

การใช้หลักการสนามแม่เหล็กสำหรับฟังก์ชันตรีโกณมิติ
ด้วยฮอลล์เอฟเฟกต์เซนเซอร์

APPLICATION OF MAGNETIC FIELD METHOD IN TRIGONOMETRIC
FUNCTIONS USING HALL EFFECT SENSORS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2553

KMITL-2010-EN-M-060-102

การใช้หลักการสนามแม่เหล็กสำหรับฟังก์ชันตรีโกณมิติ
ด้วยฮอลล์เอฟเฟกต์เซนเซอร์

APPLICATION OF MAGNETIC FIELD METHOD IN TRIGONOMETRIC
FUNCTIONS USING HALL EFFECT SENSORS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2553

KMITL-2010-EN-M-060-102
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**APPLICATION OF MAGNETIC FIELD METHOD IN TRIGONOMETRIC
FUNCTIONS USING HALL EFFECT SENSORS**



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

2010

KMITL-2010-EN-M-060-102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2010

FACULTY OF ENGINEERING

KING MON GKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การใช้หลักการสนามแม่เหล็กสำหรับฟังก์ชันตรีโกณมิติด้วยฮอลล์เอฟเฟกต์เซนเซอร์

Thesis Title Application of Magnetic Field Method in Trigonometric Functions using Hall Effect Sensor

นักศึกษา นายภาณุพล โขลกกระโทก






รหัสประจำตัว 49060804

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.วิศรุต ศรีรัตน์

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2010-EN-M-060-102

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.วิทยา	ทิพย์สุวรรณพร	
รศ.วิริยะ	กองรัตน์	
ดร.เลิศเลขา	ศรีรัตน์	
รศ.ดร.ทวีพล	ชื่อสัตย์	
รศ.วิศรุต	ศรีรัตน์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 1 มิถุนายน พ.ศ. 2553 เวลา 12.00-14.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 2

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.กอบชัย เดชหาญ)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 1 มิถุนายน พ.ศ. 2553



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มอบให้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้หลักการสนามแม่เหล็กสำหรับฟังก์ชันตรีโกณมิติด้วย ฮอลล์เอฟเฟกต์เซนเซอร์
นักศึกษา	นายภาณุพล โขลกกระโทก
รหัสนักศึกษา	49060804
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม
พ.ศ.	2553
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์วิศรุต ศรีรัตนะ

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอวิธีการวัดมุมเอียงของเพลานในแกนตั้งโดยการประยุกต์ใช้ขดลวดเฮลมโฮลทซ์ ซึ่งมีสมบัติการกระจายความเข้มของสนามแม่เหล็ก ซึ่งสัมพันธ์กับตำแหน่งในการวัดความเข้มของขดลวดเฮลมโฮลทซ์ ณ ตำแหน่งต่างๆ โดยใช้อุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์ ที่ติดอยู่ปลายด้านบนสุดของแกนเพลานในแนวตั้ง ซึ่งมีปลายด้านล่างเป็นจุดหมุน เมื่อแกนเพลามีการเอนเอียงค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กที่วัดได้จะเปลี่ยนไป ระบบการวัดมุมเอียงที่ออกแบบใช้ขดลวดเฮลมโฮลทซ์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 17.6 เซนติเมตร ที่ใช้ลวดทองแดงมาตรฐาน AWG19 พันจำนวน 500 รอบ โดยมีไฟเลี้ยงกระแสขงที่ 1 แอมแปร์ และมีอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์เบอร์ A1321 ซึ่งมีความไวเป็น 5mV/G ติดตั้งอยู่ที่ปลายด้านบนสุดของแกนเพลายาว 30 เซนติเมตร ซึ่งสัญญาณเอาต์พุทของอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์นั้นจะถูกแปลงจากสัญญาณไฟฟ้าแบบอนาลอกเป็นสัญญาณไฟฟ้าแบบดิจิทัลด้วยไอซีเบอร์ LTC2400 ซึ่งมีความละเอียด 24 บิต เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89S52 ด้วยมาตรฐาน SPI โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งข้อมูลดิบให้แก่โปรแกรม LabVIEW ผ่านการสื่อสารแบบอนุกรมเพื่อแสดงความสัมพันธ์ของค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุทจากอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์ และผลการวิเคราะห์มุมเอียงของแกนเพลานในแกนตั้งตามเงื่อนไขของการทดลองแบบต่างๆในรูปแบบกราฟฟิก โดยการทดลองทั้งหมดอยู่ภายใต้การควบคุมอุณหภูมิที่ 24 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	APPLICATION OF MAGNETIC FIELD METHOD IN TRIGONOMETRIC FUNCTIONS USING HALL EFFECT SENSORS
Student	Mr. Bhanupon Klongratog
Student ID.	49060804
Degree	Master of Engineering
Programme	Instrumentation Engineering
Year	2010
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Witsarut Sriratana

ABSTRACT

This study presents the method for detecting the declination of shaft angle in vertical axis by using Helmholtz coil. The sensor exhibits the distribution property of magnetic field that relative to the position of Helmholtz coil intensity measurement. The magnetic intensity can be measured by using Hall effect sensor that was attached on the top of shaft axis. The other side of shaft axis was a pivot that can be declined. The magnetic intensity can change as the decline angle of the shaft changes. The decline angle measurement system is consist of a 17.6 cm diameter Helmholtz Coil which was made of 500 rounds AWG19 standard copper wire. The coil was applied by 1A constant current and A1321 Hall effect sensor with 5mV/G sensitivity was attached at the top of 30 cm long shaft. The output signal from Hall effect sensor was converted by using LTC2400 24 bits analog to digital converter interfacing with serial peripheral interface standard from AT89S52 microcontroller. The collected data were sent to LabVIEW program via RS232 communication to display the graphic relationship of output voltage from Hall effect sensor and the decline angle of shaft in various conditions. All the experiment procedures were tested under the controlled temperature of 24°C.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำ และคำปรึกษาจาก รศ.วิศรุต ศรีรัตนะ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.อนุพงศ์ สรงประภา และ รศ.วิจิต ศิริโชติ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์และความเมตตาจากท่านอาจารย์ทั้งสามท่าน ขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่หน่วยงานบริหารวิชาการและบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลืออำนวยความสะดวกในทุก ๆ ด้าน

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ห้องปฏิบัติการเครื่องมือทางการแพทย์และสิ่งแวดล้อมทุกคนที่ให้คำแนะนำต่าง ๆ คอยเป็นกำลังใจให้เสมอมา อีกทั้งยังมอบรอยยิ้มและเสียงหัวเราะในตลอดเวลา ข้าพเจ้ารู้สึกว่าเป็นช่วงเวลาหนึ่งของชีวิตที่มีความสุขมาก

ขอขอบคุณบางสิ่งบางอย่างที่เป็นแรงผลักดันให้ข้าพเจ้าได้เกิดแรงบันดาลใจ ผลักดันให้ข้าพเจ้าได้เดินทางมาถึง ณ จุดนี้ได้

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนในทุกเรื่อง ๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน และหากมีข้อผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้ายินดีน้อมรับไว้แต่เพียงผู้เดียว

ภาณุพล โบลนกระโทก

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	1
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการ.....	3
2.1 ปრაกฏการณ์ฮอลล์.....	3
2.2 ขดลวดเฮลมโฮลทซ์.....	5
2.3 ความสัมพันธ์ของมุมจากการเอียงของเพลทกับระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของขดลวดเฮลมโฮลทซ์.....	7
2.4 สมการคำนวณหาค่าความสามารถในการช้ำค่าเดิม.....	8
2.5 โปรแกรม LabVIEW.....	9
2.6 วงจรแปลงสัญญาณไฟฟ้าแบบอนาลอกเป็นดิจิตอลแบบ Delta-Sigma ADC.....	10
2.7 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS 51.....	11
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างระบบวัดมุมเอียงของเพลทในแกนตั้ง.....	12
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	12
3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองหาคุณสมบัติต่าง ๆ ของระบบการวัดเมื่อทดลองใน เงื่อนไขแบบต่าง ๆ.....	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ 3:1:1.1 ขดลวดเฮลมโฮลทซ์ที่ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำในชื่อใด ๆ 12
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.1.2 วงจรแหล่งจ่ายไฟแบบกระแสคงที่.....	13
3.1.1.3 อุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์.....	14
3.1.1.4 บอร์ดเก็บข้อมูลในรูปแบบของสัญญาณดิจิทัล.....	14
3.1.1.5 โครงสร้างและการติดตั้งอุปกรณ์ของระบบ.....	16
3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองโดยการเอียงเพลลาแกนตั้งในระนาบ XY.....	16
3.1.2.1 ขดลวดเฮลมโฮลทซ์.....	17
3.1.2.2 อุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์.....	17
3.1.2.3 บอร์ดเก็บข้อมูลในรูปแบบของสัญญาณดิจิทัล.....	17
3.1.2.4 โครงสร้างและการติดตั้งอุปกรณ์ของระบบ.....	18
3.2 การทดสอบอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	19
3.2.1 การทดสอบเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระแสคงที่.....	19
3.2.2 การทดสอบหาความไวของอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์เบอร์ A1302.....	19
3.2.3 การทดสอบบอร์ดเก็บข้อมูลในรูปแบบของสัญญาณดิจิทัล.....	19
3.2.4 การทดสอบขดลวดเฮลมโฮลทซ์	20
3.3 การออกแบบการทดลอง	20
3.3.1 แผนภูมิของระบบในการทดลองหาคณสมบัติต่าง ๆ ของระบบการวัด.....	20
3.3.1.1 การทดลองหาคณสมบัติของระบบตรวจรู้เมื่อระบบตรวจรู้ไม่ได้อยู่บน แนวแกน X	21
3.3.1.2 การทดลองหาคณสมบัติของระบบตรวจรู้เมื่อแกนเพลลาไม่ได้อยู่บน แนวแกน Y	22
3.3.2 วิธีการทดลองเอียงเพลลาในแกนตั้งบนระนาบ XY	22
3.3.3 ระบบการทดลองเอียงเพลลาในแกนตั้งบนระนาบ XY	23
3.3.4 วิธีการใช้งานโปรแกรมและกระบวนการวิเคราะห์ของการทดลองเอียงเพลลาใน แกนตั้งบนระนาบ XY	24

บทที่ 4 ผลการทดสอบอุปกรณ์และผลการทดลอง

4.1 ผลการทดสอบอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	27
4.1.1 การทดสอบวงจรไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระแสคงที่.....	27
4.1.2 การทดสอบบอร์ดเก็บข้อมูลในรูปแบบของสัญญาณดิจิทัล.....	28

สารบัญ (ต่อ)

4.1.3 การทดสอบหาความไวของอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอสส์ลเบอร์ A1302.....	30
4.1.4 การทดสอบขดลวดเฮลมโฮลทซ์	31
4.1.5 การทดสอบเพื่อหาระยะการวางที่เหมาะสมของขดลวดเฮลมโฮลทซ์.....	33
4.2 ผลการทดลอง.....	35
4.2.1 การทดลองหาสมบัติของระบบตรวจรู้เมื่อระบบตรวจรู้ไม่ได้อยู่บนแนวแกน X	36
4.2.2 การทดลองหาสมบัติของระบบตรวจรู้เมื่อแกนเพลาไม่ได้อยู่บนแนวแกน Y	36
4.2.3 ระบบในการทดลองเอียงเพลาในแกนตั้งบนระนาบ XY.....	38
4.3 วิจารณ์ผลการทดลอง.....	45
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	46
บรรณานุกรม.....	47
ภาคผนวก.....	48
ภาคผนวก ก. วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระแสคงที่.....	49
ภาคผนวก ข. วงจรบอร์ดเก็บข้อมูลในรูปแบบของสัญญาณดิจิทัลความละเอียด 12 บิต	51
ภาคผนวก ค. วงจรบอร์ดเก็บข้อมูลในรูปแบบของสัญญาณดิจิทัลความละเอียด 24 บิต	53
ภาคผนวก ง. วงจรสำหรับการทดสอบแบบ 5 จุด	55
ภาคผนวก จ. โครงสร้างสำหรับการติดตั้งอุปกรณ์	57
ภาคผนวก ฉ. โปรแกรมที่ใช้ในบอร์ดเก็บข้อมูลในรูปแบบของสัญญาณดิจิทัลความ ละเอียด 24 บิต.....	59
ภาคผนวก ช. โปรแกรมที่ใช้ในบอร์ดเก็บข้อมูลในรูปแบบของสัญญาณดิจิทัลความ ละเอียด 12 บิต.....	63
ภาคผนวก ซ. โปรแกรม LabVIEW ที่ใช้ในงานวิจัย.....	72
ภาคผนวก ฅ. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	75
ประวัติผู้เขียน.....	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงผลการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า 0%, 25%, 50%, 75% และ 100% ของช่วงการวัด.....	29
4.2 แสดงผลการคำนวณค่าความสามารถในการซ้ค่าเดิมและค่าความถูกต้อง.....	29
4.3 แสดงผลการวัดค่าแรงดันทางด้านขาออกของอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์ของการทดลองเอียงเพลาในแกนตั้งในระนาบ XY	38
4.4 แสดงผลการวิเคราะห์หามุมเอียงของเพลาในแกนตั้ง ของการทดลองเอียงเพลาในแกนตั้งในระนาบ XY	40
4.5 การวิเคราะห์หาระยะปลายแกนเพลาที่เคลื่อนที่ออกห่างจากจุดศูนย์กลางของขดลวดเฮลมโฮลทซ์	42
4.6 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติ ของการทดลองเอียงเพลาในแกนตั้งในระนาบ XY	43



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ปรากฏการณ์ของฮอลล์.....3
2.2	ขดลวดเฮลมโฮลทซ์.....5
2.3	สนามแม่เหล็กที่ตำแหน่งใด ๆ ที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดตัวนำหนึ่งวงรอบ.....6
2.4	ภาพแสดงความสัมพันธ์ของมุมจากการเอียงของเพลลาในแกนตั้งกับระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของขดลวดเฮลมโฮลทซ์7
2.5	โครงสร้างภายในของ Delta-Sigma ADC10
2.6	ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS51..... 11
3.1	โครงสร้างของขดลวดเฮลมโฮลทซ์ของบริษัท LEYBOLD DIDACTIC GMBH 13
3.2	วงจรสำหรับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบกระแสคงที่ 1 แอมแปร์..... 14
3.3	โครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจจับฮอลล์.....14
3.4	บอร์ดเก็บข้อมูลในรูปแบบของสัญญาณดิจิทัล..... 15
3.5	วงจรจัดการสัญญาณของบอร์ดเก็บข้อมูลในรูปแบบของสัญญาณดิจิทัล..... 15
3.6	โครงสร้างและการติดตั้งอุปกรณ์ของระบบ..... 16
3.7	โครงสร้างของขดลวดเฮลมโฮลทซ์สำหรับระบบวัดมุมเอียงของเพลลาในแกนตั้ง..... 17
3.8	บอร์ดเก็บข้อมูลในรูปแบบของสัญญาณดิจิทัล..... 18
3.9	โครงสร้างการติดตั้งอุปกรณ์ของระบบ..... 19
3.10	แผนภูมิของระบบในการทดลองหาค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของระบบการวัด..... 20
3.11	ระบบในการทดลองหาค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของระบบการวัด..... 21
3.12	แสดงระบบตรวจจับที่ไม่อยู่บนแนวแกน X 21
3.13	ระบบเมื่อแกนเพลลาไม่ได้อยู่บนแนวแกน Y 22
3.14	แผนภูมิการระบบในการทดลองเอียงเพลลาในแกนตั้งบนระนาบ XY 23
3.15	ระบบในการทดลองเอียงเพลลาในแกนตั้งบนระนาบ XY 23
3.16	ระบบเมื่อเอียงแกนเพลลาออกจากจุดศูนย์กลางของขดลวดเฮลมโฮลทซ์ที่มุมต่าง ๆ ในแนวแกน X 24
3.17	หน้าโปรแกรมของระบบมุมเอียงของเพลลาในแกนตั้ง..... 25
3.18	กระบวนการวิเคราะห์มุมเอียงของเพลลาในแกนตั้ง..... 25
4.1	เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระแสคงที่..... 27

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.2 วงจรแรงดันอ้างอิงที่ใช้ในการทดสอบแบบ 5 จุด.....	28
4.3 บอร์ดวงจรแรงดันอ้างอิงที่ใช้ในการทดสอบแบบ 5 จุด.....	28
4.4 แสดงผลการอ่านค่าแรงดัน 0%, 25%, 50%, 75% และ 100% ของช่วงการวัด.....	30
4.5 การปรับเปลี่ยนแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้แก่อุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์เบอร์ A1302.....	31
4.6 การยกระดับแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งมุม 0 องศาให้มีค่าเท่ากัน.....	31
4.7 การจัดวางอุปกรณ์สำหรับการหาค่า Set point ในการทดสอบขดลวดเฮลมโฮลทซ์.....	32
4.8 การจัดวางอุปกรณ์สำหรับการวัดค่าสนามแม่เหล็กในการทดสอบขดลวดเฮลมโฮลทซ์.....	33
4.9 ตำแหน่งการจัดวางขดลวดเฮลมโฮลทซ์ซึ่งมีระยะห่างเป็น $0.8 R$	34
4.10 ตำแหน่งการจัดวางขดลวดเฮลมโฮลทซ์ซึ่งมีระยะห่างเป็น R	34
4.11 ตำแหน่งการจัดวางขดลวดเฮลมโฮลทซ์ซึ่งมีระยะห่างเป็น $1.2 R$	35
4.12 แผนภูมิเส้นแสดงสมบัติของระบบตรวจรู้เมื่อระบบตรวจรู้ไม่ได้อยู่ในแนวระนาบ.....	36
4.13 แผนภูมิเส้นแสดงการทดลองหาสมบัติของระบบตรวจรู้เมื่อแกนเพลลาไม่ได้อยู่บนแนวแกน Y	37
4.14 แผนภูมิเส้นแสดงการทดลองเอียงเพลลาในแกนตั้งในระนาบ XY	39
4.15 ภาพแสดงการวัดค่าแรงดันทางด้านขาออกของอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์ของการทดลองเอียงเพลลาในแกนตั้งในระนาบ XY แสดงผลด้วยโปรแกรม LabVIEW	39
4.16 ภาพแสดงการวัดค่ามุมเอียงของเพลลาในแกนตั้งในระนาบ XY แสดงผลด้วยโปรแกรม LabVIEW	41
4.17 ภาพการแสดงผลการวัดค่ามุมเอียงของเพลลาในแกนตั้งในระนาบ XY แบบมีการเคลื่อนไหวแสดงผลด้วยโปรแกรม LabVIEW	41
4.18 ภาพแสดงการวัดค่ามุมเอียงของเพลลาในแกนตั้งในระนาบ XY แสดงผลด้วยโปรแกรม LabVIEW	42

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การวัดมุมเอียงมีความสำคัญต่อกระบวนการในทางอุตสาหกรรมการ โดยทั่วไปแล้วจะใช้ในปฏิบัติงานต่าง ๆ เช่น งานขุดเจาะ การติดตั้งเครื่องจักร และการติดตั้งบีม เป็นต้น วิธีการวัดมุมเอียงมีหลากหลายทฤษฎี เช่น ทฤษฎีทางแสง [1] เมื่อพิจารณางานวิจัยนี้จะเห็นได้ว่าการวัดมุมเอียงด้วยวิธีทางแสงมีข้อดีในเรื่องของสัญญาณรบกวนมีค่าน้อยมาก แต่งานวิจัยดังกล่าวมีความลำบากในการติดตั้งและจัดเตรียมอุปกรณ์ หากต้องการประดิษฐ์ชุดทดลองการวัดมุมเอียงอย่างง่ายสามารถนำมาใช้เป็นต้นแบบทางการศึกษาได้ จึงสนใจงานศึกษาทางด้านการใช้งานอุปกรณ์ทางสนามแม่เหล็ก [2] ซึ่งมีความสะดวกในการติดตั้ง ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้ได้จัดทำชุดทดลองการวัดมุมเอียงของเพลานในแกนตั้ง โดยอาศัยสมบัติการกระจายความเข้มของสนามแม่เหล็กของขดลวดเฮลมโฮลทซ์ (Helmholtz Coil) [3]

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งหวังเพื่อศึกษาการออกแบบและประดิษฐ์ชุดทดลองการวัดมุมเอียงของเพลานในแกนตั้งภายใต้ทฤษฎีทางสนามแม่เหล็ก โดยอาศัยสมบัติการกระจายของความเข้มของสนามแม่เหล็กของขดลวดเฮลมโฮลทซ์ ซึ่งเป็นเทคนิคหนึ่งในการนำมาประยุกต์ใช้ในการวัดมุมเอียง และประสงค์เพื่อได้รับความรู้จากการศึกษา คือ เทคนิคการออกแบบขดลวดเฮลมโฮลทซ์ ทฤษฎีและการใช้งานอุปกรณ์ตรวจจับชนิดฮอลล์ร่วมกับขดลวดเฮลมโฮลทซ์ในเงื่อนไขต่าง ๆ การออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์และวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อประมวลสัญญาณและแสดงผลแบบแผนภูมิกราฟ

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

สมมุติของการศึกษาอยู่ภายใต้คุณสมบัติของขดลวดเฮลมโฮลทซ์ คือ ความเข้มของสนามแม่เหล็กจากขดลวดเฮลมโฮลทซ์จะมีขนาดและทิศทางคงที่บริเวณจุดศูนย์กลางของขดลวดแรก ตลอดไปจนถึงจุดศูนย์กลางของขดลวดที่สอง แต่เมื่อพิจารณาการกระจายตัวของความเข้มของสนามแม่เหล็กที่อยู่นอกจุดศูนย์กลางพบว่า มีขนาดลดลงไปตามระยะที่ห่างออกไปจากจุดศูนย์กลางของขดลวดเฮลมโฮลทซ์ คุณสมบัติเหล่านี้เมื่อจัดชุดการทดลองการวัดสนามแม่เหล็กให้

