

ระบบการวัดและวิเคราะห์พลังงานทดแทนแบบชาญฉลาด

SMART RENEWABLE ENERGY MONITORING SYSTEM



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

ระบบการวัดและวิเคราะห์พลังงานทดแทนแบบชาญฉลาด

SMART RENEWABLE ENERGY MONITORING SYSTEM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงนี้ ปีการศึกษา 2556

# SMART RENEWABLE ENERGY MONITORING SYSTEM



THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT  
FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING

เอกสารนี้เป็น DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING นี้ FACULTY OF ENGINEERING นี้ ด้านการค้ำ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG นี้ การนำไปใช้

ปีการศึกษา 2556

ระบบการวัดและวิเคราะห์พลังงานทดแทนแบบชาญฉลาด

SMART RENEWABLE ENERGY MONITORING SYSTEM



อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. เซาว์ ชมภูอินไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบการวัดและวิเคราะห์พลังงานทดแทนแบบชาญฉลาด

ผู้จัดทำ



1. นาย ธีรธัญ วชิรคกุล
2. นาย ธนพจน์ เอกพิสิฐเมธี
3. นาย ประมาณ สิงห์เรือง
4. นาย วิทวัส กลิ่นหอม

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

( ผศ.ดร. เซาว์ ชมภูอินไหว )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ระบบการวัดและวิเคราะห์พลังงานทดแทนแบบชาญฉลาด

นาย อนุรักษ์ วชิรกุล

นาย ธนพจน์ เอกพิสิฐเมธี

นาย ประมาณ สิงห์เรือง

นาย วิทวัส กลิ่นหอม

ผศ.ดร. เซาว์ ชมภูอินไหว อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2556

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างระบบเครื่องมือวัดและวิเคราะห์พลังงานทดแทน ในด้านพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ โดยจะออกแบบให้มีการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คือ ความเร็วลม ทิศทางลม ความเข้มแสงอาทิตย์ อุณหภูมิและความชื้น รวมถึงค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า เช่น แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าจากแหล่งที่มีการติดตั้งพลังงานทดแทนด้านพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบเครื่องมือวัดนี้ได้มีการออกแบบให้ตรวจวัดโดยใช้เครื่องมือตรวจจับสัญญาณ หรือเซ็นเซอร์ ทำงานร่วมกับคอมพิวเตอร์และประยุกต์ใช้ด้วยโปรแกรม LabVIEW ซึ่งเป็นโปรแกรมที่นิยมใช้ในด้านระบบการวัดและควบคุมทางด้านวิศวกรรม ข้อมูลหรือค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ตรวจวัดได้จะถูกนำมาแสดงผลผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ และสามารถบันทึกผลได้ตลอดทุกช่วงเวลาที่ทำกรตรวจวัด ทำให้มีประโยชน์ต่อการนำข้อมูลไปวิเคราะห์เพื่อประกอบการพิจารณาหาพื้นที่ที่เหมาะสมในการผลิตแหล่งพลังงานทดแทนใหม่ๆ ระบบเครื่องมือวัดนี้ยังสามารถขยายฟังก์ชันการใช้งานเพื่อให้มีการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ได้หลากหลายมากขึ้น สามารถพัฒนาเพื่อใช้ในการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้ากับทุกแหล่งผลิตพลังงานทดแทนได้ในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## SMART RENEWABLE ENERGY MONITORING SYSTEM

Mr. NUTTUN VACHIRUKKUN

Mr. THANAPOJ AKPISITMETI

Mr. PRAMAN SINGRUEANG

Mr. WITTAWAT KLINHOM

Asst.Prof.Dr.Chow Chompoo-inwai Advisor

YEAR 2013

### ABSTRACT

This thesis presents a design and construction of measuring and analytic instrument for wind and solar energy. The design was built to measure parameter such as wind velocity, wind direction, solar intensity, temperature and humidity including electrical parameter such as voltage, current and power from solar energy installing place. These systems was design to measure by using signal detection device or sensor, working with computer and apply with LabVIEW program that is worldwide program in measurement and control in engineer. All measuring parameter and data output can keep for all period of time and were shown in monitor. The result is useful to analyst for considering and finding properly place to produce a new alternative energy source. Finally this system can be expandable function for measuring more parameter and develop to measure electrical parameter of all alternative energy source.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากผู้จัดทำได้รับความร่วมมือและความช่วยเหลือเป็นอย่างดีมาโดยตลอด จากหลายๆ ฝ่าย

คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ผศ.ดร.เชาว์ ชมภูอินโหว ที่ปรึกษาปริญญาโทฉบับนี้ ที่คอยดูแล ช่วยเหลือ และให้คำแนะนำ ซึ่งช่องทางให้ผู้จัดทำโครงการสามารถทำโครงการจนสำเร็จได้ด้วยดี ด้วยการให้ข้อมูลความรู้ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการ และการค้นคว้าหาข้อมูลเพื่อจัดทำโครงการโดยมิเห็นแก่ความเหน็ดเหนื่อย รวมถึงตรวจสอบและแก้ไขปริญญาโทฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ พี่เจตน์ มังกรอัสวกุล พี่สุทธิพงศ์ บุญทากลาง และพี่ๆ ในศูนย์วิจัยพลังงานและวิศวกรรมการส่องสว่างที่ให้ความรู้ คำแนะนำและเป็นที่ปรึกษาในเรื่องการทำงานโครงการได้เป็นอย่างดี ช่วยดูแลตลอดระยะเวลาที่ทำโครงการและเล่มปริญญาโทจนประสบความสำเร็จ และขอบคุณเพื่อนที่คอยช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน และคอยให้กำลังใจในการทำโครงการเสมอ จนประสบความสำเร็จได้

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ในศูนย์วิจัยพลังงานและวิศวกรรมส่องสว่าง ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์ในสถานที่ในการทำโครงการ และเครื่องมือการทำงานตั้งแต่แรกจนโครงการประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และผู้มีพระคุณทุกท่านที่ได้กล่าวถึงในที่นี่ ที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจในการทำงานเสมอมา

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ .....	I
ABSTRACT .....	II
กิตติกรรมประกาศ .....	III
สารบัญ .....	IV
สารบัญรูป .....	VII
สารบัญตาราง .....	IX

บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ .....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ .....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน .....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ .....	3

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง .....	4
2.1 ความเร็วลม .....	4
2.1.1 ค่าความเร็วลมเฉลี่ย (Average wind speed) .....	4
2.1.2 การวัดความเร็วลม .....	5
2.1.3 เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer) .....	6
2.1.3.1 เครื่องวัดความเร็วลมแบบแผ่นกระดก .....	6
2.1.3.2 เครื่องวัดความเร็วลมแบบลูกถ้วย .....	6
2.1.3.3 เครื่องวัดความเร็วลมแบบใช้ใบพัด (Aero vane) .....	7
2.1.4 เครื่องวัดทิศทางลมหรือศรลม (Wind vane) .....	7
2.2 แหล่งพลังงานจากดวงอาทิตย์ .....	8
2.2.1 การแผ่รังสีมายังโลก .....	9
2.2.2 พลังงานแสงอาทิตย์จากการตรวจวัด .....	10
2.2.3 รังสีตรงและรังสีกระจาย .....	10
2.2.4 การวัดปริมาณแสงแดด .....	11
2.3 อุณหภูมิและความชื้น .....	11
2.3.1 การวัดอุณหภูมิ (Temperature measurement) .....	11
2.3.2 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (Temperature sensor) .....	12
2.3.3 ความชื้นในบรรยากาศ .....	17
2.3.4 เซนเซอร์วัดค่าความชื้น (Humidity Sensor) .....	17
2.3.4.1 เซนเซอร์วัดความชื้นแบบคาปาซิทีฟ (Capacitive Humidity Sensor) .....	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือใช้เพื่อการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลเป็นข้อดี และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.4.2 เซ็นเซอร์ความชื้นแบบปริซีสตีฟ (Resistive Humidity Sensor) .....	18
2.3.4.3 เซ็นเซอร์ความชื้นแบบ Thermal Conductivity .....	20
2.4 โปรแกรม LabVIEW.....	21
2.4.1 ส่วนประกอบของโปรแกรม LabVIEW .....	22
2.5 อุปกรณ์ Data Acquisition (DAQ).....	24
2.5.1 ภาพรวมของระบบ DAQ บนคอมพิวเตอร์ .....	24
2.5.2 แหล่งสัญญาณทางไฟฟ้า .....	25
2.5.3 การปรับคุณภาพสัญญาณ (Signal conditioning).....	25
2.5.4 ประเภทของระบบการวัดสัญญาณ .....	26
<b>บทที่ 3 การออกแบบการทดลอง .....</b>	<b>28</b>
3.1 ออกแบบหน้า Front Panel .....	29
3.1.1 หน้าจอหลักการแสดงผล.....	29
3.1.2 หน้าจอการแสดงผลสภาพอากาศ.....	29
3.1.3 หน้าจอแสดงผลการบันทึก .....	30
3.2 การออกแบบบนหน้า Block Diagram .....	31
3.2.1 การวัดความเร็วและทิศทางการลม.....	31
3.2.1.1 การวัดความเร็วลม.....	31
3.2.1.2 การวัดทิศทางลม.....	32
3.2.2 การวัดอุณหภูมิและความชื้น .....	34
3.2.2.1 การวัดอุณหภูมิ.....	34
3.2.2.2 การวัดความชื้น .....	35
3.2.3 การวัดพลังงานแสงอาทิตย์.....	36
3.2.4 การวัดพลังงานไฟฟ้า.....	37
3.2.4.1 วัดค่ากระแสไฟฟ้า.....	38
3.2.4.2 วัดค่าแรงดันไฟฟ้า.....	38
3.2.4.3 วัดค่ากำลังไฟฟ้า และค่าพลังงานไฟฟ้า.....	38
<b>บทที่ 4 การทดลองและการเก็บข้อมูล .....</b>	<b>41</b>
4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง .....	41
4.2 การทดลอง.....	42
4.2.1 การเตรียมอุปกรณ์ตรวจวัด.....	42
4.2.1.1 อุปกรณ์ตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ทางสภาพอากาศ.....	43
4.2.1.2 อุปกรณ์ตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า.....	44
4.2.2 การตั้งค่าพอร์ตรับสัญญาณบนโปรแกรม LabVIEW.....	44

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.3 การแสดงผลการวัดและบันทึกข้อมูล.....	45
4.2.3.1 การแสดงผลการวัด.....	46
4.2.3.2 การบันทึกผล.....	48
4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	49
4.3.1 ความเร็วลมและทิศทางลม.....	49
4.3.2 อุณหภูมิและความชื้น.....	50
4.3.3 กำลังไฟฟ้า และSolar Radiation.....	51
4.4 สรุปผลการทดลองใช้งานในสถานที่จริง.....	51
<b>บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>52</b>
5.1 สรุปผล.....	52
5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไขปัญหา.....	52
5.3 ข้อเสนอแนะของการทำโครงการ.....	53
5.4 การนำไปประยุกต์ใช้จริง.....	53
5.5 การศึกษาต่อในอนาคต.....	53
<b>เอกสารอ้างอิง.....</b>	<b>54</b>
<b>ภาคผนวก.....</b>	<b>56</b>
ภาคผนวก ก ตารางข้อมูลที่บันทึกได้.....	57
ภาคผนวก ข คุณลักษณะเฉพาะของ NI-DAQ USB6212.....	65
ภาคผนวก ค คุณลักษณะเฉพาะของ Anemometer & Wind vanes.....	72
ภาคผนวก ง คุณลักษณะเฉพาะของ Thermistor.....	75
ภาคผนวก จ คุณลักษณะเฉพาะของ Humidity sensor.....	82
ภาคผนวก ฉ คุณลักษณะเฉพาะของ Solar radiation sensor.....	91
ภาคผนวก ช คุณลักษณะเฉพาะของ Current sensor.....	94
ภาคผนวก ซ บทความทางวิชาการ.....	106
<b>ประวัติผู้เขียน.....</b>	<b>111</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ตัวอย่างเครื่องวัดความเร็วลมแบบลูกถ้วย .....	6
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างเครื่องวัดความเร็วลมแบบใช้ใบพัด .....	7
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างเครื่องวัดทิศทางลมหรือศรลม .....	7
รูปที่ 2.4 Sun diagram shows structure and electromagnetic radiation. ....	8
รูปที่ 2.5 AM0 and AM1.5 Energy distribution .....	9
รูปที่ 2.6 Direct and Diffuse Radiation .....	11
รูปที่ 2.8 การเปรียบเทียบสเกลของหน่วยวัดอุณหภูมิต่างๆ .....	12
รูปที่ 2.9 วงจรของ Thermistor และเอาท์พุท .....	13
รูปที่ 2.10 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิแบบ Thermistor .....	13
รูปที่ 2.11 Resistance-Temperature Curve for a 100 $\Omega$ Platinum RTD, $\alpha = 0.00385$ .....	14
รูปที่ 2.12 องค์ประกอบลักษณะฟิล์ม .....	14
รูปที่ 2.13 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิแบบ RTD .....	15
รูปที่ 2.14 การต่อวงจรเซ็นเซอร์เทอร์โมคัปเปิล.....	16
รูปที่ 2.15 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิชนิด Thermocouple .....	16
รูปที่ 2.16 เซ็นเซอร์วัดความชื้นแบบคาปาซิทีฟ.....	17
รูปที่ 2.17 การตอบสนองเชิงเส้นของค่าคาปาซิแตนซ์กับค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น ที่อุณหภูมิ 25°C .....	18
รูปที่ 2.18 เซ็นเซอร์วัดความชื้นแบบปริซิซิทีฟ .....	18
รูปที่ 2.19 การตอบสนองแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลของคาร์ชีสแตนซ์กับค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น ที่อุณหภูมิ 25°C .....	20
รูปที่ 2.20 เซ็นเซอร์วัดความชื้นแบบ Thermal Conductivity .....	20
รูปที่ 2.21 สัญญาณเอาท์พุทเป็นผลมาจากอุณหภูมิของการทำงาน .....	21
รูปที่ 2.22 ลักษณะของหน้า Front Panel.....	22
รูปที่ 2.23 ลักษณะของหน้า Block Diagram .....	23
รูปที่ 2.24 Icon และ Connector ตามลำดับ .....	23
รูปที่ 2.25 ลักษณะของอุปกรณ์ Data Acquisition(DAQ) .....	24
รูปที่ 2.26 ระบบการทำงานของอุปกรณ์ DAQ บนคอมพิวเตอร์.....	24
รูปที่ 2.27 แหล่งสัญญาณแบบต่อกราวด์และแบบไม่ต่อกราวด์ ตามลำดับ .....	25
รูปที่ 2.28 การวัดสัญญาณแบบ Differential.....	26
รูปที่ 2.29 การวัดสัญญาณแบบ Referenced Single-Ended .....	27
รูปที่ 2.30 การวัดสัญญาณแบบ Non-Referenced Single-Ended .....	27
รูปที่ 3.1 กระบวนการทำงานของระบบ.....	28
รูปที่ 3.2 หน้าจอหลักการแสดงผลสัญญาณที่ลอจิสติกส์ของหน่วยนั้น ไม่ลบเวลาให้มันไปใช้ประโยชน์ในการค้า	29
รูปที่ 3.3 หน้าจอแสดงผลสภาพอากาศ.....	30

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.4 หน้าจอแสดงผลการบันทึก.....	30
รูปที่ 3.5 วงจรภายใน Anemometer.....	31
รูปที่ 3.6 สัญญาณที่ออกจาก Anemometer.....	31
รูปที่ 3.7 หน้า Block Diagram ในการวัดความเร็วลมของโปรแกรม LabVIEW.....	32
รูปที่ 3.8 วงจรตรวจวัดทิศทางลม.....	32
รูปที่ 3.9 หน้า Block Diagram ในการวัดทิศทางลมของโปรแกรม LabVIEW.....	33
รูปที่ 3.10 วงจร Voltage Divider เพื่อทำการวัดค่าความต้านทานจาก Thermistor.....	34
รูปที่ 3.11 ลักษณะของ Capacitive Humidity Sensor.....	35
รูปที่ 3.12 หน้า Block Diagram ของการวัดอุณหภูมิและความชื้นบนโปรแกรม LabVIEW โดยใช้ Thermistor และ Humidity sensor เป็นตัวรับสัญญาณ.....	36
รูปที่ 3.13 วงจรการทำงานของ Pyranometer.....	36
รูปที่ 3.14 หน้า Block Diagram ของการวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์ด้วย Solar radiation sensor.....	37
รูปที่ 3.15 Current sensor.....	37
รูปที่ 3.16 วงจรการวัดค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า.....	38
รูปที่ 3.17 หน้า Block Diagram ในการวัดกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า.....	39
รูปที่ 3.18 หน้า Block Diagram ในส่วนของการแสดงผลบนตารางและการเก็บบันทึกข้อมูล.....	39
รูปที่ 3.19 ลักษณะของไฟล์ข้อมูลที่บันทึกได้.....	40
รูปที่ 3.20 หน้า Block Diagram ทั้งหมดในการทำเครื่องมือวัดและบันทึก.....	40
รูปที่ 4.1 ไตอะแกรมการทดลอง.....	41
รูปที่ 4.2 ขั้นตอนการทดลอง.....	42
รูปที่ 4.3 อุปกรณ์ตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ทางสภาพอากาศ.....	43
รูปที่ 4.4 อุปกรณ์ตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า.....	43
รูปที่ 4.5 การทดลองใช้งานและวัดผลในสถานที่จริง.....	44
รูปที่ 4.6 การตั้งค่ารับพอร์ตรับสัญญาณของอุปกรณ์ DAQ.....	45
รูปที่ 4.7 หน้าจอหลักแสดงผลการวัด.....	46
รูปที่ 4.8 หน้าจอแสดงผลการวัดอุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม ทิศทางลมและ ค่าพลังงานแสงอาทิตย์.....	47
รูปที่ 4.9 หน้าจอแสดงผลตารางค่าที่บันทึกได้และกราฟ.....	48
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงผลการวัดความเร็วลมตลอด 24 ชั่วโมง.....	49
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงผลการวัดของอุณหภูมิและความชื้น.....	50
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงผลการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์และค่าพลังงานที่วัดได้จากแผง Solar Cell.....	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 การวางแผนจัดลำดับขั้นตอนของการดำเนินงาน.....	2
ตารางที่ 2.1 ค่าความเร็วลมใน 1 ชั่วโมง เก็บค่าทุก 10 นาที.....	5
ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยต่างๆที่ใช้ในการวัดความเร็วลม .....	6
ตารางที่ 2.3 ข้อมูลของดวงอาทิตย์.....	8
ตารางที่ 2.4 ส่วนประกอบของโปรแกรม LabVIEW.....	23



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากการพัฒนาระบบเศรษฐกิจและระบบสาธารณสุขของประเทศเพื่อความเป็นอยู่ที่ดีขึ้นของประชาชนในปัจจุบัน ทำให้มีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น จึงจำเป็นต้องมีการสำรวจหาแหล่งพลังงานใหม่หรือหาแหล่งพลังงานทดแทนที่มีอยู่ตามธรรมชาติเพื่อนำมารองรับกับการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้น ในการลงทุนสร้างโรงไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนนั้นเพื่อความคุ้มค่าในการลงทุนต้องมีการวัดและวิเคราะห์ผลปริมาณทางธรรมชาติที่นำมาผลิตไฟฟ้า เช่น ความเข้มของแสงแดดและความเร็วลม ดังนั้นจึงต้องมีเครื่องมือที่ตรวจวัดที่สามารถตอบสนองการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ

อุปกรณ์และเครื่องมือวัดในปัจจุบันนั้นเป็นอุปกรณ์แบบสำเร็จรูป ทำให้มีข้อจำกัดในการใช้งานบางกรณีและมีราคาค่อนข้างสูง ทำให้มีความต้องการใช้อุปกรณ์ที่สามารถตรวจวัดข้อมูลได้หลากหลายประเภทภายในเครื่องเดียว และสามารถแก้ไขฟังก์ชันการทำงานได้ตลอดเวลาและสามารถเก็บบันทึกข้อมูลได้เป็นจำนวนมากในการใช้งานเป็นระยะเวลานาน

อุปกรณ์ตรวจวัดที่ถูกออกแบบขึ้น จะทำการวัดและแสดงผลค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ความเร็วลม ทิศทางลม ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ อุณหภูมิ ความชื้น และพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ซึ่ง จะทำการแสดงผลแบบเรียลไทม์ ผ่านทางหน้าจอที่ได้ออกแบบไว้และโปรแกรมจะทำการบันทึกค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้เป็นค่าเฉลี่ยทุกๆ คาบเวลาที่กำหนดจากหน้าโปรแกรม เพื่อนำค่าที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ ซึ่งโปรแกรมที่นำมาใช้ในการประมวลผลคือโปรแกรม LabVIEW ซึ่งจะทำการรับสัญญาณมาจากอุปกรณ์ DAQ

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 ศึกษาการใช้งานและการทำงานของโปรแกรม LabVIEW และอุปกรณ์ DAQ
- 1.2.2 ออกแบบโปรแกรมสำหรับการวัดและเก็บข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่างๆ
- 1.2.3 สร้างเครื่องมือวัด บันทึก และวิเคราะห์ผลด้านพลังงานทดแทนและสภาพอากาศ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม อุณหภูมิ และความชื้น เป็นต้น
- 1.2.4 เก็บข้อมูลทางกายภาพของอากาศ เช่น ความเร็วลม ทิศทางลม อุณหภูมิ ความชื้น พลังงานแสงอาทิตย์และการจ่ายโหลดของแผง solar cell เพื่อบันทึกเป็นข้อมูลทางสถิติไว้เพื่อการศึกษาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

ภาคเรียนที่ 1 ทำการศึกษาการใช้งานโปรแกรม LabVIEW ศึกษาเครื่องมือตรวจจับ (sensor) ทั้งหมดที่นำมาใช้ในการทำโครงการ เขียนโปรแกรมและต่อเครื่องมือตรวจจับ (sensor) ความเร็วและทิศทางการหมุน ทำการทดลองและบันทึกค่าความเร็วและทิศทางการหมุน

ภาคเรียนที่ 2 เขียนโปรแกรมและต่อเครื่องมือตรวจจับ(sensor)ทุกชนิดได้แก่ ความเร็วและทิศทางการหมุน ความเข้มของแสงแดด อุณหภูมิ ความชื้น แรงดันและกระแสของแผง solar cell ทำการทดลองและบันทึกค่าข้อมูลทั้งหมด นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์

### 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.4.1 ขั้นตอนการดำเนินงานจะเริ่มต้นจากการศึกษาหลักการทำงานโปรแกรม LabVIEW และอุปกรณ์ DAQ และศึกษาหลักการการทำงานของเครื่องมือตรวจจับ (sensor) ชนิดต่างๆที่จะนำมาใช้ในการสร้างเครื่องมือวัด

1.4.2 ออกแบบโปรแกรมที่จะใช้สำหรับวิเคราะห์ประมวลผลสัญญาณที่รับมาจากเครื่องมือตรวจจับ(sensor)ผ่านอุปกรณ์ DAQ โดยใช้โปรแกรม LabVIEW

1.4.3 วิเคราะห์ข้อมูลที่จัดเก็บมาได้เช่น ความเร็วลม ความเข้มแสงแดด อุณหภูมิ และความชื้น เพื่อวิเคราะห์ในด้านความเป็นไปได้ในการผลิตพลังงานทดแทน

#### ตารางที่ 1.1 การวางแผนจัดลำดับขั้นตอนของการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	พ.ศ.2556							พ.ศ.2557		
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1) ศึกษาการเขียนโปรแกรม LabVIEW และออกแบบ UI ของโปรแกรม LabVIEW	←————→									
2) ศึกษาการทำงานของ sensor ชนิดต่างๆและทดสอบ sensor บางชนิด	←————→									
3) ทดสอบการแสดงผลของ sensor บางชนิด กับโปรแกรม LabVIEW ที่ได้ทำการออกแบบ			←————→							
4) ทดสอบการแสดงผลของ sensor ทุกชนิด กับโปรแกรม LabVIEW ที่ได้ทำการออกแบบ					←————→					
5) สรุปและจัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์							←————→			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

1.5.1 ได้ได้รับความรู้จากการศึกษาการใช้งานโปรแกรม LabVIEW สามารถนำไปใช้งานได้จริง และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอนาคตได้

1.5.2 สามารถสร้างเครื่องมือวัดที่สามารถวัดค่าแบบ Real-time และทำการบันทึกข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์ในภายหลังได้

1.5.3 สามารถสร้างเครื่องมือวัดได้หลากหลาย โดยไม่ต้องเปลี่ยนอุปกรณ์รับส่งข้อมูล เพียงเปลี่ยนเครื่องมือตรวจจับ(sensor) ที่รับสัญญาณเท่านั้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงการนี้ เป็นการศึกษาการใช้พลังงานที่มีตามธรรมชาติ มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งพลังงานที่มีอยู่ตามธรรมชาตินั้น ประกอบด้วย พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น สภาพอากาศก็เป็นปัจจัยหนึ่งมีผลกระทบต่อการผลิตพลังงาน เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม ความเข้มแสงอาทิตย์ เป็นต้น ดังนั้นในบทนี้จึงทำการศึกษาข้อมูลที่เป็นจำเป็นต่อการออกแบบแนวทางในการสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดเพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ที่ถูกต้อง มาทำการศึกษาต่อไป ซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ทำการศึกษามีดังนี้

### 2.1 ความเร็วลม

ทฤษฎีที่ใช้ในการหาความเร็วลมเพื่อใช้ประกอบการพิจารณาการสร้างเครื่องมือวัด และการออกแบบติดตั้งเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากลม ซึ่งการหาค่าความเร็วต้องใช้เครื่องวัดความเร็วลมที่มีชื่อว่า Anemometer และ เครื่องวัดทิศทางลมหรือศรลม (Wind vane) ซึ่งมีหลายแบบหลายลักษณะ และค่าความเร็วลมที่วัดได้นั้นมีผลต่อกำลังงานที่ได้จากพลังงานลม โดยหน่วยที่ใช้ในการวัดความเร็วลมส่วนใหญ่จะเป็นหน่วย เมตรต่อวินาที(m/s)

#### 2.1.1 ค่าความเร็วลมเฉลี่ย (Average wind speed)

ค่าความเร็วลมเฉลี่ย (Average wind speed) เป็นข้อมูลที่สำคัญในการที่จะพิจารณาสถานที่ติดตั้งกังหันลม ซึ่งการหาค่าเฉลี่ยความเร็วลม ( $V_m$ ) อย่างง่ายจะมีสมการคือ

$$V_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i \quad (2.1)$$

และค่ากำลังงานจากลมหาได้โดย

$$P_v = \frac{1}{2} P_a V^3 \quad (2.2)$$

เมื่อ  $V$  คือ ค่าความเร็วลม (m/s)

$n$  คือ จำนวนข้อมูลความเร็วลม

$P_v$  คือ ค่ากำลังงานลม ( $W/m^2$ )

$P_a$  คือ ค่าความหนาแน่นของอากาศ ( $kg/m^3$ )

อย่างไรก็ตามการหาค่าความเร็วลมเฉลี่ยตามสมการ (2.1) นั้นมีความถูกต้องค่อนข้างน้อย เช่น ตารางที่ 2.1 ข้อมูลความเร็วลมใน 1 ชั่วโมงเก็บค่าทุก 10 นาที จากสมการที่ (2.1) ค่าความเร็วเฉลี่ยจะเท่ากับ 6.45 m/s และกำหนดให้ค่าความหนาแน่นของอากาศ (Air density) เท่ากับ 1.24  $kg/m^3$  ถ้าหากใช้วิธีค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่หาได้จากสมการที่ (2.1) สามารถหาค่ากำลัง

งานเฉลี่ยจะได้เท่ากับ  $166.37 \text{ W/m}^2$  ในขณะที่ถ้าทำการวิเคราะห์ข้อมูลในแต่ละช่วง 10 นาทีแล้วนำค่ามารวมกันทั้ง 6 ค่า จะได้ค่ากำลังงานเฉลี่ยได้เท่ากับ  $207 \text{ W/m}^2$  ซึ่งการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สมการที่ (2.1) จะได้ผลที่มีค่าต่ำกว่าค่าจริงประมาณ 20%

ตารางที่ 2.1 ค่าความเร็วลมใน 1 ชั่วโมง เก็บค่าทุก 10 นาที

Time (นาที)	V(m/s)	$V^3$	P ( $\text{W/m}^3$ )
10	4.3	79.51	49.29
20	4.7	103.82	64.37
30	8.3	571.79	354.51
40	6.2	238.33	147.76
50	5.9	205.38	127.33
60	9.3	804.36	498.70

ดังนั้นการหาค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่เหมาะสมจะเปลี่ยนมาใช้ในการพิจารณาความเร็วลมเฉลี่ยในเชิงปริมาตรดังนี้

$$V_m = \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i^3 \right) \quad (2.3)$$

ซึ่งถ้าหากเราใช้สมการที่ (1.3) ในการพิจารณาหาค่าความเร็วลมเฉลี่ยในตัวอย่างตามตารางที่ 1 ค่าความเร็วเฉลี่ยที่ได้จะเท่ากับ  $6.94 \text{ m/s}$  และค่ากำลังงานเฉลี่ยได้เท่ากับ  $207 \text{ W/m}^2$  ดังนั้นในการหาค่าความเร็วลมจึงควรใช้สมการที่ (1.3) จะได้ค่าที่แม่นยำกว่า

### 2.1.2 การวัดความเร็วลม

เนื่องจากการรายงานความเร็วลมเพื่อการพยากรณ์อากาศนั้นใช้เป็นนอต ดังนั้นเครื่องวัดความเร็วลม จึงควรแบ่งสเกลเป็นนอตด้วย สำหรับรายงานเพื่อการพยากรณ์อากาศต้องการค่าของความเร็วลมผิวพื้นเฉลี่ยในช่วง 10 นาที ก่อนการตรวจ หรือ ระหว่างที่ลมมีความเร็ว 5 นอต และต้องอ่านให้ได้ค่าใกล้เคียงนอตที่สุดถ้าลมมีความเร็วน้อยกว่า 1 นอต ให้รายงานว่า “ลมสงบ” ค่าของความเร็วลมนั้นจะมีหน่วยที่ใช้วัดซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายหน่วยดังนี้

1. นอต (หรือไมล์ทะเลต่อชั่วโมง)
2. เมตรต่อวินาที
3. กิโลเมตรต่อชั่วโมง
4. ไมล์ต่อชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 5. **ผู้ต่อวินาที** ารใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยต่างๆที่ใช้ในการวัดความเร็วลม

นอต (Knot.)	เมตรต่อวินาที (m/sec)	ไมล์ต่อชั่วโมง (mph)	กิโลเมตรต่อชั่วโมง (km/h)	ฟุตต่อวินาที (ft./sec)
1	0.515	1.152	1.853	1.689
1.943	1	2.237	3.6	3.281
0.868	0.447	1	1.609	1.467
0.54	0.287	0.622	1	0.911
0.592	0.305	0.682	1.097	1

### 2.1.3 เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer)

ใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Anemometer เครื่องวัดความเร็วลมจะต้องรายงานค่าที่ตรวจได้ในระยะไกล คือจะต้องเดินสายจากเครื่องวัดมาแสดงผลยังจอมอนิเตอร์ ณ ห้องทำการที่อยู่ห่างออกไป และเครื่องมือวัดจะต้องวัดลมกระโชกได้ด้วย ดังนั้นเครื่องวัดจะต้องมีความไวสูง ซึ่งเครื่องวัดความเร็วที่ใช้โดยส่วนใหญ่มีดังนี้

**2.1.3.1 เครื่องวัดความเร็วลมแบบแผ่นกระดาษ** เครื่องวัดความเร็วลมแบบแผ่นกระดาษเป็นแบบที่ง่ายที่สุด แต่มีความถูกต้องแม่นยำพอประมาณทำจากไม้ หรือโลหะ ทำเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมติดอยู่บนยอดเขา สามารถหมุนไปตามทิศทางลม เมื่อมีลมมาปะทะแผ่นสี่เหลี่ยมก็จะกระดกขึ้นตามความแรงของลมที่มาปะทะโดยจะสเกลและเข็มชี้ค่าบนสเกล

**2.1.3.2 เครื่องวัดความเร็วลมแบบลูกถ้วย** เครื่องวัดแบบนี้ใช้การหมุนของลูกถ้วย ซึ่งเป็นลูกถ้วยครึ่งทรงกลม หรือครึ่งทรงกรวย เป็นแบบลูกถ้วย 3 ใบและ 4 ใบ โดยอาศัยลมที่มาปะทะลูกถ้วยทำให้แกนของลูกถ้วยหมุน และส่งสัญญาณจำนวนรอบมาให้เครื่องคำนวณเป็นค่าความเร็วลมอีกทีหนึ่ง



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างเครื่องวัดความเร็วลมแบบลูกถ้วย [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3.3 เครื่องวัดความเร็วลมแบบใช้ใบพัด (Aero vane) เครื่องวัดแบบนี้จะมีเครื่องวัดความเร็วลม และทิศทางลมในตัวเดียวกัน มีรูปร่างลักษณะคล้ายเครื่องบิน ที่ส่วนหัวจะมีใบพัดสำหรับวัดความเร็วลม สำหรับส่วนที่เป็นลำคล้ายเครื่องบินจะทำหน้าที่เป็นครลมใช้สำหรับวัดทิศทางลม โดยมีหลักการการทำงาน คือเมื่อมีลมมาปะทะกับเครื่องวัด ส่วนที่เป็นใบพัดก็จะหมุนแล้วส่งสัญญาณออกมาและแสดงผลค่าความเร็วลม และในขณะเดียวกันตัวเครื่องวัดก็จะหันไปตามทิศทางลมดังกล่าวและส่งสัญญาณออกมาเพื่อแสดงผลเป็นทิศทางต่างๆ



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างเครื่องวัดความเร็วลมแบบใช้ใบพัด [12]

#### 2.1.4 เครื่องวัดทิศทางลมหรือครลม (Wind vane)

ครลมเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจทิศทางลม โดยจะมีลักษณะเป็นลูกศรที่หางมีแผ่นรับลม เมื่อลมพัดมาปะทะหางลูกศรก็จะเกิดแรงผลักดันทำให้หัวลูกศรชี้ไปในทิศทางที่ลมพัดมา ครลมนั้นมีหลายแบบแต่โดยทั่วไปแล้ว จะมีลักษณะปลายครแหลม หรือรูปทรงกระบอก ส่วนหางครมีรูปร่างคล้ายหางปลาบ้าง หางเครื่องบินบ้าง หางครมีหน้าที่บังคับให้หัวครลมหันรับลมตลอดเวลา เลี้ยวให้อยู่นิ่งถึงบางครั้งจะเปลี่ยนทิศอย่างรวดเร็ว แต่ครลมก็จะหมุนรับและชี้ทิศลมได้ทันที

ทิศทางลมนั้นถือเอาลมที่พัดเข้าสถานีเป็นเกณฑ์ โดยใช้วัดเป็นองศาตามเข็มนาฬิกา โดยใช้ทิศทางเหนือจริงของสถานีเป็นหลัก คือ นับจาก 0 จนถึง 360 องศา ซึ่งทิศเริ่มต้นจะขึ้นอยู่กับ การติดตั้งเครื่องวัด

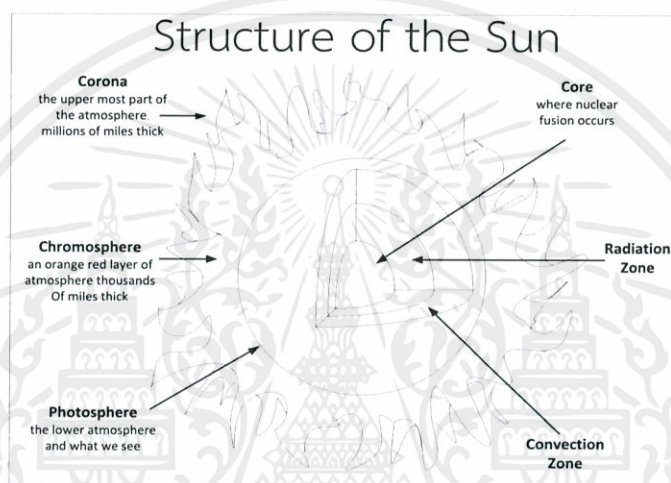


รูปที่ 2.3 ตัวอย่างเครื่องวัดทิศทางลมหรือครลม [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 แหล่งพลังงานจากดวงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์เป็นก้อนก๊าซอุณหภูมิสูงมาก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.4 ล้านกิโลเมตร อุณหภูมิใจกลางสูงกว่า 15 ล้านเคลวิน อุณหภูมิที่สูงมากและความกดอากาศสูงกว่าบนพื้นโลก 70 พันล้านเท่าทำให้เกิดสภาวะเหมาะสมกับการเกิดปฏิกิริยาฟิวชัน (fusion reaction) โดยที่อะตอมน้ำหนักเบาคือไฮโดรเจนได้หลอมรวมกันเป็นฮีเลียมพร้อมกับปลดปล่อยพลังงานมหาศาลออกมา พลังงานส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีพลังงานสูงมากคือรังสีแกมมา เมื่อรังสีแกมมาแผ่กระจายออกจากใจกลางดวงอาทิตย์ก็จะชนกับธาตุต่างๆ ทำให้พลังงานลดลง กลายมาเป็นแสงที่ตามองเห็นและรังสีความร้อน ประมาณกันว่าดวงอาทิตย์ได้แผ่รังสีลักษณะนี้เป็นเวลามากกว่า 5 พันล้านปี และคาดว่าจะเป็นอย่างนี้ไปอีกหลายพันล้านปี



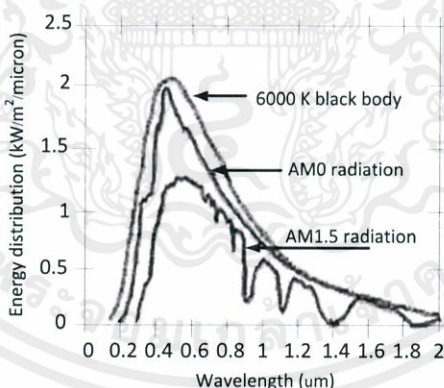
รูปที่ 2.4 Sun diagram shows structure and electromagnetic radiation. [15]

## ตารางที่ 2.3 ข้อมูลของดวงอาทิตย์

ตัวเลขที่น่าสนใจของดวงอาทิตย์	องค์ประกอบทางเคมีของดวงอาทิตย์
Mass (kg) $1.989 \times 10^{30}$	Hydrogen 92.1%
Mass (Earth = 1) 332,830	Helium 7.8%
Equatorial radius (km) 695,000	Oxygen 0.061%
Equatorial radius (Earth = 1) 108.97	Carbon 0.030%
Mean density ( $\text{g}_m/\text{cm}^3$ ) 1.410	Nitrogen 0.0084%
Rotational period (days) 25-36*	Neon 0.0076%
Escape velocity (km/sec) 618.02	Iron 0.0037%
Luminosity (ergs/sec) $3.827 \times 10^{33}$	Silicon 0.0031%
Magnitude ( $V_o$ ) -26.8	Magnesium 0.0024%
Mean surface temperature $6,000^\circ\text{C}$	Sulfur 0.0015%
Age (billion years) 4.5	All others 0.0015%

### 2.2.1 การแผ่รังสีมายังโลก

ประมาณ 99% ของพลังงานรังสีจากดวงอาทิตย์ จะอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 150-4,000 นาโนเมตร ซึ่งพลังงานรังสีจากดวงอาทิตย์นี้ 9% จะอยู่ในย่าน UV, 45% จะอยู่ในช่วงแสงที่ตามองเห็น (Visible Light) และ 46% อยู่ในช่วงอินฟราเรด (IR) ของแถบสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ด้วยเหตุนี้เองรังสีจากดวงอาทิตย์บางครั้งเราก็เรียกว่ารังสีคลื่นสั้น (Short-Wave radiation) ปริมาณแสงแดดในอวกาศวัดได้มีค่าคงที่เรียกว่า solar constant มีค่าเท่ากับ  $1365 \text{ W/m}^2$  โดยเฉลี่ยแล้ว รังสีคลื่นสั้นจากดวงอาทิตย์ที่เข้ามาถึงโลกจะถูกดูดกลืนโดยพื้นผิวโลกประมาณ 43% ที่เหลือก็เสียไปกับกระบวนการต่างๆ ในบรรยากาศได้แก่ absorption, reflection และ scattering รังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV) จากดวงอาทิตย์ ส่วนมากจะถูกดูดกลืนด้วย  $\text{O}_3$  ในบรรยากาศ ชั้นสตราโตสเฟียร์ส่วนไอน้ำนั้นจัดเป็นแก๊สเพียงตัวเดียวที่ดูดกลืนรังสีที่ตามองเห็นไว้เป็นปริมาณที่มาก ส่วนเมฆและฝุ่นก็ดูดกลืนรังสีที่ตามองเห็นเช่นกัน ปริมาณที่ดูดกลืนจะแตกต่างกันแล้วแต่ว่าจะมีอะไรมากกว่า ในสภาวะที่มีเมฆมาก รังสีจากดวงอาทิตย์ส่วนใหญ่จะถูกสะท้อนจากตอบนของเมฆกลับสู่อวกาศ บางส่วนก็อาจจะมาถึงโลกและสะท้อนกลับไป รังสีจากดวงอาทิตย์อาจถูกกระเจิง (Scattered) ออกไปทุกทิศทุกทางโดยก๊าซหรืออนุภาคในบรรยากาศ บางส่วนของรังสีที่ถูกกระเจิงจะออกสู่อวกาศ อีกส่วนหนึ่งก็จะกลับมายังผิวโลก รังสีจากดวงอาทิตย์ที่ไม่ได้เข้ามาถึงผิวโลกโดยตรง เราจะเรียกว่า "Sky Radiation" ดังนั้น รังสีจากดวงอาทิตย์รวมทั้งหมดที่เข้ามาถึงผิวโลก (Global Solar Radiation) จะประกอบด้วย รังสีที่เข้ามาโดยตรง และ SKY RADIATION ปริมาณการกระจายของค่าความยาวคลื่นต่างๆ ที่ใกล้โลกที่สุดแต่ยังไม่แผ่เข้ามาชั้นบรรยากาศเรียกว่า สเปกตรัมมวลอากาศศูนย์ หรือ AM0 (Air Mass Zero) สังเกตว่าสเปกตรัมจะใกล้เคียงกับการแผ่รังสีของวัตถุดำที่มีอุณหภูมิ 6000K



