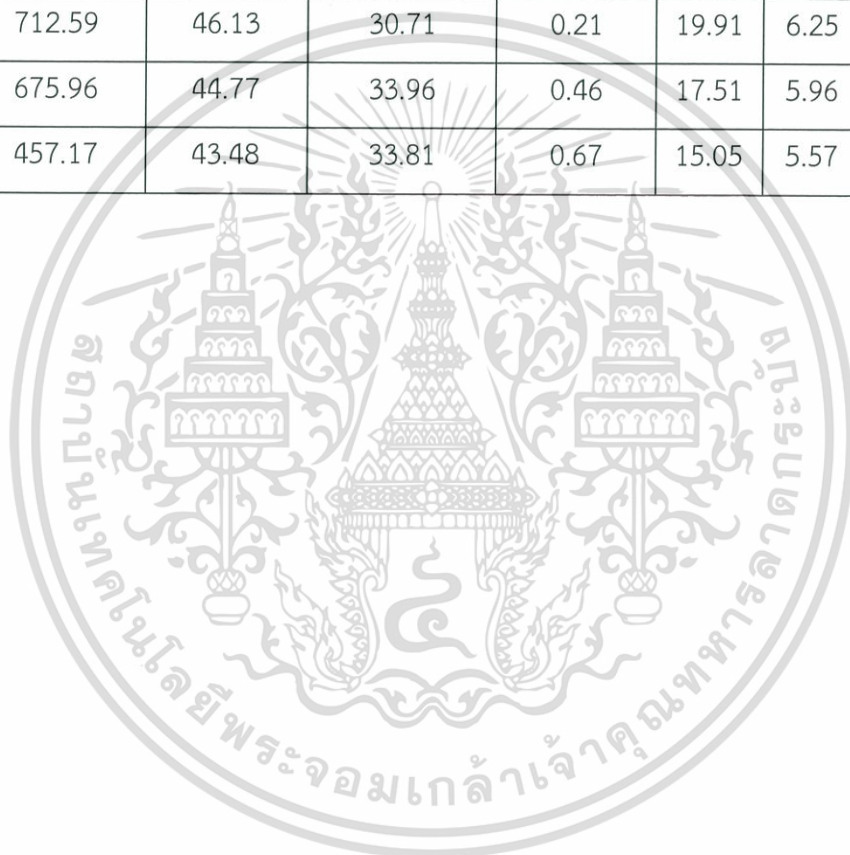
Time	Solar Irradiation (W/m ²)	Ambient Temp. (C)	Outdoor Humidity (%)	Wind Speed (m/s)	Vdc (V)	Idc (V)	Input Power (W)
14:07	854.97	46.96	29.49	0.00	25.20	6.71	168.99
14:09	277.76	45.88	33.19	0.83	2.71	2.42	6.54
14:10	611.17	46.07	32.18	0.25	24.57	6.61	162.41
14:11	265.55	46.95	30.56	0.25	3.01	2.58	7.75
14:12	807.51	48.56	29.24	0.25	24.78	6.66	164.91
14:13	819.52	46.34	30.56	0.20	25.08	6.53	163.85
14:14	787.82	47.78	30.48	0.21	24.10	6.61	159.36
14:16	853.20	46.64	31.12	0.74	25.41	6.65	168.94
14:17	817.16	47.01	31.09	0.20	24.21	6.66	161.12
14:18	829.96	49.21	26.24	0.47	25.01	6.64	166.15
14:19	797.66	45.21	34.39	1.28	24.48	6.62	161.94
14:21	823.07	44.41	34.51	0.21	24.54	6.70	164.38
14:22	816.96	44.91	33.41	0.24	24.87	6.68	166.03
14:23	238.18	41.23	41.26	1.44	1.96	1.99	3.91
14:24	858.71	45.73	31.92	0.00	25.38	6.83	173.24
14:26	324.63	47.63	29.11	0.00	3.54	2.80	9.94
14:27	810.27	47.66	28.76	0.28	25.04	6.65	166.45
14:28	809.48	49.39	27.20	0.37	24.62	6.70	164.99
14:29	793.92	48.76	29.08	0.00	23.81	6.57	156.38
14:30	667.69	47.86	28.43	0.00	16.25	5.59	90.90
14:32	797.27	49.07	28.38	0.00	23.94	6.60	158.00
14:33	804.36	48.30	29.53	0.24	24.38	6.68	162.84
14:34	821.89	44.40	33.00	0.22	24.33	6.62	161.08
14:35	818.73	47.38	30.21	0.23	24.93	6.60	164.65
14:37	797.07	44.94	32.58	0.00	24.48	6.59	161.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time	Solar Irradiation (W/m ²)	Ambient Temp. (C)	Outdoor Humidity (%)	Wind Speed (m/s)	Vdc (V)	Idc (V)	Input Power (W)
14:38	800.03	42.79	36.88	0.79	23.65	6.63	156.90
14:39	800.22	45.21	32.44	0.83	24.11	6.58	158.59
14:40	781.32	45.98	32.75	0.53	23.59	6.58	155.16
14:42	799.24	49.42	28.15	0.22	24.11	6.49	156.37
14:43	804.16	44.20	33.39	0.47	24.07	6.64	159.86
14:44	767.93	44.84	33.82	0.98	23.23	6.57	152.62
14:45	749.22	42.78	36.26	0.68	20.58	6.28	129.31
14:46	236.21	42.75	37.09	0.44	6.37	3.93	25.01
14:48	588.13	43.49	35.99	0.57	8.29	4.06	33.69
14:49	695.65	42.60	37.95	0.15	18.54	6.10	113.10
14:50	757.09	42.70	34.83	0.52	17.56	5.78	101.47
14:51	727.75	47.74	28.33	0.00	19.57	6.17	120.71
14:52	408.53	44.75	35.07	0.57	1.95	2.02	3.94
14:54	473.32	44.62	33.37	0.21	10.24	4.93	50.46
14:55	187.37	44.05	35.35	0.24	2.01	2.03	4.08
14:56	178.90	41.15	37.86	0.16	1.90	1.89	3.59
14:57	204.90	42.80	36.77	0.00	1.92	1.96	3.75
14:58	216.71	41.87	38.65	0.25	1.93	2.03	3.92
15:00	211.20	42.68	36.69	0.20	1.93	2.13	4.11
15:01	743.90	45.16	31.69	0.25	20.32	6.15	124.92
15:02	683.05	44.14	33.23	0.24	22.52	6.43	144.70
15:03	816.77	45.95	31.38	0.55	23.83	6.62	157.74
15:04	662.37	44.69	34.00	0.30	3.65	3.08	11.25
15:06	758.28	44.59	35.05	0.25	20.62	6.31	130.08
15:07	691.32	43.71	36.77	0.15	4.51	3.25	14.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time	Solar Irradiation (W/m ²)	Ambient Temp. (C)	Outdoor Humidity (%)	Wind Speed (m/s)	Vdc (V)	Idc (V)	Input Power (W)
15:08	572.37	45.00	33.39	0.21	2.61	2.49	6.49
15:09	403.80	42.82	36.06	0.55	15.68	5.69	89.22
15:10	272.64	41.22	37.90	0.25	8.77	4.20	36.82
15:12	414.43	42.94	35.22	0.00	5.00	3.70	18.46
15:13	681.08	44.32	32.59	0.25	17.09	6.00	102.44
15:14	712.59	46.13	30.71	0.21	19.91	6.25	124.55
15:15	675.96	44.77	33.96	0.46	17.51	5.96	104.36
15:16	457.17	43.48	33.81	0.67	15.05	5.57	83.80



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บันทึกข้อมูลทางฝั่ง AC

บันทึกวันที่ 20 พ.ค. 2558 เวลา 15.04 น. – 16.07 น. ณ ชั้นล่าง อาคาร ECC

Time	Va, RMS	Ia, RMS	Freq- uency	P.F PhaseA	Sa	Pa	Qa	%THD, Va	%THD, Ia
15:04	230.253	0.248	50.004	0.779	0.057	0.044	0.036	0.956	11.992
15:04	229.791	0.265	50.003	0.866	0.061	0.053	0.030	0.958	14.592
15:05	230.147	0.230	50.004	0.864	0.053	0.046	0.027	0.988	9.017
15:05	230.645	0.251	50.004	0.794	0.058	0.046	0.035	0.956	12.878
15:06	229.621	0.267	50.004	0.854	0.061	0.052	0.032	0.979	12.074
15:06	229.440	0.231	50.004	0.876	0.053	0.046	0.026	0.996	8.823
15:07	229.874	0.224	50.004	0.859	0.052	0.044	0.026	1.006	8.880
15:07	229.488	0.261	50.004	0.823	0.060	0.049	0.034	0.867	15.661
15:08	229.534	0.262	50.004	0.881	0.060	0.053	0.028	0.968	13.413
15:08	230.317	0.207	50.004	0.817	0.048	0.039	0.027	0.953	11.727
15:09	229.391	0.259	50.004	0.850	0.059	0.051	0.031	0.938	15.599
15:09	230.085	0.210	50.004	0.809	0.048	0.039	0.028	0.956	12.711
15:10	229.451	0.259	50.004	0.842	0.059	0.050	0.032	0.935	16.452
15:10	229.304	0.252	50.004	0.788	0.058	0.046	0.036	1.007	12.956
15:11	229.435	0.254	50.004	0.821	0.058	0.048	0.033	0.920	16.545
15:11	229.915	0.257	50.004	0.809	0.059	0.048	0.035	0.866	17.239
15:12	230.081	0.271	50.004	0.848	0.062	0.053	0.033	0.964	13.092
15:12	230.812	0.213	50.004	0.796	0.049	0.039	0.030	0.950	11.493
15:13	230.099	0.257	50.004	0.857	0.059	0.051	0.030	0.954	11.429
15:13	230.507	0.234	50.003	0.874	0.054	0.047	0.026	0.959	9.988
15:14	230.112	0.260	50.004	0.838	0.060	0.050	0.033	0.953	11.782
15:14	230.735	0.194	50.004	0.837	0.045	0.037	0.025	1.000	9.354
15:15	230.616	0.235	50.004	0.863	0.054	0.047	0.027	0.970	9.354
15:15	230.006	0.247	50.004	0.866	0.057	0.049	0.028	0.943	9.844
15:16	230.688	0.211	50.004	0.840	0.049	0.041	0.026	0.947	13.323
15:16	229.788	0.262	50.004	0.830	0.060	0.050	0.034	0.973	12.568
15:17	230.076	0.264	50.004	0.800	0.061	0.049	0.036	0.901	14.206
15:17	230.210	0.223	50.004	0.860	0.051	0.044	0.026	0.988	7.507
15:18	230.146	0.239	50.004	0.869	0.055	0.048	0.027	0.971	9.316
15:18	230.507	0.197	50.004	0.858	0.045	0.039	0.023	1.025	5.464
15:19	230.308	0.215	50.004	0.832	0.049	0.041	0.027	0.929	13.729

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time	Va, RMS	Ia, RMS	Freq- uency	P.F PhaseA	Sa	Pa	Qa	%THD, Va	%THD, Ia
15:19	230.468	0.223	50.003	0.867	0.051	0.045	0.026	0.975	8.382
15:20	230.129	0.261	50.004	0.774	0.060	0.046	0.038	0.948	14.036
15:20	229.685	0.262	50.004	0.815	0.060	0.049	0.035	0.874	16.534
15:21	230.111	0.245	50.004	0.798	0.056	0.045	0.034	0.966	11.780
15:22	229.983	0.266	50.003	0.789	0.061	0.048	0.038	0.898	14.702
15:22	230.068	0.264	50.004	0.835	0.061	0.051	0.034	0.979	11.865
15:23	230.535	0.208	50.004	0.846	0.048	0.041	0.026	0.945	13.275
15:23	229.926	0.264	50.004	0.803	0.061	0.049	0.036	0.912	14.494
15:24	229.147	0.253	50.004	0.870	0.058	0.050	0.029	0.984	9.923
15:24	229.176	0.258	50.003	0.798	0.059	0.047	0.036	0.980	13.087
15:25	229.356	0.252	50.004	0.814	0.058	0.047	0.034	0.916	16.931
15:25	229.245	0.262	50.004	0.821	0.060	0.049	0.034	0.943	15.675
15:26	229.360	0.269	50.004	0.816	0.062	0.050	0.036	0.979	13.408
15:26	229.365	0.255	50.004	0.869	0.058	0.051	0.029	0.971	10.333
15:27	229.142	0.264	50.003	0.843	0.061	0.051	0.033	1.041	14.159
15:27	229.831	0.268	50.004	0.806	0.062	0.050	0.036	0.963	13.529
15:28	229.349	0.256	50.004	0.819	0.059	0.048	0.034	0.947	15.034
15:28	229.647	0.263	50.003	0.871	0.060	0.053	0.030	1.015	13.821
15:29	230.367	0.225	50.004	0.821	0.052	0.043	0.030	0.916	12.440
15:29	229.730	0.208	50.004	0.869	0.048	0.042	0.024	1.037	7.260
15:30	229.476	0.266	50.004	0.827	0.061	0.050	0.034	0.941	14.315
15:30	230.233	0.216	50.004	0.820	0.050	0.041	0.028	0.964	14.121
15:31	229.632	0.257	50.003	0.874	0.059	0.052	0.029	0.994	10.832
15:31	229.872	0.214	50.004	0.812	0.049	0.040	0.029	0.979	13.346
15:32	229.653	0.211	50.004	0.828	0.048	0.040	0.027	1.014	14.095
15:32	229.517	0.248	50.003	0.869	0.057	0.050	0.028	1.014	10.624
15:33	230.047	0.226	50.004	0.815	0.052	0.042	0.030	0.962	13.248
15:33	229.629	0.197	50.003	0.857	0.045	0.039	0.023	1.037	5.384
15:34	229.457	0.266	50.003	0.866	0.061	0.053	0.031	0.982	13.939
15:34	229.480	0.199	50.004	0.813	0.046	0.037	0.027	1.004	9.646
15:35	229.213	0.230	50.004	0.867	0.053	0.046	0.026	1.060	9.053
15:35	229.631	0.230	50.004	0.798	0.053	0.042	0.032	0.992	12.551
15:36	229.206	0.267	50.004	0.843	0.061	0.052	0.033	1.051	12.403
15:37	229.769	0.215	50.004	0.856	0.049	0.042	0.026	1.031	7.488

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time	Va, RMS	Ia, RMS	Freq- uency	P.F PhaseA	Sa	Pa	Qa	%THD, Va	%THD, Ia
15:37	229.868	0.194	50.004	0.842	0.045	0.038	0.024	1.066	8.354
15:38	229.431	0.257	50.004	0.780	0.059	0.046	0.037	1.009	14.402
15:38	229.020	0.256	50.004	0.841	0.059	0.049	0.032	1.003	16.256
15:39	229.975	0.255	50.004	0.775	0.059	0.045	0.037	1.043	12.981
15:40	230.157	0.197	50.004	0.847	0.045	0.038	0.024	1.053	5.954
15:40	229.802	0.217	50.004	0.858	0.050	0.043	0.026	1.052	8.163
15:41	229.729	0.253	50.004	0.829	0.058	0.048	0.033	0.955	14.682
15:41	229.947	0.254	50.004	0.830	0.058	0.048	0.033	0.944	15.349
15:42	230.256	0.214	50.004	0.818	0.049	0.040	0.028	0.992	13.411
15:42	229.094	0.260	50.004	0.866	0.059	0.051	0.030	1.032	11.386
15:43	230.115	0.243	50.004	0.787	0.056	0.044	0.035	1.002	12.400
15:43	229.224	0.262	50.003	0.863	0.060	0.052	0.030	0.999	12.915
15:44	229.271	0.242	50.004	0.859	0.055	0.048	0.028	1.025	9.279
15:44	229.557	0.256	50.004	0.817	0.059	0.048	0.034	0.879	16.539
15:45	229.441	0.250	50.003	0.892	0.057	0.051	0.026	1.031	11.508
15:45	229.783	0.266	50.004	0.881	0.061	0.054	0.029	1.012	11.374
15:46	229.337	0.259	50.004	0.828	0.059	0.049	0.033	0.964	15.550
15:46	229.311	0.247	50.004	0.866	0.057	0.049	0.028	0.980	9.941
15:47	229.691	0.210	50.004	0.858	0.048	0.041	0.025	1.034	7.430
15:48	229.245	0.248	50.004	0.858	0.057	0.049	0.029	1.045	10.548
15:48	229.819	0.244	50.004	0.781	0.056	0.044	0.035	1.031	12.426
15:49	229.515	0.264	50.003	0.825	0.061	0.050	0.034	0.917	15.432
15:49	229.516	0.258	50.003	0.820	0.059	0.049	0.034	0.977	15.076
15:50	229.616	0.212	50.004	0.855	0.049	0.042	0.025	1.030	7.431
15:50	229.397	0.259	50.004	0.841	0.059	0.050	0.032	0.960	14.550
15:51	229.693	0.218	50.004	0.849	0.050	0.043	0.026	1.081	7.164
15:52	229.942	0.209	50.004	0.779	0.048	0.037	0.030	1.004	10.266
15:52	229.993	0.221	50.004	0.853	0.051	0.043	0.027	1.022	7.865
15:53	230.327	0.215	50.004	0.794	0.050	0.039	0.030	0.951	12.587
15:53	230.511	0.230	50.004	0.791	0.053	0.042	0.032	0.995	12.335
15:54	229.580	0.254	50.004	0.814	0.058	0.048	0.034	0.925	16.121
15:54	229.233	0.259	50.004	0.827	0.059	0.049	0.033	1.000	11.660
15:55	230.080	0.256	50.004	0.838	0.059	0.049	0.032	1.025	11.210
15:56	230.547	0.230	50.004	0.824	0.053	0.044	0.030	0.972	12.201

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time	Va, RMS	Ia, RMS	Freq- uency	P.F PhaseA	Sa	Pa	Qa	%THD, Va	%THD, Ia
15:56	229.954	0.259	50.004	0.828	0.059	0.049	0.033	0.994	11.430
15:57	229.899	0.251	50.004	0.860	0.058	0.050	0.029	0.987	9.806
15:57	229.797	0.260	50.003	0.837	0.060	0.050	0.033	0.976	15.162
15:58	230.312	0.261	50.004	0.808	0.060	0.049	0.035	1.002	14.410
15:58	229.624	0.262	50.003	0.855	0.060	0.051	0.031	1.062	15.057
15:59	229.498	0.258	50.003	0.861	0.059	0.051	0.030	1.063	14.447
15:59	230.013	0.203	50.004	0.814	0.047	0.038	0.027	1.096	6.851
16:00	229.918	0.248	50.004	0.771	0.057	0.044	0.036	1.033	12.058
16:01	229.328	0.258	50.004	0.829	0.059	0.049	0.033	0.991	15.555
16:01	229.041	0.260	50.003	0.896	0.060	0.053	0.027	1.007	11.729
16:02	229.079	0.259	50.003	0.826	0.059	0.049	0.033	0.985	15.868
16:03	229.466	0.239	50.004	0.824	0.055	0.045	0.031	1.038	12.400
16:03	229.429	0.239	50.004	0.784	0.055	0.043	0.034	1.040	12.554
16:04	229.452	0.248	50.004	0.778	0.057	0.044	0.036	1.000	13.182
16:04	229.677	0.215	50.004	0.793	0.049	0.039	0.030	1.033	12.907
16:05	228.806	0.255	50.004	0.816	0.058	0.048	0.034	1.020	15.771
16:05	229.076	0.227	50.004	0.864	0.052	0.045	0.026	1.052	8.797
16:06	229.130	0.256	50.003	0.836	0.059	0.049	0.032	1.037	15.429
16:07	229.388	0.250	50.004	0.806	0.057	0.046	0.034	1.082	13.468