มีความสัมพันธ์กับมุมเอียงของเพลานในแกนตั้ง กล่าวคือ การวัดความเข้มสนามแม่เหล็กที่มุมใด ๆ ของการเอียงเพลานในแกนตั้ง เป็นวิธีการวัดทางอ้อม

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

เป็นการนำสมบัติการกระจายตัวของความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของขดลวดเฮลมโฮลทซ์ที่วัดในแนวระนาบ ซึ่งทำการวัดด้วยอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์ เมื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์ที่ปลายด้านบนสุดของแกนเพลลาและทำการเอียงเพลลา โดยใช้ปลายอีกด้านเป็นจุดหมุนจะสามารถหาความสัมพันธ์ของมุมที่หมุนแกนเพลลา กับแรงดันเอาต์พุตของอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์ (Hall Sensor)

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ศึกษาการออกแบบและประดิษฐ์ชุดทดลองการวัดมุมเอียงของเพลลาในแกนตั้งโดยอาศัยคุณลักษณะของความเข้มของสนามแม่เหล็กของขดลวดเฮลมโฮลทซ์

หาระยะห่างของการติดตั้งขดลวดทั้งสองของขดลวดเฮลมโฮลทซ์ที่เหมาะสมกับงานวิจัย ออกแบบโปรแกรม LabVIEW เพื่อประมวลสัญญาณและแสดงผลในรูปกราฟิก

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานที่ของขดลวดเฮลมโฮลทซ์ อุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์ ออกแบบและประดิษฐ์ขดลวดเฮลมโฮลทซ์

ออกแบบและประดิษฐ์วงจรกระแสกึ่งที่เพื่อใช้เป็นไฟเลี้ยงกับขดลวดเฮลมโฮลทซ์

ออกแบบและประดิษฐ์ระบบเอียงแกนเพลลาและติดตั้งอุปกรณ์วัดมุมเพื่อใช้อ้างอิงในการทดลอง พร้อมทั้งมีโครงสร้างของการติดตั้งขดลวดเฮลมโฮลทซ์ที่สามารถปรับระยะห่างของขดลวดทั้งสองได้

ศึกษาและเลือกใช้งานอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์ที่เหมาะสมกับการทดลอง

ศึกษาการลดทอนสัญญาณรบกวนในระบบ

ออกแบบและประดิษฐ์วงจรจัดการสัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์

ออกแบบวงจรและโปรแกรมสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อรับสัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์

ออกแบบโปรแกรม LabVIEW เพื่อประมวลสัญญาณและแสดงผลในรูปกราฟิก

ติดตั้งระบบทั้งหมด

ทดลองอ่านสัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์ในสองเงื่อนไข คือ ระบบทั้งหมดอยู่ในแนวระนาบและไม่อยู่ในแนวระนาบ

ทดสอบเพื่อเปรียบเทียบความไว (Sensitivity) ของอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์เมื่อจ่ายไฟเลี้ยง

ขนาดต่าง ๆ แก่ อุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์ ที่ 4.5 โวลต์ 5 โวลต์ และ 5.5 โวลต์ ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

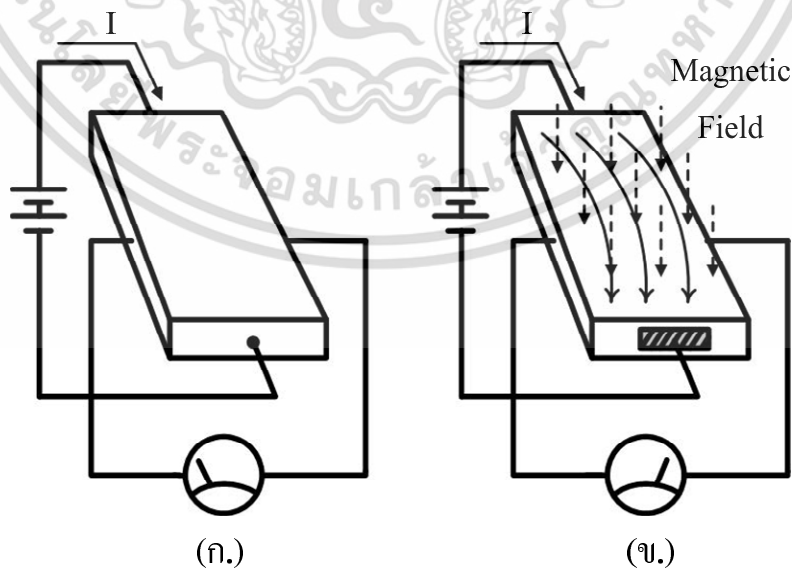
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในงานวิจัย

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย การออกแบบระบบ ชุดทดลองการวัดมุมเอียงของเพลาในแกนตั้ง โดยกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของขดลวดเฮลมโฮลทซ์ อุปกรณ์ตรวจรูชนิดฮอลล์ ซึ่งเป็นทฤษฎีพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับงานวิจัยนี้ โดยขดลวดเฮลมโฮลทซ์คือ อุปกรณ์ที่ถูกนำมาใช้ในการสร้างสนามแม่เหล็กที่มีสมบัติการกระจายความเข้มสนามแม่เหล็กตามเงื่อนไขการติดตั้งแบบต่าง ๆ และอุปกรณ์ตรวจรูชนิดฮอลล์เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดค่าสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของขดลวดเฮลมโฮลทซ์ โดยการเอียงแกนเพลาในมุมต่าง ๆ

2.1 ปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall effect)

ปรากฏการณ์ฮอลล์ [4] คือ ปรากฏการณ์ของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่ส่งแรงกระทำ ต่ออนุภาคที่มีประจุเป็นอิเล็กตรอนหรือโฮล (Hole) แรงกระทำดังกล่าวเรียกว่า แรงลอเรนซ์ (Lorentz force : \vec{F}) แรงนี้จะเกิดขึ้นทำมุมตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่กระทำต่อกัน มีความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2.1)

$$\vec{F} = q_0 \vec{E} + q_0 \vec{v} \times \vec{B} \quad (2.1)$$



รูปที่ 2.1 ปรากฏการณ์ของฮอลล์

(ก) วงจรเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแผ่นตัวนำบาง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
(ข) วงจรเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กให้กับแผ่นตัวนำบาง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรากฏการณ์ฮอลล์ในรูปที่ 2.1(ก) แสดงแผ่นตัวนำบางขนาดความกว้าง w และหนา d มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านมีทิศจากพุ่งออกจากบนลงล่าง พาหะประจุคืออิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วลอยเลื่อน (Drift velocity : v) เคลื่อนที่ในทิศตรงกันข้ามกับทิศของกระแสไฟฟ้า เมื่อมีสนามแม่เหล็กมีทิศพุ่งจากบนลงล่าง(ข) ตั้งฉากกับแผ่นตัวนำบาง จะเกิดเส้นแรงแม่เหล็กกระทำกับอิเล็กตรอน ส่งผลให้อิเล็กตรอนถูกแรงกระทำไปยังด้านขวามือของแผ่นตัวนำบาง เป็นผลให้ประจุอิเล็กตรอนรวมตัวกันที่ด้านขวาและโฮลรวมตัวกันอยู่ที่ด้านซ้ายมือของแผ่นตัวนำบาง เกิดสนามไฟฟ้าเรียกว่าสนามไฟฟ้าฮอลล์ (Hall field : E_H) ซึ่งทำให้เกิดเส้นแรงไฟฟ้ากระทำในทิศทางตรงกันข้ามกับเส้นแรงแม่เหล็ก เมื่อเส้นแรงแม่เหล็กและเส้นแรงไฟฟ้าฮอลล์มีขนาดเท่ากัน จากสมการที่ (2.1) จะได้ว่า

$$q_0 E_H + q_0 v \times B = 0 \quad (2.2)$$

ดังนั้น

$$E_H = -v \times B \quad (2.3)$$

และความต่างศักย์ฮอลล์ (Hall differential, Hall voltage : V_H) มีความสัมพันธ์เป็น

$$V_H = -vBW \quad (2.4)$$

ความต่างศักย์ฮอลล์จะมีค่ามากเมื่อแผ่นตัวนำบางทำมาจากสารกึ่งตัวนำ เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นตัวนำบางที่ทำมาจากตัวนำไฟฟ้า เนื่องจากพาหะประจุจะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วลอยเลื่อนที่มีความสัมพันธ์ คือ

$$v = \frac{I}{q_0 NA} \quad (2.5)$$

$$V_H = \frac{IBW}{q_0 NA} \quad (2.6)$$

เมื่อ q_0 คือ ค่าพาหะประจุ

v คือ ความเร็วครีฟของพาหะประจุเนื่องมาจากสนามไฟฟ้า

B คือ ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็ก

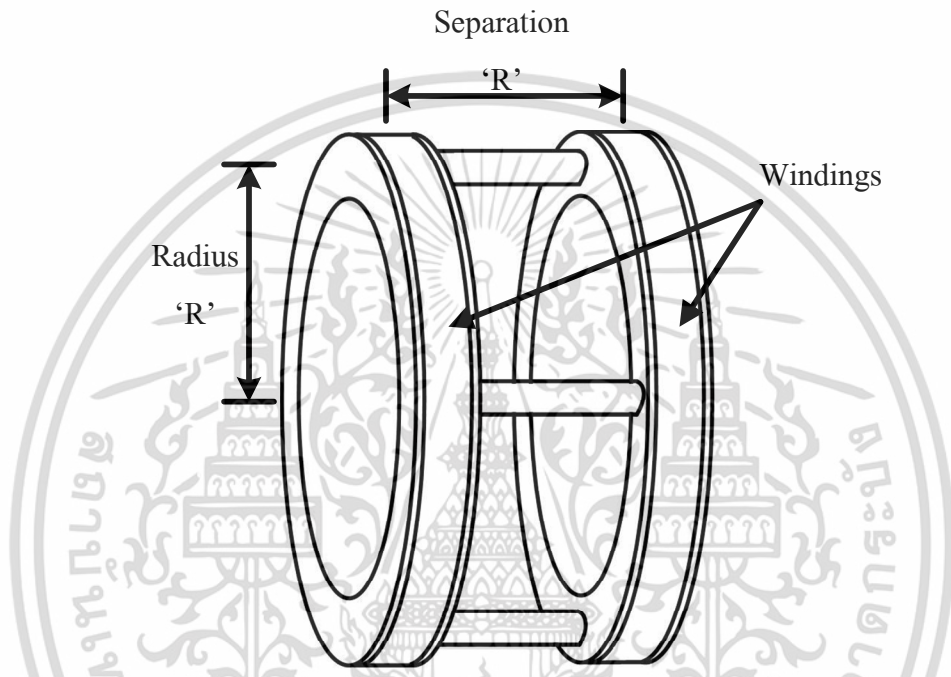
V_H คือ ค่าแรงดันฮอลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

