

ระบบเฝ้าระวังและติดตามสภาวะการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

Monitoring System for 3 phase Induction Motor

โดย

นายกมล	สการะเสถียร
นายกรวิทย์	ตั้งระสมบัติ
นายกฤษณา	ทนต์
นายกฤษณะ	สืบสวน

ปริญญาโทที่จัดทำขึ้นเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

ระบบเฝ้าระวังและติดตามสถานะการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส
Monitoring System for 3 phase Induction Motor

โดย

นายกมล	สการะเศรณี
นายกรวิชัย	ตั้งชีวะสมบัติ
นายกฤษฎา	หนูเอียด
นายกฤษณะ	สีบสวน

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

Monitoring System for 3 phase Induction Motor

Kamon	Sagarasaranee
Korawit	Thangcheewasombut
Gridsada	Nooieat
Kritsana	Suebsuan

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

2014

ปีการศึกษา 2557

ระบบเฝ้าระวังและติดตามสถานะการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส
Monitoring System for 3 phase Induction Motor

โดย

นาย กมล	สการะเศรณี
นาย กรวิชัย	ตั้งชีวะสมบัติ
นาย กฤษฏา	หนูเอียด
นาย กฤษณะ	สีบสวน

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. นิรุช จิรสวรรณกุล
ผศ.ดร.เฉลิมชาติ มานพ

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2557

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบเฟ้าระวังและติดตามสภาวะการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

ผู้จัดทำ

1. นาย กมล สการะเศรณี
2. นาย กรวิษฐ์ ตั้งชีวะสมบัติ
3. นาย กฤษฏา หนูเอียด
4. นาย กฤษณะ สืบสวน


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.ดร.เจลิมชาติ มานพ)

ระบบเฝ้าระวังและติดตามสถานะการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

นาย กมล	สภาระเศรษฐี	
นาย กรวิชัย	ตั้งชิวะสมบัติ	
นาย กฤษฎา	หนูเอียด	
นาย กฤษณะ	สืบสวน	
ดร. นิรุช	จิรสวรรณกุล	อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ.ดร.เฉลิมชาติ	มานพ	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2557		

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้เป็นออกแบบสร้างอุปกรณ์ที่ใช้จับสัญญาณ กระแส แรงดัน อุณหภูมิ และความเร็รรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส เพื่อป้องกันความผิดปกติที่อาจเกิดขึ้นกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส โดยมี DAQ ที่ทำหน้าที่ปรับปรุงและแปลงสัญญาณแบบอะนาลอกเป็นสัญญาณแบบดิจิทัล เพื่อนำไปประมวลผลที่บนโปรแกรม LabVIEW เพื่อแสดงค่าสัญญาณที่วัดได้ เมื่อมอเตอร์เกิดความผิดปกติได้แก่ กระแสเกิน แรงดันเกิน แรงดันตก โอเวอร์โหลด ความเร็รรอบเกิน พิกัด เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าแรงบิด อ้างอิงตามมาตรฐาน เพื่อให้มีการทำงานที่มีประสิทธิภาพและปลอดภัย

Monitoring System for 3 phase Induction Motor

KamonSagarasaranee

KorawitThangcheewasombut

GridsadaNooieat

KritsanaSuebsuan

Dr.NirudhJirasuwanku

Supervisor

Assoc.Prof. Dr.ChalermchatManop

Supervisor

Year 2014

ABSTRACT

This paper presents a design and construction of signal detectors for measuring of current, voltage, temperature and rotating speed of induction motor. In order to prevent anomalies that may occur on the running 3-phase induction motor, all signals will have been observed by application of DAQ device, all analog signals have been gathered, converted and logged into digitized ones and then processed on LabVIEW software to display and monitor the measured signals. Despite to monitor only basic motor current and voltage signatures according to other standards, more advance tools such as FFT could be implemented in order to monitor some hidden anomalies in the running machine.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยการช่วยเหลือจากหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอกราบขอพระคุณ ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล และ ผศ.ดร.เฉลิมชาติ มานพ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการมาด้วยดี โดยตลอด และได้กรุณาตรวจสอบแก้ไข ปริญญาานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณรุ่นพี่และเพื่อน ๆ รวมทั้งอาจารย์ที่ปรึกษา ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และคอยให้กำลังใจตลอดมา

ท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวซึ่งให้การสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจในการทำโครงการครั้งนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ	2
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ	2
1.5 แผนการดำเนินโครงการ	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับการวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 โครงสร้างมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส	4
2.2 หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส	6
2.3 ตัวแปรที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานของมอเตอร์	8
2.4 สาเหตุที่ทำให้มอเตอร์ไฟฟ้าเสียหาย	13
2.5 เครื่องตรวจจับสัญญาณ	13
2.6 ระบบ DAQ บนพีซี	21
2.7 โปรแกรม LABVIEW	26
บทที่ 3 การออกแบบการทดลอง	29
3.1 ออกแบบเซนเซอร์	30
3.2 การออกแบบโปรแกรมการแสดงผล	32

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การทดลองและการเก็บข้อมูล	44
4.1 อุปกรณ์ในการทดลอง	44
4.2 การทดลอง	45
4.3 ผลการทดลอง	50
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	54
5.1 สรุปผล	54
5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางการแก้ไขปัญหา	54
5.3 ข้อเสนอแนะของการทำโครงการ	54
5.4 การนำไปประยุกต์ใช้งานจริง	55
เอกสารอ้างอิง	56
ภาคผนวก	57
ภาคผนวก ก. ข้อมูลอุปกรณ์ NI-DAQ USB6009	58
ภาคผนวก ข. ข้อมูลตัววัดอุณหภูมิ MCP9700	54
ภาคผนวก ค. ข้อมูลตัววัดความเร็วรอบ TCRT5000	109
ภาคผนวก ง. ข้อมูลตัววัดกระแส FLUKE CURRENT PROBE 80I-110S	122
ภาคผนวก จ. บทความทางวิชาการ	125
ประวัติผู้เขียน	130

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของโปรแกรม LabVIEW	28
ตารางที่ 3.1 ตารางเปรียบเทียบค่าแรงดันจากด้านปฐมภูมิกับแรงดันที่เข้าอุปกรณ์ DAQ	35
ตารางที่ 3.2 ตารางค่าปรับสัญญาณเพื่อให้ได้ค่าตามจริง	36
ตารางที่ 3.3 ตารางค่ากระแสทางด้านปฐมภูมิกับกระแสที่เข้าอุปกรณ์ DAQ	37
ตารางที่ 3.4 ตารางค่าปรับสัญญาณเพื่อให้ได้ค่าตามจริง	38
ตารางที่ 4.1 ตารางผลการทดสอบแรงดันไฟฟ้าเปรียบเทียบระหว่างค่าจริงที่วัดได้จากเครื่องมือวัดกับค่าที่ได้จากการประมวลผลผ่านโปรแกรม LabVIEW	50
ตารางที่ 4.2 ตารางค่า Error ของแรงดันไฟฟ้าเปรียบเทียบระหว่างค่าจริงที่วัดได้จากเครื่องมือวัดกับค่าที่ได้จากการประมวลผลผ่านโปรแกรม LabVIEW	51
ตารางที่ 4.3 ตารางผลการทดสอบกระแสไฟฟ้าเปรียบเทียบระหว่างค่าจริงที่วัดได้จากเครื่องมือวัดกับค่าที่ได้จากการประมวลผลผ่านโปรแกรม LabVIEW	51
ตารางที่ 4.4 ตารางค่า Error ของกระแสไฟฟ้าเปรียบเทียบระหว่างค่าจริงที่วัดได้จากเครื่องมือวัดกับค่าที่ได้จากการประมวลผลผ่านโปรแกรม LabVIEW	51
ตารางที่ 4.5 ตารางผลการทดสอบการวัดอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างค่าจริงที่วัดได้จากเครื่องมือวัดกับค่าที่ได้จากการประมวลผลผ่านโปรแกรม LabVIEW	52
ตารางที่ 4.6 ตารางค่า Error ของอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างค่าจริงที่วัดได้จากเครื่องมือวัดกับค่าที่ได้จากการประมวลผลผ่านโปรแกรม LabVIEW	52
ตารางที่ 4.7 ตารางผลการทดสอบการวัดความเร็วรอบของมอเตอร์เปรียบเทียบระหว่างค่าจริงที่วัดได้จากเครื่องมือวัดกับค่าที่ได้จากการประมวลผลผ่านโปรแกรม LabVIEW	52
ตารางที่ 4.8 ตารางค่า Error การวัดความเร็วรอบของมอเตอร์เปรียบเทียบระหว่างค่าจริงที่วัดได้จากเครื่องมือวัดกับค่าที่ได้จากการประมวลผลผ่านโปรแกรม LabVIEW	53

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 สเตเตอร์ของมอเตอร์	4
รูปที่ 2.2 โรเตอร์แบบกรงกระรอก	5
รูปที่ 2.3 โรเตอร์แบบฟันขดลวด	6
รูปที่ 2.4 การเกิดแรงบิดที่ตัวนำของโรเตอร์	6
รูปที่ 2.5 การเริ่มเดินมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบโรเตอร์ฟันขดลวด	7
รูปที่ 2.6 โครงสร้างหม้อแปลงไฟฟ้า	16
รูปที่ 2.7 แอมป์มิเตอร์	16
รูปที่ 2.8 การใช้งานแอมมิเตอร์	16
รูปที่ 2.9 แคลมป์มิเตอร์	17
รูปที่ 2.10 การทำงานของแคลมป์มิเตอร์	17
รูปที่ 2.11 เซนเซอร์กระแส เบอร์ LA55-P	18
รูปที่ 2.12 ของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ	19
รูปที่ 2.13 Resistance Temperature Detector (RTD)	19
รูปที่ 2.14 เซนเซอร์วัดความเร็วรอบ	20
รูปที่ 2.15 ระบบการทำงานของอุปกรณ์ DAQ บนคอมพิวเตอร์	21
รูปที่ 2.16 แหล่งสัญญาณแบบต่อกราวด์และแบบไม่ต่อกราวด์	22
รูปที่ 2.17 การวัดสัญญาณแบบ Differential	23
รูปที่ 2.18 การวัดสัญญาณแบบ Referenced Single-Ended	24
รูปที่ 2.19 การวัดสัญญาณแบบ Non-Referenced Single-Ended	24
รูปที่ 2.20 วิธีการต่อสัญญาณ	25
รูปที่ 2.21 ลักษณะของหน้า Front Panel	27
รูปที่ 2.22 ลักษณะของหน้า Block Diagram	27
รูปที่ 2.23 แสดงรูป Icon และ Connector	28
รูปที่ 3.1 ระบบการทำงานโดยรวม	29
รูปที่ 3.2 หม้อแปลงแรงดัน 220/6 V	30
รูปที่ 3.3 วงจรเซนเซอร์วัดแรงดัน	30
รูปที่ 3.4 Clamp Sensor 100 A _{peak}	30
รูปที่ 3.5 MCP9700 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ -40 – 125 °C	31
รูปที่ 3.6 วงจรเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ	31
รูปที่ 3.7 TCRT5000 เซนเซอร์วัดความเร็วรอบ	31

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.8 วงจรเซนเซอร์วัดความเร็วรอบ	32
รูปที่ 3.9 หน้าจอแสดงผลที่ 1	32
รูปที่ 3.10 หน้าจอแสดงผลที่ 2	33
รูปที่ 3.11 หน้าจอแสดงผลที่ 3	33
รูปที่ 3.12 หน้าจอแสดงผลที่ 4	34
รูปที่ 3.13 Block Diagram การวัดแรงดันของโปรแกรม LabVIEW	34
รูปที่ 3.14 Front Panel ของแรงดันทั้ง 3 เฟส	35
รูปที่ 3.15 Block Diagram การวัดกระแสของโปรแกรม LabVIEW	36
รูปที่ 3.16 Front Panel ของกระแส	37
รูปที่ 3.17 Block Diagram การวัดอุณหภูมิของโปรแกรม LabVIEW	38
รูปที่ 3.18 กราฟค่า $V_{0^{\circ}C}$	39
รูปที่ 3.19 กราฟค่า T_c	39
รูปที่ 3.20 Block Diagram การวัดความเร็วรอบของโปรแกรม LabVIEW	30
รูปที่ 3.21 Block Diagram การแสดงผลแบบ Table Control	41
รูปที่ 3.22 Front Panel ของ Table Control	42
รูปที่ 3.23 Block Diagram การบันทึกข้อมูล	42
รูปที่ 3.24 การตั้งค่าของฟังก์ชัน Write to measurement	43
รูปที่ 3.25 ตัวอย่างของโปรแกรม Excel ที่มีการบันทึกค่าไว้	43
รูปที่ 4.1 ไตอะแกรมการทดลอง	44
รูปที่ 4.2 ขั้นตอนการทดลอง	45
รูปที่ 4.3 การตั้งค่ารับพอร์ตรับสัญญาณของอุปกรณ์ DAQ (Dev 1)	46
รูปที่ 4.4 การตั้งค่ารับพอร์ตรับสัญญาณของอุปกรณ์ DAQ (Dev 2)	47
รูปที่ 4.5 หน้าจอหลักแสดงผลการวัด	48
รูปที่ 4.6 หน้าจอแสดงผลค่าที่บันทึกได้และกราฟ	49
รูปที่ 4.7 หน้าจอแสดงระบบการทำงานโดยรวม	50

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในปัจจุบันมอเตอร์นับเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญสำหรับเครื่องจักรต่างๆ เนื่องจากทำหน้าที่เป็นตัวเพิ่มกำลังโดยแปลงพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลเพื่อขับโหลดต่าง ๆ ความเสื่อมสภาพจากการใช้งานหรือความผิดปกติต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น เนื่องจากโรเตอร์และสเตเตอร์ต้องรับแรงที่เกิดจากสนามแม่เหล็กอยู่ตลอดเวลา ความเสียหายที่เกิดขึ้นทางกล จากความร้อนและทางไฟฟ้าจะกระทบโดยตรงกับประสิทธิภาพในการทำงานและอายุการใช้งานของมอเตอร์เทคโนโลยีในปัจจุบันที่นำมาใช้ตรวจสอบหรือวิเคราะห์ความเสียหายมอเตอร์แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ การตรวจวิเคราะห์ที่ต้องทำขณะที่มอเตอร์หยุดทำงาน (On-line Motor Analysis) และการตรวจวิเคราะห์ที่ทำในขณะที่มอเตอร์ทำงาน (Off-line Motor Analysis)

ในบทความนี้ จะเน้นถึงการตรวจวิเคราะห์ที่ทำในขณะที่มอเตอร์ทำงาน ที่ค่อนข้างใหม่สำหรับอุตสาหกรรมในประเทศไทย แต่นิยมนำมาใช้กันมากในประเทศอุตสาหกรรมชั้นนำ ซึ่งมีการแสดงผล (Monitoring) ในคอมพิวเตอร์ เนื่องจากไม่จำเป็นต้องหยุดมอเตอร์เพื่อทำการตรวจสอบ , ไม่ให้เสียเวลาในการผลิต , วิเคราะห์จากข้อมูลจริง ขณะทำงานจริง เช่น ความสั่นสะเทือนขณะทำงานที่โหลดจริง , อุณหภูมิจริงขณะทำงาน หรือ กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่โหลดจริง ในช่วงนั้นๆ ทำให้สามารถประเมินสภาพปัจจุบันของมอเตอร์ได้ตรงความเป็นจริงมากที่สุดเพื่อวางแผน บำรุงรักษา แก้ไขได้ตรงกับปัญหาและสภาพนั้นๆ ได้อย่างเหมาะสม และทันทั่วทั้งที่เป็นต้น

เทคโนโลยีในปัจจุบันที่นำมาใช้ตรวจสอบหรือวิเคราะห์ความเสียหายมอเตอร์ที่ทำในขณะที่มอเตอร์ทำงาน ได้แก่ การวัดและวิเคราะห์ความสั่นสะเทือน การวัดและวิเคราะห์อุณหภูมิ การวัดและวิเคราะห์กระแสไฟฟ้าและเส้นแรงแม่เหล็กการวัดและวิเคราะห์ความสั่นสะเทือน กระแสไฟฟ้าและเส้นแรงแม่เหล็กอาศัยการแยกความถี่จากสัญญาณที่วัดจากเซ็นเซอร์ เพื่อนำมาหาสาเหตุของความผิดปกติส่วนการวัดและวิเคราะห์อุณหภูมิเป็นการประเมินสภาพความผิดปกติต่างๆที่ให้ผลออกมาในรูปของความร้อนเพื่อหลีกเลี่ยงหรือป้องกันการการใช้งานในสภาวะอุณหภูมิสูงเกิน (Over heat) ซึ่งอาจนำไปสู่การเสื่อมไหม้ของฉนวนหรือแบร์ริงเสียหายเนื่องจากขาดสารหล่อลื่นและปัญหาอื่นๆที่อาจเกิดขึ้นตามมา

ผลกระทบที่เกิดจากการสั่นสะเทือนที่เห็นได้ชัดเจนคือการหลวมคลอนของชิ้นส่วนต่างๆ เช่นแบร์ริงขดลวด การแตกร้าวของฉนวนที่นำไปสู่การลัดวงจร ผลกระทบจากความร้อนอุณหภูมิเพิ่ม (Temperature rise) ของมอเตอร์นำไปสู่การเสื่อมของฉนวน สารหล่อลื่นมีความหนืดลดลงอาจทำให้แบร์ริงเสียหายเนื่องจากการขาดสารหล่อลื่น

ผลกระทบทางไฟฟ้า เช่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล แรงดันตกหรือเกิน การหลวมของจุดต่อ การลัดวงจรภายในขดลวด การแตกร้าวของตัวนำโรเตอร์นำไปสู่ความร้อนหรือการ

สันสะท้อนในที่สุดปัญหาจากกระแสที่ไหลผ่านแกนเพลลาสามารถสร้างความเสียหายแก่แบร์ริงได้เมื่อกระแสนี้ไหลผ่านแบร์ริง

นอกจากวิธีการที่กล่าวมายังมีวิธีการทดสอบและตรวจสอบมอเตอร์ด้วยการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆของมอเตอร์เพื่อวิเคราะห์สภาพของมอเตอร์ซึ่งต้องทำในขณะที่มอเตอร์หยุดทำงาน เช่น วัดสภาพการเป็นฉนวนไฟฟ้า Step voltage test การไม่สมดุลของค่าความเหนี่ยวนำ ความต้านทานของขดลวดในแต่ละเฟส การทดสอบค่าความต้านทานแม่เหล็กกระหว่างโรเตอร์และสเตเตอร์ ทั้งนี้การวัดและทดสอบเหล่านี้ส่วนใหญ่จะกระทำภายหลังจากการซ่อมหรือติดตั้งมอเตอร์

ซึ่งบทความนี้จะขอนำเสนอปัญหา สาเหตุและลักษณะความผิดปกติที่เกิดขึ้น หรือกำลังจะเกิดขึ้น ที่สามารถตรวจวิเคราะห์ จากความสัมพันธ์ อุณหภูมิ กระแสไฟฟ้าและความเร็วรอบของมอเตอร์ รวมถึงกระแสเหนี่ยวนำที่แกนเพลลา ในขณะที่มอเตอร์นั้นๆ ยังทำงานได้อยู่

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาวงจรตรวจจับสัญญาณกระแส แรงดัน อุณหภูมิ และความเร็วรอบ
2. เพื่อศึกษาการทำงานของระบบ DAQ (Data Acquisition)
3. เพื่อศึกษาวิเคราะห์สัญญาณกระแส แรงดัน อุณหภูมิ และความเร็วรอบ เพื่อใช้ตรวจสอบความผิดปกติในการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

1. ศึกษาตัวตรวจจับสัญญาณกระแส แรงดัน อุณหภูมิ และความเร็วรอบ
2. ศึกษาการทำงานของระบบ DAQ
3. ใช้โปรแกรมการวิเคราะห์สัญญาณระบบ DAQ

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

ในโครงการนี้ เป็นการออกแบบอุปกรณ์สำหรับใช้ตรวจจับกระแส แรงดัน อุณหภูมิ และความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส (Induction Motor) เพื่อใช้ตรวจสอบการทำงานของมอเตอร์ขณะที่มีการทำงานในการตรวจสอบสิ่งผิดปกติที่อาจเกิดขึ้น โดยในขั้นตอนออกแบบวงจรมีการทดสอบระดับสัญญาณให้มีความเหมาะสม ก่อนที่จะเข้าไปในส่วนประมวลผลเพื่อทำการวิเคราะห์และแสดงผลต่อไป

1.5 แผนการดำเนินงานโครงการ

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานโครงการ

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ปี/เดือน									
	พ.ศ. 2557					พ.ศ. 2558				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1. วางแผนการดำเนินงาน	↔									
2. ศึกษาข้อมูลตัวรับ สัญญาณต่าง ๆ	↔	↔								
3. ศึกษาการทำงานของ อุปกรณ์ DAQ		↔	↔							
4. ศึกษาการแสดงผลของ เซ็นเซอร์ต่าง ๆ และ ออกแบบ	↔	↔	↔	↔						
5. ทำวงจรแหล่งจ่าย วงจร วัดแรงดัน และวงจรวัด กระแส		↔	↔	↔						
6. ส่งรายงานความก้าวหน้า										
7. ทำวงจรวัดอุณหภูมิ วงจร วัดความเร็วรอบ						↔	↔	↔		
8. ทำวงจรสำหรับรับ-ส่ง สัญญาณแบบไร้สาย						↔	↔	↔		
9. ทำการออกแบบระบบ การแสดงผลบน โปรแกรม Labview						↔	↔	↔		
10. ทดลองและเก็บข้อมูล								↔	↔	
11. เตรียมการนำเสนอ โปรเจค										↔

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับการวิจัย

1. สามารถนำไปใช้ตรวจสอบการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส และเพื่อใช้ป้องกันสิ่งผิดปกติที่อาจเกิดขึ้นได้
2. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อไปประยุกต์กับงานต่อไปได้
3. สามารถนำความรู้เรื่องระบบ DAQ ไปประยุกต์ใช้กับโครงการอื่น ๆ ได้

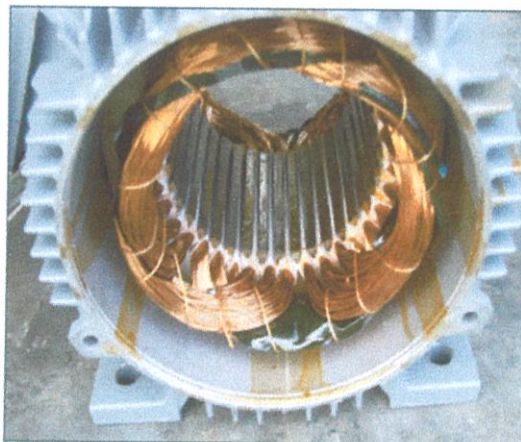
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 โครงสร้างมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดสามเฟส (Three phase induction motor) ส่วนใหญ่เป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่นิยมใช้ในที่พักอาศัย งานอุตสาหกรรม และในชีวิตประจำวัน อาจอยู่ในรูปของเครื่องอำนวยความสะดวกต่างๆ โดยมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดสามเฟสจะทำงานด้วยการแปลงรูปพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลโดยใช้พลังงานไฟฟ้ามาจ่ายให้กับขดลวดสเตเตอร์จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กหมุนของขดลวดที่สเตเตอร์ที่มีต่อตัวนำในโรเตอร์ ดังนั้น จึงเรียกมอเตอร์ไฟฟ้าชนิดนี้ว่า “มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ” (Induction motor)

โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำ สามเฟส สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของสเตเตอร์ (Stator) เป็นส่วนที่อยู่กับที่ และส่วนของโรเตอร์ (Rotor) ซึ่งเป็นส่วนที่มีการหมุนโดยแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1.1 สเตเตอร์ เป็นส่วนที่อยู่กับที่มีแกนเป็นแผ่นเหล็กบางๆ (Laminated sheet steel) ซึ่งทำมาจากเหล็กกล้าชนิดซิลิกอน (Silicon steel) และมีขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature) ฝังตัวอยู่ในร่องสล็อต (Slot) ของแกนเหล็กโดยขดลวดอาร์เมเจอร์จะมีการพันขดลวดแบบกระจายเพื่อทำให้เกิดการกระจายสนามแม่เหล็กในแบบรูปคลื่นไซน์ (Sinusoidal) ซึ่งลักษณะของรูป สเตเตอร์สามารถแสดงได้ดังรูป 2.1

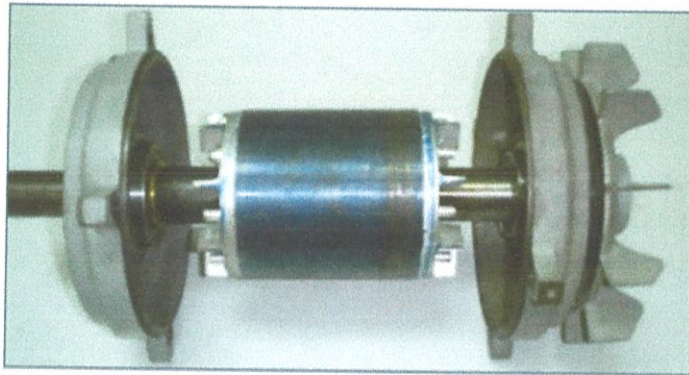


รูปที่ 2.1 สเตเตอร์ของมอเตอร์

2.1.2 โรเตอร์ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ เป็นโรเตอร์ชนิดไม่มีขั้วยื่น (Non-salient-pole) หรือทรงกระบอก (Cylindrical rotor) สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

2.1.2.1 โรเตอร์แบบกรงกระรอก (Squirrel cage rotor)

โรเตอร์ประเภทนี้ที่แกนของโรเตอร์ จะทำด้วยเหล็กลามิเนตเซาะผิวด้านนอกให้เป็นร่องตรงกลางแผ่นเจาะรูสำหรับสอดเพลลา เมื่อนำแผ่นลามิเนตเหล่านี้มาทำ การอัดเข้าด้วยกันจะได้แกนโรเตอร์ เมื่อนำ แกนโรเตอร์เข้าไปวางในแบบพิมพ์แล้วฉีดอลูมิเนียมชนิดเหลวเข้าไปจะได้ อลูมิเนียมอัดแน่นอยู่ในร่องสล๊อต และมีครีบยื่นออกไปทั้งสองข้าง เพื่อใช้เป็นใบพัดสำหรับระบาย ความร้อน และเมื่ออัดเพลลาเข้าไปที่รูกลางแกนโรเตอร์ จะได้โรเตอร์แบบกรงกระรอก รูปร่างของโร เตอร์แบบกรงกระรอกแสดงดังรูป และส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ที่มีโรเตอร์เป็นแบบ กรงกระรอกแสดงดังรูป 2.2



รูปที่ 2.2 โรเตอร์แบบกรงกระรอก

2.1.2.2 โรเตอร์แบบพันขดลวด (Wound rotor)

โรเตอร์ประเภทนี้มีขดลวดพันอยู่ในร่องสล๊อตเช่นเดียวกับสเตเตอร์โดยส่วนปลาย ของขดลวดจะต่ออยู่กับแหวนลื่น (Slip ring) และมีแปรงถ่านสัมผัสอยู่โดยแปรงถ่านจะต่ออยู่กับส่วน วงจรภายนอก เพื่อทำการต่อวงจรแบบสตาร์ทหรือเคลด้า มอเตอร์ที่มีโรเตอร์ประเภทนี้มีข้อจำกัดคือ จะต้องมีการคำนวณจำนวนขั้วเท่ากับจำนวนขั้วของสเตเตอร์และไม่สามารถหมุนเร็วมากได้เนื่องจากมีความ แข็งแกร่งทางกลต่ำ นอกจากนี้ยังมีราคาสูงเมื่อเปรียบเทียบกับโรเตอร์แบบกรงกระรอกแต่ ข้อดีของโร เตอร์ประเภทนี้คือสามารถกำหนดค่าแรงบิดขณะสตาร์ทได้โดยอาศัย การต่อค่าความต้านทาน ภายนอก รูปร่างของโรเตอร์แบบพันขดลวดแสดงดังรูป 2.3



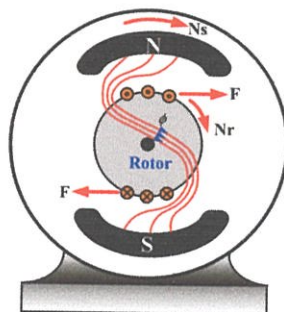
รูปที่ 2.3 โรเตอร์แบบพันขดลวด

2.2 หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ให้กับขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนขึ้นที่ขดลวดสเตเตอร์ โดยจะหมุนตัดกับตัวนำโรเตอร์ที่วางอยู่ในสลอตที่โรเตอร์ ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำและกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำในตัวนำของโรเตอร์ ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นที่โรเตอร์ผลรวมของเส้นแรงแม่เหล็กที่สเตเตอร์กับเส้น เส้นแรงแม่เหล็กรอบตัวนำที่โรเตอร์ทำให้เกิดแรงบิดขึ้นที่ตัวนำและทำให้โรเตอร์หมุนไปตามทิศทางของสนามแม่เหล็กหมุนที่สเตเตอร์ ซึ่งการเกิดสนามแม่เหล็กหมุนและการเกิดแรงบิดที่โรเตอร์

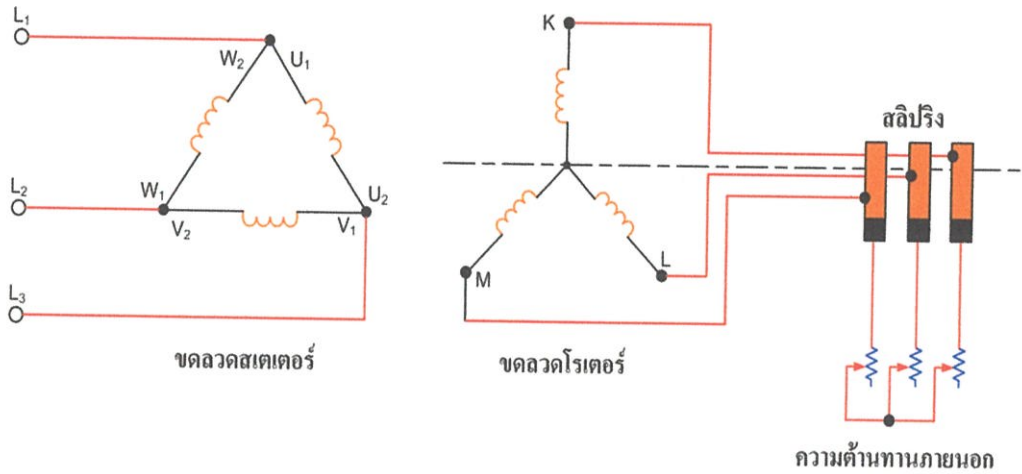
2.2.1 การทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส โรเตอร์แบบกรงกระรอก

เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสให้กับขดลวดสเตเตอร์จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนขึ้นที่สเตเตอร์ด้วยความเร็วเชิงโคโรนัส (n_s) สนามแม่เหล็กหมุนนี้จะเคลื่อนที่ตัดขดลวดที่โรเตอร์ ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นที่ตัวนำบนโรเตอร์ แต่ตัวนำบนโรเตอร์นี้ได้ถูกลัดวงจรไว้ ทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลที่ตัวนำนี้ ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่โรเตอร์เกิดชั่วเหินือและชั่วไต้ขึ้นในโรเตอร์เช่นเดียวกับที่เกิดขึ้นที่สเตเตอร์ผลรวมของเส้นแรงแม่เหล็กที่สเตเตอร์กับเส้นแรงแม่เหล็กรอบตัวนำที่โรเตอร์ทำให้เกิดแรงบิดขึ้นที่โรเตอร์ และทำให้โรเตอร์หมุนไปได้และมีทิศทางตามทิศทางของสนามแม่เหล็กหมุนที่สเตเตอร์



รูปที่ 2.4 การเกิดแรงบิดที่ตัวนำของโรเตอร์

2.2.2 การทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส โรเตอร์แบบพันขดลวดอาศัยหลักการเกิดสนามแม่เหล็กหมุนที่สเตเตอร์ และทำให้โรเตอร์หมุนไปได้นั้นจะเหมือนกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส แบบโรเตอร์กรงกระรอกจะแตกต่างกันเฉพาะตอนเริ่มเดินมอเตอร์เท่านั้น



รูปที่ 2.5 การเริ่มเดินมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบโรเตอร์พันขดลวด

จากรูปที่ 2.5 ขณะเริ่มเดินมอเตอร์ต้องปรับความต้านทานภายนอกไว้ที่ตำแหน่งมีค่าความต้านทานสูงสุด จะทำให้ได้ค่าแรงบิดเริ่มเดินมีค่าสูงสุด กระแสเริ่มเดินจะลดลง และเมื่อความเร็วของมอเตอร์เพิ่มขึ้นแล้วค่อยๆ ลดความต้านทานภายนอกลง ขณะเดียวกันมอเตอร์จะมีอัตราการหมุนเร็วขึ้น และเมื่อลดความต้านทานภายนอกลงจนหมดสลีปรिंगจะถูกลัดวงจร ขณะนี้มอเตอร์จะมีความเร็วสูงสุด

มอเตอร์เป็นเครื่องจักรไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล โดยอาศัยหลักการของการเกิดสนามแม่เหล็กหมุน เมื่อขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสได้รับค่ากระแสไฟฟ้าสามเฟสจากแหล่งจ่ายภายนอกที่มีขนาดและความถี่เท่ากัน แต่มีมุมที่ต่างกัน 120 องศา จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่มีค่าคงที่หมุนด้วยความเร็วซิงโครนัส (Synchronous speed:) ดังสมการ

$$n_s = \frac{120f}{P} \quad (2.1)$$

โดย f เป็นค่าความถี่ไฟฟ้าของสเตเตอร์หน่วยเฮิร์ต (Hz)

และ P เป็นจำนวนขั้วของมอเตอร์หน่วยขั้ว (Pole)

จากสมการ 2.1 จะเห็นได้ว่า ความเร็วซิงโครนัสนี้จะขึ้นอยู่กับค่าความถี่ไฟฟ้าของแหล่งจ่าย และจำนวนขั้วของมอเตอร์และสามารถกำหนดทิศทางของสนามแม่เหล็กหมุนนี้ได้โดยการ

สลับลำดับเฟสของสัญญาณกระแสไฟฟ้าคู่ใดคู่หนึ่ง ดังนั้นการกลับทิศการหมุนของมอเตอร์สามารถทำได้โดยสลับเฟสแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์คู่ใดคู่หนึ่ง จะเห็นได้ว่าค่ากระแสไฟฟ้านี้จะมีผลทำให้เกิดแรงทางกลกระทำกับแท่งตัวนำต่างๆ ในทิศทางที่ทำให้เคลื่อนที่ไปในแนวเดียวกันกับสนามแม่เหล็กหมุนด้วยความเร็วโรเตอร์ (n_r) ซึ่งความเร็วโรเตอร์จะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าภาระทางกล โดยเมื่อมีภาระทางกลน้อยๆ หรือไม่มีภาระทางกล ความเร็วโรเตอร์จะมีค่าใกล้เคียงความเร็วซิงโครนัส และเมื่อภาระทางกลเพิ่มขึ้นค่าความเร็วโรเตอร์ก็จะลดลง มอเตอร์เหนี่ยวนำมีความต้องการกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า ตามความต้องการของภาระทางกลที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อความเร็วโรเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงตามภาระทางกล ในการอธิบาย หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ จะสามารถแสดงให้อยู่ในรูปความสัมพันธ์ของค่าความเร็วซึ่งเรียกว่าสลลิป (Slip) ดังนี้

$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \quad (2.2)$$

เมื่อ S เป็นค่าสลลิปของมอเตอร์เหนี่ยวนำไม่มีหน่วย

n_s เป็นความเร็วซิงโครนัสมีหน่วยเป็นรอบต่อนาที (rpm)

และ n_r เป็นความเร็วโรเตอร์ (Rotor speed) มีหน่วยเป็นรอบต่อนาที (rpm)

2.3 ตัวแปรที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานของมอเตอร์

ตัวแปรที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานของมอเตอร์ ได้แก่ อุณหภูมิของอากาศโดยรอบ , ความสูงจากระดับน้ำทะเล , การระบายความร้อน , ค่า Service factor และ แรงดัน

นอกจากนี้ยังมีตัวแปรอื่นๆ เช่น ความชื้นในอากาศ, สภาพแวดล้อมที่ก่อให้เกิดการกัดกร่อน, การดูแลรักษามอเตอร์, ชนิดของตลับลูกปืน และชนิดของมอเตอร์ที่เลือกใช้ เป็นต้นภายใต้สภาวะการทำงานปกติของมอเตอร์ตัวหนึ่ง สามารถใช้งานได้ 5 ถึง 10 ปี หากดูแลรักษาดี ก็สามารถยืดเวลาได้ถึง 20 ปีเลยทีเดียว อย่างไรก็ตาม การใช้งานกลางแจ้ง เช่นการใช้งานในระบบสูบน้ำเพื่อการเกษตร เราอาจต้องซ่อมมอเตอร์ในช่วงเวลาเพียง 6 เดือน ทั้งนี้เพราะมอเตอร์ต้องตากแดด ตากฝน รวมทั้งติดตั้งใช้งานอยู่ในสภาพแวดล้อมอันเลวร้าย เช่น มีไอระเหยของกรดเกลือ น้ำเค็ม หรือไอของน้ำกรด ส่งผลให้เกิดการแปรสภาพการเป็นฉนวน หรือที่เรียกว่า ออกซิเดชัน (Oxidation) ของฉนวนที่เคลือบอยู่ในขดลวดทองแดง และอัตราการเกิดออกซิเดชันจะเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็วหากอุณหภูมิของมอเตอร์สูงมากกว่าที่ระบุไว้บนเนมเพลท และเกิดการลัดวงจรไฟฟ้าในที่สุด มอเตอร์ไฟฟ้าที่ติดตั้งไว้กลางแจ้งอาจมีปัญหากับการระบายความร้อน เพราะมีสิ่งกีดขวางทางระบายความร้อน เช่น รั้งนก, ใบไม้, ฝุ่นละออง หรือขยะ เป็นต้น

2.3.1 อุณหภูมิ ความร้อนเป็นปัจจัยแรกที่ทำให้มอเตอร์ลัมเหลวซึ่ง 70% ของมอเตอร์ที่ลัมเหลวเกิดจากความร้อนสูงเกิน การพิจารณาอุณหภูมิมอเตอร์มีตัวประกอบ 2 ประการคือ

2.3.1.1 อุณหภูมิแวดล้อม คืออุณหภูมิห้องสูงสุดที่มอเตอร์ทำงานต่อเนื่องที่ภาวะโหลดเต็มได้อย่างปลอดภัย โดยส่วนใหญ่พิกัดอุณหภูมิแวดล้อมคือ 40°C