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DAQ

DAQ (Data Acquisition) คือ ระบบ DAQ เป็นการเก็บรวบรวมวิเคราะห์ข้อมูลจริงในงานวิจัยทดลองวิทยาศาสตร์และทดสอบงานทางด้านวิศวกรรมเชิงคุณภาพและประสิทธิภาพผ่านคอมพิวเตอร์ โดยมีความแตกต่างจากงานระบบคอมพิวเตอร์ทั่วไปตรงที่มี Hardware พิเศษเพื่อตรวจจับสัญญาณทางกายภาพทางวิทยาศาสตร์ อาทิเช่น อุณหภูมิ ความดันอากาศ ก๊าซ อัตราการไหล เป็นต้น แปลงเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์เป็นรูปแบบในลักษณะสัญญาณทางไฟฟ้า เข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์ผ่าน Software ประยุกต์ที่พัฒนาตามคุณลักษณะของงานวิจัยทดลองนั้นๆ ในลักษณะเวลาจริง (Real Time) ซึ่งในอดีตมักใช้เป็นระบบเฉพาะเจาะจงลงไปตามประเภทงาน ไม่สามารถใช้งานร่วมกับงานวิจัยอื่นได้ ทั้งยังมีราคาที่สูงมาก ทว่าด้วยความสามารถของคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลในปัจจุบัน ประกอบกับการใช้งานที่ง่ายขึ้นของ Software ระบบปฏิบัติการในลักษณะที่เป็นวินโดว์หรือการพิก ทำให้การประยุกต์เพื่อนำคอมพิวเตอร์มาใช้ในงานด้าน Data Acquisition นี้มีความเป็นไปได้โดยไม่ยุ่งยาก และให้ความครองตัวกับนักวิทยาศาสตร์ นักวิจัยทดลองและวิศวกร เพื่อพัฒนาระบบงานดังกล่าวได้เองจาก Hardware และ Software งานด้าน Data Acquisition ที่มีให้เลือกมากมายหลากหลายผู้ผลิต และสามารถใช้งานร่วมกันได้โดยส่วนใหญ่ ทำให้ราคาระบบโดยรวมมีราคาไม่สูง และให้ประสิทธิภาพในการพัฒนาประเทศเชิงเทคโนโลยีได้ดีกว่า

1. การเชื่อมต่อ DAQ กับ ชุดโปรแกรม

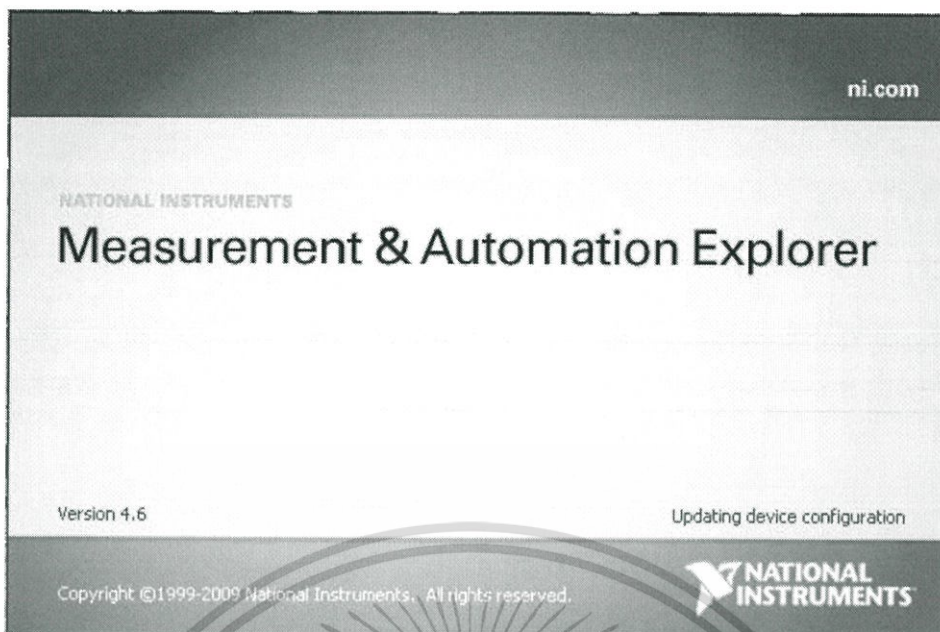
ทำการลง Driver โปรแกรมที่แนบมากับ DAQ รุ่น NI-USB-6212 ชื่อโปรแกรม Measurement & Automation รุ่นที่ทำการติดตั้งคือ Version 4.6 จากนั้นทำการเปิดโปรแกรมโดยคลิกที่ Icon ของโปรแกรม Measurement & Automation ดังรูปที่ ข.1



Measurement &
Automation

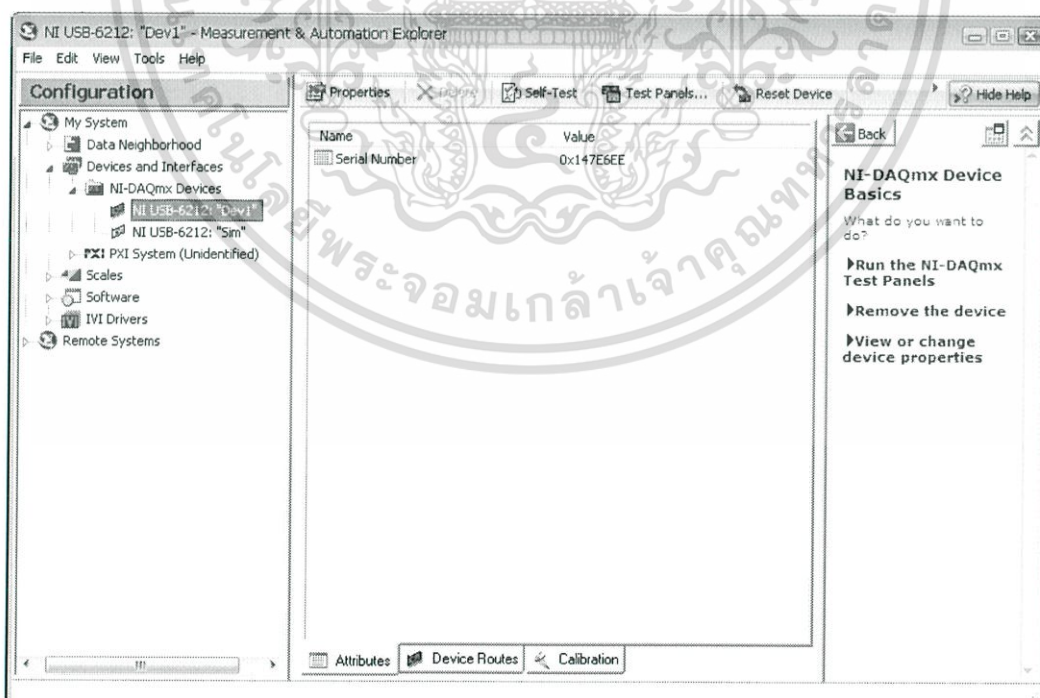
รูปที่ ข.1 Icon ของโปรแกรม Measurement & Automation [21]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.2 เข้าโปรแกรม Measurement & Automation Version 4.6 [21]

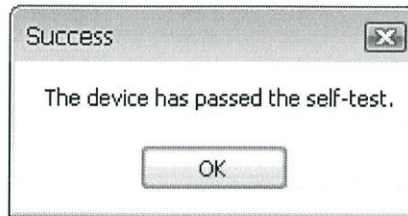
เมื่อเข้าโปรแกรมแล้วจะพบหน้าต่าง NI USB-6212: "Dev 1" Measurement & Automation Explorer จากนั้นทำการตรวจสอบความผิดปกติของชุดอุปกรณ์ โดยเลือกที่ Self-Test บน Toolbar ของโปรแกรม ดังรูปที่ ข.3



รูปที่ ข.3 หน้าต่างของโปรแกรม Measurement & Automation [21]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นจะปรากฏหน้าต่าง Success ขึ้นมา ดังรูปที่ ข.4 ซึ่งแปลว่าไม่มีความผิดปกติเกิดขึ้นกับชุดอุปกรณ์ หรือสามารถใช้งานได้ปกติ



รูปที่ ข.4 หน้าต่างเมื่อทำการตรวจสอบชุดอุปกรณ์ [21]

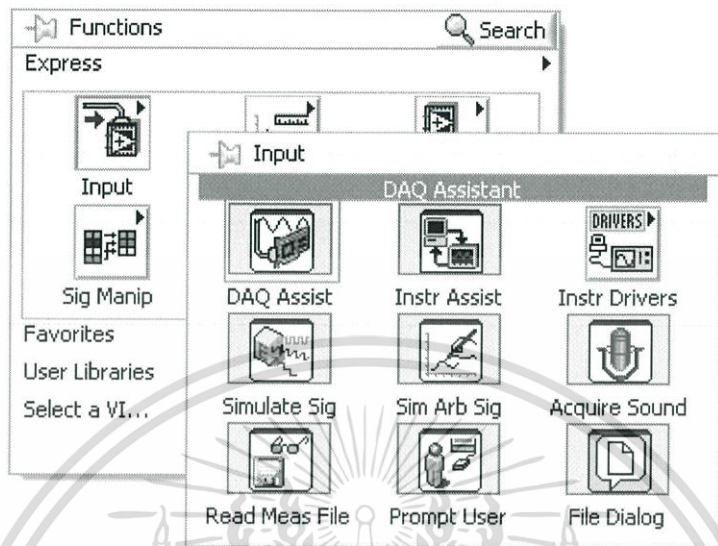
และยังทำการทดสอบแต่ละช่องอุปกรณ์ได้ที่ Test Panels บน Toolbar ในโปรแกรม Measurement & Automation เมื่อกด Test Panel แล้วจะพบกับหน้าต่างที่ใช้ทดสอบช่องอุปกรณ์ต่างๆดังรูปที่ ข.5



รูปที่ ข.5 หน้าต่างของ Test Panels [21]

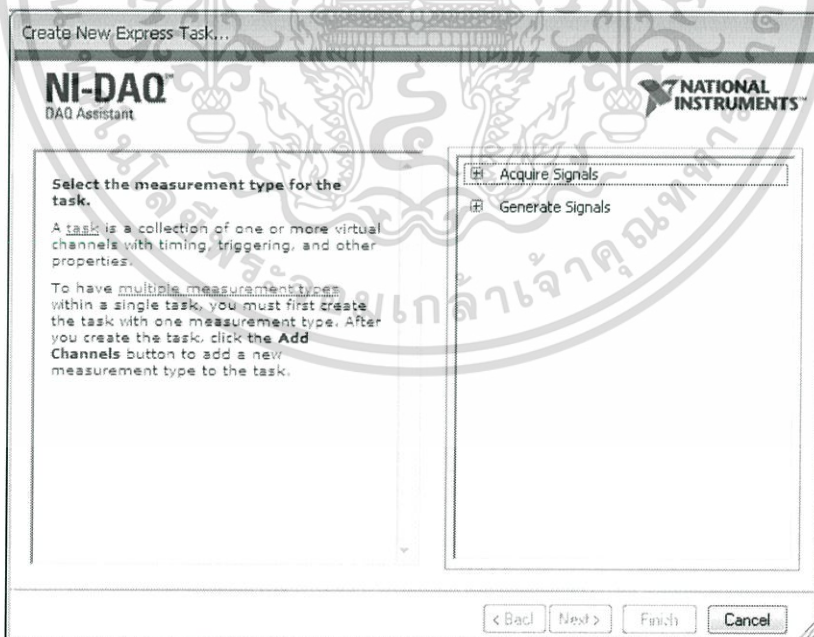
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเชื่อมต่อชุดอุปกรณ์กับโปรแกรม LabVIEW สามารถทำได้โดยเรียก DAQ Assistant จาก function Palette โดยเลือก Express >> Input >> DAQ Assistant ดังรูปที่ ข.6



รูปที่ ข.6 DAQ Assistant จาก Function Palette [21]

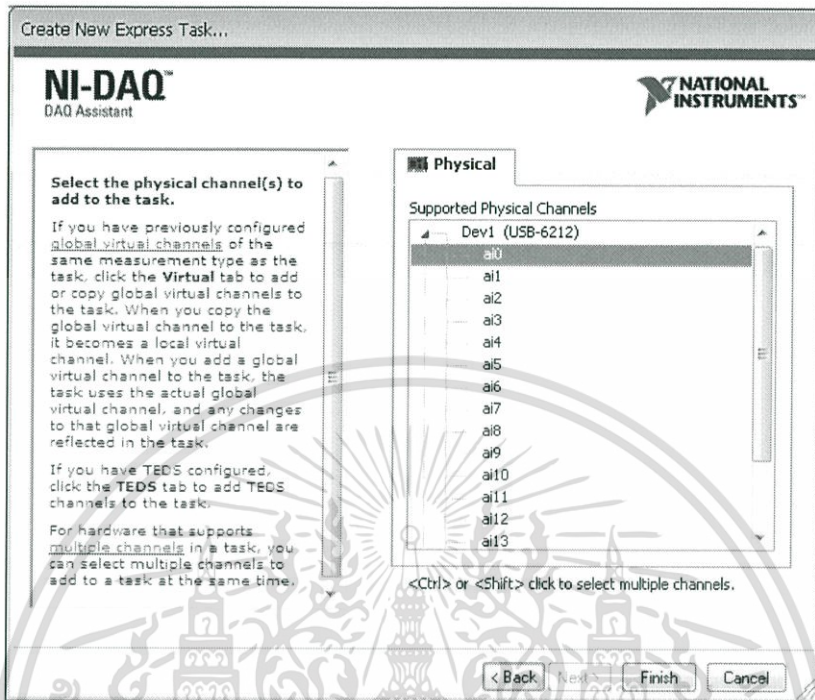
เมื่อเลือก DAQ Assistant แล้วจะปรากฏหน้าต่าง Create New Express Task ดังรูปที่ ข.7



รูปที่ ข.7 หน้าต่าง Create New Express Task [21]

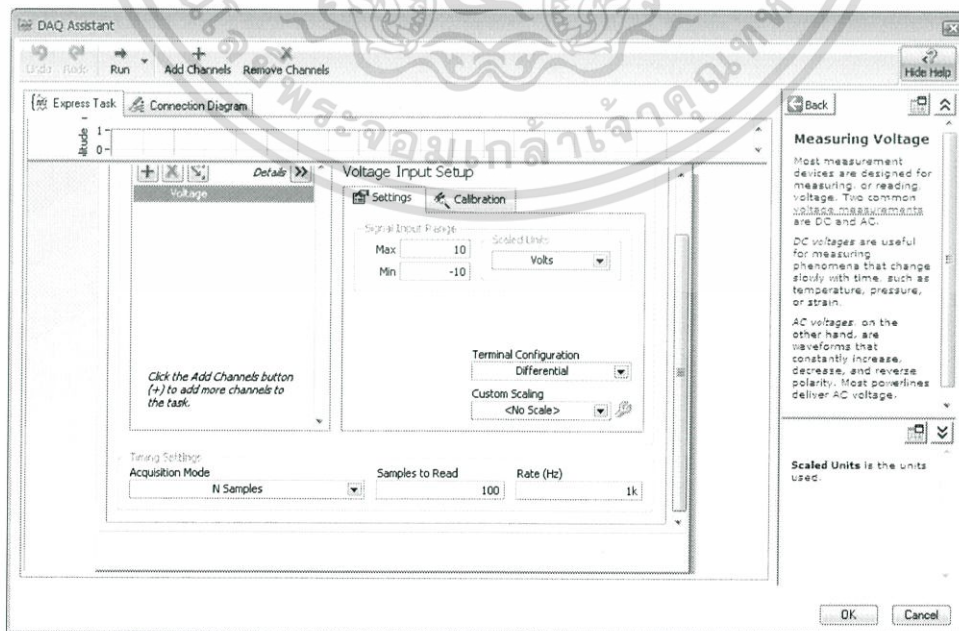
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นทำการเลือกสัญญาณอินพุตที่ Acquire Signals หรือสร้างสัญญาณเอาต์พุตที่ Generate Signals จากนั้นทำการเลือกช่องสัญญาณของ DAQ ดังรูปที่ ข.8



รูปที่ ข.8 เลือกช่องสัญญาณของ DAQ [21]

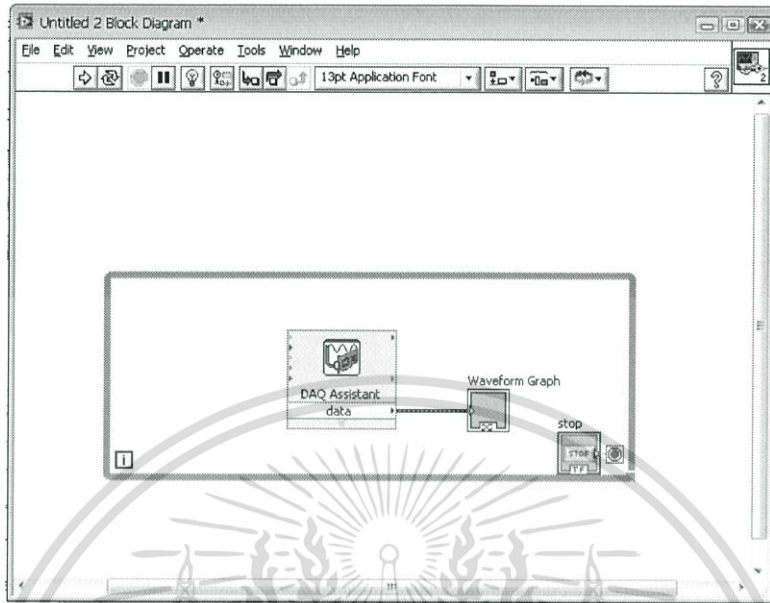
เมื่อกดปุ่ม Finish แล้วจะขึ้นหน้าต่าง DAQ Assistant เพื่อทำการตั้งค่า Sampling Rate ที่ช่อง Samples to Read และช่อง Rate (Hz) รวมถึงการเลือกวิธีการเชื่อมต่อที่ช่อง Terminal Configuration จากนั้นทำการกดปุ่ม OK ดังรูปที่ ข.9



รูปที่ ข.9 หน้าจอ DAQ Assistant [21]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นก็สามารสร้าง Block Diagram ต่างๆเพื่อนำมาใช้ทำงานกับสัญญาณที่ผ่านจากชุดอุปกรณ์ได้