แม้ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ขดลวดเฮลมโฮลทซ์

เป็นอุปกรณ์สร้างสนามแม่เหล็กที่มีค่าสม่ำเสมอและมีทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กอยู่ที่บริเวณจุดศูนย์กลางของตัวขดลวดเฮลมโฮลทซ์ โครงสร้างของขดลวดเฮลมโฮลทซ์ประกอบไปด้วยขดลวดสองขดต่ออนุกรมกันและวางตัวขนานกันมีระยะห่างเท่ากับรัศมีของตัวขดลวดดังแสดงในรูปที่ 2.2 โดยมีขนาดของสนามแม่เหล็กแปรผันตามค่าของกระแสที่ซึ่งจ่ายให้แก่ขดลวดเฮลมโฮลทซ์และจำนวนรอบของขดลวดในการพัน



รูปที่ 2.2 ขดลวดเฮลมโฮลทซ์

ขดลวดเฮลมโฮลทซ์ถูกใช้มากในการวิจัยทางชีวภาพ ซึ่งใช้คุณสมบัติคือขดลวดเฮลมโฮลทซ์มีขนาดและทิศทางของสนามแม่เหล็กที่คงที่บริเวณจุดศูนย์กลางนำมาใช้งาน สามารถหาค่าสนามแม่เหล็กที่จุดศูนย์กลางของขดลวดเฮลมโฮลทซ์ได้จากสมการ

$$B = \left(\frac{5}{4}\right)^{\frac{3}{2}} \times \frac{\mu_0 NI}{R} \quad (2.7)$$

โดยที่ B คือ ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กในหน่วยของเทสลา (Tesla)

μ_0 คือ ค่าความซึมซาบสนามแม่เหล็กในมีค่าเป็น 1.26×10^{-6} T.m/A

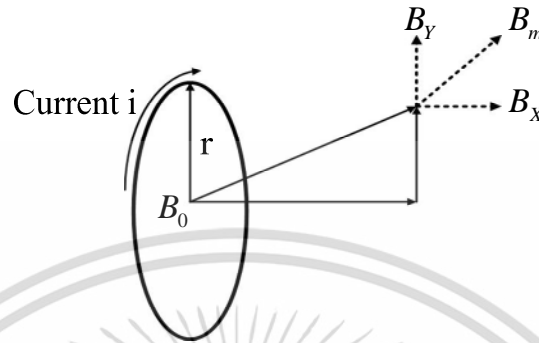
N คือ ค่าของจำนวนขดลวดที่ใช้ขดลวดพันเฮลมโฮลทซ์ในหน่วยของรอบ (Turn)

I คือ ค่าของกระแสที่จ่ายให้ขดลวดเฮลมโฮลทซ์ในหน่วยของแอมแปร์ (Amperes)

R คือ ค่าของระยะห่างระหว่างขดลวดเฮลมโฮลทซ์แต่ละขดในหน่วยของเมตร (Meter) ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอน และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ในงานวิจัยฉบับนี้ สนใจความเข้มของสนามแม่เหล็กที่จุดต่าง ๆ บนเส้นผ่านศูนย์กลาง ในแนวระนาบ การหาความสัมพันธ์นี้ในการพิจารณาจากกรณีของสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่งใด ๆ ที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดตัวนำหนึ่งวงรอบ [5] ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 สนามแม่เหล็กที่ตำแหน่งใด ๆ ที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดตัวนำหนึ่งวงรอบ

สนามแม่เหล็กมีความสัมพันธ์ ดังนี้

$$B_m = \sqrt{B_x^2 + B_y^2} \quad (2.8)$$

โดยที่

$$B_x = B_0 \frac{1}{\pi\sqrt{Q}} \left[E(\theta) \frac{1-\alpha^2-\beta^2}{Q-4a} + K(\theta) \right] \quad (2.9)$$

$$B_y = B_0 \frac{\gamma}{\pi\sqrt{Q}} \left[E(\theta) \frac{1+\alpha^2+\beta^2}{Q-4a} + K(\theta) \right] \quad (2.10)$$

เมื่อ

$$\alpha = Abs \left| \frac{Y}{r} \right|, \beta = \frac{X}{r}, \gamma = \frac{X}{Y}, Q = Abs \left| (1+\alpha)^2 + \beta^2 \right|, \theta = \text{Sin}^{-1} \sqrt{\frac{4\alpha}{Q}}$$

โดยที่ $K(\theta)$ และ $E(\theta)$ ฟังก์ชันการอินทิกรัลป่วงรีแบบสมบูรณ์ [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้ความสัมพันธ์ของความเข้มของสนามแม่เหล็ก ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ตามแนวระนาบ เพื่อความถูกต้องในการคำนวณ เนื่องจากขดลวดมีความหนา ทำให้เกิดความผิดพลาดในการคำนวณ จึงใช้โปรแกรม COMSOL [7] คำนวณค่าที่ใช้งานจริง

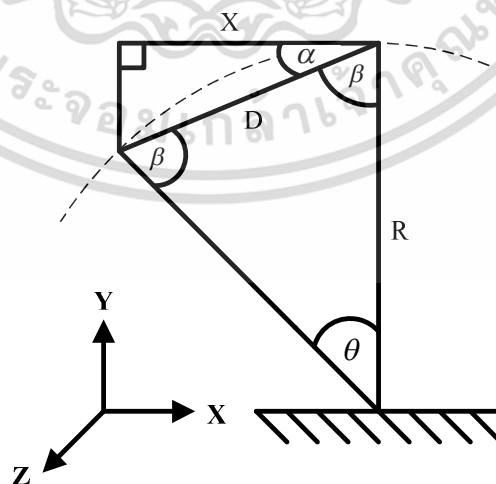
2.3 ความสัมพันธ์ของมุมจากการเอียงของเพลากับระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของขดลวดเฮลมโฮลทซ์

งานวิจัยฉบับนี้ใช้คุณสมบัติการกระจายความเข้มของสนามแม่เหล็กของขดลวดเฮลมโฮลทซ์ เมื่อพิจารณาความเข้มสนามแม่เหล็กที่ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ที่ห่างออกจากจุดศูนย์กลางในระนาบ XY ดังแสดงในรูปที่ 2.4 มีความสัมพันธ์ของมุม θ เกิดจากการทำการเอียงแกนเพลามีความยาวคือ R กับระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของขดลวดเฮลมโฮลทซ์ D เมื่อมุมที่ฐานของรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่วคือ β และ X คือระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของขดลวดเฮลมโฮลทซ์ตามแนวแกน X

$$\frac{\sin \theta}{D} = \frac{\sin \beta}{R} \quad (2.11)$$

$$D = \frac{\sin \theta}{\sin \beta} \times R \quad (2.12)$$

$$X = D \times \cos \alpha \quad (2.13)$$



รูปที่ 2.4 ภาพแสดงความสัมพันธ์ของมุมจากการเอียงของเพลานในแกนตั้งกับระยะห่างจากจุด

ศูนย์กลางของขดลวดเฮลมโฮลทซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 สมการคำนวณหาค่าความสามารถในการซ้ำค่าเดิม

ค่าความสามารถในการซ้ำค่าเดิม (Repeatability) [8] เกิดจากความไม่แน่นอนของการวัดค่าในแต่ละครั้ง หาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$U_c = \frac{S(x_i)}{\sqrt{n}} \quad (2.14)$$

โดยที่

U_c คือ ค่าความไม่แน่นอนของข้อมูล

n คือ จำนวนครั้งในการทำซ้ำ

โดยที่ค่า $S(x_i)$ คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) หาได้จากสมการที่ 2.15

$$S(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.15)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.16)$$

โดยที่

x_i คือ ข้อมูลในแต่ละครั้ง

\bar{x} คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูล

เนื่องจากความไม่แน่นอนของการวัดที่เหมาะสมใช้ได้ทางปฏิบัติควรมีความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ ของค่าที่ประเมินได้ดังกล่าว จึงต้องทำการวิเคราะห์เพิ่มเติมโดยการหาตัวคูณที่เหมาะสมหรือระดับความเชื่อมั่นมาคูณกับค่าคงที่ U เพื่อให้ได้เป็น Expanded Uncertainty โดยประมาณจะได้ $k = 2$ ดังนั้นค่าความไม่แน่นอนในการวัดหาได้จาก

$$U = \pm kU_c \quad (2.17)$$

การรายงานผลการสอบเทียบ จะรายงานอยู่ในรูปของค่าเฉลี่ยและค่าความไม่แน่นอนดังต่อไปนี้

$$y = \bar{x} \pm U \quad (2.18)$$

2.5 โปรแกรม LabVIEW

โปรแกรม LabVIEW (Laboratory virtual instrument engineering workbench:LabVIEW) ซึ่งหมายความว่า เป็นโปรแกรมที่สร้างเครื่องมือวัดเสมือนจริงในห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรม[9] ดังนั้นจุดประสงค์หลักของการทำงานของโปรแกรม คือ การจัดการในด้านการวัดและเครื่องมือวัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ โปรแกรมประกอบไปด้วยฟังก์ชันที่ใช้ช่วยในการวัดมากมายซึ่งโปรแกรมนี้จะมีประโยชน์อย่างสูงเมื่อใช้ร่วมกับเครื่องมือวัดทางวิศวกรรมต่าง ๆ

โปรแกรม LabVIEW แตกต่างจากโปรแกรมอื่นอย่างเห็นได้ชัดที่สุดคือเป็นโปรแกรมประเภท (Graphic user interface : GUI) โดยสมบูรณ์ โดยมีแนวคิดแบบ Dataflow ต่างกันกับแนวคิดของโปรแกรมประเภท Text base programming ซึ่งทำงานจากบรรทัดบนไปสู่บรรทัดล่าง สามารถเขียนเป็นสมการต่าง ๆ ที่ซับซ้อนได้เหมือน Text base programming เช่น ภาษาซี โดยใช้ฟังก์ชัน Formula node การทำงานจะเน้นติดต่อกับเครื่องมือหรือ อุปกรณ์ Data acquisition (DAQ) ต่อเชื่อมเข้ากับคอมพิวเตอร์เพื่อเก็บข้อมูลและส่งต่อไปเก็บไว้ที่หน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ หรือเก็บอยู่ในรูปของไฟล์ข้อมูลเพื่อนำมาประมวลผลอย่างละเอียดอีกครั้ง นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์บางส่วนสามารถส่งผ่านข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์โดยผ่านทาง Parallel port, Serial port หรือ USB port เป็นต้น การเก็บข้อมูลจากอุปกรณ์วัดด้วยคอมพิวเตอร์สามารถเรียกอีกอย่างว่า PC-Based DAQ System [10].