รูปที่ 2.5 AM0 and AM1.5 Energy distribution [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแสงแดดเคลื่อนที่มาถึงพื้นโลก บางความคลื่นจะถูกดูดกลืนหายไป เมื่อดวงอาทิตย์อยู่กลางศีรษะ ส่องตรงลงมาค่าปริมาณการกระจายของค่าความยาวคลื่นต่างๆจะเรียกว่า สเปกตรัมมวลอากาศหนึ่ง หรือ AM1 แต่เมื่อตำแหน่งดวงอาทิตย์อยู่ในระดับต่ำค่าปริมาณการกระจายของค่าความยาวคลื่นต่างๆ ก็จะแปรเปลี่ยนไป ในการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์จะเลือกใช้ สเปกตรัมมวลอากาศหนึ่งจุดห้า หรือ AM1.5 ซึ่งจะมีค่าวัดจากตำแหน่งของดวงอาทิตย์ทำมุม 45 องศา กับแนวราบ

### 2.2.2 พลังงานแสงอาทิตย์จากการตรวจวัด

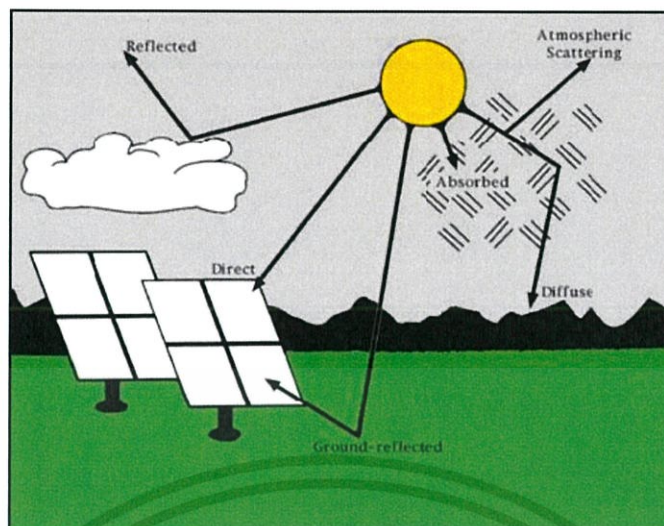
กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ได้ดำเนินโครงการพัฒนาเครือข่าย สถานีวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สำหรับประเทศไทย เมื่อปี พ.ศ. 2543 เพื่อให้ได้รับข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่มีความละเอียดถูกต้อง และสามารถตอบสนองต่อความต้องการในด้านการวิจัย พัฒนาและประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการสำรวจตรวจวัดได้แก่ เครื่องมือวัดความเข้มแสงอาทิตย์ เป็นการวัดรังสีรวมของความเข้มแสงอาทิตย์ เครื่องมือที่ใช้เรียกว่า ไพราโนมิเตอร์ (Pyranometer) ซึ่งปัจจุบันที่กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานใช้วัดมี 2 ชนิด คือ

1. ไพราโนมิเตอร์ ที่ใช้ Thermomechanical Sensor หรือแบบBimetallic ซึ่งมี sensor เป็นแถบโลหะ 2 แถบ โดยแถบหนึ่งเป็นสีขาว และอีกแถบหนึ่งเป็นสีดำ เมื่อรังสีดวงอาทิตย์ ตกกระทบแถบสีดำจะดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ และขยายตัวได้มากกว่าแถบสีขาว แรงที่เกิดจากการขยายตัวดังกล่าว จะไปขับเคลื่อนหัวปากกาให้บันทึกข้อมูลเป็นลายเส้นลงบนกระดาษกราฟ ซึ่งพันติดรอบกระบอกกลมที่มีการขับเคลื่อนด้วยระบบโซลารัน หรือ ระบบนาฬิกาใช้แบตเตอรี่
2. ไพราโนมิเตอร์ ที่ใช้ Thermoelectric Sensor หรือแบบ Thermopile ซึ่งมี sensor ทำด้วยโลหะ 2 ชนิด ซึ่งเชื่อมปลายทั้งสองติดกันโดยปลายข้างหนึ่งทำหน้าที่เป็น hot junction และอีกข้างหนึ่งเป็น cold junction เมื่อ hot junction ถูกรังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบจะทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของ junction ทั้งสอง และ ก่อให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า (electromotive force) ขึ้นในวงจรที่ประกอบด้วยโลหะทั้งสองจากแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นสามารถนำไปคำนวณหาความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบได้

### 2.2.3 รังสีตรงและรังสีกระจาย

รังสีแสงแดดที่ส่องลงบนพื้นโลกแบ่งได้เป็นสองส่วนคือ รังสีตรง (Direct Radiation) และรังสีกระจาย (Diffuse Radiation) รังสีตรงจะส่องลงบนพื้นโลกโดยไม่ถูกบดบังด้วยสิ่งกีดขวางใดๆ เราสังเกตได้ง่ายคือรังสีตรงจะทำให้เกิดเงาที่ชัดเจนเมื่อมีวัตถุบดบัง ส่วนรังสีกระจายจะกระเจิงจากการวิ่งชนกับวัตถุบดบังต่างๆ เช่นเมฆ สารเคมีในชั้น บรรยากาศ ตัวอย่างที่เห็นชัดเจนคือในวันที่ท้องฟ้ามีเมฆทั่วท้องฟ้า ลักษณะของแสงแดดจะเหมือนกับเกิดจากแสงวิ่งผ่านกระจกฝ้า ปริมาณรวมของรังสีแสงแดดจึงเท่ากับผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 Direct and Diffuse Radiation [9]

#### 2.2.4 การวัดปริมาณแสงแดด

ปริมาณแสงแดดที่ส่องลงบนพื้นโลกในแต่ละวันเรียกว่า Insolation ซึ่งเป็นคำย่อของ In-coming Solar Radiation หน่วยที่ใช้วัดคือ  $W/m^2$  เราใช้ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer) ทำหน้าที่เป็นเซ็นเซอร์วัดปริมาณแสงแดด ไพรานอมิเตอร์จะมีแผ่นรับแสงแดดเป็นวัสดุสีดำ ซึ่งจะทำให้หน้าที่ดูดกลืนช่วงความยาวคลื่นของแสงตั้งแต่ 305nm ถึง 2800nm การดูดกลืนดังกล่าวจะทำให้อุณหภูมิของแผ่นรับแสงร้อนขึ้น อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะวัดโดยเทอร์โมไพล (เทอร์โมคัปเปิลเปิดต่อ อนุกรมกันหลายคู่) สัญญาณเอาท์พุทจากไพรานอมิเตอร์จะเป็นศักย์ดา EMF ในระดับไมโครโวลท์

#### 2.3 อุณหภูมิและความชื้น

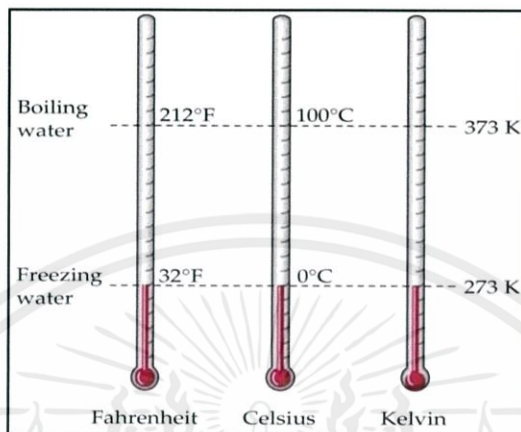
การวัดอุณหภูมิและความชื้นเป็นการวัดระดับปริมาณความร้อนโดยรอบและความชื้นบรรยากาศ อุปกรณ์ที่ใช้วัดอุณหภูมิมียหลายชนิด เช่น Thermistor ตัวตรวจจับอุณหภูมิด้วยความต้านทาน (Resistance Temperature Detectors: RTD) เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ส่วนในการวัดความชื้น ใช้ Humidity Sensor ในการวัดค่าความชื้นและที่ใช้กันอยู่ในอุตสาหกรรมมีอยู่ด้วยกัน 3 ชนิด คือ Capacitive, Thermal Conductivity และ Resistive การเลือกใช้งานต้องพิจารณาตามความเหมาะสมที่ใช้ในการวัด

##### 2.3.1 การวัดอุณหภูมิ (Temperature measurement)

อุณหภูมินับเป็นค่าการวัดพื้นฐานหรือพารามิเตอร์ตัวหนึ่งที่ต้องทำการวัดค่า เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ตามความต้องการ คำว่า อุณหภูมิ (Temperature) และความร้อน (Heat) มีความหมายใกล้เคียงกันมาก แต่อุณหภูมิจะหมายถึงระดับของความร้อน (Degree of Heat) คือ อุณหภูมิเป็นตัวแทนของความร้อน ส่วนความร้อนหมายถึง ปริมาณพลังงานความร้อน (Quantity of Heat Energy) งานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## หน่วยวัดอุณหภูมิ (Temperature Scale unit)

- 1) องศาฟาเรนไฮต์
- 2) องศาเซลเซียส
- 3) เคลวิน



รูปที่ 2.8 การเปรียบเทียบสเกลของหน่วยวัดอุณหภูมิต่างๆ [16]

หรือ แสดงสมการในการแปลงหน่วยวัดอุณหภูมิได้ดังนี้

$$\frac{C}{100} = \frac{K - 273}{100} = \frac{F - 32}{180} \quad (2.4)$$

### 2.3.2 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (Temperature sensor)

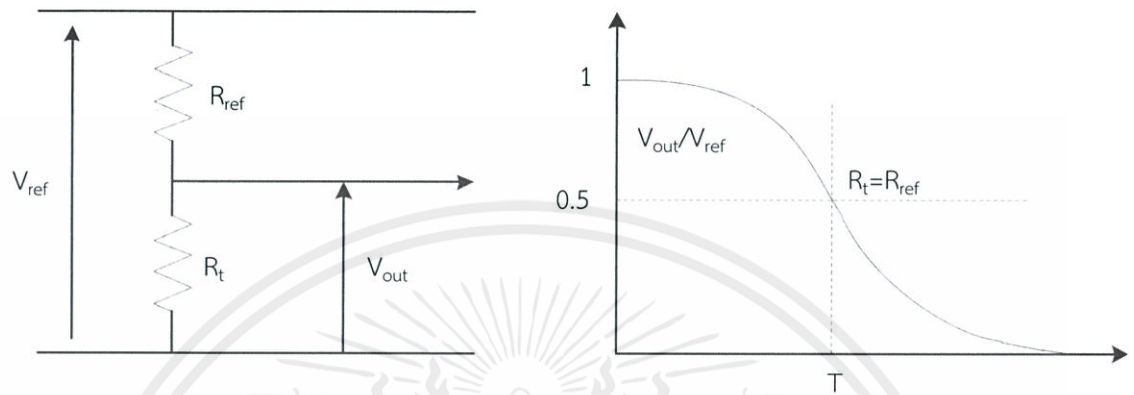
1) Thermistor เป็นอุปกรณ์ความต้านทานชนิดที่สามารถเปลี่ยนค่าความต้านทานเมื่อได้รับความร้อน โดยที่ค่าความต้านทานจะเปลี่ยนแปลงแบบไม่เป็นเชิงเส้น กับอุณหภูมิ แบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ

Positive Temperature Comital (PTC) เป็นชนิดที่ปกติจะมีค่าความต้านทานต่ำเมื่อได้รับความร้อนจะทำให้มีค่าความต้านทานสูงขึ้นตามลำดับอุณหภูมิ นำไปใช้ตรวจสอบระดับความร้อน หรือทำให้เกิดความร้อนขึ้นเพื่อควบคุมการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับขดลวด เช่น วงจรล้างสนามแม่เหล็กออตโนมัตของเครื่องรับโทรทัศน์ (Degaussing coil) เป็นต้น

Negative Temperature Comital (NTC) เป็นชนิดที่ปกติจะมีความต้านทานสูงเมื่อได้รับความร้อน ค่าความต้านทานจะต่ำลง ใช้งานด้านการตรวจสอบความร้อนเพื่อควบคุมระดับการทำงาน เช่น ในวงจรขยายเสียงที่ดีใช้ตรวจจับความร้อนที่เกิดจากการทำงานแล้วป้อนกลับไปลดการทำงานของวงจรให้น้อยลง เพื่ออุปกรณ์หลักจะไม่เกิดความร้อนมากเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความต้านทานภายในมีความไวต่อการวัดอุณหภูมิอย่างมาก ซึ่งข้อดีของ thermistor คือ สัญญาณกว้าง ไม่ต้องการการอ้างอิง แต่ข้อเสียคือค่าที่ได้ไม่ถูกต้องหรือแน่นอน ซึ่งค่าความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับความต้านทานคือ  $1/T = A + B \ln(R) + C(\ln(R))^3$  ซึ่งเป็นความสัมพันธ์แบบไม่เชิงเส้น โดยจะเพิ่ม thermistor ลงไปในวงจรดังรูป



รูปที่ 2.9 วงจรของ Thermistor และเอาต์พุต [18]

จากวงจรดังรูป การวัดจะได้ผลที่ดี ถ้า  $R_t$  มีค่าอยู่ในย่านใกล้เคียงกับ  $R_{ref}$  และจะค่อยๆ แยก สำหรับ  $R$  ที่มีค่าห่างออกไป ดังนั้นโดยปกติในการใช้งานจึงมักจะเซตให้วงจร มีการตอบสนองค่าที่อยู่ในช่วงกลางๆ การหาค่าที่แท้จริงที่วัดได้ ซึ่งต้องแปลงมาจากปริมาณทางไฟฟ้าเป็นเรื่องที่ยุ่งยาก เพราะต้องมีการวัดและเปรียบเทียบมากมาย เพื่อการหา table look-up โดยทั่วไปเทอร์มิสเตอร์มักจะไม่ได้ถูกออกแบบมา เพื่อให้สเปคสามารถแทนกันได้โดยสมบูรณ์ ดังนั้นในการใช้งานเทอร์มิสเตอร์แต่ละตัวจึงต้องทำการวัดเพื่อหารายละเอียดเปรียบเทียบค่าตัวต่อตัว อย่างไรก็ตาม ยังมีเทอร์มิสเตอร์เฉพาะบางแบบ ที่ถูกออกแบบมาให้สามารถแทนกันได้ ทำให้การใช้งานสะดวกขึ้นมาก

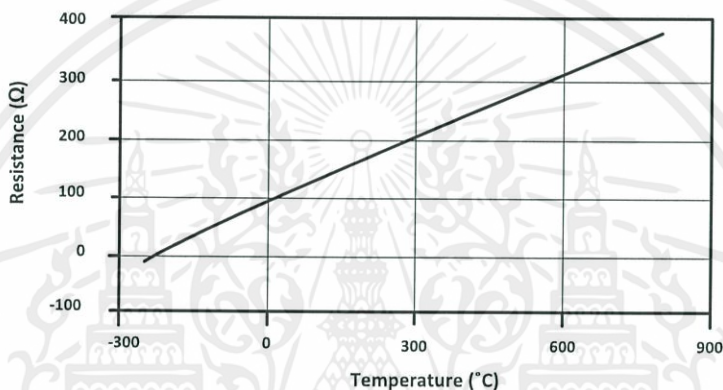
รูปที่ 2.10 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิแบบ Thermistor [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ตัวตรวจจับสนุณหภูมิด้วยความต้านทาน(Resistance Temperature Detectors: RTD)

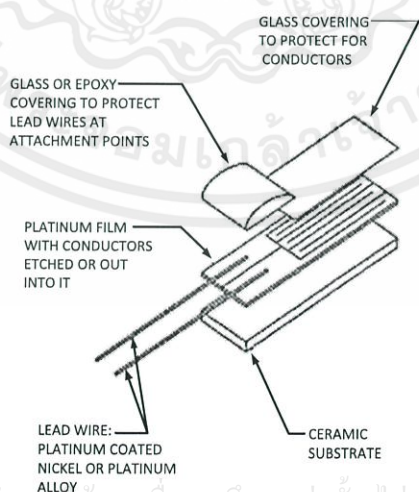
RTD คือ ตัวเซ็นเซอร์อุณหภูมิที่ใช้หลักการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของโลหะ ซึ่งค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะมีค่าเพิ่มตามอุณหภูมิ ความต้านทานของโลหะที่เพิ่มขึ้นนี้ เรียกว่า “สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบบบวก”(Positive Temperature Coefficient ; PTC) นิยมนำไปใช้ในการวัดอุณหภูมิในช่วง -270 to 850 °C โลหะที่มีความต้านทานจำเพาะต่ำ มักจะถูกนำมาใช้เป็นวัสดุ RTD โดยปกติ RTD สามารถแบ่งออกได้ตามวัสดุที่ใช้ทำดังต่อไปนี้

2.1) แพลทินัม นิยมใช้งานมากที่สุด มีราคาแพงมากเมื่อเทียบกับโลหะนิกเกิล ซึ่งมี Sensitivity มาก และราคาถูกกว่า



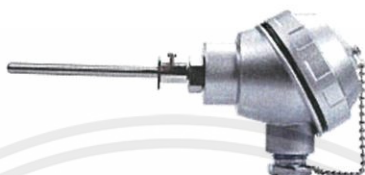
รูปที่ 2.11 Resistance-Temperature Curve for a 100 Ω Platinum RTD, a = 0.00385 [20]

2.2) ทังสแตน มีค่าความต้านทานจำเพาะสัมพัทธ์สูง มักจะใช้กับการวัดอุณหภูมิที่มีค่าสูง ที่อุณหภูมิปกติจะมีความเปราะและยากต่อการใช้งาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้รูปที่ 2.12 องค์ประกอบลักษณะฟิล์ม [11] เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3) นิกเกิล ใช้กับย่านวัดอุณหภูมิสูง ๆ มีความเป็นเชิงเส้นต่ำ นอกจากนี้ยังมีวัสดุโลหะชนิดอื่น ๆ ที่ใช้ทำตัวเซนเซอร์อุณหภูมิ เช่น เหล็ก ทองคาว ใน การวัดอุณหภูมิด้วยอุปกรณ์ RTD ต้องใช้ แหล่งจ่าย (current source) จากภายนอกอาจทำให้เกิดความร้อนในอุปกรณ์ เนื่องจากเป็นตัวต้านทานตัวหนึ่ง (แต่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ) จึงเกิดความร้อนซึ่งกลายเป็นพลังงานที่สูญเสียโดยตัวมันเองเป็นค่า  $I^2R$  ทำให้เกิด ความผิดพลาดในการวัดอุณหภูมิ



รูปที่ 2.13 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิแบบ RTD [19]

#### ข้อดีของการใช้เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิแบบ RTD

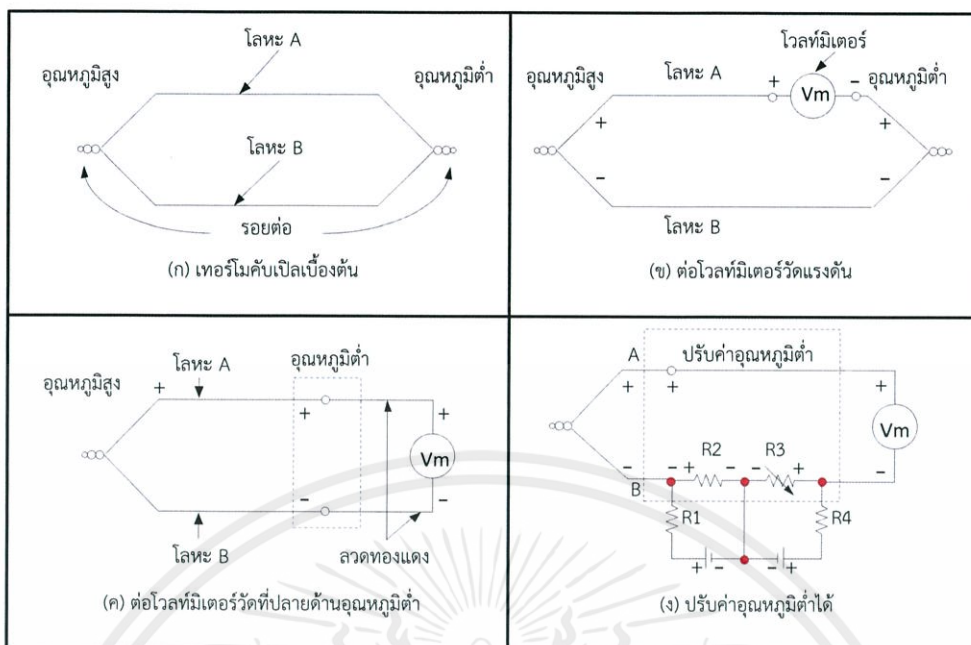
- เสถียรภาพ (stable) และความถูกต้องสูงมาก เมื่อเทียบกับวิธีการวัดอุณหภูมิด้วยเซ็นเซอร์อื่นๆ
- มีความเป็นเชิงเส้น (linear) มากกว่า เซ็นเซอร์ชนิด thermocouples

#### ข้อเสียของการใช้เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิแบบ RTD

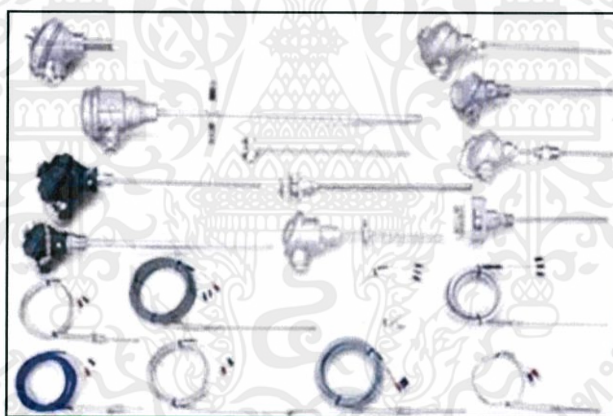
- มีราคาแพงกว่า thermistors และ thermocouples
- ต้องการแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า เนื่องจากที่ RTD ไม่สามารถกำเนิดพลังได้เหมือนกับเทอร์โมคัปเปิล จึงทำให้กระแสไหลผ่านและเกิด self-heating ดังนั้นจึงต้องลดแรงเคลื่อนที่แหล่งจ่ายให้ต่ำสุดเท่าที่จะเป็นไปได้ในการวัดอุณหภูมิโดยใช้ RTD
- ต้องมีการชิลด์สายและเดินสายบิดเกลียวเพื่อป้องกันสัญญาณรบกวน
- RTD มีความเปราะบาง จึงต้องป้องกันและระวังการใช้งาน

3) เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ตัวตรวจจับอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิล โครงสร้างเบื้องต้นประกอบด้วยเส้นลวด 2 เส้น ทำมาจากโลหะต่างชนิดกัน ต่อเชื่อมปลายทั้งสองของเส้นลวดเข้าด้วยกันเป็นลูป รอยต่อด้านหนึ่งเรียกว่ารอยต่อร้อน เป็นรอยต่อที่ได้รับอุณหภูมิสูง และรอยต่ออีกด้านหนึ่งเรียกว่ารอยต่อเย็น เป็นรอยต่อที่ได้รับอุณหภูมิต่ำ จะเกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นในลูปของเทอร์โมคัปเปิล แรงดันที่เกิดขึ้นนี้จะเกิดตามสัดส่วนระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิที่รอยต่อทั้งสอง โดยใช้เป็นตัวอักษรที่เหมือนกัน ในรูปแสดงการปลดขั้วต่อของเทอร์โมคัปเปิลด้านอุณหภูมิ ต่ำให้แยกออกจากกันและใส่โวลต์มิเตอร์เข้าไปเพื่อให้เป็นลูปเหมือนเดิม ทำให้มองเห็นว่าโลหะ A และโลหะ B ด้านอุณหภูมิต่ำไม่สัมผัสกัน แต่ในความเป็นจริง วงจรในรูปนี้ก็ยังคงเกิดแรงดันขึ้นเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 การต่อวงจรเซ็นเซอร์เทอร์โมคัปเปิล



รูปที่ 2.15 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิชนิด Thermocouple [18]

อย่างไรก็ตามปัญหาของ Thermocouple ที่ทำให้ยากต่อการใช้งานมีดังนี้

- จุดอ้างอิงของ Thermocouple อยู่ที่อุณหภูมิ 273 เคลวิน (จุดเยือกแข็งของน้ำ) ซึ่งเป็นจุดสามสถานะ ยากในการปรับแต่งให้เป็นจุดอ้างอิง
- ผลของระดับแรงดันไฟฟ้าที่ thermocouple วัดได้ จะอยู่ในหน่วย มิลลิโวลต์ (mV) แต่ถ้าจะวัดเป็นไมโครโวลต์จะต้องใช้กระบวนการแปลงสัญญาณให้เป็นอนาล็อกก่อนแล้วจึงแปลงให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากนำไปใช้  
สะดวกในการใช้งาน

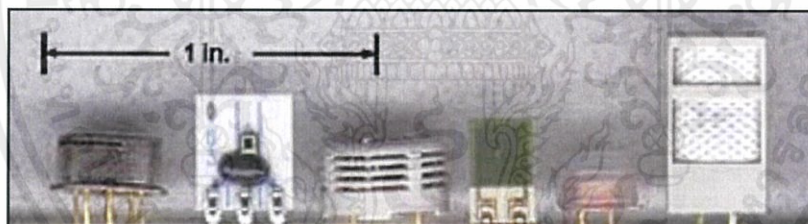
### 2.3.3 ความชื้นในบรรยากาศ

ความชื้นในบรรยากาศ ได้แก่ ความชื้นสัมบูรณ์ (Absolute Humidity) หมายถึง ปริมาณไอน้ำที่ปรากฏอยู่ในอากาศในช่วงระยะเวลาใดเวลาหนึ่ง สามารถตรวจวัดได้ในหน่วย กรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือกล่าวได้ว่า ความชื้นสัมบูรณ์ คือ ความหนาแน่นของไอน้ำในอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศขณะนั้นเปรียบเทียบกับไอน้ำที่สามารถมีอยู่ได้ในอากาศมากที่สุดจนถึงจุดอิ่มตัว ณ อุณหภูมิของอากาศในขณะนั้นคิดเป็นร้อยละ หรือเป็นเปอร์เซ็นต์

### 2.3.4 เซ็นเซอร์วัดค่าความชื้น (Humidity Sensor)

เซ็นเซอร์วัดค่าความชื้นที่ใช้กันอยู่ในอุตสาหกรรมมีอยู่ด้วยกัน 3 ชนิด คือ Capacitive, Thermal Conductivity และ Resistive การที่จะเลือกเซ็นเซอร์เพื่อนำไปใช้งานต่าง ๆ กันนั้น มีสิ่งที่จะต้องพิจารณาดังต่อไปนี้

- 1) ความแม่นยำ (Accuracy)
- 2) ความสามารถในการวัดซ้ำ (Repeatability)
- 3) เสถียรภาพในช่วงเวลายาว ๆ (Stability)
- 4) ความสามารถในการชดเชย (Condensation)
- 5) ความทนทานต่อสารเคมี
- 6) ขนาด และรูปตัวถังของเซ็นเซอร์ (Size & Package)
- 7) ความคุ้มค่า (Cost)

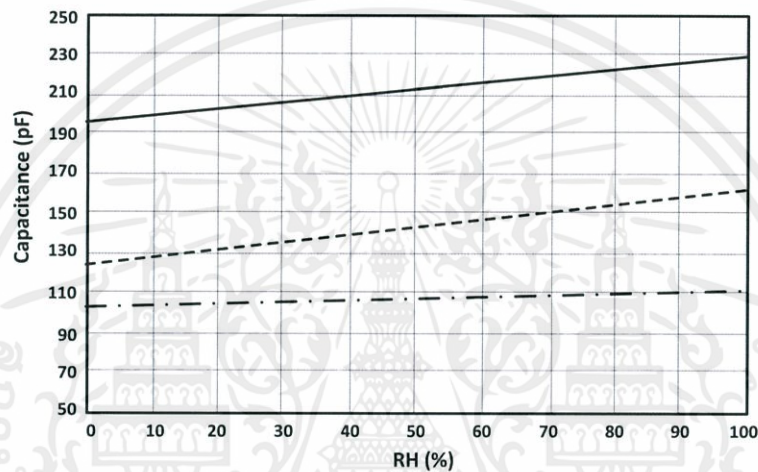


รูปที่ 2.16 เซ็นเซอร์วัดความชื้นแบบคาปาซิทีฟ [21]

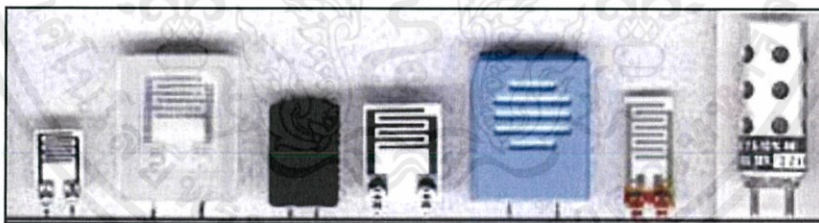
#### 2.3.4.1 เซ็นเซอร์วัดความชื้นแบบคาปาซิทีฟ (Capacitive Humidity Sensor)

เซ็นเซอร์วัดค่าความชื้นแบบนี้วัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) มีการใช้งานกันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรม เิงพาณิชย์ งานวิจัยหรือทดลองทางฟิสิกส์ เซ็นเซอร์แบบนี้มีโครงสร้างที่ประกอบไปด้วยชั้นฐานแผ่นฟิล์มบางที่ทำจากโพลีเมอร์ หรือเมทัลออกไซด์ (Metal Oxide) ถูกวางอยู่ระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสอง โดยพื้นผิวของฟิล์มบางดังกล่าวถูกเคลือบด้วยอิเล็กโทรดโลหะแบบมีรูพรุน เพื่อป้องกันฝุ่นละอองและปัญหาจากแสงแดด เซ็นเซอร์แบบคาปาซิทีฟสามารถตรวจจับความชื้นสัมพัทธ์ในสภาพแวดล้อมได้เกือบจะเป็นเชิงเส้น หรือมีการตอบสนองได้อย่างเป็นสัดส่วนที่ตัวเอง โดยเมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์เปลี่ยนไป 1 เปอร์เซ็นต์ ค่าความจุไฟฟ้า (Capacitive) ก็จะเปลี่ยนไป 0.2 ถึง 0.5 pF เซ็นเซอร์แบบคาปาซิทีฟถูกกำหนดให้มีคุณลักษณะเฉพาะคือค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิต่ำจึงทำให้ทำงานได้ดี แม้อุณหภูมิสูงถึง 200°C การกลับสู่สภาวะเดิมจากสภาวะการควบแน่น และยังทน

ต่อไอระเหยของสารเคมีอีกด้วย ในขณะที่ช่วงเวลากการตอบสนองของเซนเซอร์ คือ 30 ถึง 60 วินาที สำหรับการเปลี่ยนแปลงความชื้นในช่วง 63 เปอร์เซ็นต์ สำหรับข้อต่อของเซ็นเซอร์แบบคาปาซิทีฟ ซึ่งเริ่มจากความผิดพลาดเท่ากับ 2%RH ในช่วงการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้น 5% ถึง 95%RH นอกจากนี้เซ็นเซอร์ยังถูกจำกัดความสามารถด้วยระยะระหว่างชั้นส่วนตรวจจับความชื้นกับวงจรแปลงสัญญาณ เพราะหากไกลกันมากจะทำให้เกิดผลกระทบของค่าความจุไฟฟ้า และในทางปฏิบัติจะต้องน้อยกว่า 10 ฟุต คุณสมบัติที่สำคัญอย่างยิ่งของเซ็นเซอร์แบบค่าความจุก็คือ Dew Point เนื่องจากจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสัญญาณสอดคล้องกับค่าความชื้นที่เปลี่ยนไป แม้จะเปลี่ยนแปลงไปน้อย ๆ ก็ตาม และค่า Drift ต่ำ ซึ่งถือว่าเป็นข้อดี แต่ถ้าค่าความชื้นที่เปลี่ยนไปต่ำกว่าในระดับที่กำหนดแล้ว เซ็นเซอร์ก็เริ่มที่จะทำงานไม่เป็นเชิงเส้น



รูปที่ 2.17 การตอบสนองเชิงเส้นของค่าคาปาซิแตนซ์กับค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น ที่อุณหภูมิ 25°C [18]



รูปที่ 2.18 เซ็นเซอร์วัดความชื้นแบบรีซิสตีฟ [21]

2.3.4.2 เซ็นเซอร์ความชื้นแบบรีซิสตีฟ (Resistive Humidity Sensor) เซ็นเซอร์ความชื้นที่จะวัดการเปลี่ยนแปลงอิมพีแดนซ์ไฟฟ้าของตัวกลางดูดความชื้น (Hygroscopic Medium) อย่างเช่น โพลีเมอร์ เกลือหรือสารสังเคราะห์ ทั้งนี้อิมพีแดนซ์ที่เปลี่ยนจะแปรผันกับค่าความชื้นในลักษณะของกราฟเอกซ์โปเนนเชียลกลับด้าน โครงสร้างของเซนเซอร์ Resistive ประกอบด้วย อิเล็กโทรดโลหะ 2 ส่วนวางอยู่บนฐานด้วยเทคนิคการวางแบบโฟโตรีซิส (Photo resist) อิเล็กโทรดอาจมีขดลวดพันรอบ Wire-wound Electrodes ใช้แกนเป็นพลาสติกหรือแท่งแก้วทรงกระบอก ในส่วนของฐานนั้นถูกเคลือบด้วยเกลือ (Salt) หรือโพลีเมอร์ (Conductive Polymer) การทำงานของเซนเซอร์ก็คือดูดซับไอน้ำและไอออนที่แตกตัว เป็นผลให้ค่าความนำไฟฟ้าของตัวกลางเพิ่มขึ้น โดย

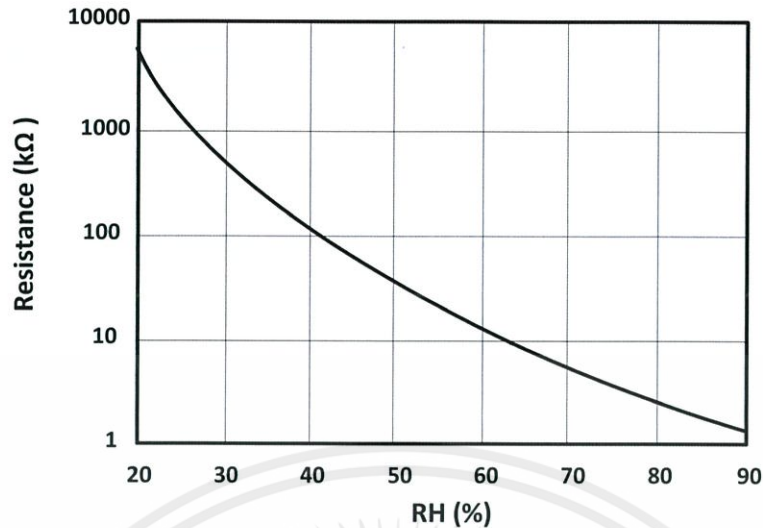
ช่วงเวลาการตอบสนองของเซ็นเซอร์อยู่ในช่วง 10 ถึง 30 วินาทีสำหรับการเปลี่ยนแปลงในช่วง 63% โดยย่านของอิมพีแดนซ์ที่เปลี่ยนแปลงของเซ็นเซอร์แปรเปลี่ยน 1 kW ถึง 100 mW

เซ็นเซอร์แบบ Resistive จะใช้วงจรวัดแบบสมมาตร (Symmetrical) ซึ่งใช้แปลงแหล่งกำเนิดกระแสสลับกระตุ้นอย่างเช่นวงจรบริดจ์ (Bridge) และสาเหตุที่ทำให้ใช้กระแสตรงก็เพื่อป้องกันการเกิดขั้วตักย์ไฟฟ้าขึ้นนั่นเอง เมื่อความต้านทานเปลี่ยนตามการเปลี่ยนของความชื้นเป็นผลให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรวัด กระแสไฟนี้จะถูกแปลงเป็นสัญญาณแรงดันกระแสตรงเพื่อการส่งผ่านไปยังวงจรขยายย่านวัด วงจรขยายแรงดัน วงจรปรับเชิงเส้นและวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลต่อไป ซึ่งเมื่อผ่านกระบวนการต่าง ๆ แล้วจะทำให้เซ็นเซอร์และ Resistive มีการตอบสนองต่ออุณหภูมิได้ดีมาก

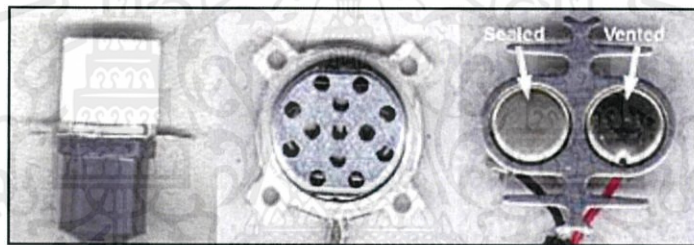
ข้อดีของเซ็นเซอร์แบบ Resistive ก็คือการสับเปลี่ยนได้ (Interchangeability) หมายถึงหากตัวใดเสียก็สามารถนำอีกตัวหนึ่งมาแทนได้ โดยผ่านการสอบเทียบด้วยการปรับค่าความต้านทาน ซึ่งก็ทำให้ค่าความชื้นเปลี่ยนแปลงไปไม่เกิน  $\pm 2\%RH$  อย่างไรก็ตามหากต้องการสอบเทียบเซ็นเซอร์ Resistive ได้อย่างแม่นยำ ก็สามารถทำได้โดยใช้ RH Calibration Chamber หรือสอบเทียบด้วยระบบ DA ซึ่งใช้คอมพิวเตอร์ร่วมด้วย ข้อควรจำอย่างหนึ่งของการใช้เซ็นเซอร์แบบ Resistive คืออ่านอุณหภูมิใช้งาน อยู่ในช่วง  $-40^{\circ}C$  ถึง  $100^{\circ}C$  แม้ว่าอายุการใช้งานของเซ็นเซอร์อยู่ในช่วง 5 ปี แต่การใช้งานในสภาพแวดล้อมของไอระเหยของสารเคมีหรือน้ำมันก็อาจทำให้อายุการใช้งานของเซ็นเซอร์สั้นลงกว่านี้ ข้อบกพร่องหรือข้อต่ออีกอย่างของเซ็นเซอร์ Resistive ก็คือ การเกิดค่าเบี่ยงเบนเมื่อเกิดสภาวะควบแน่นหากใช้สารเคลือบที่ละลายน้ำได้

เซ็นเซอร์แบบ Resistive จะทำงานได้ในสภาพแวดล้อมที่มีการผันแปรของอุณหภูมิไม่เกิน  $10^{\circ}F$  หากเกินนี้ อุณหภูมิก็จะเริ่มส่งผลให้อ่านค่าความชื้นได้เพี้ยนไป อย่างไรก็ตามด้วยสาเหตุนี้เองจึงมีการเพิ่มระบบชดเชยอุณหภูมิเข้าไปด้วยเพื่อให้ความแม่นยำสูงขึ้น จากที่กล่าวมานี้คุณลักษณะที่มีขนาดเล็ก ราคาถูก สามารถสับเปลี่ยนกันได้ และเสถียรภาพในช่วงเวลานาน จึงทำให้เหมาะที่จะใช้ในงานควบคุมอุปกรณ์แสดงผลในอุตสาหกรรม และใช้ในเครื่องใช้ต่าง ๆ ตามบ้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 การตอบสนองแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลของคาร์ซีสแตนซ์กับค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น ที่อุณหภูมิ 25°C [18]



รูปที่ 2.20 เซ็นเซอร์วัดความชื้นแบบ Thermal Conductivity [11]

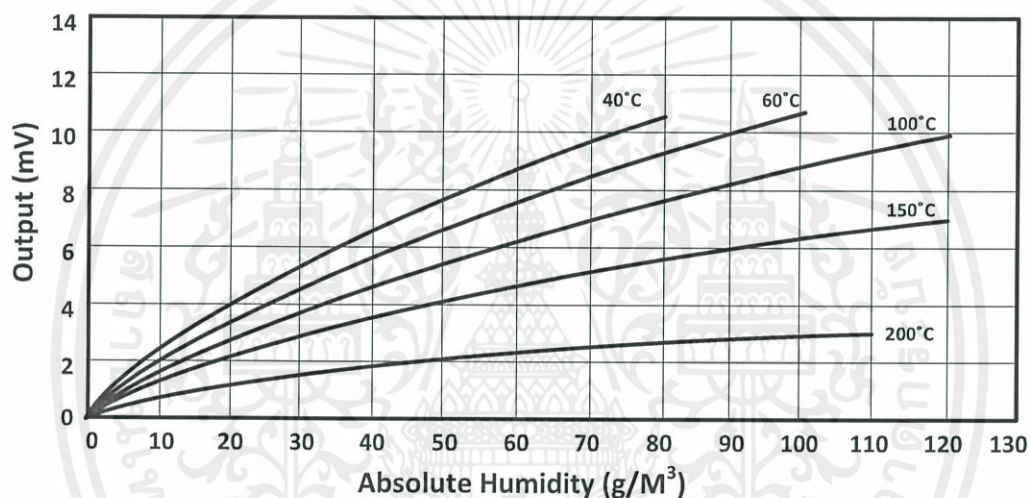
2.3.4.3 เซ็นเซอร์ความชื้นแบบ Thermal Conductivity เซ็นเซอร์แบบนี้เป็นชนิดเดียวที่วัดค่าความชื้นสมบูรณ์ โดยอาศัยการคำนวณความแตกต่างระหว่างค่าการนำความร้อนของอากาศแห้ง (Thermal Conductivity) กับการนำความร้อนของอากาศที่มีไอน้ำอยู่ โดยเมื่ออากาศหรือก๊าซแห้ง มันจะมีความสามารถที่จะรับความจุความร้อนสูงกว่า ยกตัวอย่างเช่น สภาวะอากาศในทะเลทราย ซึ่งจะร้อนจัดในเวลากลางวัน แต่พอดตกกลางคืนอากาศจะลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งเกิดจากสภาวะบรรยากาศแห้ง เมื่อเปรียบเทียบกันแล้ว อากาศที่มีความชื้นจะไม่เย็นลงอย่างรวดเร็วในตอนกลางคืนเพราะความร้อนยังแฝงอยู่ในไอน้ำของชั้นบรรยากาศ