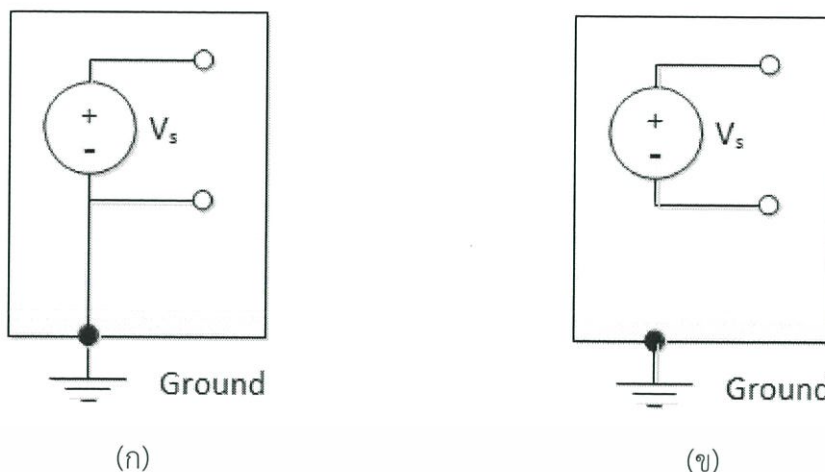


รูปที่ ข.10 ทำการเขียน Block Diagram โดยรับสัญญาณอินพุตจาก DAQ [21]

2. แหล่งสัญญาณทางไฟฟ้า

สัญญาณทางไฟฟ้ามีหลายรูปแบบซึ่งแหล่งจ่ายอาจจะมาจากตัวส่งสัญญาณหรือจากเซ็นเซอร์ ซึ่งสัญญาณแหล่งนี้จะเป็นตัวแสดงถึงปริมาณทางกายภาพของสิ่งที่วัด เช่น การวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิ้ล หรือ RTD, การวัดแรงดันด้วยโพลดเซลล์, การวัดแสงด้วยโฟโตไดโอดเซ็นเซอร์ ซึ่งในที่สุดสัญญาณอนาล็อกจะต้องถูกแปลงไปเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์ Signal conditioning ก่อนที่จะอ่านค่าด้วยอุปกรณ์ DAQ โดยเราจะเรียกแหล่งกำเนิดสัญญาณประเภทแรงดันไฟฟ้าว่า Voltage source ซึ่งแบ่งออกเป็นสองชนิด ได้แก่ แหล่งสัญญาณแบบต่อกราวด์ (Grounded source) และแบบไม่ต่อกราวด์ (Floating source)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.11 (ก) แหล่งสัญญาณแบบต่อกราวด์ และ (ข) แบบไม่ต่อกราวด์ [23]

3. การปรับคุณภาพสัญญาณ (Signal conditioning)

เป็นอุปกรณ์เสริมที่ทำหน้าที่ปรับสัญญาณให้เหมาะสมก่อนวัดด้วยอุปกรณ์ DAQ เพื่อให้ได้ผลการวัดที่เที่ยงตรงและปลอดภัยมากยิ่งขึ้น ซึ่งอุปกรณ์ Signal conditioning โดยทั่วไปคือ Amplification, Excitation, Bridge configuration และ Filtering

ขั้นตอนการแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล

ในอุปกรณ์ DAQ จะมีช่องสำหรับวัดสัญญาณอนาล็อกหรือดิจิทัล ซึ่งจะวัดสัญญาณในช่วง $\pm 10V$ การนำสัญญาณอนาล็อกเข้ามาอยู่ในคอมพิวเตอร์ต้องเป็นฟอร์แมตแบบดิจิทัลโดยจะต้องผ่านอุปกรณ์แปลงสัญญาณที่เรียกว่า Analog-to-Digital converter (ADC) ซึ่งเป็นกระบวนการในการนำค่าทางดิจิทัล(มีจำนวนจำกัด) มาเขียนแบบค่าอนาล็อก(มีจำนวนไม่จำกัด) ซึ่งจะมีการปรับค่าอุปกรณ์ในการตั้งสัญญาณดังนี้

1. Sampling กระบวนการนี้เป็นการเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกเป็นเส้นกราฟต่อเนื่องให้กลายเป็นจุดของข้อมูลดิจิทัลที่ไม่ต่อเนื่องด้วยวิธีสุ่มสัญญาณที่เรียกว่า Sampling ด้วยอัตราคงที่ ยิ่งการสุ่มสัญญาณเร็วขึ้น จุดที่ได้จากการสุ่มก็จะหนาแน่นมากขึ้น ทำให้เก็บความละเอียดของเส้นกราฟได้ใกล้เคียงต้นฉบับมากขึ้น ความเร็วในการสุ่มสัญญาณเรียกว่า Sampling rate มีหน่วยเป็นจุดต่อวินาที (sample/s) หรือ Hz

2. Resolution ในการ Sampling คือการสุ่มสัญญาณทางแกนเวลา (แกนนอน) แต่สำหรับแกนตั้งซึ่งจะเป็นค่าของสัญญาณก็จะต้องทำการสุ่มเช่นกัน เพื่อเปลี่ยนให้เป็นค่าทางดิจิทัลด้วยวิธีการปัดค่าทศนิยมขึ้นหรือลง เรียกขั้นตอนนี้ว่า Quantization หรือ Digitization จะขึ้นอยู่กับ

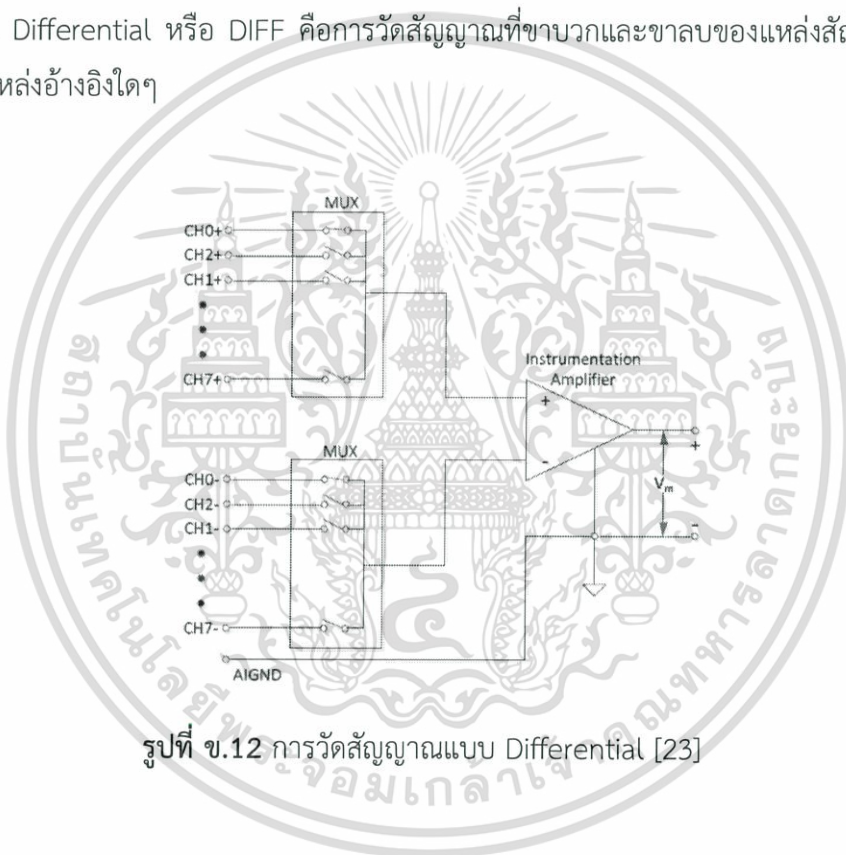
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความละเอียดของ ADC ถ้ามีความละเอียดมากก็สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณอนาล็อกให้ละเอียดยิ่งขึ้น (ความละเอียดของ ADC คือจำนวนบิต)

3. Range คือการกำหนดความกว้างในขั้นตอนการทำ Digitization การตั้ง Range แคบจะสามารถตรวจวัดสัญญาณขนาดเล็กได้ดี แต่ไม่สามารถวัดสัญญาณที่มีขนาดเกินระดับ Range ที่ตั้งไว้ได้ สำหรับอุปกรณ์ DAQ บางรุ่นจะไม่สามารถปรับตั้ง Range ได้ นอกเหนือจากมาตรฐาน $\pm 10V$

4. ประเภทของระบบการวัดสัญญาณ

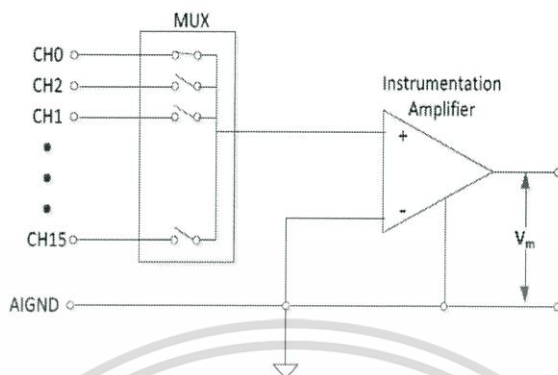
1. Differential หรือ DIFF คือการวัดสัญญาณที่ขาบวกและขาลบของแหล่งสัญญาณไม่ได้ต่ออยู่กับแหล่งอ้างอิงใดๆ



รูปที่ ข.12 การวัดสัญญาณแบบ Differential [23]

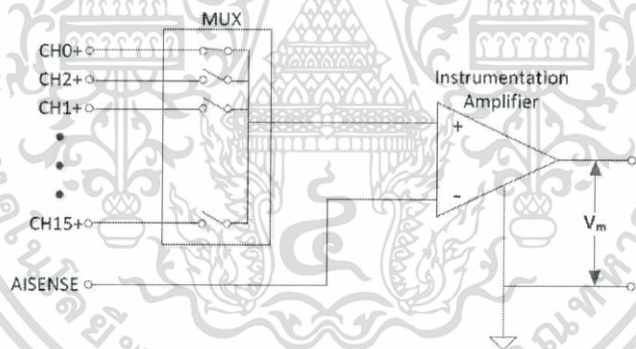
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Referenced Single-Ended หรือ RSE คือการวัดสัญญาณเทียบกับ AIGND ซึ่งใช้เป็นจุดอ้างอิง



รูปที่ ข.13 การวัดสัญญาณแบบ Referenced Single-Ended [23]

3. On-Referenced Single-Ended หรือ NRSE เป็นระบบที่คล้ายกับ RSE แต่ใช้จุดอ้างอิงเป็น AISENSE (Analog Input Sense) ซึ่งศักย์ไฟฟ้าที่จุดนี้จะแตกต่างกับ AIGND



รูปที่ ข.14 การวัดสัญญาณแบบ On-Referenced Single-Ended [23]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค

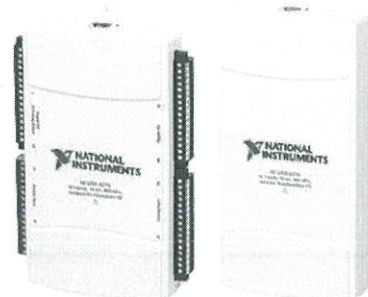
คุณลักษณะเฉพาะของเครื่องมือวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NI USB-6212

16-Bit, 400 kS/s M Series MIO DAQ, Bus-Powered

- 16 analog input (16-Bit, 400 kS/s)
- 2 analog output (16-Bit, 250 kS/s); 32 digital I/O; two 32-bit counters
- Bus-powered USB for high mobility; built-in signal connectivity
- NI signal streaming for sustained high-speed data streams over USB; OEM version available
- Compatible with LabVIEW, ANSI C/C++, C#, Visual Basic .NET, and Visual Basic 6.0
- NI-DAQmx driver software and LabVIEW SignalExpress LE interactive data-logging software



The National Instruments USB-6212 is a bus-powered USB M Series multifunction data acquisition (DAQ) module optimized for superior accuracy at fast sampling rates. It offers 16 analog inputs; 400 kS/s sampling rate; two analog outputs; 32 digital I/O lines; four programmable input ranges (± 0.2 to ± 10 V) per channel; digital triggering; and two counter/timers.

The NI USB-6212 is designed specifically for mobile or space-constrained applications. Plug-and-play installation minimizes configuration and setup time, while direct screw-terminal connectivity keeps costs down and simplifies signal connections. This product does not require external power.

The USB-6212 also features new NI signal streaming technology, which gives you DMA-like bidirectional high-speed streaming of data across the USB bus. For more information about NI signal streaming, view the Resources tab.

Each module features an OEM version. Check the resources tab or use the left navigation to get pricing and technical information.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Driver Software

NI-DAQmx driver and measurement services software provides easy-to-use configuration and programming interfaces with features such as DAQ Assistant to help reduce development time. Browse the information in the Resources tab to learn more about driver software or download a driver. M Series devices are not compatible with the Traditional NI-DAQ (Legacy) driver.

Application Software

Every M Series data acquisition device includes a copy of NI LabVIEW SignalExpress LE data-logging software, so you can quickly acquire, analyze, and present data without programming. In addition to LabVIEW SignalExpress, M Series data acquisition devices are compatible with the following versions (or later) of NI application software – LabVIEW 7.1, LabWindows™/CVI 7.x, or Measurement Studio 7.x. M Series data acquisition devices are also compatible with Visual Studio .NET, C/C++, and Visual Basic 6.0.

The mark LabWindows is used under a license from Microsoft Corporation.

Specifications Summary

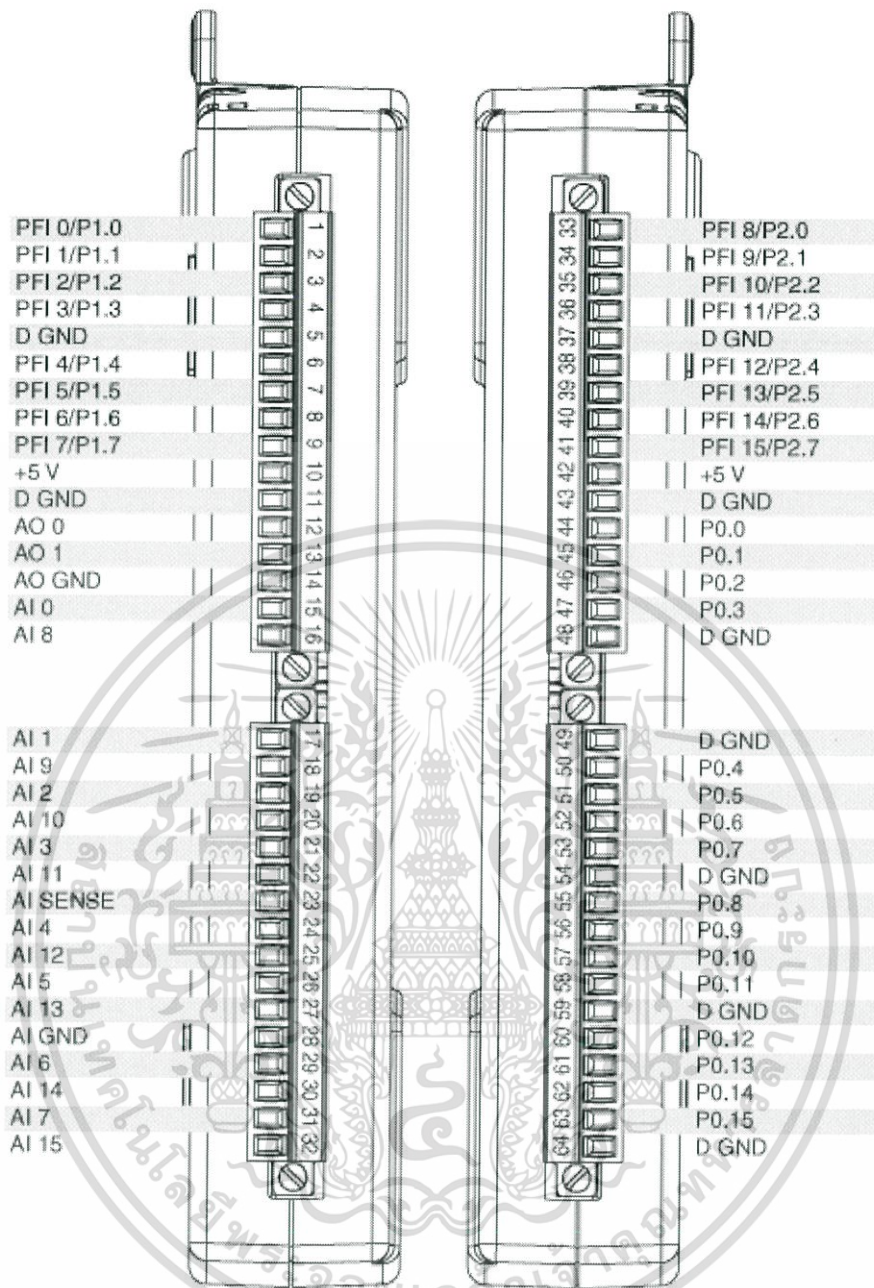
General	
Product Name	USB-6212
Product Family	Multifunction Data Acquisition
Form Factor	USB
Part Number	780107-01
Operating System/Target	Windows
DAQ Product Family	M Series
Measurement Type	Quadrature encoder , Voltage
RoHS Compliant	Yes
Analog Input	

Channels	16 , 8
Single-Ended Channels	16
Differential Channels	8
Resolution	16 bits
Sample Rate	400 kS/s
Max Voltage	10 V
Maximum Voltage Range	-10 V , 10 V
Maximum Voltage Range Accuracy	2.69 mV
Maximum Voltage Range Sensitivity	91.6 μ V
Minimum Voltage Range	-200 mV , 200 mV
Minimum Voltage Range Accuracy	0.088 mV
Minimum Voltage Range Sensitivity	4.8 μ V
Number of Ranges	4
Simultaneous Sampling	No
On-Board Memory	4095 samples
Analog Output	
Channels	2
Resolution	16 bits
Max Voltage	10 V
Maximum Voltage Range	-10 V , 10 V
Maximum Voltage Range Accuracy	3.512 mV
Minimum Voltage Range	-10 V , 10 V
Minimum Voltage Range Accuracy	3.512 mV
Update Rate	250 kS/s
Current Drive Single	2 mA
Current Drive All	4 mA
Digital I/O	
Bidirectional Channels	32
Input-Only Channels	0
Output-Only Channels	0
Number of Channels	32 , 0 , 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Timing	Software
Logic Levels	TTL
Input Current Flow	Sinking
Output Current Flow	Sourcing
Programmable Input Filters	No
Supports Programmable Power-Up States?	Yes
Current Drive Single	16 mA
Current Drive All	50 mA
Watchdog Timer	No
Supports Handshaking I/O?	No
Supports Pattern I/O?	No
Maximum Input Range	0 V , 5.25 V
Maximum Output Range	0 V , 3.8 V
Counter/Timers	
Counters	2
Buffered Operations	Yes
Debouncing/Glitch Removal	Yes
GPS Synchronization	No
Maximum Range	0 V , 5.25 V
Max Source Frequency	80 MHz
Pulse Generation	Yes
Resolution	32 bits
Timebase Stability	50 ppm
Logic Levels	TTL
Physical Specifications	
Length	16.9 cm
Width	9.4 cm
Height	3.1 cm
I/O Connector	Screw terminals

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

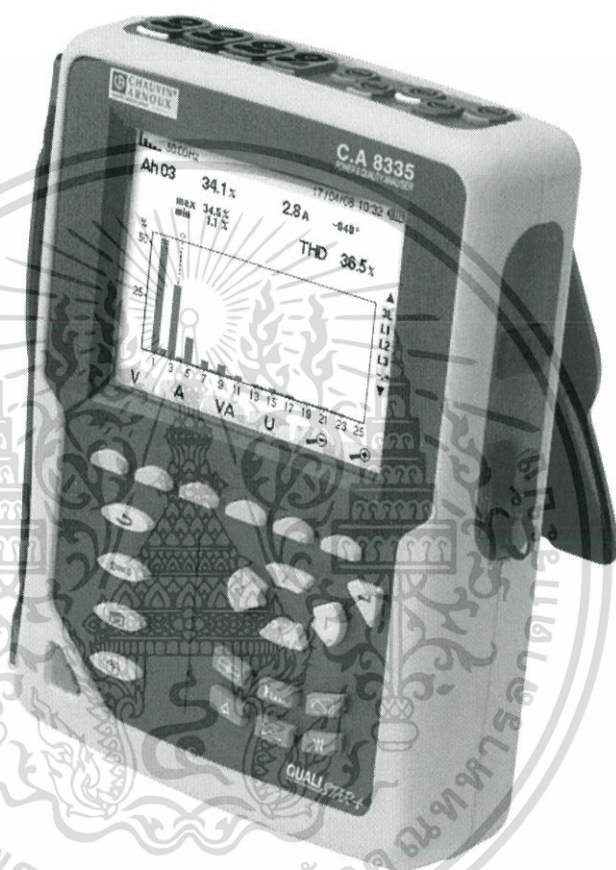


รูปที่ ค.1 ตำแหน่ง PIN ของ DAQ รุ่น 6212 [24]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THREE-PHASE ELECTRICAL
NETWORKS ANALYSER

C.A 8335 QUALISTAR+



ENGLISH

User's manual

**CHAUVIN®
ARNOUX**
CHAUVIN ARNOUX GROUP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15. GENERAL SPECIFICATIONS

15.1. HOUSING

Housing	rigid shell overmoulded with a yellow thermo-adhesive elastomer.
Connectors	5 voltage measurement sockets. 4 special current connectors (automatic recognition of current sensors). one connector for the specific mains power unit. one connector for the USB link. one connector for the SD memory card. This connector is located in the battery compartment on the back of the C.A 8335.
Keys	function, navigation, and mode. Can be used with gloves on.
Metal ring	located on the back of the C.A 8335, used to padlock the device.
Stand	to hold the device in an inclined position.
Battery cover	to access the battery, on the back of the instrument.
Dimensions	Overall: 200 mm x 250 mm x 70 mm Screen: 320 pixels x 240 pixels; 118 mm x 90 mm; diagonal 148 mm.
Weight	1950 g (with battery).