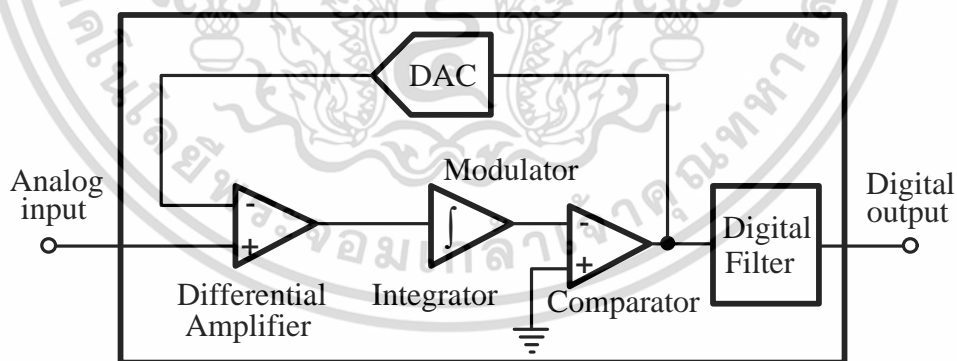
ในงานวิจัยฉบับนี้ได้อาศัยความสามารถของโปรแกรม LabVIEW ในการวิเคราะห์และแสดงผล โดยอาศัยฟังก์ชันต่าง ๆ เหล่านี้คือ VISA ใช้เพื่อรับข้อมูลผ่านการสื่อสารแบบอนุกรมส่งต่อให้ Formula node ใช้เพื่อป้อนสมการคำนวณสำหรับการวิเคราะห์ จากนั้นทำการแสดงผลแบ่งออกเป็น 3 ประเภทการแสดงผลคือ แสดงผลแบบแผนภูมิกราฟโดยใช้ฟังก์ชัน Waveform graph and chart แสดงผลแบบภาพเคลื่อนไหวโดยฟังก์ชัน Ring และแสดงผลแบบแผนภูมิแท่งในแนวนอนโดยฟังก์ชัน Slide และสามารถบันทึกข้อมูลในรูปแบบของ Microsoft excel ด้วยฟังก์ชัน File I/O Palette.

2.6 วงจรแปลงสัญญาณไฟฟ้าแบบอนาลอกเป็นดิจิทัลแบบ Delta-Sigma ADC

การแปลงสัญญาณที่มีความละเอียดสูง เป็นการแปลงที่ถือว่าเป็นอุดมคติและทำงานได้หลายย่านความถี่ ตั้งแต่สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง ไปจนถึงสัญญาณไฟฟ้าที่มีความถี่ในระดับเมกะเฮิร์ตซ์ (MHz) การทำงานของ Delta-Sigma ADC สัญญาณอินพุตจะถูก Oversample โดยตัว Modulator หลังจากนั้นจะนำสัญญาณมากรองอีกทีเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องมากขึ้นโดยการกรองสัญญาณแบบดิจิทัล (Digital filter) จึงทำให้มีความละเอียดสูง ที่อัตราการรับข้อมูล (Sampling rate) ต่ำซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.5 [11].

เนื่องจากการ Oversample สัญญาณอินพุตจึงทำให้ได้สัญญาณเรียบขึ้น (Anti-aliasing) และในวงจรการกรองสัญญาณแบบดิจิทัล จะมีต้นทุนที่ต่ำกว่า Analog filter ซึ่งการแปลงสัญญาณที่มีความละเอียดสูง ๆ จากการแปลงแบบ Delta-sigma จะใช้ในงานด้านเสียง (Audio) งานควบคุมในอุตสาหกรรมและงานเครื่องมือวัด

โดยปกติแล้ว Delta-sigma จะรับสัญญาณความแตกต่างระหว่าง 2 อินพุต แทนที่จะเป็นการวัดสัญญาณฝั่งขาเข้าเทียบกับกราวด์ และมีบัฟเฟอร์และตัวขยาย (Programmable gain amplifiers : PGA) อยู่ในตัว บัฟเฟอร์จะมีอิมพีแดนซ์สูงเพื่อให้ต่อตรงกับขาสัญญาณได้โดยไม่มีทำให้วงจรมี ค่าอิมพีแดนซ์มีค่าผิดไปจากเดิม ดังนั้น Delta-sigma จึงสามารถใช้วัดสัญญาณที่มีขนาดเล็กได้ดี เช่น สัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิล (Thermo couple) เพราะมี PGA อยู่ในตัวสามารถปรับค่าอัตราขยาย ได้ตามความเหมาะสม



รูปที่ 2.5 โครงสร้างภายในของ Delta-sigma ADC

2.7 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS 51

อุปกรณ์ในการเชื่อมต่อเพื่อรับส่งสัญญาณทางไฟฟ้าในงานวิจัยฉบับนี้ได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89S52 ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท ATMEL แสดงดังรูปที่ 2.6 ด้วยคุณสมบัติที่มีฟังก์ชัน สามารถเขียนข้อมูลลงในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์โดยไม่ต้องถอดออกมาจากวงจร (ISP: In system programming) ทำให้มีความสะดวกเป็นอย่างมากในการพัฒนา มีหน่วยความจำเพียงพอสำหรับงานวิจัยฉบับนี้ อีกทั้งบรรจุฟังก์ชันการสื่อสารแบบอนุกรมทำให้สามารถเชื่อมต่อเพื่อรับส่งข้อมูลร่วมกับโปรแกรม LabVIEW ได้อย่างง่ายดาย ซึ่งในงานวิจัยฉบับนี้ใช้การสื่อสารแบบอนุกรมที่มีอัตราการรับส่งข้อมูล (Baud rate) 9600 มีตัวควบคุมเวลา (Timer) เพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกที่เน้นเรื่องสัญญาณนาฬิกา (Clock) เป็นตัวบ่งชี้ ความหมายของสัญญาณ เช่น การเชื่อมต่อแบบ SPI, 1-Wire มีอินพุตและเอาต์พุตพอร์ต (I/O) เพียงพอสำหรับการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกอื่นได้แก่วงจรแปลงสัญญาณไฟฟ้าอนาล็อกเป็นสัญญาณไฟฟ้าดิจิทัล



รูปที่ 2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS51

บทที่ 3

การออกแบบและสร้างระบบวัดมุมเอียงของเพลลาในแกนตั้ง

ในบทนี้กล่าวถึงการออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยและการออกแบบการทดลอง โดยการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน การทดลองขั้นตอนแรกได้ทำการทดลองหาคุณสมบัติต่าง ๆ ของระบบการวัด โดยการทดลองในเงื่อนไขแบบต่าง ๆ เมื่อได้คุณสมบัติต่าง ๆ ของระบบการวัด ขั้นตอนที่สองจะทำการพิจารณาว่าคุณสมบัติใดที่เหมาะสมกับงานวิจัยนี้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาการทดลองเอียงเพลลาในแกนตั้งนี้ในระนาบ XY

อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบด้วย ขดลวดเฮลมโฮลทซ์ วงจรกระแสคงที่ อุปกรณ์ตรวจจับชนิดฮอลล์ วงจรเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อเก็บข้อมูลในรูปแบบของสัญญาณดิจิทัล (Data acquisition system) และโครงสร้างของระบบที่ใช้ในการวางตำแหน่งของขดลวดเฮลมโฮลทซ์มีความสัมพันธ์กับตำแหน่งของอุปกรณ์ตรวจจับชนิดฮอลล์ซึ่งวางที่ปลายด้านบนของเพลลาในแกนตั้ง และสุดท้ายอธิบายถึงการทดสอบอุปกรณ์และการออกแบบการทดลองสำหรับระบบวัดมุมเอียงของเพลลาในแกนตั้ง

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

หัวข้อนี้จะแสดงในส่วนของอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย อันกล่าวถึงขดลวดเฮลมโฮลทซ์ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็กที่มีรูปแบบแล้วใช้อุปกรณ์ตรวจจับชนิดฮอลล์เป็นตัวตรวจวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของขดลวดเฮลมโฮลทซ์ การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่ต้องการวัดนั้นทำได้โดยการหมุนแกนเพลลาที่มุมต่าง ๆ ซึ่งถูกติดตั้งไว้ที่ชุด โครงสร้างของระบบและทำการวัดมุมการเอียงของเพลลาในแนวตั้งด้วยอุปกรณ์วัดมุมที่ติดตั้งไว้ที่โครงสร้างของระบบ

โดยในหัวข้อแรกจะกล่าวถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองหาคุณสมบัติต่าง ๆ ของระบบการวัดเมื่อโดยการทดลองในเงื่อนไขแบบต่าง ๆ และหัวข้อที่สองกล่าวถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองที่มีเอียงเพลลาในแกนตั้งนี้ในระนาบ XY

3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองหาคุณสมบัติต่าง ๆ ของระบบการวัดเมื่อโดยการทดลองในเงื่อนไขแบบต่าง ๆ

3.1.1.1 ขดลวดเฮลมโฮลทซ์

งานวิจัยฉบับนี้ได้นำขดลวดเฮลมโฮลทซ์ของบริษัท LEYBOLD DIDACTIC GMBH [12] ซึ่งมีสมบัติดังนี้ เส้นลวดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8128 มิลลิเมตร ซึ่งตรงกับมาตรฐาน

AWG20 มีจำนวนรอบ 320 รอบต่อหนึ่งขดลวด สามารถรองรับกระแสไฟฟ้าแบบต่อเนื่องได้ 1.5 แอมแปร์ และมีรัศมียาว 6.8 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของขดลวดเฮลมโฮลทซ์ของบริษัท LEYBOLD DIDACTIC GMBH

3.1.1.2 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระแสคงที่ (Current source power supply)

สำหรับขดลวดเฮลมโฮลทซ์นั้นจำเป็นต้องใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบกระแสคงที่เพื่อใช้เป็นไฟเลี้ยง ดังนั้นในงานวิจัยฉบับนี้ได้ออกแบบวงจรจ่ายกระแสไฟฟ้าให้มีกระแสไฟฟ้าทางด้านขาออกที่ 1 แอมแปร์ โดยเลือกใช้วงจรรวม LM317 [13] ซึ่งสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ 3 แอมแปร์ ซึ่งมีโหมดการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสคงที่ โดยอาศัยคุณสมบัติเฉพาะของวงจรรวม LM317 ที่มีแรงดันอ้างอิงคงที่ค่าหนึ่งตกคร่อมที่ขา Adj และ ขา Vout โดยมีวงจรแสดงดังรูปที่ 3.2 โดยมีการคำนวณดังสมการที่ 3.1

$$I_{out} = \frac{V_{ref}}{R_{ref}} = \frac{1.25V}{R_{ref}} \quad (3.1)$$

โดยที่ R_{ref} คือ ค่าความต้านทานที่ตกคร่อมขา Adj และ ขา Vout ของวงจรรวม LM317

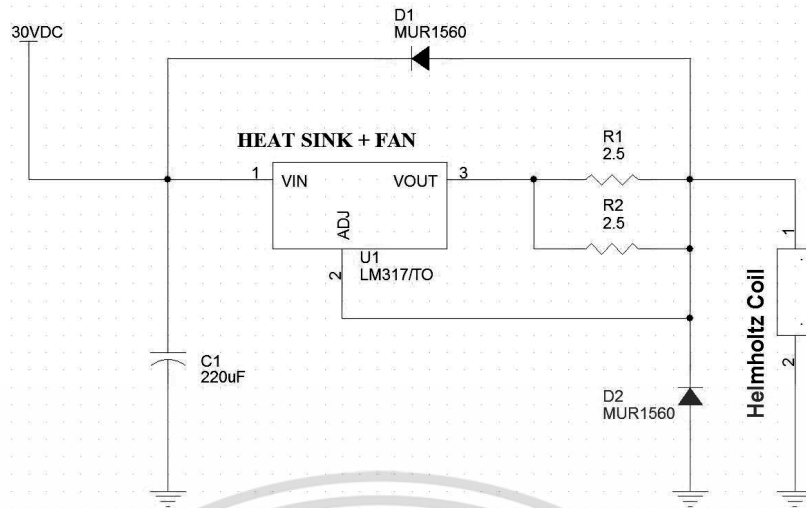
I_{out} คือ กระแสไฟฟ้าคงที่ด้านขาออกของวงจรรวม LM317