เซ็นเซอร์แบบ Thermal Conductivity หรือเราอาจจะเรียกเซ็นเซอร์ความชื้นสมบูรณ์ (Absolute Humidity Sensor) ประกอบด้วยเทอร์มิสเตอร์ 2 ตัว ต่ออยู่ในวงจรบริดจ์โดยเทอร์มิสเตอร์ตัวหนึ่งบรรจุอยู่ในแคปซูลที่มีก๊าซไนโตรเจน และเทอร์มิสเตอร์อีกตัวหนึ่งถูกวางอยู่ในบรรยากาศ กระแสไฟฟ้าจะถูกส่งผ่านเทอร์มิสเตอร์ทั้งสอง ส่งผลให้เกิดความร้อนสูงขึ้นในตัวเทอร์มิสเตอร์มากกว่า 200°C และความร้อนที่กระจายออกจากเทอร์มิสเตอร์ในแคปซูลจะมากกว่า เทอร์มิสเตอร์ที่อยู่ในบรรยากาศ ความแตกต่างของอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์ทั้งสองนี้ เป็นความต่างของ

การนำความร้อนของไอน้ำเทียบกับไนโตรเจนแห้ง ความแตกต่างของค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์จึงเป็นส่วนสำคัญโดยตรงกับความชื้นสัมบูรณ์

เซ็นเซอร์แบบ Thermal Conductivity มีความทนทานสูงและทำงานในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงถึง 300°C และยังทนต่อไอระเหยสารเคมีได้เป็นอย่างดีจากคุณสมบัติที่ดีของวัสดุโครงสร้างเครื่องที่ไม่มีปฏิกิริยาทางสารเคมี เช่น แก้ว สารกึ่งตัวนำ ที่ใช้สร้างเทอร์มิสเตอร์พลาสติกทนอุณหภูมิสูงหรืออะลูมิเนียม

โดยทั่วไปแล้วจะมีการใช้เซ็นเซอร์แบบ Thermal Conductivity ในงานอุตสาหกรรมอบผ้าทั้งแบบที่ใช้ไมโครเวฟหรือแบบที่ใช้ไอน้ำ รวมทั้งอุตสาหกรรมอบไม้ อุตสาหกรรมผลิตกระดาษและการผลิตสารเคมีต่างๆ ทั้งนี้เซ็นเซอร์แบบนี้มีความแยกแยะที่ดีกว่าเซ็นเซอร์แบบอื่นที่ระดับอุณหภูมิสูงกว่า 200°F นอกจากนี้ก็อาจมีการใช้ในงานที่ต้องการความแม่นยำระดับ +3g/m<sup>3</sup> ซึ่งเมื่อแปลงไปเป็นค่าความชื้นจะได้เท่ากับ ±5%RH ที่ 40°C และ ±0.5% RH ที่ 100°C



รูปที่ 2.21 สัญญาณเอาต์พุตเป็นผลมาจากอุณหภูมิของการทำงาน [11]

## 2.4 โปรแกรม LabVIEW

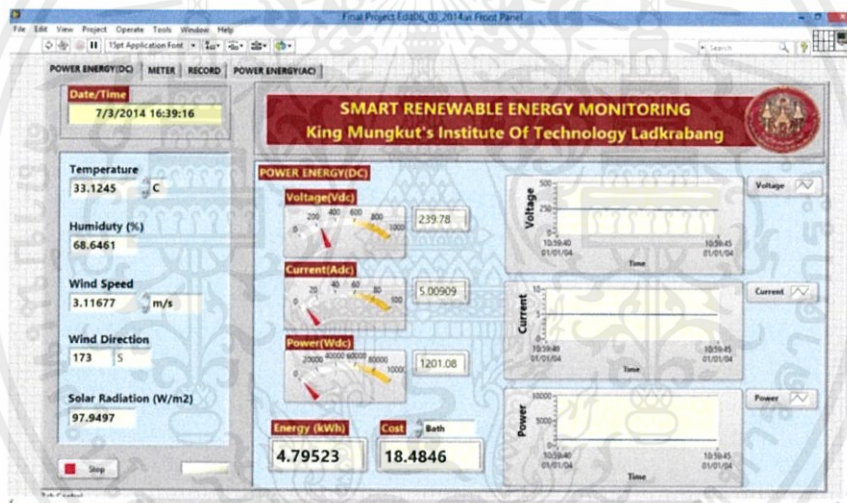
LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นเพื่อนำมาใช้ในด้านการวัดและเครื่องมือวัดสำหรับงานทางด้านวิศวกรรม ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สร้างเครื่องมือวัดเสมือนจริงในห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรม ดังนั้นจุดประสงค์หลักของโปรแกรมนี้อาจจัดการในด้านการวัดและเครื่องมือวัด อย่างมีประสิทธิภาพ ในตัวของโปรแกรมจะประกอบไปด้วยฟังก์ชันที่ช่วยในการวัดมากมาย โปรแกรม LabVIEW จะเป็นโปรแกรมประเภท GUI (Graphical User Interface) โดยเราไม่จำเป็นต้องเขียนโค้ดหรือคำสั่งใดๆ และลักษณะภาษาที่ใช้ในโปรแกรมจะเรียกว่า ภาษารูปภาพ หรือ Graphical language แทนการเขียนโปรแกรมเป็นบรรทัดอย่างที่เรารู้เคยกับภาษาพื้นฐาน เช่น ภาษาซี, Basic หรือ Fortran ซึ่งในโปรแกรม LabVIEW จะบรรจุโปรแกรมต่างๆ ไว้ใน Libraries และมีฟังก์ชันการทำงานอยู่หลายประเภทด้วยกัน เช่น Signal generation, Signal processing, Filters, สถิติ, พีชคณิต และคณิตศาสตร์อื่นๆ ทำให้เราสามารถประยุกต์การใช้งานได้หลากหลาย

เนื่องจากโปรแกรม LabVIEW ใช้ลักษณะการเขียนแบบ Block diagram ซึ่งวิศวกรส่วนใหญ่มีความคุ้นเคยอยู่แล้ว จึงเป็นการง่ายที่จะทำความเข้าใจและนำไปพัฒนาใช้ต่อไปได้ และถ้าเราหากจำได้ถึงขั้นตอนการเขียนโปรแกรมว่าก่อนที่จะเขียนโปรแกรม เราควรที่จะต้องเขียน Flow Chart ให้เสร็จสิ้นก่อน หลังจากตรวจสอบ Flow Chart เรียบร้อยแล้ว จึงนำไปเขียนโปรแกรม ทำให้มีความสะดวกมากขึ้น เป็นการลดขั้นตอนการทำงานลงไปได้มาก

### 2.4.1 ส่วนประกอบของโปรแกรม LabVIEW

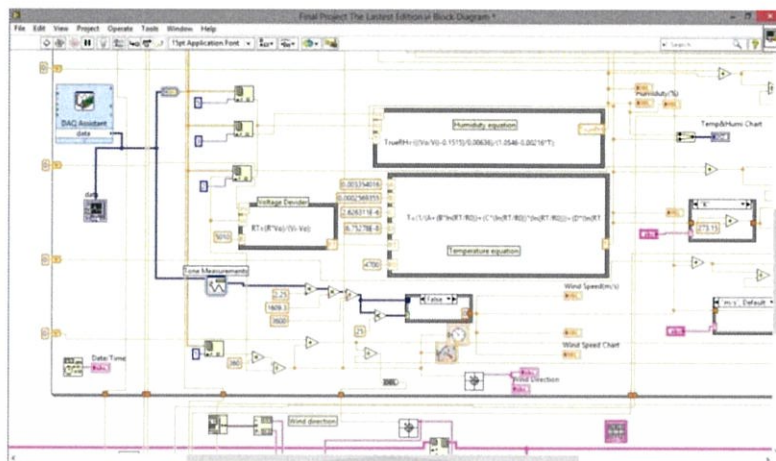
โปรแกรมที่เขียนขึ้นมาด้วย LabVIEW เราจะเรียกว่า Virtual Instrument (VI) เพราะลักษณะที่ปรากฏทางจอคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้ จะเหมือนกับเครื่องมือหรืออุปกรณ์ทางวิศวกรรม สำหรับส่วนประกอบของ VI จะประกอบไปด้วยส่วนสำคัญสามส่วน คือ

1. Front Panel จะเป็นส่วนที่ใช้สื่อสารระหว่างผู้ใช้กับโปรแกรม หรือเรียกว่า User interface โดยทั่วไปจะมีลักษณะเหมือนกับหน้าปัดของเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้งานด้านการวัดต่างๆ ไป ซึ่งอาจจะประกอบไปด้วย สวิตช์ปิด-เปิด , ปุ่มบิด, ปุ่มกด จอแสดงผลหรือแม้แต่ค่าที่ผู้ใช้สามารถกำหนดเองได้ ตัวอย่างลักษณะของหน้า Front Panel



รูปที่ 2.22 ลักษณะของหน้า Front Panel

2. Block Diagram เปรียบเสมือน Code หรือโปรแกรมของ LabVIEW ซึ่งจะปรากฏอยู่ในรูปของภาษา G ซึ่ง Block Diagram นี้ถือว่าเป็น Executable Program คือสามารถทำงานได้ทันที และข้อดีประการหนึ่งคือจะมีการตรวจสอบความผิดพลาดของโปรแกรมตลอดเวลา ซึ่งโปรแกรมจะทำงานได้ต้องไม่มีความผิดพลาดในโปรแกรมเท่านั้น และสามารถที่จะดูรายละเอียดของความผิดพลาดได้ และสามารถแก้ไขได้ถูกต้อง ทำให้การเขียนโปรแกรมง่ายขึ้น ซึ่งภายใน Block Diagram จะประกอบไปด้วย ฟังก์ชัน ค่าคงที่ โปรแกรมควบคุมการทำงานหรือโครงสร้าง ในแต่ละส่วนเหล่านี้จะปรากฏอยู่ในรูปของ Block เราจะทำการต่อสาย (wire) สำหรับ Block ที่เหมาะสมเข้าด้วยกัน เพื่อกำหนดลักษณะการไหลของข้อมูลระหว่าง Block เหล่านี้ ทำให้ข้อมูลได้รับการประมวลผลตามที่ต้องการ และแสดงผลออกมาให้แก่ผู้ใช้ต่อไป



รูปที่ 2.23 ลักษณะของหน้า Block Diagram

3. Icon And Connector เปรียบเสมือนโปรแกรมย่อยในโปรแกรมหลักต่างๆ ไปด้วย Icon จะหมายถึง Block Diagram ตัวหนึ่งที่มีการส่งข้อมูลเข้าและออกผ่านทาง Connector ซึ่งใน LabVIEW จะเรียกว่า sub VI ซึ่งเราสามารถสร้าง sub VI ที่ละส่วนขึ้นมาทำงานด้วยตัวเองได้ จากนั้นในภายหลังหากเราต้องการ เราก็สามารถเขียนโปรแกรมอื่นอื่นขึ้นมาเพื่อเรียกใช้งาน VI ที่เราเคยสร้างมาก่อนหน้านี้ ซึ่งทำให้ VI ที่เราเขียนมาก่อนหน้านี้กลายเป็น sub VI ไป ซึ่งการเขียนในลักษณะนี้เรียกว่าเป็น Module



รูปที่ 2.24 Icon และ Connector ตามลำดับ

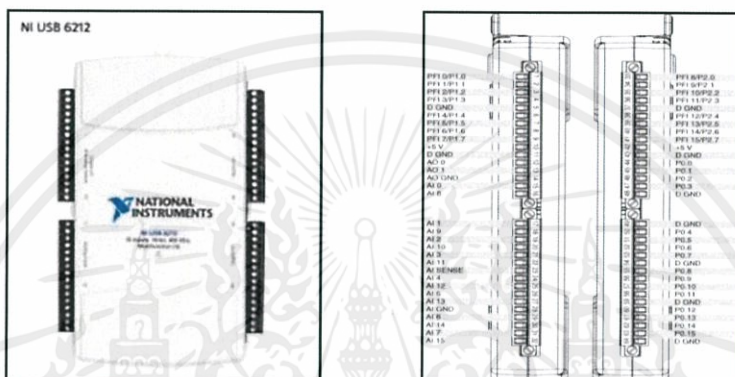
ตารางที่ 2.4 ส่วนประกอบของโปรแกรม LabVIEW

LabVIEW	โปรแกรมพื้นฐาน	หน้าที่
VI	Program	ตัวโปรแกรมหลัก
Function	Function	ฟังก์ชันสำเร็จรูปที่สร้างขึ้นมากับโปรแกรม
Sub VI	Subroutine	โปรแกรมย่อยที่ถูกเรียกใช้โดยโปรแกรมหลัก
Front Panel	User interface	ส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้
Block Diagram	Program code	การเขียนตามขั้นตอนของแต่ละโปรแกรมกำหนดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 อุปกรณ์ Data Acquisition (DAQ)

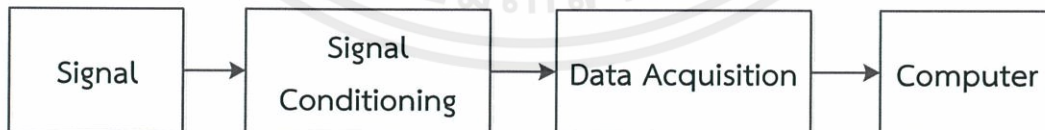
LabVIEW เป็นซอฟต์แวร์ที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในงานที่เกี่ยวข้องกับการดิงสัญญาณ หรือ Data Acquisition (DAQ) ซึ่งมีประโยชน์ในแอปพลิเคชันการวัดและการแสดงสัญญาณ, การเก็บบันทึกข้อมูล, การควบคุม, และการทดสอบ เป็นต้น ซึ่งในที่นี้เราจะนำฮาร์ดแวร์เข้ามาใช้บน LabVIEW เพื่อการวัดค่าสัญญาณและอ่านค่าจากเซ็นเซอร์หลายชนิด โดยจะกล่าวถึงพื้นฐานทฤษฎีการแปลงสัญญาณระหว่างอนาล็อกกับดิจิทัล เพื่อให้เกิดความเข้าใจในการเลือกใช้การปรับค่าและข้อจำกัดในทางฮาร์ดแวร์ รวมถึงวิธีการเขียนโปรแกรมควบคุมแต่ละฟังก์ชันของอุปกรณ์ DAQ ด้วยโปรแกรม LabVIEW ซึ่งสามารถทำการทดลองได้ แม้ว่าจะไม่มีอุปกรณ์ DAQ ก็ตาม



รูปที่ 2.25 ลักษณะของอุปกรณ์ Data Acquisition(DAQ) [3]

### 2.5.1 ภาพรวมของระบบ DAQ บนคอมพิวเตอร์

ระบบ DAQ บนคอมพิวเตอร์ คือกระบวนการในการอ่านค่าสัญญาณทางไฟฟ้าแล้วนำไฟเก็บไว้ในหน่วยความจำบนคอมพิวเตอร์เพื่อการวัด วิเคราะห์ จัดเก็บ หรือแสดงผลต่อไปขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการสร้าง VI ของแต่ละแอปพลิเคชัน ซึ่งระบบ DAQ บนคอมพิวเตอร์จะมีส่วนประกอบอยู่ 4 ส่วนด้วยกันคือ 1) ส่วนของแหล่งสัญญาณ 2) ส่วนฮาร์ดแวร์ 3) ส่วนอุปกรณ์ และ 4) ส่วนของซอฟต์แวร์



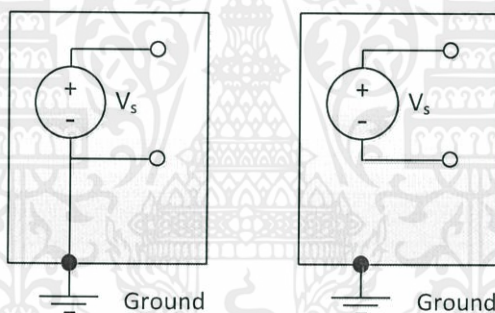
รูปที่ 2.26 ระบบการทำงานของอุปกรณ์ DAQ บนคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณที่เราวัดอาจจะเป็นสัญญาณอนาล็อก ( $\pm 10V$  หรือ  $4\sim 20mA$ ) หรือสัญญาณดิจิตอล หรือจะมาจากเซ็นเซอร์ ซึ่งสัญญาณเหล่านี้จะถูกต่อสายเข้าไปในส่วนของฮาร์ดแวร์อิเล็กทรอนิกส์ที่เรียกว่า Signal conditioning ซึ่งจะทำหน้าที่ปรับปรุงสัญญาณให้เหมาะสมก่อนที่จะวัดด้วยอุปกรณ์ DAQ ต่อไป สำหรับฮาร์ดแวร์ DAQ แบบพื้นฐานจะสามารถวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วง  $\pm 10V$  เท่านั้น ซึ่งฮาร์ดแวร์นี้จะถูกติดตั้งบนคอมพิวเตอร์ที่มีไดรฟ์เวอร์ และมีแอปพลิเคชันที่เขียนด้วยซอฟต์แวร์สำหรับพัฒนาระบบ เช่น LabVIEW

### 2.5.2 แหล่งสัญญาณทางไฟฟ้า

สัญญาณทางไฟฟ้ามีหลายรูปแบบ ซึ่งแหล่งกำเนิดอาจจะมีมาจากตัวส่งสัญญาณหรือจากเซ็นเซอร์ ซึ่งสัญญาณเหล่านี้จะเป็นตัวแสดงถึงปริมาณทางกายภาพของสิ่งที่วัด เช่นการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิล หรือ RTD, การวัดแรงดันด้วยโวลต์เซลล์, การวัดแสงด้วยโฟโตเซ็นเซอร์ ซึ่งในที่สุดแล้วสัญญาณอนาล็อกจะต้องถูกแปลงไปเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์ Signal conditioning ก่อนที่จะอ่านค่าด้วยอุปกรณ์ DAQ โดยเราจะเรียกแหล่งกำเนิดสัญญาณประเภทแรงดันไฟฟ้าว่า Voltage source ซึ่งแบ่งออกเป็นสองชนิด ได้แก่ แหล่งสัญญาณแบบต่อกราวด์ (Grounded source) และแบบไม่ต่อกราวด์ (Floating source)



รูปที่ 2.27 แหล่งสัญญาณแบบต่อกราวด์และแบบไม่ต่อกราวด์ ตามลำดับ [3]

### 2.5.3 การปรับคุณภาพสัญญาณ (Signal conditioning)

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

#### ขั้นตอนการแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิตอล

ในอุปกรณ์ DAQ จะมีช่องสำหรับวัดสัญญาณอนาล็อก หรือ Analog input ซึ่งจะวัดสัญญาณในช่วง  $\pm 10V$  การนำสัญญาณอนาล็อกเข้ามาอยู่ในคอมพิวเตอร์ต้องเป็นฟอร์แมตแบบดิจิตอลโดยจะต้องผ่านอุปกรณ์แปลงสัญญาณที่เรียกว่า Analog-to-Digital converter (ADC) ซึ่งเป็นกระบวนการในการนำค่าทางดิจิตอล (ซึ่งมีจำนวนจำกัด) มาเขียนแบบค่าอนาล็อก (ซึ่งมีจำนวนไม่จำกัด) ซึ่งจะมีการปรับค่าอุปกรณ์ในการดึงสัญญาณ ดังนี้

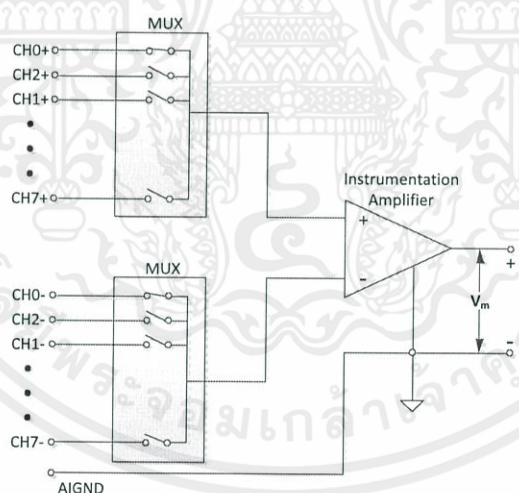
1. Sampling กระบวนการนี้เป็นการเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกที่เป็นเส้นกราฟต่อเนื่องให้กลายเป็นจุดของข้อมูลดิจิทัลที่ไม่ต่อเนื่องด้วยวิธีการสุ่มสัญญาณที่เรียกว่า Sampling ด้วยอัตราคงที่ ยิ่งการสุ่มสัญญาณเร็วขึ้น จุดที่ได้จากการสุ่มก็จะหนาแน่นมากขึ้น ทำให้เก็บความละเอียดของเส้นกราฟได้ใกล้เคียงต้นฉบับมากขึ้น ความเร็วในการสุ่มสัญญาณเรียกว่า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

2. Resolution ในการการ Sampling คือการสุ่มสัญญาณทางแกนเวลา(แกนนอน) แต่สำหรับแกนนั่งซึ่งจะเป็นค่าของสัญญาณ ก็จะต้องทำการสุ่มเช่นกัน เพื่อเปลี่ยนให้เป็นค่าทางดิจิทัลด้วยวิธีการปัดค่าทศนิยมขึ้นหรือลง เรียกขั้นตอนนี้ว่า Quantization หรือ Digitization ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความละเอียดของ ADC ถ้ามีความละเอียดมากก็สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณอนาล็อกให้ละเอียดยิ่งขึ้น(ความละเอียดของ ADC คือจำนวนบิต)

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

#### 2.5.4 ประเภทของระบบการวัดสัญญาณ

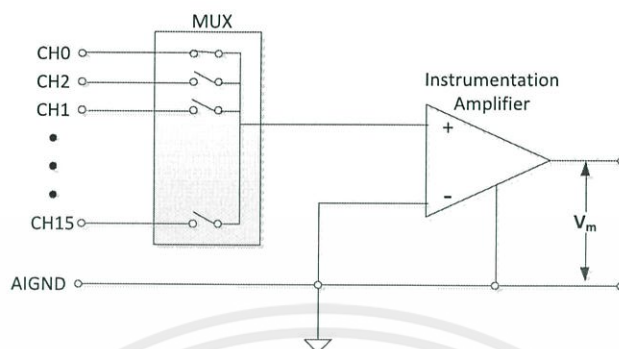
1. Differential หรือ DIFF คือการวัดสัญญาณที่ขาบวกและขาลบของแหล่งสัญญาณไม่ได้ต่ออยู่กับแหล่งอ้างอิงใดๆ



รูปที่ 2.28 การวัดสัญญาณแบบ Differential [3]

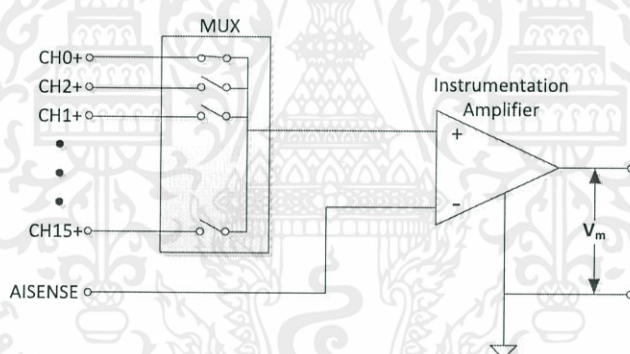
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Referenced Single-Ended หรือ RSE คือการวัดสัญญาณเทียบกับ AIGND ซึ่งใช้เป็นจุดอ้างอิง



รูปที่ 2.29 การวัดสัญญาณแบบ Referenced Single-Ended [3]

3. On-Referenced Single-Ended หรือ NRSE เป็นระบบที่คล้ายกับ RSE แต่ใช้จุดอ้างอิงเป็น AISENSE (analog input sense) ซึ่งศักย์ไฟฟ้าที่จุดนี้จะแตกต่างกับ AIGND



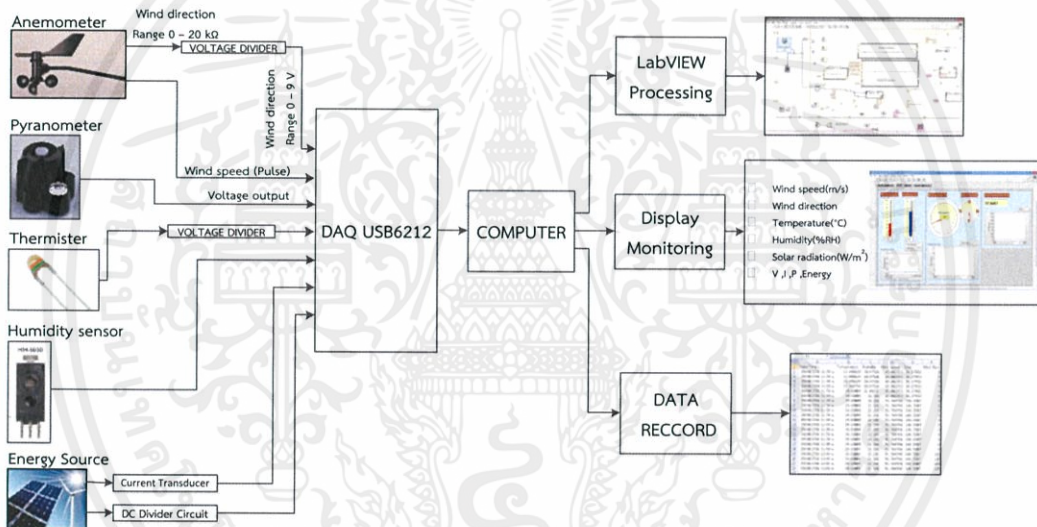
รูปที่ 2.30 การวัดสัญญาณแบบ On-Referenced Single-Ended [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

#### การออกแบบการทดลอง

โครงการนี้ได้ทำการออกแบบเครื่องมือในการวัดสภาพอากาศ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้งานในระบบงานจริง โดยทำการออกแบบระบบเครื่องมือวัดในซอฟต์แวร์ของคอมพิวเตอร์ ซึ่งในโครงการนี้จะใช้โปรแกรม LabVIEW ในการออกแบบ ซึ่งโปรแกรมนี้อจะเป็นโปรแกรมที่สามารถทำการออกแบบการทำได้ได้อย่างหลากหลาย ทำให้ง่ายต่อการใช้งาน โดยทำการแสดงผลบนหน้า Front Panel ที่ได้ทำการออกแบบไว้ บนหน้าจอแสดงผลนั้นจะประกอบไปด้วยการแสดงผลพารามิเตอร์ของสภาพอากาศซึ่งประกอบไปด้วย ความเร็วลม ทิศทางลม อุณหภูมิ ความชื้น ค่าพลังงานงานแสงอาทิตย์ และพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ซึ่งประกอบไปด้วยแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้า ซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่วัดค่าได้จะถูกบันทึกและเก็บค่าไว้บนคอมพิวเตอร์ ซึ่งกระบวนการทำงานต่างๆ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 กระบวนการทำงานของระบบ

จากรูปที่ 3.1 สามารถอธิบายกระบวนการทำงานได้ดังนี้

- 1) เซ็นเซอร์จะแต่ละตัวจะรับสัญญาณและส่งต่อมายังอุปกรณ์ DAQ
- 2) อุปกรณ์ DAQ จะรับสัญญาณอนาล็อกเข้ามา แล้วทำการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณ เพื่อนำสัญญาณที่ได้นั้น ไปวิเคราะห์ด้วยฟังก์ชันบนคอมพิวเตอร์ ด้วย
- 3) ทำการวิเคราะห์สัญญาณ และประมวลผลด้วยโปรแกรม LabVIEW ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ จะเป็นค่าที่เราต้องการ จากที่ทำการออกแบบฟังก์ชันของโปรแกรมเอาไว้ และทำการแสดงผลลัพธ์หรือค่าที่ต้องการ ผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ด้วยหน้า User Interface ที่ได้ ออกแบบไว้

4) ทำการบันทึกข้อมูลทั้งหมดไว้ในคอมพิวเตอร์ (ไฟล์ที่บันทึกจะเป็นไฟล์นามสกุล .txt หรือ excel ได้ตามที่ต้องการ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม อีกทั้งขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากนำไปใช้

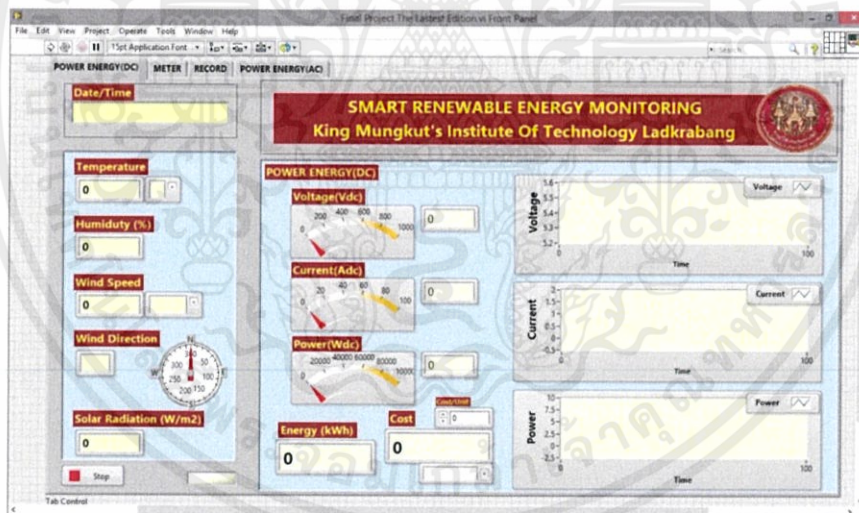
การออกแบบการทำงานของโปรแกรมนี้ จะใช้โปรแกรม LabVIEW เป็นหลักในการทำงานซึ่งโปรแกรมนี้จะประกอบด้วย 2 ส่วนคือหน้า Front Panel เป็นหน้าการแสดงผลที่ได้จากการประมวลผลของโปรแกรม และหน้า Block Diagram ซึ่งจะเป็นส่วนของการโปรแกรมการทำงานของโปรแกรม โดยจะมีชุดคำสั่งเป็นภาษากราฟฟิก การออกแบบโปรแกรมสามารถทำการออกแบบได้ดังนี้

### 3.1 ออกแบบหน้า Front Panel

การออกแบบหน้า Front Panel นั้นเป็นการออกแบบหน้าจอการแสดงผลของโปรแกรม LabVIEW เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถทราบค่าพารามิเตอร์ต่างๆได้ บนหน้านี้ ซึ่งหน้าจอดีแสดงผลบนหน้า Front Panel นั้น สามารถทำการออกแบบได้ตามต้องการ ในโครงงานนี้จะประกอบไปด้วยหน้าจอดีแสดงผลของพารามิเตอร์ต่างๆ จำนวน 4 ส่วนหลัก ดังนี้

#### 3.1.1 หน้าจอหลักการแสดงผล

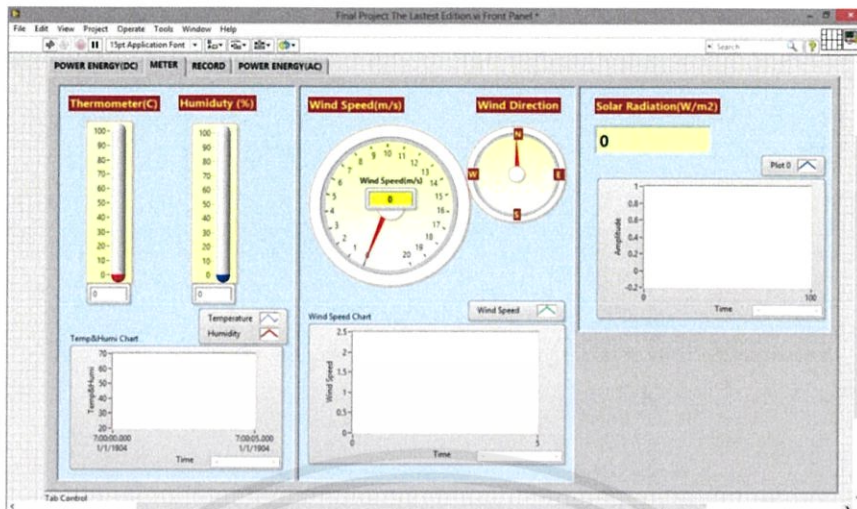
ประกอบด้วย 1) แสดงผลวันที่และเวลาเมื่อทำการวัดผล 2) แสดงผลข้อมูลสภาพอากาศโดยรวมที่ได้จากการวัด ซึ่งประกอบไปด้วย อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม ทิศทางลม และค่าพลังงานแสงอาทิตย์ 3) แสดงผลพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้า(kWh) รวมไปถึงราคาค่าไฟฟ้าจากการใช้พลังงานด้วย นอกจากนี้ยังมีการแสดงผลกราฟของแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 3.2 หน้าจอหลักการแสดงผล

#### 3.1.2 หน้าจอการแสดงผลสภาพอากาศ

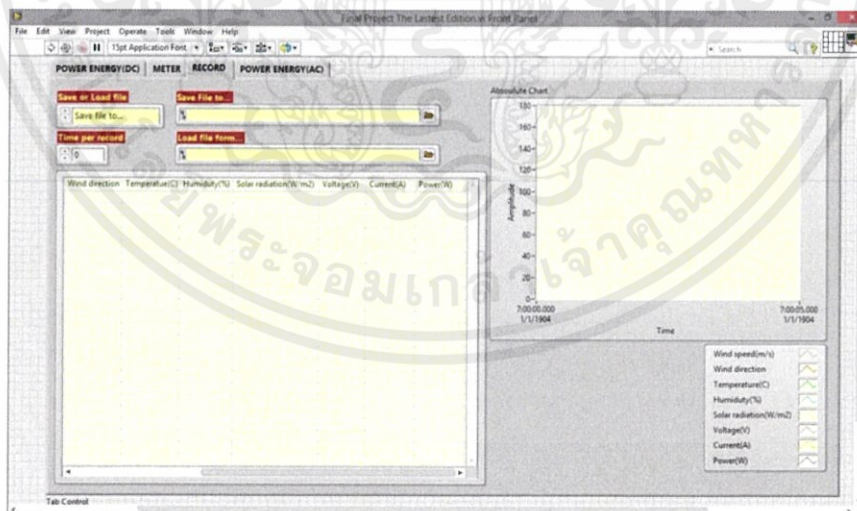
ประกอบด้วย 1) แสดงผลการวัดอุณหภูมิและความชื้น ซึ่งแสดงผลเป็นมิเตอร์แบบปรอท 2) แสดงผลการความเร็วลมและทิศทางลม ซึ่งหน้าจอนี้จะแสดงผลเป็นแบบมิเตอร์แสดงความเร็วลม เข็มทิศแสดงทิศทางลม 3) การแสดงผลการวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์ ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 หน้าจอแสดงผลสภาพอากาศ

### 3.1.3 หน้าจอแสดงผลการบันทึก

ประกอบด้วย 1) ฟังก์ชันการแสดงผลในตาราง ซึ่งจะสามารถเลือกการแสดงผลออกได้ 2 แบบคือ การแสดงผลไฟล์ที่บันทึกได้ และการแสดงผลไฟล์เก่าที่เคยทำการบันทึกไว้ 2) ระยะเวลาที่จะให้โปรแกรมทำการวัดค่าแล้วหาค่าเฉลี่ยของค่าที่ได้จากการวัด แล้วทำการบันทึกผล 3) การเลือกตำแหน่งที่อยู่ของไฟล์ที่จะบันทึกลงเครื่องคอมพิวเตอร์และตำแหน่งที่อยู่ของไฟล์เก่าที่เคยทำการบันทึกแล้ว ต้องการแสดงผลไฟล์นั้นบนตาราง 4) ตารางแสดงการบันทึกผล และกราฟแสดงผลของการวัด



รูปที่ 3.4 หน้าจอแสดงผลการบันทึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 การออกแบบบนหน้า Block Diagram

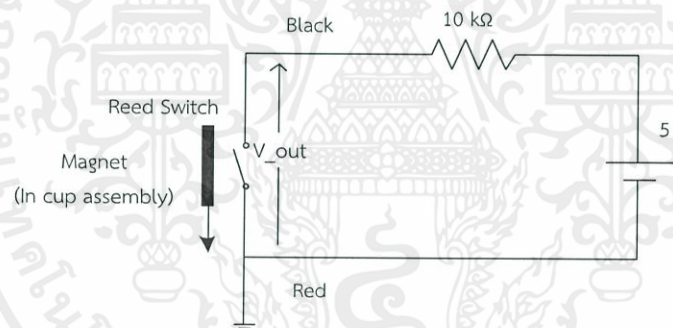
หน้า Block Diagram เป็นการทำงานของโปรแกรม ซึ่งจะทำการประมวลผลโดยภาษากราฟริก โดยจะมีการรับสัญญาณเข้ามาจากอุปกรณ์ DAQ แล้วนำมาประมวลผลตามคำสั่งที่ได้รับ เมื่อโปรแกรมประมวลผลเสร็จแล้วจะแสดงผลออกทางหน้า Front Panel ที่ได้ทำการออกแบบไว้ก่อนหน้านี้อันแล้ว การทำงานบนหน้า Block Diagram ประกอบไปด้วยการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆดังนี้

#### 3.2.1 การวัดความเร็วและทิศทางของลม

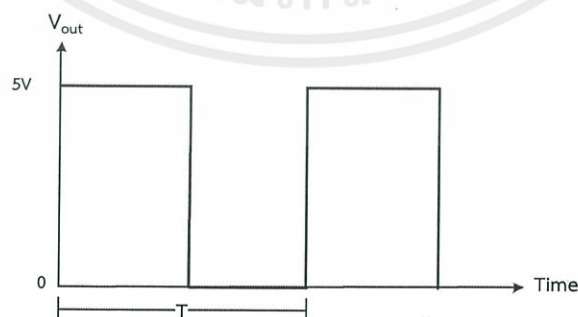
3.2.1.1 การวัดความเร็วลม วงจรภายในเครื่องตรวจจับความเร็วลมหรือ Anemometer จะให้ค่า  $V_{out}$  มีค่าเป็นลอจิก 1 (5 โวลต์) และจะมีค่าเป็นลอจิก 0 เมื่อ Reed switch ทำการปิดวงจร โดย Reed switch จะทำการปิดวงจร 1 ครั้งในทุกๆรอบของการหมุนของ Anemometer และเปิดวงจรออก จะได้รูปคลื่นพัลส์ดังรูปที่ 3.3 โดยคาบเวลา (T) ของรูปคลื่นพัลส์จะขึ้นอยู่กับค่าความเร็วลมที่เซ็นเซอร์วัดได้ จากข้อมูลผลิตภัณฑ์ของ Anemometer ทำให้ทราบว่าที่ความเร็วลม 1 mph Anemometer จะหมุน 1,600 รอบต่อชั่วโมง (1,600 rev/hr) หรือที่ความเร็วลม 1.006 m/s Anemometer จะหมุนด้วยความถี่ 1 รอบต่อวินาที หรือความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะมีค่าเท่ากับ 1 เฮิร์ตซ์(Hz)

ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวจะได้สมการดังนี้

$$\text{ความเร็วลม(m/s)} = 1.006 \times \text{ความถี่ของสัญญาณเอาต์พุต}$$

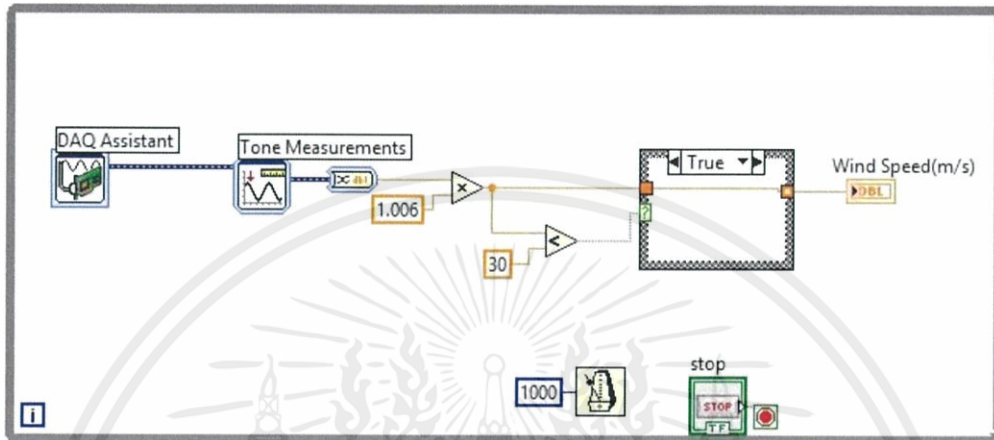


รูปที่ 3.5 วงจรภายใน Anemometer



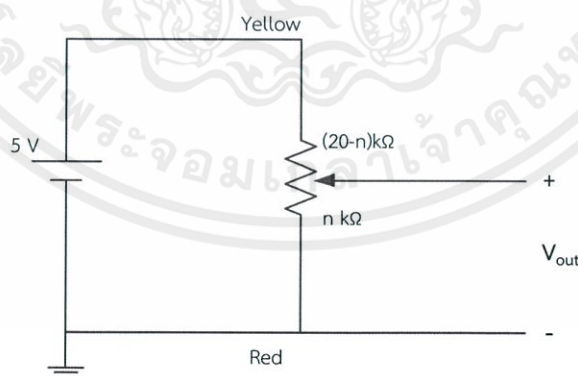
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้รูปที่ 3.6 สัญญาณที่ออกจาก Anemometer ออกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการของความเร็วลมข้างต้นที่ได้ จะนำไปสร้างฟังก์ชันบนหน้า Block Diagram ของ โปรแกรม LabVIEW โดยโปรแกรมจะรับสัญญาณมาจากอุปกรณ์ DAQ ซึ่งสัญญาณที่ได้จะเป็นสัญญาณพัลส์ดังรูปที่ 3.6 แล้วทำการวิเคราะห์สัญญาณเพื่อหาค่าความถี่ จากนั้นจะนำความถี่ที่ได้มาคำนวณหาค่าความเร็วลมตามสมการข้างต้น ซึ่งจะสามารถสร้างฟังก์ชันบนโปรแกรม LabVIEW ได้ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 หน้า Block Diagram ในการวัดความเร็วลมของโปรแกรม LabVIEW

