

การศึกษาโปรแกรม LabVIEW สำหรับพลังงานแสงอาทิตย์  
LabVIEW for Modern Solar Energy System

โดย

นายศิริวัฒน์

โลหิตไทย

นายศุภกิตติ

ชินกัจรัตนวานิช

นายสัจจะ

สวัสดีตระกูล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2558

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาโปรแกรม LabVIEW สำหรับพลังงานแสงอาทิตย์  
LabVIEW for Modern Solar Energy System



T143905

โดย

นาย ศิริวัฒน์ โลहितไทย  
นาย ศุภกิตต์ ชินกจิรัตน์วานิช  
นาย สัจจะ สวัสดิ์ตระกูล

12810987

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 143905  
วันเดือนปี 04 ต.ค. 2559

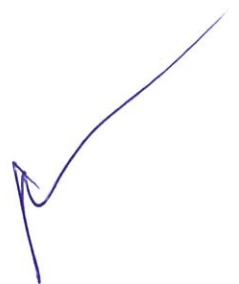
ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2558

# LabVIEW for Modern Solar Energy System

SIRIWAT LOHITTHAI

SUPPAKIT CHINKITRATANAVANIS

SATCHA SAWATTRAKUN



THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT  
FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2015

ปีการศึกษา 2558

การศึกษาโปรแกรม LabVIEW สำหรับพลังงานแสงอาทิตย์  
LabVIEW for Modern Solar Energy System

โดย

นาย ศิริวัฒน์	โลหิตไทย
นาย ศุภกิตต์	ชินกิจรัตนวานิช
นาย สัจจะ	สวัสดีตระกูล

อาจารย์ที่ปรึกษา  
ผศ.ดร.เชาว์ ชมภูอินไหว

ปริญญาโทปีการศึกษา 2558

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาโปรแกรม LabVIEW สำหรับพลังงานแสงอาทิตย์

ผู้จัดทำ

1. นาย ศิริวัฒน์ โลหิตไทย
2. นาย ศุภกิตต์ ชินกิจรัตนวานิช
3. นาย สัจจะ สวัสดิ์ตระกูล

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

## การศึกษาโปรแกรม LabVIEW สำหรับพลังงานแสงอาทิตย์

นาย ศิริวัฒน์ โลหิตไทย  
นาย ศุภกิตติ ชินกิจรัตนวานิช  
นาย สัจจะ สวัสดิ์ตระกูล  
ผศ.ดร.เชาว์ ชมภูอินไหว อาจารย์ที่ปรึกษา  
ปีการศึกษา 2558

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาการใช้โปรแกรม LabVIEW ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ในระบบพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม ร่วมกับอุปกรณ์ DAQ เพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางไฟฟ้าอื่น ๆ โดยออกแบบให้มีการตรวจจับสัญญาณแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และพารามิเตอร์เฉพาะของแต่ละระบบ เช่น ความเข้มแสงอาทิตย์ ความเร็วลม ทิศทางลม อุณหภูมิ และความชื้น เป็นต้น โดยพารามิเตอร์เหล่านี้จะวัดจากเซ็นเซอร์ผ่านอุปกรณ์ DAQ เข้าสู่โปรแกรม LabVIEW ซึ่งจะวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางไฟฟ้าอื่น ๆ นอกเหนือจากที่รับเข้ามา ได้แก่ ค่ากำลังไฟฟ้า ค่ามุมต่างเฟส ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของสัญญาณ เป็นต้น และจะตรวจการเกิดความผิดปกติของสัญญาณ รวมถึงการบันทึกและการอ่านข้อมูลสัญญาณทางไฟฟ้า โดยผลที่ได้จากการวัดและวิเคราะห์จากโปรแกรม LabVIEW มีค่าใกล้เคียงกับผลจากการวัดด้วยเครื่องมือวัดอ้างอิง

## LabVIEW for Modern Solar Energy System

Mr. Siriwat Lohitthai

Mr. Suppakit Chinkitratanavanis

Mr. Satja Sawattrakoon

Assistant.Prof.Dr.Chow Chompoo-Inwai Advisor

### ABSTRACT

This paper studies the use of LabVIEW program to analyze an electrical parameter in solar energy system and wind system. The LabVIEW program with DAQ is used to analyze electrical parameters, which Data acquisition (DAQ) is used in the process of measuring electrical parameters such as voltage, current, temperature, etc. A DAQ system consists of a computer with programmable software, DAQ measurement hardware, and sensors such as Current sensor, Voltage divider, Solar Irradiation Sensor, Anemometer, Potentiometer, NTC Thermistor, Humidity Sensor. This LabVIEW project is designed to detect the voltage signal, the current signal and specific parameters of the systems such as solar irradiation, wind speed, wind direction, temperature and relative humidity, etc. These parameters will be sent to LabVIEW via DAQ to analyze other electrical parameters such as the electrical power, the phase shift, the electrical energy, the %THD; to detect 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.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ด้วยคำปรึกษา คำแนะนำ รวมถึงการตรวจสอบและแก้ไขปริญญาานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ จากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชาว์ ชมภูอินไหว และ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้ง ในความอนุเคราะห์และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณพี่ ณิชฎฐกา ชิโนมี และรุ่นพี่ในศูนย์วิจัยพลังงานและวิศวกรรมการส่องสว่างที่ให้ความรู้และคำแนะนำในการทำโครงการครั้งนี้ ตลอดจนช่วยเหลือในการทำปริญญาานิพนธ์จนสำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ให้การสนับสนุนด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ทดลองในการทำโครงการจนสำเร็จได้

ขอขอบคุณเพื่อนนักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกคน สำหรับกำลังใจในการทำโครงการจนสำเร็จได้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีได้กล่าวถึงในที่นี้ ที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจในการทำงานเสมอมา

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VIII
สารบัญตาราง	IV
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 คุณภาพทางไฟฟ้าและนิยามของพารามิเตอร์คุณลักษณะทางไฟฟ้าที่เกี่ยวข้อง	5
2.1.1 แรงดันกระเพื่อม (Voltage Fluctuation)	5
2.1.2 ไฟกะพริบ (Flicker)	6
2.1.3 แรงดันไม่สมดุล (Voltage Unbalance)	7
2.1.4 แรงดันตก (Undervoltage)	8
2.1.5 แรงดันเกิน (Overvoltage)	8
2.1.6 แรงดันตกช่วงสั้น (Voltage Sag)	9
2.1.7 แรงดันเกินช่วงสั้น (Voltage Swell)	9
2.1.8 ค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม (Total Harmonic Distortion)	10
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 รายละเอียดของแผนแม่บทด้านพลังงานหมุนเวียนในประเทศไทย	15
2.2.1 แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้า 20 ปี (PDP)	15
2.2.1.1 สาเหตุที่มีการปรับปรุงแผน PDP	15
2.2.1.2 แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศ พ.ศ. 2558 – 2579	15
2.2.1.3 สรุปแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2558 – 2579	16
2.2.2 แผนอนุรักษ์พลังงาน (EEDP)	20

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.2.3 แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (AEDP)	21
2.2.4 สถานการณ์พลังงานทดแทนของประเทศไทยในปัจจุบัน	24
2.3 ระบบที่เกี่ยวข้องทางด้านอินพุตของงานวิจัยที่ออกแบบ	28
2.3.1 พลังงานแสงอาทิตย์	28
2.3.1.1 หลักการทำงานเบื้องต้นของระบบ	29
2.3.1.2 พารามิเตอร์เฉพาะของระบบ	29
2.3.1.3 มาตรการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์	30
2.3.1.4 ปัญหาและอุปสรรคในการผลิตไฟฟ้า	32
2.4 ส่วนโปรแกรม LabVIEW	32
2.4.1 ส่วนประกอบของโปรแกรม LabVIEW	32
2.4.1.1 Front Panel	32
2.4.1.2 Block Diagram	33
2.4.1.3 Icon และ Connector	34
2.4.2 ขั้นตอนและกระบวนการในการวัด	34
2.4.3 การติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์โดยใช้ DAQ	34
<b>บทที่ 3 การออกแบบโปรแกรมและชุดอุปกรณ์</b>	<b>36</b>
3.1 แนวคิดหลักที่ใช้ในการออกแบบโปรแกรม	36
3.2 การออกแบบโปรแกรม	39
3.2.1 หน้า Front Panel	42
3.2.2 ส่วนเริ่มต้นโปรแกรม	44
3.2.3 ส่วนควบคุมโปรแกรม	44
3.2.3.1 การรับสัญญาณโดยใช้ DAQ	44
3.2.3.2 การรับค่าโดยการจำลองสัญญาณในโปรแกรม LabVIEW	45
3.2.4 ส่วนหน้าจอแสดงผลหลัก	45
3.2.4.1 การแสดงค่าพารามิเตอร์เฉพาะใน	45
3.2.4.2 การแสดงกราฟของพารามิเตอร์เฉพาะในระบบ	45
3.2.4.3 การแสดงกราฟและค่าแรงดันและกระแสแต่ละเฟส	45
3.2.4.4 การแสดงกราฟกำลังทางไฟฟ้าแต่ละเฟส	47
3.2.4.5 การแสดงกราฟและค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้ารวมสามเฟส	48
3.2.4.6 การแสดงค่าความผิดพลาดฮาร์มอนิก	49
3.2.4.7 การบันทึกข้อมูล	49
3.2.4.8 การอ่านข้อมูล	50
3.2.4.9 การแสดงผลเตือนเมื่อเกิดความผิดปกติ	51

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.3 การวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในระบบ	52
3.3.1 การวัดแรงดันไฟฟ้า	52
3.3.2 การวัดกระแสไฟฟ้า	53
3.3.3 การคำนวณกำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้า	54
3.4 การวัดค่าพารามิเตอร์เฉพาะในระบบ	54
3.4.1 การวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์	54
3.4.2 การวัดค่าความเร็วลมและทิศทางลม	55
3.4.3 การวัดอุณหภูมิ	56
3.4.4 การวัดความชื้นสัมพัทธ์	58
<b>บทที่ 4 การทดลองและผลการเก็บข้อมูล</b>	<b>60</b>
4.1 การทดสอบความถูกต้องของชุดเครื่องมือวัด	60
4.1.1 การหาค่าปรับเทียบอัตราส่วนของชุดอุปกรณ์	61
4.1.2 การหาค่าปรับเทียบมุมเฟส	63
4.1.3 การทดสอบเมื่อเปลี่ยนแปลงความถี่	75
4.1.4 การทดสอบขณะทำการวัด Linear Load และ Non-Linear Load	76
4.1.5 การตรวจสอบหาค่าความผิดพลาดแรงดันและกระแสฮาร์มอนิก	77
4.1.6 การทดสอบส่วนการบันทึกผล	78
4.1.7 ส่วนการควบคุมชุดเครื่องมือวัดแบบออนไลน์	79
4.1.8 ผลการเปรียบเทียบชุดเครื่องมือวัดกับเครื่องวัดทางไฟฟ้าชนิดอื่น	80
4.2 ผลการทดลองชุดเครื่องมือวัดระบบพลังงานทดแทน	81
4.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด	81
4.2.1.1 อุปกรณ์ตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ทางสภาพอากาศ	81
4.2.1.2 อุปกรณ์ตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า	81
4.2.2 การทดลองและผลการทดลองของชุดเครื่องมือวัดเมื่อนำไปใช้กับระบบจริง	81
4.2.2.1 ส่วนอินพุต	82
4.2.2.1.1 ความเร็วลม	82
4.2.2.1.2 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์	83
4.2.2.1.3 ความเข้มแสงอาทิตย์ แรงดัน กระแส และพลังงาน	83
4.2.2.2 ส่วนเอาต์พุต	84
4.2.3 การสรุปผลการทดลองเมื่อนำชุดเครื่องมือวัดไปใช้กับระบบพลังงานทดแทน	86
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง</b>	<b>87</b>
5.1 สรุปผล	87
5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไขปัญหา	88
5.3 ข้อเสนอแนะ	88
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	<b>89</b>

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก	90
ภาคผนวก ก ข้อมูลทางฝั่ง DC และ AC	91
ภาคผนวก ข Data Acquisition (DAQ)	98
ภาคผนวก ค คุณสมบัติเฉพาะของเครื่องมือวัด	108
ภาคผนวก ง คุณสมบัติเฉพาะของอุปกรณ์ต่างๆ	123
ภาคผนวก จ บทความวิชาการ	146
ภาคผนวก ฉ โพสต์เตอร์	151
ประวัติผู้เขียน	153

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 รูปคลื่นที่มีแรงดันกระแสเพื่อมแบบต่อเนื่อง	5
รูปที่ 2.2 รูปคลื่นที่มีแรงดันกระแสเพื่อมแบบไม่ต่อเนื่อง	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 สเปกตรัมของฮาร์มอนิก	11
รูปที่ 2.12 รูปคลื่นที่มีการแปรเปลี่ยนความถี่กำลังไฟฟ้า	12
รูปที่ 2.13 รูปสามเหลี่ยมกำลัง (Power Triangle)	13
รูปที่ 2.14 ส่วนประกอบสมมาตรทางไฟฟ้าสาม	13
รูปที่ 2.15 เฟสเซอร์แรงดันของระบบสมดุล	14
รูปที่ 2.16 เฟสเซอร์แรงดันของระบบไม่สมดุล	14
รูปที่ 2.17 เป้าหมายแผนอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2558 – 2579	20
รูปที่ 2.18 เป้าหมายผลประหยัดพลังงานตามแผนอนุรักษ์พลังงาน ปี 2579	21
รูปที่ 2.19 ปริมาณการผลิต การใช้และการนำเข้า (สุทธิ) พลังงานเชิงพาณิชย์ขั้นต้น	24
รูปที่ 2.20 สัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนแต่ละเทคโนโลยี	24
รูปที่ 2.21 สัดส่วนมูลค่าการนำเข้าพลังงานต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมประชาชาติ (ณ ราคาตลาด)	27
รูปที่ 2.22 หลักการทำงานเบื้องต้นของเซลล์แสงอาทิตย์	28
รูปที่ 2.23 หน้าจอแสดงผล	32
รูปที่ 2.24 บล็อกไดอะแกรม	33
รูปที่ 2.25 ระบบ DAQ บนพีซี[14]	35
รูปที่ 3.1 ภาพรวมของระบบแสงอาทิตย์[15]	36
รูปที่ 3.2 ตัวอย่างวินไลน์ไดอะแกรมของระบบพลังงานแสงอาทิตย์[16]	37
รูปที่ 3.3 ภาพรวมของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่จะทำการออกแบบ	37
รูปที่ 3.4 ภาพรวมของระบบพลังงานลมที่จะทำการออกแบบ	38

## สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.5 ภาพรวมของโปรแกรมที่ออกแบบ	39
รูปที่ 3.6 หน้าต่างควบคุมหลัก	40
รูปที่ 3.7 หน้าต่างรับค่าพารามิเตอร์จริงในระบบแสงอาทิตย์	40
รูปที่ 3.8 หน้าต่างรับค่าพารามิเตอร์จริงในระบบพลังงาน	41
รูปที่ 3.9 Front Panel ของโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์สัญญาณ	43
รูปที่ 3.10 บล็อกไดอะแกรมของโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์สัญญาณ	43
รูปที่ 3.11 Front Panel และบล็อกไดอะแกรมสำหรับส่วนเริ่มต้นโปรแกรม	44
รูปที่ 3.12 ส่วนควบคุมโปรแกรมซึ่งรับค่าโดยการจำลองสัญญาณ	44
รูปที่ 3.13 ส่วนควบคุมโปรแกรมซึ่งรับค่าโดยการจำลองสัญญาณ	45
รูปที่ 3.14 การแสดงค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าและรูปคลื่นสัญญาณ	46
รูปที่ 3.15 บล็อกไดอะแกรมการแสดงผลค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าและรูปคลื่นสัญญาณ	46
รูปที่ 3.16 การแสดงกราฟกำลังทางไฟฟ้าแต่ละเฟส	47
รูปที่ 3.17 บล็อกไดอะแกรมการแสดงผลกราฟกำลังทางไฟฟ้าแต่ละเฟส	47
รูปที่ 3.18 การแสดงผลกราฟและค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้ารวมสามเฟส	48
รูปที่ 3.19 บล็อกไดอะแกรมการแสดงผลกราฟและค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้ารวมสามเฟส	48
รูปที่ 3.20 การวิเคราะห์ฮาร์มอนิก	49
รูปที่ 3.21 การบันทึกข้อมูลแบบกำหนดระยะเวลา	49
รูปที่ 3.22 การอ่านข้อมูล	50
รูปที่ 3.23 บล็อกไดอะแกรมการอ่าน	50
รูปที่ 3.24 การแสดงผลเตือนเมื่อเกิดความผิดปกติ	51
รูปที่ 3.25 การแสดงผลเตือนเมื่อเกิดความผิดปกติ	51
รูปที่ 3.26 วงจร Voltage Divider	52
รูปที่ 3.27 หม้อแปลงแรงดัน	53
รูปที่ 3.28 Current Sensor Arduino ACS712	53
รูปที่ 3.29 หม้อแปลงกระแส Salser MSQ-40 CT	54
รูปที่ 3.30 Solar Irradiation Sensor รุ่น DAVIS6450	55
รูปที่ 3.31 บล็อกไดอะแกรมการวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์	55
รูปที่ 3.32 Anemometer รุ่น DAVIS7911	56
รูปที่ 3.33 บล็อกไดอะแกรมการวัดค่าความเร็วลมและทิศทางลม	56
รูปที่ 3.34 วงจร Voltage Divider เพื่อทำการวัดค่าความต้านทานจาก Thermistor	57
รูปที่ 3.35 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ NTC Thermistor	58
รูปที่ 3.36 บล็อกไดอะแกรมสำหรับการวัดอุณหภูมิ	58
รูปที่ 3.37 เซนเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์ HIH 5030	59
รูปที่ 3.38 บล็อกไดอะแกรมสำหรับการวัดความชื้น	59

## สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.1 แผนผังขั้นตอนการปฏิบัติงาน	60
รูปที่ 4.2 วงจรการทดสอบหาค่าเปรียบเทียบอัตราส่วนของชุดอุปกรณ์	61
รูปที่ 4.3 การทดสอบหาค่าเปรียบเทียบอัตราส่วนของชุดอุปกรณ์	61
รูปที่ 4.4 นำค่าเปรียบเทียบที่ได้จากการทดลองไปเป็นค่าเปรียบเทียบใน LabVIEW	63
รูปที่ 4.5 กราฟแรงดันด้านอินพุตเป็นสัญญาณอ้างอิงเทียบกับกราฟแรงดันและกระแสด้านออก	64
รูปที่ 4.6 มุมต่างเฟส V-I ที่แรงดัน 220 โวลต์ของ Linear Load ด้านอินพุตจากเครื่องมือวัดอ้างอิง	64
รูปที่ 4.7 มุมต่างเฟส V-I ที่แรงดัน 220 โวลต์ของ Linear Load ด้านเอาต์พุตจากชุดเครื่องมือวัด	65
รูปที่ 4.8 วงจรการทดสอบหาค่าเปรียบเทียบมุมเฟสที่เกิดจากหม้อแปลงกระแส ในกรณี R load	65
รูปที่ 4.9 การทดสอบหาค่าเปรียบเทียบมุมเฟสที่เกิดจากหม้อแปลงกระแส ในกรณี R load	66
รูปที่ 4.10 มุมต่างเฟส V-I ที่แรงดัน 220 โวลต์ของ R Load จาก CA-8335 Qualistar+	66
รูปที่ 4.11 มุมต่างเฟส Va-Ia ที่แรงดัน 220 โวลต์ของ R Load จาก DAQ และ LabVIEW	67
รูปที่ 4.12 มุมต่างเฟส Vb-Ib ที่แรงดัน 220 โวลต์ของ R Load จาก DAQ และ LabVIEW	67
รูปที่ 4.13 มุมต่างเฟส Vc-Ic ที่แรงดัน 220 โวลต์ของ R Load จาก DAQ และ LabVIEW	67
รูปที่ 4.14 วงจรการทดสอบหาค่าเปรียบเทียบมุมเฟสที่เกิดจากหม้อแปลงกระแส ในกรณี RL load	68
รูปที่ 4.15 การทดสอบหาค่าเปรียบเทียบมุมเฟสที่เกิดจากหม้อแปลงกระแส ในกรณี RL load โหลดที่ใช้คือหลอด Fluorescent T5 และใช้บัลลาสต์แกนเหล็ก	68
รูปที่ 4.16 มุมต่างเฟส V-I ที่แรงดัน 220 โวลต์ของ RL Load จาก CA-8335 Qualistar+	69
รูปที่ 4.17 มุมต่างเฟส Va-Ia ที่แรงดัน 220 โวลต์ของ RL Load จาก DAQ และ LabVIEW	69
รูปที่ 4.18 มุมต่างเฟส Vb-Ib ที่แรงดัน 220 โวลต์ของ RL Load จาก DAQ และ LabVIEW	70
รูปที่ 4.19 มุมต่างเฟส Vc-Ic ที่แรงดัน 220 โวลต์ของ RL Load จาก DAQ และ LabVIEW	70
รูปที่ 4.20 วงจรการทดสอบหาค่าเปรียบเทียบมุมเฟสที่เกิดจากหม้อแปลงกระแส ในกรณี RL load	70
รูปที่ 4.21 การทดสอบหาค่าเปรียบเทียบมุมเฟส ที่เกิดจากหม้อแปลงกระแส ในกรณี RC load โหลดที่ใช้คือหลอดเผาไส้และตัวเก็บประจุขนาด 10 $\mu\text{F}$	71
รูปที่ 4.22 มุมต่างเฟส V-I ที่แรงดัน 55 โวลต์ของ RC Load จาก CA-8335 Qualistar+	72
รูปที่ 4.23 มุมต่างเฟส Va-Ia ที่แรงดัน 55 โวลต์ของ RC Load จาก DAQ และ LabVIEW	72
รูปที่ 4.24 มุมต่างเฟส Vb-Ib ที่แรงดัน 55 โวลต์ของ RC Load จาก DAQ และ LabVIEW	73
รูปที่ 4.25 มุมต่างเฟส Vc-Ic ที่แรงดัน 55 โวลต์ของ RC Load จาก DAQ และ LabVIEW	73
รูปที่ 4.26 นำค่าเปรียบเทียบอัตราส่วนของหม้อแปลงกระแสและแรงดันที่ได้จากการทดลองไป เป็นค่าเปรียบเทียบในโปรแกรม LabVIEW	74
รูปที่ 4.27 รูปวงจรการทดสอบเมื่อเปลี่ยนแปลงความถี่	75
รูปที่ 4.28 ตัวอย่างโปรแกรมที่บันทึกผล	78
รูปที่ 4.29 การควบคุมชุดเครื่องมือวัดแบบออนไลน์	79
รูปที่ 4.30 ไดอะแกรมการทดลองชุดเครื่องมือวัดระบบพลังงานทดแทน	81
รูปที่ 4.31 การทดลองใช้งานและวัดผลในสถานที่จริง	82

## สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.32 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วลมกับเวลา	82
รูปที่ 4.33 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ กับเวลา	83
รูปที่ 4.34 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์กับเวลา	83
รูปที่ 4.35 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน กระแส กับเวลา	84
รูปที่ 4.36 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง 4 พารามิเตอร์ของระบบ	84
รูปที่ 4.37 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กับเวลา	85
รูปที่ 4.38 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานกับเวลา	85
รูปที่ 4.39 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบกำลังกับเวลา	85

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 การวางแผนจัดลำดับขั้นตอนของการทำปฏิญานิพนธ์	3
ตารางที่ 2.1 กรอบประมาณการสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงของ แผน PDP2015 ในปี 2579	16
ตารางที่ 2.2 ค่าพยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้าของประเทศ	18
ตารางที่ 2.3 แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (AEDP) ปี 2579	22
ตารางที่ 2.4 ศักยภาพพลังงานทดแทนประเภทต่างๆ	26
ตารางที่ 2.5 มาตรการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์	30
ตารางที่ 2.6 สนับสนุนส่วนเพิ่มราคาซื้อขายไฟฟ้า (Feed in Tariff, FIT)	30
ตารางที่ 2.7 สนับสนุนส่วนเพิ่มราคาซื้อขายไฟฟ้า (Adder Cost)	31
ตารางที่ 2.8 สรุปค่าศัพท์ที่พบในLabVIEW	34
ตารางที่ 4.1 การหาค่าอัตราส่วนจากการทดลองของหม้อแปลงกระแส	62
ตารางที่ 4.2 การหาค่าแรงดันเอาต์พุตสามเฟสที่ได้จากหม้อแปลงแรงดัน	62
ตารางที่ 4.3 ค่าอัตราส่วนที่ได้จากการทดลองของหม้อแปลงกระแสและหม้อแปลงแรงดัน	63
ตารางที่ 4.4 มุมต่างเฟสที่บันทึกจากเครื่องวัดอ้างอิงและโปรแกรม LabVIEW ของ R Load	66
ตารางที่ 4.5 มุมต่างเฟสที่บันทึกจากเครื่องวัดอ้างอิงและโปรแกรม LabVIEW ของ RL Load	69
ตารางที่ 4.6 มุมต่างเฟสที่บันทึกจากเครื่องวัดอ้างอิงและโปรแกรม LabVIEW ของ RC Load	71
ตารางที่ 4.7 มุมต่างเฟสที่บันทึกจากเครื่องวัดอ้างอิงและ LabVIEW ของโหลด R หลังปรับเทียบ	74
ตารางที่ 4.8 มุมต่างเฟสที่บันทึกจากเครื่องวัดอ้างอิงและ LabVIEW ของโหลด RL หลังปรับเทียบ	74
ตารางที่ 4.9 มุมต่างเฟสที่บันทึกจากเครื่องวัดอ้างอิงและ LabVIEW ของโหลด RC หลังปรับเทียบ	75
ตารางที่ 4.10 ความถี่จากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์เปรียบเทียบกับความถี่ที่บันทึกได้	76
ตารางที่ 4.11 ค่าพารามิเตอร์ Linear Load ของชุดเครื่องมือวัดเทียบกับเครื่องวัดอ้างอิง	76
ตารางที่ 4.12 ค่าพารามิเตอร์ Non-Linear Load ของชุดเครื่องมือวัดเทียบกับเครื่องวัดอ้างอิง	77
ตารางที่ 4.13 สรุปค่าความผิดพลาดฮาร์มอนิกในแต่ละเฟสของชุดเครื่องมือวัดเทียบกับเครื่องวัดอ้างอิง	77
ตารางที่ 4.14 ข้อดีข้อเสียระหว่าง DAQ และ LabVIEW กับเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าชนิดอื่น	80

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้นเฉลี่ยปีละ 4-5% จนถึงปี พ.ศ. 2573 โดยพลังงานส่วนใหญ่พึ่งพาจากก๊าซธรรมชาติเป็นหลักมีสัดส่วนสูงถึงร้อยละ 70 ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้พลังงานทดแทนเพื่อรองรับความต้องการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น การใช้พลังงานทดแทน จะช่วยลดการพึ่งพาและการนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศและยังช่วยกระจายความเสี่ยงในการจัดหาเชื้อเพลิงเพื่อผลิตไฟฟ้าของประเทศ โดยมีเป้าหมายที่จะใช้พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ พลังงานลม ก๊าซชีวภาพ ชีวมวล นำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าทดแทนก๊าซธรรมชาติได้ ซึ่งในที่นี้เห็นว่าพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่สะอาดเป็นแหล่งพลังงานที่มีอย่างไม่จำกัดอีกทั้งประเทศไทยนั้นอยู่ในภูมิภาคที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งพลังงานแสงอาทิตย์ จึงเลือกพลังงานแสงอาทิตย์มาทำการออกแบบโปรแกรมสำหรับการวัดและวิเคราะห์พารามิเตอร์ค่าต่างๆ [1]

สำหรับการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆของระบบจริงโดยทั่วไปนั้นใช้เครื่องมือวัดดิจิทัลหรืออนาลอกในการตรวจวัดซึ่งเครื่องมือมีราคาสูงและเป็นแบบวัด ณ ตำแหน่งงาน (on-site measuring) เมื่อความผิดพลาดเกิดขึ้นในระบบเครื่องมือเหล่านี้ไม่สามารถบอกได้ว่าเกิดอะไรขึ้นกับระบบ และไม่สามารถบอกได้ว่าเป็นความผิดพลาดชนิดใด อีกทั้งยังไม่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป ที่สำคัญยังมีราคาแพงและอาจจะมีการทำงานที่ซับซ้อนยากต่อการใช้งาน

จากเหตุผลข้างต้นจึงเป็นที่มาที่กลุ่มวิจัยมีความคิดที่จะนำโปรแกรม LabVIEW มาออกแบบเครื่องมือวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าต่างๆที่จำเป็นต่อการใช้งานของระบบพลังงานแสงอาทิตย์จากระยะไกล พร้อมทั้งนำข้อมูลเหล่านั้นมาวิเคราะห์ว่ามีความผิดปกติใดๆหรือไม่และแก้ไขปัญหาในกรณีที่มีความผิดปกติเกิดขึ้นในระบบรวมถึงการออกแบบเครื่องมือให้มีความสะดวกในการใช้งานและสามารถบันทึกข้อมูลต่างๆข้างต้นเก็บไว้เป็นสถิติต่อไปได้อีกด้วย

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 ทำการศึกษาโปรแกรม LabVIEW เพื่อนำมาออกแบบและพัฒนา ชุดอุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณ วิเคราะห์ผล และ บันทึกค่าพารามิเตอร์ต่างๆทางไฟฟ้า เช่น แรงดัน กระแส กำลัง และตัวประกอบกำลัง เป็นต้น

1.2.2 ทำการปรับปรุงและพัฒนาโปรแกรม LabVIEW ของปี 2557 ของงานวิจัยเรื่อง การศึกษาโปรแกรม LabVIEW สำหรับพลังงานทดแทนในปีการศึกษา 2557 ให้มีประสิทธิภาพและเสถียรภาพมากขึ้น

1.2.3 สามารถเขียนโปรแกรมกราฟิกเพื่อควบคุม DAQ(Data Acquisition) ได้ในระดับหนึ่ง

1.2.4 ศึกษาค่าความผิดพลาดทางไฟฟ้าค่าพารามิเตอร์ต่างๆและรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้า

1.2.5 นำโปรแกรม LabVIEW มาใช้จริงกับระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

### 1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ


- 1.3.1 ทำการศึกษาการใช้งานโปรแกรม LabVIEW และค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง
- 1.3.2 ศึกษามาตรฐานเกี่ยวกับพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า IEEE 1159-2009
- 1.3.3 เขียนโปรแกรมกราฟิกในการวิเคราะห์เปรียบเทียบลักษณะของรูปคลื่นสัญญาณ และค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม แล้วจึงนำผลที่ได้มาวิเคราะห์โดยเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้จากทางทฤษฎี
- 1.3.4 วัดสัญญาณจริงในระบบพลังงานทางเลือกโดยตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณผ่าน DAQ (Data Acquisition) พารามิเตอร์ดังกล่าว ได้แก่ แรงดัน กระแส กำลัง ตัวประกอบกำลังความผิดพลาดทางไฟฟ้า เป็นต้น

### 1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

- 1.4.1 ศึกษาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโปรแกรม LabVIEW สำหรับพลังงานทดแทน
- 1.4.2 ศึกษามาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าและการต่อระบบพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมเข้าสู่ระบบกริด
- 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 สรุปผลการทดลองและจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

ตาราง 1.1 การวางแผนจัดลำดับขั้นตอนของการทำปริญญานิพนธ์

วิธีการดำเนินการ	ปีการศึกษา 2558										
	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. ศึกษาการใช้และหลักการการทำงานของโปรแกรม LabVIEW			←-----→		←-----→						
4. เขียนโปรแกรมกราฟิกสำหรับวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของพลังงานแสงอาทิตย์					←-----→		←-----→				
5. ทำการเชื่อมต่อกับชุดอุปกรณ์ DAQ(Data Acquisition) เพื่อใช้งานกับพลังงานทางเลือก และนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์						←-----→		←-----→			
6. ทดสอบ วิเคราะห์ และแก้ไขปรับปรุงระบบ							←-----→		←-----→		
7. สรุปผลการทดลอง และจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์								←-----→		←-----→	


 ←-----→ วางแผน                      ←-----→ ดำเนินงานจริง

## 1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1.5.1 สามารถพัฒนาโปรแกรม LabVIEW เพื่อใช้ในการวัดและวิเคราะห์สัญญาณ และ ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมได้

1.5.2 สามารถใช้โปรแกรม LabVIEW เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดสอบคุณภาพ ไฟฟ้าของพลังงานทดแทนให้มีความแม่นยำและมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

1.5.3 เป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย โดยการลดการใช้เครื่องมือวัดต่างๆ ที่มีราคาสูง

1.5.4 ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงทางด้าน พลังงานทดแทน และเป็นประโยชน์ในการศึกษาต่อยอดในงานวิจัยต่อไปในอนาคต

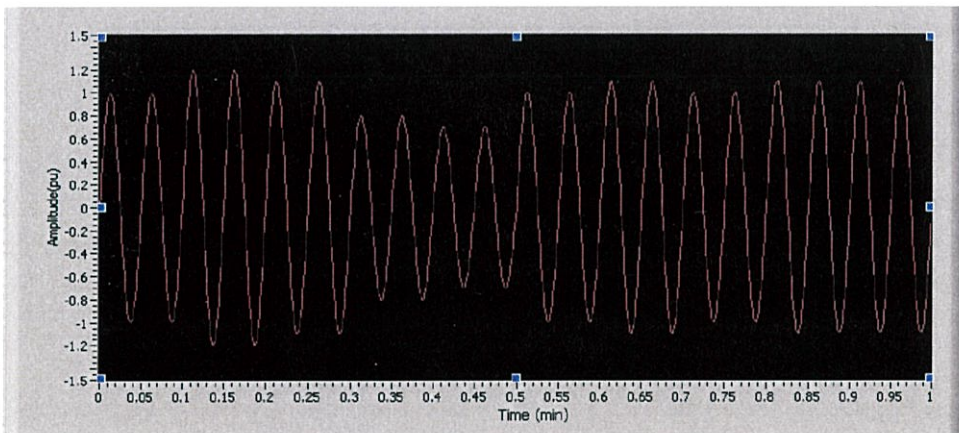
## บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 คุณภาพทางไฟฟ้าและนิยามของพารามิเตอร์คุณลักษณะทางไฟฟ้าที่เกี่ยวข้อง [3]

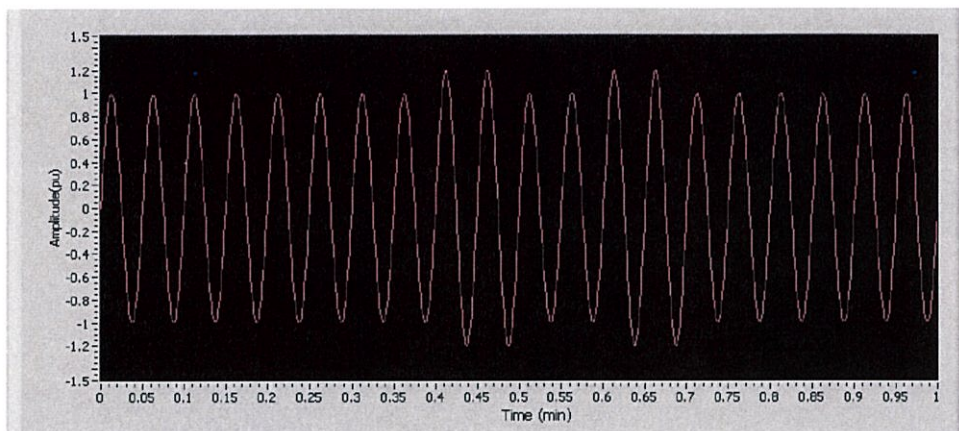
ปัจจุบันคาดว่า คุณภาพกำลังไฟฟ้า (Power Quality) [2] เป็นคำที่พูดถึงบ่อยในเรื่องของความมั่นคงการจ่ายไฟฟ้าของระบบจากการไฟฟ้า และกรณีเมื่อเกิดปัญหาอุปกรณ์ไฟฟ้ามีการทำงานผิดพลาด หรือหยุดการทำงานจากผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งเห็นได้ว่าค่านิยามของคำว่าคุณภาพกำลังไฟฟ้าระหว่างการไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟจะพูดถึงในกรณีที่แตกต่างกันไป 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



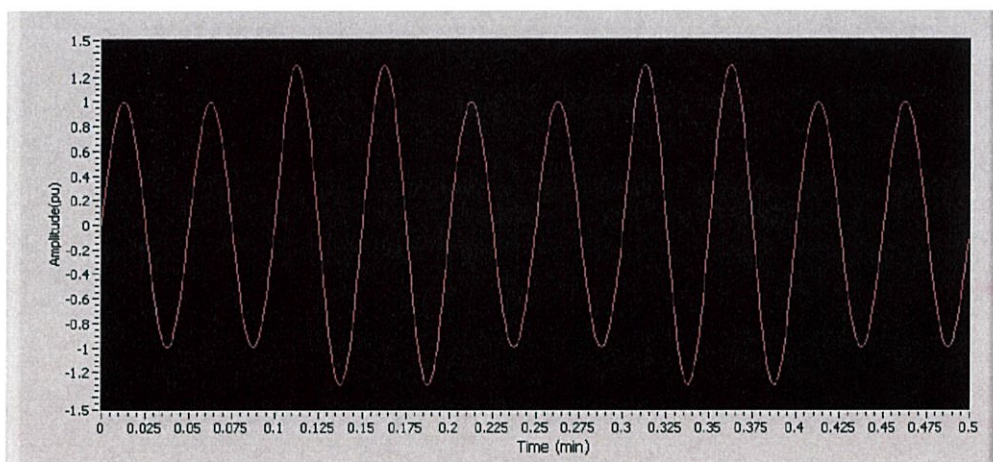
รูปที่ 2.1 รูปคลื่นที่มีแรงดันกระเพื่อมแบบต่อเนื่อง



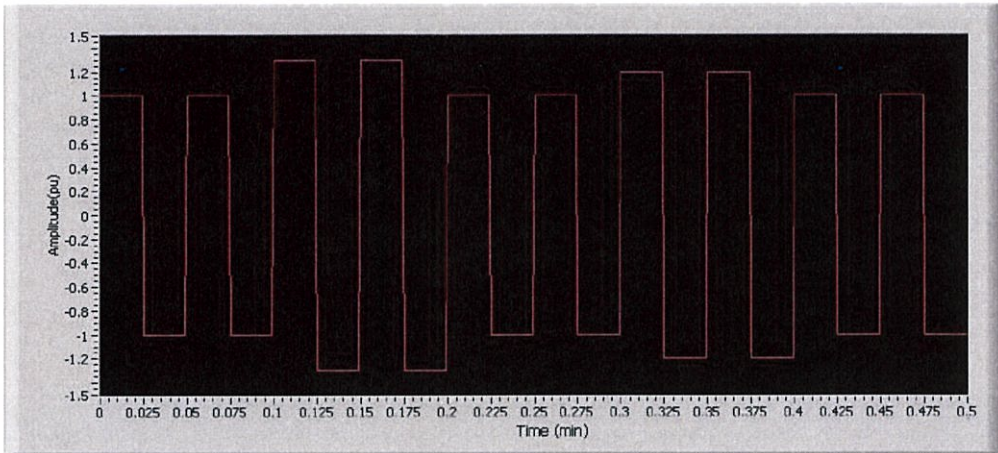
รูปที่ 2.2 รูปคลื่นที่มีแรงดันกระเพื่อมแบบไม่ต่อเนื่อง

### 2.1.2 ไฟกะพริบ (Flicker)

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



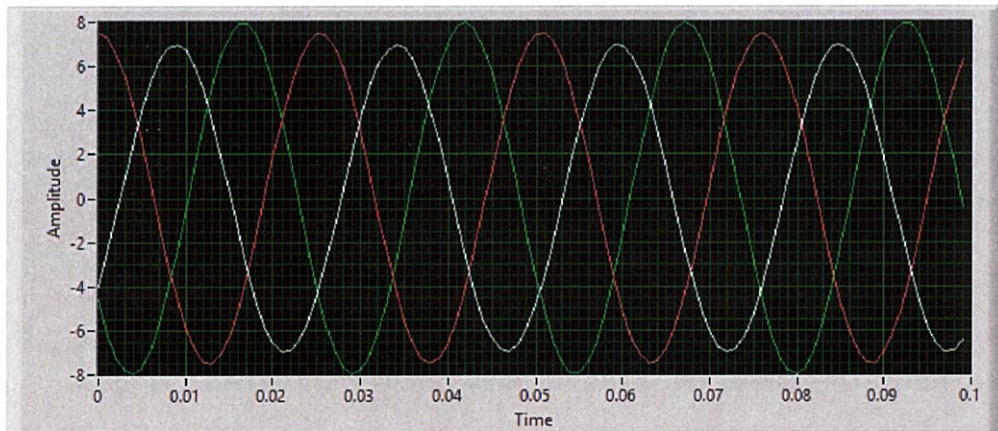
รูปที่ 2.3 รูปคลื่นที่มีไฟกะพริบแบบรูปคลื่นไซน์



รูปที่ 2.4 รูปคลื่นที่มีเฟสพริบแบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยม

### 2.1.3 แรงดันไม่สมดุล (Voltage Unbalance)

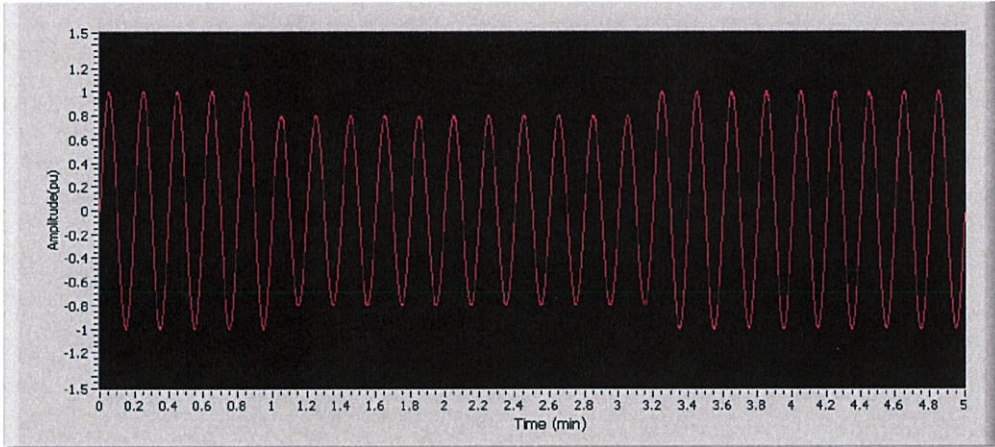
คือ แรงดันของระบบ 3 เฟสมีขนาดแตกต่างกันไม่เกิน 3% หรือมีมุมเปลี่ยนไปจาก 120 องศา เกิดจากความไม่สมดุลขนาดของโหลดแต่ละเฟส สามารถกำหนดได้จากอัตราส่วนขององค์ประกอบลำดับลบ  $V_{neg}$  (Negative Sequence) ต่อองค์ประกอบลำดับบวก  $V_{pos}$  (Positive Sequence) ดังรูป



รูปที่ 2.5 รูปคลื่นที่มีแรงดันไม่สมดุล

### 2.1.4 แรงดันตก (Undervoltage)

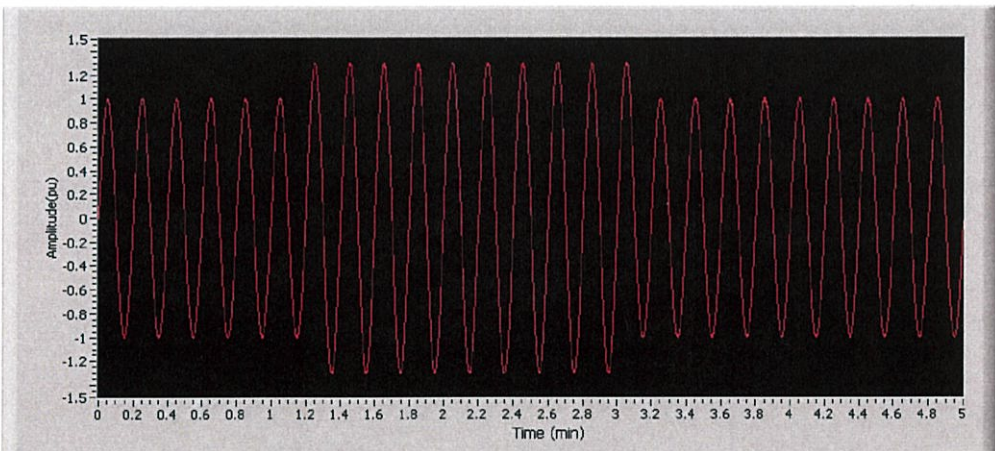
คือการเกิดแรงดันตกมากกว่า 10% (ส่วนใหญ่จะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 0.8-0.9 p.u.) เป็นเวลานานเกินกว่า 1 นาที เช่น การตั้งแท็บของหม้อแปลงไม่ถูกต้อง การเดินเครื่องจักรขนาดใหญ่ หรือการตัดตัวเก็บประจุขนาดใหญ่ออกจากระบบไฟฟ้า คำศัพท์ที่ไม่เป็นทางการคือ “ไฟตก” หรือ “Brownout” เป็นผลทำให้อุปกรณ์ได้รับความเสียหาย เนื่องจากการรับภาระเกิน (Overload)



รูปที่ 2.6 รูปคลื่นที่มีแรงดันตก

### 2.1.5 แรงดันเกิน (Overvoltage)

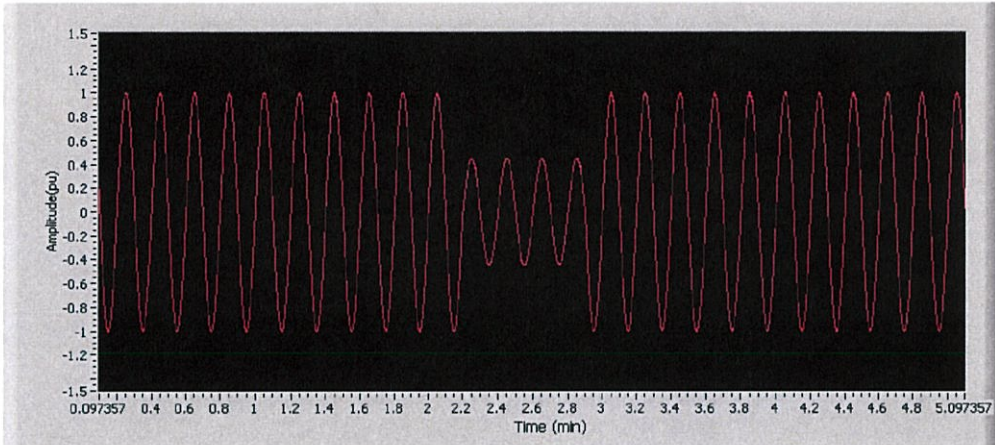
คือการเกิดแรงดันเกินมากกว่า 10% (ส่วนใหญ่จะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 1.1-1.2 p.u.) เป็นเวลานานเกินกว่า 1 นาที เนื่องจากการปลดโหลดขนาดใหญ่ออกจากระบบ ศัพท์ที่ไม่เป็นทางการคือ “ไฟเกิน” เป็นผลทำให้อุปกรณ์เสียหายเนื่องจากแรงดันเกิน



รูปที่ 2.7 รูปคลื่นที่มีแรงดันเกิน

### 2.1.6 แรงดันตกช่วงสั้น (Voltage Sag)

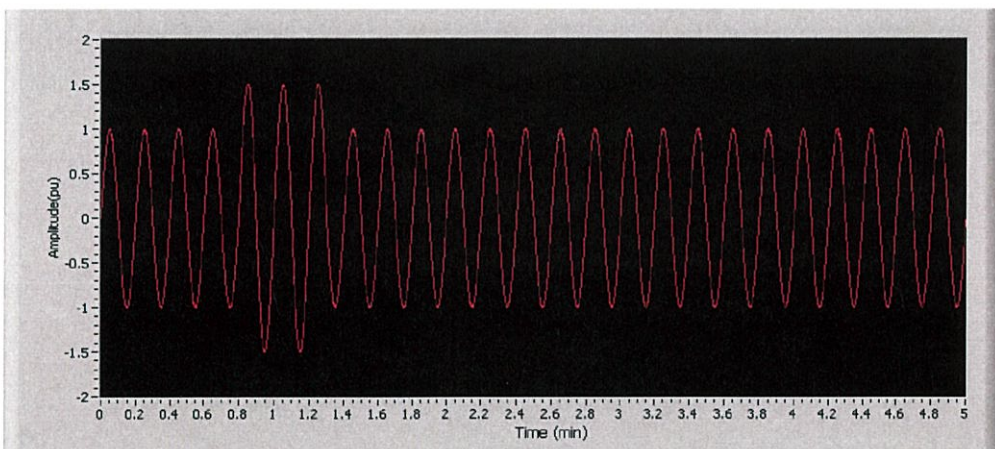
แรงดันตกช่วงสั้น หรือเรียกอีกอย่างว่า Voltage dip คือ แรงดันอาร์เอ็มเอสมี่ขนาดลดลงอยู่ระหว่าง 0.1-0.9 p.u. ในช่วงเวลาระหว่าง 0.01 ถึง 1 นาที ส่วนใหญ่เกิดขึ้นกับเฟสที่เกิดความผิดปกติทางไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.8 ทำให้แรงดันมีค่าลดลงเหลือ 0.2 p.u. ของแรงดันปกติ (80% sag) ในช่วงเวลา 3 คาบ