V_{ref} คือ แรงดันอ้างอิงของวงจรรวม LM317 มีค่าเท่ากับ 1.25 โวลต์

เนื่องจากเงื่อนไขของกำลังไฟฟ้า สำหรับตัวต้านทานควรใช้ตัวต้านทานที่มีขนาด 5 วัตต์ (Watts) และจำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์ระบายความร้อน (Heat sink) และพัดลมเพื่อระบายความร้อน

เหตุเพราะอุณหภูมิเป็นตัวแปรที่สำคัญอีกตัวหนึ่ง เพื่อรักษาเสถียรภาพที่ดีสำหรับวงจร
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
กระแสไฟฟ้าแบบคงที่นี้ มีวงจรสมบูรณดังภาคผนวก ก

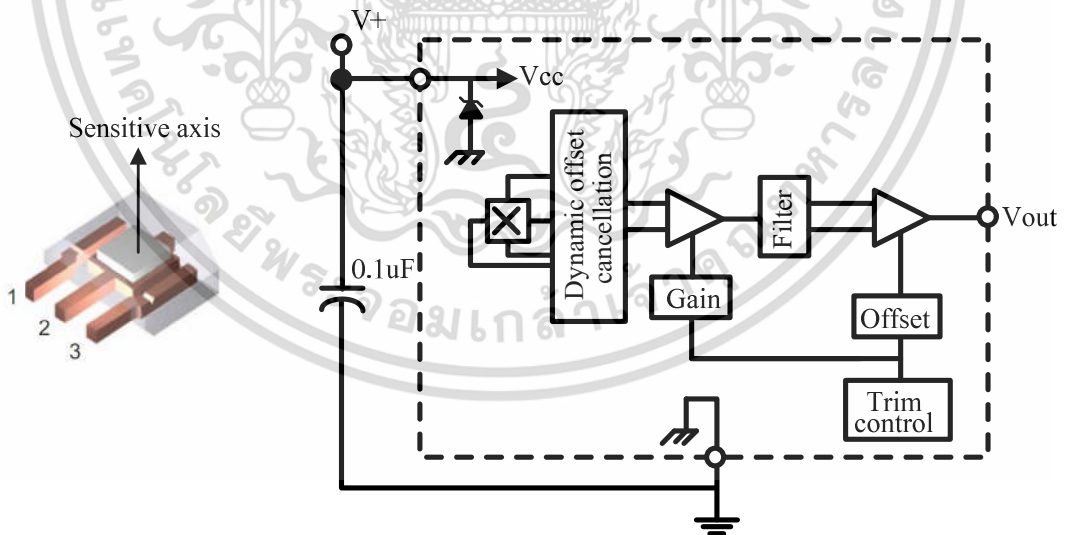
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 วงจรสำหรับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบกระแสคงที่ 1 แอมแปร์

3.1.1.3 อุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์

อุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์เบอร์ A1302 ซึ่งเป็นอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดเชิงเส้น คือ มีแรงดันด้านขาออกสัมพันธ์แบบเชิงเส้นกับความเข้มสนามแม่เหล็กและมีวงจรจัดการสัญญาณอยู่ภายใน ตัวเองมีโครงสร้างของอุปกรณ์ แสดงดังรูปที่ 3.3 โดยปกติใช้ไฟเลี้ยงที่ 5 โวลต์ และมีความไวอยู่ที่ 1.3 mV/G [14]

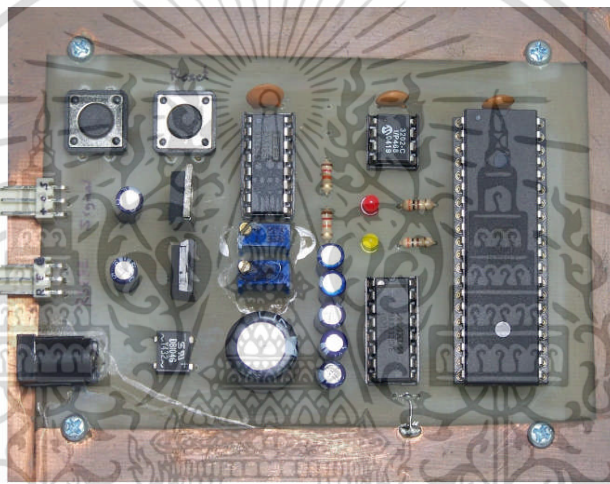


รูปที่ 3.3 โครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์

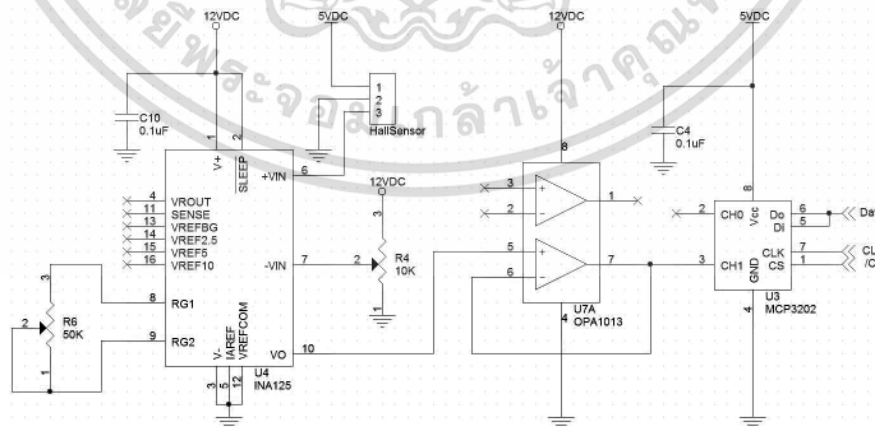
3.1.1.4 บอร์ดเก็บข้อมูลในรูปแบบของสัญญาณดิจิทัล

บอร์ดเก็บข้อมูลในรูปแบบของสัญญาณดิจิทัลดังรูปที่ 3.4 ถูกออกแบบมาเพื่อการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เชื่อมต่อสัญญาณระหว่างอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์กับโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ คือ โปรแกรมไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hyper terminal ซึ่งสามารถปรับแก้การใช้งานได้ 2 ประเภท คือ แบบรับสัญญาณตลอดเวลาหรือรับสัญญาณด้วยการกดปุ่มรับสัญญาณ มีกระบวนการทำงานดังต่อไปนี้ เริ่มจากสัญญาณไฟฟ้าแบบอนาลอกเป็นสัญญาณทางด้านขาออกของอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์ นำมาจัดการสัญญาณด้วยวงจรขยายแบบอินสตรูเมนต์ (Instrument amplifier) ซึ่งมีอัตราขยาย 40 เท่า โดยใช้วงจรรวม INA125 จากนั้นนำสัญญาณที่ได้มาแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าแบบดิจิทัลด้วยวงจรรวม MCP3202 ซึ่งมีความละเอียด 12 บิต เพื่อเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) เบอร์ AT89S52 หลังจากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณไปยังคอมพิวเตอร์ด้วยการสื่อสารแบบอนุกรม (Serial communication) จากนั้นทำการจัดเก็บข้อมูลด้วยโปรแกรม Hyper terminal มีวงจรจัดการสัญญาณดังรูปที่ 3.5 และมีวงจรสมบูรณดังภาคผนวก ข



รูปที่ 3.4 บอร์ดเก็บข้อมูลในรูปแบบของสัญญาณดิจิทัล



รูปที่ 3.5 วงจรจัดการสัญญาณของบอร์ดเก็บข้อมูลในรูปแบบของสัญญาณดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.5 โครงสร้างและการติดตั้งอุปกรณ์ของระบบ

ชุดโครงสร้างทำมาจากท่อ PVC ขนาด ½ นิ้ว ประกอบเป็นโครงสร้างขนาด 30×30×20 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.6(ก) ถูกนำมาใช้เพื่อติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้แก่ เพลานแกนตั้งซึ่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์ไวท์ที่ปลายด้านบนสุดและปลายด้านล่างถูกติดตั้งกับอุปกรณ์วัดมุมในการหมุนรอบตัวเองของเพลานแกน Y ดังรูปที่ 3.6(ข) ซึ่งอุปกรณ์วัดมุมในการหมุนรอบตัวเองของเพลานแกน Y นั้นได้ใช้ผลิตภัณฑ์ของ CHUO SEIKI มีความละเอียด 1 องศา ดังรูปที่ 3.6(ค) จากนั้นนำมาติดตั้งลงบนอุปกรณ์เอียงแกนเพลตามแนวแกน X ดังรูปที่ 3.6(ง) ซึ่งใช้ไม้โปรแทรกเตอร์ (Protractor) เป็นอุปกรณ์ในการวัดมุมเอียงนี้



รูปที่ 3.6 โครงสร้างและการติดตั้งอุปกรณ์ของระบบ

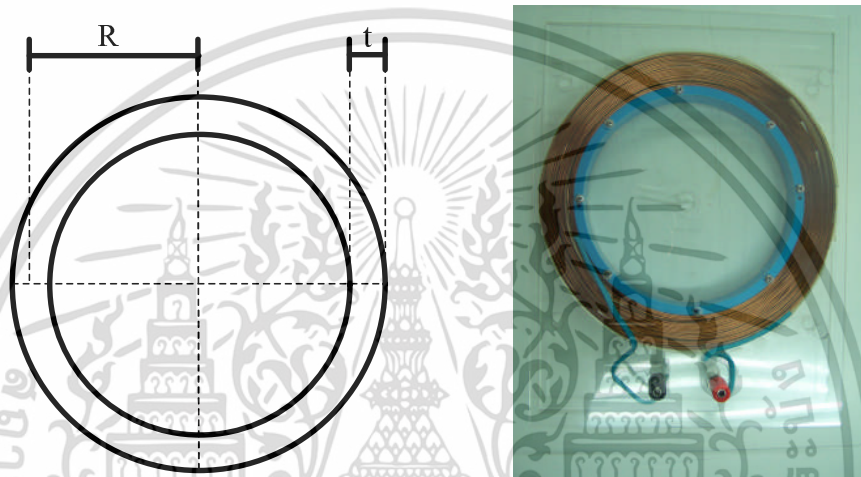
3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองโดยการเอียงเพลแกนตั้งในระนาบ XY