2.3.1.2 อุณหภูมิเพิ่ม คือ อุณหภูมิภายในขดลวดที่เปลี่ยนไปจากภาวะไม่ทำงานถึงภาวะโหลดเต็มต่อเนื่องพิกัดเวลา (Time rating) คือ พิกัดที่มอเตอร์สามารถทำงานได้ต่อเนื่องที่ภาวะแรงบิดโหลดเต็มโดยไม่เกิดความร้อนสูงเกิน

2.3.2 ความสูงจากระดับน้ำทะเล ตามพิกัดทั่วไปนั้น มอเตอร์จะถูกใช้งานอยู่ที่ระดับความสูงเหนือระดับน้ำทะเลไม่เกิน 3,300 ฟุต หากติดตั้งมอเตอร์ที่ระดับความสูงมากกว่านี้พบว่าอุณหภูมิภายในตัวมอเตอร์จะสูงขึ้น 1 องศาฟาเรนไฮต์ เมื่อความสูงเพิ่มขึ้นทุกๆ 330 ฟุต อย่างไรก็ตามหากเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้าที่มีค่า Service Factor มากกว่า 1 เช่น 1.15 เราก็จะสามารถใช้งานมอเตอร์ในระดับความสูงมากถึง 9,000 ฟุตได้ โดยไม่ทำให้มอเตอร์ร้อน

2.3.3 แสงอาทิตย์ มอเตอร์ที่ติดตั้งอยู่กลางแจ้งท่ามกลางแสงอาทิตย์ ย่อมไม่เป็นผลดีเนื่องจากอุณหภูมิในตัวมอเตอร์อาจเพิ่มขึ้นได้ตั้งแต่ 10-20 องศาฟาเรนไฮต์

2.3.4 การขับภาระเกินพิกัด หากมอเตอร์ไฟฟ้าต้องขับภาระเกินกว่าที่ระบุไว้บนเนมเพลท ทำให้มอเตอร์ต้องพยายามสร้างแรงม้าเพิ่มขึ้นเพื่อจะขับโหลดให้ได้ ผลก็คือ กระแสไฟฟ้าจะไหลมากขึ้นจนเกิดความร้อนในขดลวดมอเตอร์

2.3.5 แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนมีค่าต่ำ เมื่อมอเตอร์ไฟฟ้าทำงานที่ระดับแรงดันต่ำกว่าที่พิกัด (การเชื่อมต่อไม่ดี, เกิดปัญหาที่ระบบจ่ายไฟหรือแหล่งจ่ายไฟฟ้าไม่ได้มาตรฐาน) มอเตอร์จะกินกระแสไฟฟ้ามากกว่าปกติเพื่อที่จะสร้างแรงม้าให้ได้ตามพิกัด สิ่งนี้ส่งผลให้อุณหภูมิในขดลวดมอเตอร์สูงขึ้น 1-2 องศาฟาเรนไฮต์และแปรผันตามค่าแรงดันที่เปลี่ยนไป

2.3.6 สิ่งสกปรกในตัวมอเตอร์ (Contamination): สิ่งสกปรก หรือฝุ่นผง อาจไม่ได้มาจากภายนอกตัวมอเตอร์เท่านั้น เพราะสิ่งสกปรกที่ทำความเสียหายให้กับมอเตอร์อาจมาจาก ความสึกหรอซึ่งเกิดจากการเสียดสีในตัวมอเตอร์, สนิมกัดกร่อนในตัวมอเตอร์ และเกิดจากความร้อนสูงภายใน อนุภาคของสิ่งสกปรกที่ลอยอยู่ในอากาศ มีความสามารถเป็นตัวกัดเซาะ ดังนั้นในขณะที่มอเตอร์ทำงานอยู่ อากาศที่ไหลเวียนในตัวมอเตอร์จะนำพาเอาอนุภาคกัดเซาะไปกัดกินชั้นของวานิชที่เคลือบลวดทองแดง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ถ้าเป็นอนุภาคประเภทเกลือ หรือถ่านหิน ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้า จะทำให้คุณสมบัติของฉนวนเสื่อมลง และหากมีความชื้นมาเกี่ยวข้องด้วย ก็จะทำให้เกิดการสะสมของชั้นฝุ่นสกปรก ทำให้ระบบการระบายความร้อนในตัวมอเตอร์ทำได้ไม่ดี และนำไปสู่ปัญหาเรื่องของความร้อนสูงได้ต่อไป

2.4 สาเหตุที่ทำให้มอเตอร์ไฟฟ้าเสียหาย

ในขณะที่มอเตอร์ไฟฟ้ากำลังทำงานอยู่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทำงานต่อเนื่องเป็นเวลายาวนาน ขดลวดทองแดงในตัวมอเตอร์จะมีความร้อนสูง และความร้อนจะถ่ายเทมายังตัวโครงของมอเตอร์ด้วย อย่างไรก็ตาม การออกแบบสร้างมอเตอร์ได้มีการคำนึงถึงปัญหาด้านความร้อนเอาไว้ด้วยแล้ว โดยกำหนดเป็นมาตรฐานเอาไว้ กล่าวคือมาตรฐานระดับความหนาของชั้นฉนวนที่เคลือบขดลวดทองแดง แต่หากความร้อนสูงกว่าพิกัดที่กำหนดไว้ ความสามารถในการเป็นฉนวนก็จะเสื่อมลง อุณหภูมิที่สูงขึ้นยังอาจทำให้จาระบีละลาย หรือเกิดเบรกตาวนในน้ำมัน เป็นสาเหตุให้ตลับลูกปืนมอเตอร์ชำรุดได้ในทันที

จากที่กล่าวมาข้างต้นนี้ก็ถือเป็นสาเหตุแรกที่ทำให้มอเตอร์ไฟฟ้าเสียหายได้ ซึ่งก็คืออุณหภูมิสูงนั่นเอง และโดยหลักการแล้วอุณหภูมิสูงผิดปกติเกิดขึ้นได้จากสาเหตุดังต่อไปนี้

- การขับโหลดเกินพิกัดที่กำหนด (Overloading)
- การสตาร์ทมอเตอร์บ่อยเกินไป
- อุณหภูมิของอากาศโดยรอบมีค่าสูง
- แรงดันอินพุตต่ำ หรือเกิดสภาวะแรงดันไม่สมดุล
- การเดินเครื่องมอเตอร์ต่อเนื่องเป็นเวลานาน ๆ
- การระบายอากาศไม่ดีพอ

นอกจากความร้อนแล้ว สาเหตุต่อไปก็คือ ความชื้นในอากาศ (Humidity) หากมอเตอร์ไม่ได้ใช้งานเป็นเวลานาน และถูกจัดเก็บไว้ในห้องที่มีความชื้นสูง ความชื้นจะทำให้คุณสมบัติการเป็นฉนวนของวานิช รวมทั้งวัสดุฉนวนอื่น ๆ ในตัวมอเตอร์ นอกจากนี้ความชื้นก็อาจทำให้ตลับลูกปืนเสียหายได้ ทั้งนี้หากว่าหยดน้ำเข้าไปผสมกับอนุภาคของฝุ่นผงสกปรกที่ปลิวอยู่ในอากาศ ยังอาจสร้างปัญหาเกี่ยวกับคุณสมบัติการนำไฟฟ้าได้อีกด้วยอนุภาคของสิ่งสกปรกที่ลอยอยู่ในอากาศ มีความสามารถเป็นตัวกักตุนความร้อน ในขณะที่มอเตอร์ทำงานอยู่ อากาศที่ไหลเวียนในตัวมอเตอร์จะนำพาเอาอนุภาคกักตุนความร้อนไปกักตุนชั้นของวานิชที่เคลือบขดลวดทองแดง โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเป็นอนุภาคประเภทเกลือ หรือถ่านหิน ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้า จะทำให้คุณสมบัติของฉนวนเสื่อมลง และหากมีความชื้นมาเกี่ยวข้องด้วยก็จะทำให้เกิดการสะสมของชั้นฝุ่นสกปรก ทำให้ระบบการระบายความร้อนในตัวมอเตอร์ทำได้ไม่ดี และนำไปสู่ปัญหาเรื่องความร้อนสูงได้ต่อไป

ภาวะทางกลของมอเตอร์ผิดปกติ สภาวะทางกลที่ผิดปกติ เกิดได้จากหลายสาเหตุ และเกิดในหลายลักษณะ แต่ทั้งนี้ส่วนใหญ่จะเป็นความเครียดที่เกิดกับตลับลูกปืน ซึ่งนำไปสู่การทำให้เกิดความไม่สมดุลของเพลามอเตอร์ หรือหากตัวโครงของมอเตอร์ถูกบิดจะทำให้เกิดเสียงครางในขณะหมุน นอกจากนี้หากเกิดการบิดเบี้ยวของแกนโรเตอร์ หรือตลับลูกปืน จะทำให้ช่องว่างอากาศ (Air Gap) เกิดไม่สมมาตร ส่งผลให้ขดลวดเกิดความร้อนสูง ดังนั้นแล้วสภาวะที่เราควรหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดขึ้นก็คือ

- การเชื่อมต่อเพลลาขับโพลดที่ไม่ได้ศูนย์ (Misaligned Coupling)
- การรัดสายพานระหว่างเพลลาที่ตั้งเกินไป
- การยึดตัวมอเตอร์ติดกับฐานวางไม่มั่นคง หรือไม่ได้สมดุล
- การเลือกใช้ตัลบลูกปืนไม่เหมาะกับงาน เป็นต้น

เมื่อรู้ถึงปัญหาจากความชื้นแล้ว การจัดเก็บมอเตอร์ไฟฟ้าที่ยังไม่ได้ใช้งานก็ควรให้ความสนใจเรื่องของความชื้นในอากาศด้วยก็จะเป็นการดี อย่างไรก็ตามหากมีมอเตอร์ที่เคยเก็บไว้ในห้องที่มีความชื้นสูงเป็นเวลานาน ๆ ก็ควรเดินเครื่องเปล่าเป็นเวลาสัก 1-2 ชั่วโมง ก่อนที่จะนำไปขับโพลด ทั้งนี้เพื่อเป็นการอุ่นเครื่อง และไล่ความชื้นต่าง ๆ ออกไป หรือถ้าจะให้แน่ใจก็อาจใช้เมกะ โอห์ม มิเตอร์ตรวจสอบค่าความต้านทานของฉนวนด้วยก็จะเป็นการดี

2.4.1 การหล่อลื่นที่ไม่เหมาะสม ถือได้ว่าเป็นอีกสาเหตุ หนึ่ง ที่อาจจะทำให้มอเตอร์เสียหายได้ โดยเกิดจากการใช้จาระบีเพื่อหล่อลื่นในส่วนเคลื่อนที่ของเครื่องจักร หรือเพลลาที่ต่ออยู่กับมอเตอร์ แต่เชื่อหรือไม่ว่า จาระบีมักจะสร้างปัญหาให้กับมอเตอร์มากกว่าจะเป็นข้อดี ทั้งนี้ก็เพราะจาระบีจะเป็นตัวนำเอาสิ่งสกปรกเข้าไปในตัลบลูกปืนของมอเตอร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าฝุ่นผงโลหะเกาะติดอยู่ในจาระบี ก็จะทำให้ระบบหล่อลื่นการหมุนของมอเตอร์เสียหายได้ ซึ่งจาระบีที่ใช้ในอุตสาหกรรม มีหลายประเภทซึ่งผลิตมาจากสารประกอบต่างชนิดกัน การใช้งานจาระบีจะต้องไม่ใช่ปะปนกันหลายประเภท เพราะบางประเภทหากปะปนกันจะลดคุณสมบัติการหล่อลื่น ยกตัวอย่างเช่น จาระบีที่ทำจากสารแบเรียม (Barium) จะมีคุณสมบัติที่ไม่เข้ากันกับจาระบีที่ทำจากสารประกอบแคลเซียม (Calcium) หรือจาระบีที่ทำจากสารประกอบโพลีเอทรีน จะไม่เข้ากันกับจาระบีประเภทใดเลย เป็นต้น

ปัญหาเกี่ยวกับระบบการหล่อลื่นที่ไม่เหมาะสมสามารถป้องกันได้ โดยทำความเข้าใจว่ามอเตอร์ไฟฟ้าแต่ละประเภท แต่ละผู้ผลิตนั้นต่างมีข้อกำหนดในการนำเอาระบบหล่อลื่นมาใส่ในมอเตอร์ ที่แตกต่างกัน หรือถ้าจะนำเอาระบบหล่อลื่นเดิมออกไปก็ควรติดต่อกับบริษัทผู้ผลิตมอเตอร์ และผู้ผลิตตัลบลูกปืน จะช่วยลดปัญหาในส่วนนี้ได้

2.4.2 แรงดันไฟฟ้าผิดปกติ ความผิดปกติของสัญญาณไฟฟ้ามักจะทำให้เกิดปัญหากับอุปกรณ์ไฟฟ้าได้เสมอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเกิดกับมอเตอร์ไฟฟ้า ทั้งนี้ไม่ว่าจะเป็นระบบไฟฟ้า 1 เฟส หรือ 3 เฟส กำลังไฟฟ้าในอุดมคติควรมีลักษณะเป็นสัญญาณรูปคลื่นไซน์ (Sine Wave) ในแต่ละเฟสที่พิกัดแรงดัน และพิกัดความถี่ไฟฟ้า ในหัวข้อของสาเหตุอันเนื่องมาจากความผิดปกติของแรงดันไฟที่ป้อนให้มอเตอร์นี้อาจเกิดขึ้นได้หลายลักษณะดังนี้

2.4.3 ฮาร์โมนิก (Harmonic) เป็นความผิดปกติในเรื่องของความถี่ปะปนอยู่ในระบบ ซึ่งไม่ใช่ความถี่พื้นฐาน (Fundamental Frequency) และแต่ละฮาร์โมนิกจะทำให้มอเตอร์ไฟฟ้ามีความร้อนสูง และประสิทธิภาพการทำงานลดลง

2.4.4 แรงดันเกินพิกัด (Over Voltage) แรงดันเกินพิกัดเพียงเล็กน้อย อาจไม่ส่งผลให้มอเตอร์เสียหาย แต่จะทำให้ประสิทธิภาพการทำงาน และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ลดลง ทั้งนี้ตามมาตรฐานของ NEMA (The National Electric Manufacturer's Association:) กำหนดไว้ไม่เกิน 110% ของค่าพิกัด

2.4.5 แรงดันต่ำกว่าพิกัด(Under Voltage) เมื่อแรงดันที่ป้อนให้มอเตอร์ต่ำกว่าปกติ ย่อมส่งผลให้กระแสไฟฟ้าในมอเตอร์สูงขึ้น และสูงมากจนทำให้ขดลวดทองแดงร้อนขึ้นดังนั้นเอง ประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์จะลดลง ทั้งนี้ NEMA กำหนดไว้ว่าไม่ควรต่ำกว่า 90% ของพิกัด

2.4.6 แรงดันไม่สมดุล (Voltage Unbalance) รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าในแต่ละเฟสไม่สมดุล เป็นสาเหตุให้มอเตอร์ไฟฟ้าร้อน และลดประสิทธิภาพการทำงานลง ทั้งนี้ NEMA กำหนดไว้ว่ามอเตอร์ไฟฟ้าไม่ควรต่ออยู่กับระบบที่เกิดแรงดันไม่สมดุลเกิน 5%

2.4.7 แรงดันพุ่ง(Voltage Spikes) หรือแรงดันสูงชั่วขณะ เกิดจากการสับสวิตช์ของอุปกรณ์ หรือวงจรประเภทตัวเก็บประจุ ถูกตัด/ต่อเข้าในวงจรไฟฟ้าหลัก หรือเกิดจากสัญญาณรบกวนจากระบบแสงสว่าง หรือเกิดคลื่นแทรกจากเสาส่งไฟฟ้าแรงสูง ลักษณะของแรงดันพุ่ง จะเป็นแรงดันสูงมากในช่วงเวลาสั้น ๆ เป็นผลให้เกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดในมอเตอร์ (Turn-to-Turn) กรณีนี้เองจะทำให้มอเตอร์เสียหายได้

2.4.8 แรงดันมีความถี่ต่ำกว่าปกติ หากความถี่ของแรงดันไฟฟ้าป้อนมอเตอร์ต่ำกว่าปกติจะส่งผลโดยตรงต่อแรงบิดของมอเตอร์

2.4.9 สิ่งสกปรกในตัวมอเตอร์ (Contamination) สิ่งสกปรก หรือฝุ่นผง อาจไม่ได้มาจากภายนอกตัวมอเตอร์เท่านั้น เพราะสิ่งสกปรกที่ทำความเสียหายให้กับมอเตอร์อาจมาจาก ความสึกหรอซึ่งเกิดจากการเสียดสีในตัวมอเตอร์, สนิมกัดกร่อนในตัวมอเตอร์ และเกิดจากความร้อนสูงภายในอนุภาคของสิ่งสกปรกที่ลอยอยู่ในอากาศ มีความสามารถเป็นตัวกัดเซาะ ดังนั้นในขณะที่มอเตอร์ทำงานอยู่ อากาศที่ไหลเวียนในตัวมอเตอร์จะนำพาเอาอนุภาคกัดเซาะไปกัดกินชั้นของวานิชที่เคลือบขดลวดทองแดง โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเป็นอนุภาคประเภทเกลือ หรือถ่านหิน ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้า จะทำให้คุณสมบัติของฉนวนเสื่อมลง และหากมีความชื้นมาเกี่ยวข้องด้วยก็จะทำให้เกิดการสะสมของชั้นฝุ่นสกปรก ทำให้ระบบการระบายความร้อนในตัวมอเตอร์ทำได้ไม่ดี และนำไปสู่ปัญหาเรื่องของความร้อนสูงได้ต่อไป

2.4.10 ภาวะทางกลของมอเตอร์ผิดปกติ สภาวะทางกลที่ผิดปกติ เกิดได้จากหลายสาเหตุ และเกิดในหลายลักษณะ แต่ทั้งนี้ส่วนใหญ่จะเป็นความเครียดที่เกิดกับตลับลูกปืน ซึ่งนำไปสู่การทำให้เกิดความไม่สมดุลของเพลามอเตอร์ หรือหากตัวโครงของมอเตอร์ถูกบิดจะทำให้เกิดเสียงครางในขณะหมุน นอกจากนี้หากเกิดการบิดเบี้ยวของแกนโรเตอร์ หรือตลับลูกปืน จะทำให้ช่องว่างอากาศ (Air Gap) เกิดไม่สมมาตร ส่งผลให้ขดลวดเกิดความร้อนสูง ดังนั้นแล้วสภาวะที่เราควรหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดขึ้นก็คือ

- การเชื่อมต่อเพลาชับโหลดที่ไม่ได้ศูนย์ (Misaligned Coupling)
- การรัดสายพานระหว่างเพลาทิ้งเกินไป
- การยึดตัวมอเตอร์ติดกับฐานวางไม่มั่นคง หรือไม่ได้สมดุล
- การเลือกใช้ตลับลูกปืนไม่เหมาะกับงาน เป็นต้น

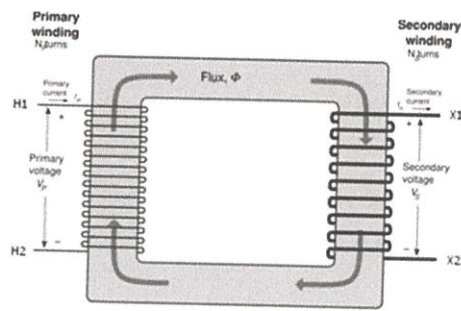
2.5 เครื่องตรวจจับสัญญาณ

2.5.1 เซนเซอร์วัดแรงดัน

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมโยงระหว่างระบบไฟฟ้า ที่มีแรงดันไฟฟ้าต่างกันโดยจะทำหน้าที่เพิ่มหรือลดแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะกับการส่ง การจ่าย และการใช้พลังงานไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้าจึงนับเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญอย่างหนึ่งในบรรดาอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหลาย การขัดข้องหรือหารชำรุดเสียหายของหม้อแปลงไฟฟ้า มักมีผลกระทบต่อการใช้ไฟฟ้า หรือกระบวนการผลิตอย่างมากและเป็นเวลานาน ดังนั้นหม้อแปลงนอกจากจะต้องถูกออกแบบผลิต ติดตั้งอย่างถูกต้องและมีคุณภาพแล้ว การใช้งานและการดูแลรักษาก็เป็นปัจจัยสำคัญที่จะหลีกเลี่ยงการขัดข้องหรือการชำรุดเสียหายดังกล่าวได้

2.5.1.1 หลักการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า

การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้านั้นอาศัยหลักการความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า กับ เส้นแรงแม่เหล็กในการสร้างแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ ให้กับตัวนำ คือ เมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวดตัวนำ ก็จะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กรอบๆตัวนำนั้นและถ้ากระแสที่ป้อนมีขนาดและทิศทางที่เปลี่ยนแปลงไปมา ก็จะทำให้สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ถ้า สนามแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ตัดผ่านตัวนำ ก็เกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ ขึ้นที่ตัวนำ นั้น โดยขนาดของแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ จะสัมพันธ์กับ ความเข้มของสนามแม่เหล็กและความเร็วใน การตัดผ่านตัวนำ ของสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 2.6 โครงสร้างหม้อแปลงไฟฟ้า

จะเห็นว่าโครงสร้างของหม้อแปลงจะประกอบไปด้วย ขดลวด 2 ขดพันรอบแกนที่เป็นสี่เหลี่ยมของเส้นแรงแม่เหล็ก ซึ่งอาจเป็นแกนเหล็ก แกนเฟอร์ไรท์ หรือแกนอากาศ ขดลวดที่เราจ่ายไฟเข้าไปเราเรียกว่า ขดปฐมภูมิ (Primary Winding) และ ขดลวดอีกขดที่ต่อเข้ากับโหลด เราเรียกว่า ขดทุติยภูมิ (Secondary Winding)

เมื่อเราจ่ายกระแสไฟฟ้าสลับให้กับขดปฐมภูมิ ก็จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงไป-มา โดยเส้นแรงแม่เหล็กดังกล่าวก็จะวิ่งไป-มา ตามแกน และไปตัดกับขดทุติยภูมิ ทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำขึ้นที่ขดทุติยภูมิที่ต่อกับโหลด โดยแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้น จะมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กและจำนวนรอบของขดลวด

2.5.1.2 โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงแบ่งออกตามการใช้งานของระบบไฟฟ้ากลางได้ 2 แบบคือ หม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 1 เฟส และหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 3 เฟส แต่ละชนิดมีโครงสร้างสำคัญประกอบด้วย

- ขดลวดตัวนำปฐมภูมิ (Primary Winding) ทำหน้าที่รับแรงเคลื่อนไฟฟ้า
- ขดลวดทุติยภูมิ (Secondary Winding) ทำหน้าที่จ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้า
- แกนเหล็ก (Core) ทำหน้าที่เป็นทางเดินสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและให้ขดลวดพันรอบแกนเหล็ก

แผ่นเหล็กที่ใช้ทำหม้อแปลงจะมีส่วนผสมของสารกึ่งตัวนำ-ซิลิกอนเพื่อรักษาความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบขดลวดไว้ แผ่นเหล็กแต่ละชั้นเป็นแผ่นเหล็กบางเรียงต่อกันหลายชั้นทำให้มีความต้านทานสูงและช่วยลดการสูญเสียบนแกนเหล็กที่ส่งผลให้เกิดความร้อนหรือที่เรียกว่ากระแสไหลวนบนแกนเหล็กโดยทำแผ่นเหล็กให้เป็นแผ่นบางหลายแผ่นเรียงซ้อนประกอบขึ้นเป็นแกนเหล็กของหม้อแปลง ซึ่งมีด้วยกันหลายรูปแบบเช่น แผ่นเหล็กแบบ Core และแบบ Shell

- ขั้วต่อสายไฟ (Terminal) ทำหน้าที่เป็นจุดต่อสายไฟกับขดลวด โดยทั่วไปหม้อแปลงขนาดเล็กจะใช้ขั้วต่อไฟฟ้าต่อเข้าระหว่างปลายขดลวดกับสายไฟฟ้าภายนอก และ ถ้าเป็นหม้อแปลงขนาดใหญ่จะใช้แผ่นทองแดง (Bus Bar) และบุชชิงกระเบื้องเคลือบ (Ceramic) ต่อเข้าระหว่างปลายขดลวดกับสายไฟฟ้าภายนอก

- แผ่นป้าย (Name Plate) ทำหน้าที่บอกรายละเอียดประจำตัวหม้อแปลง แผ่นป้ายจะติดไว้ที่ตัวถังของหม้อแปลงเพื่อแสดงรายละเอียดประจำตัวหม้อแปลง อาจเริ่มจากชื่อบริษัทผู้ผลิต ชนิด รุ่นและขนาดของหม้อแปลง ขนาดกำลังไฟฟ้า แรงเคลื่อนไฟฟ้าด้านรับไฟฟ้าและด้านจ่ายไฟฟ้า ความถี่ใช้งาน วงจรขดลวด ลักษณะการต่อใช้งาน ข้อควรระวัง อุณหภูมิ มาตรฐานการทดสอบ และอื่น ๆ

- อุปกรณ์ระบายความร้อน (Coolant) ทำหน้าที่ระบายความร้อนให้กับขดลวด เช่น อากาศ, พัดลม, น้ำมัน หรือใช้ทั้งพัดลมและน้ำมันช่วยระบายความร้อน เป็นต้น

- โครง (Frame) หรือตัวถังของหม้อแปลง (Tank) ทำหน้าที่บรรจุขดลวด แกนเหล็ก รวมทั้งการติดตั้งระบบระบายความร้อนให้กับหม้อแปลงขนาดใหญ่

- สวิตช์และอุปกรณ์ควบคุม (Switch Controller) ทำหน้าที่ควบคุมการเปลี่ยนขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้า และมีอุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ รวมอยู่ด้วย

2.5.1.3 หม้อแปลงแรงดัน (Voltage Transformer)

หม้อแปลงแรงดันคือ หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ร่วมกับเครื่องวัด ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้าให้ต่ำลง เพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงาน และเหมาะสมกับย่านวัดของโวลต์มิเตอร์และมักจะ

ค่าแรงดัน ตามมาตรฐานกำหนด เช่น 100 , $100/\sqrt{3}$, 115 , $115/\sqrt{3}$, 220 , $220/\sqrt{3}$ Volts เป็นต้น

2.5.2 เซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า

2.5.2.1 ประเภทการวัดกระแสไฟฟ้าทั่วไปโดยใช้แอมป์มิเตอร์

แอมป์มิเตอร์จะใช้อักษรย่อ I เป็นสัญลักษณ์ของแอมมิเตอร์คือ แอมมิเตอร์ที่ดีต้องมีความต้านทานน้อยเพื่อให้กระแสไฟฟ้าในวงจรไหลผ่านตัวแอมมิเตอร์ให้มากที่สุด การใช้แอมมิเตอร์วัดปริมาณกระแสไฟฟ้ามักมีลักษณะเช่นเดียวกับการใช้มาตรวัดปริมาณน้ำที่ไหลผ่านท่อประปาคือต้องต่อแอมมิเตอร์แทรกในวงจรที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน เรียงลำดับในวงจรไฟฟ้าเป็นการต่อแบบอนุกรมเพื่อให้กระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จากแอมมิเตอร์เป็นค่าเดียวกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านวงจรนั้น

2.4.2.2 คุณสมบัติของแอมมิเตอร์ที่ดี

1. มีความแม่นยำสูงซึ่งเกิดจากการนำขั้วที่มีความต้านทานน้อยมาต่อเพื่อว่าเมื่อนำแอมมิเตอร์ไปต่ออนุกรมในวงจรแล้ว จะไม่ทำให้ความต้านทานรวมของวงจรเปลี่ยนแปลง ทำให้กระแสที่วัดได้มีความแม่นยำสูงหรือมีความผิดพลาดจากการวัดน้อย

2. มีความไว (Sensitivity) สูงเมื่อขั้วมีค่าน้อยๆกระแสที่ไหลผ่านขั้วจะมีค่ามากทำให้กระแสที่ไหลผ่านแกลวานอมิเตอร์มีค่าน้อยนั่นคือแอมมิเตอร์ที่ดีจะสามารถตรวจวัดค่ากระแสน้อยได้กล่าวคือแม้ วงจรจะมีกระแสไหลเพียงเล็กน้อย แอมมิเตอร์ก็สามารถวัดค่าได้

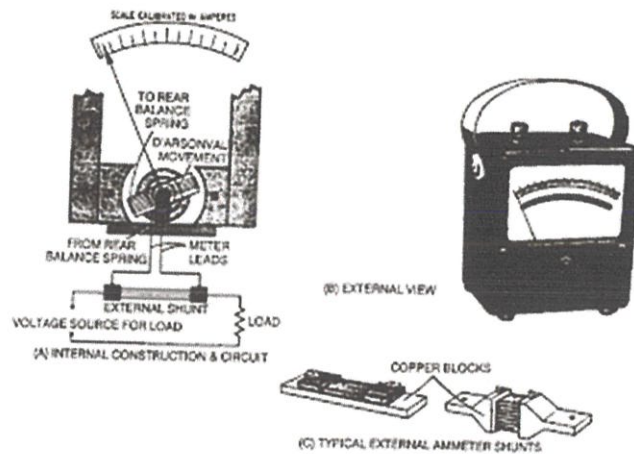
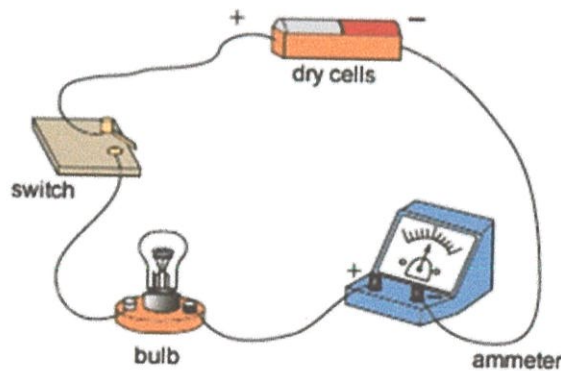


FIGURE 9-18. An Ammeter Using the External Shunt.

รูปที่ 2.7 แอมป์มิเตอร์

ใช้แอมมิเตอร์ไปต่ออนุกรมในวงจรในสายที่ต้องการทราบค่ากระแสที่ไหลผ่าน เหมือนกับการวัดกระแสน้ำก็ต้องนำเครื่องมือวัดไปจุ่มลงน้ำด้วย



รูปที่ 2.8 แสดงรูปการใช้งานแอมมิเตอร์

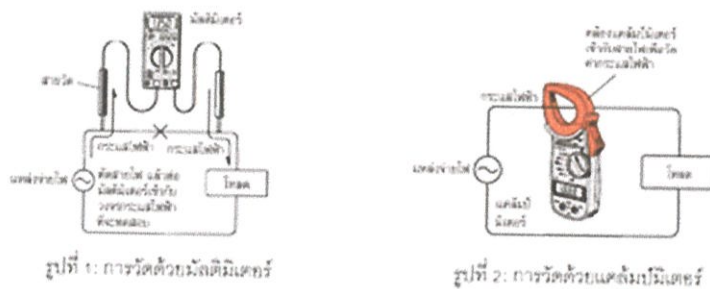
2.5.2.3 แคลมป์มิเตอร์ (Clamp Meter)

เป็นเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าอีกชนิดหนึ่งที่ใช้สำหรับเปลี่ยนปริมาณทางไฟฟ้า ให้อยู่ในรูปที่เราสัมผัสได้ เช่น ตัวเลขแสดงผล หรือให้อยู่ในรูปของเข็มชี้ค่าแสดงผล โดยจะสามารถตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรได้อย่างรวดเร็ว และแม่นยำโดยไม่ต้องดับไฟ หรือหยุดการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าในขณะที่ทำการวัด (รูปที่1) จึงกล่าวได้ว่าแคลมป์มิเตอร์เป็นเครื่องมือวัดอีกชนิดหนึ่งที่มีความจำเป็นมากในงานด้านไฟฟ้าต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นระบบปรับอากาศ เครื่องทำความเย็น หรืองานซ่อมบำรุงระบบไฟฟ้าภายในรถยนต์ เป็นต้น



รูปที่ 2.9 แคลมป์มิเตอร์

ซึ่งถ้าหากเราสามารถใช้งานแคลมป์มิเตอร์ได้อย่างถูกวิธี และมีความชำนาญอยู่แล้ว จะสามารถช่วยให้ท่านทำงานได้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และในขณะเดียวกันก็ยังสามารถช่วยลดอุบัติเหตุต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้นจากระบบไฟฟ้าได้อีกด้วย (รูปประกอบในบทความนี้เป็นผลิตภัณฑ์ของ Kyoritsu)



รูปที่ 2.10 การทำงานของแคลมป์มิเตอร์

2.5.2.4 ประโยชน์ของแคลมป์มิเตอร์

แคลมป์มิเตอร์โดยทั่วไปแล้ว จะถูกนำมาใช้งานในการวัดกระแสไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าต่างๆ โดยการนำแคลมป์มิเตอร์ไปคล้องกับสายไฟที่ต้องการวัด ก็จะทำให้สามารถทราบค่ากระแสไฟฟ้าได้จากจอแสดงผลบน แคลมป์มิเตอร์

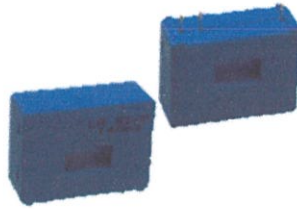
ในปัจจุบันแคลมป์มิเตอร์ได้มีการพัฒนาให้มีขีดความสามารถในการวัดได้ ทั้ง ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) และไฟฟ้ากระแสตรง (DC) นอกจากนั้นแคลมป์มิเตอร์ที่มีการใช้ในปัจจุบันนี้ยังมีความสามารถในการวัด กำลังไฟฟ้า (Power) ต่อเข้ากับเครื่องบันทึกกราฟ (Recorder) หรือเครื่องออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) เพื่อใช้ในการตรวจสอบ และวิเคราะห์รูปคลื่นไฟฟ้าได้อีกด้วย

2.5.2.5 การวัดกระแสไฟฟ้าโดย Hall Sensor

การใช้งานฮอลล์เซนเซอร์เป็นการใช้วัดค่าความเข้มของฟลักซ์แม่เหล็ก เมื่อความเข้มของฟลักซ์แม่เหล็กเปลี่ยนแปลงตามระยะทาง ดังนั้นเราจึงสามารถนำฮอลล์เซนเซอร์มาใช้เป็นเซนเซอร์วัดการกระจัดได้เช่นกัน

นอกจากใช้วัดสนามแม่เหล็กทั่วไปแล้ว ฮอลล์เซนเซอร์ยังถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในการวัดกระแสไฟฟ้าโดยวิธีฮอลล์เอฟเฟคอีกด้วย โดยปกติแล้วการใช้แอมป์มิเตอร์วัดกระแสในวงจรต้องวัดแบบอนุกรมเราอาจต้องตัดวงจรเพื่ออนุกรมมิเตอร์เข้าไปแต่ฮอลล์เอฟเฟคจะทำให้การวัดง่ายขึ้นเมื่อเราผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวด จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบๆขดลวดเรียกว่าแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งถ้าเราสามารถวัดสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นนี้ได้ เราก็สามารถคำนวณเป็นค่ากระแสออกมาได้เช่นกัน

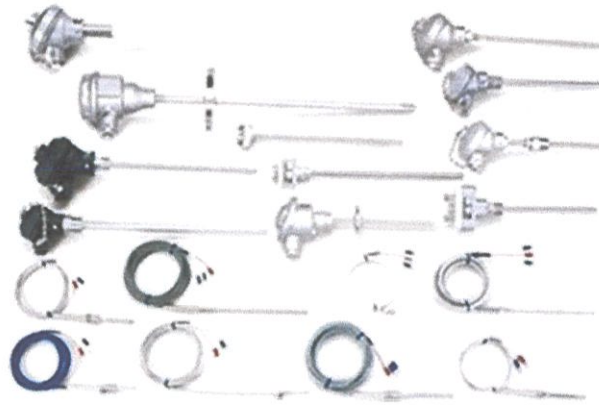
ปัจจุบันได้มีการผลิตเซนเซอร์กระแสไฟฟ้าแบบฮอลล์เอฟเฟคในรูปของไอซีหลายเบอร์ด้วยกัน มีตั้งแต่กระแสต่ำๆ ไปจนถึงกระแสเป็นร้อยแอมป์



รูปที่ 2.11 เซนเซอร์กระแส เบอร์ LA55-P

จากรูปเซนเซอร์กระแส เบอร์ LA55-P ของ LEM สามารถวัดกระแสได้สูงสุด 50A วัดได้ทั้งกระแสตรงและกระแสสลับ ให้เอาที่พุดออกมาเป็นกระแสใน อัตราส่วน 1:1,000 หมายความว่า ถ้าวัดกระแส 50A เซนเซอร์ตัวนี้จะให้กระแสเอาต์พุด 50 mA ใ้สำหรับการใช้งานก็เพียงป้อนไฟเลี้ยง $\pm 15V$ ให้กับเซนเซอร์ แล้วให้เส้นลวดที่เราต้องการวัดกระแสสอดเข้าที่รูตรงกลางเซนเซอร์เท่านั้นเอง จึงไม่ส่งผลกระทบต่อวงจร

2.5.3 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ



รูปที่ 2.12 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ

การตรวจวัดอุณหภูมิใช้รูปแบบ การเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าจากสัญญาณอนาล็อกไปสู่สัญญาณดิจิทัล โดยสัมพันธ์กับอุณหภูมิ มีรูปแบบใหญ่ ๆ ของ เซนเซอร์ อยู่ด้วยกัน 3 รูปแบบ คือ

2.5.3.1 Thermocouple คือ อุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่ใช้หลักการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า ทำมาจากโลหะตัวนำที่ต่างชนิดกัน 2 ตัว มาเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกัน ที่ปลายด้านหนึ่ง เรียกว่า "จุดอุณหภูมิ" ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งปล่อยให้เปิดไว้ เรียกว่า "จุดอ้างอิง" หากที่จุดวัดอุณหภูมิและจุดอ้างอิงมีอุณหภูมิต่างกันก็จะทำให้มีการนำกระแส ในวงจร Thermocouple

2.5.3.2 Resistance Temperature Detector (RTD) คือ ตัวเซ็นเซอร์อุณหภูมิที่ใช้หลักการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของโลหะ ซึ่งค่าความต้านทานดังกล่าวจะมีค่าเพิ่มตามอุณหภูมิ ความต้านทานของโลหะที่เพิ่มขึ้นนี้ เรียกว่า "สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบบบวก" นิยมนำไปใช้ในการวัดอุณหภูมิในช่วง -270 to 850 °C. วัสดุที่นำมาใช้จะเป็นโลหะที่มีความต้านทานจำเพาะต่ำ เช่น แพลตินัม, ทังสแตน และ นิกเกิล