รูปที่ 2.8 รูปคลื่นที่มีแรงดันตกช่วงสั้นที่เกิดจากความผิดปกติทางไฟฟ้า

### 2.1.7 แรงดันเกินช่วงสั้น (Voltage Swell)

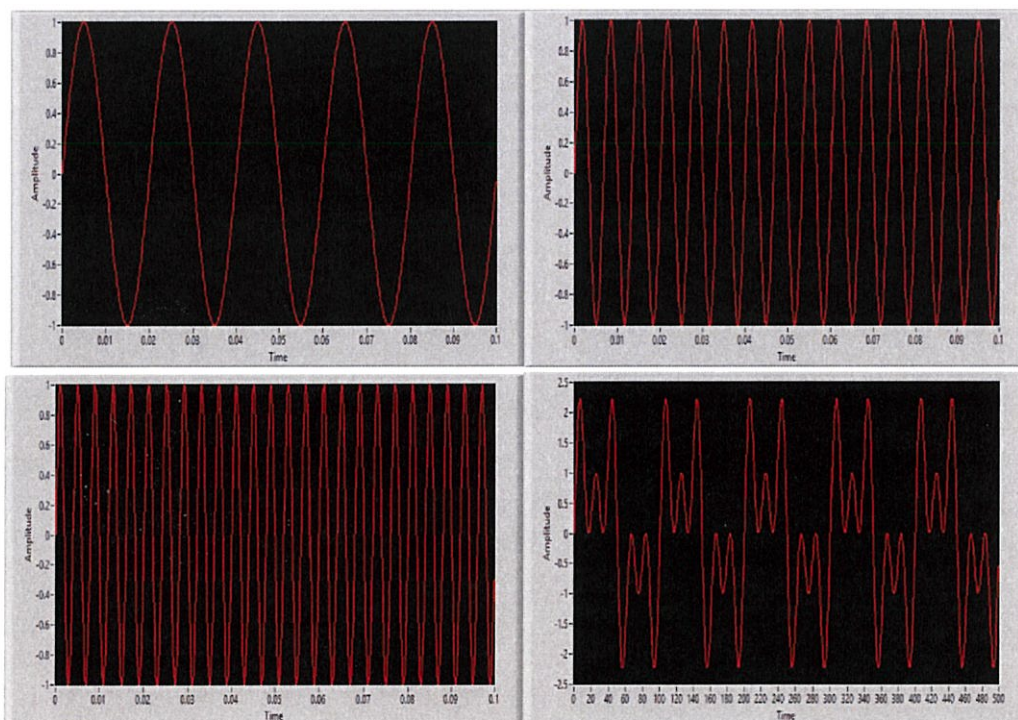
แรงดันเกินช่วงสั้น คือ แรงดันอาร์เอ็มเอสมี่ขนาดเพิ่มขึ้นระหว่าง 1.1-1.8 p.u. ในช่วงเวลาระหว่าง 0.01 ถึง 1 นาที ดังรูปที่ 2.9 ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นกับเฟสที่ไม่ได้เกิดความผิดปกติทางไฟฟ้าโดยตรง หรืออาจเกิดจากการปลดโหลดขนาดใหญ่ออกจากระบบหรือมีการต่อตัวเก็บประจุขนาดใหญ่เข้าระบบ ผลทำให้อุปกรณ์ได้รับความเสียหาย หรือทำให้อุปกรณ์ที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของแหล่งจ่ายไฟไม่การทำงานผิดพลาดหรือหยุดการทำงาน



รูปที่ 2.9 รูปคลื่นที่มีแรงดันเกินช่วงสั้นที่เกิดจากความผิดปกติทางไฟฟ้า

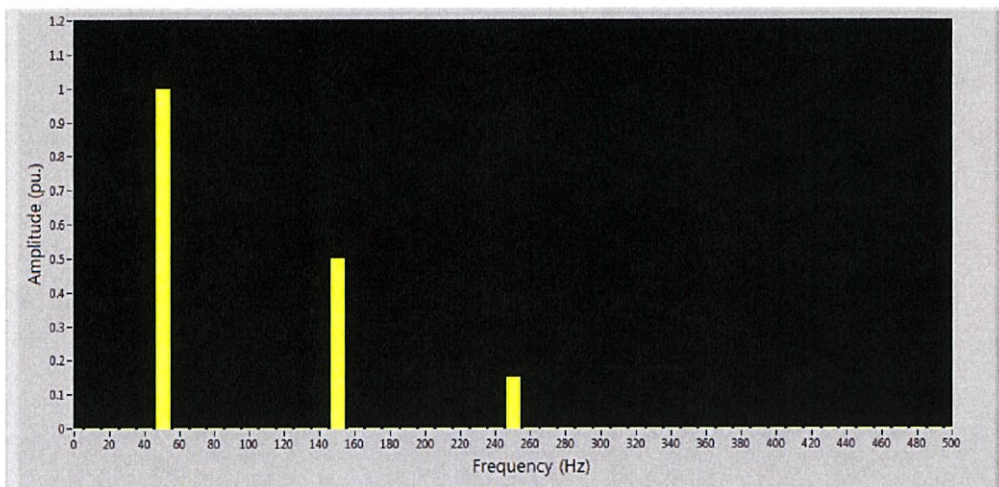
### 2.1.8 ค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม (Total Harmonic Distortion)

ฮาร์มอนิก [4] คือ ส่วนประกอบในรูปสัญญาณคลื่นไซน์ (Sine wave) ของสัญญาณหรือปริมาณเป็นคาบใดๆ ซึ่งมีความถี่เป็นจำนวนเต็มเท่าของความถี่หลักมูล (Fundamental Frequency) ในระบบไฟฟ้าประเทศไทยมีค่า 50 Hz เช่น ฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 มีความถี่เป็น 150 Hz ฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 มีความถี่เป็น 250 Hz เป็นต้น ผลของฮาร์มอนิกเมื่อรวมกันกับสัญญาณความถี่หลักมูลด้วยทางขนาด (Amplitude) และมุมเฟส (Phase Angle) ทำให้สัญญาณที่เกิดขึ้นมีขนาดเปลี่ยนไปและมีรูปสัญญาณเพี้ยน (Distortion) ไปจากสัญญาณคลื่นไซน์ เป็นผลเกิดจากการใช้อุปกรณ์ประเภทที่ไม่เป็นเชิงเส้น ทำให้อุปกรณ์ในระบบไฟฟ้ามีการทำงานผิดพลาด และถ้ามีการขยายของฮาร์มอนิกที่มีขนาดมากพออาจจะทำให้อุปกรณ์เกิดการชำรุดขึ้นได้



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

### 2.1.8.1 ความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกรวม (THDi)



รูปที่ 2.11 สเปกตรัมของฮาร์มอนิก

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

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

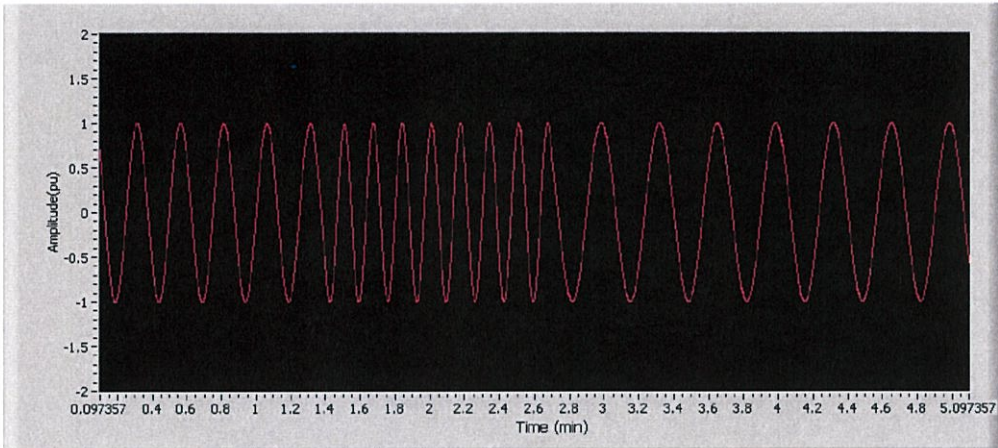
### 2.1.8.2 ความผิดเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกรวม (THDv)

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

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

### 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

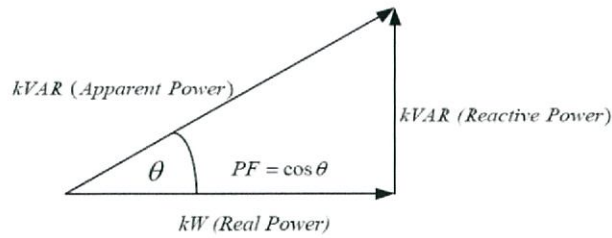
$$S = V_{rms} I_{rms} = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.3)$$

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

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

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

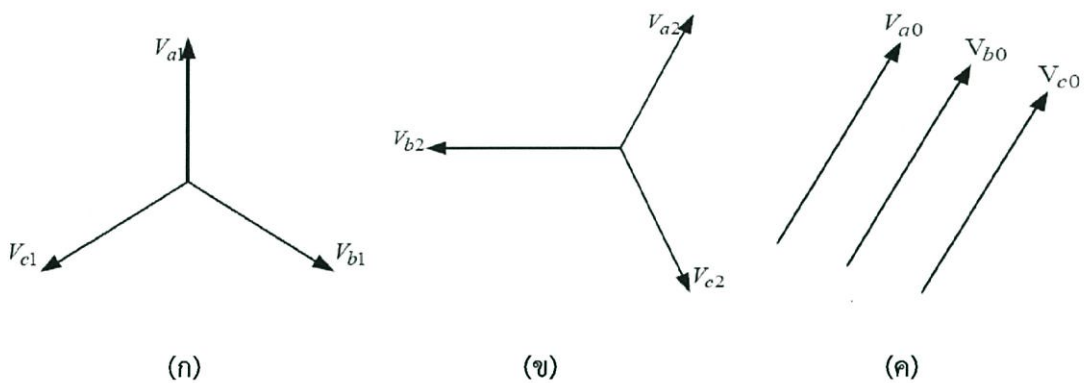
$$\text{Power Factor (P.F.)} = \frac{P}{S} \quad (2.6)$$



รูปที่ 2.13 รูปสามเหลี่ยมกำลัง (Power Triangle)

### 2.1.11 ส่วนประกอบสมมาตรทางไฟฟ้าสามเฟส

ส่วนประกอบสมมาตรนำมาใช้ในการวิเคราะห์แรงดันและกระแสไฟฟ้าสามเฟสในขณะที่เกิดระบบไม่สมดุล โดยกรณีที่ระบบสามเฟสสมดุล (Balance system) ส่วนประกอบสมมาตรลำดับเฟสลบและลำดับเฟสศูนย์มีค่าเป็นศูนย์ ส่วนกรณีระบบไม่สมดุล (Unbalance system) ส่วนประกอบสมมาตรลำดับเฟสลบและลำดับเฟสศูนย์ไม่เป็นศูนย์ โดยใช้การอ้างอิงของส่วนประกอบ 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 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

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

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

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

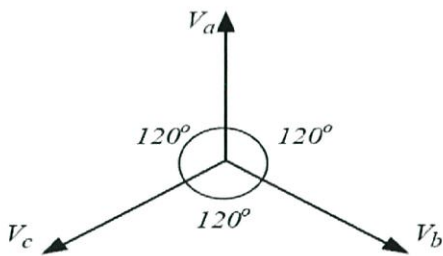
และสามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ด้านกระแสได้เช่นเดียวกัน

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

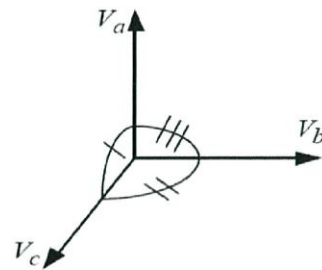
$$I_b = I_{b1} + I_{b2} + I_{b0} \quad (2.11)$$

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

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

## 2.2 รายละเอียดของแผนแม่บทด้านพลังงานหมุนเวียนในประเทศไทย

### 2.2.1 แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้า 20 ปี (PDP) [7]

Power Development Plan : PDP หรือแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย เป็นแผนที่รองรับนโยบายเสริมสร้างความมั่นคงทางด้านพลังงานไฟฟ้าของกระทรวงพลังงาน เพื่อเป็นแผนจัดหาไฟฟ้าในระยะยาวให้เพียงพอต่อการพัฒนาประเทศทั้งทางด้านเศรษฐกิจและสังคม

แผน PDP เป็นแผนการขยายกำลังการผลิตไฟฟ้าและระบบส่งไฟฟ้าของประเทศในอนาคต 15-20 ปี ในแผนดังกล่าวจะระบุค่าพยากรณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้า ซึ่งมีความสำคัญต่อการวางแผน PDP หากการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้ามีความถูกต้องและแม่นยำ จะทำให้การลงทุนในการขยายกำลังการผลิตไฟฟ้าเพื่อรองรับความต้องการไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นอยู่ในระดับที่เหมาะสม นอกจากนี้ จะระบุถึงโครงการโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ ถ่านหินและนิวเคลียร์ โครงการขนาดเล็กและเล็กมาก ทั้งที่เป็นระบบ Cogeneration และพลังงานหมุนเวียน เชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิต การขยายระบบส่งไฟฟ้า ประมาณการเงินลงทุนการขยายกำลังการผลิตไฟฟ้าและระบบส่งไฟฟ้า ผลกระทบค่าไฟฟ้า และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคการผลิตไฟฟ้า เป็นต้น [6]

#### 2.2.1.1 สาเหตุที่มีการปรับปรุงแผน PDP

คณะกรรมการพยากรณ์และจัดทำแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยได้มีการพิจารณาจัดทำแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยชุดใหม่ เนื่องจากแนวโน้มการขยายตัวทางเศรษฐกิจของไทยที่ปรับตัว และแผนการลงทุน โครงสร้างพื้นฐาน ตามนโยบายรัฐบาล รวมทั้งการเตรียมการเข้าสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (ASEAN Economic Community: AEC) ในปี 2558 ซึ่งจะส่งผลต่อการใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยโดยรวม ดังนั้น จึงมีการจัดทำแผน PDP2015 เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการใช้ไฟฟ้าที่จะเกิดขึ้น กระทรวงพลังงาน ได้วางกรอบแผนบูรณาการพลังงานแห่งชาติ โดยจัดทำเป็น 5 แผนหลัก ได้แก่

- (1) แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย (Thailand Power Development Plan: PDP)
- (2) แผนอนุรักษ์พลังงาน (Energy Efficiency Development Plan: EEDP)
- (3) แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงาน ทางเลือก (Alternative Energy Development Plan: AEDP)
- (4) แผนการจัดหาก๊าซธรรมชาติของ ไทย
- (5) แผนบริหารจัดการน้ำมันเชื้อเพลิง ทั้งนี้ การจัดทำแผนบูรณาการพลังงานแห่งชาติ และ แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2558 – 2579 (แผน PDP2015)

#### 2.2.1.2 แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2558 - 2579

ตามที่ภาครัฐมีนโยบายใหม่ด้านพลังงานไฟฟ้า โดยมีแนวทางการจัดทำแผนพัฒนากำลังผลิต ไฟฟ้า พ.ศ. 2558 - 2579 (Power Development Plan: PDP2015) พร้อมทั้งจัดทำแผนอนุรักษ์ พลังงาน (Energy Efficiency Development Plan: EEDP) และจัดทำแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและ พลังงานทางเลือก (Alternative Energy Development Plan: AEDP) ให้สอดคล้องกัน ต่อมาเมื่อวันที่ 15 ธันวาคม 2557 กพข. ได้เห็นชอบกรอบการจัดทำแผนดังกล่าว โดยยึดหลักดังนี้

1. ด้านความมั่นคงทางพลังงาน (Security) ต้องจัดหาไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการใช้ ไฟฟ้า และใช้เชื้อเพลิงหลากหลาย รวมทั้งมีความเหมาะสมเพื่อลดความเสี่ยงจากการพึ่งพาเชื้อเพลิงชนิดใดชนิดหนึ่งมากเกินไป

2. ด้านเศรษฐกิจ (Economy) ต้องคำนึงถึงต้นทุนการผลิตไฟฟ้าที่เหมาะสม และคำนึงการใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพในภาคเศรษฐกิจต่างๆ 3. ด้านสิ่งแวดล้อม (Ecology) ต้องลดผลกระทบที่เกิดกับสิ่งแวดล้อมและชุมชน โดยเฉพาะ เป้าหมายในการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อหน่วยผลิตไฟฟ้า

### 2.2.1.3 สรุปแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2558 – 2579

ในการจัดทำแผน PDP2015 ต้องสอดคล้องกับทิศทางการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ ซึ่ง จัดทำและประมาณการโดยสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (สศช.) ได้ คาดการณ์ว่าจะมีการเติบโตทางเศรษฐกิจระยะยาวที่ร้อยละ 3.94 ต่อปี และใน ส่วนของการบูรณาการกับ แผนพลังงานที่เกี่ยวข้อง คาดว่าผลการเพิ่มประสิทธิภาพตามแผนอนุรักษ์พลังงาน จะส่งผลให้การใช้ไฟฟ้า ลดลงประมาณ 89,672 ล้านหน่วย (GWh) ในปี 2579 นอกจากนี้ ยังมีแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและ พลังงานทางเลือก เน้นการพัฒนาพลังงานทดแทนให้เต็มตาม ศักยภาพในแต่ละพื้นที่ โดยจะมีการส่งเสริม การผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงขยะ ชีวมวล และก๊าซชีวภาพ รวมถึงพลังงานทดแทนอื่นๆ เช่น ลม แสงอาทิตย์ พร้อมขยายระบบส่งไฟฟ้าและระบบจำหน่ายไฟฟ้า ของ 3 การไฟฟ้า ให้รองรับการส่งเสริม พลังงานทดแทนเป็นรายพื้นที่ ตลอดจนพัฒนาระบบ Smart Grid เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต ไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน จากนโยบายดังกล่าวได้กำหนด กรอบประมาณการสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงของ แผน PDP2015 ในปี 2579 ดังนี้

#### ตารางที่ 2.1 กรอบประมาณการสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงของ แผน PDP2015 ในปี 2579

ประเภทเชื้อเพลิง	ณ ปี 2557 ประมาณร้อยละ	ณ ปี 2569 ประมาณร้อยละ	ณ ปี 2579 ประมาณร้อยละ
ซื้อไฟฟ้าพลังน้ำ ต่างประเทศ	7	10 - 15	10 - 15
ถ่านหินเทคโนโลยี สะอาด (รวมลิกไนต์)	20	20 - 25	20 - 25
พลังงานหมุนเวียน (รวมพลังน้ำ)	8	10 - 20	15 - 20
ก๊าซธรรมชาติ	64	45 - 50	30 - 40
นิวเคลียร์	-	-	0 - 5
ดีเซล/น้ำมันเตา	1	-	-

1. สถานภาพปัจจุบัน

● ความต้องการไฟฟ้า

ในปี 2557 ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด (Peak) ของระบบ กฟผ. เกิดขึ้นเมื่อวันที่ 23 เมษายน 2557 เวลา 14.26 น. ที่ 26,942.1 เมกะวัตต์ ที่อุณหภูมิตั้งที่ 37.5 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้นจากความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดปี 2556 เท่ากับ 344.0 เมกะวัตต์ เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 1.29

● กำลังผลิตไฟฟ้า

ณ สิ้นเดือน ธันวาคม 2557 กำลังผลิตไฟฟ้ารวมของประเทศไทย เท่ากับ 37,612 เมกะวัตต์แยกได้เป็นกำลังผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าประเภท Firm (ในระบบ กฟผ.) จำนวน 34,668 เมกะวัตต์ รับซื้อไฟฟ้าจาก SPP Non-firm จำนวน 915 เมกะวัตต์ รับซื้อไฟฟ้าจาก VSPP จำนวน 2,029 เมกะวัตต์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

แบ่งตามประเภทโรงไฟฟ้า

- พลังความร้อนร่วม	21,145 เมกะวัตต์	ร้อยละ 56.2
- พลังความร้อน	7,538 เมกะวัตต์	ร้อยละ 20.0
- พลังงานหมุนเวียน	8,476 เมกะวัตต์	ร้อยละ 22.5
- กังหันแก๊ส เครื่องยนต์ดีเซล	153 เมกะวัตต์	ร้อยละ 0.5
- สายส่งเชื่อมโยงไทย-มาเลเซีย	300 เมกะวัตต์	ร้อยละ 0.8
รวม 37,612 เมกะวัตต์		

แบ่งตามผู้ผลิตไฟฟ้า

- กฟผ.	15,482 เมกะวัตต์	ร้อยละ 41.2
- เอกชนรายใหญ่ (IPP)	13,167 เมกะวัตต์	ร้อยละ 35.0
- เอกชนรายเล็ก (SPP)	4,530 เมกะวัตต์	ร้อยละ 12.0
- เอกชนรายเล็กมาก (VSPP)	2,029 เมกะวัตต์	ร้อยละ 5.4
- ซื้อไฟฟ้าต่างประเทศ	2,404 เมกะวัตต์	ร้อยละ 6.4
รวม 37,612 เมกะวัตต์		

● ระบบส่งไฟฟ้า

ระดับแรงดันไฟฟ้ามาตรฐานในระบบส่งไฟฟ้าของ กฟผ. ประกอบด้วย 500 กิโลโวลต์ 230 กิโลโวลต์ 132 กิโลโวลต์ 115 กิโลโวลต์ และ 69 กิโลโวลต์ ที่ความถี่ 50 เฮิรท์ซ์ โดย ณ สิ้นเดือน ธันวาคม 2557 สายส่งไฟฟ้ามีความยาวทั้งสิ้น 32,526.99 วงจร-กิโลเมตร แยกเป็นระดับแรงดัน 500 กิโลโวลต์ 4,167.17 วงจร-กิโลเมตร แรงดัน 230 กิโลโวลต์ 14,605.12 วงจร-กิโลเมตร แรงดัน 132 กิโลโวลต์ 8.70 วงจร-กิโลเมตร แรงดัน 115 กิโลโวลต์ 13,703.93 วงจร-กิโลเมตร แรงดัน 69 กิโลโวลต์ 19.00 วงจร-กิโลเมตร และแรงดัน 300 กิโลโวลต์ (HVDC) 23.07 วงจร-กิโลเมตร และจำนวนสถานีไฟฟ้าแรงสูงของกฟผ. รวมทั้งสิ้น จำนวน 213 สถานี ประกอบด้วยสถานีไฟฟ้าแรงสูง 500 กิโลโวลต์ จำนวน 11 สถานี สถานีไฟฟ้าแรงสูง 230 กิโลโวลต์ จำนวน 71 สถานี และสถานีไฟฟ้าแรงสูง 115 กิโลโวลต์ จำนวน 131 สถานี ทั้งนี้มีความสามารถในการจ่ายไฟฟ้า (พิกัดหม้อแปลง) รวมทั้งสิ้น 88,461.44 เมกะโวลต์แอมแปร์

## 2. การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า

การจัดทำค่าพยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้าของประเทศ สชช. ได้จัดทำประมาณการแนวโน้มการขยายตัวทางเศรษฐกิจระยะยาว (GDP) ปี 2557 - 2579 มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 3.94 ต่อปี ใช้อัตราการเพิ่มของประชากรเฉลี่ยร้อยละ 0.03 ต่อปี และมีการประยุกต์ใช้แผนอนุรักษ์พลังงาน (EEDP) โดยมีเป้าหมายลดการใช้พลังงานไฟฟ้า ณ ปี 2579 เท่ากับ 89,672 ล้านหน่วย รวมทั้งได้พิจารณากรอบของแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (AEDP) สำหรับภาคการผลิตไฟฟ้าในปี 2579 ซึ่งจะมีกำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนเข้าระบบจำนวน 19,634.4 เมกะวัตต์ ค่าพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าที่ใช้ในการจัดทำแผน PDP2015 เมื่อรวมผลของแผนอนุรักษ์พลังงานและแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกแล้ว ในช่วงปี 2557 - 2579 ความต้องการพลังงานไฟฟ้ารวมสุทธิของประเทศมีอัตราการเติบโตเฉลี่ยร้อยละ 2.67 ต่อปี ในปี 2579 ค่าพยากรณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้ารวมสุทธิ (Energy) และพลังไฟฟ้าสูงสุดสุทธิ (Peak) ของประเทศมีค่าประมาณ 326,119 ล้านหน่วย และ 49,655 เมกะวัตต์ ตามลำดับ

### ตารางที่ 2.2 ค่าพยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้าของประเทศ

พ.ศ.	PDP2010 Rev3		PDP2015		เปลี่ยนแปลง (%)	
	พลังไฟฟ้าสูงสุด (เมกะวัตต์)	พลังงานไฟฟ้า (ล้านหน่วย)	พลังไฟฟ้าสูงสุด (เมกะวัตต์)	พลังงานไฟฟ้า (ล้านหน่วย)	พลังไฟฟ้าสูงสุด (เมกะวัตต์)	พลังงานไฟฟ้า (ล้านหน่วย)
2559	31,809	210,619	30,218	197,891	-1,591	-12,728
2569	46,003	304,548	40,791	67,629	-5,212	-36,919
2573	52,256	346,767	44,424	91,519	-7,832	-55,248
2579	-	-	49,655	326,119	-	-

### 3. แนวทางการจัดทำแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยพ.ศ. 2558 - 2579 (PDP2015)

ตามมติ กพข. เมื่อวันที่ 15 สิงหาคม 2557 ได้ให้ความเห็นชอบแนวทางในการจัดทำแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย (PDP2015) ไว้ดังนี้

1). ให้ความสำคัญกับความมั่นคงของระบบไฟฟ้าของประเทศ เพื่อให้มีความมั่นคงครอบคลุมทั้งระบบผลิตไฟฟ้า ระบบส่งไฟฟ้า และระบบจำหน่ายไฟฟ้ารายพื้นที่

2). นโยบายการกระจายเชื้อเพลิง เพื่อลดความเสี่ยงการพึ่งพิงเชื้อเพลิงชนิดใดชนิดหนึ่ง

- ลดการพึ่งพาก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงหลัก
- เพิ่มสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าถ่านหินโดยใช้เทคโนโลยีสะอาด
- จัดหาไฟฟ้าจากต่างประเทศไม่เกินร้อยละ 20 ของกำลังผลิตไฟฟ้าในระบบ
- ส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน
- จัดสรรโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ไว้ปลายแผนตามเดิม

3). กำลังผลิตไฟฟ้าสำรอง (Reserve margin) ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 15 ของความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด

4). นโยบายผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายใหญ่ (IPP) และผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายเล็ก (SPP) จะดำเนินการตามสัญญาของโรงไฟฟ้าเอกชนที่มีข้อผูกพัน (Commit) แล้ว

#### 4. แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย (PDP2015)

จากสมมุติฐานข้างต้น แผนพัฒนาการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2558 - 2579 (PDP2015) สรุปได้โดยสังเขปเป็นดังนี้ เมื่อสิ้นแผนฯในปลายปี 2579 จะมีกำลังผลิตไฟฟ้ารวมสุทธิ 70,335 เมกะวัตต์ โดยประกอบด้วยกำลังผลิตไฟฟ้าในปัจจุบัน ณ สิ้นปี 2557 เท่ากับ 37,612 เมกะวัตต์ กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าใหม่รวม 57,459 เมกะวัตต์ มีการปลดกำลังผลิตโรงไฟฟ้าเก่าที่หมดอายุ ในช่วงปี 2558 - 2579 จำนวน 24,736 เมกะวัตต์

กำลังผลิตไฟฟ้าในช่วงปี 2558 - 2579

- กำลังผลิตไฟฟ้า ณ ธันวาคม 2557	37,612	เมกะวัตต์
- กำลังผลิตไฟฟ้าใหม่ ในช่วงปี 2558 - 2579	57,459	เมกะวัตต์
- กำลังผลิตไฟฟ้าที่ปลดออกจากระบบ ในช่วงปี 2558 - 2579	24,736	เมกะวัตต์
- รวมกำลังผลิตไฟฟ้าทั้งสิ้น ณ สิ้นปี 2579	70,335	เมกะวัตต์

กำลังผลิตไฟฟ้าใหม่ ในช่วงปี 2558 - 2579 เท่ากับ 57,459 เมกะวัตต์

แยกตามประเภทโรงไฟฟ้า ดังนี้

โรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน 21,648 เมกะวัตต์

- ในประเทศ	12,105	เมกะวัตต์
- ซื้อไฟฟ้าต่างประเทศ	9,543	เมกะวัตต์
โรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับ	2,101	เมกะวัตต์
โรงไฟฟ้าโคเจนเนอเรชั่น	4,119	เมกะวัตต์
โรงไฟฟ้าพลังความร้อนรวม	17,478	เมกะวัตต์
โรงไฟฟ้าพลังความร้อน	12,113	เมกะวัตต์
- โรงไฟฟ้าถ่านหิน/ลิกไนต์	7,390	เมกะวัตต์
- โรงไฟฟ้านิวเคลียร์	2,000	เมกะวัตต์
- โรงไฟฟ้ากังหันแก๊ส	1,250	เมกะวัตต์
- ซื้อไฟฟ้าต่างประเทศ	1,473	เมกะวัตต์

รวม 57,459 เมกะวัตต์

ตามแนวทางการจัดทำแผน PDP2015 ที่ให้ความสำคัญกับความมั่นคงระบบไฟฟ้า โดยให้ครอบคลุมระบบผลิตไฟฟ้า ระบบส่งไฟฟ้า และระบบจำหน่ายไฟฟ้ารายพื้นที่ จึงพิจารณาพื้นที่ที่มีโอกาสและมีความเสี่ยงสูง ที่จะเกิดไฟฟ้าดับเป็นบริเวณกว้าง จึงพิจารณา ใน 2 พื้นที่

#### 5. แผนพัฒนาระบบส่งไฟฟ้า

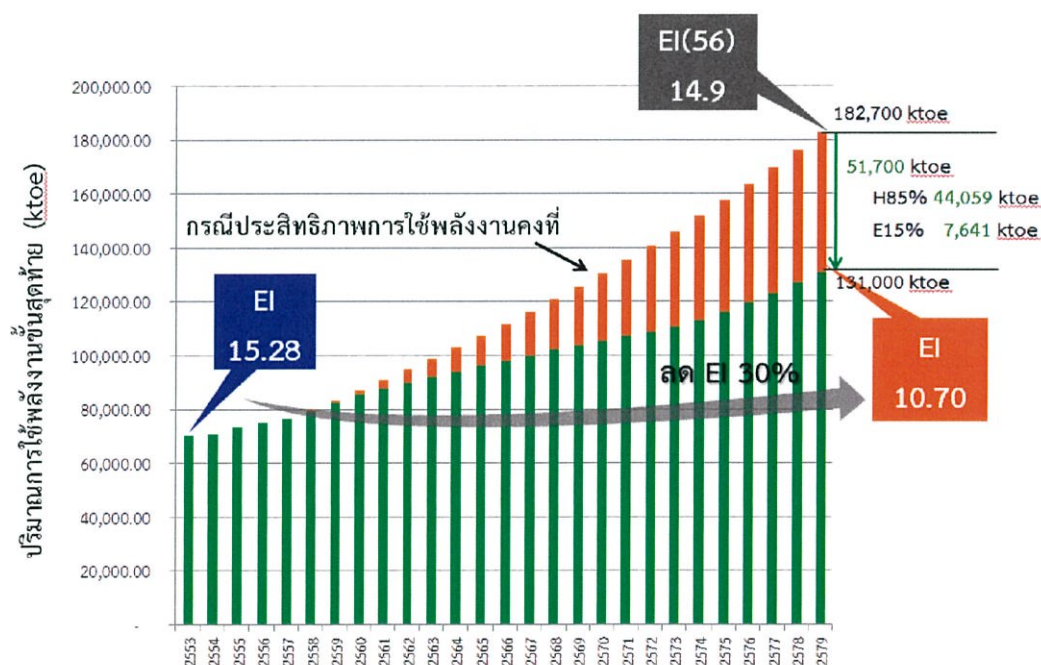
โครงการและแผนงานพัฒนาระบบส่งไฟฟ้าที่ กฟผ. จะดำเนินการในช่วงเวลาตามแผนPDP2015 ประกอบด้วย โครงการต่างๆ ดังนี้

- โครงการพัฒนาระบบส่งไฟฟ้า เพื่อสนองความต้องการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นจำนวน 9 โครงการ
- โครงการพัฒนาระบบส่งไฟฟ้าเพื่อเสริมความมั่นคงระบบไฟฟ้า จำนวน 7 โครงการ
- โครงการปรับปรุงและขยายระบบส่งไฟฟ้าที่เสื่อมสภาพตามอายุการใช้งานจำนวน 5โครงการ
- โครงการระบบส่งไฟฟ้าเพื่อรองรับการเชื่อมต่อโรงไฟฟ้า จำนวน 9 โครงการ

- โครงการเชื่อมโยงระบบส่งไฟฟ้าระหว่างประเทศแบบระบบต่อระบบ (Grid to Grid)
- โครงการพัฒนาระบบโครงข่ายไฟฟ้าสมาร์ทกริด (Smart Grid)

### 2.2.2 แผนอนุรักษ์พลังงาน (EEDP) [7]

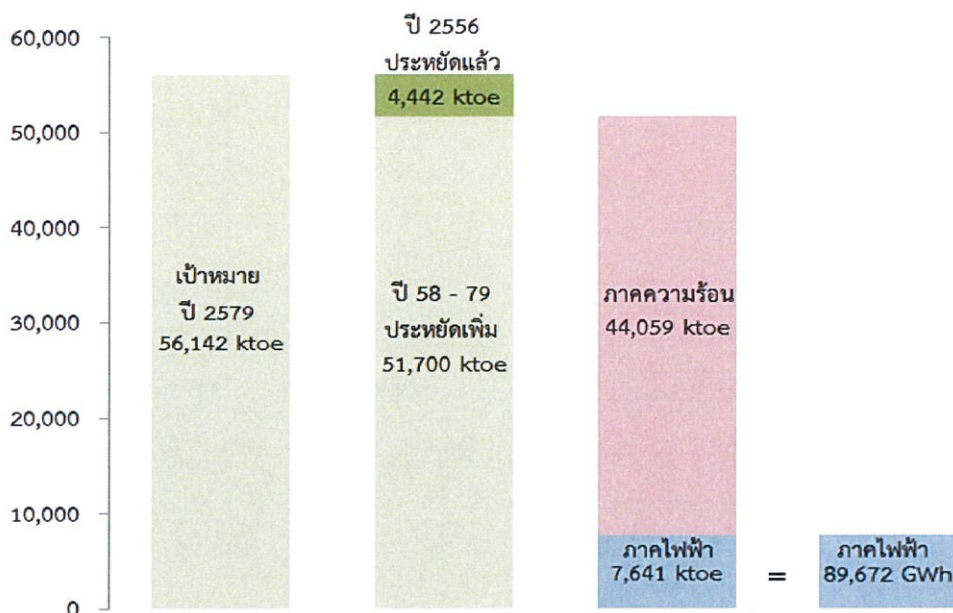
ภาครัฐสังเกตเห็นว่าในอนาคตปัญหาเรื่องราคาพลังงาน การแย่งชิงทรัพยากรพลังงานระหว่างประเทศ ปัญหาสิ่งแวดล้อม และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศซึ่งเป็นผลพวงของการผลิตและใช้พลังงาน จะเป็นปัญหาที่จะมีความรุนแรงยิ่งขึ้นซึ่งจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของประชาชน และความสามารถในการแข่งขันเชิงเศรษฐกิจอย่างหลีกเลี่ยงมิได้ แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2558 - 2579) จัดทำขึ้นโดยสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้ 1) เพื่อกำหนดเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานของประเทศในระยะสั้น 5 ปี และระยะยาว 20 ปี โดยตั้งเป้าลดความเข้มของการใช้พลังงาน (Energy Intensity : EI) ลงร้อยละ 30 ในปี 2579 เมื่อเทียบกับปี 2553 ทั้งในภาพรวมพลังงานของประเทศ (ความร้อนและไฟฟ้า) และในรายภาคเศรษฐกิจที่มีการใช้พลังงานมาก ได้แก่ ภาคขนส่งภาคอุตสาหกรรม ภาคอาคารธุรกิจ และภาคบ้านอยู่อาศัย 2) เพื่อกำหนดยุทธศาสตร์และแนวทางในการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน และให้บรรลุเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานที่ตั้งไว้ตามข้อ 1) รวมทั้งกำหนดมาตรการและแผนงานเพื่อเป็นกรอบในการจัดทำแผนปฏิบัติการการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานของหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง



รูปที่ 2.17 เป้าหมายแผนอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2558 – 2579 [7]

เพื่อกำหนดแนวนโยบายและแนวทางการดำเนินการด้านการอนุรักษ์พลังงานของประเทศในระยะยาว กระทรวงพลังงานได้ทบทวนแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554 - 2573) โดยปรับค่าพื้นฐานและสมมติฐานอื่นๆ ให้สอดคล้องกับความต้องการใช้ไฟฟ้าและความต้องการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในอนาคตโดยการปรับเป้าหมายเดิมที่จะลดความเข้มการใช้พลังงานลงร้อยละ 30 ในปี พ.ศ. 2579 เมื่อเทียบกับปี 2553 หรือประมาณ 56,142 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe) แต่เมื่อพิจารณาที่ปีฐาน ปี 2556 ความเข้มการใช้พลังงานลดลงจากปี 2553 แล้วประมาณ 4,442 ktoe

ดังนั้นการดำเนินงานในช่วงปี พ.ศ. 2558 -2579 จะเป็นการผลักดันมาตรการต่างๆ เพื่อให้เกิดผลประหยัดพลังงานครบตามเป้าหมายอีกประมาณ 51,700 ktoe โดยประมาณร้อยละ 15 เป็นส่วนการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าคิดเป็น 7,641 ktoe หรือ เทียบเท่า 89,672 ล้านหน่วย (GWh) และประมาณร้อยละ 85 เป็นส่วนการลดการใช้พลังงานความร้อน คิดเป็น 44,059 ktoe



รูปที่ 2.18 เป้าหมายผลประหยัดพลังงานตามแผนอนุรักษ์พลังงาน ปี 2579 [7]

### 2.2.3 แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (AEDP) [7]

กระทรวงพลังงานได้มีแนวทาง และข้อพิจารณาในการจัดทำแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (Alternative Energy Development Plan: AEDP) ดังนี้

"พลังงานทางเลือก" "พลังงานทดแทน" "พลังงานหมุนเวียน" ศัพท์ต่างๆ เหล่านี้เริ่มเข้ามามีบทบาทในระบบไฟฟ้าของประเทศไทยอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ แม้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าของพลังงานทางเลือกบางชนิดยังมีราคาสูงกว่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าหลักประเภทอื่นๆ อาทิ เช่น โรงไฟฟ้าถ่านหินเทคโนโลยีสะอาด โรงไฟฟ้าก๊าซธรรมชาติ โรงไฟฟ้าพลังน้ำ เป็นต้น ซึ่งปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่ส่งผลให้ประเทศไทยจำเป็นต้องหันมาพิจารณาการใช้พลังงานทางเลือกคือ ปัญหาภาวะโลกร้อนที่มีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas: GHG) ซึ่งส่วนใหญ่คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) อันเกิดจากกระบวนการสันดาปของเชื้อเพลิงฟอสซิล ไม่ว่าจะในอุตสาหกรรมประเภทใด ไม่เว้นอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้า ที่ต้องอาศัยเชื้อเพลิงฟอสซิล เป็นเชื้อเพลิงหลักในการผลิตกระแสไฟฟ้า ดังนั้น รัฐบาลแต่ละสมัยมีความพยายามในการผลักดันแผน AEDP ให้เป็นรูปธรรมมากขึ้นเพื่อการก้าวไปสู่สังคมคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Society) และเป็นแบบอย่างของสังคมโลกที่กล่าวถึงประเทศไทยว่าเป็นประเทศที่มีความมุ่งมั่นให้มีการใช้พลังงานทดแทน โดยให้มีการใช้พลังงานทางเลือกในการผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ซึ่งอาศัยมาตรการจูงใจให้มีการรับซื้อไฟฟ้าจากภาคเอกชน ระยะแรก มีการกำหนดส่วนเพิ่มราคาซื้อไฟฟ้า (Adder) สำหรับการรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานทางเลือก ทำให้มีนักลงทุนสนใจเป็นจำนวนมากเข้าร่วมโครงการผลิตไฟฟ้าได้ทำการยื่นคำร้องเสนอขายไฟฟ้าแก่การไฟฟ้าต่างๆ ปัจจุบันอยู่ระหว่างเปลี่ยนแปลงมาตรการจูงใจสำหรับการลงทุนจากภาคเอกชนให้เหมาะสมกับสถานการณ์ด้านราคาซื้อไฟฟ้าเป็น Feed-in

Tariff (FIT) ให้สะท้อนต้นทุนการผลิตไฟฟ้าของพลังงานหมุนเวียนแต่ละชนิดมากขึ้น และกำหนดกรอบระยะเวลาการรับซื้อไฟฟ้าที่ชัดเจน

ในอดีต แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2555 - 2573 (PDP2010 ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 3) ได้พิจารณาตามนโยบายส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนของภาครัฐ ตามแผน AEDP ซึ่งมีกรอบการดำเนินงานระหว่างปี 2555 - 2564 เพื่อทดแทนพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงฟอสซิล ร้อยละ 25 ใน 10 ปี นอกจากนี้ ยังมีการวิเคราะห์ผลกระทบค่าพลังงานไฟฟ้าต่อผู้ใช้ไฟฟ้าของแผน AEDP ให้อยู่ในเกณฑ์ที่คณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (กพช.) ได้ให้ความเห็นชอบไว้ แต่เท่าที่ผ่านมา เนื่องจากเป็นช่วงเริ่มต้นจึงมีผู้สนใจลงทุนเป็นจำนวนมาก ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของพลังงานทดแทนในบางพื้นที่ บางช่วงเวลามากกว่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ ทำให้มีปัญหาอุปสรรคในการดำเนินงาน ส่งผลกระทบทั้งในการดำเนินการพิจารณาตอบรับซื้อไฟฟ้าและความพร้อมของระบบไฟฟ้า

สำหรับนโยบายส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนของภาครัฐในปัจจุบัน (2558) มุ่งเน้นไปที่การแก้ไขปัญหาสังคมส่วนรวม ได้แก่ ปัญหาขยะชุมชน และผลผลิตเหลือใช้ทางการเกษตร ซึ่งเป็นเหตุให้มีการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากขยะชุมชน ชีวมวล และก๊าซชีวภาพ เป็นหลัก โดยมียุทธศาสตร์ในการส่งเสริมพลังงานชีวภาพ ได้แก่ พลังงานจากขยะ ชีวมวล และก๊าซชีวภาพ เป็นอันดับแรก ซึ่งศักยภาพคงเหลือในปัจจุบัน สามารถผลิตไฟฟ้าจากขยะได้อีกประมาณ 500 เมกะวัตต์ และจากชีวมวลได้อีกประมาณ 2,500 เมกะวัตต์ และมีการประสานงานร่วมกับนโยบาย Zoning ของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ที่ต้องการเพิ่มพื้นที่เพาะปลูกอ้อยและปาล์ม และเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังจาก 3.5 ตันต่อไร่ต่อปี เป็น 7 ตันต่อไร่ต่อปี ซึ่งสามารถเพิ่มศักยภาพเชื้อเพลิงเพื่อผลิตไฟฟ้าได้อีก 1,500 เมกะวัตต์ แต่ข้อสำคัญต้องมีผลผลิต (Productivity) ที่ดี มิเช่นนั้นจะเป็นภาระกับผู้ใช้งาน สำหรับแนวคิดการจัดสรรปริมาณการผลิตไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีพลังงานทดแทนประเภทต่างๆ เป็นเชิงพื้นที่รายภูมิภาคและรายจังหวัด (REZoning รายจังหวัด) รวมถึงการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีพลังงานทดแทนในอนาคตที่อาจจะสามารถแข่งขันได้กับการผลิตไฟฟ้าจาก LNG ตลอดจนการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าที่เกิดการสร้างชุมชนที่เข้มแข็งและการลดการนำเข้าพลังงานจากฟอสซิล ทั้งนี้ จะทำการเพิ่มสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนจากปัจจุบันที่ร้อยละ 8 เป็นร้อยละ 20 ของปริมาณความต้องการไฟฟ้ารวมของประเทศในปี 2579 โดยจะมีกำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนรวมเท่ากับ 19,634.4 เมกะวัตต์

ตารางที่ 2.3 แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (AEDP) ปี 2579 หน่วย : เมกะวัตต์

ปี	แสงอาทิตย์	พลังลม	พลังน้ำ	ขยะ	ชีวมวล	ก๊าซชีวภาพ	พืชพลังงาน	รวม
2557	1,298.5	224.5	3,048.4	65.7	2,541.8	311.5	-	7,490.4
2579	6,000.0	3,002.0	3,282.4	500.0	5,570.0	600.0	680.0	19,634.4

ในการจัดทำแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2558 - 2579 (PDP2015) ปริมาณการรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานทางเลือกเริ่มมีความสำคัญ ดังนั้นการผนวกแผน AEDP เข้าไปเป็นส่วนหนึ่งของ PDP2015 จึงเริ่มขึ้น โดยมีแนวคิดที่จะนำเอาหลักทฤษฎีพื้นฐานด้านระบบไฟฟ้ามาประยุกต์ทำแผน AEDP กล่าวคือระบบไฟฟ้ากำลังประกอบด้วย ระบบผลิตไฟฟ้า ระบบส่งไฟฟ้า และระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งมีการเชื่อมต่อกันหมด ระบบผลิตไฟฟ้าจะส่งพลังงานผ่าน

ระบบส่งไฟฟ้าไปยังระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพื่อจ่ายไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้ารายย่อยต่อไป แต่เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน

ในบางพื้นที่ ซึ่งเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยตรง เพื่อจ่ายไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าในพื้นที่ และบางช่วงเวลาที่ผู้ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการไฟฟ้าน้อยกว่าพลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลย้อนกลับเข้ามาในระบบส่งไฟฟ้า จะส่งผลกระทบต่อความมั่นคงระบบไฟฟ้าในอนาคตโดยรวม ดังนั้น จึงมีแนวคิดที่จะกำหนดปริมาณการเพิ่มขึ้นของโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนในแผน AEDP โดยจะพิจารณาจากศักยภาพด้านต่างๆ ดังนี้

1. ศักยภาพเชิงพื้นที่การพัฒนาพลังงานหมุนเวียน หรือ ระบบผลิตไฟฟ้า เป็นการหาความสามารถในการพัฒนาศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนในแต่ละพื้นที่ว่า บริเวณใดบ้างที่มีศักยภาพการผลิตไฟฟ้า เพื่อใช้กำหนดแนวทางการพัฒนาให้เหมาะสมทั้งด้านปริมาณพลังไฟฟ้าและระยะเวลาในการพัฒนาศักยภาพด้านอื่นๆ เพื่อรองรับปริมาณพลังไฟฟ้างดงกล่าว ซึ่งหน่วยงานที่เกี่ยวข้องคือ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) เป็นผู้รับผิดชอบดำเนินการ

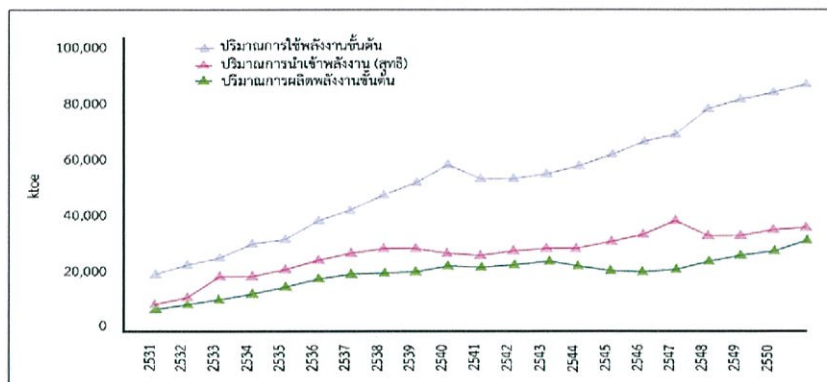
2. ศักยภาพระบบส่งไฟฟ้า เป็นการหาขีดความสามารถในการรับซื้อปริมาณพลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ตามแต่ละสถานีไฟฟ้าแรงสูง เพื่อใช้กำหนดเป็นจุดเชื่อมโยงระบบส่งไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) โดยความสามารถในการรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนในแต่ละสถานีไฟฟ้าแรงสูงพิจารณาจากปริมาณความต้องการไฟฟ้าของแต่ละสถานีไฟฟ้าแรงสูงนั้นๆ และปริมาณการรับซื้อไฟฟ้าที่มีอยู่แล้วในระบบ เพื่อลดความสูญเสียในการส่งจ่ายไฟฟ้าระหว่างสถานีไฟฟ้าแรงสูงของ กฟผ.

