

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบเฝ้าระวังและป้องกันสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

Monitoring and Protection System for 3 Φ Induction motor



T104044



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 104044
วัน,เดือน,ปี..... 28 ต.ค. 2552

12107810

ปฏิญานีพจน์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2551

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบเฝ้าระวังและป้องกันสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

Monitoring and Protection System for 3 Φ Induction motor

ผู้จัดทำ

นายชวลิต ภูแข่งหมอก รหัสประจำนักศึกษา 49015091

นายฉันทเฉลิม จงจินากุล รหัสประจำนักศึกษา 49015117

นายอภิรักษ์ เกาจี รหัสประจำนักศึกษา 49015133

อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ.เฉลิมชาติ มานพ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ.วรกัลป์ ลี้มเจริญ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบเฝ้าระวังและป้องกันสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

นายวันเฉลิม	จงจินากุล	
นายชวลิต	ภูแข่งหมอก	
นายอภิรักษ์	ภาจี	
อ.เฉลิมชาติ	มานพ	อาจารย์ที่ปรึกษา
อ.วรกัลป์	ลิ้มเจริญ	อาจารย์ที่ปรึกษา
		ปีการศึกษา 2551

บทคัดย่อ

ในปฏิญญาพนธ์เล่มนี้เป็นการนำเสนอแนวความคิดและขั้นตอนในการสร้างระบบเฝ้าระวังและป้องกันมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิด 3 เฟส เพื่อทำการตรวจสอบตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อความเสียหายต่อมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำในสภาวะใช้งานจริง นำค่าที่ได้จากการตรวจสอบไปทำการวิเคราะห์และแสดงผลโดย Visual Display โดยเราสามารถติดตามดูสภาวะการทำงานของมอเตอร์ได้ตลอดเวลา และยังสามารถทำการเก็บสถิติข้อมูลขอตัวแปรที่เราต้องการทราบได้ในรูปของไฟล์เอกสารตลอดเวลา อีกทั้งเมื่อระบบตรวจจับพบความผิดปกติของตัวแปรที่มีผลต่อมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำและอาจก่อให้เกิดอันตราย ระบบจะทำการตัดวงจรกำลังของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้อย่างทันท่วงทีอีกด้วย

จากผลการทดสอบระบบป้องกันมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟสที่สร้างขึ้นสามารถทำงานทำงานได้ในระดับที่น่าพอใจ ความผิดเพี้ยนของตัวแปรที่ตรวจวัดได้ อาจจะมีผลต่อการทำงานของระบบป้องกันบ้าง แต่ในด้านการแจ้งเตือนและป้องกันสามารถทำได้อยู่ในระดับดี รวมทั้งสามารถเก็บข้อมูลตัวแปรที่ต้องการศึกษา ไว้สำหรับการตรวจสอบได้อีกด้วย โดยโครงการนี้เหมาะสำหรับที่จะทำการศึกษาค้นคว้าต่อยอดเพิ่มเติม เพื่อให้เกิดการพัฒนาทั้งสำหรับการใช้งานในเชิงพาณิชย์และสำหรับช่วยในงานวิจัย dynamics model ของเครื่องกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำอีกทางหนึ่งด้วย

Monitoring and Protection System for 3Ø Induction motor

Wanchalerm Jongjinakool

Chawalit Phukhengmok

Apirak Paojee

Chalermchart Manop Advisor

Worakun Limjareon Advisor

Academic Year 2008

Abstract

Protection of induction motors is very important since they are widely used in industry for many applications due to their high robustness, reliability, low cost and maintenance, high efficiency and long service life. So, protecting these motors is crucial for operations. This paper presents a combined protection approach for induction motors. To achieve this, the electrical values of the induction motor were measured through a data acquisition card and processed with software developed in LabVIEW. An on line protection system for induction motors was achieved easily and effectively. The experimental results have shown that the induction motor was protected against the possible problems faced during the operation. The software developed for this protection provides flexible and reliable media for operators and their motors. It is expected that the motor protection achieved in this study might be faster than the classical techniques and also may be applied to larger motors easily after small modifications of the software.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์เฉลิมชาติ มานพ และ อาจารย์วรภัลป์ ลีมเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการอย่างสูงที่ให้ความรู้และคอยแนะนำเกี่ยวกับโครงสร้างของโครงการ ตลอดจนการดูแลและเอาใจใส่เป็นอย่างดีและให้โอกาสในการเรียนรู้และประสบการณ์อันมีค่าในการปฏิบัติงานจริง

ขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และโครงการ IRPUS สำหรับการสนับสนุนทุนด้านวิจัยและพัฒนา

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ ร่วมกลุ่มทุกคนและรุ่นพี่ทุก ๆ ท่านที่ให้ความช่วยเหลือด้านวิชาการ ให้คำปรึกษา รวมทั้งการข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ด้วยดีตลอดมา

หนึ่งโครงการวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเนื่องด้วยความช่วยเหลือและมีน้ำใจของทุกท่านที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น และคณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยให้ความสนับสนุนและส่งเสริมทางด้านปัจจัยต่าง ๆ จนทำให้ปริญญาโทฉบับนี้แล้วเสร็จได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

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

บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ชื่อโครงการ	1
1.2 บทนำทั่วไป	1
1.3 ที่มาของปัญหา	1
1.4 วัตถุประสงค์	3
1.5 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ	3
1.6 ประโยชน์คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 ทฤษฎีเกี่ยวข้อง	6
2.1 Measurement System Component	6
2.1.1 การวิเคราะห์สัญญาณและข้อมูล	10
2.1.2 การแบ่งประเภทสัญญาณ	11
2.1.3 Signal Reference	15
2.1.4 Type of Signal Source	16
2.1.5 Type of Measurement System	18
2.1.6 Considerations of Analog Input Setting	21
2.1.7 Resolution	21
2.1.8 Device Voltage Range	23
2.1.9 Signal Voltage Range (Limit Setting)	24
2.1.10 ข้อพิจารณาสำหรับการเลือกการตั้งสัญญาณเข้า DAQ	25
2.1.11 Sampling Theorem	26
2.1.12 Serial Communication	28
2.2 ฟิสิกส์ไฟฟ้า	33
2.2.1 สนามแม่เหล็กไฟฟ้า	33
2.2.2 กฎของบีโอดี ซาวาร์ต	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและตั้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.3 กฎของแอมแปร์	44
2.3 มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส	46
2.3.1 สเตเตอร์หรือส่วนที่อยู่กับที่	46
2.3.2 โรเตอร์หรือส่วนที่หมุน	46
2.3.3 หลักการทำงาน	48
2.3.4 สลิป (slip,s)	51
2.3.5 วงจรสมมูลย์ (Equivalent Circuit)	51
2.3.6 ค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์	53
2.3.7 การแบ่งประเภทของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3เฟส	54
บทที่ 3 มาตรฐานที่ใช้และการสร้างระบบเฟ้าะวังและป้องกัน	56
3.1 ข้อกำหนดของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำมาตรฐาน NEMA	56
3.2 สรุปข้อกำหนดตามมาตรฐาน ที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการทดลอง	60
บทที่ 4 การสร้างระบบป้องกันและการทดสอบ	61
4.1 อุปกรณ์และซอฟต์แวร์ในการทดลอง	61
4.2 ไลอะแกรมและวงจรของการทดลอง	67
4.3 ซอฟต์แวร์ LabVIEW	69
4.4 Visual Display	70
4.5 ตารางวิเคราะห์ความบกพร่อง	71
4.6 การบันทึกข้อมูล log	72
4.7 ทดสอบระบบเฟ้าะวังและป้องกัน	72
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	77
5.1 ชุดตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส	77
5.2 ชุดตรวจวัดกระแสไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส	78
5.3 ชุดตรวจวัดอุณหภูมิ	80
5.4 สรุป	81
เอกสารอ้างอิง	83
ภาคผนวก ก	84
ภาคผนวก ข	109

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

ภาคผนวก ค
ประวัติผู้เขียน

หน้า
126
x



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและตั้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 1-1	แผนการดำเนินงานโครงการวิศวกรรม	4
ตารางที่ 2-1	จำแนกวิธีการปรับสัญญาณตามอุปกรณ์ตรวจวัด	10
ตารางที่ 2-2	ชื่อเรียกของ 9 Pin	29
ตารางที่ 2-3	ชื่อเรียกของ 25 Pin	30
ตารางที่ 2-4	แสดงรายชื่อเต็มของ PIN ต่าง ๆ	31
ตารางที่ 2-5	การต่อสัญญาณแบบพื้นฐาน	32
ตารางที่ 3-1	ความเร็วรอบที่พิกัดกำลังและความถี่ต่าง ๆ	56
ตารางที่ 3-2	ระดับอุณหภูมิของฉนวนแต่ละ class	57
ตารางที่ 4-1	อธิบายความหมายของสัญลักษณ์บนหน้าจอ Visual Display	70
ตารางที่ 4-2	วิเคราะห์ความบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นต่อตัวมอเตอร์ จากการสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่าง ๆ	71
ตารางที่ 4-3	เปรียบเทียบแรงดันระหว่างค่าที่ได้จากการอ่าน Volt meter กับค่าที่อ่านได้จากหน้าจอ visual display	72
ตารางที่ 4-4	เปรียบเทียบกระแสระหว่างค่าที่ได้จากการอ่าน Amp meter กับค่าที่อ่านได้จากหน้าจอ visual display	73
ตารางที่ 4-5	เปรียบเทียบแรงดันระหว่างค่าที่ได้จากการอ่าน Thermometer กับค่าที่อ่านได้จากหน้าจอ visual display	74
ตารางที่ 4-6	แสดงการตัดวงจรของระบบป้องกันเมื่อกระแส และแรงดันมีการเปลี่ยนแปลง	75
ตารางที่ 4-7	บันทึกข้อมูล log จากโปรแกรม MS-Excel	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและตัวอย่างอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2-1 ระบบตรวจวัดผ่านเครือข่าย	6
รูปที่ 2-2 แสดงโมดูลต่าง ๆ ในระบบตรวจวัด	8
รูปที่ 2-3 รูปคลื่นสัญญาณดิจิทัล	12
รูปที่ 2-4 สัญญาณลูกคลื่นอนาล็อก	13
รูปที่ 2-5 การวัดแบบ ground signal source	16
รูปที่ 2-6 การวัดแบบ floating signal source	17
รูปที่ 2-7 Differential Measurement System	18
รูปที่ 2-8 Referenced Single End (RSE) Measurement System	19
รูปที่ 2-9 None referenced Single - Ended (NRSE)	20
รูปที่ 2-10 การเปลี่ยนสัญญาณ sine wave ด้วย DAC ขนาด 3 bit	22
รูปที่ 2-11 การเปลี่ยนสัญญาณด้วย DAC ขนาด 16 - bit	22
รูปที่ 2-12 การแทนค่าสัญญาณรูป Sine Wave ซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 0 ถึง 10 volts	23
รูปที่ 2-13 การใช้อุปกรณ์ ADC แบบ 3-bit สำหรับสัญญาณ Sine Wave	24
รูปที่ 2-14 แสดงการวัดสัญญาณ Sine Wave ที่มีความถี่หนึ่งด้วย sampling rate ที่ต่างๆ กัน	27
รูปที่ 2-15 แสดงสายต่อแบบ 9 Pin	29
รูปที่ 2-16 แสดงสายต่อแบบ 25 Pin	30
รูปที่ 2-17 การทดสอบของเออร์สเตด	33
รูปที่ 2-18 การนำแท่งแม่เหล็กมาวางในสนามแม่เหล็ก	34
รูปที่ 2-19 ทิศของแรงที่กระทำกับประจุในสนามแม่เหล็ก	35
รูปที่ 2-20 เส้นแรงแม่เหล็กพุ่งผ่านพื้นที่ที่กำหนดให้	36
รูปที่ 2-21 ประจุบวกเคลื่อนที่เป็นวงกลมในสนามแม่	38
รูปที่ 2-22 ประจุเคลื่อนที่เป็นเกลียวในสนามแม่เหล็ก เมื่อความเร็วของประจุทำมุมใดๆกับ สนามแม่เหล็ก	39
รูปที่ 2-23 เส้นลวดตัวนำที่มีกระแสไหลผ่าน	41
รูปที่ 2-24 กระแสที่ไหลผ่าน โครงลวดตัวนำ	42
รูปที่ 2-25 สนามแม่เหล็กที่เกิดจากตัวนำยาว dl กระแสไหล I	43
รูปที่ 2-26 แสดงเส้นปิดที่ล้อมรอบตัวนำในลักษณะต่างๆ	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและ VII อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 2-27	แสดงการต่อความต้านทานจากภายนอกเข้ากับโรเตอร์แบบพันขดลวด	48
รูปที่ 2-28	แสดงการจ่ายแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส ให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส	49
รูปที่ 2-29	แสดงรูปคลื่นไซน์ของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้น โดยกระแสไฟฟ้า 3 เฟส	49
รูปที่ 2-30	แสดงการเกิดสนามแม่เหล็กหมุนของมอเตอร์ 3 เฟส 2 ขั้ว	50
รูปที่ 2-31	วงจรมุมลู่ของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่พิจารณาจากด้าน stator	51
รูปที่ 2-32	แผ่นลามิเนต class ต่าง ๆ	55
รูปที่ 3-1	กราฟเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของมอเตอร์เทียบกับ เปอร์เซ็นต์ของแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล	59
รูปที่ 4-1	3Ø Induction motor	62
รูปที่ 4-2	Data Acquisition Board	63
รูปที่ 4-3	PLC Omron CPM1A	64
รูปที่ 4-4	แสดง LM35 ฝังที่ตำแหน่งหัวและท้ายมอเตอร์	65
รูปที่ 4-5	แสดงชุดตรวจวัดแรงดันทั้ง 3 เฟส	65
รูปที่ 4-6	วงจรของชุดตรวจวัดแรงดัน	66
รูปที่ 4-7	ชุดตรวจวัดกระแสโดยใช้ ACS712	66
รูปที่ 4-8	วงจรของชุดตรวจวัดกระแสโดยใช้ ACS712	67
รูปที่ 4-9	ไดอะแกรมการทดลอง	67
รูปที่ 4-10	วงจรการวัดและประมวลผล	68
รูปที่ 4-11	แสดงการใช้ซอฟต์แวร์ LabVIEW เป็นอุปกรณ์เครื่องมือวัดและควบคุม	69
รูปที่ 4-12	หน้าจอ Visual Display	70
รูปที่ 5-1	แรงดันไฟฟ้า V_{AN}	77
รูปที่ 5-2	แรงดันไฟฟ้า V_{BN}	77
รูปที่ 5-3	แรงดันไฟฟ้า V_{CN}	77
รูปที่ 5-4	กระแส I_A	78
รูปที่ 5-5	กระแส I_B	79
รูปที่ 5-6	กระแส I_C	79
รูปที่ 5-7	เปรียบเทียบค่าจากเครื่องวัดและชุดตรวจวัด T_1	80
รูปที่ 5-8	เปรียบเทียบค่าจากเครื่องวัดและชุดตรวจวัด T_2	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและ VIII อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ชื่อโครงการ

ระบบเฝ้าระวังและป้องกันสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส
Monitoring and Protection System for 3Ø Induction motor

1.2 บทนำทั่วไป

มอเตอร์ไฟสลับ 3 ที่มีคุณสมบัติที่ดี คือมีความเร็วรอบคงที่เนื่องจากความเร็วรอบอินดักชันมอเตอร์ขึ้นอยู่กับความถี่ (Frequency) ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ มีราคาถูก โครงสร้างไม่ซับซ้อนสะดวกในการบำรุงรักษาเพราะไม่มีคอมมิวเตเตอร์และแปรงถ่านเหมือนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อใช้ร่วมกับเครื่องควบคุมความเร็วแบบอินเวอร์เตอร์ (Inverter) สามารถควบคุมความเร็ว (Speed) ได้ตั้งแต่ศูนย์จนถึงความเร็วตามพิกัดของมอเตอร์ ด้วยเหตุผลข้างต้นจึงนิยมใช้กันมาก สำหรับเป็นชุดต้นกำลังในโรงงานอุตสาหกรรมและอาคารทั่วไป ตั้งแต่ขับเคลื่อนลิฟท์ ขับเคลื่อนสายพานลำเลียงขับเคลื่อนเครื่องจักรไฟฟ้าต่าง ๆ ในกระบวนการผลิต

1.3 ที่มาของปัญหา

การป้องกันมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำนั้นมีความสำคัญ เพราะมีการใช้งานมอเตอร์เหนี่ยวนำกันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมปัจจุบัน เหตุผลที่ทำให้มอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องมาจากความแข็งแรง ความเชื่อถือได้ในการใช้งาน การซ่อมบำรุงที่ทำได้ง่าย อีกทั้งมีราคาไม่สูงแต่มีประสิทธิภาพในเกณฑ์ดี จึงเป็นอุปกรณ์ที่พบเห็นใช้ในการพาณิชย์และกระบวนการทางอุตสาหกรรม

การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำนั้น เป็นเรื่องที่ยาก อันเนื่องมาจากพฤติกรรมของตัวมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำเองที่ค่อนข้างไม่มีความเป็นเชิงเส้นอย่างมาก อันเนื่องมาจากการอิ่มตัวทางแม่เหล็กไฟฟ้า และการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอันเนื่องมาจากตัวแปรต่าง ๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำเอง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ค่าความคงตัวต่อเวลาโรเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามารถเปลี่ยนแปลงได้ในช่วงกว้างเนื่องมาจากอุณหภูมิของโรเตอร์เอง จากองค์ประกอบดังกล่าวทำให้เป็นการยากที่จะสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้ในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ในการนำไปใช้งานจริงนั้น เราใช้เพียงวิธีการง่าย ๆ ในการใช้งาน โดยทั่วไปใช้การควบคุม แรงดัน/ความถี่ , ควบคุมกระแสฟลักซ์ของสเตเตอร์และการควบคุมสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะที่วิธีการตรวจสอบความผิดพลาดของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำถูกเสนอขึ้นมาอย่างมากมายนั้น ในความเป็นจริงเทคนิคการป้องกันสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟสใช้เทคนิคการตรวจสอบโดยอาศัยร่วมกันระหว่างหลักการทางกลและหลักการทางไฟฟ้า การป้องกันมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยอาศัยรูปแบบทางกลนั้น มีขอบเขตความสามารถสำหรับใช้ในการตรวจสอบความผิดพลาดทางไฟฟ้า อาทิเช่น ความล้มเหลวของฉนวนสเตเตอร์ เป็นต้น อุปกรณ์ Contactors, timers, electromagnetic switches และอุปกรณ์ต่าง ๆ ในกลุ่ม relay อาทิเช่น thermal relays, over current relays and over/lower voltage relays เป็นอุปกรณ์ทางกลทั่วไปที่ใช้ในการป้องกันระบบมอเตอร์ไฟฟ้าแบบดั้งเดิม โดยอุปกรณ์พวกนี้มีผลตอบสนองในการนำไปใช้งานค่อนข้างช้า เมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์จำพวกอิเล็กทรอนิกส์และซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้คุณสมบัติทางกลอาจจะเป็นสาเหตุทำให้เกิดปัญหาขึ้นในระหว่างการใช้งานและลดประสิทธิภาพรวมถึงอายุการใช้งานของทั้งระบบ

เทคนิคการเฝ้าระวัง (Monitoring techniques) เป็นเทคนิคที่มุ่งให้ความสนใจในกระบวนการทางวัดค่า สำหรับตรวจสอบความล้มเหลวของขดลวดสเตเตอร์ ในทางตรงกันข้ามการวิเคราะห์สเปกตรัมของกระแสสเตเตอร์ถูกใช้ในการวิเคราะห์ความบกพร่องของโรเตอร์แล้วนั้น การวิเคราะห์สัญญาณกระแสของมอเตอร์ทำให้เราได้รับทราบถึงรายละเอียดต่าง ๆ ที่มีความน่าสนใจ ได้มีการวิจัยการตรวจสอบความบกพร่องของมอเตอร์ทางกลอย่างกว้างขวาง โดยการนำเสนอผลงานวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่มุ่งมีความพยายามที่จะคิดว่ากระแสของมอเตอร์อยู่ในสภาวะกระแสปกติ ไม่คำนึงถึงผลกระทบในกรณีที่มอเตอร์ถูกต่อใช้งานหรือกำหนดค่าค่าหนึ่งเองในการทำวิจัยโดยกำหนดค่าของโหลดเอง การวิเคราะห์ในระดับที่สูงกว่านั้นการวิเคราะห์ในรูปแบบ time frequency domain จะผลการพิจารณาของกระแสมอเตอร์ในสภาวะไม่คงตัว และการวิเคราะห์ในรูปแบบ time scale domain จะใช้สำหรับความพยายามในการทดลองหาสัญญาณการสั่นสะเทือนของเครื่องกล

โดยส่วนใหญ่การพัฒนาาระบบตรวจสอบความบกพร่องของฉนวนมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำมักอ้างอิงกับกระแสมอเตอร์ เพื่อตรวจสอบความบกพร่องของขดลวดสเตเตอร์มีหลายเทคนิคที่ถูกนำเสนอให้ใช้ เทคนิคการประยุกต์ใช้กระบวนการวิเคราะห์ทางสถิติ การตรวจสอบสภาวะไม่สมดุลของแรงดันในสเตเตอร์และการวิเคราะห์สัญญาณแรงดันขั้นสูงแบบเฟสเดียวเป็นทฤษฎีที่เพิ่งถูกนำเสนอมาเมื่อเร็ว ๆ นี้

เพื่อเป็นการเฝ้าระวังความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นต่อตัวมอเตอร์ไฟฟ้า เราจึงจำเป็นต้องทำการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบดังต่อไปนี้ ตรวจสอบอุณหภูมิที่ขดลวด อุณหภูมิที่แกนเหล็ก กระแสในสเตเตอร์ทั้งสมดุลและไม่สมดุล แรงดันไฟฟ้า โดยนำตัวแปรต่าง ๆ ที่ทำการตรวจสอบมาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อพิจารณาความบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นต่อตัวมอเตอร์ไฟฟ้า อาทิเช่น

เอทเธอร์เน็ทเป็นเอทเธอร์เน็ทที่รองรับการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต เมื่อผู้ใช้เห็นใบแจ้งหนี้ของตน การที่ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การขาดของขดลวด การหลอมละลายของฉนวน การใช้งานที่เกินพิกัดกำลัง ความไม่สมดุลของแหล่งจ่ายแรงดัน เป็นต้น ซึ่งปกติในการทำการศึกษามักจะเลือกศึกษาเพียงตัวแปรใดตัวแปรหนึ่ง แต่ไม่มีการนำตัวแปรมาศึกษารวมกันทั้งหมด

1.4 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและทำการวิจัย หรือพัฒนาอุปกรณ์ใหม่ ๆ ที่มีขีดความสามารถในการเฝ้าระวังการเกิดปัญหา โดยสามารถตรวจสอบสถานะการใช้งานแบบ real time ได้ และป้องกันการเกิดอันตรายต่อตัวมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำในการใช้งานได้
2. ส่งเสริมให้เกิดการวิจัย ค้นคว้า คิดประยุกต์ใช้อุปกรณ์ทางอุตสาหกรรมที่มีอยู่เดิม เพื่อการพัฒนาเทคโนโลยีด้านวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง
3. เพื่อเป็นการพัฒนาทักษะของนักศึกษาวิศวกรรมไฟฟ้า ให้เกิดการวิเคราะห์ แก้ไขปัญหาและมุ่งหวังให้เกิดความเชี่ยวชาญในงานวิศวกรรมไฟฟ้า เพื่อให้ตรงต่อความต้องการของภาคอุตสาหกรรม โดยสามารถปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.5 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

1. ทำการศึกษาหลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ เพื่อทำความเข้าใจอย่างละเอียดอีกทั้งเพื่อให้ทราบสถานะของค่าแรงดัน กระแสใช้งาน และอุณหภูมิที่เหมาะสม ในขณะที่ใช้งานที่สภาวะต่าง ๆ กันของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ
2. วิเคราะห์ปัญหาที่จะเกิดขึ้นต่อตัวมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ เมื่ออยู่ในสภาวะที่ผิดปกติ ทั้งความผิดปกติของแรงดันจากแหล่งจ่าย การใช้งานในสภาวะเกินพิกัด การใช้งานในที่มีอุณหภูมิไม่เหมาะสมต่อการทำงาน
3. หาข้อมูลและศึกษาทำความเข้าใจ ในการนำความรู้ด้านอิเล็กทรอนิกส์และซอฟต์แวร์ LabVIEW มาเพื่อทำการประยุกต์ใช้เพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับรับค่าประมวลผลและแสดงผลเป็นภาพกราฟฟิกส์ของค่าที่ได้จากตัวมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ
4. นำข้อมูลและองค์ประกอบความรู้ทั้งหมดที่ได้จากการศึกษาและวิเคราะห์มาสร้างเป็นชุด อุปกรณ์ป้องกันมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำซึ่งสร้างเงื่อนไขการป้องกันผ่านอุปกรณ์รับสัญญาณและโปรแกรม LabVIEW โดยทำหน้าที่ประมวลผลตามเงื่อนไขและแสดงผลออกมาทางผ่าน Monitor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งที่ดำเนินการ	ช่วงเวลาที่ใช้ดำเนินการ							
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
1. ศึกษาข้อมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำและตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	↔							
2. ศึกษาด้านวงจรอิเล็กทรอนิกส์และเซ็นเซอร์ที่ต้องใช้ในการตรวจวัดตัวแปรต่างๆ การแปลงสัญญาณ A/D -D/A	↔	↔						
3. สร้างชุดตรวจวัดสัญญาณต่างๆและทำการเขียนคำสั่งแสดงผล ผ่านหน้าจอ Visual Display		↔	↔					
4. สร้างฟังก์ชันป้องกันอันตรายต่อตัวมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยใช้อุปกรณ์ PLC และระบบที่สร้างขึ้นประยุกต์ร่วมกัน				↔	↔			
5. ทดสอบความแม่นยำ และเชื่อถือได้ของระบบ						↔	↔	
6. สรุปผลการดำเนินการและจัดทำปริญญานิพนธ์								↔

↔ วางแผนไว้
↔ ลงมือปฏิบัติจริง

ตารางที่ 1.1 การวางแผนจัดลำดับขั้นตอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้และเข้าใจถึงหลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3Ø และทราบถึงแนวทางปฏิบัติเพื่อป้องกันการเกิดความเสียหายต่อตัวมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ
2. สามารถนำโปรแกรม LabVIEW มาทำการประยุกต์ใช้งานในติดตามการใช้งานและป้องกันอุปกรณ์มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ เพื่อลดความเสียหายจากอันตรายที่อาจเกิดขึ้นต่อตัวมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ เป็นการลดค่าใช้จ่ายในการใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำในอุตสาหกรรม
3. สนับสนุนการค้นคว้าวิจัยของนักศึกษาและอาจารย์ เป็นการพัฒนาทั้งด้านทักษะและความรู้ให้แก่วิศวกรไฟฟ้าที่จะก้าวขึ้นมาในอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

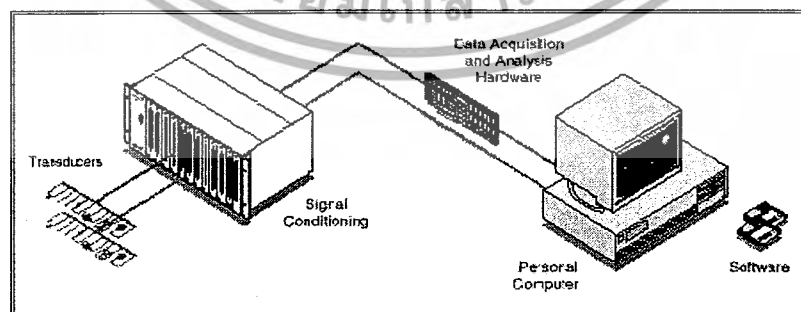
2.1 Measurement System Component

ส่วนประกอบของระบบการวัดและรวบรวมข้อมูลซึ่งใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้ มักจะประกอบด้วยส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

1. Sensor/Transducer
2. Signal Conditioner
3. Data Acquisition Device
4. Computer และ Computer Software

สำหรับในบทนี้เราจะกล่าวถึงส่วนประกอบสองส่วนแรกคือ Transducer และ Signal Conditioner ส่วนประกอบของระบบการวัดนี้ บางอย่างเป็นส่วนประกอบที่จำเป็น เช่น Sensor หรือ Transducers แต่ส่วนประกอบบางอย่างอาจไม่จำเป็นเช่น Signal Conditioner หรือถ้าหากเราไม่ต้องการบันทึกข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์หรือควบคุม คอมพิวเตอร์ก็อาจไม่ใช่สิ่งที่จำเป็น

อย่างไรก็ตามเนื่องจากการเข้ามามีส่วนร่วมของคอมพิวเตอร์ในแวดวงวิศวกรรมในช่วงประมาณ 10 ปีที่ผ่านมาทำให้การวัดและเครื่องมือวัดเปลี่ยนรูปแบบไปมาก ในระบบการวัดปัจจุบันนี้ไม่ใช่การวัดเพื่อต้องการทราบค่าเพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่เป็นการวัดเพื่อต้องการทราบค่าอย่างละเอียดและมักจะนำค่าที่ได้เพื่อไปใช้ในระบบควบคุมอัตโนมัติเป็นส่วนมาก ดังนั้นที่เราจะกล่าวถึงในระบบการวัดในเอกสารนี้จึงเป็นการกล่าวถึงระบบการวัดที่ต้องนำข้อมูลส่งเข้าสู่คอมพิวเตอร์เพื่อนำไปใช้ในการประเมินผลและควบคุมอุปกรณ์อื่นๆในระบบ ส่วนประกอบของระบบเครื่องมือวัดในปัจจุบัน แสดงให้เห็นในภาพต่อไปนี้



รูปที่ 2-1 ระบบตรวจวัดผ่านเครือข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sensor/Transducer

Sensor เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจจับหรือรับรู้การเปลี่ยนแปลงของปริมาณทางกายภาพใดๆ เพื่อให้ออกมาเป็นปริมาณทางกายภาพที่สามารถตรวจจับได้ เช่นเรวัดอุณหภูมิของน้ำโดยอาศัยการขยายตัวของปรอท ก็จะทำให้ปรอททำหน้าที่เป็นตัวรับความรู้สึกหรือ Sensor เป็นต้น ส่วน Transducer หมายถึงอุปกรณ์ใดๆก็ตามที่เปลี่ยนการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพใดๆออกมาอยู่ในรูปของสัญญาณทางไฟฟ้า เช่น แรงเคลื่อนไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าหรือความต้านทาน

เมื่อเราจะทำการวัดโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยประมวลผลและจัดวางระบบ DAQ ขึ้นมาเมื่อใด Sensor ของเราจะต้องมี Transducer ประกอบอยู่ด้วยเสมอ หรือไม่เช่นนั้น Sensor ของเราจะทำหน้าที่เป็น Transducer ไปพร้อมกันเพราะเครื่องวัดเหล่านั้นจะให้การเปลี่ยนแปลงในรูปของปริมาณทางไฟฟ้าอยู่แล้ว ทำให้อุปกรณ์การวัดหลายชนิดเป็นทั้ง Sensor และ Transducer ในตัวเดียวกัน

การที่ต้องเปลี่ยนปริมาณทางกายภาพใดๆให้เป็นปริมาณทางไฟฟ้าในระบบการวัดของเรา เนื่องจากว่าเราได้จำกัดระบบการวัดของเราไว้เป็นระบบการวัดด้วยคอมพิวเตอร์ และเนื่องจากสิ่งที่คอมพิวเตอร์สามารถตรวจจับได้ก็จะเป็นปริมาณทางด้านไฟฟ้าเท่านั้น

สำหรับรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับ Sensor/Transducer ที่มีใช้กันอยู่ในงานวิศวกรรมนี้ เราสามารถอธิบายในรายละเอียดด้วยหนังสือเป็นเล่มๆ ซึ่งเราคงจะไม่สามารถกล่าวถึงได้ทั้งหมด

อุปกรณ์ Sensor/Transducer นี้เมื่อรับการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพแล้วจะเปลี่ยนค่าเหล่านั้นออกมาในรูปของ สัญญาณทางไฟฟ้า (Electrical Signal) และโดยส่วนใหญ่แล้วสัญญาณนั้นจะออกมาอยู่ในรูปของความต่างศักย์หรือแรงเคลื่อนไฟฟ้า ซึ่งอุปกรณ์บางประเภทจะให้ปริมาณที่สามารถตรวจวัดได้ทันทีแต่บางอุปกรณ์ประเภทจะไม่ได้ให้สัญญาณในลักษณะที่สามารถวัดค่าได้ด้วยเครื่องมือพื้นฐานทันที หรือในการเดินทางของสัญญาณเหล่านี้เข้าสู่เครื่องมือวัดอาจผ่านสิ่งแวดล้อมที่มีการรบกวนสัญญาณอยู่ทำให้ไม่สามารถที่จะใช้เครื่องมือวัดสัญญาณที่แท้จริงได้ทันที ด้วยสาเหตุดังกล่าวเราจำเป็นต้องจะมีการปรับสภาพสัญญาณเหล่านั้นก่อน

ดังนั้นในหลายๆกรณีเราจำเป็นต้องมีอุปกรณ์เพิ่มเติมในการวัด อุปกรณ์นี้เราเรียกว่า อุปกรณ์ปรับสัญญาณ (Signal Conditioner) สิ่งที่เราควรทราบเบื้องต้นก็คือความจำเป็นของการที่จะต้องใช้อุปกรณ์นี้ เพราะบางครั้งเมื่อเราออกแบบระบบการวัดที่ไม่มีความต้องการความละเอียดสูงหรือสัญญาณที่มีขนาดมากเพียงพอและไม่มีการรบกวนสัญญาณมากนัก เราอาจไม่ต้องการอุปกรณ์นี้ก็ได้ ซึ่งจะเป็นการลดความยุ่งยากและค่าใช้จ่ายลงไปได้มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

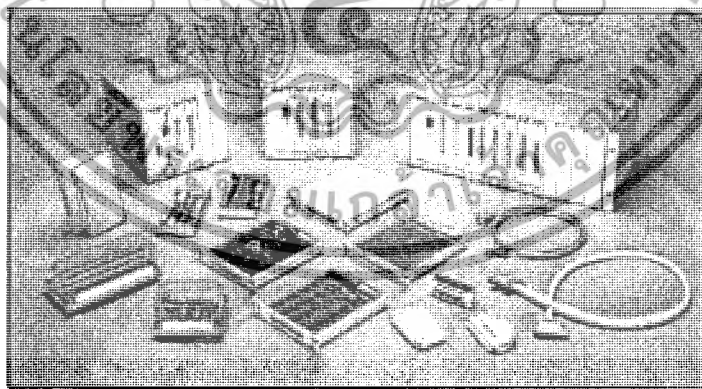
Signal Conditioning

เราได้ทราบอุปกรณ์ที่จะใช้วัดสัญญาณแบบต่างๆโดยสรุปมาแล้ว แต่เราอาจยังไม่พร้อมที่จะทำการวัดและเก็บข้อมูล เพราะอย่างลืมน่ารอบๆ ตัวเรานั้นเต็มไปด้วยอุปกรณ์รบกวนสัญญาณไฟฟ้า ถ้าหากเราไม่รู้จักป้องกันและปรับสภาพสัญญาณแล้ว เราอาจได้สัญญาณที่เราไม่สามารถแปลความหมายได้เลยก็เป็นได้

โดยปกติเราจำเป็นต้องปรับสภาพสัญญาณ (Signal Conditioning) ไม่ทางใดก็ทางหนึ่ง เช่น ปริมาณสัญญาณที่ได้จาก Transducer อาจมีขนาดเล็กมาก เราต้องปรับให้มีขนาดใหญ่ขึ้นก่อน หรือสัญญาณที่ได้ก็จะมีคลื่นรบกวนอยู่มาก เราต้องหาวิธีตัดคลื่นรบกวนนั้นออกไป หรือแม้แต่ในวิธีง่ายๆ บางวิธีเช่น ต่อกราวด์ให้ถูกต้อง

สำหรับการวัดสัญญาณที่ต้องการความละเอียดสูง และไม่ต้องการให้มีการรบกวนสัญญาณในการวัด เราอาจใช้อุปกรณ์ราคาสูง เช่น SCXI (Signal Conditioning eXtensions for Instrumentation) ของบริษัท National Instrument ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่มีหน้าที่ปรับแต่งสภาพสัญญาณให้อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้เมื่อส่งเข้าสู่ DAQ

SCXI นี้จะประกอบด้วยตัวเรือนที่ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ และจะมี โมดูลที่เหมาะสมต่อเข้ากับตัวเรือนอีกครั้งหนึ่ง การเลือกโมดูลก็ขึ้นอยู่กับว่าเราจะใช้ Transducer ประเภทใด และต้องการวัดสัญญาณประเภทใด ลักษณะของ SCXI แสดงในรูปต่อไปนี้



รูปที่ 2-2 แสดงโมดูลต่าง ๆ ในระบบตรวจวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับชนิดของการปรับสัญญาณต่างๆ ไปนั้นจะประกอบด้วย

- การขยายสัญญาณ (Amplification)
- การเพิ่มกำลังให้ Transducer (Transducer excitation)
- การปรับให้เป็นเชิงเส้น (Linearization)
- การป้องกันสัญญาณ (Isolation)
- การกรองสัญญาณ (Filtering)

สำหรับความต้องการในการปรับสภาพสัญญาณของ Transducer ขั้นพื้นฐาน โดยทั่วไปจะมีตามตารางต่อไปนี้

Sensor	Electrical Characteristics	Signal Conditioning Needs
Thermocouple	Resistance output Low voltage output Low sensitivity Nonlinear output	Cold-junction compensation High amplification Linearization
RTD	Resistance output Low resistance (100 ohms typical) Low sensitivity Nonlinear output	Current excitation 4-wire/3-wire configurations Linearization
Thermistor	Resistance output High resistance and sensitivity Drastically nonlinear output	Voltage or current excitation Reference resistor Linearization

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sensor	Electrical Characteristics	Signal Conditioning Needs
IC Temp.	Sensor High level voltage or current output Linear output	Power source Moderate gain
Strain Gauge	Resistance output Low resistance Very low sensitivity Nonlinear output	Excitation Bridge configuration 3-wire connection Linearization

ตารางที่ 2-1 จำแนกวิธีการปรับสัญญาณตามอุปกรณ์ตรวจวัด

การปรับสภาพสัญญาณในบางกรณี เราจำเป็นต้องพิจารณาว่า เราต้องการความแม่นยำหรือสะอาดและพร้อมของสัญญาณมากน้อยเพียงใด เพราะในงานวิศวกรรมบางประเภท เราอาจไม่มีความต้องการสัญญาณที่แท้จริงและถูกต้อง 100% หากเราลดค่าใช้จ่ายได้มากกว่าครึ่งหนึ่งแล้ววัดสัญญาณได้ถูกต้อง 95% ดังนั้นวิศวกรจำเป็นต้องทราบว่าข้อมูลที่วัดนั้นมีความต้องการเพื่อไปใช้ในงานด้านใด และมีความต้องการความแม่นยำมากน้อยเพียงใด

2.1.1 การวิเคราะห์สัญญาณและข้อมูล

เราได้กล่าวถึงประเภทของเครื่องมือวัด และการปรับแต่งสภาพสัญญาณที่จะเข้าสู่อุปกรณ์เก็บข้อมูล แต่สิ่งหนึ่งที่เรายังไม่ได้กล่าวถึงเลยและเป็นเรื่องที่สำคัญมากในการวัด สิ่งนั้นก็คือนักวิเคราะห์สัญญาณที่จะเข้าสู่เครื่องมือวัด เพราะลักษณะของสัญญาณที่จะเข้าสู่เครื่องมือวัดเป็นสิ่งที่กำหนดระบบที่ใช้ในการเก็บข้อมูลทั้งหมด และถ้าหากระบบเก็บข้อมูลที่เราไม่มีอยู่ไม่สามารถที่จะเก็บสัญญาณที่ออกมาจาก Transducer ได้เราอาจจำเป็นต้องเปลี่ยนเครื่องมือเก็บสัญญาณหรือ Transducer อย่างใดอย่างหนึ่ง สิ่งที่ทำให้เกิดข้อจำกัดของอุปกรณ์ส่วนใหญ่จะมาจาก เวลาการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลามักจะเป็นตัวแปรที่วิกฤติที่สุดในการวัดแทบทุกรูปแบบ ไม่ว่าเราต้องการที่จะวัดปริมาณใดๆ ก็ตาม การเปลี่ยนแปลงของปริมาณนั้นไปกับเวลามักจะทำให้ การวัดเปลี่ยนแปลงวิธีการไปด้วย การวัดอุณหภูมิในห้องปรับอากาศอาจจะใช้เครื่องมือ อุปกรณ์และวิธีการแตกต่างไปจากการวัดอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ของจรวด เพราะลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเทียบต่อเวลาของสิ่งทั้งสองนั้นแตกต่างกันมาก ดังนั้นในการวัดปริมาณใดๆ ก็ตาม อาจจะไม่เพียงพอถ้าเรารู้เฉพาะว่าเราจะวัดอะไรเท่านั้น แต่เราจะต้องรู้ว่ามันมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรบ้าง ดังนั้นแม้แต่สัญญาณที่เรียกว่า DC Signal (**Direct Current** ในความหมายด้านการวัดไม่ได้หมายถึงไฟฟ้ากระแสตรงเพียงอย่างเดียว แต่หมายถึงปริมาณสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงช้ามาก) ก็ยังต้องเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา เพราะถ้าหากว่าปริมาณที่ไม่เปลี่ยนแปลง เราก็จะรู้ค่าของปริมาณนั้น แล้วเราจะต้องไปวัดอีกทำไม?

