

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง  
การออกแบบหัววัดคุณภาพโรเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร  
ROTOR QUALITY MEASUREMENT TYPE PERMANENT MAGNET



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 71963  
วัน,เดือน,ปี..... 6 ส.ย. 2550

b..... ๕๐๙๘๙
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม  
ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ROTOR QUALITY MEASUREMENT TYPE PERMANENT MAGNET



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

2006

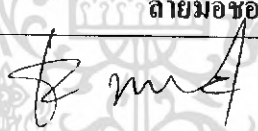
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท การออกแบบหัววัดคุณภาพโรเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร  
ROTOR QUALITY MEASUREMENT TYPE  
PERMANENENT MAGNET

นักศึกษาผู้จัดทำ นายสิทธิโชค เขมวิรัตน์ รหัสนักศึกษา 46012131  
นายสุรสิทธิ์ ภูเจริญ รหัสนักศึกษา 46012138

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม  
ปีการศึกษา 2549

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท	ลายมือชื่อ
ผศ.เชื้อ นกอยู่	

ภาควิชารับรองแล้ว



(รศ.ประภาส อุดกสิมาพันธุ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การออกแบบหัววัดคุณภาพโรเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร ROTOR QUALITY MEASUREMENT TYPE PERMANENT MAGNET		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายสิทธิโชค เขมวรัตน์	รหัสนักศึกษา	46012131
	นายสุรสิทธิ์ จูเจริญ	รหัสนักศึกษา	46012138
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. เชื้อ นกอยู่		
ปีการศึกษา	2549		

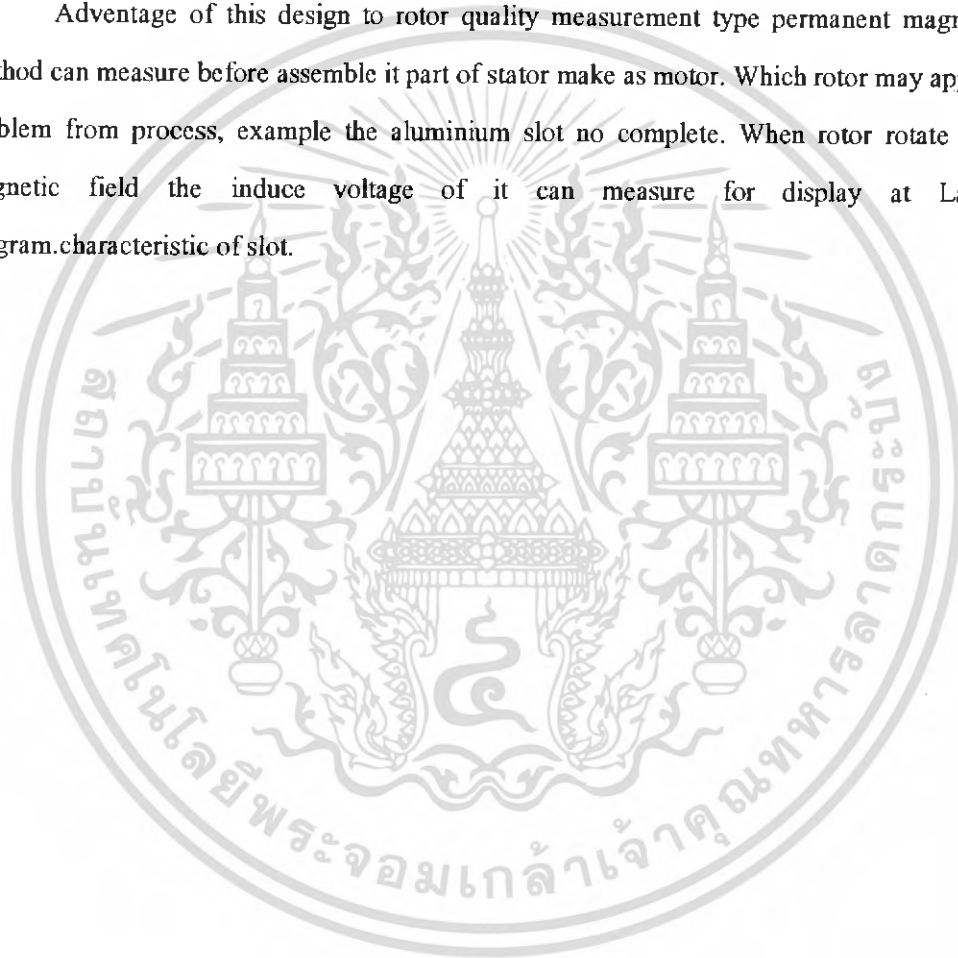
### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้ได้จัดทำเครื่องวัดคุณภาพโรเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการตรวจวัดคุณภาพของโรเตอร์ ก่อนที่จะนำไปประกอบกับส่วนสเตเตอร์แล้วผลิตเป็นมอเตอร์ต่อไป ซึ่งโรเตอร์อาจเกิดปัญหาจากกระบวนการการผลิต เช่น อลูมิเนียมไม่เต็มร่องสลอต หรือ อลูมิเนียมที่ฉีดไม่ครบทุกส่วนของสลอต โดยเครื่องวัดคุณภาพโรเตอร์จะใช้หลักการเหนี่ยวนำโดยสร้างสนามแม่เหล็กขึ้น แล้วให้โรเตอร์ที่จะทำการผลิตนั้นเป็นตัวนำหมุนตัดผ่านสนามแม่เหล็กแล้วทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า โดยนำค่าที่ได้ไปแสดงผลที่โปรแกรม LabVIEW

**Thesis Title** Roter Quality Measurement Type Permanent Magnet  
**Authors** Mr.Sittichoke Kemvirat  
Mr.Surasitt Juchareon  
**Thisis Advisor** Asst.Prof.Chuae Nokyoo  
**Year** 2006

### ABSTRACT

Advantage of this design to rotor quality measurement type permanent magnet . this method can measure before assemble it part of stator make as motor. Which rotor may appearance problem from process, example the aluminium slot no complete. When rotor rotate cross of magnetic field the induce voltage of it can measure for display at LabVIEW program.characteristic of slot.



## กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อาจารย์เชื้อ นกอยู่ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำปรึกษา และคำแนะนำต่างๆ จนช่วยให้การทำปริญญานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณห้องสมุดและภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เป็นแหล่งค้นคว้าข้อมูลและเป็นสถานที่ใช้ในการทำการวิจัย

นอกจากนี้ต้องขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ห้องสโตร์ เพื่อนๆทุกคนที่ได้ให้การช่วยเหลือทั้งทางตรงและทางอ้อมเสมอมา คอยให้คำแนะนำ ให้ยืมอุปกรณ์ต่างๆ และคอยให้กำลังใจที่มีเสมอมา

สุดท้ายต้องขอขอบพระคุณ บิดา มารดา คอยสั่งสอนและอบรมให้เป็นคนดี รวมทั้งเป็นผู้สนับสนุนทุนทรัพย์ในการศึกษาและเป็นกำลังใจเสมอมา ตั้งแต่เริ่มต้นจนสำเร็จสมความตั้งใจ และคุณความดีที่พึงมีจากการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนขอบแต่ ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาเครื่องตรวจวัดคุณภาพ โรเตอร์แบบกรงกระรอก.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....	1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
<b>บทที่ 2 โครงสร้างโรเตอร์แบบสไลควเรจเกจ.....</b>	<b>3</b>
2.1 โรเตอร์แบบสไลควเรจเกจ.....	3
<b>บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับปริญญานิพนธ์.....</b>	<b>5</b>
3.1 คุณสมบัติการเป็นแม่เหล็กถาวร.....	5
3.2 การเหนี่ยวนำแม่เหล็กถาวร โดยการประมาณ.....	6
3.3 สารแม่เหล็กถาวร.....	8
3.4 การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า.....	10
3.5 สนามแม่เหล็กหมุน.....	14
3.6 การเกิดสัญญาณเป็นกระแสสลับเกิดการหมุนของโรเตอร์ตัดผ่านสนามแม่เหล็ก.....	16
3.7 กฎของเลนซ์.....	16

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 Labview.....	17
4.1 อธิบายการใช้งานของโปรแกรม LabVIEW .....	17
4.2 โปรแกรม LabVIEW ที่ใช้ในโครงการ.....	29
บทที่ 5 เครื่องตรวจวัดคุณภาพโรเตอร์แบบกรงกระรอก.....	34
5.1 หลักการทำงานของเครื่องตรวจวัดคุณภาพของโรเตอร์แบบกรงกระรอก.....	34
5.2 การทำงานของหัววัดคุณภาพโรเตอร์.....	34
5.3 ขั้นตอนการออกแบบหัวคุณภาพโรเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร.....	35
5.4 แบบจำลองการทำงานของเครื่องมือวัดคุณภาพโรเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร.....	37
บทที่ 6 ผลการทดลอง.....	39
6.1 ลักษณะของรูปคลื่นที่วัดได้จากสโครปที่มอเตอร์คุณภาพดี.....	39
6.2 ลักษณะของรูปคลื่นที่วัดได้จากสโครปที่มอเตอร์คุณภาพไม่ดี.....	40
6.3 ลักษณะของรูปคลื่นที่วัดได้จากสโครปที่มอเตอร์มีลักษณะครูด.....	42
6.4 ผลการทดลองสัญญาณจาก โรเตอร์คุณภาพดีขนาด Ø 2 นิ้ว.....	43
6.5 ผลการทดลองสัญญาณจากโรเตอร์คุณภาพไม่ดีขนาด Ø 2.5 นิ้ว .....	44
6.6 ผลการทดลองสัญญาณจากโรเตอร์รูปโรเตอร์ไม่เต็ม Ø 2 นิ้ว.....	45
6.6 ผลการทดลองสัญญาณจากโรเตอร์รูปโรเตอร์ครูด Ø 2 นิ้ว.....	45
บทที่ 7 สรุปและวิจารณ์.....	46
7.1 สรุป.....	46
7.2 วิจารณ์.....	46
บรรณานุกรม.....	47
ภาคผนวก.....	48

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ตารางของการเปรียบเทียบ A/D แบบต่างๆ.....	29



# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แผ่นลามีเนตอัดขึ้นรูปเป็นหุ่น โรเตอร์.....	3
2.2 แกนโรเตอร์ที่มีตัวนำแท่งอลูมิเนียมอัดอยู่ในสล๊อทและแหวนอลูมิเนียมพร้อมแท่นยึด.....	4
2.3 แสดงให้เห็นโรเตอร์เมื่อนำเอาแท่นอลูมิเนียมออกจะมีโครงสร้างแบบกรงกระรอก.....	4
2.4 ตัวนำของโรเตอร์ที่ต่อกันเหมือนกับกรงกระรอก.....	4
3.1 วงจรแม่เหล็ก.....	5
3.2 ระบบแม่เหล็กถาวรและตำแหน่ง B – H.....	6
3.3 กรณีมีช่องอากาศบนส่วนแกนชนิดอ่อน.....	7
3.4 ตำแหน่งเส้น โค้งคุณลักษณะ B – H.....	7
3.5 เส้นโค้งการลดความเป็นแม่เหล็กสำหรับ alnico.....	9
3.6 เส้นโค้งการลดความเป็นแม่เหล็กสำหรับ ferite D magnet.....	9
3.7 เส้นโค้งการลดความเป็นแม่เหล็ก สำหรับ samarium - cobalt magnet และ neodymium – iron - boron magnet.....	10
3.8 แท่งเหล็กรูปตัว U วางเข้าหาแกนตัวนำ.....	11
3.9 ลักษณะเส้นแรงแม่เหล็กรวบรอบตัวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็ก N.....	12
3.10 ตัวนำรูปทรงกระบอกเคลื่อนที่เนื่องจากกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ.....	13
3.11 สนามแม่เหล็กหมุนของมอเตอร์สองเฟสชนิดสองโพล.....	14
3.12 แสดงตัวนำหมุนตัดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า.....	16
4.1 Front Panel.....	17
4.2 Block Diagram รวมทั้ง Tools, Functions และ Controls ต่าง ๆ ในโปรแกรม LabVIEW.....	18
4.3 ตัวอย่างของตัว Control และ Indicator แบบ Numerics.....	19
4.4 ตัวอย่างของตัว Control และ Indicator แบบ Strings Boolean ใน Front Panel.....	19
4.5 แสดง Front PanelString เป็นตัวอักษรที่ใช้สำหรับป้อนค่า,แสดงผล หรือจัดเก็บไว้ในรูปของไฟล์.....	20
4.6 ตัวอย่างของ Charts/Graphs แบบต่าง ๆ ใน Front Panel.....	20
4.7 Numerics ใน Block Diagram.....	21
4.8 Booleans ใน Block Diagram.....	21

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 Stringsใน Block Diagram.....	22
4.10 charts/Graphs ใน Block Diagram.....	22
4.11 ตัวอย่างของ Operation ต่าง ๆ.....	23
4.12 ตัวอย่างของฟังก์ชันมาตรฐานต่าง ๆ.....	23
4.13 ตัวอย่างของ Loop & Case Structures.....	24
4.14 ฟังก์ชัน File I/O สำหรับข้อมูลแบบต่าง ๆ.....	24
4.15 ฟังก์ชัน File I/O สำหรับข้อมูลแบบ Waveform (Cluster).....	25
4.16 Menu สำหรับเรียก SubVI.....	25
4.17 Front Panel ของโปรแกรมบวกเลข.....	26
4.18 Block Diagram ของโปรแกรมบวกเลข.....	26
4.19 กราฟ Sine wave ที่มีความละเอียด 3 bits.....	27
4.20 แสดงอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในLabVIEW.....	29
4.21 แสดงหน้าจอแสดงผลผ่านโปรแกรมLabVIEW.....	30
4.22 แสดงการเดินทางของข้อมูลกรณี TRUE.....	30
4.23 แสดงการเดินทางของข้อมูลกรณี FALSE.....	31
4.24 แสดงอุปกรณ์ DAQ.....	32
4.25 แสดงอุปกรณ์ Filter.....	32
4.26 แสดงอุปกรณ์ Tone Measurement.....	33
4.27 แสดงอุปกรณ์ Write To Measurement File.....	33
4.28 แสดงอุปกรณ์ Read Form Measurement File.....	33
5.1 แสดงการทำงานของเครื่องวัดคุณภาพของโรเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร.....	34
5.2 แกนเหล็กรูปตัว E.....	35
5.3 แกนเหล็กที่ทำการตัดเพื่อทำเป็นหัววัดคุณภาพโรเตอร์.....	35
5.4 เฟรมที่ทำการพันด้วยลวดทองแดง.....	36
5.5 แสดงการนำเฟรมมาประกอบกับแกนเหล็ก.....	36
5.6 ลักษณะการทำงานของเครื่องวัดคุณภาพโรเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร.....	37

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.7 แบบจำลองการทำงานของเครื่องวัดคุณภาพโรเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร.....	37
6.1 ผลการทดลองสัญญาณจากโรเตอร์คุณภาพดีขนาด $\emptyset$ 2 นิ้ว ที่สโคป 2 V, 5 ms .....	39
6.2 ผลการทดลองสัญญาณจากโรเตอร์คุณภาพดีขนาด $\emptyset$ 2 นิ้ว ที่สโคป 5 V, 5 ms .....	39
6.3 ผลการทดลองสัญญาณจากโรเตอร์คุณภาพไม่ดีขึ้นขนาด $\emptyset$ 2 นิ้ว ที่สโคป 2 V, 5 ms.....	40
6.4 ผลการทดลองสัญญาณจากโรเตอร์คุณภาพไม่ดีขึ้นขนาด $\emptyset$ 2 นิ้ว ที่สโคป 5 V, 5 ms.....	40
6.5 ผลการทดลองสัญญาณจากโรเตอร์คุณภาพไม่ดีขึ้นขนาด $\emptyset$ 2.5 นิ้ว ที่สโคป 5 V, 5 ms.....	41
6.6 ผลการทดลองสัญญาณจากโรเตอร์คุณภาพไม่ดีขึ้นขนาด $\emptyset$ 2 นิ้ว ที่สโคป 2 V, 5 ms .....	41
6.7 ผลการทดลองสัญญาณจากโรเตอร์ลักษณะครูดขนาด $\emptyset$ 2 นิ้ว ที่สโคป 2 V, 5 ms .....	42
6.8 ผลการทดลองสัญญาณจากโรเตอร์ลักษณะครูดขนาด $\emptyset$ 2 นิ้ว ที่สโคป 5 V, 5 ms .....	42
6.9 ผลการทดลองสัญญาณจากโรเตอร์ลักษณะดีขนาด $\emptyset$ 2 นิ้ว.....	43
6.10 ผลการทดลองสัญญาณจากโรเตอร์ลักษณะดีขนาด $\emptyset$ 2 นิ้วและแสดงสัญญาณที่ผ่าน ตัวFILTERด้วย(เส้นสีแดง).....	43
6.11 ผลการทดลองสัญญาณจากโรเตอร์ลักษณะไม่ดีขึ้นขนาด $\emptyset$ 2.5 นิ้ว.....	44
6.12 ผลการทดลองสัญญาณจากโรเตอร์ลักษณะไม่ดีขึ้นขนาด $\emptyset$ 2.5 นิ้ว เมื่อโรเตอร์หมุนครบรอบจากรูปสัญญาณจะพบสัญญาณส่วนที่เสียหายอีกครั้ง.....	44
6.13 ผลการทดลองสัญญาณจากโรเตอร์ลักษณะไม่ดีขึ้นขนาด $\emptyset$ 2 นิ้ว.....	45
6.14 ผลการทดลองสัญญาณจากโรเตอร์ลักษณะครูดขนาด $\emptyset$ 2 นิ้ว เนื่องจากการครูดเป็นความเสียหายทางกลจึงไม่มีผลต่อสัญญาณ.....	45

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 การออกแบบหัววัดคุณภาพโรเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร

ปัจจุบันกระบวนการผลิตต่างๆในอุตสาหกรรมได้พัฒนาไปรวดเร็วซึ่งชิ้นส่วนต่างๆในทางอุตสาหกรรมได้จากการผลิตมีจำนวนการและใช้เวลาน้อย โดยที่ก่อนที่ชิ้นส่วนที่ผลิตขึ้นก่อนที่จะนำไปประกอบเป็นงานหนึ่งชิ้นนั้นจะต้องผ่านการตรวจวัดคุณภาพเสียก่อน

โครงการการออกแบบหัววัดคุณภาพโรเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรนี้เป็นการตรวจสอบจำนวนสล๊อทและสภาพของโรเตอร์ว่าซี่ของตัวนำภายใน หัก แตก ครุด จำนวนซี่สล๊อทไม่ครบ เป็นต้น โดยใช้หลักการการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก ทำการแสดงผลเป็นกราฟ เพื่อสามารถเห็นภาพทางหน้าจอคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม LabVIEW โดยสามารถดูผลเพื่อใช้ในการตรวจสอบคุณภาพได้ ซึ่งประโยชน์ที่ได้รับคือ ใช้ในการตรวจเช็คคุณภาพของโรเตอร์ก่อนนำไปผลิตเป็นชิ้นงานเป็นตัวแกนโรเตอร์ที่ประกอบกับเพลลาแล้ว ซึ่งสามารถทำให้เราทราบข้อผิดพลาดในการผลิต และนำไปหาสาเหตุเพื่อปรับปรุงในการผลิตต่อไป

บล็อกไดอะแกรมการทำงาน



### 1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาเกี่ยวกับการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ มาประยุกต์ใช้งาน
2. เพื่อใช้เป็นเครื่องมือวัดคุณภาพของโรเตอร์แบบกรงกระรอก
3. เพื่อศึกษาโปรแกรมLabVIEWนำมาใช้งานจริง
4. เพื่อสร้างเครื่องมือวัดที่ใช้วัดและทดสอบโรเตอร์ในโรงงานอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 ขอบเขตปริญญานิพนธ์

1. สร้างเครื่องมือวัดคุณภาพแบบกรงกระรอก
2. สร้างอุปกรณ์ขยายสัญญาณ
3. แสดงสัญญาณที่ได้จากทางโปรแกรมLabVIEW

### 1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาทฤษฎีการทำงานของมอเตอร์กระแสสลับโดยที่ส่วนของโรเตอร์มีลักษณะเป็นสไลด์เรจกจ
2. ศึกษาโครงสร้างกระบวนการผลิตของโรเตอร์แบบกรงกระรอก
3. ศึกษาการเขียนโปรแกรมLabVIEW
4. ออกแบบชุดการสร้างสนามแม่เหล็กและวงจรขยายสัญญาณ
5. ออกแบบเขียนโปรแกรมLabVIEWเพื่อต่อไปแสดงผล
6. นำผลที่ออกแบบมาสร้างทั้งในส่วนของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์
7. ทดสอบการทำงานของหัววัดโรเตอร์ให้อาชีพุดแสดงเป็นสัญญาณชาชน์
8. ทดสอบการทำงานในการแสดงผลผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์
9. ทดสอบการทำงานต่อทำงานร่วมกันทั้งหมด และแก้ไขส่วนผิดพลาดที่เกิดขึ้นตลอดจนทำการปรับปรุงการทำงานของเครื่องวัดคุณภาพโรเตอร์แบบกรงกระรอก
10. สรุปผลการทดสอบและปัญหาในการทำงาน