อุปกรณ์ในหัวข้อนี้ยังคงไว้ซึ่งวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบกระแสคงที่ ส่วนอุปกรณ์อื่น ๆ นั้นได้ทำการเปลี่ยนแปลงและประดิษฐ์ขึ้นมาใหม่ ได้แก่ ขดลวดเหนี่ยวนำ โซลิตซ์ อุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์ บอร์ดเก็บข้อมูลในรูปแบบของสัญญาณดิจิทัล และชุดโครงสร้างและการติดตั้งอุปกรณ์ของระบบ เพื่อความเหมาะสมกับการทดลองในหัวข้อนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนที่โรงเรียนที่สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต 15 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.1 ขวดเฮลมโฮลทซ์

การออกแบบขวดหลอดเฮลมโฮลทซ์ในงานวิจัยฉบับนี้มีหลักที่สำคัญ คือ อัตราส่วนระหว่างความหนาของเส้นลวดที่พันทั้งหมดกับรัศมีของขวดหลอดเฮลมโฮลทซ์มีอัตราส่วนเป็น 1 ต่อ 5 และพื้นที่หน้าตัดของขวดหลอดเฮลมโฮลทซ์ควรเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสให้มากที่สุด [15] จึงออกแบบให้มีความหนา (t) 2 เซนติเมตรมีรัศมี (R) 9.75 เซนติเมตร พันเส้นลวดจำนวน 500 รอบ ใช้ลวดทองแดงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.9803 เซนติเมตร ซึ่งตรงกับมาตรฐาน AWG 19 [16] ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 โครงสร้างของขวดหลอดเฮลมโฮลทซ์สำหรับระบบวัดมุมเอียงของเพลาในแกนตั้ง

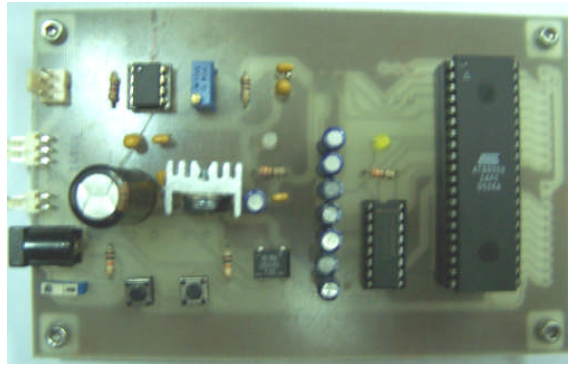
3.1.2.2 อุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์

ในหัวข้อนี้ใช้อุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์เบอร์ A1321EUA [17] ซึ่งเป็นอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดเชิงเส้น คือ มีแรงดันไฟฟ้า ด้านขาออกสัมพันธ์แบบเชิงเส้นกับความเข้มสนามแม่เหล็ก มีวงจรจัดการสัญญาณภายในตัวเองมีโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 3.3 ปกติใช้ไฟเลี้ยงที่ 5 โวลต์ และมีความไวอยู่ที่ 5 mV/G

3.1.2.3 บอร์ดเก็บข้อมูลในรูปแบบของสัญญาณดิจิทัล

บอร์ดเก็บข้อมูลในรูปแบบของสัญญาณดิจิทัลดังรูปที่ 3.8 ซึ่งมีวงจรสมบรูณ์ดังภาคผนวก ค ใช้เพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์เพื่อเก็บค่าแรงดันไฟฟ้าด้านขาออกมาประมวลสัญญาณด้วยโปรแกรม LabVIEW เนื่องจากสัญญาณด้านขาออกจากอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์นั้นเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าแบบอนาลอก ดังนั้นใช้อุปกรณ์แปลงสัญญาณ คือ แปลงสัญญาณจากแรงดันไฟฟ้าแบบอนาลอกไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าแบบดิจิทัล โดยใช้วงจรรวม LTC2400 ที่มีความละเอียดอยู่ที่ 24 บิต เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89S52 แล้วส่งข้อมูลแบบอนุกรมไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อให้โปรแกรม LabVIEW ประมวลสัญญาณต่อไป

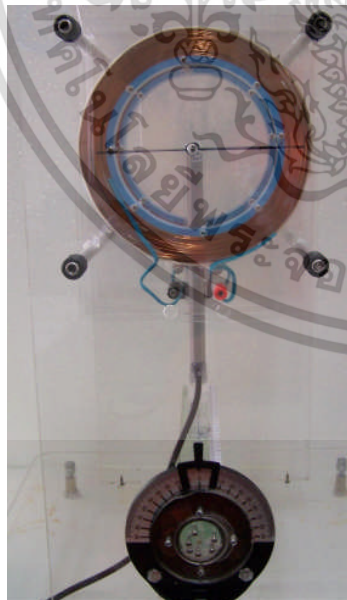
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่มีลิขสิทธิ์เท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต การค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



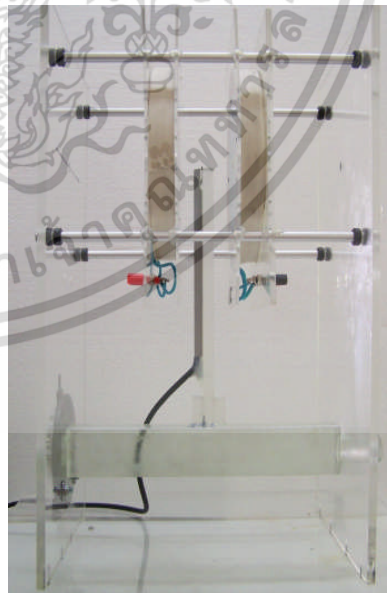
รูปที่ 3.8 บอร์ดเก็บข้อมูลในรูปแบบของสัญญาณดิจิทัล

3.1.2.4 โครงสร้างและการติดตั้งอุปกรณ์ของระบบ

โครงสร้างทั้งหมดของระบบทำมาจากอะคริลิกใสมีความหนา 5 เซนติเมตร สำหรับติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ คืออุปกรณ์วัดมุมเอียงของแกนเพลามีความยาว 30 เซนติเมตร เพื่อใช้เป็นเครื่องมือวัดอ้างอิงสำหรับงานวิจัยฉบับนี้ดังรูปที่ 3.9(ค) อุปกรณ์แกนเพลาสําหรับติดตั้งอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์อีกทั้งยังมีการติดตั้งสำหรับหมุนเพื่อทำมุมเอียงทางด้าน $-X$ และ $+X$ อุปกรณ์ขดลวดสเตมโวลทซ์วางขนานกันซึ่งที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างขดลวดสเตมโวลทซ์ทั้งคู่นั้นได้ทำการจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์ซึ่งติดตั้งที่ปลายของแกนเพลาดังรูปที่ 3.9(ก) และ 3.9(ข)

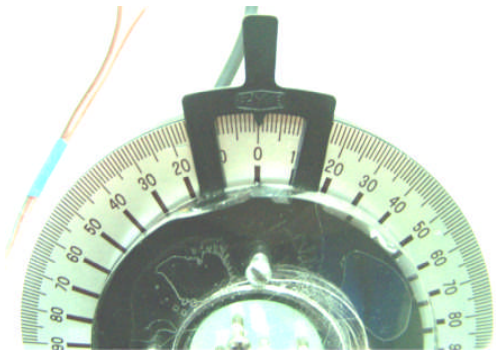


(ก)

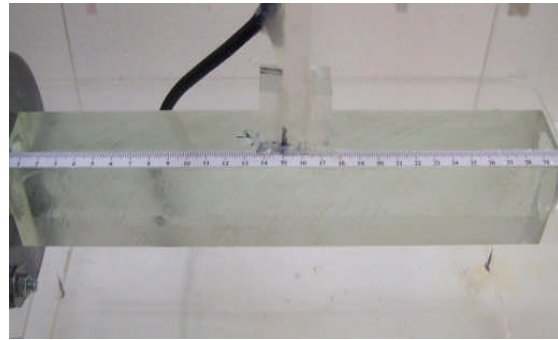


(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)



(ง)

รูปที่ 3.9 โครงสร้างการติดตั้งอุปกรณ์ของระบบ

3.2 การทดสอบอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้ได้สร้างอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อใช้ในการหามุมเอียงของเพลาในแกนตั้ง อุปกรณ์ที่ใช้ทั้งหมดประกอบด้วย แหล่งจ่ายไฟแบบกระแสคงที่ 1 แอมแปร์ อุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์ เบอร์ A1302 บอร์ดเก็บข้อมูลในรูปแบบของสัญญาณดิจิทัล ขดลวดเฮลมโฮลทซ์ วงจร และอุปกรณ์ดังกล่าวจำเป็นต้องทดสอบเพื่อให้สอดคล้องกับการออกแบบ มีวิธีการทดสอบดังนี้

3.2.1 การทดสอบเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระแสคงที่

ในงานวิจัยฉบับนี้ได้ใช้แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบกระแสคงที่ซึ่งมีขนาด 1 แอมแปร์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าคงที่ให้กับขดลวดเฮลมโฮลทซ์ กระแสไฟฟ้านั้นต้องมีความคงที่ไม่มีเปลี่ยนแปลง เหตุเพราะเป็นอีกหนึ่งตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อความเข้มสนามแม่เหล็กของขดลวดเฮลมโฮลทซ์ ในการทดสอบทำโดยเปลี่ยนแปลงภาระขนาด 10 , 15 และ 20 โอห์ม แล้วทำการวัดกระแสทางด้านขาออกของวงจรดังรูปที่ 3.2

3.2.2 การทดสอบหาความไวของอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์เบอร์ A1302

การทดลองหาสมบัติความไวของ A1302 จากการปรับเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้าของไฟเลี้ยง เพื่อแสดงสมบัติของแรงดันด้านขาออกจากอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์ โดยวัดค่าสัญญาณด้านขาออกเมื่อหมุนแกนเพลาไปครั้งละ 1 องศา ซึ่งมีการหมุนแกนเพลาทั้งหมด 360 องศา ตามเงื่อนไขการเปลี่ยนตำแหน่งโดยการหมุนรอบตัวเองของแกนเพลารอบแกน Y ดังรูปที่ 3.6(ก) โดยทำการบันทึกเป็นแผนภูมิเส้นเพื่อวิเคราะห์ค่าความไวของ A1302 จากแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงแต่ละค่า โดยใช้ไฟเลี้ยงที่ 5, 5.5 และ 6 โวลต์