เวลาจะมีความสำคัญในการออกแบบ DAQ (Data Acquisition) Software อยู่สองประการคือ เราต้องการทราบว่า อัตราการสุ่มข้อมูล หรือ Sampling Rate ซึ่งเป็นค่าที่บอกกว่าคอมพิวเตอร์ต้องการวัดบ่อยครั้งเพียงใดในช่วงเวลาหนึ่ง และประการที่สองเราจำเป็นต้องทราบว่าเมื่อวัดปริมาณนั้นๆ ได้แล้ว เรามีเวลาเหลืออีกเท่าใดเพื่อที่จะนำข้อมูลที่วัดได้ไปประมวลผล

2.1.2 การแบ่งประเภทสัญญาณ

เราสามารถแยกประเภทสัญญาณได้ตามลักษณะของมันได้เป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ

1. Digital Signal
2. Analog Signal

สำหรับปริมาณที่เกิดขึ้นตามปรากฏการณ์ธรรมชาติต่างๆ จะเป็นสัญญาณประเภท Analog แทบทั้งสิ้นส่วนสัญญาณ Digital นั้นโดยมากแล้วจะเป็นสัญญาณที่มนุษย์สร้างขึ้น และมักใช้ประโยชน์ในงานควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์

โดยปกติเมื่อสัญญาณผ่านออกจาก Transducer หรือ Signal Conditioner มาแล้ว สัญญาณจะมีลักษณะเป็นสัญญาณไฟฟ้าแต่ยังคงเป็น Analog Signal อยู่ การจะนำปริมาณนั้นเข้าสู่คอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผล เราจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า A/C (Analog to Digital Converter บางครั้งเรียกย่อ ADC) เมื่อสัญญาณเข้าสู่ ADC จะได้รับการเปลี่ยนลักษณะให้เป็นสัญญาณ digital จากนั้นเราจึงสามารถให้คอมพิวเตอร์ดึงข้อมูลของสัญญาณนั้นออกมาได้ ข้อมูลที่สำคัญที่บรรจุอยู่ในสัญญาณนั้นก็เช่น รูปร่าง ปริมาณ, ความถี่ เป็นต้น ไม่นับแต่ในทางวิชาการเท่านั้น ไม่นับแต่ในทางปฏิบัติด้วยเช่นกัน ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าเราจะแบ่งประเภทของสัญญาณกันจริงๆ แล้วสัญญาณทุกแบบเป็น Analog แทบทั้งสิ้นและมักเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา อย่างไรก็ตามในการพิจารณาเรื่องการวัดสัญญาณเราจะแบ่งสัญญาณออกย่อยจาก Digital และ Analog ออกเป็นทั้งหมด 5 ประเภทคือ

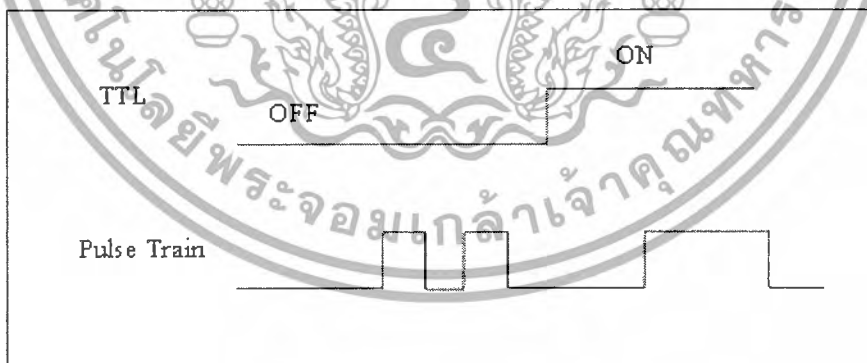
Digital Signal แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

1. ON-OFF Signal หรือ TTL (Transistor to Transistor Logic)
2. Pulse Train Signal

สัญญาณ Digital ทั้ง 2 ชนิดแสดงในรูปที่

สำหรับ ON-OFF Signal มักจะเป็นสัญญาณที่มีข้อมูลที่เป็นสภาวะ (state) ว่าขณะนี้สัญญาณเกิดขึ้น (ON) หรือไม่มีสัญญาณ (OFF) อุปกรณ์ที่ใช้วัดจึงเป็นอุปกรณ์ประเภท digital state detector เช่น หลอดไฟ หรือ LED ก็สามารถบอกสภาวะขณะนั้นได้

ส่วน Pulse Train Signal จะเป็นสัญญาณที่ประกอบด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาวะออกอย่างต่อเนื่อง ข้อมูลที่สำคัญที่สัญญาณนี้มีคือ จำนวนการเปลี่ยนแปลงสภาวะหรือระยะเวลาระหว่างการเปลี่ยนแปลงสภาวะสำหรับตัวอย่างของสัญญาณในลักษณะนี้ก็เช่น การสะท้อนของแสงจากผ่านโลหะที่ติดอยู่บนเพลลา เพื่อใช้ในการวัดความเร็วรอบ หรือสำหรับในงานด้านการควบคุมสัญญาณในลักษณะนี้จะใช้ในการควบคุม Stepper Motor



รูปที่ 2-3 รูปคลื่นสัญญาณดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

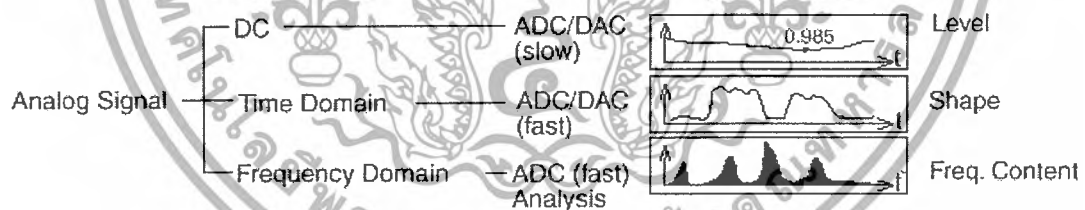
Analog Signal สามารถแบ่งแยกย่อยออกเป็น 3 ชนิดคือ

1. **DC signal** สัญญาณที่เปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ
2. **AC signal** สัญญาณที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วเทียบกับเวลา (Time Domain)
3. **Frequency Domain Signal** สัญญาณที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วแต่เป็นการพิจารณาว่าสัญญาณนั้น มีความถี่ใดบ้างที่บรรจุอยู่

DC signals

สัญญาณ Analog DC นี้จะเปลี่ยนแปลงไปอย่างช้าๆ เทียบต่อเวลา คุณลักษณะที่สำคัญของสัญญาณ DC ก็คือปริมาณหรือขนาดของสัญญาณที่ได้ขณะนั้น เนื่องจากสัญญาณ DC เปลี่ยนแปลงไปอย่างช้าๆ ความแม่นยำในการวัดจึงสำคัญมากกว่าอัตราการเก็บข้อมูล ลักษณะของสัญญาณ DC นี้มักได้จากอุปกรณ์การวัดทางกลชั้นพื้นฐาน เช่น อุนหนุมิ ความดัน อัตราการไหลในท่อปกติ เป็นต้น ลักษณะของระบบ DAQ ของเราควรมีลักษณะดังต่อไปนี้

- ▶ Accuracy/Resolution คือมีความแม่นยำและละเอียด
- ▶ Low bandwidth คือมีอัตราการเก็บข้อมูลที่ต่ำ



รูปที่ 2-4 สัญญาณลูกคลื่นอนาล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC signal

ลักษณะของ AC signal ที่สำคัญก็คือจะส่งผ่านทั้งขนาดของสัญญาณและการเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณเทียบต่อเวลา ในการวัดปริมาณและแสดงผลของสัญญาณในลักษณะนี้ เรามักเรียกสัญญาณนี้ว่าอยู่ในรูปของ waveform

ในการวัดสัญญาณ AC ใน Time Domain เราจำเป็นจะต้องวัดข้อมูลต่อเนื่องกันเพื่อจะหาขนาดของสัญญาณในแต่ละเวลา การวัดจะต้องกระทำบ่อยครั้งเพื่อให้เพียงพอต่อการนำข้อมูลนี้ไปแปรความหมายได้อย่างถูกต้องแต่ต้องไม่มากจนเกินไป เพราะเราคงไม่มีทรัพยากรในคอมพิวเตอร์เพียงพอที่จะบรรจุข้อมูลเหล่านี้ตลอดเวลา ลักษณะของ DAQ ที่เหมาะสมกับงานประเภทนี้ควรเป็นดังนี้

- ▶▶ **High Bandwidth** เพื่อสามารถสุ่มเก็บตัวอย่างข้อมูลได้ในอัตราที่สูง
- ▶▶ **Accurate Sample Clock** เพื่อที่สามารถสุ่มเก็บตัวอย่างได้ในช่วงเวลาที่แม่นยำ
- ▶▶ **Triggering** เพื่อที่จะได้เริ่มเก็บข้อมูลในเวลาที่เหมาะสม

สำหรับตัวอย่างของสัญญาณ AC นั้นมีมากมาย เช่น การสั่นของเครื่องจักร, ความดันโลหิต, สัญญาณ Video เป็นต้น

Frequency Domain Signals

ในความเป็นจริงแล้ว Analog Signal ทุกรูปแบบจะอยู่ใน Time Domain ทั้งสิ้นเพียงแต่ว่าข้อมูลที่สำคัญที่อยู่ในข้อมูลนั้นคืออะไร สำหรับสัญญาณประเภทนี้นั้นมีความแตกต่างจากสัญญาณ AC ตรงที่เราต้องการทราบว่าในสัญญาณที่เราวัดโดยรวมนั้นมีสัญญาณที่มีความถี่เท่าใดบ้างบรรจุอยู่ด้วยและแต่ละความถี่มีปริมาณเท่าใด แต่ในสัญญาณ AC ปกติทั่วไปเราจะให้ความสำคัญกับรูปทรงของสัญญาณมากกว่าความถี่ที่บรรจุอยู่

ดังนั้นอุปกรณ์ที่ใช้วัดสัญญาณประเภทนี้จึงคล้ายกับสัญญาณ AC แต่ต้องเพิ่มฟังก์ชันที่เข้าไปมีส่วนร่วมในการเปลี่ยนสัญญาณที่วัดออกมาจาก Time Domain ให้อยู่ใน Frequency Domain ซึ่งจะใช้วิธีการของ Fourier Transform ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบ DAQ นี้มีดังนี้

- ▶▶ **High Bandwidths** สุ่มตัวอย่างด้วยอัตราสูง
- ▶▶ **Accurate Sample Clock** สามารถสุ่มตัวอย่างเป็นช่วงๆ ด้วยความแม่นยำ
- ▶▶ **Triggering** เริ่มสุ่มตัวอย่างด้วยเวลาที่แม่นยำ
- ▶▶ **Analysis Function** เปลี่ยนข้อมูลใน Time Domain ให้อยู่ใน Frequency Domain

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 Signal Reference

ปริมาณทางฟิสิกส์หลาย ๆ ปริมาณเป็นปริมาณสัมบูรณ์ (Absolute) เช่น มวล, เวลา เป็นต้น (ที่จุดนี้หวังว่าคงไม่มีนักฟิสิกส์มาโต้แย้งโดยใช้ทางทฤษฎีสัมพัทธภาพนะครับ วิศวกรรู้ดีว่า เมื่อเข้าใกล้ความเร็วแสงแล้วจะไม่มีอะไรเลยที่เป็นปริมาณสัมบูรณ์ แต่เราขอให้วิศวกรต้องผลิตอุปกรณ์ที่เดินทางใกล้ความเร็วแสงก่อนแล้วค่อยคิดกันต่อไป) อย่างไรก็ตามที่แน่นอนก็คือแรงเคลื่อนไฟฟ้า หรือ ความต่างศักย์นี้ไม่เป็นปริมาณสัมบูรณ์ การวัดความต่างศักย์จะวัดความแตกต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างวัตถุ 2 วัตถุเสมอ และวัตถุหนึ่งจะถูกตั้งให้เป็น Reference คือมีศักย์เป็น "0 V" ดังนั้นแรงเคลื่อนไฟฟ้า 10.2V จะไม่สามารถบอกอะไรได้มากนัก ถ้าหากเราไม่ทราบว่าเทียบกับอะไร อย่างไรก็ตามเรามักจะไม่ค่อยได้ยินผู้คนกล่าวว่าไฟฟ้า 10.2 V เทียบกับ Reference ใดเพราะปกติแล้วเราจะเทียบสัญญาณนี้กับ ground โดยใช้ ground นี้มีศักย์ไฟฟ้า 0 V. สิ่งนี้เองมักจะทำให้เกิดการสับสน เพราะคำว่า "Ground" นี้เมื่อใช้ในสถานการณ์ที่แตกต่างกันจะหมายถึงมาตรฐานความต่างศักย์ที่ต่างกัน

Ground Type

เมื่อเราต่อสัญญาณเทียบกับ Ground เราต้องเข้าใจก่อนว่า Ground นี้แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. Earth Ground
2. Reference Ground

ซึ่งความแตกต่างของ Ground ทั้งสองแบบเป็นดังนี้

Earth Ground

Earth Ground หมายถึง ดินหรือพื้นที่ที่เรายืนอยู่ ปกติปลั๊กไฟทั้งหลายจะมีจุดต่อลงสู่ Earth Ground ต่อร่วมกับอุปกรณ์ไฟฟ้า เพื่อเหตุผลทางด้านความปลอดภัย บางครั้งเราเรียก ground แบบนี้ว่า system ground และจุดมุ่งหมายหลักของการต่อเข้ากับ ground นี้ ก็เพื่อความปลอดภัยไม่ใช่เพื่อการต้องการเทียบศักย์ไฟฟ้า และตามความเป็นจริงแล้วพื้นดินที่ต่าง ๆ กันจะไม่มีศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน นั่นคือมีความแตกต่างใน Earth Ground อยู่เสมอ

Reference Ground

Reference Ground บางครั้งจะเรียก Return Path หรือ Signal Common มักจะหมายถึง จุดที่มีความต่างศักย์เป็นศูนย์ สำหรับระบบที่เราสนใจ Common Ground นี้อาจจะต่อเข้าสู่ Earth Ground หรือไม่ก็ได้ เป็นจุดที่เครื่องวัด อุปกรณ์ และแหล่งกำเนิดสัญญาณต่างๆ ใช้เป็นบรรทัดฐานในการกำหนดความหมายของค่าความต่างศักย์ที่กำลังวัดอยู่

2.1.4 Type of Signal Source

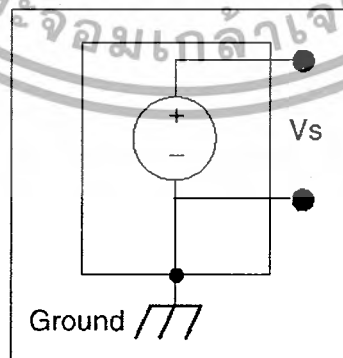
DAQ Board ในคอมพิวเตอร์ของเราที่มีความคาดหวังว่าจะวัด Voltage เทียบต่อจุดบรรทัดฐานใดบรรทัดฐานหนึ่ง แล้ว DAQ Board ควรจะใช้บรรทัดฐานใด ส่วนนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของสัญญาณว่ามีลักษณะอย่างไร โดยทั่วไปจะแบ่งได้ 2 แบบ คือ

1. Ground Signal Source
2. Floating Signal Source

โดยรายละเอียดของสัญญาณทั้งสองแบบเป็นดังนี้

Ground Signal Source

Ground Source หมายถึงว่า สัญญาณในรูปของ Voltage นี้ จะต่อเข้ากับ System Ground (เช่น ดึกหรือลงดิน เป็นต้น) เนื่องจากการที่อุปกรณ์พวกนี้ใช้ System Ground ดังนั้นก็จะใช้ ground ร่วมกันกับ DAQ board ตัวอย่างของสัญญาณประเภทนี้ก็คืออุปกรณ์จ่ายสัญญาณทั้งหลายที่เสียบปลั๊กเข้ากับ ผนังเช่น Signal Generator หรือ Power Supplies



รูปที่ 2-5 การวัดแบบ ground signal source

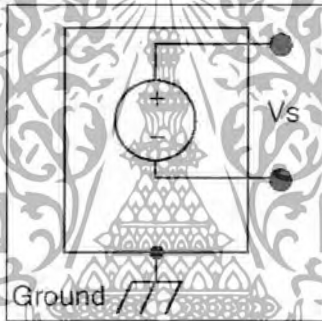
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปเราจะเห็นว่าแหล่งสัญญาณที่เราทำการวัดอยู่นี้มีค่า Voltage, V_s ที่ต้องการวัดนี้ ต่อเทียบอยู่กับ Ground

Floating Signal Source

Floating Signal ลักษณะนี้จะเป็นสัญญาณที่มีแหล่งกำเนิดที่ไม่ได้ใช้ ground ร่วมกับ DAQ board ตัวอย่างของสัญญาณประเภทนี้ก็เช่น Batteries, Thermocouple เราเรียกสัญญาณ Floating signal นี้ก็อย่างหนึ่งว่า Non-Reference Source

จากรูปเราจะเห็นว่าสัญญาณที่ต้องการวัดจะไม่มีส่วนไหนต่อเข้ากับ System Ground ดังนั้น เราจึงพบว่าแต่ละจุดต่อนั้นจะไม่เปรียบเทียบกับ System Ground



รูปที่ 2-6 การวัดแบบ floating signal source

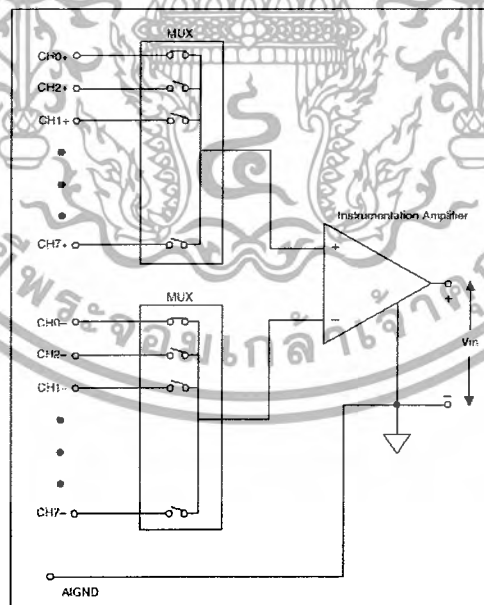
2.1.5 Type of Measurement System

การวัดความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าด้วย DAQ board เราจะต้องปรับตั้ง DAQ board ให้เหมาะสมกับการวัดเสียก่อนไม่ว่าจะเป็นการปรับที่ Hardware (เช่นปรับ DIP Switch) หรือให้ Software ปรับก็ตามวิธีการวัดที่เราจะใช้ การปรับ DAQ ก็เพื่อจะกำหนดการวัด 3 แบบใหญ่ๆ ดังนี้

1. Differential Measurement System
2. Referenced Single Ended (RSE) Measurement System
3. Nonreferenced Single Ended (NRSE) Measurement System

Differential Measurement System

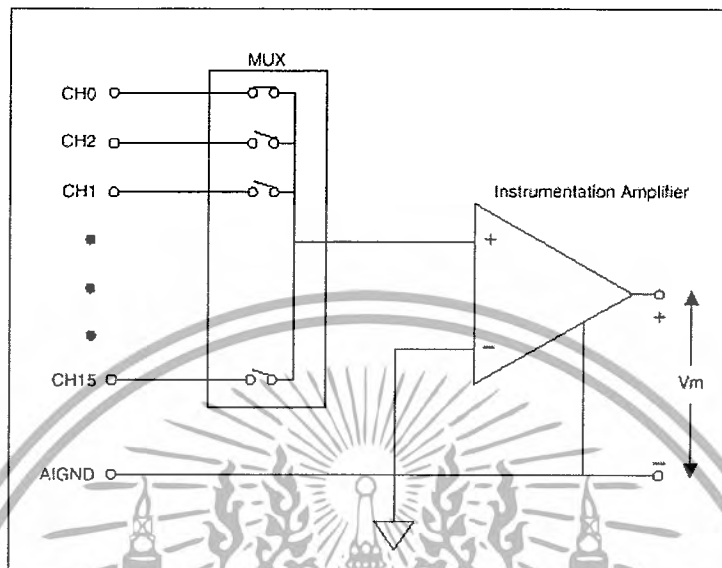
ในการวัดแบบ Differential นี้ไม่มี Input ตัวใดเลยที่ต่อเข้ากับ Fix Reference เช่น ดิน หรืออาคาร ดังนั้น เราจะนำปลายทั้งสองข้างของทรานส์ดิวเซอร์ ต่อเข้ากับขั้วบวกและขั้วลบของอุปกรณ์ DAQ ในรูปต่อไปนี้เป็น การแสดงการต่อสัญญาณแบบ Differential เข้าสู่ Board ที่มี 8 ช่อง differential โดย MUX (MUltipleXer) จะเป็นอุปกรณ์เพิ่มช่องสัญญาณ Analog ส่วน AIGND หมายถึง Analog Input GrouND ซึ่งจะเป็น System Ground



รูปที่ 2-7 Differential Measurement System

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Referenced Single End (RSE) Measurement System



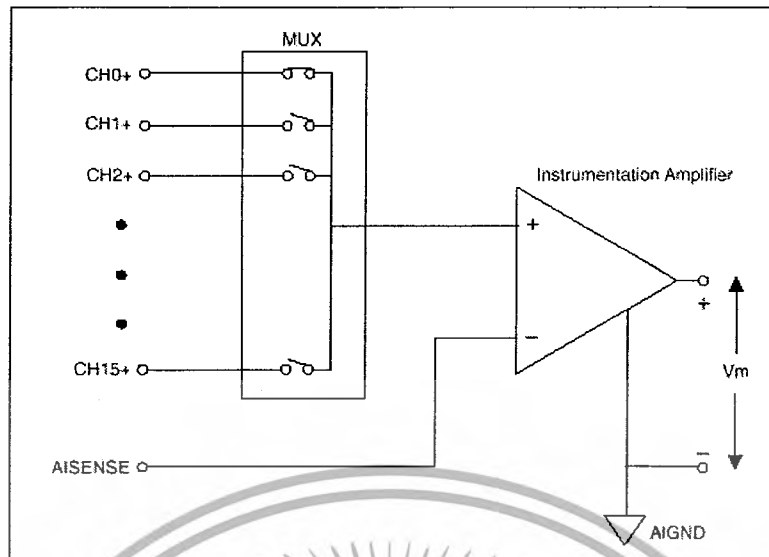
รูปที่ 2-8 Referenced Single End (RSE) Measurement System

RSE สามารถเรียกอีกอย่างหนึ่ง คือ Ground Measurement System ซึ่งจะเหมือนกับ Ground Signal Source คือ การวัดจะวัดเปรียบเทียบกับ Earth Ground รูปต่อไปนี้จะแสดงการต่อช่องสัญญาณ 16 ช่อง เข้าระบบการวัดแบบ RSE

NRSE Measurement System

DAQ Board มีวิธีการวัดอีกแบบหนึ่ง คือ None referenced Single - Ended (NRSE) ในการวัดแบบ NRSE นี้ การวัดทั้งหมดจะวัดเทียบกับ Common Reference Ground แต่ Voltage ที่ใช้เป็น reference สามารถเปลี่ยนแปลงได้เทียบกับ Measurement System Ground รูปต่อไปนี้จะแสดงการต่อด้วยระบบการวัด NRSE โดยในรูป AISENSE หมายถึง Common Reference ของสัญญาณที่ทำการวัด และ AIGND ซึ่งย่อมาจาก Analog Input Sense หมายถึง System Ground

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-9 None referenced Single - Ended (NRSE)

สรุปด้วยการวัดด้วยอุปกรณ์ DAQ เราต้องคำนึงอยู่ 2 ประการ คือ ลักษณะของแหล่งสัญญาณ และวิธีการวัดสัญญาณ โดยอันดับแรกเราต้องกำหนดลักษณะของวิธีการวัดสัญญาณว่าจะใช้แบบ Reference, RSE หรือ NRSE ก่อน โดยจะต้องกำหนดที่ Board ไม่ว่าจะใช้ jumper หรือใช้ Software ที่มากับ Board เป็นตัวกำหนด เมื่อกำหนดวิธีการวัดแล้ว Input Channel ทั้งหมดจะทำการวัดตามที่ตั้งไว้ ส่วนลักษณะของสัญญาณที่มาก็จะต้องทำตามวิธีการวัดที่กำหนดกับอุปกรณ์ DAQ เพราะอุปกรณ์แต่ละแบบผู้ผลิตและรุ่นที่ผลิตอาจมีรายละเอียดการต่อสายสัญญาณที่แตกต่างกัน

ข้อแนะนำในการวัด

สำหรับข้อแนะนำพื้นฐาน ในการต่อสัญญาณจากรูปก็คือ

1. วัด Ground Signal ด้วยระบบ Differential หรือ NRSE
2. วัด Floating Source ด้วยระบบ RSE
3. ถ้าสัญญาณมีขนาดเล็ก (น้อยกว่า 1V) ควรเลือกระบบ Reference
4. ถ้าสัญญาณเดินทางเป็นระยะไกล ภายใต้อายุสัญญาณที่ไม่มีการป้องกัน noise ควรเลือกใช้ระบบ Reference

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสียของการวัด Ground Signal ด้วยระบบ RSE คือจะทำให้เกิด Ground Loops ซึ่งเป็นแหล่งทำให้เกิดความผิดพลาด ทำนองเดียวกัน การใช้ระบบ Differential หรือ NRSE กับสัญญาณ Floating Source มักจะเกิด Bias Currents ซึ่งจะทำให้ Input Voltage ขยับออกไปนอกช่วงการวัดของ DAQ board แม้ว่าเราจะสามารถแก้ไขได้ด้วยการใส่ Bias Resister เข้ากับ Input Ground แต่ก็อาจทำให้เกิดผลเสียอื่นตามมาเช่นการเพิ่มภาระ (Loading) ให้กับอุปกรณ์ที่ทำการวัดอยู่

2.1.6 Considerations of Analog Input Setting

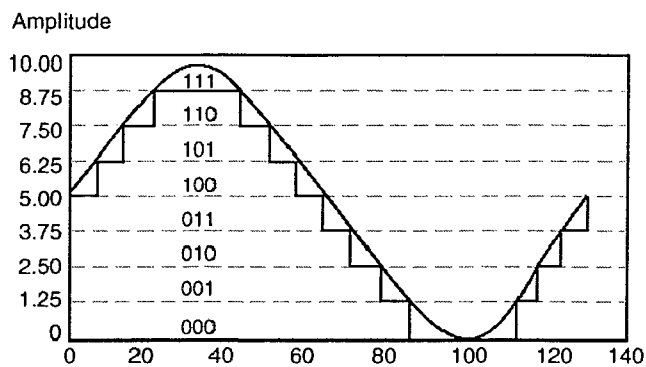
ที่ผ่านมาเราได้เรียนรู้ลักษณะของสัญญาณว่ามีลักษณะเช่นใดบ้าง จากนั้นเราได้ทราบถึงระบบการวัดว่าระบบต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นแบบ Differential, RSE, NRSE นั้นมีข้อแตกต่างหรือข้อดีข้อเสียต่างกันอย่างไร ถึงขั้นนี้

เราต้องเข้าใจว่าเมื่อเรามี สัญญาณ Analog เราจะต้องเปลี่ยนสัญญาณเป็น Digital ด้วย ADC ซึ่งจะเปลี่ยนสัญญาณที่เราวัดได้เป็นสัญญาณที่คอมพิวเตอร์เข้าใจ มีอีกสิ่งหนึ่งที่เราต้องเข้าใจในการเลือกระบบการวัดคือ ADC Bit Resolution, Minimum และ Maximum Device Voltage และ Minimum และ Maximum Signal Voltage Levels.

2.1.7 Resolution

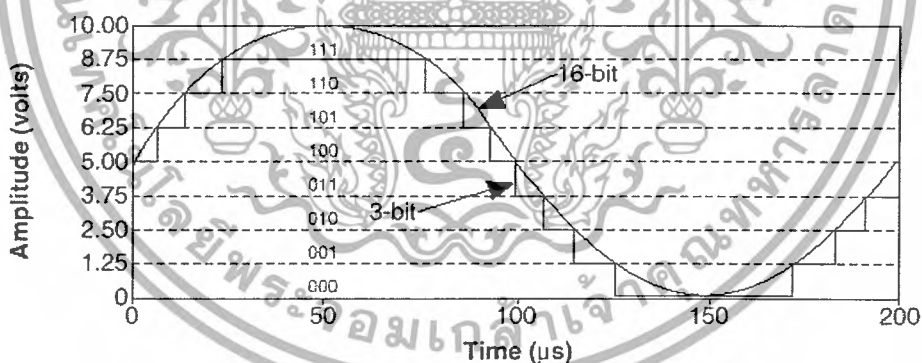
จำนวน bit ที่เราใช้แทน Analog Signal จะเป็นเครื่องกำหนด Resolution ของ ADC เราสามารถเปรียบเทียบ Resolutions ของอุปกรณ์ DAQ ได้กับเส้นแบ่งสเกลบนไม้บรรทัด จำนวนเส้นแบ่งมากเราจะได้การวัดที่แม่นยำมากขึ้น ทำนองเดียวกันการมี resolution สูงขึ้น จำนวนการแบ่งข้อมูลให้ระบบเข้าใจก็จะมากขึ้น เป็นผลให้เครื่องสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงที่มีขนาดเล็กลงได้มากขึ้น ตัวอย่างเช่น อุปกรณ์ ADC 3 bit จะสามารถแบ่ง resolution ได้ 2^3 หรือ 8 ช่วง นั่นคือ เลข binary 000 ถึง 111 จะแทนแต่ละช่วง นั่นคืออุปกรณ์ DAQ จะเปลี่ยนสัญญาณ analog เป็น digital ได้ 8 ช่วง

รูปต่อไปนี้จะแสดงการเปลี่ยนสัญญาณ sine wave ด้วย DAC ขนาด 3 bit ซึ่งเราจะเห็นว่า digital signal ที่ได้ไม่มีความละเอียดเพียงพอที่จะแทนสัญญาณเดิมได้ เนื่องจากเราเปลี่ยนสัญญาณด้วยช่วงกว้างที่ยากเกินไป



รูปที่ 2-10 การเปลี่ยนสัญญาณ sine wave ด้วย DAC ขนาด 3 bit

ในขณะเดียวกัน รูปต่อไปนี้จะแสดงถึงการเปลี่ยนสัญญาณด้วย DAC ขนาด 16 - bit ทำให้ resolution เพิ่มเป็น 2^{16} หรือ 65536 ช่วง ซึ่งจะเห็นว่าสัญญาณ digital ที่ได้ใกล้เคียงกับสัญญาณ analog เดิมมากเพียงพอ เมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณ 3 Bit



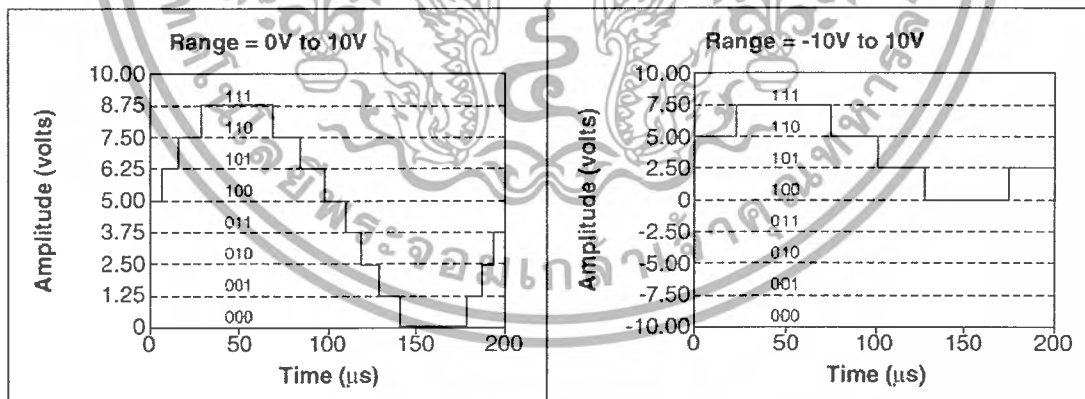
รูปที่ 2-11 การเปลี่ยนสัญญาณด้วย DAC ขนาด 16 - bit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.8 Device Voltage Range

ADC Range หรือช่วงกว้าง หมายถึง ระดับ Maximum และ Minimum Analog Voltage ที่ ADC สามารถเปลี่ยนเป็น digital ได้ โดยส่วนใหญ่แล้วอุปกรณ์ DAQ สามารถเลือก range ได้ ดังนั้นเราสามารถเลือก ADC range เพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดกับ resolution ที่มีอยู่ รูปต่อไปนี้เป็น การแทนค่าสัญญาณรูป Sine Wave ซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 0 ถึง 10 volts ในรูปซ้ายมือจะ กำหนด Device Voltage Range ในช่วง 0 V ถึง 10 V ส่วนในรูปขวามือจะกำหนด Device Voltage Range ในช่วง -10 V ถึง 10 V

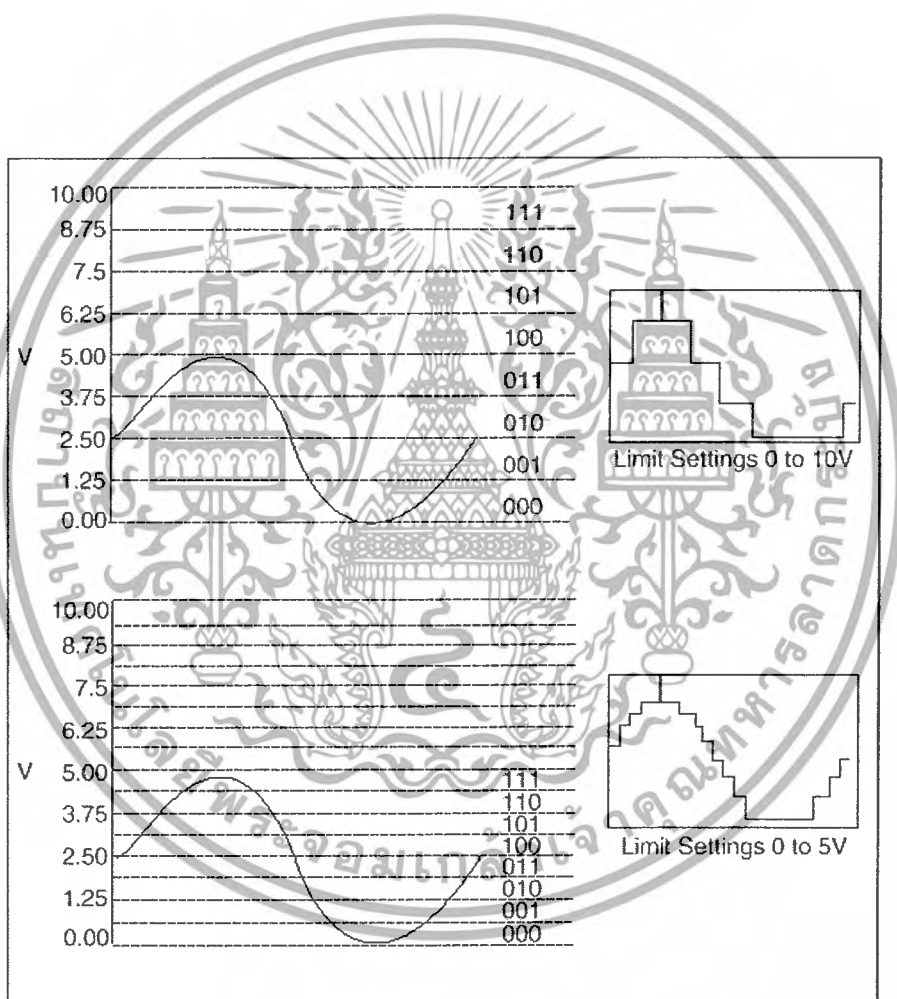
จากรูปหากเรามีอุปกรณ์ ADC ขนาด 3-bit ซึ่งจะแบ่งช่วงออกได้เป็น 8 ช่วง ถ้าเราเลือก Device Voltage Range จาก 0-10 Volts เราจะแบ่งได้ช่วงละ 10/8 volt นั่นคือความละเอียดที่ได้ จะเท่ากับ 1.25 V ในขณะที่เดียวกันหากเราเลือก DAQ Range เป็น -10 ถึง 10 Volt เราจะแบ่งความละเอียดแต่ละช่วงเป็น 20/8 V ซึ่งเท่ากับ 2.50 V ซึ่งแบบแรกจะให้ความละเอียดกว่าถึงเท่าตัว ดังนั้นถ้าหากเราทราบว่าสัญญาณของเราอยู่ในช่วงบวกเท่านั้น การเลือกแบบทางซ้ายมือจะทำให้ได้ความละเอียดมากขึ้น



รูปที่ 2-12 การแทนค่าสัญญาณรูป Sine Wave ซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 0 ถึง 10 volts

2.1.9 Signal Voltage Range (Limit Setting)

Limit setting คือค่า Maximum และ Minimum Voltage ของสัญญาณเราจะทำการวัด การเลือก Limit setting ได้ถูกต้องมากเท่าใด เราจะทำให้ อุปกรณ์ DAC สามารถใช้ประโยชน์จากการ แบ่งช่วงได้ มากเท่านั้น รูปต่อไปนี้จะแสดงการใช้อุปกรณ์ ADC แบบ 3-bit สำหรับสัญญาณ Sine Wave โดยเปรียบเทียบการใช้ Limit Setting 0 ถึง 10 volts และ 0 ถึง 5 volts จะเห็นว่า ในการศึกษา 0-10 volts อุปกรณ์ DAC จะใช้งานในการบันทึกข้อมูลเพียง 4 ช่องจากที่ตั้งไว้ 8 ช่อง ในขณะที่ถ้าเราใช้ 0-5 volts ทั้ง 8 ช่องจะได้นำไปใช้งาน ทำให้สัญญาณว่าได้ถูกต้องมากขึ้น



รูปที่ 2-13 การใช้อุปกรณ์ ADC แบบ 3-bit สำหรับสัญญาณ Sine Wave

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.10 ข้อพิจารณาสำหรับการเลือกการตั้งสัญญาณเข้า DAQ

กฎของการเลือกการตั้งสัญญาณ ก็คือทำให้ได้ resolution ให้สูงที่สุด และมี range อยู่ในช่วงของสัญญาณ การเลือก resolution ให้สูงที่สุด เพื่อให้เราสามารถ ตรวจจับการเปลี่ยนแปลงได้ดีที่สุด เราสามารถคำนวณหาค่าการเปลี่ยนแปลงที่ตรวจจับได้ หรือรู้จักกันในอีกชื่อหนึ่งว่า Code Width โดยใช้ สมการ

$$\text{Code Width} = \frac{\text{Device Range}}{\text{Gain} \times 2^{\text{resolution}}}$$

โดยในสมการนี้ Gain จะเป็นการขยายหรือลดขนาดสัญญาณ โดยปกติจะกำหนดด้วย Software ที่ใช้เป็น Driver ของอุปกรณ์ DAQ หรือสำหรับอุปกรณ์บางประเภทเราอาจสามารถตั้ง Gain ได้จาก LabVIEW

ตัวอย่างเช่น Device Range เท่ากับ 10 V และใช้ อุปกรณ์ ADC แบบ 16-bit และตั้ง Gain ไว้เท่ากับ 1 เราจะได้ Code Width เป็น

$$\text{Code Width} = \frac{10}{1 \times 2^{16}} = 0.15 \text{ mV.}$$

มีบางครั้งที่เราต้องการทราบว่าสัญญาณของเราจะเป็น Unipolar หรือ Bipolar สำหรับ Unipolar หมายถึงสัญญาณที่มีช่วงในช่วง 0 volt ถึงค่าบวกค่าหนึ่ง เช่น 0 ถึง 5 Volt ในขณะที่ Bipolar หมายถึงที่มีช่วงอยู่ระหว่างลบถึงบวก เช่น -5 V ถึง 5 V ดังนั้นเพื่อให้ได้ Code Width ที่เล็กลง ควรจะเลือก Limit Setting ที่เหมาะสมมากขึ้นเพื่อให้ได้ Resolution ที่ดีขึ้น

2.1.11 Sampling Theorem

ส่วนสำคัญอีกส่วนหนึ่งของ Signal Theory ก็คือ Sampling Theorem ซึ่งมีความสำคัญมาก หากเราต้องการจะเปลี่ยนสัญญาณ analog เป็นสัญญาณ digital แล้วให้คงรูปแบบของสัญญาณเดิมไว้ให้มากที่สุด

ในความเป็นจริง สัญญาณทุกชนิดจะเป็นลักษณะ Continuous คือต่อเนื่อง ในการที่จะแทนสัญญาณเหล่านี้ให้คอมพิวเตอร์เข้าใจ อุปกรณ์ DAQ จำเป็นต้องตรวจสัญญาณเหล่านี้บ่อยที่สุดและให้ค่าที่เป็นเลขเต็มหน่วย (Discrete Number) ที่คอมพิวเตอร์สามารถรับได้ การแบ่งจำนวนและความละเอียดเราได้กล่าวมาแล้วในส่วนที่ผ่านมา เช่นถ้าเรามี Code Width เท่ากับ 0.25 mV เราจะไม่สามารถอ่านค่าสัญญาณ 0.21 mV ได้ แต่ต้องอ่านเป็น 0.25 mV หรือ 0 mV ตามที่ได้แสดงมาแล้วในส่วนที่ผ่านมา

อีกส่วนหนึ่งคือความถี่ในการเก็บข้อมูล เพราะการเก็บข้อมูลเข้าสู่คอมพิวเตอร์จะทำในลักษณะเปลี่ยนเส้นต่อเนื่องของ Analog Signal ให้เป็นกราฟแท่งวางต่อกัน มีระยะห่างเท่ากับคาบ (ส่วนกลับของความถี่) ของการเก็บข้อมูล และความสูงของกราฟแท่งจะห่างกันเป็นหน่วยๆ ตามค่าของ Code Width ตามที่ได้เห็นมาแล้วก่อนหน้านี้

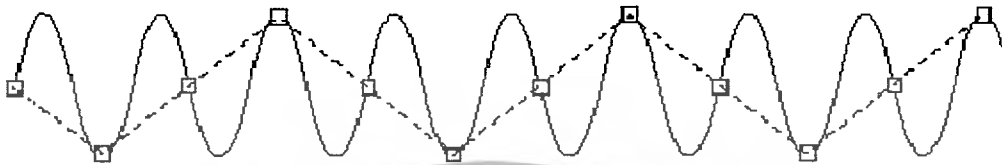
เมื่อคอมพิวเตอร์บันทึกข้อมูลที่ได้อ่านแล้วนำไปวิเคราะห์ คอมพิวเตอร์ก็จะทำการวิเคราะห์คล้ายกับการต่อจุดปลายของสัญญาณ และเราก็เพียงหวังว่าเราจะได้สัญญาณที่มีลักษณะคล้ายกับสัญญาณจริงมากที่สุด นั่นคือเหตุผลที่เราเรียกว่าเป็นวิธีการแทนสัญญาณ

ในการกำหนด Sampling Rate ก็คือ การกำหนดว่า การทำ ADC นั้นกระทำบ่อยเพียงใด แท่งกราฟแต่ละแท่งในรูปที่ผ่านมาจะแทน ADC แต่ละครั้ง ถ้า ADC เกิดขึ้น ทุกๆ ครึ่งวินาที เราจะเรียกว่า Sampling Rate มีค่าเท่ากับ 2 ครั้งต่อวินาที หรือ 2 Hz หรืออาจกล่าวว่าการเก็บตัวอย่างเท่ากับ 0.5 วินาที สิ่งที่เราพบก็คือ Sampling Rate นี้มีความสำคัญเป็นอย่างมาก เพราะเป็นสิ่งสำคัญที่จะกำหนดว่าสัญญาณ Digital ที่เราเปลี่ยนแปลงมาจากสัญญาณ Analog นั้นจะมีความคล้ายสัญญาณที่เรากำลังวัดอยู่ มากน้อยเพียงใด

หาก Sampling Rate ที่เรากำหนดไม่สูงพอก็อาจจะเกิดการแปรความหมายหรือการวิเคราะห์สัญญาณที่ผิดพลาดขึ้นได้ ซึ่งเรานิยมเรียกว่า aliasing รูปต่อไปนี้เป็น การแสดงการวัดสัญญาณ Sine Wave ที่มีความถี่หนึ่งด้วย sampling rate ที่ต่างๆ กัน จากรูปเราจะเห็นการเกิด aliasing ขึ้นถ้าค่า Sampling Rate มีค่าต่ำ



Adequately Sampled



Aliased Due to Undersampling

รูปที่ 2-14 แสดงการวัดสัญญาณ Sine Wave ที่มีความถี่หนึ่งด้วย sampling rate ที่ต่าง ๆ กัน

จากรูปด้านบนนี้โดยเริ่มจากการเก็บสัญญาณที่ความถี่ต่ำๆ ก่อนจากนั้นเพิ่มความถี่ขึ้นไปเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงความถี่ที่เราเก็บข้อมูลมีค่าเท่ากับ 2 เท่าของความถี่ของสัญญาณ เราอาจจะได้รูปของสัญญาณครบถ้วน หรืออาจผิดพลาดไปกลายเป็นสัญญาณ DC ก็ได้ แต่เมื่อความถี่ในการเก็บข้อมูล เริ่มสูงขึ้นเราก็จะได้ข้อมูลที่ครบถ้วนมากขึ้น ข้อพึงระวังก็คือถ้าหากเกิด aliasing ขึ้นในระบบการวัดแล้วเราไม่มีทางที่จะนำสัญญาณที่เป็น aliases นั้นออกไปได้นั้นคือเหตุผลสำคัญที่ทำให้เราต้องเก็บตัวอย่างให้รวดเร็วพอ

ตัวอย่างของ aliasing ที่เราพบได้บ่อย แม้จะไม่ตรงกับหลักการ DAQ มากนัก ก็คือเราคงเคยสังเกตเห็นรถใน ภาพยนตร์ที่บางครั้งดูเหมือนว่า หมุนกลับทิศทางกับที่มันควรจะเป็น สาเหตุเพราะการบันทึกภาพลงฟิล์มแต่ละเฟรม โดยปกติจะแต่ละเฟรมจะบันทึกภาพห่างกัน $\frac{1}{30} - \frac{1}{25}$ วินาที ซึ่งก็เป็นคาบของการเก็บข้อมูล ซึ่งความถี่นี้อาจไม่เหมาะสมกับความเร็วยรอบของล้อรถในขณะนั้น ภาพที่ปรากฏออกมาจึงทำให้เราตีความผิดไป

ถ้าเช่นนั้นเราจะทราบได้อย่างไรว่า เราควรจะเก็บตัวอย่างด้วยความถี่เท่าใด **Nyquist** เป็นผู้ที่นำเสนอทฤษฎีด้านการเก็บตัวอย่างนี้ ซึ่งต่อมาเรานิยมเรียก Nyquist's theorem ซึ่งกล่าวว่า “เพื่อป้องกันไม่ให้เกิด aliasing แล้วการเก็บสัญญาณ sampling rate จะต้องมากกว่า 2 เท่าของความถี่สูงสุดที่บรรจุอยู่ในสัญญาณที่จะทำการเก็บ”

และเราเรียกความถี่ ซึ่งเท่ากับ 2 เท่ากับ ความถี่สูงสุด ($2 f_{max}$) ว่า **Nyquist's Frequency** ตัวอย่าง เช่น เรามีสัญญาณที่มีองค์ประกอบที่มีความถี่สูงสุดในสัญญาณนั้นเท่ากับ 1000 Hz เราจำเป็นต้องเลือก **sampling rate** ให้มากกว่า 2000 Hz เพื่อป้องกัน aliases

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราจะเห็นว่า Nyquist Sampling Theorem นี้จะนำมาใช้อย่างได้ผล เราต้องทราบความถี่ที่สูงที่สุด ที่ประกอบอยู่ในสัญญาณนั้น แต่ถ้าเรายังไม่ได้ทำการวัดเราจะทราบได้อย่างไรว่าสัญญาณที่เราจะวัดนั้นมีความถี่สูงสุดเท่าใด คำตอบของคำถามนี้ก็คือเราจะต้องสามารถประมาณการได้ว่าสัญญาณที่เราต้องการวัดนั้นมีความถี่สูงสุดที่เป็นองค์ประกอบในสัญญาณนั้นเท่ากับเท่าใด จากนั้นเราอาจใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า Lowpass Filter เป็นตัวกรองสัญญาณ ให้เฉพาะสัญญาณที่มีความถี่ต่ำผ่านไปก่อนส่วนสัญญาณที่มีความถี่สูงจะถูกแยกออก ทำให้เราใช้ Sampling Rate ที่ต่ำลงได้