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบและเข้าใจในการนำLabVIEWไปประยุกต์ใช้งาน
2. ทำให้ได้เครื่องวัดคุณภาพของโรเตอร์แบบกรงกระรอก
3. รู้จักนำเอาทฤษฎีทางไฟฟ้ามาประยุกต์เป็นแนวทางที่จะพัฒนาความรู้ไปใช้งานในส่วน  
ของโรงงานอุตสาหกรรม
4. รู้จักนำความรู้และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับแม่เหล็กมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบหัววัด  
คุณภาพโรเตอร์

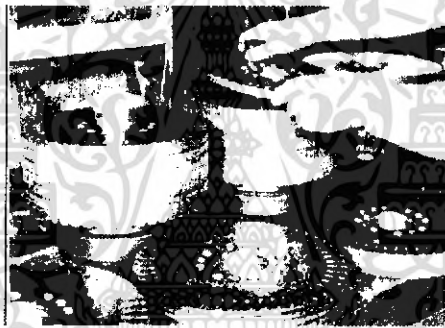
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# โครงสร้างโรเตอร์แบบสไลด์เวลดอก

### 2.1 โรเตอร์แบบสไลด์เวลดอก

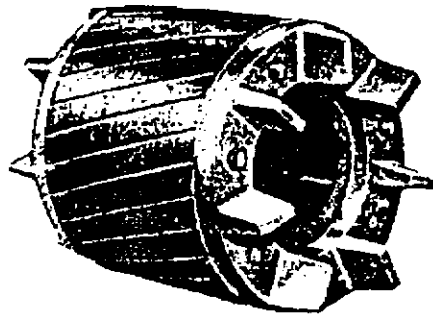
เป็นโรเตอร์ที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับหรือมอเตอร์ที่ทำงานด้วยหลักการการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กถาวรที่เรียกว่า อินดักชันมอเตอร์ แกนโรเตอร์จะทำด้วยแผ่นเหล็กบางๆที่เราจะเรียกว่าแผ่นลามิเนต (Laminated sheet steel) เช่นเดียวกับแกนขดลวดของสเตเตอร์ มีลักษณะกลมเจาะที่ส่วนผิวภายนอกให้เป็นร่องโดยรอบที่เรียกว่า สล็อต ตรงกลางแผ่นจะถูกเจาะรูสำหรับเจาะเพลลาบริเวณระหว่างสล็อตรอบๆขอบกับรูกลางแผ่นจะเจาะไว้เพื่อใช้ในการระบายความร้อนและให้โรเตอร์ที่มีน้ำหนักเบาตั้งรูป เมื่อเอมแผ่นลามิเนตนี้มาอัดเข้าด้วยกันจะได้แกนโรเตอร์



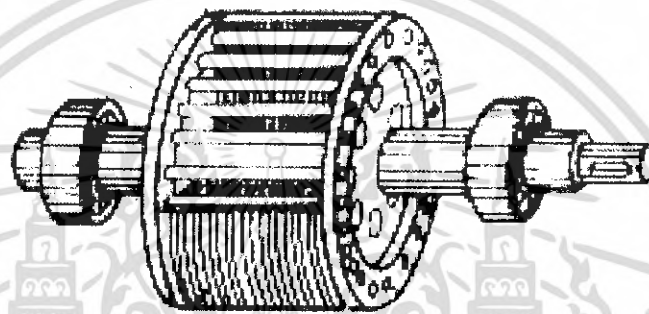
รูปที่ 2.1 แผ่นลามิเนตอัดขึ้นรูปเป็นท่อนโรเตอร์

ขดลวดที่อัดเข้าไปในสล็อตของแกนโรเตอร์นั้นแทนที่จะทำด้วยแต่ขดลวดทองแดงเส้นเล็กๆดังเช่น กรณีของขดลวดสเตเตอร์ แต่จะทำด้วยแท่งอลูมิเนียมหล่ออัดเข้าไปในสล็อตให้แน่นแล้วใช้ควงแหวนที่มีครีบบนออกมาเข้ากับปลายแต่ละข้างของแท่งอลูมิเนียมที่โผล่ออกมาจากสล็อตเพื่อให้แท่งอลูมิเนียมเหล่านั้นครบวงจรทางไฟฟ้าหรือไม่ก็นำเอาแกนโรเตอร์เข้าไปไว้ในแบบพิมพ์ (mode) แล้วทำการฉีดอลูมิเนียมเหลวเข้าไปจะได้อลูมิเนียมฝังแน่นอยู่ในสล็อตจนเต็มและมีครีบบนยื่นออกไปทั้งสองข้างของแกนโรเตอร์ด้วย

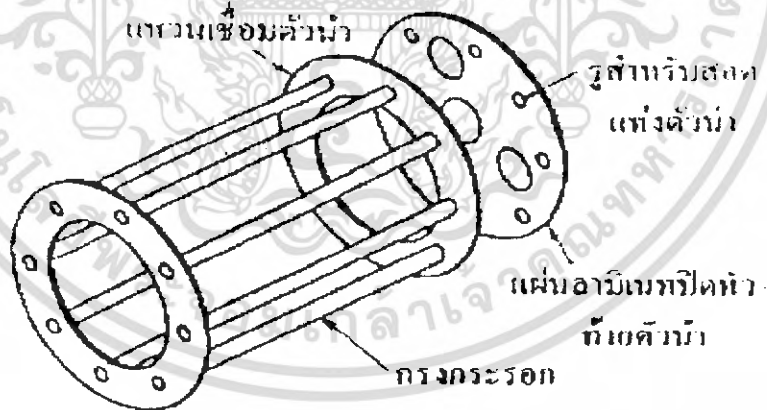
ครีบบนยื่นออกไปเหล่านี้ เรียกว่าใบพัดใช้สำหรับระบายความร้อน และเมื่ออัดเข้าไปในรูกลางของแกนแล้วจะได้แกนโรเตอร์ตามภาพ



รูปที่ 2.2 แกน โรเตอร์ที่มีตัวนำแท่งอลูมิเนียมอัดอยู่ในสลีทและแหวนอลูมิเนียมพร้อมแท่นยึด



รูปที่ 2.3 แสดงให้เห็นโรเตอร์เมื่อนำเอาแท่นอลูมิเนียมออกจะมีโครงสร้างแบบกรงกระรอก



รูปที่ 2.4 ตัวนำของโรเตอร์ที่ต่อกันเหมือนกับกรงกระรอก

สาเหตุเรียกแกนโรเตอร์แบบนี้ว่าแกนแบบกรงกระรอกก็เพราะว่า ถ้านำเอาแท่นอลูมิเนียมที่อัดอยู่ในสลีทของแกนโรเตอร์ออกมาประกอบร่วมกับแผ่นวงแหวนที่ยึดติดหัวท้ายจะได้ตัวนำที่มีโครงสร้างเหมือนกับกรงกระรอก

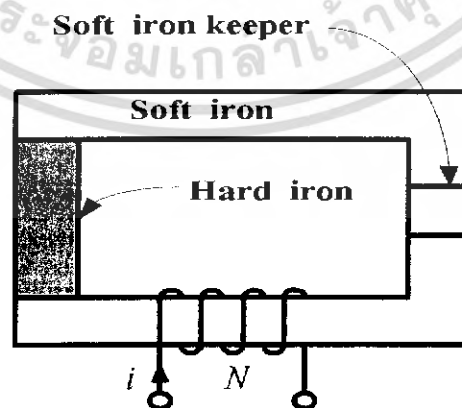
### บทที่ 3

## ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวกับปรีถุณยานิพนธ์

### 3.1 คุณสมบัติการเป็นแม่เหล็กถาวร

#### การทำแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวร (Magnetization of Permanent Magnets)

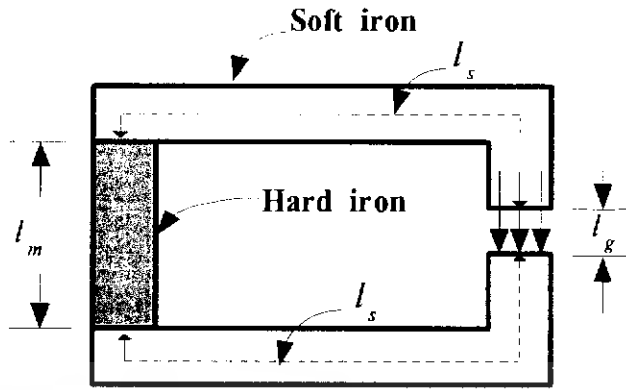
เมื่อพิจารณาวงจรแม่เหล็กดังรูปที่ 3.1 ถ้าสมมุติให้ในสภาวะเริ่มต้นไม่ได้ทำแม่เหล็กให้กับสารแม่เหล็ก และจ่ายแรงเคลื่อนแม่เหล็กให้กับสารแม่เหล็กจำนวนมากแล้วลดความหนาแน่นเส้นแรงบนตัวมันให้หมดไปอย่างไรก็ตามจะคงยังเหลือความหนาแน่นเส้นแรงตกค้าง  $B_r$  บนเส้นโค้งทำแม่เหล็กที่จุด a ดังรูปที่ 3.2 ในทางตรงข้ามกันถ้าขนาดความเข้มสนามแม่เหล็ก  $H_1$  ที่จ่ายให้กับ hard iron ขณะนั้น จุดทำงานจะเคลื่อนไปยังจุด b ถ้า  $H_1$  ถูกทำให้หมดไปโดยการจ่ายความเข้มสนามแม่เหล็กกลับทางตำแหน่งของเส้นโค้งลักษณะ B-H จะอยู่ใน loop เล็กดังรูปที่ 3.2 ส่วน loop เล็กแสดงทิศทางโดยลูกศรและสำหรับในทางปฏิบัติสามารถแทนด้วยเส้นตรง bc ซึ่งเรียกว่า recoil line เส้นตรงดังกล่าวนี้จะขนานกับเส้นสัมผัส xcy ตามเส้นโค้งการลดความเป็นแม่เหล็กที่จุด a สำหรับความชันของ recoil line เรียกว่า recoil permeability  $\mu_{rec}$  สำหรับ alnico magnets จะอยู่ในช่วง 3-5  $\mu_0$  ในขณะที่ ferrite magnets จะต่ำกว่า คือ 1.2  $\mu_0$  ในทางกลับกันถ้าความเข้มสนามแม่เหล็ก  $H_1$  มีค่าต่ำจำเป็นต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อความเป็นแม่เหล็กถาวรของแม่เหล็ก ถ้าความเข้มสนามแม่เหล็กมีค่าสูงขึ้นจากจุด  $H_1$  ไปยัง  $H_2$  ทางด้านลบจะทำให้ความหนาแน่นของแม่เหล็กถาวรลดลงไปที่จุด  $B_2$  ถ้า  $H_2$  ถูกตัดออกไปจุดทำงานจะเปลี่ยนใหม่ที่ recoil line



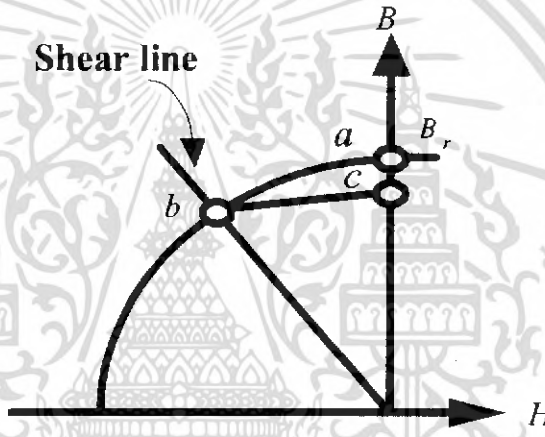
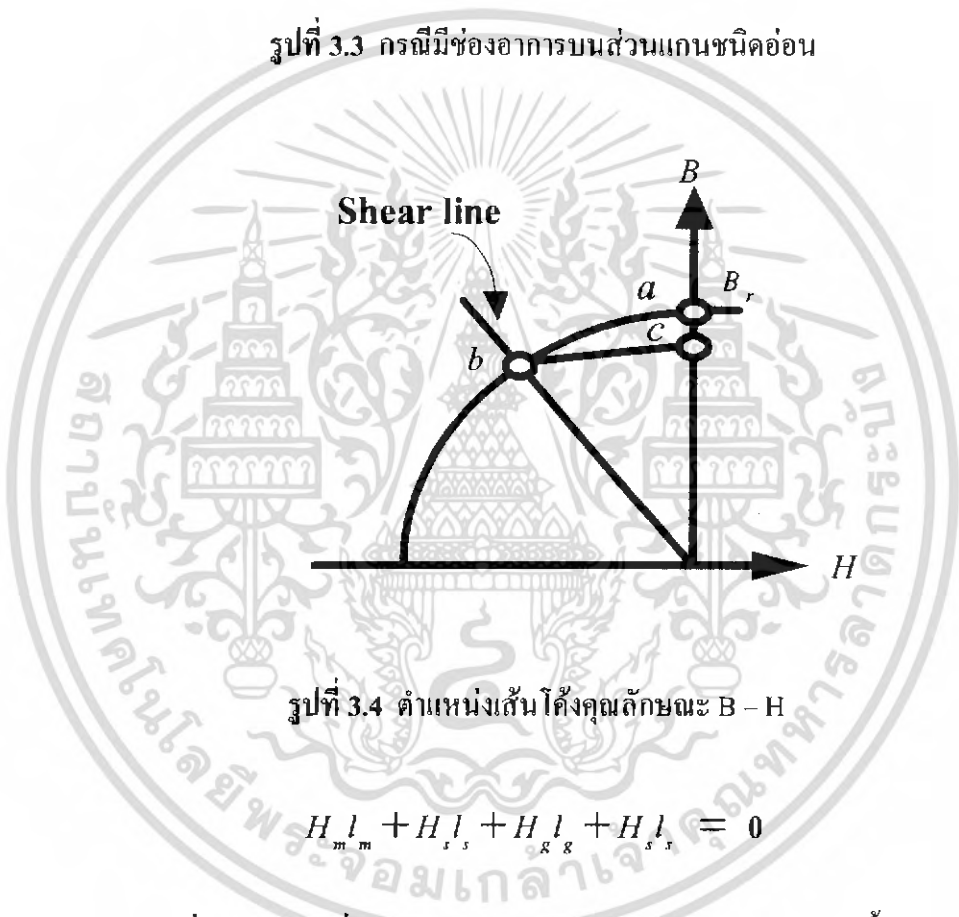
รูปที่ 3.1 วงจรแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 3.3 กรณีสี่เหลี่ยมช่องอากาศบนส่วนแกนชนิดอ่อน



รูปที่ 3.4 ตำแหน่งเส้นโค้งคูลักษณะ B - H

$$H_m l_m + H_s l_s + H_g l_g + H_s l_s = 0$$

จากข้อกำหนดที่ 2 แรงเค้นแม่เหล็กในส่วนแกนชนิดอ่อนเป็นศูนย์ ดังนั้นสมการ (3.1) เขียนใหม่ได้ดังนี้คือ

$$H_m l_m + H_g l_g = 0 \tag{3.1}$$

$$H_m = -\frac{l_g}{l_m} H_g \tag{3.2}$$

โดยที่  $\phi = B_m A_m = B_g A_g \tag{3.3}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น 
$$B_g = \mu_o H_g \quad (3.4)$$

จากสมการ (3.1) , (3.3) และ (3.4) 
$$B_m = \mu_o \frac{A_g l_m}{A_m l_g} H_m \quad (3.5)$$

จากสมการ (3.1) , (3.3) และ (3.4) ปริมาตรของสารแม่เหล็กถาวร คือ

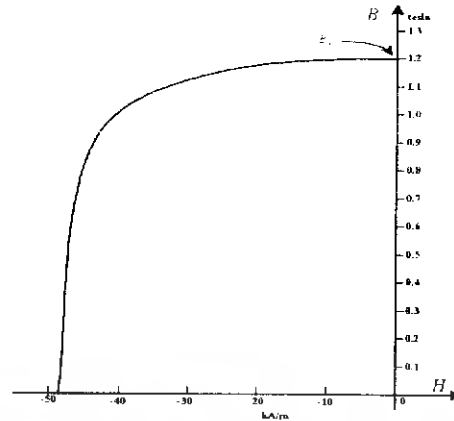
$$\begin{aligned} V_m &= A_m l_m \\ &= \frac{B_g A_g}{B_m} \times \frac{H_g l_g}{H_m} \\ &= \frac{B_g^2 V_g}{\mu_o B_m H_m} \end{aligned} \quad (3.6)$$

โดยที่  $V_g = A_g l_g$  คือ ปริมาตรของช่องอากาศ

เมื่อ  $B_g$  คือ ความหนาแน่นเส้นแรงในช่องอากาศของปริมาตรต่ำที่สุดของส่วนแกนชนิดแข็ง (hard iron) ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องการทำให้เกิดขึ้น ถ้าจุดทำงานสุดท้ายคือ ที่ตำแหน่งซึ่งทำให้เกิดค่า  $B_m H_m$  สูงสุดปริมาณ  $B_m H_m$  ดังที่กล่าวนี้เรียกว่า energy product ของแกนชนิดแข็ง

### 3.3 สารแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnetic Materials)

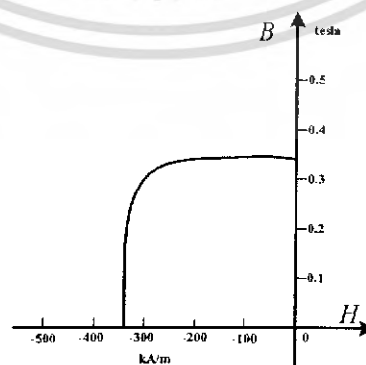
จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นนั้นกลุ่มของ alloys ทั้งหมด(aluminum - nickel - cobalt) เรียกว่า alnico ซึ่งในสำหรับแม่เหล็กถาวรมีใช้มาตั้งแต่ 1930 s Alnico มีค่าความหนาแน่นเส้นแรงตกค้างสูงดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 เส้นโค้งการลดความเป็นแม่เหล็กสำหรับ alnico

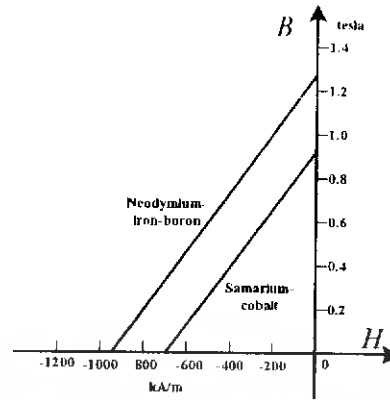
Ferrite permanent magnet materials มีใช้กันมาตั้งแต่ปี 1950 โดยที่ Ferrite ดังกล่าวมีค่าความหนาแน่นเส้นแรงตกค้างต่ำมากแต่ coercive force สูงมาก ในรูปที่ 3.6 แสดงเส้นโค้งการลดความเป็นแม่เหล็กสำหรับ Ferrite D ซึ่งเป็น strontium ferrite

ตั้งแต่ปี 1960 ได้มีการพัฒนาแม่เหล็กถาวรชนิดใหม่ขึ้นมาเรียกว่า rare-earth permanent magnets โดยที่ rare - earth permanent magnet materials ได้รวมลักษณะความหนาแน่นเส้นแรงตกค้างที่มีค่าสูงของสารชนิด alnico ได้แก่ iron , nickel และ cobalt เข้าด้วยกันที่มีองค์ประกอบ rare-earth หนึ่งส่วนหรือมากกว่านั้น การรวมโดยใช้การ combination ของ samarium - cobalt เส้นโค้งการลดความเป็นแม่เหล็กสำหรับสารดังกล่าวนี้แสดงในรูปที่ 3.7 สำหรับสารอื่นๆ ที่ใช้ทำ rare-earth magnet material ซึ่งก็ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเมื่อไม่นานมานี้ ได้แก่ neodymium - iron - boron สำหรับเส้นโค้งการลดความเป็นแม่เหล็กของ alloy แสดงได้ดังรูปที่ 3.7 จะเห็นว่าความหนาแน่นเส้นแรงตกค้าง และ coercivity ทั้งสองมากกว่า samarium - cobalt อย่างไรก็ตาม neodymium - iron - boron ค่อนข้างจะมีราคาแพง



รูปที่ 3.6 เส้นโค้งการลดความเป็นแม่เหล็กสำหรับ ferrite D magnet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

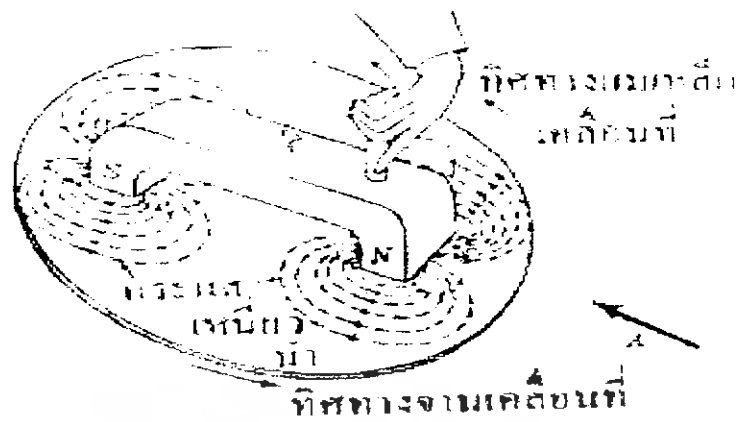


รูปที่ 3.7 เส้นโค้งลดความเป็นแม่เหล็ก สำหรับ samarium - cobalt magnet และ neodymium - iron - boron magnet