15.2. POWER SUPPLY

15.2.1. MAINS POWER SUPPLY

Type	specific external mains power supply unit: 600 Vrms, category IV – 1000 Vrms, category III.
Range for use	230 V \pm 10 % @ 50 Hz and 120 V \pm 10 % @ 60 Hz.
Maximum input power	65 VA.

15.2.2. BATTERY POWER SUPPLY

The C.A 8335 can be used without a connection to mains power. The battery also makes it possible to use the Qualistar+ during power outages.

Battery	8 NiMH storage cells.
Capacity	4000 mAh nominal.
Nominal voltage	1.2 V per cell, or a total of 9.6 V.
Life	at least 300 charge-discharge cycles.
Charging current	1 A.
Charging time	approx. 5 hours.
Service T°	[0 °C ; 50 °C]
Charging T°	[10 °C ; 40 °C]
Storage T°	storage \leq 30 days: [-20 °C ; 50 °C] storage for 30 to 90 days: [-20 °C ; 40 °C] storage for 90 days to 1 year: [-20 °C ; 30 °C]

15.2.3. CONSUMPTION

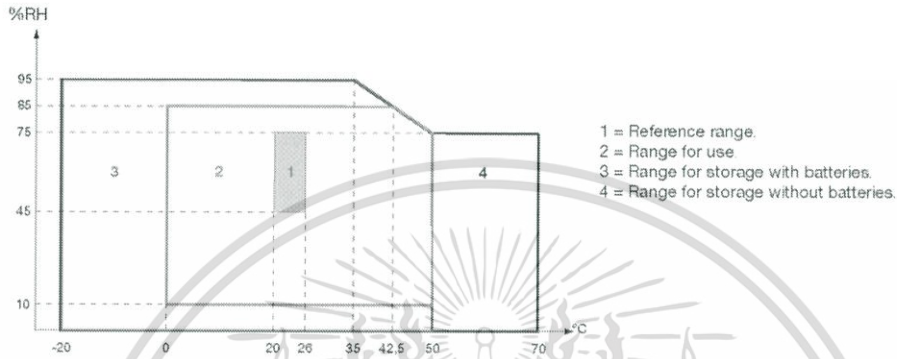
At 50% luminosity	320 mA
In display-off stand-by mode	130 mA

15.3. RANGE FOR USE

15.3.1. ENVIRONMENTAL CONDITIONS

15.3.1.1. Climatic conditions

The following chart shows conditions relating to ambient temperature and humidity:



Caution: at temperatures above 40°C, the device must be powered by the battery alone **OR** by the mains power unit alone, use of the device with both the battery **AND** the mains power unit is **prohibited**.

15.3.1.2. Altitude

Use: [0 m ; 2 000 m]

Storage: [0 m ; 10 000 m]

15.3.2. MECHANICAL CONDITIONS

Under IEC 61010-1, the C A 8335 is regarded as a **PORTABLE DEVICE (HAND-CARRIED)**.

- Operating position: any position
- Reference position in operation: on a horizontal plane, resting on its stand or lying flat.
- Rigidity (IEC 61010-1): force of 30 N applied to any part of the housing, the device being supported (at 40°C).
- Fall (IEC 61010-1): 1 m in presumed worst-case position; the requirement is no permanent mechanical damage and no functional degradation.
- Tightness: IP 50 as per NF EN 60529 A1 (IP2X electrical protection for the terminals).

15.3.3. ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY

15.3.3.1. Immunity as per IEC 61326-1-2006

- Immunity to electrostatic discharges (as per IEC 61000-4-2)
 - 1st level: Severity: 4 kV in contact
 - Requirements: CRITERION A
 - 2nd level: Severity: 8 kV in air
 - Requirements: CRITERION A
- Immunity to radiated fields (as per IEC 61000-4-3 and IEC 61000-4-8)
 - Severity: 10 V m⁻¹
 - Requirements: CRITERION B (influence on the THDA: ± 2.5% for the standard current system and ± 5% for the Rogowski current system).

- Immunity to rapid transients (IEC 61000-4-4)
Severity: 2 kV on voltage inputs and power supply
1 kV on current input
Requirements: CRITERION A
- Immunity to electric shocks (as per IEC 61000-4-5)
Severity: 2 kV on voltage inputs in differential mode
1 kV on voltage inputs in common mode
Requirements: CRITERION A
- Conducted RF interference (as per IEC 61000-4-6)
Severity: 3 V on voltage inputs and power supply
Requirements: CRITERION A
- Voltage interruption (as per IEC 61000-4-11)
Severity: 100% loss over one period of the power supply
Requirements: CRITERION A

15.3.3.2. Emissions as per IEC 61326:1-2006

Class A equipment.

15.4. USER SAFETY

- Application of safety rules as per IEC standard 61010-1 (protective impedances on voltage inputs)
- Pollution type 2
- Installation category IV* and service voltage 300 Vrms.
- Double insulation on I/O with respect to earth (⚡ symbol)
- Double insulation between the voltage inputs and power supply and the other I/O (⚡ symbol).
- Indoor use.

(*) Caution: the assigned voltage and measurement category of the "device + current sensor" system may differ from those of the device alone.

- the use of AmpFLEX™ or MiniFLEX or C clamps keeps the "device + current sensor" system at 600 V category IV or 1000 V category III.
- the use of PAC, MN93, MN93A, or E3N clamps downgrades the "device + current sensor" system to 300 V category IV or 600 V category III.
- the use of the 5 A adapter unit downgrades the "device + current sensor" system to 150 V category IV or 300 V category III.

16. FUNCTIONAL CHARACTERISTICS

16.1. REFERENCE CONDITIONS

This table indicates the reference conditions of the quantities to be used by default in the characteristics indicated in § 16.2.4.

Parameter	Reference conditions
Ambient temperature	$23 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$
Humidity (relative humidity)	[45 %; 75 %]
Atmospheric pressure	[860 hPa ; 1060 hPa]
Phase-to-neutral voltage	[50 V _{RMS} ; 1000 V _{RMS}] without DC (< 0.5 %)
Standard current circuit input voltage (Except FLEX type current sensors)	[30 mV _{RMS} ; 1 V _{RMS}] without DC (< 0.5 %) <ul style="list-style-type: none"> ■ $A_{\text{nom}} \leftrightarrow 1 \text{ V}_{\text{RMS}}$ ■ $3 \times A_{\text{nom}} \leftrightarrow 100 \leftrightarrow 30 \text{ mV}_{\text{RMS}}$
Rogowski current circuit input voltage (FLEX type current sensors)	[11.73 mV _{RMS} ; 117.3 mV _{RMS}] without DC (< 0.5 %) <ul style="list-style-type: none"> ■ $3000 \text{ A}_{\text{RMS}} \leftrightarrow 117.3 \text{ mV}_{\text{RMS}}$ to 50 Hz ■ $300 \text{ A}_{\text{RMS}} \leftrightarrow 11.73 \text{ mV}_{\text{RMS}}$ to 50 Hz
Frequency of electrical network	50 Hz \pm 0.1 Hz or 60 Hz \pm 0.1 Hz
Phase shift	0° (active power and energy) 90° (reactive power and energy)
Hamonics	< 0.1 %
Voltage unbalance	< 10 %
Voltage ratio	1 (unity)
Current ratio	1 (unity)
Power supply	Battery only
Electric field	< 1 V m ⁻¹
Magnetic field	< 40 A m ⁻¹

The values of A_{nom} are given in the table below.

Current sensor (except FLEX)	Nominal RMS current (A_{nom}) [A]
C clamp	1000
PAC clamp	1000
MN93 clamp	200
E3N clamp (10 mV/A)	100
MN93A clamp (100 A)	100
E3N clamp (100 mV/A)	10
MN93A clamp (5 A)	5
5 A adapter	5

16.2. ELECTRICAL CHARACTERISTICS

16.2.1. VOLTAGE INPUT CHARACTERISTICS

Range for use:	0 V _{RMS} to 1000 V _{RMS} AC+DC phase-to-neutral and neutral-to-earth. 0 V _{RMS} to 2000 V _{RMS} AC+DC phase-to-phase. (on condition of compliance with 1000 V _{RMS} with respect to earth in Cat III).
Input impedance:	969 k Ω (between phase and neutral and between neutral and earth).
Admissible overload:	1200 V _{RMS} constant. 2000 V _{RMS} for one second.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RIGOL

Data Sheet

For U.K Sales

TELONIC
TEST INSTRUMENTS & POWER SUPPLIES
info@telonic.co.uk Tel:0118 9786911

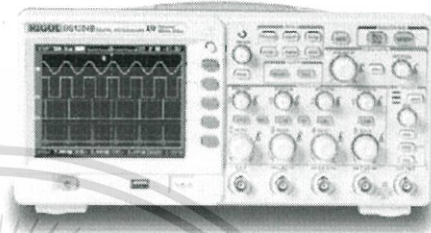
DS1000B Series Digital Oscilloscopes

DS1074B, DS1104B, DS1204B

Product Overview

DS1000B series oscilloscopes are designed with four analog channels and 1 external trigger channel, which can capture multi-channel signal simultaneously and meet industrial needs.

The powerful trigger and analyzer abilities make it easy to capture and analyze waves. Clear LCD displays and math operations enable users to view and analyze signal faster and more clearly.



Applications

- Electronic Circuit Design and Test
- View Transient Signal
- Manufacturing Test and Quality Control
- Education & Scientific Research
- Industry Control
- Design & Analysis of Mechanical and Electrical Products

Main Features

- Four analog channels, 200MHz maximum bandwidth, 2GSa/s maximum real-time sample rate, 50GSa/s maximum equivalent sample rate
- 5.7 inch, QVGA (320×240), 64K colors TFT LCD and LED backlight source technology enable the wave displays more vivid with lower power dissipation and longer life
- Conform to LXI consortium instrument standard class C, which enable to create and reset testing system fast, economically and efficiently
- Abundant trigger types: Edge, Pulse Width, Video, Pattern and Alternative triggers
- Unique adjustable trigger sensitivity enables to meet different demands
- Built-in help menu enables information getting more convenient
- Multiple Language menus, support Chinese & English input
- Support U disk and local files storage
- Waveform intensity can be adjusted
- To display a signal automatically by AUTO
- Pop-up menu makes it easy to read and use
- Provide a key measure, a key store/print shortcut keys
- Enable to measure 22 types of wave parameters and track measurements via cursor automatically
- Unique waveform record and replay function
- Fine delayed scan function
- Built-in FFT function, hold practical digital filters
- Pass/Fail detection function
- Math operations available to multiple waves
- Powerful PC application software UltraScope
- Standard configure interface: USB Device, Dual USB Host, LAN, support U disk storage and PictBridge print standard
- Support for remote command control

Easy to Use Design

Aug. 2011

RIGOL Technologies, Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Specifications

All specifications apply to the DS1000B Series Oscilloscopes unless noted otherwise. To meet these specifications, two conditions must first be met:

- The instrument must have been operating continuously for thirty minutes within the specified operating temperature.
- Must perform Self Calibration operation, accessible through the Utility menu, if the operating temperature changes by more than 5°C.

All specifications are guaranteed unless noted "typical".

Technical Specifications

Acquisition		
Sample Modes	Real-Time Sample	Equivalent Sample
Sample Rate	2 GSa/s (half channel ^[1]) 1 GSa/s (each channel)	50 GSa/s ^[2]
Averages	A waveform will be displayed one time while all the channels finish N times sample, N could be selectable from 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 and 256	
Inputs		
Input Coupling	DC, AC, GND	
Input Impedance	1MΩ±2.0% The input capacity is 18pF±3pF	
Probe Attenuation Factors	0.001X, 0.01X, 0.1X, 1X, 2X, 5X, 10X, 20X, 50X, 100X, 200X, 500X, 1000X	
Maximum Input Voltage	Maximum Input Voltage of the analog channel: CAT I 300Vrms, 1000Vpk; transient overvoltage 1000Vpk CAT II 100Vrms, 1000Vpk RP2200 10:1, CAT II 300Vrms RP3200 10:1, CAT II 300Vrms RP3300 10:1, CAT II 300Vrms	
Time Delay between Channel (typical)	500ps	
Horizontal		
Sample Rate Range	3.65Sa/s-2GSa/s (Real-Time), 3.65Sa/s-50GSa/s (Equivalent-time)	
Waveform Interpolation	Sin(x)/x	
Record Length	Up to 16k samples for half channel ^[1] 8k samples for each channel	
Scanning Speed Range (Sec/div)	1ns/div~50s/div, DS1204B 2ns/div~50s/div, DS1104B 5ns/div~50s/div, DS1074B 1-2-5 Sequence	
Sample Rate and Delay Time Accuracy	±50ppm (any time interval ≥1ms)	
Delta Time Measurement Accuracy (Full Bandwidth)	Single: ±(1 sample interval + 50ppm × reading + 0.6 ns) > 16 averages: ±(1sample interval + 50ppm × reading + 0.4 ns)	
Vertical		
A/D Converter	8-bit resolution, all channels sample simultaneously	
Volts/div Range	2mV/div-10V/div at input BNC	
Offset Range	±40V(245mV/div~10V/div)	

	±2V(2mV/div~245mV/div)	
Equivalent Bandwidth	70MHz(DS1074B) 100MHz(DS1104B) 200MHz(DS1204B)	
Single-shot Bandwidth	70MHz(DS1074B) 100MHz(DS1104B) 200MHz(DS1204B)	
Selectable Analog Bandwidth Limit (typical)	20MHz	
Lower Frequency Response (AC -3dB)	≤5Hz (at input BNC)	
Rise Time at BNC (typical)	<1.75ns, <3.5ns, <5ns, On 200MHz, 100MHz, 70MHz respectively	
DC Gain Accuracy	2mV/div~5mV/div: ±4% (Normal or Average acquisition mode) 10mV/div~10V/div: ±3% (Normal or Average acquisition mode)	
DC Measurement Accuracy Average Acquisition Mode	When vertical displacement is zero, and N ≥ 16: ±(DC Gain Accuracy×reading+0.1div+1mV) When vertical displacement is not zero, and N ≥ 16: ±[DC Gain Accuracy×(reading+ vertical position)+(1% of vertical position)+0.2div] Add 2mV for settings from 1mV/div to 200 mV/div Add 50mV for settings from >200mV/div to 10V/div	
Delta Volts Measurement Accuracy (Average Acquisition Mode)	Under same setting and condition, the voltage difference (ΔV) between any two points in the waves coming from the average of more than 16 waves have been acquired: ±(DC Gain Accuracy×reading + 0.05 div)	
Trigger		
Trigger Sensitivity	0.1div-1.0div (adjustable)	
Trigger Level Range	Internal	±6 divisions from center of screen
	EXT	±1.2V
Trigger Level Accuracy (typical) applicable for the signal of rising and falling time ≥ 20ns	EXT/5	±6V
	Internal	±(0.3div × V/div)(±4 divisions from center of screen)
	EXT	±(6% of setting + 40 mV)
Trigger Offset	EXT/5	±(6% of setting + 200 mV)
	In Normal mode: pre-trigger(storage depth/(2×sample) rate), delayed trigger 1s In Slow Scan mode: pre-trigger 6div, delayed trigger 6div	
Trigger Holdoff Range	100ns~1.5s	
HF Rejection	100kHz ±20%	
LF Rejection	10kHz ±20%	
Set Level to 50% (typical)	When input signal frequency ≥ 50Hz	
Edge Trigger		
Edge Trigger Slope	Rising, Falling, Rising + Falling	
Pulse Width Trigger		
Trigger Condition	(>, <, =) Positive pulse, (>, <, =) Negative pulse	
Pulse Width Range	20ns ~10s	
Video Trigger		
Video Standard	Support for standard NTSC, PAL and SECAM broadcast systems.	
Line Frequency	Line number range: 1~525 (NTSC) and 1~625 (PAL/SECAM)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pattern Trigger		
Pattern setup	H, L, X, $\frac{f}{2}$, $\frac{f}{4}$	
Alternate Trigger		
Trigger on CH1, CH2, CH3, CH4	Edge, Pulse Width, Video	
Measurements		
Cursor	Manual	Voltage difference between cursors (ΔV) Time difference between cursors (ΔT) Reciprocal of ΔT in Hertz ($1/\Delta T$)
	Track	Voltage value for Y-axis waveform Time value for X-axis waveform
	Auto	Cursors are visible for Automatic Measurement
Auto Measure	Vpp, Vamp, Vmax, Vmin, Vtop, Vbase, Vavg, Vrms, Overshoot, Preshoot, Freq, Period, Rise Time, Fall Time, +Width, -Width, +Duty, -Duty, Delay A→B $\frac{f}{2}$, Delay A→B $\frac{f}{4}$, Phase A→B $\frac{f}{2}$, Phase A→B $\frac{f}{4}$	