3. ศักยภาพระบบจำหน่ายไฟฟ้า เป็นการพิจารณาความเหมาะสมระหว่างปริมาณความต้องการไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าและปริมาณการรับซื้อพลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละจุดจ่ายไฟฟ้า ซึ่งกระจายอยู่ทั่วประเทศ แต่เนื่องจากปัจจุบัน พลังงานที่ได้จากพลังงานหมุนเวียนมีราคาสูงกว่าพลังงานที่ได้จากโรงไฟฟ้าหลักของระบบไฟฟ้า เมื่อปริมาณพลังไฟฟ้าที่ผลิตได้มีมากกว่าความต้องการไฟฟ้าในขณะนั้นส่งผลให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลย้อน ซึ่งหากเป็นการไหลย้อนจากจุดจ่ายไฟฟ้าใกล้ๆ กัน ความสูญเสียระบบไฟฟ้าจะมีค่าไม่มากนัก แต่เมื่อใดที่เป็นการไหลย้อนจากจุดจ่ายไฟฟ้าเข้าไปยังระบบส่งไฟฟ้า ซึ่งการส่งข้ามระหว่างสถานีไฟฟ้าแรงสูงของ กฟผ. มีระยะทางไกลมากกว่าระยะทางระหว่างจุดจ่ายไฟฟ้า ส่งผลให้เกิดความสูญเสียในระบบไฟฟ้ามากกว่า อย่างไรก็ตามความสูญเสียในระบบไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนั้น เกิดจากพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานหมุนเวียนซึ่งมีราคาสูง ดังนั้นจึงควรมีการบริหารจัดการไม่ให้เกิดเหตุการณ์กระแสไฟฟ้าไหลย้อนดังกล่าว จากหน่วยที่เกี่ยวข้องโดยตรง ซึ่งก็คือ การไฟฟ้านครหลวง และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

อย่างไรก็ตาม แนวทางการรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนในอนาคต นับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการประยุกต์ใช้แผน AEDP ให้มีประสิทธิภาพ ซึ่งต้องมีหน่วยงานที่เข้ามากำกับดูแลการดำเนินการต่างๆ ให้เป็นไปตามแผน AEDP และเป้าหมายที่กำหนดไว้ กล่าวคือ สำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (สำนักงาน กกพ.) เป็นผู้รับผิดชอบ รวมไปถึงแนวทางการปรับแผน AEDP ให้สอดคล้องกับสภาพระบบไฟฟ้าของประเทศ เช่น ปริมาณความต้องการไฟฟ้าของประเทศที่เปลี่ยนแปลงไป ปริมาณการรับซื้อไฟฟ้าต่ำกว่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ในแผน เป็นต้น ซึ่งหากดำเนินการได้ตามแผน AEDP ก็คาดหวังได้ว่าภาคเอกชนคงได้รับความชัดเจนในการพัฒนาโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนและเป็นแบบอย่างที่ดีของสังคมโลกในการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนต่อไป

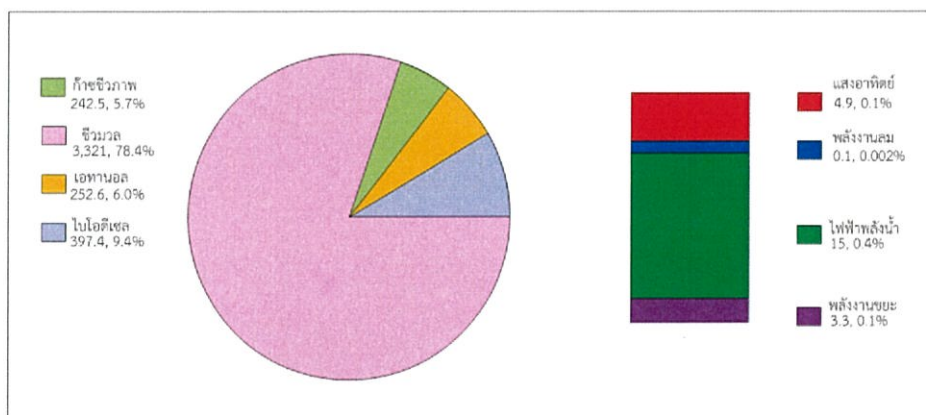
## 2.2.4 สถานการณ์พลังงานทดแทนของประเทศไทยในปัจจุบัน [8]

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



รูปที่ 2.19 ปริมาณการผลิต การใช้และการนำเข้า (สุทธิ) พลังงานเชิงพาณิชย์ขั้นต้น

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



รูปที่ 2.20 สัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนแต่ละเทคโนโลยี หน่วย: พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe)

การเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนเป็นร้อยละ 6.4 ของปริมาณการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายหรือเท่ากับ 4,237 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ส่งผลให้ประเทศไทยสามารถลดการนำเข้าพลังงานได้คิดเป็นมูลค่าประมาณ 99,500 ล้านบาท และยังช่วยลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ถึง 13 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ซึ่งการขยายตัวอย่างมากของพลังงานทดแทนเป็นผล

มาจาก นโยบายและมาตรฐานการส่งเสริมพลังงานทดแทนจำนวนมากที่รัฐบาลได้ดำเนินอย่างจริงจัง ได้แก่

1. มาตรการส่งเสริมทางด้านกฎระเบียบ/นโยบาย

ได้แก่ ระเบียบรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กและขนาดเล็กมาก (SPP และ VSPP) การกำหนดมาตรฐานเชื้อเพลิงชีวภาพทั้งไปเอติเซล และเอทานอล

2. มาตรการจูงใจทางการเงิน

ได้แก่ การกำหนดส่วนเพิ่มราคาซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน (Adeer) การให้เงินกู้ดอกเบี้ยต่ำผ่านโครงการเงินหมุนเวียน การให้เงินสนับสนุนเพื่อลดภาระการลงทุนเริ่มต้นการจัดตั้งกองทุนเพื่อร่วมลงทุนและส่งเสริมการลงทุนในโครงการอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทน (ESCO Fund) การส่งเสริมให้ภาคเอกชนพัฒนาโครงการตามกลไกการพัฒนาที่สะอาด (CDM) การใช้มาตรการภาษีเพื่อลดต้นทุนเริ่มต้น ได้แก่ สิทธิประโยชน์จากคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน (BOI) และการจัดสรรงบประมาณให้หน่วยงานภาครัฐดำเนินการพัฒนาโครงการที่ยากสำหรับการพัฒนาโดยภาคเอกชน เนื่องจากเกี่ยวข้องกับการขออนุญาตจากหน่วยงานราชการหลายหน่วยงาน

3. มาตรการส่งเสริมการวิจัยพัฒนาและสาธิต

รัฐบาลได้สนับสนุนงบประมาณในการศึกษาและจัดทำแผนวิจัยพัฒนาและสาธิต ตลอดจนมาตรการเชิงนโยบายต่างๆ ที่จะส่งเสริมให้เกิดการใช้พลังงานหมุนเวียนมากขึ้นเพื่อให้สามารถบรรลุเป้าหมายการแก้ไขปัญหาด้านพลังงานของประเทศที่ได้กำหนดไว้รวมถึงงบประมาณในการวิจัยและพัฒนาด้านเทคนิคและงานส่งเสริมและสาธิต ให้แก่หน่วยงาน สถาบันการศึกษา และองค์กรต่างๆ โดยมีงานวิจัยหลายโครงการที่ให้ผลตอบแทนคุ้มค่าในเชิงพาณิชย์และสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดให้เกิดผลอย่างเป็นรูปธรรม

4. มาตรการรณรงค์และการประชาสัมพันธ์เผยแพร่องค์ความรู้ทางด้านพลังงาน

ทดแทน

รัฐบาลได้สนับสนุนงบประมาณในการรณรงค์และการประชาสัมพันธ์เผยแพร่องค์ความรู้ทางด้านพลังงานทดแทน เพื่อสร้างจิตสำนึกให้ทุกภาคส่วนตระหนักถึงความสำคัญของพลังงานทดแทน สร้างความเชื่อมั่นให้นักลงทุนหันมาลงทุนในกิจการด้านพลังงานทดแทน ประชาชนหันมาใช้พลังงานทดแทนอย่างต่อเนื่องและแพร่หลาย

ทิศทางการพัฒนาพลังงานทดแทนของประเทศไทยและวิสัยทัศน์ มีดังนี้

1. ปัจจัยสำคัญที่ผลักดันการพัฒนาพลังงานทดแทนของประเทศไทย

พลังงานเป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศ ส่งผลให้ประเทศไทยไม่สามารถหลีกเลี่ยงการสร้างความมั่นคงทางพลังงานควบคู่ไปกับการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจอย่างยั่งยืนได้ ดังนั้นในการสร้างความมั่นคงด้านพลังงานให้กับประเทศไทยนั้น การพัฒนาพลังงานทดแทนเป็นแนวทางสำคัญเป็นอย่างมากแนวทางหนึ่ง ทั้งนี้ ปัจจัยสำคัญที่ผลักดันการพัฒนาพลังงานของประเทศไทยประกอบไปด้วยความจำเป็นในการจัดแหล่งพลังงานให้เพียงพอต่อความต้องการของประเทศ ความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งพลังงานทดแทนในประเทศ ความมั่นคงทางด้านพลังงานและความจำเป็นในการลดผลกระทบต่อภาวะโลกร้อน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(ก) ความจำเป็นในการจัดหาแหล่งพลังงานให้เพียงพอต่อความต้องการของประเทศ

จากสมมติฐานการขยายตัวของความต้องการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายของประเทศ ระหว่างปี 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 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ อย่างไรก็ตาม จากผลการศึกษาพบว่าการผลิตพลังงานจากแหล่งพลังงานในประเทศระหว่างปี 2552 ถึงปี 2565 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากปัจจุบันมากนัก ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องพัฒนาแหล่งพลังงานทดแทนในประเทศเพื่อตอบสนองความต้องการพลังงานที่เพิ่มสูงขึ้น

(ข) ความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งพลังงานทดแทนในประเทศ

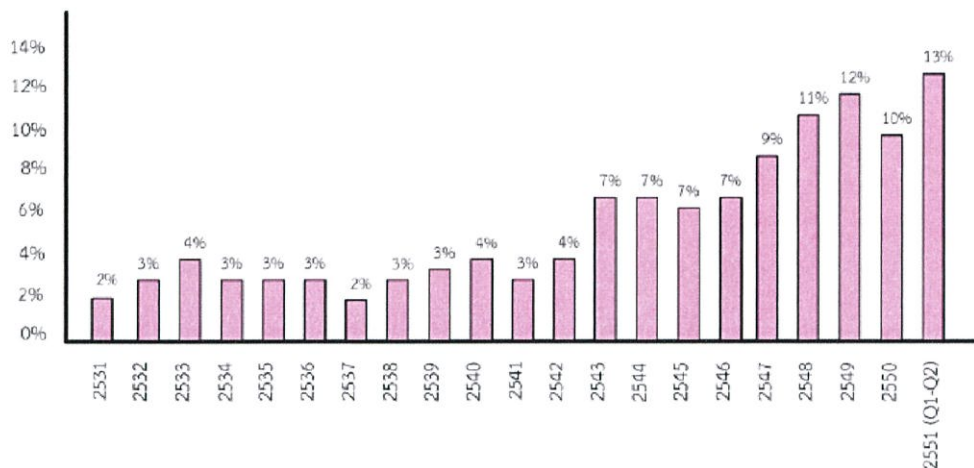
จากการศึกษารวบรวมและสำรวจศักยภาพพลังงานทดแทนในประเทศไทย พบว่าประเทศไทยจัดได้ว่าเป็นประเทศที่มีศักยภาพทางด้านพลังงานทดแทนอยู่ในระดับสูง เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมจึงมีผลผลิตทางการเกษตรจำนวนมาก ขณะเดียวกันมีอุตสาหกรรมการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรซึ่งล้วนแล้วแต่อำนวยความสะดวกดีบิณามมาผลิตพลังงานทั้งชีวมวล ก๊าซชีวภาพรวมไปถึงไบโอดีเซลและเอทานอล นอกจากนี้ยังจัดได้ว่าเป็นประเทศไทยที่มีศักยภาพด้านพลังงานธรรมชาติ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ มีความเข้มแสงอาทิตย์รวมเฉลี่ยประมาณ 18.2 เมกะจูล/ตารางเมตร/วัน หรือ 5.05 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ตารางเมตร/วัน ศักยภาพพลังงานทดแทนประเภทต่างๆสามารถแจกแจงได้ดังนี้

ตารางที่ 2.4 ศักยภาพพลังงานทดแทนประเภทต่างๆ

ประเภทพลังงาน	ศักยภาพในการผลิตไฟฟ้า (MW)	ศักยภาพในการผลิตพลังงานความร้อน (ktoe)	ศักยภาพในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ (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 ประเทศไทยเป็นประเทศที่ต้องพึ่งพาการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศจำนวนมาก โดยตั้งแต่ปี 2531 จนถึงปี 2551 การนำเข้าพลังงานขั้นต้นเชิงพาณิชย์ ซึ่งสัดส่วนการนำเข้าน้ำมันอยู่ในระดับร้อยละ 80 ของปริมาณการนำเข้าทั้งหมดโดยในช่วงปี 2531 ถึงปี 2532 สัดส่วนมูลค่าการนำเข้าพลังงานจะอยู่ระหว่างร้อยละ 2-4 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมประชาชาติ และสัดส่วนดังกล่าวเพิ่มสูงขึ้นเป็นร้อยละ 7 ในปี 2543 เป็นร้อยละ 11 ในปี 2548 และสูงขึ้นเป็นร้อยละ 13 ในช่วงไตรมาสที่ 1 และ 2 ของปี 2551 (รูปที่ 2.19) และพบว่าสัดส่วนการนำเข้าพลังงานมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากปริมาณการผลิตพลังงานภายในประเทศไม่สามารถปรับตัวสูงขึ้นได้ตามความต้องการใช้ ดังนั้นหากไม่พัฒนาพลังงานทดแทนอย่างจริงจัง จะ

ส่งผลให้ประเทศไทยต้องนำเข้าพลังงานเพิ่มขึ้นไปอยู่ในระดับร้อยละ 70 ซึ่งสภาวการณ์ดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพทางด้านพลังงานและด้านเศรษฐกิจของประเทศอย่างมาก



รูปที่ 2.21 สัดส่วนมูลค่าการนำเข้าพลังงานต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมประชาชาติ (ณ ราคาตลาด) [7]

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

## 2. ทิศทางพลังงานทดแทนในอนาคต

เมื่อพิจารณาปัจจัยทั้งหมดที่ได้กล่าวมาข้างต้น น้ำมันจะยังคงเป็นแหล่งพลังงานหลักของโลกและประเทศไทยในอีก 15-20 ปีข้างหน้า แต่ปริมาณน้ำมันที่จะจัดหาได้ ต้นทุนในการผลิต รวมไปถึงราคาน้ำมันจะยังคงผันผวนค่อนข้างมาก ซึ่งวิกฤตการณ์ราคาน้ำมันในช่วงต้นปี 2551 ได้ส่งผลให้ประเทศต่างๆ เริ่มต้นตัวกับข้อเท็จจริงที่ว่าแหล่งน้ำมันและเชื้อเพลิงฟอสซิลมีจำกัด รวมไปถึงการตื่นตัวต่อปัญหาภาวะโลกร้อน ทำให้โลกเริ่มปรับตัวเข้าสู่ระบบพลังงานที่ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำ ปัญหาภาวะโลกร้อนดังกล่าวจะเริ่มเข้ามามีบทบาทในการกำหนดทิศทางและนโยบายทางด้านพลังงานของประเทศต่างๆ ทั่วโลก ประเทศไทยเองก็เช่นกันนอกจากจะมุ่งเน้นการพัฒนาพลังงานทดแทนเป็นพลังงานหลักของประเทศ เพื่อความมั่นคงทางด้านพลังงานแล้วยังเพื่อรองรับปัญหาภาวะโลกร้อนโดยให้ความสำคัญกับการส่งเสริมพลังงานทดแทนที่มีศักยภาพทางด้านเศรษฐศาสตร์สูงก่อนเป็นลำดับแรกๆ และมุ่งวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อให้สามารถนำแหล่งพลังงานทดแทนที่มีอยู่มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อประเทศชาติและประชาชนในระยะยาว รวมทั้ง

การสร้างองค์ความรู้ด้านพลังงานทดแทนเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมภายในประเทศให้สามารถผลิตอุปกรณ์และชิ้นส่วนของระบบการผลิตการใช้พลังงานทดแทนได้เพิ่มมากขึ้น

### 2.3 ระบบที่เกี่ยวข้องทางด้านอินพุตของงานวิจัยที่ออกแบบ

ระบบที่จะนำสัญญาณมาวิเคราะห์โดยมีอินพุตเป็นตัวจ่ายสัญญาณให้แก่งานวิจัยที่ออกแบบได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์

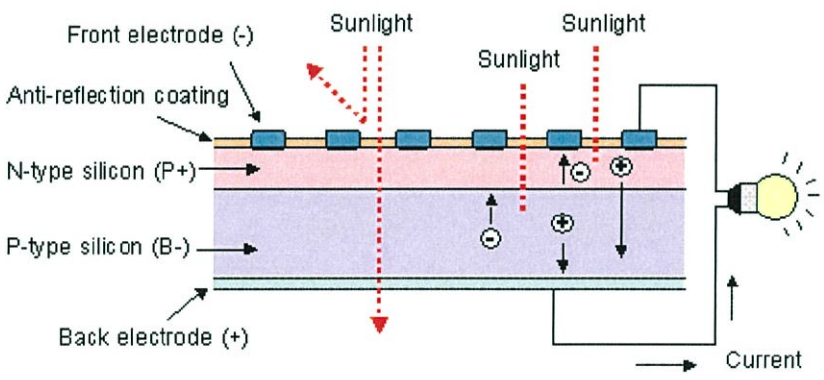
#### 2.3.1 พลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์ [9] เป็นพลังงานจากธรรมชาติ ที่มีความสะอาดปราศจาก เป็นพลังงานทดแทนที่มีศักยภาพสูง สามารถนำมาใช้โดยไม่หมดสิ้น โดยเฉพาะการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาผลิตไฟฟ้า ซึ่งจะเข้ามาช่วยเสริมความมั่นคงให้ระบบไฟฟ้าของประเทศไทย และยังช่วยลดปัญหาโลกร้อนได้อีกทางหนึ่งด้วย

ปัจจุบันการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ อาจจำแนกได้ 2 ประเภทหลักๆ ได้แก่ การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ และการผลิตไฟฟ้าด้วยความร้อนจากแสงอาทิตย์ ซึ่งการผลิตไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ที่สามารถนำมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับประเทศไทย

##### 2.3.1.1 หลักการทำงานเบื้องต้นของระบบ

การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ [10] เป็นขบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง โดยเมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงานกระทบกับสารกึ่งตัวนำ จะเกิดการถ่ายเทพลังงานระหว่างกัน พลังงานจากแสงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า (อิเล็กตรอน) ขึ้นในสารกึ่งตัวนำ จึงสามารถต่อกระแสไฟฟ้าง่ายๆได้ (ตามรูป)



รูปที่ 2.22 หลักการทำงานเบื้องต้นของเซลล์แสงอาทิตย์

1. n - type ซิลิคอน ซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ คือ สารกึ่งตัวนำที่ได้รับการโด๊ปกับด้วยสารฟอสฟอรัส มีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ p - type ซิลิคอน คือ สารกึ่งตัวนำที่ได้รับการโด๊ปกับด้วยสารโบรอน ทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน (โฮล) เมื่อรับพลังงาน จากแสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน เมื่อนำซิลิคอนทั้ง 2 ชนิด มาประกบต่อกันด้วย p - n junction จึงทำให้เกิดเป็น " เซลล์แสงอาทิตย์ " ในสภาวะที่ยังไม่มีแสงแดด n - type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ ส่วนประกอบส่วนใหญ่พร้อมจะให้อิเล็กตรอน แต่ก็ยังมีโฮลปะปนอยู่บ้างเล็กน้อย ด้านหน้าของ n - type จะมีแถบโลหะเรียกว่า Front Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ส่วน p - type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหลังของเซลล์ โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นโฮล แต่ยังคงมี

อิเล็กตรอนปะปนบ้างเล็กน้อย ด้านหลังของ p - type ซิลิคอนจะมีแถบโลหะเรียกว่า Back Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมโฮล

2. เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบ แสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮล ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว เมื่อพลังสูงพอทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กัน อิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังชั้น n - type และโฮลจะวิ่งไปยังชั้น p type

3. อิเล็กตรอนวิ่งไปรวมกันที่ Front Electrode และโฮลวิ่งไปรวมกันที่ Back Electrode เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าจาก Front Electrode และ Back Electrode ให้ครบวงจร ก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เนื่องจากทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเพื่อจับคู่กัน

### 2.3.1.2 พารามิเตอร์เฉพาะของระบบ

ตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกันและมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ ตลอดจนการนำไปคำนวณระบบหรือคำนวณจำนวนแผงแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ในแต่ละพื้นที่ มีดังนี้ [10]

#### 1. ความเข้มของแสง

กระแสไฟฟ้าจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง หมายความว่าเมื่อความเข้มของแสงสูง กระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าหรือโวลต์แทบจะไม่แปรไปตามความเข้มของแสงมากนัก ความเข้มของแสงที่วัดได้เป็นมาตรฐานคือ 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 กำหนดไว้ว่าแผงแสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าที่วงจรเปิด (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 องศาเซลเซียส จะทำให้แรงดันไฟฟ้าของแผงแสงอาทิตย์ลดลง 2.5% ( $0.5\% \times 5$  องศาเซลเซียส) นั่นคือ แรงดันของแผงแสงอาทิตย์ที่  $V_{oc}$  จะลดลง 0.525 โวลต์ ( $21 \text{ โวลต์} \times 2.5\%$ ) เหลือเพียง 20.475 โวลต์ ( $21 \text{ โวลต์} - 0.525 \text{ โวลต์}$ ) สรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแรงดันไฟฟ้าก็จะลดลง ซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงแสงอาทิตย์ลดลงด้วยจากข้อกำหนดดังกล่าวข้างต้นก่อนที่ผู้ใช้จะเลือกใช้แผงแสงอาทิตย์จะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของแผงที่ระบุไว้ในแผงแต่ละชนิดด้วยว่า ใช้มาตรฐานอะไร หรือมาตรฐานที่ใช้วัดแตกต่างกันหรือไม่ เช่น แผงชนิดหนึ่งระบุว่าให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 80 วัตต์ ที่ความเข้มแสง 1,200 วัตต์ ต่อ ตร.ม. ณ อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสขณะที่อีกชนิดหนึ่งระบุว่าให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 75 วัตต์ ที่ความเข้มแสง 1,000 วัตต์ ต่อ ตร.ม. และอุณหภูมิมาตรฐาน 25 องศาเซลเซียสแล้ว จะ

พบว่าแผงที่ระบุไว้ให้กำลังไฟฟ้า 80 วัตต์ จะให้กำลังไฟฟ้าต่ำกว่า จากสาเหตุดังกล่าว ผู้ที่จะใช้แผงจึงต้องคำนึงถึงข้อกำหนดเหล่านี้ในการเลือกใช้แผงแต่ละชนิดด้วย

### 2.3.1.3 มาตรการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ [11]

ตารางที่ 2.5 มาตรการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

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) เป้าหมายส่งเสริมพลังงานทดแทนผลิตไฟฟ้า ณ ปี 2565 เท่ากับ 5,608 MW (เป้าหมาย Solar 500 MW)
พฤษภาคม 2553	ข้อมูลปริมาณพลังงานไฟฟ้าเสนอขายจากโครงการพลังงานหมุนเวียนรวมทั้งสิ้น 7,827.07 MW (Solar สูงกว่าเป้าหมาย 5 เท่า)
วันที่ 28 มิถุนายน 2553	กพช. เห็นชอบหยุดรับข้อเสนอขายไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ - ปรับลด Adder (Solar) 8 บาทต่อหน่วย เป็น 6.50 บาทต่อหน่วย (สำหรับโครงการที่เสนอแต่ยังไม่ตอบรับ) - ให้ปรับปรุงรูปแบบการรับซื้อไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนด้วยมาตรการ Feed in Tariff (Fit)
วันที่ 30 พฤศจิกายน 2554	กพช. เห็นชอบให้หักเล็ก REDP: 2551-2565 และเห็นชอบแผนการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี พ.ศ. 2555-2564 (AEDP: 2012-2564) กำหนดเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนรวม 9,201 MW (พลังงานแสงอาทิตย์ 2,000 MW)
วันที่ 16 กรกฎาคม 2556	กพช. เห็นชอบปรับเป้าหมาย AEDP: 2012-2021 กำหนดเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนรวม 13,927 MW เพื่อให้สอดคล้องตาม Country Strategy (พลังงานแสงอาทิตย์ 3,000 MW)

ตารางที่ 2.6 สนับสนุนส่วนเพิ่มราคาซื้อไฟฟ้า (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
แบบติดตั้งบนพื้นดิน (Solar Farm)	≤ 10	6.85	25
แบบติดตั้งบนพื้นดิน (Solar Farm)	≤ 90000	5.66	25

ตารางที่ 2.7 สนับสนุนส่วนเพิ่มราคาซื้อไฟฟ้า (Adder Cost)

เชื้อเพลิง	ส่วนเพิ่ม (Baht/kWh)			ระยะเวลา สนับสนุน (ปี)
	VSP	SPP	3 จังหวัดภาคใต้	
พลังงาน แสงอาทิตย์	8.00/6.50	8.00/6.50	1.50	7

#### 2.3.1.4 ปัญหาและอุปสรรคในการผลิตไฟฟ้า [12]

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

#### 2.4 ส่วนโปรแกรม LabVIEW

โปรแกรม LabVIEW [13] คือ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างเพื่อนำมาใช้ในด้านการวัดและเครื่องมือวัดสำหรับงานทางวิศวกรรม LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench ซึ่งหมายความว่า เป็นโปรแกรมที่สร้าง เครื่องมือวัดเสมือนจริงในห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรม ดังนั้นจุดประสงค์หลักของการทำงานของโปรแกรมนี้ก็คือการจัดการในด้านการวัดและเครื่องมือวัด อย่างมีประสิทธิภาพโดยการใช้การเขียนโปรแกรมด้วยภาษาโค้ดรูปภาพ (Graphical programming) หรือเรียกอีกอย่างว่าภาษา G (Graphical Language) และมีการต่อสายส่งค่าข้อมูลคล้ายกับการวาดโพลชาร์ตที่เข้าใจได้ง่าย สำหรับโปรแกรมประเภทตัวหนังสือหรือเรียก อีกชื่อว่า Text Base จะมีปัญหาในการจัดการกับตำแหน่งการส่งผ่านข้อมูลตามอุปกรณ์เชื่อมต่อเช่น Port หรือ Card ต่างๆ รวมถึงการจัดวางตำแหน่งในหน่วยความจำเพื่อที่จะสามารถรวบรวมข้อมูลมาใช้ในการคำนวณและเก็บข้อมูลให้ได้ประโยชน์สูงสุด ปัญหาเหล่านี้ได้รับการแก้ไขใน LabVIEW โดยได้มีการบรรจุโปรแกรมจำนวนมาก หรือ Libraries ไว้สำหรับจัดการกับปัญหาเหล่านั้นไม่ว่าอุปกรณ์การเชื่อมต่อจะเป็น DAQ (Data Acquisition) GPIB (General Purpose Interface Bus) หรือก่อนหน้านี้รู้จักกันในชื่อ Hewlett Packard Interface Bus, HP-IB) พอร์ตอนุกรม หรือ Serial Port เพื่อใช้ติดต่อกับอุปกรณ์ที่ส่งผ่านข้อมูลแบบอนุกรม (Serial Instrument)

ซึ่งชุดพัฒนาจะมาพร้อมกับชุดฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์และวิศวกรรม สำหรับการวิเคราะห์ ประมวลผล และแสดงข้อมูล รวมถึงความสามารถต่างๆ ในการใช้งานร่วมกับฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์อื่นๆ ได้ดี ทำให้ LabVIEW ถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวางในแทบทุกส่วนของอุตสาหกรรม

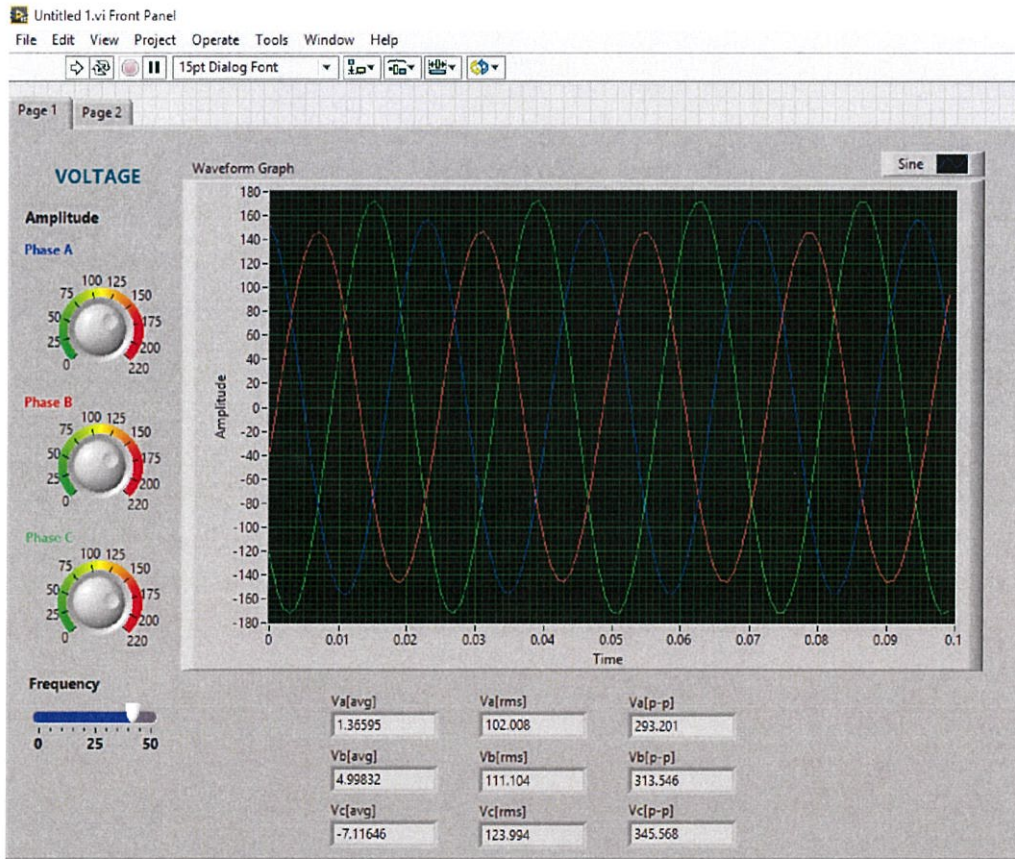
และการวิจัยที่ต้องการระบบอัตโนมัติในการวัดและการควบคุม เช่น อุตสาหกรรมการผลิต อิเล็กทรอนิกส์ ยานยนต์ การทหารและอากาศยาน พลังงาน การสื่อสารและเครื่องมือแพทย์ เป็นต้น

### 2.4.1 ส่วนประกอบของโปรแกรม LabVIEW

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

#### 2.4.1.1 Front Panel

เป็นส่วนที่ใช้สื่อความกันระหว่างผู้ใช้กับโปรแกรม (หรือที่นิยมเรียก user interface) โดยทั่วไปจะมีลักษณะเหมือนกับหน้าปัดของเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้งานด้านการวัดต่างๆ ไปด้วย โดยทั่วไปจะประกอบด้วย สวิตช์ปิดเปิด ปุ่มบิด ปุ่มกด จอแสดงผลหรือแม้แต่ค่าที่ผู้ใช้สามารถกำหนด ลักษณะของ หน้าจอแสดงผล แสดงในรูปต่อไปนี้

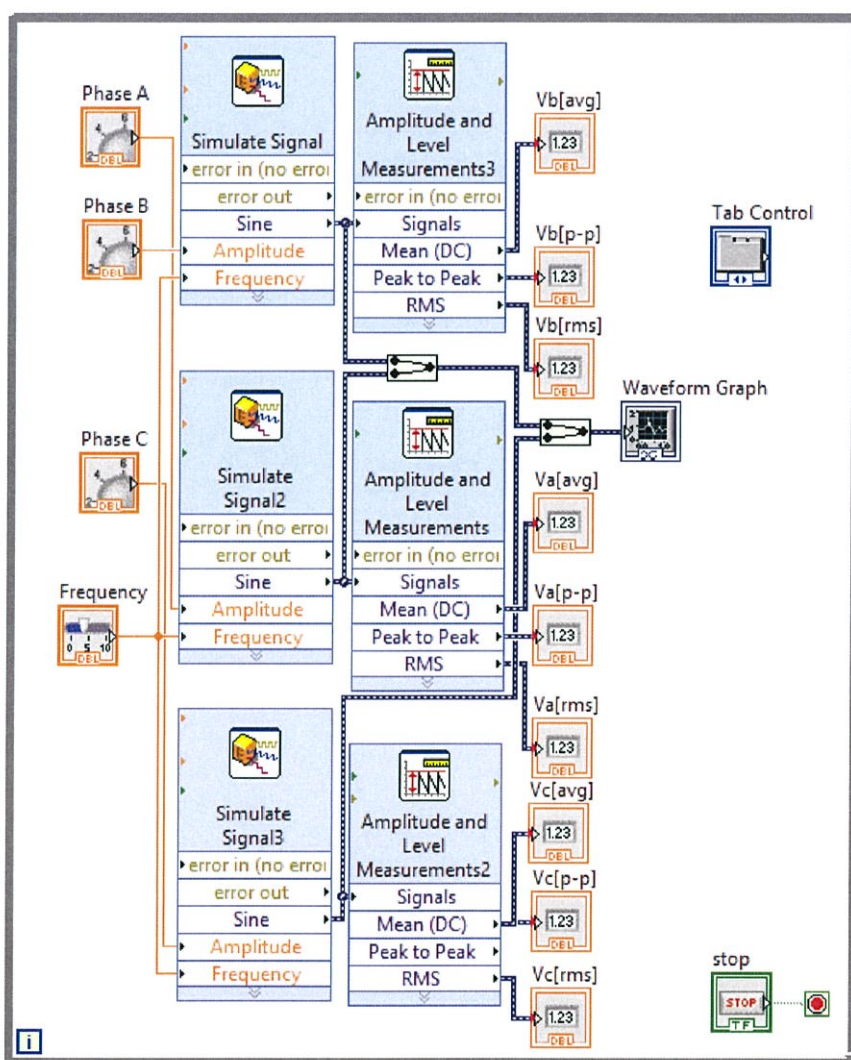


รูปที่ 2.23 หน้าจอแสดงผล

### 2.4.1.2 Block Diagram

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

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



รูปที่ 2.24 บล็อกไดอะแกรม

### 2.4.1.3 Icon และ Connector

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

#### ตารางที่ 2.8 สรุปคำศัพท์ที่พบในLabVIEW

LabVIEW	โปรแกรมพื้นฐาน	หน้าที่
VI	Program	ตัวโปรแกรมหลัก
Function	Function	ฟังก์ชันสำเร็จรูปที่สร้างขึ้นมากับโปรแกรมนั้น เช่น sin, log เป็นต้น
SubVI	Subroutine	โปรแกรมย่อยที่ถูกเรียกใช้โดยโปรแกรมหลัก
Front Panel	User Interface	ส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้
Block Diagram	Program Code	การเขียนตามขั้นตอนของทีแต่ละโปรแกรม กำหนดขึ้น

### 2.4.2 ขั้นตอนและกระบวนการในการวัด

ในงานด้านการวัดและเครื่องมือวัดทางวิศวกรรม จะประกอบด้วยขั้นตอนหรือกระบวนการวัดหลักๆ ตามลำดับ ดังนี้

1. Sensor - Transducer ทำหน้าที่เปลี่ยนปรากฏการณ์ทางธรรมชาติหรือปริมาณต่างๆ ทางฟิสิกส์ให้เป็นปริมาณทางไฟฟ้าที่สามารถตรวจจับได้ ไม่ว่าจะเป็น กระแส ความต่างศักย์ แรงเคลื่อนไฟฟ้า หรือความต้านทานไฟฟ้า

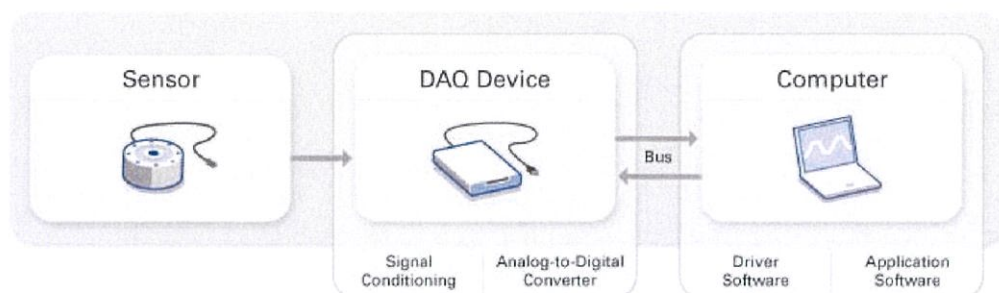
2. Signal Conditioner ทำหน้าที่ปรับแต่งปริมาณสัญญาณที่ได้จากขั้นที่ 1 ให้มีขนาดปริมาณหรือลักษณะที่เหมาะสม เพราะสัญญาณที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 นั้น อาจมีขนาดไม่เหมาะสมหรือมีสัญญาณรบกวนมากเกินไปที่จะนำไปวิเคราะห์ในทันทีได้

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 ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของแต่ละแอปพลิเคชัน ซึ่งระบบ DAQ บนพีซีจะมีส่วนประกอบหลักอยู่สามส่วนด้วยกัน คือ ส่วนของแหล่งสัญญาณไฟฟ้า ส่วนอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ DAQ และพีซี ดังรูป



รูปที่ 2.25 ระบบ DAQ บนพีซี [14]

สัญญาณที่เราจะวัดอาจเป็นสัญญาณอนาล็อก ( $\pm 10\text{V}$  หรือ  $4\sim 20\text{mA}$ ) 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  $\pm 10\text{V}$  เท่านั้น โดยฮาร์ดแวร์ DAQ นี้จะถูกติดตั้งบนพีซีผ่านช่องทางที่เรียกว่าบัส เช่น USB PCel และ Ethernet เป็นต้น โดยที่มีการติดตั้งไดรฟ์เวอร์สำหรับฮาร์ดแวร์ และมีแอปพลิเคชันที่เขียนด้วยซอฟต์แวร์สำหรับพัฒนาระบบ เช่น LabVIEW

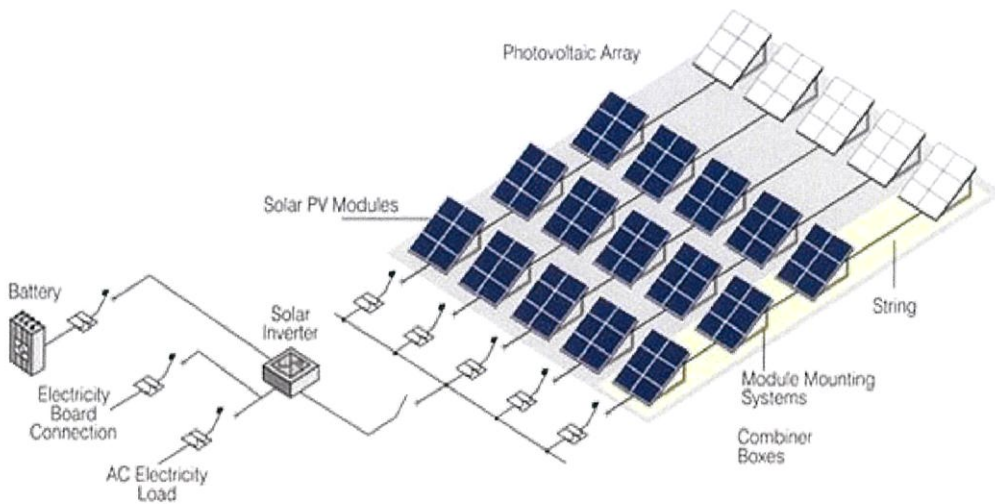
## บทที่ 3

### การออกแบบโปรแกรมและชุดอุปกรณ์

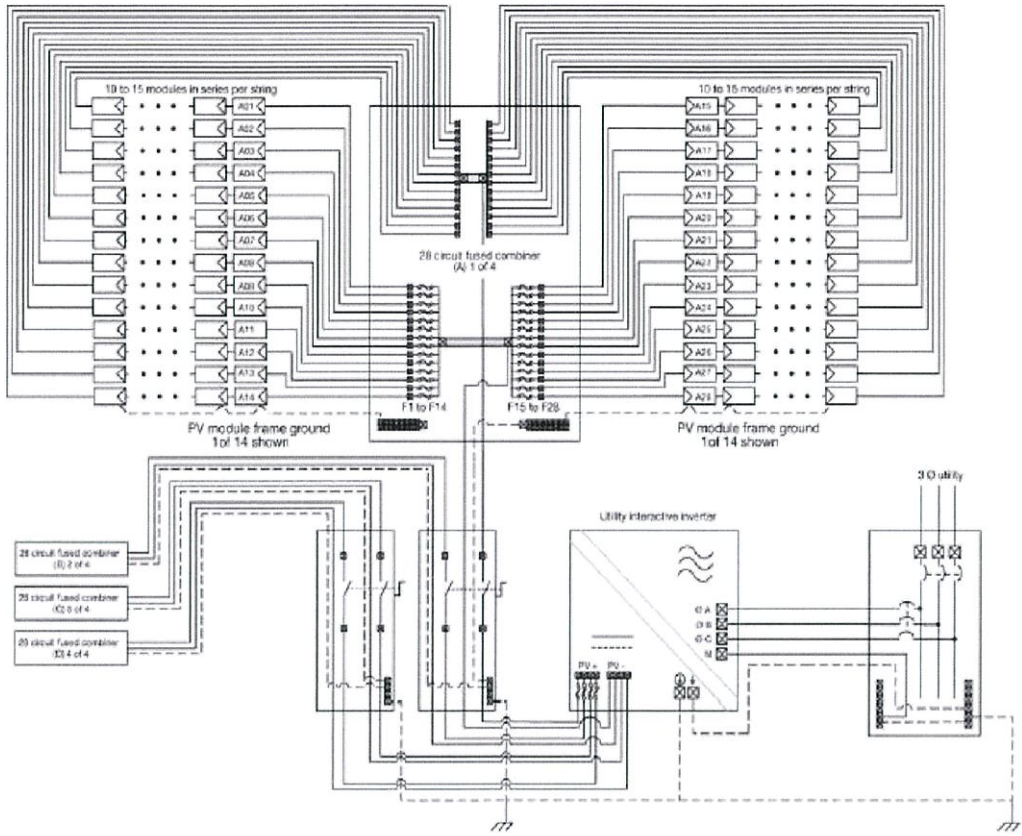
#### 3.1 แนวคิดที่ใช้ในการออกแบบโปรแกรม

โครงการนี้ต้องการทราบค่าสิ่งที่จะนำมาวิเคราะห์ในการเชื่อมต่อบระบบพลังงานแสงอาทิตย์เข้ากับระบบและพลังงานลม โดยการวัดค่าพารามิเตอร์จริงโดยใช้เซนเซอร์ต่างๆในการตรวจวัดพารามิเตอร์เฉพาะของแต่ละระบบ จากนั้นนำค่าที่อ่านได้มาจากเซนเซอร์ ส่งเข้าไปที่ DAQ แล้วแสดงผลและวิเคราะห์ผลในโปรแกรม LabVIEW

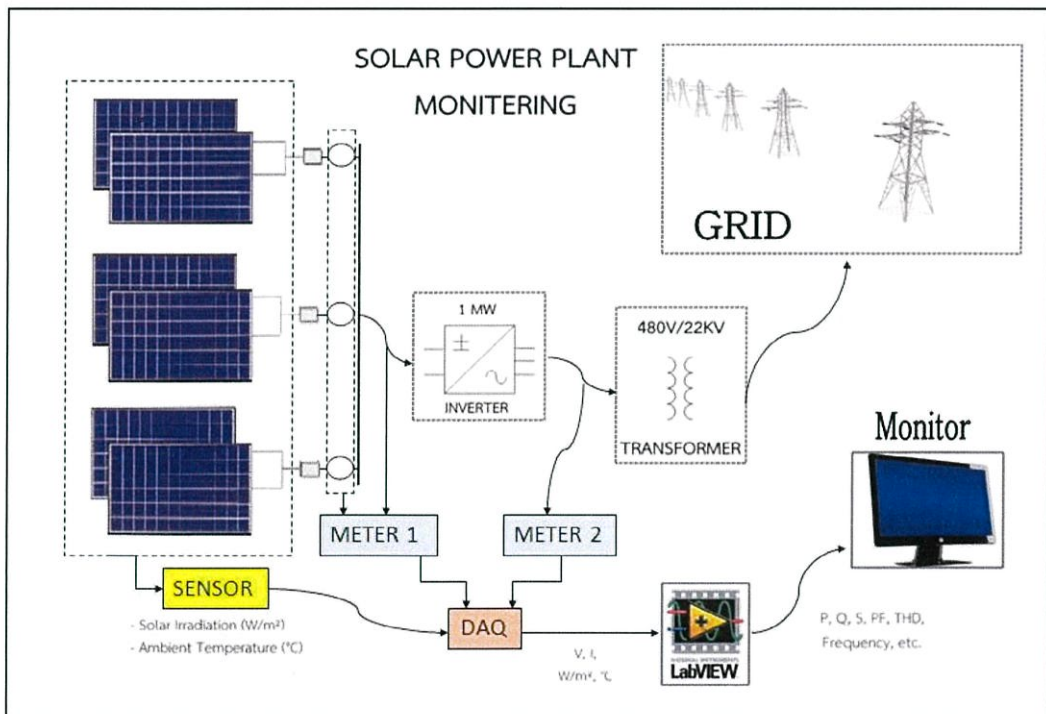
ดังนั้น จึงได้ออกแบบโปรแกรมและชุดอุปกรณ์เพื่อใช้ในการจำลองสัญญาณ การวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสัญญาณ โดยแสดงผลผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรม LabVIEW โดยทำการแสดงผล วิเคราะห์และบันทึกข้อมูลของพารามิเตอร์ต่างๆของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งในสภาวะปกติและสภาวะที่เกิดความผิดปกติทางไฟฟ้า โดยทำการออกแบบให้มีความถูกต้องในการวัดรวมทั้งยังสามารถใช้งานได้ง่ายไม่ซับซ้อนและสามารถพกพาชุดอุปกรณ์ไปวัดตามสถานที่ต่างๆได้อย่างสะดวก โดยในภาคเรียนที่1นี้เป็นการออกแบบโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์สัญญาณ และในภาคเรียนที่ 2 เป็นการออกแบบชุดอุปกรณ์และโปรแกรมสำหรับการรับค่าพารามิเตอร์จริงของระบบพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมที่จะนำไปวิเคราะห์ซึ่งภาพรวมของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ แสดงดังรูป



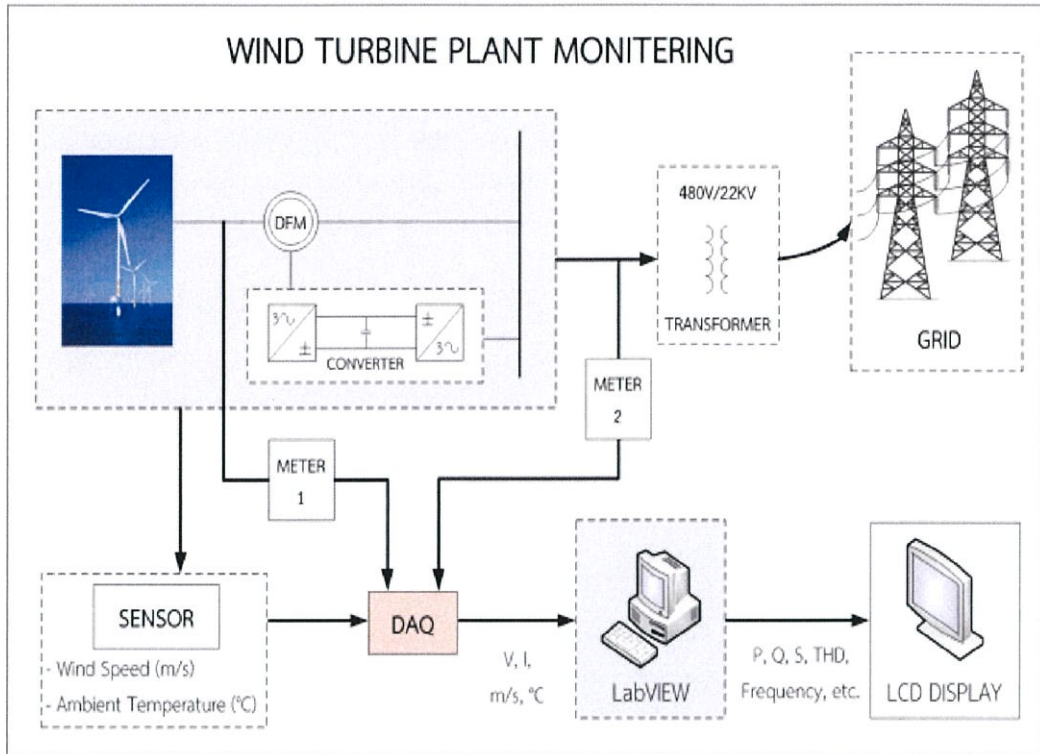
รูปที่ 3.1 ภาพรวมของระบบแสงอาทิตย์ [15]



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างวันไลน์ไดอะแกรมของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ [16]