### 3.4 การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า

หลักการของการเกิดการเหนี่ยวนำแม่เหล็กคือการที่ตัวนำเคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแม่เหล็กและทำให้เกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำอีกกรณีหนึ่งคือการที่สนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ตัดตัวนำที่อยู่กับที่ก็จะทำให้การเหนี่ยวนำเช่นเดียวกันกับกรณีแรก ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเกิดแรงเคลื่อนนั้นมีความสัมพันธ์กันระหว่างตัวนำและสนามแม่เหล็ก ถ้าเราให้สนามแม่เหล็กเกิดจากส่วนที่อยู่กับที่คือ สเตเตอร์ แล้วตัวนำก็คือ โรเตอร์ ถ้าเราหมุนโรเตอร์ตัดสนามแม่เหล็กเพื่อให้ตัวนำเหล่านี้ตัดกับ เส้นแรงของสนามแม่เหล็กก็จะเกิดการเหนี่ยวนำทำให้เกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ โดยแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับฟลักซ์แม่เหล็กนั่นเอง

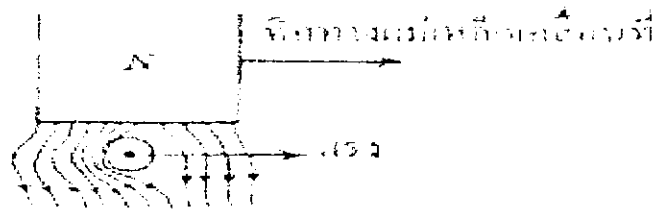
เมื่อให้ส่วนเคลื่อนที่มีลักษณะเป็นจานตัวนำกลมบาง จะนำเอาแท่งเหล็กรูปตัวยูวางคว่ำให้ขั้วแม่เหล็ก N และ S หันเข้าหาจานตัวนำและแท่งเหล็กมีศูนย์กลางร่วมกัน เส้นแรงแม่เหล็กจากขั้ว N จะพุ่งหาจานตัวนำและกลับเข้าหาขั้ว S เมื่อแท่งแม่เหล็กและจานตัวนำอยู่นิ่งกับที่จะไม่เกิดการเหนี่ยวนำแม่เหล็ก ไฟฟ้าขึ้นที่จานตัวนำ ถึงแม้ว่าจะมีเส้นแรงแม่เหล็กพุ่งผ่านจานตัวนำก็ตาม เพราะเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้ว N จะพุ่งหาจานตัวนำและกลับเข้าหาขั้ว S เมื่อแท่งแม่เหล็กและจานตัวนำอยู่นิ่งกับที่จะไม่เกิดการเหนี่ยวนำแม่เหล็กขึ้นที่จานตัวนำ ถึงแม้ว่าจะมีเส้นแรงแม่เหล็กพุ่งผ่านจานตัวนำก็ตาม เพราะเส้นแรงแม่เหล็กและจานตัวนำไม่มีการเคลื่อนที่



รูปที่ 3.8 แท่งเหล็กรูปตัว U วางเข้าหาจันทวนำ

ถ้าให้จันทวนำอยู่กับที่แล้วให้แท่งแม่เหล็กเคลื่อนที่ทวนเข็มนาฬิกา ในกรณีนี้ก็เหมือนกับให้แท่งแม่เหล็กอยู่กับที่แล้วให้จันทวนำเคลื่อนที่ตามเข็มนาฬิกา ก็ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแม่เหล็กขึ้นที่จันทวนำ จะเกิดทั้งแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำและกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำทิศทางการไหลของการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำหาโดยใช้กฎมือขวาของเฟลมมิ่ง จะได้ว่าทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็ก N จะไหลจากขอบจันทวนำใต้ขั้วแม่เหล็ก N ไปขอบจันทวนำเมื่อมองจากจุด A เข้าหาจันทวนำและก็จะพบว่าทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็ก S จะไหลจากขอบจันทวนำเข้าสู่ภายใต้ขั้วแม่เหล็ก S ทิศทางการไหลของกระแสเหนี่ยวนำได้โดยใช้กฎมือขวาของเฟลมมิ่ง

จากทิศทางการไหลของกระแสเหนี่ยวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็กแต่ละขั้วจะพิจารณาต่อไป อีกว่าที่ขั้วแม่เหล็ก N และที่เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากกระแสเหนี่ยวนำด้านซ้ายมือจะเสริมกับเส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งออกมาจากขั้วแม่เหล็ก N และที่เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสเหนี่ยวนำด้านขวามือจะหักล้างกับเส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งออกมาจากขั้วแม่เหล็ก N และที่ขั้วแม่เหล็ก S เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสเหนี่ยวนำด้านซ้ายมือจะหักล้างกับเส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งเข้าหาขั้วแม่เหล็ก S และในส่วนเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสเหนี่ยวนำด้านขวามือจะเสริมกับเส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งเข้าหาขั้วแม่เหล็ก S ที่ทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสเหนี่ยวนำส่วนนี้หาได้จากกฎมือขวา (Right hand rule) ดังนั้นลักษณะเป็นเส้นแรงแม่เหล็กรวมรอบตัวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็ก N จะเห็นได้จากรูป ซึ่งเป็นเส้นแรงแม่เหล็กรอบตัวนำที่จันทวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็ก N



รูปที่ 3.9 ลักษณะเส้นแรงแม่เหล็กที่รวมรอบตัวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็ก N

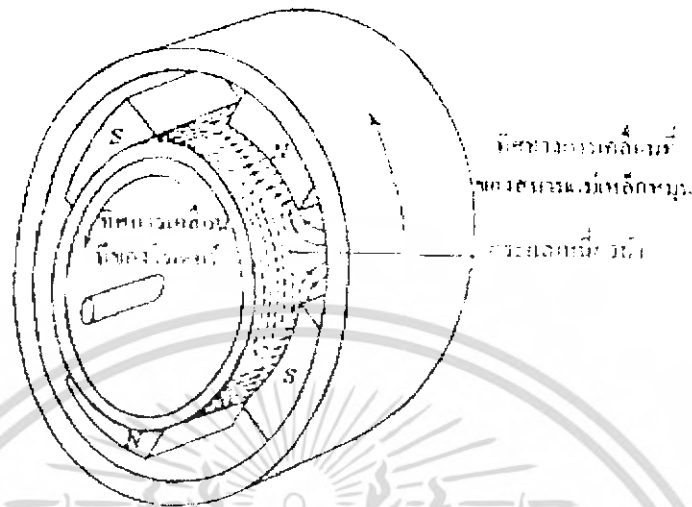
เกิดจากเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสเหนี่ยวนำและเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วของแม่เหล็ก N เมื่อเป็นเช่นนี้จะทำให้เกิดแรงขึ้นที่ตัวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็ก N และมีทิศทางการเคลื่อนที่ไปทางขวามือ ดังรูป หรืองานตัวนำจะมีทิศทางการเคลื่อนที่ทวนเข็มนาฬิกานั้นก็คือ งานตัวนำจะเคลื่อนที่ไปทางเดียวกับทิศทางการเคลื่อนที่ของแม่เหล็กที่กำหนดไว้ครั้งแรก ซึ่งทิศทางการเคลื่อนที่ของงานตัวนำนี้ก็ได้โดยใช้กฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง และงานตัวนำดังรูป ซึ่งเป็นส่วนเคลื่อนที่หรือหมุนด้วยความเร็วของแท่งแม่เหล็กเคลื่อนที่หรือแท่งแม่เหล็กหมุนเสมอ

เมื่อให้ส่วนเคลื่อนที่เป็นแกนทรงกระบอก จากรูปที่ 3.10 ส่วนเคลื่อนที่เป็นตัวนำรูปทรงกระบอก จะอยู่ภายในโครงเหล็กทรงกระบอกที่มีขั้วแม่เหล็ก N และ S ยึดติดอยู่ 2 คู่หรือมีขนาด 4 ขั้วแม่เหล็กสมมุติว่าถ้าทำให้ตัวนำของทรงกระบอกอยู่กับที่แล้วขั้วแม่เหล็กที่ยึดติดอยู่กับส่วนโครงเหล็กที่ทวนเข็มนาฬิกาเหมือนกันว่าถ้าขั้วแม่เหล็กอยู่กับที่แล้วทำให้ตัวนำทรงกระบอกเคลื่อนที่ตามเข็มนาฬิกา จะเกิดการเหนี่ยวนำแม่เหล็ก ไฟฟ้าขึ้นที่ตัวนำ ทิศทางการเคลื่อนที่หรือการไหลของกระแสเหนี่ยวนำหาได้โดยใช้กฎมือขวาของเฟลมมิ่ง ซึ่งจะได้ว่ากระแสเหนี่ยวนำภายใต้ขั้วของแม่เหล็ก N และจะไหลจากขอบแกนทรงกระบอกเข้าสู่ภายใต้ขั้วแม่เหล็ก N และกระแสเหนี่ยวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็ก S จะไหลจากทรงกระบอกผ่านภายใต้ขั้วแม่เหล็ก S ที่ไปยังขอบแกนซ้ายมือด้านนอก

ดังนั้นทิศทางของกระแสเหนี่ยวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็ก N ทั้งสองขั้วนี้จะมีทิศทางเหมือนกันคือ การไหลจากขอบด้านนอกของแกนตัวนำซ้ายมือ ผ่านใต้ขั้ว N ไปสู่ขอบแกนตัวนำขวามือ และทิศทางของกระแสเหนี่ยวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็ก S ทั้งสองขั้วนี้จะมีทิศทางเหมือนกันคือ ไหลจากขอบแกนตัวนำด้านขวามือ ภายใต้ขั้ว S ออกมาสู่ขอบแกนตัวนำซ้ายมือ

เมื่อเกิดกระแสเหนี่ยวนำขึ้นภายใต้ขั้วแม่เหล็กแล้ว จะทำให้แกนตัวนำทรงกระบอกเคลื่อนที่หมุนไปของแกนตัวนำทรงกระบอกนี้หาโดยใช้กฎมือซ้ายของเฟลมมิ่งคือ กางนิ้วหัวแม่มือ นิ้วชี้ และนิ้วกลางให้ตั้งฉากซึ่งกันและกัน เมื่อให้นิ้วชี้แทนการเคลื่อนที่ของเส้นแรงแม่เหล็ก N หรือ S แล้วนิ้วหัวแม่มือแทนการเคลื่อนที่ของแกนตัวนำทรงกระบอกที่เคลื่อนที่ไป ดังนั้นจะทำให้

แกนตัวนำทรงกระบอก ตามรูปที่ 3.10 หมุนวนขึ้นมาพิกาดตามการเคลื่อนที่ของขั้วแม่เหล็กที่กำหนดได้ครั้งแรก



รูปที่ 3.10 ตัวนำรูปทรงกระบอกเคลื่อนที่เนื่องจากกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

สมการความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก

โดยที่

$$B = \mu H \dots (3.7)$$

$B$  = ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก (Tesla)

$\mu$  = ความซึมซาบได้ของวัตถุ (H/m)

เมื่อแทนค่าสมการ (3.3) ในสมการ (3.4) จะได้สมการ

$$B = \mu \{NI / L\} \dots (3.8)$$

สมการฟลักซ์แม่เหล็ก

$$\Phi = BA \dots (3.9)$$

โดยที่

$\Phi$  = ฟลักซ์แม่เหล็กหรือปริมาณเส้นแรงแม่เหล็ก (Wb)

$A$  = พื้นที่หน้าตัด ( $m^2$ )

เมื่อแทนค่าสมการ (3.5) ในสมการ (3.6) จะได้สมการ

$$\Phi = \{ \mu NI / L \} A \dots (3.10)$$

จากสมการ การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าจะแปรผันตามจำนวนรอบกระแสไฟฟ้าในขดลวด และพื้นที่หน้าตัดของทางเดินเส้นแรงแม่เหล็กแต่แปรผกผันกับความยาวขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 สนามแม่เหล็กหมุน ( Revolving field หรือ Rotaring field )

สนามแม่เหล็กหมุนในมอเตอร์สองเฟส ก่อนอื่นต้องทำความเข้าใจให้ดีกว่ามอเตอร์หนึ่งเฟส จะมีขดลวดสนามแม่เหล็กสเตเตอร์หนึ่งชุด ต่อขั้วแม่เหล็กหนึ่งขั้ว ในมอเตอร์สองเฟสจะมีขดลวดสนามแม่เหล็กสเตเตอร์สองชุดต่อขั้วแม่เหล็กหนึ่งขั้ว และมอเตอร์สามเฟสจะมีขดลวดสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์สามชุดต่อขั้วแม่เหล็กหนึ่งขั้ว

ดังนั้นในกรณีที่กำลังกล่าวอยู่นี้ เป็นมอเตอร์สองเฟส ถ้าเป็นมอเตอร์ชนิดสองขั้วแม่เหล็กหรือสองโพล คือ มีขั้ว N หนึ่งขั้วและขั้ว S หนึ่งขั้ว ขั้ว N ก็จะมีขดลวดสนามแม่เหล็ก 2 ชุด และที่ขั้ว S จะมีขดลวดสนามแม่เหล็ก 2 ชุดเช่นเดียวกัน โดยที่ขดลวดแต่ละชุดพันห่างกัน 90 องศาไฟฟ้า



รูปที่ 3.11 สนามแม่เหล็กหมุนของมอเตอร์สองเฟสชนิดสองโพล

เพื่อให้เกิดความเข้าใจได้ง่าย จะกล่าวถึงขดลวดสเตเตอร์ชนิดที่พันลงในสล๊อทละหนึ่งคอยล์ที่เรียกว่า Single layer ตามรูปที่ 3.11 ดังนั้นขดลวดทั้งชุด ก และชุด ข ภายใต้ขั้วแม่เหล็ก N หรือขั้วแม่เหล็ก S ดังนั้นจะพันลงในสล๊อทให้ห่างกัน 90 องศาไฟฟ้า หรือที่เรียกว่า แรงดันไฟฟ้าเฟสที่หนึ่งจะนำหน้าแรงดันไฟฟ้าเฟสที่สองเป็นมุม 90 องศาไฟฟ้า

จากรูปที่ 3.11 ขดลวดชุด A หรือเฟส A มีต้นกับปลายคือ  $+A$  และ  $-A$  ขดลวดชุด B หรือเฟส B มีต้นกับปลายคือ  $+B$  และ  $-B$  สมมุติให้กระแสไฟจากระบบสองเฟสที่เป็นบวกไหลเข้าขดลวดด้าน + ออกทางด้าน - และกระแสไฟที่เป็นลบเข้าขดลวดทางด้าน - ออกทางด้าน + สำหรับรูป เป็นลักษณะไฟสองเฟสคือ กระแสไฟเฟส A  $i_a$  และกระแสไฟเฟส B  $i_b$  กระแสไฟเฟส  $i_b$  จะเกิดการล้าหลังกระแสไฟ  $i_a$  อยู่ 90 องศาไฟฟ้า เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้า  $i_a$  และ  $i_b$  เข้าขดลวดเฟส A และเฟส B จะเกิดผลดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การถ้ำหลังกระแสไฟ ia อยู่ 90 องศาไฟฟ้า เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้า ia และ ib เข้าขดลวดเฟส A และ เฟส B จะเกิดผลดังนี้

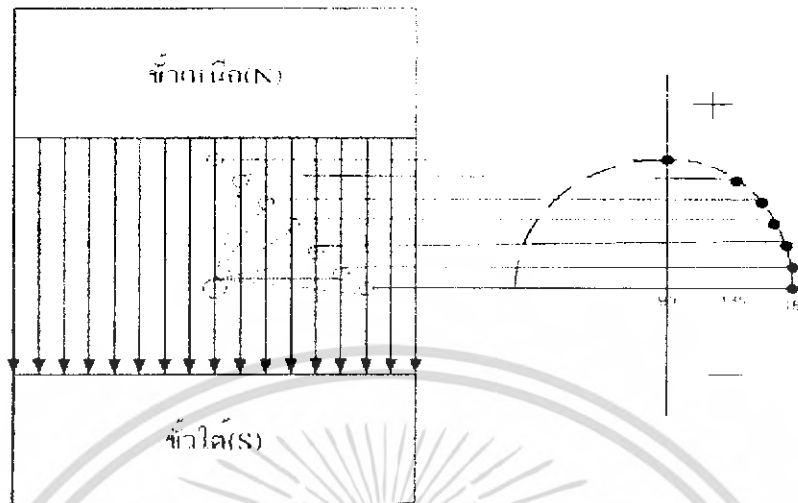
ณ จุดที่ 1 ในรูป 3.11 และ รูป 3.11 กระแส ia มีค่าเป็นศูนย์ กระแส ib มีค่าเป็นลบที่สูงสุด (-ib) ดังนั้นกระแส i จะไหลเข้าขดลวดเฟส B ที่ด้าน -B และ ไหลออกทางด้าน +B เมื่อทราบทิศทางของกระแสไหลในขดลวดแต่ละเฟสแล้ว ก็หาทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กเคลื่อนที่ได้โดยใช้มือขวาถ้ำขดลวดแต่ละขดละด้าน ให้หัวแม่มือแทนทิศทางการไหลของกระแสส่วนนิ้วทั้งสี่ที่เหลือจะแทนทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นแรง ดังนั้นเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากขดลวดเฟส B จะเคลื่อนที่ทแยงลงจากขวามือ ไปสู่ซ้ายมือ หรือจากด้าน A ไปสู่ด้าน -A ของขดลวดเฟส A

ณ จุดที่ 2 กระแส ia จะมีค่าเป็นบวกจึงไหลเข้าขดลวดเฟส A ที่ด้าน +A และ ไหลออกที่ด้าน -A กระแส ib จะมีค่าเป็นลบจึงไหลเข้าขดลวดเฟส B ที่ด้าน -B และ ไหลออกที่ด้าน +B เมื่อใช้มือขวาหาทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดเฟส A ที่ด้าน +A และเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดเฟส B ที่ด้าน -B จะมีทิศทางการเคลื่อนที่เสริมกันและเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดเฟส A ที่ด้าน -A เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดเฟส B ที่ด้าน +B จะมีทิศทางการเคลื่อนที่เสริมกันทำให้เส้นแรงแม่เหล็กรวมเคลื่อนที่ในแนวระดับจากขวาไปซ้ายมือ

ณ จุดที่ 3 กระแส ia มีค่าเป็นบวกจึงไหลเข้าขดลวดเฟส A ที่ด้าน +A และ ไหลออกทางด้าน -A กระแส ib จะมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นขดลวดเฟส B จึงไม่มีกระแสไฟไหลเข้าเมื่อใช้มือขวาหาทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กที่เคลื่อนที่ จะพบว่าเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่จะเคลื่อนที่ทแยงขึ้นทางขวามือ ไปสู่ซ้ายมือ

ณ จุดที่ 4 กระแส ia และ ib เป็นบวก จึงไหลเข้าขดลวดเฟส A และเฟส B ที่ด้าน +A และ ด้าน +B และ ไหลออกทางด้าน -A และด้าน -B ตามลำดับ เมื่อใช้กฎไขควงมือขวาหาทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากขดลวดทั้ง 2 เฟส จะพบว่าเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดเฟส A และเฟส B มีทิศทางการเคลื่อนที่เสริมกัน

### 3.6 การเกิดสัญญาณเป็นกระแสลับเกิดจากการหมุนของโรเตอร์ตัดผ่านสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 3.12 แสดงตัวนำหมุนตัดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

จากรูปที่ 3.12 เส้นแรงไฟฟ้าแม่เหล็กที่เกิดขึ้นระหว่างขั้วเหนือและขั้วใต้เมื่อ โรเตอร์หมุน บาร์ของโรเตอร์แต่ละบาร์ตัดผ่าน สนามแม่เหล็กบาร์แต่ละบาร์เปรียบเสมือนตัวนำตัดผ่านนั่นเอง ในขณะที่ตัวนำตัดสนามแม่เหล็กเกิดแรงเคลื่อนชักนำทำให้มีกระแสไหลในตัวนำ ถ้าตัวนำตั้งฉากในกับสนามแม่เหล็กจะไม่เกิด 0 องศาหมุนไปเรื่อยๆ องศาหนึ่งก็จะเปลี่ยนแปลงตามตัวนำที่ตัดสนามแม่เหล็กและเมื่อตัวนำขนานกับสนามแม่เหล็กก็จะเกิดที่มุม 90 องศา ดังแสดงในรูปที่ 3.12