Remarks:

- [1] Half channel indicates selecting one of the channels in CH1 and CH2, or in CH3 and CH4.
 [2] This is the highest specification, the specific specifications are as follows:
 DS1204B: 50GSa/s
 DS1104B: 25GSa/s
 DS1074B: 10GSa/s



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

General Specifications

Display		
Display Type	5.7 inch. (145 mm) diagonal TFT Liquid Crystal Display	
Display Resolution	320 horizontal × RGB×240 vertical pixels	
Display Color	64k color	
Display Contrast (typical)	150:1	
Backlight Brightness (typical)	300 nit	
Probe Compensator Output		
Output Voltage (typical)	Amplitude, ~3Vpp	
Frequency (typical)	1kHz	
Power Supply		
Supply Voltage	AC, 100~240 V, 45~440Hz, CAT II	
Power Consumption	Less than 50VA	
Fuse	2A, T rating, 250 V	
Environmental		
Ambient Temperature	Operating 10 °C ~ 40 °C	
	Non-operating -20 °C ~ +60 °C	
Cooling Method	Fan force air flow	
Humidity	+35 °C or below: ≤90% relative humidity	
	+35 °C ~ +40 °C: ≤60% relative humidity	
Altitude	Operating 3,000 m or below	
	Non-operating 15,000 m or below	
Mechanical		
Dimensions	Width	325mm
	Height	159mm
	Depth	133 mm
Weight	Without package	3kg
	Packaged	4.3 kg
IP Protection		
IP2X		
Calibration Interval		
The recommended calibration interval is one year		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Features and Benefits

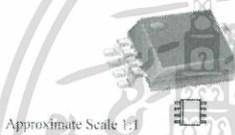
- Low-noise analog signal path
- Device bandwidth is set via the new FILTER pin
- 5 μ s output rise time in response to step input current
- 80 kHz bandwidth
- Total output error 1.5% at $T_A = 25^\circ\text{C}$
- Small footprint, low-profile SOIC8 package
- 1.2 m Ω internal conductor resistance
- 2.1 kVRMS minimum isolation voltage from pins 1-4 to pins 5-8
- 5.0 V, single supply operation
- 66 to 185 mV/A output sensitivity
- Output voltage proportional to AC or DC currents
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Nearly zero magnetic hysteresis
- Ratiometric output from supply voltage



TUV America
Certificate Number
USV 03 05 54214 010



Package: 8 Lead SOIC (suffix LC)



Approximate Scale 1:1

Description

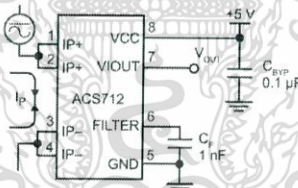
The Allegro™ ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switch-mode power supplies, and overcurrent fault protection. The device is not intended for automotive applications.

The device consists of a precise, low-offset, linear Hall circuit with a copper conduction path located near the surface of the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which the Hall IC converts into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy after packaging.

The output of the device has a positive slope ($>V_{\text{OUT}(Q)}$) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from pins 1 and 2, to pins 3 and 4), which is the path used for current sampling. The internal resistance of this conductive path is 1.2 m Ω typical, providing low power loss. The thickness of the copper conductor allows survival of

Continued on the next page...

Typical Application



Application 1. The ACS712 outputs an analog signal, V_{OUT} that varies linearly with the uni- or bi-directional AC or DC primary sampled current, I_p , within the range specified. C_f is recommended for noise management, with values that depend on the application.

ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Description (continued)

the device at up to 5 \times overcurrent conditions. The terminals of the conductive path are electrically isolated from the signal leads (pins 5 through 8). This allows the ACS712 to be used in applications requiring electrical isolation without the use of opto-isolators or other costly isolation techniques.

The ACS712 is provided in a small, surface mount SOIC8 package. The leadframe is plated with 100% matte tin, which is compatible with standard lead (Pb) free printed circuit board assembly processes. Internally, the device is Pb-free, except for flip-chip high-temperature Pb-based solder balls, currently exempt from RoHS. The device is fully calibrated prior to shipment from the factory.

Selection Guide

Part Number	Packing*	T _A (°C)	Optimized Range, I _p (A)	Sensitivity, Sens (Typ) (mV/A)
ACS712ELCTR-05B-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±5	165
ACS712ELCTR-20A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±20	100
ACS712ELCTR-30A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±30	66

*Contact Allegro for additional packing options.

Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V _{CC}		8	V
Reverse Supply Voltage	V _{RECC}		-0.1	V
Output Voltage	V _{OUT}		8	V
Reverse Output Voltage	V _{REOUT}		-0.1	V
Output Current Source	I _{OUT(SOURCE)}		3	mA
Output Current Sink	I _{OUT(SINK)}		10	mA
Overcurrent Transient Tolerance	I _{OC}	1 pulse, 100 ms	100	A
Nominal Operating Ambient Temperature	T _A	Range E	-40 to 85	°C
Maximum Junction Temperature	T _{J(max)}		165	°C
Storage Temperature	T _{STG}		-65 to 170	°C

Isolation Characteristics

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Unit
Dielectric Strength Test Voltage*	V _{ISO}	Agency type-tested for 60 seconds per UL standard 60950-1, 1st Edition	2100	VAC
Working Voltage for Basic Isolation	V _{WV(B)}	For basic (single) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	354	VDC or V _{pk}
Working Voltage for Reinforced Isolation	V _{WV(R)}	For reinforced (double) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	184	VDC or V _{pk}

* Allegro does not conduct 60-second testing. It is done only during the UL certification process.

Parameter	Specification
Fire and Electric Shock	CAN/CSA-C22.2 No. 60950-1-03 UL 60950-1:2003 EN 60950-1:2001



Allegro MicroSystems, LLC
115 Northwood Circle
Worcester, Massachusetts 01415-0126 U.S.A.
1.508.651.5001; www.allegromicro.com

2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACS712

**Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor**

COMMON OPERATING CHARACTERISTICS¹ over full range of T_A , $C_F = 1$ nF, and $V_{CC} = 5$ V, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
ELECTRICAL CHARACTERISTICS						
Supply Voltage	V_{CC}		4.5	5.0	5.5	V
Supply Current	I_{CC}	$V_{DD} = 5.0$ V, output open	–	10	13	mA
Output Capacitance Load	C_{LOAD}	VIOUT to GND	–	–	10	nF
Output Resistive Load	R_{LOAD}	VIOUT to GND	4.7	–	–	k Ω
Primary Conductor Resistance	$R_{PRIMARY}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	–	1.2	–	m Ω
Rise Time	t_r	$I_p = I_p(\text{max})$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $C_{OUT} = \text{open}$	–	3.5	–	μs
Frequency Bandwidth	f	–3 dB, $T_A = 25^\circ\text{C}$, I_p is 10 A peak-to-peak	–	80	–	kHz
Nonlinearity	E_{LIN}	Over full range of I_p	–	1.5	–	%
Symmetry	E_{SYM}	Over full range of I_p	98	100	102	%
Zero Current Output Voltage	$V_{IOUT(0)}$	Bidirectional; $I_c = 0$ A, $T_A = 25^\circ\text{C}$	–	$V_{CC} \times 0.5$	–	V
Power-On Time	t_{PO}	Output reaches 90% of steady-state level, $T_A = 25^\circ\text{C}$, 20 A present on leadframe	–	35	–	μs
Magnetic Coupling ²			–	12	–	G/A
Internal Filter Resistance ³	$R_{F(INT)}$		–	1.7	–	k Ω

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_p , and ambient, T_A , and internal leadframe temperatures, T_{LF} , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(\text{max})}$, is not exceeded.

²IG = 0.1 mT.

³ $R_{F(INT)}$ forms an RC circuit via the FILTER pin.

COMMON THERMAL CHARACTERISTICS¹

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Operating Internal Leadframe Temperature	T_{LF}	E range	–40	–	85	$^\circ\text{C}$
Junction-to-Lead Thermal Resistance ²	$R_{\theta JL}$	Mounted on the Allegro ASEQ 712 evaluation board			5	$^\circ\text{C/W}$
Junction-to-Ambient Thermal Resistance	$R_{\theta JA}$	Mounted on the Allegro 85-0322 evaluation board, includes the power consumed by the board			23	$^\circ\text{C/W}$

¹Additional thermal information is available on the Allegro website.

²The Allegro evaluation board has 1500 mm² of 2 oz. copper on each side, connected to pins 1 and 2, and to pins 3 and 4, with thermal vias connecting the layers. Performance values include the power consumed by the PCB. Further details on the board are available from the Frequently Asked Questions document on our website. Further information about board design and thermal performance also can be found in the Applications Information section of this datasheet.



Allegro MicroSystems, LLC
115 Northeast Cut-off
Worcester, Massachusetts 01115-0186 U.S.A.
1-508-653-5000, www.allegromicro.com

4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACS712

**Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor**

x05B PERFORMANCE CHARACTERISTICS¹ $T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C , $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P		-5	-	5	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_P , $T_A = 25^\circ\text{C}$	180	185	190	mV/A
Noise	$V_{\text{NOISE(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^\circ\text{C}$, 185 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{\text{OUT}} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	-	21	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{\text{OUT(IG)}}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 25°C	-	-0.26	-	mV/°C
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	-	-0.08	-	mV/°C
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 25°C	-	0.054	-	mV/A/°C
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	-	-0.008	-	mV/A/°C
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_P = \pm 5\text{ A}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	± 1.5	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(\text{max})}$, is not exceeded.

²Percentage of I_P , with $I_P = 5\text{ A}$. Output filtered.

x20A PERFORMANCE CHARACTERISTICS¹ $T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C , $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P		-20	-	20	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_P , $T_A = 25^\circ\text{C}$	96	100	104	mV/A
Noise	$V_{\text{NOISE(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^\circ\text{C}$, 100 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{\text{OUT}} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	-	11	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{\text{OUT(IG)}}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 25°C	-	-0.34	-	mV/°C
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	-	-0.07	-	mV/°C
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 25°C	-	0.017	-	mV/A/°C
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	-	-0.004	-	mV/A/°C
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_P = \pm 20\text{ A}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	± 1.5	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(\text{max})}$, is not exceeded.

²Percentage of I_P , with $I_P = 20\text{ A}$. Output filtered.

x30A PERFORMANCE CHARACTERISTICS¹ $T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C , $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P		-30	-	30	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_P , $T_A = 25^\circ\text{C}$	63	66	69	mV/A
Noise	$V_{\text{NOISE(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^\circ\text{C}$, 66 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{\text{OUT}} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	-	7	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{\text{OUT(IG)}}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 25°C	-	-0.35	-	mV/°C
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	-	-0.08	-	mV/°C
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 25°C	-	0.007	-	mV/A/°C
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	-	-0.002	-	mV/A/°C
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_P = \pm 30\text{ A}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	± 1.5	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(\text{max})}$, is not exceeded.

²Percentage of I_P , with $I_P = 30\text{ A}$. Output filtered.



Allegro MicroSystems, LLC
115 North East Street
Worcester, Massachusetts 01415-0136 U.S.A.
1.508.653.5001; www.allegromicro.com

5

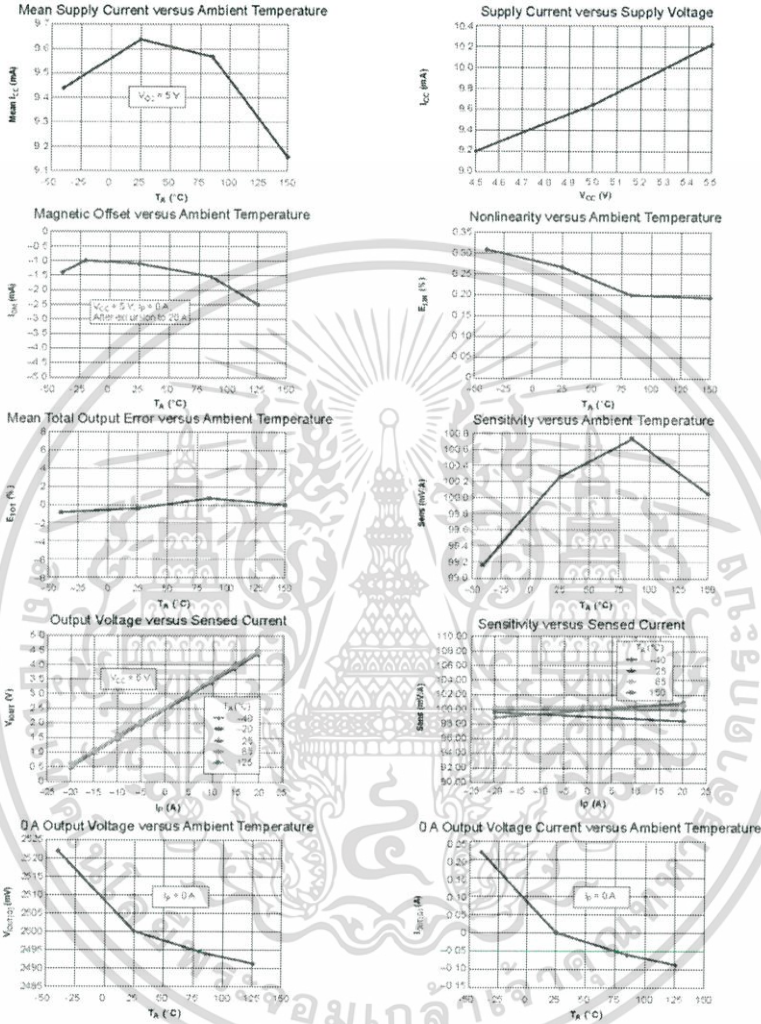
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACS712

*Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*

Characteristic Performance

$I_p = 20\text{ A}$, unless otherwise specified



Allegro MicroSystems, LLC
115 Northeast Cutoff
Worcester, Massachusetts 01115-0106 U.S.A.
1-508-651-0001; www.allegromicro.com

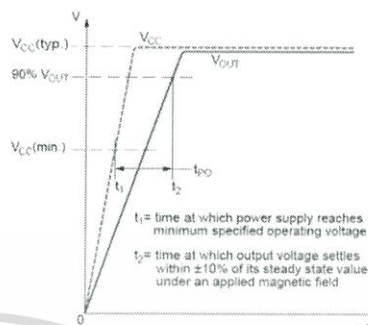
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACS712

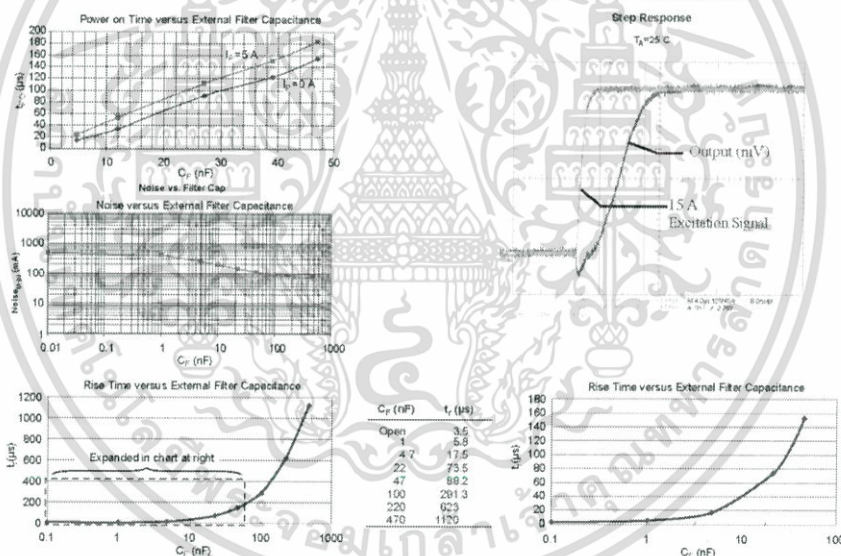
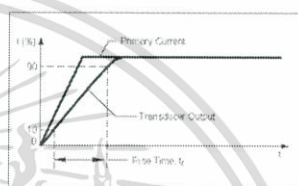
Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Definitions of Dynamic Response Characteristics

Power-On Time (t_{PO}). When the supply is ramped to its operating voltage, the device requires a finite time to power its internal components before responding to an input magnetic field. Power-On Time, t_{PO} , is defined as the time it takes for the output voltage to settle within $\pm 10\%$ of its steady state value under an applied magnetic field, after the power supply has reached its minimum specified operating voltage, $V_{CC}(\text{min})$, as shown in the chart at right.



Rise time (t_r). The time interval between a) when the device reaches 10% of its full scale value, and b) when it reaches 90% of its full scale value. The rise time to a step response is used to derive the bandwidth of the device, in which $f(-3 \text{ dB}) = 0.35/t_r$. Both t_r and t_{RESPONSE} are detrimentally affected by eddy current losses observed in the conductive IC ground plane.



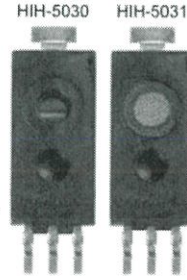
Allegro MicroSystems, LLC
 115 Northeast Cutler
 Worcester, Massachusetts 01815-0036 U.S.A.
 1 508.853.5000, www.allegromicro.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Honeywell

HIH-5030/5031 Series

Low Voltage Humidity Sensors



DESCRIPTION

The HIH-5030/5031 Series Low Voltage Humidity Sensors operate down to 2.7 Vdc, often ideal in battery-powered systems where the supply is a nominal 3 Vdc.

The HIH-5030/5031 complements our existing line of 5 Vdc SMD (Surface Mount Device) humidity sensors. SMD packaging on tape and reel allows for use in high volume, automated pick and place manufacturing, eliminating lead misalignment to printed circuit board through-holes.

The HIH-5030/5031 Series Humidity Sensors are designed specifically for high volume OEM (Original Equipment Manufacturer) users.

Direct input to a controller or other device is made possible by this sensor's near linear voltage output. With a typical current draw of only 200 μ A, the HIH-5030/5031 Series is ideally suited for many low drain, battery operated systems.

Tight sensor interchangeability reduces or eliminates OEM production calibration costs.

FEATURES

- Operates down to 2.7 Vdc, often ideal in battery-powered systems where the supply is a nominal 3 Vdc.
- Tape and reel packaging allows for use in high volume pick and place manufacturing (1,000 units per tape and reel)
- Molded thermoset plastic housing
- Near linear voltage output vs %RH
- Laser trimmed interchangeability
- Low power design
- Enhanced accuracy
- Fast response time
- Stable, low drift performance
- Chemically resistant

The HIH-5030/5031 Series delivers instrumentation-quality RH (Relative Humidity) sensing performance in a competitively priced, solderable SMD.

The HIH-5030 is a covered integrated circuit humidity sensor. The HIH-5031 is a covered, condensation-resistant, integrated circuit humidity sensor that is factory-fitted with a hydrophobic filter allowing it to be used in many condensing environments including industrial, medical and commercial applications.