3.2.1.2 การวัดทิศทางลม วิธีการสำหรับการวัดความเร็วลม จะใช้ Potentiometer ที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงแบบเชิงเส้นซึ่งมีคุณสมบัติคือ เมื่อทิศทางลมมีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลให้ค่าความต้านทานภายในของ Potentiometer มีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ส่งผลให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเอาท์พุทเปลี่ยนแปลงตามความต้านทานที่เปลี่ยนไป โดยการเปลี่ยนแปลงจะมีลักษณะเป็นเชิงเส้น



รูปที่ 3.8 วงจรตรวจวัดทิศทางลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



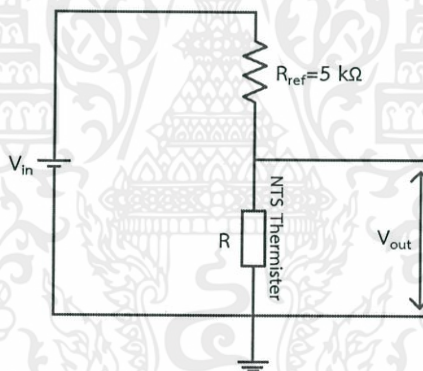
### 3.2.2 การวัดอุณหภูมิและความชื้น

3.2.2.1 การวัดอุณหภูมิ โดยใช้ NTC Thermistor ซึ่งค่าความต้านทานของ Thermistor จะมีการเปลี่ยนตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป โดยที่ค่าความต้านทาน  $R$  ของ Thermistor ที่อุณหภูมิ  $T$  ใดๆ สามารถอธิบายได้ด้วยสมการดังนี้

$$T(R) = \left[ A + B \ln \frac{R}{R_{ref}} + C \ln^2 \frac{R}{R_{ref}} + D \ln^3 \frac{R}{R_{ref}} \right]^{-1} \quad (3.6)$$

เมื่อกำหนดให้  $A$ ,  $B$ ,  $C$  และ  $D$  คือค่าคงที่ ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $0.003354016$ ,  $0.0002569355$ ,  $2.626311 \times 10^{-6}$ ,  $6.75278 \times 10^{-8}$  ตามลำดับ และค่า  $R_{ref}$  คือค่าความต้านทานที่อุณหภูมิอ้างอิงหรืออุณหภูมิห้อง ที่  $25^\circ\text{C}$

เนื่องจาก Thermistor จะเปลี่ยนแปลงความต้านทาน ตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป แต่เนื่องจากพอร์ตของอุปกรณ์ DAQ สามารถวัดได้แค่แรงดัน ไม่สามารถวัดค่าความต้านทานได้ จึงจำเป็นต้องออกแบบวงจรแบ่งแรงดันเพื่อทำการวัดค่าความต้านทานของ Thermistor ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 วงจร Voltage Divider เพื่อทำการวัดค่าความต้านทานจาก Thermistor

เมื่อกำหนดให้  $V_{in} = 5V$  เป็นแหล่งจ่ายให้กับวงจร และมีค่าความต้านทาน  $R_{ref} = 5k\Omega$  และ  $R$  คือ Thermistor ซึ่งจะมีความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ดังนั้นจะสามารถหาแรงดันขาออก ( $V_{out}$ ) ได้ด้วยโปรแกรม Lab VIEW ตามสมการที่ (3.7)

$$V_{out} = V_{in} \frac{R}{R + R_{ref}} \quad (3.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการอ้างอิง การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงแก้ไขเอกสารใดๆทั้งสิ้น ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R = \frac{V_{out} R_{ref}}{V_{in} - V_{out}} \quad (3.8)$$

เมื่อได้ค่าความต้านทานของ Thermistor ตามสมการที่ (3.8) แล้ว นำไปแทนค่าลงในสมการ (3.6) จะได้ค่าของอุณหภูมิตามที่ต้องการ และสามารถนำไปเขียนฟังก์ชันในโปรแกรม LabVIEW ได้ดังรูปที่ 3.12

3.2.2.2 การวัดความชื้น เซ็นเซอร์วัดความชื้น HIH 5030 เป็นเซ็นเซอร์วัดความชื้นแบบคาปาซิทีฟ (Capacitive Humidity Sensor) ช่วงในการวัดความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 0-100% ตัวเซ็นเซอร์จะอาศัยไฟเลี้ยง เป็นแรงดันกระแสตรง 5 V เอาต์พุตของเซ็นเซอร์จะออกเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งมีสัดส่วนเป็นเชิงเส้นกับค่าความชื้นสัมพัทธ์ ได้สมการดังนี้

$$SensorRH = \frac{V_{out} / V_{in} - 0.1515}{0.00636} \quad (3.9)$$

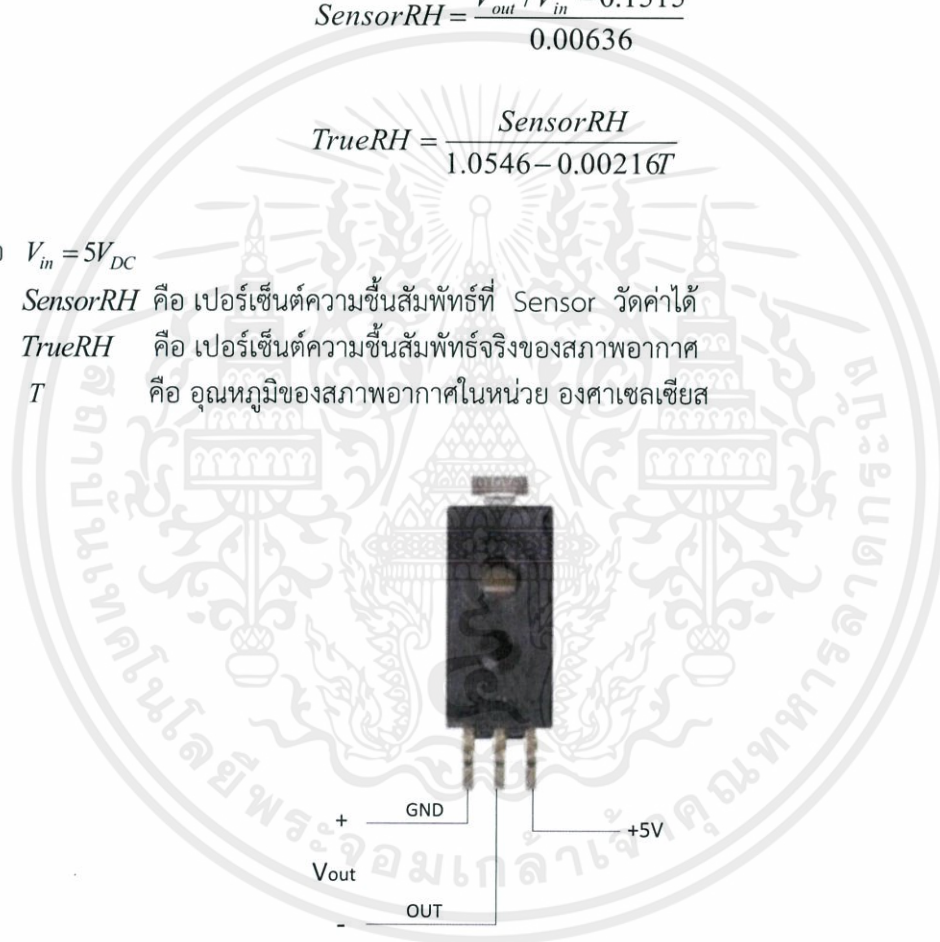
$$TrueRH = \frac{SensorRH}{1.0546 - 0.00216T} \quad (3.10)$$

เมื่อ  $V_{in} = 5V_{DC}$

$SensorRH$  คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ที่ Sensor วัดค่าได้

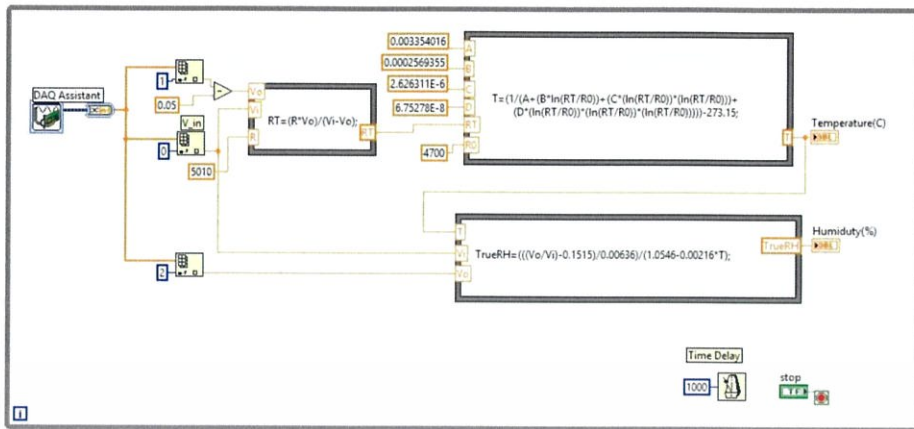
$TrueRH$  คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์จริงของสภาพอากาศ

$T$  คือ อุณหภูมิของสภาพอากาศในหน่วย องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.11 ลักษณะของ Capacitive Humidity Sensor

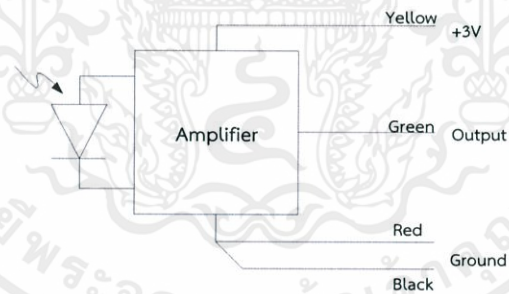
จากรูปเซ็นเซอร์วัดความชื้น HIH 5030 จะต้องต่อสายออกมาจากเซ็นเซอร์ 3 สาย ทำการป้อนแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงขนาด  $5V_{DC}$  เข้าที่ขาบวกและขา Ground ของเซ็นเซอร์ และทำการวัดแรงดันขาออก ( $V_{out}$ ) ระหว่างขา Output และขา Ground สำหรับค่าแรงดันขาออกที่ได้ นั้น มีค่าขึ้นอยู่กับค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เซ็นเซอร์สามารถวัดได้ แรงดันขาออก ( $V_{out}$ ) ที่ได้จะเชื่อมต่อเข้ากับพอร์ตของอุปกรณ์ DAQ และสามารถนำไปสร้างฟังก์ชันในโปรแกรม LabVIEW ได้ดังรูป 3.12



รูปที่ 3.12 หน้า Block Diagram ของการวัดอุณหภูมิและความชื้นบนโปรแกรม LabVIEW โดยใช้ Thermistor และ Humidity sensor เป็นตัวรับสัญญาณ

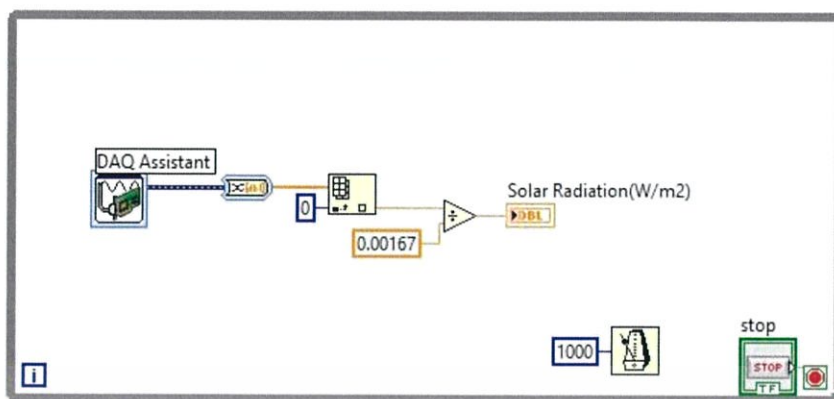
### 3.2.3 การวัดพลังงานแสงอาทิตย์

เครื่องตรวจวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์ หรือ Solar radiation sensor รุ่น DAVIS 6450 สามารถทำงานได้โดยการรับรังสีจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ซึ่งเป็นการรวมองค์ประกอบของรังสีตรง และ รังสีกระจายของดวงอาทิตย์ เซ็นเซอร์จะเปลี่ยนรังสีของดวงอาทิตย์ เป็นกระแสไฟฟ้า โดยใช้ซิลิกอนโฟโตไดโอด (Silicon Photodiode) เป็น Transducer ช่วงในการวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์จะอยู่ในช่วง 0 - 1800 W/m<sup>2</sup> เอาต์พุตของเซ็นเซอร์จะออกเป็นแรงดันไฟฟ้า กระแสตรง 1.67 mV ต่อ W/m<sup>2</sup> (0 - 3 VDC)



รูปที่ 3.13 วงจรการทำงานของ Pyranometer

จากรูปวงจรการทำงานของ Pyranometer ดังรูปที่ 3.10 จะมีสายเชื่อมต่อออกมาจากเซ็นเซอร์ 4 เส้น คือ เหลือง เขียว ดำ ทำการป้อนแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงขนาด 3 V<sub>DC</sub> ขั้วบวกเข้าทางสายสีเหลือง และ ขั้วลบต่อกับ Ground ที่สายสีแดงและสีดำ และทำการวัด Output ที่ได้ออกมาจาก สายสีเขียวเป็นขั้วบวก และสีแดง ,สีดำ เป็นขั้วลบ ได้เป็นแรงดันขาออก (V<sub>out</sub>) มีค่าขึ้นอยู่กับค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่วัดได้ เมื่อวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์ ได้ 1 W/m<sup>2</sup> ใช้ ค่า V<sub>out</sub> จะออกมาเท่ากับ 1.67 mV แล้วต่อผ่านพอร์ตของอุปกรณ์ DAQ และสามารถสร้างฟังก์ชันโปรแกรม LabVIEW ได้ดังรูป 3.14



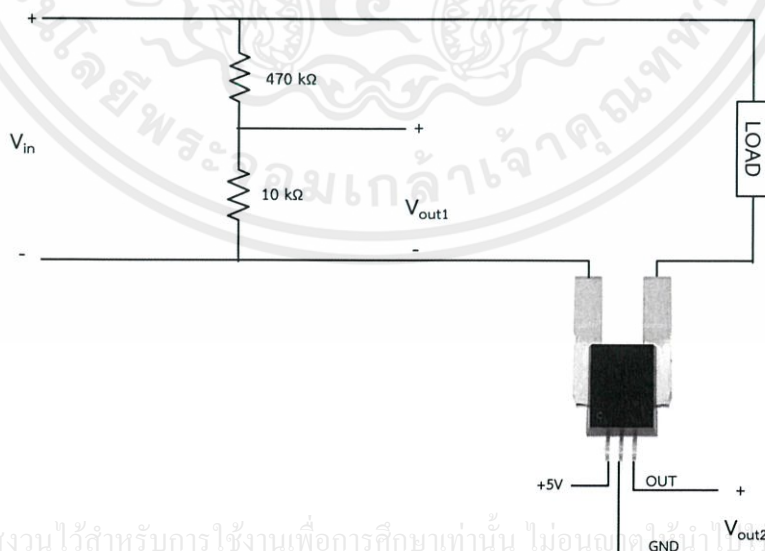
รูปที่ 3.14 หน้า Block Diagram ของการวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์ด้วย Solar radiation sensor

### 3.2.4 การวัดพลังงานไฟฟ้า

การวัดพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า จะประกอบด้วย การวัดกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้า ซึ่งการวัดแรงดันไฟฟ้าจะใช้ Voltage Divider เพื่อทอนระดับแรงดันไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ และใช้ Current sensor ในการวัดกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 3.15 Current sensor



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้เพื่อประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้นำข้อมูลไปเผยแพร่หรือแจ้งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.16 วงจรการวัดค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า

3.2.4.1 วัดค่ากระแสไฟฟ้า โดยใช้ Current sensor หรือ Current Transducer ACSxCB-050 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่ากระแสไฟฟ้าที่มีความแม่นยำ โดยกระแสจะไหลผ่านตัวนำทองแดงเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดย Hall IC เป็นตัวตรวจจับ และเปลี่ยนเป็นแรงดันไฟฟ้าตามสัดส่วนกระแสที่ไหลผ่านแรงดันขาออก (Vout) ของเซ็นเซอร์มีค่าเป็นบวก (มากกว่า  $V_{cc}/2$  คือค่ากระแสที่ไหลผ่าน Current Sensor  $I=0$  ค่า  $V_{out}=V_{cc}/2$ ) เมื่อเกิดกระแสไหลเพิ่มขึ้นจากขาที่ 4 ไป ขาที่ 5 ซึ่งจะไหลผ่าน Current Sensor แรงดันขาออก (Vout) ก็จะเพิ่มตาม ความต้านทานภายในเท่ากับ  $100\mu\Omega$  ดังนั้นกำลังที่สูญเสียจะต่ำ โดย Current Sensor มีขาเชื่อมต่ออีก 3 ขา คือ ขาที่ 1  $V_{cc}$  คือ ไฟเลี้ยง ,ขาที่ 2 คือ Ground ,ขาที่ 3 แรงดันขาออก Vout2 คือ แรงดันขาออก การตอบสนองของ Current Sensor คือ เมื่อค่ากระแสที่ไหลผ่าน Current Sensor เท่ากับ 1A จะทำให้ค่าแรงดันขาออก Vout2 ออกมาเท่ากับ 40 mVDC (ที่ขา 3 และ 2) แล้วบวกกับค่าชดเชย (offset) คือ  $V_{cc}/2$

จากรูป Current Sensor รูปที่ 3.15 และวงจรดังรูปที่ 3.16 Current Sensor จะมีขาเชื่อมต่อทั้งหมด 5 ขา (ขาที่ 1  $V_{cc}$  คือ ไฟเลี้ยง ,ขาที่ 2 คือ Ground ,ขาที่ 3 Vout2 คือ แรงดัน output ,ขาที่ 4 IP+ ,ขาที่ 5 IP-) ทำการป้อนแรงดันที่ออกมาจากโหนดเข้าที่ขาที่ 4 และแรงดันออกจากขาที่ 5 เชื่อมต่อกับ Ground แล้วป้อนไฟเลี้ยงขั้วบวก 5 VDC เข้าที่ขา 1 Ground ของไฟเลี้ยงเข้าที่ขา 2 ค่า แรงดันขาออก Vout2 วัดจากขาที่ 3 และขาที่ 2 ของตัว Current Sensor ค่าแรงดันขาออก Vout2 ขึ้นอยู่กับค่ากระแสที่ไหลผ่าน Current Sensor เมื่อกระแสไหลผ่าน Current Sensor เท่ากับ 1 A จะได้แรงดันขาออก (Vout) เท่ากับ 40 mVDC แล้วบวกกับค่าชดเชย (offset) คือ  $V_{cc}/2$

3.2.4.2 วัดค่าแรงดันไฟฟ้า จากรูปวงจรที่ 3.15 วัดค่าแรงดันไฟฟ้า  $V_{in}$  โดยการทำให้ Voltage Divider เพื่อลดทอนค่าแรงดันขาออกให้ได้  $V_{out1}$  ซึ่งจะต้องไม่เกิน  $10 V_{DC}$  ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่ อุปกรณ์ DAQ สามารถรับค่าได้และเชื่อมต่อผ่านพอร์ตอุปกรณ์ DAQ แล้วใช้โปรแกรม LabVIEW คำนวณในการหาแรงดันที่แท้จริง โดยใช้ความต้านทาน 2 ตัว คือ  $R_1 = 470k\Omega$  และ  $R_2 = 10k\Omega$

Voltage Divider ;

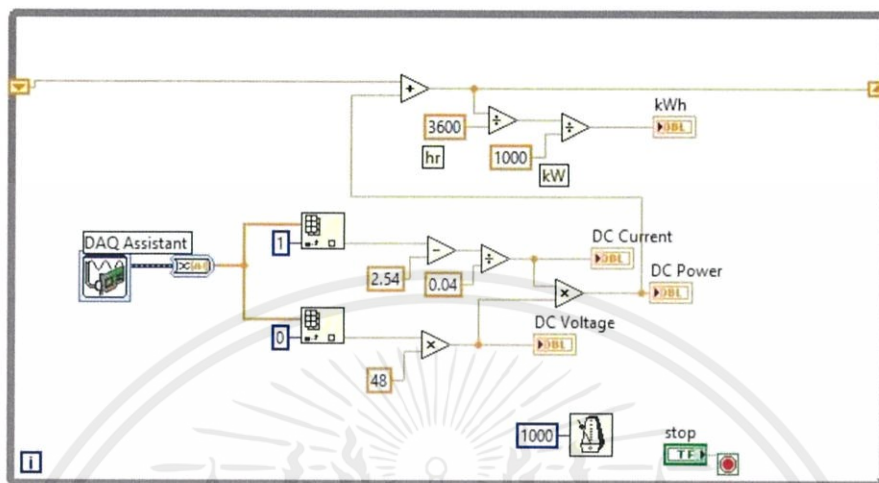
$$V_{out1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{in} \quad (3.11)$$

$$V_{out1} = \frac{10k}{470k + 10k} V_{in} \quad (3.12)$$

$$V_{out1} = \frac{1}{48} V_{in} \quad (3.13)$$

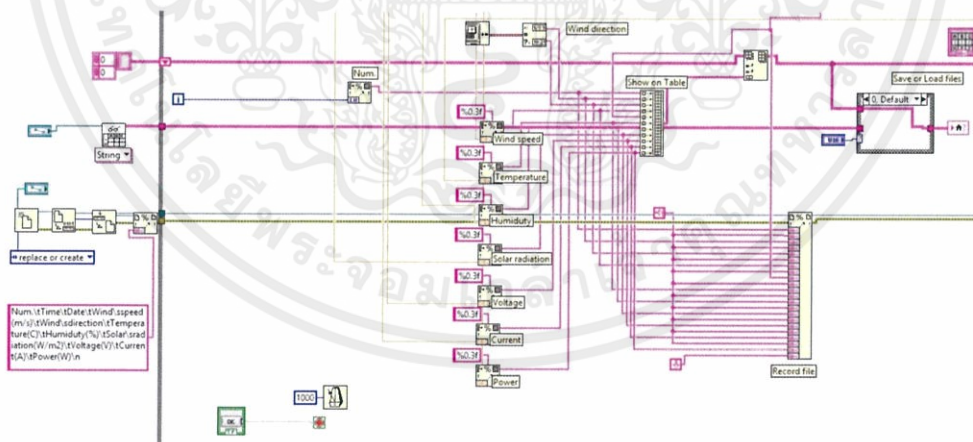
3.2.4.3 วัดค่ากำลังไฟฟ้า และค่าพลังงานไฟฟ้า(kWh) ทำการแปลงค่าแรงดันขาออก  $V_{out2}$  ที่ได้จาก Current Sensor ไปเป็นค่ากระแสจริงที่วัดได้จาก Current Sensor โดยนำแรงดันขาออก  $V_{out2}$  ลบออกจากค่าชดเชย (offset) คือ  $V_{cc}/2$  แล้วแปลงค่าจากแรงดันขาออก  $V_{out2}$  เป็นกระแสไฟฟ้าจริง ซึ่งถ้าแรงดันขาออกเท่ากับ 40 mVDC กระแสจะเท่ากับ 1 A และแปลงค่า

แรงดันขาออก  $V_{out1}$  ให้เป็นแรงดัน  $V_{in}$  โดยทำการ Voltage Divider กลับ  $V_{in}=48V_{out1}$  ค่ากำลังไฟฟ้าคือผลคูณระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและค่าแรงดันไฟฟ้า ( $P_{out}=IV_{in}$ ) แล้วทำการหาค่าพลังงานไฟฟ้าสะสมในหน่วยของ kWh สามารถเขียนฟังก์ชันในโปรแกรม LabVIEW ได้ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 หน้า Block Diagram ในการวัดกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า

เมื่อทำการออกแบบและสร้างฟังก์ชันการวัดได้แล้ว ผลของการวัดจะแสดงผลผ่าน หน้า Front Panel ที่ได้ทำการออกแบบไว้ ซึ่งจะเป็นการแสดงผลขณะวัดตลอดเวลา เมื่อสามารถวัดและแสดงผลแล้ว จึงทำการออกแบบการทำการบันทึกผลข้อมูลที่วัดค่าได้ ซึ่งในที่นี้จะทำการบันทึกผลและแสดงค่าบนตาราง ซึ่งสามารถสร้างฟังก์ชันในโปรแกรม LabVIEW ได้ดังรูปที่ 3.18



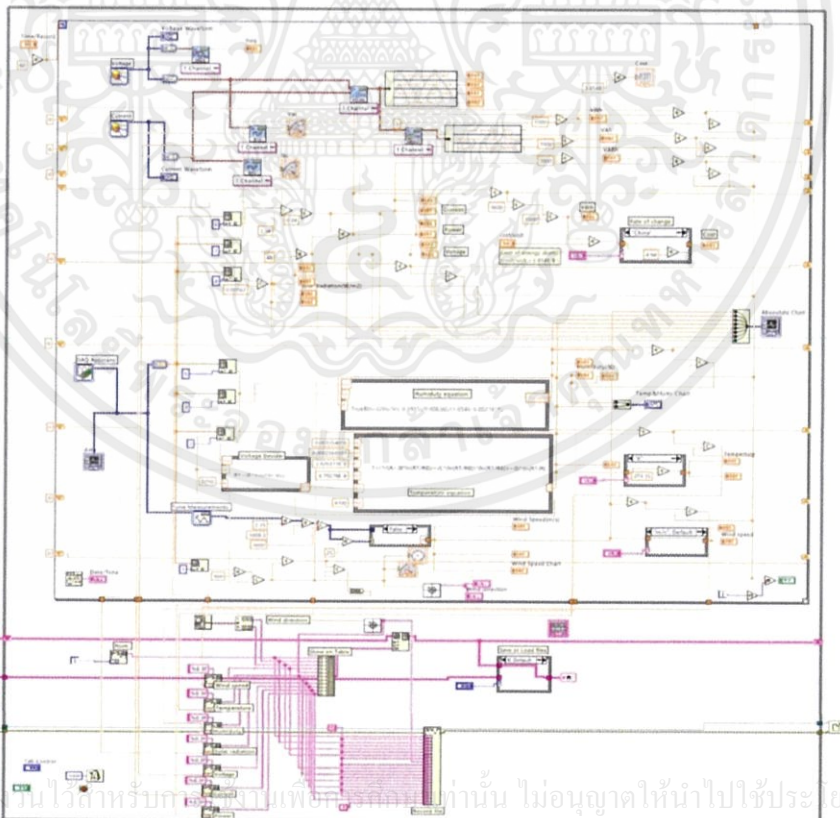
รูปที่ 3.18 หน้า Block Diagram ในส่วนของการแสดงผลบนตารางและการเก็บบันทึกข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Num.	Date	Time	Wind speed(m/s)	Wind direction	Temperature(C)	Humidity(%)	Solar radiation(W/m <sup>2</sup> )
0	12/3/2557	7:22	1.754	S	27.012	75.803	117.600
1	12/3/2557	7:27	1.087	S	27.473	73.082	127.726
2	12/3/2557	7:32	1.841	S	27.782	71.299	158.973
3	12/3/2557	7:37	1.660	S	28.032	69.820	178.605
4	12/3/2557	7:42	1.647	S	28.304	68.984	193.481
5	12/3/2557	7:47	1.964	S	28.530	68.492	201.257
6	12/3/2557	7:52	2.146	S	28.189	70.134	197.224
7	12/3/2557	7:57	2.244	S	28.133	70.544	189.359
8	12/3/2557	8:02	2.050	SE	28.127	70.912	155.572
9	12/3/2557	8:07	2.096	SE	28.822	66.020	300.710
10	12/3/2557	8:12	2.279	S	28.915	65.624	279.979
11	12/3/2557	8:17	2.298	S	29.560	62.511	341.139
12	12/3/2557	8:22	2.494	SE	29.055	65.561	271.194
13	12/3/2557	8:27	2.325	SE	28.792	68.054	213.017
14	12/3/2557	8:32	1.960	S	29.173	65.647	283.984
15	12/3/2557	8:37	1.970	S	30.345	58.128	424.905
16	12/3/2557	8:42	2.200	S	30.762	55.945	457.909
17	12/3/2557	8:47	2.321	S	30.482	58.112	402.597
18	12/3/2557	8:52	2.115	S	30.527	58.231	351.496
19	12/3/2557	8:57	2.339	SE	30.747	55.966	517.998
20	12/3/2557	9:02	2.309	S	31.570	51.861	582.482
21	12/3/2557	9:07	2.163	S	33.204	47.326	624.786
22	12/3/2557	9:12	2.299	S	33.113	47.599	666.841
23	12/3/2557	9:17	2.340	S	32.145	52.331	442.934
24	12/3/2557	9:22	2.343	SW	31.961	52.709	557.148

รูปที่ 3.19 ลักษณะของไฟล์ข้อมูลที่บันทึกได้

เมื่อทำการออกแบบฟังก์ชันการทำงานบนหน้า Block Diagram บนโปรแกรม LabVIEW ของอุปกรณ์ตรวจวัดแต่ละตัวได้ตั้งข้อมูลข้างต้นแล้ว สามารถรวมการทำงานเข้าด้วยกันได้ โดยรับสัญญาณมาจากอุปกรณ์ DAQ ตัวเดียว ซึ่งการทำงานของโปรแกรมอาจจะมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น ดังรูปที่ 3.19



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

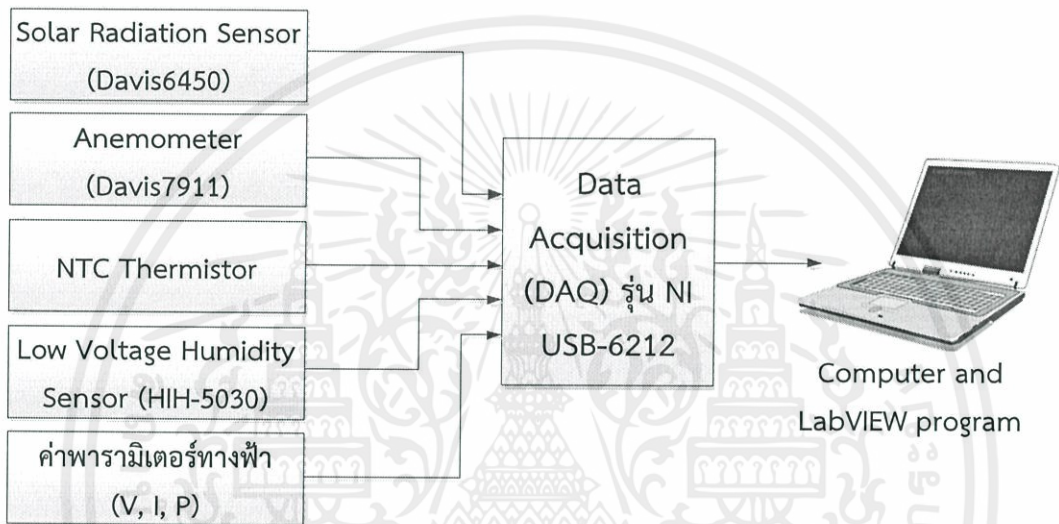
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.20 หน้า Block Diagram ทั้งหมดในการทำเครื่องมือวัดและบันทึก

## บทที่ 4

### การทดลองและการเก็บข้อมูล

บทนี้จะกล่าวถึงการนำอุปกรณ์ตรวจวัดที่ได้ทำการออกแบบมาทดลองใช้งานจริง โดยในการทดลองจะทำการวัดค่าของพลังงานแสงอาทิตย์ ความเร็วลม ทิศทางลม อุณหภูมิ ความชื้น และค่ากำลังไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ โดยใช้ตัวตรวจจับ(sensor) ส่งสัญญาณที่รับได้มายังอุปกรณ์ DAQ และใช้โปรแกรม LabVIEW ในการประมวลผล แสดงผลและบันทึกผลการการวัดแบบเรียลไทม์ ซึ่งจะทำการบันทึกค่าเฉลี่ยผลที่วัดได้ทุก 5 นาที ทำการทดลองบันทึกผล 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.1 ไดอะแกรมการทดลอง

#### 4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

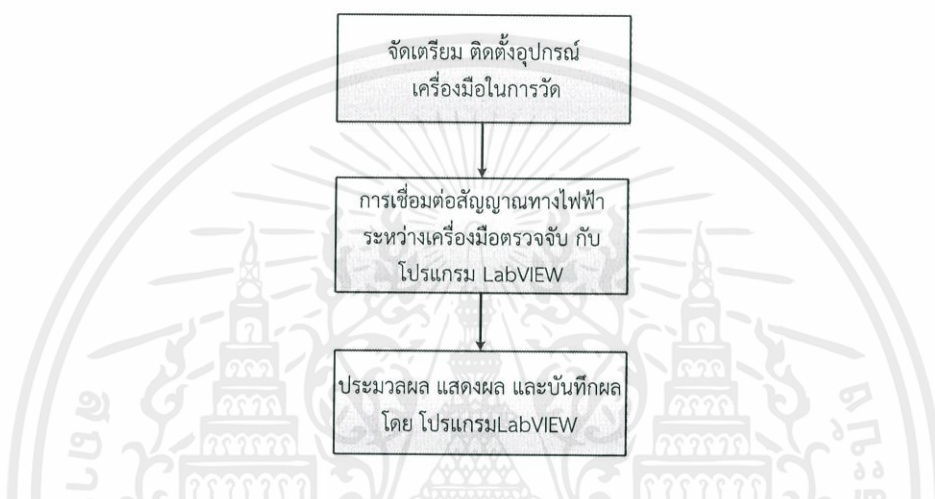
1. เครื่องมือตรวจจับสัญญาณ (Sensor)
  - Solar Radiation Sensor (Davis6450) ใช้ตรวจจับความเข้มของแสงอาทิตย์
  - Anemometer (Davis7911) ใช้ตรวจจับความเร็วลมและทิศทางลม
  - NTC Thermistor ใช้ตรวจจับอุณหภูมิ
  - Low Voltage Humidity Sensor (HIH-5030) ใช้ตรวจจับความชื้น
2. อุปกรณ์ตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า (Voltage, Current, Power)
3. Data Acquisition (DAQ) รุ่น NI USB-6212, 16 Inputs, 16-bit, 400 kS/s,

Multifunction I/O

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. แผงโซลาร์เซลล์ 100W 100V ชนิด THIN FILM PHOTOVOLTAIC MODULE ยี่ห้อ DuPont Apollo จำนวน 4 แผง
5. ชุดโหลดหลอดไฟ 4 หลอด หลอดละ 100W 220V
6. DC Supply 3V และ 5V
7. ชุดโปรแกรม LabVIEW 2012 Version 12.0 (32-bit) และเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ทำการออกแบบ

#### 4.2 การทดลอง



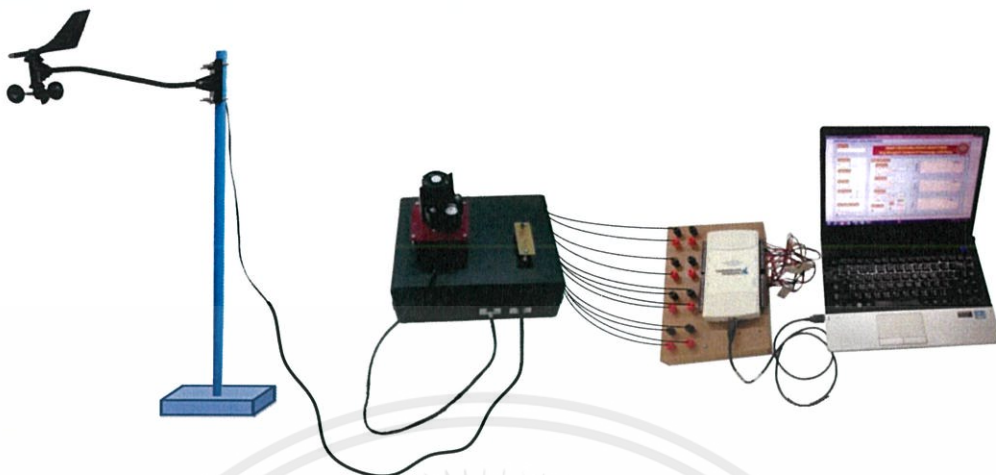
รูปที่ 4.2 ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองจะติดตั้งอุปกรณ์เครื่องตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยมี (DAQ) เป็นตัวเชื่อมต่อสัญญาณทางไฟฟ้าจากเครื่องตรวจวัดต่างๆ มาประมวลผลในโปรแกรม LabVIEW ต้องมีการแบ่งแยกสัญญาณของเครื่องตรวจวัดแต่ละชนิด โดยจะมีการตั้งค่าพอร์ตของ DAQ ในโปรแกรม LabVIEW ว่าพอร์ตไหนรับสัญญาณเป็นอะไร เมื่อได้สัญญาณที่ถูกต้อง ก็นำสัญญาณที่ได้มาประมวลผล แสดงข้อมูล และบันทึกผล ในโปรแกรม LabVIEW

##### 4.2.1 การจัดเตรียมอุปกรณ์ตรวจวัด

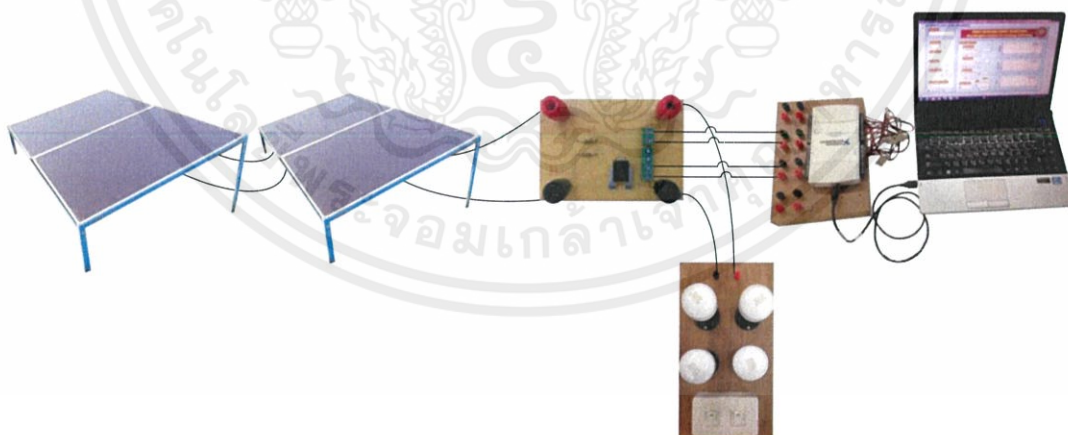
อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าพารามิเตอร์ จะแบ่งลักษณะการวัดออกเป็น การวัดค่าพารามิเตอร์ทางสภาพอากาศ คือ พลังงานแสงอาทิตย์ ความเร็วลม ทิศลม อุณหภูมิ ความชื้น และค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า คือ ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้า ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 อุปกรณ์ตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ทางสภาพอากาศ

4.2.1.1 อุปกรณ์ตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ทางสภาพอากาศ การตรวจจับค่าพารามิเตอร์ทางสภาพอากาศจะใช้เครื่องตรวจจับคือ Anemometer (Davis7911) ในการตรวจจับความเร็วลมและทิศทางลม ,Low Voltage Humidity Sensor (HIH-5030) ใช้ตรวจจับความชื้น ,NTC Thermistor ในการตรวจจับอุณหภูมิ ,Solar Radiation Sensor (Davis6450) ใช้ตรวจจับความเข้มของแสงอาทิตย์ และส่งสัญญาณทางไฟฟ้าผ่าน Data Acquisition(DAQ) ไปประมวลผล แสดงผล และบันทึกผล ในโปรแกรม LabVIEW



รูปที่ 4.4 อุปกรณ์ตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.2 อุปกรณ์ตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ทำการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์แผงละ 100W 100V จำนวน 4 แผง โดยใช้ 2 แผงต่ออนุกรมกัน 2 ชุด และนำ 2 ชุดที่ต่ออนุกรม มาต่อขนานกัน เพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าที่มากขึ้น แรงดันไฟฟ้าเท่าเดิม โดยจะใช้หลอดไฟ 100W 220V จำนวน 4 หลอดเพื่อจำลองเป็นโหลดและวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ การตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้านั้น ต้องใช้ Current Transducer ในการตรวจจับค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลด และวัดค่าแรงดันไฟฟ้าโดยวิธี Voltage Divider เพื่อลดทอนระดับแรงดันให้ใช้ได้กับข้อจำกัดของอุปกรณ์ DAQ แล้วส่งสัญญาณทางไฟฟ้าผ่าน Data Acquisition(DAQ) ไปประมวลผลคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่วัด แสดงผล และบันทึกผล ในโปรแกรม LabVIEW ต่อไป