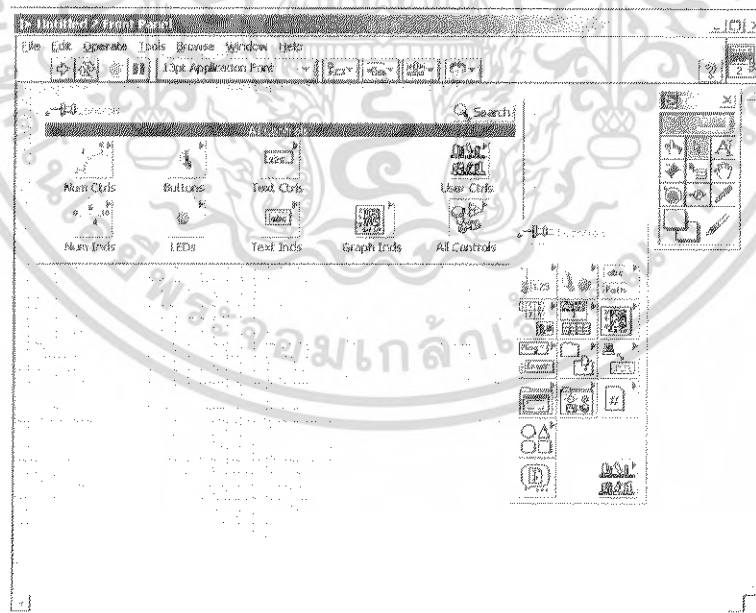
### 3.7 กฎของเลนซ์

กฎของเลนซ์กล่าวไว้ว่าแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจะต้องเป็นไปตามทิศทางของกระแสที่เกิดขึ้น จากตัวมันและกระแสดังกล่าวนี้เป็นตัวทำให้เกิดฟลักซ์ที่มีทิศตรงข้ามกับการเปลี่ยนแปลงใดๆ ในฟลักซ์ที่เกิดขึ้นในตอนแรกหรือฟลักซ์ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำซึ่งอีกนัยหนึ่งคือเมื่อจ่ายไฟเข้าที่ขั้วขลวดสเตเตอร์จะทำให้มีกระแสไหลเป็นทำให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็กและเกิดกระแสไหลที่โรเตอร์ทำให้เกิดพยายามต่อต้าน การเพิ่มขึ้นของฟลักซ์ที่เกิดขึ้นในสเตเตอร์จะมีทิศตรงกันข้ามกับฟลักซ์ที่เกิดขึ้นในโรเตอร์ในทางกลับกันเมื่อเราหยุดจ่ายไฟให้สเตเตอร์ตามกฎของเลนซ์ ทำให้กระแสทางด้าน โรเตอร์จะพยายามต่อต้านการยุบตัวของฟลักซ์ทางด้านสเตเตอร์

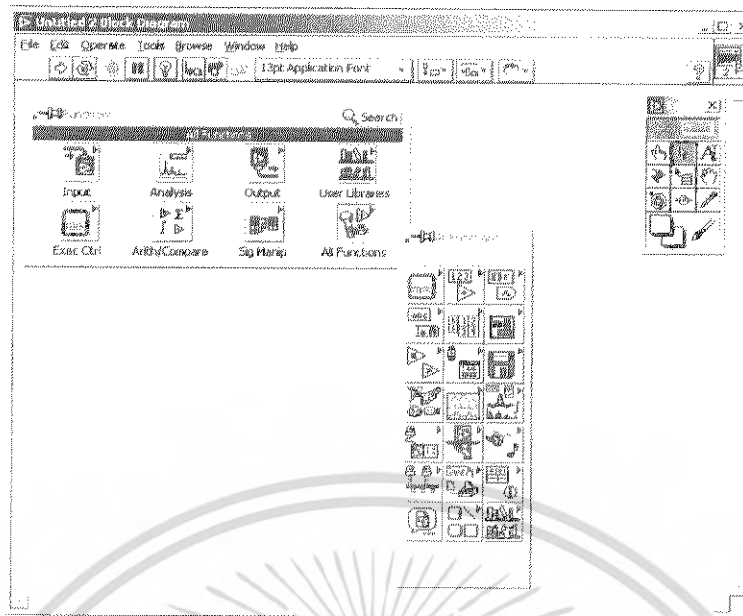
## LabVIEW

### 4.1 อธิบายการใช้งานของโปรแกรม LabVIEW

LabVIEW เป็นโปรแกรมที่ใช้เพื่อสร้าง โปรแกรมสำหรับการเก็บข้อมูล, การเชื่อมต่อกับ อุปกรณ์หรือเครื่องมือวัดต่าง ๆ และการควบคุมระบบต่าง ๆ LabVIEW จะใช้ภาษากากราฟฟิกในการสร้างโปรแกรม ซึ่งแตกต่างจากโปรแกรมอื่น ๆ ที่ใช้ตัวอักษรเพื่อสร้างโปรแกรม เช่น C/C++, Visual C++, Visual Basic เป็นต้น โปรแกรม LabVIEW มีฟังก์ชัน (Functions) และเครื่องมือ (Tools) ดังรูปที่ 1 เพื่อช่วยให้ผู้ใช้สามารถนำมาสร้างโปรแกรมสำหรับงานประยุกต์ต่าง ๆ เช่น loops, casestatements, arrays, string, file I/O, dataacquisition, instrument control, analysis tools เป็นต้น โปรแกรม LabVIEW โดยปกติจะเรียกว่า VirtualInstrument (VI) ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ Front Panel (รูปที่ 4.1) และ Block Diagram (รูปที่ 4.2) โดยแต่ละส่วนจะใช้สำหรับวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน รูปที่ 4.1 Front Panel และ รูปที่ 4.2 Block Diagram รวมทั้ง Tools, Functions และ Controls ต่าง ๆ ในโปรแกรม LabVIEW



รูปที่ 4.1 Front Panel

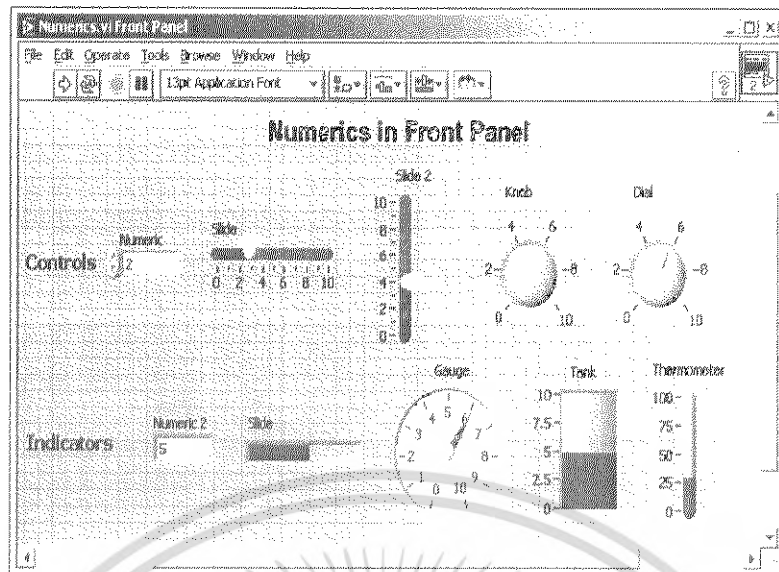


รูปที่ 4.2 Block Diagram รวมทั้ง Tools, Functions และ Controls ต่าง ๆ ในโปรแกรม LabVIEW

#### Front Panel

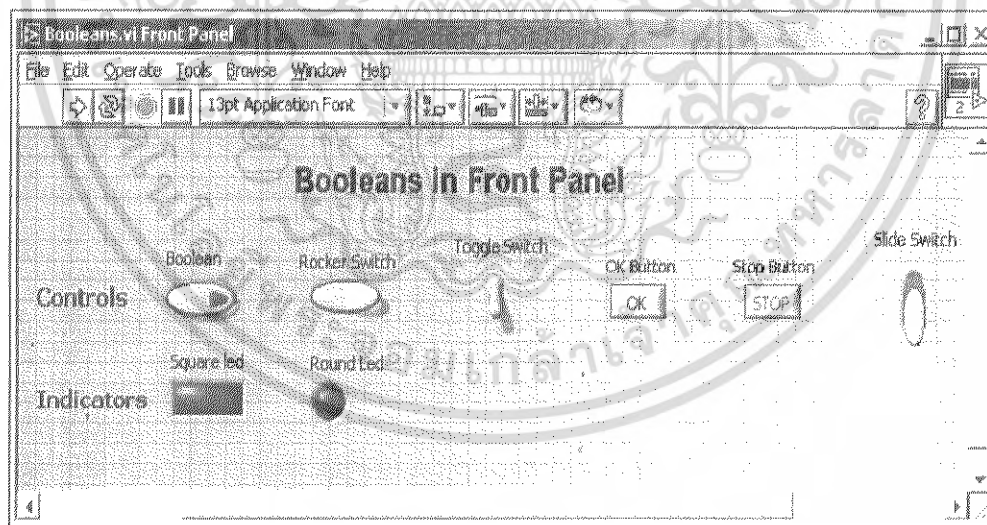
Front Panel เป็นส่วนที่ใช้สำหรับเชื่อมต่อกับผู้ใช้งาน ใช้สำหรับใส่ค่า (input) และแสดงผล (output) ของตัวโปรแกรมที่สร้างขึ้นมา โดยส่วน input จะถูกเรียกว่า "control" และ ส่วน output จะเรียกว่า "indicator" ตัว control และ indicator ที่ถูกนำมาใช้ใน Front Panel ซึ่งจะมีจุดต่อเชื่อมปรากฏอยู่ที่ Block Diagram ด้วย เมื่อโปรแกรมเริ่มทำงานตัว control ที่ Front Panel จะทำการส่งข้อมูลผ่านไปยัง Block Diagram และตัว output ก็จะส่งค่าจาก Block Diagram กลับมาแสดงผลที่ Front Panel ผ่านตัว indicator ที่กำหนดไว้ ข้อมูลที่ใช้ในตัว control และ indicator มีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบ เช่น ตัวเลข (Numerics), เ็นอนไป Numerics มีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบ เช่น ตัวเลขดิจิทัล, เกจ, หรือ สเกลแบบต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ตัวอย่างของตัว Control และ Indicator แบบ Numerics

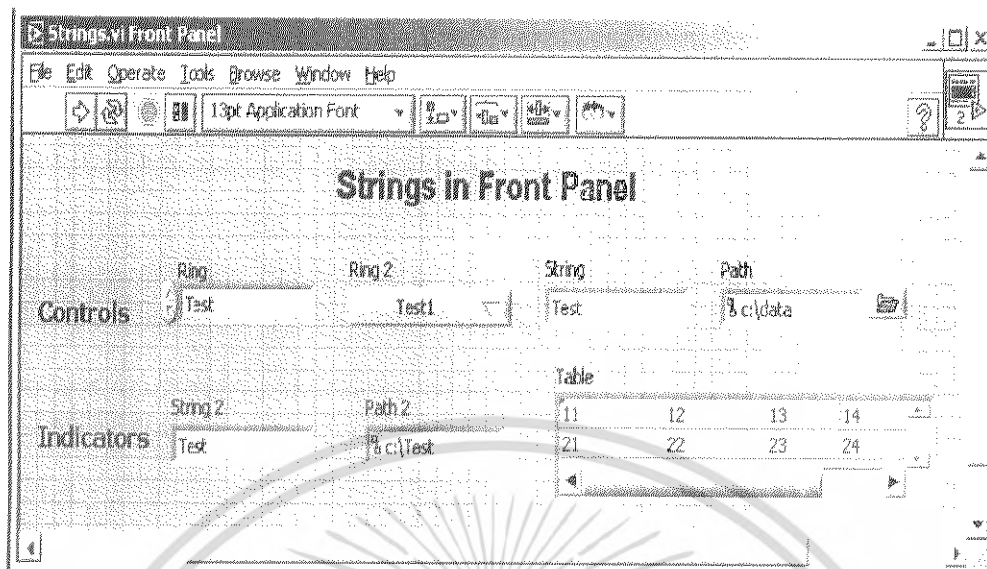
ตัวอย่างของตัว Control และ Indicator แบบ Numerics ใน Front Panel Booleans เป็นเงื่อนไข มี 2 สถานะคือ on/off หรือ True/False รูปแบบของ Boolean จะเป็นปุ่มสี่เหลี่ยม, ปุ่มกดขยุย หรือปุ่มเลื่อนเปิดหรือปิด ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างของตัว Control และ Indicator แบบ Strings Boolean ใน Front Panel

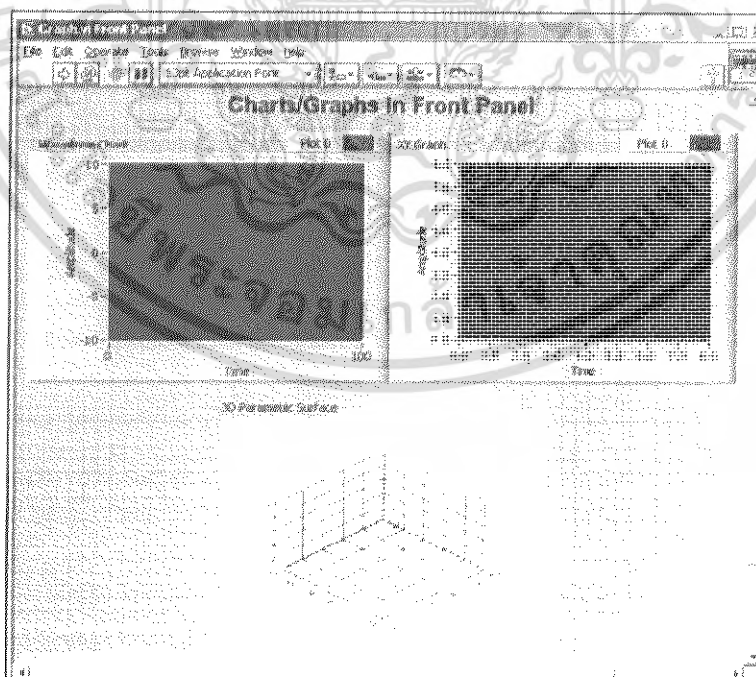
String เป็นตัวอักษรที่ใช้สำหรับป้อนค่า, แสดงผล หรือจัดเก็บไว้ในรูปของไฟล์ ดังแสดงในรูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดง Front PanelString เป็นตัวอักษรที่ใช้สำหรับป้อนค่า,แสดงผล หรือจัดเก็บไว้ในรูปของไฟล์

Charts/Graphs เป็น indicator ที่ใช้แสดงข้อมูลเทียบกับเวลา ซึ่งมีทั้งแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ดังแสดงในรูปที่4.6

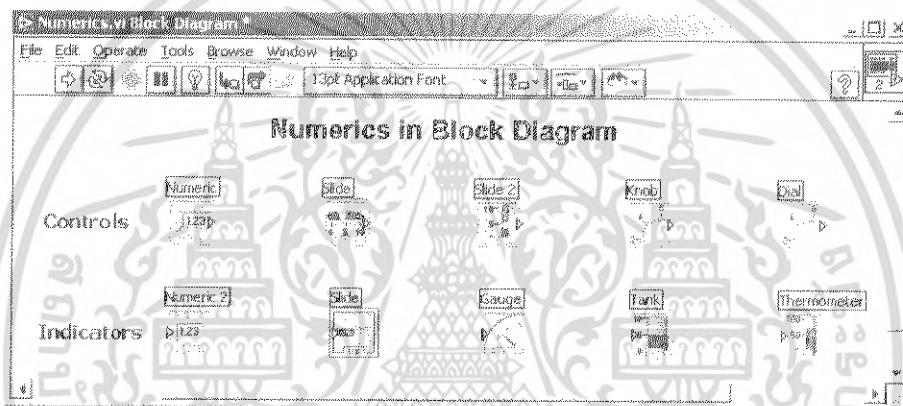


รูปที่ 4.6 ตัวอย่างของ Charts/Graphs แบบต่าง ๆ ใน Front Panel

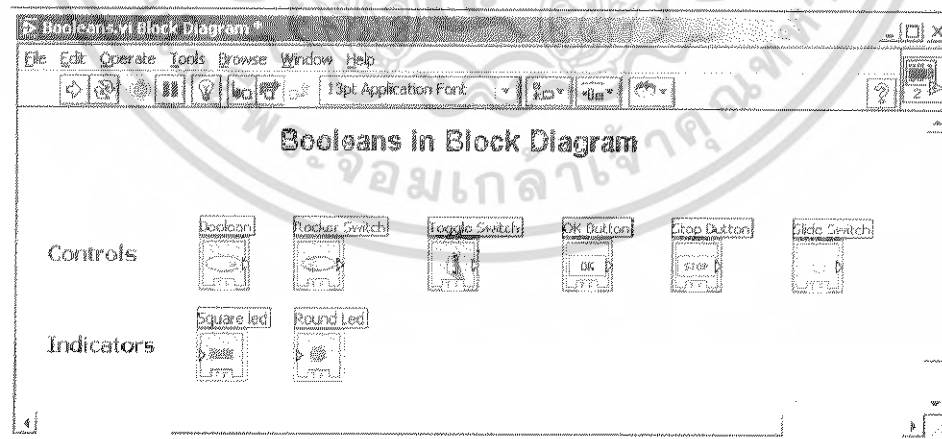
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Block Diagram

Block Diagram เป็นส่วนที่เก็บ "Source Code" ของโปรแกรม LabVIEW ซึ่งตัวโปรแกรมใน LabVIEW จะเรียกว่า "VI" ตัว Code ในโปรแกรม LabVIEW เป็นกราฟฟิกที่เรียกกันว่า G (Graphical) programming หลักการของโปรแกรมจะเชื่อมต่อดั้วจุดเชื่อมต่าง ๆ เข้าด้วยกัน แทนที่จะเขียนโดยใช้คำสั่งต่าง ๆ ดังที่ใช้ทั่วไปในโปรแกรมอื่น ๆ เช่น C/C++, Visual C++ ซึ่งอาจจะกล่าวได้ว่า LabVIEW ใช้หลักการเดียวกันกับการเขียน flow chart ตัวอย่างของ Numerics, Booleans, Strings และ Charts/Graphs (รูปที่ 2-5) ใน Block Diagram มีรูปแบบแตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 4.7, 4.8, 4.9, 4.10

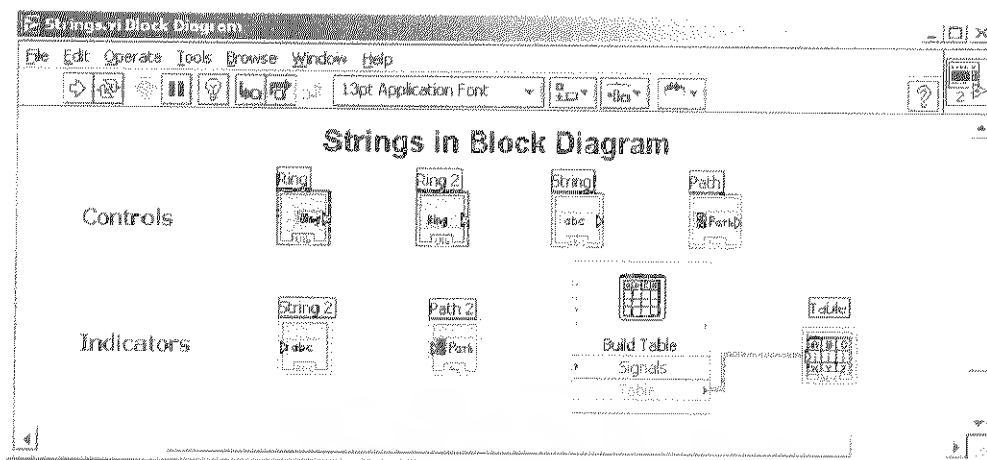


รูปที่ 4.7 Numerics ใน Block Diagram

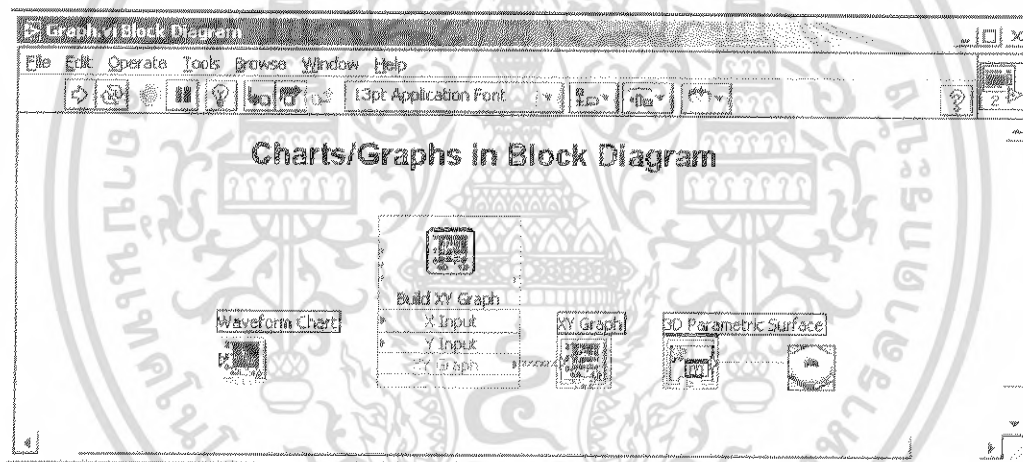


รูปที่ 4.8 Booleans ใน Block Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