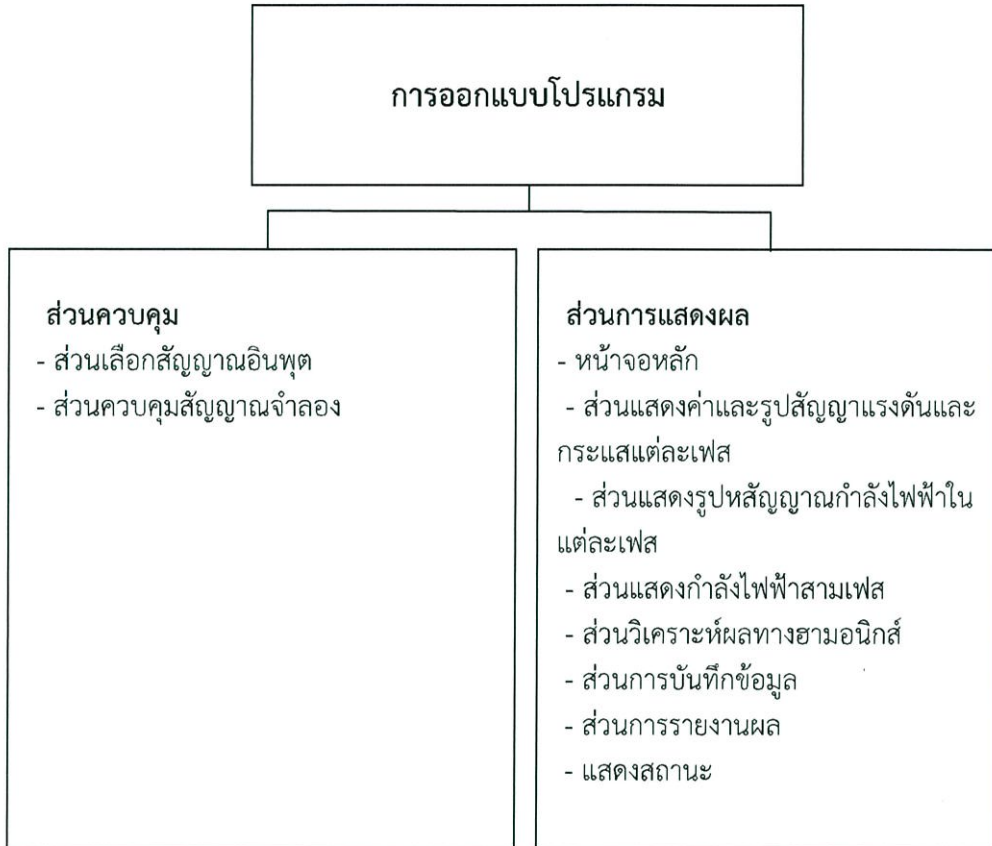
รูปที่ 3.3 ภาพรวมของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่จะทำการออกแบบ



รูปที่ 3.4 ภาพรวมของระบบพลังงานลมที่จะทำการออกแบบ [16]

### 3.2 การออกแบบโปรแกรม

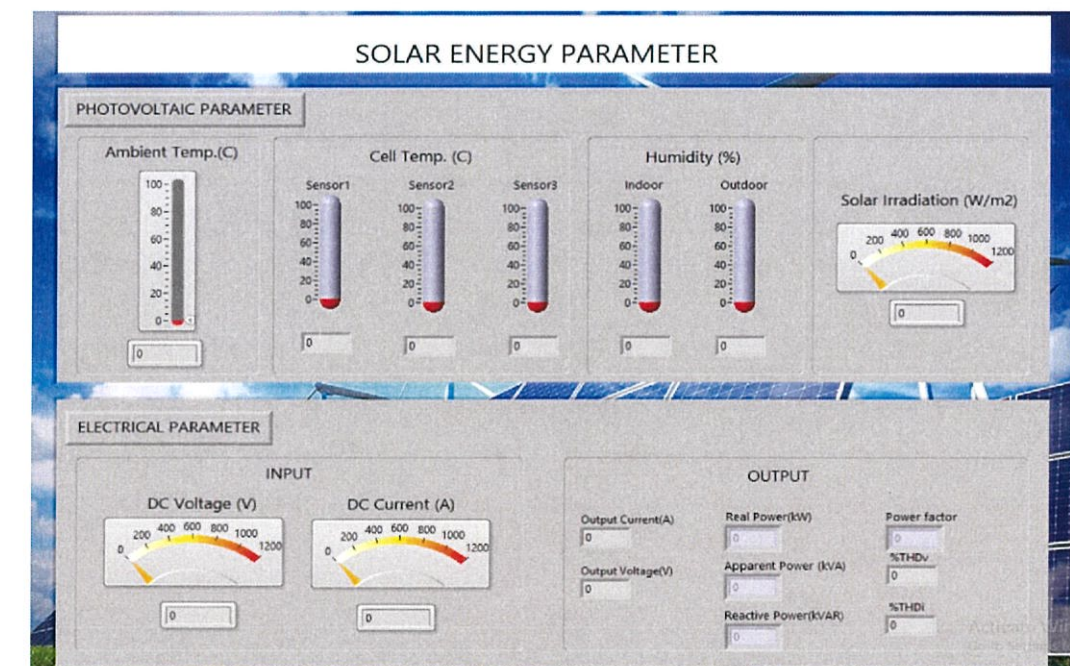
ในส่วนของการออกแบบโปรแกรมนั้นจะเป็นการออกแบบสำหรับรับค่าพารามิเตอร์จริงจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์และระบบพลังงานลมโดยพิจารณาผ่าน DAQ แล้วนำมาแสดงผลยังโปรแกรม LabVIEW ดังนั้นในส่วนที่จะต้องออกแบบจึงมีส่วนหลักๆ 2 ส่วน คือส่วนควบคุม และส่วนแสดงผล



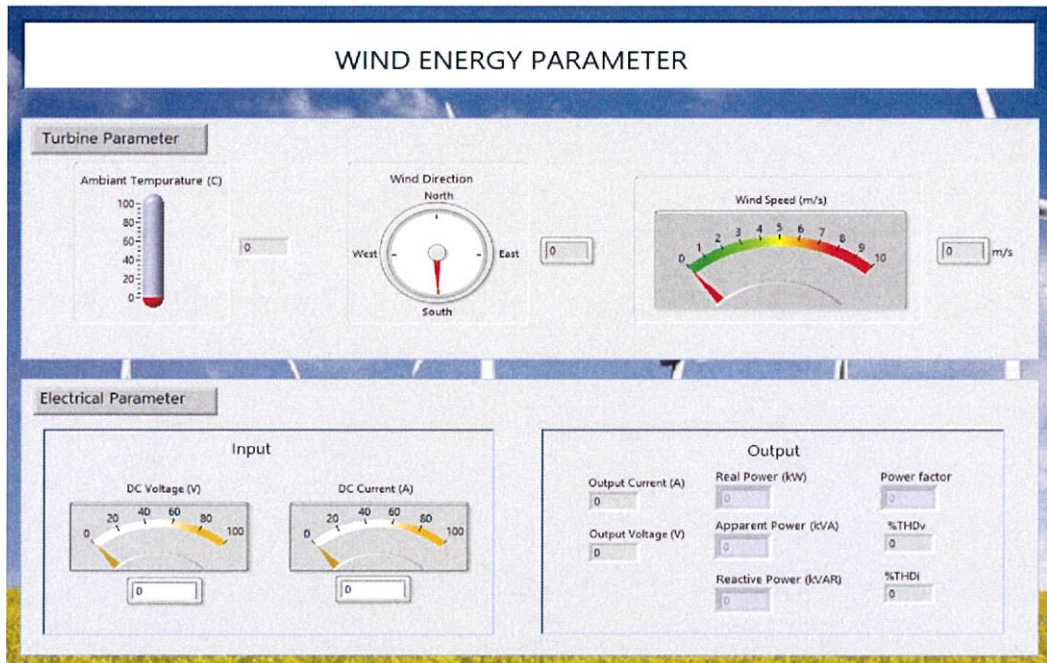
รูปที่ 3.5 ภาพรวมของโปรแกรมที่ออกแบบ



รูปที่ 3.6 หน้าต่างควบคุมหลัก



รูปที่ 3.7 หน้าต่างรับค่าพารามิเตอร์จริงในระบบแสงอาทิตย์



รูปที่ 3.8 หน้าต่างรับค่าพารามิเตอร์จริงในระบบพลังงานลม

### 3.2.1 หน้า Front Panel

การออกแบบโปรแกรมในการวิเคราะห์สัญญาณให้ Front Panel แสดงผลเป็น 3 หมวดหลัก ดังนี้

- หมวด Home เป็นหน้าเริ่มต้นโดยมีระบบควบคุมระบบ Solar และ ระบบ Wind เป็นต้น

- หมวด Solar

- หมวด Wind

ภายในหมวด Solar และ Wind จะแบ่งออกเป็นหมวดย่อยไว้เพื่อควบคุมสัญญาณและแสดงค่าพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ไว้ ดังนี้

- หมวด Parameter จะแสดงผลค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าและพารามิเตอร์เฉพาะของระบบพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม

- หมวด Waveform จะแสดงผลเป็นกราฟของค่าพารามิเตอร์เฉพาะแต่ละระบบ และค่าพลังงานสะสมรวมไปถึงแสดงผลการคำนวณรายรับที่อาจจะได้หากนำไฟฟ้าที่ผลิตได้ไปขายให้การไฟฟ้า

- 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

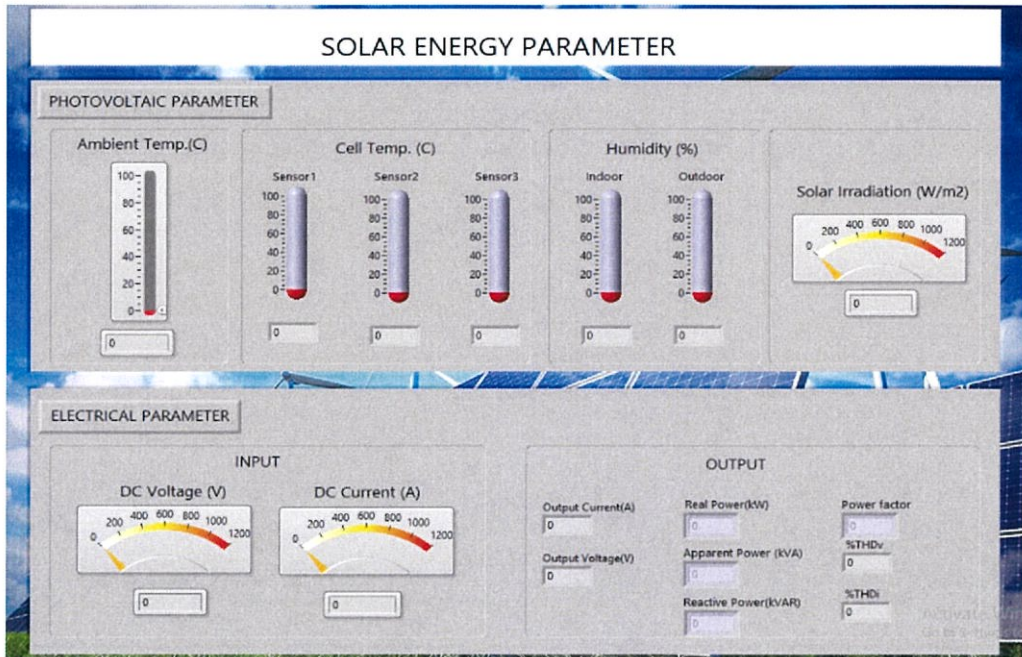
- หมวด THDv จะแสดงค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมและกราฟ FFT ของแรงดัน

- หมวด THDi จะแสดงค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมและกราฟ FFT ของกระแส

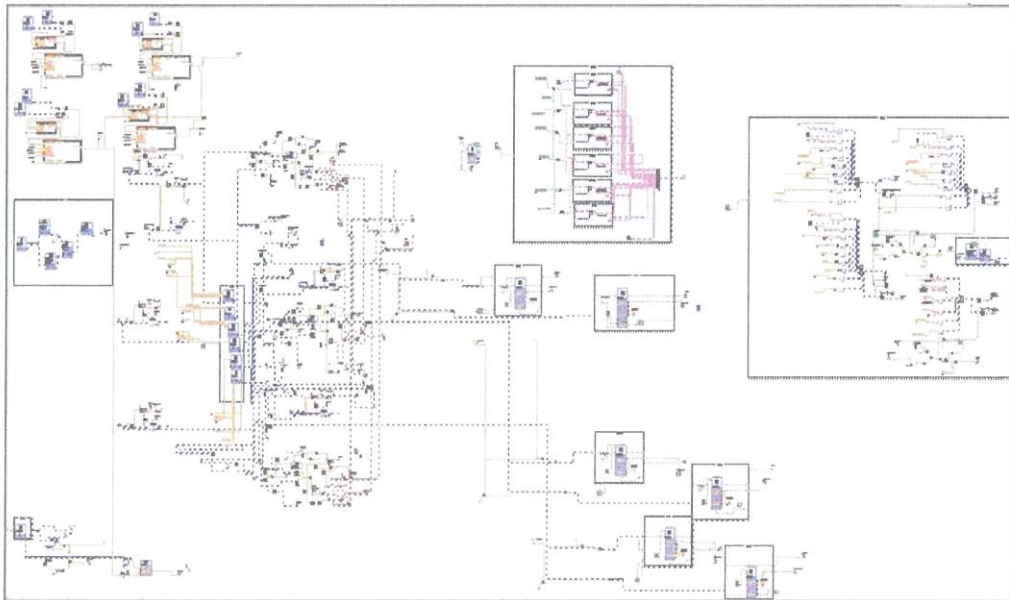
- หมวด Save จะมีไว้สำหรับการบันทึกข้อมูลจากกราฟสัญญาณ เป็นการบันทึกผลต่างๆ นานาที่ต้องการจะเก็บ

- หมวด Report การอ่านข้อมูลจากไฟล์ที่บันทึกไว้ซึ่งแสดงผลเป็นกราฟสัญญาณ

- หมวด Status จะแสดงผลการเตือนเหตุการณ์ผิดปกติในระบบ เช่น ช่วงที่เกิดภาวะแรงดันเกินและแรงดันตก เป็นต้น



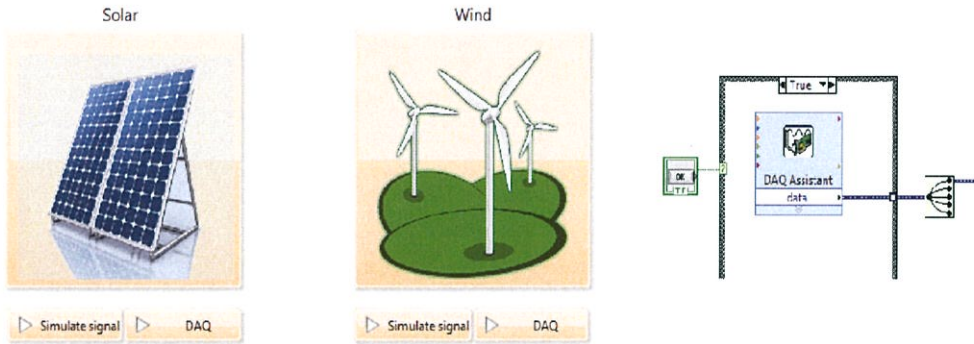
รูปที่ 3.9 Front Panel ของโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์สัญญาณ



รูปที่ 3.10 บล็อกไดอะแกรมของโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์สัญญาณ

### 3.2.2 ส่วนเริ่มต้นโปรแกรม

ในส่วนนี้จะมีปุ่มให้เลือกเพื่อเริ่มต้นการทำงานของโปรแกรมและปุ่มหยุดการทำงาน  
ของโปรแกรม ถัดมาคือส่วนเลือกใช้งานระบบพลังงานแสงอาทิตย์และระบบพลังงานลม โดยที่  
สามารถเลือกได้ว่าจะใช้ค่าจากการจำลองขึ้นเองโดยแผงควบคุม (รูปที่ 3.11) หรือจะรับค่าจริงผ่าน  
อุปกรณ์ DAQ หรือจะใช้งานฟังก์ชันการจำลองของอุปกรณ์ DAQ จากนั้นจะเป็นปุ่มสำหรับเลือก  
เพื่อให้โปรแกรมเริ่มต้นการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ



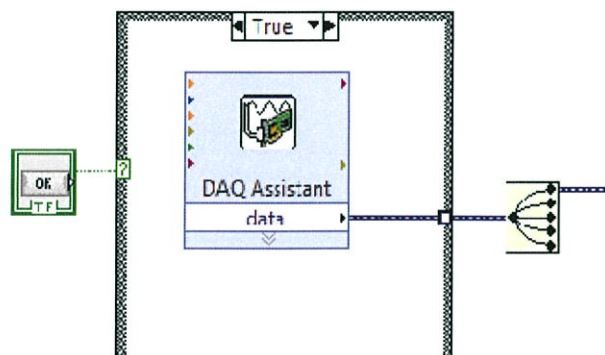
รูปที่ 3.11 Front Panel และบล็อกไดอะแกรมสำหรับส่วนเริ่มต้นโปรแกรม

### 3.2.3 ส่วนควบคุมโปรแกรม

ส่วนควบคุมโปรแกรมเป็นการรับค่าพารามิเตอร์พื้นฐานที่จะนำไปใช้ในการคำนวณ  
ในโปรแกรม LabVIEW ซึ่งได้ทำการออกแบบไว้ให้รับค่าได้จาก DAQ และรับค่าโดยการจำลอง  
สัญญาณขึ้นเองในโปรแกรม

#### 3.2.3.1 การรับสัญญาณโดยใช้ DAQ

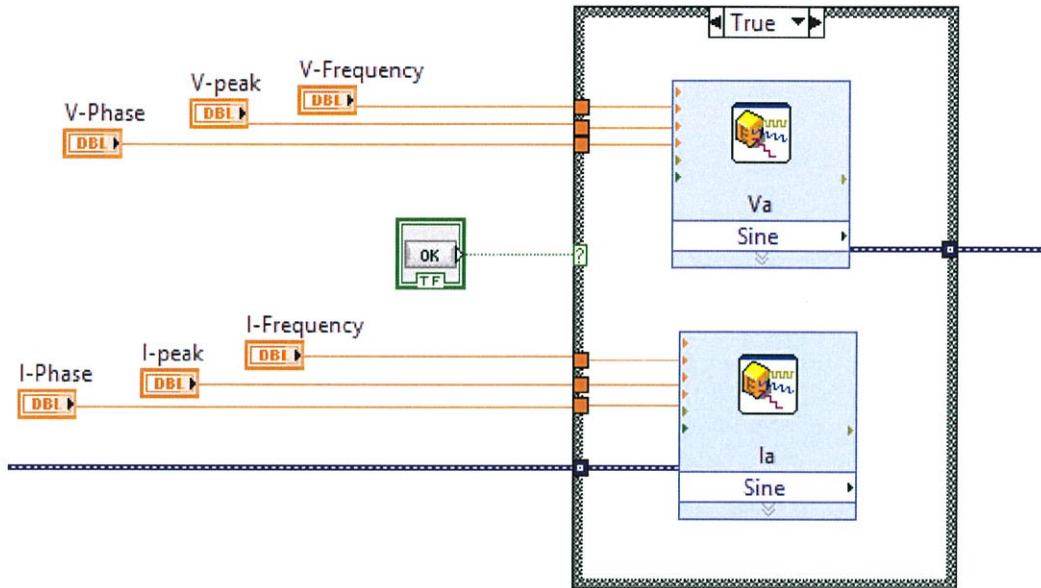
การรับสัญญาณจาก DAQ นั้นจะแบ่งเป็นการรับค่าจริงจากภายนอกเข้ามาและการ  
รับค่าที่จำลองขึ้นโดยอุปกรณ์ DAQ เอง ซึ่งสัญญาณที่จะรับเข้มาที่ส่วนหนึ่งจะรับค่าพื้นฐานคือ  
แรงดันและกระแส เพื่อนำไปคำนวณหาค่าทางไฟฟ้า ได้แก่ ค่ากำลังไฟฟ้า และค่าพลังงานไฟฟ้า  
นำไปวิเคราะห์หาค่า %THD และค่าผิดพธ่องทางไฟฟ้า และอีกส่วนหนึ่งจะรับค่าพารามิเตอร์ของ  
ระบบพลังงานแสงอาทิตย์และระบบพลังงานลม



รูปที่ 3.12 ส่วนควบคุมโปรแกรมซึ่งรับค่าโดยการจำลองสัญญาณ

### 3.2.3.2 การรับค่าโดยการจำลองสัญญาณในโปรแกรม LabVIEW

การรับค่าโดยการจำลองสัญญาณขึ้นเองด้วยโปรแกรม LabVIEW เพื่อนำไปคำนวณหาค่าทางไฟฟ้านั้น ค่าพื้นฐานที่จะต้องจำลองคือ ค่าแรงดัน กระแส ความถี่ และมุมเฟส



รูปที่ 3.13 ส่วนควบคุมโปรแกรมซึ่งรับค่าโดยการจำลองสัญญาณ

### 3.2.4 ส่วนหน้าจอแสดงผลหลัก

หน้าจอแสดงผลหลักนั้นจะแสดงให้เห็นเป็นภาพรวมของข้อมูลพลังงานที่ผ่านการวิเคราะห์แล้วของแต่ละระบบ ณ เวลานั้น ซึ่งจะประกอบไปด้วยค่าแรงดัน กระแส

#### 3.2.4.1 การแสดงค่าพารามิเตอร์เฉพาะในระบบ

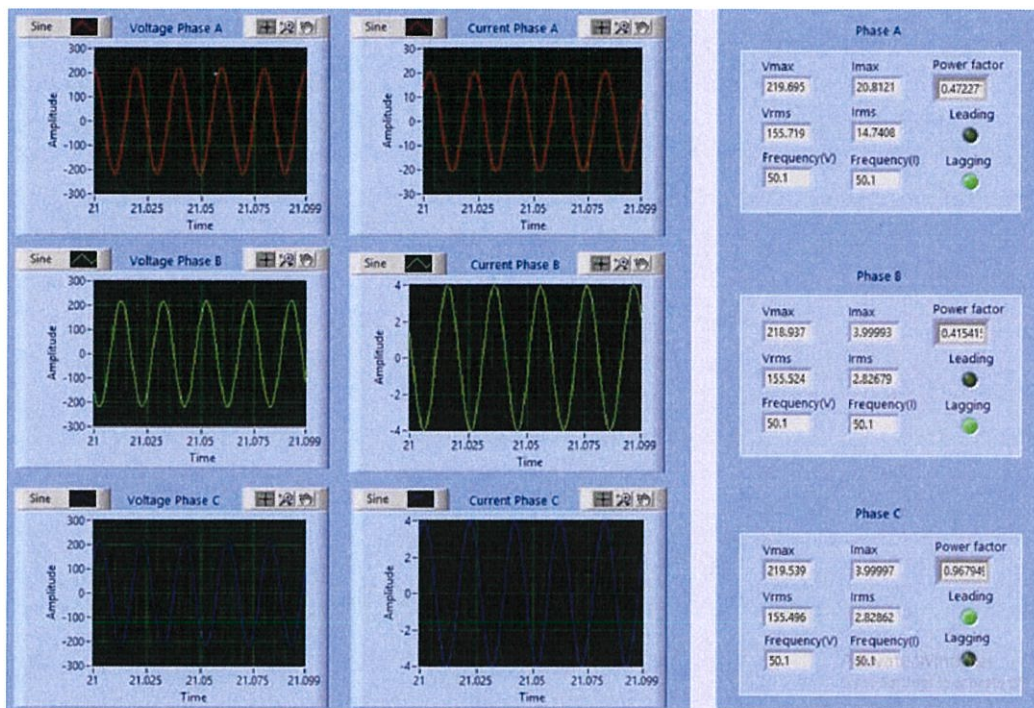
สำหรับระบบพลังงานแสงอาทิตย์จะแสดง ค่า Solar Irradiation อุณหภูมิ ความชื้น แรงดันและกระแสไฟตรง ส่วนระบบพลังงานลม จะแสดงค่าความเร็วลม ทิศทางลม และอุณหภูมิ

#### 3.2.4.2 การแสดงกราฟของพารามิเตอร์เฉพาะในระบบ

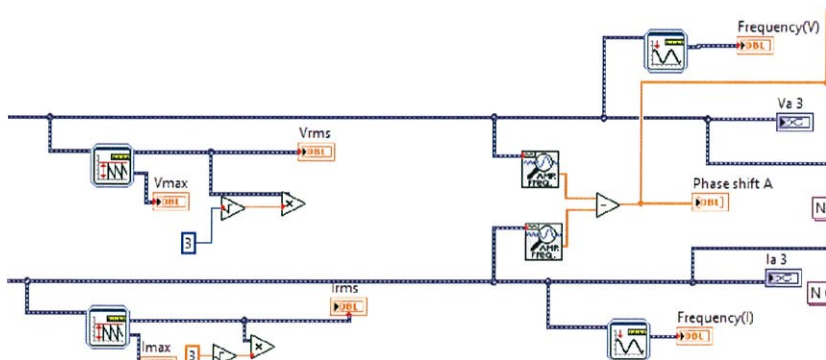
สำหรับพลังงานแสงอาทิตย์จะแสดง กราฟพลังงาน กราฟอุณหภูมิ กราฟ Solar Irradiation และกราฟกำลังงาน ส่วนพลังงานลมจะแสดง กราฟพลังงาน กราฟอุณหภูมิ กราฟความเร็วลม และกราฟกำลังงาน

#### 3.2.4.3 การแสดงกราฟและค่าแรงดันและกระแสแต่ละเฟส

แสดงกราฟแรงดันและกระแสในแต่ละเฟส รวมถึงค่าสูงสุด ค่ารากเฉลี่ยกำลังสอง และค่าความถี่ เป็นต้น ดังรูปที่ 3.14



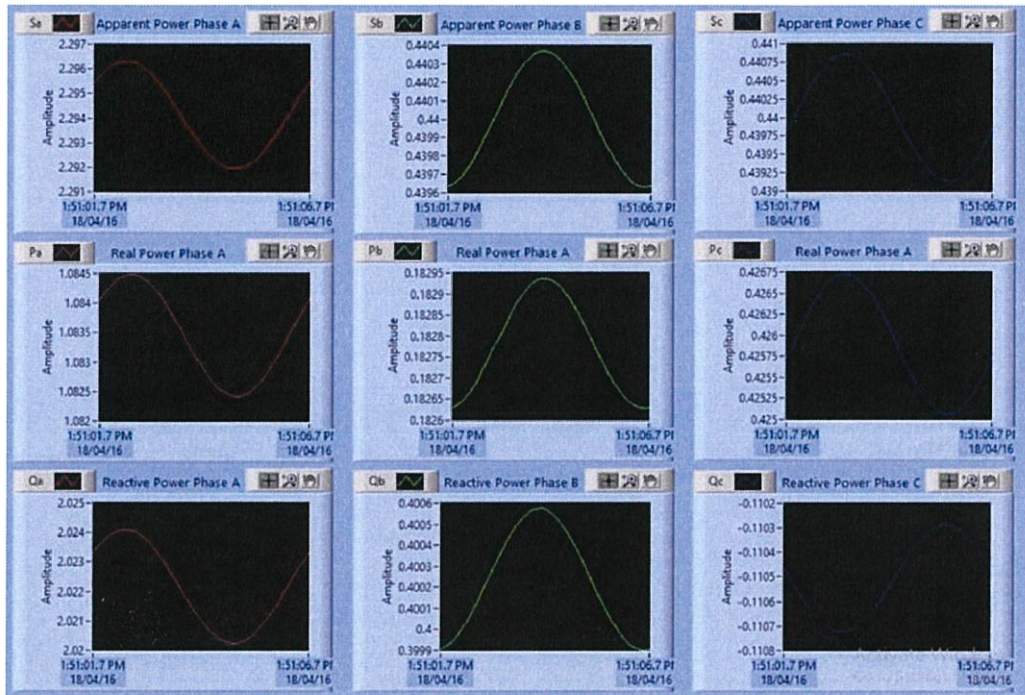
รูปที่ 3.14 การแสดงค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าและรูปคลื่นสัญญาณ



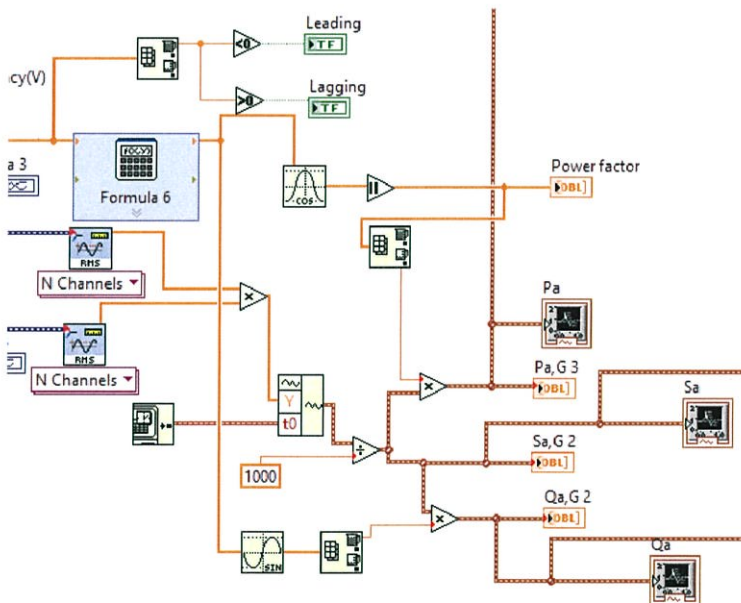
รูปที่ 3.15 บล็อกไดอะแกรมการแสดงค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าและรูปคลื่นสัญญาณ

### 3.2.4.4 การแสดงกราฟกำลังทางไฟฟ้าแต่ละเฟส

แสดงกราฟกำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าเสมือน และกำลังไฟฟ้าปฏิกิริยาของแต่ละเฟส



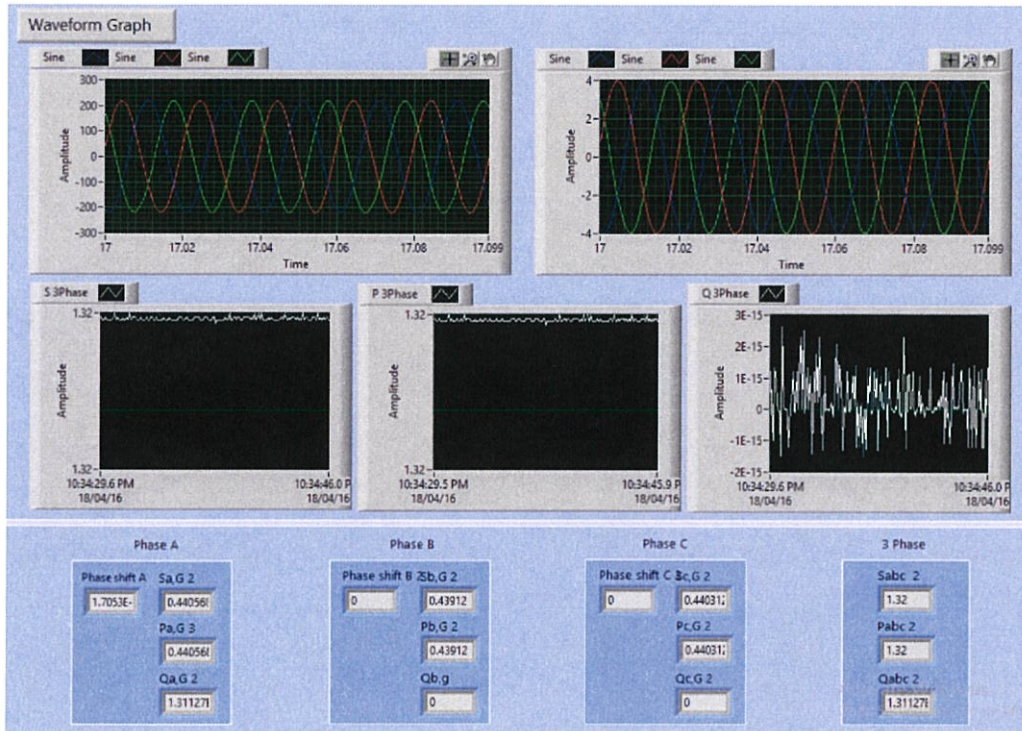
รูปที่ 3.16 การแสดงกราฟกำลังทางไฟฟ้าแต่ละเฟส



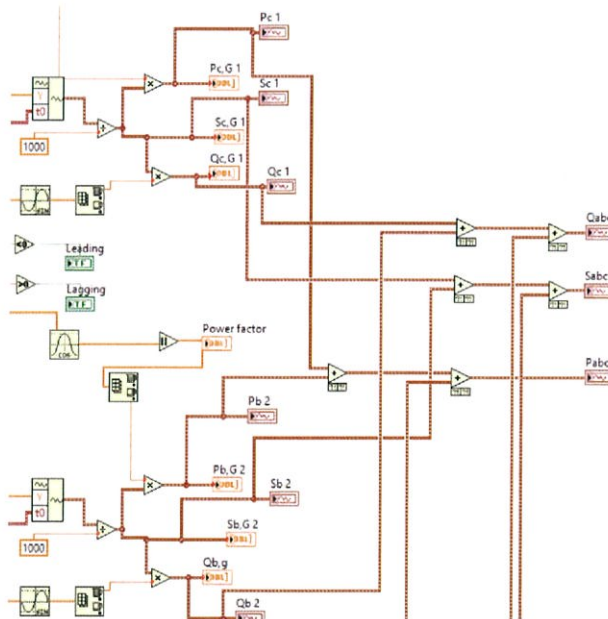
รูปที่ 3.17 บล็อกไดอะแกรมการแสดงกราฟกำลังทางไฟฟ้าแต่ละเฟส

### 3.2.4.5 การแสดงกราฟและค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้ารวมสามเฟส

แสดงกราฟแรงดันและกระแสทั้งสามเฟสรวมกัน กราฟกำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าเสมือน และกำลังไฟฟ้าปรากฏทั้งสามเฟสรวมกัน และแสดงค่าพารามิเตอร์กำลังทางไฟฟ้าของทั้งสามเฟสรวมกันและของแต่ละเฟสแยก



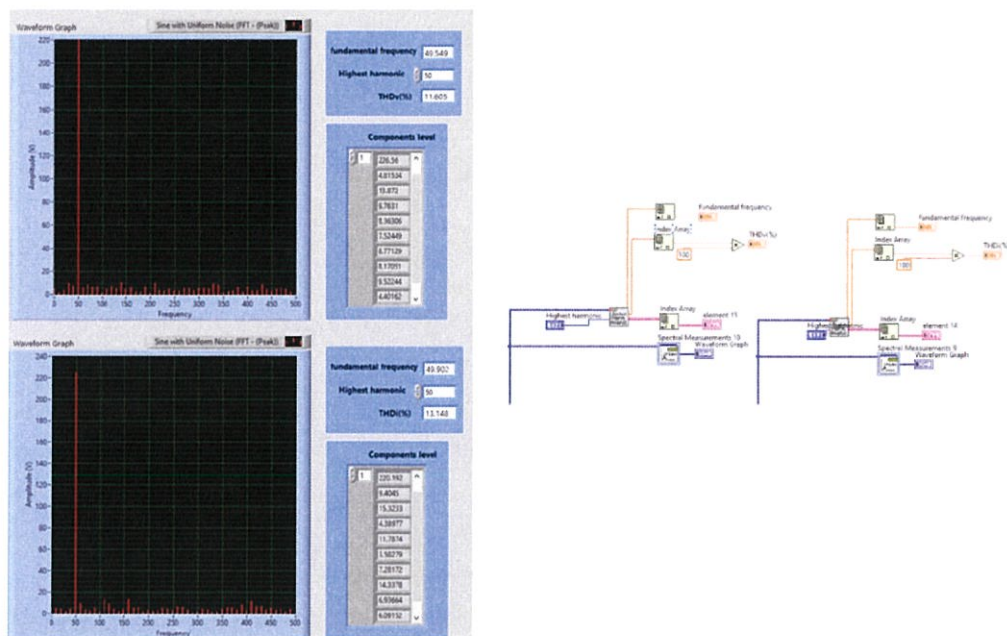
รูปที่ 3.18 การแสดงกราฟและค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้ารวมสามเฟส



รูปที่ 3.19 บล็อกไดอะแกรมการแสดงผลกราฟและค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้ารวมสามเฟส

### 3.2.4.6 การแสดงค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิก

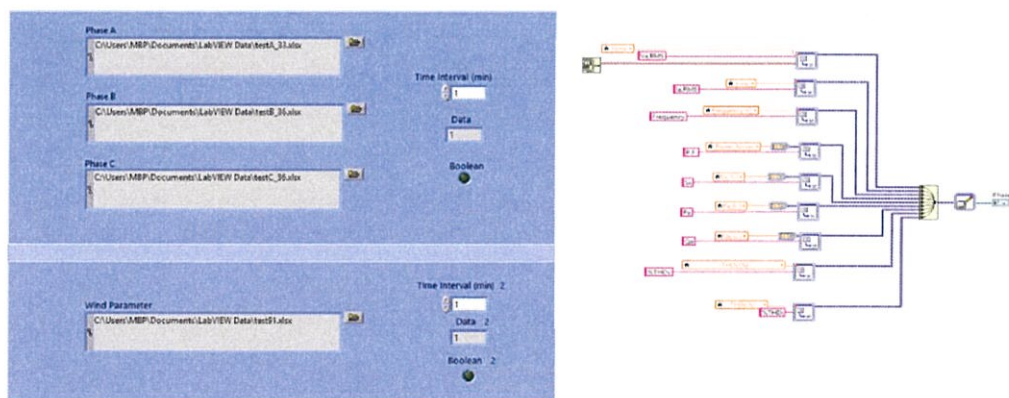
แสดงค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกของทั้งแรงดันและกระแสของแต่ละเฟส



รูปที่ 3.20 การวิเคราะห์ฮาร์มอนิก

### 3.2.4.7 การบันทึกข้อมูล

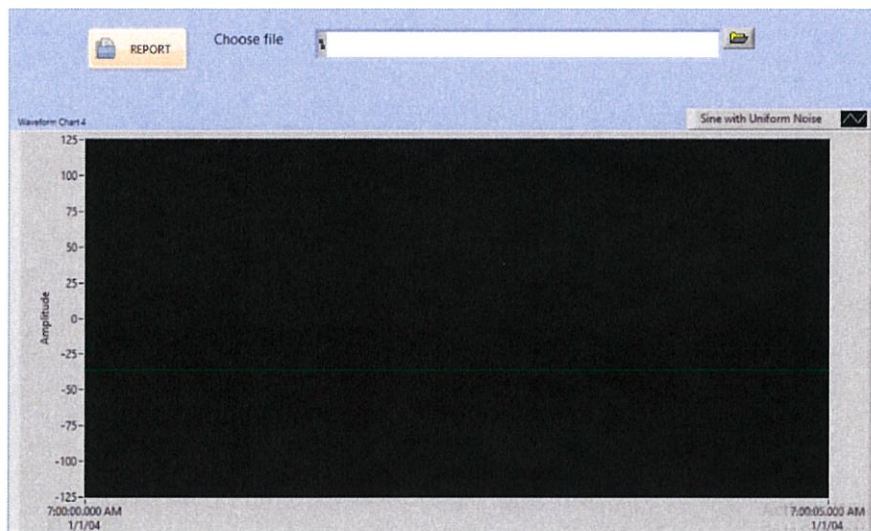
การบันทึกข้อมูลแบ่งเป็นการบันทึกข้อมูลโดยกำหนดระยะเวลาที่ต้องการบันทึกแต่ละค่า



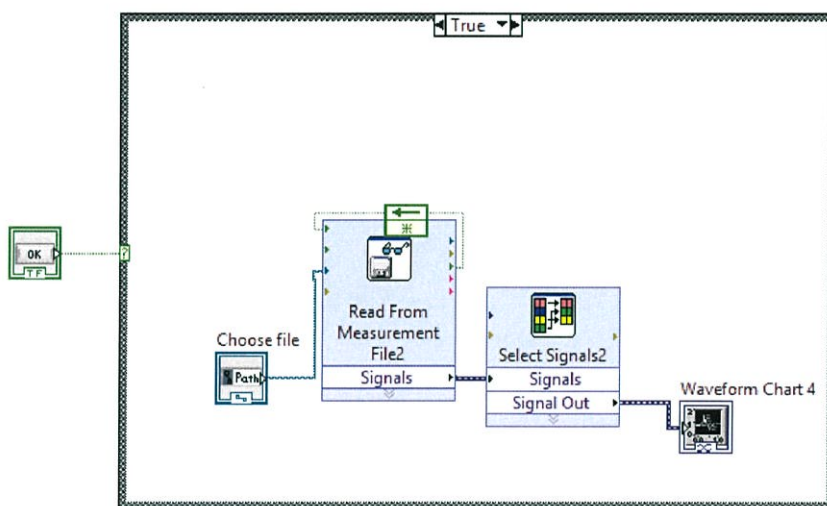
รูปที่ 3.21 การบันทึกข้อมูลแบบกำหนดระยะเวลา

### 3.2.4.8 การอ่านข้อมูล

การอ่านข้อมูลนั้นมีปุ่ม Report เป็นตัวกำหนดการเริ่มต้นและหยุดทำงานในส่วนของการอ่านข้อมูล เมื่อเลือกไฟล์ที่ต้องการและกดปุ่มแล้ว จะแสดงผลเป็นรูปคลื่นสัญญาณทันที และสามารถเลือกอ่านไฟล์ใหม่ได้อย่างต่อเนื่องจนกว่าจะกดปุ่มอีกครั้ง ซึ่งเป็นการหยุดการทำงานในส่วนของการอ่านข้อมูล



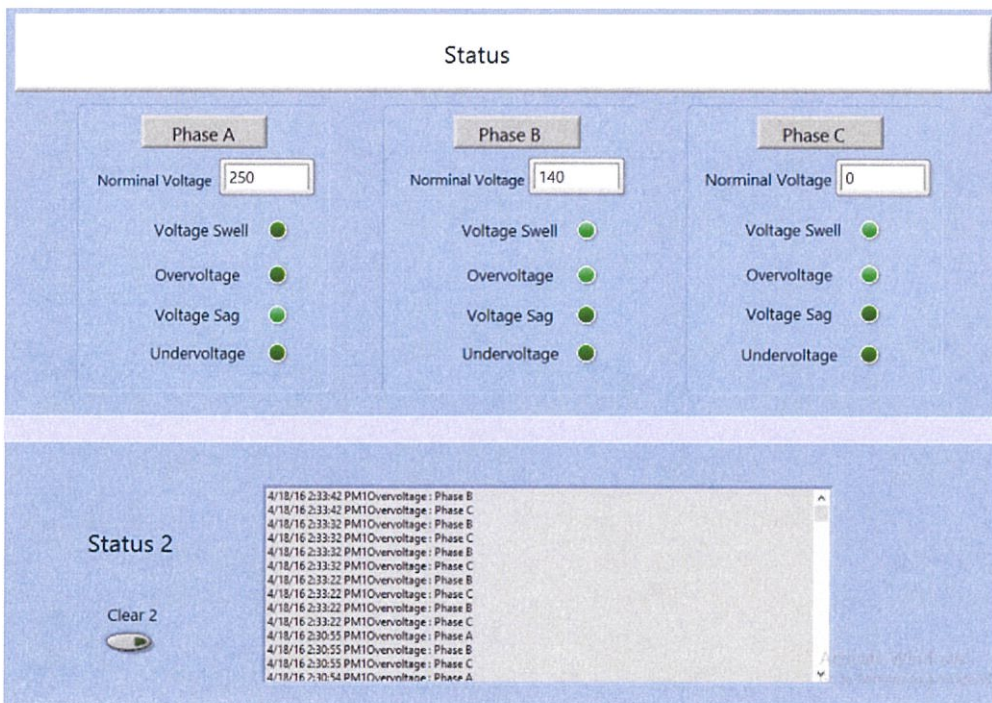
รูปที่ 3.22 การอ่านข้อมูล



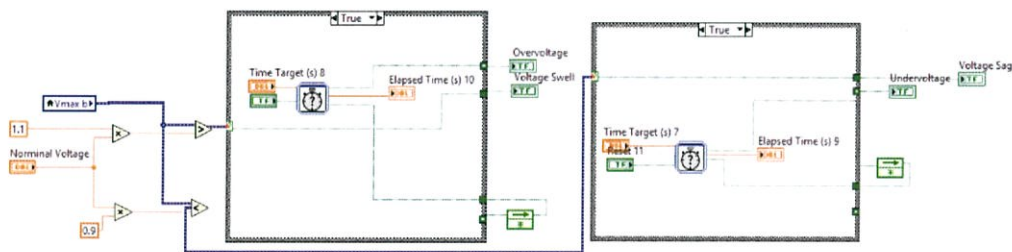
รูปที่ 3.23 บล็อกไดอะแกรมการอ่านข้อมูล

### 3.2.4.9 การแสดงผลเตือนเมื่อเกิดความผิดปกติ

การแสดงผลการเตือนเมื่อเกิดความผิดปกตินั้นจะให้แสดงข้อมูลของ วัน เวลา และ ลักษณะความผิดปกติที่เกิดขึ้นในแถบแสดงสถานะ จะแสดงไฟเตือนขึ้นที่แถบหน้าจอหลัก และเมื่อเกิดความผิดปกติที่เฟสใดๆ จะทำการบันทึกข้อมูลที่เกิดความผิดปกติขึ้นโดยอัตโนมัติ



รูปที่ 3.24 การแสดงผลเตือนเมื่อเกิดความผิดปกติ



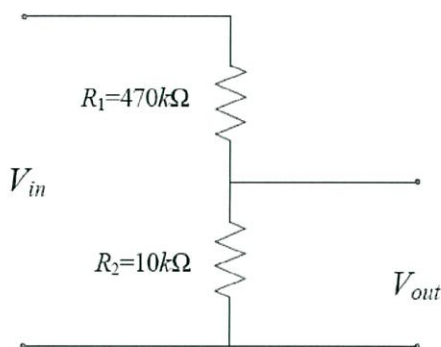
รูปที่ 3.25 การแสดงผลเตือนเมื่อเกิดความผิดปกติ

### 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  $R_1=470\text{ k}\Omega$ ,  $R_2=10\text{ k}\Omega$  ดังนั้นจะมีอัตราส่วนแรงดัน คือ 48/1



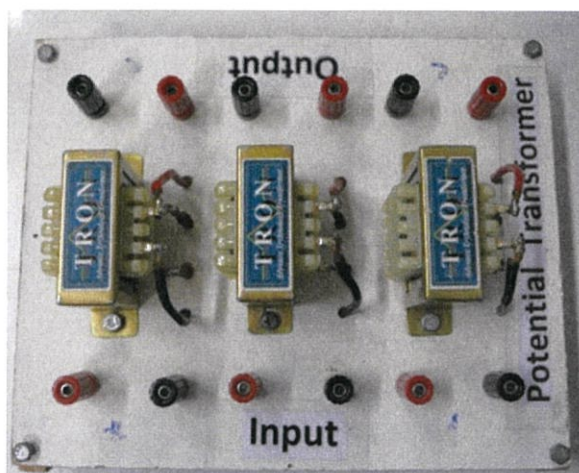
รูปที่ 3.26 วงจร Voltage Divider

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

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

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

การวัดแรงดันไฟฟ้าสำหรับไฟฟ้ากระแสสลับจะใช้หม้อแปลงแรงดันเพื่อทอนระดับแรงดันไฟฟ้าโดยมีอัตราส่วนคือ 800/16 เมื่อนำไปคูณกับค่าที่รับได้จาก DAQ จึงจะออกเป็นค่าแรงดันจริงของระบบ

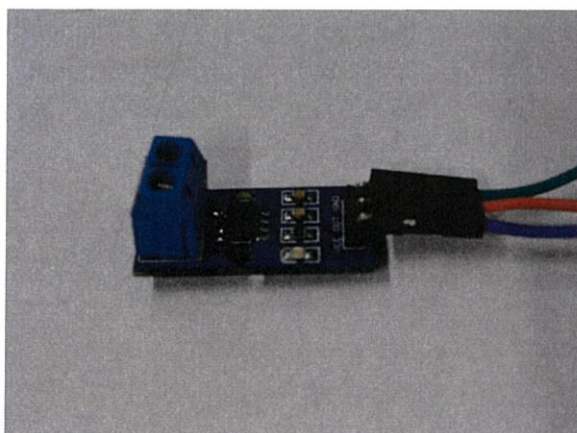


รูปที่ 3.27 หม้อแปลงแรงดัน

### 3.3.2 การวัดกระแสไฟฟ้า

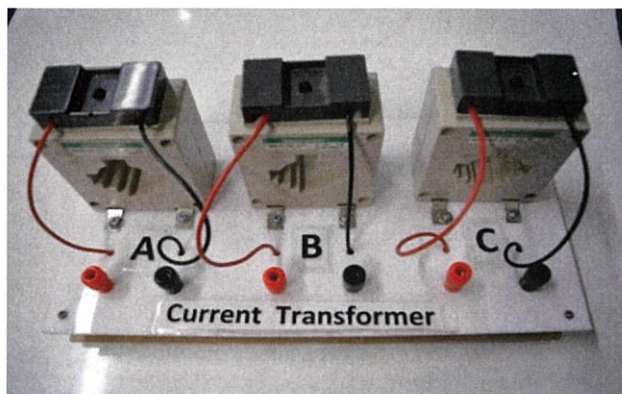
การวัดกระแสไฟฟ้าสำหรับไฟฟ้ากระแสตรงจะใช้ Current Sensor Allegro ACS712 ในการวัดซึ่งจะได้เป็นค่าแรงดัน เมื่อจ่ายเข้า DAQ จะต้องมีการคูณอัตราส่วนเพิ่มเพื่อแปลงจากค่าแรงดันให้กลับเป็นค่ากระแสดังเดิม ซึ่งอัตราส่วนนั้นได้จาก Datasheet ของเซนเซอร์วัดกระแส มีค่า คือ  $10 \text{ mV/1A}$