The RH sensor uses a laser trimmed, thermoset polymer capacitive sensing element with on-chip integrated signal conditioning.

The sensing element's multilayer construction provides excellent resistance to most application hazards such as condensation, dust, dirt, oils and common environmental chemicals.

Sample packs are available. See order guide.

POTENTIAL APPLICATIONS

Industrial

- Air compressors
- Battery-powered systems
- Drying equipment
- HVAC (includes air conditioning, air movement, thermostats, humidifiers, de-humidifiers, humidistats, enthalpy sensing)
- OEM assemblies
- Office automation equipment
- Process equipment
- Refrigeration (includes bulk and transport systems)
- Telecommunications cabinets
- Weather stations and meteorology equipment

Medical

- Hospital air compressors
- Infant incubators
- Microenvironments
- Sleep apnea equipment
- Treadmill stress monitoring equipment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HIH-5030/5031 Series

Table 1. Performance Specifications (At 3.3 Vdc supply and 25 °C [77 °F] unless otherwise noted.)

Parameter	Minimum	Typical	Maximum	Unit	Specific Note	
Interchangeability (first order curve)						
0% RH to 10% RH, 90% RH to 100% RH	-7	—	7	% RH	—	
11% RH to 89% RH	-3	—	3	% RH	—	
Accuracy (best fit straight line) 11% RH to 89% RH	-3	—	+3	% RH	4	
Hysteresis	—	2	—	% RH	—	
Repeatability	—	±0.5	—	% RH	—	
Settling time	—	—	70	ms	—	
Response time (1/e in slow moving air)	—	5	—	s	—	
Stability (at 50% RH in 5 years)	—	±1.2	—	% RH	1	
Voltage supply	2.7	—	5.5	Vdc	2	
Current supply	—	200	500	µA	—	
Voltage output (1st order curve fit)	$V_{OUT} = (V_{SUPPLY}) (0.00636(\text{sensor RH}) + 0.1515)$, typical at 25 °C					
Temperature compensation	True RH = (Sensor RH)/(1.0546 - 0.00216T), T in °C					
Output voltage temp. coefficient at 50% RH, 3.3 V	—	-2	—	mV/°C	—	
Operating temperature	-40[-40]	See Figure 2	85[185]	°C[°F]	—	
Operating humidity (HIH-5030)	0	See Figure 2	100	% RH	3	
Operating humidity (HIH-5031)	0	See Figure 2	100	% RH	—	
Storage temperature	-50[-58]	—	125[257]	°C[°F]	—	
Storage humidity	See Figure 3				% RH	3

Specific Notes:

1. Includes stress outside of recommended operating zone.
2. Device is tested at 3.3 Vdc and 25 °C.
3. Non-condensing environment. When liquid water falls on the humidity sensor die, output goes to a low rail condition indicating no humidity.
4. Total accuracy including interchangeability is ±3 %RH.

General Notes:

- Sensor is ratiometric to supply voltage.
- Extended exposure to ≥90 % RH causes a reversible shift of 3 % RH.
- Sensor is light sensitive. For best performance, shield sensor from bright light.



Low Voltage Humidity Sensors

Figure 1. Operating Environment (Non-condensing environment for HIH-5030 catalog listings only.)

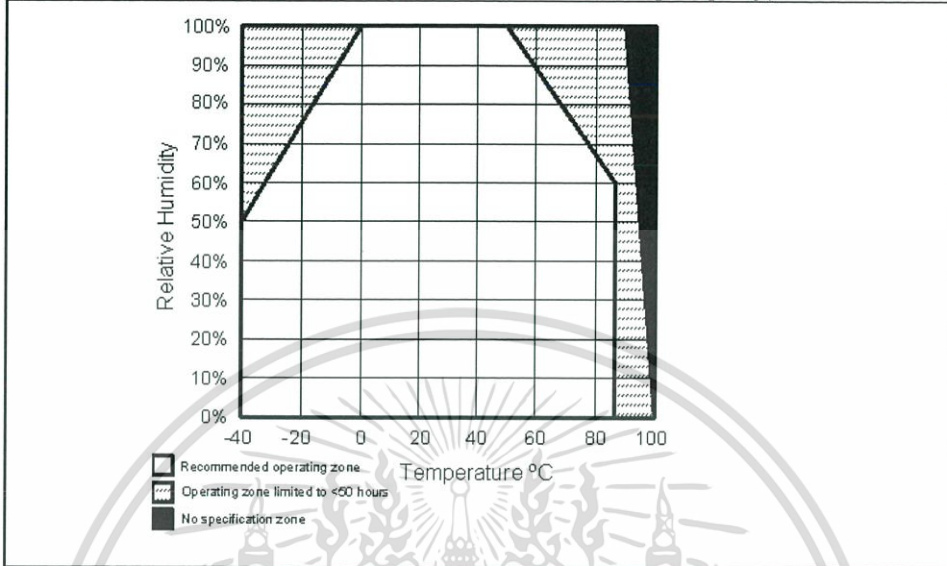
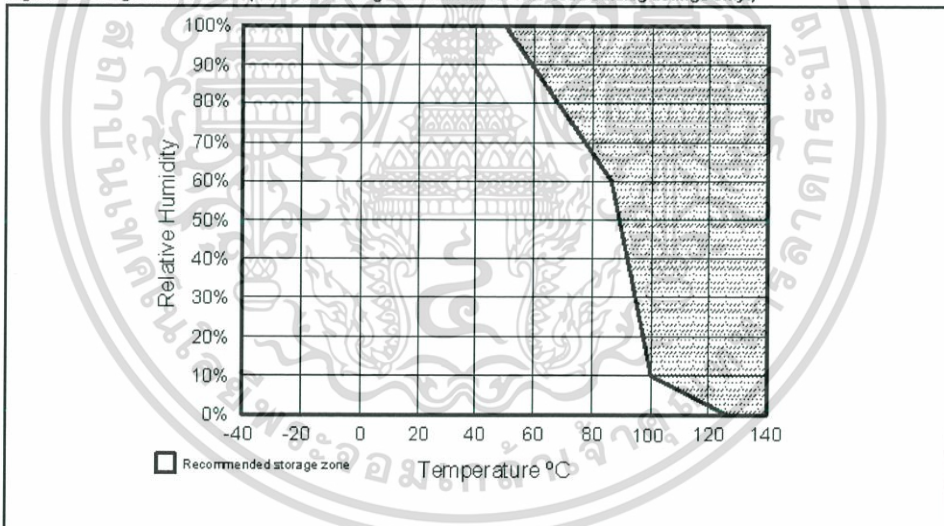


Figure 2. Storage Environment (Non-condensing environment for HIH-5030 catalog listings only.)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HIH-5030/5031 Series

Figure 3. Typical Output Voltage vs Relative Humidity (At 25 °C and 3.3 Vdc.)

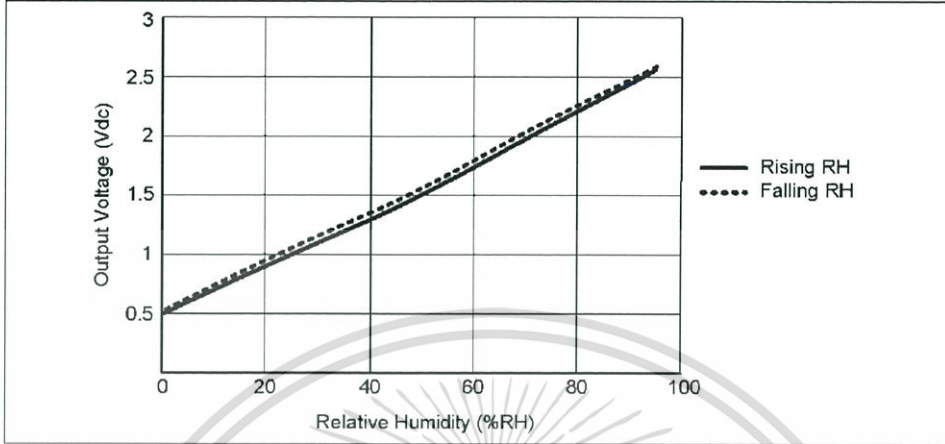
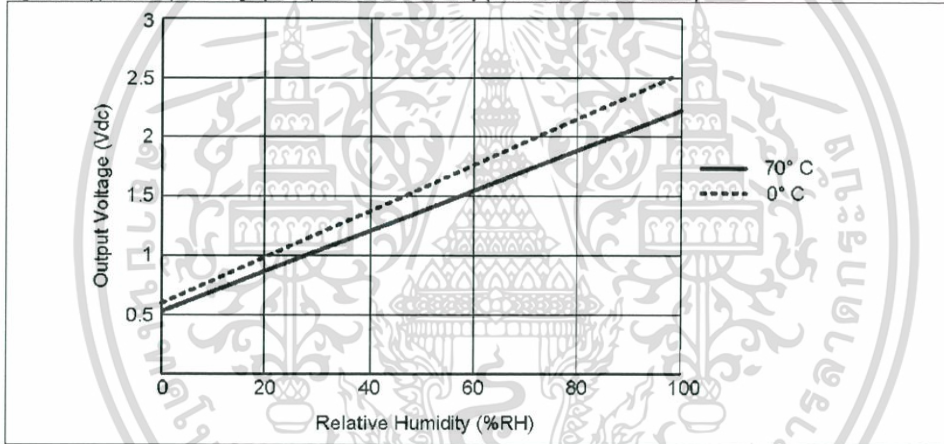


Figure 4. Typical Output Voltage (BFSL) vs Relative Humidity (At 0 °C, 70 °C and 3.3 Vdc.)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DATA SHEET

2322 640 6.... NTC thermistors, accuracy line

Product specification
Supersedes data of April 1995
File under BCcomponents, BC02

1998 Sep 04

BC COMPONENTS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NTC thermistors, accuracy line**2322 640 6....****FEATURES**

- Accuracy over a wide temperature range
- High stability over a long life
- Excellent price/performance ratio.

APPLICATION

- Temperature sensing and control.

DESCRIPTION

These thermistors have a negative temperature coefficient. The device consists of a chip with two tinned solid copper-plated leads. It is grey lacquered and colour coded, but not insulated.

MARKING

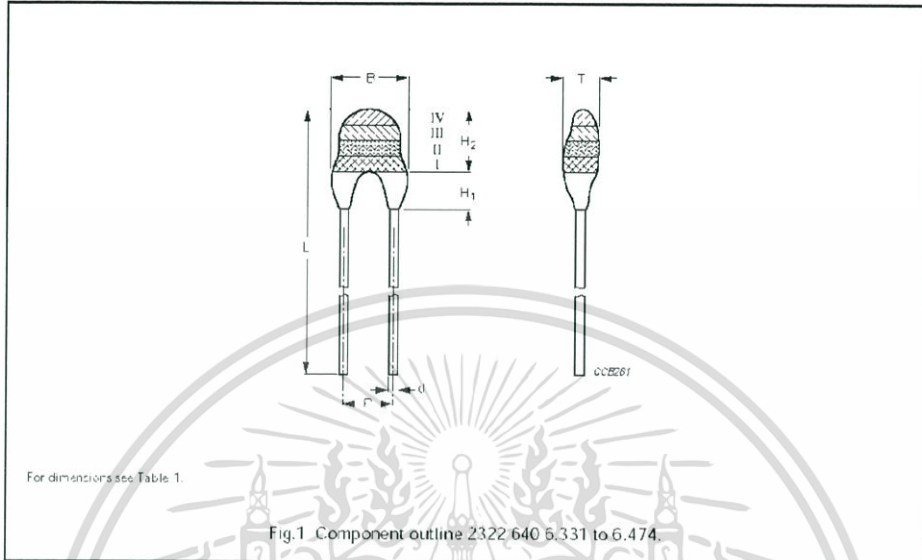
The thermistors are marked with colour bands in accordance with Fig.1 and Table 3.

MOUNTING

By soldering in any position.

QUICK REFERENCE DATA

PARAMETER	VALUE
Resistance value at 25 °C	3.3 Ω to 470 kΩ
Tolerance on R ₂₅ -value	+2%; +3%; +5%; +10%
Tolerance on B _{25/0°C} -value	±0.5% to ±3%
Maximum dissipation	500 mW
Response time	1.2 s
Operating temperature range:	
at zero dissipation; continuously	-40 to +125 °C
at zero dissipation; for short periods	≤150 °C
at maximum dissipation (500 mW)	0 to 55 °C
Climatic category	40/125/56
Mass	≈0.22 g

NTC thermistors, accuracy line**2322 640 6....****MECHANICAL DATA****Outline****Table 1** Physical dimensions for relevant type, see Fig.1

CODE NUMBER 2322 640	B_{max} (mm)	d (mm)	H_1 (mm)		H_2_{max} (mm)	L (mm)	P (mm)	T_{max} (mm)
			MIN.	MAX.				
6 331 to 6.474	3.3 ± 0.5	0.6 ± 0.06	-	2.0 ± 1.0	6.0	24 ± 1.5	2.54	3.0
6 338 to 6.221	5.0	0.6 ± 0.06	1.0	4.0	6.0	24 ± 1.5	2.54	4.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NTC thermistors, accuracy line**2322 640 6....****ORDERING INFORMATION****Table 2** Code numbers and relevant packaging quantities

PARAMETER	BULK	TAPE AND REEL ⁽¹⁾ 1e pitch	TAPE AND REEL ⁽¹⁾ 2e pitch
	2322 640 6....	2322 640 4....	2322 640 3....
Quantity	500	1500 per reel, 2 reels per box	1500 per reel, 2 reels per box

Note

1. The maximum number of empty places per reel shall not exceed 0.5% of the total number of components per reel. No more than three consecutive positions may be vacant.

Table 3 R_{25} -values, catalogue numbers and coding

R_{25} (Ω)	$B_{25}/95$ -VALUE	CATALOGUE NUMBER 2322 640 6....				COLOUR CODE (see Fig.1 and note 1)		
		$R_{25} \pm 2\%$	$R_{25} \pm 3\%$	$R_{25} \pm 5\%$	$R_{25} \pm 10\%$	I	II	III
3.3	2880 K $\pm 3\%$	4338	6338	3338	2338	orange	orange	gold
4.7	2880 K $\pm 3\%$	4478	6478	3478	2478	yellow	violet	gold
6.8	2880 K $\pm 3\%$	4688	6688	3688	2688	blue	grey	gold
10	2990 K $\pm 3\%$	4109	6109	3109	2109	brown	black	black
15	3041 K $\pm 3\%$	4159	6159	3159	2159	brown	green	black
22	3136 K $\pm 3\%$	4229	6229	3229	2229	red	red	black
33	3390 K $\pm 3\%$	4339	6339	3339	2339	orange	orange	black
47	3390 K $\pm 3\%$	4479	6479	3479	2479	yellow	violet	black
68	3390 K $\pm 3\%$	4689	6689	3689	2689	blue	grey	black
100	3560 K $\pm 0.75\%$	4101	6101	3101	2101	brown	black	brown
150	3560 K $\pm 0.75\%$	4151	6151	3151	2151	brown	green	brown
220	3560 K $\pm 0.75\%$	4221	6221	3221	2221	red	red	brown
330	3560 K $\pm 0.75\%$	4331	6331	3331	2331	orange	orange	brown
470	3560 K $\pm 0.5\%$	4471	6471	3471	2471	yellow	violet	brown
680	3560 K $\pm 0.5\%$	4681	6681	3681	2681	blue	grey	brown
1000	3528 K $\pm 0.5\%$	4102	6102	3102	2102	brown	black	red
1500	3528 K $\pm 0.5\%$	4152	6152	3152	2152	brown	green	red
2000	3528 K $\pm 0.5\%$	4202	6202	3202	2202	red	black	red
2200	3977 K $\pm 0.75\%$	4222	6222	3222	2222	red	red	red

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NTC thermistors, accuracy line**2322 640 6....**

R ₂₅ (Ω)	B _{25/85} -VALUE	CATALOGUE NUMBER 2322 640 6....				COLOUR CODE (see Fig.1 and note 1)		
		R ₂₅ ±2%	R ₂₅ ±3%	R ₂₅ ±5%	R ₂₅ ±10%	I	II	III
2700	3977 K ±0.75%	4272	6272	3272	2272	red	violet	red
3300	3977 K ±0.75%	4332	6332	3332	2332	orange	orange	red
4700	3977 K ±0.75%	4472	6472	3472	2472	yellow	violet	red
6800	3977 K ±0.75%	4682	6682	3682	2682	blue	grey	red
10000	3977 K ±0.75%	4103	6103	3103	2103	brown	black	orange
12000	3740 K ±2%	4123	6123	3123	2123	brown	red	orange
15000	3740 K ±2%	4153	6153	3153	2153	brown	green	orange
22000	3740 K ±2%	4223	6223	3223	2223	red	red	orange
33000	4090 K ±1.5%	4333	6333	3333	2333	orange	orange	orange
47000	4090 K ±1.5%	4473	6473	3473	2473	yellow	violet	orange
68000	4190 K ±1.5%	4683	6683	3683	2683	blue	grey	orange
100000	4190 K ±1.5%	4104	6104	3104	2104	brown	black	yellow
150000	4370 K ±2.5%	4154	6154	3154	2154	brown	green	yellow
220000	4370 K ±2.5%	4224	6224	3224	2224	red	red	yellow
330000	4570 K ±1.5%	4334	6334	3334	2334	orange	orange	yellow
470000	4570 K ±1.5%	4474	6474	3474	2474	yellow	violet	yellow

Note

1. Dependent upon R₂₅-tolerance, the band IV is coloured as follows:
 - a) for R₂₅ ±2%, band IV is coloured red
 - b) for R₂₅ ±3%, band IV is coloured orange
 - c) for R₂₅ ±5%, band IV is coloured gold
 - d) for R₂₅ ±10%, band IV is coloured silver.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NTC thermistors, accuracy line

2322 640 6....

R₁ value and tolerance

These thermistors have a narrow tolerance on the B-value, the result of which provides a very small tolerance on the nominal resistance value over a wide temperature range. For this reason the usual graphs of R – f(T) are replaced by Tables 5 through 17, together with a formula to calculate the characteristics with a high precision.

Formulae to determine nominal resistance values⁽¹⁾

The resistance values at intermediate temperatures, or the operating temperature values, can be calculated using the following interpolation laws (extended "Steinhart and Hart"):

$$R(T) = R_{ref} \times e^{A+B/T+C/T^2+D/T^3} \quad (1)$$

$$T(R) = \left(A_1 + B_1 \ln \frac{R}{R_{ref}} + C_1 \ln^2 \frac{R}{R_{ref}} + D_1 \ln^3 \frac{R}{R_{ref}} \right)^{-1} \quad (2)$$

where:

A, B, C, D, A₁, B₁, C₁ and D₁ are constant values depending on the material concerned; see Table 4.

R_{ref} is the resistance value at a reference temperature (in this event 25 °C).

T is the temperature in K.

Determination of the resistance/temperature deviation from nominal value

The total resistance deviation is obtained by combining the 'R₂₅-tolerance' and the 'resistance deviation due to B tolerance'.