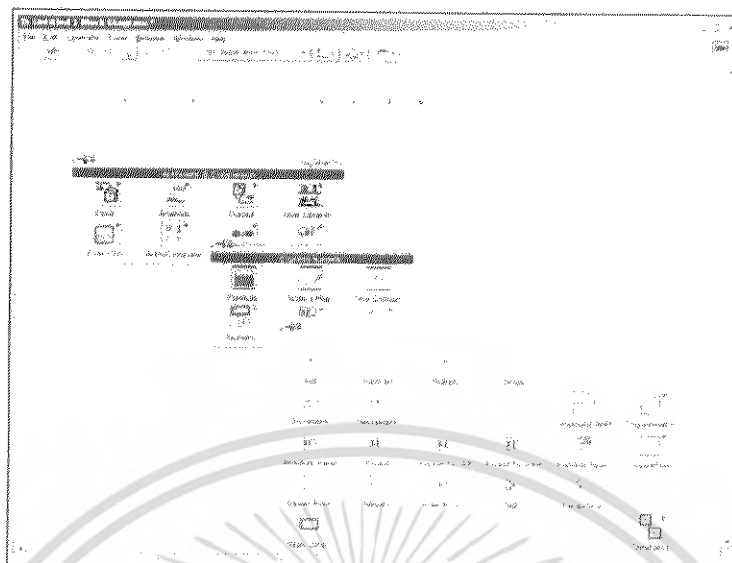
รูปที่ 4.9 Strings ใน Block Diagram



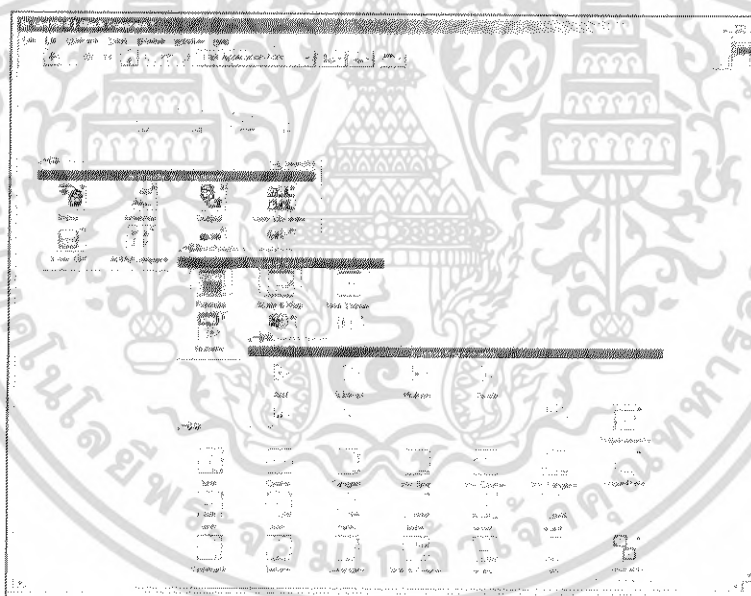
รูปที่ 4.10 charts/Graphs ใน Block Diagram

โปรแกรม LabVIEW มีฟังก์ชันต่าง ๆ ที่ช่วยในการพัฒนาโปรแกรมที่มีความซับซ้อน เช่น ตัว operation (+, -, \*, /, ^ เป็นต้น) ค่าคงที่ (, e, ln 2, ln e, log10 เป็นต้น) ฟังก์ชันมาตรฐานต่าง ๆ (sin, cos, tan, atan เป็นต้น) Loop & Case Structures (while loop, for loop, case เป็นต้น) และ ฟังก์ชัน File input/output (File I/O) ฟังก์ชันต่าง ๆ ที่กล่าวถึงจะปรากฏอยู่ใน Block diagram เท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 7-12 Operation เป็นฟังก์ชันที่ช่วยเพื่อสร้างสมการหรือคำสั่งในโปรแกรม LabVIEW ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ (ดังรูปที่ 4.11) ส่วนรูปที่ 4.12 แสดงฟังก์ชันพื้นฐานที่นิยมใช้สำหรับการเขียนโปรแกรมทางวิศวกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



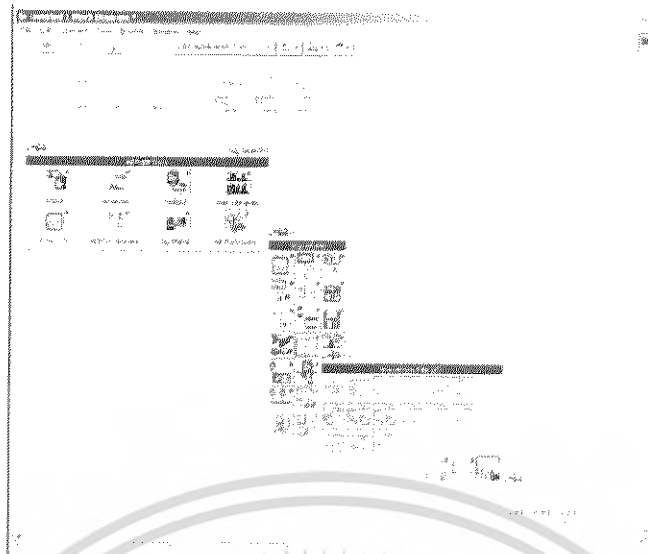
รูปที่ 4.11 ตัวอย่างของ Operation ต่าง ๆ



รูปที่ 4.12 ตัวอย่างของฟังก์ชันมาตรฐานต่าง ๆ

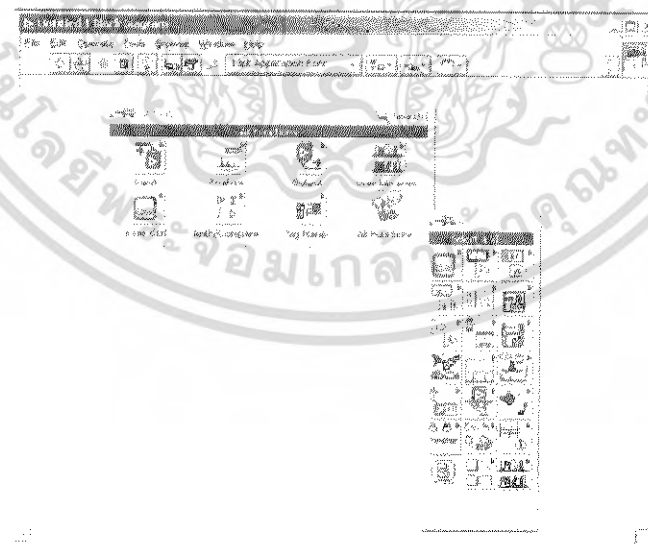
Loop & Case Structures เป็นฟังก์ชันพื้นฐานสำหรับการเขียนโปรแกรมดังรูปที่ 4.13 ซึ่งมีไว้ช่วยสำหรับการเขียนโปรแกรมที่ต้องมีขั้นตอนการทำงานซ้ำหลาย ๆ ครั้ง โดยรูปแบบของฟังก์ชันขึ้นอยู่กับลักษณะของกระบวนกรเช่น While Loop กระบวนการจะทำซ้ำจนกระทั่งบรรลุตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้หากเป็น ForLoop ตัวโปรแกรมจะกระทำซ้ำตามจำนวนครั้งที่กำหนด และในกรณีของ Case Structure ตัวโปรแกรมจะกระทำเมื่อค่าเริ่มต้นตรงตามข้อกำหนดของเงื่อนไขนั้น ๆ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนักเรียนไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 4.15 ฟังก์ชัน File I/O สำหรับข้อมูลแบบ Waveform (Cluster)

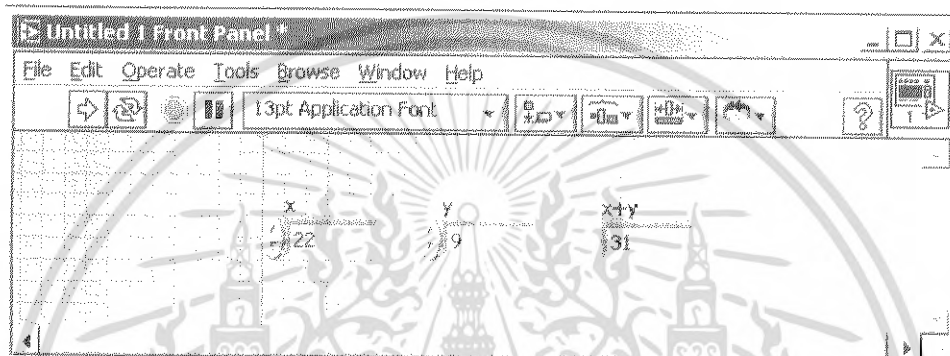
นอกจากฟังก์ชันต่าง ๆ ที่มีอยู่ในโปรแกรม LabVIEW ผู้ใช้สามารถที่จะสร้างฟังก์ชันขึ้นเองตามวัตถุประสงค์การใช้งาน โดยตัวฟังก์ชันที่สร้างขึ้นนี้จะถูกเรียกว่า Sub-VI ซึ่งสามารถเรียกใช้ร่วมกับฟังก์ชันพื้นฐานอื่น ๆ ดังแสดงใน รูปที่ 7-11 วิธีเรียกใช้ฟังก์ชัน Sub-VI กระทำได้ดังรูปที่ 4.16 และเลือกฟังก์ชันที่ต้องการตามขั้นตอนที่โปรแกรม LabVIEW กำหนดไว้



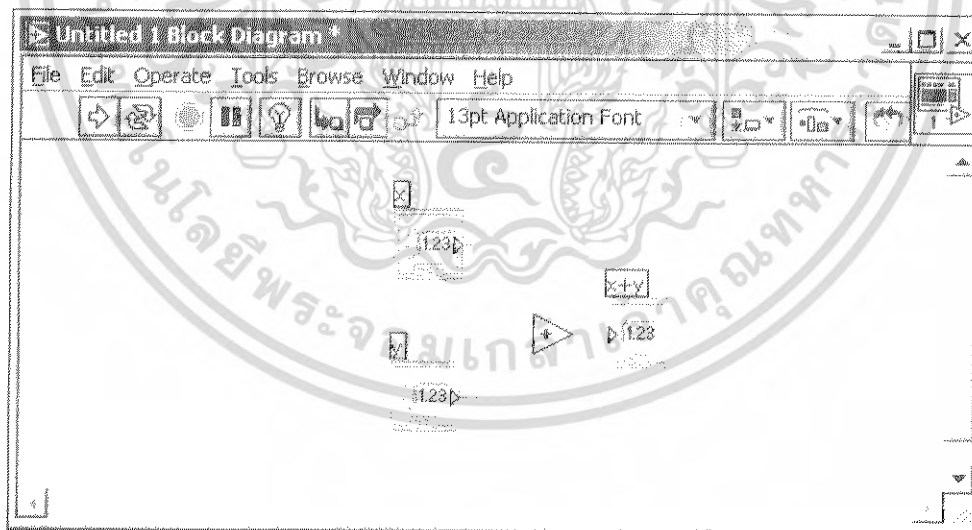
รูปที่ 4.16 Menu สำหรับเรียก SubVI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเขียนโปรแกรม LabVIEW นั้นขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่ต้องการใช้งาน ซึ่ง Front Panel และ BlockDiagram จะถูกใช้ร่วมกันเพื่อเขียนโปรแกรม โดย Front Panel จะใช้เพื่อแสดงผลและติดต่อกับผู้ใช้ ส่วนBlock Diagram จะใช้เพื่อเขียนและแสดงเส้นทางเดินของข้อมูล รวมทั้งเป็นตัวกำหนดค่าตัวแปรเริ่มต้นหรือตัวแปรควบคุมต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในโปรแกรม ตัวอย่างโปรแกรม LabVIEW เบื้องต้น เช่น โปรแกรมบวกเลข ซึ่งมีค่าเริ่มต้น 2 ค่า และมีผลลัพธ์ 1 ค่า Front Panel และ Block Diagram ของตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 4.17 , 4.18 วิธีการ Run โปรแกรมกระทำได้โดยกดปุ่มถูกศรที่อยู่ทางด้านซ้ายบน



รูปที่ 4.17 Front Panel ของโปรแกรมบวกเลข



รูปที่ 4.18 Block Diagram ของโปรแกรมบวกเลข

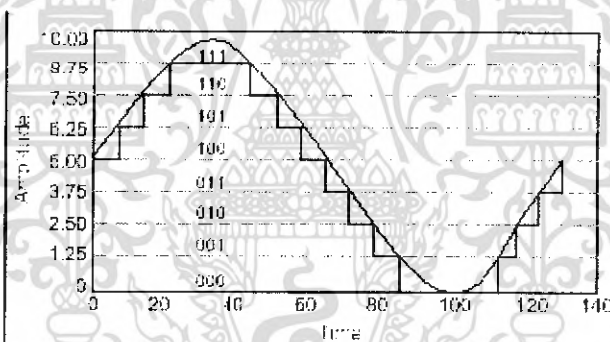
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การแปลงสัญญาณ

การแปลงสัญญาณจาก Digital-to-Analog ขึ้นอยู่กับจำนวนบิต (Bits) ของ DAQ Card และค่า Full Scalerange ( $FS$ ) ดังในรูปที่ 14 ค่า  $b_i$   $i = 1 \dots n$  คือค่าลอจิก "0" หรือ "1" ของรหัสเลขฐานสอง  $n$  บิต ซึ่งจะแบ่งระดับของค่าสัญญาณอนาล็อกที่แตกต่างกันเท่ากับ  $2^n$  ระดับ ความละเอียด (Resolution) ของระดับสัญญาณที่แตกต่างกัน 1 บิต (1 LSB) หรือเรียกว่า Quantisation width,  $Q$  สามารถคำนวณจากสมการ

$$Q = \text{LSB} = FS/2^n \quad (1)$$

ตัวอย่างเช่นกรณีของ DAC แบบ 3 Bits ซึ่งสามารถนำมาใช้แสดงรูปกราฟ Sine Wave โดยรูปคลื่นนี้จะถูกแบ่งออกเป็นช่วงย่อย (ดังรูปที่ 4.19) ตามความละเอียดของ DAC ดังนั้น DAC แบบ 3 bits และมี  $FS = 10$  จะได้ว่าระดับสัญญาณ (หรือ ความละเอียด) มีค่าเท่ากับ 23 หรือ 8 ระดับ และมีรหัสของเลขฐานสองดัง



รูปที่ 4.19 กราฟ Sine wave ที่มีความละเอียด 3 bits

การเปลี่ยนข้อมูลของ D/A มีด้วยกันอยู่ 3 รูปแบบคือ

- โค้ดตัวเลขแบบยูนิโพลาร์ (Unipolar) โบนาริค่าระดับสัญญาณเล็กสุด  $X_0 = 0$  และระดับสัญญาณสูงสุดที่  $X_0 = V$  ค่าระดับสัญญาณเอาท์พุทสามารถ

กำหนดได้โดยใช้โค้ดตัวเลขแบบยูนิโพลาร์ซึ่งสามารถแปลงโดยใช้ค่าจำนวนบิต ( $n$ ) และค่าระดับสัญญาณสูงสุด ( $V$ ) ดังนั้น

$$x_0 = Q \cdot m_1 = \frac{V}{2^n} (b_1 2^{n-1} - b_2 2^{n-2} - b_{n-1} 2^1 - b_n) \quad (2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $m_1$  คือผลรวมของการแปลงค่าไบนารี  $n$  บิต หรือค่า Quantisation level สำหรับโค้ดตัวเลขแบบยูนิโพลาร์ไบนารี

• โค้ดตัวเลขแบบไบโพลาร์ออฟเซตไบนารี

วิธีการนี้จะทำการเลื่อนค่าของสมการ (2) ลงครึ่งหนึ่งของระยะ (half-scale) หรือ  $V/2$  ดังนั้นค่าเอาต์พุตของ D/A จะมีค่าต่ำสุดและสูงสุดเป็น  $X_Q = -V/2$  และ  $X_Q = V/2 - Q$  เอาต์พุตจาก D/A กับ Quantisation width

ตั้งสมการ (2) จะกลายเป็น

$$x_Q = Q \cdot m_2 = \frac{V}{2^n} (b_1 \cdot 2^{n-1} + b_2 \cdot 2^{n-2} - b_{n-1} \cdot 2^1 + b_n \cdot 2^{n-1}) \quad (3)$$

เมื่อ  $2m$  คือผลรวมของการแปลงค่าไบนารี  $n$  บิต หรือค่า Quantisation level สำหรับโค้ดตัวเลขแบบไบโพลาร์ออฟเซตไบนารี

• โค้ดตัวเลขแบบทูคอมพลีเมนต์

เป็นวิธีการที่คล้ายกับโค้ดของไบโพลาร์ไบนารีออฟเซต แตกต่างกันเพียงการคอมพลีเมนต์ที่บิต MSB หรือ  $b_1 = 1 - b_1$  ดังนั้นจะมีค่าเอาต์พุตของ D/A ที่เป็นดังสมการ

$$x_Q = V \cdot m_3 = V (b_1 \cdot 2^{n-1} - b_2 \cdot 2^{n-2} + b_{n-1} \cdot 2^1 + b_n \cdot 2^{n-1} - 0.5) \quad (4)$$

เมื่อ  $3m$  คือผลรวมของการแปลงค่าไบนารี  $n$  บิต หรือค่า Quantisation level สำหรับโค้ดตัวเลขแบบท

### การแปลงข้อมูล Analog-to-Digital

A/D เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ให้ค่าเอาต์พุตที่เป็นรหัสเลขไบนารีตามข้อมูลสัญญาณอะนาล็อกที่เป็นอินพุตของ A/D ชนิดของ A/D มีอยู่หลายประเภทด้วยกัน ตารางที่ 1 ตารางของการเปรียบเทียบ A/D แบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

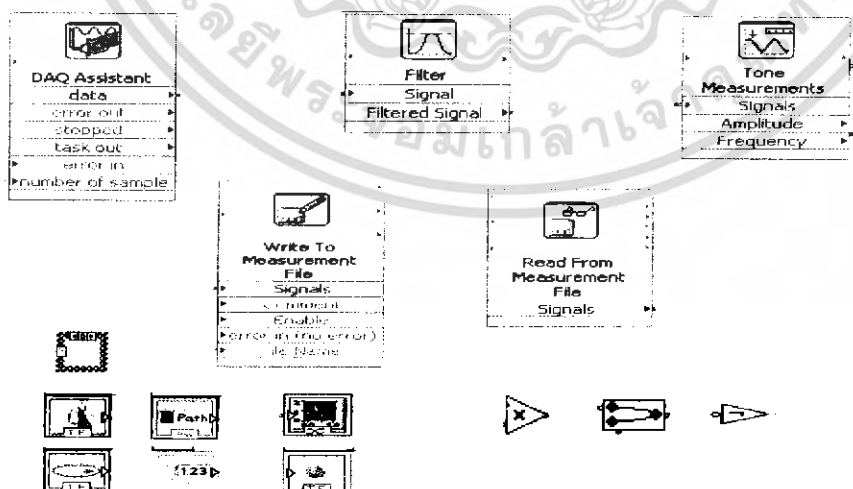
ตารางที่ 4.1 ตารางของการเปรียบเทียบ A/D แบบต่างๆ

ชนิด	ความเร็วในการทำงาน	ราคา	หมายเหตุ
Tracking	ช้าสุด	ต่ำ	อัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณของสัญญาณอินพุตจะช้า และ สามารถ ให้ค่าเอาต์พุตได้ตลอดเวลา
Counter ramp	ช้า	ต่ำ	ต้องการระบับอินพุตหนึ่งที
Single ramp	ช้า	ต่ำ	ใกล้เคียงหรือต่ออุณหภูมิและเวลา
Dual ramp	ช้า	ปานกลาง	
Successive Approximation	เร็ว	ปานกลาง	ต้องการระบับอินพุตหนึ่งที
Parallel "Flash"	เร็วสุด	สูง	ให้เอาต์พุตได้ตลอดเวลา

A/D แบบ Successive Approximation เป็นแบบที่นิยมใช้เพราะความละเอียดและความเร็วในการแปลงข้อมูล แต่มีราคาค่อนข้างแพง A/D แบบ Successive Approximation ประกอบด้วย Comparator, D/A และ Logic control, และ Storage Register