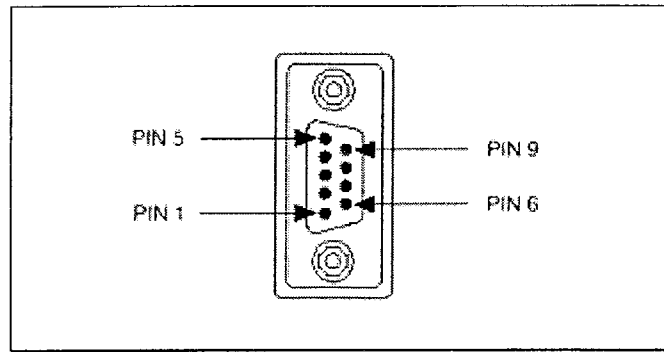
การใช้ Sampling Rate ที่สูงจะสามารถป้องกัน aliasing ของสัญญาณได้ดี แต่การที่เราเก็บข้อมูลบ่อยครั้งมากๆ จะทำให้สิ้นเปลืองเนื่องที่การเก็บในหน่วยความจำ ความยุ่งยากในการประเมินผล และอื่นๆ ตามมา ดังนั้น สิ่งที่เหมาะสมที่สุดที่วิศวกรควรทำคือประมาณ f_{max} ในสัญญาณให้ได้ก่อน แล้วจึงเลือก Sampling Rate

Sampling Rate นี้จะไม่ค่อยมีความหมายกับสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างช้าๆ เช่น DC Signal เพราะค่าสัญญาณไม่ได้เปลี่ยนไปตามเวลามากนัก การเก็บสัญญาณด้วยอัตราต่ำๆ ก็สามารถทำได้และให้ผลเป็นที่น่าพอใจ

2.1.12 Serial Communication

Serial Communication มีข้อได้เปรียบในการใช้ติดตั้งระหว่างเครื่องมีวัดและคอมพิวเตอร์คือ มีราคาถูก และเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนใหญ่จะมี port นี้เป็นมาตรฐานอยู่แล้ว อย่างไรก็ตามเราต้องเข้าใจว่า การติดต่อผ่าน Serial Port นี้จะช้า และหลายครั้งเราอาจพบว่าบริษัทหลายบริษัทสร้างอุปกรณ์ที่ติดต่อผ่าน Serial Port แต่ไม่ได้มีมาตรฐานตาม RS 232 หรือ RS485 อย่างไรก็ตาม เราคาดหวังว่าอุปกรณ์ที่คุณมีอยู่เช่น Data Logger, Strain Meter สามารถส่งข้อมูลผ่าน Serial Port ได้อย่างถูกต้อง

กล่าวโดยรวมก็คือเรามีจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเข้าใจถึง อุปกรณ์ที่มี Serial Port ว่ามีการส่งข้อมูลอย่างไรและมี Parameter ได้บ้างที่จำเป็นต้องใช้ในการส่งผ่านข้อมูล เช่น Baud Speed, Parity, Stop Bits เป็นต้น และเราจำเป็นต้องทราบว่าเส้นแต่ละเส้นของ Serial Port นั้นมีอะไรบ้าง พิจารณาจาก PC-Serial Port ในรูปต่อไปนี้เป็นรูปแสดงสายต่อแบบ 9 Pin



รูปที่ 2-15 แสดงสายต่อแบบ 9 Pin

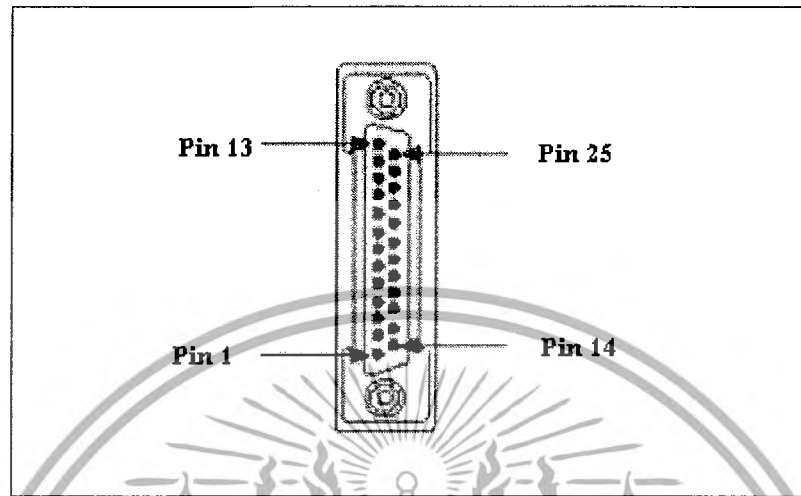
และแต่ละ Pin จะมีชื่อเรียกดังนี้

10-Position Modular Jack Pin	232 Signal
10	DCD*
9	RXD
8	TXD
7	DTR*
6	GND
5	DSR*
4	RTS
3	CTS
2	RI*
1	No Connect

ตารางที่ 2-2 ชื่อเรียกของ 9 Pin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสำหรับสายต่อแบบ 25 pin จะมีการต่อสัญญาณดังนี้



รูปที่ 2-16 แสดงสายต่อแบบ 25 Pin

ส่วนชื่อของแต่ละ pin จะเป็นดังนี้

DB-25 Pin	232 Signal
2	TXID
3	RXD
4	RTS
5	CTS
6	DSR*
7	GND
8	DCD*
20	DTR*
22	RI*

ตารางที่ 2-3 ชื่อเรียกของ 25 Pin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับสายต่อที่มีอักษรย่อต่างๆ กำกับอยู่บนนั้น ด้วยย่อต่างๆ ที่ปรากฏในตารางก่อนหน้าี้จะมีชื่อเต็มดังนี้

ชื่อย่อ	ชื่อเต็ม
CTS	Clear to Send
DCD	Data Carrier Detect
DSR	Data Set Ready
DTR	Data Terminal Ready—The Overscore Denotes That The Signal Is Active Low
GND	Ground
RI	Ring Indicator
RTS	Request to Send
RXD	Receive Data
TXD	Transmit Data

ตารางที่ 2-4 แสดงรายชื่อเต็มของ PIN ต่าง ๆ

สำหรับการต่อสายสัญญาณจากคอมพิวเตอร์เข้าสู่เครื่องมือวัด โดยทั่วไปแล้วเราอาจไม่มีความจำเป็นที่ต้องใช้จุดต่อทั้ง 9 จุด เพื่อเชื่อมต่อเครื่องคอมพิวเตอร์กับเครื่องมือวัดพร้อมกันทั้งหมด และในหลายกรณีเราอาจจะใช้เพียงจุดเพื่อส่งสัญญาณแบบพื้นฐานเท่านั้น ทำให้การต่อสัญญาณที่เกิดขึ้นในความเป็นจริงไม่จำเป็นต้องใช้จุดต่อทั้งหมด ทำให้เหลือ Pin ที่ไม่ได้รับการต่อเชื่อมอีกจำนวนหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

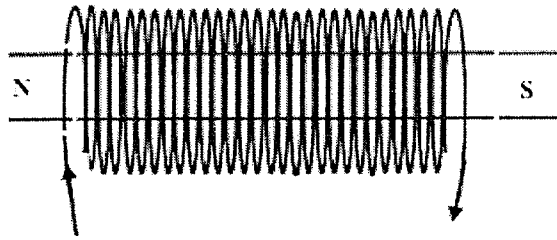
สำหรับการต่อสัญญาณแบบพื้นฐานนี้ควรจะประกอบด้วยจุดต่อ หรือ Pin ที่ใช้ดังที่แสดงในตารางต่อไปนี้

ชื่อ	หน้าที่
Transmit (TXD)	ส่งข้อมูลจาก PC ไปที่อุปกรณ์
Receive (RXD)	ส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ สู่ PC
Ground (GND)	Reference Ground (อย่างลิมต่อสายนี้)
Clear-to-Send (CTS)	PC ใช้สายนี้บอกเครื่องมือว่าพร้อมจะรับข้อมูล
Ready-to-send (RES)	PC ใช้สายนี้บอกเครื่องมือว่าพร้อมจะส่งข้อมูล

ตารางที่ 2-5 การต่อสัญญาณแบบพื้นฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ฟิสิกส์ไฟฟ้า



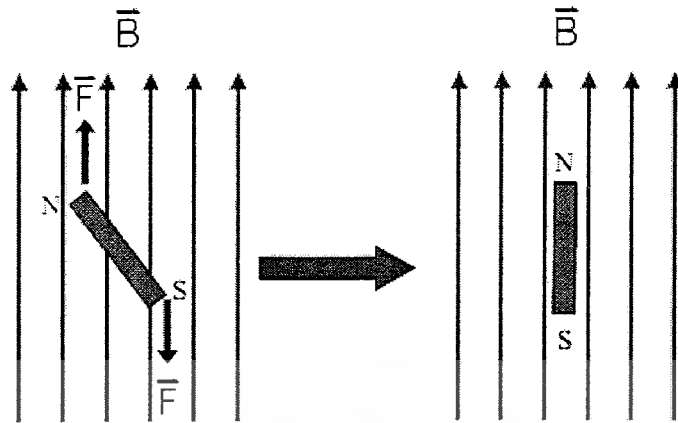
รูปที่ 2-17 การทดลองของเออร์สเตด

2.2.1 สนามแม่เหล็กไฟฟ้า มนุษย์รู้จักอำนาจแม่เหล็กจากแม่เหล็กธรรมชาติซึ่ง เป็นสารประกอบประเภทแมกเนไทต์ Fe_3O_4 สามารถดูดเศษเหล็กได้นำไปใช้ประโยชน์ในการบอกทิศ เพราะเมื่อให้แท่งเหล็กหมุนได้อย่างอิสระมันจะวางตัวในแนวเหนือใต้ แท่งแม่เหล็กสามารถดูดเหล็ก ชิ้นเล็ก ๆ ขั้วแม่เหล็กชนิดเดียวกันจะผลักกัน ขั้วแม่เหล็กต่างชนิดจะดูดกันสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ค.ศ.1819 ฮันส์ คริสเตียนเออร์สเตด (Hans Christian Oersted) พบว่าเมื่อนำเข็ม ทิศมาวาง ขนานกับเส้นลวดตัวนำที่มีกระแสไหลผ่านจะทำให้เข็มของเข็มทิศเบนไปจากเดิม แสดงว่า เมื่อนำกระแสไฟฟ้า ผ่านเส้นลวดทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก ต่อมาเออร์สเตดได้ทำการทดลองเพื่อหา ลักษณะของสนาม แม่เหล็กโดย นำเส้นลวดที่ยาวมากมาขดเป็นขดลวดโซเลนอยด์แล้วผ่านกระแสไฟฟ้า เข้าไป ปรากฏว่าเกิดสนามแม่เหล็ก ขึ้นภายในแกนของขดลวดโซเลนอยด์ ดังรูป 2-17

สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นมีลักษณะคล้ายแม่เหล็กถาวร คือมีขั้วเหนือและขั้วใต้ ถ้านำแท่ง แม่เหล็ก ถาวรเข้ามาใกล้ ๆ ก็จะเกิดแรงกระทำต่อแท่งแม่เหล็กนั้น เป็นที่เชื่อกันในปัจจุบันว่า ปรากฏ การณ์ต่างๆ ของ สนามแม่เหล็กนั้นเกิดจากการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าทั้งสิ้น

แท่งแม่เหล็กหรือตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านจะมีอำนาจแม่เหล็กรอบๆ เรียกบริเวณ ที่แท่งแม่เหล็กหรือตัวนำสามารถแสดงอำนาจแม่เหล็กว่า **สนามแม่เหล็ก** (Magnetic Induction, B ฟิสิกส์ราชวมงคล) ซึ่งเป็นปริมาณที่บ่งบอกแรงกระทำบนประจุที่กำลังเคลื่อนที่สนามแม่เหล็กเป็นปริมาณ เวกเตอร์และ มีทิศพุ่งจากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้

สนามแม่เหล็กสามารถใช้เส้นแรงแม่เหล็ก (Line of Induction) บอกทิศและขนาดของ สนามแม่เหล็กได้สนามแม่เหล็กมีหน่วยเป็นเวเบอร์ต่อตารางเมตร หรือเทสลา (Tesla) สนามแม่เหล็ก 1 เทสลา หมายถึง ความเข้มของสนามที่ทำให้เกิดแรง 1 N บนประจุ 1 C ที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 1 m/s เอกลักษณ์นี้เป็นเอกลักษณ์ของแม่เหล็กที่พบกับการเชิงคณิตศาสตร์เท่านั้น เมื่อนำเอาแม่เหล็กไปใช้ประโยชน์ด้าน การค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-18 การนำแท่งแม่เหล็กมาวางในสนามแม่เหล็ก

ในทิศทางตั้งฉากกับ สนามแม่เหล็ก สนามแม่เหล็กที่มีค่าสูงสุดที่สร้างได้ในห้องปฏิบัติการประมาณ 10 w/m^2 สนามแม่เหล็กโลกมี ค่าประมาณ $10^5 \text{ } 10^{-5} \text{ w/m}^2$ เท่านั้น

ถ้าเรานำแท่งแม่เหล็กถาวรไปวางไว้ในสนามแม่เหล็ก จะทำให้แม่เหล็กหมุนอยู่ในสนามแม่เหล็ก ดัง รูป 2-18 ซึ่งแสดงว่ามีทอร์กกระทำกับแท่งแม่เหล็ก เป็นการบอกว่ามีสนามแม่เหล็กโดยสนามแม่เหล็กมีทิศอยู่ในแนวเหนือใต้

เมื่อวางประจุไฟฟ้า ที่ตำแหน่งใด ๆ ในปริภูมิ ถ้ามีแรง qF กระทำกับประจุนั้น กล่าวได้ว่า บริเวณนั้นมีสนามไฟฟ้า E แรงที่สนาม E กระทำกับประจุ คือ q

$$\vec{F} = q\vec{E} \quad (2.1)$$

ถ้าประจุ q เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v ในบริเวณใด ๆ แล้วมีแรงภายนอกกระทำกับประจูกกล่าวได้ว่าบริเวณนั้นมีสนามแม่เหล็ก B พบว่าแรงที่สนามแม่เหล็กกระทำกับประจุนั้นที่ทิศตั้งฉากกับความเร็ว และ ตั้งฉากกับทิศของสนามแม่เหล็กดังรูป 2-3 โดยแรงมีขนาดแปรตามขนาดของความเร็วมagnitude และขนาดของ สนามแม่เหล็ก แรงแม่เหล็กที่กระทำบนประจุเขียนได้เป็น

$$\vec{F} = q\vec{V} \times \vec{B} \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยขนาดของแรงแม่เหล็กคือ

$$|F| = qvB \sin \theta$$

F มีหน่วยเป็น นิวตัน(N)

V มีหน่วยเป็น เมตร/วินาที (m/s)

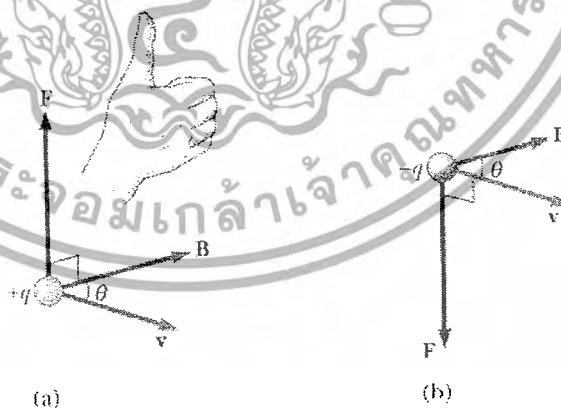
Q มีหน่วยเป็น คูลอมป์ (C)

B มีหน่วยเป็น นิวตัน/(คูลอมป์-เมตร/วินาที) (N.s/C.m) หรือ กิโลกรัม/วินาที-คูลอมป์ (kg/s.C) หรือ เทสลา (T)

θ คือมุมระหว่าง v และ B

ถ้า θ เท่ากับ 0 องศา หรือ 180 องศา เป็นกรณีความเร็วมีทิศทางขนาน (หรือขนานตรงกันข้าม) กับทิศทางของ B ปรากฏว่าไม่เกิดแรงแม่เหล็ก ถ้า θ เท่ากับ 90 องศา เป็นกรณีที่ v ตั้งฉากกับ B จะได้ขนาดของแรงแม่เหล็กเท่ากับ qvB ถ้า θ เป็นมุมอื่นๆ ขนาดของแรงแม่เหล็กเท่ากับ $\sin qvB\theta$

พึงสังเกตว่า $\sin B\theta$ คือการฉายของ B ในทิศทางที่ตั้งฉากกับ v หรือ $v \sin \theta$ ก็คือ การฉายของ v บนแนวทิศทางที่ตั้งฉากกับ B



รูปที่ 2-19 ทิศของแรงที่กระทำกับประจุในสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ สามารถให้คำนิยามสนามแม่เหล็ก B ได้ โดยกำหนดให้ประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ดังได้ ฉากกับสนามแม่เหล็ก B จะได้

$$\vec{B} = \frac{\vec{F}}{qv} \quad (2.3)$$

ถ้าประจุเคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่มีทั้งสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก แรงทั้งหมดจะเป็นผลรวมของแรงที่กระทำโดยสนามไฟฟ้าและแรงที่กระทำโดยสนามแม่เหล็ก

$$\vec{F} = q\vec{E} + (qv \times \vec{B}) \quad (2.4)$$

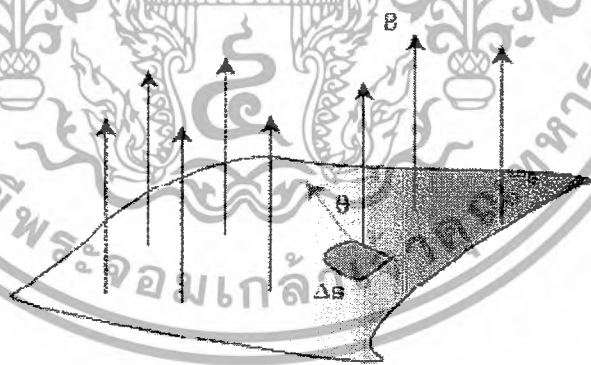
เรียกแรงนี้ว่า แรงลอเรนตซ์ (Lorentz force)

ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กและความเข้มสนามแม่เหล็ก

เพื่อให้สามารถมองสภาพแม่เหล็กให้เป็นรูปธรรม จึงใช้เส้นแรงแม่เหล็กบอกขนาดและทิศของสนามแม่เหล็ก เส้นแรงแม่เหล็กและสนามแม่เหล็กมีความสัมพันธ์กันดังนี้

1. เส้นสัมผัสกับเส้นแรงแม่เหล็กที่จุดใด จะเป็นทิศของสนามแม่เหล็กที่จุดนั้น
2. ขนาดของสนามแม่เหล็กเป็นสัดส่วนตรงกับจำนวนเส้นแรงแสดงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่ตั้งฉากกับเส้นแรงแนั้น

ฟลักซ์แม่เหล็ก คือจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งออกตั้งฉากกับพื้นผิว A ใดๆ



รูปที่ 2-20 เส้นแรงแม่เหล็กพุ่งผ่านพื้นที่ที่กำหนดให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าเปรียบเทียบระหว่างสนามแม่เหล็กสถิตกับสนามไฟฟ้าสถิต จะเห็นว่าสนามไฟฟ้าสถิตเกิดจาก ประจุไฟฟ้าอยู่นิ่ง สนามแม่เหล็กสถิตเกิดจากประจุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ในฟ้าสถิตได้กำหนด ความหนาแน่นฟลักซ์ไฟฟ้า D มีความสัมพันธ์กับความเข้มสนามไฟฟ้า E ตามสมการ

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} \quad (2.5)$$

ในตัวกลางสุญญากาศ $\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E}$

สำหรับสนามแม่เหล็กกำหนดความหนาแน่นฟลักซ์เป็น B และความเข้มสนามแม่เหล็กเป็น H ซึ่งมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (2.6)$$

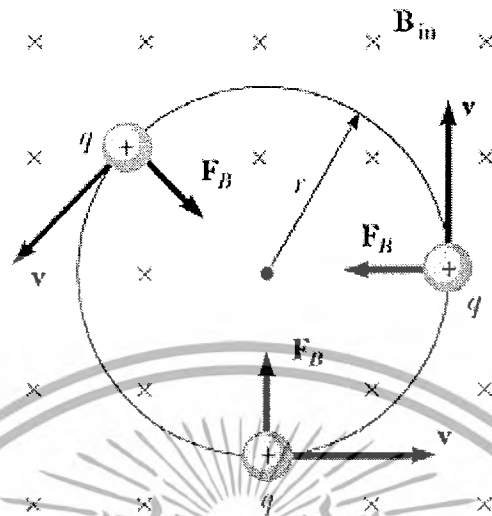
ในตัวกลางสุญญากาศ $\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$

μ เป็นค่าคงตัวสำหรับตัวกลาง เรียกว่า สภาพซาบซึมได้ทางแม่เหล็ก (magnetic permeability) ของตัวกลาง
 μ_0 เรียกว่าสภาพซาบซึมได้ทางแม่เหล็ก (magnetic permeability) ของสุญญากาศ

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m} \quad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าในสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ



รูปที่ 2-21 ประจุบวกเคลื่อนที่เป็นวงกลมในสนามแม่

เมื่อประจุเคลื่อนที่เข้าไปในสนามแม่เหล็กด้วยความเร็วตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กพบว่า ประจุจะเคลื่อนที่เป็นวงกลมในระนาบที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก ดังรูป 2-5 ประจุเคลื่อนที่เป็นวงกลมแรงแม่เหล็กที่กระทำบนประจุจะต้องเท่ากับแรงเข้าสู่ศูนย์กลาง

$$qvB = \frac{mv^2}{R} \quad (2.8)$$

หรือ

$$R = \frac{mv}{qB} \quad (2.9)$$

รัศมีเป็นสัดส่วนโดยตรงกับโมเมนตัม และเป็นสัดส่วนผกผันกับสนามแม่เหล็ก

ความถี่เชิงมุม

$$\omega = \frac{v}{R} = \frac{qB}{m} \quad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาบของการหมุน

$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{qB} \quad (2.11)$$

จากสมการ จะเห็นว่าความถี่เชิงมุมและคาบไม่ขึ้นอยู่กับอัตราเร็วและรัศมีวงโคจร ความถี่ $\omega/2\pi$ เรียกว่าความถี่ไซโคลตรอน (cyclotron frequency) เมื่อประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ทำมุม θ ใดๆ ที่ไม่เท่ากับ 90 องศา กับสนามแม่เหล็ก เส้นทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคจะเป็นเกลียวดังรูป 2-6



รูปที่ 2-22 ประจุเคลื่อนที่เป็นเกลียวในสนามแม่เหล็กเมื่อความเร็วของประจุทำมุมใด ๆ กับสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเคลื่อนที่เป็นเกลียวในสนามแม่เหล็กจะเกิดขึ้นในกรณีที่ทิศของความเร็วทำมุมใดๆ กับทิศ ของสนามแม่เหล็ก ความเร็วจะถูกแตกออกเป็นสองส่วนคือความเร็วย่อยในแนวตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กซึ่งจะทำให้ประจุเคลื่อนที่เป็นวงกลม และความเร็วย่อยในแนวขนานกับสนามแม่เหล็ก ซึ่งจะทำให้ประจุเคลื่อนที่ ไปในทิศทางขนานกับสนามแม่เหล็กประจุจึงเคลื่อนที่เป็นเกลียวรัศมีของเกลียว R หาได้

$$R = \frac{mv \sin \theta}{qB} \quad (2.12)$$

คาบของการเคลื่อนที่เป็นเกลียวครบ 1 รอบ หาได้จาก

$$\begin{aligned} T &= \frac{2\pi R}{v} \\ &= \frac{2\pi R}{v \sin \theta} \left(\frac{mv \sin \theta}{qB} \right) \\ &= \frac{2\pi m}{qB} \end{aligned} \quad (2.13)$$

แสดงว่าคาบของการเคลื่อนที่ของอนุภาคดังกล่าวเป็นสัดส่วนผกผันกับสนามแม่เหล็ก p เป็นระยะห่างระหว่างเกลียวหาได้จาก

$$p = (v \cos \theta) T \quad (2.14)$$

$$p = \frac{(v \cos \theta)(2\pi m)}{qB} \quad (2.15)$$

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลในตัวนำ แสดงว่าประจุไฟฟ้ามีการเคลื่อนที่ ดังนั้นสนามแม่เหล็ก จะทำให้เกิด แรงกระต้อประจุเหล่านี้พิจารณาเส้นลวดยาว L มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน และวางอยู่ในสนามแม่เหล็ก สม่าเสมอ \vec{B} ทำให้เกิดแรงแม่เหล็กกระทำต่ออิเล็กตรอนซึ่งเคลื่อนที่อยู่ในลวดตัวนำนั้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้น

$$\begin{aligned} \vec{F} &= q \vec{v} \times \vec{B} \\ &= q \left(\frac{\vec{l}}{t} \times \vec{B} \right) \\ &= IlB \sin \theta \end{aligned} \quad (2.16)$$

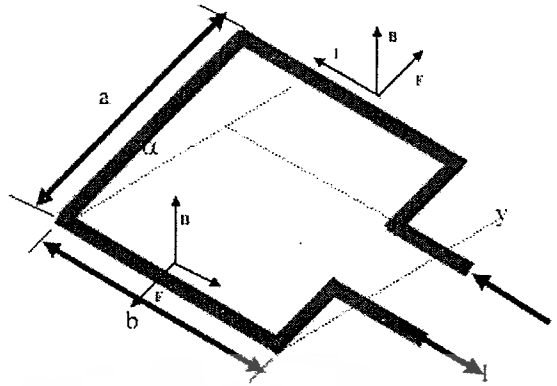
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ θ คือมุมระหว่าง \vec{I} (ทิศตามกระแส I) ทำกับสนามแม่เหล็ก \vec{B}

ทิศของแรงแม่เหล็กที่กระทำบนเส้นลวดตัวนำหาได้โดยใช้กฎมือขวา โดยให้นิ้วทั้งสี่มีทิศตามกระแสไฟฟ้า จากนั้นนิ้วทั้งสี่ชี้เข้าหาสนามแม่เหล็ก โดยที่มุม θ มีค่า $0^\circ < \theta < 180^\circ$ นิ้วหัวแม่มือจะ แสดงทิศแรงแม่เหล็กที่กระทำบนเส้นลวดตัวนำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-24 กระแสที่ไหลผ่านโครงลวดตัวนำ

ทอร์ก หรือโมเมนต์ เป็นผลหมุนหรือการหมุน แต่จะมีผลหมุนได้จะต้องมีแรงกระทำในลักษณะที่ทำให้เกิดการหมุน เราจึงควรพิจารณา ทอร์กของแรง โดยแรงที่กล่าวถึงคือแรงแม่เหล็ก

เมื่อขดลวดที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านวางอยู่ในสนามแม่เหล็ก ทอร์กที่กระทำต่อขดลวดสามารถทำให้ ขดลวดหมุนรอบแกนอันหนึ่ง หลักการอันนี้เป็นพื้นฐานการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าและกัลวานอมิเตอร์

โครงลวดตัวนำซึ่งกว้าง a ยาว b มีกระแสไหลผ่านและอยู่ในสนามแม่เหล็ก สมมติว่าขนาดของแรงแม่เหล็กคือ

$$F = IbB \quad (2.17)$$

ขนาดทอร์กแม่เหล็ก

$$\begin{aligned} \tau &= F a \sin \alpha \\ &= IB(ab) \sin \alpha \\ &= IAB \sin \alpha \end{aligned} \quad (2.18)$$

เวกเตอร์ของทอร์กแม่เหล็ก

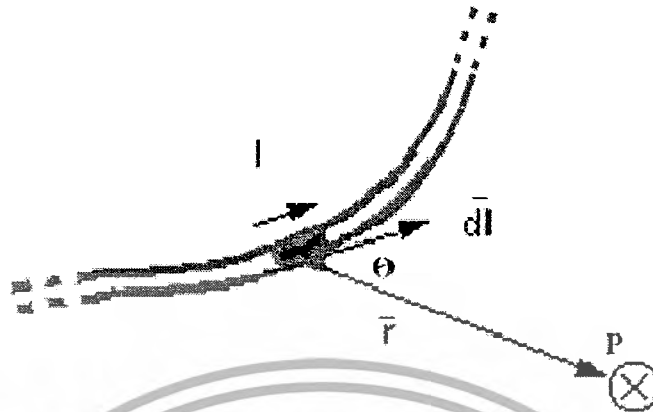
$$\vec{\tau} = I(\vec{A} \times \vec{B}) \quad (2.19)$$

ถ้าใช้ขดลวด N รอบ

$$\vec{\tau} = IN(\vec{A} \times \vec{B}) \quad (2.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 กฎของบีโอดี ซาวาร์ต



รูปที่ 2-25 สนามแม่เหล็กที่เกิดจากตัวนำยาว dl กระแสไหล I

หลังจากที่เออร์สเตดได้ทดลองนำเข็มทิศไปวางไว้ใกล้ ๆ ตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านพบว่า สนามแม่เหล็กจากลวดตัวนำทำให้เข็มทิศเบี่ยงเบนไปในแนวเหนือใต้ นักวิทยาศาสตร์อีกหลายคนได้ทดลองแบบเดียวกัน แต่ใช้ตัวนำที่มีลักษณะแตกต่างกันออกไป ผู้ที่สรุปผลการทดลองนำมาเขียนเป็นสมการที่สามารถใช้ในการคำนวณขนาดและทิศทางของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากวงจรรูปใด ๆ คือ บีโอดี และซาวาร์ต

พิจารณาสนามแม่เหล็กที่เกิดจากตัวนำยาว I กระแสไหล I แบ่งเส้นลวดออกเป็นส่วนเล็ก ๆ ขนาด dl ซึ่ง dl เป็นปริมาณเวกเตอร์มีทิศเดียวกับทิศการไหลของกระแสไฟฟ้า สนามแม่เหล็กที่ได้จากกระแสไหลผ่านตัวนำ dl ที่จุด P มีค่าน้อย ๆ เท่ากับ dB ซึ่งมีทิศตั้งได้ฉากกับ dl เสมอ ขนาดของ dB จะเป็น สัดส่วนตรงกับขนาดของกระแส และแปรผกผันกับระยะห่างระหว่างจุด p กับ dl ในที่นี้เป็น r แปรผกผันตรงกับ $\sin \theta$ เมื่อ θ คือมุมระหว่าง dl กับ ทิศของ r เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I dl \sin \theta}{4\pi r^2}$$

$$= \frac{\mu_0 I d\vec{l}}{4\pi r^2} \times \hat{r}$$
(2.21)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ μ_0 คือค่าสภาพซาบซึมได้ทางแม่เหล็กของสุญญากาศ (permeability constant for vacuum)

$$\mu_0/4\pi = 10^{-7} T.m/A \quad (2.22)$$

กฎของบิโอต์-ซาวาร์ตมีส่วนคล้ายกับสูตรการหาสนามไฟฟ้าคือขนาดของสนามแม่เหล็กจะแปรผกผันกับ $1/r^2$ เช่นกันกระแสไฟฟ้า $I d\vec{l}$ จะเป็นตัวให้กำเนิดสนามแม่เหล็ก ขณะที่ q เป็นแหล่งกำเนิดสนามไฟฟ้าสิ่งที่ต่างกันคือ $d\vec{E}$ จะมีทิศในแนว \vec{r} ขณะที่ $d\vec{B}$ จะมีทิศตั้งฉากกับระนาบที่เกิดจาก $I d\vec{l}$ และ \vec{r} ประจุมสามารถมีประจุอิสระเป็นบวกหรือลบได้ แต่กระแสจะมีการไหลจากปลายหนึ่งไปยังอีกปลายหนึ่ง การหา \vec{B} ต้องอินทิเกรตไปตามเส้นทางที่กระแสไหลผ่าน ดังนั้น กฎของบิโอต์-ซาวาร์ตของ สนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำทั้งเส้น คือ

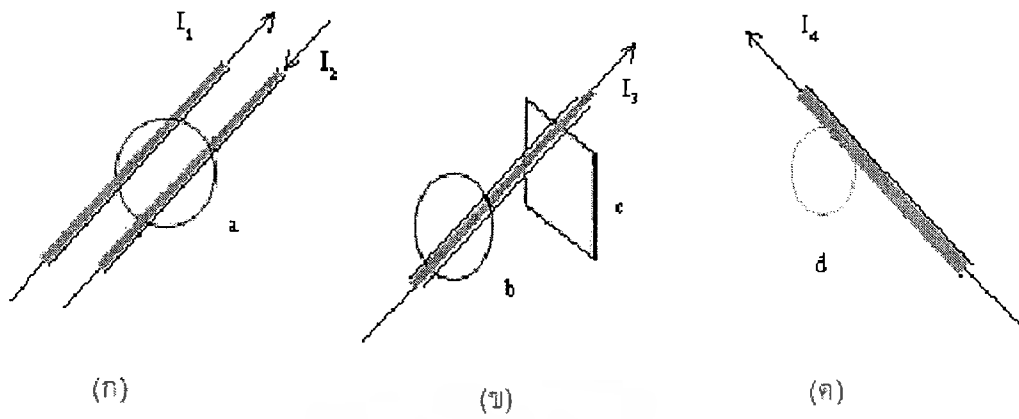
$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_L \frac{I d\vec{l}}{r^2} \times \hat{r} \quad (2.23)$$

2.2.3 กฎของแอมแปร์

กฎแอมแปร์เป็นกฎที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำมีประโยชน์มากสำหรับคำนวณหาสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสสม่ำเสมอโดยการกระจายของกระแสมีลักษณะสมมาตร กฎนี้กล่าวว่า “อินทิกรัลเชิงเส้นของ \vec{B} รอบเส้นปิดใด ๆ จะมีค่าเท่ากับกระแสไฟฟ้า ตรงค่าสุทธิที่ถูกปิดล้อมโดยเส้นปิดนั้น”

$$\oint \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 I \quad (2.24)$$

ตัวอย่างเส้นปิดที่ปิดล้อมตัวนำได้แสดงไว้ในรูป 5-18 อินทิกรัลเชิงเส้นของ \vec{B} รอบเส้นปิด a มีค่าเท่ากับ $I_1 - I_2$ อินทิกรัลเชิงเส้นของ \vec{B} รอบเส้นปิด b และ c มีค่าเท่ากับ I_3 และอินทิกรัลเชิงเส้นของ \vec{B} รอบเส้นปิด d มีค่าน้อยกว่า I_4 เพราะเส้นปิดไม่ได้ปิดล้อมตัวนำทั้งหมด



รูปที่ 2-26 แสดงเส้นปิดที่ล้อมรอบตัวนำในลักษณะต่างๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 2 ส่วนด้วยกันคือ

- 1 สเตเตอร์หรือส่วนที่อยู่กับที่ (Stator)
- 2 โรเตอร์หรือส่วนที่หมุน (Rotor)

2.3.1 สเตเตอร์หรือส่วนที่อยู่กับที่

สเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสใช้หลักการเดียวกันกับของซิงโครนัสมอเตอร์ หรือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ โดยทำมาจากแผ่นเหล็กบางๆอัดซ้อนเข้าด้วยกัน และทำเป็นช่องสลอตไว้บรรจุขดลวด และจำนวนขั้วแม่เหล็กจะเป็นตัวกำหนดความเร็วรอบของมอเตอร์เมื่อเราจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับให้กับขดลวดที่สเตเตอร์ จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่คงที่ค่าหนึ่ง และสนามแม่เหล็กนี้จะหมุน (Revolves or Rotate) ด้วยความเร็วที่เรียกว่าความเร็วซิงโครนัส และหาได้โดย

$$N_s = \frac{120f}{P} \quad (2.25)$$

N_s = ความเร็วซิงโครนัส

f = ความถี่หลักมูลของไฟฟ้ากระแสสลับ

P = จำนวนขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์

สนามแม่เหล็กที่หมุนจะเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าขึ้นในโรเตอร์ ซึ่งเป็นไปตามกฎของการเหนี่ยวนำ

2.3.2 โรเตอร์หรือส่วนที่หมุน โรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

ก. โรเตอร์แบบกรงกระรอก มอเตอร์ที่ใช้โรเตอร์ชนิดนี้เราเรียกว่า มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก โดยประมาณ 90% ของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะใช้โรเตอร์เป็นแบบกรงกระรอก ทั้งนี้เป็นเพราะว่าโรเตอร์ชนิดนี้เป็นชนิดที่ทำได้ง่ายและทนทานที่สุด โรเตอร์ชนิดนี้ประกอบด้วยแผ่นเหล็กบางๆอัดซ้อนกันเป็นรูปทรงกระบอก และถูกทำให้เป็นช่องสลอตให้ขนานกันเพื่อสำหรับฝังหรือ บรรจุตัวนำโรเตอร์ (Rotor Conductor) ลงในช่องสลอตนั้น ตัวนำที่ฝังนี้จะไม่มีลักษณะเป็นเส้น หรือเป็นสาย แต่จะเป็นแท่งทองแดงหรืออลูมิเนียม หรืออัลลอย (Copper Bar or Aluminum Bar or Alloy) โดยในหนึ่งสลอตจะบรรจุแท่งทองแดง หรือ อลูมิเนียมเพียง 1 แท่งเท่านั้น และที่ปลายสุดของแท่งตัวนำทั้งสองด้านนั้นในแต่ละด้านจะถูกต่อปลายลัดวงจรเข้าด้วยกันโดยการบัดกรี (Brazed) หรือเชื่อมด้วยไฟฟ้าโรเตอร์ของมอเตอร์แบบกรงกระรอกนี้แท่งตัวนำจะถูกลัดวงจรไว้อย่างถาวร ดังนั้นจึงไม่สามารถที่จะนำความยาวขดลวดเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวได้เหมือนมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดอื่น เมื่อผู้ใช้งานเห็นแปะขดลวดที่นำเข้ามาใหม่ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้านทานจากภายนอกมาต่ออนุกรมเข้ากับวงจรรอเตอร์เพื่อช่วยในการเริ่มหมุนได้ สลิตของโรเตอร์จะไม่อยู่ในลักษณะที่ขนานกับเพลลา แต่จะวางให้มีลักษณะเฉียงเล็กน้อย เพื่อให้เกิดประโยชน์ได้ 2 ทาง

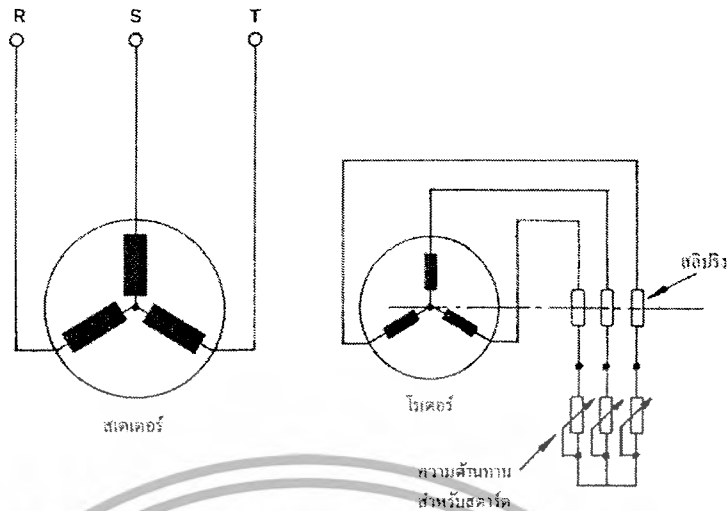
- 1) จะช่วยให้มอเตอร์หมุนได้อย่างเร็ว โดยการลดการเกิดเส้นแรงแม่เหล็กฮัม (Magnetic Hum)
- 2) จะช่วยในการลดการเกิดยัด หรือล๊อคของโรเตอร์อันเนื่องมาจากสนามแม่เหล็กที่ตกค้างอยู่ที่ฟัน (Teeth) ของสเตเตอร์กับโรเตอร์ทั้งสอง

ส่วนแบบอื่นๆของโรเตอร์ที่มีลักษณะคล้ายกันกับโรเตอร์แบบกรงกระรอกนั้น ประกอบด้วยโซลิดไซลินเดอร์ (Solid Cylinder) ของแท่งเหล็ก (Steel) ซึ่งปราศจากสลิตสำหรับบรรจุตัวนำทั้งหมดมอเตอร์จะหมุนได้ขึ้นอยู่กับผลของการเกิดกระแสไหลวนในเหล็กของโรเตอร์

ข. โรเตอร์แบบพันขดลวดหรือเฟสวาวด์โรเตอร์ (Wound Rotor or Phase Wound Rotor)

มอเตอร์ที่ใช้โรเตอร์ชนิดนี้เรียกว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำแบบโรเตอร์พันขดลวด หรือเฟสวาวด์มอเตอร์ หรือสลีปรिंगมอเตอร์ (Wound Rotor or Phase Wound Rotor or Slip-ring Motor) โรเตอร์ชนิดนี้จะพบมากในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส และมีการพันแบบขดลวดสองชั้นเหมือนกับขดลวดที่ใช้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ในโรเตอร์ชนิดนี้ภายในจะต่อแบบสตาร์ และมีปลายสายออกมา 3 ปลายต่อเข้ากับสลีปรिंगที่ติดกับเพลลาของโรเตอร์นั้น และโรเตอร์แบบโรเตอร์พันขดลวดสามารถที่จะนำความต้านทานที่ต่อแบบสตาร์ต่อเข้ากับสลีปรिंगของโรเตอร์ เพื่อช่วยในการเริ่มหมุนของมอเตอร์ เป็นการเพิ่มแรงบิดขณะเริ่มหมุนของมอเตอร์นั้น ความต้านทานที่นำมาต่อเข้าไปนี้มีลักษณะการต่อดังแสดงในรูปที่ 2-11 แต่เมื่อมอเตอร์เริ่มหมุนไปแล้ว และหมุนด้วยความเร็วปกติแล้วสลีปรึงจะถูกลัดวงจรกลายเป็นโรเตอร์แบบกรงกระรอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

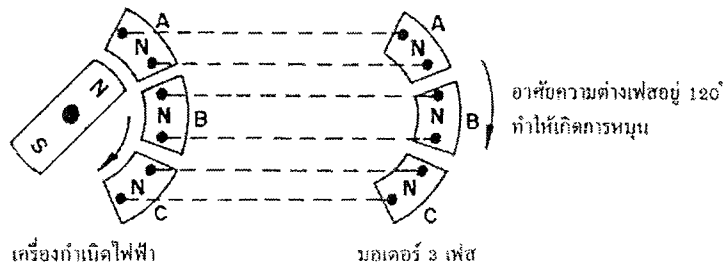


รูปที่ 2-27 แสดงการต่อความต้านทานจากภายนอกเข้ากับโรเตอร์แบบพันขดลวด

2.3.3 หลักการทำงาน

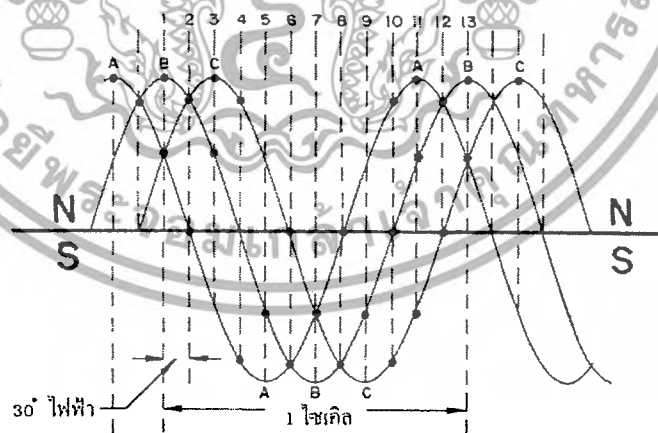
สนามแม่เหล็กของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส เมื่อมีกระแสไฟฟ้าระบบ 3 เฟสจ่ายให้กับขดลวด 3 เฟส เป็นผลทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนในมอเตอร์นั้น สนามแม่เหล็กหมุนจะตัดกับตัวนำในโรเตอร์นั้นทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในตัวนำที่ฝังอยู่ในโรเตอร์ และจะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นในโรเตอร์ เพราะที่โรเตอร์มีกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำไหลอยู่ ซึ่งจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กเป็นขั้วเหนือและขั้วใต้เช่นเดียวกับที่สเตเตอร์ และสนามแม่เหล็กที่หมุนที่สเตเตอร์นั้นจะเกิดการผลัก และดูดกับขั้วแม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่โรเตอร์ในทิศทางของสนามแม่เหล็กหมุน ผลที่ได้ของการดูด และผลักระหว่างขั้วแม่เหล็กบนสเตเตอร์และโรเตอร์ทำให้เกิดแรงบิดขึ้น

หลักการหมุนของสนามแม่เหล็กโดยกระแสไฟฟ้า 3 เฟสจากรูปที่ 2-11 เป็นการแสดงให้เห็นว่าถ้าเราจ่ายกระแสไฟฟ้าในระบบ 3 เฟสให้กับขดลวดในสเตเตอร์ ในช่วงขณะหนึ่ง สมมติให้เป็นครึ่งไซเคิลบวกดังแสดงในรูปที่ 2.12 ด้านขวามือ โดยการต่อไฟฟ้าเฟส A เข้าการเฟส A ของมอเตอร์ และเฟส B เฟส C เข้ากับมอเตอร์ในเฟสถัดไป เมื่อกระแสไฟฟ้าในครึ่งไซเคิลบวกเฟส A ไหลเข้าไปในขดลวดของเฟส A มอเตอร์จะ