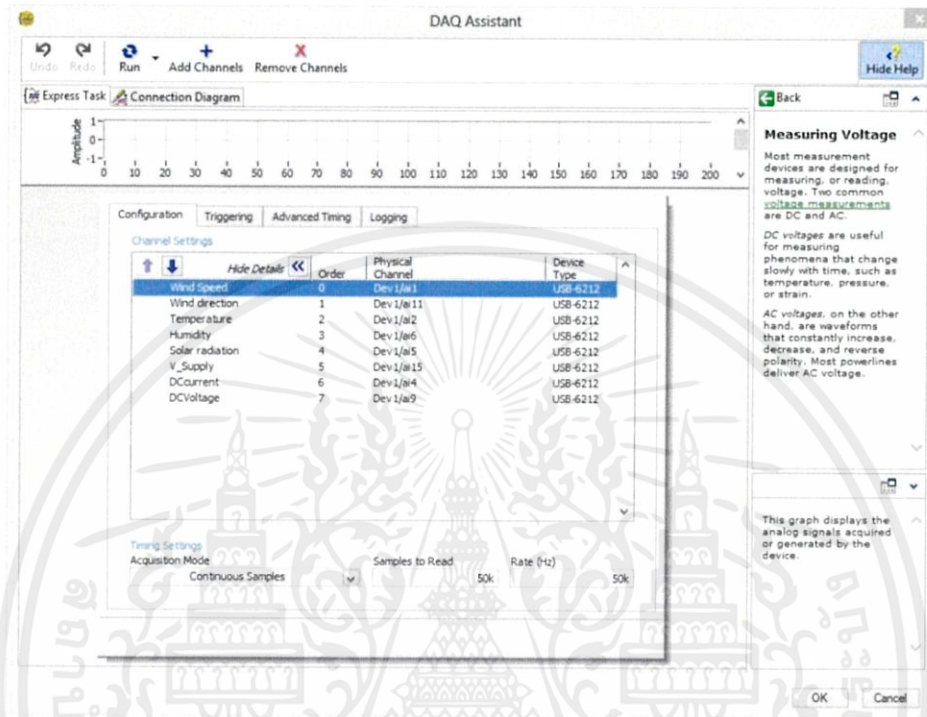
รูปที่ 4.5 การทดลองใช้งานและวัดผลในสถานที่จริง

#### 4.2.2 การตั้งค่าพอร์ตรับสัญญาณบนโปรแกรม LabVIEW

เนื่องจากอุปกรณ์ DAQ มีการรับข้อมูลหลายค่าจึงจำเป็นต้องมีการกำหนดค่าพอร์ตของอุปกรณ์ DAQ ว่าพอร์ตไหนรับสัญญาณเป็นอะไร เพื่อลำดับการรับสัญญาณที่เข้ามาไปทำการประมวลผลได้อย่างถูกต้อง ในที่นี้จะมีสัญญาณเข้าทั้งหมดจำนวน 8 สัญญาณด้วยกัน ซึ่งประกอบไปด้วยสัญญาณพัลส์ของ Anemometer 1 สัญญาณ และสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงอีกจำนวน 7 สัญญาณ ซึ่งการตั้งค่าพอร์ตของอุปกรณ์ DAQ สามารถตั้งค่าได้ดังนี้

- |                   |                            |
|-------------------|----------------------------|
| 1.Wind speed      | Order : 0 ; Channel : ai1  |
| 2.Wind direction  | Order : 1 ; Channel : ai11 |
| 3.Temperature     | Order : 2 ; Channel : ai2  |
| 4.Humidity        | Order : 3 ; Channel : ai6  |
| 5.Solar radiation | Order : 4 ; Channel : ai5  |
| 6.V_supply        | Order : 5 ; Channel : ai15 |
| 7.DC Current      | Order : 6 ; Channel : ai4  |
| 8.DC Voltage      | Order : 7 ; Channel : ai9  |

การตั้งค่าพอร์ตเชื่อมต่อของอุปกรณ์ DAQ สามารถตั้งค่าได้ตั้งข้อมูลข้างต้นแต่ทั้งนี้ การตั้งค่าพอร์ตของอุปกรณ์ DAQ ไม่จำเป็นต้องตั้งค่าตามนี้ แต่สามารถตั้งค่าได้ตามต้องการ ตามแต่ที่ผู้ใช้งานสะดวก แต่ต้องทราบว่าสัญญาณที่เข้ามานั้นเชื่อมต่ออยู่กับพอร์ตไหนของอุปกรณ์ DAQ เพื่อจะได้นำสัญญาณที่ถูกต้องไปใช้งาน



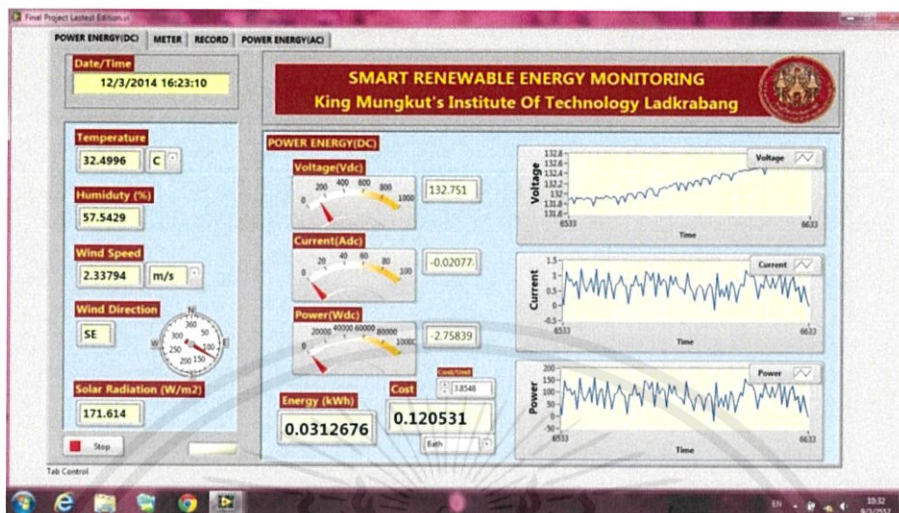
รูปที่ 4.6 การตั้งค่ารับพอร์ตรับสัญญาณของอุปกรณ์ DAQ

#### 4.2.3 การแสดงผลการวัดและบันทึกข้อมูล

เมื่อทำการรันโปรแกรมที่ทำการออกแบบจะมีการประมวลผลสัญญาณที่ได้รับเข้ามา เพื่อการวัดและบันทึกผลของ Solar radiation ,Wind speed ,Wind direction ,Temperature ,Humidity ,Voltage ,Current ,Power ที่ได้ทำการออกแบบไว้ ซึ่งการแสดงผลของโปรแกรมจะแสดงผลบนหน้า Front Panel ของโปรแกรม LabVIEW ที่ได้ออกแบบไว้ ดังรูปที่ 4.7 ,รูปที่ 4.8 และรูปที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.2.3.1 การแสดงผลการวัด ของพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งทำการแสดงผลบนหน้า Front Panel โปรแกรม LabVIEW



รูปที่ 4.7 หน้าจอหลักแสดงผลการวัด

จากรูปที่ 4.7 หน้าจอแสดงผลการวัดประกอบไปด้วย

1. Date/Time เป็นการแสดงวันที่และเวลาขณะที่อุปกรณ์ตรวจวัดกำลังวัดและบันทึกผลข้อมูลอยู่
2. Temperature เป็นการแสดงค่าของอุณหภูมิที่ตรวจวัดได้ ณ เวลานั้นๆ ซึ่งผู้ใช้งานสามารถที่จะเปลี่ยนหน่วยวัดอุณหภูมิได้ โดยการคลิกเมาส์เลือก C (องศาเซลเซียส), F (องศาฟาเรนไฮต์), K (องศาเคลวิน)ตามความสะดวกในการอ่านข้อมูล
3. Humidity (%) เป็นการแสดงค่าของเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ตรวจวัดได้ ณ เวลานั้นๆ
4. Wind Speed เป็นการแสดงค่าความเร็วลมที่ตรวจวัดได้ ณ เวลานั้นๆ ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเลือกเปลี่ยนหน่วยวัดของความเร็วลมได้ คือ สามารถเลือกเป็น m/s (เมตรต่อวินาที), km/h (กิโลเมตรต่อชั่วโมง) หรือ mph (ไมล์ต่อชั่วโมง) ก็ได้ตามความสะดวกในการอ่านข้อมูล
5. Wind Direction เป็นการแสดงค่าของทิศทางลมที่ตรวจวัดได้ขณะนั้น โดยจะแสดงผลได้ทั้งหมด 8 ทิศทางดังนี้ N (ทิศเหนือ), NE (ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ), E (ทิศตะวันออก), SE (ทิศตะวันออกเฉียงใต้), S (ทิศใต้), SW (ทิศตะวันตกเฉียงใต้), W (ทิศตะวันตก), NW (ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ)
6. Solar Radiation ( $W/m^2$ ) จะแสดงค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ตรวจวัดได้ขณะนั้น มีหน่วยวัดเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร
7. Voltage(Vdc) เป็นการแสดงค่าของแรงดันไฟฟ้ามีหน่วยเป็นโวลต์ ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขณะที่ต่อโหลดอยู่ ณ เวลานั้นๆ โดยจะแสดงผลในรูปของมิเตอร์ ค่าตัวเลข และกราฟเมื่อเทียบกับเวลา ณ ขณะนั้นๆ ที่ทำการตรวจวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ซึ่งผู้จัดทำไม่รับผิดชอบต่อการใช้งานการคำนวณต่างๆ ที่ผิดพลาดหรือไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

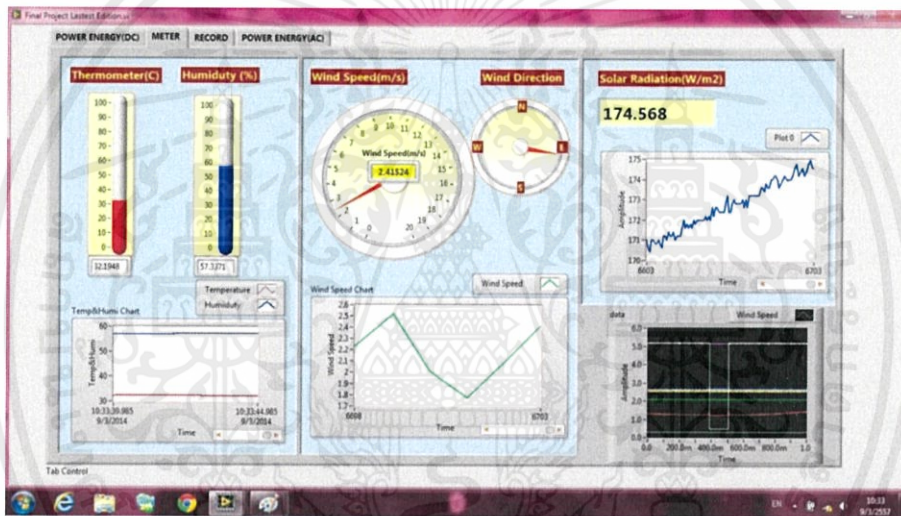
8. Current (Adc) เป็นการแสดงค่าของกระแสไฟฟ้ามีหน่วยเป็นแอมแปร์ ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขณะที่ต่อโหลดอยู่ ณ เวลานั้นๆ โดยจะแสดงผลในรูปของมิเตอร์ ค่าตัวเลข และกราฟเมื่อเทียบกับเวลา ณ ขณะนั้นๆ ที่ทำการตรวจวัด

9. Power (Wdc) เป็นการแสดงค่าของกำลังไฟฟ้ามีหน่วยเป็นวัตต์ ที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์ขณะที่ต่อโหลดอยู่ ณ เวลานั้นๆ โดยจะแสดงผลในรูปของมิเตอร์ ค่าตัวเลข และกราฟเมื่อเทียบกับเวลา ณ ขณะนั้นๆ ที่ทำการตรวจวัด

10. Energy (kWh) เป็นการแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้ขณะที่กำลังตรวจวัด มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์-ชั่วโมง

11. Cost เป็นการแสดงค่าไฟฟ้าที่คิดจากค่าพลังงานไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้ โดยสามารถกำหนดตัวคูณ(หน่วยของไฟฟ้า หรือค่าUnit) ได้ที่ช่อง Cost/Unit แล้วยังสามารถกำหนดหน่วยของค่าไฟฟ้าได้ ซึ่งมีตัวเลือกดังนี้ Bath (บาท), US Dallars, Pounds, Euro, Yen, China

12. Stop เป็นปุ่มสำหรับกดเพื่อหยุดการทำงานของการทำงานของการตรวจวัดผลข้อมูล



รูปที่ 4.8 หน้าจอแสดงผลการวัดอุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลมทิศทางลมและค่าพลังงานแสงอาทิตย์

จากรูปที่ 4.8 หน้าจอแสดงผลการวัดในหน้านี้จะแสดงผลการวัดแบบมิเตอร์ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้งานมีความสะดวกในการอ่านข้อมูล ซึ่งเสมือนกับผู้ใช้กำลังอ่านข้อมูลจากมิเตอร์ตรวจวัดจริงๆ และมีการแสดงผลด้วยกราฟ ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้งานง่ายต่อการเปรียบเทียบข้อมูล หรือดูแนวโน้มของข้อมูลได้ง่าย โดยภายในหน้าจอแสดงผลนี้จะประกอบไปด้วย

1. Thermometer (C) เป็นการแสดงมิเตอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ซึ่งมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส และมีการแสดงค่าอุณหภูมิ ณ ขณะนั้น เป็นค่าตัวเลขทางด้านล่างของมิเตอร์ด้วย

2. Humidity (%) เป็นการแสดงมิเตอร์ตรวจวัดค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น ณ ขณะนั้น และแสดงว่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นในรูปของค่าตัวเลข ทางด้านล่างของมิเตอร์ด้วย จากมิเตอร์วัดอุณหภูมิและเปอร์เซ็นต์ความชื้น ทางด้านล่างของมิเตอร์ ได้แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิและ

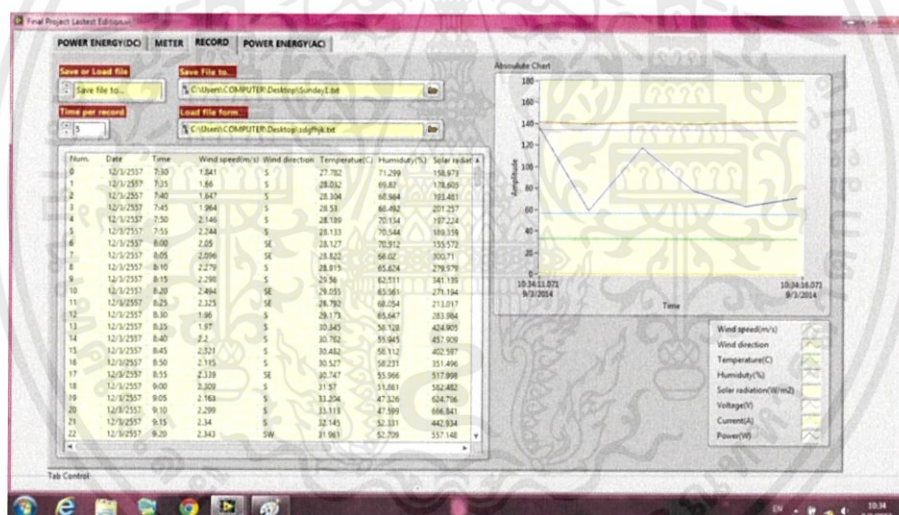
เปอร์เซ็นต์ความชื้นในรูปของกราฟเทียบกับเวลา ณ ขณะที่ทำการวัดด้วย โดยเส้นสีแดงจะแสดงค่าของอุณหภูมิ และเส้นสีน้ำเงินจะแสดงค่าของเปอร์เซ็นต์ความชื้น

3. Wind Speed (m/s) และ Wind Direction เป็นการแสดงค่าความเร็วลมมีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที และทิศทางของลมที่วัดได้ ณ เวลานั้นๆ โดยแสดงในรูปของมิเตอร์ตรวจวัด ทำให้ผู้ใช้งานสามารถอ่านข้อมูลได้ง่ายขึ้นและทางด้านล่างมิเตอร์ก็ได้แสดงค่าของความเร็วลมในรูปของกราฟเมื่อเทียบกับเวลาที่ทำการตรวจวัดด้วย

4. Solar Radiation ( $W/m^2$ ) เป็นการแสดงค่าของความเข้มของแสงอาทิตย์ที่วัดได้ขณะนั้น มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร ในรูปของค่าตัวเลข และกราฟเมื่อเทียบกับเวลาที่ทำการตรวจวัด

5. กราฟแสดงสัญญาณอินพุทที่อุปกรณ์ DAQ รับค่าสัญญาณเข้ามา

4.2.3.2 การบันทึกผล ส่วนของการบันทึกผลจะมีการบันทึกข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยสามารถเลือกได้ว่าจะเฉลี่ยข้อมูลทุกกี่นาที ในการทดลองจะใช้การเฉลี่ยข้อมูลทุก 5 นาที และจะมีการตั้งค่าไฟล์ที่จะบันทึก ข้อมูลการบันทึกผลเป็นไฟล์ .txt และจะมีการแสดงข้อมูลเป็นไฟล์ข้อมูลและกราฟในหน้าจอแสดงผลการบันทึก



รูปที่ 4.9 หน้าจอแสดงผลตารางค่าที่บันทึกได้และกราฟ

จากรูปที่ 4.9 หน้าจอแสดงผลในหน้านี้จะแสดงการบันทึกข้อมูล การอ่านข้อมูล และกราฟแสดงการเปรียบเทียบข้อมูล ซึ่งประกอบไปด้วย

1. Save/Download file ในส่วนนี้ผู้ใช้งานสามารถที่จะเลือกให้หน้าจอแสดงผลของไฟล์ข้อมูลที่จะทำการบันทึก หรือไฟล์บันทึกที่มีอยู่ข้อมูลเก่าที่เคยบันทึกไว้ โดยมีให้เลือก 2 คำสั่งคือ Save file (สำหรับแสดงไฟล์ที่จะทำการบันทึก)และ Download file (สำหรับแสดงไฟล์เก่าที่เคยบันทึกไว้)

2. Save file to... ในส่วนนี้ผู้ใช้งานจะต้องกำหนดที่อยู่ของไฟล์ที่ต้องการจะเก็บบันทึกข้อมูลเอาไว้ โดยให้ตั้งชื่อไฟล์ .txt ไว้ตอนท้ายของที่อยู่ไฟล์ด้วย เช่น หากต้องการ save

ไฟล์ข้อมูลในชื่อ new\_data และให้เก็บไฟล์ไว้ในที่อยู่ไดร์ฟ C ในโฟลเดอร์ชื่อ Data ก็ให้ใส่ที่อยู่ไฟล์ในช่อง Save file to... ดังนี้ C:\Data\new\_data.txt

3. Download file from... ในส่วนนี้หากผู้ใช้งานต้องการแสดงข้อมูลไฟล์เก่าที่เคยบันทึก จะต้องกำหนดที่อยู่ของไฟล์นั้นๆ ด้วย เช่น หากไฟล์ข้อมูลเก่าชื่อว่า old\_data ถูกเก็บไว้ในที่อยู่ไดร์ฟ C ในโฟลเดอร์ชื่อ Data ก็ให้ใส่ที่อยู่ไฟล์ในช่อง Download file from... ดังนี้ C:\Data\old\_data.txt โดยไฟล์ที่ต้องการบันทึก หรือไฟล์เก่าที่ต้องการแสดงนั้น จะถูกแสดงค่าบนตารางข้อมูลทางด้านล่างหน้าจอดังรูปที่ 4.9

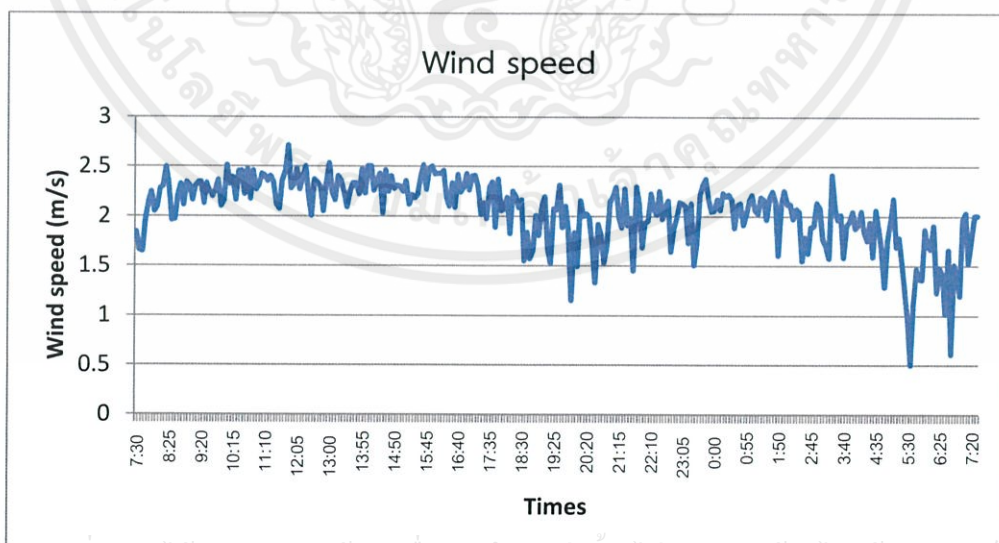
4. Time per record ในส่วนนี้ผู้ใช้งานสามารถกำหนดคาบเวลาของการบันทึกผลข้อมูลได้ตามต้องการ โดยค่าที่ทำการบันทึกจะเป็นค่าเฉลี่ยของทุกๆค่าตลอดคาบของการบันทึก เช่น หากต้องการบันทึกผลข้อมูลทุกๆ 1 นาที ก็ให้กำหนดเป็นเลข 1 ซึ่งค่าที่นำมาบันทึกผลจะเป็นค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมดในช่วงเวลา 1 นาที ในส่วนของการทดลองนี้จะกำหนดให้เป็นเลข 5 เนื่องจากต้องการวัดและบันทึกผลเฉลี่ยทุกๆ 5 นาที

5. Absolute Chart เป็นการแสดงกราฟรวมข้อมูลที่ตรวจวัดได้ทั้งหมด (Wind speed(m/s), Wind direction ,Temperature(C) ,Humidity(%) ,Solar radiation(W/m2), Voltage(V) ,Current(A) ,Power(W)) เทียบกับวันและเวลาที่ได้ทำการวัดขณะนั้น

#### 4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

เมื่อทำการทดลองตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แล้ว นำข้อมูลที่ได้จากการบันทึกมาทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ซึ่งข้อมูลที่ทำกรบันทึกได้คือ ความเร็วลม ทิศทางลม อุณหภูมิ ความชื้น ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ และกำลังไฟฟ้า ซึ่งข้อมูลที่ทำกรเก็บบันทึกไว้ตลอด 24 ชั่วโมงดูได้จากภาคผนวก ก ผลการวิเคราะห์ข้อมูลมีดังนี้

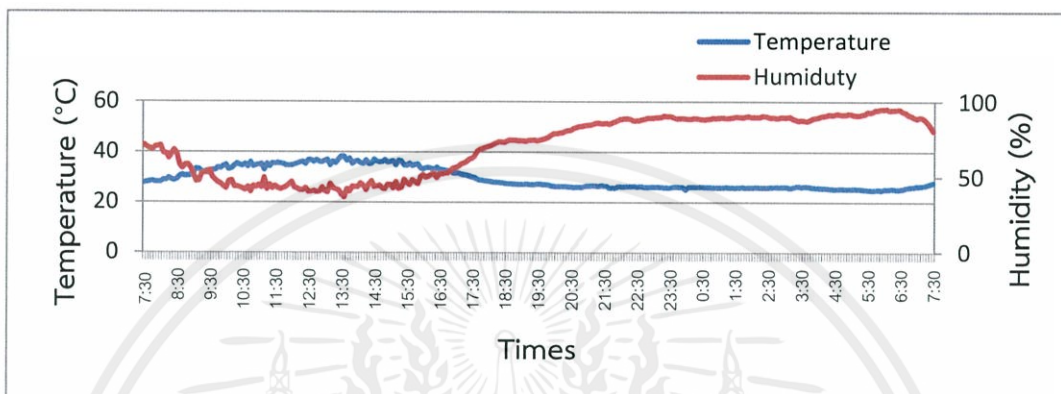
##### 4.3.1 ความเร็วลมและทิศทางลม



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงผลการวัดความเร็วลมตลอด 24 ชั่วโมง

จากการทดลอง และบันทึกผลค่าความเร็วลมเฉลี่ย ทุกๆ 5 นาที พบว่าความเร็วลมสูงสุดที่วัดได้ เท่ากับ 2.713 m/s ที่เวลา 11:50 น. ความเร็วลมต่ำสุด คือ 0.504 m/s ที่เวลา 5:35 น. ซึ่งค่าเฉลี่ยของความเร็วลมที่ทำการทดลอง เท่ากับ 2.051 m/s และทิศทางลมส่วนใหญ่จะพัดมาจากทางทิศใต้ ขึ้นไปทิศเหนือ

#### 4.3.2 อุณหภูมิและความชื้น



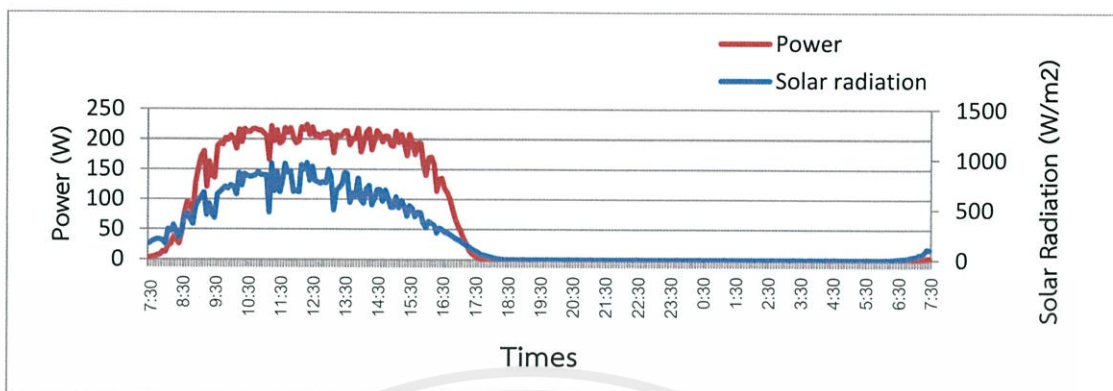
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงผลการวัดของอุณหภูมิและความชื้น

จากการวัดและบันทึกผลเฉลี่ย ทุกๆ 5 นาที ค่าอุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้ เท่ากับ 38.242 °C ที่เวลา 13:30 น. อุณหภูมิต่ำสุด เท่ากับ 24.801 °C ที่เวลา 5:40 น. อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวัน เท่ากับ 29.397 °C และ ค่าความชื้นสูงสุดที่วัดได้ เท่ากับ 95.483% ที่เวลา 6:05 น. ความชื้นต่ำสุด เท่ากับ 36.661% ที่เวลา 13:35 น. และความชื้นเฉลี่ยตลอดทั้งวัน เท่ากับ 70.746%

จากข้อมูลของอุณหภูมิและความชื้นเมื่อมองถึงความสัมพันธ์กัน จะเห็นได้ว่าค่าอุณหภูมิจะแปรผกผันกับค่าความชื้น เมื่ออุณหภูมิสูงจะมีค่าความชื้นต่ำ ที่ความชื้นสูงจะมีอุณหภูมิต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3.3 กำลังไฟฟ้าและSolar Radiation



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงผลการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ และค่าพลังงานที่วัดได้จากแผง Solar Cell

จากการทดลอง และบันทึกผลเฉลี่ย ทุกๆ 5 นาที พบว่าค่าความเข้มแสงที่วัดได้สูงสุดอยู่ที่  $962.845 \text{ W/m}^2$  ที่เวลา 12:20 น. ค่าความเข้มแสงต่ำสุดที่วัดได้ เท่ากับ  $0.672 \text{ W/m}^2$  ที่เวลา 4:55 น. ค่าเฉลี่ยของความเข้มแสงเวลากลางวัน เท่ากับ  $474.154 \text{ W/m}^2$  ซึ่งค่าปริมาณความเข้มแสงที่วัดได้อาจไม่แน่นอนเสมอไป ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ หรือปริมาณเมฆในขณะนั้น จากกราฟจะเห็นได้ว่าในช่วงกลางวัน มีบางค่าที่ตกลงมาจากค่าความเข้มแสงประมาณ  $800 \text{ W/m}^2$  ตกลงมาเหลือประมาณ  $400 \text{ W/m}^2$  นั่นก็เป็นเพราะว่าช่วงเวลานั้นมีเมฆเข้ามาบดบังแสงอาทิตย์ ทำให้ค่าที่วัดได้ไม่ใช่ค่าความเข้มแสงจริงๆ ณ ขณะนั้น และค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้สูงสุด เท่ากับ  $224.007 \text{ W}$  ที่เวลา 12:20 น. ซึ่งเป็นเวลาที่มีความเข้มแสงสูงที่สุดนั่นเอง

จากกราฟแสดงค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์และค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์จะแปรผันตรงกัน ซึ่งจะเริ่มวัดได้เมื่อพระอาทิตย์ขึ้นในตอนเช้าแล้วค่อยๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนมีค่าสูงสุดในช่วงเวลากลางวัน แล้วค่อยๆ ลดลง จนมีค่าเป็น 0 เมื่อแสงน้อยลงในช่วงเย็น

### 4.4 สรุปผลการทดลองใช้งานในสถานที่จริง

จากการทดลองติดตั้งระบบเครื่องมือวัดบริเวณสนามหญ้ากลางแจ้งหน้าโรงอาหารแอล ภายในสถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในวันที่ 12 มีนาคม 2557 ตั้งแต่เวลา 7:30น. ถึง วันที่ 13 มีนาคม 2557 เวลา 7:30 น. เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าค่าความเข้มของแสงอาทิตย์มีแนวโน้มที่ดี โดยเฉพาะในช่วงเวลาเที่ยงวัน ซึ่งมีค่าความเข้มแสงอาทิตย์สูงถึง  $800-900 \text{ W/m}^2$  ซึ่งมีความเหมาะสมแก่การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ เพื่อผลิตพลังงานทดแทนด้านพลังงานแสงอาทิตย์ ส่วนแนวโน้มของพลังงานลมนั้น พบว่ามีกระแสลมพัดไหลผ่านตลอดทั้งวัน แต่ค่าความเร็วลมที่ได้นั้นมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ  $2 \text{ m/s}$  ซึ่งยังไม่เพียงพอต่อการติดตั้งกังหันลมกำลังผลิตใหญ่ๆ เพื่อผลิตพลังงานทดแทนด้านพลังงานลมได้ โดยปกติความเร็วลมที่วัดได้ในประเทศไทยเฉลี่ยก็จะอยู่ที่ประมาณ  $2-2.5 \text{ m/s}$  ในส่วนอุณหภูมิและความชื้นขึ้นอยู่กับลักษณะพื้นที่ที่ได้ทำการทดลอง เพราะพื้นที่ทำการทดลองนั้นเป็นพื้นที่หญ้าก็จะมีค่าความชื้นมากกว่าบริเวณพื้นที่ที่เป็นพื้นปูนและความชื้นจะเป็นส่วนกลับของอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผล

ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการใช้งานเครื่องมือวัดพารามิเตอร์ทางสภาพอากาศ และพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าด้วยการประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์ โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ซึ่งผู้จัดทำได้ทำการออกแบบโปรแกรมให้มีการตรวจวัดค่าสัญญาณจากตัวตรวจจับต่างๆ แล้วนำมาประมวลผลพร้อมกับแสดงผลผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์

ระบบเครื่องมือวัดที่ได้ทำการออกแบบขึ้นมานั้น สามารถที่จะนำไปใช้งานได้จริง ในด้านการวัดปริมาณพลังงานทางธรรมชาติที่จะสามารถนำมาใช้สร้างเป็นพลังงานทดแทนขึ้นมาได้ คือ ค่าความเร็วลม ทิศทางลม ความเข้มแสงอาทิตย์ รวมถึงข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมได้แก่ อุณหภูมิและความชื้น ซึ่งปริมาณต่างๆเหล่านี้ สามารถนำไปประกอบการพิจารณาเพื่อติดตั้งหรือผลิตพลังงานทดแทนในด้านพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ได้ ข้อมูลต่างๆที่ทำการวัดได้นั้นจะถูกนำมาแสดงผลแบบ Real Time บนจอคอมพิวเตอร์ ผ่านทางหน้า Front Panel ของโปรแกรม LabVIEW ซึ่งได้ทำการออกแบบมาให้มีลักษณะเสมือนกับเป็นหน้าตาของเครื่องมือวัด ทำให้ผู้อ่านข้อมูลสามารถอ่านข้อมูลได้ง่าย อีกทั้งข้อมูลที่ทำการวัดได้นั้นยังถูกบันทึกค่าเก็บไว้ในรูปของไฟล์ Text(.txt) ซึ่งไฟล์นี้สามารถนำไปเปิดในโปรแกรมต่างๆ เช่น Microsoft Excel เพื่อทำการอ่านข้อมูล และยังสามารถนำข้อมูลไปสร้างกราฟเพื่อเปรียบเทียบข้อมูล ทำให้ง่ายต่อการนำไปวิเคราะห์

ในส่วนของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ ระบบเครื่องมือวัดนี้จะมี ความยืดหยุ่นสูง และสามารถนำไปใช้ได้กับแผงโซลาร์เซลล์ หรือกลุ่มของแผงโซลาร์เซลล์ทุกชนิดที่มี กระแสไฟฟ้าขาออกไม่เกิน 50 A ทำให้มีความสะดวกในการใช้งาน สามารถนำไปวัดได้กับหลายสถานที่ที่มีการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ โดยไม่ต้องปรับเปลี่ยนอุปกรณ์หรือฟังก์ชันของโปรแกรม LabVIEW ในการวัด อีกทั้งยังมีความกะทัดรัด ติดตั้งง่าย เหมาะกับการนำไปใช้งาน

#### 5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไขปัญหา

1) เนื่องจากโปรแกรมการทำงานของอุปกรณ์ DAQ จำเป็นต้องทำงานกับระบบคอมพิวเตอร์ จึงต้องติดตั้งเครื่องคอมพิวเตอร์ไว้ในที่ทำการวัด ทำให้เสี่ยงต่อการสูญหายจึงต้องผลัดเวรยามดูแลและคอยตรวจสอบการทำงานของโปรแกรมตลอดเวลา เพื่อให้การทำงานดำเนินไปอย่างเรียบร้อย

2) ข้อจำกัดของการใช้งานคอมพิวเตอร์คือจำเป็นต้องใช้ไฟฟ้าตลอดเวลาเพราะ แบตเตอรี่ของคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กไม่สามารถอยู่ได้ตลอด 24 ชั่วโมง ทำให้ไม่สามารถใช้งานได้บางสถานที่ จึงจำเป็นที่จะต้องทำการวัดในสถานที่ที่ใกล้กับแหล่งที่มีไฟฟ้า ซึ่งส่วนใหญ่จะถูกล้อมรอบด้วยตึกสูงซึ่งอาจบดบังสภาพอากาศ ข้อมูลที่ตรวจวัดได้จึงอาจมีความคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3 ข้อเสนอแนะของการทำโครงการ

ในการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองนั้น ผลการทดลองที่ได้เป็นเพียงข้อมูลในเวลา 24 ชั่วโมงเท่านั้น ซึ่งในการเก็บข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อหาสถานที่ที่เหมาะสมในการผลิตพลังงานทดแทนขึ้นนั้น จำเป็นจะต้องทำการเก็บข้อมูลหลากหลายช่วงเวลาและหลากหลายสถานที่ หรืออาจรวบรวมข้อมูลไว้เป็นสถิติเพื่อให้การนำข้อมูลมาวิเคราะห์นั้นเกิดประสิทธิผลสูงสุด

### 5.4 การนำไปประยุกต์ใช้งานจริง

เนื่องจากระบบเครื่องมือวัดที่ได้ทำการออกแบบนี้มีความยืดหยุ่นสูง จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับหลากหลายงาน โดยสามารถปรับเปลี่ยนฟังก์ชันการใช้งานของโปรแกรมได้ตลอดเวลา เพียงต้องการอุปกรณ์รับข้อมูลที่มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับงานที่จะนำไปใช้

ซึ่งการนำไปใช้งานจริงไม่ได้จำกัดการใช้งานเพื่อแค่วัดสภาพอากาศหรือเพื่อสำรวจหาแหล่งผลิตพลังงานทดแทนเท่านั้น ยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในบ้านเรือน ไร่สวน หรือฟาร์ม เพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานในแต่ละวันได้ เพื่อลดการใช้พลังงานที่ไม่จำเป็นและช่วยลดค่าใช้จ่ายได้อีกทางหนึ่ง

### 5.5 การศึกษาต่อในอนาคต

โครงการนี้ได้ทำการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ทางด้านสภาพอากาศได้เพียงแค่บางส่วนเท่านั้น ทำให้มีข้อมูลอยู่น้อยไม่สามารถนำไปวิเคราะห์ได้อย่างครบถ้วนสมบูรณ์ หากมีโอกาสได้ทำการศึกษาต่อในอนาคต จึงควรทำการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลที่มาจากหลากหลายสถานที่หลากหลายช่วงเวลา เพื่อนำข้อมูลที่ได้นั้นมาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบ เพื่อหาความเป็นไปได้ที่มากที่สุด และเหมาะสมที่สุดในการผลิตพลังงานทดแทน