When:

X = R₂₅-tolerance

Y = resistance deviation due to B-tolerance

Z = complete resistance deviation,

$$\text{then } Z = \left[\left(1 + \frac{X}{100} \right) \times \left(1 + \frac{Y}{100} \right) - 1 \right] \times 100\%$$

or Z ≈ X + Y.

When:

TC = temperature coefficient

ΔT = temperature deviation,

$$\text{then } \Delta T = \frac{Z}{TC}$$

The temperature tolerances are plotted in Figs 3, 4, 5, 6, 7 and 8.

Example: at 0 °C, assume X = 5%, Y = 0.89% and TC = 5.03%/K (see Table 12), then:

$$\begin{aligned} Z &= \left[\left(1 + \frac{5}{100} \right) \times \left(1 + \frac{0.89}{100} \right) - 1 \right] \times 100\% \\ &= \{ 1.05 \times 1.0089 - 1 \} \times 100\% = 5.9345\% (\approx 5.93\%) \end{aligned}$$

$$\Delta T = \frac{Z}{TC} = \frac{5.93}{5.08} = 1.167 \text{ } ^\circ\text{C} (\approx 1.17 \text{ } ^\circ\text{C})$$

(1) Formulae numbered (1) and (2) are interchangeable with an error of max. 0.005 °C in the range 25 °C to 125 °C and max. 0.015 °C in the range -40 °C to +25 °C.

A NTC with a R₂₅-value of 10 kΩ has a value of 32.56 kΩ between -1.17 and +1.17 °C.

NTC thermistors, accuracy line**2322 640 6....****Table 4** Parameters for determining nominal resistance values

B _{25/85} -VALUE (K)	A	B (K)	C (10 ⁶ K ²)	D (10 ⁶ K ³)	A ₁ (10 ⁻³)	B ₁ (10 ⁻⁴ K ⁻¹)	C ₁ (10 ⁻⁶ K ⁻²)	D ₁ (10 ⁻⁷ K ⁻³)
2880	-9.094	2251.74	229098	-27.4482	3.354016	3.495020	2.095959	4.260615
2990	-10.2296	2887.62	132336	-25.0251	3.354016	3.415560	4.955455	4.364236
3041	-11.1334	3658.73	-102895	0.516652	3.354016	3.349290	3.683843	7.050455
3136	-12.4493	4702.74	-402687	31.96830	3.354016	3.243880	2.658012	-2.70156
3390	-12.6814	4391.97	-232807	15.09643	3.354016	2.993410	2.135133	-8.05672
3528	12.060	3.688	0.076	5.915	3.354016	2.909670	1.632136	0.719220
3528	-21.095	11.930	-25.139	248.120	3.354016	2.933908	3.494314	-7.71269
3560	-13.072	4.191	-0.472	-11.993	3.354016	2.884193	4.118032	1.786790
3740	-13.897	4.558	-0.983	-7.522	3.354016	2.744032	3.666944	1.375492
3977	-14.634	4.792	-1.153	-3.731	3.354016	2.569355	2.626311	0.675278
4090	-15.532	5.230	-1.605	-5.414	3.354016	2.519107	3.510939	1.105179
4190	-16.035	5.459	-1.911	-3.328	3.354016	2.460382	3.405377	1.034240
4370	16.872	5.759	1.943	6.869	3.354016	2.367720	3.585140	1.255349
4570	-17.644	6.023	-2.032	-7.194	3.354016	2.264097	3.278184	1.097628

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NTC thermistors, accuracy line**2322 640 6....****Table 12** Resistance values at intermediate temperatures

T _{oper} (°C)	R ₁ /R ₂₅	ΔR DUE TO B-TOLERANCE (%)	TC (%/K)	R ₂₅ (kΩ)					
				2322 640; see Table 17, note 1					
				6.222	6.272	6.332	6.472	6.682	6.103
40	33.21	2.66	6.57	73.06	89.67	109.6	156.1	225.8	332.1
-35	23.99	2.41	6.36	52.78	64.77	79.17	112.8	163.1	240.0
-30	17.52	2.17	6.15	38.55	47.31	57.82	82.35	119.1	175.2
-25	12.93	1.94	5.95	28.44	34.91	42.67	60.77	87.92	129.3
-20	9.636	1.71	5.76	21.20	26.02	31.80	45.30	65.53	96.36
-15	7.250	1.50	5.58	15.95	19.58	23.93	34.08	49.30	72.50
-10	5.505	1.29	5.40	12.11	14.86	18.16	25.87	37.43	55.05
-5	4.216	1.08	5.24	9.275	11.38	13.91	19.81	28.67	42.16
0	3.255	0.89	5.08	7.162	8.790	10.74	15.30	22.14	32.56
5	2.534	0.70	4.92	5.575	6.842	8.362	11.91	17.23	25.34
10	1.987	0.52	4.78	4.372	5.366	6.558	9.340	13.51	19.87
15	1.570	0.34	4.64	3.454	4.239	5.101	7.378	10.67	15.70
20	1.249	0.17	4.50	2.747	3.372	4.121	5.869	8.492	12.49
25	1.000	0.00	4.37	2.200	2.700	3.300	4.700	6.800	10.00
30	0.8059	0.16	4.25	1.773	2.176	2.660	3.788	5.480	8.059
35	0.6535	0.32	4.13	1.438	1.764	2.156	3.072	4.444	6.535
40	0.5330	0.47	4.02	1.173	1.439	1.759	2.505	3.624	5.330
45	0.4372	0.62	3.91	0.9618	1.180	1.443	2.055	2.972	4.372
50	0.3605	0.77	3.80	0.7932	0.973	1.190	1.694	2.451	3.606
55	0.2989	0.91	3.70	0.6575	0.807	0.9863	1.405	2.032	2.989
60	0.2490	1.05	3.60	0.5478	0.672	0.8217	1.170	1.693	2.490
65	0.2084	1.18	3.51	0.4586	0.562	0.6879	0.9797	1.417	2.084
70	0.1753	1.31	3.42	0.3857	0.473	0.5785	0.8239	1.192	1.753
75	0.1481	1.44	3.33	0.3258	0.399	0.4887	0.6960	1.007	1.481
80	0.1256	1.57	3.25	0.2764	0.339	0.4146	0.5905	0.8544	1.256
85	0.1070	1.69	3.16	0.2355	0.289	0.3532	0.5031	0.7278	1.070
90	0.09154	1.81	3.09	0.2014	0.247	0.3021	0.4303	0.6226	0.9154
95	0.07860	1.93	3.01	0.1729	0.212	0.2594	0.3694	0.5345	0.7860
100	0.06773	2.04	2.94	0.1490	0.182	0.2235	0.3183	0.4607	0.6773
105	0.05858	2.15	2.87	0.1289	0.158	0.1933	0.2753	0.3983	0.5858
110	0.05083	2.26	2.80	0.1118	0.137	0.1677	0.2389	0.3457	0.5083
115	0.04426	2.37	2.73	0.0974	0.1195	0.1461	0.2080	0.3010	0.4426
120	0.03866	2.47	2.67	0.0851	0.1044	0.1276	0.1817	0.2629	0.3866
125	0.03387	2.57	2.61	0.0745	0.0915	0.1118	0.1592	0.2303	0.3387
130	0.02977	2.67	2.55	0.0655	0.0804	0.0982	0.1399	0.2024	0.2977
135	0.02624	2.77	2.49	0.0577	0.0709	0.0866	0.1233	0.1784	0.2624
140	0.02319	2.86	2.43	0.0510	0.0626	0.0765	0.1090	0.1577	0.2319
145	0.02055	2.96	2.38	0.0452	0.0555	0.0678	0.0966	0.1398	0.2055
150	0.01826	3.05	2.33	0.0402	0.0493	0.0603	0.0858	0.1242	0.1826

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Solar Radiation Sensor

6450



Vantage Pro2™ Accessories

The Solar Radiation Sensor, or solar pyranometer, measures global radiation, the sum at the point of measurement of both the direct and diffuse components of solar irradiance. The sensor's transducer, which converts incident radiation to electrical current, is a silicon photodiode with wide spectral response. From the sensor's output voltage, the console calculates and displays solar irradiance. It also integrates the irradiance values and displays total incident energy over a set period of time.

The outer shell shields the sensor body from thermal radiation and provides an airflow path for convection cooling of the body, minimizing heating of the sensor interior. It includes a cutoff ring for cosine response, a level indicator, and fins to aid in aligning the sensor with the sun's rays. The space between the shield and the body also provides a run-off path for water, greatly reducing the possibility of rain- or irrigation-water entrapment. The diffuser is welded to the body for a weather-tight seal; it provides an excellent cosine response. The transducer is an hermetically-sealed silicon photodiode; the included amplifier converts the transducer current into 0 to +2.5 VDC. Spring-loaded mounting screws, in conjunction with the level indicator, enable rapid and accurate levelling of the sensor. Each sensor is calibrated against a secondary standard which is calibrated periodically against an Eppley Precision Spectral Pyranometer in natural daylight.

The Solar Radiation Sensor is included with the Vantage Pro2 Plus and is optional on the Vantage Pro2.

Please refer to the WeatherLink[®] for Vantage Pro[®] and Vantage Pro2™ specification sheet for optional data logging and charting capabilities available for this product.

General

Operating Temperature	-40° to +150° F (-40° to +65° C)
Storage Temperature	-50° to +158° F (-45° to +70° C)
Transducer	Silicon photodiode
Spectral Response (10% points)	400 to 1100 nanometers
Cosine Response	
Percent of Reading	±3% (0° to ±70° incident angle), ±10% (±70° to ±85° incident angle)
Percent of Full Scale	±2% (0° to ±90°)
Supplied Cable Length	2' (0.6 m)
Cable Type	4-conductor, 26 AWG
Connector	Modular RJ-11
I/O Specifications	
Green wire	Output (0 to +3VDC); 1.67 mV per W/m ²
Red & Black wires	Ground
Yellow wire	+3 VDC ±10%, 1mA (typical)
Temperature Coefficient	+0.067% per °F (+0.12% per °C)
Reference temperature	77°F (25° C)
Correction per degree above reference temp	-0.067% of reading per °F (-0.12% per °C)
Correction per degree below reference temp	+0.067% of reading per °F (+0.12% per °C)
Housing Material	UV-resistant PVC plastic
Dimensions (Length x Width x Height)	2.00" x 2.75" x 2.25" (51 mm x 70 mm x 57 mm)
Weight	0.5 lbs. (226 g)

DS6450 (Rev. F, 12/10/10)

1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

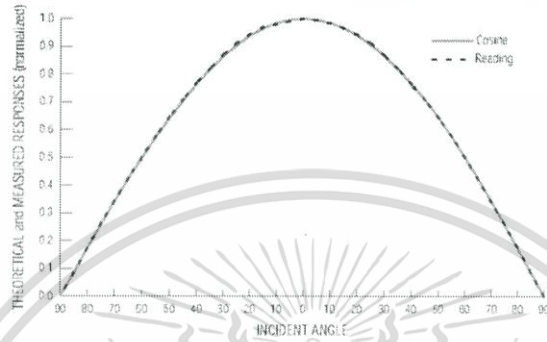
2

Vantage Pro2™ Accessories

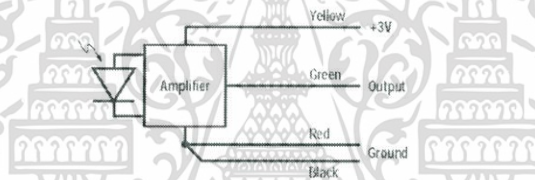
Sensor Output

Resolution and Units	1 W/m ²
Range	0 to 1800 W/m ²
Accuracy	±5% of full scale (Reference: Eppley PSP at 1000 W/m ²) plus 45 W/m ² per 100' (30 m) of additional cable
Drift	up to ±2% per year
Update Interval	50 seconds to 1 minute (5 minutes when dark)

Cosine Response (typical)



Connections



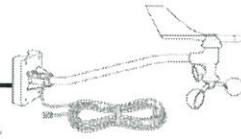
Package Dimensions

Product #	Package Dimensions (Length x Width x Height)	Package Weight	UPC Codes
6450	6.00" x 4.25" x 3.25" (152 mm x 108 mm x 83 mm)	.9 lbs (.5 kg)	011698 00240 5

DAVIS  Davis Instruments 3465 Diablo Ave., Hayward, CA 94745-1778 USA
 (510) 732-9229 • FAX (510) 670-0589 • sales@davisnet.com • www.davisnet.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Anemometer



7911

For Monitor and Wizard Stations

The anemometer includes both wind speed and wind direction sensors. Rugged components stand up to hurricane-force winds, yet are sensitive to a light breeze. Includes sealed stainless-steel bearings for long life. The range and accuracy specifications have been verified in wind-tunnel tests. Digital filtering, with time constant as specified below, is applied to wind direction measurements.

General

Sensor Type	
Wind Speed	Solid state magnetic sensor
Wind Direction	Wind vane and potentiometer
Attached Cable Length	40' (12 m)

Note: Cable lengths longer than 140' (42 m) between sensors and console may artificially limit wind speed readings. That is, beyond that length, maximum recordable wind speed decreases as cable length increases. For example, with a length of 140' (42 m), the maximum recordable speed exceeds 175 mph. At 240' (72 m), however, the maximum recordable speed drops to less than 140 mph. Below that upper limit, however, the anemometer's accuracy is not affected.

Cable Type	4-conductor, 26 AWG
Connector	Modular connector (RJ-11)
Recommended Maximum Cable Length	140' (42 m) Sensor to Console
Material	
Wind Vane and Control Head	UV-resistant ABS
Wind Cups	Polycarbonate
Anemometer Arm	Black-anodized aluminum
Dimensions	18.5" long x 7.5" high x 4.75" wide (470 mm x 191 mm x 121 mm)
Weight	2 lbs 15 oz. (1.332 kg)

Console Data

Note: These specifications apply to sensor output as converted by Davis Instruments weather station consoles.

Range	
Wind Speed (large wind cups) (See Note 1)	1 to 200 mph, 1 to 173 knots, 0.5 to 89 m/s, 1 to 322 km/h
Wind Direction	0° to 360° or 16 compass points
Wind Run	0 to 1999.9 miles (1999.9 km)
Accuracy	
Wind Speed	±2 mph (2 kts, 3 km/h, 1 m/s) or ±5%, whichever is greater
Wind Direction	±7°
Wind Run	±5%
Resolution	
Wind Speed	1 mph (1 knot, 0.1 m/s, 1 km/hr)
Wind Direction	1° (0° to 355°), 22.5° between compass points
Wind Run	0.1 m (0.1 km)
Measurement Timing	
Wind Speed Sample Period	2.25 seconds
Wind Speed Sample and Display Interval	2.25 seconds (Monitor & Wizard)
Wind Direction Sample Interval	1 second (Monitor & Wizard)
Wind Direction Filter Time Constant (typical)	8 seconds (Monitor & Wizard)
Wind Direction Display Update Interval	2 seconds (Monitor & Wizard)

DAVIS Davis Instruments 3465 Diablo Ave., Hayward, CA 94545-2778
 (510) 732-9229 • FAX (510) 670-0509 • sales@davisnet.com • www.davisnet.com
 DS7911 (Rev. G, 2/26/13)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WeatherLink® Data

Note: These specifications apply to sensor output as logged and displayed by the WeatherLink.

Wind Speed	Average during archive interval
High Wind Speed	Maximum during archive interval
Wind Direction	Dominant wind direction during archive interval

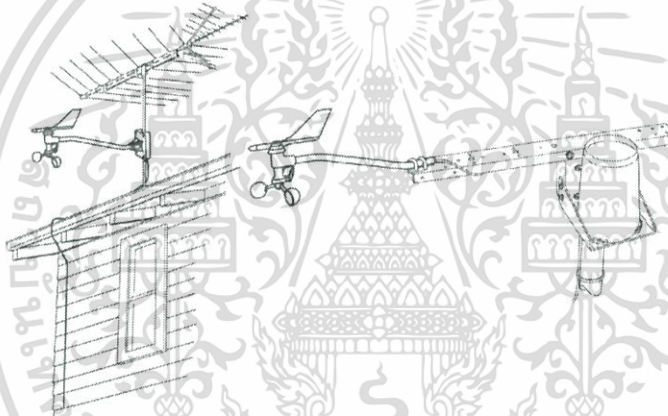
Input/Output Connections

Black	Wind speed contact closure to ground
Red	Ground
Green	Wind direction pot wiper (20K Ω potentiometer)
Yellow	Pot supply voltage

Sensor Output

Wind Speed	1600 rev/hr = 1 mph $V = P(2.25/T)$ $V = \text{speed in mph}$ $P = \text{no. of pulses per sample period}$ $T = \text{sample period in seconds}$
Wind Direction	Variable resistance 0 - 20K Ω , 10K Ω = south, 180°

Installation Options



Package Dimensions

Product #	Package Dimensions (Length x Width x Height)	Package Weight	UPC Codes
7911	17.50" x 6.75" x 2.50" (445 mm x 146 mm x 64 mm)	1.7 lbs. (.7 kg)	011698 79110 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาโปรแกรมแลปวิวสำหรับพลังงานทดแทน LabVIEW for Modern Renewable Energy System

จิตติ์ เวชพิทักษ์¹ ฉัญฐกา ชินอมิ¹ และ ฉัญฐิกานต์ สิงห์ภา¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอย ฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาการใช้โปรแกรมแลปวิวร่วมกับอุปกรณ์ DAQ เพื่อนำมาเป็นชุดอุปกรณ์วัดสำหรับใช้งานในระบบพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม โดยออกแบบให้มีการตรวจจับสัญญาณแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และพารามิเตอร์เฉพาะของแต่ละระบบ เช่น ความเข้มแสงอาทิตย์ ความเร็วลม ทิศทางลม อุณหภูมิ เป็นต้น และส่งพารามิเตอร์เหล่านี้ ผ่านอุปกรณ์ DAQ เข้าสู่โปรแกรมแลปวิว ซึ่งจะวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางไฟฟ้าอื่นๆ นอกเหนือจากที่รับเข้ามา ได้แก่ ค่ากำลังไฟฟ้า ค่ามุมต่างเฟส ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของสัญญาณ เป็นต้น และจะตรวจการเกิดความผิดปกติของสัญญาณ รวมถึงการบันทึกและการอ่านข้อมูลสัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งในการทดสอบใช้งานจริงนั้นได้นำไปทดสอบในการวัดพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง และวัดความเร็วลมควบคู่กัน ผลที่ได้จากการวัดและวิเคราะห์จากโปรแกรมแลปวิวมีค่าใกล้เคียงกับผลจากการวัดด้วยเครื่องมือวัดอ้างอิง

คำสำคัญ: พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม โปรแกรมแลปวิว ชุดเครื่องมือวัด

Abstract

This paper studies the use of LabVIEW program and DAQ as an instrument for measuring in Solar Energy system and Wind Energy system. It is designed to detect the voltage signal, the current signal and specific parameters of the systems such as solar irradiation, wind speed, wind direction and temperature etc. These parameters will be sent to LabVIEW via DAQ to analyze other electrical parameters such as the electrical power, the phase shift, the %THD; to find fault in the signal and to record the signal. The result in testing for solar and wind parameter is as accurate as using referenced measurement instrument.