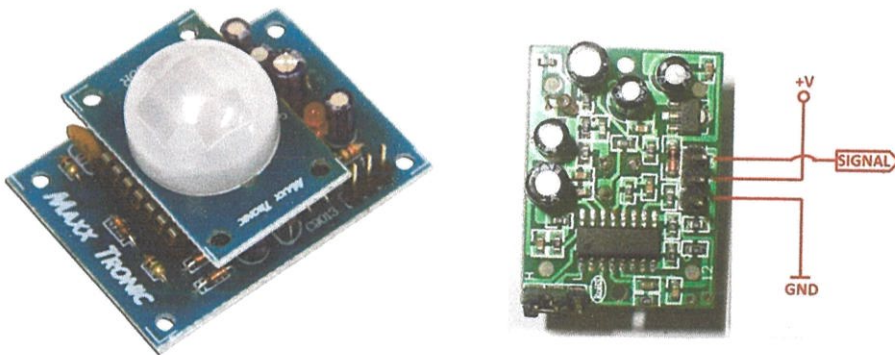
รูปที่ 2.13 Resistance Temperature Detector (RTD)

2.5.3.3 Thermistor เป็น อุปกรณ์ความต้านทานชนิดที่สามารถเปลี่ยนค่าความต้านทานเมื่อได้รับความร้อน โดยที่ค่าความต้านทานจะเปลี่ยนแปลงแบบไม่เป็นเชิงเส้น กับอุณหภูมิ แบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ

Positive Temperature Comital (PTC) เป็น ชนิดที่ปกติจะมีค่าความต้านทานต่ำ เมื่อได้รับความร้อนจะทำให้มีค่าความต้านทานสูงขึ้นตามลำดับอุณหภูมิ นำไปใช้ตรวจสอบระดับความร้อน หรือทำให้เกิดความร้อนขึ้นเพื่อควบคุมการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับขดลวด เช่น วงจรล้างสนามแม่เหล็กอัติโนมติของเครื่องรับโทรทัศน์ (Degaussing coil) เป็นต้น

Negative Temperature Comital (NTC) เป็นชนิด ที่ปกติจะมีค่าความต้านทานสูง เมื่อได้รับความร้อน ค่าความต้านทานจะต่ำลง ใช้งานด้านการตรวจสอบความร้อนเพื่อควบคุมระดับการทำงาน เช่น ในวงจรขยายเสียงที่ดีใช้ตรวจจับความร้อนที่เกิดจากการทำงานแล้วป้อนกลับไปลดการทำงานของวงจรให้น้อยลง เพื่ออุปกรณ์หลักจะไม่เกิดความร้อนมากจนเกินไป

2.5.4 เซนเซอร์วัดความเร็วรอบ



รูปที่ 2.14 เซนเซอร์วัดความเร็วรอบ

ระบบการทำงานเซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว เป็นอุปกรณ์ที่แปลงการตรวจจับความเคลื่อนไหวเป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยทั่วไปเซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหวมี 3 ประเภทคือ

2.5.4.1 Passive infrared sensors (PIR) เป็นเซ็นเซอร์ที่รับความร้อนจากร่างกายเมื่อเคลื่อนที่ ไม่มีการปล่อยพลังงานออกมาจากเซ็นเซอร์

2.5.4.2 Ultrasonic เป็นเซ็นเซอร์ที่มีการปล่อยคลื่นอัลตราโซนิคออกมาและตรวจวัดการสะท้อนของคลื่นเมื่อวัตถุเคลื่อนที่

2.5.4.3 Microwave เป็นเซ็นเซอร์ที่มีการปล่อยคลื่นไมโครเวฟออกมาและตรวจวัดการสะท้อนของคลื่นเมื่อวัตถุเคลื่อนที่

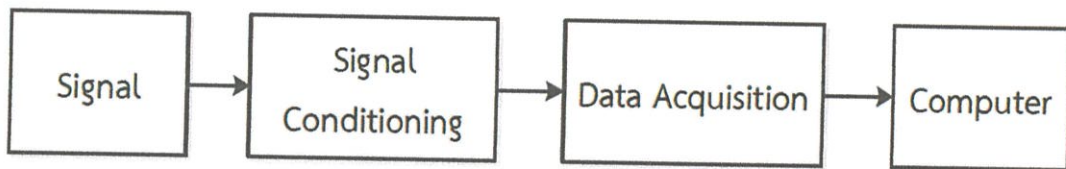
2.5.4.4 โหมดสัญญาณเอาต์พุต สามารถเลือกใช้งานได้ 2 แบบ คือ

1. สัญญาณ H (HIGH) หมายถึง เอาต์พุตเป็นลอจิก 0 เมื่ออยู่ในสภาวะปกติ และเอาต์พุตเป็นลอจิก 1 เมื่อตรวจจับความเคลื่อนไหวได้
2. สัญญาณ L (LOW) หมายถึง เอาต์พุตเป็นลอจิก 0 เมื่ออยู่ในสภาวะปกติ และเอาต์พุตเป็นลुकคลื่นลอจิก 1 สลับกับ 0 อย่างต่อเนื่อง (puls) จุดเชื่อมต่อสำหรับใช้งานมีทั้งหมด 1. ขาไฟเลี้ยง (+) สำหรับต่อไฟเลี้ยงแรงดัน +3.3 ถึง +5 โวลต์ 2. ขาเอาต์พุต (OUT) สำหรับต่อเข้ากับขาอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ 3. ขากราวด์ (-) สำหรับต่อกราวด์ 0 โวลต์ (se) เมื่อตรวจจับความเคลื่อนไหวได้

2.6 ระบบ DAQ บนพีซี

2.6.1 ภาพรวมของระบบ DAQ บนคอมพิวเตอร์

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

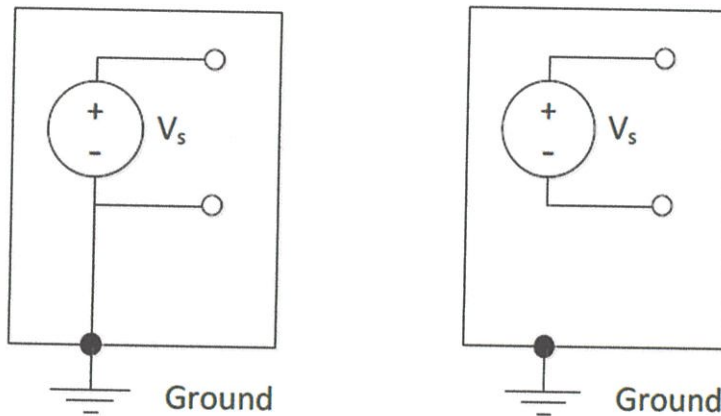


รูปที่ 2.15 ระบบการทำงานของอุปกรณ์ DAQ บนคอมพิวเตอร์

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

2.6.2 แหล่งสัญญาณทางไฟฟ้า

สัญญาณทางไฟฟ้ามีหลายรูปแบบ ซึ่งแหล่งกำเนิดอาจจะมาจากตัวส่งสัญญาณหรือจากเซ็นเซอร์ ซึ่งสัญญาณเหล่านี้จะเป็นตัวแสดงถึงปริมาณทางกายภาพของสิ่งที่วัด เช่นการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิ้ล หรือ RTD, การวัดแรงดันด้วยโพลดเซลล์, การวัดแสงด้วยโฟโตเซ็นเซอร์ ซึ่งในที่สุดแล้วสัญญาณอนาล็อกจะต้องถูกแปลงไปเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์ Signal conditioning ก่อนที่จะอ่านค่าด้วยอุปกรณ์ DAQ โดยเราจะเรียกแหล่งกำเนิดสัญญาณประเภทแรงดันไฟฟ้าว่า Voltage source ซึ่งแบ่งออกเป็นสองชนิด ได้แก่ แหล่งสัญญาณแบบต่อกราวด์ (Grounded source) และแบบไม่ต่อกราวด์ (Floating source) แรงดันไฟฟ้าว่า Voltage source ซึ่งแบ่งออกเป็นสองชนิด ได้แก่ แหล่งสัญญาณแบบต่อกราวด์ (Grounded source) และแบบไม่ต่อกราวด์ (Floating source)



รูปที่ 2.16 แหล่งสัญญาณแบบต่อกราวด์และแบบไม่ต่อกราวด์

2.6.3 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) มาเลียนแบบค่าอนาล็อก (ซึ่งมีจำนวนไม่จำกัด) ซึ่งจะมีการปรับค่าอุปกรณ์ในการตั้งสัญญาณ ดังนี้

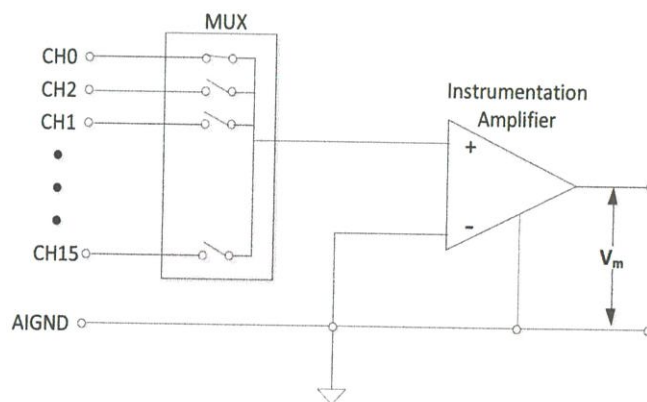
2.6.3.1 Sampling กระบวนการนี้เป็นการเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกที่เป็นเส้นกราฟต่อเนื่องให้กลายเป็นจุดของข้อมูลดิจิทัลที่ไม่ต่อเนื่องด้วยวิธีการสุ่มสัญญาณที่เรียกว่า Sampling ด้วยอัตราคงที่ ยิ่งการสุ่มสัญญาณเร็วขึ้น จุดที่ได้จากการสุ่มก็จะหนาแน่นมากขึ้น ทำให้เก็บความละเอียดของเส้นกราฟได้ใกล้เคียงต้นฉบับมากขึ้น ความเร็วในการสุ่มสัญญาณเรียกว่า Samplingrate มีหน่วยเป็นจุดต่อวินาที (sample/s) หรือ Hz

2.6.3.2 Resolution ในการ Sampling คือการสุ่มสัญญาณทางแกนแต่สำหรับแกนตั้งซึ่งจะเป็นค่าของสัญญาณ ก็จะต้องทำการสุ่มเช่นกัน เพื่อเปลี่ยนให้เป็นค่าทางดิจิทัลด้วยวิธีการปัดค่าทศนิยมขึ้นหรือลง เรียกขั้นตอนนี้ว่า Quantization หรือ Digitization ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความละเอียดของ ADC ถ้ามีความละเอียดมากก็สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณอนาล็อกให้ละเอียดยิ่งขึ้น (ความละเอียดของ ADC คือจำนวนบิต)

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

2.6.4 ประเภทของระบบการวัดสัญญาณ เนื่องจากแหล่งสัญญาณมีสองประเภทที่ได้กล่าวมาแล้ว คือ floating source กับ grounded source เราจึงมีวิธีในการต่อสายเข้ากับอุปกรณ์ DAQ ที่แตกต่างกันตามความเหมาะสมด้วย ในกรณีที่อุปกรณ์ DAQ ไม่ได้มีส่วน isolation มาให้

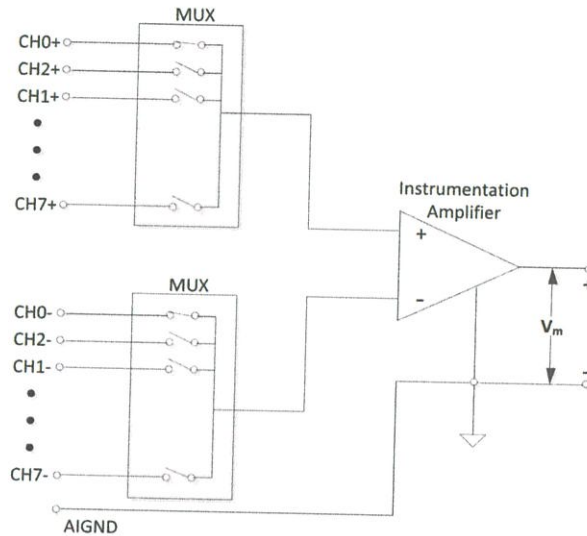
2.6.4.1 Differential (DIFF) คือการวัดสัญญาณที่ขาบวกและขาลบของแหล่งสัญญาณไม่ได้ต่อกับจุดอ้างอิงใด ๆ เช่นกราวด์ ดังในภาพ โดยเราจะต่อขาบวกของสัญญาณไปที่ช่อง CHx+ แลขาลบที่ช่อง CHx- โดยที่ AIGND (analog input ground) คือกราวด์ของระบบการวัด



รูปที่ 2.17 การวัดสัญญาณแบบ Differential

ในภาพเป็นอุปกรณ์ที่มี analog input จำนวน 16 ช่อง การต่อสัญญาณในแบบ DIFF จะทำให้เหลือจำนวนช่องที่สามารถใช้ได้เพียงครึ่งหนึ่ง คือ 8 ช่อง คือ CH0 ถึง CH7

2.6.4.2 Referenced Single-Ended (RSE) คือการวัดสัญญาณที่มีการเทียบกับ AIGND ซึ่งใช้เป็นจุดอ้างอิง โดยเราจะต่อขาบวกของช่องสัญญาณไปที่ช่อง CH_x และต่อขาลบของทุกช่องรวมกันที่ AIGND

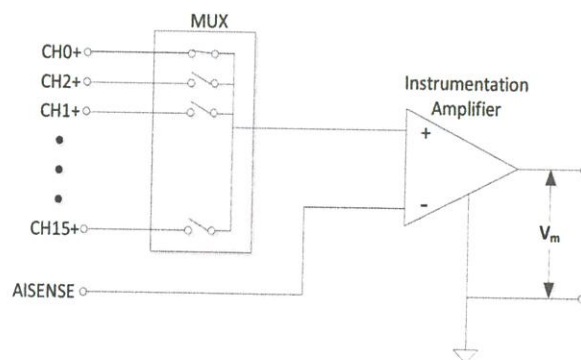


รูปที่ 2.18 การวัดสัญญาณแบบ Referenced Single-Ended

ในภาพเป็นอุปกรณ์ตัวเดิมที่มี analog input 16 ช่อง แต่ทำการวัดในโหมด RSE ซึ่งจะทำให้เราสามารถวัดสัญญาณได้ทั้งหมด 16 ช่อง

เราจะหลีกเลี่ยงการต่อสัญญาณแบบ grounded source ด้วยวิธีนี้ เพราะเป็นการต่อกราวด์สัญญาณเข้ากับกราวด์ระบบวัด ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหากราวด์ลูปได้

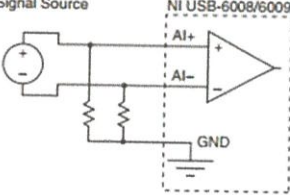
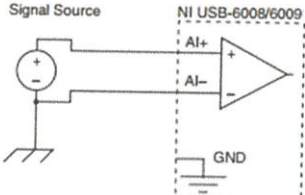
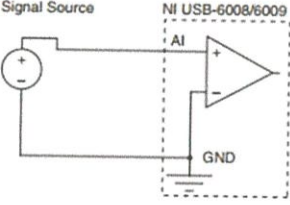
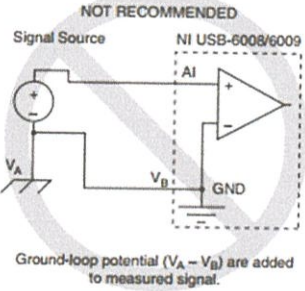
2.6.4.3 Non-Referenced Single-Ended (NRSE) เป็นระบบที่คล้ายกับ RSE แต่จะใช้จุดอ้างอิงเป็น AISENSE (analog input sense) แทน ซึ่งไม่ใช่กราวด์ และศักย์ไฟฟ้าที่จุดนี้ก็จะแตกต่างกับ AIGND ด้วย



รูปที่ 2.19 การวัดสัญญาณแบบ Non-Referenced Single-Ended

มีอุปกรณ์บางรุ่นเท่านั้นที่รองรับการอ่านสัญญาณในโหมด NRSE โดยถ้าอุปกรณ์มีช่อง AISENSE ก็แสดงว่าสามารถวัดในโหมดนี้ได้

โดยสรุปแล้วเรามีวิธีการต่อสัญญาณทั้งหมดหกแบบดังภาพ แต่จะมีบางแบบที่ไม่แนะนำซึ่งได้กล่าวไปแล้ว และบางแบบที่ไม่มีกราวด์อ้างอิงก็จำเป็นต้องต่อตัวต้านทานไบแอสไปลง AIGND โดยตัวต้านทานนี้สามารถใช้ขนาด 100kOhm จนถึง 1MOhm (หรือคิดเป็นประมาณ 100 เท่าของอิมพีแดนซ์ของแหล่งสัญญาณ)

Analog Input Mode	Floating Signal Sources (Not Connected to Building Ground) Examples: <ul style="list-style-type: none"> • Ungrounded thermocouples • Signal conditioning with isolated outputs • Battery devices 	Ground-Referenced Signal Sources Example: <ul style="list-style-type: none"> • Plug-in instruments with non-isolated outputs
Differential (DIFF)	Signal Source NI USB-6008/6009 	Signal Source NI USB-6008/6009 
Referenced Single-Ended (RSE)	Signal Source NI USB-6008/6009 	NOT RECOMMENDED Signal Source NI USB-6008/6009 

รูปที่ 2.20 วิธีการต่อสัญญาณ

2.7 โปรแกรม LabVIEW

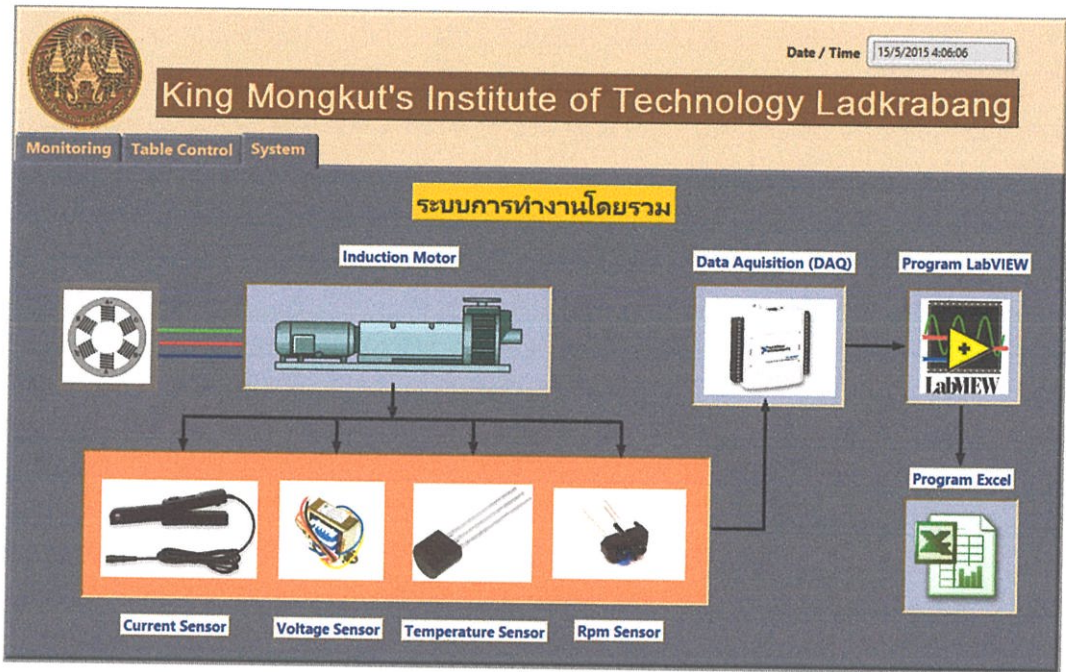
LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นมานำมาใช้ในด้านการวัดและเครื่องมือวัดสำหรับงานทางด้านวิศวกรรม ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สร้างเครื่องมือวัดเสมือนจริงในห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรม ดังนั้นจุดประสงค์หลักของโปรแกรมนี้คือการจัดการในด้านการวัดและเครื่องมือวัด อย่างมีประสิทธิภาพ ในตัวของโปรแกรมจะประกอบไปด้วยฟังก์ชันที่ช่วยในการวัดมากมาย โปรแกรม LabVIEW จะเป็นโปรแกรมประเภท GUI (Graphical User Interface) โดยเราไม่จำเป็นต้องเขียนโค้ดหรือคำสั่งใดๆ และลักษณะภาษาที่ใช้ในโปรแกรมจะเรียกว่า ภาษารูปภาพ หรือ Graphical language แทนการเขียนโปรแกรมเป็นบรรทัดอย่างที่เราค้นเคยกับภาษาพื้นฐาน เช่นภาษาซี, 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

2.7.1 ส่วนประกอบของโปรแกรม LabVIEW

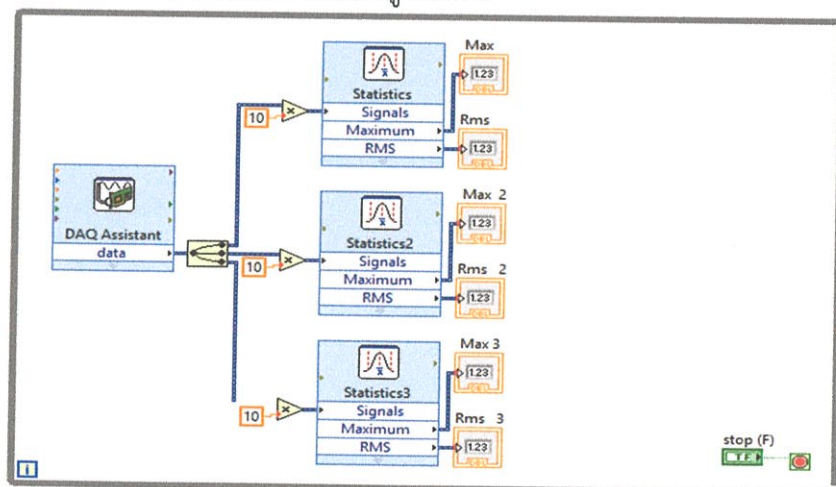
โปรแกรมที่เขียนขึ้นมาด้วย LabVIEW เราจะเรียกว่า Virtual Instrument (VI) เพราะลักษณะที่ปรากฏทางจอมอนิเตอร์ของของผู้ใช้ จะเหมือนกับเครื่องมือหรืออุปกรณ์ทางวิศวกรรม สำหรับส่วนประกอบของ VI จะประกอบไปด้วยส่วนสำคัญสามส่วน คือ

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



รูปที่ 2.21 ลักษณะของหน้า Front Panel

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



รูปที่ 2.22 ลักษณะของหน้า Block Diagram

2.7.1.3 Icon And Connector เปรียบเสมือนโปรแกรมย่อยในโปรแกรมหลักต่างๆ ไป โดย 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 2.23 แสดงรูป Icon และ Connector

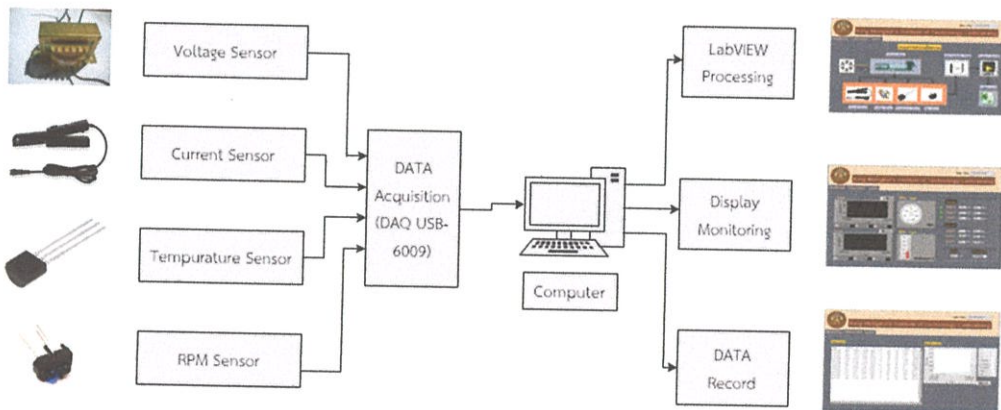
ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของโปรแกรม LabVIEW

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

บทที่ 3

การออกแบบการทดลอง

โครงการนี้เป็นการออกแบบเครื่องมือและโปรแกรมที่ใช้แสดงค่าสถานะต่าง ๆ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส โดยมีตัวแปลงจากสัญญาณอะนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลคือ Data acquisition (DAQ) โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ออกแบบหน้าจอแสดงผลซึ่งเรียกว่า Front Panel ซึ่งจะประกอบไปด้วยกราฟและค่าของแรงดันและกระแสทั้ง 3 เฟส รวมถึงอุณหภูมิและความเร็วรอบด้วย ระบบโดยรวมแสดงในรูปที่



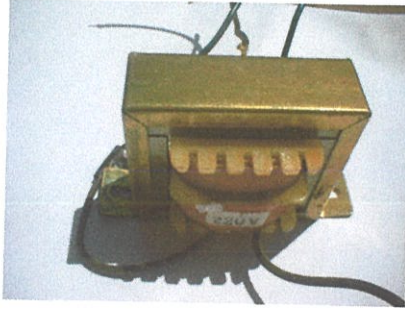
รูปที่ 3.1 ระบบการทำงานโดยรวม

จากรูปที่ 3.1 จะสามารถแบ่งการทำงานได้ทั้งหมด 4 ส่วน

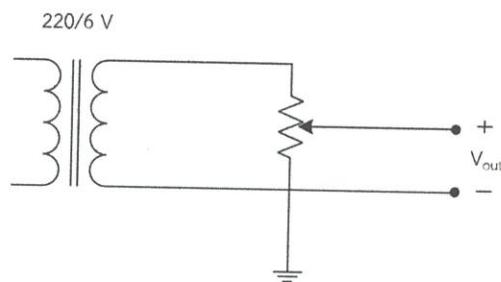
1. เซนเซอร์แรงดัน กระแส อุณหภูมิ และความเร็วนำจะส่งสัญญาณเข้าสู่ DAQ
2. อุปกรณ์ DAQ จะรับสัญญาณเข้ามาและแปลงสัญญาณให้สามารถนำมาใช้ในโปรแกรม LabVIEW ได้
3. ออกแบบและวิเคราะห์สัญญาณในโปรแกรม LabVIEW แสดงค่าต่าง ๆ ที่ต้องการในหน้า front panel ได้
4. ทำการบันทึกข้อมูลที่วัดได้ทั้งหมดในรูปแบบของ excel

3.1 ออกแบบเซนเซอร์

3.1.1 เซนเซอร์วัดแรงดัน



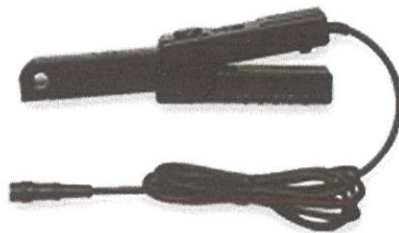
รูปที่ 3.2 หม้อแปลงแรงดัน 220/6 V



รูปที่ 3.3 วงจรเซนเซอร์วัดแรงดัน

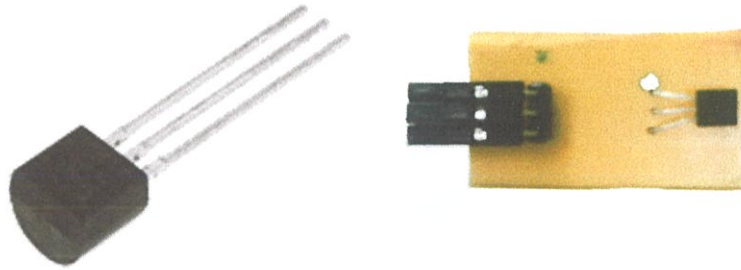
จากรูปที่ 3.3 เมื่อแปลงแรงดันมาทางด้านทุติยภูมิแล้วจะต่อ R ปรับค่าได้เพื่อให้สามารถปรับค่า V_{out} ได้ตามต้องการ

3.1.2 เซนเซอร์วัดกระแส

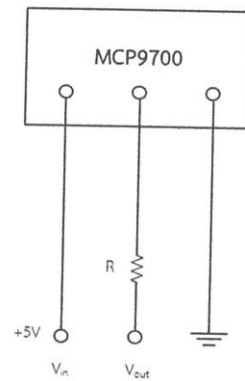


รูปที่ 3.4 Clamp Sensor 100 A_{peak}

3.1.3 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ

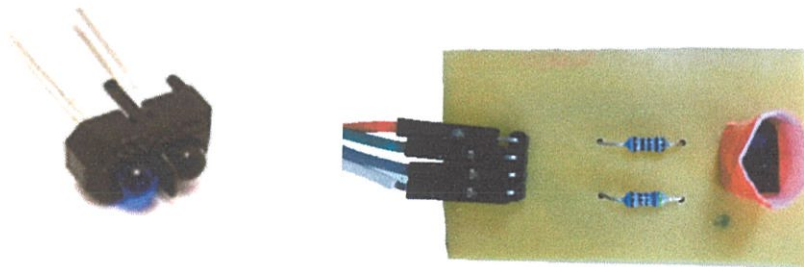


รูปที่ 3.5 MCP9700 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ $-40 - 125^{\circ}\text{C}$

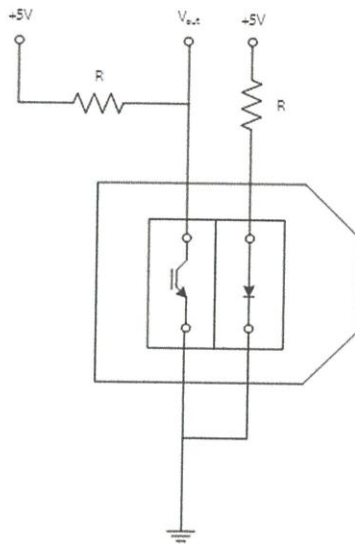


รูปที่ 3.6 วงจรเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ

3.1.4 เซนเซอร์วัดความเร็วรอบ



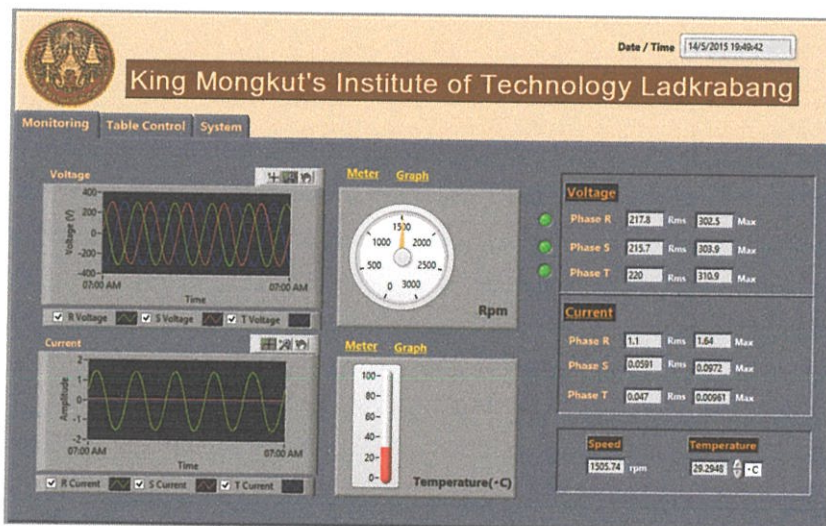
รูปที่ 3.7 TCRT5000 เซนเซอร์วัดความเร็วรอบ



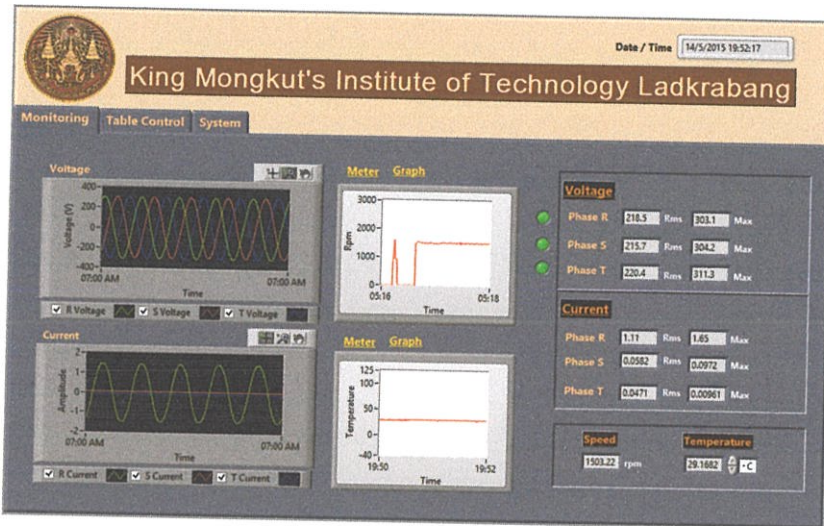
รูปที่ 3.8 วงจรเซนเซอร์วัดความเร็วรอบ

3.2 การออกแบบโปรแกรมการแสดงผล

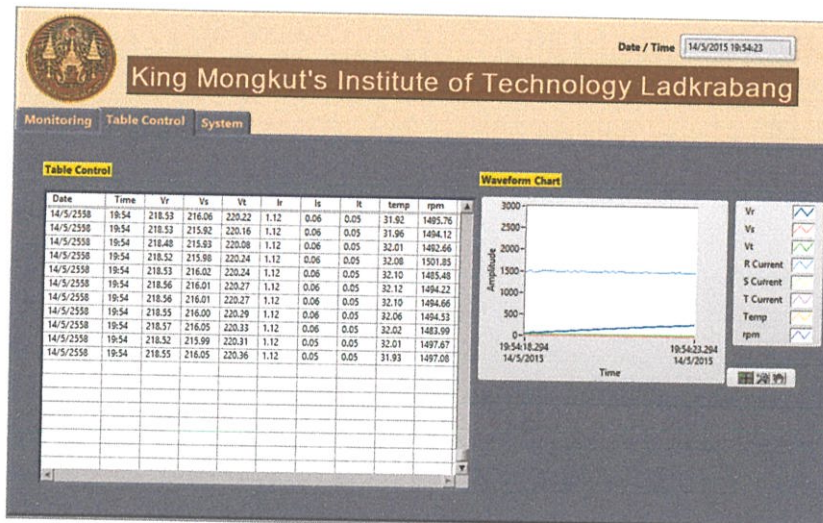
3.2.1 การออกแบบหน้าจอ Front Panel



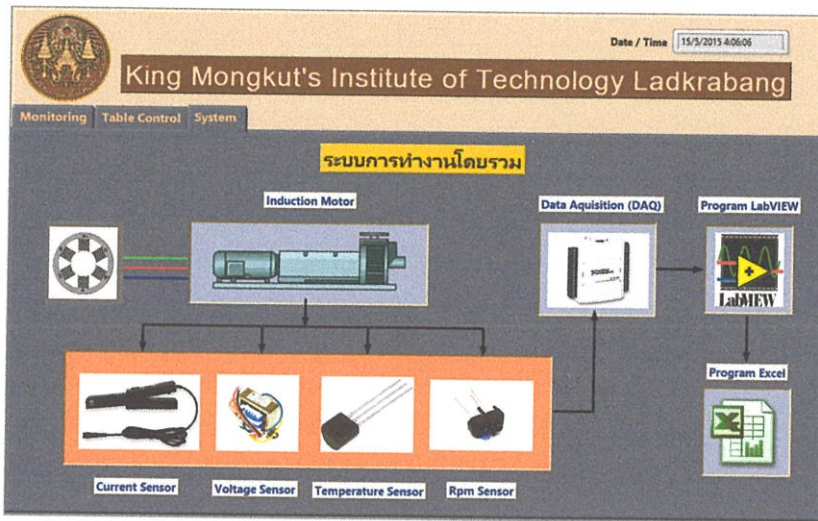
รูปที่ 3.9 หน้าจอแสดงผลที่ 1



รูปที่ 3.10 หน้าจอแสดงผลที่ 2



รูปที่ 3.11 หน้าจอแสดงผลที่ 3

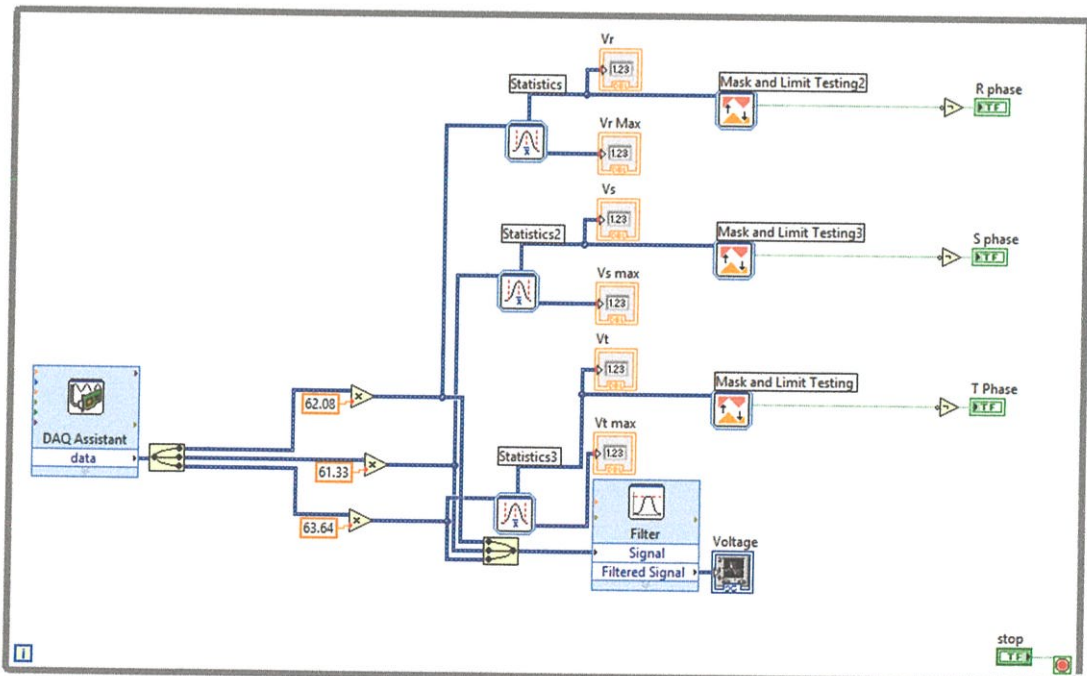


รูปที่ 3.12 หน้าจอแสดงผลที่ 4

จากรูปที่ 3.12 เป็นรูปของ Front Panel ของหน้าจอ Monitoring , Table Control และ System ตามลำดับโดย Monitoring จะเป็น Graph และ Meter เพื่อแสดงค่าแบบ real-time ส่วน Table Control เป็นการแสดงผลแบบตารางเพื่อให้สามารถดูค่าที่ผ่านมาได้ ส่วนสุดท้ายในหน้าของ System จะเป็นกระบวนการทำงานระบบโดยรวม