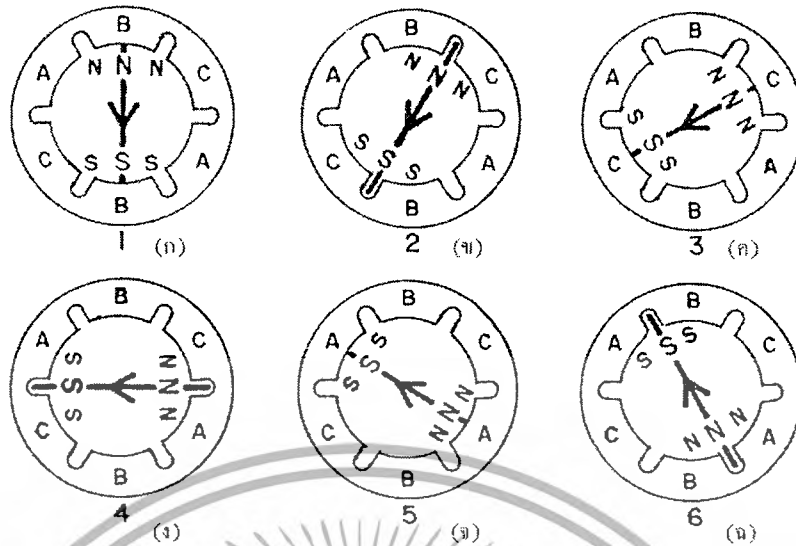
รูปที่ 2-28 แสดงการจ่ายแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

ทำให้เกิดมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดในเฟส A ของมอเตอร์นั้นทำให้เกิดขั้ว N ขึ้น และเมื่อแรงดันไฟฟ้าในเฟส A ที่จ่ายให้กับเฟส A มอเตอร์ค่อยๆ ลดลงอำนาจแม่เหล็กขั้ว N ก็ค่อยๆ ลดอำนาจหรือความเข้มลง และในขณะเดียวกันที่เฟสถัดไปก็จะมีอำนาจแม่เหล็กคล้ายๆ กับเฟส A แต่ในเวลาถัดไปจนครบ 3 เฟสในหนึ่งขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์ (คือเฟส A เฟส B และเฟส C) และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าในครึ่งไซเคิลบวกสิ้นสุดเรียบร้อยแล้ว ในครึ่งไซเคิลลบถัดไปที่ขั้วแม่เหล็กดังกล่าวข้างต้นก็จะเปลี่ยนสภาวะจากขั้ว N ไปเป็นขั้ว S และในอีกหนึ่งขั้วแม่เหล็กถัดไปก็มีลักษณะเช่นเดียวกันกับขั้วแม่เหล็กแรกทีกล่าวถึง ซึ่งลักษณะเช่นนี้เหมือนกับว่าสนามแม่เหล็กหมุนไปรอบๆ สเตเตอร์ ซึ่งสนามแม่เหล็กที่เหมือนกับหมุนไปรอบๆ นี้เรียกสั้นๆ ว่าสนามแม่เหล็กหมุน (Rotating Magnetic Field)



รูปที่ 2-29 แสดงรูปคลื่นไซน์ของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นโดยกระแสไฟฟ้า 3 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-30 แสดงการเกิดสนามแม่เหล็กหมุนของมอเตอร์ 3 เฟส 2 ขั้ว

จากรูปที่ 2-29 และรูปที่ 2-30 เป็นการแสดงถึงการเกิดสนามแม่เหล็กหมุนของมอเตอร์ 3 เฟส 2 ขั้ว ที่สามารถพิจารณาที่ละขั้นได้คือ

ที่จุดที่ 1 บนรูปไซเคิลไซน์จะเห็นได้ว่าเฟส B อยู่ที่ตำแหน่งความเข้มสูงสุดของขั้วเหนือ เฟส A ก็เป็นขั้วเหนือ แต่ลดลงจากจุดสูงสุดและเฟส C เป็นขั้วเหนือและกำลังเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2-30 (ก) ของสเตเตอร์คือเฟส B เป็นขั้วเหนือมาก เฟส A และเฟส C เป็นขั้วเหนือน้อย

ที่จุดที่ 2 บนรูปคลื่นไซน์ เฟส A เป็น 0 (Zero) เฟส B เป็นขั้วเหนือแต่กำลังลดลง ส่วน เฟส C เป็นขั้วเหนือแต่กำลังเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2-30 (ข) ของสเตเตอร์ เฟส A เป็น 0 เฟส B และ เฟส C เป็นขั้วเหนือและมีความเข้มเท่ากัน ซึ่งจะเกิดขึ้นระหว่าง 2 เฟสคือ เฟส B กับเฟส C ดังนั้นจาก จุดที่ 1 ไปจุดที่ 2 ขั้วเหนือจะเคลื่อนที่ไป 30 องศาไฟฟ้า ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา (30 Electrical Degree Clockwise)

ที่จุดที่ 3 บนรูปคลื่นไซน์ เฟส C จะมีความเข้มสูงสุดของขั้วเหนือ เฟส B ลดลงจาก สูงสุดและเฟส A เพิ่มขึ้นแต่ เฟส A เป็นขั้วได้ ดังแสดงในรูปที่ 2-30 (ค) ของสเตเตอร์เฟส C จะเป็นขั้ว เหนือและมีความเข้มมาก ส่วนเฟส B มีความเข้มของขั้วเหนือเล็กน้อย และเฟส A เป็นขั้วได้น้อย ดังนั้นจาก จุดที่ 2 ไปจุดที่ 3 ขั้วเหนือจะเคลื่อนที่ไป 30 องศาไฟฟ้า ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

บนรูปคลื่นไซน์ที่จุดต่างๆในไซเคิลก็จะเกิดหมุนเวียนกันไปเช่นเดียวกับที่กล่าวมาแล้ว ตัวอย่างเช่น ที่จุดที่ 6 ในรูปที่ 2-29 บนรูปคลื่นไซน์ เฟส A และ เฟส B จะเป็นขั้วได้ ส่วนเฟส C จะเป็น 0 ดังแสดงในรูปที่ 2-30 (ง) ของสเตเตอร์ขั้วเหนือจะเคลื่อนที่ไป 150 องศาไฟฟ้าในทิศทางตามเข็มนาฬิกาจากจุดที่ 1 เป็นอันว่าครบไซเคิลของขั้วเหนือ หรือหมุนครบ 1 รอบ 360 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 สลิป (slip,s)

ในทางปฏิบัตินั้นโรเตอร์ไม่สามารถหมุนได้เท่ากับความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนที่สเตเตอร์ โดยปกติแล้วความเร็วของโรเตอร์จะมีความเร็วน้อยกว่าความเร็วของสนามแม่เหล็กที่หมุนที่สเตเตอร์ ความแตกต่างของความเร็วนั้นจะขึ้นอยู่กับโหลดที่ต่ออยู่กับมอเตอร์นั้น

ความแตกต่างระหว่างความเร็วของสนามแม่เหล็กที่หมุนอยู่ที่สเตเตอร์ หรือความเร็วซิงโครนัส (N_s) และความเร็วรอบของโรเตอร์ขณะใช้งาน (Actual Speed : N) ของโรเตอร์เรียกว่าสลิป สลิปของมอเตอร์โดยปกติเป็นเปอร์เซ็นต์ ซึ่งเปอร์เซ็นต์สลิปสามารถหาได้จากสมการดังนี้คือ

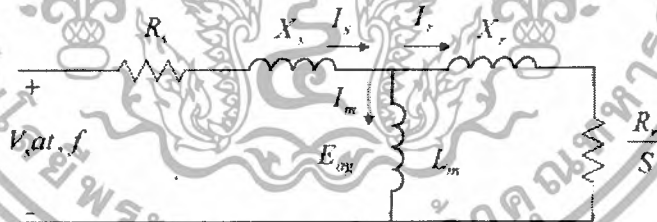
$$S = \frac{N_s - N}{N_s} \quad (2.26)$$

$$\%Slip = \frac{N_s - N}{N_s} \times 100 \quad (2.27)$$

แต่ในบางครั้ง $N_s - N$ ก็เรียกว่า ความเร็วสลิป (Slip Speed) จะเห็นได้ว่าความเร็วของโรเตอร์ (มอเตอร์) คือ $N = N_s (1 - S)$

2.3.5 วงจรสมมูลย์ (Equivalent Circuit)

เพื่ออธิบายปัจจัยหรือพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการทำงานของมอเตอร์ จึงนำวงจรสมมูลย์มาพิจารณาเพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ



รูปที่ 2-31 วงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่พิจารณาจากด้าน stator

จากวงจรสมมูลย์ในรูปที่ 2-15 จะไม่นำค่า R_c (ค่าความต้านทานสมมูลย์แทนการสูญเสียในแกนเหล็กหรือ core loss) มาพิจารณาร่วมด้วยเพราะมีค่าสูงมาก ทำให้กระแสไหลผ่านได้น้อย เมื่อเทียบกับ stator resistance (R_s) และ rotor resistance (R_r) ในขณะที่กระแส I_m หรือ Magnetizing current ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกระแสป้อนมอเตอร์ (I_s) จะมีค่ามาก โดยกระแส I_m นี้ถือว่าเป็นกระแสที่สร้าง Resultant airgap flux หรือ Q_{ag}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรสมมูลย์ที่ได้ จึงสามารถเขียนความสัมพันธ์ของแรงดันป้อนเข้าได้ดังนี้

$$V_s = E_{ag} + I_s(R_s + jX_s) \quad (2.28)$$

จากทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้า จะมีแรงบิดเกิดขึ้นที่มอเตอร์คือ

$$T_{em} = k_1 I_r \phi_{ag} \sin \delta \quad (2.29)$$

โดย δ คือมุมต่างเฟสระหว่าง แรงเคลื่อนแม่เหล็กจากโรเตอร์ (Rotor mmf) และ Resultant airgap flux สมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ที่เกิดขึ้นที่ Stator เป็นดังนี้

$$E_{ag} = k_2 f \phi_{ag} \quad (2.30)$$

และแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ที่เกิดขึ้นที่ Rotor เมื่อพิจารณาทาง Stator

$$E_r = R_r I_r + S X_r I_r \quad (2.31)$$

และในสภาวะที่มอเตอร์หมุนในช่วงความเร็วปกติ เมื่อพิจารณาจากด้าน Rotor จะพบว่า Rotor Leakage Reactance จะมีค่าน้อยกว่า Rotor Resistance มาก ณ ความถี่ slip frequency ดังกล่าว ทำให้มุมต่าง δ มีค่าใกล้เคียงศูนย์ ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ของกระแส I_r และแรงบิดเมื่อพิจารณาขณะมอเตอร์หมุนด้วยความเร็วปกติ

$$I_r \approx k_3 \phi_{ag} S f \quad (2.32)$$

$$T_{em} = k_4 \phi_{ag}^2 S f \quad (2.33)$$

และในกรณีความถี่ป้อนเข้า f มีค่าพิกัด และไม่คิดผลของ Series Impedance ทาง Stator

$$V_s \approx E_{ag} \approx k_2 f \phi_{ag} \quad (2.34)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6 ค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ (input power-electrical) พิจารณาได้จาก

$$P_i = 3V_1 I_1 \cos \phi_1 \quad (2.35)$$

ค่าขดลวดทองแดงที่สเตเตอร์(stator copper loss)

$$P_{cu,1} = 3I_1^2 R_1 \quad (2.36)$$

ค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโรเตอร์(rotor input power across air gap)

$$P_g = 3I_2^2 \frac{R_2}{s} \quad (2.37)$$

ค่าสูญเสียจากลวดทองแดงที่โรเตอร์(rotor copper loss)

$$P_{cu,2} = 3I_2^2 R_2 = s P_g \quad (2.38)$$

ค่ากำลังไฟฟ้าที่ออกจากโรเตอร์(rotor output electromagnetic power)

$$P_e = P_g - P_{cu,2} = (1-s) P_g \quad (2.39)$$

ค่าแรงบิดแม่เหล็กไฟฟ้า(electromagnetic torque)

$$T_e = \frac{P_e}{\omega_r} = \frac{P_g}{\omega_s} \quad (2.40)$$

ค่ากำลังไฟฟ้าที่ออกจากมอเตอร์(output power mechanical power)

$$P_o = P_e - P_r \quad (2.41)$$

ค่าแรงบิดของมอเตอร์(output torque)

$$T_o = \frac{P_o}{\omega_r} \quad (2.42)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.7 การแบ่งประเภทของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส แบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ class A, B, C และ D แต่ละประเภท จะมีคุณลักษณะที่แตกต่างกัน โดยกำหนดขึ้นจากสมาคมผู้ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้านานาชาติ (National Electrical Manufacturers Association ; NEMA)

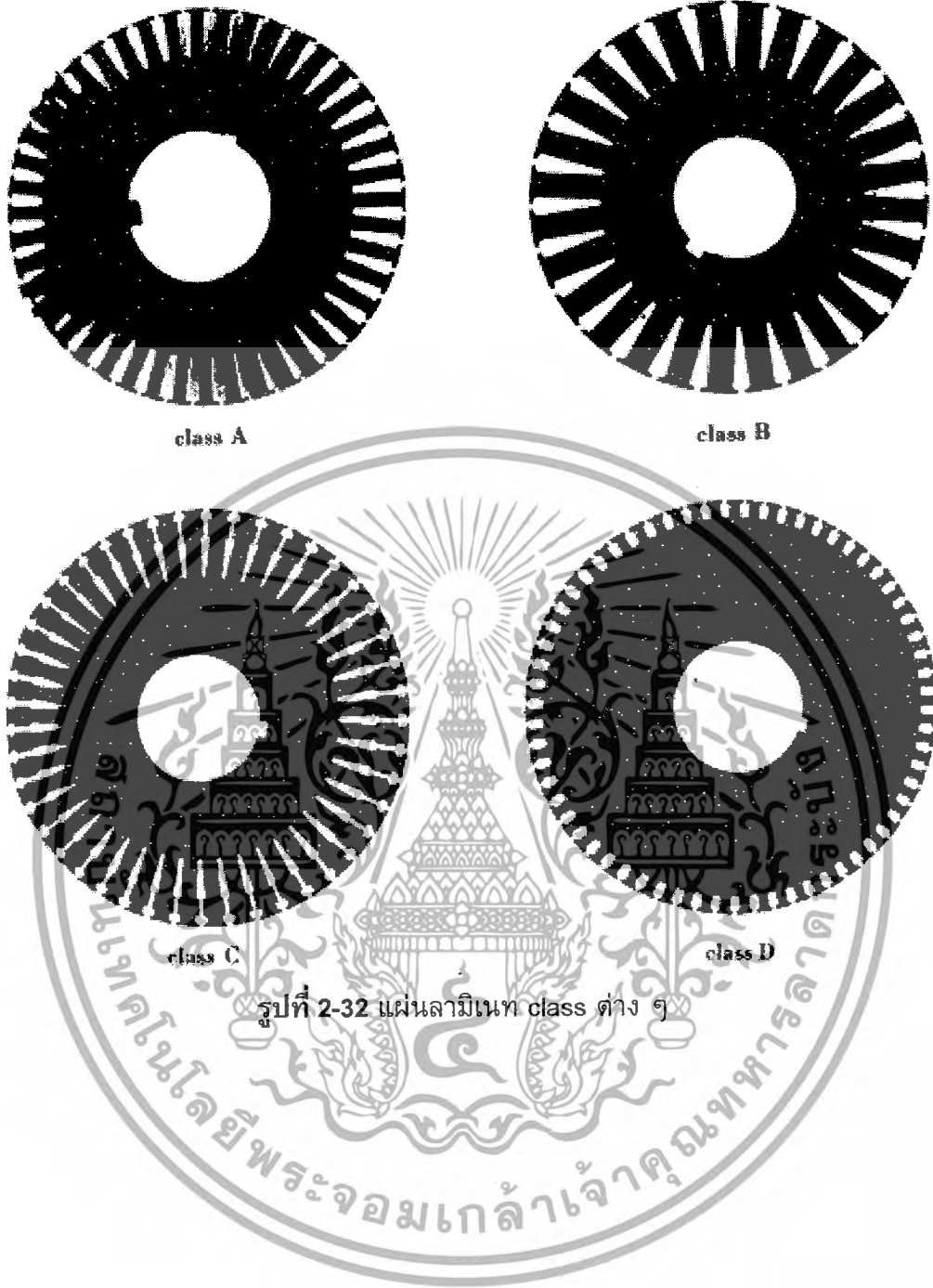
1. มอเตอร์ class A มอเตอร์ ประเภทนี้มี ความต้านทานของวงจรวจรโรเตอร์ต่ำ กระแสเริ่มเดิน (starting Current) จะมีค่าสูงมาก เมื่อขับโหลดเต็มที่มีค่าสลิปต่ำมาห (s<0.01) เหมาะกับงานที่ต้องการแรงบิดเริ่มหมุนต่ำ

2. มอเตอร์ class B มอเตอร์ประเภทนี้มีมีแรงบิดและกระแสไฟฟ้าเริ่มหมุนในระดับปกติ ค่า speed regulation ขณะขับโหลดเต็มที่ต่ำ (ปกติต่ำกว่า 5%) และแรงบิดเริ่มต้นหมุน เป็น 150% ของแรงบิดที่พิกัด

3. มอเตอร์ class C มอเตอร์ ประเภทนี้ จะมีแรงบิดเริ่มต้นหมุนสูงกว่า 2 ประเภทแรก กระแสเริ่มต้นหมุนอยู่ในระดับปกติ นอกจากนี้ยังทำงานที่ค่า Slip ขณะมีโหลดเต็มพิกัดต่ำกว่า 0.05 ส่วนแรงบิดเริ่มต้นหมุนประมาณ 200% ของค่าพิกัด มอเตอร์ประเภทนี้ ได้รับการออกแบบให้เริ่มทำงานขณะมีโหลดต่ออยู่

4. มอเตอร์ class D มอเตอร์ ชนิดนี้มีค่า Slip และค่าแรงบิดเริ่มต้นหมุนสูง แต่มีกระแสไฟฟ้าเริ่มต้นหมุนค่อนข้างต่ำ ดังนั้นขณะขับโหลดจึงมี Slip สูง ประสิทธิภาพโดยทั่วไปจึงต่ำกว่ามอเตอร์ประเภทอื่น ๆ

ส่วนประกอบทางโครงสร้างที่ทำให้มอเตอร์เหนี่ยวนำแต่ละ class มีคุณลักษณะแตกต่างกันก็คือการออกแบบ (Design) แผ่นลามีเนตที่ประกอบเป็นรูปร่างของโรเตอร์ ซึ่ง NEMA กำหนดแบบแผ่นลามีเนตเหล่านั้นไว้ ดังรูป



class A

class B

class C

class D

รูปที่ 2-32 แผ่นลามิเนต class ต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

มาตรฐานที่ใช้และการสร้างระบบเฟืองระวางและป้องกันมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส

3.1 ข้อกำหนดของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำมาตรฐาน NEMA

ในที่นี้จะกล่าวถึงข้อกำหนดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการนำไปใช้ในโครงการนี้ โดยเลือกใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 Ø ชนิดโรเตอร์แบบกรงกระรอก

3.1.1 แรงดันใช้งาน ตามมาตรฐานของ NEMA เลขที่ [MG 1-10.30]ระดับแรงดันของมอเตอร์ไฟฟ้าหลายเฟส ที่ความถี่ใช้งาน 50Hz ต้องเท่ากับ 220 และ 380 volts

3.1.2 ความถี่ใช้งาน ตามมาตรฐานของ NEMA เลขที่ [MG 1-10.31]ความถี่ใช้งานตามมาตรฐานกำหนดที่ 50 Hz

3.1.3 ความเร็วรอบ ตามมาตรฐานของ NEMA เลขที่ [MG 1-10.32.4] ดูจากตารางที่ 2.1

HP	50-Hertz Synchronous Rpm							50-Hertz Synchronous Rpm			
	—	—	900	720	600	514	—	—	1000	750	
1/2	—	—	1200	900	720	600	514	—	—	1000	750
3/4	—	—	1200	900	720	600	514	—	—	1000	750
1	—	1800	1200	900	720	600	514	—	1500	1000	750
1-1/2	3600	1800	1200	900	720	600	514	3000	1500	1000	750
2	3600	1800	1200	900	720	600	514	3000	1500	1000	750
3	3600	1800	1200	900	720	600	514	3000	1500	1000	750
5	3600	1800	1200	900	720	600	514	3000	1500	1000	750
7-1/2	3600	1800	1200	900	720	600	514	3000	1500	1000	750
10	3600	1800	1200	900	720	600	514	3000	1500	1000	750
15	3600	1800	1200	900	720	600	514	3000	1500	1000	750
20	3600	1800	1200	900	720	600	514	3000	1500	1000	750
25	3600	1800	1200	900	720	600	514	3000	1500	1000	750
30	3600	1800	1200	900	720	600	514	3000	1500	1000	750
40	3600	1800	1200	900	720	600	514	3000	1500	1000	750
50	3600	1800	1200	900	720	600	514	3000	1500	1000	750

ตารางที่ 3-1 ความเร็วรอบที่พิกัดกำลังและความถี่ต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Letter Classification	Temperature (°C)
A	105
B	130
F	155
H	180

ตารางที่ 3-2 ระดับอุณหภูมิของฉนวนแต่ละ class

3.1.4 อุณหภูมิใช้งาน ตามมาตรฐานของ NEMA เลขที่ [MG 1-10.38]กำหนดให้อุณหภูมิบริเวณที่ติดตั้งใช้งานอยู่ในระดับไม่เกิน 40 °C ในกรณีที่ไม่มีข้อกำหนดอื่น ๆ สามารถแบ่งระดับอุณหภูมิตามการใช้งานของขดลวด ตามประเภทของฉนวนที่ใช้ตามมาตรฐาน IEC 60085 แสดงดังตาราง 2.2

3.1.5 อัตราความคลาดเคลื่อนของแรงดัน ตามมาตรฐานของ NEMA เลขที่ [MG 1-12.44.1] อัตราความคลาดเคลื่อนของแรงดัน ต้องไม่เกิน $\pm 10\%$ ของพิกัดแรงดันปกติที่ความถี่พิกัด

3.1.6 อัตราความคลาดเคลื่อนของกระแส ตามมาตรฐานของ NEMA เลขที่ [MG 1-12.47] เมื่อมอเตอร์ทำงานที่พิกัดแรงดัน พิกัดความถี่และพิกัดกำลัง ขนาดกระแสที่ไหลเข้ามอเตอร์ต้องคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 10\%$ ของกระแสที่พิกัด

3.1.7 แรงดันใช้งานไม่สมดุล ตามมาตรฐานของ NEMA เลขที่ [MG1 – 12.45] กรณีเมื่อเกิดแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าแบบ 3 เฟส ซึ่งไม่เพียงแต่จะส่งผลกระทบต่อการใช้กระแสไฟฟ้าในขดลวดโรเตอร์และสเตเตอร์ไม่เท่ากันแล้ว แต่ยังทำให้เปอร์เซ็นต์กระแสไฟฟ้าที่ไม่สมดุลที่เกิดขึ้นอาจจะมีค่าสูง 6 ถึง 10 เท่าเมื่อเทียบกับเปอร์เซ็นต์ของแรงดันไฟฟ้าที่ไม่สมดุล และผลของการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจาก I^2R จะทำให้เกิดความร้อนของฉนวนขึ้นและทำให้มีผลต่ออายุการใช้งานของมอเตอร์ไฟฟ้าโดยตรง และการเกิดแรงดันไม่สมดุลก็จะทำให้แรงบิดของมอเตอร์ไฟฟาลดลงด้วย ไม่เพียงเท่านั้นความเร็วขณะมีโหลดเต็มพิกัดก็จะมีค่าลดลงด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.8 การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลนั้นได้ถูกกำหนดโดย NEMA ได้กำหนดว่าหาได้จาก ค่าเปอร์เซ็นต์แรงดันไฟฟ้าที่เบี่ยงเบนสูงสุดระหว่างเฟสใดเฟสหนึ่งกับค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยทั้ง 3 เฟสหารด้วยค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส สามารถเขียนเป็นสมการดังต่อไปนี้

$$\%VUB = \frac{V_{\max. dev}}{V_{avg}} \times 100 \quad (3.1)$$

$$V_{avg} = \frac{V_{ab} + V_{bc} + V_{ca}}{3} \quad (3.2)$$

เมื่อ	$\%VUB$	คือเปอร์เซ็นต์แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล
	V_{avg}	คือแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยระหว่างเฟส (V)
	$V_{\max. dev.}$	คือแรงดันไฟฟ้าเบี่ยงเบนสูงสุดระหว่างเฟสใดเฟสหนึ่งกับ
	V_{avg}	
	V_{ab}, V_{bc}, V_{ca}	คือแรงดันระหว่างเฟส (V)

3.1.9 การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของมอเตอร์ไฟฟ้าเนื่องจากสาเหตุแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล เมื่อมอเตอร์ไฟฟ้าทำงานที่เต็มพิกัดโหลด เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในมอเตอร์ ($\% \Delta T$) จะมีผลจากแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล ซึ่งสามารถประมาณค่าได้เท่ากับสองเท่าของค่าเปอร์เซ็นต์แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลยกกำลังสอง ซึ่งสามารถแสดงได้ในสมการดังต่อไปนี้

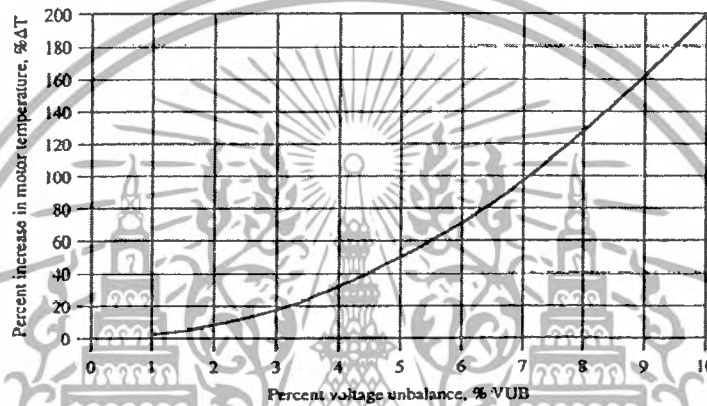
$$\% \Delta T = 2 \times (\%VUB)^2 \quad (3.3)$$

โดยเมื่อนำสมการที่ 3 มาแสดงเป็นกราฟดังรูปที่ 3-1

สำหรับการประมาณค่าอุณหภูมิสูงสุดที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ของมอเตอร์ไฟฟ้าเนื่องจากสาเหตุแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$T_{rise,unb} = T_{rise,rate} \times \left[1 + \frac{\Delta T}{100}\right] \quad (3.4)$$

เมื่อ $T_{rise,unb}$ = อุณหภูมิที่สูงขึ้นเนื่องจากแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล
 $T_{rise,rate}$ = พิกัดอุณหภูมิสูงสุดของฉนวนที่สามารถยอมรับได้ ดังแสดงในตารางที่ 1
 $\% \Delta T$ = เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในมอเตอร์ไฟฟ้า



รูปที่ 3-1 กราฟเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของมอเตอร์
เทียบกับเปอร์เซ็นต์ของแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 สรุปข้อกำหนดที่ใช้เป็นหลักเกณฑ์ในการการทดลอง

3.2.1 มาตรฐานการคลาดเคลื่อนของแรงดันใช้งานไม่เกิน $\pm 10\%$ ฉะนั้นสามารถใช้งานได้ในช่วงแรงดัน 342 ~ 418 V

3.2.2 มาตรฐานของระดับแรงดันไม่สมดุล หาได้จากสมการที่ 2.34 และ 2.35 ค่าที่ยอมรับได้ของระดับความไม่สมดุลไม่ควรเกิน 5 %

3.2.3 ถึงแม้ว่าระดับอุณหภูมิที่ขดลวดตามมาตรฐานจาก Nameplate ของมอเตอร์ที่ใช้ในการทดลองเป็นมอเตอร์ที่ใช้ฉนวนใน Class B ดูค่าอุณหภูมิตามตารางที่ 2.2 ทนอุณหภูมิได้สูงสุด 130 °C ที่อุณหภูมิใช้งานโดยรอบไม่เกิน 40 °C แต่เพื่อใช้ในการทดสอบระบบ เราจำเป็นต้องลดอุณหภูมิเพื่อทดสอบเหลือที่ 50 °C เพื่อที่จะได้สามารถทดสอบได้อย่างสะดวก

3.2.4 ระดับกระแสของมอเตอร์ตามมาตรฐานต้องไม่เกิน $\pm 10\%$ จากพิกัดกระแสที่ Nameplate ฉะนั้นสามารถใช้งานได้ในช่วงกระแส 3.06 ~ 3.74 A



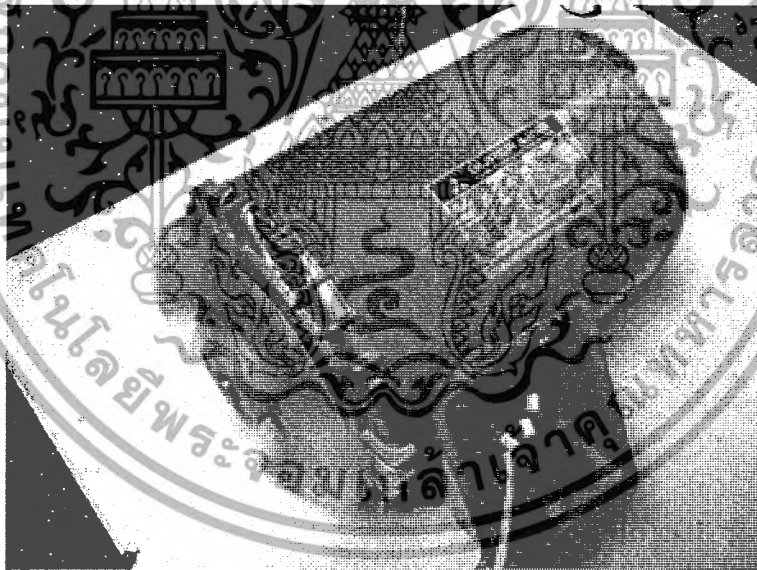
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

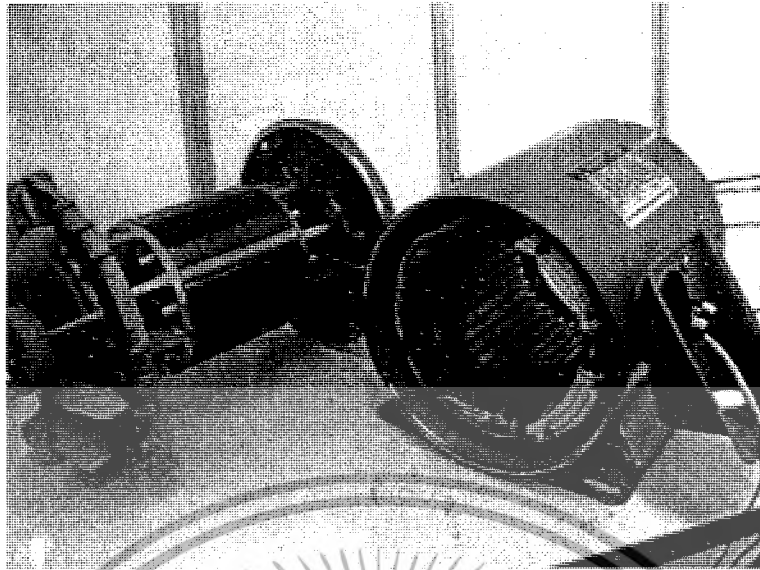
การสร้างระบบป้องกันและการทดสอบระบบ

4.1 อุปกรณ์และซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการทดลอง

4.1.1 มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3Ø Mitsubishi ขนาดพิกัด 1.5 kW Delta /Star 220/380V 4 P / 50 Hz / 1430 RPM / Winding Isolation Class B ซึ่งมอเตอร์เหนี่ยวนำตัวนี้จะถูกใช้เป็น มอเตอร์ทดสอบระบบเฟ้าะวังและป้องกันความเสียหาย โดยจะใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำตัวนี้ ในการขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อจำลองสภาวะในขณะขับภาระทางกลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยตัวมอเตอร์เหนี่ยวนำ จะติดตั้งชุดตัวต่ออุณหภูมิในขดลวดสเตเตอร์ทั้งด้านหัวและท้ายของตัวมอเตอร์เหนี่ยวนำ ตรวจวัดแรงดันใช้งาน กระแสใช้งานในสภาวะต่างๆ ค่าจากการตรวจวัดจะนำเข้าสู่กระบวนการประมวลผลต่อไป

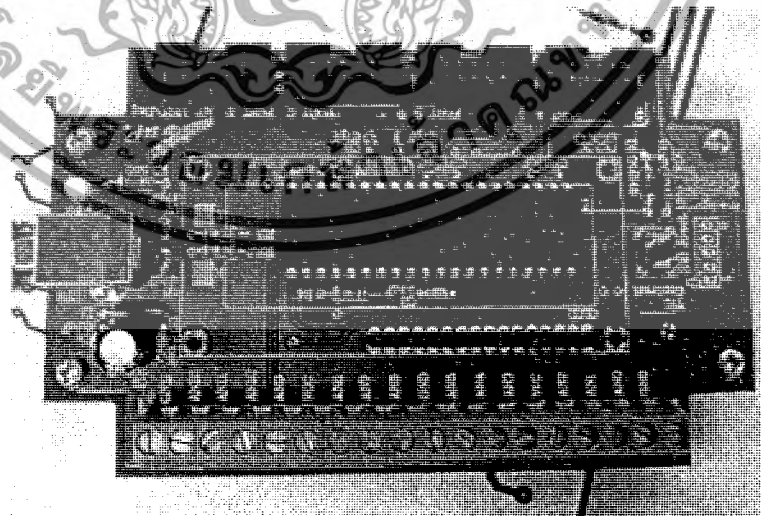


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

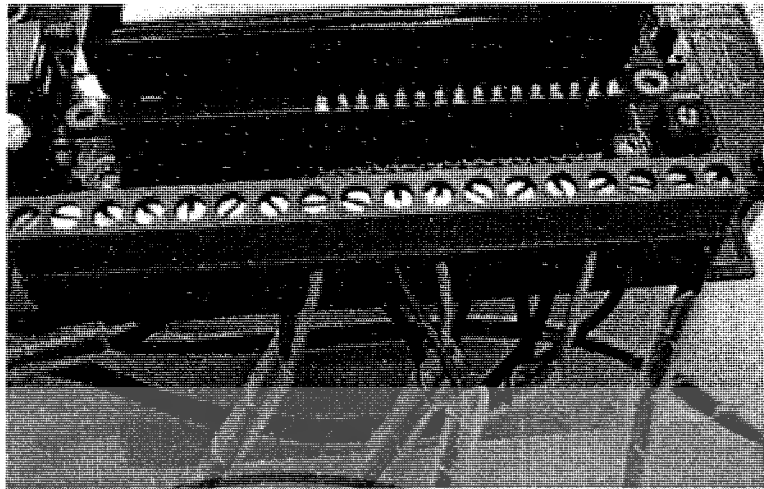


รูปที่ 4-1 3Ø Induction motor

4.1.2 Micro Project Data Acquisition Broad ชุด DAQ Broad ชุดนี้เป็นตัวประมวลผลสัญญาณจากชุดตรวจวัดต่าง ๆ ที่ได้ทำการติดตั้งไว้ในระบบ ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูลระหว่างระบบตรวจวัด ชุดควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าและหน้าจอแสดงผล โดย DAQ Broad ตัวนี้ประกอบด้วยพอร์ต I/O PORT 30 Bit เชื่อมต่อบน Block Header ขนาด 10 PIN ทั้งสิ้น 4 Channel และพอร์ตรับสัญญาณอนาล็อก ขนาด 10 BIT จำนวน 13 ช่อง รับส่งข้อมูลระหว่างตัวบอร์ดกับเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่าน Full Speed USB port type B (USB 1.1, 2.0) รองรับการใช้งานผ่าน MPUSB\DAQ Toolkit for LabVIEW

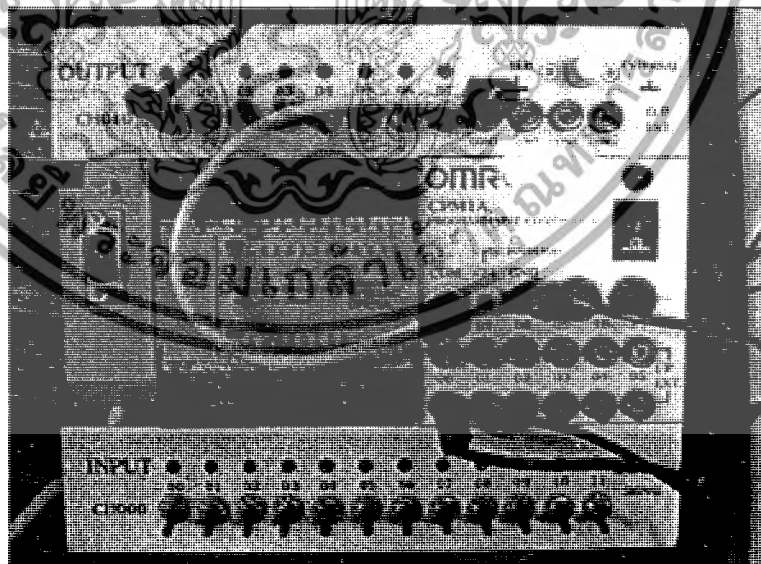


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

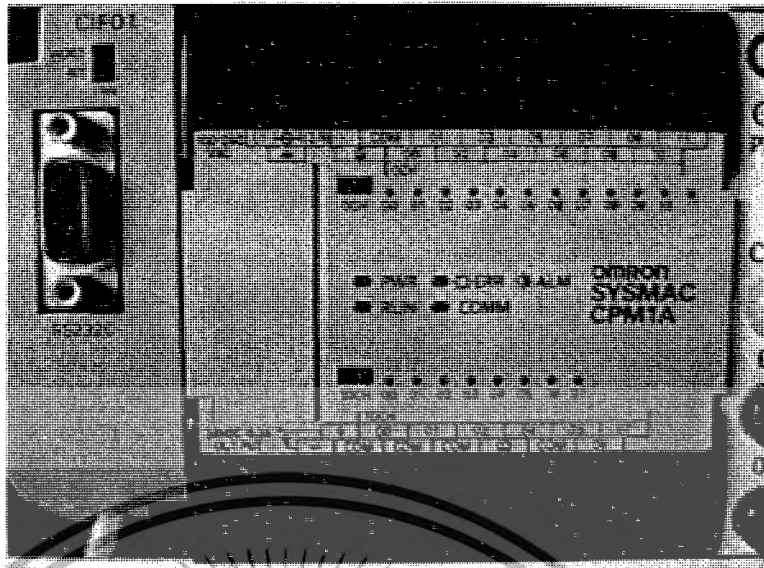


รูปที่ 4-2 Data Acquisition Board

4.1.3 PLC Omron model CPM1A อุปกรณ์ Programmable Logic Controller ตัวนี้ทำหน้าที่เป็นชุดตัดต่อวงจรกำลังของตัวมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ซึ่งตัว PLC จะได้รับสัญญาณจาก DAQ Board ในกรณีที่เสี่ยงต่อการเกิดความเสียหายต่อตัวมอเตอร์เหนี่ยวนำให้ทำการเบ็ดเสร็จออก ส่วนในกรณีที่เริ่มเดินหรือหยุดเดินมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ จะใช้การควบคุมจากปุ่ม Push button ภายนอกเท่านั้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

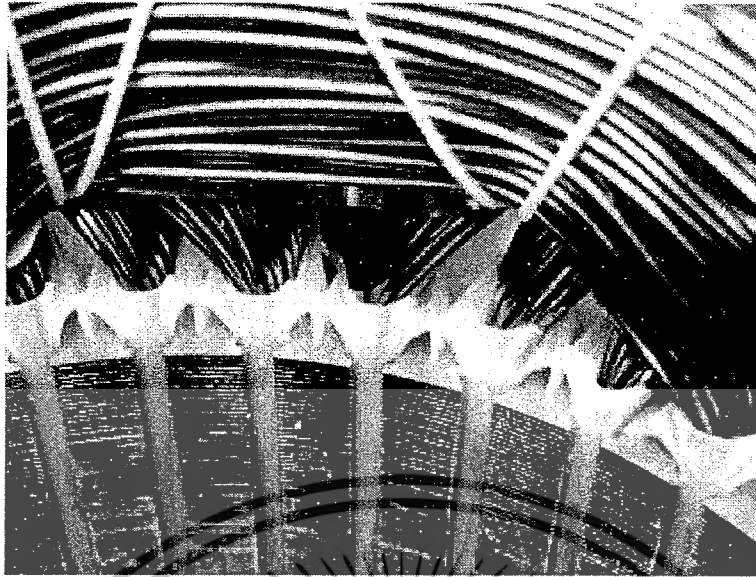


รูปที่ 4-3 PLC Omron CPM1A

4.1.4 LM 35 Temperature IC Sensor เป็นวงจรรวมสำหรับการวัดอุณหภูมิเทียบเป็นหน่วยองศาเซลเซียส โดยค่า output ที่ได้จะมีสภาพเป็นเชิงเส้นที่ + 10.0 mV ต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทุก ๆ 1°C โดยสามารถใช้ได้ในย่านอุณหภูมิตั้งแต่ -55° ถึง +150°C ซึ่งตัว IC นี้จะถูกฝังไว้ในชุดลวดมอเตอร์ทั้งด้านหัวและท้าย เพื่อทำการวัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปของมอเตอร์เหนียวไฉ

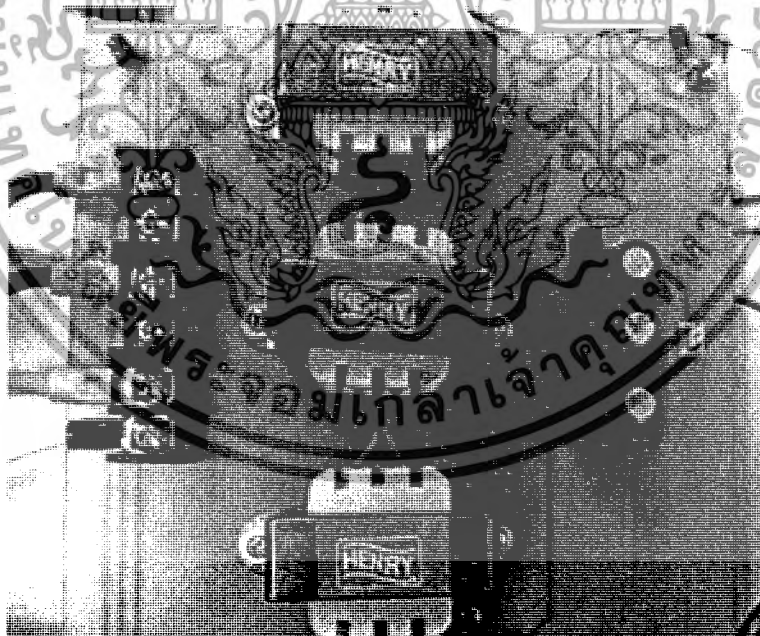


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



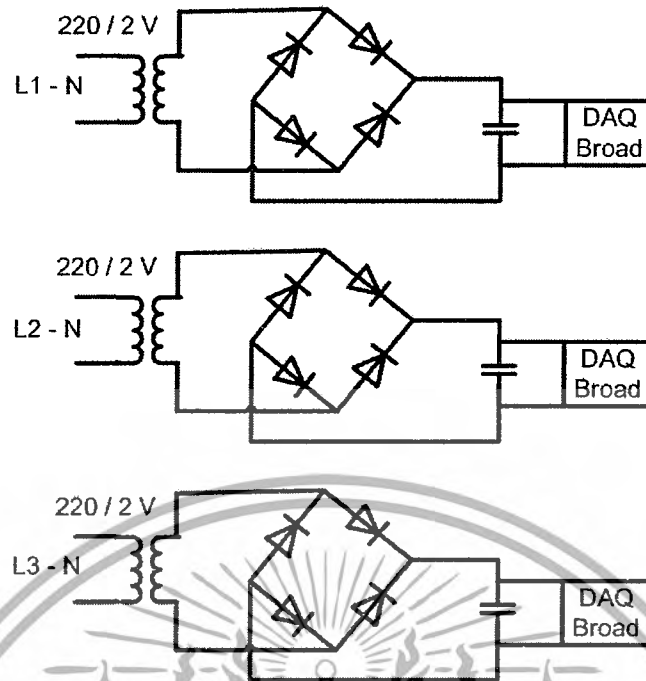
รูปที่ 4-4 แสดง LM35 ฝังที่ตำแหน่งหัวและท้ายมอเตอร์