แต่เนื่องจากมี Offset อยู่ที่  $2.5 \text{ V}$  ดังนั้น จึงต้องลบออกจากค่าที่ได้ก่อนที่จะนำปหารค่าอัตราส่วน  $10\text{mV}$



รูปที่ 3.28 Current Sensor Arduino ACS712

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



รูปที่ 3.29 หม้อแปลงกระแส Salser MSQ-40 CT

### 3.3.3 การคำนวณกำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้า

ได้จากการคำนวณโดยใช้ค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า รวมไปถึงมุมเฟสระหว่างแรงดันและกระแสที่ตรวจวัดได้

สำหรับไฟฟ้ากระแสตรงจะมีสมการในการวัดกำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าดังนี้

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

สำหรับไฟฟ้ากระแสสลับจะคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าจาก

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

จากสมการที่ 3.5 โปรแกรม ที่ออกแบบไว้จะสามารถคำนวณหาค่า  $S$  ได้จาก

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

$$\cos \theta = \cos[\theta_V - \theta_I] \quad (3.7)$$

จึงนำไปคำนวณหาพลังงานได้จากสูตร

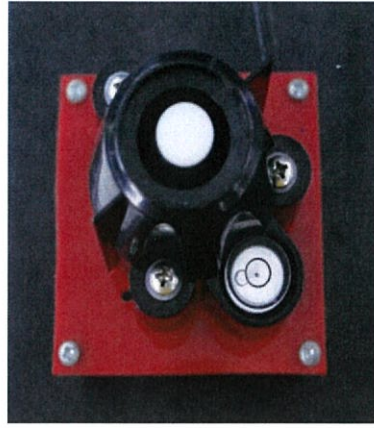
$$E = Pt \quad (3.8)$$

### 3.4 การวัดค่าพารามิเตอร์เฉพาะในระบบ

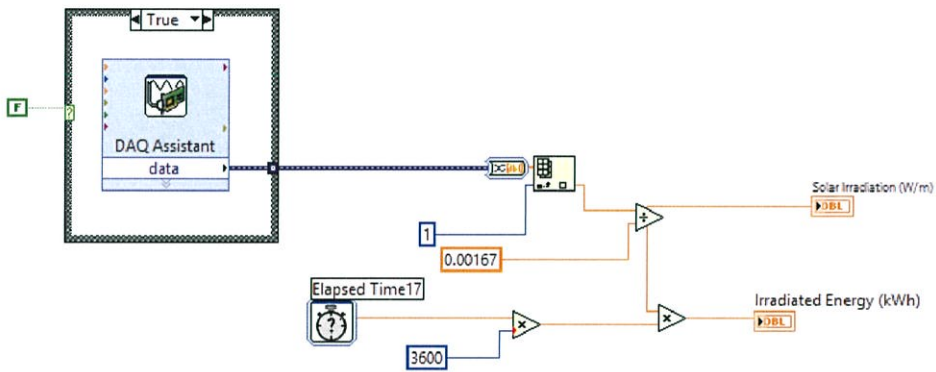
เนื่องจากมีชุดอุปกรณ์ในการวัดสภาพอากาศซึ่งประกอบไปด้วยเครื่องวัดค่าพลังงาน แสงอาทิตย์ เครื่องวัดความเร็วลม เครื่องวัดทิศทางลม อุณหภูมิและความชื้น

#### 3.4.1 การวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์

เครื่องตรวจวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์ หรือ Solar Irradiation Sensor รุ่น DAVIS6450 ทำงานโดยการรับรังสีจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์แล้วแปลงเป็นกระแสไฟฟ้า แต่ค่าที่ออกมาจะเป็น แรงดัน ซึ่งมีอัตราส่วนคือ เมื่อค่าพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับ  $1 \text{ W/m}^2$  จะได้ค่าแรงดัน  $1.67 \text{ mV}$  แล้ว ต่อผ่านพอร์ตของอุปกรณ์ DAQ ดังนั้นเมื่อเรานำค่ามาใช้ในโปรแกรมจึงต้องคูณค่าแรงดันที่รับเข้ามา ได้ด้วยอัตราส่วน  $1/1.67 \text{ mV}$  จึงจะได้เป็นค่าพลังงานแสงอาทิตย์จริง



รูปที่ 3.30 Solar Irradiation Sensor รุ่น DAVIS6450



รูปที่ 3.31 บล็อกไดอะแกรมการวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์

### 3.4.2 การวัดค่าความเร็วลมและทิศทางลม

เครื่องตรวจจับความเร็วลมหรือ Anemometer จากข้อมูลผลิตภัณฑ์ ทำให้ทราบว่า ความเร็วลม 1 mph Anemometer จะหมุน 1,600 รอบต่อชั่วโมง (1,600 rev/hr) หรือที่ ความเร็ว ลม 1.006 m/s Anemometer จะหมุนด้วยความถี่ 1 รอบต่อวินาที หรือความถี่ของ สัญญาณ เอาต์พุตที่ได้จะมีค่าเท่ากับ 1 เฮิรตซ์ (Hz)

สำหรับการวัดทิศทางลม จะใช้ Potentiometer เมื่อทิศทางลมมีการเปลี่ยนแปลง จะส่งผล ให้ค่าความต้านทานภายในของ Potentiometer มีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ส่งผลให้ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงตามความต้านทานที่เปลี่ยนไป โดยการเปลี่ยนแปลงจะมี ลักษณะเป็นเชิงเส้น

จาก Voltage Divider จะได้สมการดังนี้

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

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

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

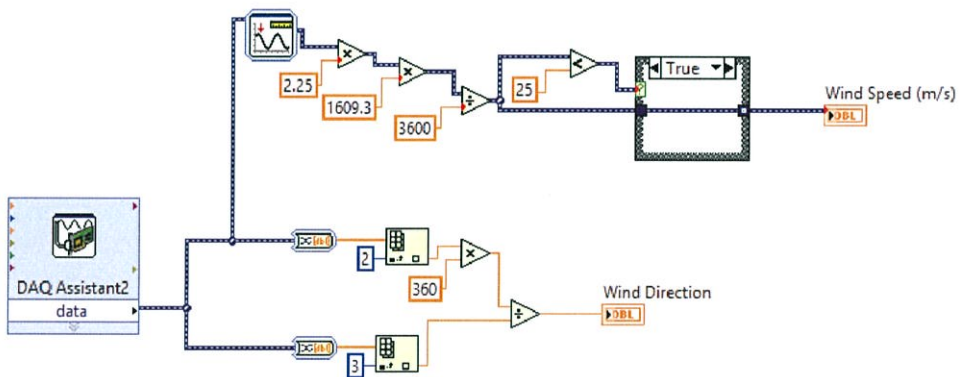
แทนสมการ (3.11) ใน (3.10)

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

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



รูปที่ 3.32 Anemometer รุ่น DAVIS7911



รูปที่ 3.33 บล็อกไดอะแกรมการวัดค่าความเร็วลมและทิศทางลม

### 3.4.3 การวัดอุณหภูมิ

ใช้ NTC Thermistor ซึ่งค่าความต้านทานของ Thermistor จะมีการ เปลี่ยนตาม อุณหภูมิที่เปลี่ยนไป โดยที่ค่าความต้านทาน  $R$  ของ Thermistor ที่อุณหภูมิ  $T$  ใดๆ สามารถอธิบายได้ ด้วยสมการ ดังนี้

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

เมื่อกำหนดให้  $A = 0.003354016$

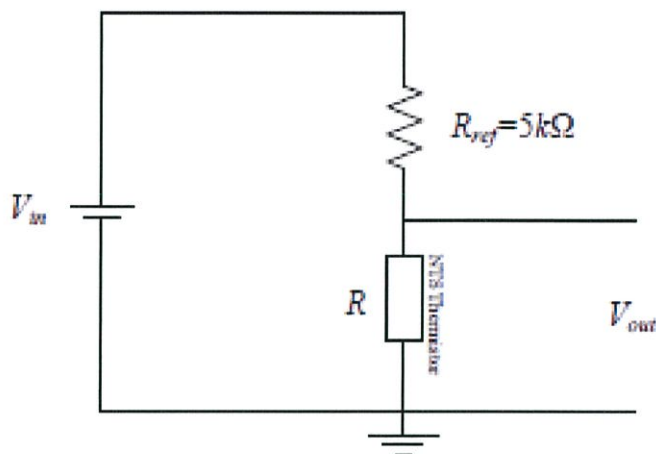
$B = 0.0002569355$

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

และ  $D = 6.75278 \times 10^{-8}$

และค่า  $R_{ref}$  คือค่าความต้านทานที่อุณหภูมิอ้างอิงหรืออุณหภูมิห้อง ที่  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$

เนื่องจาก Thermistor จะเปลี่ยนแปลงความต้านทาน ตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป แต่เนื่องจากพอร์ตของอุปกรณ์ DAQ สามารถวัดได้แค่แรงดัน ไม่สามารถวัดค่าความต้านทานได้ จึงจำเป็นต้องออกแบบวงจรแบ่งแรงดันเพื่อทำการวัดค่าความต้านทานของ Thermistor ดังรูปที่ 3.29



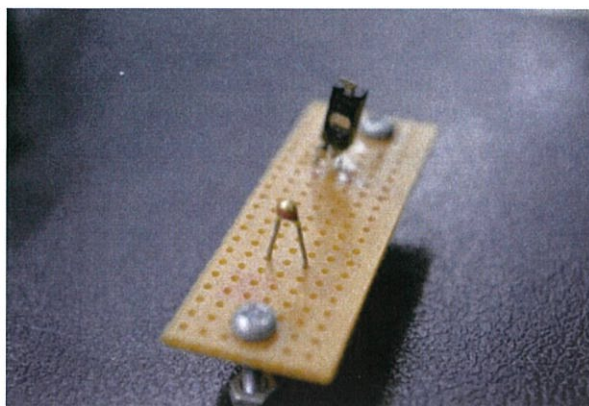
รูปที่ 3.34 วงจร Voltage Divider เพื่อทำการวัดค่าความต้านทานจาก Thermistor

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

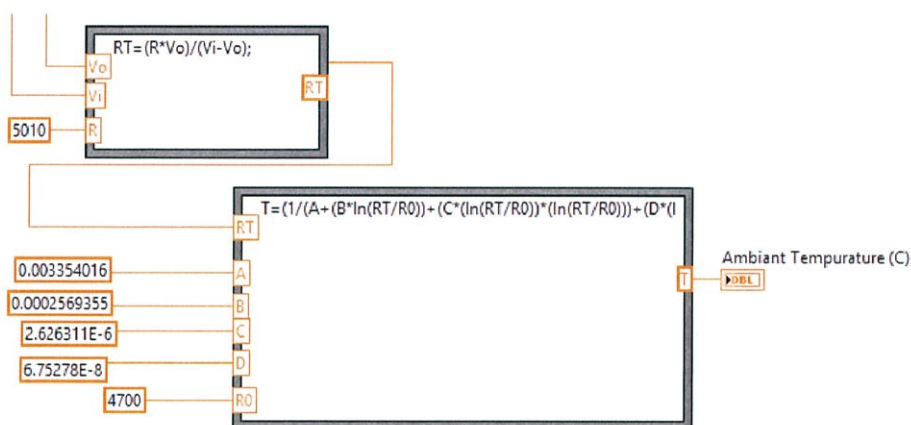
$$V_{out} = \frac{R}{R + R_{ref}} V_{in} \quad (3.15)$$

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

เมื่อได้ค่าความต้านทานของ Thermistor ตามสมการที่ (3.16) แล้วนำไปแทนค่าลงในสมการ (3.14) จะได้ค่าของอุณหภูมิตามที่ต้องการ และสามารถนำไปเขียนฟังก์ชันในโปรแกรม LabVIEW ได้ดังรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.35 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ NTC Thermistor



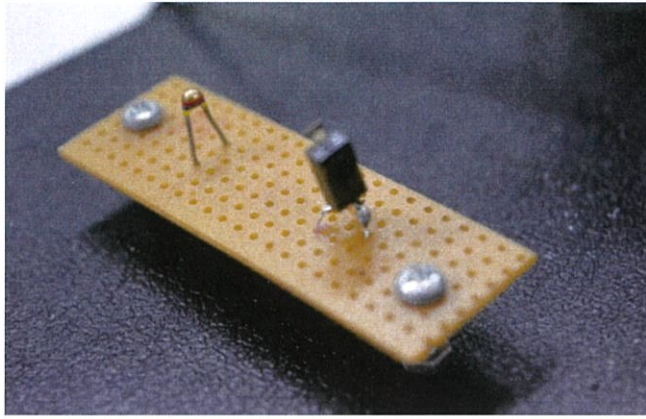
รูปที่ 3.36 บล็อกไดอะแกรมสำหรับการวัดอุณหภูมิ

### 3.4.4 การวัดความชื้นสัมพัทธ์

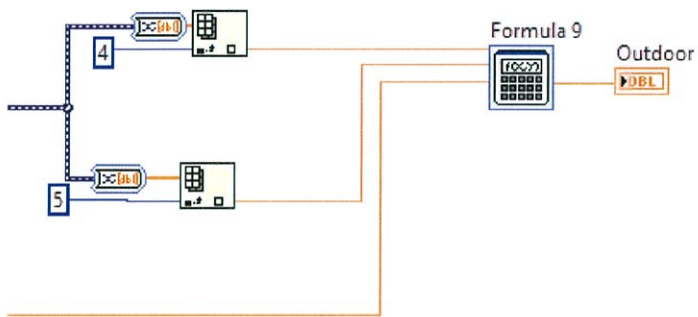
เซนเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์ HIH 5030 เป็นเซนเซอร์วัดความชื้นแบบคาปาซิทีฟ ช่วงในการวัดความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 0-100% ตัวเซนเซอร์จะอาศัยไฟเลี้ยงเป็นแรงดันกระแสตรง 5 โวลต์ เอาต์พุตของเซนเซอร์จะออกเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งมีสัดส่วนเป็นเชิงเส้นกับค่าความชื้นสัมพัทธ์ ได้สมการดังนี้

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

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



รูปที่ 3.37 เซนเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์ HIH 5030

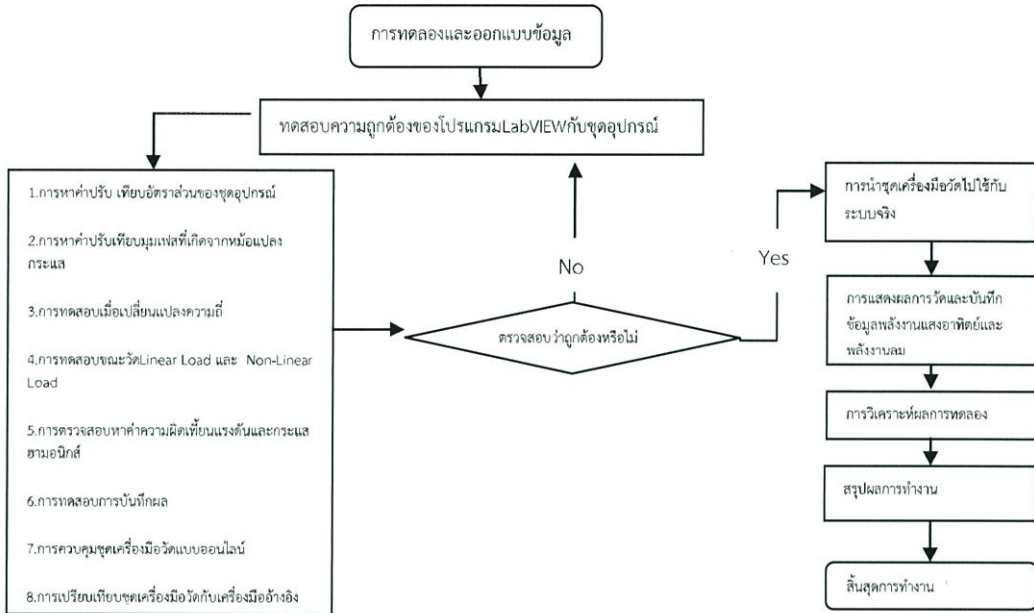


รูปที่ 3.38 บล็อกไดอะแกรมสำหรับการวัดความชื้น

## บทที่ 4

### การทดลองและการเก็บข้อมูล

เพื่อให้ชุดเครื่องมือวัดที่ออกแบบมีความน่าเชื่อถือและสามารถนำไปใช้งานกับระบบพลังงานทดแทนได้จริง จึงทำการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม LabVIEW กับชุดอุปกรณ์ โดยมีขั้นตอนการปฏิบัติตาม Flow Chart ดังรูปที่ 4.1



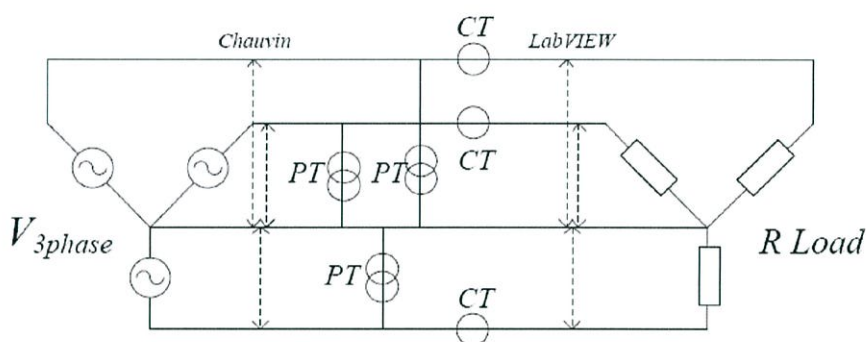
รูปที่ 4.1 แผนผังขั้นตอนการปฏิบัติงาน

#### 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 ซึ่งใช้โหลดเป็นหลอดเฝ้าไส้สามเฟสต่อแบบสตาร์ ทำการป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับโหลดที่ระดับแรงดัน 20%-110% ของแรงดัน 220 Vrms บันทึกค่ากระแสจริงที่ได้จากแคลมป์แอมป์กับกระแสเอาต์พุตที่ได้จากหม้อแปลงกระแสทั้งสามเฟส และคำนวณหาอัตราส่วนของหม้อแปลงกระแสทั้งสามเฟสดังตารางที่ 4.1 ส่วนการหาค่าเปรียบเทียบอัตราส่วนของหม้อแปลงแรงดันก็ทำเช่นเดียวกันกับหม้อแปลงกระแสแสดงดังตารางที่ 4.2 สรุปผลการเปรียบเทียบของหม้อแปลงกระแส และหม้อแปลงแรงดันได้ดังตารางที่ 4.3 และรูปวงจรถ่ายค่าเปรียบเทียบแสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 วงจรถ่ายค่าเปรียบเทียบอัตราส่วนของชุดอุปกรณ์



รูปที่ 4.3 การทดสอบหาค่าเปรียบเทียบอัตราส่วนของชุดอุปกรณ์

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)	0.74	0.72	0.73	0.0167	0.0162	0.0159	44.670	44.815	46.352
30%(66V)	0.90	0.88	0.88	0.0199	0.0193	0.0188	45.628	45.958	47.074
40%(88V)	1.05	1.03	1.03	0.0228	0.0219	0.0218	46.491	47.032	47.248
50%(110V)	1.18	1.16	1.15	0.0270	0.0280	0.0274	43.926	41.429	42.226
60%(132V)	1.30	1.27	1.27	0.0300	0.0310	0.0291	43.567	41.129	47.121
70%(154V)	1.41	1.39	1.38	0.0330	0.0291	0.0289	43.000	47.801	48.062
80%(176V)	1.52	1.49	1.48	0.0360	0.0380	0.0320	42.390	41.528	46.500
90%(198V)	1.62	1.59	1.58	0.0380	0.0380	0.0330	42.737	41.895	48.030
100%(220V)	1.71	1.68	1.67	0.0401	0.0383	0.0360	42.843	43.942	46.611
110%(242V)	1.81	1.77	1.76	0.0420	0.0400	0.0370	43.935	44.250	47.784

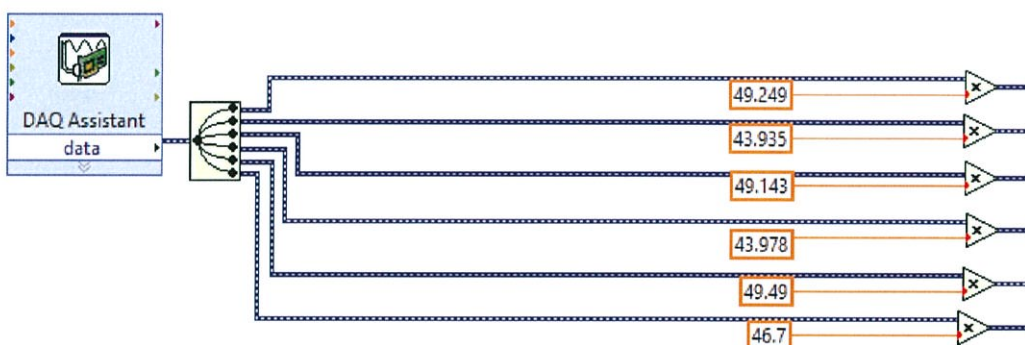
ตารางที่ 4.2 การหาค่าแรงดันเอาต์พุตสามเฟสที่ได้จากหม้อแปลงแรงดัน

Input Voltage(Volt)	Primary Voltage (A)			Secondary Voltage (A)			Actual Ratio		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
20%(44V)	44.1	44.2	45.5	0.898	0.908	0.921	49.109	48.678	49.403
30%(66V)	66.5	66.1	67.4	1.336	1.343	1.359	49.701	49.218	49.595
40%(88V)	88.4	88.2	89.1	1.797	1.798	1.801	49.193	49.055	49.473
50%(110V)	110.	110.	112.	2.225	2.242	2.265	48.958	49.063	49.448
60%(132V)	132.	131.	133.	2.690	2.681	2.695	49.108	49.086	49.351
70%(154V)	154.	153.	154.	3.138	3.126	3.143	49.076	49.008	49.284
80%(176V)	176.	175.	178.	3.592	3.570	3.606	49.109	49.020	49.529
90%(198V)	198.	196.	200.	4.010	3.980	4.040	49.476	49.447	49.678
100%(220V)	220.	217.	221.	4.450	4.400	4.460	49.438	49.409	49.664
110%(242V)	242.	240.	244.	4.920	4.860	4.920	49.329	49.444	49.695

ตารางที่ 4.3 ค่าอัตราส่วนที่ได้จากการทดลองของหม้อแปลงกระแสและหม้อแปลงแรงดัน

Phase	เปรียบเทียบที่นำไปใช้ในชุดเครื่องมือวัด			
	Current Transformer		Voltage Transformer	
	Nameplate Ratio	Actual Ratio	Nameplate Ratio	Actual Ratio
A	40	43.935	50	49.349
B	40	43.978	50	49.143
C	40	46.700	50	49.490

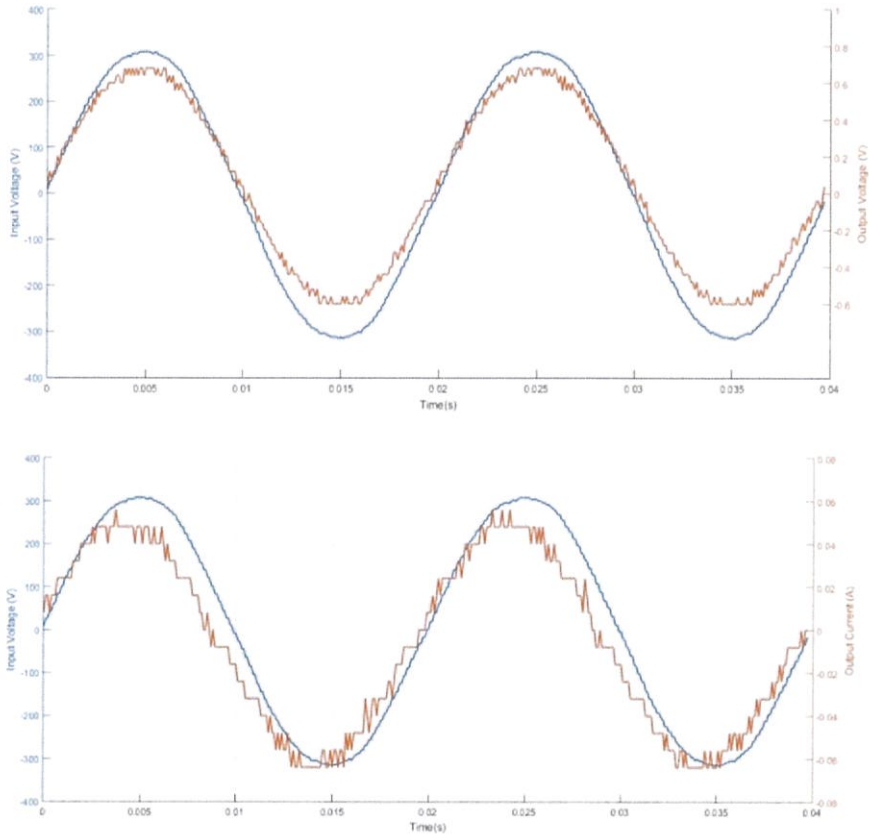
จากผลการทดสอบในการหาเปรียบเทียบของชุดอุปกรณ์ทำให้ได้อัตราส่วนจากการทดลองดังตารางที่ 4.3 ซึ่งจะนำค่าอัตราส่วนในตารางนี้ไปใช้ปรับเทียบค่าในโปรแกรม LabVIEW ดังรูปที่ 4.4 เพื่อให้ค่าที่วัดได้จากชุดเครื่องมือวัดมีความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น



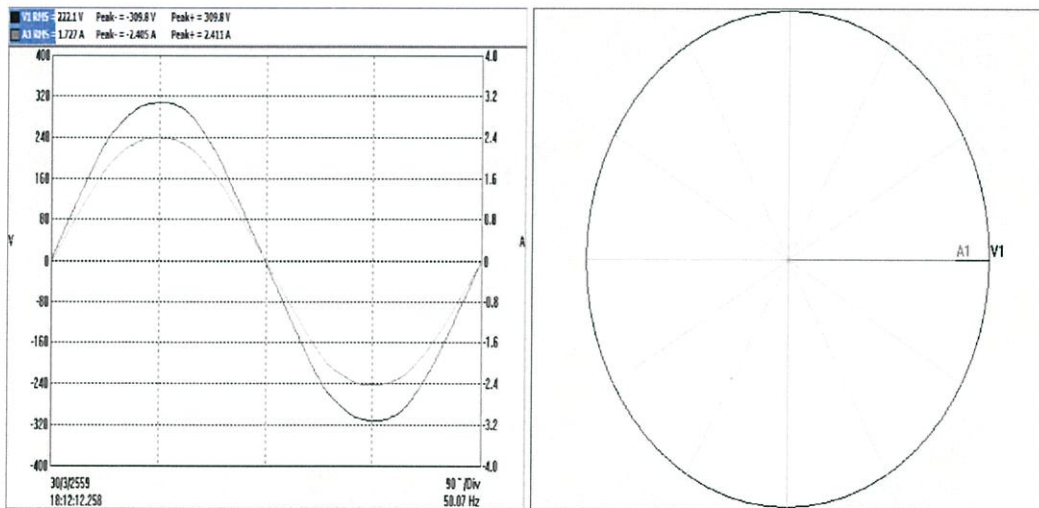
รูปที่ 4.4 นำค่าปรับเทียบที่ได้จากการทดลองไปเป็นค่าปรับเทียบใน LabVIEW

#### 4.1.2 การหาปรับเทียบมุมเฟส

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



รูปที่ 4.5 กราฟแรงดันด้านอินพุตเป็นสัญญาณอ้างอิงเทียบกับกราฟแรงดันและกระแสด้านออก

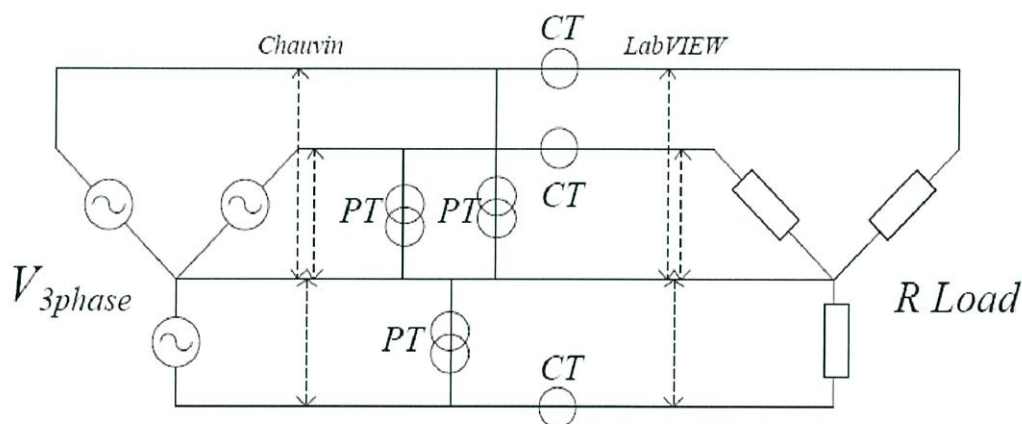


รูปที่ 4.6 มุมต่างเฟส V-I ที่แรงดัน 220 โวลต์ของ Linear Load ด้านอินพุตจากเครื่องมือวัดอ้างอิง



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+) โดยรูปวงจรถ่ายทอดสอบในแต่ละกรณีคือรูปที่ 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 ตามลำดับโหลดและเอาต์พุตจากชุดเครื่องมือวัดในกรณี 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



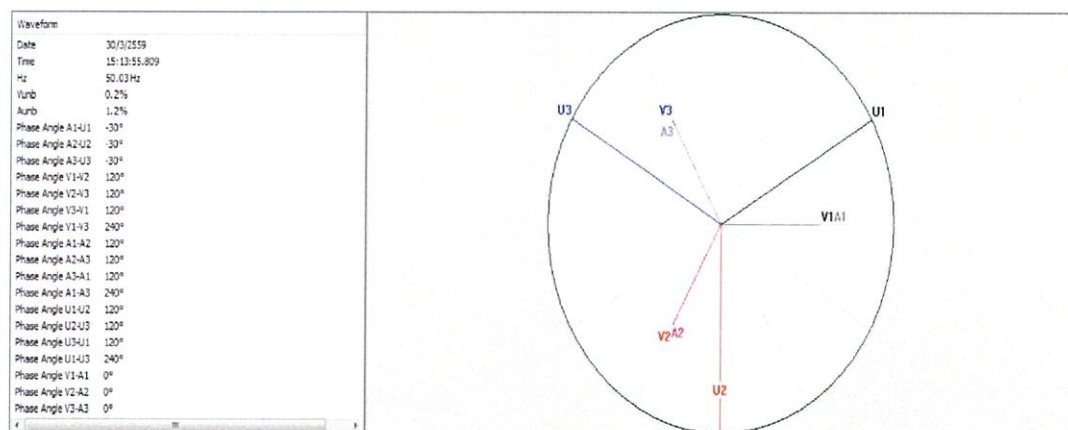
รูปที่ 4.8 วงจรถ่ายทอดสอบหาค่าเปรียบเทียบมุมเฟสที่เกิดจากหม้อแปลงกระแส ในกรณี R Load



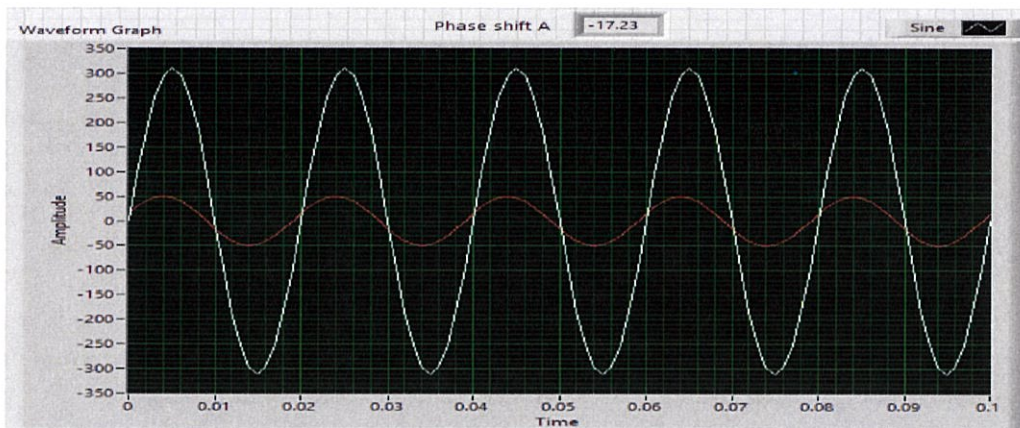
รูปที่ 4.9 การทดสอบหาค่าเปรียบเทียบมุมเฟสที่เกิดจากหม้อแปลงกระแส ในกรณี R load

ตารางที่ 4.4 มุมต่างเฟสที่บันทึกจากเครื่องวัดอ้างอิงและโปรแกรม LabVIEW ของ R Load

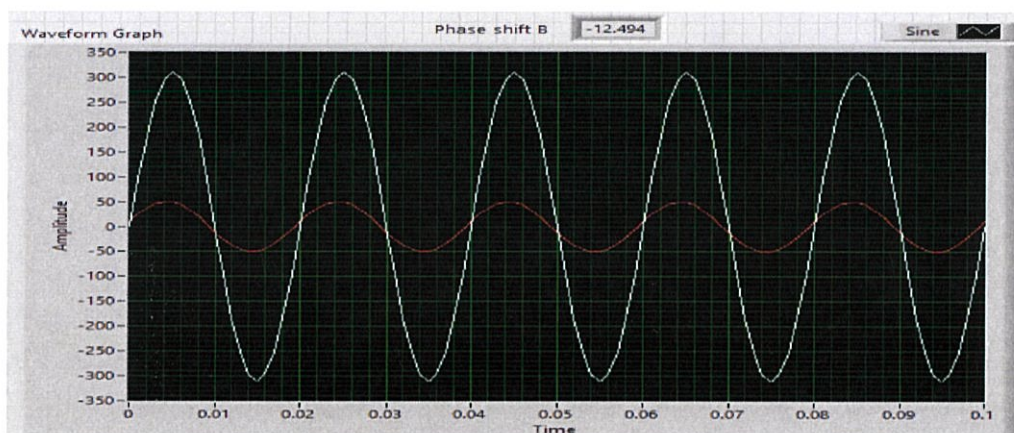
Input Voltage (Volt)	Phase shift(Degree)			
	CA-8335 Qualistar+	DAQ and LabVIEW		
		CT(A)	CT(B)	CT(C)
55	0	-17.582	-15.416	-14.093
110	0	-17.490	-15.133	-13.244
165	0	-16.966	-13.542	-13.543
220	0	-17.230	-12.494	-14.598
242	0	-17.079	-12.273	-13.573



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



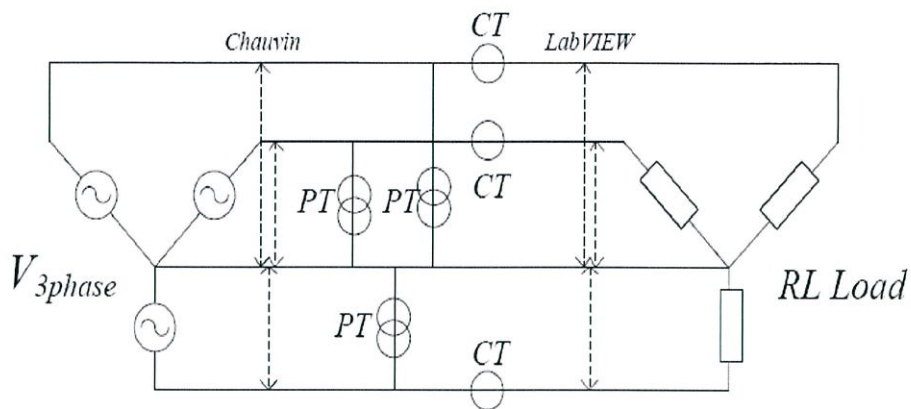
รูปที่ 4.11 มุมต่างเฟส  $V_a-I_a$  ที่แรงดัน 220 โวลต์ของ R Load จาก DAQ และ LabVIEW



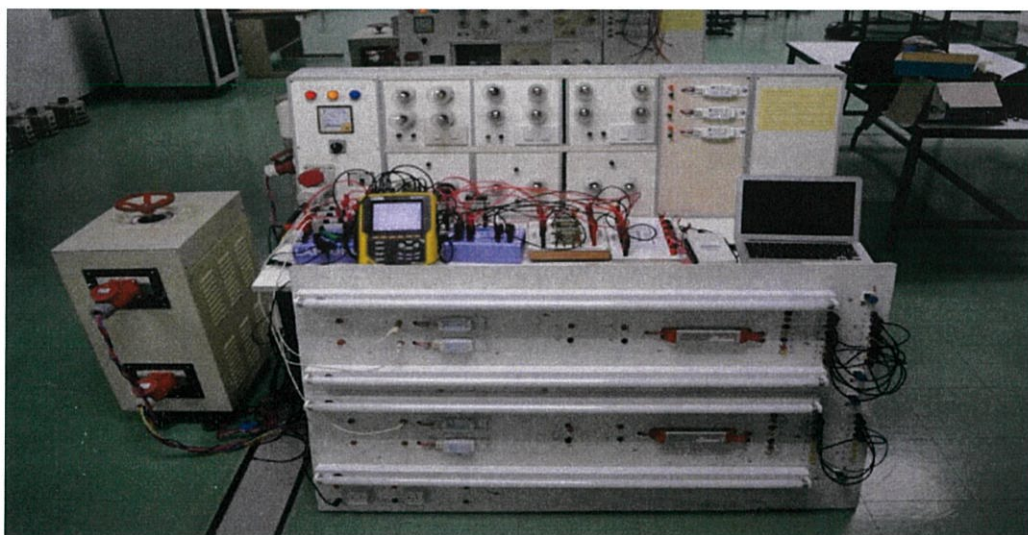
รูปที่ 4.12 มุมต่างเฟส  $V_b-I_b$  ที่แรงดัน 220 โวลต์ของ R Load จาก DAQ และ LabVIEW



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



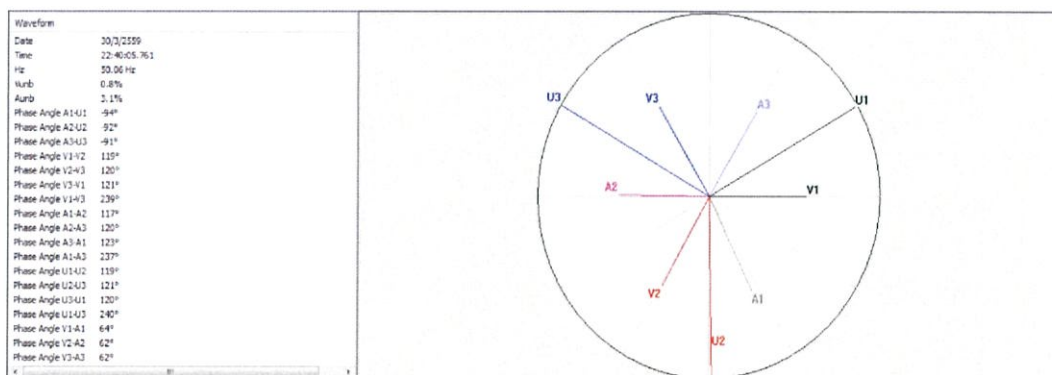
รูปที่ 4.14 วงจรการทดสอบหาค่าเปรียบเทียบมุมเฟสที่เกิดจากหม้อแปลงกระแส ในกรณี RL load



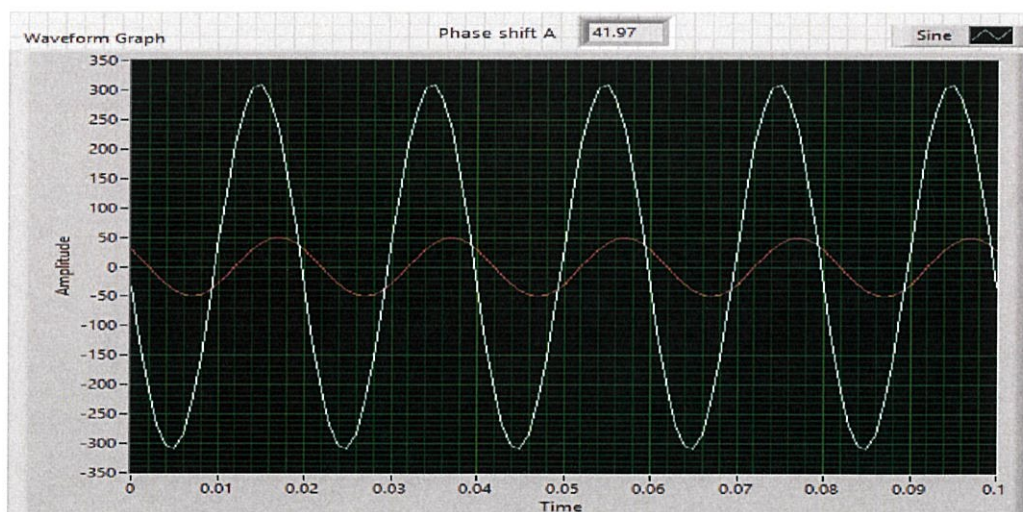
รูปที่ 4.15 การทดสอบหาค่าเปรียบเทียบมุมเฟสที่เกิดจากหม้อแปลงกระแส ในกรณี RL load โหลดที่ใช้คือหลอด Fluorescent T5 และใช้บัลลาสต์แกนเหล็ก

ตารางที่ 4.5 มุมต่างเฟสที่บันทึกจากเครื่องวัดอ้างอิงและโปรแกรม LabVIEW ของ RL Load

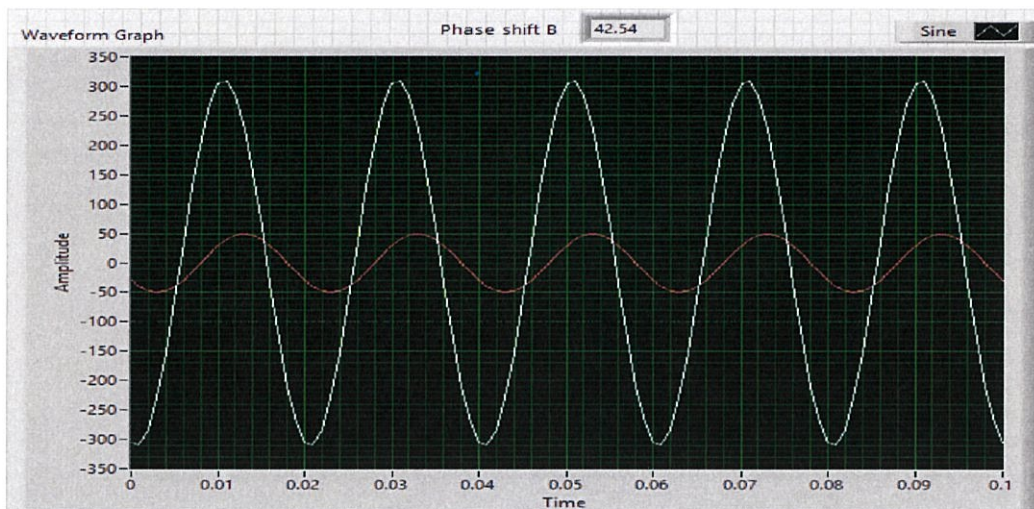
Input Voltage (Volt)	Phase Shift(Degree)					
	CT(A)		CT(B)		CT(C)	
	CA-8335 Qualistar+	DAQ LabVIEW	CA-8335 Qualistar+	DAQ LabVIEW	CA-8335 Qualistar+	DAQ LabVIEW
55	-	-	-	-	-	-
110	-	-	-	-	-	-
165	50.00	30.42	49.00	29.00	50.00	30.59
220	63.00	41.97	60.00	42.54	60.00	40.95
242	64.00	43.88	63.00	46.93	62.00	44.74



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



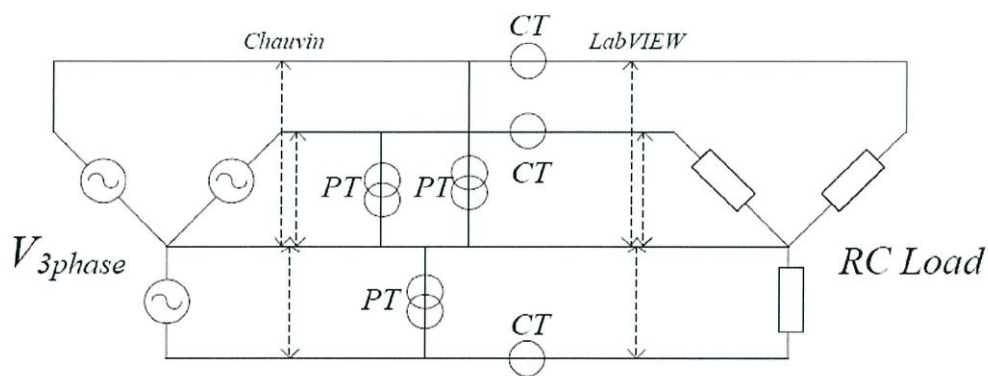
รูปที่ 4.17 มุมต่างเฟส  $V_a-I_a$  ที่แรงดัน 220 โวลต์ของ RL Load จาก DAQ และ LabVIEW



รูปที่ 4.18 มุมต่างเฟส  $V_{o-lb}$  ที่แรงดัน 220 โวลต์ของ RL Load จาก DAQ และ LabVIEW



รูปที่ 4.19 มุมต่างเฟส  $V_{c-lc}$  ที่แรงดัน 220 โวลต์ของ RL Load จาก DAQ และ LabVIEW



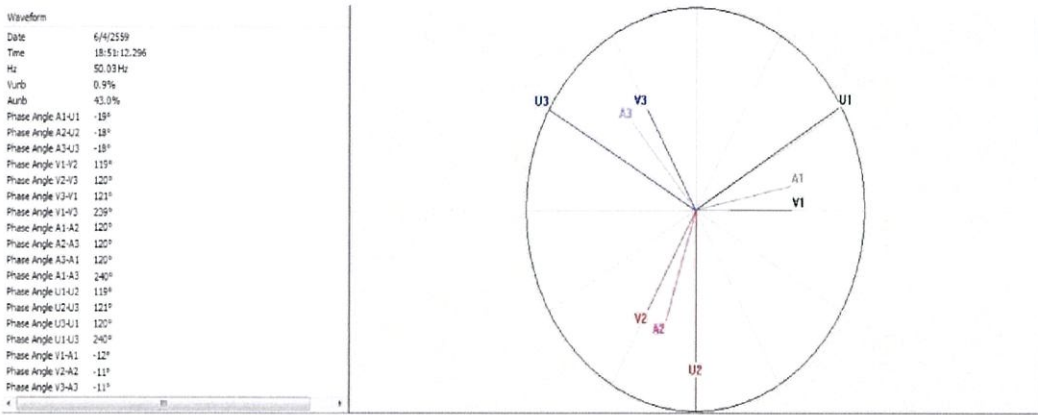
รูปที่ 4.20 วงจรการทดสอบหาค่าเปรียบเทียบมุมเฟสที่เกิดจากหม้อแปลงกระแส ในกรณี RL load



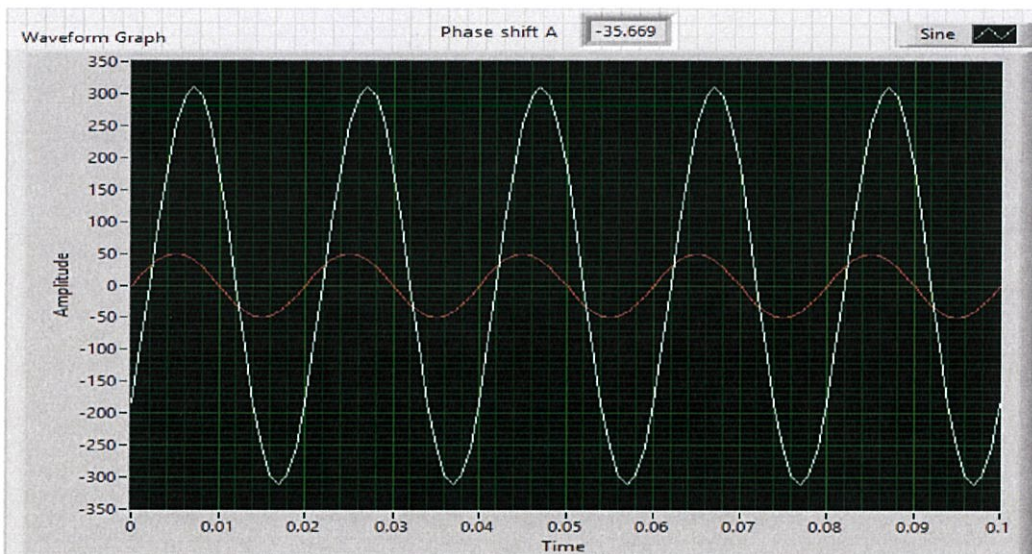
รูปที่ 4.21 การทดสอบหาค่าเปรียบเทียบมุมเฟสที่เกิดจากหม้อแปลงกระแส ในกรณี RC load โหลดที่ใช้คือหลอดเฝ้าไส้และตัวเก็บประจุขนาด  $10 \mu\text{F}$