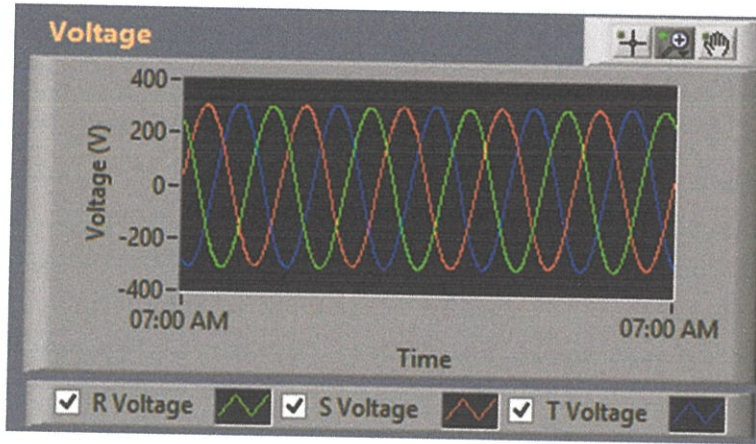
3.2.2 การออกแบบหน้าจอ Block Diagram

1. การวัดแรงดัน



รูปที่ 3.13 Block Diagram การวัดแรงดันของโปรแกรม LabVIEW

การวัดแรงดัน ใช้หม้อแปลงที่พิกัด 220/6 V จะได้แรงดันทางด้านทุติยภูมิต่อผ่าน R ปรับค่าได้ ให้ได้ V_{out} อยู่ในช่วง 0-10V เนื่องจากตัวของDAQ (Data Acquisition) อินพุตได้สูงสุด 10 V สามารถดูรูปวงจรได้จากรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.14 Front Panel ของแรงดันทั้ง 3 เฟส

จากรูปที่ เป็น Block Diagram ที่เขียนขึ้นบนโปรแกรม LabVIEW โดยโปรแกรมจะรับสัญญาณมาจาก DAQ ซึ่งจะได้ V_{out} ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส นำมาสร้างฟังก์ชันปรับค่าให้ได้ค่าจริงดังรูปที่ 3.14

ตารางที่ 3.1 ตารางเปรียบเทียบค่าแรงดันจากด้านปฐมภูมิกับแรงดันที่เข้าอุปกรณ์ DAQ

ครั้งที่	Voltage			DAQ (V)		
	R	S	T	R	S	T
1	41.8	41.3	43	0.659	0.662	0.66
2	80.3	78.5	80.9	1.272	1.262	1.246
3	120.3	118.7	120.6	1.909	1.914	1.88
4	160	157.8	161.2	2.539	2.5488	2.494
5	200.6	198.5	200.1	3.187	3.203	3.12
6	220.4	217.9	222	3.497	3.515	3.428

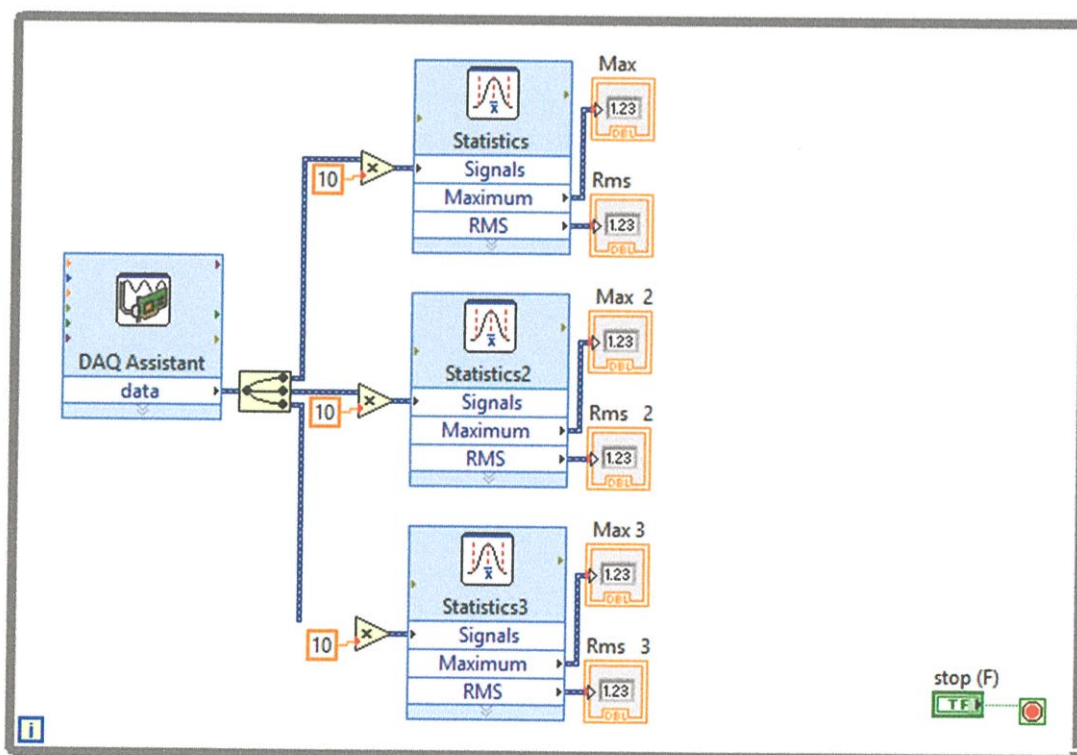
จากตารางที่ 3.1 สามารถหาตัวคูณได้จาก

$$A = \frac{V_{\text{ปฐมภูมิ}}}{V_{\text{DAQ}}} \quad (3.1)$$

ตารางที่ 3.2 ตารางค่าปรับสัญญาณเพื่อให้ได้ค่าตามจริง

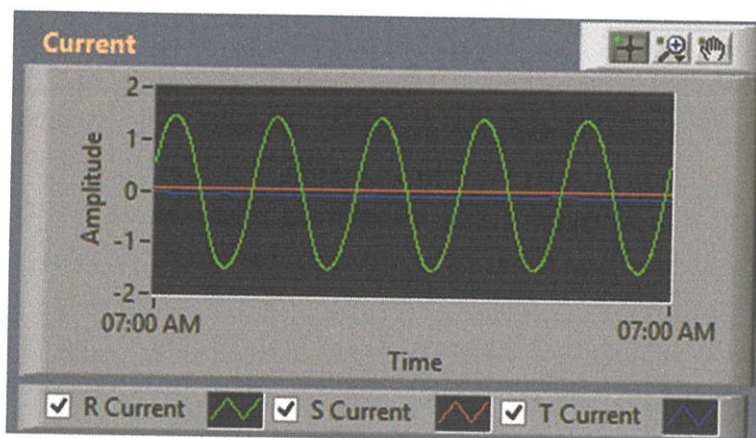
ครั้งที่	Voltage(คูณ)		
	R	S	T
1	63.42944	62.38671	65.15152
2	63.12893	62.20285	64.92777
3	63.01729	62.01672	64.14894
4	63.01694	61.91149	64.63512
5	62.94321	61.97315	64.13462
6	63.02545	61.99147	64.76079
เฉลี่ย	63.09354	62.0804	64.62646

2. การวัดกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 3.15 Block Diagram การวัดกระแสของโปรแกรม LabVIEW

การวัดกระแสโดยใช้ Current Probe พิกัด 100mV/A และวัดกระแสได้สูงสุด 100 Apeak โดยส่งสัญญาณเป็นแรงดันเข้าอุปกรณ์ DAQ เพื่อนำมาวิเคราะห์ทีในโปรแกรม LabVIEW มาสร้างฟังก์ชันเพื่อปรับค่าให้ได้ค่าจริงดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 Front Panel ของกระแส

ตารางที่ 3.3 ตารางค่ากระแสทางด้านปฐมภูมิกับกระแสที่เข้าอุปกรณ์ DAQ

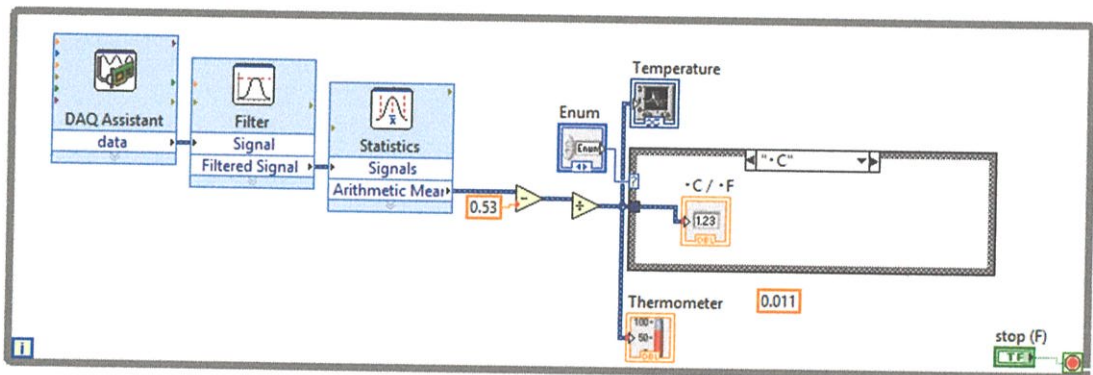
ครั้งที่	Current	DAQ
1	0.4	0.042
2	0.6	0.064
3	0.8	0.083
4	1	0.102
5	1.2	0.122

$$A = \frac{I_{\text{ปฐมภูมิ}}}{I_{\text{DAQ}}} \quad (3.2)$$

ตารางที่ 3.4 ตารางค่าปรับสัญญาณเพื่อให้ได้ค่าตามจริง

ครั้งที่	Current (ตัวคูณ)
1	9.501
2	9.375
3	9.638
4	9.803
5	9.771
เฉลี่ย	9.618

3. การวัดอุณหภูมิ



รูปที่ 3.17 Block Diagram การวัดอุณหภูมิของโปรแกรม LabVIEW

การวัดอุณหภูมิตัวรับสัญญาณ MCP9700 โดยรับสัญญาณอะนาล็อกไปเป็นดิจิตอล เมื่ออุณหภูมิเพิ่มกราฟก็จะเพิ่มตามซึ่งจากสมการ

$$T_A = \frac{V_{out} - V_0}{T_C} \quad (3.3)$$

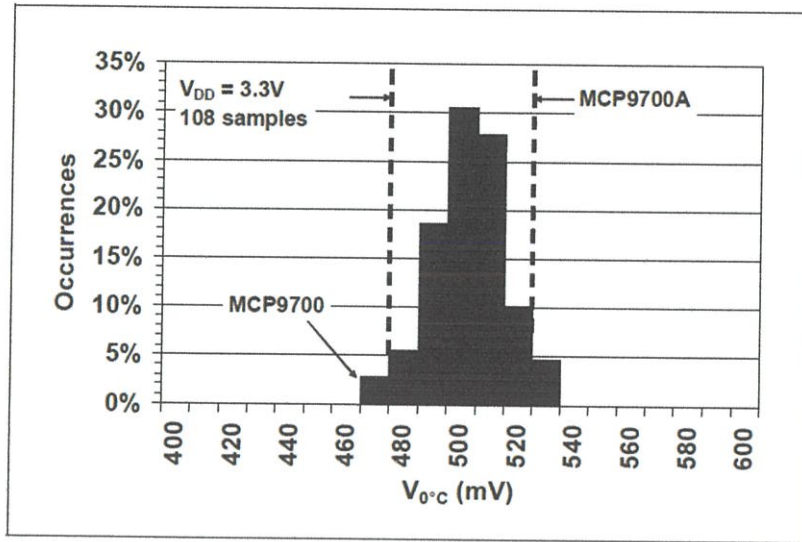
เมื่อ T_A คือ อุณหภูมิที่ต้องการ

T_C คือ อัตราส่วนระหว่างแรงดันขาออกกับอุณหภูมิมิมีหน่วยเป็น (mV/°C)

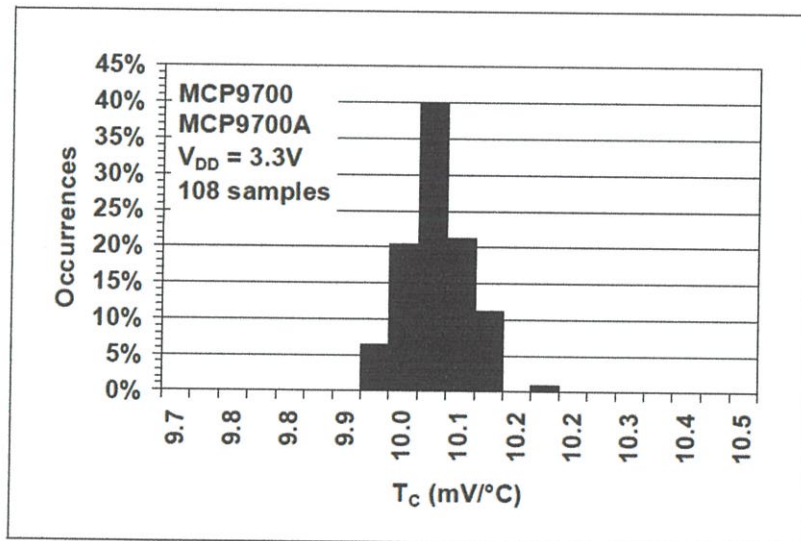
V_0 คือ แรงดันขาออกเมื่ออุณหภูมิเท่ากับ 0°C

V_{out} คือ แรงดันขาออกที่ได้

ค่าต่าง ๆ สามารถดูได้จากรูปที่ 3.18 และ 3.19



รูปที่ 3.18 กราฟค่า $V_{0^{\circ}\text{C}}$

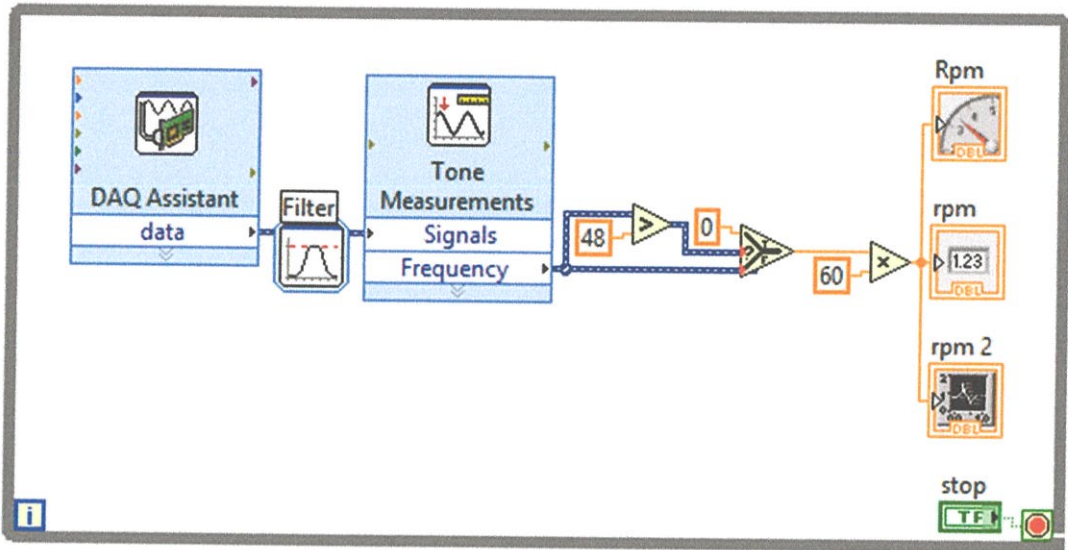


รูปที่ 3.19 กราฟค่า T_c

ใช้ฟังก์ชันในโปรแกรม LabVIEW เปลี่ยนหน่วยจากองศาไปเป็นฟาเรนไฮต์ได้จากสมการ

$$T_F = T_C \times \frac{9}{5} + 32 \quad (3.4)$$

4. การวัดความเร็วรอบ

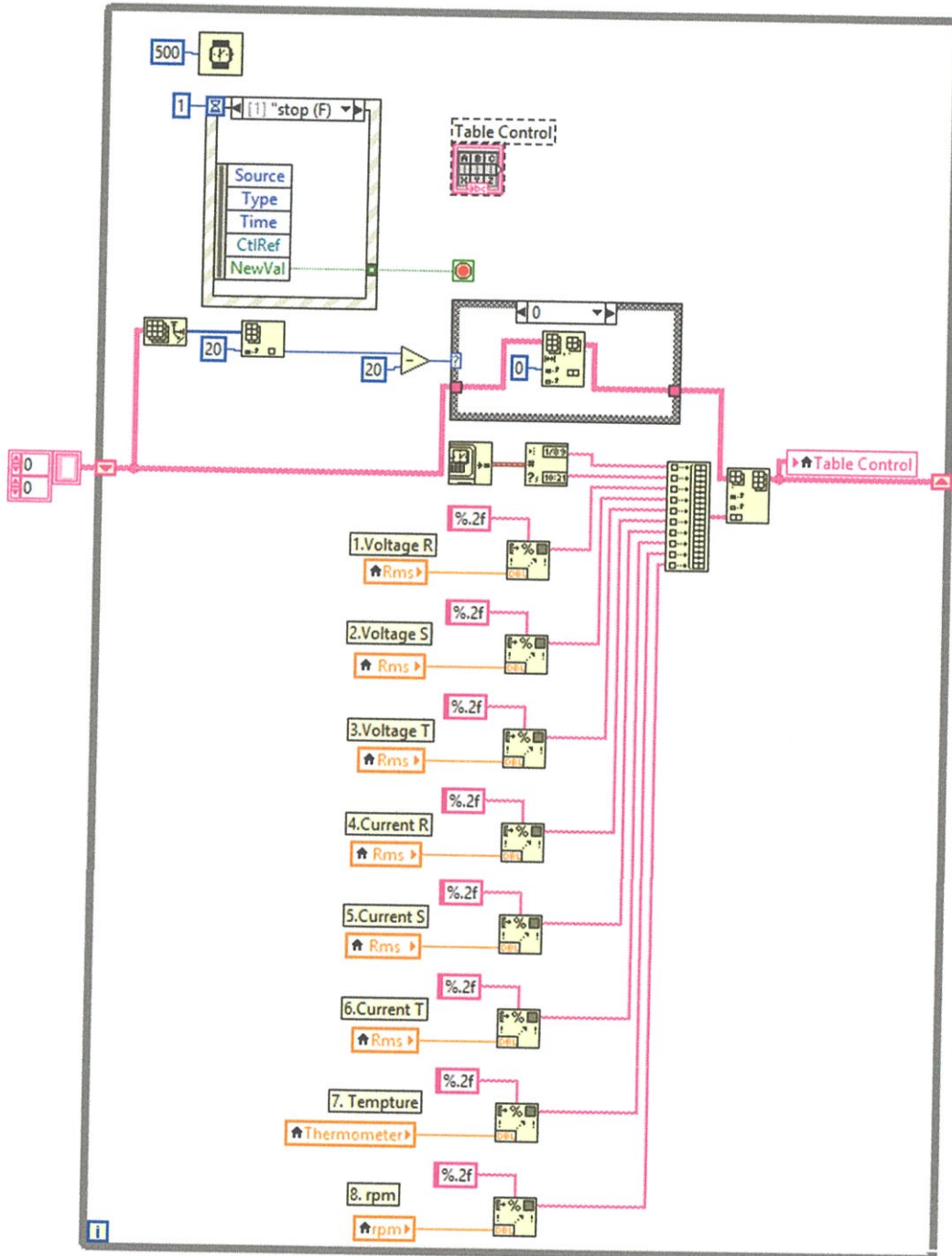


รูปที่ 3.20 Block Diagram การวัดความเร็วรอบของโปรแกรม LabVIEW

จากรูปที่ 3.20 เมื่อรับค่าสัญญาณมาจากเซนเซอร์ TCRT5000 สัญญาณที่ได้จะมีค่าเป็น Pulse ใช้ฟังก์ชัน Tone Measurements เพื่อนับความถี่ใน 1 วินาทีว่าได้กี่รอบ นำไปใส่ฟังก์ชันคูณ 60 เพื่อให้เป็นค่า rpm และแสดงออกทาง meter

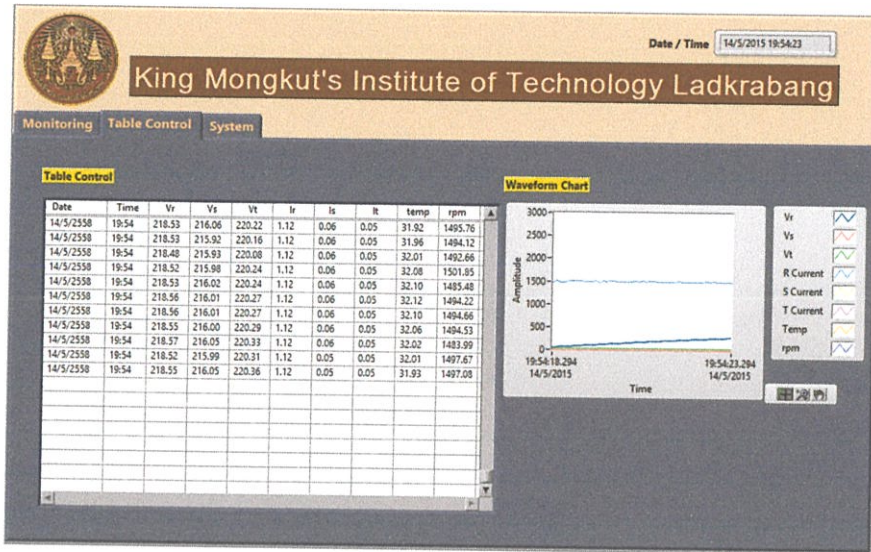
$$\text{Rpm} = f (\text{ความถี่ที่วัดได้}) \times 60 \quad (3.5)$$

5. การแสดงข้อมูลแบบ Table Control



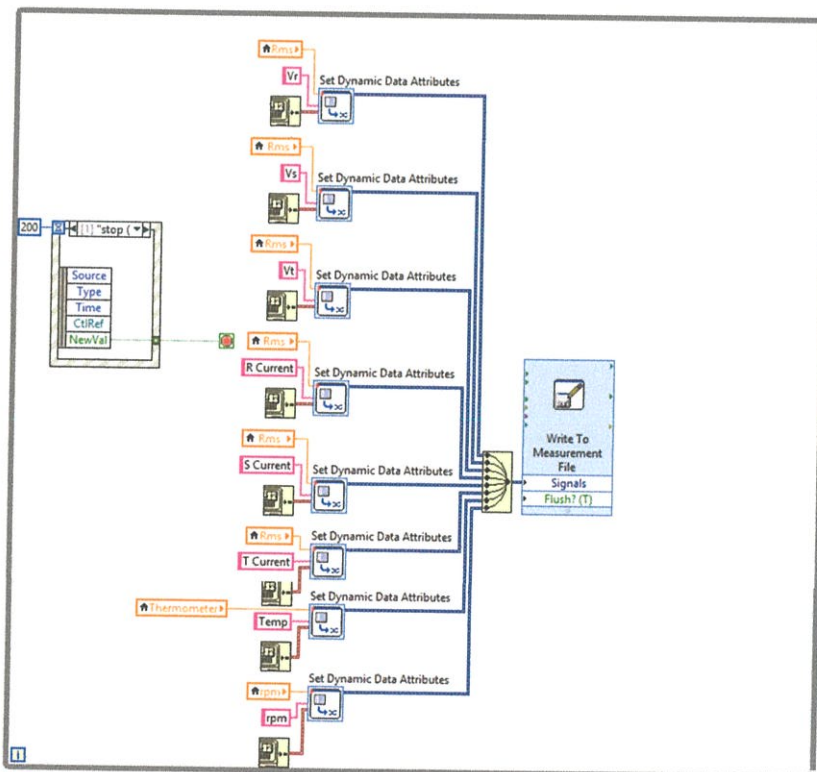
รูปที่ 3.21 Block Diagram การเขียน Table Control

จากรูปที่เป็นการแสดงผลแบบตารางบนหน้าจอ Front Panel เพื่อแสดงค่าที่วัดได้ไว้ของเซนเซอร์ทุกตัวจาก Block Diagram เป็นการเก็บค่าแบบ Row และ Column เข้าสู่ Table Control ใช้ Loop case เพื่อให้เป็นการแสดงค่าแบบวนบรรทัดได้เมื่อรับค่าทุกค่าครบ 1 รอบแล้ว



รูปที่ 3.22 Front Panel ของ Table Control

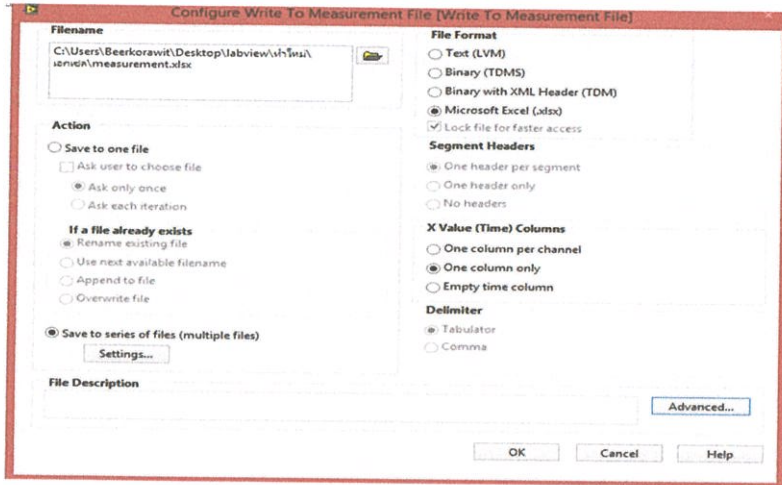
6. การบันทึกข้อมูล



รูปที่ 3.23 Block Diagram การบันทึกข้อมูล

จากรูปที่เป็นการบันทึกข้อมูลที่ได้ทำการวัดใช้ฟังก์ชัน Write to measurement เพื่อเก็บค่าที่วัดได้ของเซนเซอร์แรงดัน , กระแส , อุณหภูมิ และ ความเร็วรอบ ไว้ในรูปแบบของ

โปรแกรม Excel โดยจะบันทึกค่าทุก ๆ ค่าขณะที่โปรแกรมทำงานอยู่ แสดงตัวอย่างของโปรแกรม Excel ดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.24 การตั้งค่าของฟังก์ชัน Write to measurement

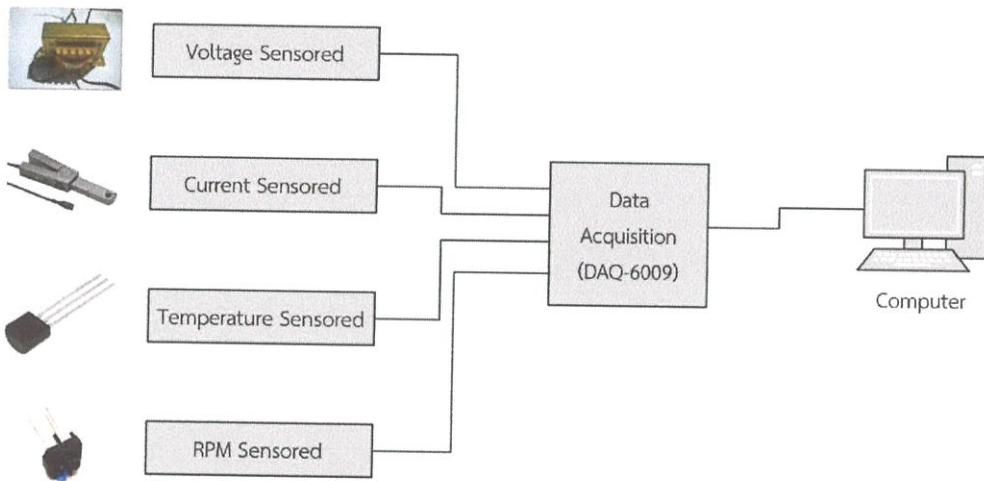
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Time	Vr	Vs	Vt	R Current	S Current	T Current	Temp	rpm	
2	13/5/2011 21:30	221.89	219.3912	221.5675	1.240552	0.055007	0.045309	31.41541	1466.64	
3	13/5/2011 21:30	221.875	219.4173	221.5199	1.232621	0.05482	0.045417	31.36049	1466.038	
4	13/5/2011 21:30	221.9232	219.4029	221.509	1.23552	0.054527	0.045255	31.38778	1466.574	
5	13/5/2011 21:30	221.8897	219.3576	221.4883	1.233579	0.054729	0.04528	31.35408	1467.959	
6	13/5/2011 21:30	221.8897	219.3576	221.4883	1.233579	0.054729	0.04528	31.35408	1467.959	
7	13/5/2011 21:30	221.8811	219.4206	221.436	1.22789	0.054666	0.045365	31.33952	1466.04	
8	13/5/2011 21:30	221.8919	219.4243	221.474	1.229785	0.054601	0.045529	31.37202	1468.684	
9	13/5/2011 21:30	221.8856	219.3972	221.4734	1.233361	0.05466	0.045565	31.34453	1466.812	
10	13/5/2011 21:30	221.8856	219.3972	221.4734	1.233361	0.05466	0.045565	31.34453	1466.812	
11	13/5/2011 21:30	221.907	219.447	221.4124	1.228197	0.054744	0.04509	31.34384	1465.341	
12	13/5/2011 21:30	221.9717	219.4401	221.4389	1.245878	0.05449	0.045028	31.36394	1466.081	
13	13/5/2011 21:30	221.7141	219.2258	221.2428	1.396893	0.054877	0.045311	31.31557	1452.82	
14	13/5/2011 21:30	221.3349	218.8607	220.9163	1.90469	0.054784	0.045468	31.31694	1403.91	
15	13/5/2011 21:30	221.3349	218.8607	220.9163	1.90469	0.054784	0.045468	31.31694	1403.91	
16	13/5/2011 21:30	221.0905	218.6439	220.7114	2.361868	0.054832	0.045325	31.30296	1364.055	
17	13/5/2011 21:30	220.9409	218.4925	220.5516	2.750934	0.054923	0.045396	31.27637	1330.421	
18	13/5/2011 21:30	220.9106	218.3709	220.4777	3.022582	0.054729	0.045486	31.29995	1304.274	
19	13/5/2011 21:30	220.9106	218.3709	220.4777	3.022582	0.054729	0.045486	31.29995	1304.274	
20	13/5/2011 21:30	220.9261	218.3696	220.4808	3.071564	0.054816	0.045463	31.28321	1300.285	
21	13/5/2011 21:30	220.9339	218.3454	220.5082	3.106643	0.054796	0.044882	31.30082	1297.07	
22	13/5/2011 21:30	220.9504	218.3406	220.5437	3.138351	0.054515	0.04514	31.27402	1293.777	
23	13/5/2011 21:30	221.0057	218.346	220.5889	3.105842	0.054777	0.045361	31.28861	1297.081	
24	13/5/2011 21:30	221.0057	218.346	220.5889	3.105842	0.054777	0.045361	31.28861	1297.081	
25	13/5/2011 21:30	221.0394	218.3949	220.6541	3.075756	0.054802	0.044942	31.31848	1299.376	
26	13/5/2011 21:30	221.1111	218.3883	220.6714	3.094515	0.054261	0.045405	31.3063	1298.096	
27	13/5/2011 21:30	221.0902	218.3795	220.6858	3.097652	0.054471	0.045278	31.30658	1299.729	
28	13/5/2011 21:30	220.9856	218.3014	220.6448	3.061954	0.054466	0.045223	31.30541	1303.077	

รูปที่ 3.25 ตัวอย่างของโปรแกรม Excel ที่มีการบันทึกค่าไว้

บทที่ 4

การทดลองและการเก็บข้อมูล

บทนี้จะกล่าวถึงการนำอุปกรณ์ตรวจวัดที่ได้ทำการออกแบบมาทดลองใช้งานจริง โดยในการทดลองจะทำการวัดค่าของกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า ความเร็วรอบ และอุณหภูมิของมอเตอร์

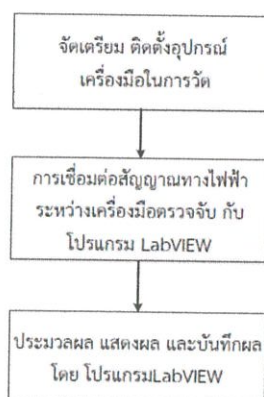


รูปที่ 4.1 ไดอะแกรมการทดลอง

4.1 อุปกรณ์ในการทดลอง

1. เครื่องมือในการตรวจจับสัญญาณ (sensor)
 - Temperature sensor
 - Speed sensor
2. อุปกรณ์ตรวจจับพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า (Voltage, Current)
3. Data acquisition (DAQ) รุ่น NI USB-6009 , 8 inputs , 14 bits , 48 kS/s , Multifunction I/O
4. Induction motor
5. แหล่งจ่ายไฟสามเฟส
6. DC Supply 5V
7. ชุดโปรแกรม LabVIEW 2013 (64-bit) และคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ

4.2 การทดลอง



รูปที่ 4.2 ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองจะติดตั้งอุปกรณ์เครื่องตรวจจับวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยมี (DAQ) เป็นตัวเชื่อมต่อสัญญาณทางไฟฟ้าจากเครื่องตรวจจับต่างๆ มาประมวลผลในโปรแกรม LabVIEW ต้องมีการแบ่งแยกสัญญาณของเครื่องตรวจจับแต่ละชนิด โดยจะมีการตั้งค่าพอร์ตของ DAQ ในโปรแกรม LabVIEW ว่าพอร์ตไหนรับสัญญาณเป็นอะไร เมื่อได้สัญญาณที่ถูกต้อง ก็นำสัญญาณที่ได้มาประมวลผล แสดงข้อมูล และบันทึกผล ในโปรแกรม LabVIEW

4.2.1 การจัดเตรียมอุปกรณ์ตรวจวัด

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดพารามิเตอร์ จะแบ่งลักษณะการวัดออกเป็น การวัดค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ คือ ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิ และความเร็รรอบ

4.2.2.1 อุปกรณ์ตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ การตรวจจับค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์จะใช้เครื่องตรวจจับคือ Voltage sensor ใช้ในการตรวจวัดแรงดัน, Current sensor ใช้ในการตรวจจับกระแส, temperature sensor ใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมิ และ Rpm sensor ใช้ในการวัดความเร็รรอบของมอเตอร์ และส่งสัญญาณไฟฟ้าผ่าน Data Acquisition (DAQ) ไปประมวลผล แสดงผล และบันทึกผล ในโปรแกรม LabVIEW

4.2.2 การตั้งค่าพอร์ตรับสัญญาณบนโปรแกรม LabVIEW

เนื่องจากอุปกรณ์ DAQ มีการรับส่งข้อมูลหลายค่าจึงจำเป็นต้องมีการกำหนดค่าพอร์ตของอุปกรณ์ DAQ ว่าพอร์ตไหนรับสัญญาณเป็นอะไร เพื่อลำดับการรับสัญญาณที่เข้ามาไปทำการประมวลผลได้อย่างถูกต้อง ในที่นี้จะมีสัญญาณเข้าทั้งหมด 8 สัญญาณด้วยกัน โดยจะใช้ DAQ ทั้งหมด 2 ตัว ซึ่งประกอบไปด้วยสัญญาณพัลส์ของ RPM sensor 1 สัญญาณ สัญญาณไฟฟ้า

กระแสตรงอีก 1 สัญญาณ และสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับอีก 6 สัญญาณ ซึ่งการตั้งค่าพอร์ตของอุปกรณ์ DAQ สามารถตั้งค่าได้ดังนี้

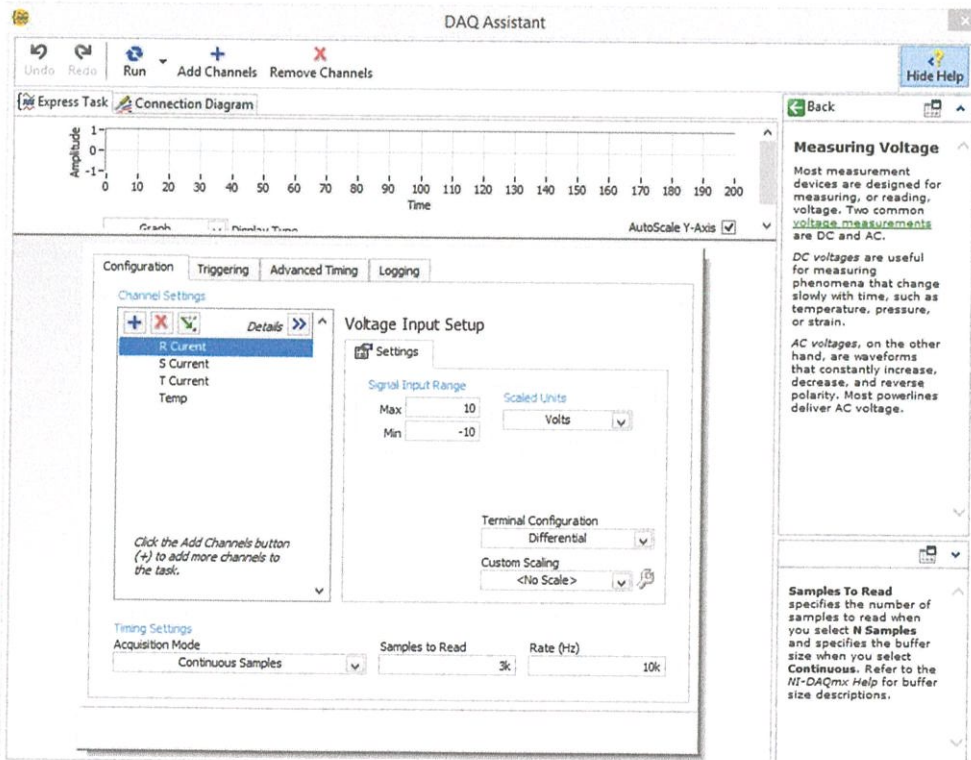
NI USB-6009 (Dev. 1)

1. Current sensor เฟส R : Channel : AI0
2. Current sensor เฟส S : Channel : AI1
3. Current sensor เฟส T : Channel : AI2
4. Temperature sensor : Channel : AI3