4.1.5 ชุดตรวจวัดแรงดัน 3 ชุด ประกอบด้วยหม้อแปลง 220/2 V ทำการแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าจาก V_A-N , V_B-N , V_C-N 220Vac ให้เหลือ 2Vac หลังจากนั้นนำแรงดันไฟฟ้าผ่านชุดวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (Full-wave rectifier) เพื่อทำการปรับให้เป็นแรงดันไฟฟ้า กระแสตรง สำหรับต่อเข้าพอร์ตรับสัญญาณของบอร์ด DAQ ต่อไป



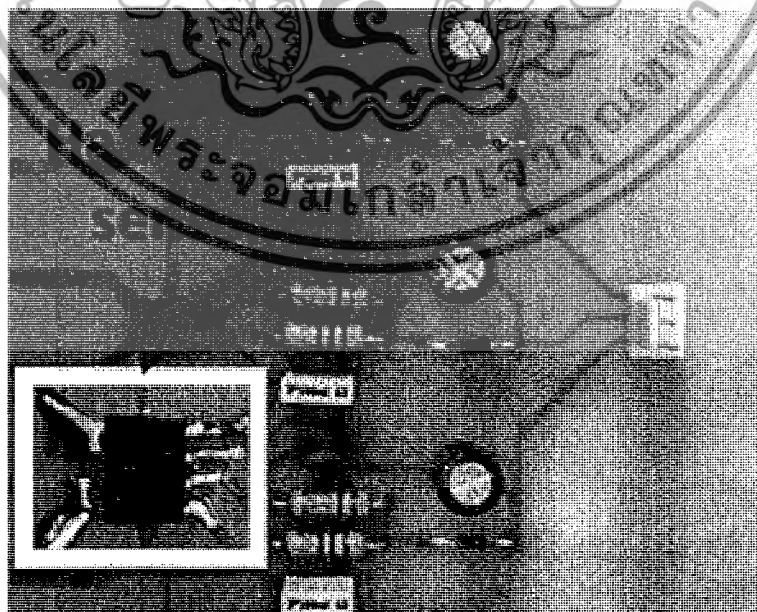
รูปที่ 4-5 แสดงชุดตรวจวัดแรงดันทั้ง 3 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



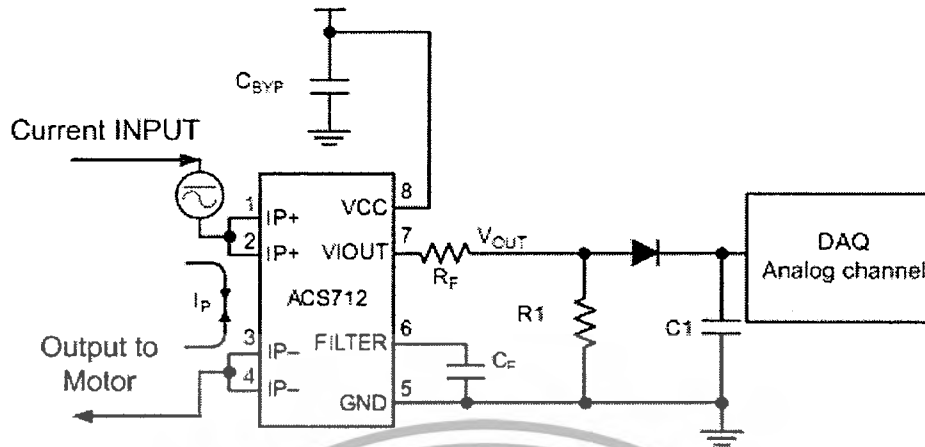
รูปที่ 4-6 วงจรของชุดตรวจวัดแรงดัน

4.1.6 ชุดตรวจวัดกระแส ใช้ ACS712 Hall effect sensor ต่ออนุกรมระหว่างแหล่งจ่ายแรงดันกับตัวมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ เพื่อทำหน้าที่วัดระดับกระแสไฟฟ้าของตัวมอเตอร์ โดยอุปกรณ์ ACS712 มีพิกัดทนกระแสได้ที่ระดับ 20 A. สัญญาณแรงดัน Output จากตัว ACS712 จะเปลี่ยนแปลง 100 mV ต่อทุก ๆ การเพิ่มหรือลดลงของกระแส 1 A ซึ่งสัญญาณแรงดันของ Output ที่ได้จากตัว ACS712 นั้นจำเป็นต้องผ่านการกรองสัญญาณให้มีความเรียบ ก่อนจะต่อเข้ากับพอร์ตอนาล็อกของบอร์ด DAQ ต่อไป



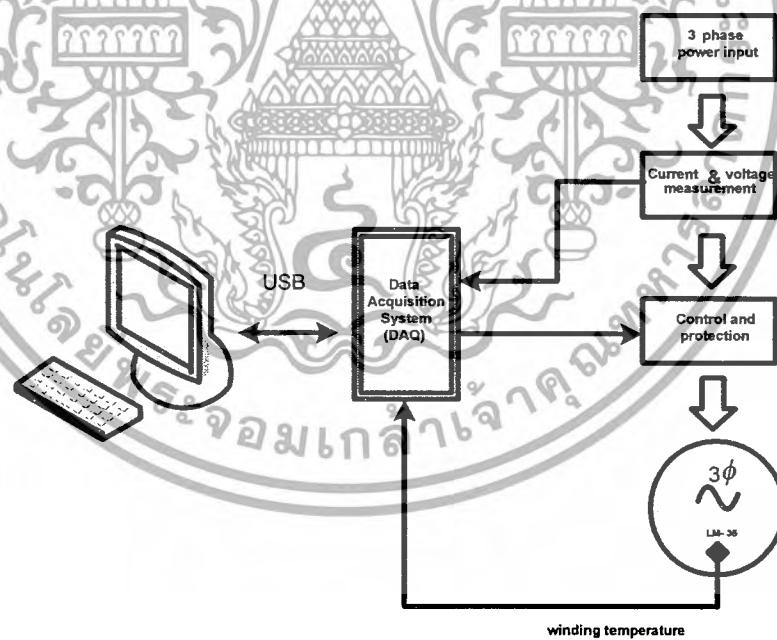
รูปที่ 4-7 ชุดตรวจวัดกระแสโดยใช้ ACS712

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



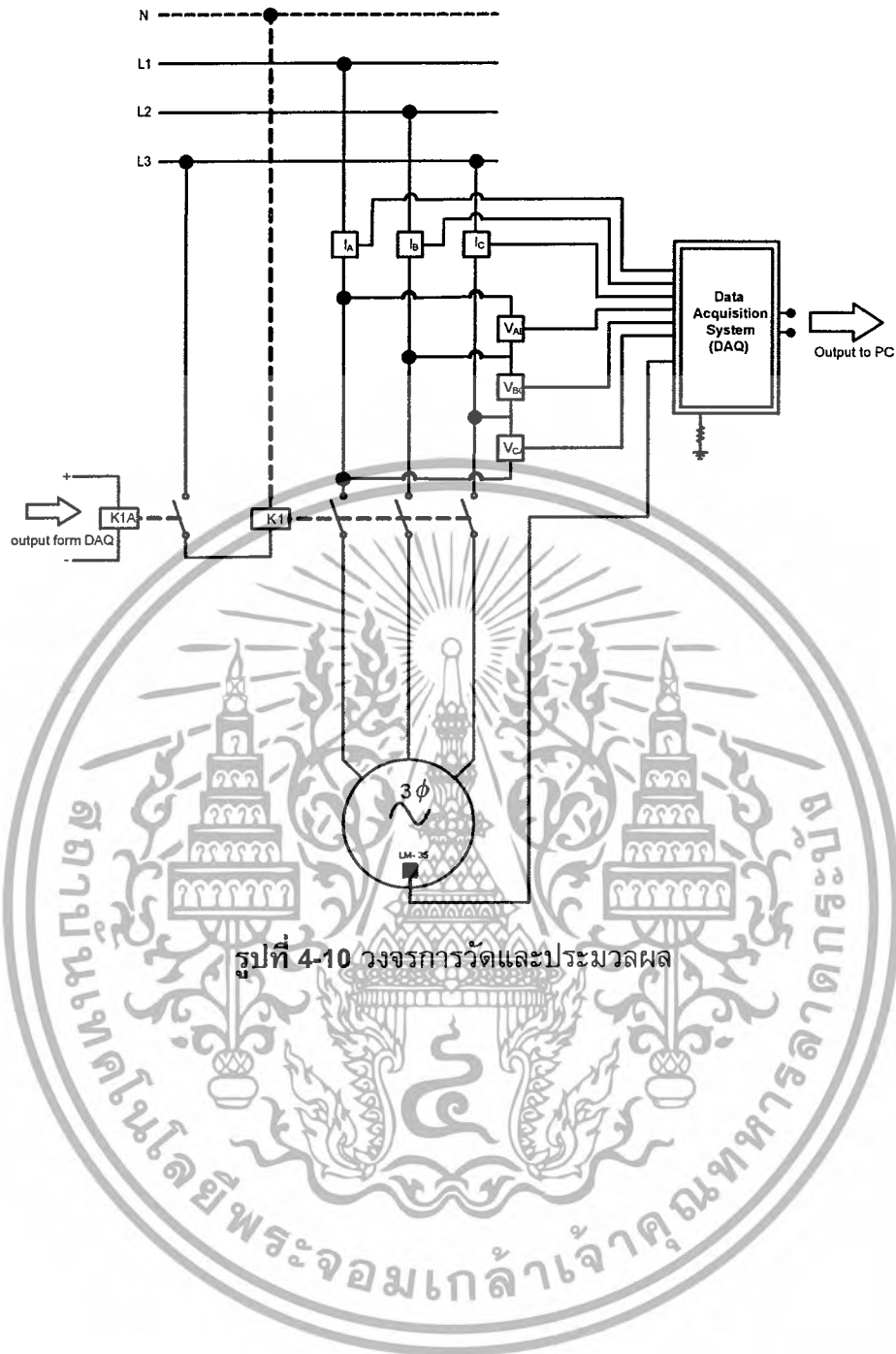
รูปที่ 4-8 วงจรของชุดตรวจวัดกระแสโดยใช้ ACS712

4.2 ไตอะแกรมและวงจรของการทดลอง



รูปที่ 4-9 ไตอะแกรมการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ซอฟต์แวร์ LabVIEW หรือ Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench

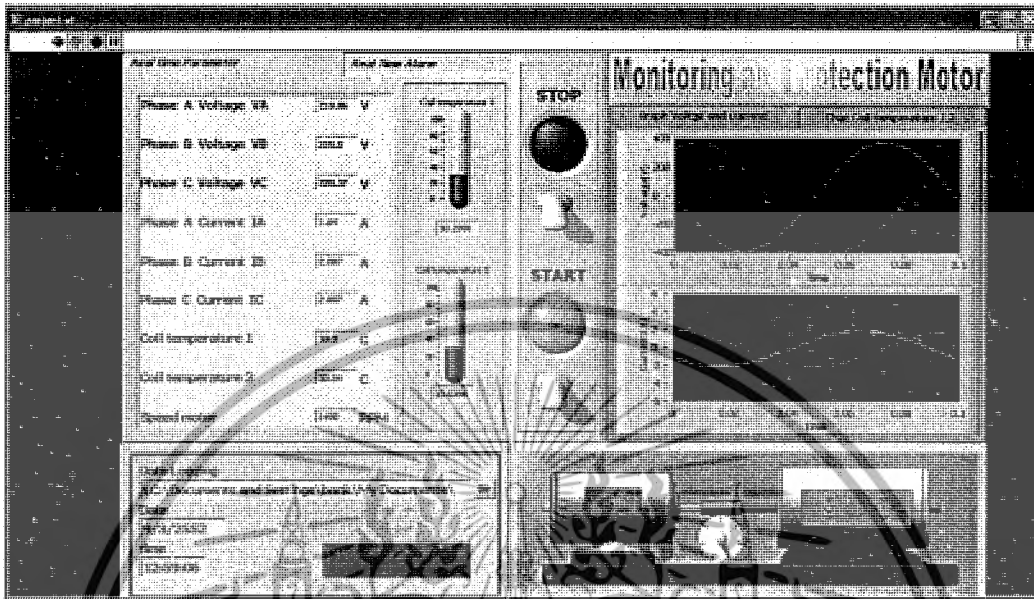
เป็นโปรแกรมที่มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้าง เครื่องมือวัดเสมือนจริงในห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรม ซึ่งสามารถแสดงผลของการวัดค่าพารามิเตอร์ผ่านทางหน้าจอ ของคอมพิวเตอร์ได้ อีกทั้งยังสามารถประมวลผลและให้สัญญาณคำสั่งตามเงื่อนไขที่เรากำหนดได้อีกด้วย ในที่นี้เราจะนำซอฟต์แวร์มาใช้ในการประมวลผลสัญญาณ Input ที่ได้จากชุดตรวจวัดและให้สัญญาณ Output แก่อุปกรณ์ PLC เพื่อทำการตัดวงจรกำลัง ในกรณีที่เกิดเงื่อนไขตรงต่อความเสี่ยงของความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นต่อตัวมอเตอร์เหนี่ยวนำ



รูปที่ 4-11 แสดงการใช้ซอฟต์แวร์ LabVIEW เป็นอุปกรณ์เครื่องมือวัดและควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 Visual Display และความหมายของสัญลักษณ์ที่แสดงอยู่บนจอภาพ



รูปที่ 4-12 หน้าจอ Visual Display

ลำดับ	ตัวแปร	สัญลักษณ์	การอ่านสถานะ
1	แรงดันเฟส A_N	V_{AN}	ตัวเลข
2	แรงดันเฟส B_N	V_{BN}	ตัวเลข
3	แรงดันเฟส C_N	V_{CN}	ตัวเลข
4	กระแสเฟส A	I_A	ตัวเลข
5	กระแสเฟส B	I_B	ตัวเลข
6	กระแสเฟส C	I_C	ตัวเลข
7	อุณหภูมิขดลวดด้านหน้า	T_1	ตัวเลข
8	อุณหภูมิขดลวดด้านหลัง	T_2	ตัวเลข

ตารางที่ 4-1 อธิบายความหมายของสัญลักษณ์บนหน้าจอ Visual Display

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ตารางวิเคราะห์ความบกพร่อง ของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยการสังเกตตัวแปรที่
แสดงบน Visual Display

No.	สาเหตุ	VAN	VBN	VCN	IA	IB	IC	T1	T2
1	ขดลวดเฟส A ขาด	N	N	N	0	N	N	N	N
2	ขดลวดเฟส B ขาด	N	N	N	N	0	N	N	N
3	ขดลวดเฟส C ขาด	N	N	N	N	N	0	N	N
4	ไม่มีกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายเฟส A	<	$\leq N$	$\leq N$	0	$\geq N$	$\geq N$	N	N
5	ไม่มีกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายเฟส B	$\leq N$	<	$\leq N$	$\geq N$	0	$\geq N$	N	N
6	ไม่มีกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายเฟส C	$\leq N$	$\leq N$	<	$\geq N$	$\geq N$	0	N	N
7	เกิดการลัดวงจรในเฟส A	*	*	*	>	$\leq N$	$\leq N$	N	N
8	เกิดการลัดวงจรในเฟส B	*	*	*	$\leq N$	>	$\leq N$	N	N
9	เกิดการลัดวงจรในเฟส C	*	*	*	$\leq N$	$\leq N$	>	N	N
10	เกิดแรงดันเกินในเฟส A	>	N	N	$\geq N$	$\geq N$	$\geq N$	N	N
11	เกิดแรงดันเกินในเฟส B	N	>	N	$\geq N$	$\geq N$	$\geq N$	N	N
12	เกิดแรงดันเกินในเฟส C	N	N	>	$\geq N$	$\geq N$	$\geq N$	N	N
13	เกิดแรงดันตกในเฟส A	<	N	N	$\leq N$	$\geq N$	$\geq N$	N	N
14	เกิดแรงดันตกในเฟส B	N	<	N	$\geq N$	$\leq N$	$\geq N$	N	N
15	เกิดแรงดันตกในเฟส C	N	N	<	$\geq N$	$\geq N$	$\leq N$	N	N
16	แรงดันเกินในเฟส A และ B	>	>	N	$\geq N$	$\geq N$	$\geq N$	N	N
17	แรงดันเกินในเฟส B และ C	N	>	>	$\geq N$	$\geq N$	$\geq N$	N	N
18	แรงดันเกินในเฟส A และ C	>	N	>	$\geq N$	$\geq N$	$\geq N$	N	N
19	แรงดันเกินทั้งเฟส A, B, C	>	>	>	$\geq N$	$\geq N$	$\geq N$	N	N
20	แรงดันตกในเฟส A และ B	<	<	N	$\leq N$	$\leq N$	$\geq N$	N	N
21	แรงดันตกในเฟส B และ C	N	<	<	$\geq N$	$\leq N$	$\leq N$	N	N
22	แรงดันตกในเฟส A และ C	<	<	N	$\geq N$	$\leq N$	$\leq N$	N	N
23	แรงดันตกในเฟส A, B, C	<	<	<	$\geq N$	$\geq N$	$\geq N$	N	N
24	มอเตอร์ใช้งานเกินพิกัดกำลัง	$\leq N$	$\leq N$	$\leq N$	>	>	>	>	>
25	ระบบระบายความร้อนบกพร่อง	N	N	N	N	N	N	>	>

ตารางที่ 4-2 วิเคราะห์ความบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นต่อตัวมอเตอร์จากการสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงของ
ตัวแปรต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การบันทึกข้อมูล log

ของตัวแปรที่ทำการตรวจวัดในรูปแบบไฟล์ Excel จากวัตถุประสงค์ที่เราต้องการให้ระบบนอกจากใช้ในการป้องกันความเสียหายแล้ว เรายังต้องการให้ สามารถตรวจสอบสถานการณ์ทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำได้ตลอดเวลา เพราะฉะนั้นเราจึงสร้างฟังก์ชันเพื่อบันทึกพารามิเตอร์ขึ้นสำหรับตรวจสอบค่าพารามิเตอร์แบบย้อนกลับได้ตลอดเวลา ในกรณีที่ต้องการทราบสถานะต่างๆ ย้อนหลัง

4.7 ทดสอบระบบเฟ้าระวังและป้องกัน

4.7.1 ทดสอบความเที่ยงตรงของการตรวจวัดแรงดัน การทดสอบนี้ทำเพื่อเปรียบเทียบว่าค่าของแรงดันไฟฟ้าที่เราอ่านได้จากหน้าจอ Visual Display นั้น มีความถูกต้องแม่นยำเพียงใด โดยทำการเปรียบเทียบกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดที่ได้มาตรฐานเป็นที่ยอมรับ

วัดครั้งที่	V_{AN}		V_{BN}		V_{CN}	
	ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัด	ค่าที่อ่านได้จากหน้าจอ	ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัด	ค่าที่อ่านได้จากหน้าจอ	ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัด	ค่าที่อ่านได้จากหน้าจอ
1	195.16	196.11	195.52	195.41	195.37	196.12
2	200.32	201.5	200.74	201.15	200.58	202.12
3	205.09	205.22	205.56	205.89	205.57	206.21
4	210.17	211.13	210.19	211.13	210.32	211.03
5	215.38	216.01	215.27	215.81	215.24	214.92
6	220.49	220.40	220.05	221.32	220.26	221.73
7	225.28	225.81	225.09	226.25	225.12	225.91
8	230.33	230.72	230.66	232.14	230.33	231.09
9	235.04	236.12	235.03	236.21	235.12	237.10
10	240.34	240.41	240.83	242.91	240.17	241.03

ตารางที่ 4-3 เปรียบเทียบแรงดันระหว่างค่าที่ได้จากการอ่าน Volt meter กับค่าที่อ่านได้จากหน้าจอ visual display

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.2 ทดสอบความเที่ยงตรงของการตรวจวัดกระแส การทดสอบนี้ทำเพื่อเปรียบเทียบว่าค่าของกระแสไฟฟ้าที่เราอ่านได้จากหน้าจอ Visual Display นั้น มีความถูกต้องแม่นยำเพียงใด โดยทำการเปรียบเทียบกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดที่ได้มาตรฐานเป็นที่ยอมรับ

วัดครั้งที่	I_A		I_B		I_C	
	ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัด	ค่าที่อ่านได้จากหน้าจอ	ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัด	ค่าที่อ่านได้จากหน้าจอ	ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัด	ค่าที่อ่านได้จากหน้าจอ
1	1.7	1.643	1.5	1.534	1.6	1.639
2	1.5	1.44	1.6	1.643	2.00	2.10
3	1.8	1.64	2.00	2.01	1.4	1.45
4	2.00	2.07	1.3	1.455	1.7	1.639
5	2.00	2.04	1.8	1.91	1.5	1.57

ตารางที่ 4-4 เปรียบเทียบกระแสระหว่างค่าที่ได้จากการอ่าน Amp meter กับค่าที่อ่านได้จากหน้าจอ visual display

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.3 ทดสอบความแม่นยำของการตรวจวัดอุณหภูมิ การทดสอบนี้ทำเพื่อเปรียบเทียบว่าค่าของอุณหภูมิที่เราอ่านได้จากหน้าจอ Visual Display นั้น มีความถูกต้องแม่นยำเพียงใด โดยทำการเปรียบเทียบกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดที่ได้มาตรฐานเป็นที่ยอมรับ ซึ่งอุณหภูมิที่วัดนั้นเริ่มตั้งแต่เริ่มเดินมอเตอร์แล้วบันทึกผลซ้ำ ๆ ทุก 10 นาทีเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

วัดครั้งที่	T1		T2	
	ค่าที่อ่านได้จาก เครื่องวัด*	ค่าที่อ่านได้จาก หน้าจอ	ค่าที่อ่านได้จาก เครื่องวัด*	ค่าที่อ่านได้จาก หน้าจอ
1	31.9	33.425	31	33.665
2	37.7	39.23	37.6	40.16
3	42.3	44.97	41.4	45.69
4	49.7	52.66	47.4	49.77
5**	54.7	56.75	50.1	53.62

ตารางที่ 4-5 เปรียบเทียบแรงดันระหว่างค่าที่ได้จากการอ่าน Thermometer กับค่าที่อ่านได้จากหน้าจอ visual display

* ค่าที่ได้อาจมีความคลาดเคลื่อนสูง เนื่องจากเครื่องมือวัดไม่สามารถวัดภายในตัวมอเตอร์ เหนียวน้ำได้

** ระบบป้องกันตัดการทำงานของมอเตอร์ที่ 50°C ในหน้าที่ที่ 48 ของการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.4 ทดสอบระบบป้องกันความเสียหาย เป็นการจำลองสภาวะของความผิดปกติที่อาจจะเกิดขึ้นต่อตัวมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยแรงดันใช้งานแบบต่าง ๆ แล้วบันทึกผลของ

ทดสอบครั้งที่	V_{AN}	I_A	V_{BN}	I_B	V_{CN}	I_C	สถานะการทำงาน
1	197.76	1.1	221.05	1.9	220.91	1.7	Cut off
2	242.49	2.1	220.94	1.3	220.33	1.7	Cut off
3	220.04	1.7	197.90	1.4	221.73	1.9	Cut off
4	220.12	1.6	242.26	2.2	219.82	1.4	Cut off
5	219.85	1.9	221.87	1.6	197.42	1.3	Cut off

ตารางที่ 4-6 แสดงการตัดวงจรของระบบป้องกันเมื่อกระแสและแรงดันมีการเปลี่ยนแปลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.5 ข้อมูล log ที่บันทึกผ่านโปรแกรม Microsoft Excel ในขณะที่มอเตอร์เหนี่ยวนำทำงาน โดยเราสามารถกำหนดความถี่ในการบันทึกข้อมูลได้ ซึ่งข้อมูลที่เรากำหนดไว้ นั้น เป็นประโยชน์สำหรับการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นต่อตัวมอเตอร์ย้อนหลังได้อีกด้วย จากตัวอย่างตารางด้านล่างเป็นการบันทึกข้อมูล 30 ครั้งในเวลา 20 นาที

Time	VA	VB	VC	IA	IB	IC	Temp 1	Temp	Speed	Alarm
21:10:45	219.8593	220.4991	221.1868	1.63964	1.63964	1.915506	35.58944	36.55132	1498.999	Normal
21:11:01	220.1321	220.4991	220.9141	1.63964	1.915506	1.63964	36.55132	36.55132	1498.999	Normal
21:11:31	219.8593	220.7747	221.7322	1.63964	1.63964	1.63964	36.55132	37.03226	1498.999	Normal
21:12:01	220.9503	220.7747	221.7322	1.63964	1.915506	1.63964	36.79179	37.5132	1498.999	Normal
21:12:31	221.223	220.4991	220.9141	1.63964	1.63964	1.63964	37.27273	37.75367	1498.999	Normal
21:13:01	220.9503	220.4991	220.3688	1.63964	1.63964	1.63964	37.75367	37.75367	1498.999	Normal
21:13:31	221.223	221.0502	220.0961	1.63964	1.63964	1.915506	37.75367	38.2346	1498.999	Normal
21:14:01	221.4958	220.7747	220.3688	1.63964	1.63964	1.63964	37.75367	38.2346	1498.999	Normal
21:14:31	220.9503	220.7747	220.0961	1.63964	1.63964	1.915506	38.2346	38.2346	1498.999	Normal
21:15:01	221.223	220.4991	219.8234	1.63964	1.63964	1.63964	38.2346	38.2346	1498.999	Normal
21:15:31	220.9503	221.0502	220.3688	1.63964	1.63964	1.63964	38.2346	39.67742	1498.999	Normal
21:16:01	221.7685	220.7747	220.0961	1.63964	1.63964	1.63964	39.19648	39.91789	1498.999	Normal
21:16:31	221.4958	221.0502	220.3688	1.63964	1.915506	1.63964	39.19648	40.15836	1521.433	Normal
21:17:01	221.223	221.3257	220.3688	1.63964	1.63964	1.915506	39.91789	40.15836	1498.999	Normal
21:17:31	221.4958	221.0502	220.3688	1.63964	1.63964	1.63964	39.91789	40.6393	1498.999	Normal
21:18:01	221.4958	221.3257	220.6415	1.63964	1.63964	1.915506	40.15836	41.12024	1498.999	Normal
21:18:31	221.4958	221.3257	220.3688	1.63964	1.63964	1.63964	40.15836	41.12024	1498.999	Normal
21:19:01	221.7685	221.3257	220.3688	1.63964	1.63964	1.63964	40.87977	42.32258	1498.999	Normal
21:19:31	221.223	221.0502	219.8234	1.63964	1.63964	1.63964	41.12024	41.3607	1498.999	Normal
21:20:01	221.4958	221.3257	220.3688	1.63964	1.63964	1.63964	41.3607	42.32258	1498.999	Normal
21:20:31	221.4958	221.3257	220.3688	1.63964	1.63964	1.63964	42.32258	42.32258	1498.999	Normal
21:21:01	221.4958	221.3257	220.3688	1.63964	2.007462	1.63964	42.32258	42.56305	1498.999	Normal
21:21:31	221.4958	221.3257	219.8234	1.63964	1.63964	1.63964	42.32258	42.80352	1521.433	Normal
21:22:01	221.4958	221.6013	220.3688	1.63964	1.63964	1.63964	42.56305	43.04399	1498.999	Normal
21:22:31	221.4958	221.3257	219.8234	1.63964	1.63964	1.63964	42.56305	43.28446	1498.999	Normal
21:23:01	221.7685	221.3257	220.3688	1.63964	1.63964	1.63964	42.56305	44.24633	1498.999	Normal
21:23:31	221.4958	221.0502	220.3688	1.63964	1.63964	1.63964	42.80352	43.7654	1498.999	Normal
21:24:01	221.4958	221.3257	220.3688	1.63964	1.63964	1.63964	43.04399	44.24633	1498.999	Normal
21:24:31	221.223	221.0502	220.6415	1.63964	1.63964	1.63964	43.7654	44.4868	1498.999	Normal

ตารางที่ 4-7 บันทึกข้อมูล log จากโปรแกรม MS-Excel

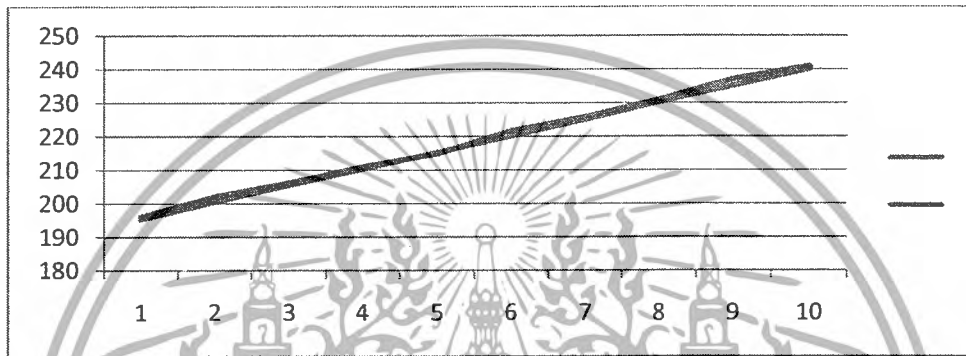
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

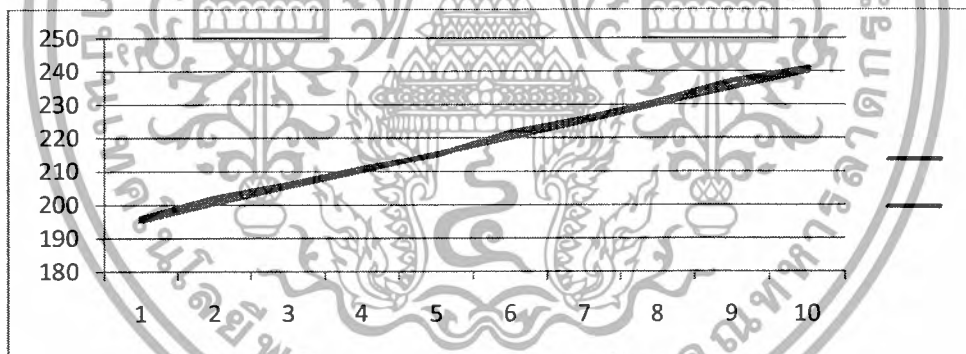
สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบเราสามารถสรุปผลของการทดสอบต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้

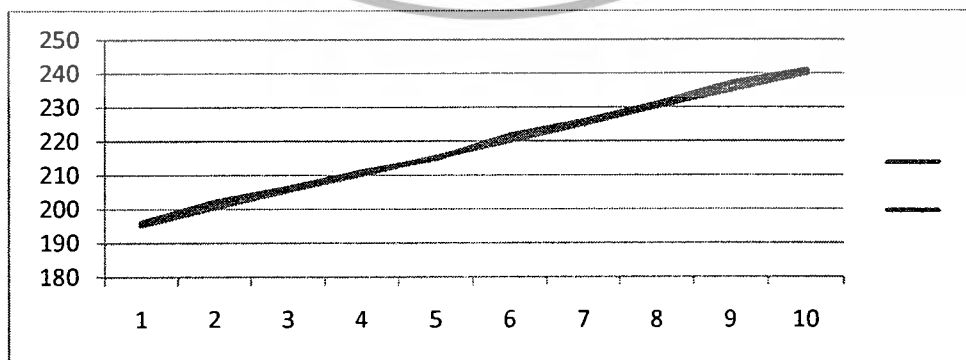
5.1 ชุดตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส เมื่อนำค่าที่ได้มาทำการเปรียบเทียบตามแผนภาพด้านล่าง



รูปที่ 5-1 แรงดันไฟฟ้า V_{AN}



รูปที่ 5-2 แรงดันไฟฟ้า V_{BN}



รูปที่ 5-3 แรงดันไฟฟ้า V_{CN}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

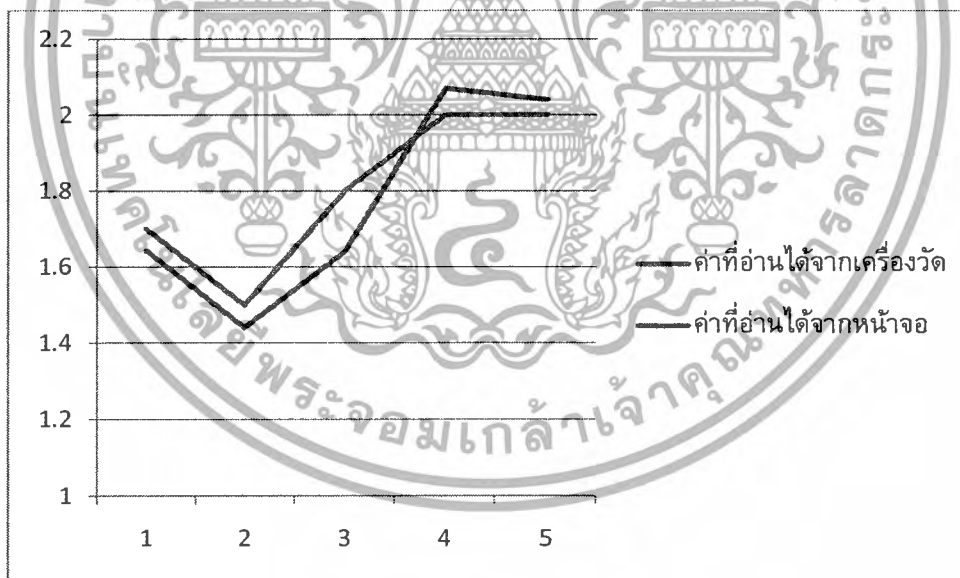
หาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ย

$$V_{AN} = \left[\frac{(217.760 - 218.343)}{217.760} \right] \times 100\% = 0.266\%$$

$$V_{BN} = \left[\frac{(217.894 - 218.822)}{217.894} \right] \times 100\% = 0.425\%$$

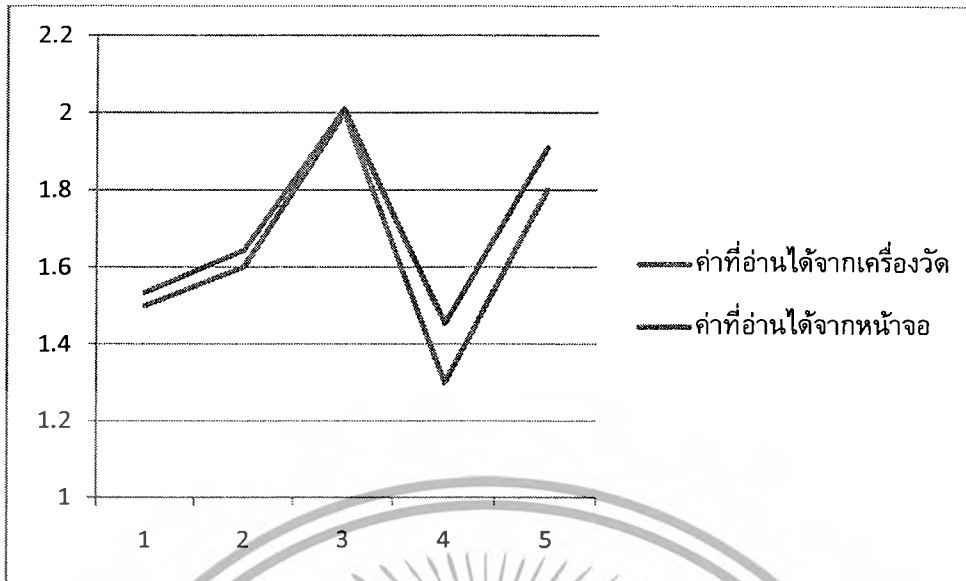
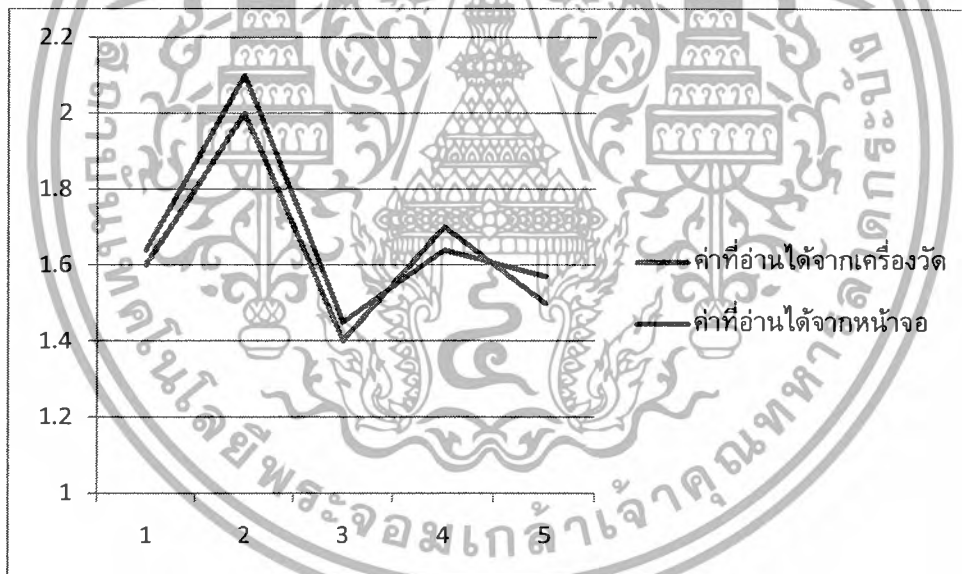
$$V_{CN} = \left[\frac{(217.808 - 218.726)}{217.808} \right] \times 100\% = 0.421\%$$

5.2 ชุดตรวจวัดกระแสไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส เมื่อนำค่าที่ได้มาทำการเปรียบเทียบตามแผนภาพด้านล่าง



รูปที่ 5-4 กระแส I_A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5-5 กระแส I_Bรูปที่ 5-6 กระแส I_C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

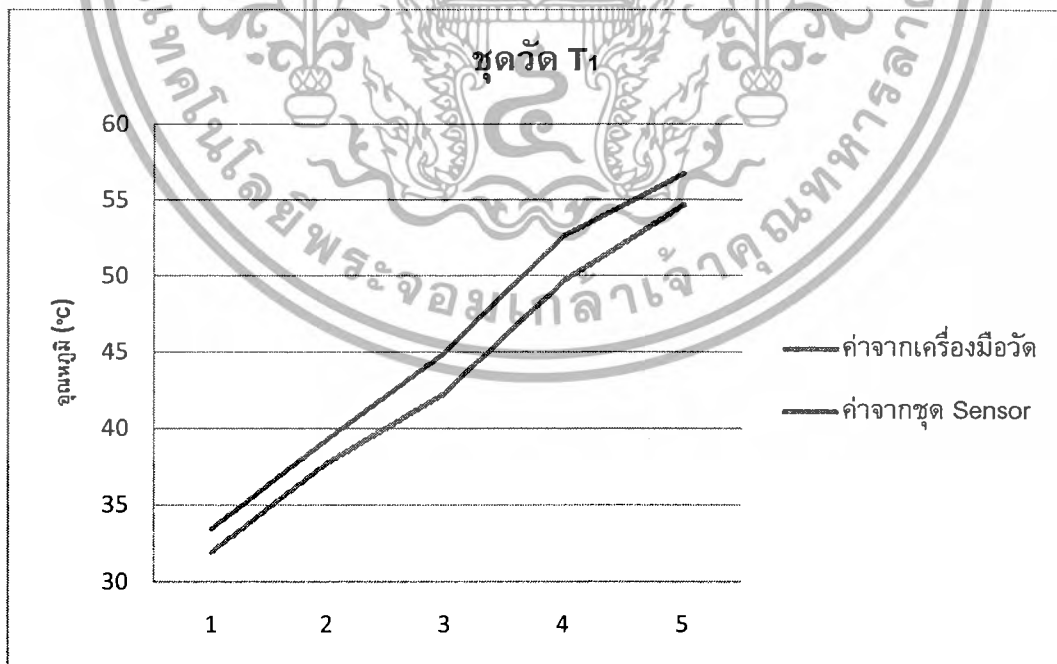
หาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ย

$$I_A = \left[\frac{(1.8-1.766)}{1.8} \right] \times 100\% = 1.88\%$$

$$I_B = \left[\frac{(1.64-1.7104)}{1.64} \right] \times 100\% = 4.29\%$$

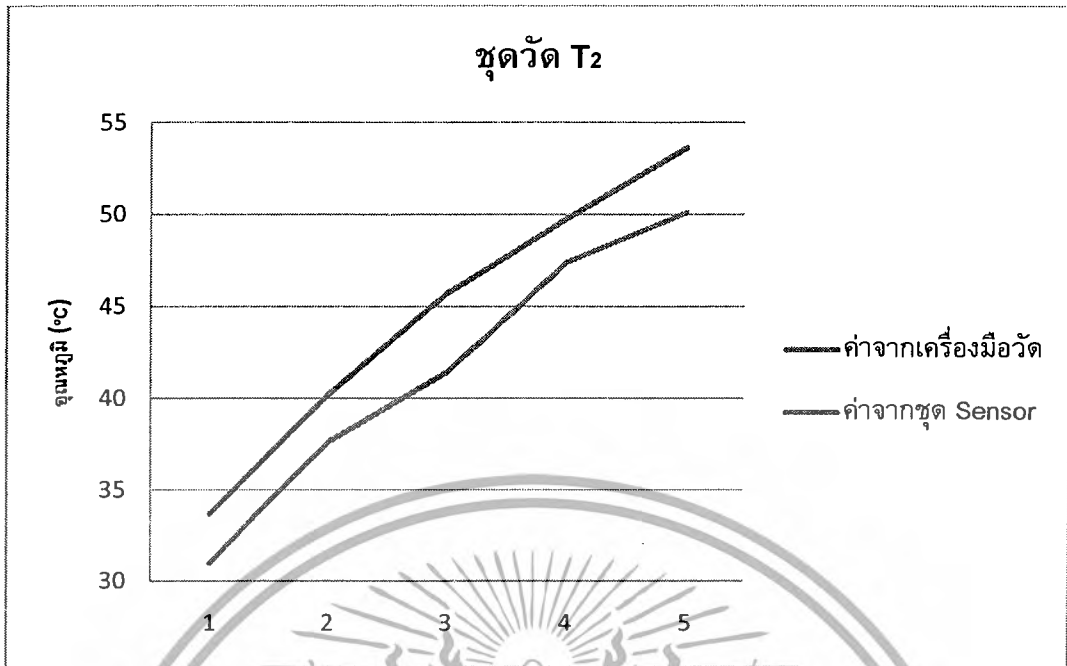
$$I_C = \left[\frac{(1.64-1.6796)}{1.64} \right] \times 100\% = 2.41\%$$

5.3 ชุดตรวจวัดอุณหภูมิ พบอุปสรรคในการเปรียบเทียบความแม่นยำชุดตรวจวัดอุณหภูมิคือ ไม่สามารถหาเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่วัดอุณหภูมิภายในตัวมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้ จึงจำเป็นต้องทำการวัดที่ภายนอกตัวมอเตอร์เหนี่ยวนำ ซึ่งค่าที่ได้อาจจะมีความแตกต่างกันอยู่พอสมควร แต่อย่างไรก็ดี เมื่อเรานำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกัน จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่ภายในขดลวดจะมีค่าสูงกว่าค่าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดซึ่งตรวจวัดอุณหภูมิที่ภายนอก ซึ่งตรงต่อหลักความเป็นจริงที่อุณหภูมิภายในตัวมอเตอร์เหนี่ยวนำต้องสูงกว่าภายนอก ทำให้เราสามารถเชื่อถือข้อมูลที่ได้จากชุดตรวจวัดว่า น่าจะมีความผิดพลาดไม่มาก



รูปที่ 5-7 เปรียบเทียบค่าจากเครื่องวัดและชุดตรวจวัด T₁

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-8 เปรียบเทียบค่าจากเครื่องวัดและชุดตรวจวัด T₁

5.4 สรุป

จากผลการทดสอบทั้งจากชุดตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า ชุดตรวจวัดกระแสและชุดตรวจวัดอุณหภูมิ จะเห็นได้ว่าค่าความผิดพลาดจากการอ่านค่าของพารามิเตอร์ที่หน้าจอ Visual Display เมื่อเทียบกับค่าที่วัดโดยเครื่องมือวัดแล้ว ถือว่ามีความผิดพลาดน้อยมากอยู่ในเกณฑ์ที่เรายอมรับได้ คือความผิดพลาดของชุดตรวจวัดแรงดันเฉลี่ยแล้วต่ำกว่า 1% ส่วนความผิดพลาดชุดตรวจวัดกระแสต่ำกว่า 3% และชุดตรวจวัดอุณหภูมิมีค่าความผิดพลาดอยู่ที่ไม่เกิน