## 4.2 โปรแกรม LabVIEW ที่ใช้ในโครงการ

### 4.2.1 คอนโทรลที่สำคัญที่ใช้ในโครงการ

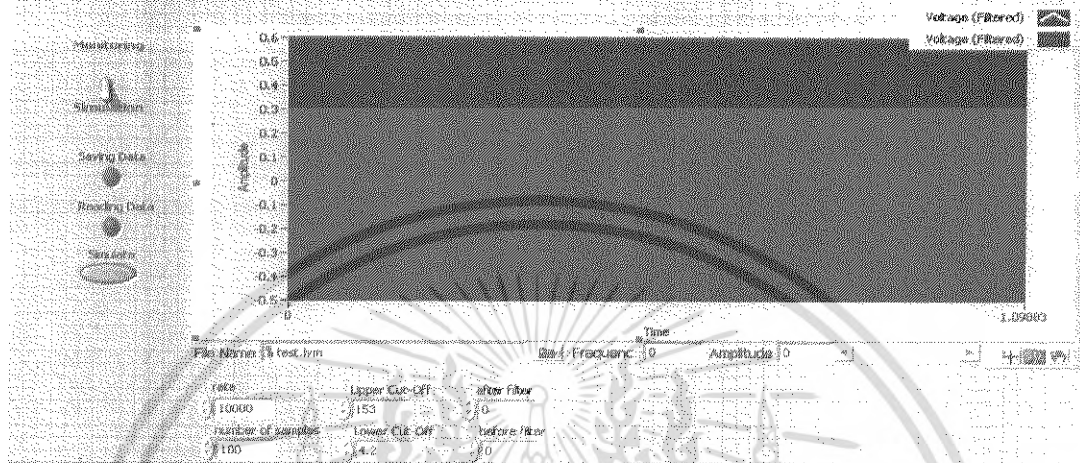


รูปที่ 4.20 แสดงอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ใน LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

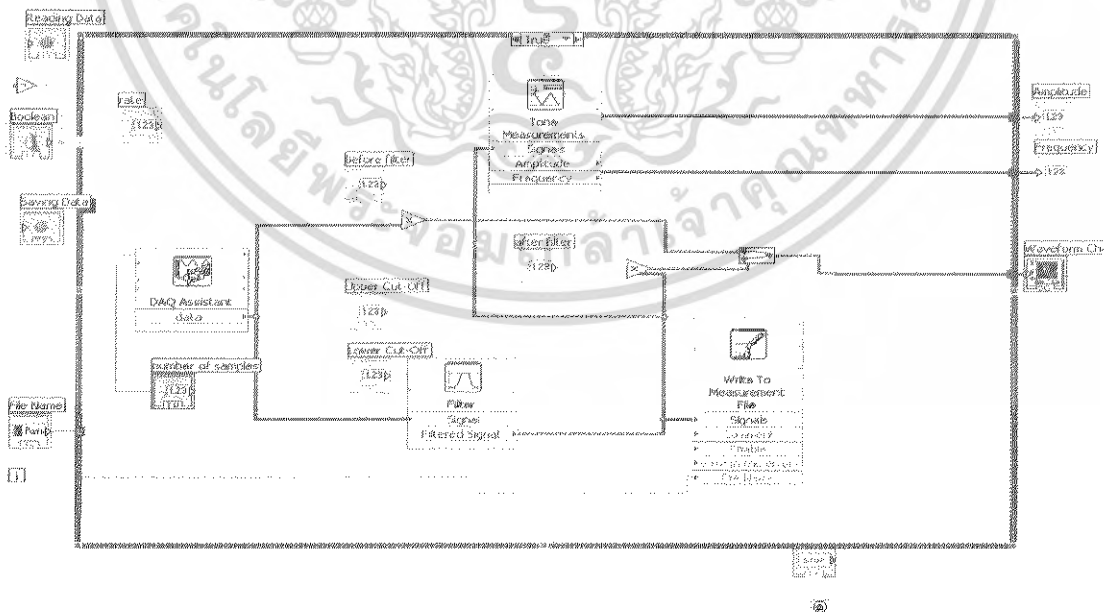
FRONT PANEL

ROTOR QUALITY MEASUREMENT TYPE PERMANENT MAGNET



รูปที่ 4.21 แสดงหน้าจอแสดงผลผ่านโปรแกรมLabVIEW

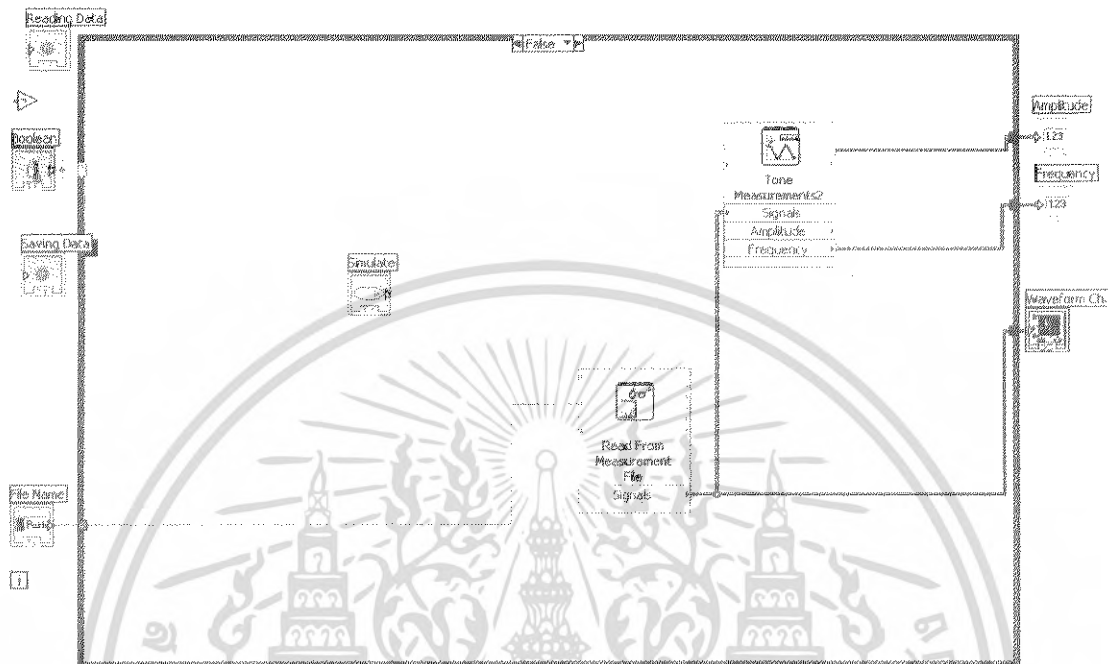
BLOCK PANEL กรณี TRUE



รูปที่ 4.22 แสดงการเดินทงของข้อมูลกรณี TRUE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยนาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## BLOCK PANEL กรณี FALSE



รูปที่ 4.23 แสดงการเดินทางของข้อมูลกรณี FALSE

### 4.2.2 หลักการทำงานของโปรแกรม LabVIEW ที่ใช้ในโครงการ

จากเงื่อนไขที่ว่าเราต้องการให้ใน Display เราสามารถแสดงค่าที่ได้เป็นแบบ Real Time และสามารถอ่านค่าที่บันทึกได้ เราจึงใช้ SWITCH เป็นตัวกำหนดเงื่อนไข ถ้าเลือกที่ “Monitoring” ก็จะทำงานในส่วนของ “True” แต่ถ้าเราเลือก “Simulation” ก็จะทำงานในส่วนของ “False”

โดยเลือกที่ “Monitoring” ก็จะทำการแสดงผลแบบ Real Time โดยจะมีไฟติดที่ “Saving Data” โดยเราสามารถปรับค่าที่ “Rate” และ “Number of Samples” ได้ และสามารถกำหนดย่านความถี่ที่ให้ผ่านได้ที่ “Upper” และ “Lower” ของตัว Filter โดยจะเก็บไฟล์ไว้เป็นข้อมูลของโรเตอร์แต่ละตัวที่นำมาทำการทดสอบอีกทั้งยังดูค่า “Amplitude” และ “Frequency” ได้อีกด้วย

กราฟที่แสดงผลแบบ Real Time สามารถกำหนดได้ว่าจะแสดงค่าที่วัดได้จากตัวโรเตอร์ โดยตรงเลยเส้นกราฟจะมีสีขาว หรือจะแสดงกราฟที่เราทำการกรองความถี่บางส่วนออกไปแล้ว เส้นกราฟจะมีสีแดงหรือจะแสดงพร้อมกันทั้ง 2 ลักษณะก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนในกรณีที่เรทำการเลือก “ Simulation ” จะมีไฟติดที่ “ Reading Data ” เราก็จะสามารถเลือกไฟล์ที่เราทำการเก็บข้อมูลไว้มาแสดงผลได้ โดยกดปุ่ม “ Simulate ” เพื่อ “ เริ่ม ” และกดอีกครั้งเพื่อ “ หยุด ” โดยดูค่า “ Amplitude ” และ “ Frequency ” ได้อีกด้วย

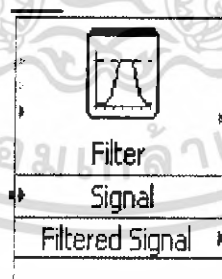
#### 4.2.3 หลักการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในโครงการ

- DAQ : เป็นอุปกรณ์ช่วยของตัว NI USB 6008



รูปที่ 4.24 แสดงอุปกรณ์ DAQ

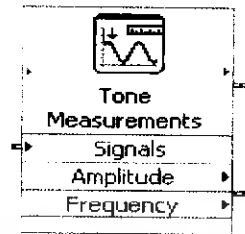
- Filter : เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยในการกรองความถี่



รูปที่ 4.25 แสดงอุปกรณ์ Filter

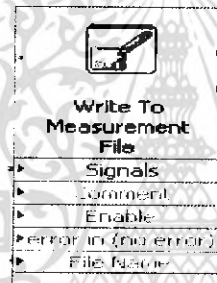
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Tone Measurement : เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยในการวัดค่าต่างๆของสัญญาณ



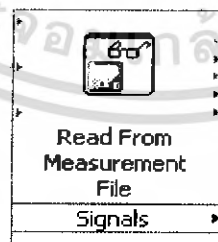
รูปที่ 4.26 แสดงอุปกรณ์ Tone Measurement

- Write To Measurement File : เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยในการบันทึกค่า



รูปที่ 4.27 แสดงอุปกรณ์ Write To Measurement File

- Read Form Measurement File : เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยในการอ่านค่า



รูปที่ 4.28 แสดงอุปกรณ์ Read Form Measurement File

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# การออกแบบเครื่องวัดคุณภาพโรเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร

### 5.1 หลักการทำงานของเครื่องวัดคุณภาพโรเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร



รูปที่ 5.1 แสดงการทำงานของเครื่องวัดคุณภาพของโรเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร

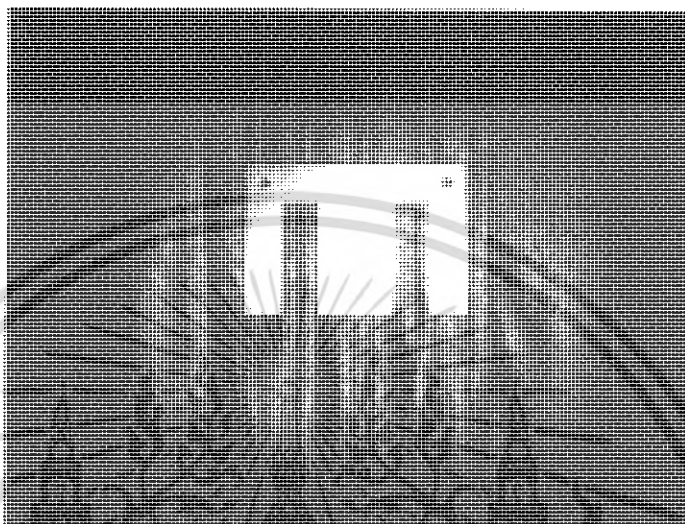
### 5.2 การทำงานของหัววัดคุณภาพโรเตอร์

แม่เหล็กถาวรที่ติดอยู่กับแกนเหล็กจะเป็นตัวที่สร้างสนามแม่เหล็ก โดยที่สนามแม่เหล็กจะวิ่งตัดผ่านสนามแม่เหล็กทั้งสอง เมื่อเรานำโรเตอร์แบบกรงกระรอกมาทำการวัดคุณภาพโดยได้ให้โรเตอร์หมุนผ่านแกนเหล็ก ส่วนที่เป็นซี่ภายในโรเตอร์ (โรเตอร์บาร์) จะทำตัวเหมือนขดลวดที่วิ่งตัดสนามแม่เหล็กทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าหรือ induce voltage โดยในหัววัดจะมีขดลวดที่พันรอบแกนเหล็กทั้งสองฝั่งอยู่ซึ่งขดลวดนี้จะเป็นตัววัดสัญญาณของ induce voltage ในการวัดสัญญาณเราต้องให้ขดลวดต่ออนุกรมกันและใช้ส่วนที่ไม่ได้ต่อกันส่งสัญญาณไปยังสโคปเพื่อไปวัดสัญญาณต่อไป

สิ่งที่เราต้องการวัดนั้นก็คือ induce voltage โดยใช้ขดลวดเป็นตัววัดการเปลี่ยนแปลงโดยถ้าเรามีโรเตอร์บาร์ที่สมบูรณ์สัญญาณที่ได้จากการวัดจะมีความสมบูรณ์คือเป็นกราฟ sine ที่ถูกต้อง แต่ถ้าโรเตอร์บาร์ของเราเกิดเสียหายกราฟที่ได้จากการที่เราวัดสัญญาณจะเป็นกราฟ sine ที่ไม่สมบูรณ์คือจะมีกราฟบางส่วนหายไปเนื่องไม่มีส่วนที่วิ่งตัดสนามแม่เหล็กทำให้สัญญาณขาดความต่อเนื่อง

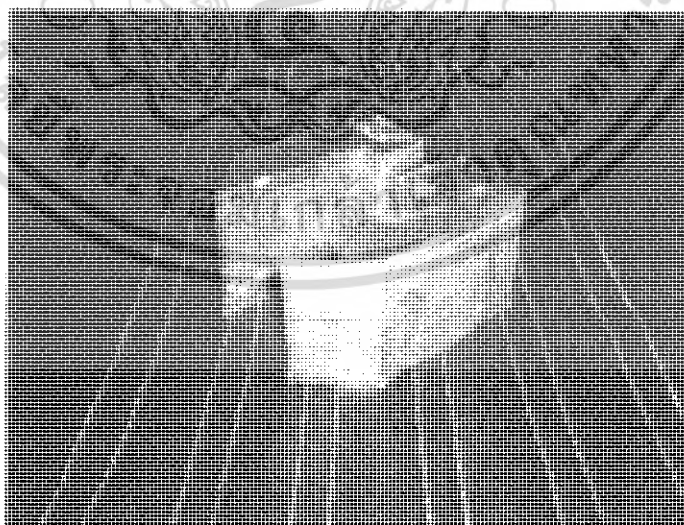
### 5.3 ขั้นตอนการออกแบบหัววัดคุณภาพโรเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร

1. ตัดแกนเหล็กรูปตัว E ให้เป็นตามแบบ เพื่อทำเป็นแกนเหล็กของหัววัดคุณภาพโรเตอร์



รูปที่ 5.2 แกนเหล็กรูปตัว E

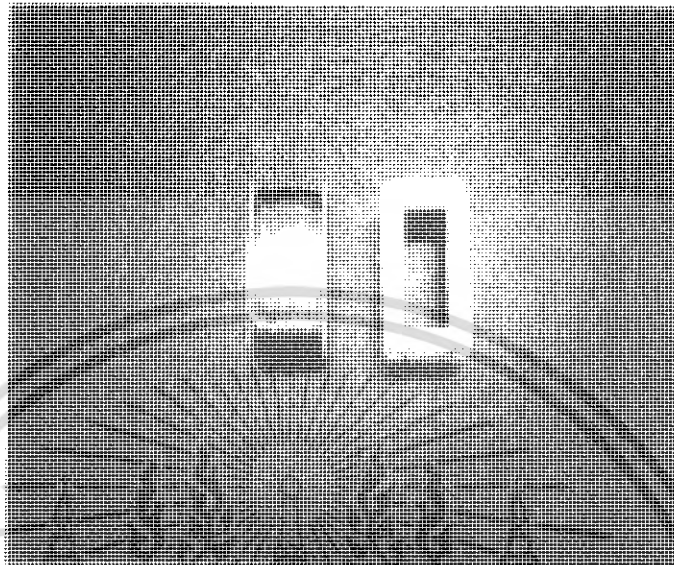
2. นำแกนที่ตัด ได้มาเชื่อมให้ติดกัน แล้วเจียรส่วนที่เกินออกมาแล้วนำแม่เหล็กถาวรมาติดระหว่างแกนเหล็กทั้ง 2 ดังรูป



รูปที่ 5.3 แกนเหล็กที่ทำการตัดเพื่อทำเป็นหัววัดคุณภาพโรเตอร์

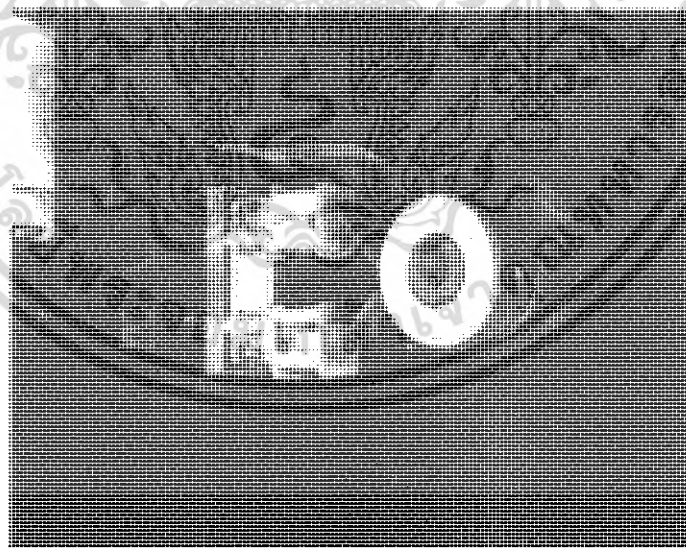
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำเฟรมไปพันขดลวดทองแดงเบอร์ 38 โดยพันข้างละ 4500 รอบ



รูปที่ 5.4 เฟรมที่ทำการพันด้วยลวดทองแดง

4. นำเฟรมที่พันขดลวดทองแดงมาใส่ในแกนเหล็กที่ติดกับแม่เหล็กถาวรดังรูป



รูปที่ 5.5 แสดงการนำเฟรมมาประกอบกับแกนเหล็ก

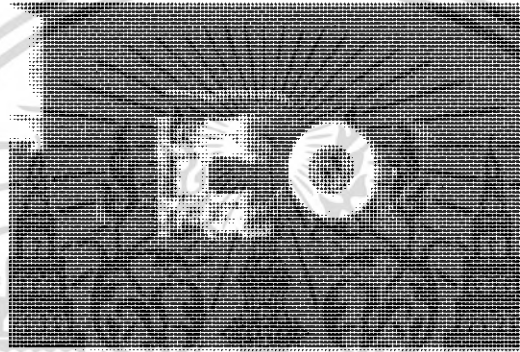
5. นำหัววัดคุณภาพโรเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรมาทดสอบสัญญาณโดยแสดงผลผ่านทาง

โปรแกรม LabVIEW

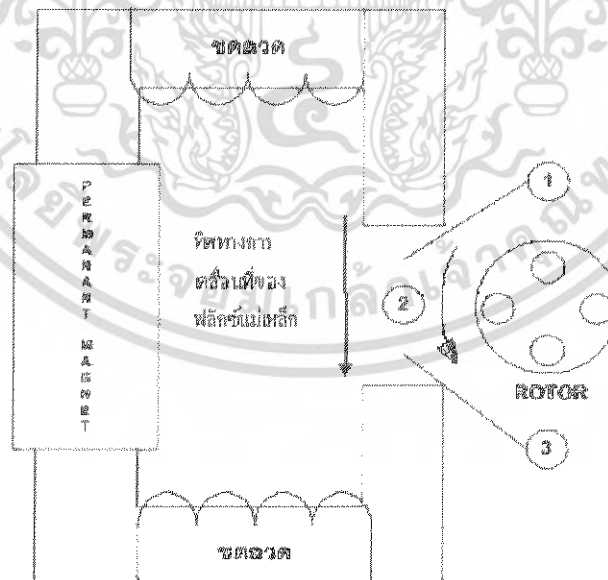
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 5.4 แบบจำลองการทำงานของเครื่องวัดคุณภาพโรเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร

หลักการของการเกิดการเหนี่ยวนำแม่เหล็กถาวร คือการที่ตัวนำเคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็ก จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแม่เหล็กถาวรและทำให้เกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำอีกกรณีหนึ่ง คือการที่สนามเคลื่อนที่ตัดตัวนำที่อยู่กับที่ก็จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำเช่นเดียวกับกรณีแรก จะเห็นได้ว่าการเกิดแรงเคลื่อนนั้นมีความสัมพันธ์ระหว่างตัวนำและสนามแม่เหล็ก ถ้าเราให้สนามแม่เหล็กเกิดจากส่วนที่อยู่กับที่ คือสเตเตอร์ และตัวนำก็คือโรเตอร์ ถ้าหมุนโรเตอร์ตัดสนามแม่เหล็กเพื่อให้อะไรตัวนำเหล่านี้ตัดกับเส้นแรงของสนามแม่เหล็ก ก็จะเกิดการเหนี่ยวนำ ทำให้เกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ โดยแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับฟลักซ์แม่เหล็กนั่นเอง



รูปที่ 5.6 ลักษณะการทำงานของเครื่องวัดคุณภาพโรเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร



รูปที่ 5.7 แบบจำลองการทำงานของเครื่องวัดคุณภาพโรเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

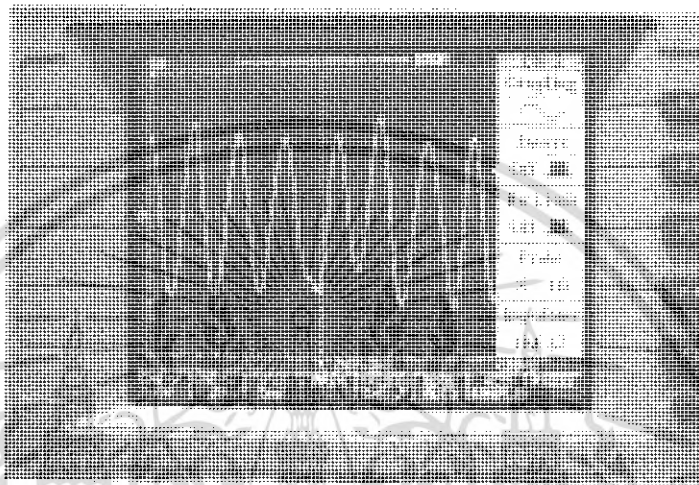
เมื่อแกนโรเตอร์อยู่ตำแหน่งที่ 1 ในตัวแกนโรเตอร์จะเกิดสนามแม่เหล็กและมีจำนวนฟลักซ์แม่เหล็กอยู่ค่าหนึ่ง ซึ่งฟลักซ์ของโรเตอร์จะทำมุมตั้งฉากกับฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดจากแกนเหล็กทำให้เกิดการต้านการไหลของฟลักซ์ ซึ่งทำให้เกิดรูปสัญญาณที่อยู่ในด้านลบ แต่ในขณะที่ตัวแกนโรเตอร์อยู่ในตำแหน่งที่ 2 ฟลักซ์ของโรเตอร์จะขนานกับฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดจากแกนเหล็ก ทำให้ไม่เกิดการต้านการไหลของฟลักซ์แม่เหล็กทำให้รูปสัญญาณอยู่ในตำแหน่ง 0 และเมื่อโรเตอร์อยู่ในตำแหน่งที่ 3 ฟลักซ์ที่เกิดจากแม่เหล็กและฟลักซ์ที่เกิดจากตัวแกนโรเตอร์จะทำมุมตั้งฉากซึ่งจะทำให้ฟลักซ์แม่เหล็กทั้ง 2 เสริมกันทำให้รูปสัญญาณอยู่ในด้านบวก ซึ่งเวลาตรวจวัดเราจะให้แกนโรเตอร์ทั้งหมดวิ่งหมุนผ่านหัววัดไปเรื่อยๆ เราจึงได้รูปสัญญาณขาขึ้นที่ต่อเนื่อง

สำหรับส่วนของหัววัดจะใช้ขดลวดเป็นตัวทำการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์ของแม่เหล็กดังที่ได้กล่าวมาในข้างต้น สำหรับโรเตอร์ที่โรเตอร์บาร์บางอันสูญหายหรือเสียหายตัวตรวจวัดสามารถตรวจจับได้ โดยเราสามารถดูได้จากสัญญาณเพราะสัญญาณขาขึ้นบางส่วนจะเกิดการเสียหายซึ่งเราสามารถดูได้จากผลการทดลองในส่วนต่อไป

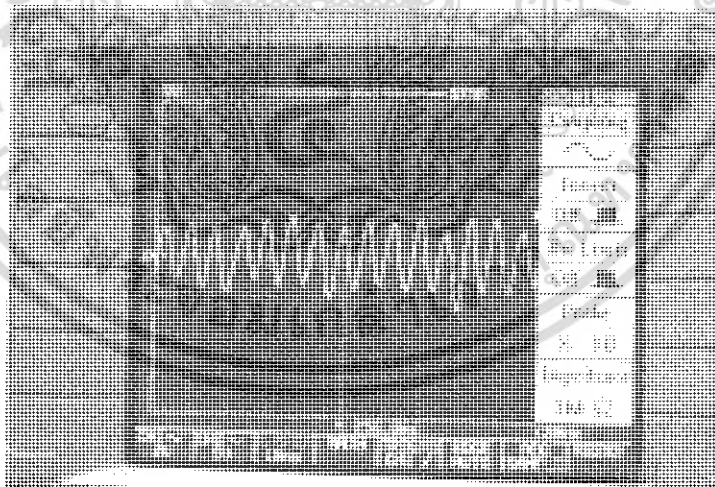
## บทที่ 6

### ผลการทดลอง

#### 6.1 ลักษณะของรูปคลื่นที่วัดได้จากสโคปที่โรเตอร์คุณภาพดี



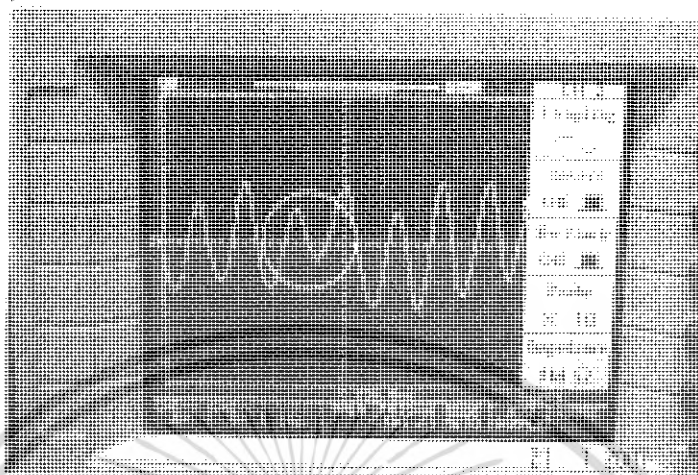
รูปที่ 6.1 ผลการทดลองสัญญาณจากโรเตอร์คุณภาพดีขนาด  $\varnothing 2$  นิ้ว ที่สโคป 2 V, 5 ms



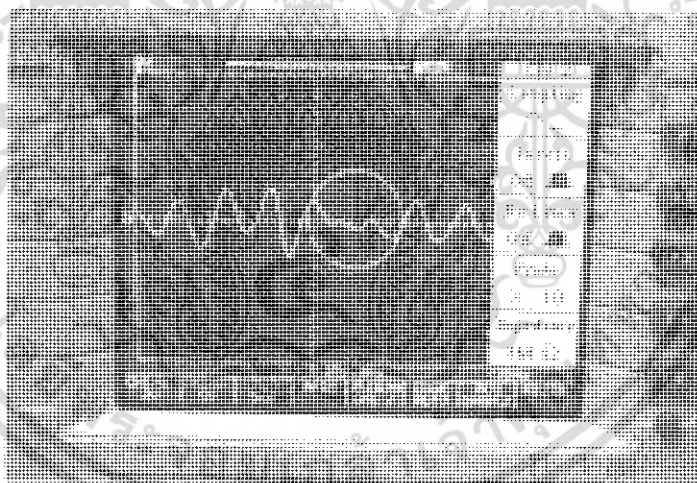
รูปที่ 6.2 ผลการทดลองสัญญาณจากโรเตอร์คุณภาพดีขนาด  $\varnothing 2$  นิ้ว ที่สโคป 5 V, 5 ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6.2 ลักษณะของรูปคลื่นที่วัดได้จากสโคปที่โรเตอร์คุณภาพไม่ดี

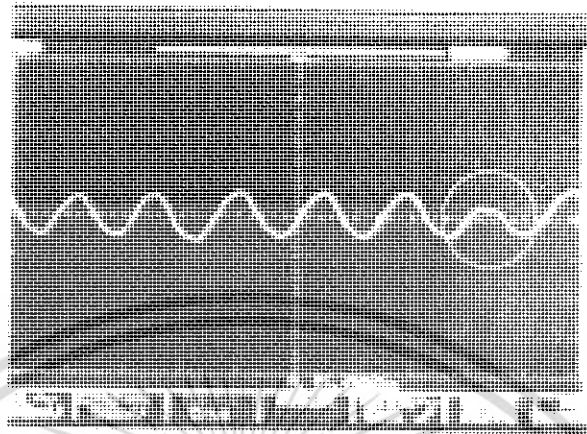


รูปที่ 6.3 ผลการทดลองสัญญาณจากโรเตอร์คุณภาพไม่ดีขนาด  $\varnothing 2$  นิ้ว ที่สโคป 2 V, 5 ms

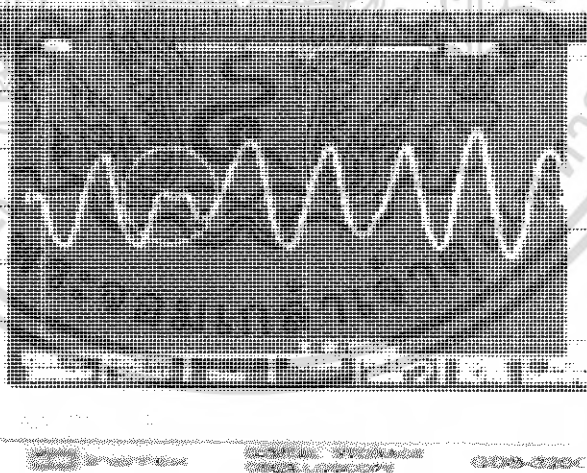


รูปที่ 6.4 ผลการทดลองสัญญาณจากโรเตอร์คุณภาพไม่ดีขนาด  $\varnothing 2$  นิ้ว ที่สโคป 5 V, 5 ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



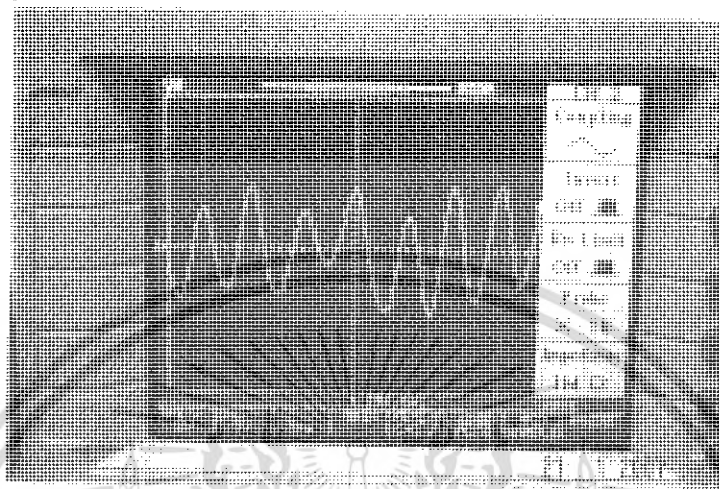
รูปที่ 6.5 ผลการทดลองสัญญาณจากโรเตอร์คุณภาพไม้ดีขนาด  $\varnothing 2.5$  นิ้ว ที่สโคป 5 V, 5 ms



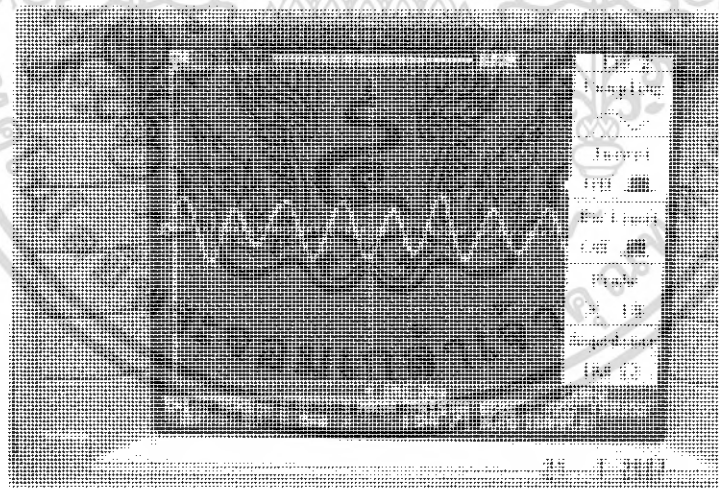
รูปที่ 6.6 ผลการทดลองสัญญาณจากโรเตอร์คุณภาพไม้ดีขนาด  $\varnothing 2$  นิ้ว ที่สโคป 2 V, 5 ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 6.3 ลักษณะของรูปคลื่นที่วัดได้จากสโคปที่โรเตอร์มีลักษณะครูด



รูปที่ 6.7 ผลการทดลองสัญญาณจากโรเตอร์ลักษณะครูดขนาด  $\varnothing 2$  นิ้ว ที่สโคป 2 V, 5 ms

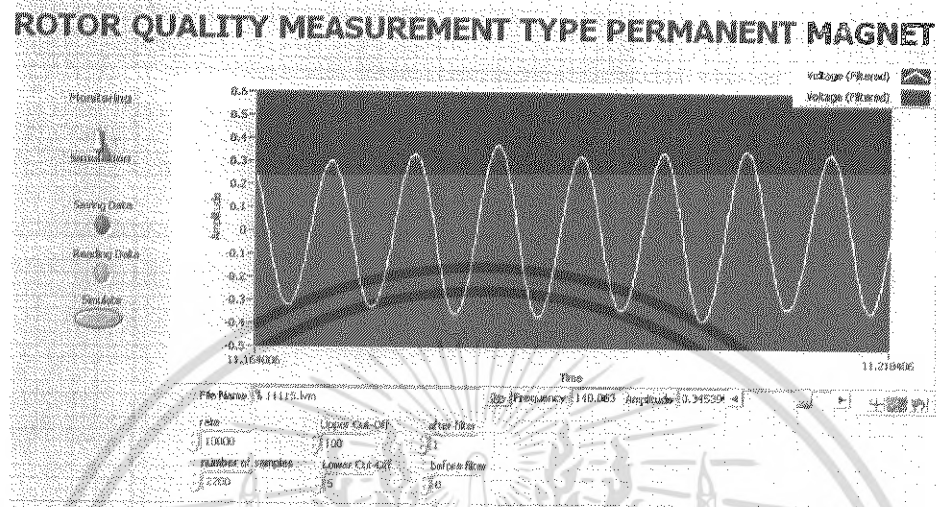


รูปที่ 6.8 ผลการทดลองสัญญาณจากโรเตอร์ลักษณะครูดขนาด  $\varnothing 2$  นิ้ว ที่สโคป 5 V, 5 ms

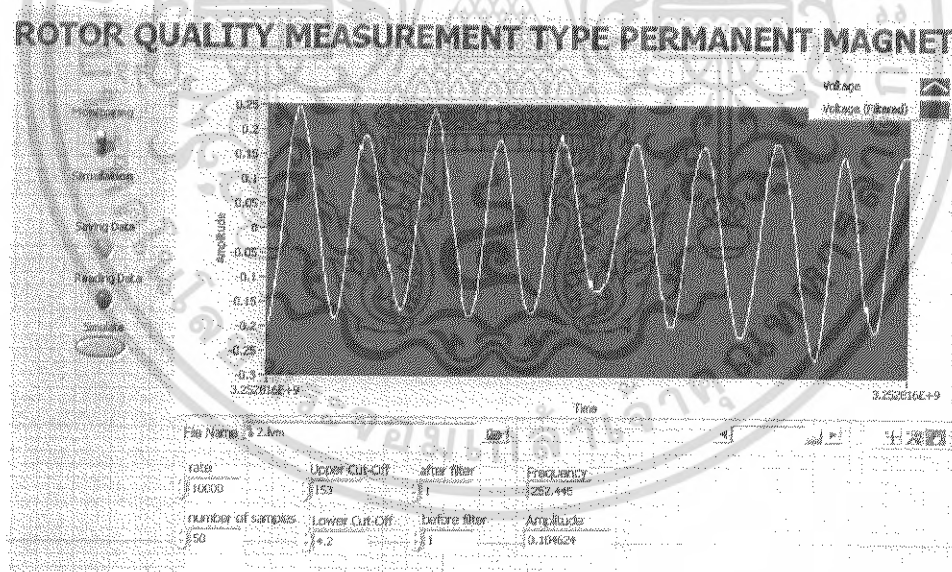
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลการทดลองผ่านโปรแกรมLabVIEW

### 6.4 ผลการทดลองสัญญาณจากโรเตอร์คุณภาพดีขนาด ๒ นิ้ว



รูปที่ 6.9 ผลการทดลองสัญญาณจาก โรเตอร์ลักษณะดีขนาด ๒ นิ้ว

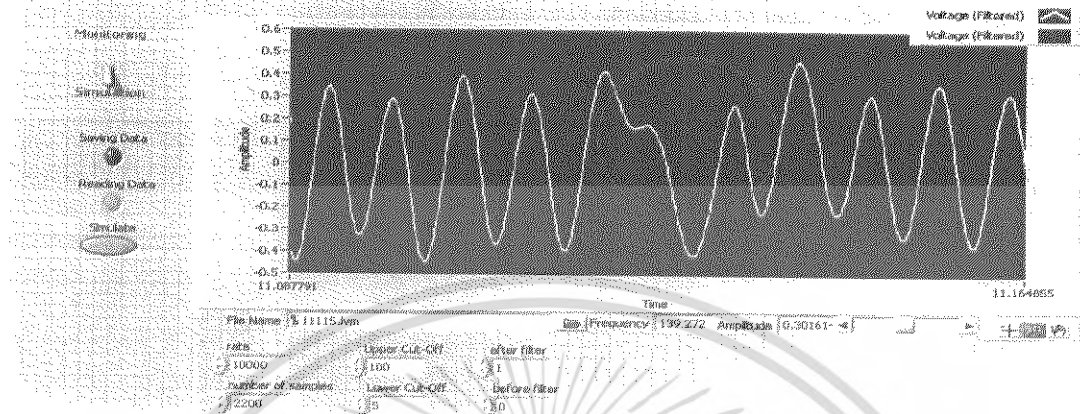


รูปที่ 6.10 ผลการทดลองสัญญาณจาก โรเตอร์ลักษณะดีขนาด ๒ นิ้วและแสดงสัญญาณที่ผ่านตัวFILTERด้วย(เส้นสีแดง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

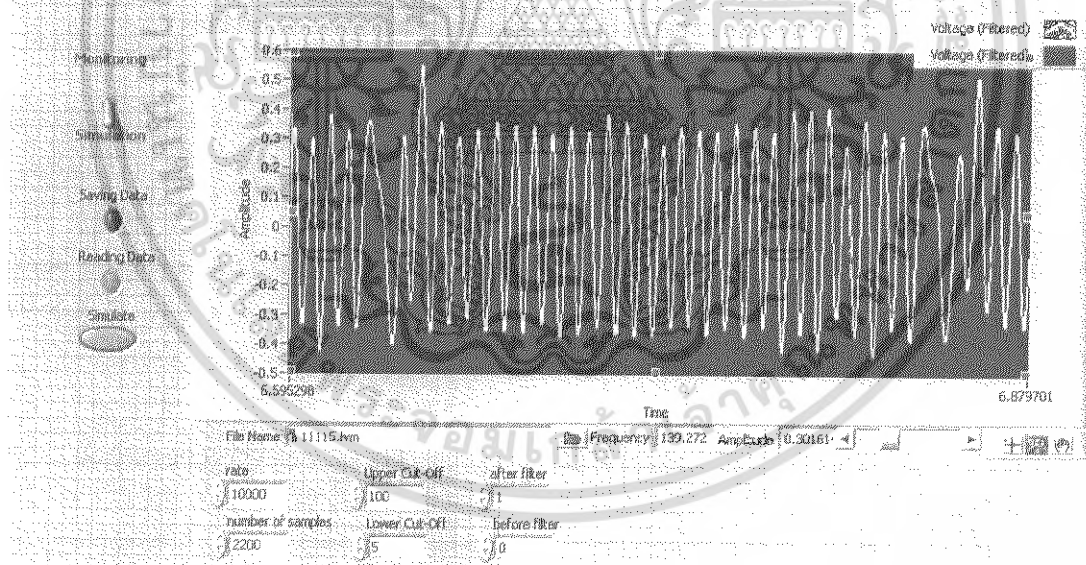
## 6.5 ผลการทดลองสัญญาณจากโรเตอร์คุณภาพไม่ดีขึ้นขนาด 0.25 นิ้ว