ตารางที่ 4.6 มุมต่างเฟสที่บันทึกจากเครื่องวัดอ้างอิงและโปรแกรม LabVIEW ของ RC Load

Input Voltage (Volt)	Phase Shift(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	-28.20	-11.00	-26.592	-11.00	-25.28
110	-16.00	-31.589	-16.00	-31.032	-15.00	-28.25
165	-20.00	-34.230	-19.00	-33.492	-19.00	-31.65
220	-22.00	-35.669	-22.00	-35.302	-21.00	-33.07
242	-24.00	-37.909	-23.00	-36.592	-23.00	-35.49

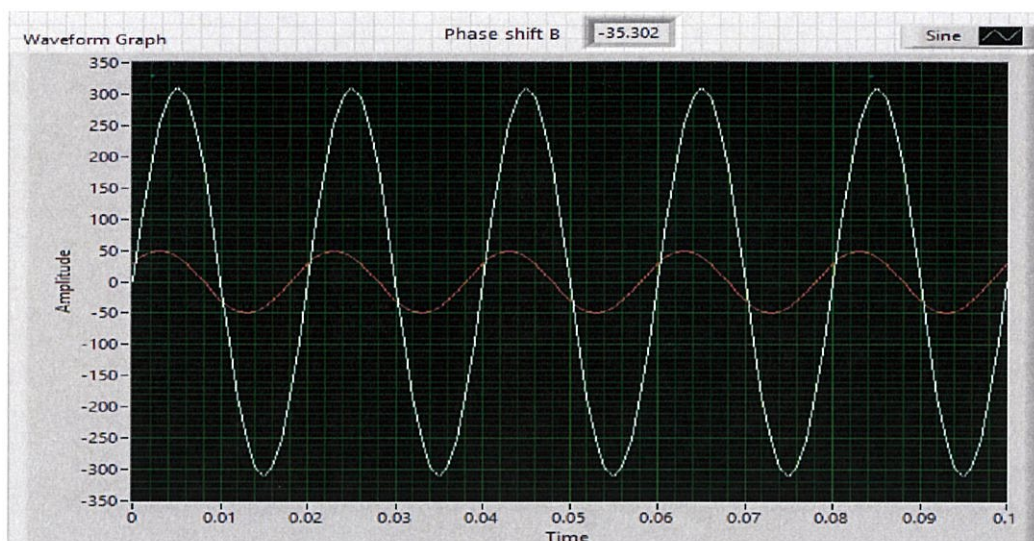


รูปที่ 4.22 มุมต่างเฟส V-I ที่แรงดัน 55 โวลต์ของ RC Load จาก CA-8335 Qualistar+



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

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

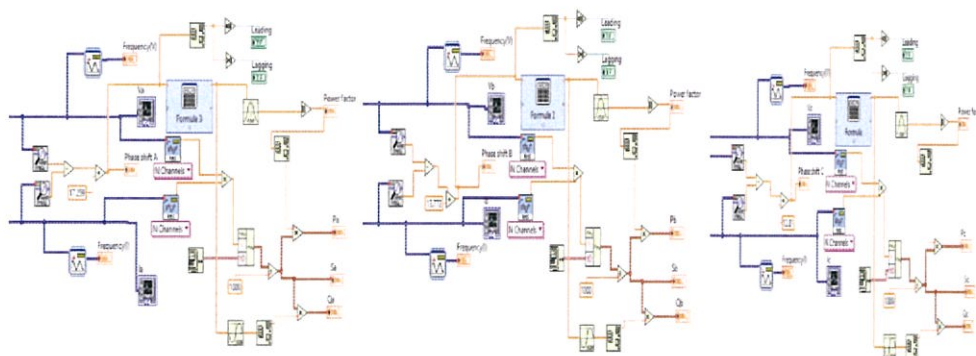


รูปที่ 4.24 มุมต่างเฟส  $V_b-I_b$  ที่แรงดัน 55 โวลต์ของ RC Load จาก DAQ และ LabVIEW



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

จากนั้นทำการหาปรับเทียบเพื่อให้มุมเฟสที่บันทึกได้จากชุดเครื่องมือวัดมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้นจากนั้นทำการหาปรับเทียบเพื่อให้มุมเฟสที่บันทึกได้จากชุดเครื่องมือวัดมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้นโดยเปรียบเทียบค่ากับเครื่องมือวัดอ้างอิง (CA-8335 Qualistar+) ซึ่งพบว่าปรับเทียบใหม่ที่ต้องนำมาลบออกจากเดิมของหม้อแปลงกระแสแต่ละตัวคือคือ 12.509 , 7.817 , 13. องศาตามลำดับเมื่อใส่ค่าปรับเทียบในโปรแกรม LabVIEW ดังรูปที่ 4.26 แล้วจะพบว่ามุมต่างเฟสที่บันทึกได้จากชุดเครื่องมือวัดมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่บันทึกได้จากเครื่องมือวัดอ้างอิงมากขึ้นดังแสดงดังตารางที่ 4.7, 4.8, 4.9 ตามลำดับ



รูปที่ 4.26 นำค่าเปรียบเทียบอัตราส่วนของหม้อแปลงกระแสและแรงดันที่ได้จากการทดลองไปเป็นค่าเปรียบเทียบในโปรแกรม LabVIEW

ตารางที่ 4.7 มุมต่างเฟสที่บันทึกจากเครื่องวัดอ้างอิงและ LabVIEW ของโหลด R หลังปรับเทียบ

Input Voltage (Volt)	Phase Shift(Degree)			
	CA-8335 Qualistar+	DAQ and LabVIEW		
		CT(A)	CT(B)	CT(C)
55	0	-0.642	-1.060	0.304
110	0	-0.525	-0.840	-0.704
165	0	-0.864	0.031	-0.251
220	0	0.886	0.901	0.350
242	0	0.725	0.957	0.670

ตารางที่ 4.8 มุมต่างเฟสที่บันทึกจากเครื่องวัดอ้างอิงและ LabVIEW ของโหลด RL หลังปรับเทียบ

Input Voltage (Volt)	Phase Shift(Degree)					
	CT(A)		CT(B)		CT(C)	
	CA-8335 Qualistar+	DAQ and LabVIEW	CA-8335 Qualistar+	DAQ and LabVIEW	CA-8335 Qualistar+	DAQ and LabVIEW
55	-	-	-	-	-	-
110	-	-	-	-	-	-
165	50.00	45.86	49.00	43.794	50.00	41.005
220	61.00	60.52	60.00	56.720	60.00	57.890
242	64.00	61.62	63.00	60.880	62.00	58.820

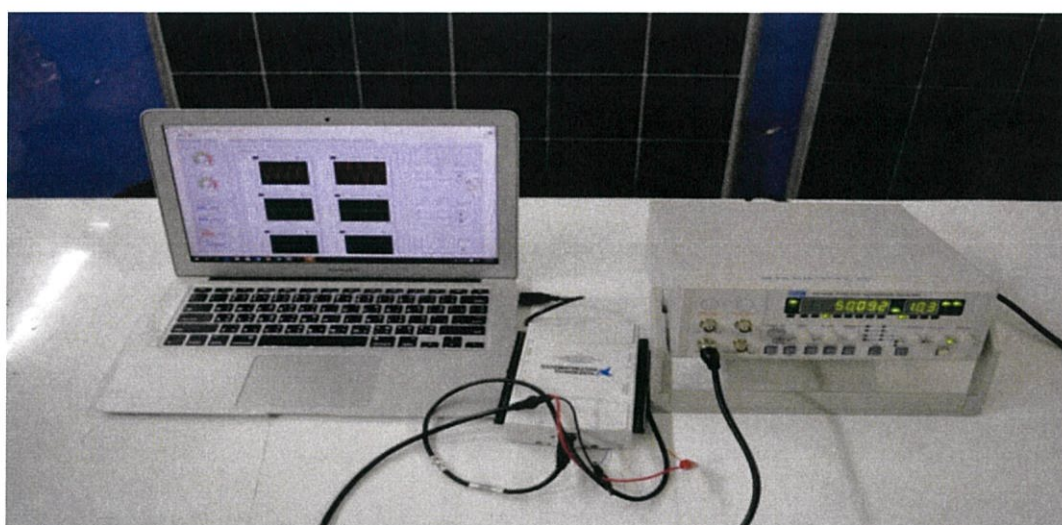
ตารางที่ 4.9 มุมต่างเฟสที่บันทึกจากเครื่องวัดอ้างอิงและ LabVIEW ของโหลด RC หลังปรับเทียบ

Input Voltage (Volt)	Phase Shift(Degree)					
	CT(A)		CT(B)		CT(C)	
	CA-8335 Qualistar+	DAQ and LabVIEW	CA-8335 Qualistar+	DAQ and LabVIEW	CA-8335 Qualistar+	DAQ and LabVIEW
55	-12.00	-10.94	-11.00	-12.82	-11.00	-11.47
110	-16.00	-14.33	-16.00	-17.26	-15.00	-14.44
165	-20.00	-16.97	-19.00	-19.12	-19.00	-17.84
220	-22.00	-18.44	-22.00	-21.53	-21.00	-19.26
242	-24.00	-20.65	-23.00	-22.82	-23.00	-21.68

จากผลการทดลองในการหาปรับเทียบมุมเฟส พบว่ามุมเฟสสำหรับโหลดชนิดที่แตกต่างกันจะมีมุมต่างเฟสต่างกัน และในการทดลองต่อไปจะใช้ค่าปรับเทียบมุมเฟสของโหลดความต้านทาน

#### 4.1.3 การทดสอบเมื่อเปลี่ยนแปลงความถี่

เพื่อทำการตรวจสอบว่าชุดเครื่องมือวัดที่ทำการออกแบบขึ้นมานั้นสามารถตรวจจับความเปลี่ยนแปลงความถี่ได้จริงและมีความถูกต้อง สิ่งที่ทำการศึกษาทดลองคือใช้ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ในการสร้างสัญญาณไซน์ให้มีความถี่ต่างๆ ในการเปลี่ยนแปลงความถี่ไฟฟ้าโดยเริ่มจากความถี่ 50 Hz, 150 Hz, 1 kHz, 1.5 kHz จนถึง 2.5 kHz และทำการบันทึกค่าความถี่ที่ชุดเครื่องมือวัดแสดงค่า ซึ่งจะพบว่าค่าความถี่ที่บันทึกได้จากชุดอุปกรณ์จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าความถี่จากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ แสดงดังตารางที่ 4.10 และรูปวงจรถ่ายการทดสอบเมื่อเปลี่ยนแปลงความถี่แสดงดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 รูปวงจรถ่ายการทดสอบเมื่อเปลี่ยนแปลงความถี่

ตารางที่ 4.10 ความถี่จากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์เปรียบเทียบกับความถี่ที่บันทึกได้

Function Generator Frequency (Hz)	LabVIEW Frequency (Hz)
50	50.01
150	150.00
1000	100.04
1500	1500.01
2500	2501.39

#### 4.1.4 การทดสอบขณะทำการวัด Linear Load และ Non-Linear Load

ทดสอบโดยชุดเครื่องมือวัดเทียบกับเครื่องวัดอ้างอิง (CA-8335 Qualistar+) ที่แรงดัน 220 โวลต์ 50 เฮิร์ต โดยมีผลการทดสอบดังตารางที่ 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 and LabVIEW	CA-8335 Qualistar+	DAQ and LabVIEW	CA-8335 Qualistar+	DAQ and LabVIEW
V(V)	220.80	220.90	218.20	218.18	222.10	221.73
I(A)	1.721	1.665	1.690	1.603	1.676	1.730
S(VA)	380.00	367.16	369.10	351.22	372.8	284.44
P(W)	380.00	366.37	369.1	351.22	372.8	384.21
Q(VAR)	2.80	0.024	3.30	0.000	3.00	0.230
PF	1.00	0.9997	1.00	0.9998	1.00	0.9996
THDv(%)	1.40	1.534	1.50	1.519	1.50	1.538
THDi(%)	1.70	2.100	1.70	1.875	1.60	1.816

ตารางที่ 4.12 ค่าพารามิเตอร์ Non-Linear Load ของชุดเครื่องมือวัดเทียบกับเครื่องวัดอ้างอิง

Parameter	Non-Linear Load					
	Phase A		Phase B		Phase C	
	CA-8335 Qualistar+	DAQ and LabVIEW	CA-8335 Qualistar+	DAQ and LabVIEW	CA-8335 Qualistar+	DAQ and LabVIEW
V(V)	220.30	220.38	219.50	219.54	222.10	222.27
I(A)	0.430	0.392	0.398	0.364	0.405	0.402
S(VA)	93.94	85.00	87.41	79.64	89.85	88.68
P(W)	43.11	43.67	42.32	43.50	42.90	45.20
Q(VAR)	83.93	74.72	75.95	67.73	78.64	72.98
PF	0.457	0.482	0.492	0.523	0.485	0.511
THDv(%)	1.50	1.512	1.50	1.542	1.50	1.483
THDi(%)	2.40	11.32	10.90	12.01	10.10	12.12

#### 4.1.5 การตรวจสอบหาค่าความผิดเพี้ยนแรงดันและกระแสฮาร์มอนิก

เพื่อทดสอบว่าชุดเครื่องมือวัดที่ออกแบบขึ้นใหม่สามารถตรวจวัดฮาร์มอนิกได้อย่างถูกต้อง 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

#### 4.1.6 การทดสอบส่วนการบันทึกผล

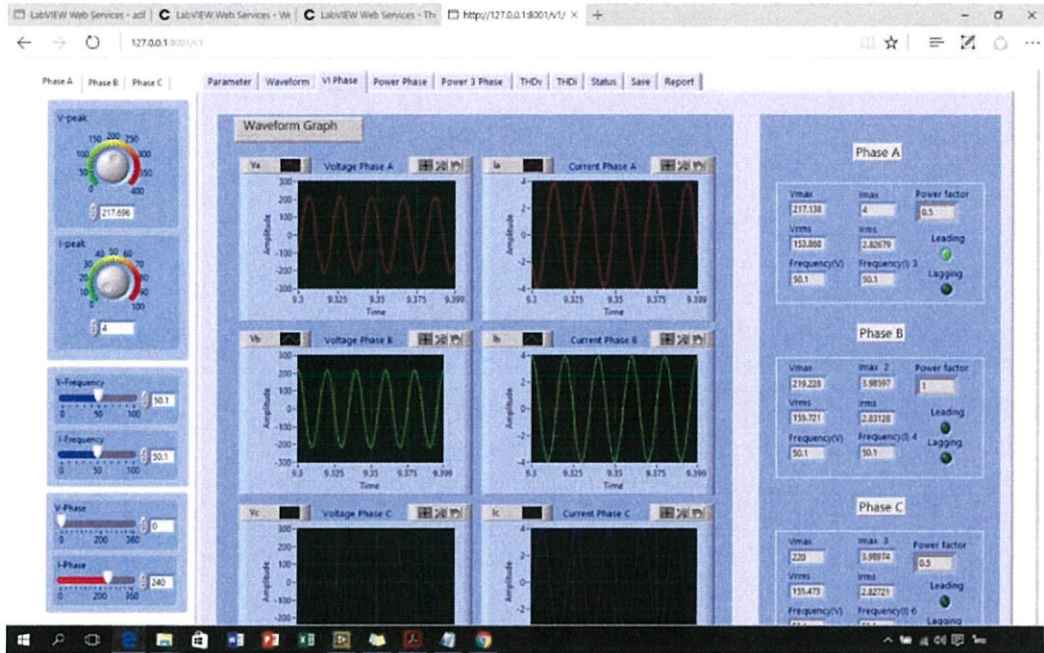
ส่วนการบันทึกผลนี้จะมีการบันทึกข้อมูลทางด้านพารามิเตอร์ต่างๆได้อย่างมีประสิทธิภาพคือเมื่อนำไฟล์ข้อมูลทางพารามิเตอร์ที่บันทึกได้มาพล็อตเทียบกันระหว่างโปรแกรม MATLAB และ LabVIEW ดังเช่นในการตรวจสอบหาค่าความผิดพลาดของแรงดันและกระแสฮาร์มอนิกข้างต้น พบว่ามีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเล็กน้อยแต่ยังอยู่เกณฑ์ที่ยอมรับได้

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Time	Solar Irradiation (W/m2)	Ambient Temp.(C)	Outdoor Humidity (%)	Wind Speed (m/s)	Vdc	Idc	Input power	Irradiated Energy(KWh)
2	4/15/16 15:28:15.580	625.751259	45.717775	32.705494	0.455265	34.4681	8.81091	303.695193	6.25751259
3	4/15/16 15:29:15.580	625.744259	45.720154	32.229295	0.511181	34.4365	8.5807	295.489259	15.919595
4	4/15/16 15:30:15.583	625.741259	45.776871	31.806579	0	34.4681	8.77803	302.561618	26.338759
5	4/15/16 15:31:15.580	625.544328	45.907753	32.177456	1.320609	34.4681	8.67936	299.160894	36.766236
6	4/15/16 15:32:15.580	625.347396	45.702879	32.057417	0	34.4681	8.44915	291.225871	47.177028
7	4/15/16 15:33:15.580	625.150464	45.725982	31.440797	0.85916	34.4681	8.8438	304.828767	57.570103
8	4/15/16 15:34:15.580	625.544328	45.685425	31.794908	0.448074	34.4523	8.28471	285.427215	68.053634
9	4/15/16 15:35:15.580	625.741259	45.584944	31.707051	1.133101	34.4839	8.5807	295.895625	78.503482
10	4/15/16 15:36:15.580	625.150464	45.767639	32.148292	0.494299	34.4681	8.64648	298.027319	88.837677
11	4/15/16 15:37:15.580	625.347396	45.825628	31.750997	0.92457	34.4681	8.87669	305.962342	99.298108
12	4/15/16 15:38:15.580	636.645159	45.761675	32.236213	0.43363	34.4049	8.25182	283.903368	59.066124
13	4/15/16 15:39:15.580	625.150464	45.580397	31.077522	0.953675	34.4839	8.28471	285.688781	120.093883
14	4/15/16 15:40:15.580	624.7566	45.673904	32.038605	0.750606	34.4681	8.71225	300.294469	130.431665
15	4/15/16 15:41:15.580	433.535665	45.613884	31.637982	0.471811	22.6523	5.84514	132.405726	97.743382
16	4/15/16 15:42:15.580	624.7566	45.244026	32.03794	0.445677	34.4839	8.61359	297.029719	151.269322
17	4/15/16 15:43:15.580	609.592837	45.255418	31.750578	0	34.5312	8.54781	295.16634	157.758715
18	4/15/16 15:44:15.580	624.362736	45.468866	32.609006	0.766635	34.4996	8.51493	293.761855	170.934365
19	4/15/16 15:45:15.580	624.7566	45.678521	31.492702	0.461171	34.4681	8.87669	305.962342	181.454433
20	4/15/16 15:46:15.580	624.165804	45.696983	31.686839	0.860288	34.4839	8.67936	299.297907	191.685099
21	4/15/16 15:47:15.580	624.953532	45.553399	31.826954	0.362608	34.4839	8.28471	285.688781	202.332045
22	4/15/16 15:48:15.580	624.165804	45.466324	31.496036	1.09753	34.5154	8.77803	302.977329	212.500775
23	4/15/16 15:49:15.580	610.183633	45.413599	31.121522	0	34.4839	8.54781	294.761532	217.899636
24	4/15/16 15:50:15.580	275.59627	45.406664	30.899514	0.499887	7.3365	4.01493	29.45548923	103.009867

รูปที่ 4.28 ตัวอย่างโปรแกรมที่บันทึกผล

#### 4.1.7 ส่วนการควบคุมชุดเครื่องมือวัดแบบออนไลน์

ในส่วนของการควบคุมชุดเครื่องมือวัดแบบออนไลน์สามารถทำการควบคุมและแสดงผลได้อย่างมีประสิทธิภาพในระยะไกลได้ โดยการเชื่อมต่อผ่านอินเทอร์เน็ต แสดงได้ดังรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.29 การควบคุมชุดเครื่องมือวัดแบบออนไลน์

#### 4.1.8 ผลการเปรียบเทียบชุดเครื่องมือวัดกับเครื่องวัดทางไฟฟ้าชนิดอื่น

จากผลการทดลองทั้งหมดจะพบว่าชุดอุปกรณ์การตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า 3 เฟสสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเทียบเคียงได้กับเครื่องมือวัดชนิดอื่น ๆ ที่มีขายตามท้องตลาด 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 and LabVIEW	CA-8335 Qualistar+	RIGOL Oscilloscopes DS1000B Series
1.ราคาของชุดอุปกรณ์	65,000 Baht	150,000 Baht	16,000 Baht
2.อัตราสุ่ม(Sampling Rate)	400,000 S/s	12,800 S/s	$2 \times 10^9$ S/s
3.ควบคุมระยะไกล	ทำได้	ไม่ได้	ไม่ได้
4.การบันทึกข้อมูลต่อเนื่อง	ทำได้(ขึ้นอยู่กับ)	ทำไม่ได้	ทำไม่ได้
5.การบันทึกข้อมูลกรณีเกิด ความผิดปกติ	ทำได้	ทำไม่ได้	ทำไม่ได้
6.ความยืดหยุ่นในการใช้งาน	ไม่จำกัด	จำกัด	จำกัด
7.ค่าความแม่นยำในการวัด	แม่นยำ	แม่นยำสูง	แม่นยำสูง

หมายเหตุ สำหรับ DAQ และ LabVIEW คิรราคาเฉพาะอุปกรณ์ DAQ และลิขสิทธิ์โปรแกรม

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

## 4.2 ผลการทดลองชุดเครื่องมือวัดระบบพลังงานทดแทน

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



รูปที่ 4.30 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

### 4.2.2 การทดลองและผลการทดลองของชุดเครื่องมือวัดเมื่อนำไปใช้กับระบบ

จริง

ในการทดลองได้ทำการติดตั้ง Anemometer (Davis 7911) และ แผงโซลาร์เซลล์แผงละ 245 วัตต์ จำนวน 1 แผง โดยจะใช้หลอดไฟขนาด 100 W จำนวน 50 หลอดเพื่อจำลองการเป็นโหลดให้กับระบบ แสดงได้ดังรูปที่ 4.31



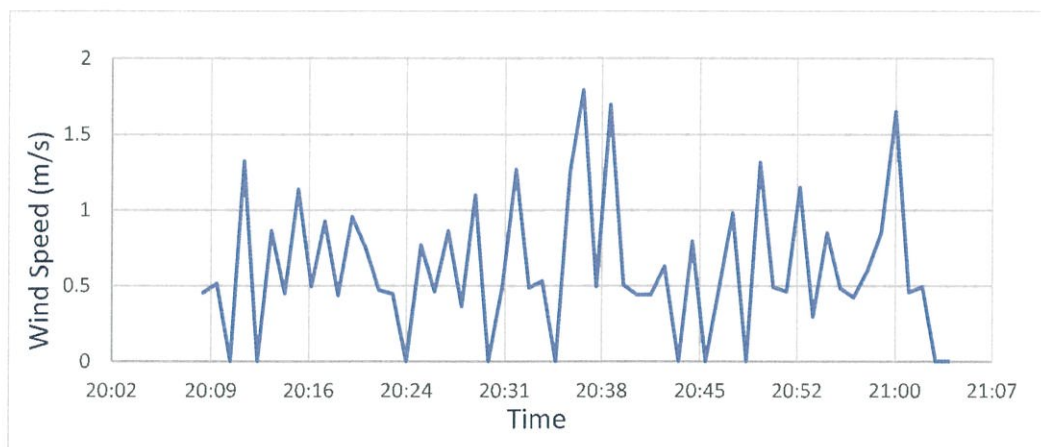
รูปที่ 4.31 การทดลองใช้งานและวัดผลในสถานที่จริง

เมื่อทำการรันโปรแกรม LabVIEW ที่ได้ออกแบบไว้สำหรับชุดเครื่องมือวัดระบบพลังงานทดแทนจะมีการประมวลสัญญาณที่ได้รับเข้ามาจากอุปกรณ์ตรวจจับ เพื่อทำการวัด วิเคราะห์ และบันทึกผลตามโปรแกรมที่ได้ทำการออกแบบไว้ แล้วนำข้อมูลที่บันทึกได้จากชุดเครื่องมือวัดมาทำการวิเคราะห์ทางสถิติ ซึ่งข้อมูลที่ทำการบันทึกได้แบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนอินพุต และ เอาต์พุต

#### 4.2.2.1 ส่วนอินพุต

ส่วนอินพุตเป็นการวัดค่าความเร็วลมซึ่งข้อมูลที่ทำการบันทึกวันที่ 15 เมษายน พ.ศ. 2559 ช่วงเวลา 20:09-21:04 น. ค่าความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มแสงอาทิตย์ กำลังไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ ทำการบันทึก ช่วงเวลา 15:28-16:37 น. ซึ่งข้อมูลสามารถดูได้ที่ ภาคผนวก ก.

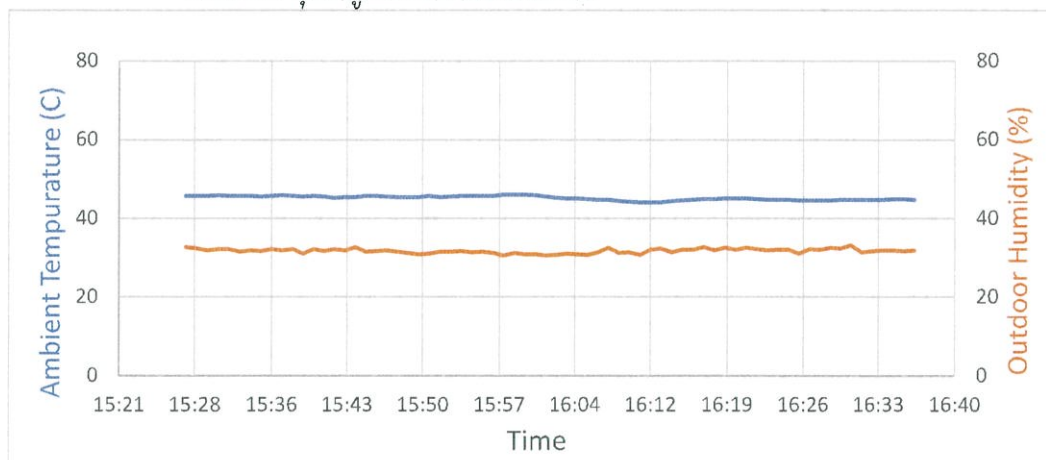
##### 4.2.2.1.1 ความเร็วลม



รูปที่ 4.32 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วลมกับเวลา

จากการทดลอง และบันทึกผลค่าความเร็วลมเฉลี่ย ทุกๆ 1 นาที พบว่า ความเร็วลมสูงสุดที่วัดได้ เท่ากับ 1.789 m/s ที่เวลา 20:37 น. ในส่วนของความเร็วลมต่ำที่สุด เท่ากับ 0 m/s ซึ่งค่าเฉลี่ยของความเร็วลม ณ เวลาที่ทำการทดลอง เท่ากับ 0.616 m/s

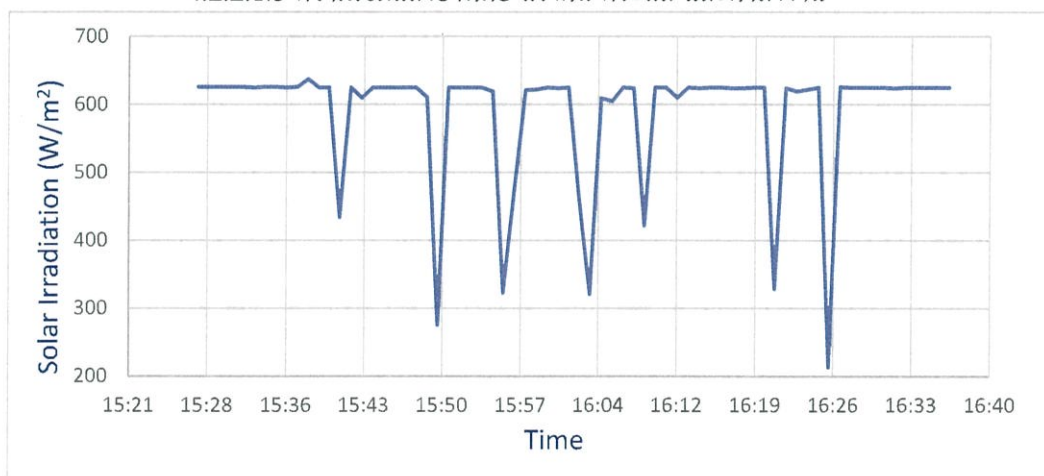
#### 4.2.2.1.2 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์



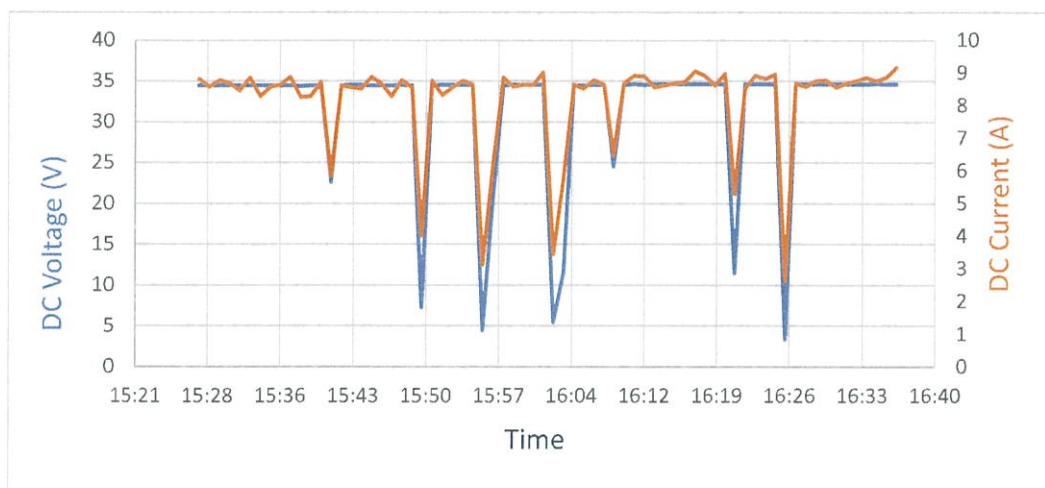
รูปที่ 4.33 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ กับเวลา

จากการวัดและบันทึกผลเฉลี่ย ทุกๆ 1 นาที ค่าอุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้ เท่ากับ 46.025 °C ที่เวลา 15:58 น. อุณหภูมิต่ำสุด เท่ากับ 44.085 °C ที่เวลา 16:11 น. อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาการทดลอง เท่ากับ 45.182 °C และ ค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดที่วัดได้ เท่ากับ 33.165 % ที่เวลา 16:31 น. ความชื้นต่ำสุด เท่ากับ 30.419 % ที่เวลา 16:02 น. และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอดช่วงเวลาการทดลอง เท่ากับ 31.670% จากข้อมูลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เมื่อมองถึงความสัมพันธ์กัน จะเห็นได้ว่าค่าอุณหภูมิจะแปรผกผันกับค่าความชื้น เมื่ออุณหภูมิสูงจะมีค่าความชื้นต่ำ ที่ความชื้นสูงจะมีอุณหภูมิต่ำ

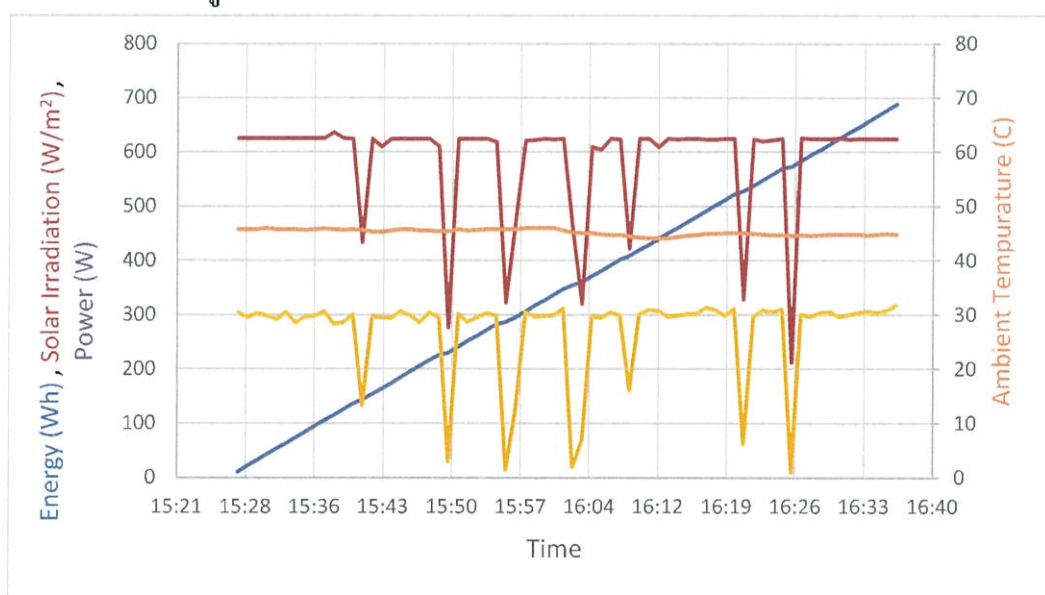
#### 4.2.2.1.3 ความเข้มแสงอาทิตย์ แรงดัน กระแส และกำลังงาน



รูปที่ 4.34 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์กับเวลา



รูปที่ 4.35 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน กระแส กับเวลา

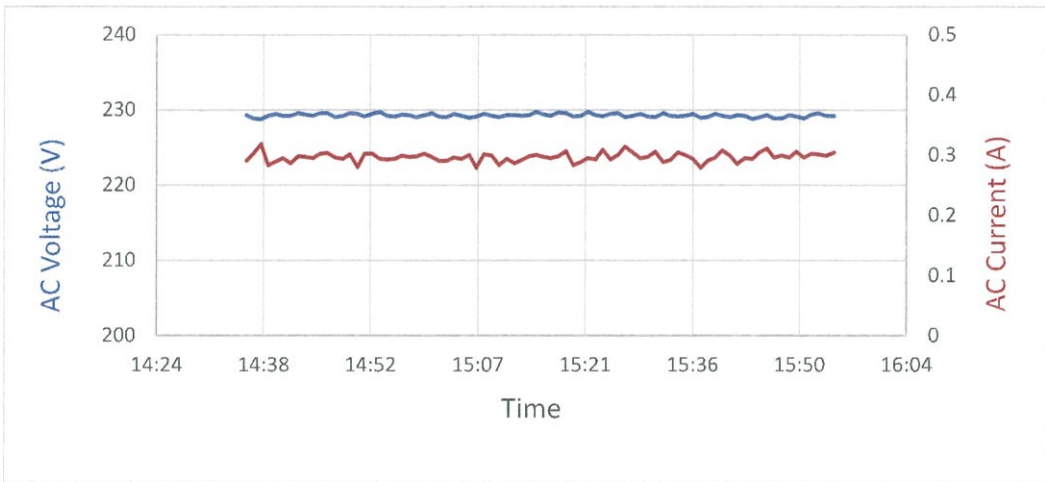


รูปที่ 4.36 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง 4 พารามิเตอร์ของระบบ

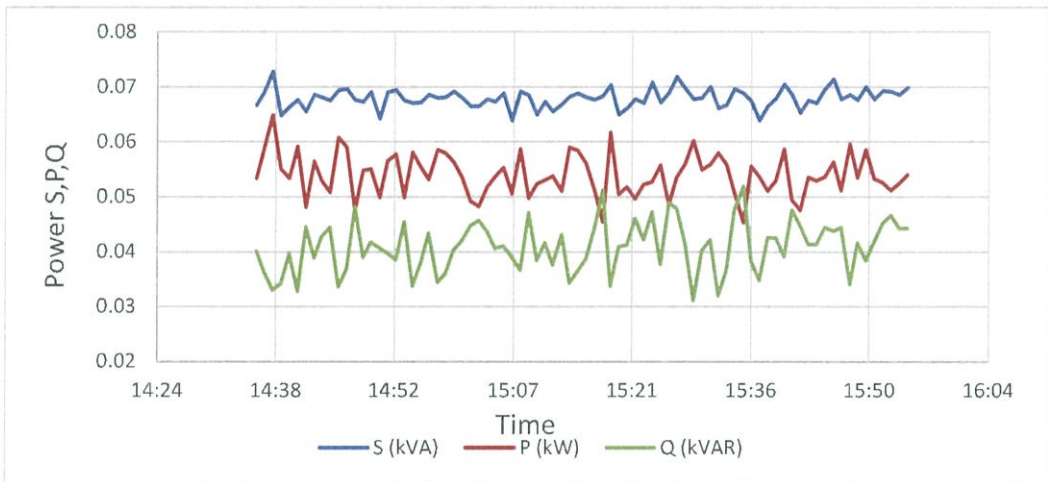
จากการวัดและบันทึกผลเฉลี่ย ทุกๆ 1 นาที พบว่าค่าแรงดัน กระแส และกำลังงาน จะแปรผันตรงกับค่าพลังงานแสงอาทิตย์ กล่าวคือ เมื่อค่าพลังงานแสงอาทิตย์มากจะทำให้แรงดันที่แผงโซลาร์เซลล์สูงขึ้น ส่งผลทำให้กระแสที่จ่ายไหลลด (ในการทดลองใช้ไหลลดเป็นหลอดไส้ขนาด 100 W จำนวน 50 ดวง) มีค่าคงที่ ส่งผลทำให้พลังงานที่ได้มีค่าสูงขึ้น ในทางกลับกันถ้าค่าพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าน้อย (ไม่มีแดด) แรงดันที่แผงโซลาร์เซลล์จะมีลดลง ทำให้กระแสที่ไหลลดไม่คงที่ โดยมีค่าน้อยลง ส่งผลให้พลังงานที่ได้มีค่าน้อยลงด้วย

#### 4.2.2.2 ส่วนเอาต์พุต

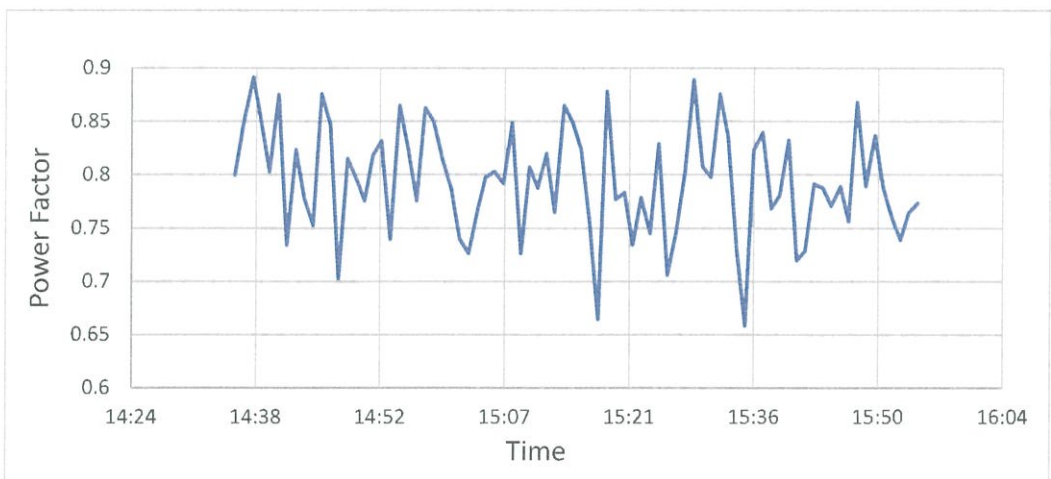
ส่วนเอาต์พุตเป็นส่วนที่วัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่ผ่านอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์แปลงแรงดันกระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ โดยทำการวัดค่า แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้า (S P และ Q) ตัวประกอบกำลัง ค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม ที่อินเวอร์เตอร์ พิกัดแรงดัน 230 โวลต์ 1 เฟส จ่ายไหลลดโคมไฟถนนแอลอีดี ขนาด 55 วัตต์ ซึ่งข้อมูลทำการบันทึกวันที่ 16 เมษายน พ.ศ. 2559 ช่วงเวลา 14:36-15:55 น. ซึ่งข้อมูลสามารถดูได้ที่ภาคผนวก ก. ผลการวิเคราะห์ ข้อมูลแสดงได้ดังรูปที่ 4.37-4.39



รูปที่ 4.37 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กับเวลา



รูปที่ 4.38 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานกับเวลา



รูปที่ 4.39 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบกำลังกับเวลา

#### 4.2.3 การสรุปผลการทดลองเมื่อนำชุดเครื่องมือวัดไปใช้กับระบบพลังงาน

##### ทดแทน

จากการทดลองติดตั้งชุดเครื่องมือวัดบริเวณชั้น 4 อาคารปฏิบัติการหลังที่ 2 ภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในวันที่ 15 เมษายน 2559 ตั้งแต่เวลา 15:28-16:37 น. , 20:09-21:04 น. เป็นเวลาช่วงละ 1 ชั่วโมง และ ในวันที่ 16 เมษายน 2559 ตั้งแต่เวลา 14:36-15:55 น. พบว่า ชุดอุปกรณ์เครื่องมือวัดที่ทำการออกแบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในระบบพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ โดยสามารถวัดได้ทั้งค่าทางปริมาณและคุณภาพตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งเอาไว้ คือ สามารถรับค่าจากอุปกรณ์ตรวจจับ เช่น ค่าความเร็วลม ทิศทางลม ความเข้มแสงอาทิตย์ รวมถึงอุณหภูมิ และความชื้นอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งปริมาณต่างๆ เหล่านี้สามารถนำมาประกอบการพิจารณาเพื่อติดตั้งหรือผลิตพลังงานทดแทนในด้านพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ได้

## บทที่ 5 สรุปผล

### 5.1 สรุปผล

ในปริิณญาณิพนธ์ฉบับนี้ ได้นำเสนอชุดอุปกรณ์เครื่องมือวัดและการบันทึกข้อมูลของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลมโดยการประยุกต์ใช้โปรแกรม LabVIEW ซึ่งผู้จัดทำได้ออกแบบโปรแกรมและชุดอุปกรณ์เครื่องมือวัดนี้ให้มีความสามารถที่จะวัดพารามิเตอร์ทางสภาพอากาศ และพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าต่างๆ แล้วนำมาประมวลผลผ่านโปรแกรม LabVIEW แล้วแสดงผลผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ นอกเหนือจากนั้นตัวโปรแกรมยังสามารถจำลองสัญญาณแล้วทำการวิเคราะห์สัญญาณตามที่ต้องการได้อีกด้วย ส่วนการบันทึกข้อมูลสามารถทำได้โดยกำหนดระยะเวลาเวลาที่ต้องการบันทึกในแต่ละค่าก่อนที่จะทำการบันทึก โดยข้อมูลจะบันทึกเป็นไฟล์ตามที่เรากำหนดไว้ ซึ่งเราสามารถนำไปวิเคราะห์ต่อไปได้อย่างสะดวก

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

จุดเด่นของชุดอุปกรณ์คือ มีความสามารถในการควบคุมระยะไกล การตรวจจับและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ได้หลากหลายพร้อมทั้งบันทึกค่าแบบอัตโนมัติและสามารถบันทึกไฟล์ได้หลายรูปแบบ อีกทั้งยังสามารถทำการวัดค่าและบันทึกค่าได้ในเวลาเดียวกันโดยบันทึกข้อมูลที่มีไฟล์ให้ใหญ่ได้ตามความจุของคอมพิวเตอร์หรือฮาร์ดดิสก์ ซึ่งเมื่อเทียบราคากับประสิทธิภาพแล้ว จะเห็นว่ามีความคุ้มค่ากว่าอุปกรณ์ที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันเป็นอย่างมาก

## 5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไขปัญหา

1) เนื่องจากโปรแกรมการทำงานของอุปกรณ์ DAQ จำเป็นต้องทำงานกับระบบคอมพิวเตอร์ จึงต้องติดตั้งเครื่องคอมพิวเตอร์ไว้ในที่ทำการวัด ทำให้เสี่ยงต่อการสูญหาย จึงต้องผลัดเวรยามดูแลและคอยตรวจสอบการทำงานของโปรแกรมตลอดเวลา เพื่อให้การทำงานดำเนินไปอย่างเรียบร้อย

2) ข้อจำกัดของการใช้งานคอมพิวเตอร์คือจำเป็นต้องใช้ไฟฟ้าตลอดเวลาเพราะแบตเตอรี่ ของคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กไม่สามารถอยู่ได้ตลอด 24 ชั่วโมง ทำให้ไม่สามารถใช้งานได้บางสถานที่ จึงจำเป็นต้องทำการวัดในสถานที่ที่ใกล้กับแหล่งที่มีไฟฟ้า ซึ่งส่วนใหญ่จะถูกล้อมรอบด้วยตึกสูงซึ่งอาจบดบังสภาพอากาศข้อมูลที่ตรวจวัดได้จึงอาจมีความคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง

3) ข้อจำกัดเรื่องพอร์ตของอุปกรณ์ DAQ มีไม่เพียงพอ จึงไม่สามารถทดลองทั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมแบบสามเฟสพร้อมกันได้

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

ในการเปรียบเทียบของหม้อแปลงกระแสนั้น เมื่อโหลดต่างชนิดกัน ค่าอัตราส่วนเปรียบเทียบที่ได้จะแตกต่างกัน ดังนั้นก่อนใช้งานชุดอุปกรณ์วัดทุกครั้งควรจะทำการเปรียบเทียบใหม่เสมอเพื่อความเที่ยงตรงของการวัดผล และติดตั้งชุดทดลองในที่ที่มีความปลอดภัยต่อตัวอุปกรณ์เช่นไม่วางไว้กลางแจ้งและที่ที่เสี่ยงต่อการสูญหาย

## เอกสารอ้างอิง

- [1] สมดุลพลังงานไฟฟ้า สืบค้นจาก <http://www.balanceenergythai.com/ความสำคัญของไฟฟ้า/>
- [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] คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน, กกพ สืบค้นจาก <http://www.erc.or.th/ERCWeb2/FrontStaticPage.aspx?p=111&>
- [7] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, กระทรวงพลังงาน สืบค้นจาก <http://www.eppo.go.th/power/PDP2015/PDP2015.pdf>
- [8] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, กระทรวงพลังงาน. “แผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี (พ.ศ. 2551 – 2565)”. สืบค้นจาก [http://www.eppo.go.th/ccep/energy\\_3-5.html](http://www.eppo.go.th/ccep/energy_3-5.html)
- [9] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, กระทรวงพลังงาน. “พลังงานแสงอาทิตย์”. สืบค้นจาก <http://www.eppo.go.th/power/powerN/PICP/File/%2819%29.pdf>.
- [10] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย “เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell)” สืบค้นจาก <http://www3.egat.co.th/re/solarcell/solarcell.htm>
- [11] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน. “มาตรการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์”. สืบค้นจาก [http://www.clt.or.th/main/Training/2557/57.12.24.01.Training\\_insti.pdf](http://www.clt.or.th/main/Training/2557/57.12.24.01.Training_insti.pdf).
- [12] 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).
- [13] กิจไพบูลย์ ชิวพันธุ์ศรี. (2557) “LabVIEW ซอฟต์แวร์เพื่อการพัฒนากระบวนการวัดและควบคุม”. กรุงเทพมหานคร :บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด(มหาชน).
- [14] National Instruments Corporation. “What Is Data Acquisition?”. Retrieved from <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/>.
- [15] บริษัท นาโมยะ ซินโป เนชั่น กรุ๊ป จำกัด สืบค้นจาก [http://namoya.co.th/?page\\_id=14](http://namoya.co.th/?page_id=14)
- [16] 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>
- [16] จิตติศักดิ์ เวชพิทักษ์, ญภัฏฐกา ชิโนมี และณัฐธิกานต์ สิงห์ภาอาจา “การศึกษาโปรแกรม LabVIEW สำหรับพลังงานทดแทน” *ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง*, 2557.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลฝั่ง DC และ AC