นอกจากนี้จากการทดสอบระบบป้องกันตัวมอเตอร์เหนี่ยวนำ จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าเมื่อพารามิเตอร์ที่เราทำการตรวจวัด เกินกว่าหรือนอกเหนือจากช่วงเงื่อนไขที่เรากำหนด ระบบป้องกันมอเตอร์ จะตัดวงจรการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำทันทีโดยถือว่าระบบป้องกันทำงานที่ 100% อีกทั้งชุดบันทึกข้อมูล log ที่สร้างขึ้นสามารถจัดเก็บข้อมูลได้จริง ตามสภาวะการทำงานของตัวมอเตอร์เราสามารถดูข้อมูลย้อนหลังได้ ในกรณีที่เราไม่ได้อยู่ที่หน้าจอ Visual Display ซึ่งถึงแม้ว่าระบบจะตัดการทำงานไปแล้ว เรายังสามารถกลับมาดูข้อมูลได้ว่าระบบป้องกันตัดวงจรการทำงานอันเนื่องมาจากสาเหตุใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าระบบติดตามเฝ้าระวังและป้องกันมอเตอร์ที่เราสร้างขึ้นนั้น มีประสิทธิภาพในงานใช้งานในระดับพอใช้ได้ โดยสามารถนำแนวทางที่เราได้ศึกษาและออกแบบไว้ สำหรับต่อยอดเพื่อใช้ในงานอุตสาหกรรมเชิงพาณิชย์ได้ หรือหากเราทำการเพิ่มชุดตรวจวัดพารามิเตอร์ต่าง ๆ เข้าไป ระบบนี้จะสามารถใช้เป็นชุดวิเคราะห์การทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำสำหรับการวิเคราะห์ใช้งานในสภาวะ Dynamics Model ได้อีกทางหนึ่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] การเขียนคำสั่ง PLC ด้วย CX-Programmer, Omron Electronics Co., LTD.
- [2] ชัยวุฒิ ฉัตรอุทัย, **Electrical Machine**, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [3] ทีมงานฟิสิกส์ราชมงคล, ฟิสิกส์ 2, ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2550
- [4] นรเศรษฐ พัฒนเดช, วัสดุวิศวกรรมไฟฟ้า 2, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2550.
- [5] สอน LabVIEW ขั้นต้น, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [6] อัจฉินต์ น่วมสำราญ, **Visual Instrument**, ภาควิชาวิศวกรรมวัดคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [7] I. Colak, H. C elik, I. Sefa, and S. Demirbas, "On line protection system for induction motors," *Energy Convers. Manage.* vol. 46, 2005.
- [8] M. Benbouzid, M. Vieira, C. Theys, "Induction motor's fault detection and localization using stator current advanced signal processing techniques", *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 14, January 1999. pp. 14-22
- [9] NEMA [MG1-10.XX], "Motors and Generators Standard", Revision 1, 2000
- [10] Ramazan Bayindir, Ibrahim Sefa, Ilhami Colak, Askin Bektas, **Fault Detection and Protection of Induction Motors Using Sensors**, Technical Education Faculty, Department of Electrical Education, Gazi University, SEPTEMBER 2008.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การใช้โปรแกรม LabVIEW

LabVIEW เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างเพื่อนำมาใช้ในด้านการวัดและเครื่องมือวัด สำหรับงานทางวิศวกรรม LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench ซึ่งหมายความว่า เป็นโปรแกรมที่สร้าง เครื่องมือวัดเสมือนจริงในห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรม ดังนั้นจุดประสงค์หลักของการทำงานของโปรแกรมนี้ก็คือการจัดการในด้านการวัดและเครื่องมือวัด อย่างมีประสิทธิภาพ และในตัวของโปรแกรมจะประกอบไปด้วยฟังก์ชันที่ใช้ช่วยในการวัดมากมายและแน่นอนที่สุดโปรแกรมนี้จะมีประโยชน์อย่างสูงเมื่อใช้ร่วมกับเครื่องมือวัดทางวิศวกรรมต่างๆ

สิ่งที่ LabVIEW แตกต่างจากโปรแกรมอื่นอย่างเห็นได้ชัดที่สุดก็คือ LabVIEW นี้เป็นโปรแกรมประเภท GUI (Graphic User Interface) โดยสมบูรณ์ นั่นคือเราไม่จำเป็นต้องเขียน code หรือคำสั่งใดๆ ทั้งสิ้น และที่สำคัญลักษณะภาษาที่ใช้ในโปรแกรมนี้เราจะเรียกว่าเป็นภาษารูปภาพ หรือเรียกอีกอย่างว่าภาษา G (Graphical Language) ซึ่งจะแทนการเขียนโปรแกรมเป็นบรรทัดอย่างที่เรารู้จักกับภาษาพื้นฐาน เช่น C, BASIC หรือ FORTRAN ด้วยรูปภาพหรือสัญลักษณ์ทั้งหมด ซึ่งแม้ว่าในเบื้องต้นเราอาจจะสับสนกับการจัดเรียงหรือเขียนโปรแกรมบ้าง แต่เมื่อเรารู้จักกับการใช้โปรแกรมนี้แล้วเราจะพบว่า LabVIEW นี้มีความสะดวกและสามารถลดเวลาในการเขียนโปรแกรมลงไปได้มาก โดยเฉพาะในงานเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นๆ เพื่อใช้ในการวัดและการควบคุม

สำหรับผู้ที่เคยใช้โปรแกรมประเภทที่ใช้ตัวหนังสือ หรือที่เรียกว่า Text Base ทั้งหมด คงจะทราบถึงความยุ่งยากในการจัดการกับตำแหน่งการส่งผ่านข้อมูลตามอุปกรณ์เชื่อมต่อเช่น Port หรือ Card ต่างๆ รวมถึงการจัดวางตำแหน่งในหน่วยความจำเพื่อที่จะสามารถรวบรวมข้อมูลมาใช้ในการคำนวณและเก็บข้อมูลให้ได้ประโยชน์สูงสุด ปัญหาเหล่านี้ได้รับการแก้ไขใน LabVIEW โดยได้มีการบรรจุโปรแกรมจำนวนมาก หรือ Libraries ไว้สำหรับจัดการกับปัญหาเหล่านั้น ไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์การเชื่อมต่อจะเป็น DAQ (Data Acquisition), GPIB (General Purpose Interface Bus หรือก่อนหน้านี้รู้จักกันในชื่อ Hewlett Packard Interface Bus, HP-IB), พอร์ตอนุกรม หรือ Serial Port เพื่อใช้ติดต่อกับอุปกรณ์ที่ส่งผ่านข้อมูลแบบอนุกรม (Serial Instrument) รวมถึงการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ด้วยวิธีการต่างๆ นอกจากนี้ใน Libraries เหล่านี้ ยังได้บรรจุฟังก์ชันการทำงานที่สำคัญอีกหลายประการเช่น signal generation, signal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

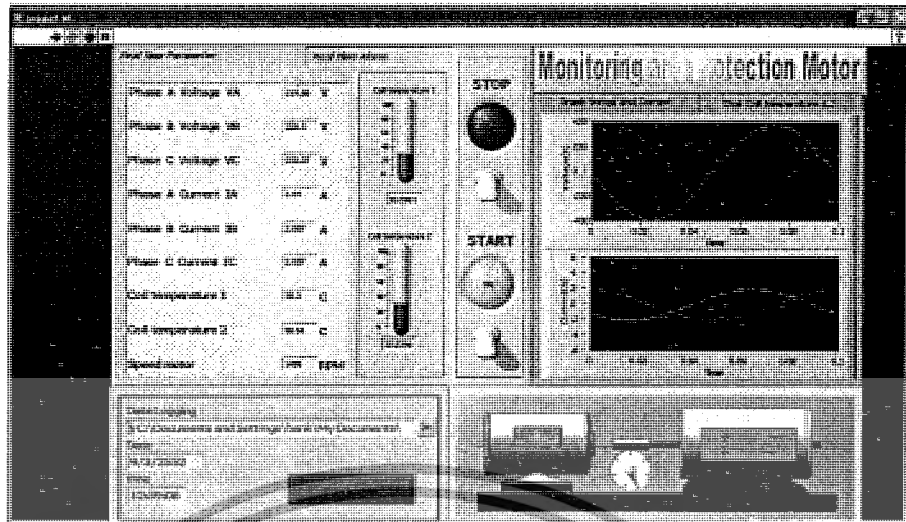
processing, filters, สถิติ, พีชคณิต และคณิตศาสตร์อื่นๆ ดังนั้น LabVIEW จึงทำให้การ วัดและการใช้เครื่องมือวัดกลายเป็นเรื่องง่ายลงไปมาก และทำให้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลของเรา กลายเป็นเครื่องมือทางด้านกรวัดหลายชนิดอยู่ในเครื่องเดียว

โปรแกรมที่เขียนขึ้นมาโดย LabVIEW เราจะเรียกว่า **Virtual Instrument (VI)** เพราะลักษณะที่ปรากฏทางจอภาพเมื่อผู้ใช้ใช้งานจะเหมือนกับเครื่องมือหรืออุปกรณ์ทางวิศวกรรม ในขณะเดียวกันหลังจากของอุปกรณ์เสมือนจริงเหล่านั้นจะเป็นการทำงานของ ฟังก์ชัน, Subroutines และโปรแกรมหลักเหมือนกับภาษาทั่วไป สำหรับ VI หนึ่งๆ จะประกอบด้วย ส่วนประกอบที่สำคัญสามส่วนคือ

1. Front Panel
2. Block Diagram
3. Icon และ Connector

ทั้งสามส่วนนี้จะประกอบกันขึ้นมาเป็นอุปกรณ์เสมือนจริง ลักษณะและหน้าที่ของ ส่วนประกอบทั้งสามมีดังต่อไปนี้

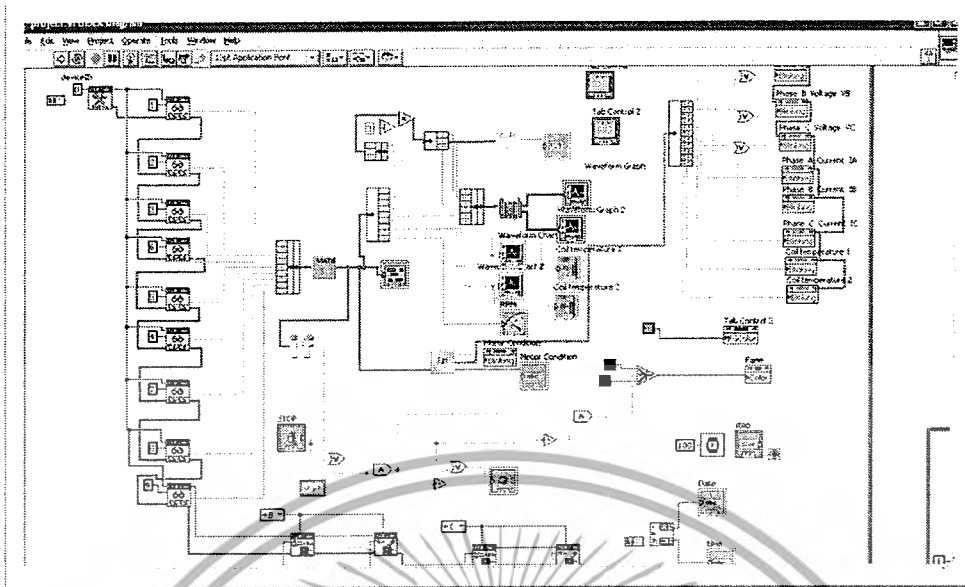
1. Front Panel หรือหน้าปัทม์ จะเป็นส่วนที่ใช้สื่อความกันระหว่างผู้ใช้กับโปรแกรม (หรือที่นิยมเรียก user interface) โดยทั่วไปจะมีลักษณะเหมือนกับหน้าปัทม์ของเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ทางด้านกรวัดต่างๆ ไปด้วยทั่วไปจะประกอบด้วย สวิตช์ปิดเปิด, ปุ่มมิด, ปุ่มกด จอแสดงผลหรือแม้แต่ค่าที่ผู้ใช้สามารถกำหนด ดังนั้นสำหรับผู้ที่คุณเคยกับการเขียนโปรแกรมประเภท Visual ทั้งหลายคงจะเข้าใจถ้าหากบอกว่า Front Panel นี้จะเปรียบเสมือน เป็น GUI ของโปรแกรมหรือ VI นั้นเอง ลักษณะของ Front Panel แสดงในรูปต่อไปนี้



รูปที่ 1 Front Panel

2. **Block Diagram** เพื่อให้เกิดความเข้าใจง่ายขึ้น เราอาจมอง Block Diagram นี้เป็นเสมือนกับ Source Code หรือโปรแกรมของ LabVIEW ซึ่งปรากฏว่าอยู่ในรูปของภาษา G ซึ่ง Block Diagram นี้ ถือเป็น Executable Program คือสามารถที่จะทำงานได้ทันที และข้อดีอีกประการหนึ่งก็คือ LabVIEW จะมีการตรวจสอบความผิดพลาดของโปรแกรมตลอดเวลา ทำให้โปรแกรมจะทำงานได้ก็ต่อเมื่อไม่มีข้อผิดพลาดในโปรแกรมเท่านั้น โดยผู้ใช้สามารถที่จะดูรายละเอียด ของความผิดพลาดแสดงให้เห็นได้ตลอดเวลาทำให้การเขียนโปรแกรมนั้นง่ายขึ้นมาก

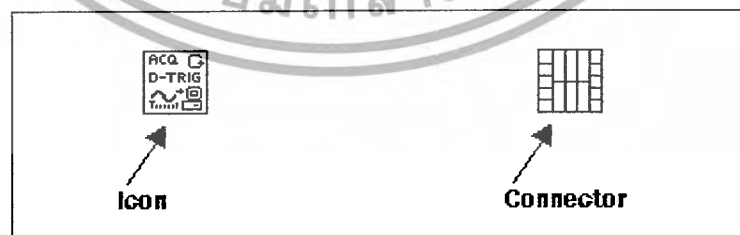
ส่วนประกอบภายใน Block Diagram นี้จะประกอบด้วย ฟังก์ชัน ค่าคงที่ โปรแกรมควบคุมการทำงานหรือโครงสร้าง จากนั้นในแต่ละส่วนเหล่านี้ ซึ่งจะปรากฏในรูปของ Block เราจะได้รับ การต่อสาย (wire) สำหรับ Block ที่เหมาะสมเข้าด้วยกัน เพื่อกำหนดลักษณะการไหลของข้อมูลระหว่าง block เหล่านั้น ทำให้ข้อมูลได้รับการประมวลผลตามที่ต้องการ และแสดงผลออกมาให้แก่ผู้ใช้ต่อไป



รูปที่ 2 Block Diagram

3. **Icon และ Connector** เปรียบเสมือนโปรแกรมย่อย Subroutine ในโปรแกรมปกติ ทั่วๆ ไปโดย icon จะหมายถึง block diagram ตัวหนึ่งที่มีการส่งข้อมูลเข้าและออกผ่านทาง Connector ซึ่งใน LabVIEW เราจะเรียก Subroutine นี้ว่า **subVI** ข้อดีของการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา G นี้ก็คือเราสามารถสร้าง VI ที่ละส่วนขึ้นมาให้ทำงานด้วยตัวเองได้อย่างอิสระ จากนั้นในภายหลังหากเราต้องการเราก็สามารถเขียนโปรแกรมอื่นขึ้นมาเพื่อเรียกใช้งาน VI ที่เราเคยสร้างขึ้นก่อนหน้านี้ทีละตัว ซึ่งทำให้ VI ที่เราเขียนขึ้นก่อนกลายเป็น subVI ไป การเขียนในลักษณะนี้เราเรียกว่า เขียนเป็น module

สำหรับลักษณะทั่วไปของ Icon และ Connector จะแสดงในรูปต่อไปนี้ เราจะเห็นว่าเมื่อเราแสดงในรูปของ Connector เราจะพบว่า มีช่องต่อข้อมูลหรือที่เรียกว่า Terminal ปรากฏให้เห็น



รูปที่ 3 แสดงการโชว์ Connector ของ subVI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำศัพท์ต่างๆที่ใช้กันใน LabVIEW นี้ก็จะแตกต่างจากที่เราใช้กันในภาษาการเขียนโปรแกรมตัวหนังสือต่างๆไปในหลายๆด้าน ดังนั้นเพื่อให้ผู้ที่เริ่มใช้ LabVIEW เข้าใจถึงศัพท์ต่างๆที่ใช้ในโปรแกรม เราจะขอเปรียบเทียบศัพท์ใช้ใน LabVIEW กับโปรแกรมพื้นฐานต่างๆไปตามตารางที่ได้แสดงต่อไปนี้

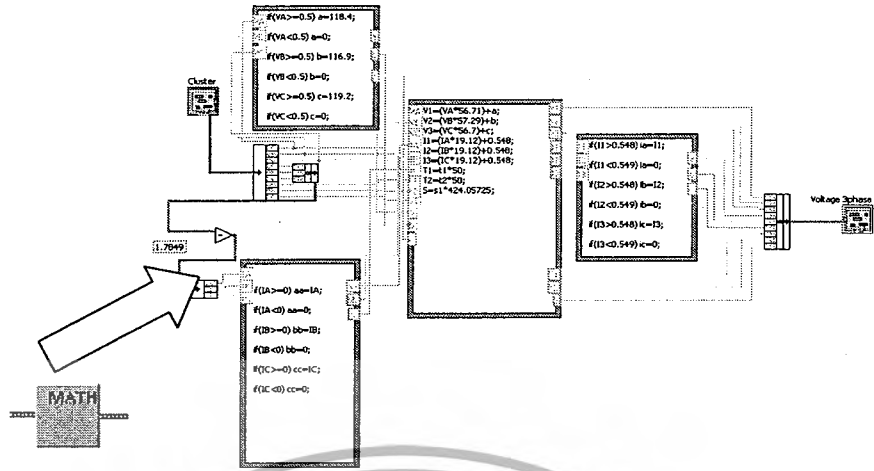
LabVIEW	โปรแกรมพื้นฐาน	หน้าที่
VI	Program	ตัวโปรแกรมหลัก
Function	function	ฟังก์ชันสำเร็จรูปที่สร้างขึ้นมากับโปรแกรมนั้นเช่น sin, log เป็นต้น
SubVI	Subroutine	โปรแกรมย่อยที่ถูกเรียกใช้โดยโปรแกรมหลัก
Front Panel	user interface	ส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้
Block Diagram	Program code	การเขียนตามขั้นตอนของที่แต่ละโปรแกรมกำหนดขึ้น

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบ LabVIEW

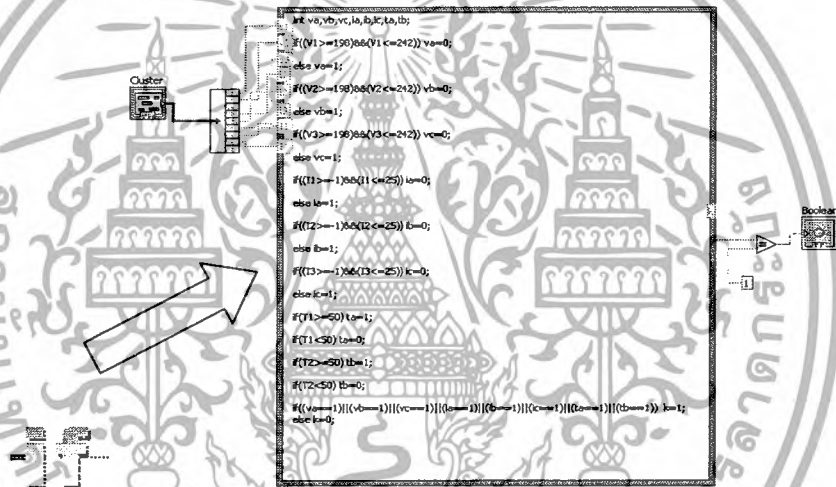
การสร้างโปรแกรม SubVI

SubVI คือ ในการสร้างโปรแกรม VIs ที่มีขนาดใหญ่และมีความสลับซับซ้อนจะทำให้ยากในการตรวจสอบการทำงานของโปรแกรม ในโปรแกรม LabVIEW นั้นจะสามารถสร้างโปรแกรมที่มีขนาดใหญ่ให้เหลือเพียงไอคอนตัวเดียวซึ่งเราเรียกวิธีการนี้ว่าการสร้าง SubVI ในตัวอย่างการสร้าง SubVI ในรูปที่ 2-39 เป็นโปรแกรม บวก คูณ และเปรียบเทียบ ซึ่งฟังก์ชันการทำงานของโปรแกรมจะมีอยู่ 3 ตัวซึ่งเริ่มที่จะมีฟังก์ชันการทำงานที่มากขึ้นเราสามารถ ยูปให้เป็นไอคอนเพียงตัวเดียวได้เพื่อให้สามารถตรวจสอบโปรแกรมได้ง่ายขึ้นและลดขนาดของโปรแกรมด้วยการสร้าง SubVI สามารถสร้างได้จาก VI ในหน้าต่างบล็อกไดอะแกรมเมื่อเราสร้าง SubVI เสร็จแล้วฟังก์ชันการทำงานจะเหลือเป็นไอคอนตัวเดียวและที่ไอคอนจะมีคอนเน็คเตอร์ของอินพุตและเอาต์พุตเพื่อต่อใช้งานกับ VI

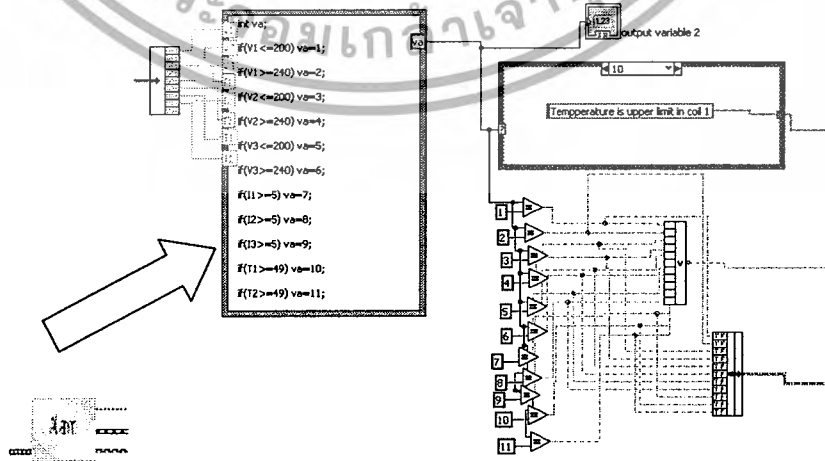
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 เป็น SubVI ที่ใช้ในการคำนวณสมการแก้ค่า

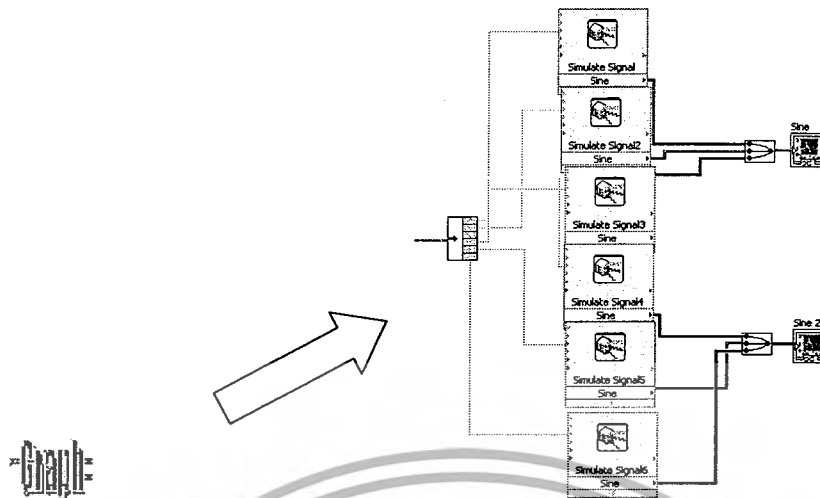


รูปที่ 5 เป็น SubVI ที่เขียนขึ้นเพื่อใช้ในการป้องกันมอเตอร์



รูปที่ 6 เป็น SubVI ที่เขียนขึ้นเพื่อเป็นการแสดงสถานะการป้องกันมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตให้ดำเนินการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7 เป็นSubVIที่เขียนขึ้นเพื่อเป็นการแสดงการพล็อตกราฟของแรงดันและกระแส

Terminal

ทุกครั้งที่เราสร้าง Control หรือ Indicator บน Front Panel ใน Window ของ Block Diagram จะปรากฏ Terminal ขึ้น Terminal ก็คล้ายกับสถานีของข้อมูลก็จะเป็นทั้งสถานีต้นทางของข้อมูลถ้า Terminal นั้นเป็น Terminal ของ Controls และขณะเดียวกันก็จะเป็นทั้งสถานีปลายทางของข้อมูลถ้า Terminal นั้นเป็น Terminal ของ Indicator

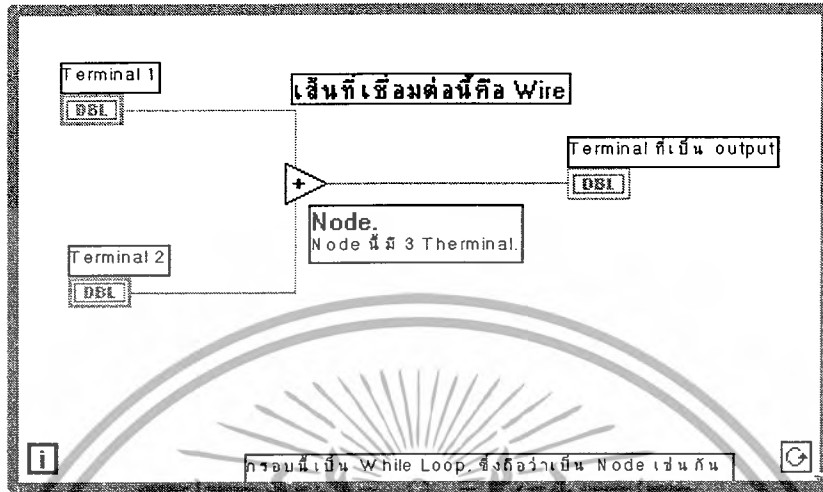
ข้อที่ควรเข้าใจอย่างหนึ่งก็คือ Object นี้เกิดขึ้นจากการเขียนขึ้นบน Front Panel ดังนั้นเมื่อเรา จะไม่สามารถลบ Terminal ออกจาก Block Diagram ได้ และถ้าหากเราจะลบ Control หรือ Indicator นั้นออกไปจาก Front Panel แล้ว Terminal เหล่านี้ก็จะหายไปจาก Block Diagram เช่นกัน สำหรับ ลักษณะของตัวแปรต่างๆเราจะกล่าวในบทต่อไป

Node

Node เป็นคำที่ใช้เรียก object ที่ทำการมวิธีใดๆ เพื่อประมวลข้อมูลใน Block Diagram เช่นเดียวกับที่เราเขียน Flow Chart แล้วใช้สัญลักษณ์ต่างๆแทนวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล เมื่อมีข้อมูลเข้าสู่ node สิ่งที่เกิดขึ้นภายใน node ก็จะมีขึ้นอยู่กับว่าจะกำหนดให้ข้อมูลที่ส่งเข้าไปนั้น จะมีการประมวลผล อย่งไร ซึ่งอาจจะเป็นการบวก ลบ คูณ หาร หาราก ยกกำลัง หรือเป็นประเภทการเปรียบเทียบข้อมูล ว่ามากหรือน้อยกว่า หรืออื่นๆ ซึ่งจะเป็นการประมวลผลทางคณิตศาสตร์ทั่วไป นอกเหนือจากนั้น node นี้จะมีส่วนที่เรียกว่า Function แบบต่างๆ ซึ่งจะเหมือนกับ Function สำเร็จรูปเช่น sine, cosine, log เป็นต้น ซึ่งก็จะเหมือนกับในภาษาที่เป็นตัวอักษรต่างๆ ไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปต่อไปนี้จะแสดงถึงลักษณะของ Node และ Terminal ที่บรรจุอยู่ภายใน Block Diagram ของ LabVIEW



รูปที่ 8 แสดงถึงลักษณะของ Node และ Terminal ที่บรรจุอยู่ภายใน Block Diagram

นอกเหนือจากการประมวลผลทางคณิตศาสตร์แล้ว เรายังมี node ประเภท Structure หรือ Control Flow อีกด้วย (ในภาษาอังกฤษ Structure Command จะเป็น คำสั่งจำพวก IF...THEN, FOR..., WHILE... เป็นต้น)

Wires

ขณะที่เรามีที่มาของข้อมูล ส่วนประมวลหรือปรับแต่งข้อมูล และส่วนแสดงผลข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือเราจะต้องสามารถควบคุมการส่งผ่านข้อมูลให้เป็นไปตามที่เราต้องการ อุปกรณ์ที่ใช้ใน LabVIEW ก็คือ การต่อสาย หรือ Wires ซึ่งจะเป็นการเชื่อมการส่งข้อมูลระหว่าง terminal หรือ node ต่างๆที่มีใน Block Diagram นี้เข้าด้วยกัน โดย wires นี้จะเป็นการกำหนดเส้นทางของข้อมูลว่าเมื่อออกจาก terminal หนึ่งแล้ว จะกำหนดการไหลไปที่ node ใดบ้าง มีลำดับเป็นอย่างไร และสุดท้ายจะให้แสดงผลที่ terminal ใดนั่นเอง ซึ่งการเชื่อมต่อสายนี้จะทำให้เราเข้าใจถึงหลักการของ Data Flow Programming ได้ดีขึ้น

เนื่องจากข้อมูลนั้นมีหลายแบบไม่ว่าจะเป็นเลขทศนิยม, เลขจำนวนจริง, ตัวอักษร หรือค่าจริง-เท็จ (Boolean) ดังนั้นเพื่อแสดงถึงความแตกต่างของข้อมูลแต่ละแบบ LabVIEW จึงได้กำหนดให้ลักษณะของ wires สำหรับข้อมูลแต่ละแบบมีลักษณะของเส้นและสีที่แตกต่างกัน นอกจากนั้นข้อมูลแต่ละแบบดังกล่าวยังอาจมีลักษณะเป็น scalars, 1-D array, 2-D array ได้ซึ่งลักษณะของเส้นของข้อมูลแต่ละแบบก็จะแตกต่างออกไปอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางต่อไปนี้จะแสดงถึงลักษณะของเส้น wire เมื่อใช้เชื่อมต่อระหว่างข้อมูลแต่ละชนิด

	Scalars	1-D Array	2-D Array	สี
เลขทศนิยม	-----	-----	-----	ส้ม
เลขจำนวนเต็ม	-----	=====	=====	น้ำเงิน
Boolean	-----	-----	-----	เขียว
ตัวอักษร	-----	-----	-----	ชมพู

รูปที่ 2 แสดงถึงลักษณะของเส้น wire

โดยปกติการต่อข้อมูลระหว่าง Node หรือ Terminal จะกำหนดแน่นอนว่าต้องการข้อมูลลักษณะใด เช่นถ้า Node ต้องการตัวเลข เราจำเป็นต้องต่อสายตัวเลขเข้ากับ Node นั้น ถ้าหากเราต่อสายจากตัวอักษรเข้าใน terminal ที่ต้องการตัวเลข สายต่อนั้นจะกลายเป็นสายต่อเสีย หรือ Bad Wire และโปรแกรมก็จะไม่สามารถทำงานต่อไปได้


เราจะเข้าใจหลักการของ Data Flow Programming ได้ในขณะที่เราต่อสายระหว่าง terminal และ Node ต่าง ๆ เข้าด้วยกัน ซึ่งหลักการทำงานของ Data Flow Programming จะต่างจากการเขียนโปรแกรมโดยใช้ตัวอักษร เพราะในโปรแกรมตัวอักษรคำสั่งจะถูกส่งเข้าสู่ส่วนประมวลผลที่ละบรรทัดเพื่อการคำนวณตามลำดับบรรทัด แต่ใน Data Flow นั้น โปรแกรมจะคำนวณเมื่อมีข้อมูลส่งเข้ามาถึง Input ของ Node นั้นๆ ครบ และเมื่อข้อมูลส่งครบเข้าถึง Node นั้นแล้ว จะมีการประมวลผลและส่งค่าที่ได้ออกไปตามการต่อเชื่อมสาย การคำนวณจะเสร็จสิ้นในแต่ละรอบเมื่อข้อมูลส่งข้ามไปถึง Terminal สุดท้าย การประมวลผลไม่ได้เป็นไปตามลำดับการจัดวางคือไม่ได้ทำจากซ้ายไปขวาหรือบนลงล่าง แต่เป็นไปตามขั้นตอนการเดินทางของข้อมูลซึ่งในการเขียนโปรแกรมในเบื้องต้นผู้ที่คุ้นเคยกับภาษาดูหนังสือโดยทั่วไปอาจจะต้องใช้เวลาสักระยะเพื่อที่จะทำความเข้าใจการทำงานของ LabVIEW

Icon และ Connector

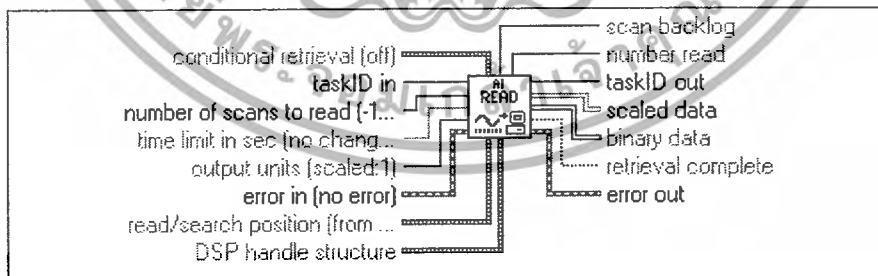
ถ้าเรารู้คุ้นเคยกับการเขียนโปรแกรมเป็นตัวอักษร เราคงทราบว่าเราสามารถเขียนโปรแกรมย่อยขึ้นมาเพื่อใช้ร่วมกับโปรแกรมหลัก โดยการเขียนโปรแกรมย่อยหรือ Subroutine นี้จะมีประโยชน์มากในกรณีที่จะต้องทำการประมวลผลย่อย ในภาษารูปภาพก็เช่นกันเราสามารถที่จะสร้าง Subroutine ขึ้นมาได้ ซึ่งเราจะเรียกว่า **subVI** โดย สำหรับข้อดีของการเขียนด้วยภาษารูปภาพนี้ก็คือ ทุก VI ที่เราเขียนขึ้นมาสามารถทำหน้าที่เป็น subVI ได้ แต่เนื่องจากเราจำเป็นต้องกำหนดลักษณะของ subVI ให้เป็นรูปภาพ และมีช่องที่จะต้องส่งเข้าสู่ subVI นั้น เราจึงได้กำหนด Icon และ Connector ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากเราจะกล่าวคร่าวๆ icon นี้ก็อาจจะมองว่าเป็น node ในอีกรูปแบบหนึ่งก็ได้ โดย Icon จะหมายถึง Node ของ subVI ในทุกครั้งที่เราเขียน VI เราจะพบว่า LabVIEW จะให้ VI นั้นสามารถทำงานเป็น subVI ได้ถ้าหากเราต้องการ โดยที่ LabVIEW จะกำหนด icon ให้กับทุก VI ที่เขียนขึ้น ซึ่งเราสามารถเปลี่ยนแปลงรูปแบบของ Icon ที่ LabVIEW เขียนขึ้นได้

 หากเราเปิด LabVIEW ใหม่ขึ้นมาเราจะสามารถสังเกตรูปของ Icon ที่ LabVIEW กำหนดขึ้นมาได้ โดยรูปของ icon จะปรากฏอยู่ที่มุมบนด้านซ้ายได้ Title Bar ของทั้งหน้าต่าง Block Diagram และ Front Panel

เมื่อเรานำ VI นี้ ไปใช้เพื่อเป็น subVI เราสามารถที่จะกำหนดให้มี Input และ Output ที่จะเข้าและออกจาก VI ของเราได้ ซึ่งการเข้าและออกของข้อมูลสู่ subVI นั้นจะผ่านทาง Connector ซึ่งหากจะเปรียบเทียบกับภาษาตัวอักษรที่เราคุ้นเคยแล้ว การใช้ Connector ก็เหมือนกับการใช้คำสั่ง parameter ในภาษา C หรือการใช้คำสั่ง Function ในภาษา FORTRAN นั่นคือการกำหนดว่าข้อมูลใดเป็นข้อมูลที่ส่งไปสู่ Subroutine และข้อมูลใดเป็นข้อมูลที่จะรับกลับออกมาจาก Subroutine ทำนองเดียวกันกับใน LabVIEW คือเราจะส่งข้อมูลเข้าสู่ Icon หรือ subVI โดยผ่านทาง Input connector เมื่อข้อมูลได้รับการประมวลใน subVI แล้วก็ส่งกลับมาทาง Output Connector Terminal โดยปกติแล้ว Connector จะถูกบังอยู่ด้านหลังของรูป Icon เราสามารถแสดงให้เห็น Connector ได้โดยการใช้คำสั่ง Show Connector ซึ่งรายละเอียดเหล่านี้จะกล่าวในภายหลัง ในรูปต่อไปนี้เป็น การแสดง Icon และ Connector ของ VI หนึ่งซึ่งเป็นส่วนที่มาพร้อมกับ LabVIEW ส่วนที่เป็นรูปตรงกลางเราเรียก Icon และส่วนที่เป็นสายต่อต่างๆ เราเรียก Connector



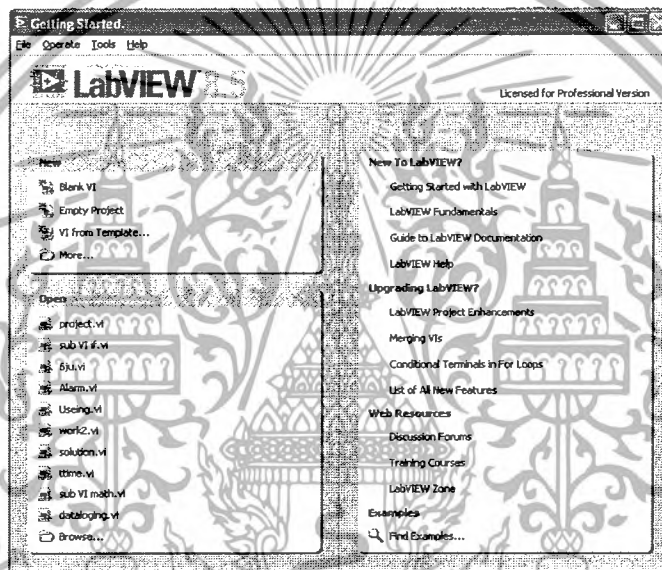
รูปที่ 9 แสดง Icon และ Connector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับรายละเอียดเกี่ยวกับการสร้าง Icon และการกำหนด Connector นี้จะกล่าวถึงในบทต่อไป หลังจากที่เราได้ทำความเข้าใจเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรมด้วย LabVIEW แล้ว

2. Menu and Palette

เมื่อเราเปิดโปรแกรม LabVIEW ขึ้นมาทำงานในครั้งแรก ใน LabVIEW 8.5 เราจะพบกับหน้าต่างของแรกของ LabVIEW ในลักษณะต่อไปนี้



รูปที่ 10 หน้าต่างของ LabVIEW

หน้าต่างนี้จะเป็นการสอบถามว่าเราต้องการจะทำอะไรต่อไป เช่น ต้องการจะเขียน VI ใหม่ หรือแก้ไข VI เดิม หรืออาจจะค้นหาตัวอย่าง VI รวมถึงการใช้ LabVIEW Tutorial ด้วย สำหรับในขั้นนี้เราต้องการจะดูส่วนประกอบต่างๆ ของ LabVIEW ดังนั้นเราจะลองเปิด VI ใหม่ขึ้น นั่นคือจากหน้าต่างแรกให้เราเลือก **New VI**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเราเลือกส่วนนี้ LabVIEW จะปรากฏหน้าต่าง ขึ้นอีกหลายชุด ซึ่งจะประกอบด้วย หน้าต่างต่อไปนี้

- ▶▶ Front Panel
- ▶▶ Block Diagram
- ▶▶ Controls Palette
- ▶▶ Functions Palette
- ▶▶ Tools Palette

อย่างไรก็ตามหน้าต่าง และ Palette เหล่านี้จะไม่ได้ปรากฏพร้อมกันทั้งหมดในตอนแรก จะมีเฉพาะบางส่วนเท่านั้นที่เราพบในตอนแรกที่เปิด LabVIEW เข้าไปทำงานใหม่ โดยหน้าต่างที่ active หรือพร้อมใช้งานหน้าต่างแรกคือหน้าต่าง front panel

รูปร่างของ Front Panel Windows ก็จะมีลักษณะคล้ายกับหน้าต่างของโปรแกรมที่ทำงานบน Windows ทั่วๆ ไป คือจะประกอบด้วย

Title Bar

Title Bar ซึ่งจะบอกชื่อของ Program ซึ่งในขณะนี้เราควรได้ชื่อ **Untitled 1** เพราะเรายังไม่ได้กำหนดชื่อ VI เพื่อ Save และจะมี ปุ่มหรือ Button เพื่อ Minimize, Maximize และ exit Button อยู่ด้านขวามือของ Title Bar เหมือนโปรแกรมอื่นๆ ใน Windows



Menu Bar

Menu Bar จะประกอบด้วยเมนูต่างๆ คล้ายกับโปรแกรมอื่นใน Windows คือ จะประกอบด้วย File, Edit, Operated, Project, Windows และ Help ซึ่งการเลือกใช้ได้ก็ทำได้เรา Click ที่เมื่อนั้น



หากเราลอง Click เมนูทีละส่วนตามไปเราจะได้ Pull Down Menu ออกมาจากแต่ละ menu หลัก ซึ่งในแต่ละ menu มีคำสั่งในแต่ละลักษณะต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

File Menu จะเป็นคำสั่งที่จะเปิด, เก็บ, พิมพ์ VI

Edit Menu จะเป็นคำสั่งที่จะแก้ไข เช่น undo (เริ่มมีใน LabVIEW 5.0) , cut, copy, Preference เป็นต้น

Operate Menu จะเป็นชุดคำสั่งเพื่อให้ LabVIEW ทำงานเช่น run, stop และอื่นๆ

Project Menu จะเป็นชุดคำสั่งเพื่อบังคับการทำงานของ LabVIEW เมนูนี้จะมีประโยชน์เมื่อเราทำงานกับ VI ขนาดใหญ่และมี subVI หลายๆ ชุดใน VI หลัก

Windows Menu จะเป็นการบังคับให้เปิดหน้าต่างที่เราต้องการ เช่น Front Panel หรือ Block Diagram รวมทั้งแสดง Palette ต่างๆ ด้วย

Help menu จะเป็นการใช้เมื่อต้องการคำอธิบายหรือความช่วยเหลือต่างๆใน LabVIEW




เนื่องจาก LabVIEW มีคำสั่งเป็นจำนวนมากในเอกสารนี้ไม่ได้มีจุดมุ่งหมายที่จะให้ผู้อ่านเข้าใจคำสั่งทุกคำสั่งแต่เป็นการอธิบายเพื่อให้เราสามารถเริ่มใช้ LabVIEW ได้ง่ายขึ้น สำหรับรายละเอียดของทุกคำสั่ง ผู้อ่านคงจะต้องอ่านจากเอกสารที่มาพร้อมกับ LabVIEW



Toolbar

บน Toolbar ของ LabVIEW นี้ก็จะคล้ายกับ Toolbar ของโปรแกรมต่างๆ ที่ทำงานบน Windows นั่นคือเป็นการรวบรวมคำสั่งที่ใช้อยู่ประจำให้มาอยู่ในรูปของ button เพื่อสะดวกในการใช้ สำหรับ toolbar ของ block diagram จะมีมากกว่า ของ front panel อยู่เล็กน้อย





สำหรับแต่ละ button บน toolbar จะมีชื่อและหน้าที่ดังนี้

 **Run Button** มีลักษณะเป็นลูกศร ใช้สั่งการให้ VI ทำงานเมื่อเรา click ที่ปุ่มนี้ลักษณะของ Run button จะเปลี่ยนไปตามการทำงานของ VI ในขณะนั้นคือ จะเปลี่ยนลักษณะเป็นลูกศรวิ่ง  เมื่อโปรแกรมกำลังทำงาน และถ้าหากว่า Run button ปรากฏเป็นรูปลูกศรขาด  แสดงว่า VI นั้นยังไม่พร้อมทำงานหรือมีข้อผิดพลาดอยู่ใน VI และคำว่า **BROKEN VI** จะเป็นศัพท์ที่นิยมใช้เมื่อโปรแกรมหรือ VI นั้นเกิดความผิดพลาดขึ้นแล้วทำให้ลูกศรขาด

 **Continuous Run Button** มีลักษณะเป็นลูกศรวน เนื่องจากการทำงานของ Data Flow จะเริ่มต้นเมื่อได้รับข้อมูล และสิ้นสุดลงเมื่อเสร็จสิ้นการประเมินผลข้อมูล อย่างไรก็ตามในกรณีที่เราต้องการให้ VI ทำงานซ้ำต่อไปเรื่อยๆ นั่นคือ เมื่อจบการทำงานในครั้งแรกก็ให้กลับไปเริ่มต้นทำใหม่ไปเรื่อยๆ เราสามารถใช้ปุ่มนี้เป็นเครื่องมือทำคำสั่งนี้ได้ และเมื่อ VI ทำงานอย่างต่อเนื่องปุ่มนี้จะมีลักษณะเป็นลูกศรวนสีดำ 

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

 หรือ  **Abort Button** มีลักษณะเป็นเครื่องหมายจราจรให้หยุด ก่อนที่เราจะสั่งให้ VI ทำงานปุ่มนี้จะใช้งานไม่ได้ (Inactive และจะมีสีเทา) แต่เมื่อเราให้โปรแกรมทำงานด้วย Run หรือ Continuous Run ก็ตาม ปุ่มนี้จะปรากฏให้ใช้งานได้ (active) หากเรากดปุ่มนี้จะเป็นการยกเลิกการทำงานของ VI