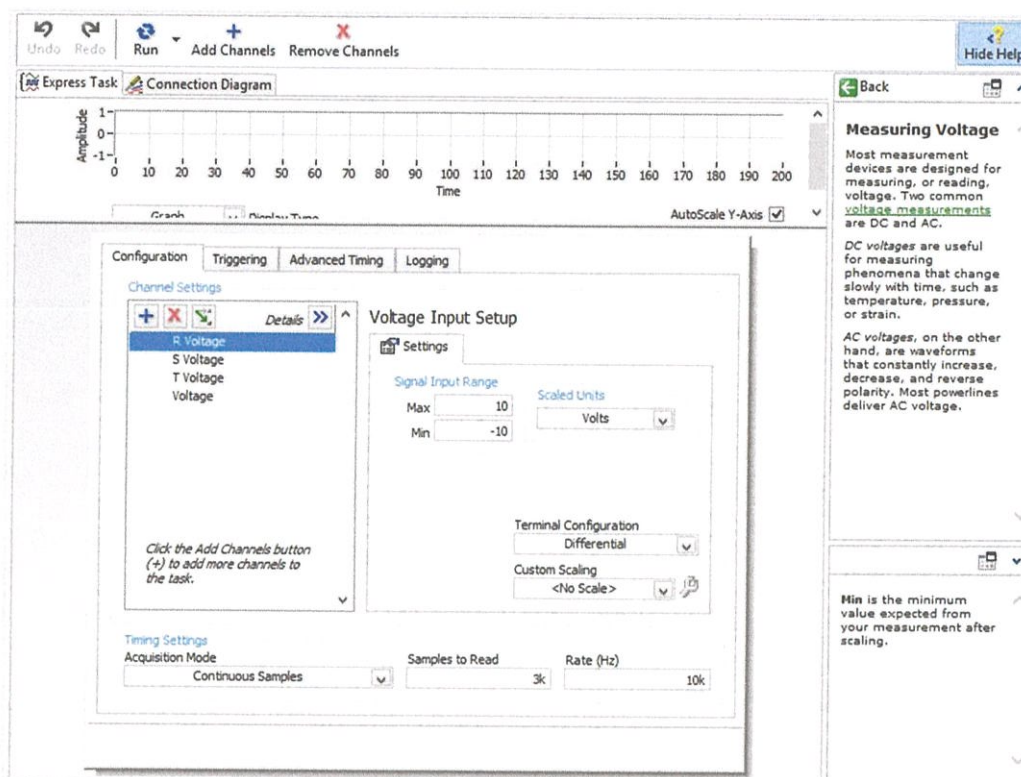
NI USB-6009 (Dev. 2)

5. Voltage Sensor เฟส R : Channel : AI0
6. Voltage Sensor เฟส S : Channel : AI1
7. Voltage Sensor เฟส T : Channel : AI2
8. RPM sensor; Channel: AI3

การตั้งค่าพอร์ตเชื่อมต่อของอุปกรณ์ DAQ สามารถตั้งค่าได้ตั้งข้อมูลข้างต้นแต่ทั้งนี้ การตั้งค่าพอร์ตของอุปกรณ์ DAQ ไม่จำเป็นต้องตั้งค่าตามนี้ แต่สามารถตั้งค่าได้ตามต้องการ ตามแต่ที่ผู้ใช้งานสะดวก แต่ต้องทราบว่าสัญญาณที่เข้ามานั้นเชื่อมต่อกับพอร์ตไหนของอุปกรณ์ DAQ เพื่อจะได้นำสัญญาณที่ถูกต้องไปใช้งาน



รูปที่ 4.3 การตั้งค่ารับพอร์ตรับสัญญาณของอุปกรณ์ DAQ (Dev 1)

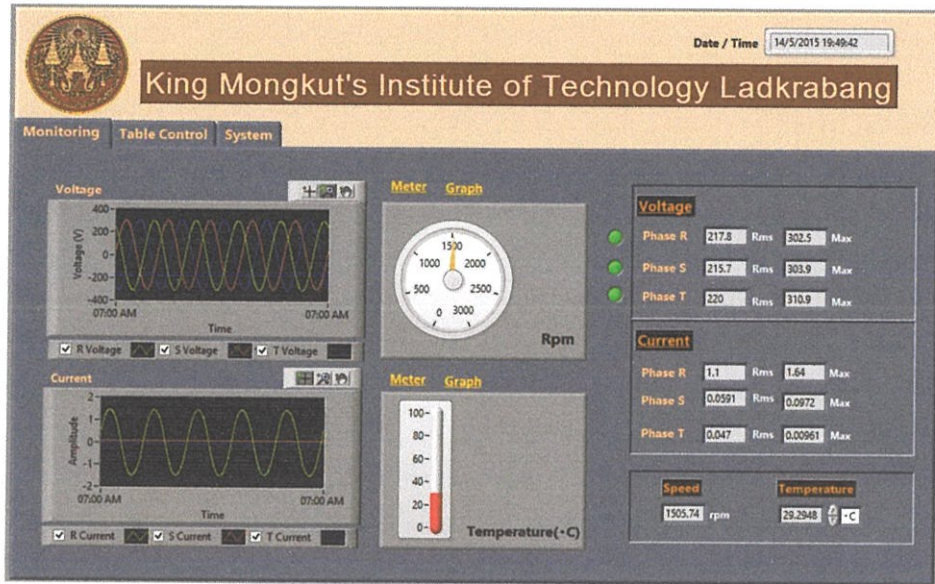


รูปที่ 4.4 การตั้งค่ารับพอร์ตรับสัญญาณของอุปกรณ์ DAQ (Dev 2)

4.2.3 การแสดงผลการวัดและบันทึกข้อมูล

เมื่อทำการรันโปรแกรมที่ทำการออกแบบจะมีการประมวลผลสัญญาณที่ได้รับเข้ามาเพื่อการวัดและบันทึกผลของค่า แรงดัน , กระแส , Rpm และอุณหภูมิ ที่ได้ทำการออกแบบไว้ นั้น ซึ่งการแสดงผลของโปรแกรมจะแสดงผลบนหน้า Front Panel ของโปรแกรม LabVIEW ที่ได้ออกแบบไว้ดังรูปที่ 4.5 , รูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7

4.2.3.1 การแสดงผลการวัด ของพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งทำการแสดงผลบนหน้า Front Panel โปรแกรม LabVIEW

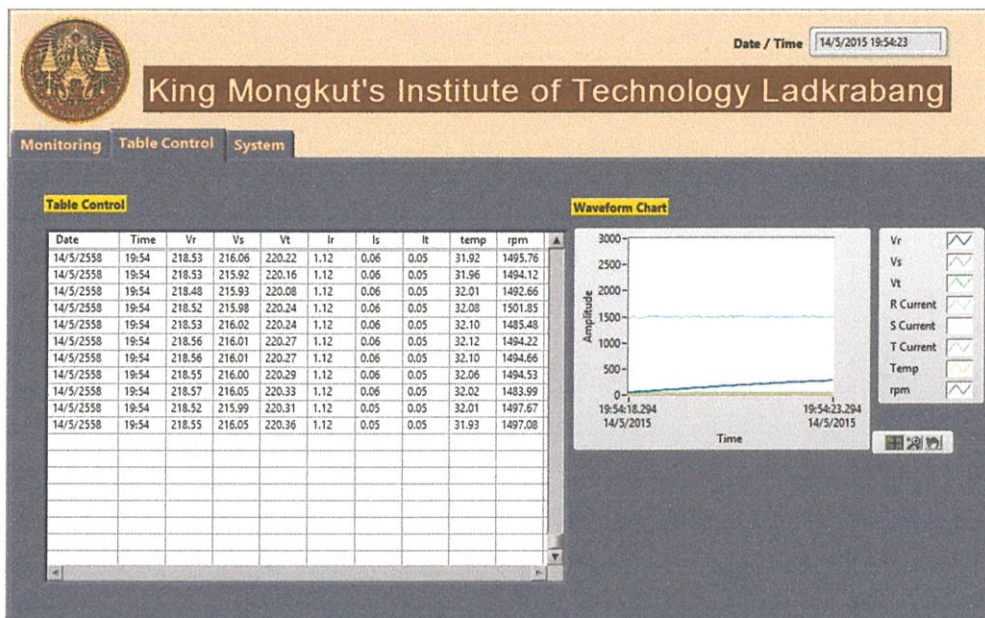


รูปที่ 4.5 หน้าจอหลักแสดงผลการวัด

จากรูปที่ 4.5 หน้าจอหลักแสดงผลการวัดประกอบไปด้วย

1. Date/Time เป็นการแสดงวันที่และเวลาขณะที่อุปกรณ์ตรวจวัดกำลังวัดและบันทึกผลข้อมูลอยู่
2. Voltage เป็นการแสดงผลการวัดระดับแรงดันของมอเตอร์ทั้งสามเฟส ประกอบไปด้วย เฟส R เฟส S เฟส T โดยสามารถแสดงผลได้เป็นตัวเลขได้ทั้งค่า Rms และ ค่าMax และสามารถแสดงผลในรูปของกราฟได้อีกด้วย โดยแสดงผลทางกราฟ Voltage
3. Current เป็นการแสดงผลการวัดระดับกระแสของมอเตอร์ทั้งสามเฟส ประกอบไปด้วย เฟส R เฟส S เฟส T โดยสามารถแสดงผลได้เป็นตัวเลขได้ทั้งค่า Rms และ ค่าMax และสามารถแสดงผลในรูปของกราฟได้อีกด้วย โดยแสดงผลทางกราฟ Current
4. Rpm เป็นการแสดงผลการวัดความเร็วรอบของมอเตอร์ในหน่วยของ รอบต่อ นาที สามารถแสดงค่าเป็นมิเตอร์และสามารถแสดงค่าเป็นกราฟของความเร็วรอบ
5. Temperature เป็นการวัดค่าของอุณหภูมิของมอเตอร์สามารถแสดงได้ทั้งค่าที่เป็นเทอร์โมมิเตอร์ ค่าที่ได้จากการวัด และสามารถนำค่าที่ได้จากการวัดมาแสดงในรูปของกราฟการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้อีกด้วย

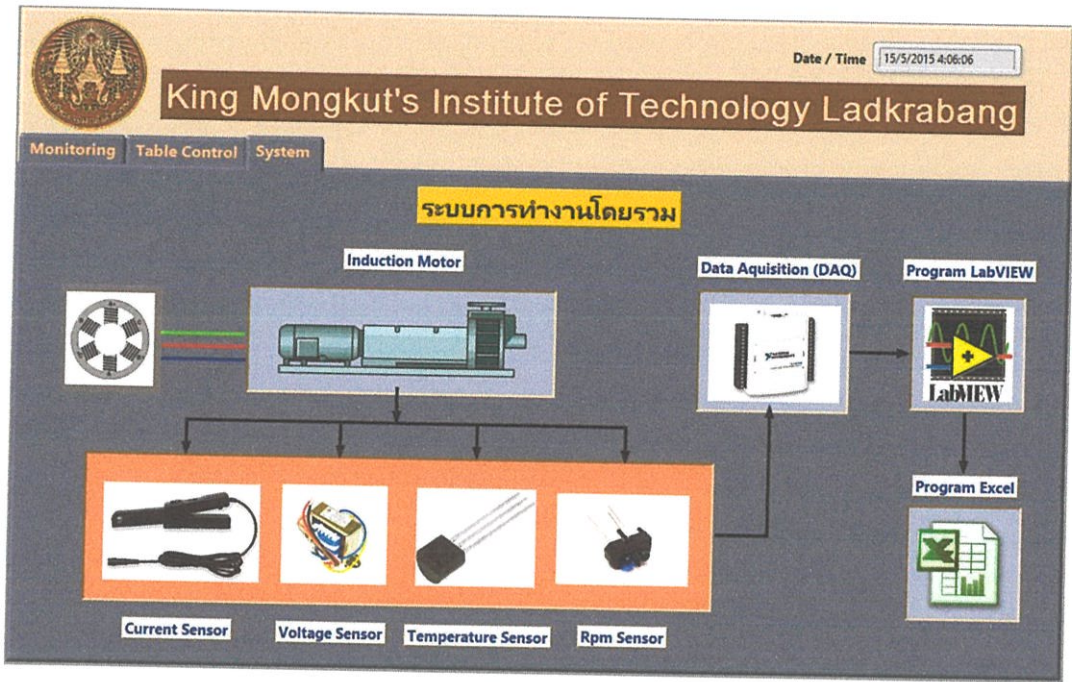
4.2.3.2 การบันทึกผล ส่วนของการบันทึกผลจะมีการบันทึกข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และจะมีการตั้งค่าไฟล์ที่จะบันทึก ข้อมูลการบันทึกผลเป็นไฟล์ .txt หรือ Excel และจะมีการแสดงข้อมูลเป็นไฟล์ข้อมูลและกราฟในหน้าจอแสดงผลการบันทึก



รูปที่ 4.6 หน้าจอแสดงผลค่าที่บันทึกได้และกราฟ

จากรูปที่ 4.6 หน้าจอแสดงผลในหน้านี้จะแสดงผลการบันทึกข้อมูล การอ่านข้อมูล และกราฟแสดงผลข้อมูลรวม ซึ่งประกอบไปด้วย

1. Table control เป็นตารางการแสดงผลค่าที่ได้จากการวัดโดยนำค่ามาเก็บเป็นข้อมูลและแสดงผลทางโปรแกรม LabVIEW
2. Waveform Chart เป็นกราฟแสดงการวัดค่าของมอเตอร์ทั้งหมดที่ได้ทำการตรวจวัด ได้แก่ ค่าแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส ค่ากระแสไฟฟ้า 3 เฟส ค่าอุณหภูมิมอเตอร์ และค่าความเร็วรอบของมอเตอร์



รูปที่ 4.7 หน้าจอแสดงระบบการทำงานโดยรวม

จากรูปที่ 4.7 เป็นหน้าจอการแสดงผลระบบการทำงานการตรวจวัดมอเตอร์โดยรวม เมื่อเริ่มทำการตรวจวัดจะแสดงการทำงานของมอเตอร์บนหน้าจอแสดงผล

4.3 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบแรงดันไฟฟ้าเปรียบเทียบระหว่างค่าจริงที่วัดได้จากเครื่องมือวัดกับค่าที่ได้จากการประมวลผลผ่านโปรแกรม LabVIEW

โวลต์มิเตอร์ (V)			โปรแกรม LabVIEW (V)		
R	S	T	R	S	T
41.8	41.3	43	41.7	41.3	42.42
80.3	78.5	80.9	80.12	79.2	80.45
120.3	118.7	120.6	120.3	119.1	121.1
160	157.8	161.2	161.5	159.6	161.3
200.6	198.5	200.1	202.1	199.7	201.7

ตารางที่ 4.2 ค่า Error ของแรงดันไฟฟ้าเปรียบเทียบระหว่างค่าจริงที่วัดได้จากเครื่องมือวัดกับค่าที่ได้จากการประมวลผลผ่านโปรแกรม LabVIEW

ค่า error (%)		
R	S	T
0.24	0	1.35
0.22	0.89	0.56
0.00	0.34	0.41
0.94	1.14	0.06
0.75	0.60	0.80

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบกระแสไฟฟ้าเปรียบเทียบระหว่างค่าจริงที่วัดได้จากเครื่องมือวัดกับค่าที่ได้จากการประมวลผลผ่านโปรแกรม LabVIEW

แอมป์มิเตอร์ (A)	โปรแกรม LabVIEW (A)
0.40	0.40
0.60	0.62
0.80	0.80
1.00	0.98
1.20	1.18

ตารางที่ 4.4 ค่า Error ของกระแสไฟฟ้าเปรียบเทียบระหว่างค่าจริงที่วัดได้จากเครื่องมือวัดกับค่าที่ได้จากการประมวลผลผ่านโปรแกรม LabVIEW

ค่า Error (%)
0.00
3.33
0
2
1.67

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบการวัดอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างค่าจริงที่วัดได้จากเครื่องมือวัดกับค่าที่ได้จากการประมวลผลผ่านโปรแกรม LabVIEW

เทอร์โมมิเตอร์ (°C)	โปรแกรม LabVIEW (°C)
26	26
27.5	28
30	29.8
32	32.4
35	36.2

ตารางที่ 4.6 ค่า Error ของอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างค่าจริงที่วัดได้จากเครื่องมือวัดกับค่าที่ได้จากการประมวลผลผ่านโปรแกรม LabVIEW

ค่า Error (%)
0
1.81
0.67
1.2
3.42

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบการวัดความเร็วรอบของมอเตอร์เปรียบเทียบระหว่างค่าจริงที่วัดได้จากเครื่องมือวัดกับค่าที่ได้จากการประมวลผลผ่านโปรแกรม LabVIEW

Tachometer (Rpm)	โปรแกรม LabVIEW (Rpm)
1500	1498
1472	1472
1430	1430
1321	1314

ตารางที่ 4.8 ค่า Error การวัดความเร็วรอบของมอเตอร์เปรียบเทียบระหว่างค่าจริงที่วัดได้จากเครื่องมือวัดกับค่าที่ได้จากการประมวลผลผ่านโปรแกรม LabVIEW

ค่า Error (%)
0.13
0
0
0.52

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

ใบปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการใช้งานเครื่องมือวัด พารามิเตอร์ต่างๆของมอเตอร์ด้วยการประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์ โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ซึ่งผู้จัดทำได้ทำการออกแบบโปรแกรมให้มีการตรวจค่าสัญญาณจากตัวตรวจจับต่างๆแล้วนำมาประมวลผลพร้อมกับแสดงผลผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์

ระบบเครื่องมือวัดที่ได้ทำการออกแบบขึ้นมานั้น สามารถนำไปใช้งานได้จริง ในด้านการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆคือ ค่าแรงดัน ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าอุณหภูมิ และ ความเร็วรอบ ซึ่งปริมาณต่างๆเหล่านี้สามารถนำไปประกอบการพิจารณาเพื่อติดตั้งหรือควบคุมการทำงานของมอเตอร์รวมทั้งใช้วัดค่าพารามิเตอร์ทั่วไป ข้อมูลต่างๆที่ทำการวัดได้นั้นจะถูกนำมาแสดงผลแบบ Real Time บนจอคอมพิวเตอร์ ผ่านทางหน้า Front Panel ของ LabVIEW ซึ่งได้ทำการออกแบบมาให้มีลักษณะเสมือนนับเป็นหน้าต่างของเครื่องมือวัด ทำให้ผู้อ่านข้อมูลสามารถอ่านข้อมูลได้ง่ายอีกทั้งข้อมูลที่ทำการวัดได้นั้นยังถูกบันทึกค่าในรูปแบบของไฟล์ Text (.txt) ซึ่งไฟล์นี้สามารถนำไปเปิดในโปรแกรมต่างๆ เช่น Microsoft excel เพื่อทำการอ่านข้อมูล

จากการทดลองวัดค่า กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า ความเร็วรอบ และ อุณหภูมิ ระบบเครื่องมือวัดนี้จะมีความยืดหยุ่นสูง สามารถนำไปใช้ได้กับวงจรมอเตอร์ หรือวงจรอื่น ๆ ที่มีค่าพารามิเตอร์ที่ได้กล่าวมา ทำให้สะดวกในการใช้งาน โดยไม่ต้องปรับเปลี่ยนอุปกรณ์หรือฟังก์ชันของโปรแกรม LabVIEW ในการวัด อีกทั้งยังมีคามกะทัดรัด ติดตั้งง่าย เหมาะกับการนำไปใช้งาน

5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางการแก้ไขปัญหา

1. เนื่องจากโปรแกรมการทำงานของอุปกรณ์ DAQ จำเป็นต้องทำงานกับคอมพิวเตอร์ จึงต้องติดตั้งเครื่องคอมพิวเตอร์ไว้ในที่ทำการต่อการวัด ทำให้เสี่ยงต่อการสูญหายจึงต้องผลัดเวรยามดูแลและคอยตรวจสอบการทำงานของโปรแกรมตลอดเวลา เพื่อให้การทำงานดำเนินต่อไปอย่างเรียบร้อย

2. ข้อจำกัดของการวัดค่าแรงดัน เนื่องจากเราใช้หม้อแปลงไฟฟ้า ที่มีพิกัด 220/6 V ทำให้สามารถวัดค่าแรงดันไฟฟ้าได้เฉพาะแรงดันเฟสเท่านั้น

5.3 การนำไปประยุกต์ใช้งานจริง

เนื่องจากระบบเครื่องมือวัดที่ได้ทำการออกแบบนี้มีความยืดหยุ่นสูง จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลายงาน โดยสามารถปรับเปลี่ยนฟังก์ชันการใช้งานของโปรแกรมได้ตลอดเวลา เพียงต้องการอุปกรณ์รับข้อมูลที่มีความแตกต่างกันอยู่กับงานที่จะนำไปใช้ โดยหลักๆ จะใช้งานในการวัดค่าของพารามิเตอร์

5.4 การศึกษาต่อในอนาคต

ในส่วนของการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ระบบเครื่องมือวัดที่ทำการออกแบบนั้นจะสามารถตรวจวัดค่าในระยะใกล้เคียงเป็นเพราะอุปกรณ์ไม่รับรองการใช้งานแบบ wireless ทำให้ไม่สามารถส่งค่าแบบไร้สายได้ จึงต้องมีการศึกษาและดัดแปลงวงจรเพิ่มเติมเพื่อพัฒนาขีดจำกัดและสามารถรับส่งข้อมูลได้ในระยะที่ไกลขึ้นเพื่อให้เกิดความแตกต่างจากที่มีขายทั่วไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] นายกิจไพบูลย์ ชีวพันธุ์ศรี “การสร้างระบบอัตโนมัติด้วย LabVIEWร่วมกับระบบ DataAcquisitionและ MachinneVisioonสำหรับผู้เริ่มต้น”,2553
- [2] Chien-Lung Cheng, “Automatic Testing System Based on LabVIEW for DC Motor of Portable Washing Machine,” *IEEEXplore.*, 2008, pg. 489-493.
- [3] R.S.Huei, “LabVIEW 7.1 Express Chart Controls Application-Automatic Measurement and Hardware Application”, Chwa Books Company, 2005.
- [4] R.S.Huei, “Automatic Measurement System LabVIEW”, Chwa Books company,2002.
- [5] S.J.Shie, C.C.Chen, “LabVIEW Application - Automatic Measurement and Remote Monitoring”, Chwa Books Company, 2002.
- [6] Available:URL:www.eci.ox.ac.uk/pvcompareweb/Sunlight.htm
- [7] Available: URL:<http://hallencodersensorbme3.blogspot.com/2011/07/hall-sensor.html>
- [8] Available: URL:http://eakkaphop0140.blogspot.com/p/blog-page_29.html
- [9] Available: URL:<http://thaisensormodule.com/index.php/light/pirsens1>
- [10] Available:URL:<http://ardnarong.igetweb.com/index.php?lite=article&qid=4264645>
- [11] Available: URL:<http://www.thailandindustry.com/guru/view.php?id=1319§ion=9&rcount=Y>

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.
ข้อมูลของอุปกรณ์ NI-DAQ USB6009

USER GUIDE AND SPECIFICATIONS

NI USB-6008/6009

Bus-Powered Multifunction DAQ USB Device

[Français](#) [Deutsch](#) [日本語](#) [한국어](#) [简体中文](#)
ni.com/manuals

This user guide describes how to use the National Instruments USB-6008 and National Instruments USB-6009 data acquisition (DAQ) devices and lists specifications.

The NI USB-6008/6009 provides connection to eight single-ended analog input (AI) channels, two analog output (AO) channels, 12 digital input/output (DIO) channels, and a 32-bit counter with a full-speed USB interface. Table 1 compares the devices.

Table 1. NI USB-6008 and NI USB-6009 Comparison

Feature	NI USB-6008	NI USB-6009
AI resolution	12 bits differential, 11 bits single-ended	14 bits differential, 13 bits single-ended
Maximum AI sample rate, single channel*	10 kS/s	48 kS/s
Maximum AI sample rate, multiple channels (aggregate)*	10 kS/s	48 kS/s
DIO configuration	Open collector [†]	Each channel individually programmable as open collector or active drive [†]
* System-dependent. [†] This document uses NI-DAQmx naming conventions. Open-drain is called open collector and push-pull is called active drive.		

Figure 1 shows key functional components of the NI USB-6008/6009.

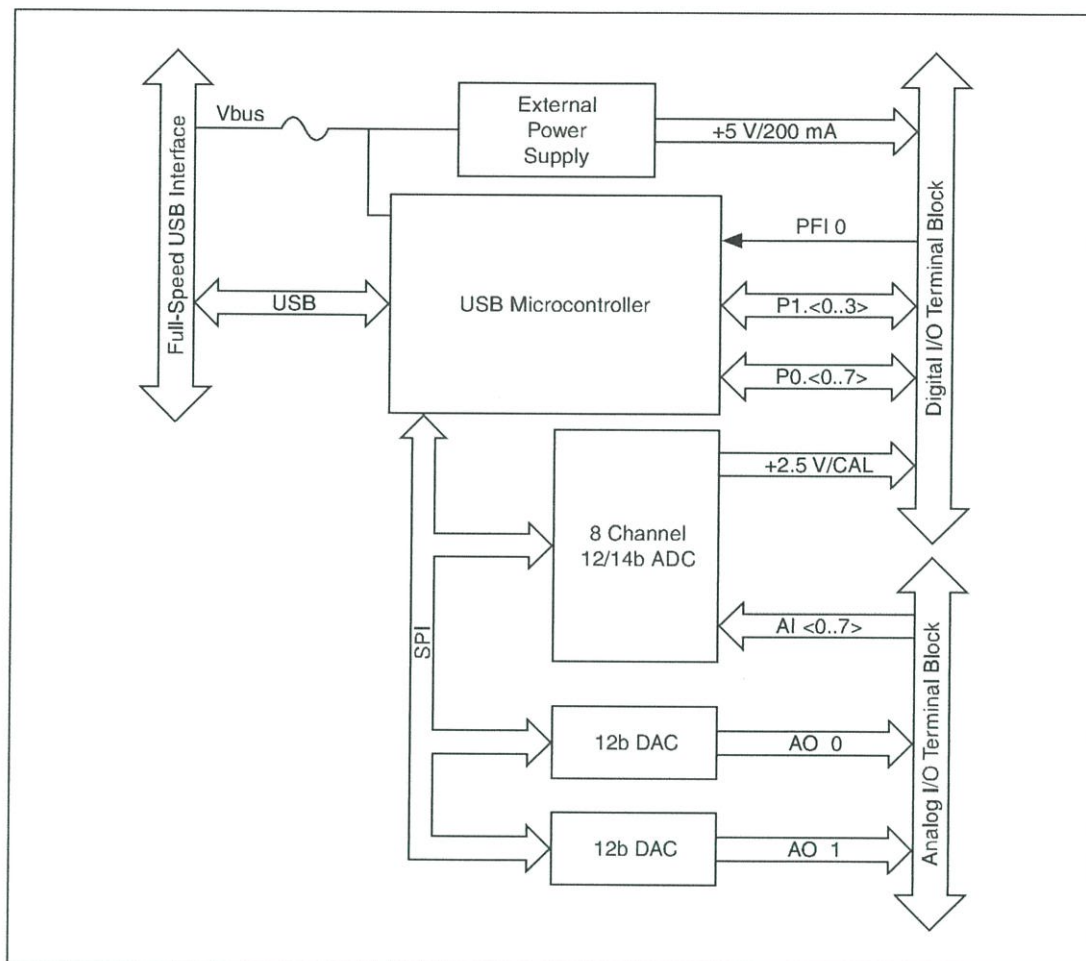


Figure 1. NI USB-6008/6009 Block Diagram

Contents

Safety Guidelines	3
Electromagnetic Compatibility Guidelines	3
Unpacking	4
Setting Up the NI USB-6008/6009	4
Using the NI USB-6008/6009 in an Application	6
Features	7
USB Connector and USB Cable Strain Relief	7
LED Indicator	8
Screw Terminal Connector Plugs	8
Firmware	8
Cables and Accessories	9
Pinout and Signal Descriptions	9

Analog Input	11
Analog Input Modes and Signal Sources	11
Floating Signal Sources	12
Ground-Referenced Signal Sources	13
Taking Differential Measurements	14
Taking Referenced Single-Ended Measurements	15
Digital Trigger	15
Analog Output.....	16
Connecting Analog Output Loads	16
Minimizing Glitches on the Output Signal	16
Digital I/O	17
Source/Sink Information.....	18
I/O Protection.....	19
Power-On States	19
Static DIO	19
PFI 0.....	19
Using PFI 0 as a Digital Trigger.....	19
Using PFI 0 as an Event Counter.....	19
External Reference and Power Source.....	20
+2.5 V External Reference.....	20
+5 V Power Source	20
Specifications.....	20
Where to Go from Here	27
Example Programs	27
Related Documentation.....	27
Where to Go for Support	30

Safety Guidelines

Operate the NI USB-6008/6009 device only as described in this user guide.



Caution Do *not* operate the NI USB-6008/6009 in a manner not specified in this document. Misuse of the device can result in a hazard. You can compromise the safety protection built into the device if the device is damaged in any way. If the device is damaged, contact National Instruments for repair.



Caution Do *not* substitute parts or modify the device except as described in this document. Use the device only with the chassis, modules, accessories, and cables specified in the installation instructions. You must have all covers and filler panels installed during operation of the device.



Caution Do *not* operate the device in an explosive atmosphere or where there may be flammable gases or fumes. If you must operate the device in such an environment, it must be in a suitably rated enclosure.

Electromagnetic Compatibility Guidelines

This product was tested and complies with the regulatory requirements and limits for electromagnetic compatibility (EMC) as stated in the product specifications. These requirements and limits are designed to provide reasonable protection against harmful interference when the product is operated in its intended operational electromagnetic environment.

This product is intended for use in industrial locations. There is no guarantee that harmful interference will not occur in a particular installation, when the product is connected to a test object, or if the product is used in residential areas. To minimize the potential for the product to cause interference to radio and

television reception or to experience unacceptable performance degradation, install and use this product in strict accordance with the instructions in the product documentation.

Furthermore, any changes or modifications to the product not expressly approved by National Instruments could void your authority to operate it under your local regulatory rules.



Caution To ensure the specified EMC performance, operate this product only with shielded cables and accessories.



Caution This product may become more sensitive to electromagnetic disturbances in the operational environment when test leads are attached or when connected to a test object.



Caution Emissions that exceed the regulatory requirements may occur when this product is connected to a test object.



Caution Changes or modifications not expressly approved by National Instruments could void the user's authority to operate the hardware under the local regulatory rules.

Unpacking

The NI USB-6008/6009 device ships in an antistatic package to prevent electrostatic discharge (ESD). ESD can damage several components on the device.



Caution *Never* touch the exposed pins of connectors.

To avoid ESD damage in handling the device, take the following precautions:

- Ground yourself with a grounding strap or by touching a grounded object.
- Touch the antistatic package to a metal part of your computer chassis before removing the device from the package.

Remove the device from the package and inspect it for loose components or any other signs of damage. Notify NI if the device appears damaged in any way. Do not install a damaged device in your computer or chassis.

Store the device in the antistatic package when the device is not in use.

Setting Up the NI USB-6008/6009

Complete the following steps to get started with the NI USB-6008/6009.



Note For information about non-Windows operating system support, refer to the *Getting Started with NI-DAQmx Base for Linux and Mac OS X Users* document available from ni.com/manuals.

1. Install the application software (if applicable), as described in the installation instructions that accompany your software.
2. Install NI-DAQmx¹.



Note The NI-DAQmx software is included on the disk shipped with your kit and is available for download at ni.com/support. The documentation for NI-DAQmx is available after installation from **Start»All Programs»National Instruments»NI-DAQ**. Other NI documentation is available from ni.com/manuals.

¹ NI USB-6008/6009 devices are supported by NI-DAQmx 7.5 and later.

3. Install the 16-position screw terminal connector plugs by inserting them into the connector jacks as shown in Figure 2.

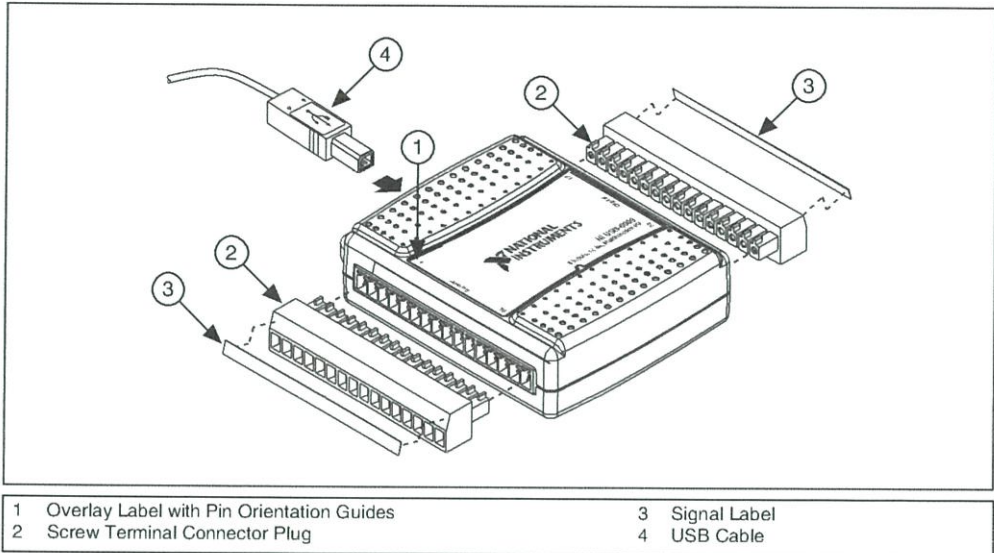


Figure 2. Signal Label Application Diagram

4. Affix the provided signal labels to the screw terminal connector plugs. You can choose labels with pin numbers, signal names, or blank labels, as shown in Figure 3. Choose one of the labels, align the correct label with the terminals printed on the top panel of your device and apply the label, as shown in Figure 2.

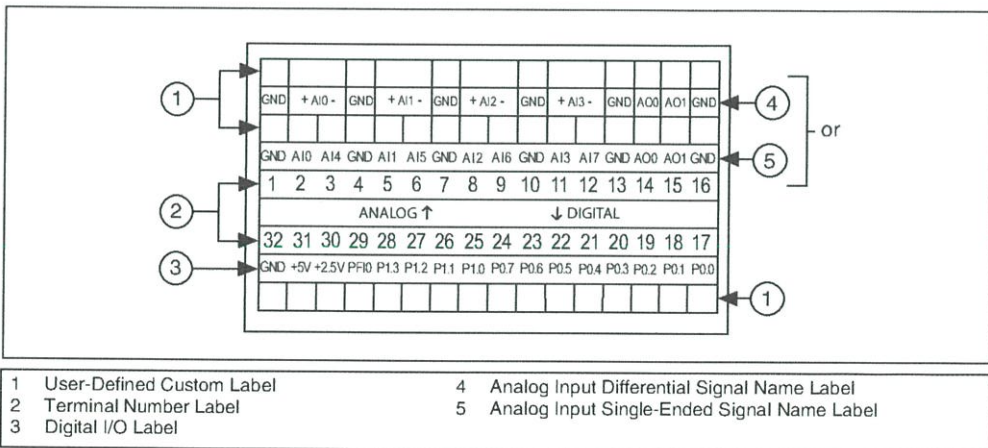


Figure 3. NI USB-6008/6009 Signal Labels



Note After you label the screw terminal connector plugs, you must only insert them into the matching connector jack, as indicated by the overlay label on the device.

5. Plug one end of the USB cable into the NI USB-6008/6009 and the other end into an available USB port on the computer.



6. Double-click the **Measurement & Automation** icon, shown at left, on the desktop to open Measurement & Automation Explorer (MAX).
7. Expand **My System»Devices and Interfaces** and verify that the NI USB-6008/6009 is listed. If your device does not appear, press <F5> to refresh the view in MAX. If your device is still not recognized, refer to ni.com/support/daqmx for troubleshooting information.
8. Self-test your device in MAX by right-clicking **NI USB-600x** and selecting **Self-Test**. Self-test performs a brief test to determine successful device installation. When the self-test finishes, a message indicates successful verification or if an error occurred. If an error occurs, refer to ni.com/support/daqmx.



Caution To ensure the specified EMC performance, operate this product only with shielded cables and accessories.

9. Connect the wires (16 to 28 AWG) of a shielded, multiconductor cable to the screw terminals by stripping 6.35 mm (0.25 in.) of insulation, inserting the wires into the screw terminals, and securely tightening the screws with the flathead screwdriver to a torque of 0.22–0.25 N · m (2.0–2.2 lb · in.). Refer to Figure 6 for the NI USB-6008/6009 pinout.

If using a shielded cable, connect the cable shield to a nearby GND terminal.



Note For information about sensors, go to ni.com/sensors. For information about IEEE 1451.4 TEDS smart sensors, go to ni.com/teds.

10. Run a Test Panel in MAX by right-clicking **NI USB-600x** and selecting **Test Panels**. Click **Start** to test the device functions, or **Help** for operating instructions. Click **Close** to exit the test panel.

Using the NI USB-6008/6009 in an Application

You can use the DAQ Assistant through many NI application software programs to configure virtual and measurement channels. Table 2 lists DAQ Assistant tutorial locations for NI applications.

Table 2. DAQ Assistant Tutorial Locations

NI Application	Tutorial Location
LabVIEW	Go to Help»LabVIEW Help . Next, go to Getting Started with LabVIEW»Getting Started with DAQ»Taking an NI-DAQmx Measurement in LabVIEW .
LabWindows™/CVI™	Go to Help»Contents . Next, go to Using LabWindows/CVI»Data Acquisition»Taking an NI-DAQmx Measurement in LabWindows/CVI .
Measurement Studio	Go to NI Measurement Studio Help»Getting Started with the Measurement Studio Class Libraries»Measurement Studio Walkthroughs»Walkthrough: Creating a Measurement Studio NI-DAQmx Application .
LabVIEW SignalExpress	Go to Help»Taking an NI-DAQmx Measurement in SignalExpress .

Refer to the *Where to Go from Here* section for information about programming examples for NI-DAQmx and NI-DAQmx Base.

Features

The NI USB-6008/6009 features a USB connector, USB cable strain relief, two screw terminal connector plugs for I/O, and an LED indicator, as shown in Figure 4.

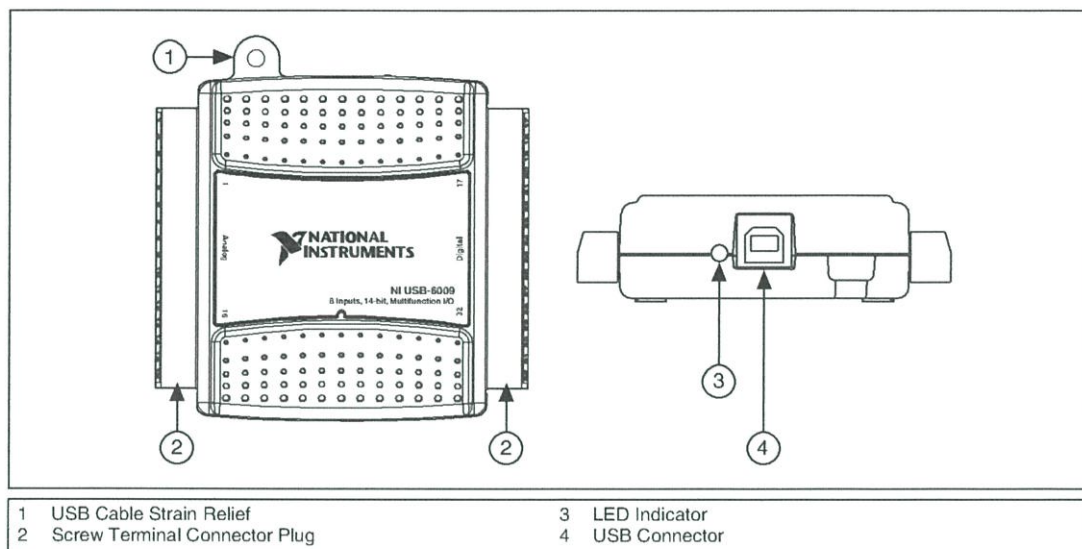


Figure 4. NI USB-6008/6009 Top and Back Views

USB Connector and USB Cable Strain Relief

The NI USB-6008/6009 features a USB connector for full-speed USB interface. You can provide strain relief for the USB cable by threading a zip tie through the USB cable strain relief ring and tightening around a looped USB cable, as shown in Figure 5.