## บันทึกผลข้อมูลทางฝั่ง DC

บันทึกวันที่ 17 พ.ค. 2558 เวลา 15.28 น. - 16.37 น. ณ ชั้น 1 อาคาร ECC

Time	Solar Irradiation (W/m2)	Ambient Temp.(C)	Outdoor Humidity (%)	Vdc	Idc	Input power
15:28	625.751259	45.717775	32.705494	34.46807	8.810914	303.695193
15:29	625.744259	45.720154	32.299295	34.4365	8.5807	295.489259
15:30	625.741259	45.776871	31.806579	34.46807	8.778026	302.561618
15:31	625.544328	45.907753	32.177456	34.46807	8.679363	299.160894
15:32	625.347396	45.702879	32.057417	34.46807	8.449149	291.225871
15:33	625.150464	45.725982	31.440797	34.46807	8.843802	304.828767
15:34	625.544328	45.685425	31.794908	34.45228	8.284711	285.427215
15:35	625.741259	45.584944	31.707051	34.48386	8.5807	295.895625
15:36	625.150464	45.767639	32.148292	34.46807	8.646475	298.027319
15:37	625.347396	45.825628	31.750997	34.46807	8.876689	305.962342
15:38	636.645159	45.761675	32.236213	34.40493	8.251823	283.903368
15:39	625.150464	45.580397	31.077522	34.48386	8.284711	285.688781
15:40	624.7566	45.673904	32.038605	34.46807	8.712251	300.294469
15:41	433.535665	45.613884	31.637982	22.65228	5.845138	132.405726
15:42	624.7566	45.244026	32.03794	34.48386	8.613588	297.029719
15:43	609.592837	45.255418	31.750578	34.53121	8.547812	295.16634
15:44	624.362736	45.468866	32.609006	34.49964	8.514925	293.761855
15:45	624.7566	45.678521	31.492702	34.46807	8.876689	305.962342
15:46	624.165804	45.696983	31.686839	34.48386	8.679363	299.297907
15:47	624.953532	45.55399	31.826954	34.48386	8.284711	285.688781
15:48	624.165804	45.466324	31.496036	34.51543	8.778026	302.977329
15:49	610.183633	45.413599	31.121522	34.48386	8.547812	294.761532
15:50	275.59627	45.406664	30.899514	7.336498	4.014925	29.45548923
15:51	623.968872	45.707409	30.980325	34.48386	8.745138	301.566095
15:52	624.559668	45.452614	31.413265	34.49964	8.317599	286.954177
15:53	624.559668	45.594215	31.424488	34.51543	8.547812	295.031404
15:54	624.165804	45.736351	31.623969	34.51543	8.745138	301.842197
15:55	618.651708	45.742144	31.268594	34.49964	8.646475	298.300307
15:56	322.662994	45.772256	31.559795	4.476498	3.130721	14.0146663
15:57	473.512849	45.771013	31.185323	20.48386	6.149149	125.9582826
15:58	620.424096	46.025024	30.455885	34.48386	8.843802	304.968376
15:59	621.999552	46.004463	31.124875	34.51543	8.5807	296.166536
16:00	624.165804	46.02042	30.769144	34.49964	8.646475	298.300307

16:01	623.77194	45.90217	30.723002	34.51543	8.646475	298.436801
16:02	624.165804	45.489372	30.419644	34.53121	9.00824	311.065459
16:03	460.515341	45.172652	30.59522	5.499642	3.443802	18.93967812
16:04	320.693675	45.094211	30.951595	11.46807	5.778026	66.26280663
16:05	608.680829	44.966041	30.813394	34.46807	8.646475	298.027319
16:06	604.897725	44.832829	30.634339	34.46807	8.514925	293.493021
16:07	624.362736	44.720076	31.288129	34.56279	8.778026	303.393041
16:08	623.77194	44.653911	32.505335	34.59436	8.646475	299.11927
16:09	421.916681	44.459362	31.238122	24.56279	6.482037	159.2168877
16:10	624.165804	44.208577	31.353241	34.59436	8.679363	300.256998
16:11	624.7566	44.085072	30.681571	34.64172	8.909577	308.643035
16:12	609.313038	44.113182	31.96126	34.57857	8.889577	307.3888783
16:13	624.953532	44.13581	32.404746	34.6575	8.547812	296.245831
16:14	623.77194	44.347141	31.383193	34.64172	8.613588	298.389466
16:15	624.559668	44.573038	32.002112	34.64172	8.679363	300.668037
16:16	624.165804	44.690718	31.904716	34.61014	8.712251	301.532258
16:17	623.575008	44.854961	32.60603	34.64172	9.041128	313.200177
16:18	623.77194	44.892722	31.837719	34.62593	8.909577	308.502388
16:19	624.362736	45.008051	32.519222	34.62593	8.613588	298.253491
16:20	624.953532	44.982276	31.939907	34.64172	8.975352	310.921606
16:21	327.980155	44.967351	32.424817	11.45279	5.278026	60.44810228
16:22	623.378076	44.928168	32.254428	34.64172	8.514925	294.971609
16:23	619.439436	44.758171	31.749873	34.62593	8.909577	308.502388
16:24	621.999552	44.669295	31.910073	34.62593	8.810914	305.086089
16:25	624.7566	44.653472	31.961661	34.61014	8.942465	309.499988
16:26	212.775	44.527154	30.984922	3.372786	2.637812	8.896775384
16:27	625.347396	44.616261	32.229467	34.62593	8.679363	300.531024
16:28	624.362736	44.607899	31.969745	34.62593	8.5807	297.114725
16:29	624.559668	44.624165	32.525272	34.6575	8.745138	303.084659
16:30	624.7566	44.761064	32.289054	34.64172	8.778026	304.085893
16:31	625.150464	44.769767	33.165596	34.64172	8.547812	296.110895
16:32	623.378076	44.729363	31.327081	34.62593	8.679363	300.531024
16:33	624.165804	44.759707	31.681246	34.64172	8.745138	302.946608
16:34	624.559668	44.697153	31.805099	34.6575	8.843802	306.504073
16:35	624.7566	44.801094	31.834018	34.67329	8.745138	303.22271
16:36	623.968872	44.895373	31.650632	34.62593	8.876689	307.363622
16:37	624.362736	44.781181	31.813019	34.6575	9.172678	317.90212

## บันทึกข้อมูลทางฝั่ง AC

บันทึกวันที่ 20 พ.ค. 2558 เวลา 14.36 น. - 15.55 น. ณ ชั้นล่าง อาคาร ECC

Time	Va,RMS	Ia,RMS	F(Hz)	P.F.	S (kVA)	P (kW)	Q (kVAR)	%THDv	%THDi
0.608	229.354	0.291	50.004	0.799	0.067	0.053	0.040	0.182	13.862
0.609	228.891	0.302	50.003	0.851	0.069	0.059	0.036	0.135	11.931
0.610	228.831	0.318	50.003	0.891	0.073	0.065	0.033	0.196	14.670
0.610	229.261	0.283	50.002	0.849	0.065	0.055	0.034	0.172	10.270
0.611	229.507	0.289	50.005	0.803	0.066	0.053	0.040	0.152	12.071
0.612	229.166	0.295	50.004	0.874	0.068	0.059	0.033	0.221	13.030
0.613	229.265	0.286	50.001	0.734	0.066	0.048	0.045	0.201	9.184
0.613	229.563	0.299	50.003	0.823	0.069	0.056	0.039	0.188	12.093
0.614	229.360	0.297	50.003	0.778	0.068	0.053	0.043	0.217	9.837
0.615	229.209	0.294	50.001	0.752	0.067	0.051	0.044	0.200	9.358
0.615	229.567	0.302	50.003	0.875	0.069	0.061	0.034	0.230	12.435
0.616	229.568	0.303	50.004	0.847	0.070	0.059	0.037	0.174	12.029
0.617	229.019	0.296	50.004	0.703	0.068	0.048	0.048	0.186	9.313
0.617	229.161	0.294	50.003	0.814	0.067	0.055	0.039	0.234	9.939
0.618	229.566	0.301	50.005	0.797	0.069	0.055	0.042	0.190	12.659
0.619	229.488	0.280	50.004	0.776	0.064	0.050	0.041	0.184	8.433
0.619	229.143	0.302	50.004	0.818	0.069	0.057	0.040	0.193	9.669
0.620	229.497	0.302	50.006	0.832	0.069	0.058	0.039	0.205	11.714
0.621	229.723	0.294	50.003	0.739	0.068	0.050	0.045	0.183	9.826
0.622	229.213	0.293	50.004	0.865	0.067	0.058	0.034	0.230	14.881
0.622	229.111	0.293	50.004	0.825	0.067	0.055	0.038	0.228	12.064
0.623	229.424	0.299	50.002	0.776	0.069	0.053	0.043	0.184	9.226
0.624	229.342	0.296	50.002	0.862	0.068	0.059	0.034	0.199	11.020
0.624	229.073	0.298	50.006	0.850	0.068	0.058	0.036	0.161	11.615
0.625	229.286	0.302	50.005	0.814	0.069	0.056	0.040	0.224	11.120
0.626	229.551	0.296	50.003	0.786	0.068	0.053	0.042	0.206	14.120
0.626	229.097	0.290	50.002	0.740	0.067	0.049	0.045	0.181	9.596
0.627	229.078	0.290	50.005	0.726	0.066	0.048	0.046	0.154	16.205
0.628	229.484	0.295	50.001	0.764	0.068	0.052	0.044	0.171	12.319
0.628	229.236	0.293	50.003	0.797	0.067	0.054	0.041	0.196	10.296
0.629	228.935	0.301	50.002	0.803	0.069	0.055	0.041	0.182	12.187
0.630	229.091	0.279	50.004	0.792	0.064	0.051	0.039	0.200	9.515
0.631	229.440	0.302	50.004	0.848	0.069	0.059	0.037	0.192	16.370
0.631	229.167	0.299	50.003	0.726	0.068	0.050	0.047	0.168	15.389

0.632	229.009	0.284	50.005	0.807	0.065	0.052	0.038	0.191	10.717
0.633	229.299	0.294	50.004	0.788	0.067	0.053	0.042	0.197	8.554
0.633	229.325	0.286	50.004	0.820	0.066	0.054	0.038	0.199	8.908
0.634	229.195	0.292	50.003	0.765	0.067	0.051	0.043	0.194	14.181
0.635	229.298	0.298	50.003	0.864	0.068	0.059	0.034	0.198	13.266
0.635	229.727	0.300	50.002	0.848	0.069	0.058	0.036	0.136	10.811
0.636	229.360	0.297	50.004	0.823	0.068	0.056	0.039	0.179	14.520
0.637	229.269	0.295	50.004	0.758	0.068	0.051	0.044	0.231	13.454
0.638	229.603	0.298	50.003	0.664	0.068	0.045	0.051	0.180	12.200
0.638	229.541	0.306	50.001	0.878	0.070	0.062	0.034	0.171	11.045
0.639	229.108	0.283	50.006	0.777	0.065	0.050	0.041	0.185	8.608
0.640	229.165	0.289	50.006	0.783	0.066	0.052	0.041	0.188	11.500
0.640	229.707	0.295	50.002	0.734	0.068	0.050	0.046	0.202	10.749
0.641	229.322	0.293	50.006	0.778	0.067	0.052	0.042	0.201	10.019
0.642	229.084	0.309	50.004	0.745	0.071	0.053	0.047	0.184	12.133
0.642	229.463	0.293	50.006	0.828	0.067	0.056	0.038	0.191	15.361
0.643	229.553	0.300	50.005	0.706	0.069	0.049	0.049	0.232	11.374
0.644	229.062	0.313	50.003	0.745	0.072	0.053	0.048	0.173	15.232
0.644	229.229	0.304	50.003	0.803	0.070	0.056	0.042	0.199	10.490
0.645	229.495	0.295	50.005	0.888	0.068	0.060	0.031	0.215	8.087
0.646	229.127	0.297	50.003	0.807	0.068	0.055	0.040	0.196	11.398
0.647	229.050	0.305	50.005	0.798	0.070	0.056	0.042	0.182	10.122
0.647	229.521	0.288	50.003	0.876	0.066	0.058	0.032	0.173	8.899
0.648	229.205	0.291	50.004	0.836	0.067	0.056	0.037	0.175	11.133
0.649	229.097	0.304	50.004	0.729	0.070	0.051	0.048	0.191	12.389
0.649	229.229	0.300	50.002	0.658	0.069	0.045	0.052	0.171	14.908
0.650	229.449	0.294	50.006	0.823	0.067	0.055	0.038	0.137	12.177
0.651	228.961	0.279	50.003	0.839	0.064	0.054	0.035	0.179	12.132
0.651	229.058	0.290	50.002	0.768	0.066	0.051	0.043	0.158	12.220
0.652	229.512	0.296	50.003	0.780	0.068	0.053	0.042	0.180	11.441
0.653	229.161	0.308	50.003	0.832	0.071	0.059	0.039	0.236	16.989
0.653	229.012	0.299	50.005	0.720	0.069	0.049	0.048	0.211	12.006
0.654	229.293	0.285	50.003	0.728	0.065	0.048	0.045	0.199	10.096
0.655	229.244	0.295	50.003	0.791	0.068	0.053	0.041	0.196	9.772
0.656	228.786	0.293	50.003	0.787	0.067	0.053	0.041	0.199	9.219
0.656	229.013	0.304	50.003	0.770	0.070	0.054	0.044	0.152	12.526
0.657	229.345	0.311	50.004	0.789	0.071	0.056	0.044	0.198	11.472
0.658	228.904	0.296	50.003	0.756	0.068	0.051	0.044	0.172	11.312

0.658	228.893	0.300	50.003	0.868	0.069	0.060	0.034	0.180	11.914
0.659	229.351	0.295	50.005	0.790	0.068	0.053	0.042	0.184	13.004
0.660	229.143	0.305	50.001	0.836	0.070	0.058	0.038	0.182	16.523
0.660	228.881	0.296	50.005	0.787	0.068	0.053	0.042	0.206	9.053
0.661	229.398	0.302	50.003	0.759	0.069	0.053	0.045	0.193	15.617
0.662	229.528	0.302	50.002	0.739	0.069	0.051	0.047	0.216	13.036
0.663	229.221	0.299	50.006	0.764	0.069	0.052	0.044	0.194	15.195
0.663	229.215	0.305	50.003	0.773	0.070	0.054	0.044	0.183	10.306

## บันทึกข้อมูลความเร็วลม

บันทึกวันที่ 20 พ.ค. 2558 เวลา 20.09 น. – 20.58 น. ณ ชั้นล่าง อาคาร ECC

Time	Wind Speed (m/s)	Time	Wind Speed (m/s)
20:09	0.455265	20:44	0
20:10	0.511181	20:45	0.791867
20:11	0	20:46	0
20:12	1.320609	20:47	0.483908
20:13	0	20:48	0.977554
20:14	0.85916	20:49	0
20:15	0.448074	20:50	1.313754
20:16	1.133101	20:51	0.489871
20:17	0.494299	20:52	0.459976
20:18	0.92457	20:53	1.146074
20:19	0.43363	20:54	0.295694
20:20	0.953675	20:55	0.845216
20:21	0.750606	20:56	0.484229
20:22	0.471811	20:57	0.424506
20:23	0.445677	20:58	0.595061
20:24	0		
20:25	0.766635		
20:26	0.461171		
20:27	0.860288		
20:28	0.362608		
20:29	1.09753		
20:30	0		
20:31	0.499887		
20:32	1.266943		
20:33	0.485518		
20:34	0.528556		
20:35	0		
20:36	1.246611		
20:37	1.789101		
20:38	0.493436		
20:39	1.693256		
20:40	0.502036		
20:41	0.440395		
20:42	0.440395		
20:43	0.625369		

ภาคผนวก ข  
Data Acquisition (DAQ)

## DAQ

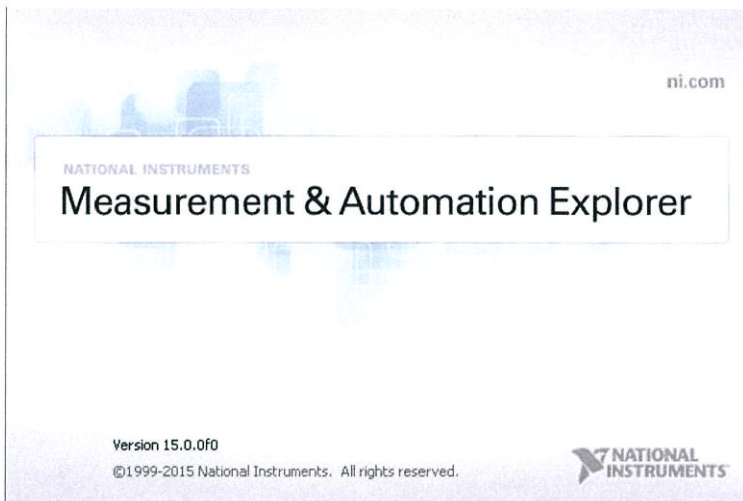
DAQ (Data Acquisition) คือ ระบบ DAQ เป็นการเก็บรวบรวมวิเคราะห์ข้อมูลจริงในงานวิจัยทดลองวิทยาศาสตร์และทดสอบงานทางด้านวิศวกรรมเชิงคุณภาพและประสิทธิภาพผ่านคอมพิวเตอร์ โดยมีความแตกต่างจากงานระบบคอมพิวเตอร์ทั่วไปตรงที่มี Hardware พิเศษเพื่อตรวจจับสัญญาณทางกายภาพทางวิทยาศาสตร์ อาทิเช่น อุณหภูมิ ความดันอากาศ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

### 1. การเชื่อมต่อ DAQ กับ ชุดโปรแกรม

ทำการลง Driver โปรแกรมที่แนบมากับ DAQ รุ่น NI USB-6212 ชื่อโปรแกรม NI MAX รุ่นที่ทำการติดตั้งคือ Version 15.0 จากนั้นทำการเปิดโปรแกรมโดยคลิกที่ Icon ของโปรแกรม Measurement & Automation ดังรูปที่ ข.1

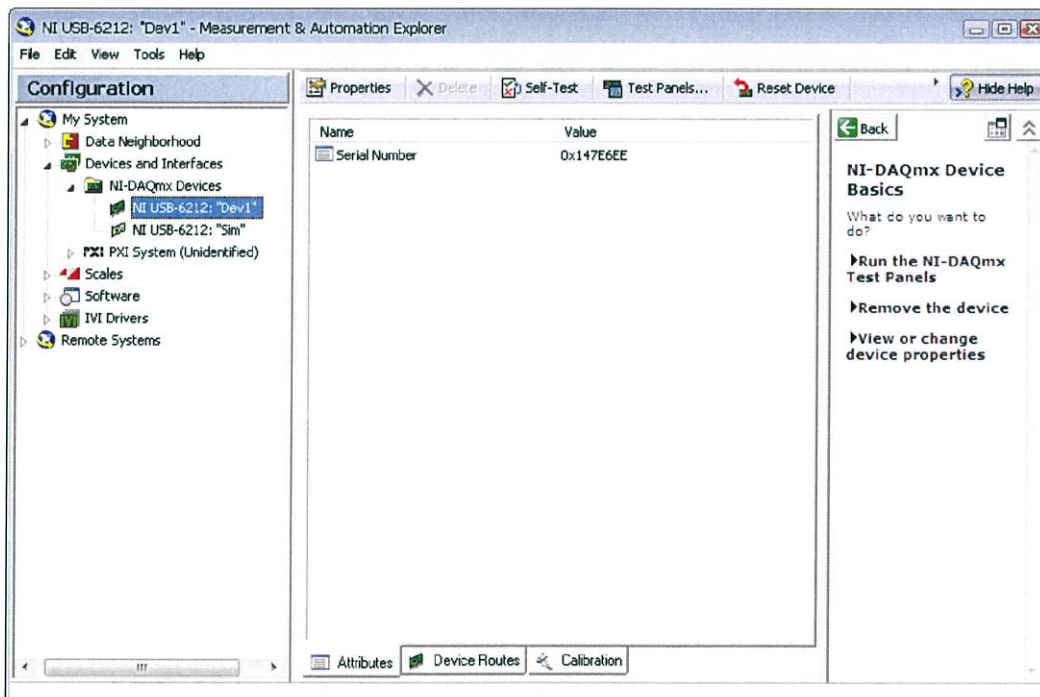


รูปที่ ข.1 Icon ของโปรแกรม Measurement & Automation [17]



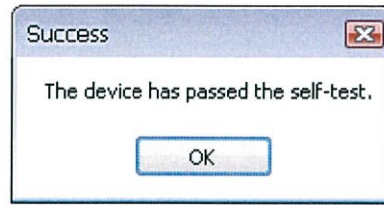
รูปที่ ข.2 เข้าโปรแกรม Measurement & Automation Version 15.0 [17]

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



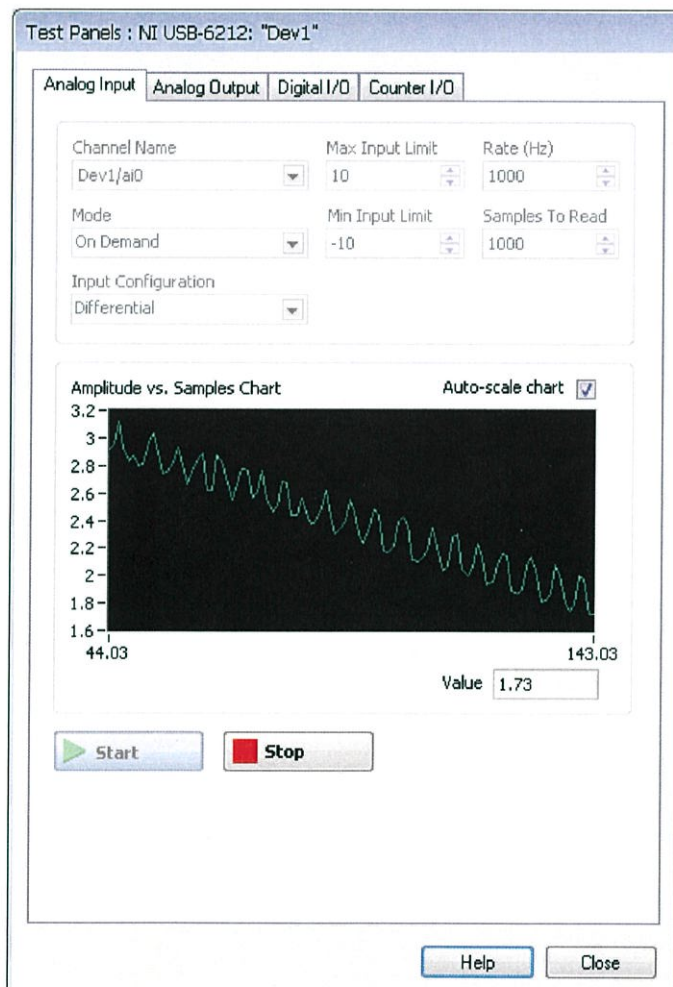
รูปที่ ข.3 หน้าต่างของโปรแกรม Measurement & Automation [17]

จากนั้นจะปรากฏหน้าต่าง Success ขึ้นมา ดังรูปที่ ข.4 ซึ่งแปลว่าไม่มีความผิดปกติเกิดขึ้นกับชุดอุปกรณ์ หรือสามารถใช้งานได้ปกติ



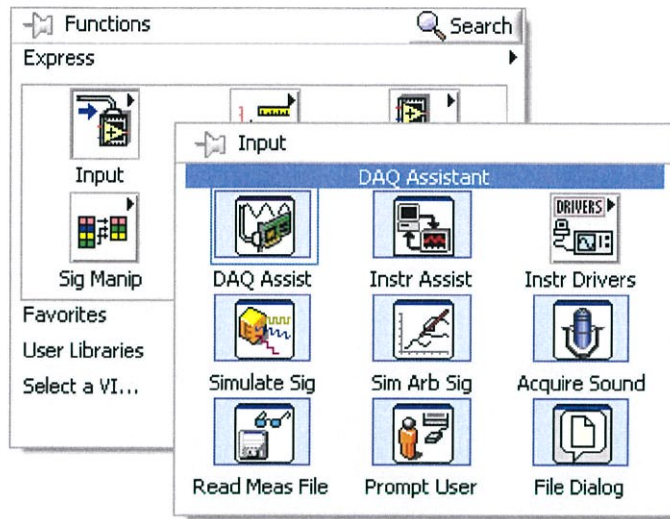
รูปที่ ข.4 หน้าต่างเมื่อทำการตรวจสอบชุดอุปกรณ์ [17]

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



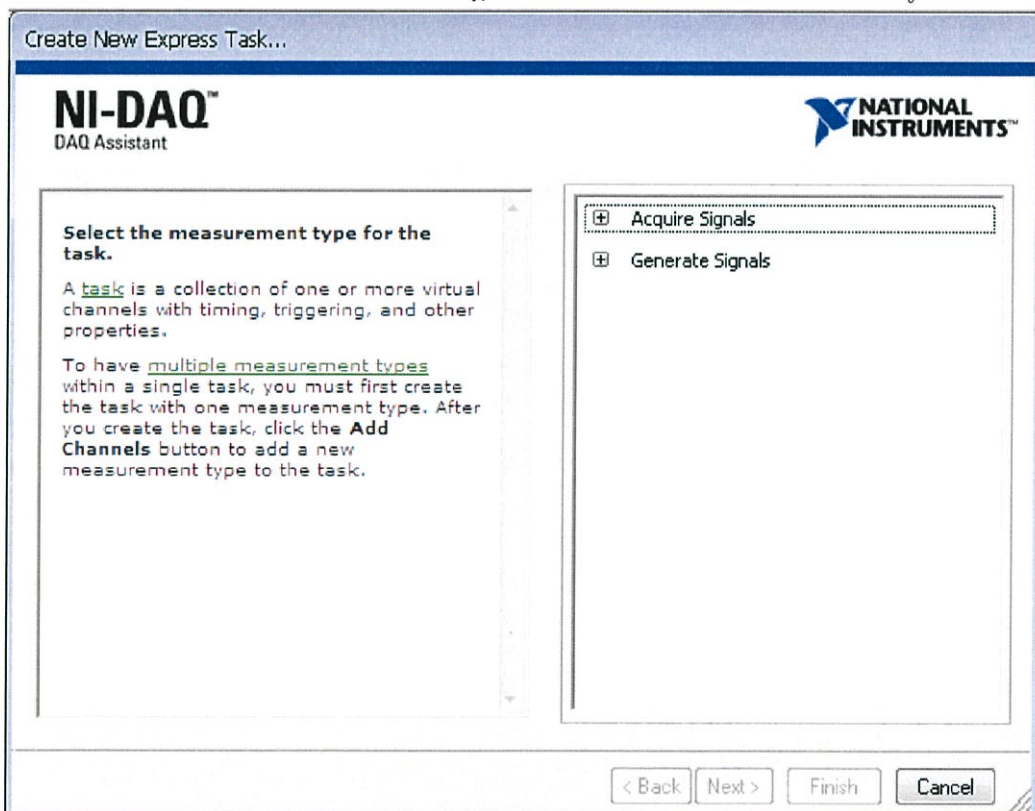
รูปที่ ข.5 หน้าต่างของ Test Panels [17]

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



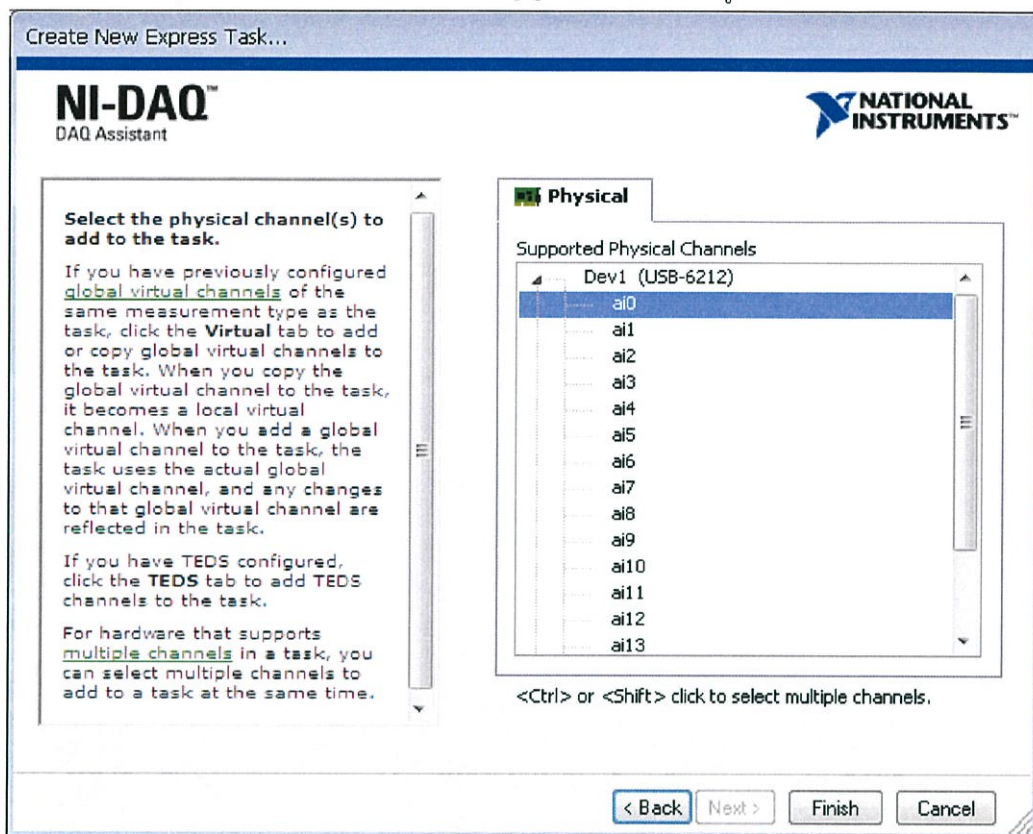
รูปที่ ข.6 DAQ Assistant จาก Function Palette [17]

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



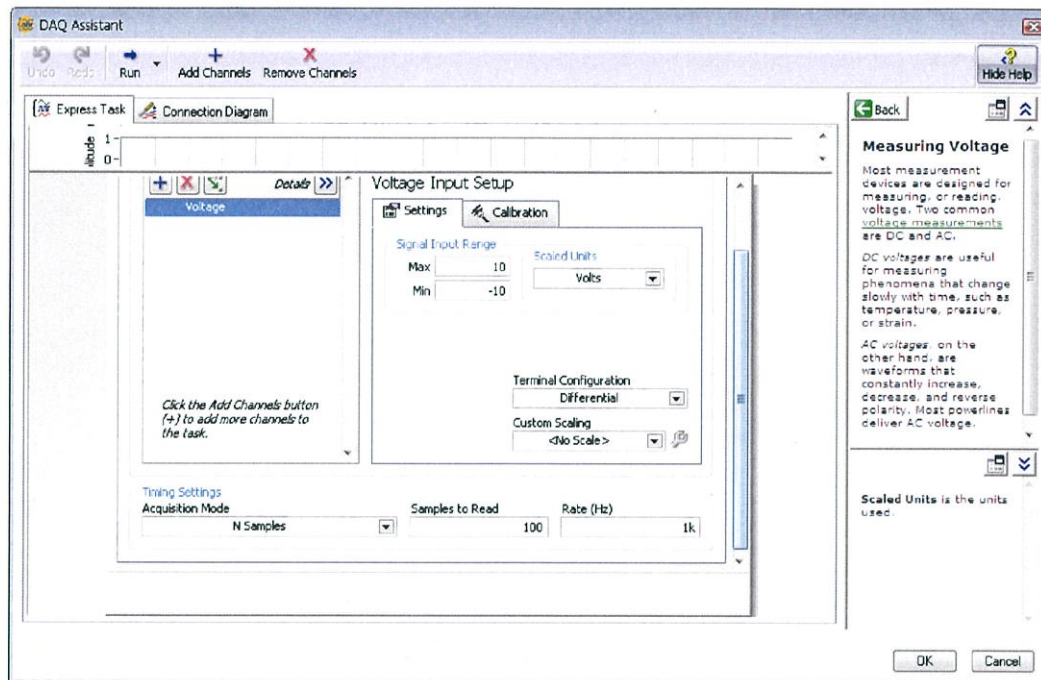
รูปที่ ข.7 หน้าต่าง Crate New Express Task [17]

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



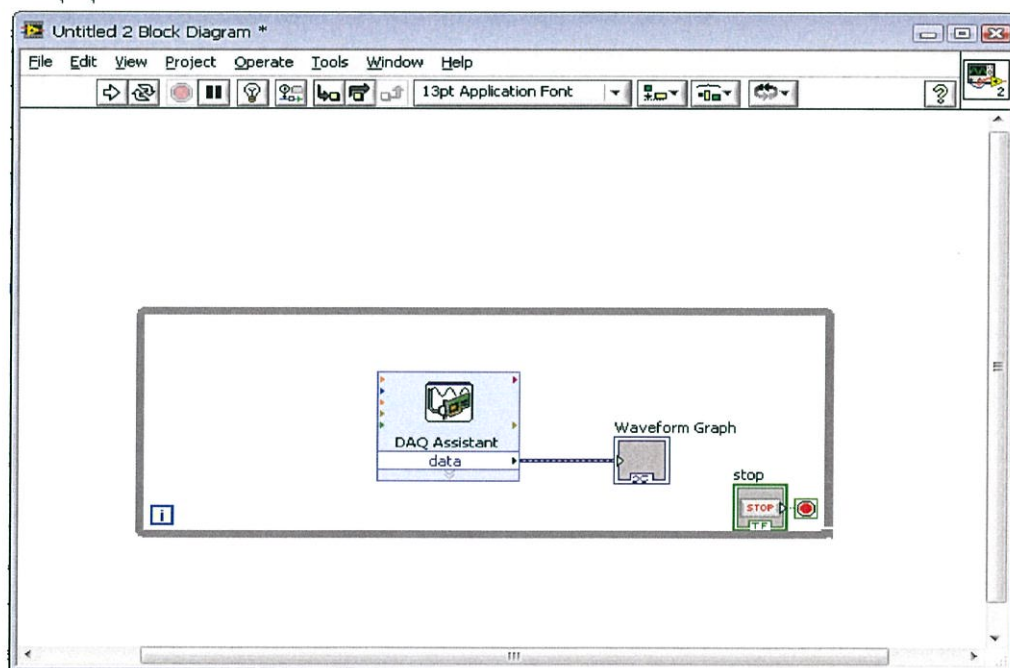
รูปที่ ข.8 เลือกช่องสัญญาณของ DAQ [17]

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 [17]

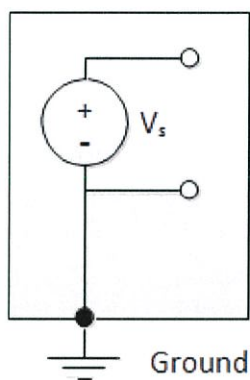
จากนั้นก็สามารสรสร้าง Block Diagram ต่างๆเพื่อนำมาใช้ทำงานกับสัญญาณที่ผ่านจากชุดอุปกรณ์ได้



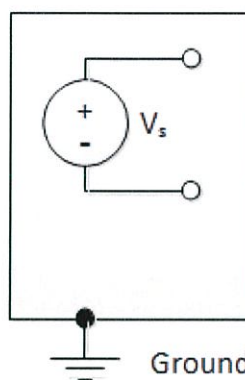
รูปที่ ข.10 ทาการเขียน Block Diagram โดยรับสัญญาณอินพุตจาก DAQ [17]

## 2. แหล่งสัญญาณทางไฟฟ้า

สัญญาณทางไฟฟ้ามีหลายรูปแบบซึ่งแหล่งจ่ายอาจจะมาจากตัวส่งสัญญาณหรือจากเซ็นเซอร์ ซึ่งสัญญาณแหล่งนี้จะเป็นตัวแสดงถึงปริมาณทางกายภาพของสิ่งที่วัด เช่น การวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิล หรือ RTD, การวัดแรงดันด้วยโพลตเซลล์, การวัดแสงด้วยโฟโต้เซ็นเซอร์ ซึ่งในที่สุดสัญญาณอนาล็อกจะต้องถูกแปลงไปเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์ Signal conditioning ก่อนที่จะอ่านค่าด้วยอุปกรณ์ DAQ โดยเราจะเรียกแหล่งกำเนิดสัญญาณประเภทแรงดันไฟฟ้าว่า Voltage source ซึ่งแบ่งออกเป็นสองชนิด ได้แก่ แหล่งสัญญาณแบบต่อกราวด์ (Grounded source) และแบบไม่ต่อกราวด์ (Floating source)



(ก)



(ข)

รูปที่ ข.11 (ก) แหล่งสัญญาณแบบต่อกราวด์ และ (ข) แบบไม่ต่อกราวด์ [17]

## 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) มาเลียนแบบค่าอนาล็อก (มีจำนวนไม่จำกัด) ซึ่งจะมีการปรับค่าอุปกรณ์ในการดึงสัญญาณดังนี้

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

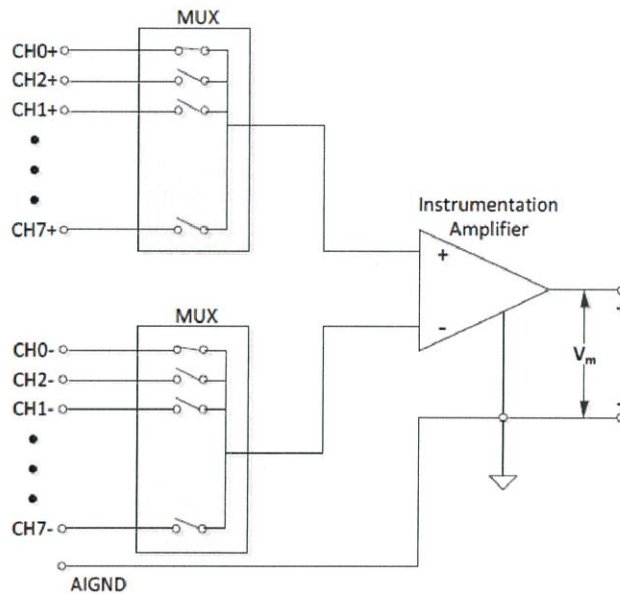
2. Resolution ในการ Sampling คือการสุ่มสัญญาณทางแกนเวลา (แกนอน) แต่สำหรับแกนตั้งซึ่งจะเป็นค่าของสัญญาณก็จะต้องทำการสุ่มเช่นกัน เพื่อเปลี่ยนให้เป็นค่าทางดิจิทัล ด้วยวิธีการปัดค่าทศนิยมขึ้นหรือลง เรียกขั้นตอนนี้ว่า Quantization หรือ Digitization จะขึ้นอยู่กับความละเอียดของ ADC ถ้ามีความละเอียดมากก็สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณอนาล็อกให้ละเอียดยิ่งขึ้น (ความละเอียดของ ADC คือจำนวนบิต)

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

#### 4. ประเภทของระบบการวัดสัญญาณ

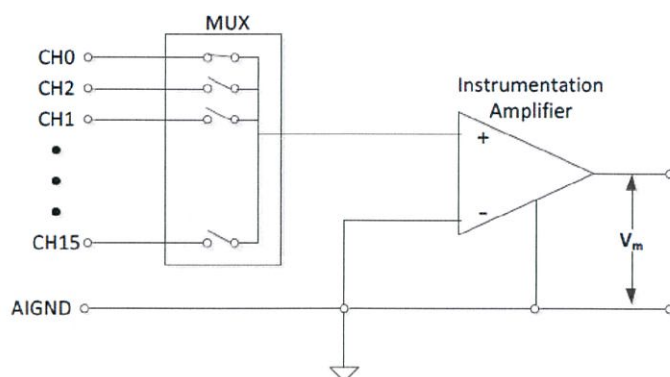
1. Differential หรือ DIFF คือการวัดสัญญาณที่ขาบวกและขาลบของแหล่งสัญญาณไม่ได้ต่ออยู่กับแหล่งอ้างอิงใดๆ

แบบ Differential [23]



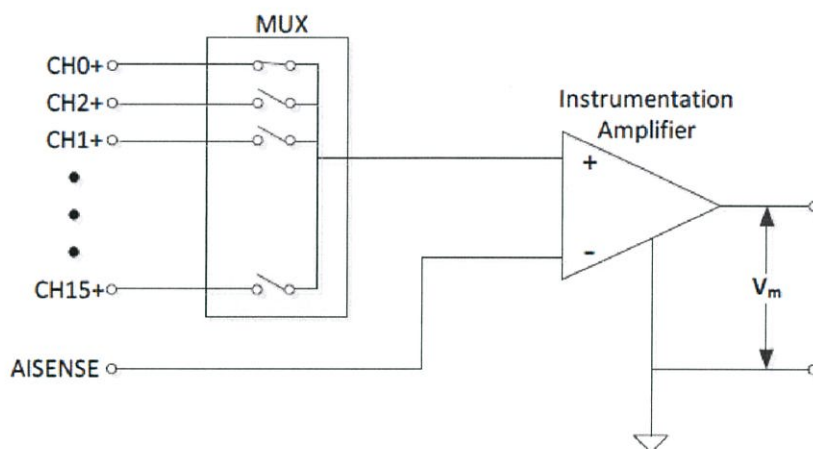
รูปที่ ข.12 การวัดสัญญาณแบบ Differential [23]

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]

ภาคผนวก ค  
คุณลักษณะเฉพาะของเครื่องมือวัด

## 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 ( $\pm 0.2$  to  $\pm 10$  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.

### 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

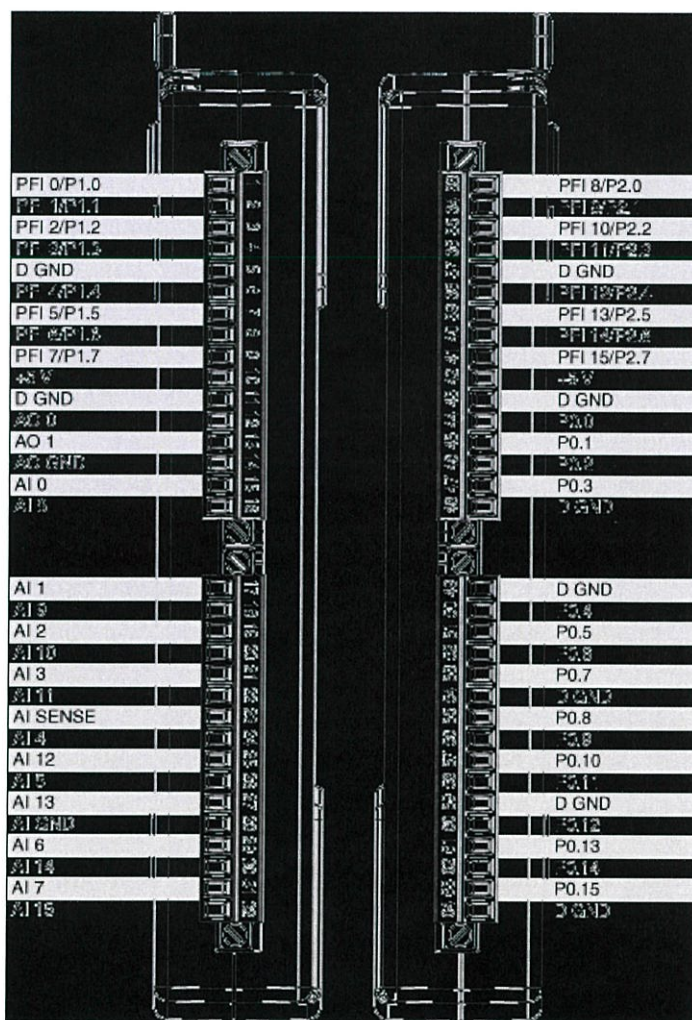
Every M Series data acquisition device includes a copy of NI LabVIEW SignalExpress LE data-logging software, so you can quickly acquire, analyze, and present data without programming. In addition to LabVIEW SignalExpress, M Series data acquisition devices are compatible with the following versions (or 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

<b>General</b>	
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
<b>Analog Input</b>	
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 $\mu$ V
Minimum Voltage Range	-200 mV , 200 mV
Minimum Voltage Range Accuracy	0.088 mV
Minimum Voltage Range Sensitivity	4.8 $\mu$ V
Number of Ranges	4
Simultaneous Sampling	No
On-Board Memory	4095 samples
<b>Analog Output</b>	
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
<b>Digital I/O</b>	
Bidirectional Channels	32
Input-Only Channels	0
Output-Only Channels	0
Number of Channels	32 , 0 , 0



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

THREE-PHASE ELECTRICAL  
NETWORKS ANALYSER

# C.A 8335 QUALISTAR+



ENGLISH

User's manual

 **CHAUVIN®**  
**ARNOUX**  
CHAUVIN ARNOUX GROUP

## 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 V <sub>RMS</sub> , category IV – 1000 V <sub>RMS</sub> , category III.
Range for use	230 V ± 10 % @ 50 Hz and 120 V ± 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 ≤ 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

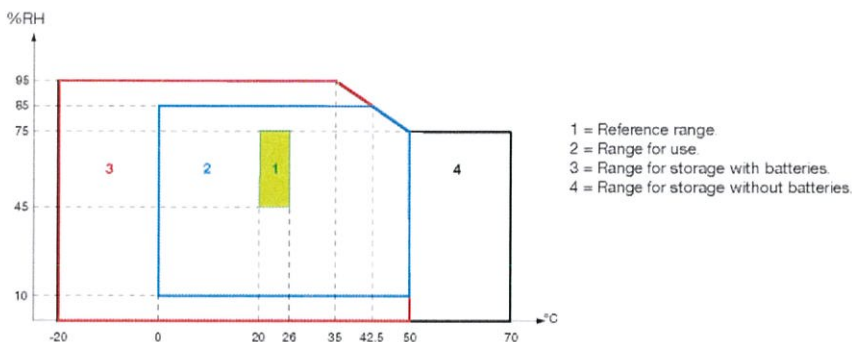
At 50% luminosity	320 mA
In display-off stand-by mode	130 mA

## 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)
 

1 <sup>st</sup> level:	Severity:	4 kV in contact
	Requirements:	CRITERION A
2 <sup>nd</sup> 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 <sup>-1</sup>
Requirements:	CRITERION B (influence on the THDA: $\pm 2.5\%$ for the standard current system and $\pm 5\%$ 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 600 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 of 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	$23 \pm 3$ °C
Humidity (relative humidity)	[45 %; 75 %]
Atmospheric pressure	[860 hPa; 1060 hPa]
Phase-to-neutral voltage	[50 V <sub>RMS</sub> ; 1000 V <sub>RMS</sub> ] without DC (< 0.5 %)
Standard current circuit input voltage (Except <i>FLEX</i> type current sensors)	[30 mV <sub>RMS</sub> ; 1 V <sub>RMS</sub> ] without DC (< 0.5 %) ■ $A_{nom} \Leftrightarrow 1$ V <sub>RMS</sub> ■ $3 \times A_{nom} + 100 \Leftrightarrow 30$ mV <sub>RMS</sub>
Rogowski current circuit input voltage ( <i>FLEX</i> type current sensors)	[11.73 mV <sub>RMS</sub> ; 117.3 mV <sub>RMS</sub> ] without DC (< 0.5 %) ■ $3000 A_{RMS} \Leftrightarrow 117.3$ mV <sub>RMS</sub> to 50 Hz ■ $300 A_{RMS} \Leftrightarrow 11.73$ mV <sub>RMS</sub> 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)
Harmonics	< 0.1 %
Voltage unbalance	< 10 %
Voltage ratio	1 (unity)
Current ratio	1 (unity)
Power supply	Battery only
Electric field	< 1 V.m <sup>-1</sup>
Magnetic field	< 40 A.m <sup>-1</sup>

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

Current sensor (except <i>FLEX</i> )	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 <sub>RMS</sub> to 1000 V <sub>RMS</sub> AC+DC phase-to-neutral and neutral-to-earth. 0 V <sub>RMS</sub> to 2000 V <sub>RMS</sub> AC+DC phase-to-phase. (on condition of compliance with 1000 V <sub>RMS</sub> with respect to earth in Cat III).
Input impedance:	969 k $\Omega$ (between phase and neutral and between neutral and earth)
Admissible overload:	1200 V <sub>RMS</sub> constant. 2000 V <sub>RMS</sub> for one second.

# RIGOL

## Data Sheet

For U.K Sales  
 **TELONIC**  
 TEST INSTRUMENTS & POWER SUPPLIES  
 info@telonic.co.uk Tel:0118 9786911

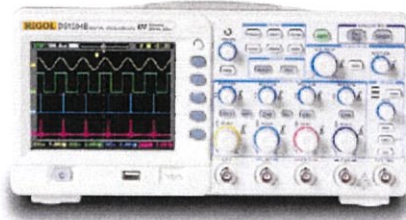
### DS1000B Series Digital Oscilloscopes

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

Aug. 2011  
 RIGOL Technologies, Inc.