ในส่วนของ การตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ระบบเครื่องมือวัดที่ได้ทำการออกแบบจะสามารถตรวจวัดได้เพียงในส่วนของไฟฟ้ากระแสตรงเท่านั้น ทั้งนี้เป็นเพราะพอร์ตเชื่อมต่อของอุปกรณ์ DAQ มีอยู่จำกัด ในด้านการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้ากระแสสลับนั้น ผู้จัดทำได้ทำการออกแบบหน้าการใช้งานของโปรแกรมในรูปแบบการจำลองผลไว้ด้วย เพื่อให้มีการรองรับการใช้งานในส่วนนี้ จึงต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมและออกแบบระบบเครื่องมือตรวจวัดใหม่ให้มีความสอดคล้องกับการใช้งานในส่วนนี้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] เกียรติไกร อยู่สุวรรณ จักรกฤษณ์ รัตนพันธ์ เจตน์ มังกรอัสสกุล ฉัตรชัย บุญยืน, ชุดอุปกรณ์ตรวจวัดและวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางไฟฟ้าชนิดสามเฟสโดยใช้โปรแกรมแลปวิว, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2010
- [2] เจตน์ มังกรอัสสกุล , ต้นแบบเครื่องวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าเพื่อรองรับระบบไฟฟ้าอัจฉริยะโดยใช้โปรแกรมแลปวิวและระบบจัดเก็บข้อมูลต้นทุนต่ำ ,คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2012
- [3] National Instrument, LabVIEW, “Measurement Manual”, July 2000 Edition
- [4] กิจไพบุลย์ ชิวพันธ์ุศรี ,“LabVIEW ซอฟต์แวร์เพื่อการพัฒนากระบวนการวัดและควบคุม” , กรุงเทพฯ : :SE-Education Public Company Limited ,2554
- [5] อีรวัดน์ รักษ์กำเนิด ภัทรพงษ์ ธรรมาภิมุข และภาชินันท์ ไทยทัตกุล ,การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้พลังงานเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า(Feasibility study of unconventional wind resource for electricity production) ,ผศ.ดร.ชาย ชมพูอินทไว ผศ.ดร.ชีวลัย เตมีสถิต อาจารย์ที่ปรึกษา ,ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ,2552
- [6] นริศ เตชาทวิวรรณ นิตี บุญคุ้มครอง สุพรรณษา ทับสกุล และสุรัสวดี พงษ์เผือก ,โปรแกรมช่วยออกแบบระบบพลังงานทดแทนสำหรับระบบไฟฟ้าแบบแยกตัวอิสระ(Stand-Alone renewable energy system software design) ,ผศ.ดร.ชาย ชมพูอินทไว และ รศ.ศุภี บรรจงจิตร อาจารย์ที่ปรึกษา ,ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ,2553
- [7] ดุสิต สุขสวัสดิ์ ,เครื่องวัดความเร็วและทิศทางลม (Anemometer and wind vanes) ,วิทยานิพนธ์ (วศ.ม.(วิศวกรรมไฟฟ้า)) ,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ,2554
- [8] Dr.Recayi Pecen Dr.MD Salim and Mr.ayhan Zora ,Journal of Industrial technology “A LabView Based Instrumentation System for a Wind-Solar Hybrid Power Station” , The Official Electronic Publication of the National Association of Industrial Technology ,2004
- [9] WiChit Sirichote ,” Daily Insolation Measurement” ,Department of Applied Physics ,Faculty of Science ,KMITL
- [10] Available : URL : <http://thailand.ni.com>
- [11] Available : URL : <http://www.sensorsmag.com>
- [12] Available : URL : [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wind\\_speed\\_and\\_direction\\_instrument\\_-\\_NOAA.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wind_speed_and_direction_instrument_-_NOAA.jpg)
- [13] Available : URL : <http://www.hellotrader.com/ammonitmeasurement/windvane.html>
- [14] Available : URL : <http://www.enchantedlearning.com/subjects/astronomy/activities/coloring/Sun.shtml>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ผู้พิมพ์และจัดพิมพ์สงวนลิขสิทธิ์และต้องอ้างอิงถึงชื่อผู้พิมพ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [15] Available : URL : <http://www.eci.ox.ac.uk/pvcompareweb/Sunlight.htm>
- [16] Available : URL : [http://vsappserv02.tv.nl/csp/user/iknow/demo/01\\_eenheden\\_en\\_meten/01.01\\_si-eeenheden/didactiek/temperatuur.htm](http://vsappserv02.tv.nl/csp/user/iknow/demo/01_eenheden_en_meten/01.01_si-eeenheden/didactiek/temperatuur.htm)
- [17] Available : URL : <http://www.gravitechthai.com/guru2.php?p=258>
- [18] Available : URL : <http://garwwy.blogspot.com/>
- [19] Available : URL : <http://www.sangchaimeter.com/product/content/rtd-resistance-temperature-sensor-rb-30>
- [20] Available : URL : <http://www.ni.com/white-paper/7115/en/>
- [21] Available : URL : <http://sensorwiki.org/doku.php/sensors/hygrometer>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Num.	Date	Time	Wind speed(m/s)	Wind direction	Temperature(C)	Humidity(%)	Solar radiation(W/m2)	Voltage(V)	Current(A)	Power(W)
0	12/3/2557	7:30	1.841	S	27.782	71.299	158.973	8.053	0.353	2.854
1	12/3/2557	7:35	1.660	S	28.032	69.820	178.605	9.356	0.431	4.031
2	12/3/2557	7:40	1.647	S	28.304	68.984	193.481	11.128	0.464	5.173
3	12/3/2557	7:45	1.964	S	28.530	68.492	201.257	14.317	0.488	7.019
4	12/3/2557	7:50	2.146	S	28.189	70.134	197.224	16.279	0.498	8.123
5	12/3/2557	7:55	2.244	S	28.133	70.544	189.359	22.361	0.590	13.273
6	12/3/2557	8:00	2.050	SE	28.127	70.912	155.572	20.518	0.595	12.243
7	12/3/2557	8:05	2.096	SE	28.822	66.020	300.710	33.732	0.688	23.274
8	12/3/2557	8:10	2.279	S	28.915	65.624	279.979	35.714	0.708	25.512
9	12/3/2557	8:15	2.298	S	29.560	62.511	341.139	47.305	0.801	37.990
10	12/3/2557	8:20	2.494	SE	29.055	65.561	271.194	42.400	0.755	32.501
11	12/3/2557	8:25	2.325	SE	28.792	68.054	213.017	36.250	0.709	26.324
12	12/3/2557	8:30	1.960	S	29.173	65.647	283.984	50.890	0.827	44.398
13	12/3/2557	8:35	1.970	S	30.345	58.128	424.905	75.948	1.015	78.095
14	12/3/2557	8:40	2.200	S	30.762	55.945	457.909	86.011	1.095	95.228
15	12/3/2557	8:45	2.321	S	30.482	58.112	402.597	81.921	1.055	88.784
16	12/3/2557	8:50	2.115	S	30.527	58.231	351.496	76.302	0.994	77.909
17	12/3/2557	8:55	2.339	SE	30.747	55.966	517.998	106.060	1.194	126.997
18	12/3/2557	9:00	2.309	S	31.570	51.861	582.482	120.129	1.264	151.984
19	12/3/2557	9:05	2.163	S	33.204	47.326	624.786	128.297	1.339	171.846
20	12/3/2557	9:10	2.299	S	33.113	47.599	666.841	132.634	1.360	180.381
21	12/3/2557	9:15	2.340	S	32.145	52.331	442.934	98.449	1.184	120.757
22	12/3/2557	9:20	2.343	SW	31.961	52.709	557.148	124.635	1.300	162.957
23	12/3/2557	9:25	2.130	S	32.361	52.765	456.912	112.917	1.218	139.064
24	12/3/2557	9:30	2.331	SE	31.480	54.515	413.518	109.256	1.233	136.049
25	12/3/2557	9:35	2.248	S	32.835	49.939	647.737	136.332	1.381	189.064
26	12/3/2557	9:40	2.195	S	32.811	48.197	672.901	139.992	1.384	193.787
27	12/3/2557	9:45	2.260	S	33.697	46.403	701.435	142.350	1.343	191.196
28	12/3/2557	9:50	2.363	SW	33.551	45.727	726.497	144.076	1.398	201.427
29	12/3/2557	9:55	2.103	S	34.389	43.865	707.490	143.113	1.389	198.870
30	12/3/2557	10:00	2.159	S	34.791	42.653	739.749	144.992	1.422	206.202
31	12/3/2557	10:05	2.512	SE	32.967	47.292	728.512	142.851	1.397	199.818
32	12/3/2557	10:10	2.321	SW	33.407	47.956	648.242	134.543	1.366	184.921
33	12/3/2557	10:15	2.391	S	34.449	43.729	864.010	151.273	1.427	215.860
34	12/3/2557	10:20	2.164	S	35.306	43.838	738.771	143.082	1.362	195.507
35	12/3/2557	10:25	2.452	SW	34.860	43.306	853.596	150.724	1.439	216.909
36	12/3/2557	10:30	2.454	S	34.464	42.504	834.615	150.633	1.407	211.963
37	12/3/2557	10:35	2.219	S	35.210	41.626	825.943	150.284	1.414	212.502
38	12/3/2557	10:40	2.473	SE	34.149	43.640	833.245	151.070	1.436	216.932
39	12/3/2557	10:45	2.173	SE	35.882	40.441	842.911	151.571	1.430	216.808
40	12/3/2557	10:50	2.459	S	34.236	44.140	872.717	152.547	1.410	215.017
41	12/3/2557	10:55	2.265	SE	34.673	43.401	843.601	150.778	1.420	214.158
42	12/3/2557	11:00	2.305	SW	34.865	44.920	843.017	149.008	1.406	209.744
43	12/3/2557	11:05	2.424	S	35.272	43.122	841.722	146.734	1.390	204.937
44	12/3/2557	11:10	2.407	SE	32.926	49.539	468.205	126.363	1.309	166.170
45	12/3/2557	11:15	2.352	S	35.337	41.898	958.364	156.325	1.417	221.522

Num.	Date	Time	Wind speed(m/s)	Wind direction	Temperature(C)	Humidity(%)	Solar radiation(W/m2)	Voltage(V)	Current(A)	Power(W)
46	12/3/2557	11:20	2.403	S	34.222	45.131	682.223	143.606	1.371	197.575
47	12/3/2557	11:25	2.343	S	35.413	42.530	872.262	152.323	1.411	214.839
48	12/3/2557	11:30	2.121	SW	35.364	44.173	672.044	140.638	1.370	193.318
49	12/3/2557	11:35	2.075	SE	35.619	42.744	787.764	144.148	1.360	197.051
50	12/3/2557	11:40	2.355	SE	35.390	41.912	954.666	153.848	1.418	218.184
51	12/3/2557	11:45	2.449	SE	35.263	42.897	868.831	151.332	1.390	210.677
52	12/3/2557	11:50	2.713	SE	34.633	43.724	880.542	151.911	1.436	218.222
53	12/3/2557	11:55	2.279	S	34.661	45.329	677.416	143.807	1.402	202.427
54	12/3/2557	12:00	2.316	S	34.649	46.798	685.126	140.206	1.374	194.047
55	12/3/2557	12:05	2.479	SE	34.940	43.060	674.531	143.346	1.370	197.063
56	12/3/2557	12:10	2.268	SE	35.293	42.484	943.541	154.753	1.420	219.776
57	12/3/2557	12:15	2.393	S	35.884	41.465	898.671	153.595	1.406	215.930
58	12/3/2557	12:20	2.500	S	36.047	41.456	962.845	154.887	1.446	224.007
59	12/3/2557	12:25	2.215	SE	35.207	42.750	788.887	146.685	1.408	207.302
60	12/3/2557	12:30	2.007	S	36.632	40.362	926.740	154.334	1.422	219.424
61	12/3/2557	12:35	2.369	S	36.780	40.405	782.743	148.201	1.382	205.127
62	12/3/2557	12:40	2.336	S	36.080	41.031	775.540	149.283	1.389	207.673
63	12/3/2557	12:45	2.294	S	36.790	40.220	757.849	146.636	1.379	202.523
64	12/3/2557	12:50	2.052	SW	36.130	40.451	773.302	149.086	1.396	208.511
65	12/3/2557	12:55	2.334	S	35.939	43.122	762.278	149.584	1.392	208.339
66	12/3/2557	13:00	2.531	SW	36.440	40.832	897.726	154.291	1.371	211.502
67	12/3/2557	13:05	2.228	SW	36.909	40.040	819.403	151.281	1.368	207.030
68	12/3/2557	13:10	2.165	SW	34.736	45.686	492.293	133.066	1.327	177.382
69	12/3/2557	13:15	2.402	W	36.229	42.753	687.609	149.223	1.382	206.448
70	12/3/2557	13:20	2.356	S	35.551	42.015	717.484	147.602	1.385	205.589
71	12/3/2557	13:25	2.235	SW	37.022	41.408	750.239	149.008	1.384	206.439
72	12/3/2557	13:30	2.092	SW	38.242	38.230	863.151	153.226	1.392	213.324
73	12/3/2557	13:35	2.251	S	38.204	36.661	856.485	152.091	1.402	213.190
74	12/3/2557	13:40	2.330	W	36.545	42.106	570.231	138.982	1.371	190.975
75	12/3/2557	13:45	2.330	SW	37.438	40.626	663.941	144.854	1.385	200.948
76	12/3/2557	13:50	2.219	SE	35.347	43.912	631.575	144.935	1.388	201.218
77	12/3/2557	13:55	2.473	SW	36.203	43.547	811.767	153.308	1.422	218.087
78	12/3/2557	14:00	2.230	SW	36.391	43.527	590.715	137.283	1.292	178.916
79	12/3/2557	14:05	2.504	W	35.638	46.088	560.437	142.388	1.365	194.915
80	12/3/2557	14:10	2.501	S	35.320	44.257	702.616	149.202	1.412	210.996
81	12/3/2557	14:15	2.258	S	36.699	41.608	737.743	151.636	1.428	216.619
82	12/3/2557	14:20	2.363	S	35.256	45.735	543.981	135.357	1.339	182.477
83	12/3/2557	14:25	2.427	W	35.294	47.460	603.930	144.736	1.364	197.856
84	12/3/2557	14:30	2.028	SW	37.023	43.716	693.474	151.043	1.414	213.856
85	12/3/2557	14:35	2.462	W	36.305	44.027	696.836	150.685	1.379	207.904
86	12/3/2557	14:40	2.247	W	35.947	44.640	582.487	143.329	1.361	195.957
87	12/3/2557	14:45	2.402	S	36.128	42.567	691.438	151.317	1.357	205.362
88	12/3/2557	14:50	2.275	S	36.935	42.236	616.180	147.495	1.387	204.733
89	12/3/2557	14:55	2.308	S	35.878	45.197	521.344	141.062	1.340	190.155
90	12/3/2557	15:00	2.300	SW	36.034	44.967	519.745	140.080	1.338	188.801
91	12/3/2557	15:05	2.246	SW	36.380	42.868	625.768	150.035	1.422	213.304

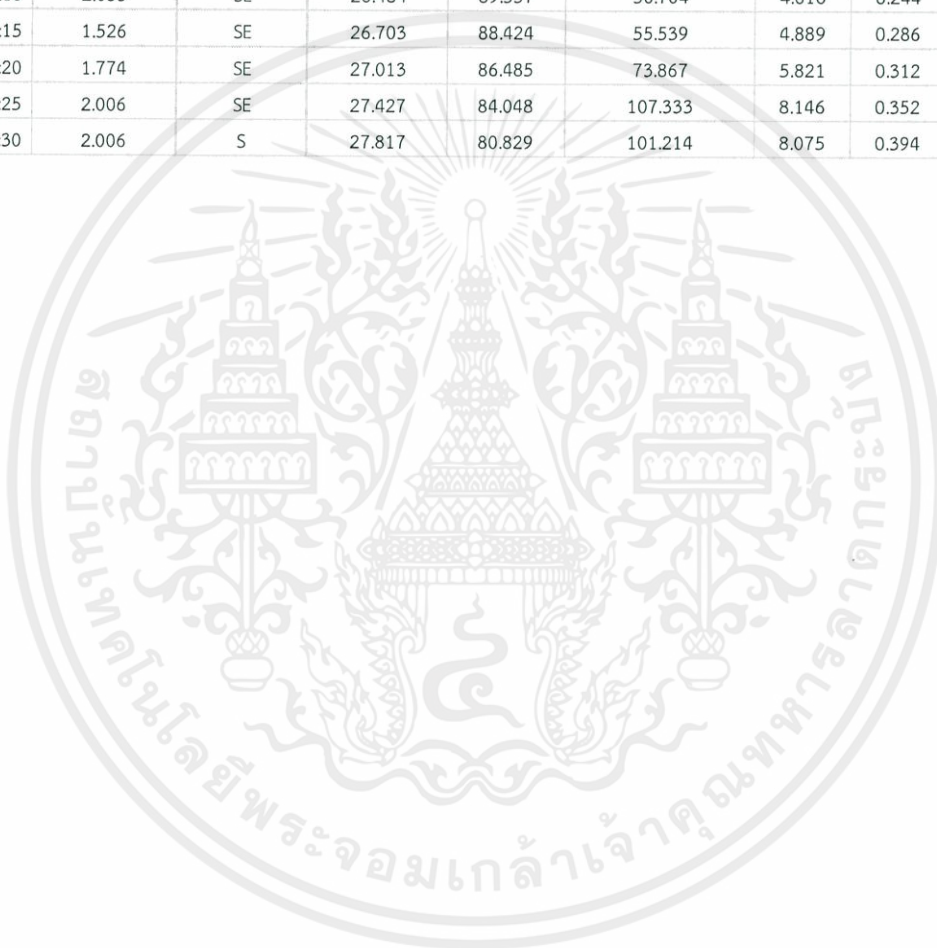
Num.	Date	Time	Wind speed(m/s)	Wind direction	Temperature(C)	Humidity(%)	Solar radiation(W/m2)	Voltage(V)	Current(A)	Power(W)
92	12/3/2557	15:10	2.354	SW	34.702	47.052	512.690	140.803	1.377	194.709
93	12/3/2557	15:15	2.121	SW	36.699	42.487	587.690	148.360	1.401	207.813
94	12/3/2557	15:20	2.212	S	36.301	43.006	526.704	139.465	1.367	192.505
95	12/3/2557	15:25	2.181	W	34.704	48.567	429.881	130.249	1.311	173.144
96	12/3/2557	15:30	2.215	S	34.668	46.213	534.740	146.378	1.419	207.849
97	12/3/2557	15:35	2.402	SW	35.483	45.152	508.831	143.691	1.360	195.631
98	12/3/2557	15:40	2.514	SW	34.447	48.343	426.226	133.619	1.302	174.947
99	12/3/2557	15:45	2.265	SW	34.930	46.890	472.523	141.245	1.371	193.729
100	12/3/2557	15:50	2.480	SW	35.134	45.582	465.518	140.460	1.371	193.328
101	12/3/2557	15:55	2.502	SW	33.515	50.349	362.953	123.208	1.272	158.821
102	12/3/2557	16:00	2.423	S	33.165	51.625	316.110	113.064	1.218	140.424
103	12/3/2557	16:05	2.431	SW	33.674	49.955	378.157	127.958	1.311	169.402
104	12/3/2557	16:10	2.426	SW	33.702	50.547	361.060	127.241	1.340	170.507
105	12/3/2557	16:15	2.459	SW	33.367	51.673	342.989	122.062	1.293	158.057
106	12/3/2557	16:20	2.181	SW	32.898	52.343	265.648	97.883	1.128	113.997
107	12/3/2557	16:25	2.103	S	33.859	49.669	312.945	113.246	1.180	133.618
108	12/3/2557	16:30	2.332	S	32.854	52.234	299.478	110.064	1.225	134.972
109	12/3/2557	16:35	2.088	S	32.921	52.224	274.750	100.812	1.172	118.328
110	12/3/2557	16:40	2.417	SE	32.605	52.657	265.772	101.139	1.130	111.512
111	12/3/2557	16:45	2.242	S	32.556	52.666	250.124	89.605	1.120	100.455
112	12/3/2557	16:50	2.285	S	32.185	53.987	230.911	79.826	1.040	83.132
113	12/3/2557	16:55	2.427	SW	31.589	55.856	212.737	70.273	0.976	68.651
114	12/3/2557	17:00	2.263	S	31.467	56.308	197.155	62.049	0.892	55.469
115	12/3/2557	17:05	2.405	SW	31.524	57.147	180.489	53.659	0.876	47.047
116	12/3/2557	17:10	2.408	S	31.078	58.701	162.560	44.751	0.768	34.364
117	12/3/2557	17:15	2.292	SE	30.908	59.213	143.933	35.779	0.737	26.406
118	12/3/2557	17:20	2.018	SW	30.646	60.423	126.448	26.941	0.597	16.202
119	12/3/2557	17:25	2.132	S	30.275	62.045	106.099	18.968	0.549	10.442
120	12/3/2557	17:30	1.974	SW	30.017	62.655	91.736	14.492	0.459	6.691
121	12/3/2557	17:35	2.290	SW	29.736	63.953	78.260	9.771	0.414	4.111
122	12/3/2557	17:40	2.342	S	29.147	67.258	56.395	5.988	0.303	1.817
123	12/3/2557	17:45	1.890	SW	28.918	68.495	48.414	5.030	0.269	1.366
124	12/3/2557	17:50	2.370	S	28.754	69.065	40.588	4.337	0.210	0.914
125	12/3/2557	17:55	2.055	S	28.533	69.628	32.776	3.785	0.168	0.645
126	12/3/2557	18:00	2.078	S	28.392	70.217	25.678	3.352	0.156	0.526
127	12/3/2557	18:05	2.189	S	28.268	70.969	18.950	3.010	0.161	0.489
128	12/3/2557	18:10	1.827	S	28.013	71.929	12.648	2.731	0.101	0.280
129	12/3/2557	18:15	2.249	S	27.974	72.761	7.194	2.520	0.065	0.168
130	12/3/2557	18:20	2.198	S	27.848	73.642	3.829	2.362	0.063	0.153
131	12/3/2557	18:25	2.089	S	27.713	73.370	1.687	2.255	0.049	0.115
132	12/3/2557	18:30	2.165	S	27.648	73.176	0.466	2.186	0.064	0.141
133	12/3/2557	18:35	1.549	S	27.420	74.169	-0.178	2.158	0.043	0.097
134	12/3/2557	18:40	1.837	S	27.379	74.691	-0.430	2.145	0.060	0.131
135	12/3/2557	18:45	1.572	S	27.264	74.620	-0.500	2.135	0.056	0.124
136	12/3/2557	18:50	1.656	SW	27.289	74.556	-0.522	2.137	0.042	0.095
137	12/3/2557	18:55	2.008	SW	27.211	74.185	-0.520	2.136	0.039	0.087

Num.	Date	Time	Wind speed(m/s)	Wind direction	Temperature(C)	Humidity(%)	Solar radiation(W/m <sup>2</sup> )	Voltage(V)	Current(A)	Power(W)
138	12/3/2557	19:00	1.808	SW	27.102	74.410	-0.522	2.133	0.059	0.128
139	12/3/2557	19:05	2.113	S	27.144	74.108	-0.522	2.135	0.031	0.068
140	12/3/2557	19:10	2.194	S	27.222	74.061	-0.508	2.134	0.030	0.066
141	12/3/2557	19:15	1.662	SE	27.136	74.603	-0.543	2.137	0.018	0.041
142	12/3/2557	19:20	1.524	S	27.028	74.539	-0.517	2.137	0.027	0.059
143	12/3/2557	19:25	2.077	SE	27.089	74.759	-0.554	2.128	0.018	0.044
144	12/3/2557	19:30	2.065	S	27.219	74.181	-0.524	2.135	0.035	0.077
145	12/3/2557	19:35	2.313	S	27.223	74.737	-0.532	2.135	0.055	0.119
146	12/3/2557	19:40	1.888	SE	26.995	75.275	-0.516	2.132	0.014	0.034
147	12/3/2557	19:45	2.102	S	27.045	75.895	-0.465	2.135	0.052	0.113
148	12/3/2557	19:50	1.868	SW	26.875	76.613	-0.489	2.136	0.020	0.049
149	12/3/2557	19:55	1.155	S	26.600	78.112	-0.556	2.130	0.035	0.077
150	12/3/2557	20:00	1.835	S	26.420	79.110	-0.517	2.129	0.023	0.052
151	12/3/2557	20:05	1.495	S	26.292	79.105	-0.519	2.116	0.046	0.100
152	12/3/2557	20:10	2.153	SE	26.326	79.523	-0.516	2.136	0.050	0.109
153	12/3/2557	20:15	2.000	SE	26.283	79.697	-0.545	2.133	0.047	0.104
154	12/3/2557	20:20	2.025	SE	26.259	80.630	-0.526	2.131	0.021	0.048
155	12/3/2557	20:25	1.983	S	26.230	81.003	-0.541	2.132	0.060	0.130
156	12/3/2557	20:30	1.704	SE	26.169	81.339	-0.513	2.140	0.040	0.090
157	12/3/2557	20:35	1.331	E	25.957	82.449	-0.543	2.134	0.023	0.053
158	12/3/2557	20:40	1.918	SE	26.077	83.045	-0.562	2.134	0.059	0.130
159	12/3/2557	20:45	1.813	SE	26.058	83.653	-0.522	2.129	0.056	0.122
160	12/3/2557	20:50	1.529	SE	25.943	84.025	-0.525	2.132	0.021	0.049
161	12/3/2557	20:55	1.694	SE	26.365	84.387	-0.558	2.130	0.014	0.034
162	12/3/2557	21:00	2.149	SE	26.581	84.694	-0.524	2.132	0.045	0.098
163	12/3/2557	21:05	2.198	S	26.549	84.825	-0.509	2.135	0.068	0.148
164	12/3/2557	21:10	2.292	S	26.617	85.405	-0.505	2.132	0.025	0.057
165	12/3/2557	21:15	1.982	S	26.492	85.945	-0.529	2.130	-0.001	0.000
166	12/3/2557	21:20	1.886	S	26.454	86.122	-0.508	2.129	0.020	0.046
167	12/3/2557	21:25	2.274	SE	26.703	85.809	-0.523	2.139	0.040	0.090
168	12/3/2557	21:30	1.909	SW	26.502	85.800	-0.524	2.135	0.038	0.085
169	12/3/2557	21:35	1.974	S	26.362	86.085	-0.386	2.154	0.042	0.087
170	12/3/2557	21:40	1.450	SW	25.650	85.311	-0.559	2.139	0.043	0.097
171	12/3/2557	21:45	2.296	S	25.797	86.434	-0.564	2.139	-0.003	-0.002
172	12/3/2557	21:50	2.113	SE	25.735	86.939	-0.558	2.133	0.041	0.091
173	12/3/2557	21:55	1.682	SE	26.290	87.852	-0.598	2.137	0.020	0.045
174	12/3/2557	22:00	1.932	SE	26.263	88.719	-0.606	2.133	0.048	0.104
175	12/3/2557	22:05	1.954	SE	26.137	88.827	-0.607	2.132	0.009	0.024
176	12/3/2557	22:10	2.225	SE	26.324	89.118	-0.581	2.127	0.028	0.062
177	12/3/2557	22:15	2.074	S	26.245	89.063	-0.607	2.130	0.088	0.190
178	12/3/2557	22:20	2.016	S	26.258	88.353	-0.584	2.131	0.023	0.051
179	12/3/2557	22:25	2.250	S	26.401	87.645	-0.573	2.128	0.078	0.168
180	12/3/2557	22:30	1.972	S	26.208	87.729	-0.597	2.128	0.057	0.126
181	12/3/2557	22:35	2.101	S	26.243	87.775	-0.601	2.133	0.072	0.156
182	12/3/2557	22:40	2.155	SE	26.275	88.349	-0.619	2.131	0.043	0.094
183	12/3/2557	22:45	1.644	S	26.064	88.804	-0.586	2.151	0.019	0.037

Num.	Date	Time	Wind speed(m/s)	Wind direction	Temperature(C)	Humidity(%)	Solar radiation(W/m2)	Voltage(V)	Current(A)	Power(W)
184	12/3/2557	22:50	1.877	S	26.020	89.382	-0.597	2.135	0.032	0.073
185	12/3/2557	22:55	1.982	S	26.022	89.456	-0.615	2.127	0.047	0.104
186	12/3/2557	23:00	2.140	S	26.179	89.433	-0.582	2.125	0.025	0.056
187	12/3/2557	23:05	2.128	S	26.111	89.951	-0.586	2.129	0.053	0.114
188	12/3/2557	23:10	2.106	S	26.197	89.858	-0.605	2.126	0.001	0.005
189	12/3/2557	23:15	1.729	SE	26.107	90.053	-0.594	2.135	0.021	0.049
190	12/3/2557	23:20	2.129	S	25.954	90.814	-0.596	2.129	0.015	0.035
191	12/3/2557	23:25	1.508	S	25.955	90.493	-0.597	2.132	-0.017	-0.031
192	12/3/2557	23:30	1.721	SE	25.862	90.629	-0.603	2.130	0.031	0.069
193	12/3/2557	23:35	2.210	SE	26.073	90.178	-0.596	2.127	0.046	0.102
194	12/3/2557	23:40	2.313	S	26.142	89.467	-0.590	2.131	0.030	0.070
195	12/3/2557	23:45	2.374	S	26.151	89.106	-0.575	2.132	0.064	0.142
196	12/3/2557	23:50	2.177	S	26.098	89.200	-0.579	2.128	0.032	0.071
197	12/3/2557	23:55	2.050	S	25.999	89.258	-0.585	2.132	0.051	0.112
198	13/3/2557	0:00	2.055	S	25.055	88.987	-0.599	2.133	0.040	0.088
199	13/3/2557	0:05	2.168	SE	26.065	88.919	-0.571	2.131	0.016	0.037
200	13/3/2557	0:10	2.065	S	26.191	88.762	-0.581	2.132	0.041	0.090
201	13/3/2557	0:15	2.231	SE	26.129	89.265	-0.573	2.126	0.010	0.026
202	13/3/2557	0:20	2.198	S	26.068	89.336	-0.560	2.124	0.043	0.094
203	13/3/2557	0:25	2.217	S	26.158	88.842	-0.586	2.128	0.061	0.133
204	13/3/2557	0:30	2.160	S	26.203	88.641	-0.597	2.133	0.008	0.020
205	13/3/2557	0:35	1.884	S	26.052	88.510	-0.576	2.122	0.023	0.052
206	13/3/2557	0:40	2.116	SE	26.037	88.909	-0.597	2.130	0.048	0.104
207	13/3/2557	0:45	2.130	SE	26.087	88.885	-0.586	2.132	0.013	0.031
208	13/3/2557	0:50	1.916	S	25.912	89.449	-0.608	2.127	0.022	0.052
209	13/3/2557	0:55	2.011	S	25.926	89.187	-0.601	2.128	-0.008	-0.016
210	13/3/2557	1:00	2.156	SE	25.973	89.388	-0.577	2.126	0.026	0.060
211	13/3/2557	1:05	2.213	SE	25.907	89.691	-0.606	2.125	0.012	0.027
212	13/3/2557	1:10	2.064	S	25.935	89.651	-0.585	2.132	0.065	0.141
213	13/3/2557	1:15	2.026	SE	26.033	89.314	-0.575	2.126	0.039	0.085
214	13/3/2557	1:20	2.187	SE	25.965	89.511	-0.608	2.128	0.050	0.109
215	13/3/2557	1:25	2.167	SE	25.958	89.710	-0.604	2.131	0.051	0.113
216	13/3/2557	1:30	1.970	S	25.854	90.165	-0.618	2.130	0.016	0.039
217	13/3/2557	1:35	2.190	SE	25.909	90.343	-0.604	2.124	0.029	0.066
218	13/3/2557	1:40	2.246	S	25.992	90.005	-0.621	2.123	0.017	0.041
219	13/3/2557	1:45	2.141	S	26.014	89.774	-0.601	2.125	0.011	0.027
220	13/3/2557	1:50	1.605	S	25.843	90.270	-0.604	2.126	0.031	0.069
221	13/3/2557	1:55	2.126	SE	25.917	90.670	-0.609	2.124	0.024	0.055
222	13/3/2557	2:00	2.255	S	25.950	90.005	-0.606	2.118	0.008	0.020
223	13/3/2557	2:05	2.120	S	25.937	90.031	-0.594	2.119	0.022	0.050
224	13/3/2557	2:10	2.122	S	26.001	89.968	-0.611	2.123	0.021	0.047
225	13/3/2557	2:15	1.975	S	25.926	90.060	-0.608	2.125	0.018	0.042
226	13/3/2557	2:20	2.073	SE	25.930	90.616	-0.647	2.124	0.029	0.066
227	13/3/2557	2:25	2.045	S	25.926	90.749	-0.640	2.116	0.028	0.064
228	13/3/2557	2:30	1.549	S	25.975	90.259	-0.611	2.122	0.010	0.028
229	13/3/2557	2:35	1.788	S	26.076	89.724	-0.590	2.123	0.039	0.086

Num.	Date	Time	Wind speed(m/s)	Wind direction	Temperature(C)	Humidity(%)	Solar radiation(W/m <sup>2</sup> )	Voltage(V)	Current(A)	Power(W)
230	13/3/2557	2:40	1.627	S	26.012	89.804	-0.611	2.124	0.024	0.057
231	13/3/2557	2:45	1.892	SE	26.124	89.465	-0.590	2.118	0.012	0.032
232	13/3/2557	2:50	1.901	SE	26.022	89.541	-0.604	2.119	0.009	0.026
233	13/3/2557	2:55	2.132	SE	25.994	90.005	-0.606	2.108	0.014	0.036
234	13/3/2557	3:00	2.081	S	26.117	89.846	-0.601	2.119	0.028	0.066
235	13/3/2557	3:05	1.774	S	26.004	89.943	-0.594	2.121	0.023	0.055
236	13/3/2557	3:10	1.698	S	25.841	90.284	-0.642	2.118	0.034	0.079
237	13/3/2557	3:15	1.578	SE	25.972	89.144	-0.646	2.121	0.041	0.089
238	13/3/2557	3:20	2.414	S	26.260	88.395	-0.624	2.124	0.060	0.130
239	13/3/2557	3:25	2.073	SE	26.374	87.602	-0.635	2.119	0.019	0.043
240	13/3/2557	3:30	1.966	SE	26.202	87.974	-0.615	2.122	0.017	0.038
241	13/3/2557	3:35	2.015	S	26.277	87.737	-0.648	2.125	0.045	0.099
242	13/3/2557	3:40	1.584	S	26.307	87.359	-0.642	2.127	0.029	0.065
243	13/3/2557	3:45	1.911	S	26.221	88.055	-0.638	2.126	0.041	0.091
244	13/3/2557	3:50	1.943	SE	25.980	89.034	-0.643	2.127	0.069	0.150
245	13/3/2557	3:55	2.045	SW	25.866	89.396	-0.644	2.123	0.054	0.118
246	13/3/2557	4:00	1.879	SE	25.754	89.760	-0.635	2.123	0.044	0.098
247	13/3/2557	4:05	1.912	SE	25.709	90.437	-0.640	2.124	0.054	0.121
248	13/3/2557	4:10	2.048	SE	25.685	90.851	-0.632	2.123	0.034	0.074
249	13/3/2557	4:15	1.837	SE	25.630	91.015	-0.643	2.123	0.049	0.108
250	13/3/2557	4:20	1.756	S	25.442	91.926	-0.635	2.128	0.078	0.169
251	13/3/2557	4:25	1.941	S	25.466	91.397	-0.640	2.118	0.029	0.064
252	13/3/2557	4:30	1.591	S	25.375	91.741	-0.648	2.129	0.041	0.091
253	13/3/2557	4:35	2.060	S	25.333	92.269	-0.658	2.122	0.068	0.148
254	13/3/2557	4:40	1.877	SE	25.437	91.796	-0.650	2.126	0.027	0.062
255	13/3/2557	4:45	1.668	SE	25.448	91.664	-0.635	2.130	0.044	0.098
256	13/3/2557	4:50	1.287	S	25.289	91.719	-0.652	2.126	0.009	0.024
257	13/3/2557	4:55	1.756	SE	25.303	92.225	-0.672	2.114	0.041	0.090
258	13/3/2557	5:00	1.950	SE	25.266	92.100	-0.638	2.122	0.044	0.095
259	13/3/2557	5:05	2.174	SE	25.387	91.399	-0.649	2.120	0.057	0.124
260	13/3/2557	5:10	1.689	SE	25.345	91.280	-0.671	2.117	0.024	0.053
261	13/3/2557	5:15	1.782	S	25.322	91.327	-0.642	2.116	0.040	0.087
262	13/3/2557	5:20	1.522	S	25.157	91.947	-0.661	2.116	0.031	0.069
263	13/3/2557	5:25	1.226	SE	25.084	92.197	-0.660	2.123	0.041	0.091
264	13/3/2557	5:30	0.969	S	24.919	93.461	-0.636	2.127	0.053	0.116
265	13/3/2557	5:35	0.504	SE	24.898	93.203	-0.671	2.112	0.073	0.158
266	13/3/2557	5:40	1.110	S	24.801	93.762	-0.661	2.128	0.034	0.075
267	13/3/2557	5:45	1.471	SE	24.938	94.667	-0.669	2.116	0.055	0.120
268	13/3/2557	5:50	1.368	E	25.051	94.733	-0.659	2.117	0.052	0.113
269	13/3/2557	5:55	1.361	SE	24.848	95.381	-0.641	2.116	0.028	0.063
270	13/3/2557	6:00	1.865	SE	25.160	95.055	-0.640	2.115	0.036	0.078
271	13/3/2557	6:05	1.697	SE	25.146	95.483	-0.535	2.122	0.028	0.065
272	13/3/2557	6:10	1.668	E	25.215	94.608	-0.189	2.143	0.088	0.193
273	13/3/2557	6:15	1.902	SE	25.275	94.790	0.716	2.185	0.012	0.030
274	13/3/2557	6:20	1.230	SE	25.192	94.735	2.254	2.268	0.072	0.168
275	13/3/2557	6:25	1.479	SE	25.114	94.939	4.448	2.380	0.044	0.111

Num.	Date	Time	Wind speed(m/s)	Wind direction	Temperature(C)	Humidity(%)	Solar radiation(W/m2)	Voltage(V)	Current(A)	Power(W)
276	13/3/2557	6:30	1.412	S	25.211	94.897	7.485	2.530	0.084	0.217
277	13/3/2557	6:35	1.015	S	25.332	93.739	11.340	2.660	0.099	0.267
278	13/3/2557	6:40	1.658	S	25.642	93.035	12.566	2.712	0.110	0.303
279	13/3/2557	6:45	0.609	S	25.964	91.472	13.978	2.747	0.093	0.263
280	13/3/2557	6:50	1.509	S	26.082	90.959	19.120	3.006	0.118	0.358
281	13/3/2557	6:55	1.417	S	26.212	89.950	27.305	3.323	0.136	0.458
282	13/3/2557	7:00	1.200	S	26.403	88.980	29.852	3.490	0.157	0.551
283	13/3/2557	7:05	1.965	SE	26.380	89.761	35.853	3.958	0.208	0.827
284	13/3/2557	7:10	2.033	SE	26.484	89.557	50.704	4.616	0.244	1.128
285	13/3/2557	7:15	1.526	SE	26.703	88.424	55.539	4.889	0.286	1.402
286	13/3/2557	7:20	1.774	SE	27.013	86.485	73.867	5.821	0.312	1.827
287	13/3/2557	7:25	2.006	SE	27.427	84.048	107.333	8.146	0.352	2.897
288	13/3/2557	7:30	2.006	S	27.817	80.829	101.214	8.075	0.394	3.178



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Technical Sales  
Thailand  
1800-345 555  
asean@ni.com

## NI USB-6212

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

- 16 analog inputs (16-bit, 400 kS/s)
- 2 analog outputs (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



## Overview

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Specifications Documents

- Specifications
- Data Sheet

## Specifications Summary

General	
Product Name	USB-6212
Product Family	Multifunction Data Acquisition
Form Factor	USB
Part Number	780169-01 , 780107-01
Operating System/Target	Windows
DAQ Product Family	M Series
Measurement Type	Quadrature encoder , Voltage
Isolation Type	None
RoHS Compliant	Yes
USB Power	Bus-Powered
Analog Input	
Channels	16 , 8
Single-Ended Channels	16
Differential Channels	8
Resolution	16 bits
Sample Rate	400 kS/s
Max Voltage	10 V
Maximum Voltage Range	-10 V , 10 V
Maximum Voltage Range Accuracy	2.71 mV
Maximum Voltage Range Sensitivity	118 $\mu$ V
Minimum Voltage Range	-200 mV , 200 mV
Minimum Voltage Range Accuracy	0.089 mV
Minimum Voltage Range Sensitivity	5.2 $\mu$ V
Number of Ranges	4
Simultaneous Sampling	No
On-Board Memory	4095 samples
Analog Output	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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
Timing	Software
Logic Levels	TTL
Input Current Flow	Sinking , Sourcing
Output Current Flow	Sinking , Sourcing
Programmable Input Filters	No
Supports Programmable Power-Up States?	Yes
Current Drive Single	16 mA
Current Drive All	50 mA
Watchdog Timer	No
Supports Handshaking I/O?	No
Supports Pattern I/O?	No
Maximum Input Range	0 V , 5.25 V
Maximum Output Range	0 V , 3.8 V

**Counter/Timers**

Counters	2
Buffered Operations	Yes
Debouncing/Glitch Removal	Yes

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Connectivity Accessory - Qty  2,000 each  
 USB-621x Accessory Kit -  
 779807-01

#### Optional Accessories Hide

USB/PCMCIA Cable Strain Qty  1,800 each  
 Relief for Laptop - 777550-01

Rugged Carrying Case for Qty  5,600 each  
 Portable Instrumentation -  
 780315-01

DIN Rail Mounting Kit - Qty  1,000 each  
 779689-01

Compliant Calibration for NI Qty  8,700 each  
 Data Acquisition Hardware -  
 960462-03

## Software

Software Subtotal:  0

Note : You should only purchase this device without software if you already own compatible application software. [View Full List]

LabVIEW Full Qty  30,000 each  
 Development System for  
 Windows (English) , 1  
 year SSP - 776670-35

LabVIEW Application Qty  31,900 each  
 Builder for Windows -  
 776675-35

#### Change Software

Learn about all compatible software and get recommendations based on your needs.

Estimated Shipping Days: 10 - 15

Package Price:  37,800

Add to Cart >>

Request Quote

Save for Later

You need software to interface with your hardware and to collect, analyze, present, and store your measurements. This board is compatible with a variety of programming languages, including LabVIEW, C/C++, Visual Basic, and .NET. LabVIEW provides the easiest integration with all of your NI hardware and is recommended to maximize your hardware investment. You have selected Thailand as the country where you will use the product(s) (change).

## Services

### Extended Warranties

National Instruments designs and manufactures all products to minimize failures, however unexpected failures can still occur. Extended warranties provide a fixed economical price at the time of system purchase, covering any repair costs for up to three years. In addition, they offer the following benefits:

- Significant cost savings compared to individual repair incidents

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Fault location, diagnostics, and repair by NI any time the system product fails
  - All parts and labor costs covered as well as any adjustments needed to restore the hardware to manufacturing specifications
- For more information about your warranty options:

- Learn More About Warranty Services [<http://www.ni.com/services/warranty.htm>]
- Talk to an Expert About Extended Warranties [[javascript:openCallMeWindowCTA\(document.referrer,'%20US'\)](http://www.ni.com/services/warranty/extended_warranties.htm)]
- View Warranty Repair Policies [[http://www.ni.com/services/warranty\\_repair\\_policies.htm](http://www.ni.com/services/warranty_repair_policies.htm)]

### Calibration

NI recognizes the need to maintain properly calibrated devices for high-accuracy measurements. NI provides manual calibration procedures, services to recalibrate your products, and automated calibration software to calibrate many NI measurement products.

- Learn More About Calibration Services [<http://www.ni.com/services/calibration.htm>]

### Training

NI training is the fastest, most certain route to productivity with NI tools and successful application development.

- Learn More About NI Training and Certification [<http://www.ni.com/training/>]
- Find a Course Near You and View Schedules [<http://sine.ni.com/facts/app/rfp/p/ap/ov/pg/1/>]

### Repair Services

Return your registered product under warranty at no additional labor and parts cost. NI offers fault location, diagnostics, and repair any time the system fails as well as any adjustments needed to restore the hardware to manufacturing specifications.

- Learn More About Repair Services [<http://www.ni.com/services/warranty.htm>]
- Contact NI to obtain a Return Material Authorization (RMA) form and shipping instructions. [[http://sine.ni.com/apps/utb/nicc\\_call\\_me](http://sine.ni.com/apps/utb/nicc_call_me)]
- View your RMA support request status online. [<https://sine.ni.com/srm/app/myServiceRequests>]
- Register your product [<http://www.ni.com/register/>]

### Technical Support

[ni.com/support](http://www.ni.com/support/) [<http://www.ni.com/support/>]

## Resources

---

### Additional Product Information

- Manuals (7)
- Dimensional Drawings (2)
- Product Certifications

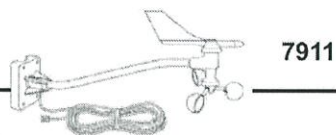
© 2012 National Instruments Corporation. All rights reserved.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Anemometer



7911

### For Monitor and Wizard Stations

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

### General

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

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

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

### Console Data

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

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

**DAVIS**  **Davis Instruments** 3465 Diablo Ave., Hayward, CA 94545-2778  
(510) 732-9229 • FAX (510) 670-0539 • sales@davisnet.com • www.davisnet.com  
DS7911 (Rev. G, 2/26/13)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## WeatherLink® Data

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

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

## Input/Output Connections

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

## Sensor Output

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## NTC thermistors, accuracy line

2 3 2 2 6 4 0 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 <sub>25</sub> -value	±2%; ±3%; ±5%; ±10%
Tolerance on B <sub>25/85</sub> -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

1998 Sep 04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## NTC thermistors, accuracy line

2322 640 6....