ข้อควรระวังอย่างหนึ่งก็คือ LabVIEW ไม่แนะนำให้ใช้ Abort button เพื่อใช้เป็นการหยุดการทำงานในสภาพปกติเพราะจะทำให้ข้อมูลบางส่วนสูญหายหรือค้างอยู่ในหน่วยความจำได้ เพราะกระบวนการคำนวณยังไม่สิ้นสุด LabVIEW แนะนำว่าในโปรแกรมเราควรสร้าง คำสั่ง ขึ้นมาหยุดการทำงานของโปรแกรมที่เหมาะสม ซึ่งเราจะแสดงให้เห็นต่อไป


 **Pause Button** ปุ่มนี้เหมือนกับปุ่มบนเครื่องเสียงหรือ VCR ทัวไป คือสั่งให้โปรแกรมหยุดการทำงานชั่วคราว เพื่อเราจะสามารถแก้ไขโปรแกรมได้ เช่น สั่งให้ข้ามบางขั้นตอนหรือออกจากบางขั้นตอน (step out) เป็นต้น

 **Single Step Button** ประกอบด้วยปุ่ม Step Into, Step Over, Step Out เป็นการบังคับให้กับ VI ทำงานตามขั้นตอนที่เราต้องการ เราจะกล่าวถึงรายละเอียดของปุ่มเหล่านี้ ในภายหลัง


 **Execution Highlighting Button** จะสั่งให้ VI ทำการ Highlight การไหลผ่านของข้อมูลเมื่อผ่านไปบนส่วนต่างๆ ของ diagram และเราจะเห็นว่ามีการแสดงค่าของข้อมูลเมื่อผ่านส่วนต่างๆ ในขณะนั้นไปด้วย


 **Warning Button** เป็นการเตือนการทำงานของ LabVIEW ถ้าหากว่าเรากำหนดให้ LabVIEW มีการเตือนและเมื่อปุ่มนี้ปรากฏเราสามารถให้แสดงข้อมูลที่มีการเตือนโดยการ click ที่ปุ่มนี้ การปรากฏปุ่มเตือนนี้ไม่ให้เห็นว่าเกิดการผิดพลาดเพียงแต่เราเตือนว่ามีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้นในโปรแกรมของเรา


 **Front Ring** เราสามารถเปลี่ยนรูปแบบตัวหนังสือที่ปรากฏบน VI ได้โดยใช้ Front Ring นี้บน toolbar ซึ่งก็จะเหมือนกับ Front Ring บนโปรแกรม word Programming ทัวๆ ไป ที่ทำงานบน Windows

 สำหรับผู้เคยใช้โปรแกรมประเภท GUI เช่นโปรแกรม Visual ต่างๆ คงจะเคยใช้คำสั่ง **Alignment** และ **Distribution** ซึ่งคำสั่งเหล่านี้จะเป็นการจัดวางตำแหน่งของส่วนประกอบต่างๆ ใน Front Panel และ Block Diagram ให้ตรงกันหรือมีระยะห่างที่เราต้องการซึ่งเป็นคำสั่งเพื่อเพิ่มความสวยงามให้กับ VI ของเรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

 **Alignment Ring** ใช้เมื่อต้องการวางแนวของ Object ต่างๆ ให้อยู่ในลักษณะแนวที่เราต้องการ

 **Distribution Ring** ใช้เมื่อต้องการจัดระยะระหว่าง Object ตามแนวต่างๆ ให้เป็นไปตามที่เราต้องการ

 **Reorder Ring** เป็นส่วนที่ใช้จัดอันดับบน Front Panel และ Block Diagram ว่าวัตถุที่วางอันใดจะอยู่หน้าสุด อันใดจะอยู่หลังสุดใหม่ เพราะปกติ LabVIEW จะให้วัตถุที่วางลงอันแรกอยู่ล่างสุด และที่วางหลังจะทับอันแรกไปเรื่อย เราสามารถจัดลำดับได้โดยเลือกตัวเลือกต่อไปนี้ ซึ่งเราคงคุ้นเคยกับโปรแกรมวาดรูปต่างๆ ดีอยู่แล้ว

Move Forward	Ctrl+K
Move Backward	Ctrl+J
Move To Front	Ctrl+Shift+K
Move To Back	Ctrl+Shift+J

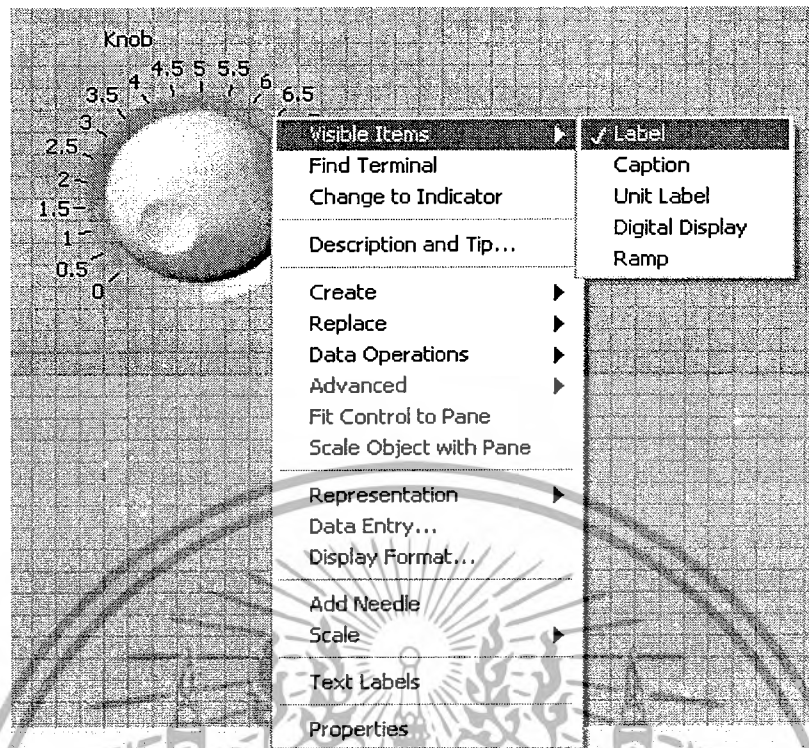
โหมดการทำงานของ VI

เมื่อเราเปิด VI ขึ้นมาครั้งแรก VI นั้นจะอยู่ในโหมดการแก้ไข (Edit Mode) นั่นคือเราสามารถแก้ไข เปลี่ยนแปลงค่าต่างๆ ที่เราต้องการได้ แต่เมื่อเราให้ VI ทำงาน VI จะเข้าสู่โหมดการทำงาน (Run Mode) ซึ่งหมายความว่าเราไม่สามารถแก้ไขโปรแกรมได้ในขณะนี้ แต่อาจเปลี่ยนแปลงค่าของ Control ต่างๆ บน Front Panel ได้ โดยทั่วไปแล้ว VI จะอยู่ในโหมดการทำงานจนกว่าจะทำงานเสร็จหรือเราสั่งให้หยุดการทำงาน และเมื่อ VI หยุดการทำงานในโหมดการทำงานแล้ว VI จะกลับเข้ามาอยู่ในโหมดการแก้ไข

Pop-Up Menu

นอกจากเมนูที่เรามีอยู่บน Menu Bar ซึ่งเป็นประเภท Pull-Down Menu แล้วในการเขียน VI จะมีเมนูอีกประเภทหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า Pop-up menu ซึ่งเมนูประเภทนี้อาจจะใช้มากกว่าเมนูแบบแรกในการเขียน VI

การที่เราจะเรียก Pop-up menu ขึ้นมาใช้วิธีการง่ายที่สุดใน Windows 95, Windows 98 หรือ Windows NT ก็คือ Click บน Object นั้นๆ ด้วยเมาส์ปุ่มขวา ลักษณะของ Pop-up menu ของแต่ละ Object จะแตกต่างกันออกไป แล้วแต่ชนิดของ Object นั้นๆ ตัวอย่างของ Pop-up เมนูเป็นไปตามรูป



รูปที่ 11 ลักษณะของ Pop-up menu ของแต่ละ Object

ส่วนประกอบของ Pop-Up Menu

เมื่อเราเลือก object และสั่งให้แสดง Pop-Up Menu ขึ้นมาแล้ว เราจะพบว่าเมนูเหล่านั้นบางเมนูสามารถขยายต่อไปสู่ เมนูย่อย ซึ่งเรียก hierarchical menu ต่อไปได้โดยเมนูดังกล่าวจะมีหัวลูกศรชี้ไปทางขวา ▶ ต่อจากตัวเลือกของ menu นั้น ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ผ่านมา

Hierarchical menu นี้บางครั้งจะเป็นการเลือกตัวเลือก โดยจะเป็นการเลือกว่าจะใช้หรือไม่ใช้ตัวเลือกนั้น โดยจะมีเครื่องหมายลูก 4 อยู่หน้าตัวเลือกนั้นหากเราเลือกใช้

ส่วนในบางตัวเลือกของ Pop-up Menu จะเป็นการกำหนดค่าต่อไปนี้ โดยหากเราเลือกตัวเลือกนั้นเราจะเปิด Dialog Box ขึ้นมาใหม่ ซึ่งเมนูตัวเลือกเหล่านั้นจะตามด้วย ellipses (...)

ส่วนเมนูที่ไม่มีหัวลูกศร ▶ หรือจุด ... จะเป็นเมนูที่เป็นคำสั่งและจะทำงานทันทีที่เราเลือกเมนูนั้นๆ เช่น Change to indicator, Find Terminal เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับส่วนประกอบหลักๆ ใน Pop-up menu ใน Object ต่างๆ จะมีดังนี้

Change to Control หรือ Change to Indicator

เป็นการเปลี่ยนชนิดของ Control และ Indicator เช่น ถ้าหากว่า object ของเราเป็น Indicator อยู่ใน Pop-up Menu จะแสดงคำสั่ง **Change to Control** หากเราเลือกคำสั่งนี้ Indicator ของเราจะเปลี่ยนเป็น Control ทันทีและในทางกลับกันกับคำสั่ง **Change to Indicator** ข้อควรระวังในการใช้คำสั่งนี้ก็คือ Control Object และ Indicator Object มีหน้าที่ตรงกันข้ามกันและไม่สามารถที่จะทำงานแทนกันได้ หากเราเปลี่ยนโดยไม่ระวังเราอาจเกิดความผิดพลาดขึ้นมาใน VI ของเราได้

Find Terminal และ Find Control/Indicator

ถ้าหากเราเลือก Find Terminal จาก Pop-up menu ของ Front Panel เราจะพบว่า LabVIEW จะแสดงและเน้นสีกับ terminal ของวัตถุนั้นของ Object ใน Block Diagram และถ้าหากเราเลือก **Find Control/Indicator** เราจะพบว่า LabVIEW จะแสดงและเน้นสี Object นั้นบน Front Panel คำสั่งทั้ง 2 นี้ จะปรากฏบน Pop-up menu เฉพาะในกรณีที่มี Object อยู่บนทั้ง Front Panel และ Block Diagram เท่านั้น เช่น เราจะไม่พบคำสั่งนี้ถ้าหากเรา Pop-up menu ของ Node

Show

หลายๆ object จะมี Show menu และมักจะเป็น Hierarchical menu คือจะเป็นการกำหนดให้แสดงส่วนต่างๆ ของ Object นั้น เช่น แสดงชื่อ (Label) หน่วย เป็นต้น

Data Operation

เมนูนี้เป็นเมนูที่จะปรากฏขึ้นเฉพาะขณะที่ VI อยู่ในโหมดการทำงานเท่านั้น ซึ่งจะใช้กับ Control และ Indicator โดยจะมีเมนูย่อยต่อไปนี้

Reinitialize to Default จะเป็นการกำหนดค่าของ Object ให้กลับไปค่าเริ่มต้น (Default) ที่ LabVIEW กำหนดมาให้ครั้งแรก

Make Current Value Default จะกำหนดค่าในขณะนั้นให้เป็นค่าเริ่มต้นเมื่อเริ่มให้ VI ทำงาน

Cut Data, Copy Data และ **Paste Data** เป็นการตัด, คัดลอก หรือใส่ข้อมูล ออกจากหรือลงใน Control หรือ Indicator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Description...

เมนูนี้จะเป็นการนำ Dialog Box หรือช่องข้อความขึ้นมาเพื่อเราจะได้ใส่หรืออ่านข้อความที่ Object นั้นๆ ใช้ ในโหมดการทำงานเราสามารถดูข้อความที่เกี่ยวข้องกับ Object นั้น ได้เท่านั้นไม่สามารถแก้ไขได้

Show หรือ Hide Control/Indicator

เป็นการสั่งให้แสดงหรือไม่แสดง Front Panel Terminals ของ Object นั้นเพื่อผู้ใช้จะไม่สามารถเห็น Object นั้นใน Front Panel แต่ยังคงปรากฏอยู่ใน Diagram ซึ่งเราอาจจำเป็นต้องใช้ในบางกรณี

Create...

เป็นคำสั่งที่ใช้สร้าง Attribute Node หรือ Local Variable ของ Object นั้นซึ่งจะกล่าวต่อไปในภายหลัง

Key Navigation

เราจะใช้ **Key Navigation...** เพื่อสั่งการโดยผ่านแป้นพิมพ์ (Keyboard) โดยการกดปุ่มหลายๆ ปุ่ม ขณะที่แสดง Front Panel อยู่ เมื่อผู้ใช้กดปุ่มตามที่ตั้งไว้ขณะที่ VI กำลังทำงาน LabVIEW จะทำงานเหมือนกับ ผู้ใช้ใช้เมาส์กดบนวัตถุนั้น จะทำให้วัตถุนั้นเป็น Key Focus คือ Active หรือพร้อมทำงานใน Object นั้น

Online Help

ขอความช่วยเหลือในส่วนที่เกี่ยวข้องกับ Object หรือวัตถุนั้น

Replace

เป็นการแทนที่ Object นั้นด้วย Object อื่น เมื่อเราเลือกตัวเลือกนี้ เราจะพบว่าเราจะเข้าสู่ Controls หรือ Functions Palette ขึ้นอยู่กับว่าวัตถุนั้นเป็นวัตถุใดหรือเรายูบบนหน้าต่างใด และจะทำให้เราสามารถแทน Object เพิ่มด้วย Object ใหม่ได้ขณะที่สายเชื่อมเดิมยังคงอยู่

เมื่อเราเปิดโปรแกรม LabVIEW ขึ้นมาเราจะพบ หน้าต่างที่บรรจุคำสั่ง หรือ **Palette** ที่อาจปรากฏให้เห็น 3 หน้าต่างคือ Tools, Controls และ Functions Palettes แม้ว่าโดยปกติหน้าต่างเหล่านี้จะไม่ปรากฏขึ้นพร้อมกัน ถ้าหากว่า Palettes ที่ต้องการไม่ปรากฏหรือปรากฏบางตัวเราอาจใช้ตัวเลือก Show Palettes ภายใต้คำสั่ง Windows บน menu bar เพื่อแสดง Palette นั้นได้

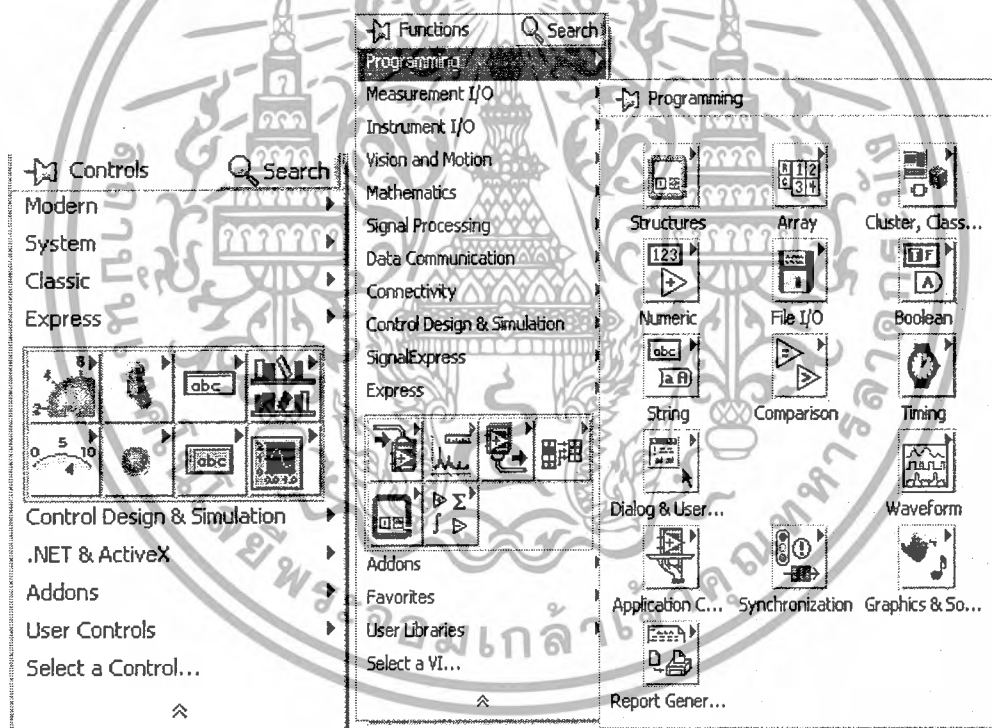
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Controls และ Function Palettes

แม้ว่าเมื่อเราเปิด VI ขึ้นมาจะมี Controls และ Functions Palettes ปรากฏขึ้นแต่ทั้งคู่จะใช้งานไม่พร้อมกันคือ

Controls Palettes จะปรากฏขึ้นให้เห็นได้ก็ต่อเมื่อ Front Panel อยู่ในสภาพพร้อมทำงานอยู่เท่านั้น ถ้าหาก Front Panel ไม่อยู่ในสภาพพร้อมทำงานส่วนของ Controls Palettes จะหายไป หรือเราอาจปิดเฉพาะ Controls palettes โดยใช้เมาส์กดที่ Exit Button บน Title bar ก็ได้

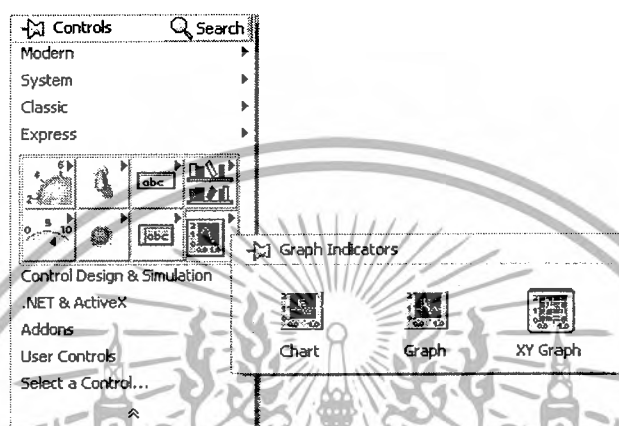
Function Palettes จะปรากฏขึ้นให้เห็นได้ก็ต่อเมื่อ Block Diagram อยู่ในสภาพพร้อมทำงานอยู่เท่านั้นถ้าหาก Block Diagram ไม่อยู่ในสภาพพร้อมทำงาน ส่วนของ Tools Palettes นี้จะหายไป หรือเราปิด Palette นี้เอง ลักษณะของ Controls และ Functions Palette เป็นไปตามรูป



รูปที่ 12 ลักษณะของ Controls และ Functions Palette

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Palettes ทั้งสองจะมี Subpalette บรรจุอยู่ถ้าหากว่าเราเลื่อนลูกศรของเมาส์ไปที่ปุ่มของ Subpalette ในชื่อของ Subpalette นั้นจะปรากฏขึ้น และหากเรากดลงไปก็ปุ่มของ Subpalette ใด และกดค้างไว้เราจะพบว่าจะมีการแสดงส่วนประกอบของ Subpalette นั้นต่อออกไปอีก และในหลายกรณีใน Subpalette ก็จะถูกแยกย่อยเป็น Subpalette ต่อไปอีกดังที่แสดงต่อไปในรูปแบบ



รูปที่ 13 แสดงส่วนประกอบของ Subpalette

โดยปกติเราจะแสดง Subpalette ได้ปรากฏขึ้นได้ก็ต่อเมื่อเรากดเมาส์ปุ่มซ้ายค้างไว้เท่านั้น อย่างไรก็ตามบนทุก subpalette ที่มีบนด้านขวาจะมีรูปที่ติดกระดาษตามด้วยชื่อของ Subpalette นั้นที่ติดกระดาษหรือ Thumbtack นี่เป็นตัวช่วยให้เราสามารถแสดง subpalette นั้นตลอดไปโดยไม่ต้องเลือกจาก palette หลัก ซึ่งจะมีประโยชน์ในกรณีที่เราใช้ subpalette นั้นบ่อยๆ วิธีการใช้ก็คือให้ click ที่ตำแหน่งที่ติดกระดาษนั้น Subpalette ก็จะติดอยู่บนจอต่อไปแม้ว่าเราจะเลื่อนเมาส์ออกไปแล้วก็ตาม และเราสามารถปิด subpalette นั้นได้เมื่อเราต้องการเหมือนกับการปิดหน้าต่างอื่นๆ นอกเหนือจากนั้นเราสามารถที่จะตกแต่งและเปลี่ยนแปลงลักษณะและสิ่งที่บรรจุอยู่ใน Palette หรือ Subpalette ได้ตามที่เรต้องการโดยใช้คำสั่ง Edit Control and Function Palettes จาก Edit menu ซึ่งจะกล่าวต่อไปในภายหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


Tools Palette

Tools คือหน้าที่พิเศษของตัวชี้ของเมาส์ เราจะใช้ Tools เพื่อจะให้ทำงานในการแก้ไขหรือปฏิบัติการหน้าที่ซึ่งเราต้องการ คล้ายกันกับที่เราใช้ในโปรแกรมการวาดรูปทั่วไป ใน Tools Palette จะประกอบด้วยปุ่มที่มีหน้าที่ต่างๆ ดังนี้

สำหรับหน้าที่ของอุปกรณ์ต่างๆ บน Tools Palette นี้สรุปได้ตามตารางต่อไปนี้

ลักษณะปุ่ม	ชื่อ	หน้าที่
	Operating Tool	ช่วยให้เราเปลี่ยนค่าของ control บน front panel ขณะที่ VI ทำงานหรือเปลี่ยนค่าอื่นๆ ในขณะที่ VI อยู่ในโหมดแก้ไข
	Positioning Tool	ช่วยปรับขนาด, เคลื่อนย้ายที่ หรือเลือก object
	Labeling Tool	สร้างหรือแก้ไข Text
	Wiring Tool	ใช้ในการต่อเชื่อมสายใน block diagram เข้าด้วยกัน
	Pop-up Menu Tool	ถ้าตัวชี้ชี้ไปที่ object ใด ก็จะเกิด Pop-up Menu ของ object นั้นขึ้น ใช้แทนการกดเมาส์ปุ่มขวาที่ Object ได้
	Scroll Tool	เลื่อนภาพบนหน้าต่างที่กำลัง active อยู่ไปในทิศทางที่ต้องการ
	Breakpoint Tool	เป็นการใส่ตำแหน่งหยุดลงใน block diagram เมื่อข้อมูลเดินทางมาถึงจุดนี้ การประมวลผลจะชะลอชั่วคราวเพื่อให้เราตรวจสอบ และแก้ไขการทำงาน
	Probe Tool	สร้างเครื่องวัดลงบนเส้นเชื่อมเพื่อแสดงค่าข้อมูลในขณะที่ผ่านเครื่องวัดนั้นๆ
	Color Copy Tool	ใช้ในการคัดลอกสีจาก object ที่เราต้องการเพื่อสามารถปรับแก้สีที่ object อื่นให้เหมือน object นั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะปุ่ม	ชื่อ	หน้าที่
	Color Tool	ใช้ในการปรับแต่งสีของ VI ให้เป็นไปตามต้องการ

สำหรับรายละเอียดในการใช้คำสั่งต่าง ๆ นั้น เราจะได้ฝึกฝนไปเรื่อยๆ ในระหว่างการทำกิจกรรมต่างๆ ที่บรรจุไว้ในเอกสารนี้

4.HELP!

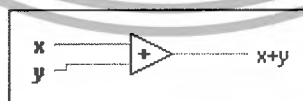
ในการจัดทำเอกสารเพื่อแนะนำการใช้โปรแกรม LabVIEW ชั้นพื้นฐานนี้ คงเป็นไปได้ที่เราจะบรรจุรายละเอียดทั้งหมดของ LabVIEW ลงในเอกสารนี้ ดังนั้นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยเราได้คือการใช้ **help** ที่บรรจุมากับ LabVIEW โดย LabVIEW ได้บรรจุคำอธิบายการใช้งานของโปรแกรมมาให้ในหลายลักษณะ

เมื่อต้องการความช่วยเหลือหรือคำอธิบายใดๆ เราสามารถสั่งให้ LabVIEW แสดง Help ของ object นั้นๆ ได้โดยจาก Help menu เลือก Show Help หน้าต่างของ Help ก็จะปรากฏขึ้น หลังจากนั้นถ้าเรานำเมาส์ไปชี้ที่ Object ใด Help ของ Object นั้นก็จะปรากฏขึ้นบน Windows โดยปกติ Help ของ Object นั้นก็จะปรากฏขึ้นบน Windows โดยปกติ Help ของ Object นั้นจะบอกถึง

- หน้าที่ของ Object นั้น
- การต่อเชื่อมสายหรือแสดง Connection ของ Object นั้นและอาจมีข้อมูลหรือข้อควรระวังของ Object นั้นๆ


ตัวอย่างของ Help แสดงในภาพ


Details Example



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากในรูปเราจะเห็นว่าที่มุมล่างซ้ายของหน้าต่าง Help จะพบปุ่มเล็กๆ 3 ปุ่ม แต่ละปุ่มมีหน้าที่ดังนี้

 สลับระหว่าง **Simple Help** คือบอกความช่วยเหลืออย่างคร่าวๆ และ **Detailed Help** คือบอกรายละเอียดต่างๆมากขึ้น ใน Simple Help จะเป็นการบอกรายละเอียดเฉพาะส่วนที่จำเป็น เช่นสายต่อที่จำเป็นเข้าสู่ Icon เป็นต้น เราจะอธิบายในรายละเอียดต่อไป

 **Lock Help** คือได้แสดง Help ของ Object นั้นต่อไปไม่ว่าเราจะเลื่อนลูกศรของเมาส์ไปที่ใดก็ตาม บน Front Panel หรือ Block Diagram

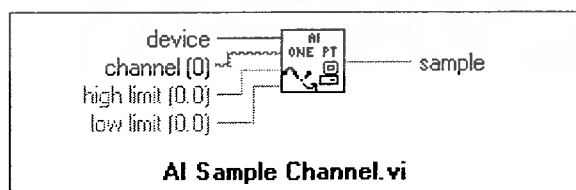
 **Online Help** เป็นการแสดงการทำงานของ Object นั้นอย่างละเอียดและอาจมีตัวอย่างการทำงานของ object บางแบบด้วย

Simple และ Detailed Help

สำหรับจุดเชื่อมต่อหรือ Connection ของ Object นั้นบาง Connector อาจจะเป็น Connector ที่จำเป็นต้องมีค่าเข้าสู่ Object หรือ Node นั้น ในขณะที่บาง Connector อาจเป็นเพียงตัวเลือกว่าจะมีหรือไม่ก็ได้ หากเราไม่ต่อสายที่ถูกต้องเข้ากับ Connector ที่มีความจำเป็นต้องใช้เข้าสู่ VI ของเราจะไม่อยู่ในสภาพที่พร้อมทำงาน และเครื่องหมาย **RUN** จะเป็นลูกศรขาด รูปต่อไปนี้แสดงความแตกต่างของการแสดง Help ทั้งสองแบบ



Simple Help



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Detail Help

การใช้ Detailed Help จะบอกว่า Connector ตัวใดมีความต้องการข้อมูลในลักษณะใด และมีความจำเป็นหรือไม่ ส่วน Simple Help จะเป็นการแสดงเฉพาะ Connector ที่จำเป็นต้องใช้ในการนำข้อมูลไปใช้ในการประมวลผลข้อมูลเท่านั้น โดยทั่วไป

- ▶▶ Connection ที่จำเป็นจะแสดงด้วยตัวหนา
- ▶▶ Connection ที่แนะนำให้ต่อ (แต่ไม่จำเป็น) จะเป็นตัวหนังสือปกติ
- ▶▶ Connection ที่เป็นตัวเลือกจะปรากฏเป็นตัวหนังสือสีจางและจะไม่แสดงใน Simple Help
- ▶▶ ถ้า Input ของ Function ใดไม่จำเป็นต้องเชื่อมต่อ ซึ่งอาจเป็นในกรณีของแนะนำให้ต่อหรือเป็นตัวเลือกก็ตาม ค่าเริ่มต้นจะปรากฏอยู่ในวงเล็บต่อจากชื่อของ Connection นั้น

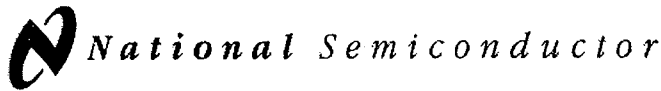
Online Help

Online Help จะเป็นการอธิบายการทำงานของ LabVIEW อย่างละเอียดซึ่ง Help ในส่วนนี้จะอธิบายขั้นตอน และหน้าที่ของแต่ละ Object อย่างละเอียด ซึ่งเราจะไม่ขอกว่าในที่นี้เพราะการทำงานของ Online Help ของ LabVIEW ก็เหมือนกับการ Help ของ Program อื่นๆ บน Windows

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

General Description

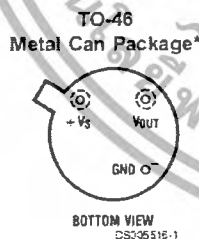
The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in ° Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of $\pm 1/4^\circ\text{C}$ at room temperature and $\pm 3/4^\circ\text{C}$ over a full -55 to $+150^\circ\text{C}$ temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only 60 μA from its supply, it has very low self-heating, less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a -55 to $+150^\circ\text{C}$ temperature range, while the LM35C is rated for a -40 to $+110^\circ\text{C}$ range (-10 with improved accuracy). The LM35 series is available pack-

aged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

Features

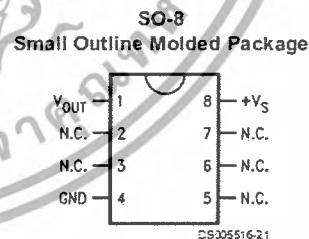
- Calibrated directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear $+ 10.0 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable (at $+25^\circ\text{C}$)
- Rated for full -55 to $+150^\circ\text{C}$ range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than 60 μA current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only $\pm 1/4^\circ\text{C}$ typical
- Low impedance output, 0.1Ω for 1 mA load

Connection Diagrams



*Case is connected to negative pin (GND)

Order Number LM35H, LM35AH, LM35CH, LM35CAH or LM35DH
See NS Package Number H03H

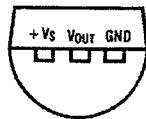


N.C. = No Connection

Top View
Order Number LM35DM
See NS Package Number M08A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

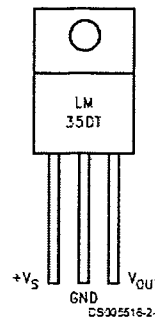
**TO-92
Plastic Package**



BOTTOM VIEW
DS30515-2

Order Number LM35CZ,
LM35CAZ or LM35DZ
See NS Package Number Z03A

**TO-220
Plastic Package***



DS30516-24

*Tab is connected to the negative pin (GND).
Note: The LM35DT pinout is different than the discontinued LM35DP.

Order Number LM35DT
See NS Package Number TA03F

Typical Applications

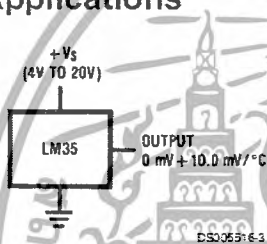
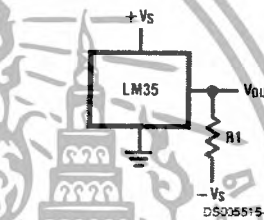


FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor
(+2°C to +150°C)



Choose $R_1 = -V_S/50 \mu A$
 $V_{OUT} = -1,500 \text{ mV at } +150^\circ C$
 $= +250 \text{ mV at } +25^\circ C$
 $= -350 \text{ mV at } -55^\circ C$

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

Absolute Maximum Ratings (Note 10)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage	+35V to -0.2V
Output Voltage	+6V to -1.0V
Output Current	10 mA
Storage Temp.:	
TO-46 Package,	-60°C to +180°C
TO-92 Package,	-60°C to +150°C
SO-8 Package,	-65°C to +150°C
TO-220 Package,	-65°C to +150°C
Lead Temp.:	
TO-46 Package, (Soldering, 10 seconds)	300°C

TO-92 and TO-220 Package, (Soldering, 10 seconds)	260°C
SO Package (Note 12)	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C
ESD Susceptibility (Note 11)	2500V
Specified Operating Temperature Range: T_{MIN} to T_{MAX} (Note 2)	
LM35, LM35A	-55°C to +150°C
LM35C, LM35CA	-40°C to +110°C
LM35D	0°C to +100°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics

(Notes 1, 6)

Parameter	Conditions	LM35A			LM35CA			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.2	± 0.5		± 0.2	± 0.5		$^\circ\text{C}$
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	± 0.3			± 0.3		± 1.0	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4		± 1.5	$^\circ\text{C}$
Nonlinearity (Note 8)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± 0.18		± 0.35	± 0.15		± 0.3	$^\circ\text{C}$
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	+10.0	+9.9, +10.1		+10.0		+9.9, +10.1	mV/ $^\circ\text{C}$
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1$ mA	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		mV/mA
	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± 0.5		± 3.0	± 0.5		± 3.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.01	± 0.05		± 0.01	± 0.05		mV/V
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	± 0.02		± 0.1	± 0.02		± 0.1	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56	67		56	67		μA
	$V_S = +5\text{V}$	105		131	91		114	μA
	$V_S = +30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56.2	68		56.2	68		μA
	$V_S = +30\text{V}$	105.5		133	91.5		116	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	0.2	1.0		0.2	1.0		μA
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	0.5		2.0	0.5		2.0	μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.39		+0.5	+0.39		+0.5	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	$^\circ\text{C}$
Long Term Stability	$T_J = T_{\text{MAX}}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			$^\circ\text{C}$

Electrical Characteristics

(Notes 1, 6)

Parameter	Conditions	LM35			LM35C, LM35D			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy, LM35, LM35C (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		$^\circ\text{C}$
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	± 0.5			± 0.5		± 1.5	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$	± 0.8	± 1.5		± 0.8		± 1.5	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$	± 0.8		± 1.5	± 0.8		± 2.0	$^\circ\text{C}$
Accuracy, LM35D (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$				± 0.6	± 1.5		$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$				± 0.9		± 2.0	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$				± 0.9		± 2.0	$^\circ\text{C}$
Nonlinearity (Note 8)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± 0.3		± 0.5	± 0.2		± 0.5	$^\circ\text{C}$
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	+10.0	+9.8, +10.2		+10.0		+9.8, +10.2	mV/ $^\circ\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1$ mA	$T_A = +25^\circ\text{C}$ $T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± 0.4 ± 0.5	± 2.0	± 5.0	± 0.4 ± 0.5	± 2.0	± 5.0	mV/mA mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$ $4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	± 0.01 ± 0.02	± 0.1	± 0.2	± 0.01 ± 0.02	± 0.1	± 0.2	mV/V mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5\text{V}, +25^\circ\text{C}$ $V_S = +5\text{V}$ $V_S = +30\text{V}, +25^\circ\text{C}$ $V_S = +30\text{V}$	56 105 56.2 105.5	80 82	158 161	56 91 56.2 91.5	80 82	138 141	μA μA μA μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}, +25^\circ\text{C}$ $4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	0.2 0.5	2.0	3.0	0.2 0.5	2.0	3.0	μA μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.39		+0.7	+0.39		+0.7	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of <i>Figure 1</i> , $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	$^\circ\text{C}$
Long Term Stability	$T_J = T_{\text{MAX}}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			$^\circ\text{C}$

Note 1: Unless otherwise noted, these specifications apply: $-55^\circ\text{C} \leq T_J \leq +150^\circ\text{C}$ for the LM35 and LM35A; $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq +110^\circ\text{C}$ for the LM35C and LM35CA; and $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +100^\circ\text{C}$ for the LM35D. $V_S = +5\text{Vdc}$ and $I_{\text{LOAD}} = 50 \mu\text{A}$, in the circuit of *Figure 2*. These specifications also apply from $+2^\circ\text{C}$ to T_{MAX} in the circuit of *Figure 1*. Specifications in boldface apply over the full rated temperature range.

Note 2: Thermal resistance of the TO-46 package is 400°C/W junction to ambient, and 24°C/W junction to case. Thermal resistance of the TO-92 package is 180°C/W junction to ambient. Thermal resistance of the small outline molded package is 220°C/W junction to ambient. Thermal resistance of the TO-220 package is 90°C/W junction to ambient. For additional thermal resistance information see table in the Applications section.

Note 3: Regulation is measured at constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output due to heating effects can be computed by multiplying the internal dissipation by the thermal resistance.

Note 4: Tested Limits are guaranteed and 100% tested in production.

Note 5: Design Limits are guaranteed (but not 100% production tested) over the indicated temperature and supply voltage ranges. These limits are not used to calculate outgoing quality levels.

Note 6: Specifications in boldface apply over the full rated temperature range.

Note 7: Accuracy is defined as the error between the output voltage and $10\text{mv}/^\circ\text{C}$ times the device's case temperature, at specified conditions of voltage, current, and temperature (expressed in $^\circ\text{C}$).

Note 8: Nonlinearity is defined as the deviation of the output-voltage-versus-temperature curve from the best-fit straight line, over the device's rated temperature range.

Note 9: Quiescent current is defined in the circuit of *Figure 1*.

Note 10: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its rated operating conditions. See Note 1.

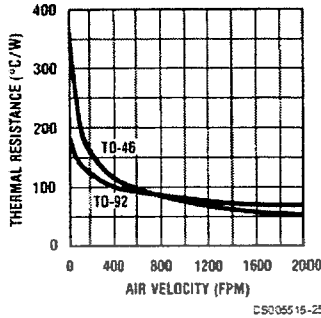
Note 11: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k Ω resistor.

Note 12: See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" or the section titled "Surface Mount" found in a current National Semiconductor Linear Data Book for other methods of soldering surface mount devices.

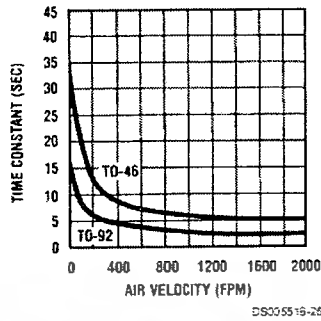
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics

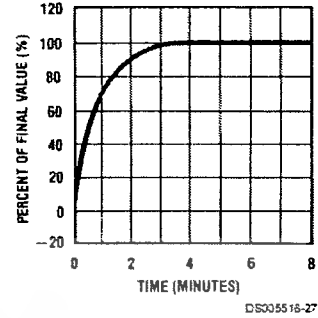
Thermal Resistance Junction to Air



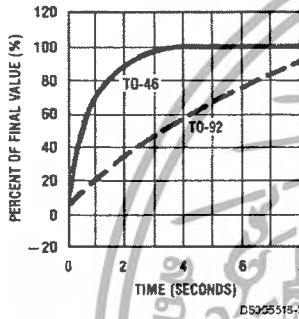
Thermal Time Constant



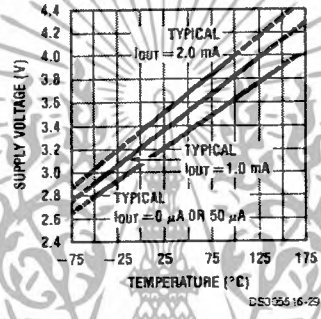
Thermal Response in Still Air



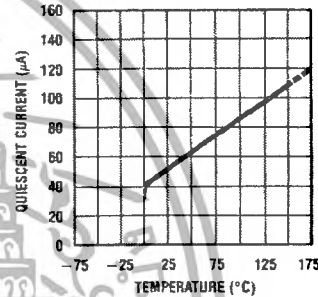
Thermal Response in Stirred Oil Bath



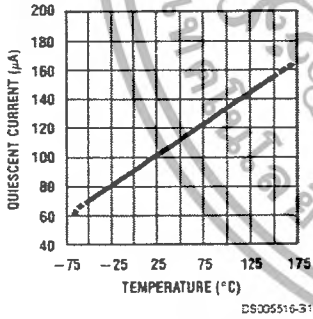
Minimum Supply Voltage vs. Temperature



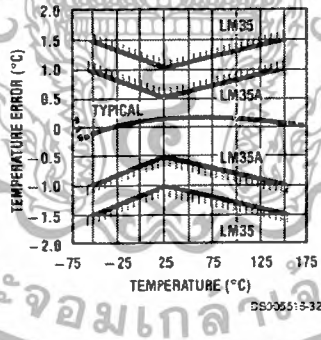
Quiescent Current vs. Temperature (In Circuit of Figure 1.)



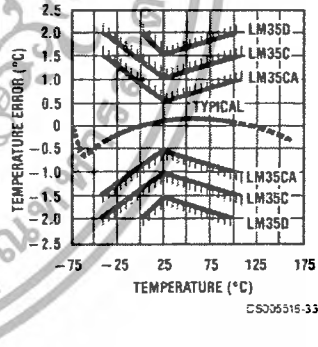
Quiescent Current vs. Temperature (In Circuit of Figure 2.)



Accuracy vs. Temperature (Guaranteed)



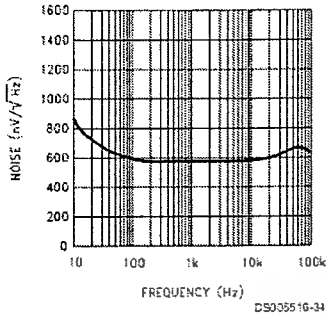
Accuracy vs. Temperature (Guaranteed)



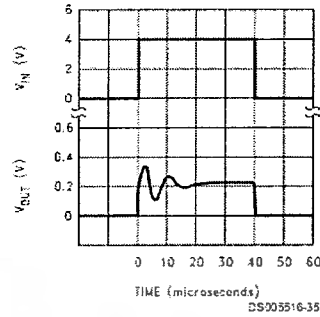
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics (Continued)

Noise Voltage



Start-Up Response



Applications

The LM35 can be applied easily in the same way as other integrated-circuit temperature sensors. It can be glued or cemented to a surface and its temperature will be within about 0.01 °C of the surface temperature.

This presumes that the ambient air temperature is almost the same as the surface temperature; if the air temperature were much higher or lower than the surface temperature, the actual temperature of the LM35 die would be at an intermediate temperature between the surface temperature and the air temperature. This is especially true for the TO-92 plastic package, where the copper leads are the principal thermal path to carry heat into the device, so its temperature might be closer to the air temperature than to the surface temperature.

To minimize this problem, be sure that the wiring to the LM35, as it leaves the device, is held at the same temperature as the surface of interest. The easiest way to do this is to cover up these wires with a bead of epoxy which will insure that the leads and wires are all at the same temperature as the surface, and that the LM35 die's temperature will not be affected by the air temperature.

The TO-46 metal package can also be soldered to a metal surface or pipe without damage. Of course, in that case the V- terminal of the circuit will be grounded to that metal. Alternatively, the LM35 can be mounted inside a sealed-end metal tube, and can then be dipped into a bath or screwed into a threaded hole in a tank. As with any IC, the LM35 and accompanying wiring and circuits must be kept insulated and dry, to avoid leakage and corrosion. This is especially true if the circuit may operate at cold temperatures where condensation can occur. Printed-circuit coatings and varnishes such as Humiseal and epoxy paints or dips are often used to insure that moisture cannot corrode the LM35 or its connections.

These devices are sometimes soldered to a small light-weight heat fin, to decrease the thermal time constant and speed up the response in slowly-moving air. On the other hand, a small thermal mass may be added to the sensor, to give the steadiest reading despite small deviations in the air temperature.

Temperature Rise of LM35 Due To Self-heating (Thermal Resistance, θ_{JA})

	TO-46, no heat sink	TO-46*, small heat fin	TO-92, no heat sink	TO-92**, small heat fin	SO-8 no heat sink	SO-8**, small heat fin	TO-220 no heat sink
Still air	400°C/W	100°C/W	180°C/W	140°C/W	220°C/W	110°C/W	90°C/W
Moving air	100°C/W	40°C/W	60°C/W	70°C/W	105°C/W	90°C/W	28°C/W
Still oil	100°C/W	40°C/W	90°C/W	70°C/W			
Stirred oil	50°C/W	30°C/W	45°C/W	40°C/W			
(Clamped to metal, infinite heat sink)		(24°C/W)				(55°C/W)	

*Wakefield type 201, or 1" disc of 0.020" sheet brass, soldered to case, or similar.

**TO-92 and SO-8 packages glued and leads soldered to 1" square of 1/16" printed circuit board with 2 oz. foil or similar.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications

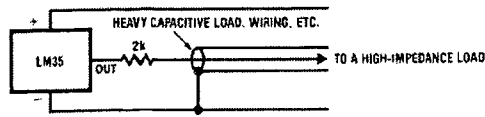


FIGURE 3. LM35 with Decoupling from Capacitive Load

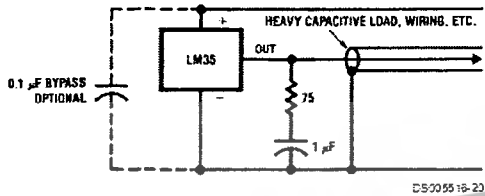


FIGURE 4. LM35 with R-C Damper

CAPACITIVE LOADS

Like most micropower circuits, the LM35 has a limited ability to drive heavy capacitive loads. The LM35 by itself is able to drive 50 pf without special precautions. If heavier loads are anticipated, it is easy to isolate or decouple the load with a resistor; see Figure 3. Or you can improve the tolerance of capacitance with a series R-C damper from output to ground; see Figure 4.