## 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 <sup>[1]</sup> ) 1 GSa/s (each channel)	50 GSa/s <sup>[2]</sup>
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 <sup>[1]</sup> 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)	

	$\pm 2V(2mV/div \sim 245mV/div)$	
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)	$\leq 5Hz$ (at input BNC)	
Rise Time at BNC (typical)	<1.75ns, <3.5ns, <5ns, On 200MHz, 100MHz, 70MHz respectively	
DC Gain Accuracy	2mV/div $\sim$ 5mV/div: $\pm 4\%$ (Normal or Average acquisition mode) 10mV/div $\sim$ 10V/div: $\pm 3\%$ (Normal or Average acquisition mode)	
DC Measurement Accuracy Average Acquisition Mode	When vertical displacement is zero, and $N \geq 16$ : $\pm(DC \text{ Gain Accuracy} \times \text{reading} + 0.1div + 1mV)$ When vertical displacement is not zero, and $N \geq 16$ : $\pm[DC \text{ Gain Accuracy} \times (\text{reading} + \text{vertical position}) + (1\% \text{ of vertical position}) + 0.2div]$ 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 ( $\Delta V$ ) between any two points in the waves coming from the average of more than 16 waves have been acquired: $\pm(DC \text{ Gain Accuracy} \times \text{reading} + 0.05 \text{ div})$	
<b>Trigger</b>		
Trigger Sensitivity	0.1div-1.0div (adjustable)	
Trigger Level Range	Internal	$\pm 6$ divisions from center of screen
	EXT	$\pm 1.2V$
	EXT/5	$\pm 6V$
Trigger Level Accuracy (typical) applicable for the signal of rising and falling time $\geq 20ns$	Internal	$\pm(0.3div \times V/div)(\pm 4 \text{ divisions from center of screen})$
	EXT	$\pm(6\% \text{ of setting} + 40 \text{ mV})$
	EXT/5	$\pm(6\% \text{ of setting} + 200 \text{ mV})$
Trigger Offset	In Normal mode: pre-trigger(storage depth/(2 $\times$ sample) rate), delayed trigger 1s	
	In Slow Scan mode: pre-trigger 6div, delayed trigger 6div	
Trigger Holdoff Range	100ns $\sim$ 1.5s	
HF Rejection	100kHz $\pm 20\%$	
LF Rejection	10kHz $\pm 20\%$	
Set Level to 50% (typical)	When input signal frequency $\geq 50Hz$	
<b>Edge Trigger</b>		
Edge Trigger Slope	Rising, Falling, Rising + Falling	
<b>Pulse Width Trigger</b>		
Trigger Condition	(>, <, =) Positive pulse, (>, <, =) Negative pulse	
Pulse Width Range	20ns $\sim$ 10s	
<b>Video Trigger</b>		
Video Standard	Support for standard NTSC, PAL and SECAM broadcast systems.	
Line Frequency	Line number range: 1 $\sim$ 525 (NTSC) and 1 $\sim$ 625 (PAL/SECAM)	

<b>Pattern Trigger</b>		
Pattern setup	H, L, X, $\frac{f}{2}$ , $\frac{f}{4}$	
<b>Alternate Trigger</b>		
Trigger on CH1, CH2, CH3, CH4	Edge, Pulse Width, Video	
<b>Measurements</b>		
Cursor	Manual	Voltage difference between cursors ( $\Delta V$ ) Time difference between cursors ( $\Delta T$ ) Reciprocal of $\Delta T$ 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

## General Specifications

<b>Display</b>		
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	
<b>Probe Compensator Output</b>		
Output Voltage (typical)	Amplitude, ~3Vpp	
Frequency (typical)	1kHz	
<b>Power Supply</b>		
Supply Voltage	AC, 100~240 V, 45~440Hz, CAT II	
Power Consumption	Less than 50VA	
Fuse	2A, T rating, 250 V	
<b>Environmental</b>		
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	
<b>Mechanical</b>		
Dimensions	Width	325mm
	Height	159mm
	Depth	133 mm
Weight	Without package	3kg
	Packaged	4.3 kg
<b>IP Protection</b>		
IP2X		
<b>Calibration Interval</b>		
The recommended calibration interval is one year		

ภาคผนวก ง  
คุณลักษณะเฉพาะของอุปกรณ์ต่างๆ



## 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  $\mu$ 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 $\Omega$  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  
UBV 06 05 54214 010



#### Package: 8 Lead SOIC (suffix LC)



Approximate Scale 1:1



#### Description

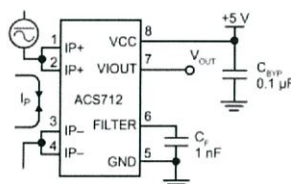
The Allegro™ ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switch-mode power 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 ( $>V_{IOUT(Q)}$ ) 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 $\Omega$  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<sup>x</sup> 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 <sub>A</sub> (°C)	Optimized Range, I <sub>p</sub> (A)	Sensitivity, Sens (Typ) (mV/A)
ACS712ELCTR-05B-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±5	185
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 <sub>CC</sub>		8	V
Reverse Supply Voltage	V <sub>ROCC</sub>		-0.1	V
Output Voltage	V <sub>ROUT</sub>		8	V
Reverse Output Voltage	V <sub>ROUT</sub>		-0.1	V
Output Current Source	I <sub>ROUT(SOURCE)</sub>		3	mA
Output Current Sink	I <sub>ROUT(SINK)</sub>		10	mA
Overcurrent Transient Tolerance	I <sub>p</sub>	1 pulse, 100 ms	100	A
Nominal Operating Ambient Temperature	T <sub>A</sub>	Range E	-40 to 85	°C
Maximum Junction Temperature	T <sub>J(max)</sub>		165	°C
Storage Temperature	T <sub>stg</sub>		-65 to 170	°C

#### Isolation Characteristics

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Unit
Dielectric Strength Test Voltage*	V <sub>ISO</sub>	Agency type-tested for 60 seconds per UL standard 60950-1, 1st Edition	2100	VAC
Working Voltage for Basic Isolation	V <sub>WFSI</sub>	For basic (single) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	354	VDC or V <sub>pk</sub>
Working Voltage for Reinforced Isolation	V <sub>WFR1</sub>	For reinforced (double) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	184	VDC or V <sub>pk</sub>

\* 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 North Street  
Worcester, Massachusetts 01615-0005 U.S.A.  
1-508-853-5000 www.allegromicro.com

## ACS712

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

**COMMON OPERATING CHARACTERISTICS**<sup>1</sup> 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
<b>ELECTRICAL CHARACTERISTICS</b>						
Supply Voltage	$V_{CC}$		4.5	5.0	5.5	V
Supply Current	$I_{CC}$	$V_{CC} = 5.0$ 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 $\Omega$
Primary Conductor Resistance	$R_{PRIMARY}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	–	1.2	–	m $\Omega$
Rise Time	$t_r$	$I_P = I_{P(max)}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ , $C_{OUT} = \text{open}$	–	3.5	–	$\mu\text{s}$
Frequency Bandwidth	$f$	–3 dB, $T_A = 25^\circ\text{C}$ , $I_P$ is 10 A peak-to-peak	–	80	–	kHz
Nonlinearity	$E_{NL}$	Over full range of $I_P$	–	1.5	–	%
Symmetry	$E_{SYM}$	Over full range of $I_P$	98	100	102	%
Zero Current Output Voltage	$V_{OUT(Q)}$	Bidirectional, $I_P = 0$ 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, $T_J = 25^\circ\text{C}$ , 20 A present on leadframe	–	35	–	$\mu\text{s}$
Magnetic Coupling			–	12	–	G/A
Internal Filter Resistance <sup>3</sup>	$R_{F(ILT)}$			1.7		k $\Omega$

<sup>1</sup>Device may be operated at higher primary current levels,  $I_P$ , and ambient,  $T_A$ , and internal leadframe temperatures,  $T_{L}$ , provided that the Maximum Junction Temperature,  $T_{J(max)}$ , is not exceeded.

<sup>2</sup>1G = 0.1 mT.

<sup>3</sup> $R_{F(ILT)}$  forms an RC circuit via the FILTER pin.

**COMMON THERMAL CHARACTERISTICS**<sup>1</sup>

			Min.	Typ.	Max.	Units
Operating Internal Leadframe Temperature	$T_A$	E range	–40	–	85	$^\circ\text{C}$
Junction-to-Lead Thermal Resistance <sup>2</sup>	$R_{\theta JL}$	Mounted on the Allegro ASEK 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	$^\circ\text{C/W}$

<sup>1</sup>Additional thermal information is available on the Allegro website.

<sup>2</sup>The Allegro evaluation board has 1500 mm<sup>2</sup> 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 North Street, Cubitt  
Worcester, Massachusetts 01615-0026 U.S.A.  
1.508.853.5000 www.allegromicro.com

## ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC  
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor**x05B PERFORMANCE CHARACTERISTICS<sup>1</sup>**  $T_A = -40^{\circ}\text{C}$  to  $85^{\circ}\text{C}$ ,  $C_F = 1\text{ nF}$ , and  $V_{OC} = 5\text{ V}$ , 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	$\Delta V_{\text{OUT(Q)}}$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to $25^{\circ}\text{C}$	-	-0.26	-	mV/°C
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to $150^{\circ}\text{C}$	-	-0.08	-	mV/°C
Sensitivity Slope	$\Delta\text{Sens}$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to $25^{\circ}\text{C}$	-	0.054	-	mV/A/°C
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to $150^{\circ}\text{C}$	-	-0.008	-	mV/A/°C
Total Output Error <sup>2</sup>	$E_{\text{TOT}}$	$I_P = \pm 5\text{ A}$ , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	$\pm 1.5$	-	%

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

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

**x20A PERFORMANCE CHARACTERISTICS<sup>1</sup>**  $T_A = -40^{\circ}\text{C}$  to  $85^{\circ}\text{C}$ ,  $C_F = 1\text{ nF}$ , and  $V_{OC} = 5\text{ V}$ , 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	$\Delta V_{\text{OUT(Q)}}$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to $25^{\circ}\text{C}$	-	-0.34	-	mV/°C
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to $150^{\circ}\text{C}$	-	-0.07	-	mV/°C
Sensitivity Slope	$\Delta\text{Sens}$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to $25^{\circ}\text{C}$	-	0.017	-	mV/A/°C
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to $150^{\circ}\text{C}$	-	-0.004	-	mV/A/°C
Total Output Error <sup>2</sup>	$E_{\text{TOT}}$	$I_P = \pm 20\text{ A}$ , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	$\pm 1.5$	-	%

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

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

**x30A PERFORMANCE CHARACTERISTICS<sup>1</sup>**  $T_A = -40^{\circ}\text{C}$  to  $85^{\circ}\text{C}$ ,  $C_F = 1\text{ nF}$ , and  $V_{OC} = 5\text{ V}$ , 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	$\Delta V_{\text{OUT(Q)}}$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to $25^{\circ}\text{C}$	-	-0.35	-	mV/°C
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to $150^{\circ}\text{C}$	-	-0.08	-	mV/°C
Sensitivity Slope	$\Delta\text{Sens}$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to $25^{\circ}\text{C}$	-	0.007	-	mV/A/°C
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to $150^{\circ}\text{C}$	-	-0.002	-	mV/A/°C
Total Output Error <sup>2</sup>	$E_{\text{TOT}}$	$I_P = \pm 30\text{ A}$ , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	$\pm 1.5$	-	%

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

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

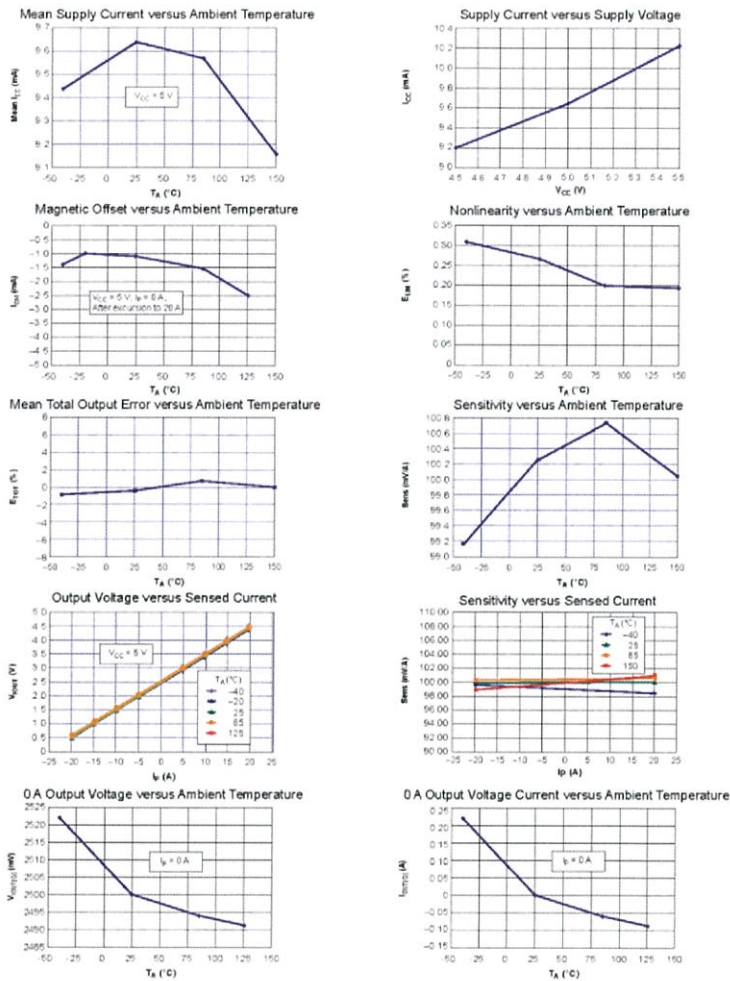


Allegro MicroSystems, LLC  
115 Northwood Court  
Worcester, Massachusetts 01615-0026 U.S.A.  
1-508-853-5050 www.allegromicro.com

## ACS712

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

## Characteristic Performance

 $I_L = 20$  A, unless otherwise specified

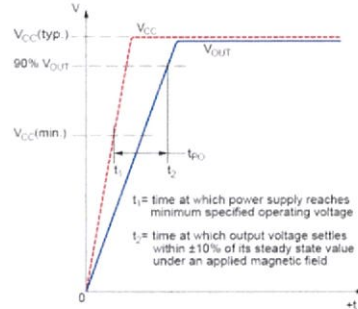
Allegro MicroSystems, LLC  
115 Wolfheart Court  
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.  
1 508 853 5600 www.allegromicro.com

# ACS712

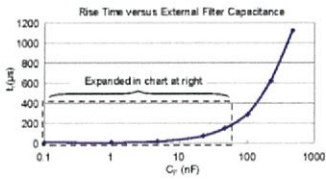
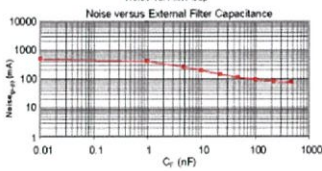
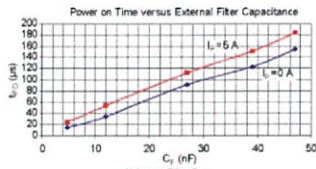
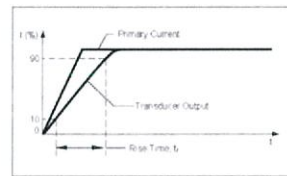
Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC  
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

## Definitions of Dynamic Response Characteristics

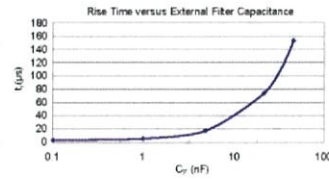
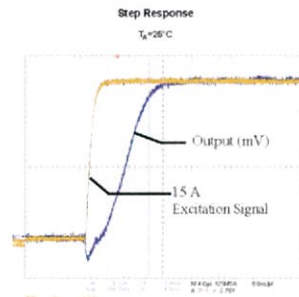
**Power-On Time ( $t_{PO}$ ).** When the supply is ramped to its operating voltage, the device requires a finite time to power its internal components before responding to an input magnetic field.  
**Power-On Time,  $t_{PO}$ ,** is defined as the time it takes for the output voltage to settle within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



$C_F$ (nF)	$t_r$ (µs)
Open	3.5
1	5.8
4.7	17.5
22	73.5
47	88.2
100	281.3
220	523
470	1120

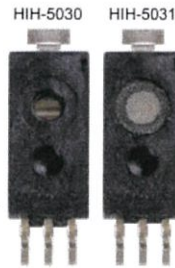


Allegro MicroSystems, LLC  
115 Northeast Cutloff  
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.  
1 508.853.6000. www.allegromicro.com

# 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  $\mu$ 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

## 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:

- Includes stress outside of recommended operating zone.
- Device is tested at 3.3 Vdc and 25 °C.
- Non-condensing environment. When liquid water falls on the humidity sensor die, output goes to a low rail condition indicating no humidity.
- 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.)

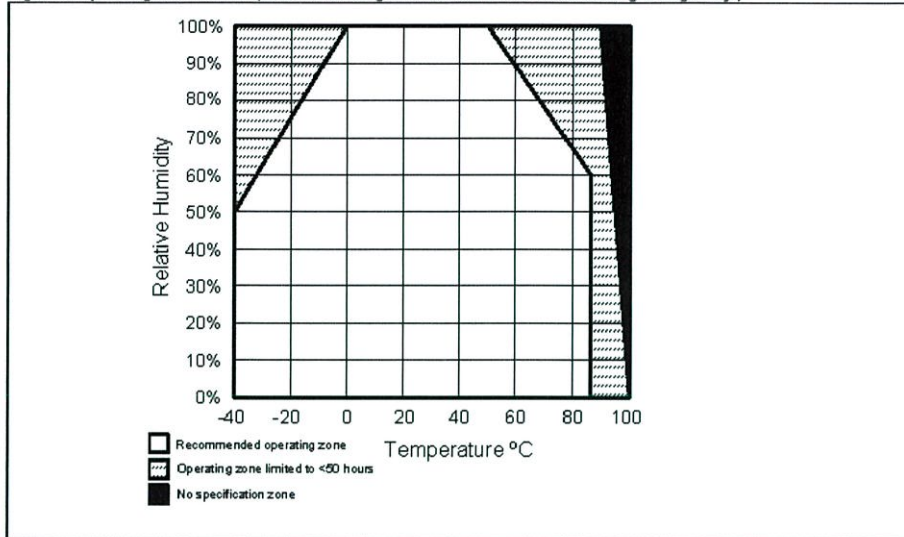
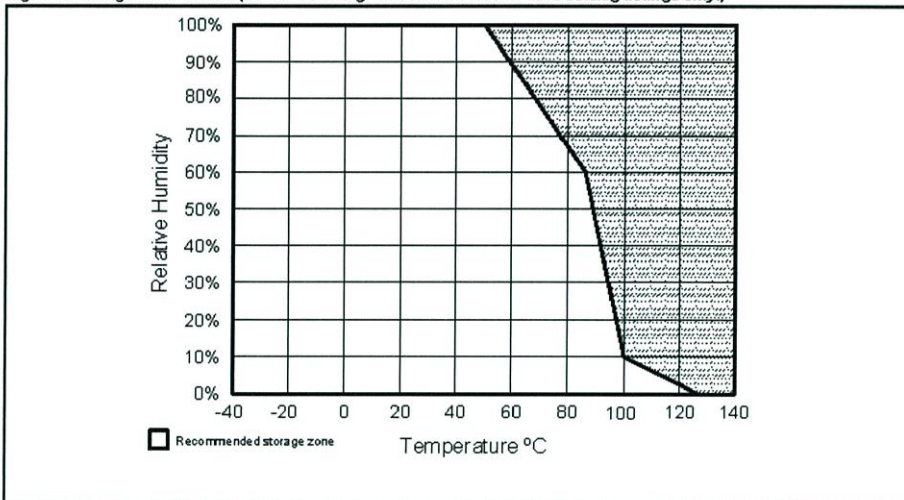


Figure 2. Storage Environment (Non-condensing environment for HIH-5030 catalog listings only.)



## HIH-5030/5031 Series

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

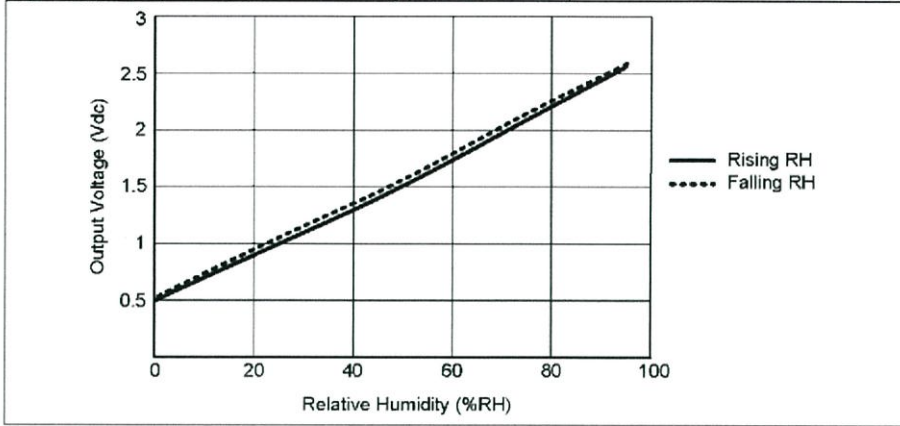
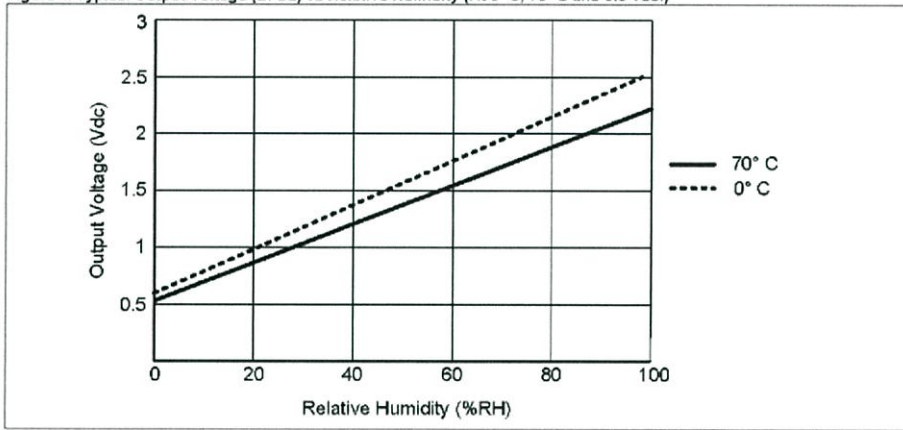


Figure 4. Typical Output Voltage (BFSL) vs Relative Humidity (At 0 °C, 70 °C and 3.3 Vdc.)



# 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

**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**

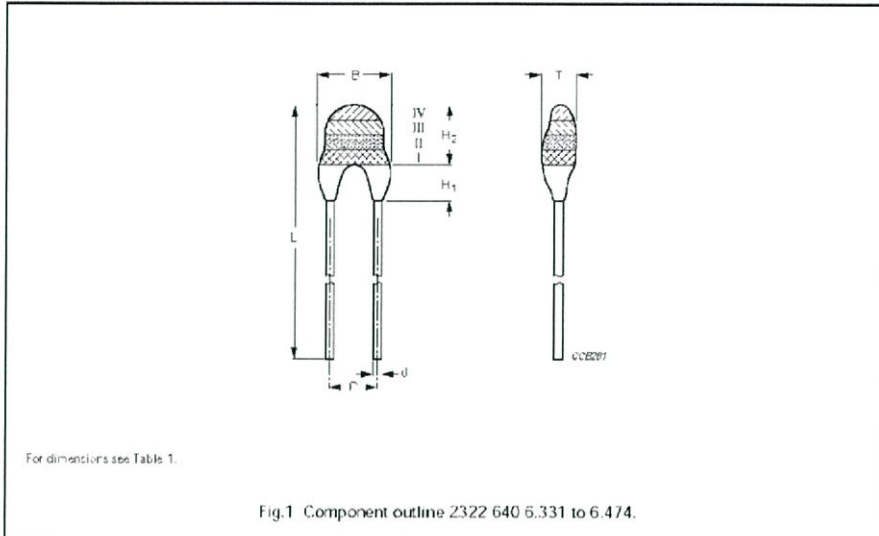
The thermistors are marked with colour bands in accordance with Fig.1 and Table 3.

**MOUNTING**

By soldering in any position.

**QUICK REFERENCE DATA**

PARAMETER	VALUE
Resistance value at 25 °C	3.3 Ω to 470 kΩ
Tolerance on $R_{25°C}$ -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	$3.3 \pm 0.5$	$0.6 \pm 0.06$	-	$2.0 \pm 1.0$	6.0	$24 \pm 1.5$	2.54	3.0
6.338 to 6.221	5.0	$0.6 \pm 0.06$	1.0	4.0	6.0	$24 \pm 1.5$	2.54	4.0

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

PARAMETER	BULK	TAPE AND REEL <sup>(1)</sup> 1e pitch	TAPE AND REEL <sup>(1)</sup> 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**

- 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

$R_{25}$ ( $\Omega$ )	$B_{25/85}$ -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
1 000	3528 K $\pm 0.5\%$	4102	6102	3102	2102	brown	black	red
1 500	3528 K $\pm 0.5\%$	4152	6152	3152	2152	brown	green	red
2 000	3528 K $\pm 0.5\%$	4202	6202	3202	2202	red	black	red
2 200	3977 K $\pm 0.75\%$	4222	6222	3222	2222	red	red	red

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

R <sub>25</sub> (Ω)	B <sub>25/85</sub> -VALUE	CATALOGUE NUMBER 2322 640 6...				COLOUR CODE (see Fig.1 and note 1)		
		R <sub>25</sub> ±2%	R <sub>25</sub> ±3%	R <sub>25</sub> ±5%	R <sub>25</sub> ±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 R<sub>25</sub>-tolerance, the band IV is coloured as follows:

- for R<sub>25</sub> ±2%, band IV is coloured red
- for R<sub>25</sub> ±3%, band IV is coloured orange
- for R<sub>25</sub> ±5%, band IV is coloured gold
- for R<sub>25</sub> ±10%, band IV is coloured silver.

**NTC thermistors, accuracy line****2322 640 6...****R<sub>1</sub> 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<sup>(1)</sup>**

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

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

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

where:

A, B, C, D, A<sub>1</sub>, B<sub>1</sub>, C<sub>1</sub> and D<sub>1</sub> are constant values depending on the material concerned; see Table 4.

R<sub>ref</sub> is the resistance value at a reference temperature (in this event 25 °C).

T is the temperature in K.

**(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.**

**Determination of the resistance/temperature deviation from nominal value**

The total resistance deviation is obtained by combining the 'R<sub>25</sub>-tolerance' and the 'resistance deviation due to B-tolerance'.

When:

X = R<sub>25</sub>-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 = 5.08%/K (see Table 12), then:

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

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

A NTC with a R<sub>25</sub>-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 <sub>25/85</sub> -VALUE (K)	A	B (K)	C (10 <sup>5</sup> K <sup>2</sup> )	D (10 <sup>6</sup> K <sup>3</sup> )	A <sub>1</sub> (10 <sup>-3</sup> )	B <sub>1</sub> (10 <sup>-4</sup> K <sup>-1</sup> )	C <sub>1</sub> (10 <sup>-6</sup> K <sup>-2</sup> )	D <sub>1</sub> (10 <sup>-7</sup> K <sup>-3</sup> )
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	3.340290	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	2.933900	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	-0.993	-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	-7.184	3.354016	2.264097	3.278184	1.097628

## 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/m2
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)

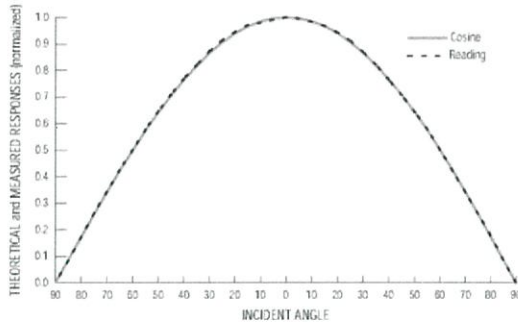
## 2

## Vantage Pro2™ Accessories

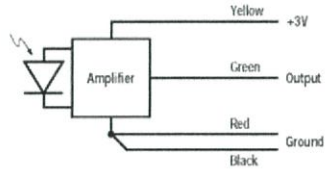
## Sensor Output

Resolution and Units .....	1 W/m <sup>2</sup>
Range .....	0 to 1800 W/m <sup>2</sup>
Accuracy .....	±5% of full scale (Reference: Eppley PSP at 1000 W/m <sup>2</sup> ) plus 45 W/m <sup>2</sup> 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)



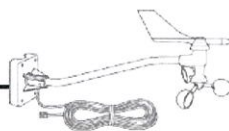
## Connections



## 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

## 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)
<b>Note:</b> 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 365°), 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** *INSTRUMENTS* 3465 Diablo Ave., Hayward, CA 94545-2778  
 (510) 732-9229 • FAX (510) 670-0589 • sales@davisnet.com • www.davisnet.com  
 DS7911 (Rev. G, 2/26/13)

**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

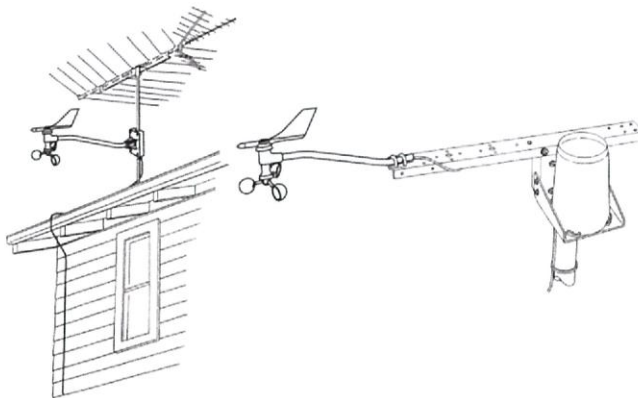
**Input/Output Connections**

Black ..... Wind speed contact closure to ground  
 Red ..... Ground  
 Green ..... Wind direction pot wiper (20KΩ 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 - 20KΩ, 10KΩ = south, 180°

**Installation Options**



**Package Dimensions**

Product #	Package Dimensions (Length x Width x Height)	Package Weight	UPC Codes
7911	17.50" x 5.75" x 2.50" (445 mm x 146 mm x 64 mm)	1.7 lbs. (.7 kg)	011698 79110 1

ภาคผนวก จ  
บทความวิชาการ

# การศึกษาโปรแกรม LabVIEW สำหรับพลังงานแสงอาทิตย์

## LabVIEW For Modern Solar Energy System

ศิริวัฒน์ โลหิตไทย<sup>1</sup> ศุภกิตติ์ ชินกิจรัตนวานิช<sup>2</sup> และ สัจจะ สวัสดิ์ตระกูล<sup>3</sup>

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

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

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาการใช้โปรแกรม LabVIEW ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ในระบบพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม ร่วมกับอุปกรณ์ DAQ เพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางไฟฟ้าอื่น ๆ โดยออกแบบให้มีการตรวจจับสัญญาณแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และพารามิเตอร์เฉพาะของแต่ละระบบ เช่น ความเข้มแสงอาทิตย์ ความเร็วลม ทิศทางลม อุณหภูมิ และความชื้น เป็นต้น โดยโปรแกรม LabVIEW จะวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางไฟฟ้าอื่น ๆ นอกเหนือจากที่รับเข้ามา ได้แก่ ค่ากำลังไฟฟ้า ค่ามุมต่างเฟส ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของสัญญาณ เป็นต้น และจะตรวจการเกิดความผิดปกติของสัญญาณ รวมถึงการบันทึกและการอ่านข้อมูลสัญญาณทางไฟฟ้า โดยผลที่ได้จากการวัดและวิเคราะห์จากโปรแกรม LabVIEW มีค่าใกล้เคียงกับผลจากการวัดด้วยเครื่องมือวัดอ้างอิง

### คำสำคัญ:

### Abstract

This paper studies the use of LabVIEW program to analyze an electrical parameter in solar energy system and wind system. The LabVIEW program with DAQ is used to analyze electrical parameters such as voltage, current, temperature, etc This LabVIEW project is designed to detect the voltage signal, the current signal and specific parameters of the systems such as solar irradiation, wind speed, wind direction, temperature and relative humidity, etc. These parameters will be sent to LabVIEW via DAQ to analyze other electrical parameters such as the electrical power, the phase shift, the electrical energy, the %THD; to detect 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.

### 1. บทนำ

สำหรับการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆของระบบจริง โดยทั่วไปนั้นใช้เครื่องมือวัดซึ่งเครื่องมือมีราคาสูงและเมื่อความคิดปกติ

เกิดขึ้นในระบบเครื่องมือเหล่านี้ไม่สามารถบอกได้ว่าเกิดอะไรขึ้นกับระบบ และไม่สามารถบอกได้ว่าเป็นความผิดปกติชนิดใด อีกทั้งยังไม่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

จากเหตุผลข้างต้นจึงเป็นที่มาที่กลุ่มวิจัยมีความคิดที่จะนำโปรแกรม LabVIEW มาออกแบบเครื่องมือวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าต่างๆที่จำเป็นต่อการใช้งานของระบบพลังงานแสงอาทิตย์จากระยะไกล พร้อมทั้งนำข้อมูลเหล่านั้นมาวิเคราะห์ว่ามีความผิดปกติใดๆหรือไม่และแก้ไขปัญหาในกรณีที่มีความผิดปกติเกิดขึ้นในระบบรวมถึงการออกแบบเครื่องมือให้มีความสะดวกในการใช้งานและสามารถบันทึกข้อมูลต่างๆข้างต้นเก็บไว้เป็นสถิติต่อไปได้อีกด้วย

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

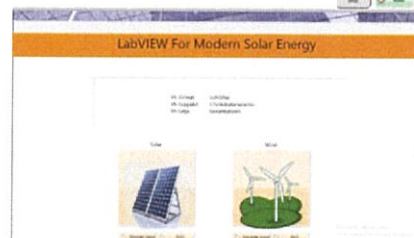
### 2.1 คุณภาพกำลังไฟฟ้าและพารามิเตอร์คุณลักษณะทางไฟฟ้า

คุณภาพกำลังไฟฟ้า คือ คุณลักษณะกระแสแรงดัน และความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าในสภาวะปกติไม่ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้ามีการทำงานผิดพลาดหรือเกิดการเสียหาย

พารามิเตอร์คุณลักษณะทางไฟฟ้าที่เกี่ยวข้อง เช่น แรงดัน กระเบื้อง ไฟกะพริบ แรงดันไม่สมดุล แรงดันตก แรงดันเกิน ฮาร์มอนิก และการแปรเปลี่ยนความถี่กำลังไฟฟ้า เป็นต้น

### 2.2 โปรแกรม LabVIEW

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



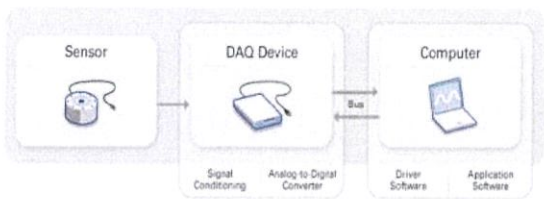
รูปที่ 1 Front Panel



รูปที่ 2 Block Diagram

2.3 DAQ

คืออุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับ สัญญาณภายนอกทั้งในรูปแบบอนาล็อกและดิจิทัล ดังรูปที่ 3 โดย DAQ จะมีพอร์ตการเชื่อมต่อหลายช่องทาง

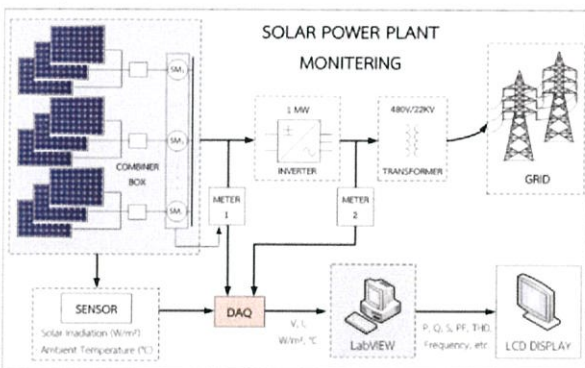


รูปที่ 3 ระบบ DAQ บนคอมพิวเตอร์

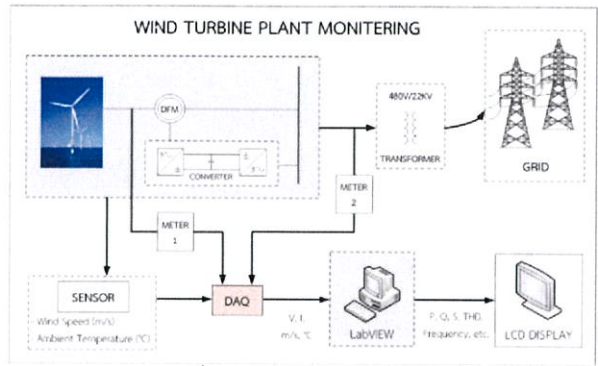
3. การออกแบบโปรแกรม LabVIEW

3.1 แนวคิดหลักที่ใช้ในการออกแบบโปรแกรม

โครงการนี้ต้องการทราบสิ่งที่จะนำมาวิเคราะห์ระบบพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม และเนื่องจากต้องการวัดค่าพารามิเตอร์จริง จึงใช้เซ็นเซอร์ต่างๆในการตรวจวัดพารามิเตอร์เฉพาะของแต่ละระบบ จากนั้นจะนำค่าที่รับมาจากเซ็นเซอร์ ส่งเข้าไปแสดงผลและวิเคราะห์ใน โปรแกรมแลปวิว ภาพรวมจุดที่จะทำการรับค่าพารามิเตอร์ในระบบ พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม เป็นดังรูปที่ 4 และ 5 ตามลำดับ



รูปที่ 4 ภาพรวมของระบบพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 5 ภาพรวมของระบบพลังงานลม

3.2 พารามิเตอร์ที่ต้องคำนวณในโปรแกรม

เนื่องจากการใช้ชุดเครื่องมือวัดนี้ จะรับค่ากระแสและแรงดันเข้ามา ดังนั้นพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่เหลือจึงต้องใช้แลปวิวคำนวณหาจากค่าพื้นฐานทั้งสองค่า ดังนี้

$$S = V_{rms} I_{rms} \tag{1}$$

$$P = V_{rms} I_{rms} \cos \theta \tag{2}$$

$$Q = V_{rms} I_{rms} \sin \theta \tag{3}$$

$$\text{Power Factor (P.F.)} = \frac{P}{S} \tag{4}$$

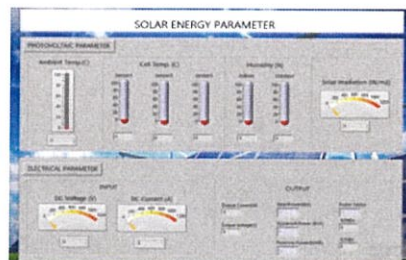
$$\%THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_{1,rms}} \times 100\% \tag{5}$$

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

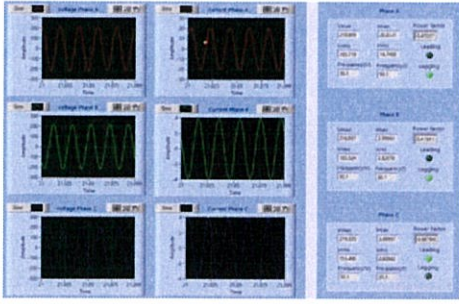
สำหรับระบบไฟฟ้ากระแสสลับจะออกแบบให้แลปวิวใช้ สมการที่ 1-6 นี้ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของไฟ AC

3.3 การออกแบบโปรแกรม

ในส่วนของการออกแบบโปรแกรมนั้นจะเป็นการออกแบบ สำหรับการรับพารามิเตอร์จริงจากระบบที่จะพิจารณาผ่าน DAQ แล้วมา แสดงผลยังโปรแกรมแลปวิว



รูปที่ 6 การรับค่าพารามิเตอร์จริงในระบบแสงอาทิตย์

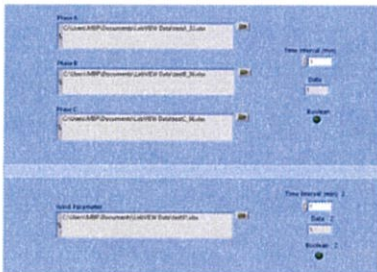


รูปที่ 7 การแสดงค่าพารามิเตอร์ในระบบไฟฟ้า

รูปที่ 6 เป็นหน้าจอแสดงผลจากการรับค่าพารามิเตอร์จริงในระบบพลังงานแสงอาทิตย์ และรูปที่ 7 เป็นการค่าพารามิเตอร์ในระบบไฟฟ้าซึ่งพารามิเตอร์ที่นำมาแสดงนั้นคือการออกแบบให้โปรแกรมแลปวิวดึงค่าที่รับเข้ามาจากภายนอก ในที่นี้คือ กระแสและแรงดัน จากนั้นนำไปคำนวณ เช่น ค่ากำลังไฟฟ้า หรือวิเคราะห์ฮาร์มอนิก และแสดงผลออกมาในลักษณะเรียลไทม์

3.4 การบันทึกข้อมูล

การบันทึกข้อมูลแบ่งเป็นการบันทึกข้อมูลโดยกำหนดระยะเวลาที่ต้องการบันทึกซึ่งจะแสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 การบันทึกข้อมูลของสัญญาณ

3.5 การออกแบบการแสดงผลเตือนเมื่อเกิดความผิดปกติ

การแสดงผลการเตือนเมื่อเกิดความผิดปกตินั้นจะให้แสดงข้อมูลของ วัน เวลา และลักษณะความผิดปกติที่เกิดขึ้นในแถบแสดงสถานะ และจะแสดงไฟเตือนขึ้นที่แถบหน้าจอหลัก การออกแบบเป็นดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 การออกแบบการแสดงผลเตือนเมื่อเกิดความผิดปกติ

3.6 การวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในระบบ

การวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ประกอบด้วย การวัดแรงดัน ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้า ในโปรแกรมจะมีการวัดทั้งระบบไฟฟ้ากระแสสลับและไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งจะใช้อุปกรณ์ในการแปลงแรงดันและกระแสที่แตกต่างกัน เพื่อนำไปจ่ายเข้า DAQ ซึ่งสามารถรับแรงดันได้ไม่เกิน ±10V

4. ผลการทดลอง

4.1 การทดสอบความถูกต้องของชุดเครื่องมือวัด

ทำการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมแลปวิวดึงค่าจากชุดอุปกรณ์หม้อแปลงกระแส หม้อแปลงแรงดัน และวงจรป้องกันแรงดันเกิน โดยหม้อแปลงกระแสและหม้อแปลงแรงดันจะประกอบไปด้วยแกนเหล็กและขดลวดจำนวนมาก ทำให้เกิดการสูญเสียที่ขดลวดอันเนื่องมาจากกระแสไหลวน ถ้านำชุดเครื่องมือวัดไปใช้โดยไม่ได้แก้ค่าก่อนจะทำให้ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่ตรวจจับได้มีความคลาดเคลื่อนไปจากค่าจริงดังนั้นจึงต้องมีการทดสอบเพื่อหาค่าแก้ไขแก่อุปกรณ์ทุกตัวก่อนการใช้งานจริง



รูปที่ 9 การทดสอบเพื่อหาค่าแก้ไขแก่ชุดอุปกรณ์

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 มาเปรียบเทียบกับตารางที่ 1

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	2x10 <sup>6</sup> S/s
3.ควบคุมระยะไกล	ทำได้	ไม่ได้	ไม่ได้
4.การบันทึกข้อมูลอย่างต่อเนื่อง	ทำได้ (ขึ้นกับความจุ)	ทำไม่ได้	ทำไม่ได้
5.การบันทึกข้อมูลกรณีเกิดความคิดพร้อมทางไฟฟ้า	ทำได้	ทำไม่ได้	ทำไม่ได้
6.ความยืดหยุ่นในการใช้งาน	ไม่จำกัด	จำกัด	จำกัด
7.ค่าความแม่นยำในการวัด	แม่นยำ	แม่นยำสูง	แม่นยำสูง

หมายเหตุ : สำหรับ DAQ และ LabVIEW คิดราคาเฉพาะอุปกรณ์ DAQ และลิขสิทธิ์โปรแกรม

## 5. สรุปผล

ชุดอุปกรณ์วัดที่ออกแบบนั้นสามารถเก็บข้อมูลจริง โดยส่งข้อมูลผ่าน DAQ และนำไปวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ในคอมพิวเตอร์ได้ตรงกับค่าที่วัดผ่านทางอุปกรณ์วัดจริง

จุดเด่นของชุดอุปกรณ์คือ มีความสามารถเหนือกว่าออสซิลโลสโคปและเก็บค่าพารามิเตอร์ได้หลากหลายกว่า สามารถวัดและวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อเทียบราคากับประสิทธิภาพแล้วจะเห็นว่ามีความคุ้มค่ากว่าอุปกรณ์จริงที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทฉบับนี้ สำเร็จลงได้อย่างดีด้วยคำปรึกษา คำแนะนำรวมถึงการตรวจสอบและแก้ไขปริญญาโทจนเสร็จสมบูรณ์จาก ผศ.ดร.เชาว์ ชมภูอินทร์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ขอขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูงและขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ ในศูนย์วิจัยพลังงานและวิศวกรรม การสองสว่างที่ให้ความรู้และคำแนะนำในการทำโครงการครั้งนี้ ตลอดจนช่วยเหลือในการทำปริญญาโทจนสำเร็จได้ด้วยดี

## เอกสารอ้างอิง

- [1] IEEE Std 1159-2009, IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, June 2009
- [2] National Instruments Corporation, "What Is Data Acquisition?". Retrieved from <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/>.
- [3] กิจไพบูลย์ ชิวพันธ์ศรี. (2557) "LabVIEW ซอฟต์แวร์เพื่อการพัฒนากระบวนการวัดและควบคุม". กรุงเทพมหานคร : บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จากัด(มหาชน).



นายศิริวัฒน์ โลहितไทย เกิดวันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2537  
Tel. 082-362-9751  
E-mail : Gigab4ll@gmail.com



นายศุกกิตต์ ชินกิจรัตนวานิช เกิดวันที่ 4 ธันวาคม 2536  
Tel. 088-387-8635  
E-mail : Suppakit@hotmail.com



นายสังจະ สวัสดิ์ตระกูล เกิดวันที่ 15 สิงหาคม 2537  
Tel. 087-720-1972  
E-mail : Jemmy.Sawattrakoon@gmail.com

ภาคผนวก ฉ  
โปสเตอร์



PW-08

# LabVIEW for Modern Solar Energy System

Siriwat Lohitthai, Suppakit Chinkitratnavanis and Satja Sawattrakoon  
Advisor: Asst. Prof. Chow Chompoo-Inwai, Ph.D.

Department of Electrical Engineering

E-mail: suppakit02@hotmail.com, jemmy.sawattrakoon@gmail.com

## Abstract

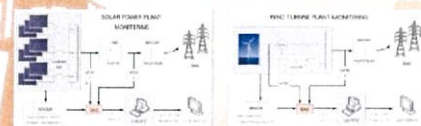
This paper studies the use of LabVIEW program to analyze an electrical parameter in solar energy system and wind system. The LabVIEW program with DAQ is used to analyze electrical parameters, which Data acquisition (DAQ) is used in the process of measuring electrical parameters such as voltage, current, temperature, etc. A DAQ system consists of a computer with programmable software, DAQ measurement hardware, and sensors such as current sensor, solar irradiation sensor, anemometer, potentiometer, NTC thermistor and humidity sensor. This LabVIEW project is designed to detect the voltage signal, the current signal and specific parameters of the systems such as solar irradiation, wind speed, wind direction, temperature, relative humidity, etc. These parameters will be sent to LabVIEW via DAQ to analyze other electrical parameters such as the electrical power, the phase shift, the electrical energy, the %THD, to detect fault in the signal and to record the signal. The result in testing for solar and wind parameter is as accurate as using referenced measuring instrument.

## Introduction

In general, the measurement and analysis of electrical parameters for solar system or wind system may use traditional measuring instruments such as voltmeter and ammeter, but these traditional instruments have high cost and are unable to display faults in the signal. So, we have designed measuring instrument kits to detect the electrical signals, which the designed instrument kits can measure, analyze and record data for solar system and wind system. Moreover, it can also record data in both waveform graph and numeric data which consist of voltage, current, frequency, real power, reactive power, apparent power, power factor, harmonic distortion.

## Methodology

The measuring process consists of two parts: First, the solar system measurement used sensors i.e. solar irradiation sensor, NTC thermistor. Wind system used anemometer, NTC thermistor, etc. The meter one and meter two in each systems will receive parameters such as voltage, current and frequency. Second, both of these systems send parameters to LabVIEW program via DAQ to analyze for the other electrical parameters such as the electrical power, the phase shift, the electrical energy, the %THD, etc. The data is recorded in excel file format, which is shown in the waveform graph. This designed LabVIEW program can detect and record a fault in the signal. Moreover, it is designed to alert when a fault is detected.



The program that we have designed is shown as a picture.



## Results

### - Accuracy Testing and Validating

The reliability and accuracy validation includes the test of current transformers, potential transformers and overvoltage protection. The CTs and PTs consist of core and coils that can cause eddy current losses, so the calibration is needed before the practical use.

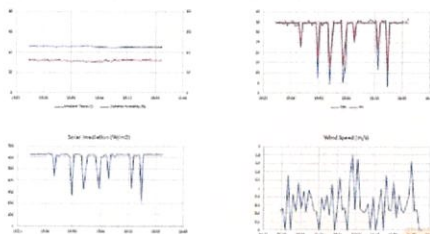
### - Results from measuring in Linear load and Non-Linear load

After the calibration for the designed LabVIEW program. The results are shown as below table.

Parameter	Linear Load						Non-Linear Load					
	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 1	Phase 2	Phase 3
Current	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
Voltage	230.00	230.00	230.00	230.00	230.00	230.00	230.00	230.00	230.00	230.00	230.00	230.00
Power	46000	46000	46000	46000	46000	46000	46000	46000	46000	46000	46000	46000
Power Factor	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999
THD	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Frequency	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000

### - Results from measuring in renewable energy systems

The electrical solar energy and wind energy parameters are measured again for verification and the results assured that the calibration is done correctly and the program can measure effectively.



## Conclusion

In summary, the designed measuring instrument can record and send real-time data to LabVIEW via DAQ to analyze parameters. The result is as accurate as using referenced measuring instrument. The advantage for this designed measuring kit is its ability that is better than oscilloscope, its capability of recording various parameters and effective analysis.

## References

- [1] IEEE Std 1159-2009, IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, June 2009.
- [2] Energy regulatory commission(ERC) : search from <http://www.erc.or.th/ERCWeb2/FrontStaticPage.aspx?p=111&>
- [3] Electricity generating Authority of thailand <http://www.egat.co.th/re/solarcell/solarcell.htm>
- [4] Kitpaiboon Chewapansri, (2557) "LabVIEW Software for developing measurement and control system". Bangkok: SE-EDUCATION Public Company Limited.
- [5] National Instruments Corporation. "What Is Data Acquisition?". Retrieved from <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/>

## ประวัติผู้เขียน



นายศิริวัฒน์ โลहितไทย เกิดวันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2537

Tel. 082-362-9751

E-mail : Gigab4ll@gmail.com



นายศุภกิตติ ชินกิจรัตนวนิช เกิดวันที่ 4 ธันวาคม 2536

Tel. 088-387-8635

E-mail : Suppakit@hotmail.com



นายสัจจะ สวัสดิ์ตระกูล เกิดวันที่ 15 สิงหาคม 2537

Tel. 087-720-1972

E-mail : Jemmy.Sawattrakoon@gmail.com