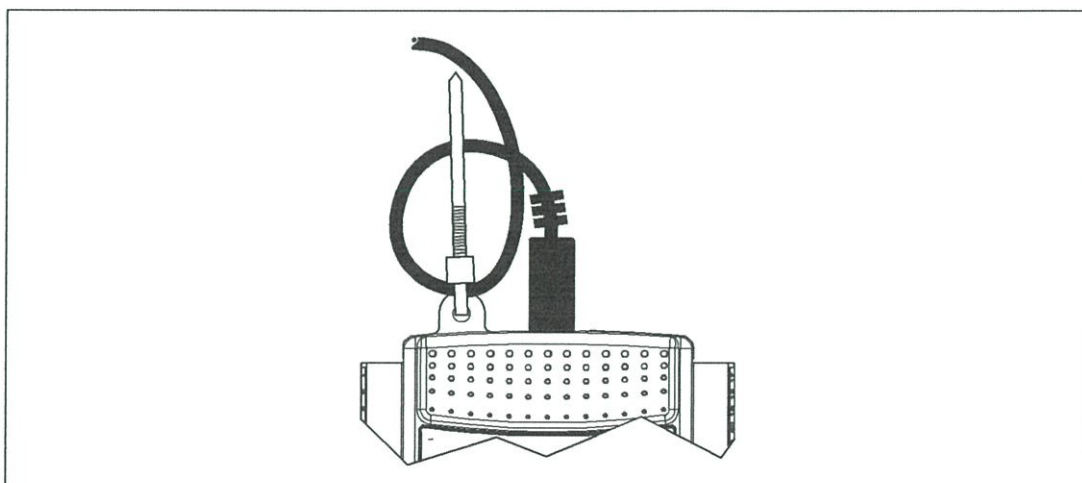


Figure 5. NI USB-6008/6009 Strain Relief

LED Indicator

The NI USB-6008/6009 device has a green LED indicator that indicates device status, as listed in Table 3. When the device is connected to a USB port, the LED blinks steadily to indicate that the device is initialized and is receiving power from the connection.

Table 3. LED State/Device Status

LED State	Device Status
Not lit	Device not connected or in suspend
On, not blinking	Device connected but not initialized, or the computer is in standby mode. In order for the device to be recognized, the device must be connected to a computer that has NI-DAQmx installed on it.
Single-blink	Operating normally

Screw Terminal Connector Plugs

The NI USB-6008/6009 ships with one detachable screw terminal connector plug for analog signals and one detachable screw terminal connector plug for digital signals. These screw terminal connectors provide 16 connections that use 16–28 AWG wire. Refer to step 4 of the *Setting Up the NI USB-6008/6009* section for information about selecting labels for the screw terminal connector plugs. Refer to the *Pinout and Signal Descriptions* section for the device pinout and signal descriptions.

You can order additional connectors and labels for your device. Refer to the *Cables and Accessories* section for ordering information.

Firmware

The firmware on the NI USB-6008/6009 refreshes whenever the device is connected to a computer with NI-DAQmx. NI-DAQmx automatically uploads the compatible firmware version to the device. The firmware version may be upgraded when new versions of NI-DAQmx release.

Cables and Accessories

Table 4 contains information about cables and accessories available for the NI USB-6008/6009. For a complete list of accessories and ordering information, refer to the pricing section of the NI USB-6008 or NI USB-6009 product page at ni.com.

Table 4. NI USB-6008/6009 Cables and Accessories

Accessory	Part Number	Description
USB-6008/6009 Accessory Kit	779371-01	Four additional screw-terminal connectors, connector labels, and a screwdriver
USB-6000 Series Prototyping Accessory	779511-01	Unshielded breadboarding accessory for custom-defined signal conditioning and prototyping. You can use up to two accessories per device.
Hi-Speed USB Cable	184125-01 184125-02	1 m and 2 m lengths
<p>Caution: For compliance with Electromagnetic Compatibility (EMC) requirements, this product must be operated with shielded cables and accessories. If unshielded cables or accessories are used, the EMC specifications are no longer guaranteed unless all unshielded cables and/or accessories are installed in a shielded enclosure with properly designed and shielded input/output ports.</p>		

Pinout and Signal Descriptions

Figure 6 shows the pinout of the NI USB-6008/6009. Analog input signal names are listed as single-ended analog input name, AI x, and then differential analog input name, (AI x+/-). Refer to Table 5 for a detailed description of each signal.

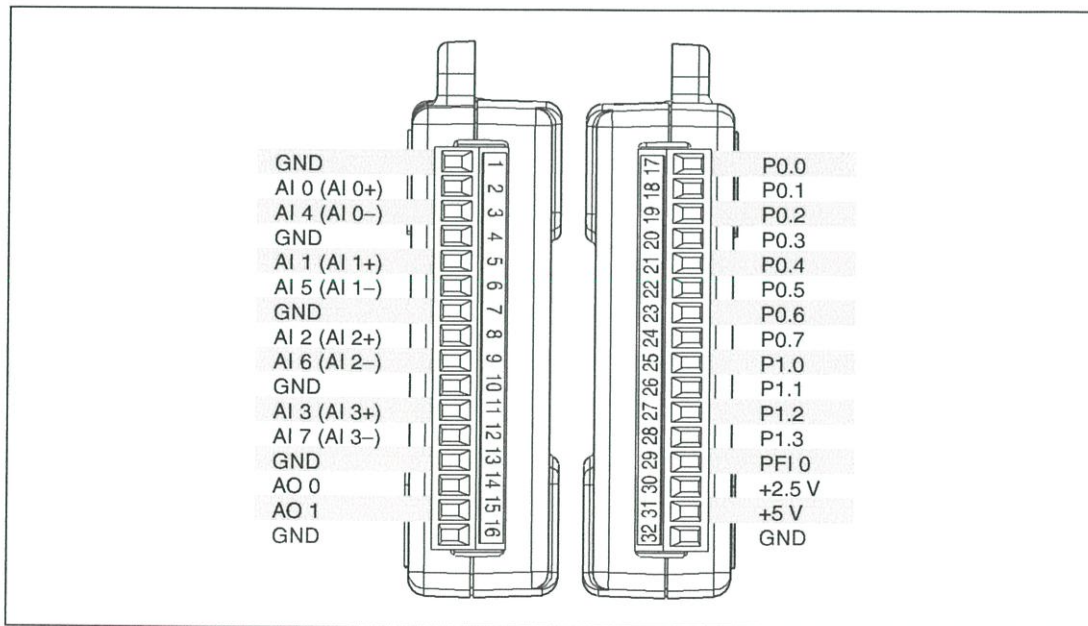


Figure 6. NI USB-6008/6009 Pinout

Table 5. Signal Descriptions

Signal Name	Reference	Direction	Description
GND	—	—	Ground —The reference point for the single-ended analog input measurements, analog output voltages, digital signals, +5 VDC supply, and +2.5 VDC at the I/O connector, and the bias current return point for differential mode measurements.
AI <0..7>	Varies	Input	Analog Input Channels 0 to 7 —For single-ended measurements, each signal is an analog input voltage channel. For differential measurements, AI 0 and AI 4 are the positive and negative inputs of differential analog input channel 0. The following signal pairs also form differential input channels: AI<1, 5>, AI<2, 6>, and AI<3, 7>. Refer to the <i>Analog Input</i> section for more information.
AO <0, 1>	GND	Output	Analog Output Channels 0 and 1 —Supplies the voltage output of AO channel 0 or AO channel 1. Refer to the <i>Analog Output</i> section for more information.
P0.<0..7>	GND	Input or Output	Port 0 Digital I/O Channels 0 to 7 —You can individually configure each signal as an input or output. Refer to the <i>Digital I/O</i> section for more information.
P1.<0..3>	GND	Input or Output	Port 1 Digital I/O Channels 0 to 3 —You can individually configure each signal as an input or output. Refer to the <i>Digital I/O</i> section for more information.
PFI 0	GND	Input	PFI 0 —This pin is configurable as either a digital trigger or an event counter input. Refer to the <i>PFI 0</i> section for more information.
+2.5 V	GND	Output	+2.5 V External Reference —Provides a reference for wrap-back testing. Refer to the <i>+2.5 V External Reference</i> section for more information.
+5 V	GND	Output	+5 V Power Source —Provides +5 V power up to 200 mA. Refer to the <i>+5 V Power Source</i> section for more information.

Analog Input

The NI USB-6008/6009 has eight analog input channels that you can use for four differential analog input measurements or eight single-ended analog input measurements.

Figure 7 shows the analog input circuitry of the NI USB-6008/6009.

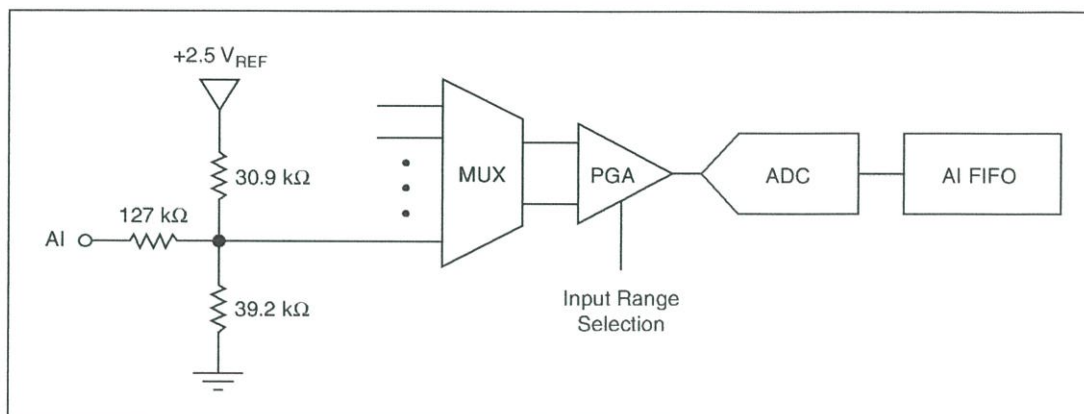


Figure 7. NI USB-6008/6009 Analog Input Circuitry

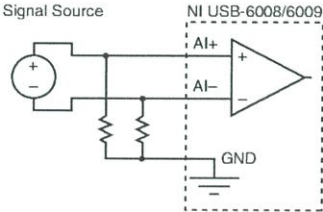
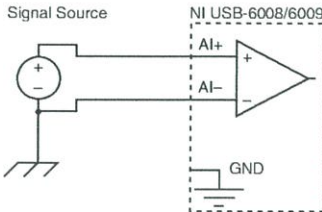
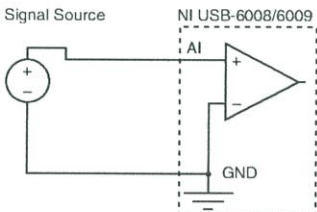
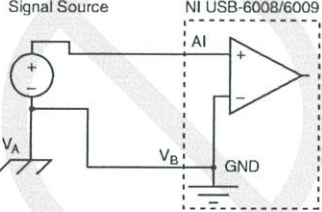
The main blocks featured in the NI USB-6008/6009 analog input circuitry are as follows:

- **MUX**—The NI USB-6008/6009 has one analog-to-digital converter (ADC). The multiplexer (MUX) routes one AI channel at a time to the PGA.
- **PGA**—The programmable-gain amplifier provides input gains of 1, 2, 4, 5, 8, 10, 16, or 20 when configured for differential measurements and gain of 1 when configured for single-ended measurements. The PGA gain is automatically calculated based on the voltage range selected in the measurement application.
- **ADC**—The analog-to-digital converter (ADC) digitizes the AI signal by converting the analog voltage into digital code.
- **AI FIFO**—The NI USB-6008/6009 can perform both single and multiple analog-to-digital conversions of a fixed or infinite number of samples. A first-in-first-out (FIFO) buffer holds data during AI acquisitions to ensure that no data is lost.

Analog Input Modes and Signal Sources

You can configure the AI channels on the NI USB-6008/6009 to take differential or referenced single-ended (RSE) measurements. Table 6 summarizes the recommended analog input mode(s) for floating signal sources and ground-referenced signal sources. Refer to Table 5 for more information about I/O connections for single-ended or differential measurements.

Table 6. Analog Input Configurations

Analog Input Mode	Floating Signal Sources (Not Connected to Building Ground) Examples: <ul style="list-style-type: none"> • Ungrounded thermocouples • Signal conditioning with isolated outputs • Battery devices 	Ground-Referenced Signal Sources Example: <ul style="list-style-type: none"> • Plug-in instruments with non-isolated outputs
Differential (DIFF)		
Referenced Single-Ended (RSE)		<p style="text-align: center;">NOT RECOMMENDED</p>  <p style="text-align: center;">Ground-loop potential ($V_A - V_B$) are added to measured signal.</p>

Floating Signal Sources

A floating signal source is not connected to the building ground system, but has an isolated ground-reference point. Some examples of floating signal sources are outputs of transformers, thermocouples, battery-powered devices, optical isolators, and isolation amplifiers. An instrument or device that has an isolated output is a floating signal source.

Refer to the NI Developer Zone document, *Field Wiring and Noise Considerations for Analog Signals*, for more information. To access this document, go to ni.com/info and enter the Info Code `rdfw3`.

When to Use Differential Connections with Floating Signal Sources

Use DIFF input connections for any channel that meets any of the following conditions:

- Your application requires input ranges other than ± 10 V.
- The input signal is low level and requires greater accuracy.
- The leads connecting the signal to the device are greater than 3 m (10 ft).
- The input signal requires a separate ground-reference point or return signal.

- The signal leads travel through noisy environments.
- Two analog input channels, AI+ and AI-, are available for the signal.

DIFF signal connections reduce noise pickup and increase common-mode noise rejection. DIFF signal connections also allow input signals to float within the working voltage of the device.

Refer to the *Taking Differential Measurements* section for more information about differential connections.

When to Use Referenced Single-Ended (RSE) Connections with Floating Signal Sources

Only use RSE input connections if the input signal meets all of the following conditions:

- The input signal can share a common reference point, GND, with other signals that use RSE.
- Your application permits the use of the ± 10 V input range.
- The leads connecting the signal to the device are less than 3 m (10 ft).

DIFF input connections are recommended for greater signal integrity for any input signal that does not meet the preceding conditions.

In the single-ended modes, more electrostatic and magnetic noise couples into the signal connections than in DIFF configurations. The coupling is the result of differences in the signal path. Magnetic coupling is proportional to the area between the two signal conductors. Electrical coupling is a function of how much the electric field differs between the two conductors.

With this type of connection, the PGA rejects both the common-mode noise in the signal and the ground potential difference between the signal source and the device ground.

Refer to the *Taking Referenced Single-Ended Measurements* section for more information about RSE connections.

Ground-Referenced Signal Sources

A ground-referenced signal source is a signal source connected to the building system ground. It is already connected to a common ground point with respect to the device, assuming that the computer is plugged into the same power system as the source. Non-isolated outputs of instruments and devices that plug into the building power system fall into this category.

The difference in ground potential between two instruments connected to the same building power system is typically between 1 and 100 mV, but the difference can be much higher if power distribution circuits are improperly connected. If a grounded signal source is incorrectly measured, this difference can appear as measurement error. Follow the connection instructions for grounded signal sources to eliminate this ground potential difference from the measured signal.

Refer to the NI Developer Zone document, *Field Wiring and Noise Considerations for Analog Signals*, for more information. To access this document, go to ni.com/info and enter the Info Code `rdfw3`.

When to Use Differential Connections with Ground-Referenced Signal Sources

Use DIFF input connections for any channel that meets any of the following conditions:

- Your application requires input ranges other than ± 10 V.
- The input signal is low level and requires greater accuracy.
- The leads connecting the signal to the device are greater than 3 m (10 ft).
- The input signal requires a separate ground-reference point or return signal.
- The signal leads travel through noisy environments.
- Two analog input channels, AI+ and AI-, are available for the signal.

DIFF signal connections reduce noise pickup and increase common-mode noise rejection. DIFF signal connections also allow input signals to float within the working voltage of the device.

Refer to the *Taking Differential Measurements* section for more information about differential connections.

When to Use Referenced Single-Ended (RSE) Connections with Ground-Referenced Signal Sources

Do *not* use RSE connections with ground-referenced signal sources. Use differential connections instead.

As shown in the bottom-rightmost cell of Table 6, there can be a potential difference between GND and the ground of the sensor. In RSE mode, this ground loop causes measurement errors.

Taking Differential Measurements

For differential signals, connect the positive lead of the signal to the AI+ terminal, and the negative lead to the AI- terminal.

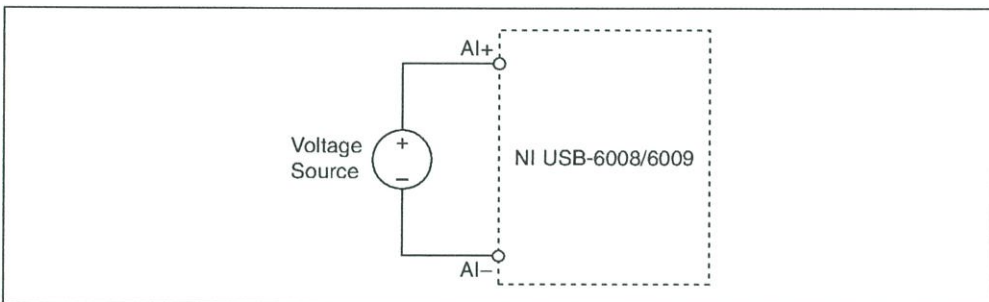


Figure 8. Connecting a Differential Voltage Signal

The differential input mode can measure ± 20 V signals in the ± 20 V range. However, the maximum voltage on any one pin is ± 10 V with respect to GND. For example, if AI 1 is $+10$ V and AI 5 is -10 V, then the measurement returned from the device is $+20$ V.

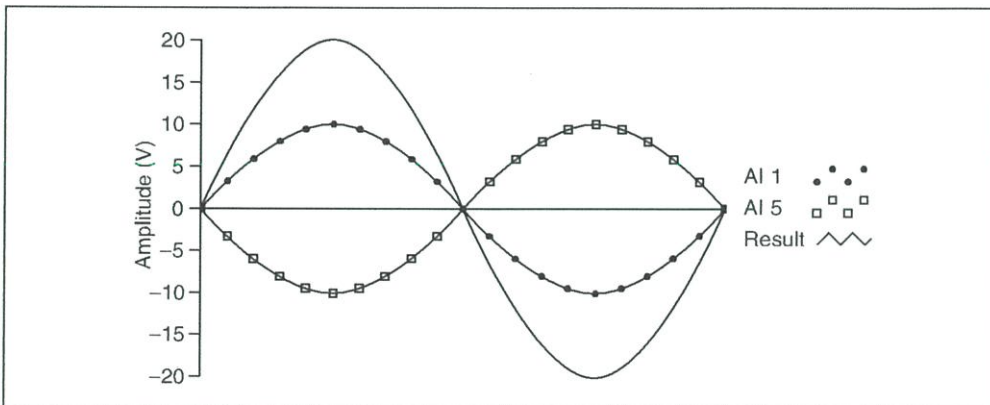


Figure 9. Example of a Differential 20 V Measurement

Connecting a signal greater than ± 10 V on either pin results in a clipped output.

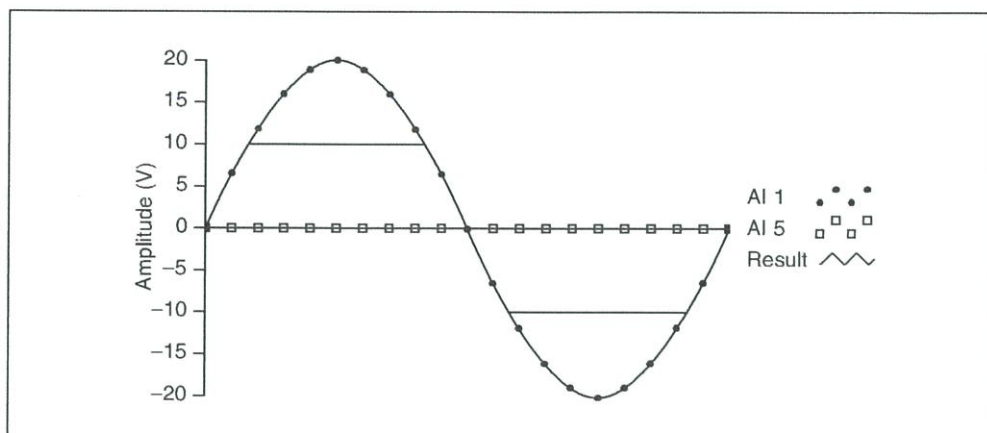


Figure 10. Exceeding ± 10 V on AI Returns Clipped Output

Taking Referenced Single-Ended Measurements

To connect referenced single-ended (RSE) voltage signals to the NI USB-6008/6009, connect the positive voltage signal to an AI terminal, and the ground signal to a GND terminal, as shown in Figure 11.

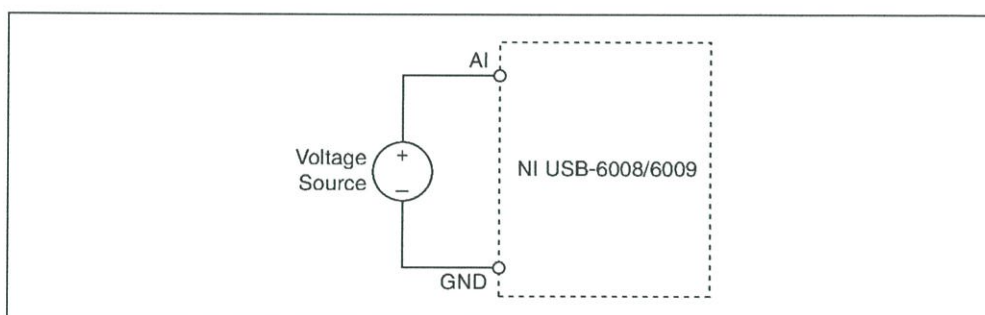


Figure 11. Connecting a Referenced Single-Ended Voltage Signal

When no signals are connected to the analog input terminal, the internal resistor divider may cause the terminal to float to approximately 1.4 V when the analog input terminal is configured as RSE. This behavior is normal and does not affect the measurement when a signal is connected.

Digital Trigger

You can configure PFI 0 as a digital trigger input for analog input tasks. Refer to the *Using PFI 0 as a Digital Trigger* section for more information.

Analog Output

The NI USB-6008/6009 has two independent analog output channels that can generate outputs from 0 to 5 V. All updates of analog output channels are software-timed. GND is the ground-reference signal for the analog output channels.

Figure 12 shows the circuitry of one analog output channel on the NI USB-6008/6009.

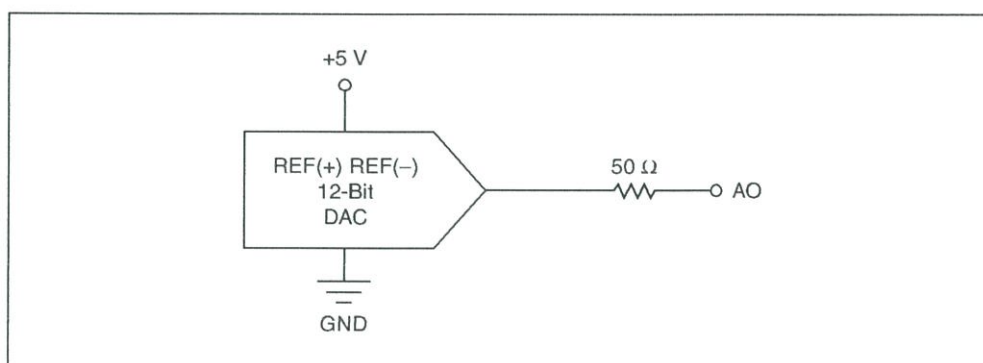


Figure 12. Circuitry of One Analog Output Channel

The main block featured in the NI USB-6008/6009 analog output circuitry is the digital-to-analog converter (DAC), which converts digital codes to analog voltages. There is one DAC for each analog output line.

Connecting Analog Output Loads

To connect loads to the NI USB-6008/6009, connect the positive lead of the load to the AO terminal, and connect the ground of the load to a GND terminal, as shown in Figure 13.

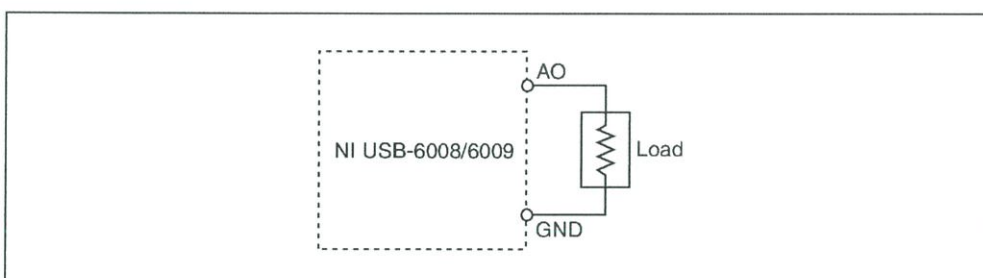


Figure 13. Connecting a Load

Minimizing Glitches on the Output Signal

When you use a DAC to generate a waveform, you may observe glitches in the output signal. These glitches are normal; when a DAC switches from one voltage to another, it produces glitches due to released charges. The largest glitches occur when the most significant bit of the DAC code changes. You can build a lowpass deglitching filter to remove some of these glitches, depending on the frequency and nature of the output signal. For more information about minimizing glitches, refer to the KnowledgeBase document, *Reducing Glitches on the Analog Output of MIO DAQ Devices*. To access this document, go to ni.com/info and enter the Info Code `exszek`.

Digital I/O

The NI USB-6008/6009 has 12 digital lines on two ports, Port 0 has eight lines, P0.<0..7>, and Port 1 has four lines, P1.<0..3>. GND is the ground-reference signal for the digital I/O ports. You can individually program all lines as inputs or outputs.

Figure 14 shows P0.<0..7> connected to example signals configured as digital inputs and digital outputs. You can configure P1.<0..3> similarly.

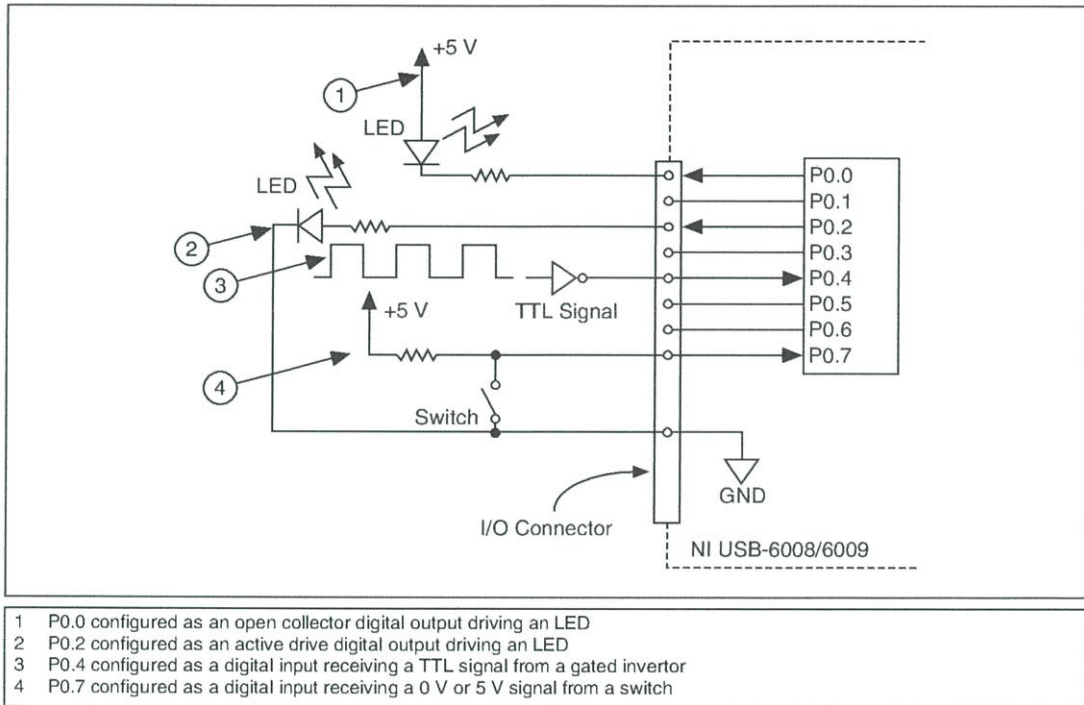


Figure 14. Example of Connecting a Load



Caution Exceeding the maximum input voltage ratings or maximum output ratings, which are listed in the *Specifications* section, can damage the device and the computer. National Instruments is *not* liable for any damage resulting from such signal connections.

Source/Sink Information

The default configuration of the NI USB-6008/6009 digital I/O ports is open collector, allowing 5 V operation, with an onboard 4.7 k Ω pull-up resistor. An external user-provided pull-up resistor can be added to increase the source current drive up to a 8.5 mA limit per line as shown in Figure 15.¹

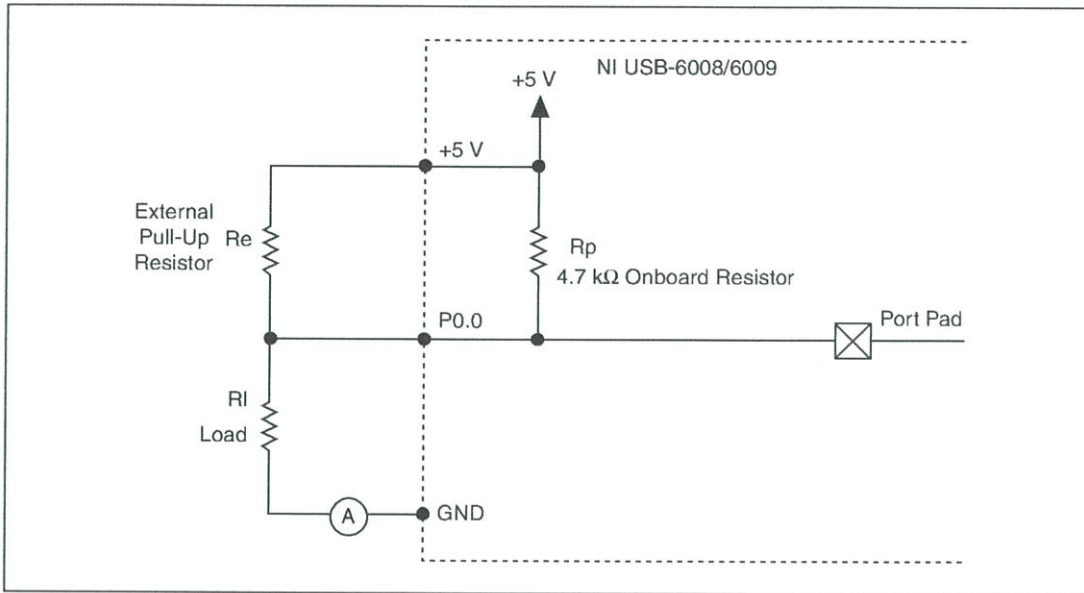


Figure 15. Example of Connecting an External User-Provided Resistor

The NI USB-6009 ports can also be configured as active drive using the NI-DAQmx API, allowing 3.3 V operation with a source/sink current limit of ± 8.5 mA. For more information about how to set the DIO configuration, refer to the KnowledgeBase document, *Configuring NI Devices to be Open-Drain (Open Collector) or Push-Pull (Active Drive)*. To access this document, go to ni.com/info and enter the Info Code `ex52sp`.

Complete the following steps to determine the value of the user-provided pull-up resistor:

1. Place an ammeter in series with the load.
2. Place a variable resistor between the digital output line and the +5 V supply.
3. Set P0.0 to high.
4. Adjust the variable resistor until the ammeter current reads as the intended current. The intended current must be less than 8.5 mA.
5. Remove the ammeter and variable resistor from your circuit.
6. Measure the resistance of the variable resistor. The measured resistance is the ideal value of the pull-up resistor.
7. Select a static resistor value for your pull-up resistor that is greater than or equal to the ideal resistance.
8. Reconnect the load circuit and the pull-up resistor.

¹ This document uses NI-DAQmx naming conventions. Open-drain is called open collector and push-pull is called active drive.

I/O Protection

To protect the NI USB-6008/6009 against overvoltage, undervoltage, and overcurrent conditions, as well as ESD events, you should avoid these fault conditions by using the following guidelines:

- If you configure a DIO line as an output, do *not* connect it to any external signal source, ground signal, or power supply.
- If you configure a DIO line as an output, understand the current requirements of the load connected to these signals. Do *not* exceed the specified current output limits of the DAQ device.
National Instruments has several signal conditioning solutions for digital applications requiring high current drive.
- If you configure a DIO line as an input, do *not* drive the line with voltages outside of its normal operating range. The DIO lines have a smaller operating range than the AI signals.
- Treat the DAQ device as you would treat any static-sensitive device. Always properly ground yourself and the equipment when handling the DAQ device or connecting to it.

Power-On States

At system startup and reset, the hardware sets all DIO lines to high-impedance inputs. The DAQ device does not drive the signal high or low. Each line has a weak pull-up resistor connected to it.

Static DIO

Each of the NI USB-6008/6009 DIO lines can be used as a static DI or DO line. You can use static DIO lines to monitor or control digital signals. All samples of static DI lines and updates of DO lines are software-timed.

PFI 0

PFI 0 is configurable as either a digital trigger input or an event counter input.

Using PFI 0 as a Digital Trigger

When an analog input task is defined, you can configure PFI 0 as a digital trigger input. When the digital trigger is enabled, the AI task waits for a rising or falling edge on PFI 0 before starting the acquisition. To use AI Start Trigger (ai/StartTrigger) with a digital source, specify PFI 0 as the source and select a rising or falling edge.

Using PFI 0 as an Event Counter

You can configure PFI 0 as a source for counting digital edges. In this mode, falling-edge events are counted using a 32-bit counter. For more information about event timing requirements, refer to the *Specifications* section.

External Reference and Power Source

The NI USB-6008/6009 creates an external reference and supplies a power source. All voltages are relative to ground (GND).

+2.5 V External Reference

The NI USB-6008/6009 creates a high-purity reference voltage supply for the ADC using a multi-state regulator, amplifier, and filter circuit. You can use the resulting +2.5 V reference voltage as a signal for self-test.

+5 V Power Source

The NI USB-6008/6009 supplies a 5 V, 200 mA output. You can use this source to power external components.



Note When the device is in USB suspend, the output is disabled.

Specifications

The following specifications are typical at 25 °C, unless otherwise noted.

Analog Input

Analog inputs

Differential	4
Single-ended	8, software-selectable

Input resolution

NI USB-6008	
Differential	12 bits
Single-ended	11 bits
NI USB-6009	
Differential	14 bits
Single-ended	13 bits

Max sample rate (aggregate)¹

NI USB-6008	10 kS/s
NI USB-6009	48 kS/s

Converter type.....Successive approximation

AI FIFO.....512 bytes

Timing resolution.....41.67 ns (24 MHz timebase)

Timing accuracy.....100 ppm of actual sample rate

Input range

Differential	± 20 V ² , ± 10 V, ± 5 V, ± 4 V, ± 2.5 V, ± 2 V, ± 1.25 V, ± 1 V
Single-ended	± 10 V

¹ System-dependent.

² ± 20 V means that $|AI+ - (AI-)| \leq 20$ V. However, AI+ and AI- must both be within ± 10 V of GND. Refer to the *Taking Differential Measurements* section for more information.

Working voltage.....	±10 V
Input impedance.....	144 kΩ
Overshoot protection.....	±35 V
Trigger source	Software or external digital trigger
System noise ¹	
Differential	
±20 V range	5 mVrms
±1 V range	0.5 mVrms
Single-ended	
±10 V range	5 mVrms
Absolute accuracy at full scale, differential ²	

Range (V)	Typical at 25 °C (mV)	Maximum over Temperature (mV)
±20	14.7	138
±10	7.73	84.8
±5	4.28	58.4
±4	3.59	53.1
±2.5	2.56	45.1
±2	2.21	42.5
±1.25	1.70	38.9
±1	1.53	37.5

Absolute accuracy at full scale, single-ended

Range (V)	Typical at 25 °C (mV)	Maximum over Temperature (mV)
±10	14.7	138

Analog Output

Analog outputs.....	2
Output resolution	12 bits
Maximum update rate	150 Hz, software-timed
Output range	0 to +5 V
Output impedance	50 Ω
Output current drive	5 mA
Power-on state.....	0 V

¹ System noise measured at maximum sample rate.

² Input voltages may not exceed the working voltage range.

Slew rate.....	1 V/ μ s
Short circuit current	50 mA
Absolute accuracy (no load)	
Typical.....	7 mV
Maximum at full scale	36.4 mV

Digital I/O

Digital I/O lines	
P0.<0..7>.....	8 lines
P1.<0..3>.....	4 lines
Direction control	Each channel individually programmable as input or output
Output driver type ¹	
NI USB-6008	Open collector
NI USB-6009	Each channel individually programmable as open collector or active drive
Compatibility	TTL, LVTTTL, CMOS
Absolute maximum voltage range	-0.5 to 5.8 V with respect to GND
Pull-up resistor	4.7 k Ω to 5 V
Power-on state.....	Input

Digital logic levels

Level	Min	Max
Input low voltage	-0.3 V	0.8 V
Input high voltage	2.0 V	5.8 V
Input leakage current	—	50 μ A
Output low voltage (I = 8.5 mA)	—	0.8 V
Output high voltage		
Active drive, I = -8.5 mA	2.0 V	3.5 V
Open collector, I = -0.6 mA, nominal	2.0 V	5.0 V
Open collector, I = -8.5 mA, with external pull-up resistor	2.0 V	—

External Voltage

+5 V output (200 mA maximum)	
Minimum	+4.85 V
Typical.....	+5 V
+2.5 V output (1 mA maximum)	+2.5 V
+2.5 V accuracy	0.25% maximum
Reference temperature drift	50 ppm/ $^{\circ}$ C maximum

¹ This document uses NI-DAQmx naming conventions. Open-drain is called open collector and push-pull is called active drive.