When the LM35 is applied with a 200Ω load resistor as shown in Figure 5, Figure 6 or Figure 8 it is relatively immune to wiring capacitance because the capacitance forms a bypass from ground to input, not on the output. However, as with any linear circuit connected to wires in a hostile environment, its performance can be affected adversely by intense electromagnetic sources such as relays, radio transmitters, motors with arcing brushes, SCR transients, etc. as its wiring can act as a receiving antenna and its internal junctions can act as rectifiers. For best results in such cases, a bypass capacitor from V_{IN} to ground and a series R-C damper such as 75Ω in series with 0.2 or 1 μF from output to ground are often useful. These are shown in Figure 13, Figure 14, and Figure 16.

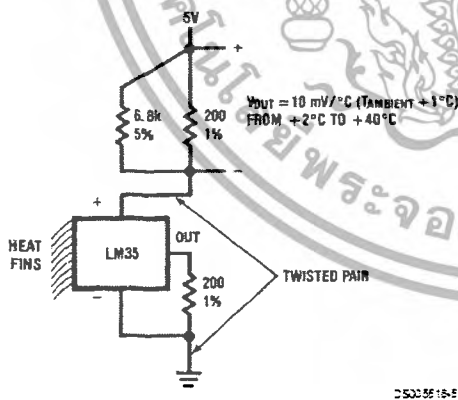


FIGURE 5. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Grounded Sensor)

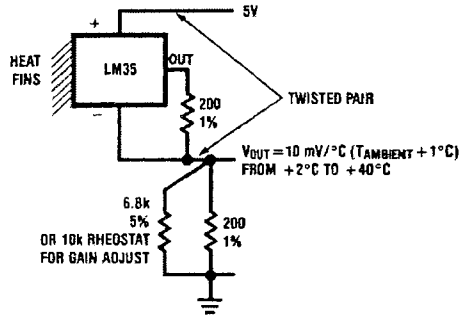


FIGURE 6. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Output Referred to Ground)

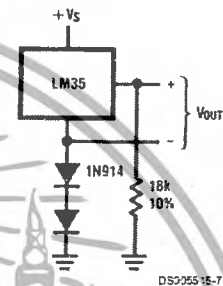


FIGURE 7. Temperature Sensor, Single Supply, -55° to +150°C

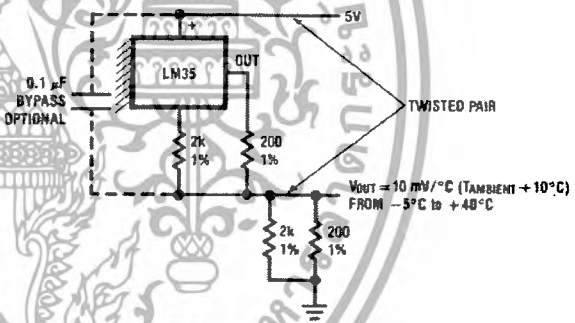


FIGURE 8. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Output Referred to Ground)

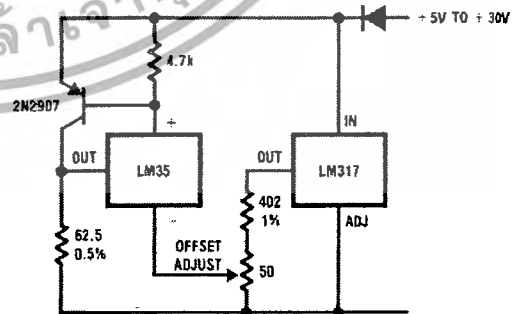
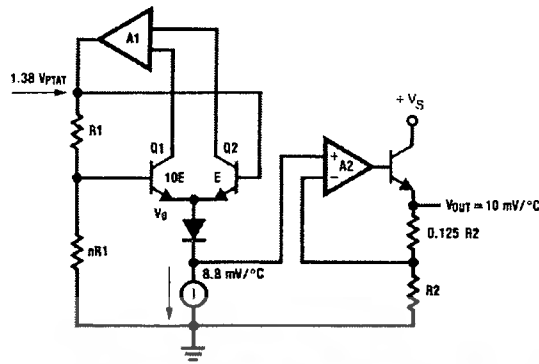


FIGURE 9. 4-To-20 mA Current Source (0°C to +100°C)

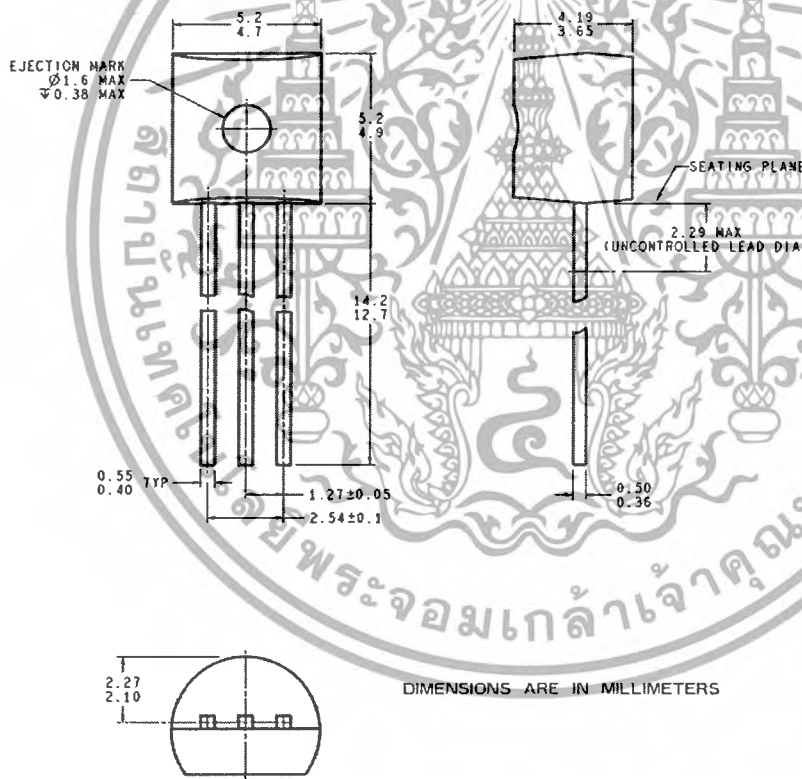
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Block Diagram



DS005513-23

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



Z03A (Rev. 03)

TO-92 Plastic Package (Z)
 Order Number LM35CZ, LM35CAZ or LM35DZ
 NS Package Number Z03A

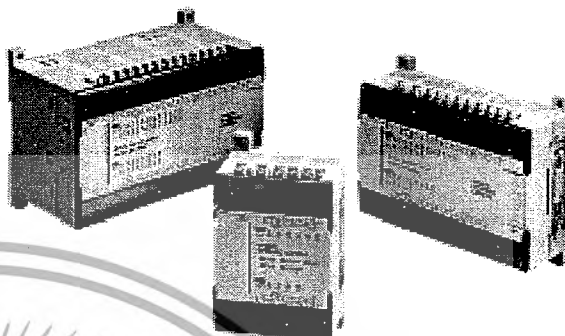
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OMRON

Micro Programmable Controller

CPM1A

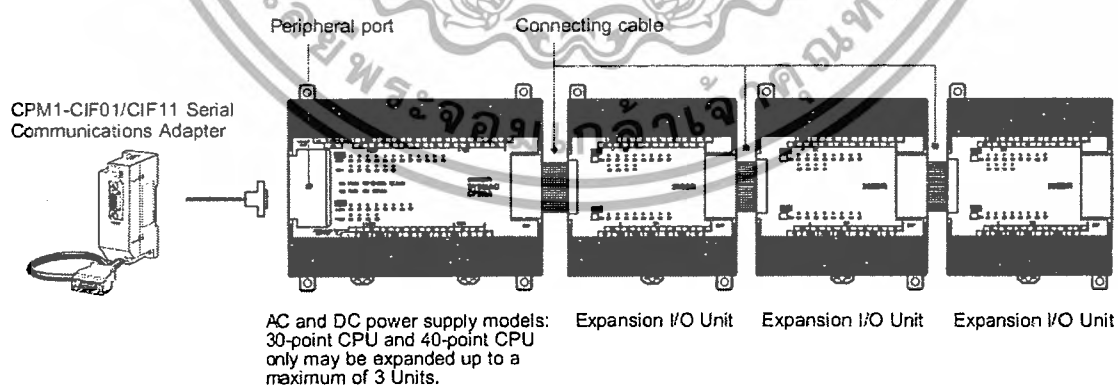
The CPM1A series micro controllers solve both basic and semi-complex applications. The brick style models include AC inputs/relay outputs, DC inputs/transistor or relay outputs to meet your design requirements. The base I/O for the CPUs ranges from 10, 20, 30, and 40 I/O points with maximum expansion to 100 I/O. Specialized expansion modules include mixed analog I/O, temperature sensor inputs and serial communications



- 10, 20, 30 and 40 point I/O CPUs
- Expandable up to 100 I/O points
- Peripheral communications port built in
- AC or DC input models
- Analog expansion modules available
- Temperature sensor input expansion modules available
- Auxiliary 24 VDC supply (AC type only)
- Relay or Transistor outputs
- UL, CSA, CE approvals



Basic Configuration






เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ordering Information

■ CPU UNITS




Number of I/O terminals	Inputs	Outputs	Power supply	Part number		
				Relay output	Transistor output	
					Sink type	Source type
10	6 DC points	4 points	AC	CPM1A-10CDR-A	CPM1A-10CDT-A	CPM1A-10CDT1-A
			DC	CPM1A-10CDR-D	CPM1A-10CDT-D	CPM1A-10CDT1-D
20	12 DC points	8 points	AC	CPM1A-20CDR-A	CPM1A-20CDT-A	CPM1A-20CDT1-A
			DC	CPM1A-20CDR-D	CPM1A-20CDT-D	CPM1A-20CDT1-D
30	18 DC points	12 points	AC	CPM1A-30CDR-A	CPM1A-30CDT-A	CPM1A-30CDT1-A
			DC	CPM1A-30CDR-D	CPM1A-30CDT-D	CPM1A-30CDT1-D
40	24 DC points	16 points	AC	CPM1A-40CDR-A	CPM1A-40CDT-A	CPM1A-40CDT1-A
			DC	CPM1A-40CDR-D	CPM1A-40CDT-D	CPM1A-40CDT1-D
20	12 AC points	8 points	AC	CPM1A-20CAR-A	—	—
32	20 AC points	12 points	AC	CPM1A-32CAR-A	—	—

■ EXPANSION I/O MODULES

Description	Max. number of modules	Inputs	Outputs	Part number
20 I/O points 12 inputs, 8 outputs 	3 max. (See Note.)	24 VDC	Relays	CPM1A-20EDR
		24 VDC	Sinking transistors	CPM1A-20EDT
		24 VDC	Sourcing transistors	CPM1A-20EDT1
8 inputs 		24 VDC	—	CPM1A-8ED
8 outputs 		—	Relays	CPM1A-8ER
		—	Sinking transistors	CPM1A-8ET
		—	Sourcing transistors	CPM1A-8ET1

Note: A maximum of 3 expansion modules can be used with the following CPUs: 30-point and 40-point with DC inputs; 20-point and 32-point with AC inputs.

■ DEDICATED I/O MODULES

Description	Max. number of modules	Inputs	Outputs	Part number
Analog I/O Module 2 analog inputs (2 words) 1 analog output (1 word) 	3 max.	2 analog inputs	1 analog output	CPM1A-MAD01
Temperature Sensor Input Modules 	3 max. 1 max. (See Note.)	2 inputs (Types J and K)	—	CPM1A-TS001
		4 inputs (Types J and K)	—	CPM1A-TS002
		2 inputs (Pt100, JPt100)	—	CPM1A-TS101
	3 max. 1 max. (See Note.)	2 inputs (Pt100, JPt100)	1 analog output	CPM1A-TS101-DA
		4 inputs (Pt100, JPt100)	—	CPM1A-TS102
CompoBus/S I/O Link Module 8 inputs and 8 outputs 	3 max.	8 bits (Inputs from the Master.)	8 bits (Outputs to the Master.)	CPM1A-SRT21
		Flat cable, 4-core, 0.75 mm ² ; 100 m length		SCA1-4F10
		Twisted pair cable, 2-core, 0.75 mm ² ; available commercially		Belden #9409 cable

Note: Only one CPM1A-TS002/TS102 Temperature Sensor Input Module can be connected to the CPU. If a CPM1A-TS002/102 is connected to the CPU, only one additional Special I/O Module (other than a CPM1A-TS002/102) or one Expansion I/O Module can be connected to the CPU.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


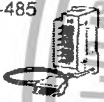
■ PERIPHERAL DEVICES

Product	Description	Part number
Programming console	Hand-held programming console with cable attached, 2 m length	CQM1-PRO01-E
	Hand-held programming console with back light (cable not included)	C200H-PRO27-E
Connecting cable	Connects C200H programming console to peripheral port, 2 m length	C200H-CN222
	Connects C200h programming console to peripheral port, 4 m length	C200H-CN422

■ SUPPORT SOFTWARE

Product	Functions	Part number
CX-Programmer Jr.	Windows-based programming software; reduced instruction set and networking commands. OS: Windows 95/98/NT	WS02-CXPC1-EJR-V2.0
CX-Programmer	Full programming software package programs micro, small and larger controllers.	WS02-CXPC1-EV2.0

■ COMMUNICATIONS ADAPTERS AND CABLES

Description	Function	Part number
RS-232C adapter 	Converts data communications from peripheral port for RS-232C devices.	CPM1-CIF01
RS-232C cable	RS-232C to RS-232C; PC connection for program download; cable length 2 m	C200HS-CN220-EU
	RS-232C to RS-232C for PLC communication; cable length 2 m	C200H-CN320-EU
RS-422/RS-485 adapter 	Converts data communications from peripheral port for RS-422/RS-485 devices.	CPM1-CIF11

■ PROGRAM TRANSFER EQUIPMENT

Product	Description	Part number
Expansion Memory Unit	Uploads and downloads program and setup memory areas to and from the controller.	CPM1-EMU01-V1
EEPROM (256 kbits)	Used with the Expansion Memory Unit	CPM1-EEPROM-EMU01

■ MANUALS

Product	Description	Part number
Operation manual	CPM1A DC Input CPUs operation manual	W317
	CPM1A AC Input CPUs operation manual	P12FAZ1
Programming manual	CPM1/CPM1A programming manual	W353

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Specifications

■ GENERAL SPECIFICATIONS

Input type		DC input				AC input	
CPU type		10-point I/O	20-point I/O	30-point I/O	40-point I/O	20-point I/O	32-point I/O
Power supply voltage/frequency	AC power supply	100 to 240 VAC, 50/60 Hz					
	DC power supply	24 VDC				—	
Operating voltage range	AC power supply	85 to 264 VAC					
	DC power supply	20.4 to 26.4 VDC				—	
Power consumption	AC power supply	30 VA max.	60 VA max.		30 VA max.	60 VA max.	
	DC power supply	6 W max.	20 W max.		—		
Inrush current		30 A max.		60 A max.		30 A max.	60 A max.
External power supply (AC only)	Power supply voltage	24 VDC					
	Power supply output capacity	200 mA		300 mA			
Insulation resistance		20 M Ω min. at 500 VDC between the AC terminals and the protective earth terminal.					
Dielectric strength		2,300 VAC at 50/60 Hz for one minute with a leakage current of 10 mA max. between all the external AC terminals and the protective earth terminal.					
Noise resistance		Conforms to IEC61000-4-4, 2 kV (power lines) 1500 Vp-p, pulse width 0.1 to 1 μ s, rise time: 1 ns (via noise simulation)					
Vibration resistance		10 to 61.2 Hz with an amplitude of 0.075 mm, and 57 to 150 Hz with an acceleration of 1.5 G in the X, Y, and Z directions for 10 sweeps of minutes each.					
Shock resistance		147 m/s ² in the X, Y and Z directions 3 times each.				20 G the X, Y and Z directions 3 times each.	
Ambient temperature	Operating	0°C to 55°C (32°F to 131°F)					
	Storage	-20°C to 75°C (-4°F to 167°F)					
Ambient humidity	Operating	10% to 90% RH no condensation					
Ambient environment	Operating	With no corrosive gas					
Terminal screw size		M3					
Power supply holding time		10 ms min. for AC models, and 2 ms min. for DC models					
Weight	AC models	400 g max.	500 g max.	600 g max.	700 g max.	500 g max.	575 g max.
	DC models	300 g max.	400 g max.	500 g max.	600 g max.	—	—

Note: The specifications of the Expansion I/O Modules are the same as for the CPU except that the power is supplied from the CPU and the weight is 300 g.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■ CHARACTERISTICS

Input type	DC input				AC input		
CPU type	10-point I/O	20-point I/O	30-point I/O	40-point I/O	20-point I/O	32-point I/O	
Control method	Stored program method						
I/O control method	Combination of the cyclic scan and immediate refresh processing methods.						
Programming language	Ladder diagram						
Instruction word	1 step per instruction, 1 to 5 words per instruction						
Types of instructions	Basic instructions	14 types					
	Special instructions	79 types, 139 instructions					
Instruction execution time	Basic instructions	0.72 to 16.2 μ s					
	Special instructions	MOV instruction = 16.3 μ s					
Program capacity	2,048 words						
User data memory	1,024 words						
Maximum I/O points	CPU only	10 points (6 input/ 4 output points)	20 points (12 input/ 8 output points)	30 points (18 input/ 12 output points)	40 points (24 input/ 16 output points)	20 points (12 input/ 8 output points)	32 points (20 input/ 12 output points)
	With Expansion I/O Module	—	—	Up to 90 points (54 input/ 36 output points)	Up to 100 points (60 input/ 40 output points)	Up to 80 points (48 input/ 32 output points)	Up to 92 points (56 input/ 36 output points)
Memory protection	Maintains the contents of the HR, AR, Counter and Data Memory Areas.						
Memory backup	Flash memory: User program, data memory (Read only) and PLC setup area are backed up without a battery. Super capacitor: Data memory (Read/Write), holding bits, auxiliary memory bits, counter values, error log area are backed up by a capacitor for 20-days at an ambient temperature of 25°C.						
Self-diagnostic function	CPU error (watchdog timer), memory errors, I/O bus errors						
Program check	No END instruction programming errors (constantly checked during operation)						
Pulse output	1 point: 2 kHz						
High-speed counter	1 point: Single phase at 5 kHz or two-phase at 2.5 kHz (linear counting method) Incremental mode: 0 to 65535 (16-bit) Decremental mode: -32767 to 32767 (16-bit)						
Quick-response inputs	Together with the external interrupt input (minimum pulse width of 0.2 ms)						
Input time constant	Can be set at 1 ms, 2 ms, 4 ms, 8 ms, 16 ms, 32 ms, 64 ms, or 128 ms.						
Interrupt processing: External interrupt	2 points (Response time of 0.3 ms max.)	4 points (Response time of 0.3 ms max.)			4 points (Response time of 5 ms max.)		
Analog settings	2 points: (0 to 200 BCD)						

■ I/O ALLOCATION

Input bits	00000 to 00915; words not used for input or output bits can be used for work bits.	
Output bits	01000 to 01915; words not used for input or output bits can be used for work bits.	
Work bits (IR Area)	512: IR 20000 to IR 23115 (IR 200 to IR 231)	
Special bits (SR Area)	384: SR 23200 to SR 25515 (SR 232 to SR 255)	
Temporary bits (TR Area)	8: TR 0 to TR 7	
Holding bits (HR Area)	320: HR 0000 to HR 1915 (HR 00 to HR 19)	
Auxiliary bits (AR Area)	256: AR 0000 to AR 1515 (AR 00 to AR 15)	
Link bits (LR Area)	256: LR 0000 to LR 1515 (LR 00 to LR 15)	
Timers/Counters	128: TIM/CNT 000 to 127 100-ms timer: TIM 000 to TIM 127 10-ms timer: TIM 000 to TIM 127 Decremental counter, reversible counter	
Data memory	Read/Write	1,024 words (DM 0000 to DM 1023)
	Read only	512 words (DM 6144 to DM 6655)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■ I/O SPECIFICATIONS

CPU Unit AC-Input

Item	Specification
Input voltage	120 VAC/DC nominal, range 85 to 132
Input impedance	17 kΩ AC @ 60Hz, 69kΩ DC
Input current	7.2 mA AC, 1.7 mA DC @ 120 V typical for: CPM1A-20CAR-A, Inputs 00 to 11 CPM1A-32CAR-A, Ch 0 Inputs 00 to 11 and CPM1A-32CAR-A, Ch 1 Inputs 00 to 03 1.9 mA AC or DC @ 120 V typical for: CPM1A-32CAR-A, Ch 1 Inputs 04 to 07 only
ON voltage	65 VAC/DC
OFF voltage	25 VAC/DC
ON delay	1 to 128 ms max. Default: 8 ms (See Note.)
OFF delay	1 to 128 ms max. Default: 8 ms (See Note.)
Circuit configuration	<p>CPM1A-20CAR-A Inputs 00-11</p> <p>CPM1A-32CAR-A Inputs Ch 0: 00-11 Inputs Ch 1: 00-03</p> <p>CPM1A-32CAR-A only Inputs Ch 1: 04-07</p>

Note: Using the PLC Setup, 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, or 128 ms can be selected. When IN00000 through IN00002 are used as high-speed counter inputs, the delays are as shown in the following table. Typically for AC inputs, the delay is set at the default, 8 ms.

Input	Increment mode	Differential phase mode
IN00000 (A-phase)	20 Hz	20 Hz
IN00001 (B-phase)	Normal input	
IN00002 (Z-phase)	ON: 5 ms min.; OFF delay: 5 ms min.	

CPU Unit DC Input

Item	Specifications	Circuit
Input voltage	24 VDC $\pm 10\%$ $\pm 15\%$	<p>Note: The polarity of the input power supply can be either positive or negative.</p>
Input impedance	IN0000 to IN0002: 2 kΩ Others: 4.7 kΩ	
Input current (typical)	IN0000 to IN0002: 12 mA Others: 5 mA	
ON voltage	14.4 VDC min.	
OFF voltage	5.0 VDC max.	
ON delay (See Note 1)	1 to 128 ms max. (default: 8 ms) (See Note 1)	
OFF delay (See Note 1)	1 to 128 ms max. (default: 8 ms) (See Note 1)	

Note: 1. The actual ON/OFF delay includes an input constant of 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, or 128 ms (default: 8 ms).
2. When IN0000 to IN0006 are used for the high-speed counter inputs, the delays are as shown below:

Input	Increment mode	Differential phase mode
IN0000 (A-phase)	5 kHz	2.5 kHz
IN0001 (B-phase)	Normal input	
IN0002 (Z-phase)	ON: 100 μs max. OFF: 500 μs max.	
IN0003 to IN0006	0.3 ms max. (From the time of input ON until the interrupt subroutine is executed.)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Transistor Output (Sink Type/Source Type)

Item	Specifications	Circuit
Maximum switching capacity	300 mA, 24 VDC $\pm 10\%$ / -15% (See Note 1)	<p>Sink Type</p> <p>Source Type</p>
Leakage current	0.1 mA max.	
Residual voltage	1.5 V max.	
ON delay	0.1 ms max.	
OFF delay	1 ms max. (See Note 2)	

Note: 1. The maximum switching capacity of the CPM1A with transistor outputs (sink type and source type) are limited to the currents shown in the following table for the common and for the Unit.

Part number	Max. switching capacity
CPM1A-10CDT, CPM1A-10CDT1-A, CPM1A-10CDT1-D	0.9 A/Unit
CPM1A-20CDT-D, CPM1A-20CDT1-A, CPM1A-20CDT1-D	0.9 A/common; 1.8 A/Unit
CPM1A-30CDT-D, CPM1A-30CDT1-A, CPM1A-30CDT1-D	0.9 A/common; 2.7 A/Unit
CPM1A-40CDT-D, CPM1A-40CDT1-A, CPM1A-40CDT1-D	0.9 A/common; 3.6 A/Unit
CPM1A-20EDT, CPM1A-20EDT1	0.9 A/common; 1.8 A/Unit
CPM1A-8ET, CPM1A-8ET1	0.9 A/common; 1.8 A/Unit

2. When using the pulse output function of the CPM1A with transistor outputs (sink type and source type): The output current must be within a range from 100 to 200 mA when using the output 01000 or 01001 as a pulse output with the maximum frequency of 2 kHz. The outputs 01000 and 01001 will vary depending on the output current.

Load current	OFF delay
100 to 200 mA	0.2 ms max.
0 to 300 mA except for the above range	0.5 ms max.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 PURPOSE This is a condensation of the standards on motors included in NEMA Standards Publication *Motors and Generators*, MG 1-2006. Some standards are reprinted in their entirety while others have been combined or abbreviated. The numbers placed at the end of many of the paragraphs in this condensation (e.g. MG 1 Part 6) refer to the complete standard in MG 1.

2 SCOPE The standards in this guide cover alternating-current squirrel-cage motors up to and including the ratings built in frames corresponding to the continuous open-type ratings given in Table 1.

3 DEFINITIONS ambient temperature: The temperature of the surrounding air which comes into contact with the heated parts of the apparatus. [MG 1-1.56]

capacitor motor: A single-phase induction motor with main winding arranged for direct connection to power source and auxiliary winding connected in series with a capacitor. There are three types of capacitor motors: capacitor start, in which capacitor phase is in circuit only during starting; permanent-split capacitor which has the same capacitance for both starting and running; two-value capacitor motor in which there are different values of effective capacitance for starting and running. [MG 1-1.20.3.3]

current:

locked-rotor current: The steady-state current taken from the line, with the rotor locked and with rated voltage and rated frequency applied to the motor. [MG 1-1.53]

no-load current: The current flowing through a line terminal of a winding when rated voltage is applied at a rated frequency with no connected load. [MG 1-1.54]

dimensions: Dimension are indicated by the NEMA letters given in Table 19. [MG 1-4.1]

dripproof motor: An open motor in which the ventilating openings are so constructed that successful operation is not interfered with when drops of liquid or solid particles strike or enter the enclosure at any angle from 0 to 15 degrees downward from the vertical. [MG 1-1.25.1]

dripproof guarded motor: A dripproof motor whose ventilating openings are guarded. [MG 1-1.25.5]

energy efficient polyphase squirrel-cage induction motor: An induction motor having an efficiency in accordance with 9.21.3. [MG 1-1.41.2]

frame number: The frame number for small motors is the "D" dimension in inches multiplied by 16. The frame number for medium motors consists of three or four digits. The first two digits are equal to four times the "D" dimension in inches. When this product is not a whole number, the first two digits of the frame number are the next higher whole number. The third and, when required, fourth digit of the frame number is obtained from the value of the "2F" dimension in inches as shown in the columns headed 1 to 15, inclusive, in the Table 13. [MG 1-4.2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

general-purpose motor: A squirrel-cage induction motor, rated 500 horsepower and less, open or enclosed construction. It is designed in standard ratings with standard operating characteristics and mechanical construction for use under usual service conditions without restriction to a particular application or type of application. [MG 1-1.6]

guarded motor: An open motor in which all openings giving direct access to live metal or rotating parts (except smooth rotating surfaces) are limited in size by the structural parts or by screens, baffles, grilles, expanded metal, or other means to prevent accidental contact with hazardous parts. Openings giving direct access to such live or rotating parts shall not permit the passage of a cylindrical rod 0.75 inch in diameter. The openings in the motor enclosure shall be such that (1) a probe such as that illustrated in Figure 1, when inserted through the openings, will not touch an **uninsulated live metal part** or a hazardous rotating part and (2) a probe such as that illustrated in Figure 1, when inserted through the openings, will not touch film coated wire. [MG 1-1.25.4]

high-potential tests: High-potential tests are tests which consist of the application of a voltage higher than the rated voltage for a specified time for the purpose of determining the adequacy against breakdown of insulating materials and spacings under normal conditions. [MG 1 Part 3]

IC code: Acronym for "International Cooling." See Clause 5 Methods of Cooling. [MG 1 Part 6]

IP code: Acronym for "International Protection." See Clause 4 Classification of Degrees of Protection. [MG 1 Part 5]

medium (integral) motor: An alternating-current medium motor is (1) built in a three-or four-digit frame series (or equivalent for motors without feet); and (2) having a continuous rating up to and including the information in Table 2. [MG 1-1.4.1]

NEMA Premium efficiency electric motor: A continuous rated, single-speed, polyphase, squirrel-cage induction motor of 2, 4, or 6 pole design meeting the performance requirements of Design A or Design B and having a nominal full load efficiency not less than that shown in 9.21.4. [MG 1-1.16]

open motor: One having ventilating openings which permit passage of external cooling air over and around the windings of the motor. [MG 1-1.25]

service factor: A multiplier which, when applied to the rated horsepower, indicates a permissible horsepower loading which may be carried under the conditions specified for the service factor. [MG 1-1.42]

small (fractional) motor: A small motor is either (1) built in a two digit frame number series (or equivalent for motors without feet); or (2) a motor built in a frame smaller than that frame of a medium motor which has a continuous rating at 1700-1800 rpm of 1 horsepower; or (3) a motor rated less than 1/3 horsepower and less than 800 rpm. [MG 1-1.3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

squirrel-cage induction motor: An alternating-current motor composed of a primary winding connected to a power source and a squirrel-cage secondary winding which carries induced current. [MG 1-1.18.1.1]

starting capacitance for a capacitor motor: The total effective capacitance in series with the starting winding under locked-rotor conditions. [MG 1-1.58]

temperature tests: Tests taken to determine the temperature rise of certain parts of the motor above the ambient temperature, when running under a specified load. [MG 1-1.55]

torque: breakdown torque: The maximum torque developed by the motor with rated voltage applied at rated frequency, without an abrupt drop in speed. [MG 1-1.50]

locked-rotor torque: The minimum torque developed by the motor at rest for all angular positions of the rotor, with rated voltage applied at rated frequency. [MG 1-1.47]

pull-up torque: The minimum torque developed by the motor during the period of acceleration from rest to the speed at which breakdown torque occurs. For motors which do not have a definite breakdown torque, the pull-up torque is the minimum torque developed up to rated speed. [MG 1-1.48]

totally enclosed motor: A motor enclosed to prevent the free exchange of air between the inside and the outside of the case but not sufficiently enclosed to be termed air-tight. [MG 1-1.26]

totally enclosed fan-cooled motor: A totally enclosed motor equipped for exterior cooling by means of a fan or fans integral with the motor but external to the enclosing parts. [MG 1-1.26.2]

totally enclosed fan-cooled guarded motor: A totally enclosed fan-cooled motor in which all openings giving direct access to the fan are limited in size by the design of the structural parts or by screens, grills, expanded metal, etc., to prevent accidental contact with the fan. Such openings shall not permit the passage of a cylindrical rod 0.75 inch in diameter, and a probe such as that shown in Figure 1 and Figure 2 shall not contact the blades, spokes, or other irregular surfaces of the fan. [MG 1-1.26.3]

totally enclosed nonventilated motor: A totally enclosed motor which is not equipped for cooling by means external to the enclosing parts. [MG 1-1.26.1]

voltage unbalance: The voltage unbalance in percent may be defined as follows: percent voltage unbalance = $100 \times (\text{maximum voltage deviation from average voltage} / \text{average voltage})$

Example—With voltages of 460, 467, and 450, the average is 459, the maximum deviation from average is 9, and the percent unbalance = $100 \times 9/459 = 1.96$ percent. [MG 1-14.36.2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4 CLASSIFICATION OF DEGREES OF PROTECTION PROVIDED FOR ENCLOSURES FOR ROTATING MOTORS

The designation used for the degree of protection consists of the letters IP followed by two characteristic numerals signifying conformity with the conditions indicated in Table 3. [MG 1-5.2]

4.1 Single Characteristic Numeral When it is required to indicate degree of protection by only one characteristic numeral, the omitted numeral shall be replaced by the letter X. For example, IPX5 or IP2X. [MG 1-5.2.1]

4.2 Supplementary Letters Additional information may be indicated by a supplementary letter following the second characteristic numeral. If more than one letter is used, the alphabetic sequence shall apply. [MG 1-5.2.2]

4.3 Letters Following Numerals In special application (such as motors with open circuit cooling for ship deck installation with air inlet and outlet openings closed during standstill) numerals may be followed by a letter indicating whether the protection against harmful effects due to ingress of water was verified or tested for the machine not running (letter S) or the machine running (letter M). In this case the degree of protection in either state of the machine shall be indicated, for example IP55S/IP20M. The absence of the letters S and M shall imply that the intended degree of protection will be provided under all normal conditions of use. [MG 1-5.2.2.1]

4.4 Letters Placed Immediately after the Letters IP For open internally air-cooled motors suitable under specific weather conditions and provided with additional protective features or processes, such as those required for open water-protected motors, the letter W may be used. [MG 1-5.2.2.2]

4.5 Degrees of Protection—First Characteristic Numeral The first characteristic numeral indicates the degree of protection provided by the enclosure with respect to persons and also to the parts of the machine inside the enclosure. Table 3 gives brief details of objects which will be excluded from the enclosure for each of the degrees of protection represented by the first characteristic numeral. [MG 1-5.3.1] The term “excluded” implies that a part of the body, or a tool or wire held by a person, either will not enter the machine or, if it enters, that adequate clearance will be maintained between it and the live or dangerous moving parts (smooth rotating shafts and the like are not considered dangerous). Table 3 also indicates the minimum size of foreign objects which will be excluded. [MG 1-5.3.1] Compliance of an enclosure with an indicated degree of protection implies that the enclosure will also comply with all lower degrees of protection. In consequence, the tests establishing these lower degrees of protection are not required, except in cases of doubt. [MG 1-5.3.2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 Degrees of Protection—Second Characteristic Numeral The second characteristic numeral indicates the degree of protection provided by the enclosure with respect to harmful effect due to ingress of water. Table 3 gives brief details of the type of protection provided by the enclosure for each of the degrees of protection represented by the second characteristic numeral. A machine is weather-protected when its design reduces the ingress of rain, snow, and airborne particles, under specified conditions, to an amount consistent with correct operation. This degree of protection is designated by the letter W placed after the two characteristic numerals. [MG 1-5.4.1]

5 METHODS OF COOLING The designation used for the method of cooling consists of the letters IC, followed by numerals and letters representing the circuit arrangement, the coolant and the method of movement of the coolant. A complete designation and a simplified designation are defined. The complete designation system is intended for use mainly when the simplified system is not applicable. [MG 1-6.1]

5.1 Arrangement of the IC Code The designation system is demonstrated in Table 4. The simplified designations should preferably be used, that is, the complete designation system is intended for use mainly when the simplified system is not applicable.

6 MECHANICAL VIBRATION—MEASUREMENT, EVALUATION, AND LIMITS OF AC MEDIUM MOTORS

This standard is applicable to polyphase alternating current motors tested with sinusoidal power. The standard is not applicable to motors mounted in situ, single-phase motors, or three-phase motors operated on single-phase systems. [MG 1-7.1] The criterion for bearing housing vibration is the peak value of unfiltered vibration velocity in the vertical, horizontal and axial directions. Unfiltered vibration limits for standard motors, when tested on resilient mounts, are shown in Table 5. [MG 1-7.4.1]

7 SMALL (FRACTIONAL) AND MEDIUM (INTEGRAL) MOTORS RATINGS

7.1 Voltages Single-phase motors 60 hertz—115, 200, and 230 volts

50 hertz—110 and 220 volts

Polyphase motors

60 hertz—115¹, 200, 230, 460, and 575 volts

50 hertz—220 and 380 volts

NOTES— 1. It is not practical to build motors of all horsepower ratings for all the standard voltages. [MG 1-10.30] 2. Operation of a motor rated 230 volts on a 208-volt system is not recommended. Such operation will generally result in excessive overheating and serious reduction in torques. Induction motors intended for operation on 208-volt systems should be rated for 200 volts. [MG 1-14.35]

¹Applies only to motors rated 15 horsepower and smaller.

7.2 Frequencies The frequency shall be 50 and 60 hertz. [MG 1-10.31]

7.3 Horsepower and Speed Ratings **7.3.1 Small Induction Motors** The horsepower and speed ratings for small induction motors are shown in Table 6. [MG 1-10.32.1]

7.3.2 Single-Phase Medium Motors The horsepower and synchronous speed ratings of single-phase medium motors rated 115, 200, and 230 volts are shown in Table 7. [MG 1-10.32.3]

7.3.3 Polyphase Medium Induction Motors The horsepower and synchronous speed ratings of polyphase medium induction motors are shown in Table 8. [MG 1-10.32.4]

7.3.4 Basis of Single-Phase Horsepower Rating The horsepower rating of a small or medium single-phase induction motor is based upon the breakdown torque. The value of breakdown torque to be expected by the user for any horsepower and speed shall fall within the range given in Table 9 and Table 10. [MG 1-10.34.1]

7.4 Horsepower Ratings of Multispeed Motors **7.4.1 Constant Horsepower** The horsepower rating for each rated speed shall be selected from Table 6 and Table 7. [MG 1-10.33.1]

7.4.2 Constant Torque The horsepower rating for the highest rated speed is selected from Table 6 and Table 7. The horsepower rating for each lower speed shall be determined by multiplying the horsepower rating at the highest speed by the ratio of the lower synchronous speed to the highest synchronous speed. [MG 1-10.33.2]

7.4.3 Variable Torque The horsepower ratings at the highest rated speed is selected from Table 6 and Table 7. The horsepower rating for each lower speed shall be determined by multiplying the horsepower rating at the highest speed by the square of the ratio of the lower synchronous speed to the highest synchronous speed. [MG 1-10.33.3]

7.5 Rating of 60-Hertz Motors Operated on 50-Hertz Power General-purpose alternating-current polyphase 2-, 4-, 6- and 8-pole, 60-hertz medium induction motors, although not designed to operate at their 60-hertz ratings on 50-hertz circuits, can be operated satisfactorily at 50-hertz if voltage and horsepower ratings are appropriately reduced (see MG 1 Part 14). [MG 1-14.34]

7.6 Time Ratings for Single-Phase and Polyphase Induction Motors The time rating for single-phase and polyphase induction motors shall be 5, 15, 30, and 60 minutes or continuous. All short-time ratings are based upon a corresponding short-time load test which shall commence only when the winding and other parts of the machine are within 5°C of the ambient temperature at the time of the starting of the test. [MG 1-10.36]

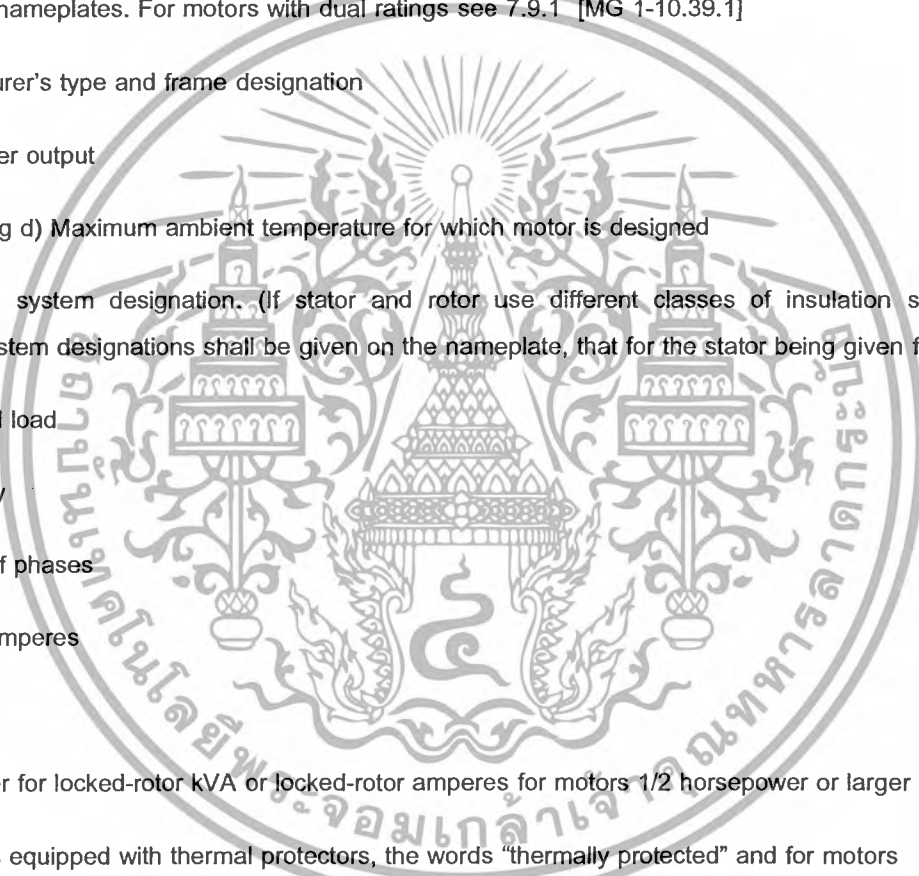
7.7 Code Letters (for Locked-Rotor kVA)—Nameplate Marking The nameplate of an alternating-current motor rated 1/2 horsepower and larger may be marked with the caption "Code" followed by a letter selected from the table below to show the locked-rotor kVA per horsepower. The letter designations for locked-rotor kVA per horsepower as measured at full voltage and rated frequency are as shown in Table 12. [MG 1-10.37]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Broad- or dual-voltage motors which have a different locked-rotor kVA per horsepower on the different voltages shall be marked with the code letter for the voltage giving the highest locked-rotor kVA per horsepower. Motors with 60- and 50-hertz ratings shall be marked with a code letter designating the locked-rotor kVA per horsepower on 60-hertz. [MG 1-10.37.6]

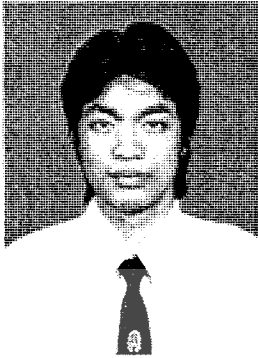
7.8 Nameplate Temperature Ratings for Alternating-Current Small Motors Alternating-current small motors shall be rated on the basis of a maximum ambient temperature and the insulation system class. The rated value of the maximum ambient temperature shall be 40°C unless otherwise specified, and the insulation system shall be Class A, B, F, or H. [MG 1-10.38]

7.9 Nameplate Marking for Small Single-Phase and Polyphase Motors The following information shall be given on all nameplates. For motors with dual ratings see 7.9.1 [MG 1-10.39.1]

- 
- a) Manufacturer's type and frame designation
 - b) horsepower output
 - c) Time rating d) Maximum ambient temperature for which motor is designed
 - e) Insulation system designation. (If stator and rotor use different classes of insulation systems, both insulation system designations shall be given on the nameplate, that for the stator being given first.)
 - f) Rpm at full load
 - g) Frequency
 - h) Number of phases
 - i) Full-load amperes
 - j) Voltage
 - k) Code letter for locked-rotor kVA or locked-rotor amperes for motors 1/2 horsepower or larger
 - l) For motors equipped with thermal protectors, the words "thermally protected" and for motors rated more than 1 horsepower, a type number.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

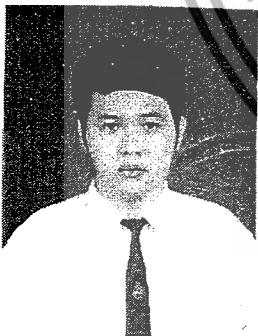
ประวัติผู้เขียน



นายชวลิต ภูแข่งหมอก เกิดเมื่อวันที่ 10 ธันวาคม พ.ศ. 2527 ภูมิลำเนาอยู่ที่ตำบลเหนือ อำเภอเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์ สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพสาขาช่างไฟฟ้ากำลัง จากวิทยาลัยเทคนิคกาฬสินธุ์ และประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงสาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ปัจจุบันกำลังศึกษาในชั้นปีที่ 3 หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (เทียบโอนหน่วย) สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายวันเฉลิม จงจินากุล เกิดเมื่อวันที่ 5 ธันวาคม พ.ศ. 2527 ภูมิลำเนาอยู่ที่ตำบลท่ามะกา อำเภوتاมะกา จังหวัดกาญจนบุรี สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพสาขาช่างไฟฟ้ากำลัง จากโรงเรียนอาชีวะดอนบอสโก และประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงสาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร วิทยาเขตพระนครเหนือ ปัจจุบันกำลังศึกษาในชั้นปีที่ 3 หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (เทียบโอนหน่วย) สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายอภิรักษ์ เมาจี เกิดเมื่อวันที่ 9 พฤศจิกายน พ.ศ. 2528 ภูมิลำเนาอยู่ที่ตำบลหนองปากโลง อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพสาขาช่างไฟฟ้ากำลัง และประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงสาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง จากวิทยาลัยเทคนิคนครปฐม ปัจจุบันกำลังศึกษาในชั้นปีที่ 3 หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (เทียบโอนหน่วย) สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้