### ROTOR QUALITY MEASUREMENT TYPE PERMANENT MAGNET



รูปที่ 6.11 ผลการทดลองสัญญาณจากโรเตอร์ลักษณะไม่ดีขึ้นขนาด 0.25 นิ้ว

### ROTOR QUALITY MEASUREMENT TYPE PERMANENT MAGNET

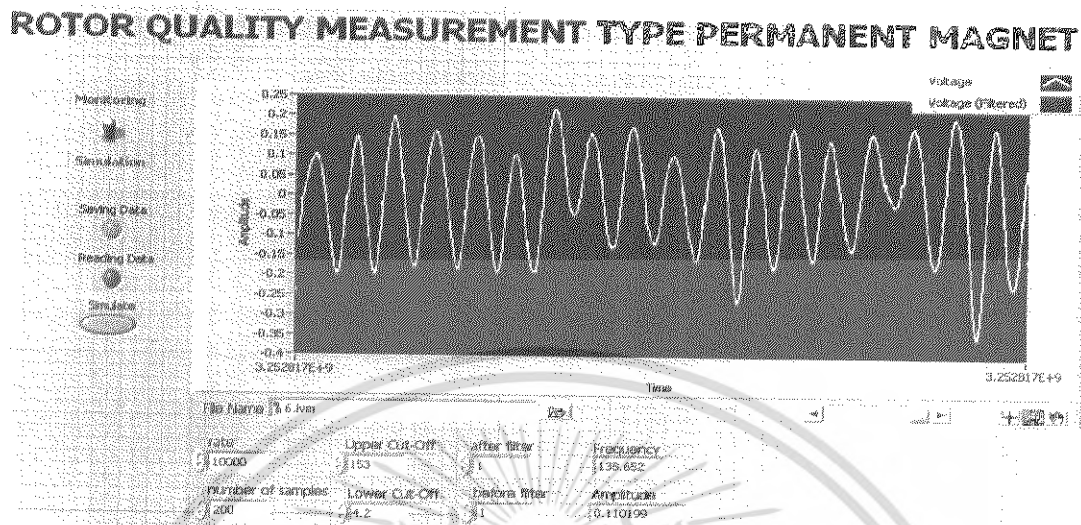


รูปที่ 6.12 ผลการทดลองสัญญาณจากโรเตอร์ลักษณะไม่ดีขึ้นขนาด 0.25 นิ้ว

เมื่อโรเตอร์หมุนครบรอบจากรูปสัญญาณจะพบสัญญาณส่วนที่เสียหายอีกครั้ง

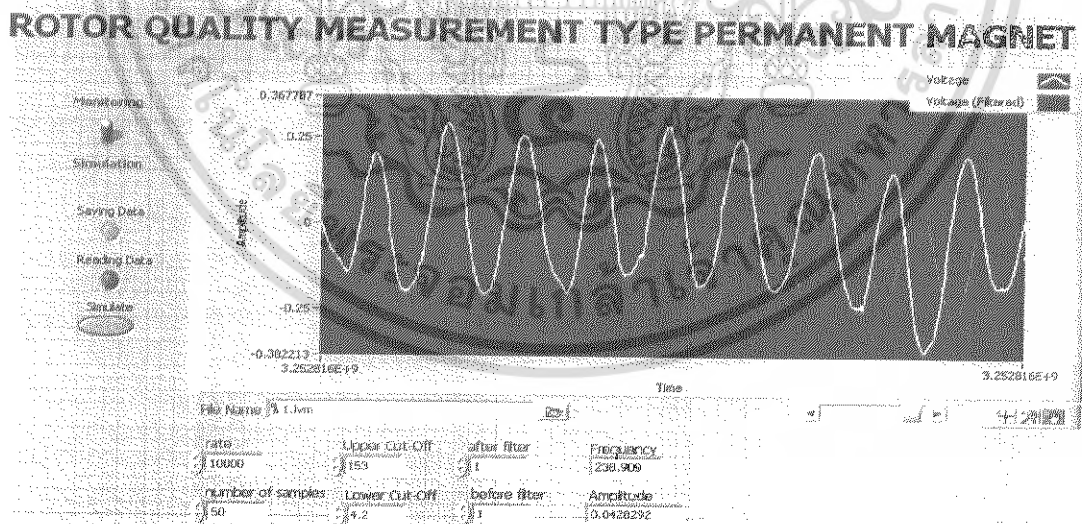
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6.6 ผลการทดลองสัญญาณจากโรเตอร์รูปโรเตอร์ไม่เต็ม $\varnothing 2$ นิ้ว



รูปที่ 6.13 ผลการทดลองสัญญาณจากโรเตอร์ลักษณะไม่เต็มขนาด  $\varnothing 2$  นิ้ว

## 6.6 ผลการทดลองสัญญาณจากโรเตอร์รูปโรเตอร์ครูด $\varnothing 2$ นิ้ว



รูปที่ 6.14 ผลการทดลองสัญญาณจากโรเตอร์ลักษณะครูดขนาด  $\varnothing 2$  นิ้ว

เนื่องจากการครูดเป็นความเสียหายทางกลจึงไม่มีผลต่อสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 7

# สรุปและวิจารณ์

### สรุป

การทำโครงการการออกแบบหัววัดคุณภาพโรเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร ผู้จัดทำเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการตรวจวัดคุณภาพโรเตอร์แบบสไลด์เรจเจจ ( กรงกระรอก ) ว่าสามารถใช้ได้หรือไม่ได้โดยผู้จัดทำได้ทำส่วนของเซนเซอร์ ( หัววัด ) และใช้หลักการเหนี่ยวนำร่วมโดยให้สัญญาณแสดงออกทางสโคป ขั้นตอนต่อมาผู้จัดทำได้นำเอาสัญญาณแสดงผลออกทางคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมแลปวิว(LabVIEW) มาใช้งานร่วมกับส่วนของตัว DAQ (Data Acquisition) ที่รับสัญญาณมาจากส่วนเซนเซอร์ ซึ่งเป็นสัญญาณอนาล็อก โดยโปรแกรม LabVIEW จะสามารถแสดงกราฟของสัญญาณ รวมทั้งอ่านค่าความถี่ แรงเคลื่อนไฟฟ้า และเราจะนำค่าที่อ่านได้มาวิเคราะห์ที่ตัวของโรเตอร์ว่าสามารถใช้งานได้หรือไม่ ก่อนที่จะนำมาประกอบกับส่วนสเตเตอร์เป็นมอเตอร์ต่อไป ซึ่งจะทำให้ผู้ประกอบการสามารถลดต้นทุนในการผลิตได้โดยไม่ต้องนำโรเตอร์ที่ไม่มีคุณภาพนำมาใช้งาน

### วิจารณ์

#### ปัญหาที่พบคือ

1. ไม่สามารถควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ในการหมุนโรเตอร์ที่นำมาทำการทดสอบได้
2. เมื่อตัวมอเตอร์หมุนด้วยความเร็วแกนรองรับโรเตอร์ที่ต่อเข้ากับเพลลาของมอเตอร์จะทำให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางทำให้สัญญาณมีความผิดเพี้ยนได้
3. อัตราการ Sampling ของตัว DAQ (Data Acquisition) นั้นค่อนข้างต่ำจะทำให้สัญญาณที่แสดงที่โปรแกรม LabVIEW มีความผิดเพี้ยนได้

## บรรณานุกรม

- (1) มงคล ทองสงคราม. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง. กรุงเทพฯ : รามาการพิมพ์, 2538
- (2) ไชยชาญ หินเกิด. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทยญี่ปุ่น), 2541
- (3) ไมตรี วรวิจิตรชยากุล. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง. กรุงเทพฯ : ศูนย์การพิมพ์พลชัย, 2534
- (4) เจริญ เพชรมณี. เรียนลัดLabVIEW. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดบุ๊คชั่น, 2547



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Low-Cost Multifunction DAQ for USB

## NI USB-6008, NI USB-6009

- Small and portable
- 12 or 14-bit input resolution, at up to 48 kS/s
- Built-in, removable connectors for easier and more cost-effective connectivity
- 2 true DAC analog outputs for accurate output signals
- 12 digital I/O lines (TTL/LVTTL/CMOS)
- 32-bit event counter
- Student kits available
- OEM versions available

### Operating Systems

- Windows 2000/XP
- Mac OS X
- Linux®
- Pocket PC
- Win CE

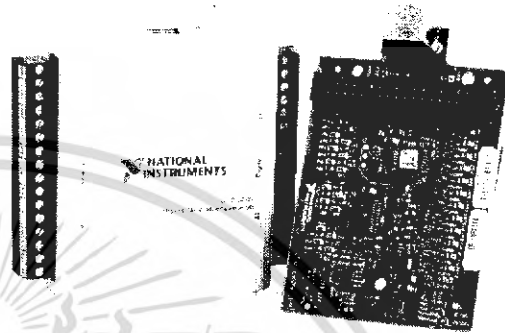
### Recommended Software

- LabVIEW
- LabWindows/CVI

### Measurement Services Software (included)

- NI-DAQmx
- Ready-to-run data logger

\*Mac OS X and Linux users need to download NI-DAQmx Base.



Product	Bus	Analog Inputs <sup>1</sup>	Input Resolution (bits)	Max Sampling Rate (kS/s)	Input Range (V)	Analog Outputs	Output Resolution (bits)	Output Rate (Hz)	Output Range (V)	Digital I/O Lines	32-Bit Counter	Trigger
USB-6009	USB	8 SE/4 DI	14	48	±1 to ±20	2	12	150	0 to 5	12	1	Digital
USB-6008	USB	8 SE/4 DI	12	10	±1 to ±20	2	12	150	0 to 5	12	1	Digital

<sup>1</sup>SE = single-ended, DI = differential

## Hardware Description

The National Instruments USB-6008 and USB-6009 multifunction data acquisition (DAQ) modules provide reliable data acquisition at a low price. With plug-and-play USB connectivity, these modules are simple enough for quick measurements but versatile enough for more complex measurement applications.

## Software Description

The NI USB-6008 and USB-6009 use NI-DAQmx high-performance, multithreaded driver software for interactive configuration and data acquisition on Windows OSs. All NI data acquisition devices shipped with NI-DAQmx also include VI Logger Lite, a configuration-based data logging software package.

Mac OS X and Linux users can download NI-DAQmx Base, a multiplatform driver with a limited NI-DAQmx programming interface. You can use NI-DAQmx Base to develop customized data acquisition applications with National Instruments LabVIEW or C-based development environments. NI-DAQmx Base includes a ready-to-run data logger application that acquires and logs up to eight channels of analog data.

PDA users can download NI-DAQmx Base for Pocket PC and Win CE to develop customized handheld data acquisition applications.

## Recommended Accessories

The USB-6008 and USB-6009 have removable screw terminals for easy signal connectivity. For extra flexibility when handling multiple wiring configurations, NI offers the USB-6008/09 Accessory Kit, which includes two extra sets of screw terminals, extra labels, and a screwdriver.

In addition, the USB-6008/09 Prototyping Accessory provides space for adding more circuitry to the inputs of the USB-6008 or USB-6009.

## Common Applications

The USB-6008 and USB-6009 are ideal for a number of applications where economy, small size, and simplicity are essential, such as:

- Data logging – Log environmental or voltage data quickly and easily.
- Academic lab use – The low price facilitates student ownership of DAQ hardware for completely interactive lab-based courses. (Academic pricing available. Visit [ni.com/academic](http://ni.com/academic) for details.)
- Embedded OEM applications.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับเป็นผลิตภัณฑ์ของ National Instruments การค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Low-Cost Multifunction DAQ for USB

### Information for Student Ownership

To supplement simulation, measurement, and automation theory courses with practical experiments, NI has developed the USB-6008 and USB-6009 student kits, which include the LabVIEW Student Edition and a ready-to-run data logger application. These kits are exclusively for students, giving them a powerful, low-cost hands-on learning tool. Visit [ni.com/academic](http://ni.com/academic) for more details.

### Information for OEM Customers

For information on special configurations and pricing, call (800) 813 3693 (U.S. only) or visit [ni.com/oem](http://ni.com/oem). Go to the Ordering Information section for part numbers.



### Ordering Information

NI USB-6008 <sup>1</sup> .....	779051-01
NI USB-6009 <sup>1</sup> .....	779026-01
NI USB-6008 OEM <sup>2</sup> .....	193132-02
NI USB-6009 OEM .....	193132-01
NI USB-6008 Student Kit <sup>1,2</sup> .....	779320-22
NI USB-6009 Student Kit <sup>1,2</sup> .....	779321-22

<sup>1</sup> Includes NI-DAQmx software, NI ready-to-run data logger software, and a USB cable.

<sup>2</sup> Includes LabVIEW Student Edition.

### BUY NOW!

For complete product specifications, pricing, and accessory information, call 800 265 9891 (U.S. only) or go to [ni.com/usb](http://ni.com/usb).

BUY ONLINE at [ni.com](http://ni.com) or CALL (800) 813 3693 (U.S.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า 2  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Low-Cost Multifunction DAQ for USB

### Specifications

Typical at 25 °C unless otherwise noted.

#### Analog Input

##### Absolute accuracy, single-ended

Range	Typical at 25 °C (mV)	Maximum (0 to 55 °C) (mV)
±10	14.7	138

##### Absolute accuracy at full scale, differential<sup>1</sup>

Range	Typical at 25 °C (mV)	Maximum (0 to 55 °C) (mV)
±20	14.7	138
±10	7.73	84.8
±5	4.28	58.4
±4	3.59	53.1
±2.5	2.56	45.1
±2	2.21	42.5
±1.25	1.70	38.9
±1	1.53	37.5

Number of channels	8 single-ended/4 differential
Type of ADC	Successive approximation

##### ADC resolution (bits)

Module	Differential	Single-Ended
USB-6008	12	11
USB-6009	14	13

##### Maximum sampling rate (system dependent)

Module	Maximum Sampling Rate (kS/s)
USB-6008	10
USB-6009	48

Input range, single-ended	±10 V
Input range, differential	±20, ±10, ±5, ±4, ±2.5, ±2, ±1.25, ±1 V
Maximum working voltage	±10 V
Overshoot protection	±35 V
FIFO buffer size	512 B
Timing resolution	41.67 ns (24 MHz timebase)
Timing accuracy	100 ppm of actual sample rate
Input impedance	144 k
Trigger source	Software or external digital trigger
System noise	0.3 LSB <sub>rms</sub> (±10 V range)

#### Analog Output

Absolute accuracy (no load)	7 mV typical, 36.4 mV maximum at full scale
Number of channels	2
Type of DAC	Successive approximation
DAC resolution	12 bits
Maximum update rate	150 Hz, software-timed

Output range	0 to +5 V
Output impedance	50 Ω
Output current drive	5 mA
Power-on state	0 V
Slew rate	1 V/μs
Short-circuit current	50 mA

#### Digital I/O

Number of channels	12 total 8 (P0.<0..7>) 4 (P1.<0..3>)
Direction control	Each channel individually programmable as input or output
Output driver type	USB-6008: Open-drain USB-6009: Each channel individually programmable as push-pull or open-drain
Compatibility	CMOS, TTL, LVTTL
Internal pull-up resistor	4.7 kΩ to 15 V
Power-on state	Input (high impedance)
Absolute maximum voltage range	-0.5 to +5.8 V

#### Digital logic levels

Level	Min	Max	Units
Input low voltage	0.3	0.8	V
Input high voltage	2.0	5.8	V
Input leakage current	-	50	μA
Output low voltage (I <sub>L</sub> = 8.5 mA)	-	0.8	V
Output high voltage (push-pull, I <sub>H</sub> = 8.5 mA)	2.0	3.5	V
Output high voltage (open-drain, I <sub>L</sub> = 0.6 mA, nominal)	2.0	5.0	V
Output high voltage (open-drain, I <sub>L</sub> = 8.5 mA, with external pull-up resistor)	2.0	-	V

#### Counter

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

#### Power available at I/O connector

+5 V output (200 mA maximum)	+5 V typical +4.85 V minimum
+2.5 V output (1 mA maximum)	+2.5 V typical
+2.5 V output accuracy	0.25% max
Voltage reference temperature drift	50 ppm/°C max

<sup>1</sup> Input voltages may not exceed the working voltage range.

BUY ONLINE at [ni.com](http://ni.com) or CALL (800) 813 3693 (U.S.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Low-Cost Multifunction DAQ for USB

### Physical Characteristics

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

Dimensions (without connectors) .....	6.35 by 8.51 by 2.31 cm (2.50 by 3.35 by 0.91 in.)
Dimensions (with connectors) .....	8.18 by 8.51 by 2.31 cm (3.22 by 3.35 by 0.91 in.)
Weight (without connectors) .....	59 g (2.1 oz)
Weight (with connectors) .....	84 g (3 oz)
I/O connectors .....	USB series B receptacle (2) 16-position (screw-terminal) plug headers
Screw-terminal wiring .....	16 to 28 AWG
Screw-terminal torque .....	0.22 to 0.25 N•m (2.0 to 2.2 lb•in.)

### Power Requirement

USB (4.10 to 5.25 VDC) .....	80 mA typical 500 mA maximum
USB suspend .....	300 $\mu$ A typical 500 $\mu$ A maximum

### Environmental

The USB-600B and USB-6009 are intended for indoor use only.

Operating environment	
Ambient temperature range .....	0 to 55 °C (tested in accordance with IEC-60068-2-1 and IEC-60068-2-2)
Relative humidity range .....	10 to 90%, noncondensing (tested in accordance with IEC-60068-2-56)
Storage environment	
Ambient temperature range .....	-40 to 85 °C (tested in accordance with IEC-60068-2-1 and IEC-60068-2-2)
Relative humidity range .....	5 to 90%, noncondensing (tested in accordance with IEC-60068-2-56)
Maximum altitude .....	2,000 m (at 25 °C ambient temperature)
Pollution degree .....	2

### Safety and Compliance

#### Safety

This product is designed to meet the requirements of the following standards of safety for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 61010-1, CAN/CSA-C22.2 No. 61010-1

**Note:** For UL and other safety certifications, refer to the product label or visit [ni.com/certification](http://ni.com/certification), search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

#### Electromagnetic Compatibility

This product is designed to meet the requirements of the following standards of EMC for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- EN 61326 EMC requirements: Minimum Immunity
- EN 55011 Emissions, Group 1, Class A
- CE, C-Tick, ICES, and FCC Part 15 Emissions: Class A

**Note:** For EMC compliance, operate this device according to product documentation.

#### CE Compliance

This product meets the essential requirements of applicable European Directives, as amended for CE marking, as follows:

- 73/23/EEC; Low-Voltage Directive (safety)
- 89/335/EEC; Electromagnetic Compatibility Directive (EMC)

**Note:** Refer to the Declaration of Conformity (DoC) for this product for any additional regulatory compliance information. To obtain the DoC for this product, visit [ni.com/certification](http://ni.com/certification), search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

#### Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)

**EU Customers:** At the end of their life cycle, all products must be sent to a WEEE recycling center. For more information about WEEE recycling centers and National Instruments WEEE initiatives, visit [ni.com/environment/weee.htm](http://ni.com/environment/weee.htm)

BUY ONLINE at [ni.com](http://ni.com) or CALL (800) 813 3693 (U.S.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# NI Services and Support



NI has the services and support to meet your needs around the globe and through the application life cycle – from planning and development through deployment and ongoing maintenance. We offer services and service levels to meet customer requirements in research, design, validation, and manufacturing. Visit [ni.com/services](http://ni.com/services).

## Training and Certification

NI training is the fastest, most certain route to productivity with our products. NI training can shorten your learning curve, save development time, and reduce maintenance costs over the application life cycle. We schedule instructor-led courses in cities worldwide, or we can hold a course at your facility. We also offer a professional certification program that identifies individuals who have high levels of skill and knowledge on using NI products. Visit [ni.com/training](http://ni.com/training).

## Professional Services

Our Professional Services Team is comprised of NI applications engineers, NI Consulting Services, and a worldwide National Instruments Alliance Partner program of more than 600 independent consultants and

integrators. Services range from start-up assistance to turnkey system integration. Visit [ni.com/alliance](http://ni.com/alliance).



## OEM Support

We offer design-in consulting and product integration assistance if you want to use our products for OEM applications. For information about special pricing and services for OEM customers, visit [ni.com/oem](http://ni.com/oem).

## Local Sales and Technical Support

In offices worldwide, our staff is local to the country, giving you access to engineers who speak your language. NI delivers industry leading technical support through online knowledge bases, our applications engineers, and access to 14,000 measurement and automation professionals within NI Developer Exchange forums. Find immediate answers to your questions at [ni.com/support](http://ni.com/support).

We also offer service programs that provide automatic upgrades to your application development environment and higher levels of technical support. Visit [ni.com/ssp](http://ni.com/ssp).

## Hardware Services

### NI Factory Installation Services

NI Factory Installation Services (FIS) is the fastest and easiest way to use your PXI or PXI/SCXI combination systems right out of the box. Trained NI technicians install the software and hardware and configure the system to your specifications. NI extends the standard warranty by one year on hardware components (controllers, chassis, modules) purchased with FIS. To use FIS, simply configure your system online with [ni.com/pxiadvisor](http://ni.com/pxiadvisor).

### Calibration Services

NI recognizes the need to maintain properly calibrated devices for high-accuracy measurements. We provide manual calibration procedures, services to recalibrate your products, and automated calibration software specifically designed for use by metrology laboratories. Visit [ni.com/calibration](http://ni.com/calibration).

### Repair and Extended Warranty

NI provides complete repair services for our products. Express repair and advance replacement services are also available. We offer extended warranties to help you meet project life cycle requirements. Visit [ni.com/services](http://ni.com/services).



[ni.com](http://ni.com) • (800) 813 3693

National Instruments • [info@ni.com](mailto:info@ni.com)



© 2006 National Instruments Corporation. All rights reserved. CVI, LabVIEW, National Instruments, National Instruments Alliance Partner, NI, ni.com, and SCXI are trademarks of National Instruments. Linux® is a registered trademark of Linus Torvalds in the U.S. and other countries. Other product and company names listed are trademarks or trade names of their respective companies. A National Instruments Alliance Partner is a business entity independent from NI and has no agency, partnership, or joint-venture relationship with NI.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้