Event Counter

Number of counters	1
Resolution	32 bits
Counter measurements	Edge counting (falling-edge)
Counter direction	Count up
Pull-up resistor	4.7 k Ω to 5 V
Maximum input frequency	5 MHz
Minimum high pulse width	100 ns
Minimum low pulse width	100 ns
Input high voltage	2.0 V
Input low voltage	0.8 V

Bus Interface

USB specification	USB 2.0 full-speed
USB bus speed	12 Mb/s

Power Requirements

USB	
4.10 to 5.25 VDC	
Typical	80 mA
Maximum	500 mA
USB suspend	
Typical	300 μ A
Maximum	500 μ A

Physical Characteristics

Dimensions	Refer to Figure 16.
Without connectors	63.5 mm \times 85.1 mm \times 23.2 mm (2.50 in. \times 3.35 in. \times 0.91 in.)
With connectors	81.8 mm \times 85.1 mm \times 23.2 mm (3.22 in. \times 3.35 in. \times 0.91 in.)

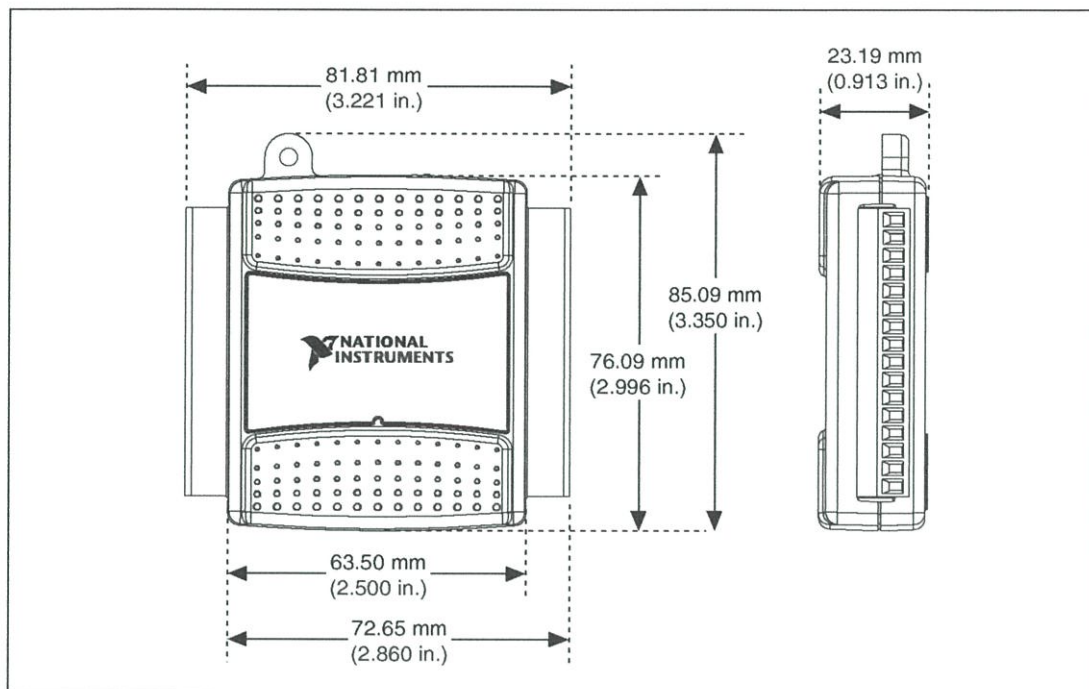


Figure 16. NI USB-6008/6009 Dimensions

Weight

Without connectors	54 g (1.9 oz)
With connectors	84 g (3 oz)

I/O connectors.....	USB series B receptacle, (2) 16 position screw terminal plugs
Screw-terminal wiring	16 to 28 AWG
Torque for screw terminals	0.22–0.25 N · m (2.0–2.2 lb · in.)

If you need to clean the module, wipe it with a dry towel.

Safety Voltages

Connect only voltages that are within these limits.

Channel-to-GND..... ± 30 V max, Measurement Category I

Measurement Category I is for measurements performed on circuits not directly connected to the electrical distribution system referred to as *MAINS* voltage. *MAINS* is a hazardous live electrical supply system that powers equipment. This category is for measurements of voltages from specially protected secondary circuits. Such voltage measurements include signal levels, special equipment, limited-energy parts of equipment, circuits powered by regulated low-voltage sources, and electronics.



Caution Do *not* use this module for connection to signals or for measurements within Measurement Categories II, III, or IV.

Environmental

Temperature (IEC 60068-2-1 and IEC 60068-2-2)	
Operating	0 to 55 °C
Storage	-40 to 85 °C
Humidity (IEC 60068-2-56)	
Operating	5 to 95% RH, noncondensing
Storage	5 to 90% RH, noncondensing
Pollution Degree (IEC 60664)	2
Maximum altitude.....	2,000 m
Indoor use only.	

Safety

This product meets the requirements of the following standards of safety for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 61010-1, CSA 61010-1



Note For UL and other safety certifications, refer to the product label or the *Online Product Certification* section.

Electromagnetic Compatibility

This product meets the requirements of the following EMC standards for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- EN 61326-1 (IEC 61326-1): Class A emissions; Basic immunity
- EN 55011 (CISPR 11): Group 1, Class A emissions
- AS/NZS CISPR 11: Group 1, Class A emissions
- FCC 47 CFR Part 15B: Class A emissions
- ICES-001: Class A emissions



Note In the United States (per FCC 47 CFR), Class A equipment is intended for use in commercial, light-industrial, and heavy-industrial locations. In Europe, Canada, Australia and New Zealand (per CISPR 11) Class A equipment is intended for use only in heavy-industrial locations.



Note Group 1 equipment (per CISPR 11) is any industrial, scientific, or medical equipment that does not intentionally generate radio frequency energy for the treatment of material or inspection/analysis purposes.



Note For EMC declarations and certifications, and additional information, refer to the *Environmental Management* section.

CE Compliance

This product meets the essential requirements of applicable European Directives as follows:

- 2006/95/EC; Low-Voltage Directive (safety)
- 2004/108/EC; Electromagnetic Compatibility Directive (EMC)

ภาคผนวก ข.

ข้อมูลของตัววัดอุณหภูมิ MCP9700



MCP9700/9700A MCP9701/9701A

Low-Power Linear Active Thermistor™ ICs

Features

- Tiny Analog Temperature Sensor
- Available Packages: SC-70-5, SOT-23-5, TO-92-3
- Wide Temperature Measurement Range:
 - -40°C to $+125^{\circ}\text{C}$
- Accuracy:
 - $\pm 2^{\circ}\text{C}$ (max.), 0°C to $+70^{\circ}\text{C}$ (MCP9700A/9701A)
 - $\pm 4^{\circ}\text{C}$ (max.), 0°C to $+70^{\circ}\text{C}$ (MCP9700/9701)
- Optimized for Analog-to-Digital Converters (ADCs):
 - $10.0\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ (typical) MCP9700/9700A
 - $19.5\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ (typical) MCP9701/9701A
- Wide Operating Voltage Range:
 - $V_{\text{DD}} = 2.3\text{V}$ to 5.5V MCP9700/9700A
 - $V_{\text{DD}} = 3.1\text{V}$ to 5.5V MCP9701/9701A
- Low Operating Current: $6\text{ }\mu\text{A}$ (typical)
- Optimized to Drive Large Capacitive Loads

Typical Applications

- Hard Disk Drives and Other PC Peripherals
- Entertainment Systems
- Home Appliance
- Office Equipment
- Battery Packs and Portable Equipment
- General Purpose Temperature Monitoring

Description

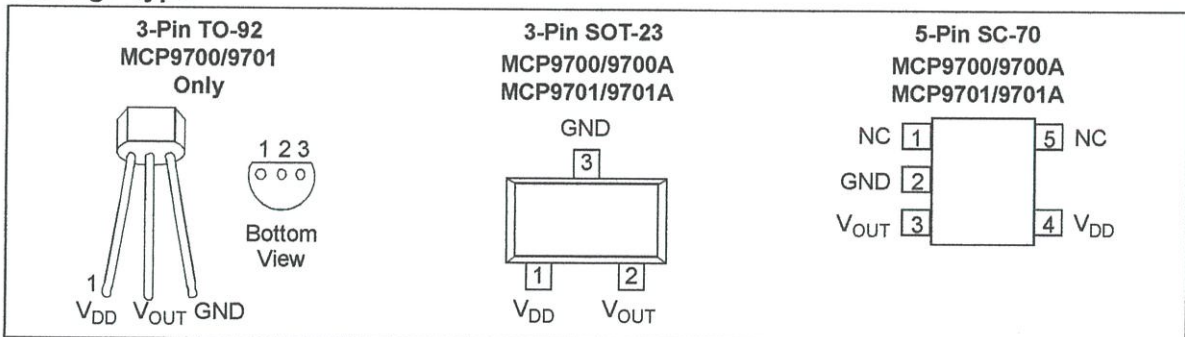
The MCP9700/9700A and MCP9701/9701A family of Linear Active Thermistor™ Intergrated Circuit (IC) is an analog temperature sensor that converts temperature to analog voltage. It's a low-cost, low-power sensor with an accuracy of $\pm 2^{\circ}\text{C}$ from 0°C to $+70^{\circ}\text{C}$ (MCP9700A/9701A) $\pm 4^{\circ}\text{C}$ from 0°C to $+70^{\circ}\text{C}$ (MCP9700/9701) while consuming $6\text{ }\mu\text{A}$ (typical) of operating current.

Unlike resistive sensors (such as thermistors), the Linear Active Thermistor IC does not require an additional signal-conditioning circuit. Therefore, the biasing circuit development overhead for thermistor solutions can be avoided by implementing this low-cost device. The voltage output pin (V_{OUT}) can be directly connected to the ADC input of a microcontroller. The MCP9700/9700A and MCP9701/9701A temperature coefficients are scaled to provide a $1^{\circ}\text{C}/\text{bit}$ resolution for an 8-bit ADC with a reference voltage of 2.5V and 5V , respectively.

The MCP9700/9700A and MCP9701/9701A provide a low-cost solution for applications that require measurement of a relative change of temperature. When measuring relative change in temperature from $+25^{\circ}\text{C}$, an accuracy of $\pm 1^{\circ}\text{C}$ (typical) can be realized from 0°C to $+70^{\circ}\text{C}$. This accuracy can also be achieved by applying system calibration at $+25^{\circ}\text{C}$.

In addition, this family is immune to the effects of parasitic capacitance and can drive large capacitive loads. This provides Printed Circuit Board (PCB) layout design flexibility by enabling the device to be remotely located from the microcontroller. Adding some capacitance at the output also helps the output transient response by reducing overshoots or undershoots. However, capacitive load is not required for sensor output stability.

Package Type



MCP9700/9700A and MCP9701/9701A

1.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Absolute Maximum Ratings †

V _{DD} :.....	6.0V
Storage temperature:	-65°C to +150°C
Ambient Temp. with Power Applied:..	-40°C to +125°C
Junction Temperature (T _J):.....	150°C
ESD Protection On All Pins (HBM:MM):....	(4 kV:200V)
Latch-Up Current at Each Pin:	±200 mA

†**Notice:** Stresses above those listed under "Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at those or any other conditions above those indicated in the operational listings of this specification is not implied. Exposure to maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated:

MCP9700/9700A: V_{DD} = 2.3V to 5.5V, GND = Ground, T_A = -40°C to +125°C and No load.

MCP9701/9701A: V_{DD} = 3.1V to 5.5V, GND = Ground, T_A = -10°C to +125°C and No load.

Parameter	Sym	Min	Typ	Max	Unit	Conditions
Power Supply						
Operating Voltage Range	V _{DD}	2.3	—	5.5	V	MCP9700/9700A
	V _{DD}	3.1	—	5.5	V	MCP9701/9701A
Operating Current	I _{DD}	—	6	12	μA	
Power Supply Rejection	Δ°C/ΔV _{DD}	—	0.1	—	°C/V	
Sensor Accuracy (Notes 1, 2)						
T _A = +25°C	T _{ACY}	—	±1	—	°C	
T _A = 0°C to +70°C	T _{ACY}	-2.0	±1	+2.0	°C	MCP9700A/9701A
T _A = -40°C to +125°C	T _{ACY}	-2.0	±1	+4.0	°C	MCP9700A
T _A = -10°C to +125°C	T _{ACY}	-2.0	±1	+4.0	°C	MCP9701A
T _A = 0°C to +70°C	T _{ACY}	-4.0	±2	+4.0	°C	MCP9700/9701
T _A = -40°C to +125°C	T _{ACY}	-4.0	±2	+6.0	°C	MCP9700
T _A = -10°C to +125°C	T _{ACY}	-4.0	±2	+6.0	°C	MCP9701
Sensor Output						
Output Voltage, T _A = 0°C	V _{0°C}	—	500	—	mV	MCP9700/9700A
Output Voltage, T _A = 0°C	V _{0°C}	—	400	—	mV	MCP9701/9701A
Temperature Coefficient	T _C	—	10.0	—	mV/°C	MCP9700/9700A
	T _C	—	19.5	—	mV/°C	MCP9701/9701A
Output Non-linearity	V _{ONL}	—	±0.5	—	°C	T _A = 0°C to +70°C (Note 2)
Output Current	I _{OUT}	—	—	100	μA	
Output Impedance	Z _{OUT}	—	20	—	Ω	I _{OUT} = 100 μA, f = 500 Hz
Output Load Regulation	ΔV _{OUT} / ΔI _{OUT}	—	1	—	Ω	T _A = 0°C to +70°C, I _{OUT} = 100 μA

Note 1: The MCP9700/9700A family accuracy is tested with V_{DD} = 3.3V, while the MCP9701/9701A accuracy is tested with V_{DD} = 5.0V.

2: The MCP9700/9700A and MCP9701/9701A family is characterized using the first-order or linear equation, as shown in Equation 4-2.

3: The MCP9700/9700A and MCP9701/9701A family is characterized and production tested with a capacitive load of 1000 pF.

4: SC-70-5 package thermal response with 1x1 inch, dual-sided copper clad, TO-92-3 package thermal response without PCB (leadless).

MCP9700/9700A and MCP9701/9701A

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (CONTINUED)

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated: MCP9700/9700A: $V_{DD} = 2.3V$ to $5.5V$, GND = Ground, $T_A = -40^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$ and No load. MCP9701/9701A: $V_{DD} = 3.1V$ to $5.5V$, GND = Ground, $T_A = -10^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$ and No load.						
Parameter	Sym	Min	Typ	Max	Unit	Conditions
Turn-on Time	t_{ON}	—	800	—	μs	
Typical Load Capacitance (Note 3)	C_{LOAD}	—	—	1000	pF	
SC-70 Thermal Response to 63%	t_{RES}	—	1.3	—	s	30°C (Air) to +125°C (Fluid Bath) (Note 4)
TO-92 Thermal Response to 63%	t_{RES}	—	1.65	—	s	

- Note 1:** The MCP9700/9700A family accuracy is tested with $V_{DD} = 3.3V$, while the MCP9701/9701A accuracy is tested with $V_{DD} = 5.0V$.
- 2:** The MCP9700/9700A and MCP9701/9701A family is characterized using the first-order or linear equation, as shown in Equation 4-2.
- 3:** The MCP9700/9700A and MCP9701/9701A family is characterized and production tested with a capacitive load of 1000 pF.
- 4:** SC-70-5 package thermal response with 1x1 inch, dual-sided copper clad, TO-92-3 package thermal response without PCB (lead).

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Electrical Specifications: Unless otherwise indicated: MCP9700/9700A: $V_{DD} = 2.3V$ to $5.5V$, GND = Ground, $T_A = -40^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$ and No load. MCP9701/9701A: $V_{DD} = 3.1V$ to $5.5V$, GND = Ground, $T_A = -10^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$ and No load.						
Parameters	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
Temperature Ranges						
Specified Temperature Range	T_A	-40	—	+125	$^{\circ}C$	MCP9700/9700A (Note)
	T_A	-10	—	+125	$^{\circ}C$	MCP9701/9701A (Note)
Operating Temperature Range	T_A	-40	—	+125	$^{\circ}C$	
Storage Temperature Range	T_A	-65	—	+150	$^{\circ}C$	
Thermal Package Resistances						
Thermal Resistance, 5LD SC-70	θ_{JA}	—	331	—	$^{\circ}C/W$	
Thermal Resistance, 3LD SOT-23	θ_{JA}	—	336	—	$^{\circ}C/W$	
Thermal Resistance, 3LD TO-92	θ_{JA}	—	131.9	—	$^{\circ}C/W$	

Note: Operation in this range must not cause T_J to exceed Maximum Junction Temperature (+150°C).

MCP9700/9700A and MCP9701/9701A

2.0 TYPICAL PERFORMANCE CURVES

Note: The graphs and tables provided following this note are a statistical summary based on a limited number of samples and are provided for informational purposes only. The performance characteristics listed herein are not tested or guaranteed. In some graphs or tables, the data presented may be outside the specified operating range (e.g., outside specified power supply range) and therefore outside the warranted range.

Note: Unless otherwise indicated, MCP9700/9700A: $V_{DD} = 2.3V$ to $5.5V$; MCP9701/9701A: $V_{DD} = 3.1V$ to $5.5V$; GND = Ground, $C_{bypass} = 0.1 \mu F$.

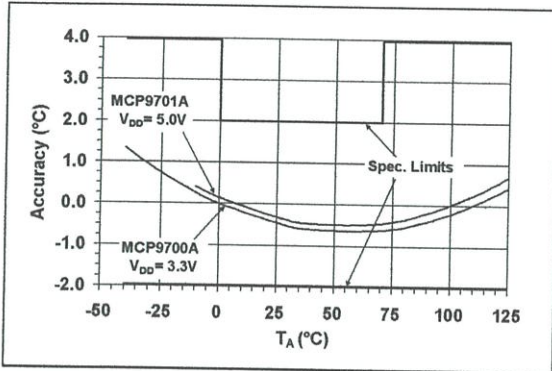


FIGURE 2-1: Accuracy vs. Ambient Temperature (MCP9700A/9701A).

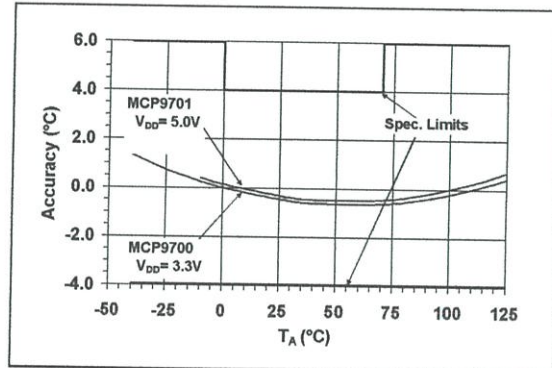


FIGURE 2-4: Accuracy vs. Ambient Temperature (MCP9700/9701).

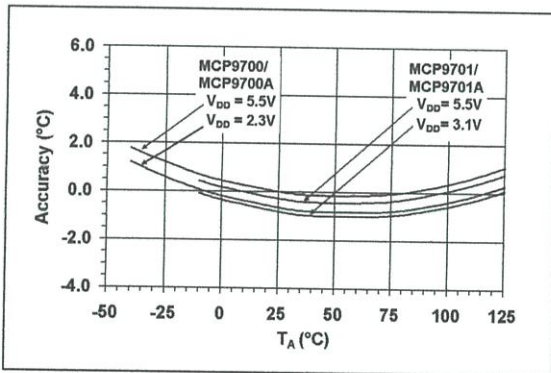


FIGURE 2-2: Accuracy vs. Ambient Temperature, with V_{DD} .

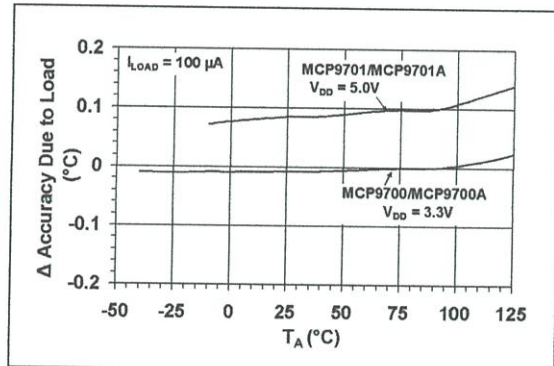


FIGURE 2-5: Changes in Accuracy vs. Ambient Temperature (Due to Load).

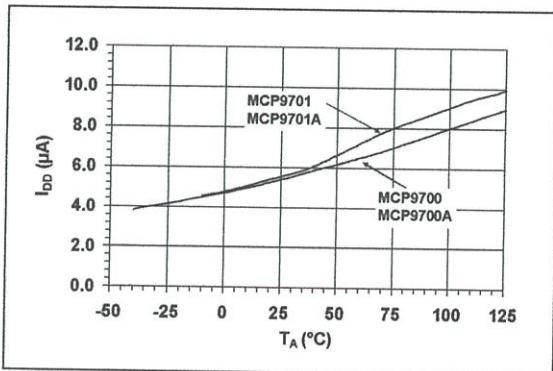


FIGURE 2-3: Supply Current vs. Temperature.

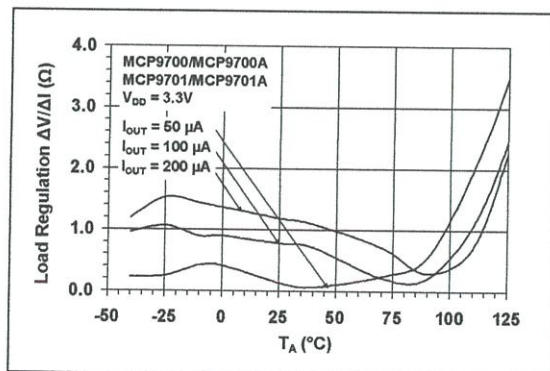


FIGURE 2-6: Load Regulation vs. Ambient Temperature.

MCP9700/9700A and MCP9701/9701A

Note: Unless otherwise indicated, MCP9700/9700A: $V_{DD} = 2.3V$ to $5.5V$; MCP9701/9701A: $V_{DD} = 3.1V$ to $5.5V$; GND = Ground, $C_{bypass} = 0.1 \mu F$.

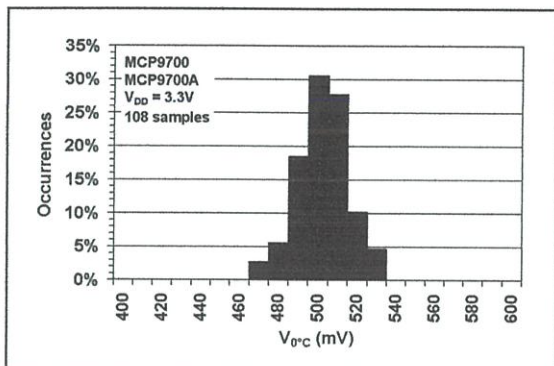


FIGURE 2-7: Output Voltage at $0^{\circ}C$ (MCP9700/9700A).

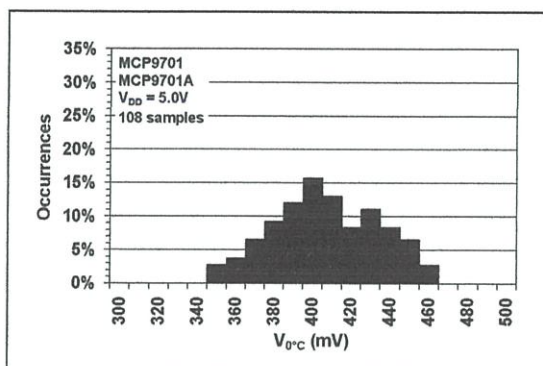


FIGURE 2-10: Output Voltage at $0^{\circ}C$ (MCP9701/9701A).

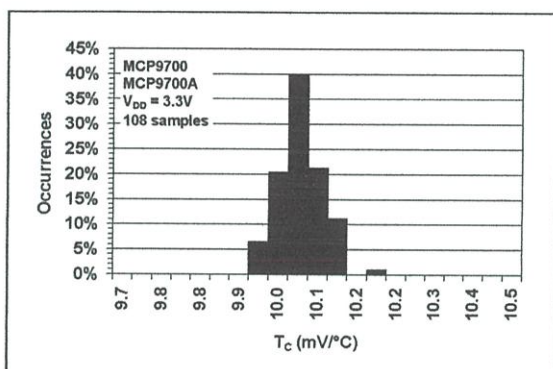


FIGURE 2-8: Occurrences vs. Temperature Coefficient (MCP9700/9700A).

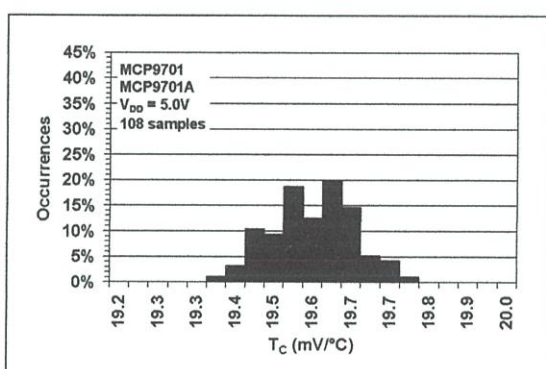


FIGURE 2-11: Occurrences vs. Temperature Coefficient (MCP9701/9701A).

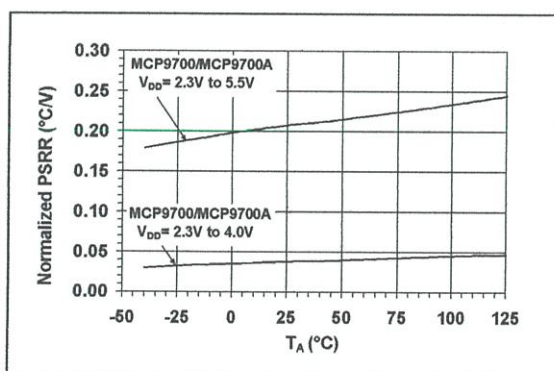


FIGURE 2-9: Power Supply Rejection ($\Delta^{\circ}C/\Delta V_{DD}$) vs. Ambient Temperature.

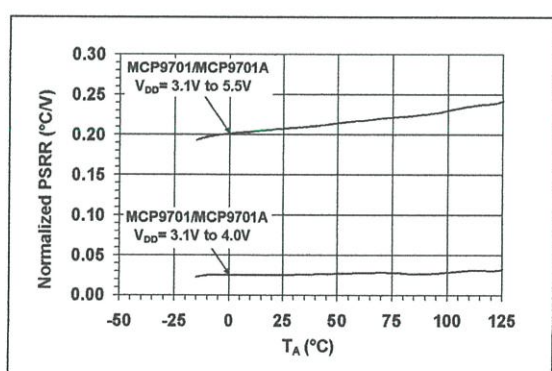


FIGURE 2-12: Power Supply Rejection ($\Delta^{\circ}C/\Delta V_{DD}$) vs. Temperature.

MCP9700/9700A and MCP9701/9701A

Note: Unless otherwise indicated, MCP9700/9700A: $V_{DD} = 2.3V$ to $5.5V$; MCP9701/9701A: $V_{DD} = 3.1V$ to $5.5V$; GND = Ground, $C_{bypass} = 0.1 \mu F$.

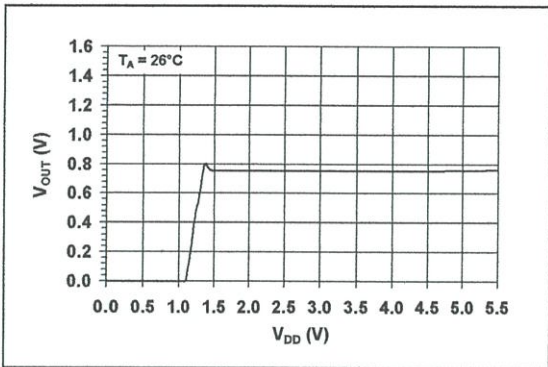


FIGURE 2-13: Output Voltage vs. Power Supply.

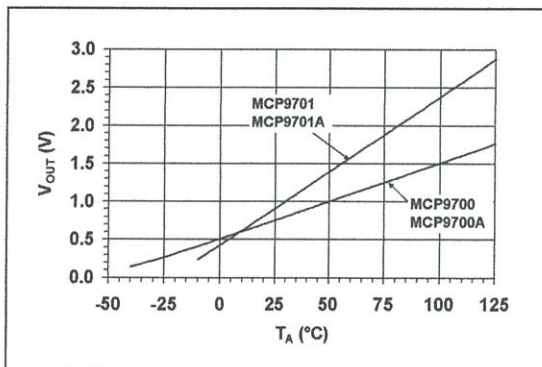


FIGURE 2-16: Output Voltage vs. Ambient Temperature.

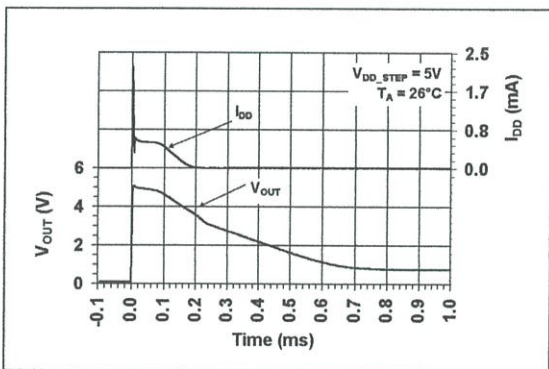


FIGURE 2-14: Output vs. Settling Time to step V_{DD} .

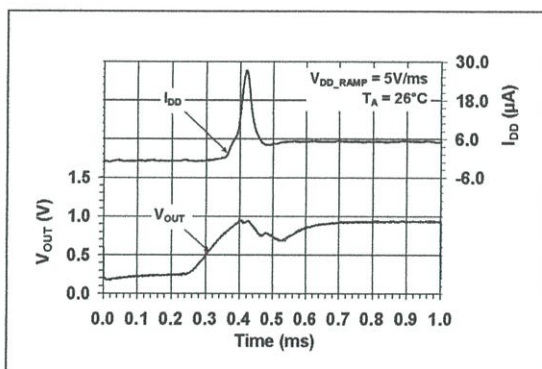


FIGURE 2-17: Output vs. Settling Time to Ramp V_{DD} .

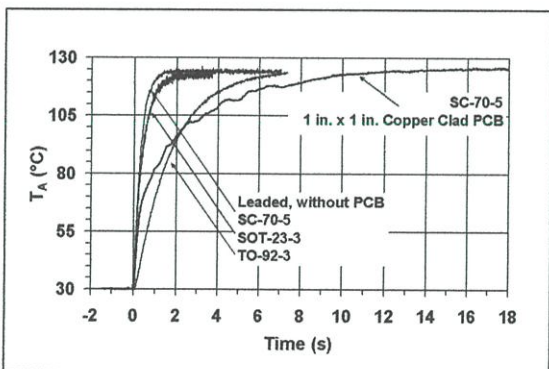


FIGURE 2-15: Thermal Response (Air to Fluid Bath).

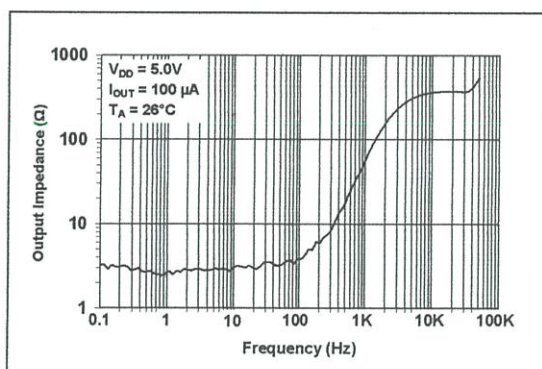


FIGURE 2-18: Output Impedance vs. Frequency.

MCP9700/9700A and MCP9701/9701A

3.0 PIN DESCRIPTIONS

The descriptions of the pins are listed Table 3-1.

TABLE 3-1: PIN FUNCTION TABLE

Pin No. SC-70	Pin No. SOT-23	Pin No. TO-92	Symbol	Function
1	—	—	NC	No Connect
2	3	3	GND	Power Ground Pin
3	2	2	V_{OUT}	Output Voltage Pin
4	1	1	V_{DD}	Power Supply Input
5	—	—	NC	No Connect

3.1 Power Ground Pin (GND)

GND is the system ground pin.

3.2 Output Voltage Pin (V_{OUT})

The sensor output can be measured at V_{OUT} . The voltage range over the operating temperature range for the MCP9700/9700A is 100 mV to 1.75V and for the MCP9701/9701A, 200 mV to 3V .

3.3 Power Supply Input (V_{DD})

The operating voltage as specified in the “DC Electrical Characteristics” table is applied to V_{DD} .

MCP9700/9700A and MCP9701/9701A

4.0 APPLICATIONS INFORMATION

The Linear Active Thermistor™ IC uses an internal diode to measure temperature. The diode electrical characteristics have a temperature coefficient that provides a change in voltage based on the relative ambient temperature from -40°C to 125°C. The change in voltage is scaled to a temperature coefficient of 10.0 mV/°C (typical) for the MCP9700/9700A and 19.5 mV/°C (typical) for the MCP9701/9701A. The output voltage at 0°C is also scaled to 500 mV (typical) and 400 mV (typical) for the MCP9700/9700A and MCP9701/9701A, respectively. This linear scale is described in the first-order transfer function shown in Equation 4-1.

EQUATION 4-1: SENSOR TRANSFER FUNCTION

$$V_{OUT} = T_C \cdot T_A + V_{0^\circ C}$$

Where:

- T_A = Ambient Temperature
- V_{OUT} = Sensor Output Voltage
- $V_{0^\circ C}$ = Sensor Output Voltage at 0°C
- T_C = Temperature Coefficient

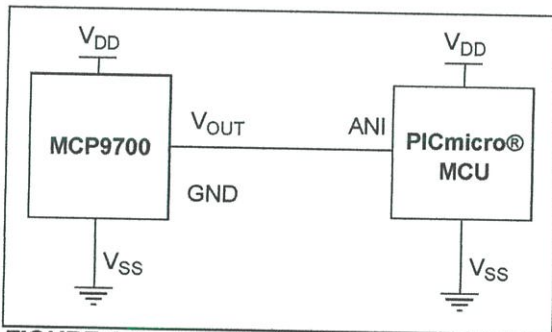


FIGURE 4-1: Typical Application Circuit.

4.1 Improving Accuracy

The MCP9700/9700A and MCP9701/9701A accuracy can be improved by performing a system calibration at a specific temperature. For example, calibrating the system at +25°C ambient improves the measurement accuracy to a ±0.5°C (typical) from 0°C to +70°C, as shown in Figure 4-2. Therefore, when measuring relative temperature change, this family measures temperature with higher accuracy.

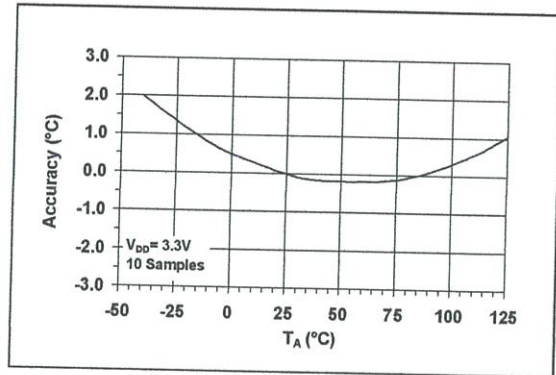


FIGURE 4-2: Relative Accuracy to +25°C vs. Temperature.

The change in accuracy from the calibration temperature is due to the output non-linearity from the first-order equation, as specified in Equation 4-2. The accuracy can be further improved by compensating for the output non-linearity.

For higher accuracy using a sensor compensation technique, refer to AN1001 "IC Temperature Sensor Accuracy Compensation with a PICmicro® Microcontroller" (DS01001). The application note shows that if the MCP9700 is compensated in addition to room temperature calibration, the sensor accuracy can be improved to ±0.5°C (typical) accuracy over the operating temperature (Figure 4-3).

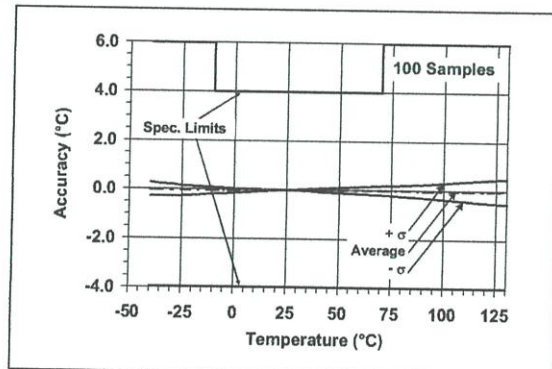


FIGURE 4-3: MCP9700/9700A Calibrated Sensor Accuracy.

The compensation technique provides a linear temperature reading. A firmware look-up table can be generated to compensate for the sensor error.

MCP9700/9700A and MCP9701/9701A

4.2 Shutdown Using Microcontroller I/O Pin

The MCP9700/9700A and MCP9701/9701A family of low operating current of 6 μA (typical) makes it ideal for battery-powered applications. However, for applications that require tighter current budget, this device can be powered using a microcontroller Input/Output (I/O) pin. The I/O pin can be toggled to shut down the device. In such applications, the microcontroller internal digital switching noise is emitted to the MCP9700/9700A and MCP9701/9701A as power supply noise. This switching noise compromises measurement accuracy. Therefore, a decoupling capacitor and series resistor will be necessary to filter out the system noise.

4.3 Layout Considerations

The MCP9700/9700A and MCP9701/9701A family does not require any additional components to operate. However, it is recommended that a decoupling capacitor of 0.1 μF to 1 μF be used between the V_{DD} and GND pins. In high-noise applications, connect the power supply voltage to the V_{DD} pin using a 200 Ω resistor with a 1 μF decoupling capacitor. A high frequency ceramic capacitor is recommended. It is necessary for the capacitor to be located as close as possible to the V_{DD} and GND pins in order to provide effective noise protection. In addition, avoid tracing digital lines in close proximity to the sensor.

4.4 Thermal Considerations

The MCP9700/9700A and MCP9701/9701A family measures temperature by monitoring the voltage of a diode located in the die. A low-impedance thermal path between the die and the PCB is provided by the pins. Therefore, the sensor effectively monitors the temperature of the PCB. However, the thermal path for the ambient air is not as efficient because the plastic device package functions as a thermal insulator from the die. This limitation applies to plastic-packaged silicon temperature sensors. If the application requires measuring ambient air, consider using the TO-92 package.

The MCP9700/9700A and MCP9701/9701A is designed to source/sink 100 μA (max.). The power dissipation due to the output current is relatively insignificant. The effect of the output current can be described using Equation 4-2.