Keywords: Solar Energy, Wind Energy, LabVIEW, Virtual Instrument

1. บทนำ

ในการวัดและวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของระบบพลังงานแสงอาทิตย์นั้นจะเป็นเช่นการวัดสัญญาณทางไฟฟ้าโดยทั่วไป ซึ่งจะใช้

อุปกรณ์วัด เช่น โวลต์มิเตอร์และแอมป์มิเตอร์ แต่เนื่องจากอุปกรณ์วัดจริงเหล่านี้มีราคาสูง และเมื่อเกิดความผิดพลาดทางสัญญาณไฟฟ้าขึ้น อุปกรณ์ดังกล่าวจะไม่สามารถแสดงสิ่งที่เกิดขึ้นได้

จากปัญหาดังกล่าว โครงการนี้จึงมีแนวคิดในการสร้างชุดอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณทางไฟฟ้าที่มีความสามารถในการตรวจวัดและวิเคราะห์ตลอดจนเก็บข้อมูลในด้านเชิงปริมาณและคุณภาพสำหรับนำไปใช้กับระบบพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม ชุดอุปกรณ์ที่จัดทำขึ้นมีความสามารถในการวัดและเก็บข้อมูลได้ทั้งข้อมูลที่เป็นกราฟและ ข้อมูลที่เป็นตัวเลขโดยข้อมูลที่จัดเก็บประกอบด้วย แรงดัน ความถี่ กำลังจริง กำลังเสมือน กำลังปรากฏ ฮาร์มอนิก ตัวประกอบกำลังและความผิดพลาดต่างๆ

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

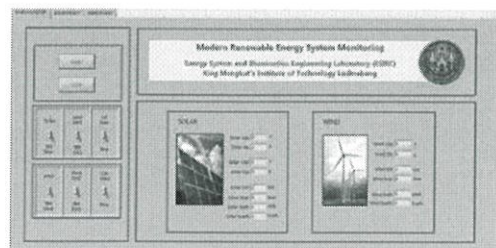
2.1 คุณภาพกำลังไฟฟ้าและพารามิเตอร์คุณลักษณะทางไฟฟ้า

คุณภาพกำลังไฟฟ้า คือ คุณลักษณะกระแสแรงดัน และความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าในสภาวะปกติไม่ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้ามีการทำงานผิดพลาดหรือเกิดการเสียหาย

พารามิเตอร์คุณลักษณะทางไฟฟ้าที่เกี่ยวข้อง เช่น แรงดันกระเพื่อม โฟลทะพริบ แรงดันไม่สมดุล แรงดันตก แรงดันเกิน ฮาร์มอนิก และการแปรเปลี่ยนความถี่กำลังไฟฟ้า เป็นต้น

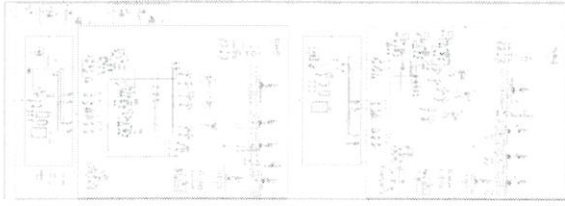
2.2 โปรแกรม LabVIEW

LabVIEW เป็นโปรแกรมที่สร้างเครื่องมือวัดและควบคุมเสมือนจริงในห้องปฏิบัติการก่อนการประกอบชุดเครื่องมือจริง จุดประสงค์หลักของโปรแกรมนี้ก็คือการจัดการในการวัดและการควบคุมอย่างมีประสิทธิภาพ ตัวโปรแกรมจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ Front Panel และ Block Diagram ดังรูปที่ 1 และ 2



รูปที่ 1 Front Panel

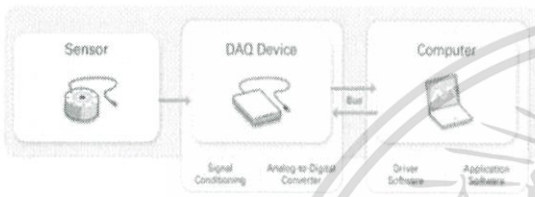
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 Block Diagram

2.3 DAQ

คืออุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับสัญญาณภายนอกทั้งในรูปแบบอนาล็อกและดิจิทัล ดังรูปที่ 3 โดย DAQ จะมีพอร์ตการเชื่อมต่อหลายช่องทาง

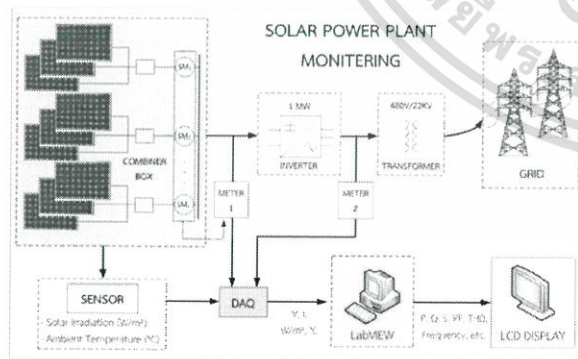


รูปที่ 3 ระบบ DAQ บนคอมพิวเตอร์

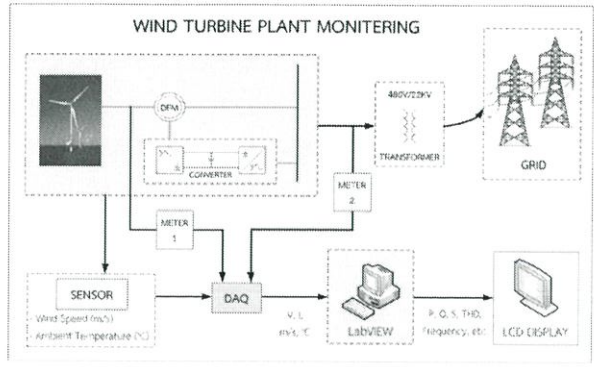
3. การออกแบบโปรแกรม LabVIEW

3.1 แนวคิดหลักที่ใช้ในการออกแบบโปรแกรม

โครงการนี้ต้องการทราบสิ่งที่จะนำมาวิเคราะห์ระบบพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม และเนื่องจากต้องการวัดค่าพารามิเตอร์จริง จึงใช้เซ็นเซอร์ต่างๆ ในการตรวจวัดพารามิเตอร์เฉพาะของแต่ละระบบ จากนั้นจะนำค่าที่รับมาจากเซ็นเซอร์ ส่งเข้าไปแสดงผล และวิเคราะห์ในโปรแกรมแลปวิว ภาพรวมจุดที่จะทำการรับค่าพารามิเตอร์ในระบบพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม เป็นดังรูปที่ 4 และ 5 ตามลำดับ



รูปที่ 4 ภาพรวมของระบบพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 5 ภาพรวมของระบบพลังงานลม

3.2 พารามิเตอร์ที่ต้องคำนวณในโปรแกรม

เนื่องจากการใช้ชุดเครื่องมือวัดนี้ จะรับค่ากระแสและแรงดันเข้ามา ดังนั้นพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่เหลือจึงต้องใช้แลปวิวคำนวณหาจากค่าพื้นฐานทั้งสองค่า ดังนี้

$$S = VI \tag{1}$$

$$P = VI \cos \theta \tag{2}$$

$$Q = VI \sin \theta \tag{3}$$

$$P.F. = \cos \theta = \frac{P}{S} \tag{4}$$

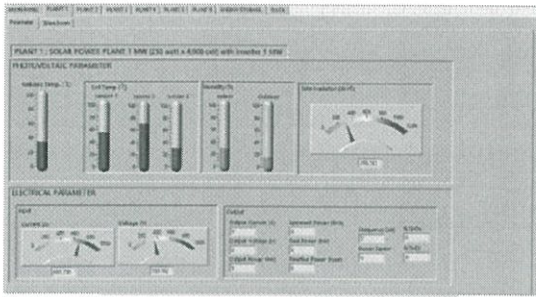
$$\%THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_{h,rms}^2}}{V_{1,rms}} \times 100\% \tag{5}$$

$$\%THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_{h,rms}^2}}{I_{1,rms}} \times 100\% \tag{6}$$

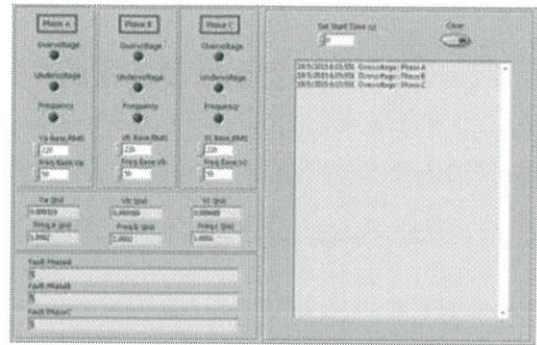
สำหรับระบบไฟฟ้ากระแสสลับจะออกแบบให้แลปวิวใช้สมการที่ 1-6 นี้ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของไฟ AC

3.3 การออกแบบโปรแกรม

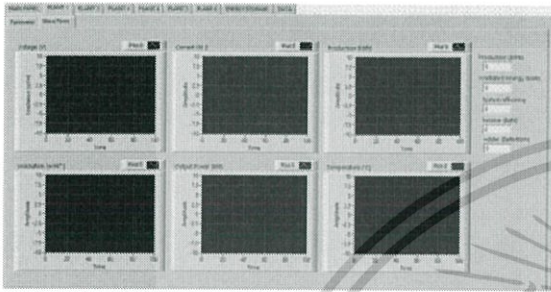
ในส่วนของการออกแบบ โปรแกรมนั้นจะเป็นการออกแบบสำหรับกรับพารามิเตอร์จริงจากระบบที่จะพิจารณาผ่าน DAQ แล้วมาแสดงผลยังโปรแกรมแลปวิว



รูปที่ 6 การรับค่าพารามิเตอร์จริงในระบบแสงอาทิตย์



รูปที่ 9 การออกแบบการแสดงผลเตือนเมื่อเกิดความผิดปกติ

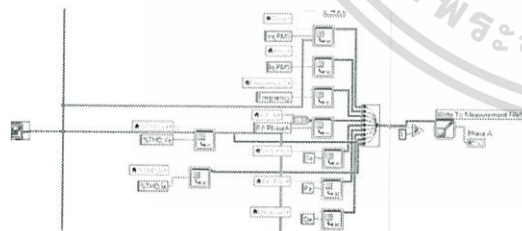


รูปที่ 7 กราฟการแสดงผลจากการวิเคราะห์พารามิเตอร์

รูปที่ 6 เป็นหน้าจอแสดงผลจากการรับค่าพารามิเตอร์จริงในระบบพลังงานแสงอาทิตย์ และรูปที่ 7 เป็นการแสดงผลจากการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่รับมาในรูปของกราฟ ซึ่งพารามิเตอร์ที่นำมาแสดงนั้นคือการออกแบบให้โปรแกรมแลปวิวดึงค่าที่รับเข้ามาจากภายนอกในที่นี้คือกระแสและแรงดัน จากนั้นนำไปคำนวณ เช่น ค่ากำลังไฟฟ้า หรือวิเคราะห์ฮาร์มอนิก และแสดงผลออกมาในลักษณะเรียลไทม์

3.4 การบันทึกข้อมูล

การบันทึกข้อมูลแบ่งเป็นการบันทึกข้อมูลโดยกำหนดระยะเวลาที่ต้องการบันทึกแต่ละค่าและการบันทึกข้อมูลของแต่ละเฟส โดยเลือกจำนวนคาบที่ต้องการบันทึก ได้ทำการออกแบบดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 การบันทึกข้อมูลของสัญญาณ

3.5 การออกแบบการแสดงผลเตือนเมื่อเกิดความผิดปกติ

การแสดงผลการเตือนเมื่อเกิดความผิดปกตินั้นจะแสดงผลของ วัน เวลา และลักษณะความผิดปกติที่เกิดขึ้นในแถบสถานะ และจะแสดงไฟเตือนขึ้นที่แถบหน้าจอหลัก การออกแบบเป็นดังรูปที่ 9

3.6 การวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในระบบ

การวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ประกอบด้วย การวัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้า ในโปรแกรมจะมีการวัดทั้งระบบไฟฟ้ากระแสสลับและไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งจะใช้อุปกรณ์ในการแปลงแรงดันและกระแสที่แตกต่างกัน เพื่อนำไปจ่ายเข้า DAQ ซึ่งสามารถรับแรงดันได้ไม่เกิน $\pm 10V$

4. ผลการทดลอง

4.1 การทดสอบความถูกต้องของชุดเครื่องมือวัด

ทำการทดสอบความถูกต้องของ โปรแกรมแลปวิวดึงค่าจากชุดอุปกรณ์หม้อแปลงกระแส หม้อแปลงแรงดัน และวงจรป้องกันแรงดันเกิน โดยหม้อแปลงกระแสและหม้อแปลงแรงดันจะประกอบไปด้วยแกนเหล็กและขดลวดจำนวนมาก ทำให้เกิดการสูญเสียที่ขดลวดอื่นเนื่องมาจากกระแสไหลวน ถ้านำชุดเครื่องมือวัดไปใช้โดยไม่ได้แก้ค่าก่อนจะทำให้ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่ตรวจจับ ได้มีความคลาดเคลื่อนไปจากค่าจริงดังนั้นจึงต้องมีการทดสอบเพื่อหาค่าแก้ไขแก่อุปกรณ์ทุกครั้งก่อนการใช้งานจริง

4.2 ผลการทดลองชุดเครื่องมือวัดระบบพลังงานทดแทน

หลังจากที่มีการชดเชยค่าแก้ไขจะเริ่มทดลองกับระบบ จากการทดสอบ โปรแกรมพบว่าชุดอุปกรณ์วัดที่ออกแบบสามารถวัดและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของระบบพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม ซึ่งค่าที่ได้ตรงกับการใช้อุปกรณ์วัดจริง

4.3 เปรียบเทียบเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า

จากผลการทดลองทั้งหมดจะพบว่าชุดอุปกรณ์การตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า 3 เฟสสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเทียบเคียงได้กับเครื่องมือวัดชนิดอื่น ๆ ที่มีขายตามท้องตลาด โดยสามารถแสดงตารางการเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียระหว่างชุดอุปกรณ์ตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า 3 เฟสโดยใช้โปรแกรม LabVIEW กับอุปกรณ์การวัด 3 ชนิด คือ DAQ and LabVIEW, CA-8335 Qualistar+, RIGOL Oscilloscopes DS1000B Series มาเปรียบเทียบดังตารางที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ข้อดีข้อเสียระหว่าง DAQ and LabVIEW กับเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าชนิดอื่น

หัวข้อ	DAQ and LabVIEW	CA-8335 Qualistar+	Oscilloscopes DS1000B
1.ราคาของชุดอุปกรณ์	65,000 Baht	150,000 Baht	16,000 Baht
2.อัตราการสุ่ม (Sampling Rate)	400,000 S/s	12800 S/s	2×10^9 S/s
3.ควบคุมระยะไกล	ทำได้	ไม่ได้	ไม่ได้
4.การบันทึกข้อมูลอย่างต่อเนื่อง	ทำได้ (ขึ้นกับความจุ)	ทำไม่ได้	ทำไม่ได้
5.การบันทึกข้อมูลกรณีเกิดความผิดปกติทางไฟฟ้า	ทำได้	ทำไม่ได้	ทำไม่ได้
6.ความยืดหยุ่นในการใช้งาน	ไม่จำกัด	จำกัด	จำกัด
7.ค่าความแม่นยำในการวัด	แม่นยำ	แม่นยำสูง	แม่นยำสูง

หมายเหตุ สำหรับ DAQ และ LabVIEW คิดราคาเฉพาะอุปกรณ์ DAQ และลิขสิทธิ์โปรแกรม

5. สรุปผล

ชุดอุปกรณ์วัดที่ออกแบบนั้นสามารถเก็บข้อมูลจริงโดยส่งข้อมูลผ่าน DAQ และนำไปวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ในคอมพิวเตอร์ได้ตรงกับค่าที่วัดผ่านทางอุปกรณ์วัดจริง

จุดเด่นของชุดอุปกรณ์คือ มีความสามารถเหนือกว่าออสซิลโลสโคปและเก็บค่าพารามิเตอร์ได้หลากหลายกว่า สามารถวัดและวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อเทียบราคากับประสิทธิภาพแล้วจะเห็นว่ามีความคุ้มค่ากว่าอุปกรณ์จริงที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน

6. กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้อย่างดีด้วยคำปรึกษา คำแนะนำรวมถึงการตรวจสอบและแก้ไขปริญญานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ จากศ.ดร.เชาว์ ชมภูอินทร์ และรศ.ดร.มณฑล ทีลาจินดาไกรฤกษ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ขอขอบพระคุณทั้งสองท่านเป็นอย่างสูงและขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ ในศูนย์วิจัยพลังงานและวิศวกรรมการส่องสว่างที่ให้ความรู้และคำแนะนำในการทำโครงการครั้งนี้ ตลอดจนช่วยเหลือในการทำปริญญานิพนธ์จนสำเร็จได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] IEEE Std 1159-2009, *IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*, June 2009
- [2] ทักคิซ นรสิงห์, “คุณภาพกำลังไฟฟ้า,” *อินดัสเทรียล*, 8(94), หน้า 95-101.
- [3] กิจไพบูลย์ ชิวพันธุ์ศรี. (2557) “LabVIEW ซอฟต์แวร์เพื่อการพัฒนากระบวนการวัดและควบคุม”. กรุงเทพมหานคร :บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด(มหาชน).



นางสาว ฐิติกิติ เวชพิทักษ์

ที่อยู่: 13 หมู่ 3 ตำบลสองพี่น้อง อำเภอบางแพะ จังหวัดจันทบุรี 22120

E-mail: thitkitt@gmail.com



นางสาว นัทธกา ชินนิต

ที่อยู่: 128/376 ถนนนนทบุรี แขวงช่องนนทรี เขตยานนาวา กรุงเทพมหานคร. 10120

E-mail: nutthaka.c@gmail.com



นางสาว นัทธิกานต์ สิงห์ภา

ที่อยู่: 88/177 หมู่ 9 ถนนเสียบคลองห้า ตำบลคลองห้า อำเภอลองหลวง จังหวัดพทุมธานี 12120

E-mail: s.natthikan@gmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



นางสาว ฐิติกิตต์ เวชพิทักษ์

ที่อยู่: 13 หมู่ 3 ตำบลสองพี่น้อง อำเภอกำแพงใหม่ จังหวัดจันทบุรี 22120

E-mail: thitikitt@gmail.com



นางสาว ญัฐกานต์ ชีโนมี

ที่อยู่: 128/376 ถนนนนทบุรี แขวงช่องนนทรี เขตยานนาวา กรุงเทพมหานคร.
10120

E-mail: nutthaka.c@gmail.com



นางสาว ญัฐกานต์ สิงห์ภา

ที่อยู่: 88/177 หมู่ 9 ถนนเลียบบคลองห้า ตำบลคลองห้า อำเภอกลองหลวง
จังหวัดปทุมธานี 12120

E-mail: s.natthikan@gmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้