## MECHANICAL DATA

## Outline

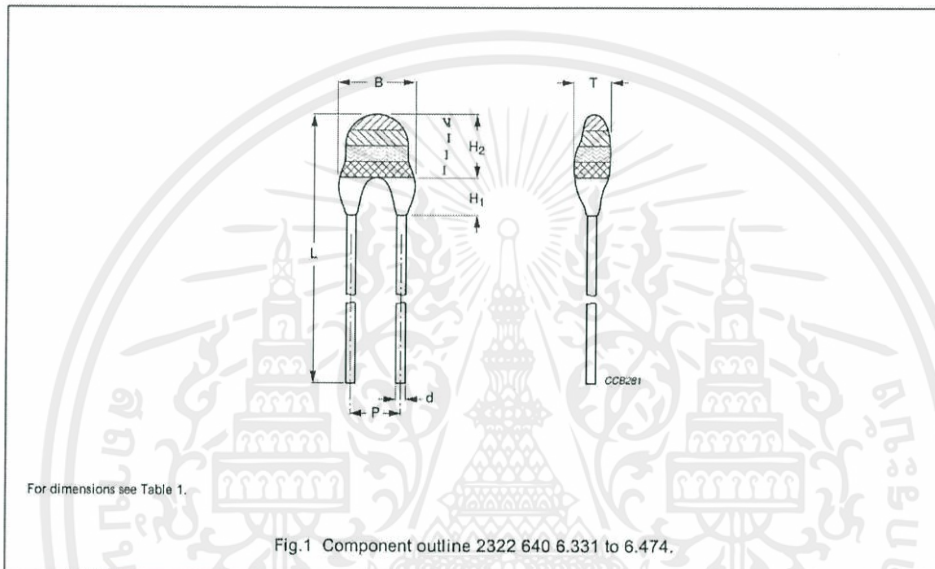


Table 1 Physical dimensions for relevant type; see Fig.1

CODENUMBER 2322 640 .....	$B_{max}$ (mm)	d (mm)	$H_1$ (mm)		$H_{2max}$ (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

1998 Sep 04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 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<sub>25</sub>-values, catalogue numbers and coding

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
3.3	2880 K ±3%	4338	6338	3338	2338	orange	orange	gold
4.7	2880 K ±3%	4478	6478	3478	2478	yellow	violet	gold
6.8	2880 K ±3%	4688	6688	3688	2688	blue	grey	gold
10	2990 K ±3%	4109	6109	3109	2109	brown	black	black
15	3041 K ±3%	4159	6159	3159	2159	brown	green	black
22	3136 K ±3%	4229	6229	3229	2229	red	red	black
33	3390 K ±3%	4339	6339	3339	2339	orange	orange	black
47	3390 K ±3%	4479	6479	3479	2479	yellow	violet	black
68	3390 K ±3%	4689	6689	3689	2689	blue	grey	black
100	3560 K ±0.75%	4101	6101	3101	2101	brown	black	brown
150	3560 K ±0.75%	4151	6151	3151	2151	brown	green	brown
220	3560 K ±0.75%	4221	6221	3221	2221	red	red	brown
330	3560 K ±0.75%	4331	6331	3331	2331	orange	orange	brown
470	3560 K ±0.5%	4471	6471	3471	2471	yellow	violet	brown
680	3560 K ±0.5%	4681	6681	3681	2681	blue	grey	brown
1000	3528 K ±0.5%	4102	6102	3102	2102	brown	black	red
1500	3528 K ±0.5%	4152	6152	3152	2152	brown	green	red
2000	3528 K ±0.5%	4202	6202	3202	2202	red	black	red
2200	3977 K ±0.75%	4222	6222	3222	2222	red	red	red

1998 Sep 04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 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.

1998 Sep 04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## NTC thermistors, accuracy line

2322 640 6....

**R<sub>T</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"):

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

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

where:

A, B, C, D, 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,

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

$$\text{or } Z \approx X + Y.$$

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:

$$\begin{aligned} Z &= \left[ \left( 1 + \frac{5}{100} \right) \times \left( 1 + \frac{0.89}{100} \right) - 1 \right] \times 100\% \\ &= \{ 1.05 \times 1.0089 - 1 \} \times 100\% = 5.9345\% (\approx 5.93\%) \\ \Delta T &= \frac{Z}{TC} = \frac{5.93}{5.08} = 1.167 \text{ °C} (\approx 1.17 \text{ °C}) \end{aligned}$$

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/R25</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	3.349290	3.683843	7.050455
3136	-12.4493	4702.74	-402687	31.96830	3.354016	3.243880	2.658012	-2.70156
3390	-12.6814	4391.97	-232807	15.09643	3.354016	2.993410	2.135133	-8.05672
3528	-12.060	3.688	-0.076	-5.915	3.354016	2.909670	1.632136	0.719220
3528	-21.095	11.930	-25.139	248.120	3.354016	2.933908	3.494314	-7.71269
3560	-13.072	4.191	-0.472	-11.993	3.354016	2.884193	4.118032	1.786790
3740	-13.897	4.558	-0.983	-7.522	3.354016	2.744032	3.666944	1.375492
3977	-14.634	4.792	-1.153	-3.731	3.354016	2.569355	2.626311	0.675278
4090	-15.532	5.230	-1.605	-5.414	3.354016	2.519107	3.510939	1.105179
4190	-16.035	5.459	-1.911	-3.328	3.354016	2.460382	3.405377	1.034240
4370	-16.872	5.759	-1.943	-6.869	3.354016	2.367720	3.585140	1.255349
4570	-17.644	6.023	-2.032	-7.184	3.354016	2.264097	3.278184	1.097628

1998 Sep 04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

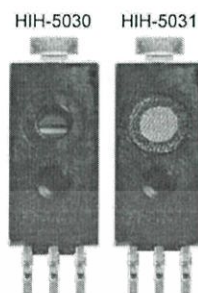


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Honeywell

## HIH-5030/5031 Series

### Low Voltage Humidity Sensors



#### DESCRIPTION

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

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

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

Direct input to a controller or other device is made possible by this sensor's near linear voltage output. With a typical current draw of only 200  $\mu$ 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## HIH-5030/5031 Series

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

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

**Specific Notes:**

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

**General Notes:**

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Low Voltage Humidity Sensors

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

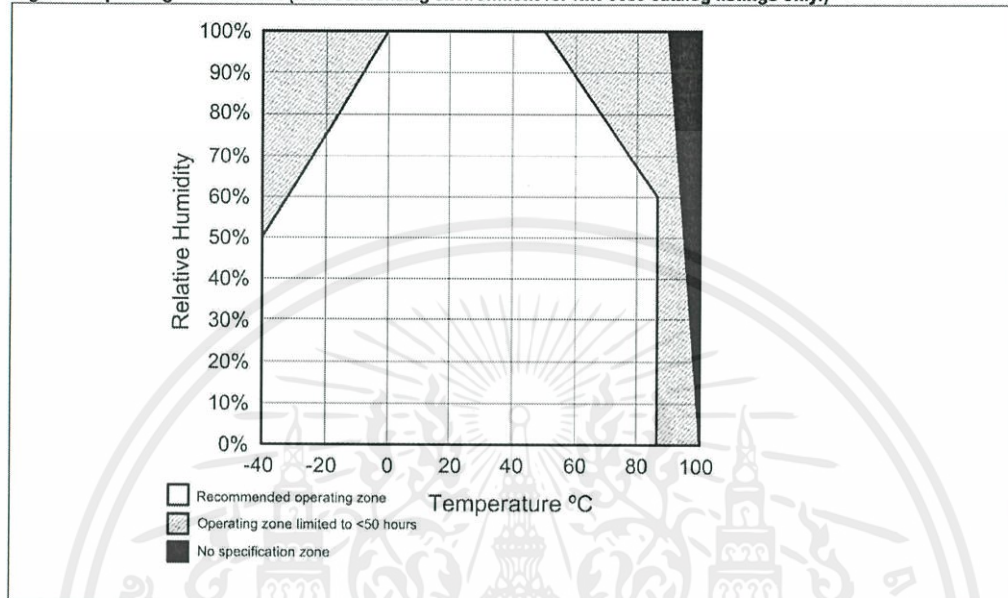
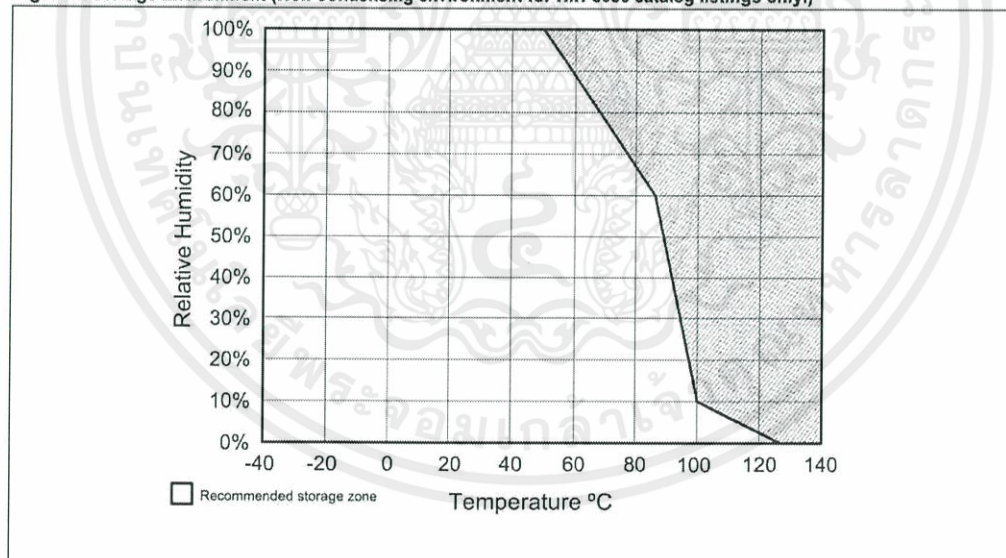


Figure 2. Storage Environment (Non-condensing environment for HIH-5030 catalog listings only.)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## HIH-5030/5031 Series

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

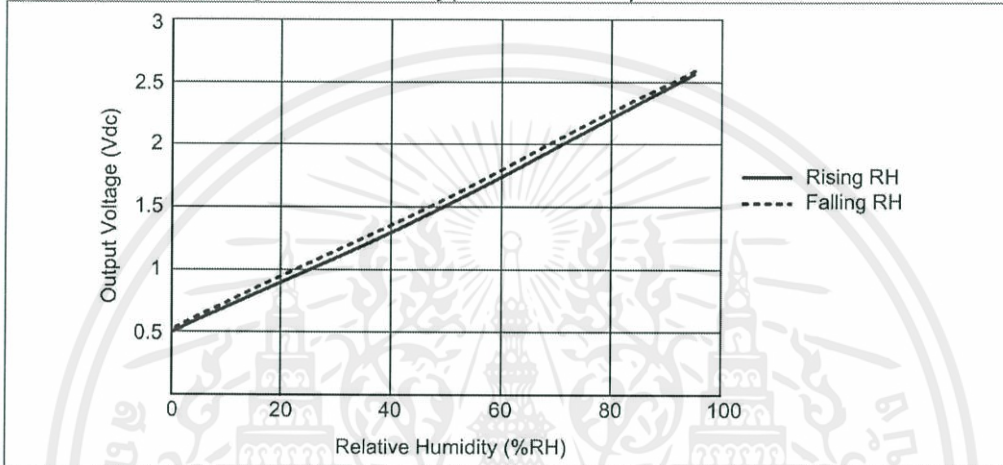
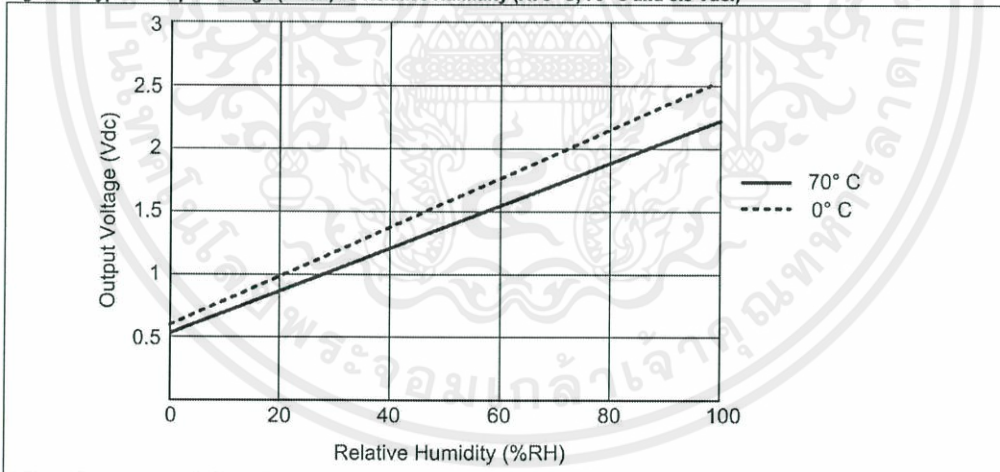


Figure 4. Typical Output Voltage (BFSL) vs Relative Humidity (At 0 °C, 70 °C and 3.3 Vdc.)



## Low Voltage Humidity Sensors

Figure 5. HIH-5030 Mounting Dimensions (For reference only. mm/[in])

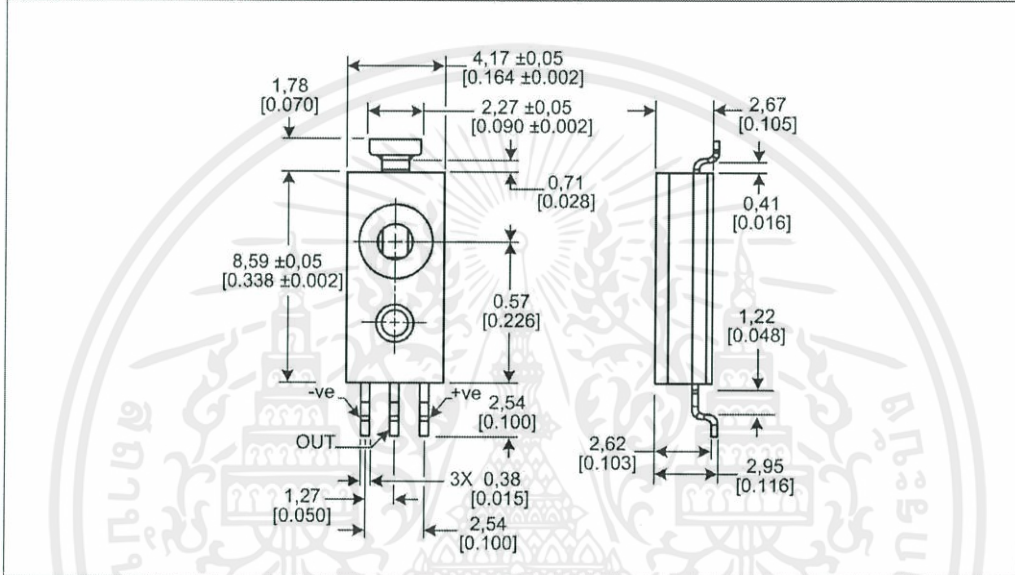
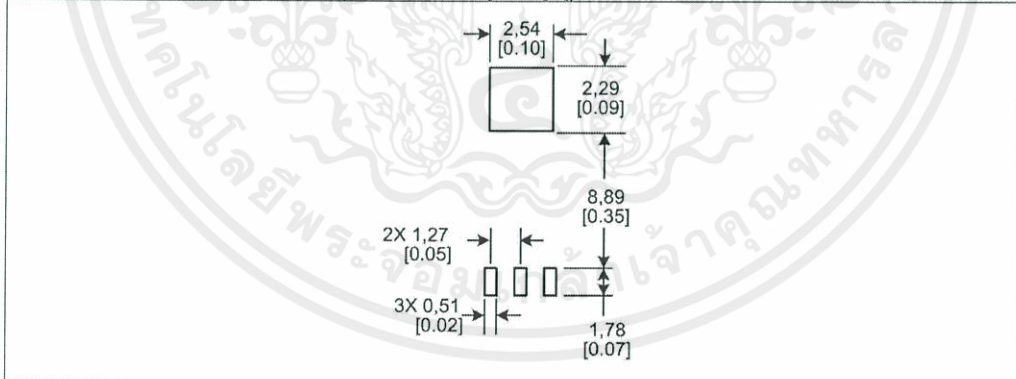


Figure 6. HIH-5030 PCB Landing Pattern (For reference only. mm/[in])



## HIH-5030/5031 Series

Figure 7. HIH-5031 Mounting Dimensions (For reference only, mm/[in])

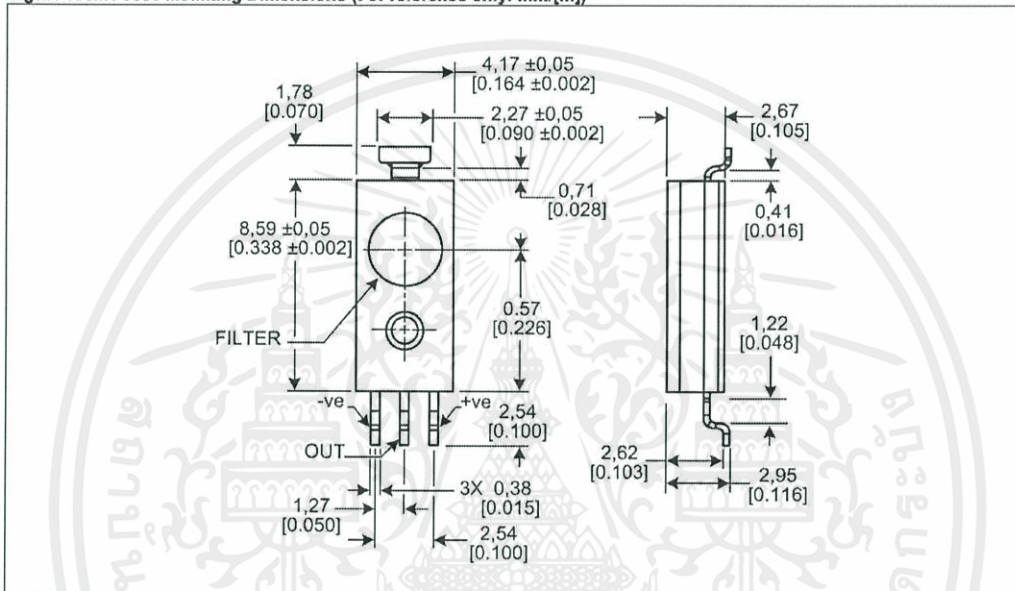
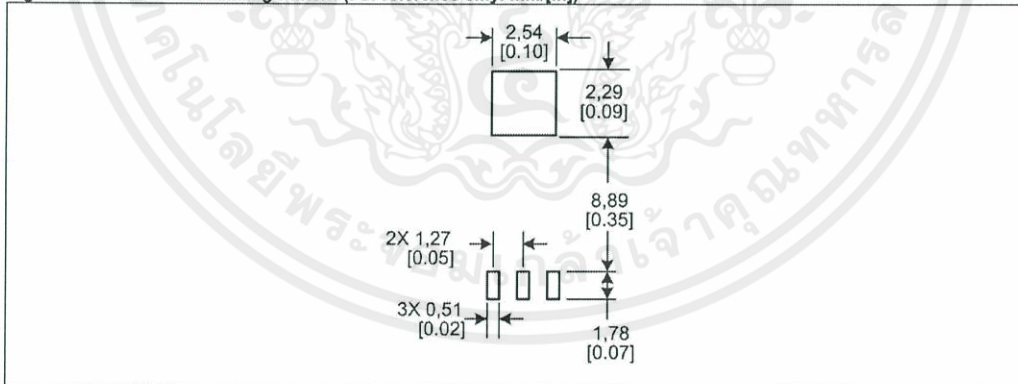


Figure 8. HIH-5031 PCB Landing Pattern (For reference only, mm/[in])



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ 6 [www.honeywell.com/sensing](http://www.honeywell.com/sensing) รับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Honeywell

## Low Voltage Humidity Sensors

Figure 9. Tape and Reel Dimensions (For reference only, mm/[In])

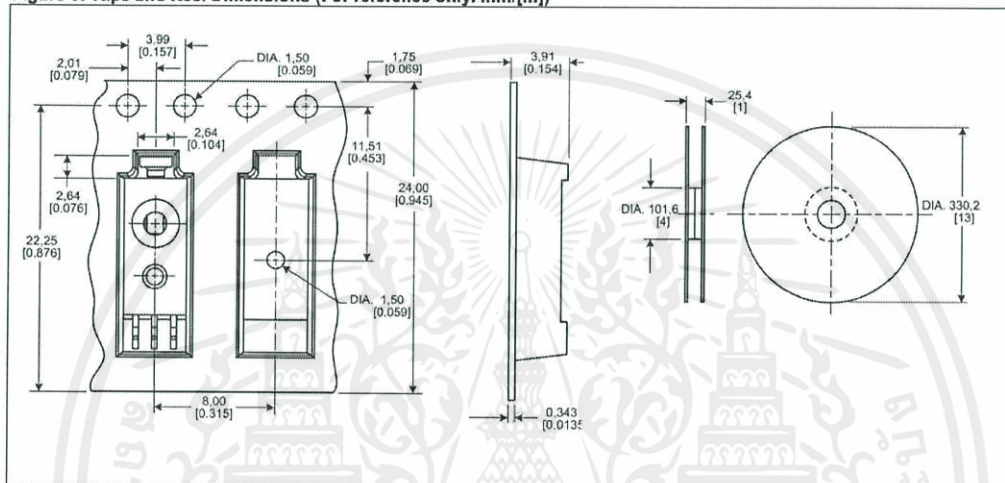
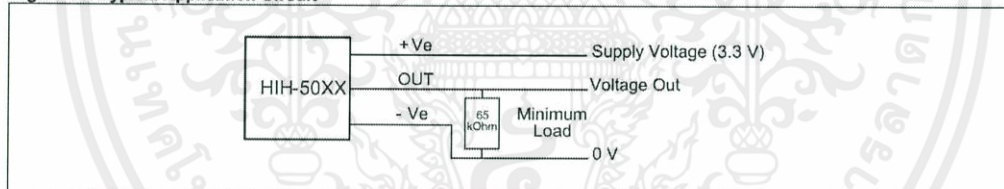


Figure 10. Typical Application Circuit



## ORDER GUIDE

Catalog Listing	Description
HIH-5030-001	Covered integrated circuit humidity sensor, SMD, 1000 units on tape and reel
HIH-5031-001	Covered, filtered integrated circuit humidity sensor, SMD, 1000 units on tape and reel
HIH-5030-001S	Sample pack: covered integrated circuit humidity sensor, SMD, five units on tape
HIH-5031-001S	Sample pack: covered, filtered integrated circuit humidity sensor, SMD, sample pack, five units on tape

## ADDITIONAL HUMIDITY SENSOR INFORMATION

See the following associated literature is available on the [Web](#):

- Product installation instructions
- Application sheets:
  - Humidity Sensor Performance Characteristics
  - Humidity Sensor Theory and Behavior
  - Humidity Sensor Moisture and Psychrometrics
  - Thermoset Polymer-based Capacitive Sensors

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อยู่ภายใต้ลิขสิทธิ์ของ Honeywell Sensing and Control 7  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## HIH-5030/5031 Series

## Low Voltage Humidity Sensors

### **⚠ WARNING**

#### **MISUSE OF DOCUMENTATION**

- The information presented in this product sheet is for reference only. Do not use this document as a product installation guide.
- Complete installation, operation, and maintenance information is provided in the instructions supplied with each product.

**Failure to comply with these instructions could result in death or serious injury.**

#### **WARRANTY/REMEDY**

Honeywell warrants goods of its manufacture as being free of defective materials and faulty workmanship. Honeywell's standard product warranty applies unless agreed to otherwise by Honeywell in writing; please refer to your order acknowledgement or consult your local sales office for specific warranty details. If warranted goods are returned to Honeywell during the period of coverage, Honeywell will repair or replace, at its option, without charge those items it finds defective. **The foregoing is buyer's sole remedy and is in lieu of all other warranties, expressed or implied, including those of merchantability and fitness for a particular purpose. In no event shall Honeywell be liable for consequential, special, or indirect damages.**

While we provide application assistance personally, through our literature and the Honeywell web site, it is up to the customer to determine the suitability of the product in the application.

Specifications may change without notice. The information we supply is believed to be accurate and reliable as of this printing. However, we assume no responsibility for its use.

### **⚠ WARNING**

#### **PERSONAL INJURY**

DO NOT USE these products as safety or emergency stop devices or in any other application where failure of the product could result in personal injury.

**Failure to comply with these instructions could result in death or serious injury.**

#### **SALES AND SERVICE**

Honeywell serves its customers through a worldwide network of sales offices, representatives and distributors. For application assistance, current specifications, pricing or name of the nearest Authorized Distributor, contact your local sales office or:

**E-mail:** [info.sc@honeywell.com](mailto:info.sc@honeywell.com)

**Internet:** [www.honeywell.com/sensing](http://www.honeywell.com/sensing)

#### **Phone and Fax:**

Asia Pacific	+65 6355-2828
	+65 6445-3033 Fax
Europe	+44 (0) 1698 481481
	+44 (0) 1698 481676 Fax
Latin America	+1-305-805-8188
	+1-305-883-8257 Fax
USA/Canada	+1-800-537-6945
	+1-815-235-6847
	+1-815-235-6545 Fax

Sensing and Control  
Honeywell  
1985 Douglas Drive North  
Golden Valley, MN 55422  
[www.honeywell.com](http://www.honeywell.com)

009050-2-EN IL50 GLO Printed in USA  
Mar 2010  
© 2010 Honeywell International Inc. All rights reserved.

## Honeywell

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Solar Radiation Sensor

6450



Vantage Pro2™ Accessories

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

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

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

Please refer to the WeatherLink<sup>®</sup> for Vantage Pro<sup>®</sup> and Vantage Pro2™ specification sheet for optional data logging and charting capabilities available for this product.

### General

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

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

1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

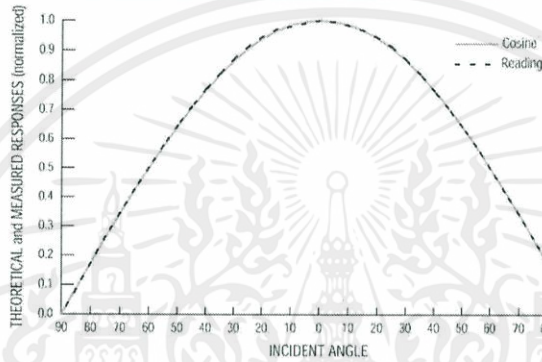
2

Vantage Pro2™ Accessories

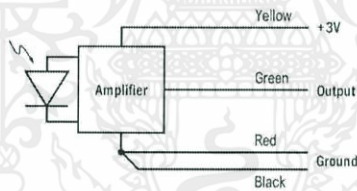
Sensor Output

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

**DAVIS**  **Davis Instruments** 3465 Diablo Ave., Hayward, CA 94545-2778 USA  
 (510) 732-9229 • FAX (510) 670-0589 • sales@davisnet.com • www.davisnet.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Current Sensor: ACS754xCB-050

**Package CB-PFF**

**Package CB-PSF**

**Package CB-PSS**

Pin 1: VCC  
Pin 2: GND  
Pin 3: VOUT

Terminal 4: IP+  
Terminal 5: IP-

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS**

Supply Voltage, $V_{CC}$ .....	16 V
Reverse Supply Voltage, $V_{RCC}$ .....	-16 V
Output Voltage, $V_{OUT}$ .....	16 V
Reverse Output Voltage, $V_{ROUT}$ .....	-0.1 V
Output Current Source, $I_{OUT(SOURCE)}$ .....	3 mA
Output Current Sink, $I_{OUT(SINK)}$ .....	10 mA
Operating Temperature	
Ambient, $T_A$ , L range .....	-40 to 150°C
Ambient, $T_A$ , S range .....	-20 to 85°C
Maximum Junction, $T_{J(max)}$ .....	165°C
Maximum Storage Temperature, $T_S$ .....	-65 to 170°C

TÜV America  
Certificate Number:  
U8V 04 11 54214 001

The Allegro ACS75x family of current sensors provides economical and precise solutions for current sensing in industrial, automotive, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, power supplies, and overcurrent fault protection.

The device consists of a precision, low-offset linear Hall sensor circuit with a copper conduction path located near the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which is sensed by the integrated Hall IC and converted 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 at the factory.

The output of the device has a positive slope ( $>V_{CC}/2$ ) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from terminal 4 to terminal 5), which is the path used for current sensing. The internal resistance of this conductive path is typically 100  $\mu\Omega$ , providing low power loss. The thickness of the copper conductor allows survival of the device at up to 5 $\times$  overcurrent conditions. The terminals of the conductive path are electrically isolated from the sensor leads (pins 1 through 3). This allows the ACS75x family of sensors to be used in applications requiring electrical isolation without the use of opto-isolators or other costly isolation techniques.

The device is fully calibrated prior to shipment from the factory. The ACS75x family is lead-free. All leads are coated with 100% matte tin, and there is no lead inside the package. The heavy gauge leadframe is made of oxygen-free copper.

**Features and Benefits**

- Monolithic Hall IC for high reliability
- Single +5 V supply
- 3 kV<sub>RMS</sub> isolation voltage between terminals 4/5 and pins 1/2/3
- 35 kHz bandwidth
- Automotive temperature range
- End-of-line factory-trimmed for gain and offset
- Ultra-low power loss: 100  $\mu\Omega$  internal conductor resistance
- Ratiometric output from supply voltage
- Extremely stable output offset voltage
- Small package size, with easy mounting capability
- Output proportional to ac and dc currents

**Applications**

- Automotive systems
- Industrial systems
- Motor control
- Servo systems
- Power conversion
- Battery monitors

Use the following complete part numbers when ordering:

Part Number	Signal Pins	Terminals	Ambient
ACS754LCB-050-PFF	Formed	Formed	-40 to 150°C
ACS754LCB-050-PSF	Formed	Straight	
ACS754LCB-050-PSS	Straight	Straight	
ACS754SCB-050-PFF	Formed	Formed	-20 to 85°C
ACS754SCB-050-PSF	Formed	Straight	
ACS754SCB-050-PSS	Straight	Straight	

ACS754050-DS, Rev. 3

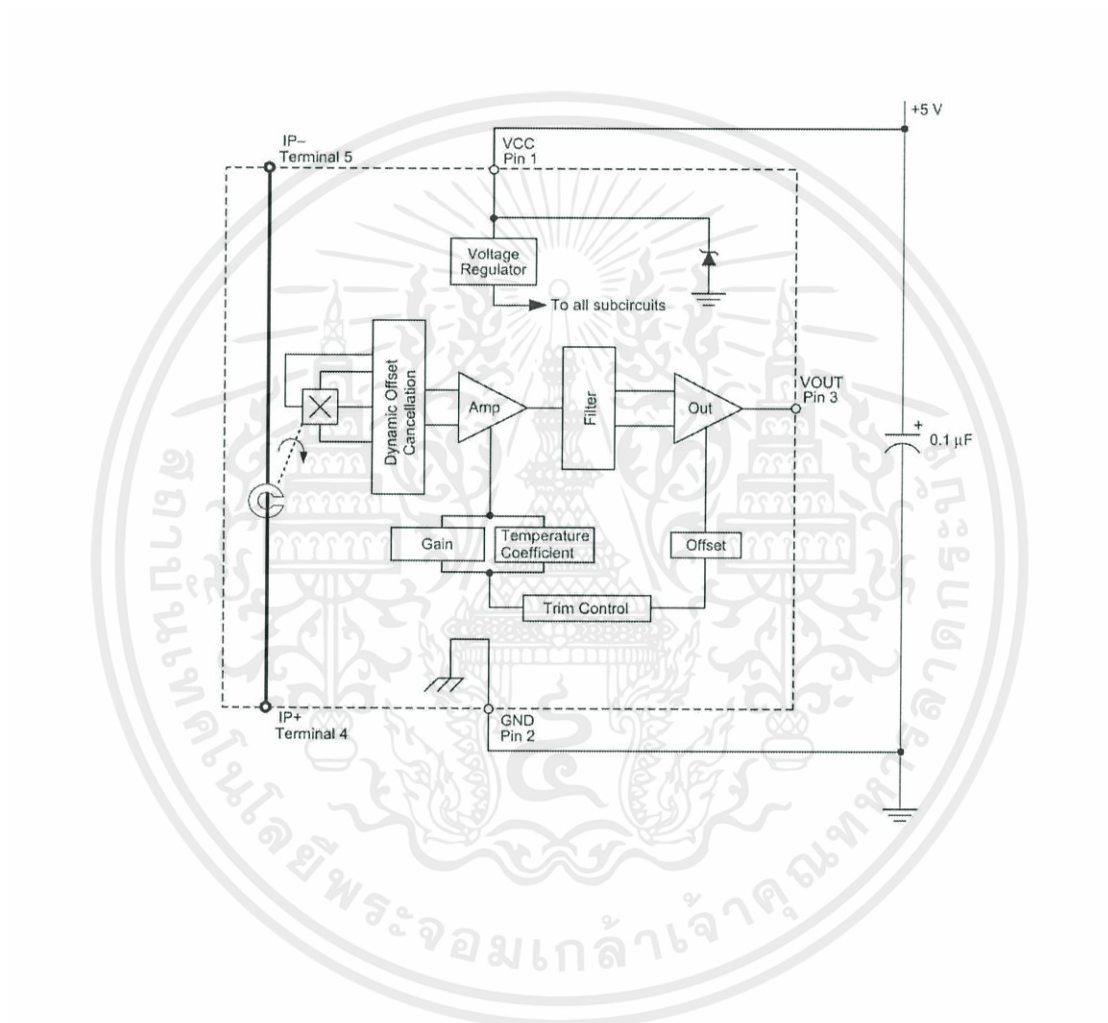


115 Northeast Cutoff, Box 15036  
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Current Sensor: ACS754xCB-050

Functional Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Current Sensor: ACS754xCB-050

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS, over operating ambient temperature range unless otherwise stated

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Primary Sensed Current	$I_P$		-50	-	50	A
Supply Voltage	$V_{CC}$		4.5	5.0	5.5	V
Supply Current	$I_{CC}$	$V_{CC} = 5.0$ V, output open	6.5	8	10	mA
Output Resistance	$R_{OUT}$	$I_{OUT} = 1.2$ mA	-	1	2	$\Omega$
Output Capacitance Load	$C_{LOAD}$	VOUT to GND	-	-	10	nF
Output Resistive Load	$R_{LOAD}$	VOUT to GND	4.7	-	-	k $\Omega$
Primary Conductor Resistance	$R_{PRIMARY}$	$I_P = \pm 100$ A; $T_A = 25^\circ$ C	-	100	-	$\mu\Omega$
		Pins 1-3 and 4-5; 60 Hz, 1 minute	3.0	-	-	kV
<b>PERFORMANCE CHARACTERISTICS, -20°C to +85°C, <math>V_{CC} = 5</math> V unless otherwise specified</b>						
Propagation time	$t_{PROP}$	$I_P = \pm 50$ A, $T_A = 25^\circ$ C	-	4	-	$\mu$ s
Response time	$t_{RESPONSE}$	$I_P = \pm 50$ A, $T_A = 25^\circ$ C	-	12	-	$\mu$ s
Rise time	$t_r$	$I_P = \pm 50$ A, $T_A = 25^\circ$ C	-	11	-	$\mu$ s
Frequency Bandwidth	$f$	-3 dB, $T_A = 25^\circ$ C	-	35	-	kHz
Sensitivity	Sens	Over full range of $I_P$ , $T_A = 25^\circ$ C	-	40	-	mV/A
		Over full range of $I_P$	37.8	-	42.0	mV/A
Noise	$V_{NOISE}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^\circ$ C, no external filter	-	65	-	mV
Nonlinearity	$E_{LIN}$	Over full range of $I_P$	-	-	$\pm 1.5$	%
Symmetry	$E_{SYM}$	Over full range of $I_P$	98	100	102	%
Zero Current Output Voltage	$V_{OUT(Q)}$	$I = 0$ A, $T_A = 25^\circ$ C	-	$V_{CC}/2$	-	V
Electrical Offset Voltage (Magnetic error not included)	$V_{OE}$	$I = 0$ A, $T_A = 25^\circ$ C	-10	-	10	mV
		$I = 0$ A	-20	-	20	mV
Magnetic Offset Error	$I_{ERROM}$	$I = 0$ A, after excursion of 100 A	-	$\pm 0.1$	$\pm 0.30$	A
Total Output Error (Including all offsets)	$E_{TOT}$	Over full range of $I_P$ , $T_A = 25^\circ$ C	-	$\pm 1.0$	-	%
		Over full range of $I_P$	-	-	$\pm 5.0$	%
<b>PERFORMANCE CHARACTERISTICS, -40°C to +150°C, <math>V_{CC} = 5</math> V unless otherwise specified</b>						
Propagation time	$t_{PROP}$	$I_P = \pm 50$ A, $T_A = 25^\circ$ C	-	4	-	$\mu$ s
Response time	$t_{RESPONSE}$	$I_P = \pm 50$ A, $T_A = 25^\circ$ C	-	12	-	$\mu$ s
Rise time	$t_r$	$I_P = \pm 50$ A, $T_A = 25^\circ$ C	-	11	-	$\mu$ s
Frequency Bandwidth	$f$	-3 dB, $T_A = 25^\circ$ C	-	35	-	kHz
Sensitivity	Sens	Over full range of $I_P$ , $T_A = 25^\circ$ C	-	40	-	mV/A
		Over full range of $I_P$	36.0	-	42.8	mV/A
Noise	$V_{NOISE}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^\circ$ C, no external filter	-	65	-	mV
Nonlinearity	$E_{LIN}$	Over full range of $I_P$	-	-	$\pm 1.8$	%
Symmetry	$E_{SYM}$	Over full range of $I_P$	98	100	102	%
Zero Current Output Voltage	$V_{OUT(Q)}$	$I = 0$ A, $T_A = 25^\circ$ C	-	$V_{CC}/2$	-	V
Electrical Offset Voltage (Magnetic error not included)	$V_{OE}$	$I = 0$ A, $T_A = 25^\circ$ C	-10	-	10	mV
		$I = 0$ A	-35	-	35	mV
Magnetic Offset Error	$I_{ERROM}$	$I = 0$ A, after excursion of 100 A	-	$\pm 0.1$	$\pm 0.40$	A
Total Output Error (Including all offsets)	$E_{TOT}$	Over full range of $I_P$ , $T_A = 25^\circ$ C	-	$\pm 1.0$	-	%
		Over full range of $I_P$	-	-	$\pm 9.9$	%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Current Sensor: ACS754xCB-050

### Definitions of Accuracy Characteristics

**Sensitivity (Sens):** The change in sensor output in response to a 1 A change through the primary conductor. The sensitivity is the product of the magnetic circuit sensitivity (G/A) and the linear IC amplifier gain (mV/G). The linear IC amplifier gain is trimmed at the factory to optimize the sensitivity (mV/A) for the full-scale current of the device.

**Noise (V<sub>NOISE</sub>):** The product of the linear IC amplifier gain (mV/G) and the noise floor for the Allegro Hall effect linear IC ( $\approx 1$  G). The noise floor is derived from the thermal and shot noise observed in Hall elements. Dividing the noise (mV) by the sensitivity (mV/A) provides the smallest current that the device is able to resolve.

**Linearity (E<sub>LIN</sub>):** The degree to which the voltage output from the sensor varies in direct proportion to the primary current through its full-scale amplitude. Linearity reveals the maximum deviation from the ideal transfer curve for this transducer. Nonlinearity in the output can be attributed to the gain variation across temperature and saturation of the flux concentrator approaching the full-scale current. The following equation is used to derive the linearity:

$$100 \left\{ 1 - \left[ \frac{\Delta \text{gain} \times \% \text{sat} (V_{\text{out\_full-scale amperes}} - V_{\text{OUT(Q)}})}{2 (V_{\text{out\_half-scale amperes}} - V_{\text{OUT(Q)}})} \right] \right\}$$

where

$\Delta$  gain = the gain variation as a function of temperature changes from 25°C.

% sat = the percentage of saturation of the flux concentrator, which becomes significant as the current being sensed approaches full-scale  $\pm I_p$ , and

$V_{\text{out\_full-scale amperes}}$  = the output voltage (V) when the sensed current approximates full-scale  $\pm I_p$ .

**Symmetry (E<sub>SYM</sub>):** The degree to which the absolute voltage output from the sensor varies in proportion to either a positive or negative full-scale primary current. The following equation is used to derive symmetry:

$$100 \left[ \frac{V_{\text{out\_+full-scale amperes}} - V_{\text{OUT(Q)}}}{V_{\text{OUT(Q)}} - V_{\text{out\_full-scale amperes}}} \right]$$

**Quiescent output voltage (V<sub>OUT(Q)</sub>):** The output of the sensor when the primary current is zero. For a unipolar supply voltage, it nominally remains at  $V_{CC}/2$ . Thus,  $V_{CC} = 5$  V translates into  $V_{OUT(Q)} = 2.5$  V. Variation in  $V_{OUT(Q)}$  can be attributed to the resolution of the Allegro linear IC quiescent voltage trim, magnetic hysteresis, and thermal drift.

**Electrical offset voltage (V<sub>OE</sub>):** The deviation of the device output from its ideal quiescent value of  $V_{CC}/2$  due to nonmagnetic causes.

**Magnetic offset error (I<sub>ERROM</sub>):** The magnetic offset is due to the residual magnetism (remnant field) of the core material. The magnetic offset error is highest when the magnetic circuit has been saturated, usually when the device has been subjected to a full-scale or high-current overload condition. The magnetic offset is largely dependent on the material used as a flux concentrator. The larger magnetic offsets are observed at the lower operating temperatures.