EQUATION 4-2: EFFECT OF SELF-HEATING

$$T_J - T_A = \theta_{JA}(V_{DD}I_{DD} + (V_{DD} - V_{OUT})I_{OUT})$$

Where:

- T_J = Junction Temperature
- T_A = Ambient Temperature
- θ_{JA} = Package Thermal Resistance (331 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$)
- V_{OUT} = Sensor Output Voltage
- I_{OUT} = Sensor Output Current
- I_{DD} = Operating Current
- V_{DD} = Operating Voltage

At $T_A = +25^{\circ}\text{C}$ ($V_{OUT} = 0.75\text{V}$) and maximum specification of $I_{DD} = 12\ \mu\text{A}$, $V_{DD} = 5.5\text{V}$ and $I_{OUT} = +100\ \mu\text{A}$, the self-heating due to power dissipation ($T_J - T_A$) is 0.179 $^{\circ}\text{C}$.

ภาคผนวก ค.

ข้อมูลของตัววัดความเร็วรอบ TCRT5000



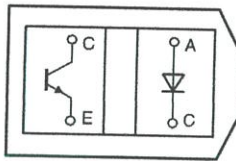
TCRT5000, TCRT5000L

Vishay Semiconductors

Reflective Optical Sensor with Transistor Output



19156_2



Top view

19156_1

FEATURES

- Package type: leaded
- Detector type: phototransistor
- Dimensions (L x W x H in mm): 10.2 x 5.8 x 7
- Peak operating distance: 2.5 mm
- Operating range within > 20 % relative collector current: 0.2 mm to 15 mm
- Typical output current under test: $I_C = 1$ mA
- Daylight blocking filter
- Emitter wavelength: 950 nm
- Lead (Pb)-free soldering released
- Compliant to RoHS directive 2002/95/EC and in accordance to WEEE 2002/96/EC



RoHS
COMPLIANT

DESCRIPTION

The TCRT5000 and TCRT5000L are reflective sensors which include an infrared emitter and phototransistor in a leaded package which blocks visible light. The package includes two mounting clips. TCRT5000L is the long lead version.

APPLICATIONS

- Position sensor for shaft encoder
- Detection of reflective material such as paper, IBM cards, magnetic tapes etc.
- Limit switch for mechanical motions in VCR
- General purpose - wherever the space is limited

PRODUCT SUMMARY

PART NUMBER	DISTANCE FOR MAXIMUM CTR_{rel} (1) (mm)	DISTANCE RANGE FOR RELATIVE $I_{out} > 20\%$ (mm)	TYPICAL OUTPUT CURRENT UNDER TEST (2) (mA)	DAYLIGHT BLOCKING FILTER INTEGRATED
TCRT5000	2.5	0.2 to 15	1	Yes
TCRT5000L	2.5	0.2 to 15	1	Yes

Notes

(1) CTR: current transference ratio, I_{out}/I_{in}

(2) Conditions like in table basic characteristics/sensors

ORDERING INFORMATION

ORDERING CODE	PACKAGING	VOLUME (1)	REMARKS
TCRT5000	Tube	MOQ: 4500 pcs, 50 pcs/tube	3.5 mm lead length
TCRT5000L	Tube	MOQ: 2400 pcs, 48 pcs/tube	15 mm lead length

Note

(1) MOQ: minimum order quantity

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (1)

PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
INPUT (EMITTER)				
Reverse voltage		V_R	5	V
Forward current		I_F	60	mA
Forward surge current	$t_p \leq 10 \mu s$	I_{FSM}	3	A
Power dissipation	$T_{amb} \leq 25^\circ C$	P_V	100	mW
Junction temperature		T_j	100	$^\circ C$

TCRT5000, TCRT5000L

Vishay Semiconductors

 Reflective Optical Sensor with
Transistor Output


ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (1)				
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
OUTPUT (DETECTOR)				
Collector emitter voltage		V_{CEO}	70	V
Emitter collector voltage		V_{ECO}	5	V
Collector current		I_C	100	mA
Power dissipation	$T_{amb} \leq 55\text{ }^\circ\text{C}$	P_V	100	mW
Junction temperature		T_j	100	$^\circ\text{C}$
SENSOR				
Total power dissipation	$T_{amb} \leq 25\text{ }^\circ\text{C}$	P_{tot}	200	mW
Ambient temperature range		T_{amb}	- 25 to + 85	$^\circ\text{C}$
Storage temperature range		T_{stg}	- 25 to + 100	$^\circ\text{C}$
Soldering temperature	2 mm from case, $t \leq 10\text{ s}$	T_{sd}	260	$^\circ\text{C}$

Note(1) $T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise specified

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

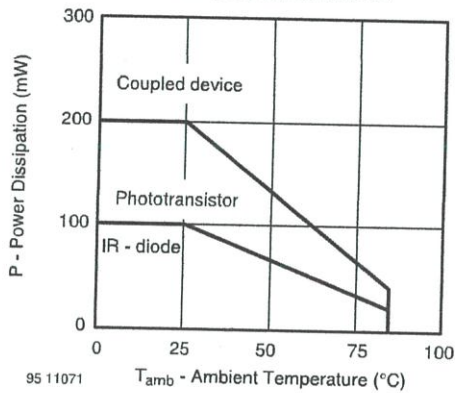


Fig. 1 - Power Dissipation Limit vs. Ambient Temperature

BASIC CHARACTERISTICS (1)						
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
INPUT (EMITTER)						
Forward voltage	$I_F = 60\text{ mA}$	V_F		1.25	1.5	V
Junction capacitance	$V_R = 0\text{ V}$, $f = 1\text{ MHz}$	C_j		17		pF
Radiant intensity	$I_F = 60\text{ mA}$, $t_p = 20\text{ ms}$	I_e			21	mW/sr
Peak wavelength	$I_F = 100\text{ mA}$	λ_P	940			nm
Virtual source diameter	Method: 63 % encircled energy	d		2.1		mm
OUTPUT (DETECTOR)						
Collector emitter voltage	$I_C = 1\text{ mA}$	V_{CEO}	70			V
Emitter collector voltage	$I_e = 100\text{ }\mu\text{A}$	V_{ECO}	7			V
Collector dark current	$V_{CE} = 20\text{ V}$, $I_F = 0\text{ A}$, $E = 0\text{ lx}$	I_{CEO}		10	200	nA
SENSOR						
Collector current	$V_{CE} = 5\text{ V}$, $I_F = 10\text{ mA}$, $D = 12\text{ mm}$	$I_C^{(2)(3)}$	0.5	1	2.1	mA
Collector emitter saturation voltage	$I_F = 10\text{ mA}$, $I_C = 0.1\text{ mA}$, $D = 12\text{ mm}$	$V_{CEsat}^{(2)(3)}$			0.4	V

Note(1) $T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise specified

(2) See figure 3

(3) Test surface: mirror (Mfr. Spindler a. Hoyer, Part No. 340005)



TCRT5000, TCRT5000L

Reflective Optical Sensor with Transistor Output

Vishay Semiconductors

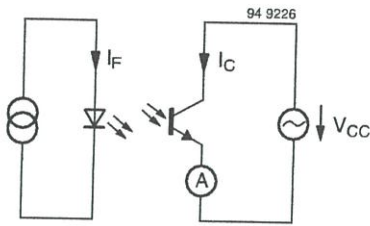


Fig. 2 - Test Circuit

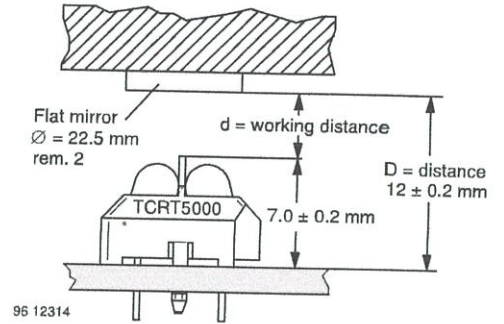


Fig. 3 - Test Circuit

BASIC CHARACTERISTICS

$T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified

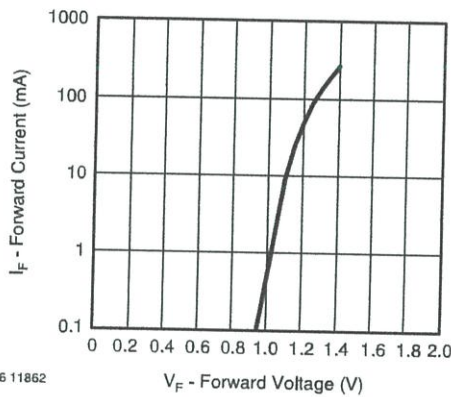


Fig. 4 - Forward Current vs. Forward Voltage

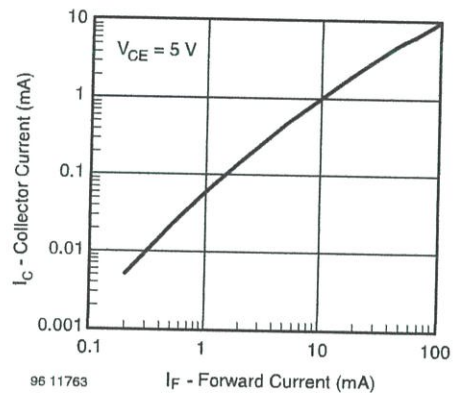


Fig. 6 - Collector Current vs. Forward Current

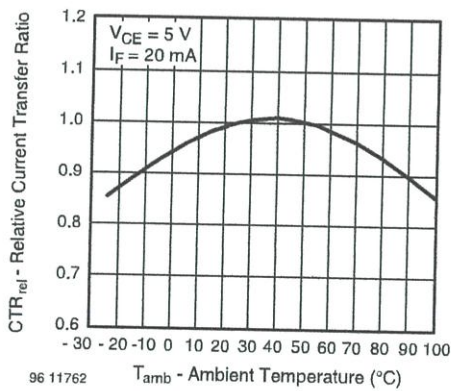


Fig. 5 - Relative Current Transfer Ratio vs. Ambient Temperature

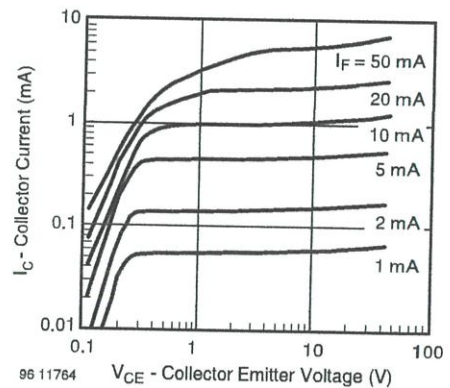


Fig. 7 - Collector Emitter Saturation Voltage vs. Collector Current

TCRT5000, TCRT5000L

Vishay Semiconductors

Reflective Optical Sensor with Transistor Output

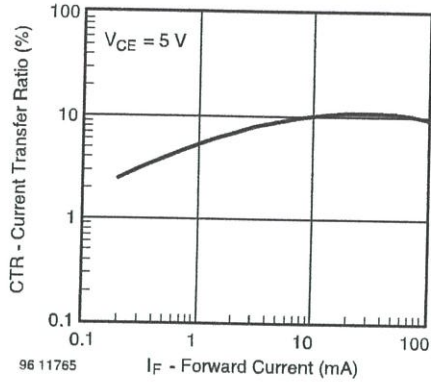


Fig. 8 - Current Transfer Ratio vs. Forward Current

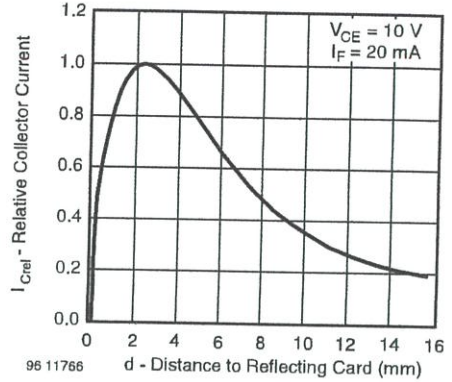
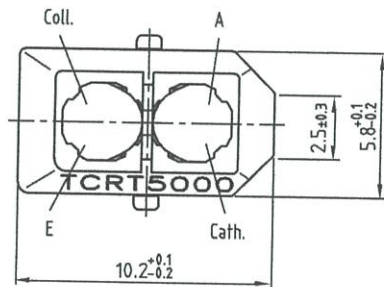
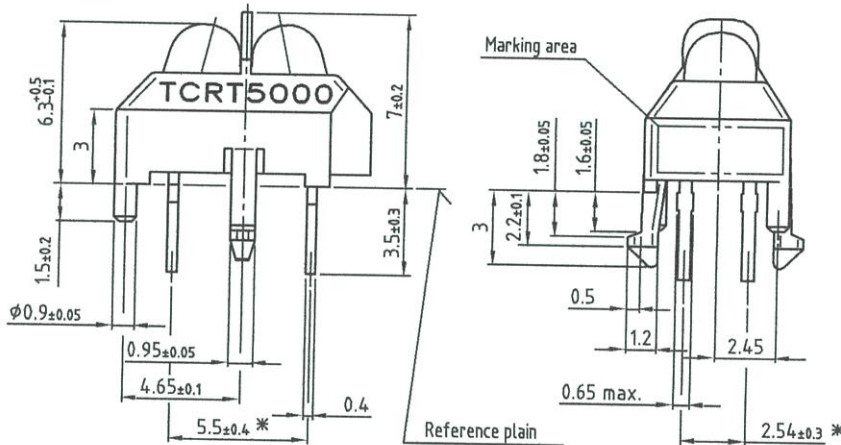


Fig. 9 - Relative Collector Current vs. Distance

PACKAGE DIMENSIONS in millimeters, TCRT5000

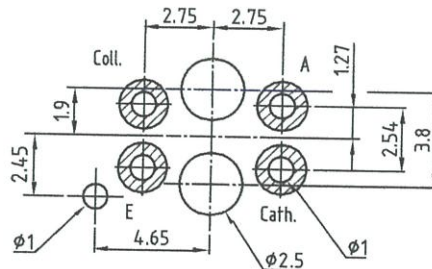


* Tolerances related to reference plain

weight: ca. 0.23g



Footprint Top View



Drawing-No.: 6.550-5096.01-4

Issue: 4; 11.04.02

96 12073

ภาคผนวก ง.

ข้อมูลของตัววัดกระแส Fluke Current Probe 80i-110s

FLUKE®

80i-110s AC/DC Current Probe

The ideal current probe for
 Fluke ScopeMeter® Test Tools

Technical Data

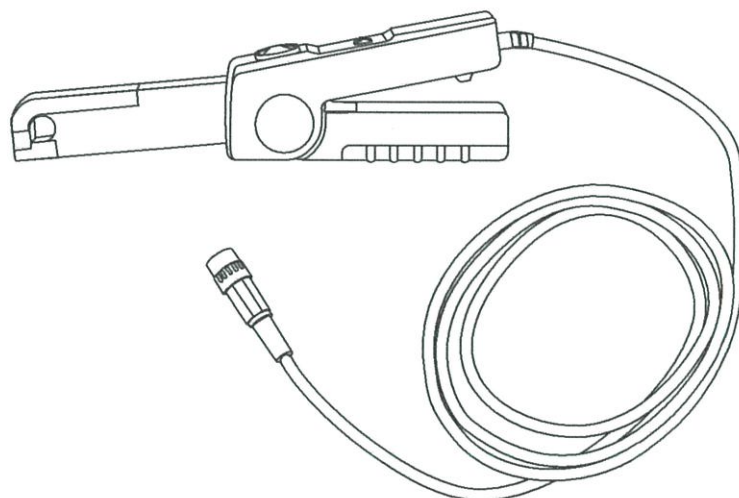
Accurate current measurements become more and more critical when troubleshooting electric, electronic, and automotive circuits. The Fluke 80i-110s AC/DC Current Probe is designed to provide you with safe, high accuracy measurements for a wide range of applications.

The specially designed built-in safety features such as the 600 V rms rating at the input jaws, output cable, and BNC connector enhance work safety in industrial and commercial power distribution systems.

The probe is shielded for high noise immunity, to prevent unwanted noise when troubleshooting around noise generating devices like adjustable speed motor drives and ignition systems.

The 80i-110s accurately reproduces current waveforms as they occur. Connect the clamp to a Fluke ScopeMeter Test Tool or other waveform recording device like a Fluke Power Harmonics Analyzer, to clearly see distorted waveforms that result from non-linear loads such as computers, adjustable speed motor drives, and electronic ballasts for fluorescent lighting.

Current clamps, not specifically designed for oscilloscopes, may add distortion to the actual signal present in the system



under test. This makes it difficult to get an accurate waveform measurement.

The wide measurement range from 50 milliamps to 100 Amps with a high fidelity millivolt output gives you full advantage of the high resolution oscilloscope displays. This gives you the true picture of your current situation, and allows useful measurements as low as 10 milliamps.

The broad band frequency response of the Fluke 80i-110s AC/DC Current Probe from dc to 100 kHz supports a wide range of applications where the probe can be used. The probe can be used to track down leakage currents discharging car batteries or to measure dc currents in an Uninterruptible Power

Supply (UPS), that uses a battery backup system.

With its narrow jaw design, the Fluke 80i-110s makes it easy to take measurements in tight spots.

Specifications

Electrical specifications

Current ranges:

0 to 10 A dc or ac peak

0 to 100 A dc or ac peak

Output signals:

10 A range: 100 mV/A

100 A range: 10 mV/A

Working voltage

(clamp jaws to ground):

600 V ac rms on Installation Category II per IEC 1010-1 circuits.

300 V ac rms on Installation Category III per IEC 1010-1 circuits.

Floating voltage (output cable and connector to ground):

600 V ac rms on Installation Category II per IEC 1010-1 circuits.

300 V ac rms on Installation Category III per IEC 1010-1 circuits.

Basic accuracy (dc to 1 kHz)

Input current dc or ac peak	Error (after zero check)	
	100 mV/A	10 mV/A
50 mA to 10 A	< 3 % of reading + 50 mA	—
50 mA to 40 A	—	< 4 % of reading + 50 mA
40 to 80 A	—	< 12 % of reading + 50 mA
80 to 100 A	—	< 15 % of reading

Extended accuracy:

For other frequencies, refer to the appropriate input current range and add the error listed below to the "Basic Accuracy."

Frequency	Additional error	
	100 mV/A	10 mV/A
1 to 5 kHz	3 %	3 %
5 to 20 kHz	12 %	12 %
> 20 kHz	Not specified	Not specified

Phase shift, dc to 65 Hz:

10 A range < 1.5 degree

100 A range < 1 degree

Input load impedance (of host instrument):

> 1 M Ω in parallel with up to 100 pF

Useful bandwidth (-3 dB):

0 to 100 kHz

Rise or fall time: < 4 msec

Output noise level:

10 mV/A typ. 480 mV pk-pk

100 mV/A typ. 3 mV pk-pk

Maximum non-destructive current:

0 to 2 kHz 140 A peak

2 to 10 kHz 110 A peak

10 to 20 kHz 70 A peak

20 to 50 kHz 30 A peak

50 to 100 kHz 20 A peak

Temperature coefficient:

2000 ppm/ $^{\circ}$ C max. for temperature from 0 $^{\circ}$ C to 50 $^{\circ}$ C (32 $^{\circ}$ F to 132 $^{\circ}$ F)

All Electrical Specifications are valid at a temperature of 3 $^{\circ}$ C to 23 $^{\circ}$ C (5 $^{\circ}$ F to 73 $^{\circ}$ F)

General specifications

Dimensions:

67 x 231 x 36 mm
(2.6 x 9.1 x 1.4 inches)

Weight: 330 g (11.6 oz), battery included

Output cable:

1.6 meters (63 inches)

Maximum conductor size:

11.8 mm (.46 inch)

Maximum jaw opening:

12.5 mm (.49 inch)

Temperature:

Operating: 0 $^{\circ}$ C to 50 $^{\circ}$ C

(32 $^{\circ}$ F to 122 $^{\circ}$ F)

Non-operating: -30 $^{\circ}$ C to 70 $^{\circ}$ C

(-22 $^{\circ}$ F to 158 $^{\circ}$ F)

Relative humidity (operating):

0 to 85 % (0 $^{\circ}$ C to 35 $^{\circ}$ C; 32 $^{\circ}$ F to 95 $^{\circ}$ F)

0 to 45 % (35 $^{\circ}$ C to 50 $^{\circ}$ C;

95 $^{\circ}$ F to 122 $^{\circ}$ F)

Altitude:

Operating: 0 to 2,000 meters

(0 to 6,560 feet)

Non-operating: 0 to 12,000

meters (0 to 40,000 feet)

Safety specification

Designed to meet the requirements of IEC 1010 and CSA-C22.2 No. 1010.1: Installation Category II, Working Voltage 600V, Pollution Degree 2.

Installation Category III,

Working Voltage 300V,

Pollution Degree 2.

Installation (Overvoltage)

Category II refers to local level, appliances, and portable equipment.

Installation (Overvoltage)

Category III refers to distribution level and fixed installation

circuits inside a building electrical service entrance.

Designed to meet the

requirements of UL1244,

Protection Class II Double

Insulation.

Battery information

Battery: 9 volt, IEC 6LR61

Consumption: 8.6 mA typical;

12 mA maximum

Service life:

55 hours typical, when Alkaline

IEC 6LR61 is used

40 hours minimum, when

Alkaline IEC 6LR61 is used

Battery indicator (ON):

Green LED dims when battery voltage is below 6.5V

Overload indicator (OL):

Red LED indicates that waveform or impulse is out of range

Instrument compatibility

The 80i-110s is compatible with any Fluke ScopeMeter Test Tool, Power Harmonics Analyzer, Oscilloscope, Multimeter, or other voltage measurement device that has the following features:

- BNC input connector. A BNC-to-banana adapter (order PM 9081/001 from Fluke) can also be used with standard inputs on a digital multimeter (DMM).
- Input accuracy of 2 % or better to take full advantage of the accuracy of the probe.
- Input impedance of greater than or equal to 1 M Ω in parallel with a maximum of 100 pF.
- A passband of more than four times the frequency of the waveform to be measured.

Warranty

One-year warranty

Ordering information

Model

80i-110s AC/DC Current Probe

Fluke. Keeping your world up and running.

Fluke Corporation

PO Box 9090, Everett, WA USA 98206

Fluke Europe B.V.

PO Box 1186, 5602 BD Eindhoven, The Netherlands

For more information call:

In the U.S.A. (800) 443-5853 or

Fax (425) 446-5116

In Europe/M-East/Africa (31 40) 2 675 200 or

Fax (31 40) 2 675 222

In Canada (800)-36-FLUKE or

Fax (905) 890-6866

From other countries +1 (425) 446-5500 or

Fax +1 (425) 446-5116

Web access: <http://www.fluke.com/>

ภาคผนวก จ.
บทความทางวิชาการ

ระบบเฝ้าระวังและติดตามสถานะการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

Monitoring System for 3 phase Induction Motor

กมล สกระเศรณี กรวิชัย ตั้งชิวะสมบัติ กฤษญา หนูเอียด และกฤษณะ สืบสวน
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ซอยฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-239-8000 ต่อ 3925

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้เป็นออกแบบสร้างอุปกรณ์ที่ใช้จับสัญญาณกระแส แรงดัน อุณหภูมิและความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส เพื่อป้องกันความผิดปกติที่อาจเกิดขึ้นกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ส่งสัญญาณผ่านตัวรับส่ง wireless (Zigbee) โดยมี DAQ ที่ทำหน้าที่ปรับปรุงและแปลงสัญญาณแบบอนาล็อกเป็นสัญญาณแบบดิจิทัล เพื่อนำไปประมวลผลที่บนโปรแกรม LabVIEW เพื่อแสดงค่าสัญญาณที่วัดได้ เมื่อมอเตอร์เกิดความผิดปกติได้แก่ กระแสเกิน แรงดันเกิน แรงดันตก โอเวอร์โหลด ความเร็วรอบเกินพิกัด เพื่อนำไปวิเคราะห์การทำงานของมอเตอร์ให้ประสิทธิภาพและปลอดภัย

ABSTRACT

This paper presents a design and construction of a Signal detectors for measuring of current , voltage , temperature and rotating speed of induction motor. In order to prevent anomalies that may occur with 3-phase induction motor signals. With the DAQ that improve and converts analog signals to digital signals. To be processed on LabVIEW program to display the measured signal. The motor fault such as overcurrent , over voltage ,voltage drop , overload and over rotating speed. The motor fault such as overcurrent , over voltage ,voltage drop , overload and over rotating speed.

1. บทนำ

เนื่องจากในปัจจุบันมอเตอร์นับเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญสำหรับเครื่องจักรต่างๆ เนื่องจากทำหน้าที่เป็นตัวเพิ่มกำลังโดยแปลงพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลเพื่อขับโหลดต่าง ๆ ความเสื่อมสภาพจากการใช้งานหรือความผิดปกติต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น เนื่องจากโรเตอร์และสเตเตอร์ต้องรับแรงที่เกิดจากสนามแม่เหล็กอยู่ตลอดเวลา ความเสียหายที่เกิดขึ้นทางกล จากความร้อนและทางไฟฟ้าจะกระทบโดยตรงกับประสิทธิภาพในการทำงานและอายุการใช้งานของมอเตอร์ เทคโนโลยีในปัจจุบันที่นำมาใช้ตรวจสอบหรือวิเคราะห์ความเสียหายมอเตอร์แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ การตรวจวิเคราะห์ที่ต่อทำงานขณะที่มอเตอร์หยุดทำงาน (On-line Motor Analysis) และการตรวจวิเคราะห์ที่ทำในขณะที่มอเตอร์ทำงาน (Off-line Motor Analysis) ซึ่งมีการแสดงผล (Monitoring) ในโปรแกรม LabVIEW โดยทำการรับสัญญาณมาจาก

อุปกรณ์ DAQ และส่ง ให้กับคอมพิวเตอร์ เพื่อไม่ต้องหยุดมอเตอร์เพื่อทำการตรวจสอบและไม่ให้เสียเวลาในการผลิต

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับมอเตอร์

มอเตอร์มีหลักการทำงาน คือทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลกำลังทางกลที่ได้จะถูกนำไปใช้เพื่อประโยชน์ด้านกำลังต่อไป มอเตอร์เหนี่ยวนำ สามเฟสส่วนใหญ่เป็นเครื่องกลที่นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรม ที่อยู่อาศัย และในชีวิตประจำวัน อยู่ในรูปของเครื่องอำนวยความสะดวกต่างๆ

2.2 หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสให้กับขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนขึ้นที่ขดลวดสเตเตอร์

2.3 ตัวแปรที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานของมอเตอร์

ตัวแปรที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานของมอเตอร์ ได้แก่ อุณหภูมิของอากาศโดยรอบ , ความสูงจากระดับน้ำทะเล , การระบายความร้อน , ค่า Service factor และ แรงดัน

2.4 สาเหตุที่ทำให้มอเตอร์ไฟฟ้าเสียหาย

มักเกิดในขณะที่มอเตอร์ไฟฟ้ากำลังทำงานอยู่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทำงานต่อเนื่องเป็นเวลายาวนาน

2.5 เครื่องตรวจจับสัญญาณ

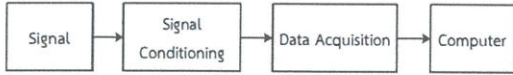
2.5.1 เซนเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมโยงระหว่างระบบไฟฟ้า ที่มีแรงดันไฟฟ้าต่างกันโดยจะทำหน้าที่เพิ่มหรือลดแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะกับการส่ง การจ่าย และการใช้พลังงานไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้าจึงนับเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญอย่างหนึ่งในบรรดาอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหลาย

2.5.2 เซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า การใช้แอมมิเตอร์วัดปริมาณกระแสไฟฟ้ามีลักษณะเช่นเดียวกับการใช้มาตรวัดปริมาณน้ำที่ไหลผ่านท่อประปาคือต้องต่อแอมมิเตอร์แทรกในวงจรที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน เรียงลำดับในวงจรไฟฟ้าเป็นการต่อแบบอนุกรมเพื่อให้กระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จากแอมมิเตอร์เป็นค่าเดียวกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านวงจรนั้น

2.5.3 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ การตรวจวัดอุณหภูมิใช้รูปแบบการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าจากสัญญาณอนาล็อกไปสู่ สัญญาณดิจิทัล โดยสัมพันธ์กับอุณหภูมิ

2.5.4 เซนเซอร์วัดความเร็วรอบ ใช้เป็นแบบUltrasonic เป็น เซนเซอร์ที่มีการปล่อยคลื่นอัลตราโซนิคออกมาและตรวจวัดการสะท้อน ของคลื่นเมื่อวัตถุเคลื่อนที่

2.6 ระบบ DAQ



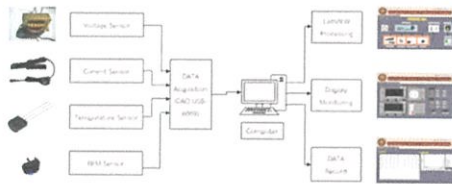
รูปที่ 1 ระบบการทำงานของ DAQ

ระบบ DAQ บนคอมพิวเตอร์ คือกระบวนการในการอ่านค่า และปรับปรุงสัญญาณทางไฟฟ้าแล้วนำไฟล์เก็บไว้ในหน่วยความจำบน คอมพิวเตอร์เพื่อการวัด วิเคราะห์ จัดเก็บ หรือแสดงผลต่อไป

2.5 โปรแกรม LabVIEW

เป็นโปรแกรมที่สร้างเครื่องมือวัดเสมือนจริงในห้องปฏิบัติการ ทางวิศวกรรม ดังนั้นจุดประสงค์หลักของโปรแกรมนี้อคือการจัดการในด้านการวัดและเครื่องมือวัด อย่างมีประสิทธิภาพ ในตัวของโปรแกรมจะ ประกอบไปด้วยฟังก์ชันที่ช่วยในการวัดมากมาย โปรแกรม LabVIEW จะ เป็นโปรแกรมประเภท GUI (Graphical User Interface) โดยเราไม่ จำเป็นต้องเขียนโค้ดหรือคำสั่งใดๆ และลักษณะภาษาที่ใช้ในโปรแกรมจะ เรียกว่า ภาษารูปภาพ หรือ Graphical language

3. การออกแบบการทดลอง



รูปที่ 2 ระบบการทำงานโดยรวม

โครงการนี้เป็นารออกแบบเครื่องมือและโปรแกรมที่ใช้แสดง ค่าสถานะต่าง ๆ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส โดยมีตัวแปลงจาก สัญญาณอะนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลคือ Data acquisition (DAQ) โดย ใช้โปรแกรม LabVIEW ออกแบบหน้าจอแสดงผลซึ่งเรียกว่า Front Panel ซึ่งจะประกอบไปด้วยกราฟและค่าของแรงดันและกระแสทั้ง 3 เฟส รวมถึง อุณหภูมิและความเร็วรอบด้วย

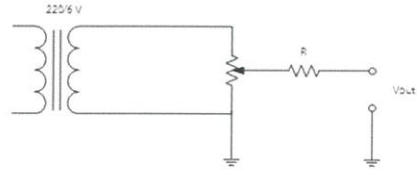
3.2 การออกแบบหน้าจอแสดงผล

3.2.1 การออกแบบหน้าจอ Front panel เป็นการออกแบบ หน้าจอแสดงผลบนโปรแกรม LabVIEW เพื่อแสดงค่าต่าง ๆ ที่วัดได้

3.2.2 การออกแบบหน้าจอ Block Diagram เป็นเขียนฟังก์ชัน หรือคำสั่งประมวลผลสัญญาณที่รับมาจาก DAQ บนโปรแกรม LabVIEW ได้

1.การวัดแรงดัน โปรแกรมจะรับสัญญาณมาจาก DAQ ซึ่งจะได้ V_{out} ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส นำมาสร้างฟังก์ชันปรับค่าให้ได้ค่าจริงจาก

$$A = \frac{V}{V_{DAQ}} \tag{3.1}$$



รูปที่ 3 วงจรเซนเซอร์วัดแรงดัน

2.การวัดกระแส วัดกระแสโดยใช้ Current Probe พิกัด 100mV/A เพื่อนำมาวิเคราะห์สร้างฟังก์ชันเพื่อปรับค่าให้ได้ค่าจริง

$$A = \frac{I}{I_{DAQ}} \tag{3.2}$$

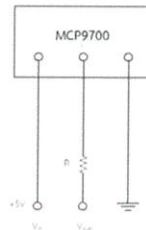
(3.2)

3.การวัดอุณหภูมิ การวัดอุณหภูมิตัวรับสัญญาณ MCP9700 โดยรับสัญญาณอะนาล็อกไปเป็นดิจิทัล เมื่ออุณหภูมิเพิ่มกราฟก็จะเพิ่มตามจากสมการ

$$T_A = \frac{V_{out} - V_0}{T_c} \tag{3.3}$$

และสามารถเปลี่ยนอุณหภูมิจากองศาไปเป็นฟาเรนไฮต์ได้จาก

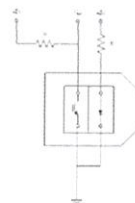
$$T_F = T_c \times \frac{9}{5} + 32 \tag{3.4}$$



รูปที่ 4 วงจรเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ

4.การวัดความเร็วรอบ รับสัญญาณมาจากTCRT5000 สัญญาณที่ได้จะมีค่าเป็น Pulse นำมาใส่ฟังก์ชันเพื่อวัดความถี่ที่ได้ใน 1 วินาทีหาค่า Rpm จากสูตร

$$Rpm = f \times 60 \tag{3.5}$$



รูปที่ 5 วงจรเซนเซอร์วัดความเร็วรอบ

4.3 ผลการทดลอง

เป็นการแสดงผลการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างค่าจริงที่วัดได้จากเครื่องมือวัดกับค่าที่ได้จากการประมวลผลผ่านโปรแกรม LabVIEW ของค่าแรงดัน กระแส อุณหภูมิ และความเร็วรอบ ดังแสดงตัวอย่างของการทดสอบแรงดันดังนี้

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างค่าจริงที่วัดได้จากเครื่องมือวัดกับค่าที่ได้จากการประมวลผลผ่านโปรแกรม LabVIEW

โวลต์มิเตอร์ (V)			โปรแกรม LabVIEW (V)		
R	S	T	R	S	T
41.8	41.3	43	41.7	41.3	42.42
80.3	78.5	80.9	80.12	79.2	80.45
120.3	118.7	120.6	120.3	119.1	121.1
160	157.8	161.2	161.5	159.6	161.3
200.6	198.5	200.1	202.1	199.7	201.7

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงค่า Error ของแรงดันไฟฟ้าเปรียบเทียบระหว่างค่าจริงที่วัดได้จากเครื่องมือวัดกับค่าที่ได้จากการประมวลผลผ่านโปรแกรม LabVIEW

ค่า error (%)		
R	R	R
-0.24	-0.24	-0.24
-0.22	-0.22	-0.22
0.00	0.00	0.00
0.94	0.94	0.94
0.75	0.75	0.75
1.18	1.18	1.18

4.4 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่าค่าที่ทำการวัดสัญญาณจากเซนเซอร์ และได้ทำการประมวลผลผ่านโปรแกรม LabVIEW นั้นมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการใช้เครื่องมือวัด โดยค่าที่ได้นั้นจะมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน 5% ซึ่งอยู่ในค่าที่ยอมรับได้.

5. สรุปผล

ระบบเครื่องมือวัดที่ได้ทำการออกแบบขึ้นมานั้น สามารถนำไปใช้งานได้จริง ในด้านการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆคือ ค่าแรงดัน ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าอุณหภูมิ และ ความเร็วรอบ ซึ่งปริมาณต่างๆเหล่านี้

สามารถนำไปประกอบการพิจารณาเพื่อติดตั้งหรือควบคุมการทำงานของมอเตอร์รวมทั้งใช้วัดค่าพารามิเตอร์ทั่วไป ข้อมูลต่างๆที่ทำการวัดได้นั้นจะถูกนำมาแสดงผลแบบ Real Time บนจอคอมพิวเตอร์ ผ่านทางหน้า Front Panel ของ LabVIEW ซึ่งได้ทำการออกแบบมาให้มีลักษณะเสมือนนับเป็นหน้าต่างของเครื่องมือวัด ทำให้ผู้อ่านข้อมูลสามารถอ่านข้อมูลได้ง่าย อีกทั้งข้อมูลที่ทำการวัดได้นั้นยังถูกบันทึกค่าไว้ซึ่งนำไปเปิดในโปรแกรมต่างๆ เช่น Microsoft excel เพื่อทำการอ่านข้อมูล

จากการทดลองวัดค่า กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า ความเร็วรอบ และ อุณหภูมิ ระบบเครื่องมือวัดนี้มีความยืดหยุ่นสูง สามารถนำไปใช้กับวงจรมอเตอร์ หรือวงจรอื่นๆที่มีค่าพารามิเตอร์ที่ได้กล่าวมา ทำให้สะดวกในการใช้งาน โดยไม่ต้องปรับเปลี่ยนอุปกรณ์หรือฟังก์ชันของโปรแกรม LabVIEW ในกรวัด อีกทั้งยังมีคามกะทัดรัด ติดตั้งง่าย เหมาะกับการนำไปใช้งาน

เอกสารอ้างอิง

- [1] นายกิจไพบูลย์ ชิวพันธุ์ศรี “การสร้างระบบอัตโนมัติด้วย LabVIEW ร่วมกับระบบ DataAcquisition และ Machine Vision สำหรับผู้เริ่มต้น”, 2553
- [2] Available : URL : <http://www.eci.ox.ac.uk/pvcompareweb/Sunlight.htm>
- [3] Available : URL: <http://hallencodersensorbme3.blogspot.com/2011/07/hall-sensor.html>
- [4] Available : URL: http://eakkaphop0140.blogspot.com/p/blog-page_29.html
- [5] Available : URL: <http://thaisensormodule.com/index.php/light/pirsens1>
- [6] Available: URL: <http://ardnarong.igetweb.com/index.php?lite=article&qid=42064645>

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ : นายกมล สการะเศรณี
 รหัสนักศึกษา 54010009
 ที่อยู่ : 61 หมู่ 6 ต.ลาดน้ำเค็ม อ.ผักไห่
 จ.พระนครศรีอยุธยา 13120
 เบอร์โทรศัพท์ : 089-9037178
 Email : kamonyok@hotmail.com



ชื่อ : นายกรวิชญ์ ตั้งชีวะสมบัติ
 รหัสนักศึกษา 54010030
 ที่อยู่ : 154 หมู่ 5 ต.สันพระเนตร อ.สันทราย
 จ.เชียงใหม่ 50210
 เบอร์โทรศัพท์ : 088-2671833
 Email : beerkorawit22@hotmail.com



ชื่อ : นายกฤษฎา หนูเอียด
 รหัสนักศึกษา 54010059
 ที่อยู่ : 1819/14 ม.11 ต.กะปาง อ.ทุ่งสง
 จ.นครศรีธรรมราช 80310
 เบอร์โทรศัพท์ : 095-4211709
 Email : for2day@hotmail.com



ชื่อ : นายกฤษณะ สืบสวน
 รหัสนักศึกษา 54010063
 ที่อยู่ : 973 หมู่ 9 ต.ลำปลายมาศ อ.ลำปลายมาศ
 จ.บุรีรัมย์ 31130
 เบอร์โทรศัพท์ : 097-3439643
 Email : freedom_y2k@hotmail.com