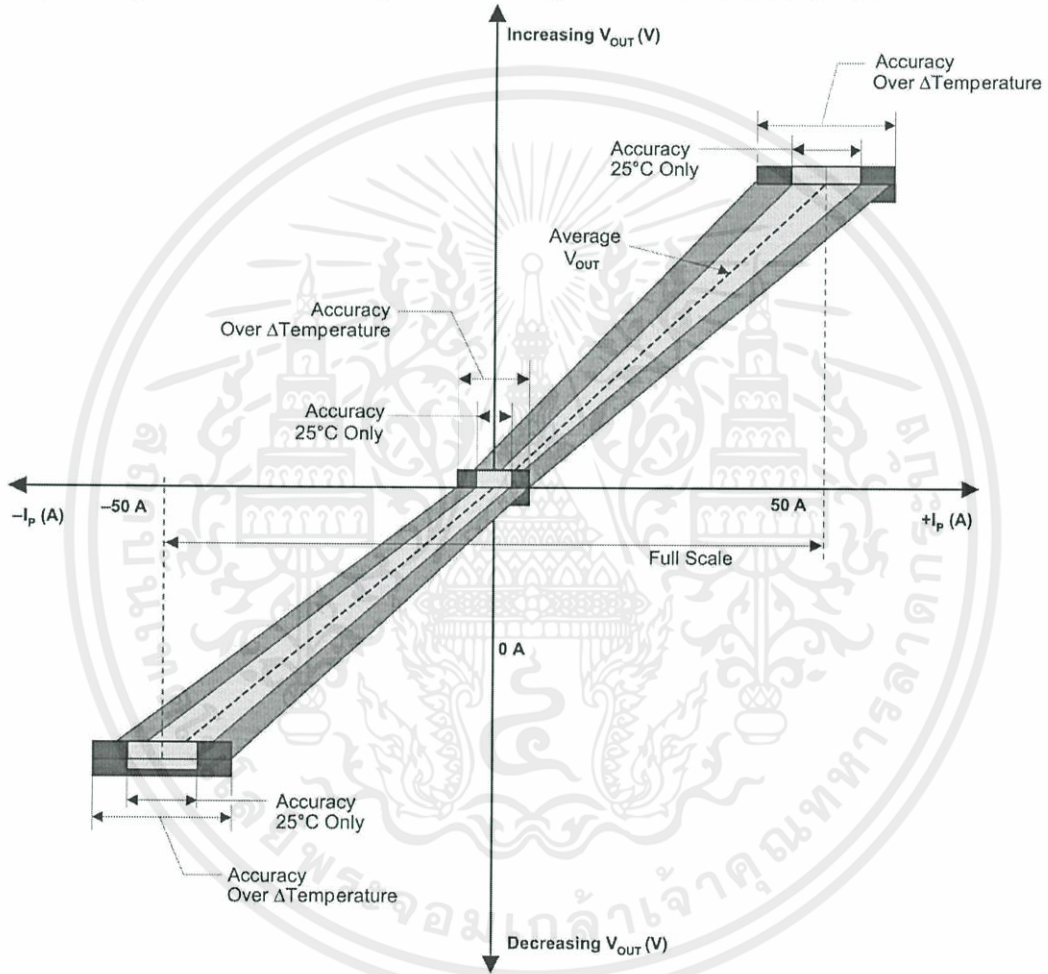
**Accuracy (E<sub>TOT</sub>):** The accuracy represents the maximum deviation of the actual output from its ideal value. This is also known as the total output error. The accuracy is illustrated graphically in the Output Voltage versus Current chart on the following page.

Accuracy is divided into four areas:

- **0 A at 25°C:** Accuracy of sensing zero current flow at 25°C, without the effects of temperature.
- **0 A over temperature:** Accuracy of sensing zero current flow including temperature effects.
- **Full-scale current at 25°C:** Accuracy of sensing the full-scale current at 25°C, without the effects of temperature.
- **Full-scale current over  $\Delta$  temperature:** Accuracy of sensing full-scale current flow including temperature effects.

## Current Sensor: ACS754xCB-050

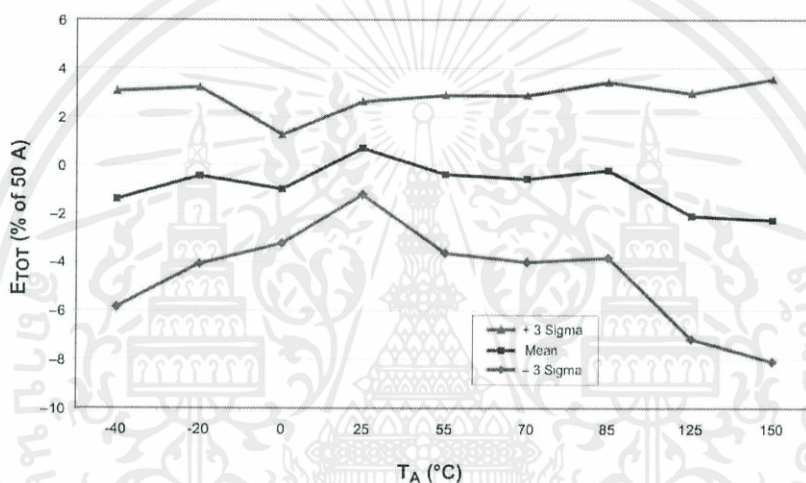
Output voltage vs. current, illustrating sensor accuracy at 0 A and at full-scale current



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Current Sensor: ACS754xCB-050

### Typical Percentage Error versus Ambient Temperature

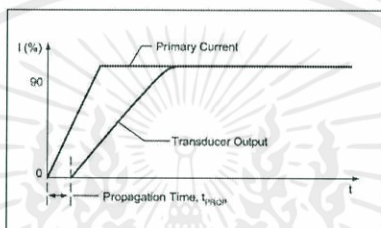


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

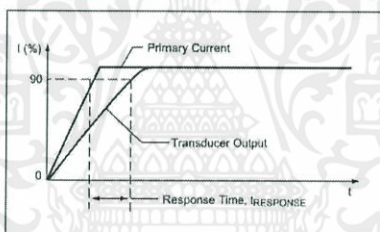
## Current Sensor: ACS754xCB-050

### Definitions of Dynamic Response Characteristics

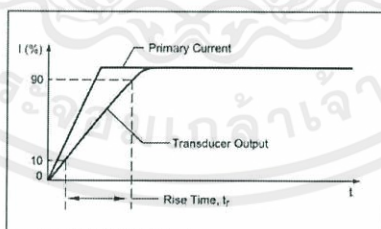
**Propagation delay ( $t_{PROP}$ ):** The time required for the sensor output to reflect a change in the primary current signal. Propagation delay is attributed to inductive loading within the linear IC package, as well as in the inductive loop formed by the primary conductor geometry. Propagation delay can be considered as a fixed time offset and may be compensated.



**Response time ( $t_{RESPONSE}$ ):** The time interval between a) when the primary current signal reaches 90% of its final value, and b) when the sensor reaches 90% of its output corresponding to the applied current.



**Rise time ( $t_r$ ):** The time interval between a) when the sensor 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 current sensor, 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 and, to varying degrees, in the ferrous flux concentrator within the current sensor package.

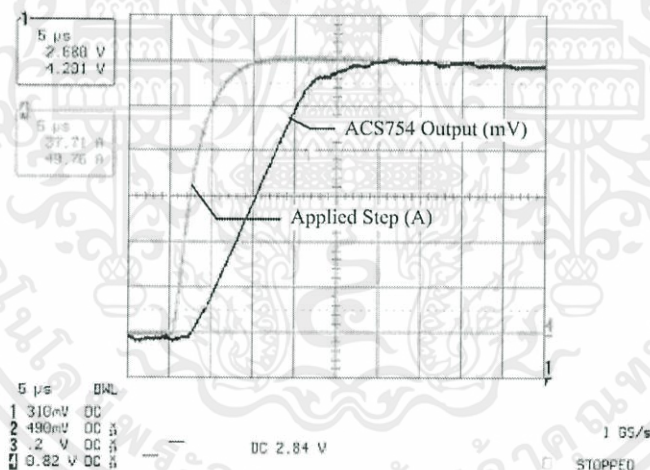


# Current Sensor: ACS754xCB-050

Standards and Physical Specifications

Parameter	Specification
Flammability (package molding compound)	UL recognized to UL 94V-0
Fire and Electric Shock	UL60950-1:2003 EN60950-1:2001 CAN/CSA C22.2 No. 60950-1:2003
Creepage distance, current terminals to sensor pins	7.25 mm
Clearance distance, current terminals to sensor pins	7.25 mm
Package mass	4.63 g typical

Step Response,  $I_p = 0$  to 50 A, no external filter



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Current Sensor: ACS754xCB-050

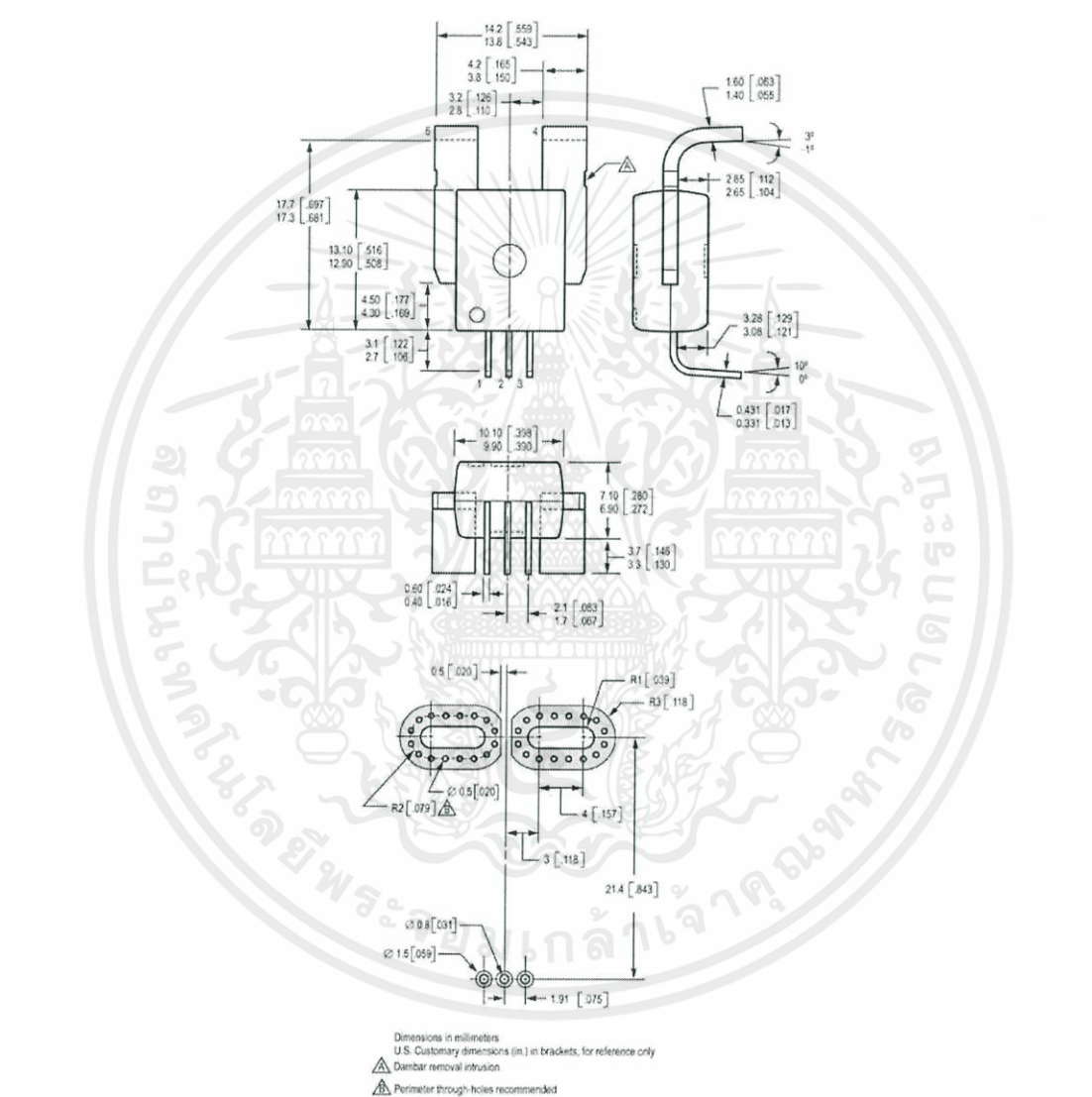
Device Branding Key (Two alternative styles are used)

ACS754 TCB050 YYWWA	ACS	Allegro Current Sensor
	754	Device family number
	T	Operating ambient temperature range code [L or S]
	CB	Package type designator
	050	Maximum measurable current
	YY	Manufacturing date code: Calendar year (last two digits)
	WW	Manufacturing date code: Calendar week
ACS754 TCB050 L...L YYWW	ACS	Allegro Current Sensor
	754	Device family number
	T	Operating ambient temperature range code [L or S]
	CB	Package type designator
	050	Maximum measurable current
	L...L	Manufacturing lot code
	YY	Manufacturing date code: Calendar year (last two digits)
WW	Manufacturing date code: Calendar week	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Current Sensor: ACS754xCB-050

## Package CB-PFF



ACS754050-DS, Rev. 3

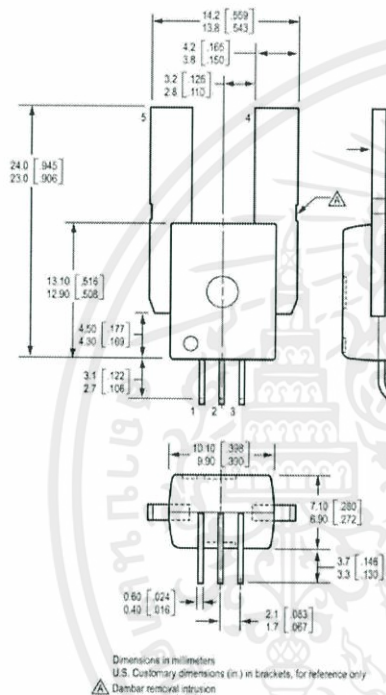


115 Northeast Cutzfl, Box 15036  
 Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000

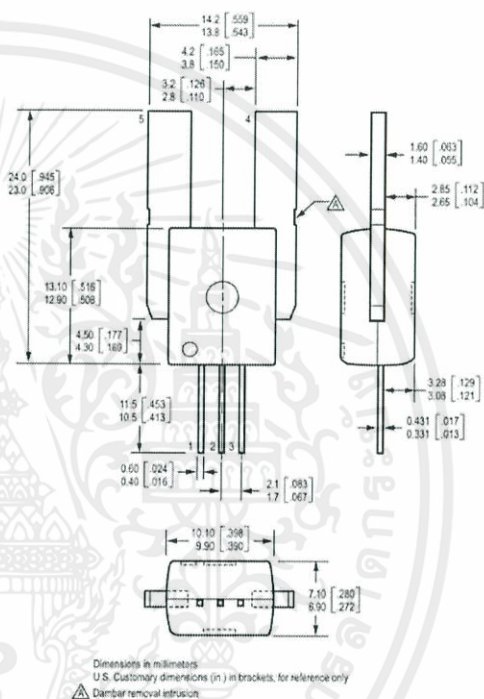
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Current Sensor: ACS754xCB-050

### Package CB-PSF



### Package CB-PSS



The products described herein are manufactured under one or more of the following U.S. patents: 5,045,920; 5,264,783; 5,442,283; 5,389,889; 5,581,179; 5,517,112; 5,619,137; 5,621,319; 5,650,719; 5,686,894; 5,694,038; 5,729,130; 5,917,320; and other patents pending.

Allegro MicroSystems, Inc. reserves the right to make, from time to time, such departures from the detail specifications as may be required to permit improvements in the performance, reliability, or manufacturability of its products. Before placing an order, the user is cautioned to verify that the information being relied upon is current.

Allegro products are not authorized for use as critical components in life-support devices or systems without express written approval.

The information included herein is believed to be accurate and reliable. However, Allegro MicroSystems, Inc. assumes no responsibility for its use; nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use.

Copyright © 2004, 2005, AllegroMicrosystems, Inc.

ACS754050-DS, Rev. 3



115 Northeast Cutoff, Box 15036  
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000

11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ระบบการวัดและวิเคราะห์พลังงานทดแทนอย่างชาญฉลาด

### Smart renewable energy monitoring system

ณัฐชัย วชิรกุล ธนพจน์ เอกพิสิฐเมธี ประมวล สิงห์เรือง และวิฑูรย์ กลิ่นหอม

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอยฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925 E-Mail: prasopchok\_ho@hotmail.com

#### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้ นำเสนอการออกแบบและสร้างระบบ เครื่องมือวัดและวิเคราะห์พลังงานทดแทน ในด้านพลังงานลมและ พลังงานแสงอาทิตย์ โดยจะออกแบบให้มีการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คือ ความเร็วลม ทิศทางลม ความเข้มแสงอาทิตย์ อุณหภูมิและความชื้น รวมถึงค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า เช่น แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และ กำลังไฟฟ้าจากแหล่งที่มีการติดตั้งพลังงานทดแทนด้านพลังงาน แสงอาทิตย์ ระบบเครื่องมือวัดนี้ได้มีการออกแบบให้ตรวจวัดโดยใช้ เครื่องมือตรวจจับสัญญาณ หรือเซ็นเซอร์ ทำงานร่วมกับคอมพิวเตอร์ และประยุกต์ใช้ด้วยโปรแกรม LabVIEW ซึ่งเป็นโปรแกรมที่นิยมใช้ ในด้านระบบการวัดและควบคุมทางด้านวิศวกรรม ข้อมูลหรือ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ตรวจวัดได้จะถูกนำมาแสดงผลผ่านทาง หน้าจอคอมพิวเตอร์ และสามารถบันทึกผลได้ตลอดทุกช่วงเวลาที่มีการ ตรวจวัด ทำให้มีประโยชน์ต่อการนำข้อมูลไปวิเคราะห์เพื่อประกอบการ พิจารณาหาพื้นที่ที่เหมาะสมในการผลิตแหล่งพลังงานทดแทนใหม่ๆ ระบบเครื่องมือวัดนี้ยังสามารถขยายฟังก์ชันการใช้งานเพื่อให้มีการ ตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ได้หลากหลายมากขึ้น สามารถพัฒนาเพื่อใช้ในการ ตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้ากับทุกแหล่งผลิตพลังงานทดแทน ได้ในอนาคต

#### Abstract

This thesis presents a design and construction of measuring and analytic instrument for wind and solar energy. The design was built to measure parameter such as wind velocity, wind direction, solar intensity, temperature and humidity including electrical parameter such as voltage, current and power from solar energy installing place. This system was design to measure by using signal detection device or sensor, working with computer and apply with LabVIEW program that is worldwide program in measurement and control in engineer. All measuring parameter and data output can keep for all period of time and were shown in monitor. The result is useful to analyst for considering and finding properly place to produce a new alternative energy source.

Finally this system can be expandable function for measuring more parameter and develop to measure electrical parameter of all alternative energy source.

#### 1.บทนำ

อุปกรณ์และเครื่องมือวัดในปัจจุบันนั้นเป็นอุปกรณ์แบบ สำเร็จรูป ทำให้มีข้อจำกัดในการใช้งานในด้านตรวจวัดข้อมูล ทำให้เกิด ความต้องการการใช้อุปกรณ์ที่สามารถตรวจวัดข้อมูลได้หลากหลาย ประเภทภายในอุปกรณ์เดียว และสามารถเก็บบันทึกข้อมูลได้เป็นจำนวน มากในการใช้งานเป็นระยะเวลานาน อุปกรณ์ตรวจวัดที่ถูกออกแบบขึ้น จะทำการวัดและแสดงผลค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คือ ความเร็วลม ทิศทางลม ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ อุณหภูมิ ความชื้น และพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ซึ่ง จะทำการแสดงผลแบบเรียลไทม์ ผ่านทางหน้าจอที่ได้ออกแบบไว้และ โปรแกรมจะทำการบันทึกค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้เป็นค่าเฉลี่ยทุกๆ คาบเวลาที่กำหนดจากหน้าโปรแกรม เพื่อนำค่าที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ ซึ่งโปรแกรมที่นำมาใช้ในการประมวลผลคือโปรแกรม LabVIEW โดย จะทำการรับสัญญาณมาจากอุปกรณ์ DAQ

#### 2.ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

##### 2.1 ความเร็วลม

การหาค่าความเร็วจะใช้เครื่องวัดความเร็วลมที่มีชื่อว่า Anemometer และ เครื่องวัดทิศทางลมหรือสตรัม (Wind vane) ความเร็ว ลมมีหน่วย เมตรต่อวินาที(m/s)

##### 2.2 พลังงานแสงอาทิตย์

สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์ คือ Solar radiation sensor ซึ่งมีหน่วยวัดคือ  $W/m^2$

##### 2.3 อุณหภูมิและความชื้น

2.3.1 การวัดอุณหภูมิ จะใช้ตัวตรวจจับดังนี้ 1) Thermistor 2) RTD และ 3) Thermocouple ซึ่งในการวัดอุณหภูมิจะมีหน่วยการวัด องศา 3 หน่วยคือ เซลเซียส( $^{\circ}C$ ) ฟาเรนไฮต์( $^{\circ}F$ ) และเคลวิน(K)

2.3.2 การวัดความชื้น ความชื้นในอากาศจะประกอบไปด้วย ความชื้นสัมบูรณ์ มีหน่วยคือกรัมต่อลูกบาศก์เมตรและความชื้นสัมพัทธ์ มีหน่วยคือเปอร์เซ็นต์ ตัวตรวจจับความชื้น ในอากาศจะมีอยู่ 3 ชนิด คือ 1)Capacitive 2)Thermal Conductivity และ3)Resistive

##### 2.4 โปรแกรม LabVIEW

โปรแกรมที่ใช้สำหรับรับรับค่าจากตัวตรวจจับสัญญาณต่างๆ มา ทำการประมวลผล แสดงผลและบันทึกผลบนคอมพิวเตอร์ โดย โครงสร้างภาษาของโปรแกรมจะเป็นภาษากราฟิก ซึ่งทำให้ง่ายต่อการ ใช้งานและแก้ไขเพิ่มเติม

2.5 Data Acquisition(DAQ)

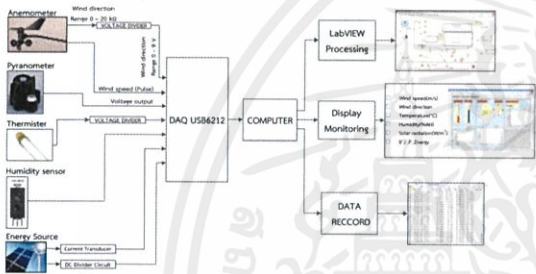
เป็นตัวรับสัญญาณจากตัวตรวจจับ แล้วนำมาปรับปรุงสัญญาณให้มีคุณภาพสัญญาณดีขึ้น ก่อนที่จะนำสัญญาณไปทำการประมวลผลบนคอมพิวเตอร์ มีกระบวนการทำงานดังนี้



รูปที่ 1 กระบวนการทำงานของ DAQ

3. การออกแบบการทดลอง

โครงการนี้ได้ทำการออกแบบระบบเครื่องมือวัดเพื่อนำมาใช้งานในระบบงานจริง โดยประยุกต์ใช้กับโปรแกรม LabVIEW ซึ่งจะแสดงผลการตรวจวัดผ่านทางจอคอมพิวเตอร์ ประกอบไปด้วยค่าความเร็วลม ทิศทางลม อุณหภูมิ ความชื้น ความเข้มแสงอาทิตย์ และพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ข้อมูลต่างๆที่ตรวจวัดได้จะถูกบันทึกและเก็บค่าไว้บนคอมพิวเตอร์ในรูปแบบของ Text file(.txt)



รูปที่ 2 กระบวนการทำงานของระบบเครื่องมือตรวจวัด

3.1 การออกแบบโปรแกรมการทำงาน

3.1.1 ออกแบบหน้า Front Panel เป็นการออกแบบหน้าจอแสดงผลของโปรแกรม LabVIEW เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถทราบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ ซึ่งสามารถออกแบบได้ตามต้องการ

3.1.2 การออกแบบหน้า Block Diagram เป็นการสร้างคำสั่งการทำงานของโปรแกรม โดยรับสัญญาณเข้ามาจากอุปกรณ์ DAQ แล้วประมวลผล ข้อมูลที่ได้จะแสดงผลออกทางหน้า Front Panel ที่ได้ทำการออกแบบไว้ก่อนหน้านี้

3.1.2.1 การวัดความเร็วและทิศทางลม

1) การวัดความเร็วลมของ Anemometer นั้น เมื่อมีการทำงานจะได้สัญญาณเป็นรูปคลื่นพัลส์ โดยคาบเวลา (T) ของรูปคลื่นพัลส์ จะขึ้นอยู่กับความเร็วลม

$$\text{ความเร็วลม(m/s)} = 1.006 \times \text{ความถี่ของสัญญาณเอาท์พุท}$$

2) การวัดทิศทางลม จะใช้ Potentiometer เมื่อทิศทางลมมีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลให้ค่าความต้านทานภายในเปลี่ยนแปลงไป ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าขาออกเปลี่ยนแปลงตามความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 3 วงจรวัดความเร็วลม



รูปที่ 4 วงจรวัดทิศทางลม

จาก Voltage Divider ในรูปที่ 4 จะได้สมการดังนี้

$$V_{out} = V_{in} \left( \frac{n}{20} \right); \text{เมื่อ } n = 0 - 20k\Omega \quad (3.1)$$

$$n = \frac{\theta}{18}; \text{เมื่อ } \theta = 0 - 360^\circ \quad (3.2)$$

แทนสมการ (3.2) แทนใน (3.1) จะได้

$$V_{out} = V_{in} \left( \frac{\theta}{360} \right) \quad (3.3)$$

$$\theta = \frac{360V_{out}}{V_{in}} \quad (3.4)$$

เมื่อ  $\theta$  คือทิศทางของลมมีหน่วยคือ องศา

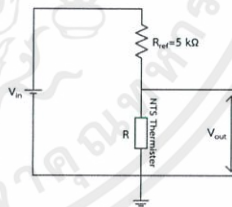
3.1.2.2 การวัดอุณหภูมิและความชื้น

1) การวัดอุณหภูมิ โดยใช้ NTC Thermistor ซึ่งค่าความต้านทานของ Thermistor จะมีการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง โดยที่ค่าความต้านทานของ Thermistor ที่อุณหภูมิ T ใดๆมีสมการดังนี้

$$T(R) = \left[ A + B \ln \frac{R}{R_{ref}} + C \ln^2 \frac{R}{R_{ref}} + D \ln^3 \frac{R}{R_{ref}} \right]^{-1} \quad (3.5)$$

เมื่อกำหนดให้ A , B , C และ D คือค่าคงที่ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.003354016 , 0.0002569355 , 2.626311x10<sup>-6</sup> , 6.75278x10<sup>-7</sup> ตามลำดับ และค่า R<sub>ref</sub> คือค่าความต้านทานที่อุณหภูมิอ้างอิง

เนื่องจาก Thermistor จะเปลี่ยนแปลงความต้านทาน ตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปแต่เนื่องจากพอร์ตของอุปกรณ์ DAQ สามารถวัดได้เพียงค่าแรงดันไฟฟ้า ไม่สามารถวัดค่าความต้านทานได้ จึงจำเป็นต้องออกแบบวงจรแบ่งแรงดันเพื่อทำการวัดค่าความต้านทานของ Thermistor



รูปที่ 5 วงจร Voltage Divider เพื่อทำการวัดค่าความต้านทานจาก Thermistor

$$V_{out} = V_{in} \frac{R}{R + R_{ref}} \quad (3.6)$$

$$R = \frac{V_{out} R_{ref}}{V_{in} - V_{out}} \quad (3.7)$$

เมื่อได้ค่าความต้านทานของ Thermistor ตามสมการที่ (3.7) แล้วนำไปแทนค่าลงในสมการ (3.5) จะได้ค่าของอุณหภูมิที่ตรวจวัดได้จริง

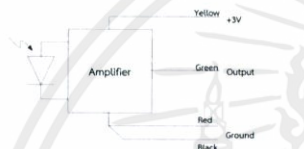
2) การวัดความชื้นเซนเซอร์วัดความชื้น HIH 5030 เป็นเซนเซอร์วัดความชื้นแบบคาปาซิทีฟ (Capacitive Humidity Sensor) ช่วง

ในการวัดความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 0-100% ตัวเซนเซอร์จะอาศัยไฟเลี้ยงเป็นแรงดันกระแสตรง 5 V เอาต์พุตของเซนเซอร์จะออกเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งมีสัดส่วนเป็นเชิงเส้นกับค่าความชื้นสัมพัทธ์

$$SensorRH = \frac{V_{out} / V_{in} - 0.1515}{0.00636} \quad (3.8)$$

$$TrueRH = \frac{SensorRH}{1.0546 - 0.00216T} \quad (3.9)$$

3.1.2.3 การวัดพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องตรวจวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์ หรือ Solar radiation sensor รุ่น DAVIS 6450 วัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์จะอยู่ในช่วง 0 - 1800 W/m<sup>2</sup> ค่าเอาต์พุตคือแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 1.67 mV ต่อ W/m<sup>2</sup>



รูปที่ 6 วงจรการทำงานของ Pyranometer

3.1.2.4 การวัดพลังงานไฟฟ้า เป็นการวัดพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ซึ่งประกอบไปด้วยแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ สำหรับการวัดแรงดันไฟฟ้าจะใช้วงจรแบ่งแรงดันคั่นลง ส่วนการวัดกระแสไฟฟ้านั้นจะใช้ Current sensor และกำลังไฟฟ้าจะเป็นผลคูณระหว่างแรงดันและกระแส( $P=IV$ )

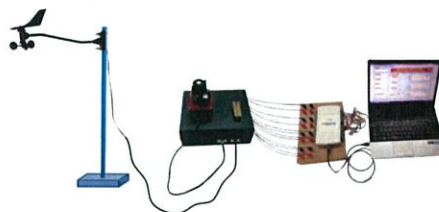
#### 4.การทดลองและการเก็บข้อมูล

##### 4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องมือตรวจจับสัญญาณ (Sensor)
  - Solar Radiation Sensor (Davis6450)
  - Anemometer (Davis7911)
  - NTC Thermistor
  - Low Voltage Humidity Sensor (HIH-5030)
2. อุปกรณ์ตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า (Voltage, Current, Power)
3. Data Acquisition (DAQ) รุ่น NI USB-6212, 16 Inputs, 16-bit, 400 kS/s, Multifunction I/O
4. แผงโซลาร์เซลล์ 100W 100V ชนิด THIN FILM PHOTOVOLTAIC MODULE ชื่อ DuPont Apollo จำนวน 4 แผง
5. ชุดโหลดหลอดไฟ 4 หลอด หลอดละ 100W 220V
6. DC Supply 3V และ 5V
7. ชุดโปรแกรม LabVIEW 2012 Version 12.0 (32-bit) และเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ทำการออกแบบ

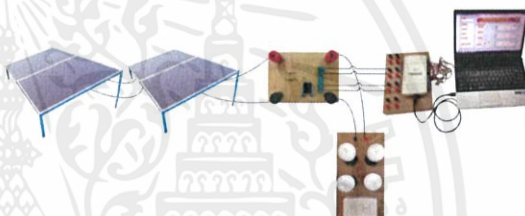
#### 4.2 การทดลอง

##### 4.2.1 การจัดเตรียมอุปกรณ์ตรวจวัด



รูปที่ 7 อุปกรณ์ตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ทางสภาพอากาศ

4.2.1.1 การตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ทางสภาพอากาศ จะใช้เครื่องตรวจจับคือ Anemometer (Davis7911) ในการตรวจจับความเร็วลมและทิศทางลม ,Low Voltage Humidity Sensor (HIH-5030) ใช้ตรวจจับความชื้น ,NTC Thermistor ในการตรวจจับอุณหภูมิ ,Solar Radiation Sensor (Davis6450) ใช้ตรวจจับความเข้มของแสงอาทิตย์และส่งสัญญาณทางไฟฟ้าผ่าน Data Acquisition(DAQ) ไปประมวลผล แสดงผลและบันทึกผล ในโปรแกรม LabVIEW



รูปที่ 8 อุปกรณ์ตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า

4.2.1.2 การตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า จะทำการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์แผงละ 100W 100V จำนวน 4 แผงโดยใช้หลอดไฟ 100W 220V จำนวน 4 หลอดเพื่อจำลองเป็นโหลดเพื่อวัดค่ากำลังไฟฟ้าการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้านั้น ต้องใช้ Current Transducer ในการตรวจจับค่ากระแสไฟฟ้าและวัดค่าแรงดันไฟฟ้าโดยวิธี Voltage Divider เพื่อลดทอนระดับแรงดันแล้วส่งสัญญาณทางไฟฟ้าผ่าน DAQ ไปประมวลผลคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่วัด แสดงผล และบันทึกผลในโปรแกรม LabVIEW ต่อไป

##### 4.2.2 การตั้งค่าพอร์ตรับสัญญาณบนโปรแกรม LabVIEW

เนื่องจากอุปกรณ์ DAQ มีการรับค่าหลายข้อมูลจึงจำเป็นต้องมีการกำหนดค่าพอร์ตรับสัญญาณของอุปกรณ์ DAQ เพื่อลำดับการรับสัญญาณที่เข้ามาไปทำการประมวลผลได้อย่างถูกต้อง ในที่นี้จะมีสัญญาณเข้าทั้งหมดจำนวน 8 สัญญาณด้วยกัน

##### 4.2.3 การแสดงผลการวัดและบันทึกข้อมูล

เมื่อทำการรันโปรแกรมที่ทำการออกแบบจะมีการประมวลผลสัญญาณที่ได้รับเข้ามา เพื่อการวัด แสดงผลและบันทึกผลของ Solar radiation ,Wind speed ,Wind direction ,Temperature ,Humidity ,Voltage ,Current ,Power ที่ได้ทำการออกแบบไว้แล้ว ซึ่ง

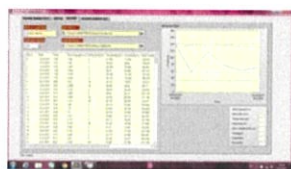
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแสดงผลของโปรแกรมจะแสดงผลบนหน้า Front Panel ของโปรแกรม LabVIEW ที่ได้ออกแบบไว้ดังรูปที่ 9, รูปที่ 10 และรูปที่ 11



รูปที่ 9 หน้าหลักแสดงผลการวัด

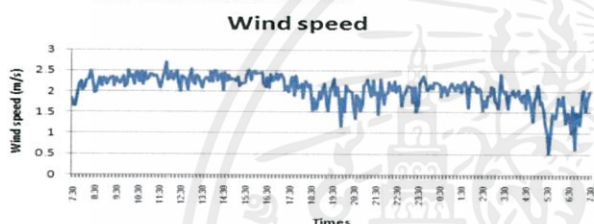
รูปที่ 10 จอแสดงผลสภาพอากาศ



รูปที่ 11 หน้าจอแสดงผลตารางค่าที่บันทึกได้และกราฟ

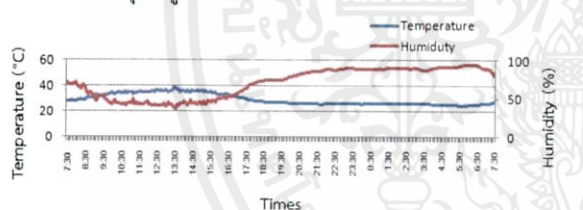
#### 4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

##### 4.3.1 ความเร็วลมและทิศทางลม



รูปที่ 12 กราฟแสดงผลการวัดความเร็วลมตลอด 24 ชั่วโมง

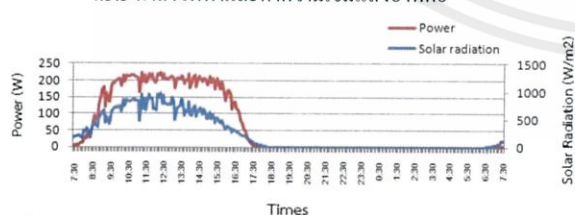
##### 4.3.2 อุณหภูมิและความชื้น



รูปที่ 13 กราฟแสดงผลการวัดของอุณหภูมิและความชื้น

จากข้อมูลของอุณหภูมิและความชื้นเมื่อมองถึงความสัมพันธ์กัน จะเห็นได้ว่าค่าอุณหภูมิจะแปรผกผันกับค่าความชื้น เมื่ออุณหภูมิสูงจะมีค่าความชื้นต่ำ ที่ความชื้นสูงจะมีอุณหภูมิต่ำ

##### 4.3.3 กำลังไฟฟ้าและค่าความเข้มแสงอาทิตย์



รูปที่ 14 กราฟแสดงผลการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ และค่าพลังงานที่วัดได้จากแผง Solar Cell

ปริมาณความเข้มแสงที่วัดได้อาจไม่แน่นอนเสมอไป ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ หรือปริมาณเมฆในขณะนั้น เพราะอาจมีเมฆเข้ามาบังแสงอาทิตย์ จากกราฟแสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์และค่ากำลังไฟฟ้าที่

วัดได้จากแผงโซลาร์เซลล์จะแปรผันตรงกัน ซึ่งจะเริ่มวัดได้เมื่อพระอาทิตย์ขึ้นในตอนเช้าแล้วค่อยๆเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนมีค่าสูงสุดในช่วงเวลากลางวัน แล้วค่อยๆ ลดลง จนมีค่าเป็นศูนย์ เมื่อแสงน้อยลงในช่วงเย็น

#### 4.4 สรุปผลการทดลองใช้งานในสถานที่จริง

ค่าความเข้มของแสงอาทิตย์มีแนวโน้มที่ดี โดยในช่วงเวลาเที่ยงวัน ซึ่งมีค่าความเข้มแสงอาทิตย์สูงถึง 800-900 W/m<sup>2</sup> ซึ่งมีความพอเหมาะแก่การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ เพื่อผลิตพลังงานทดแทน ส่วนแนวโน้มของพลังงานลมนั้น พบว่ามีลมพัดผ่านตลอดทั้งวัน แต่ความเร็วลมนั้นมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 2 m/s ซึ่งยังไม่เพียงพอต่อการติดตั้งกังหันลมกำลังผลิตใหญ่ๆ เพื่อผลิตพลังงานทดแทนด้านพลังงานลมได้ในส่วนค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นขึ้นอยู่กับลักษณะพื้นที่ที่ได้ทำการทดลอง โดยความชื้นจะเป็นส่วนกลับของอุณหภูมิ

#### 5.สรุป

ในบทความฉบับนี้ ได้นำเสนอระบบเครื่องมือที่สามารถจะนำไปใช้งานได้จริง คือการวัด ค่าความเร็วลม ทิศทางลม ความเข้มแสงอาทิตย์ อุณหภูมิและความชื้น ซึ่งปริมาณค่าต่างๆเหล่านี้ สามารถนำไปประกอบการพิจารณาเพื่อติดตั้งหรือผลิตพลังงานทดแทนในด้านพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ได้ ซึ่งข้อมูลต่างๆที่ทำการวัดได้นั้นจะถูกนำมาแสดงผลแบบ Real Time บนจอคอมพิวเตอร์ ผ่านทางหน้า Front Panel ของโปรแกรม LabVIEW ซึ่งได้ทำการออกแบบมาให้มีลักษณะเป็นหน้าต่างของเครื่องมือวัด ทำให้ผู้อ่านข้อมูลสามารถอ่านข้อมูลได้ง่าย อีกทั้งข้อมูลที่วัดได้ทั้งหมดยังถูกบันทึกค่าเก็บไว้ในรูปของไฟล์ Text(.txt) ซึ่งไฟล์นี้สามารถนำไปเปิดในโปรแกรมต่างๆ เช่น Microsoft Excel เพื่อทำการอ่านข้อมูล และยังสามารถนำข้อมูลไปพล็อตกราฟเพื่อเปรียบเทียบข้อมูล ทำให้ง่ายต่อการวิเคราะห์

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] เกียรติกร อยู่สุวรรณ จักรกฤษณ์ รัตนพันธ์เจดน์ มังกรอัสสว กุลฉัตรชัย บุญยชิน, ชุดอุปกรณ์ตรวจวัดและวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางไฟฟ้าชนิดสามเฟสโดยใช้โปรแกรมแลปวิว, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2010
- [2] National Instrument, LabVIEW, "Measurement Manual", July 2000 Edition
- [3] กิจไพบูลย์ ชิวพันธ์ุศรี, "LabVIEWซอฟต์แวร์เพื่อการพัฒนาระบบการวัดและควบคุม" ,กรุงเทพฯ : SE-Education Public Company Limited ,2554
- [4] Dr.RecayiPecen Dr.MD Salim and Mr.ayhanZora ,Journal of Industrial technology "A LabView Based Instrumentation System for a Wind-Solar Hybrid Power Station" , The Official Electronic Publication of the National Association of Industrial Technology ,2004

## ประวัติผู้เขียน



นายณัฐธัญ วชิรคกุล รหัสนักศึกษา 53010456  
 เกิดวันที่ 15 กรกฎาคม 2534  
 ที่อยู่ 14/1 หมู่ 12 ต.บ้านกร่าง อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000  
 สถานที่ฝึกงาน : โรงไฟฟ้าลานกระบือ (กฟผ.) จ.กำแพงเพชร  
 เบอร์โทรศัพท์ : 082-7918364  
 E-mail : game\_ssss@hotmail.com



นายธนพจน์ เอกพิสิฐเมธี รหัสนักศึกษา 53010628  
 เกิดวันที่ 13 มกราคม พ.ศ.2535  
 ที่อยู่ 114 หมู่ 2 ต.บึงพระ อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000  
 สถานที่ฝึกงาน : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสำนักงานใหญ่(งามวงศ์วาน)  
 เบอร์โทรศัพท์ : 086-3474628  
 E-mail : big\_tnp@hotmail.com



นายประมาณ สิงห์เรือง รหัสนักศึกษา 53010930  
 เกิด วันที่ 14 เมษายน พ.ศ. 2534  
 ที่อยู่ : 65/1 หมู่ 7 ต.พันเสา อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก 65140  
 สถานที่ฝึกงาน : โรงไฟฟ้าลานกระบือ (กฟผ.) จ.กำแพงเพชร  
 เบอร์โทรศัพท์ : 081-0419403  
 E-mail : kongsixsax@hotmail.com



นายวิทวัส กลิ่นหอม รหัสนักศึกษา 53011477  
 เกิดวันที่ 21 กันยายน พ.ศ. 2534  
 ที่อยู่ : 648/6 ถ.พิชัยสงคราม ซอย3 ต.ในเมือง อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000  
 สถานที่ฝึกงาน : โรงไฟฟ้าลานกระบือ (กฟผ.) จ.กำแพงเพชร  
 เบอร์โทรศัพท์ : 087-6035363  
 E-mail : wittawattong@hotmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้