3.2.3 การทดสอบบอร์ดเก็บข้อมูลในรูปแบบของสัญญาณดิจิทัล

การทดสอบบอร์ดเก็บข้อมูลในรูปแบบของสัญญาณดิจิทัล [18] ทดสอบโดยวิธีการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ทดสอบแบบ 5 จุด (The five point test) เนื่องจากย่านในการวัดนั้นเป็นแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 0 ไม่ว่าการณ์ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเด็ดขาดเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โวลต์ ถึง 5 โวลต์ ดังนั้นจึงเลือกค่าแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบ คือ 0, 1.25, 2.5, 3.75 และ 5 โวลต์ จากวงจรในภาคผนวก ง จากนั้นทำการอ่านค่าแรงดันที่วัดได้แล้วทำการเขียนแผนภูมิรูปภาพเพื่อแสดงความสัมพันธ์ แล้วทำการหาคุณสมบัติของอุปกรณ์

3.2.4 การทดสอบขดลวดเฮลมโฮลทซ์

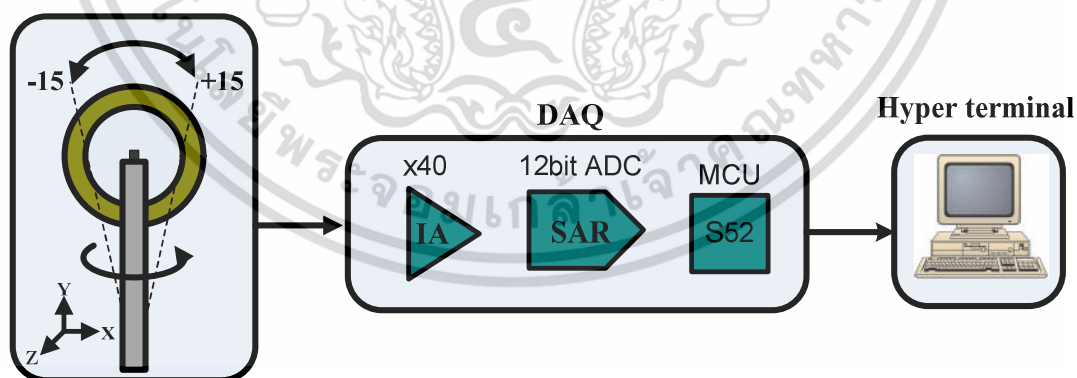
การทดสอบขดลวดเฮลมโฮลทซ์จะทดสอบความเข้มของสนามแม่เหล็กที่จุดศูนย์กลางของขดลวดเฮลมโฮลทซ์ด้วยเทสลามิเตอร์ (Tesla meter) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท Phywe มีย่านการวัดที่ 0 ถึง 1 เทสลา (Tesla) มีความละเอียดในการวัดที่ 1 มิลลิเทสลา (mT : millitesla) แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าคำนวณดังสมการที่ 2.7

3.3 การออกแบบการทดลอง

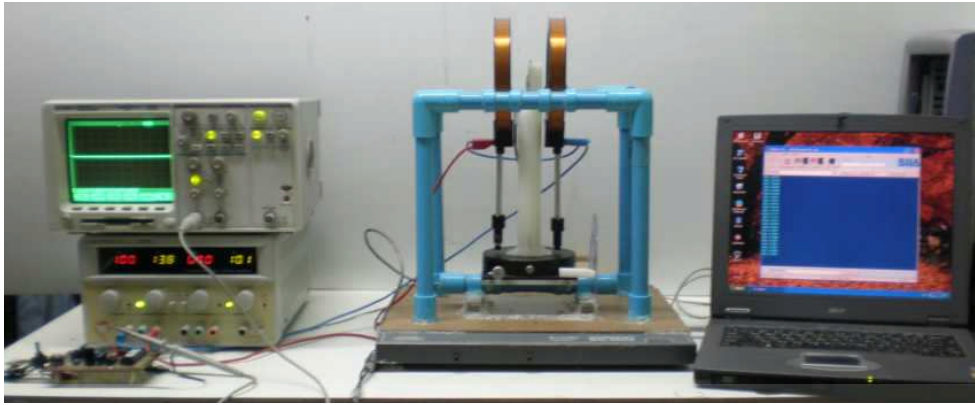
การทดลองแบ่งออกเป็นสองขั้นตอนดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.1 คือ การทดลองหาค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของระบบการวัดและการทดลองเชิงเพลาในแกนตั้งนี้บนระนาบ XY

3.3.1 แผนภูมิของระบบในการทดลองหาค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของระบบการวัด

จากรูปที่ 3.10 คือแผนภูมิภาพอธิบายระบบในการทดลองหาค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของระบบการวัด โดยเงื่อนไขการทดลองต่าง ๆ ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อถัดไป บอร์ดเก็บข้อมูลในรูปแบบของสัญญาณดิจิทัล ดังหัวข้อ 3.1.1.4 ทำการสื่อสารแบบอนุกรมเพื่อส่งข้อมูลไปเก็บยังโปรแกรม Hyper terminal ซึ่งมีระบบจริงดังรูปที่ 3.11



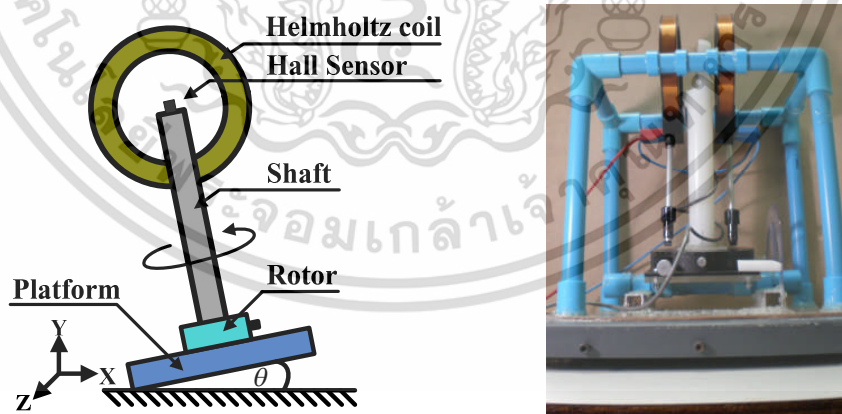
รูปที่ 3.10 แผนภูมิของระบบในการทดลองหาค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของระบบการวัด



รูปที่ 3.11 ระบบในการทดลองหาคณสมบัติต่างๆ ของระบบการวัด

3.3.1.1 การทดลองหาคสมบัติของระบบตรวจรู้เมื่อระบบตรวจรู้ไม่ได้อยู่บนแนวแกน X

การเปรียบเทียบสัญญาณของระบบตรวจรู้ที่อยู่บนแนวแกน X กับระบบตรวจรู้ที่ไม่อยู่บนแนวแกน X ดังรูปที่ 3.12 เพื่อต้องการทราบว่าเมื่อระบบไม่อยู่บนแนวระดับนั้นจะมีผลทำให้สัญญาณทางด้านขาออกเปลี่ยนแปลงไปในรูปแบบใดภายใต้สมมุติฐานว่าสนามแม่เหล็กโลกจะมีการรบกวนต่อระบบในการวัดหรือไม่ และหาข้อจำกัดของการติดตั้งระบบ โดยทำการเอียงระบบออกจากแกน X มีมุมเอียงคือ 0, 15 และ 25 องศา แล้วทำการเก็บค่าสัญญาณด้านขาออกเมื่อหมุนแกนเพลารอบแกน Y ไปครั้งละ 1 องศา ซึ่งมีการหมุนแกนเพลาทั้งหมด 360 องศา

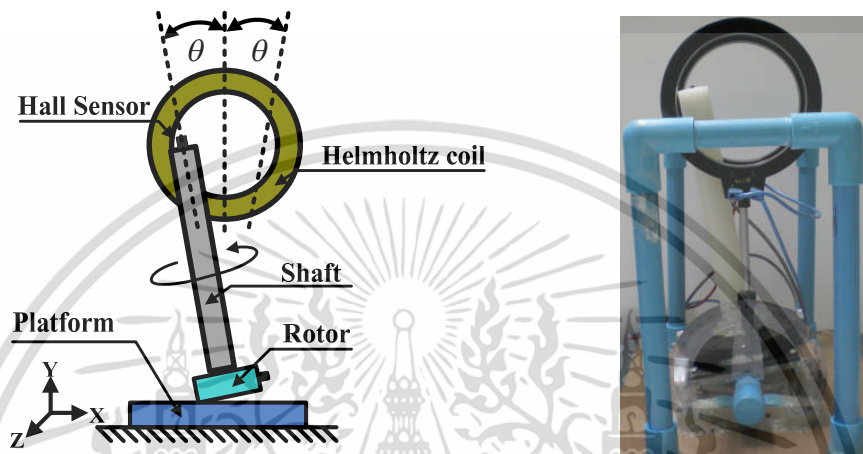


รูปที่ 3.12 แสดงระบบตรวจรู้ที่ไม่อยู่บนแนวแกน X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.2 การทดลองหาสมบัติของระบบตรวจรู้เมื่อแกนเพลลาไม้ได้อยู่บนแนวแกน Y

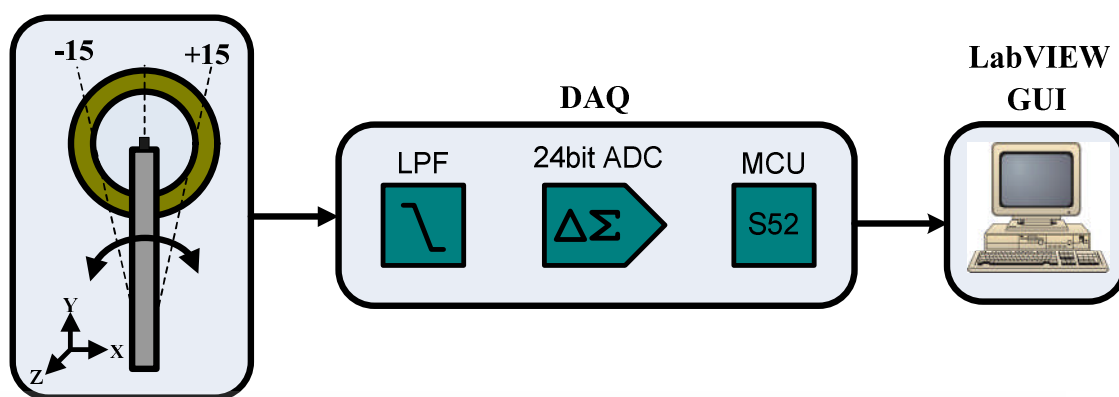
เป็นการเปรียบเทียบสัญญาณด้านขาออกของระบบเมื่อแกนเพลลาไม้ได้อยู่บนแนวแกน Y ดังรูปที่ 3.13 โดยทำการเอียงแกนเพลลาที่มุม $0, 2, 4, 6, 8$ และ 10 องศา แล้วทำการวัดค่าสัญญาณด้านขาออกเมื่อหมุนแกนเพลลาไปครั้งละ 1 องศา ซึ่งมีการหมุนแกนเพลลาทั้งหมด 360 องศา



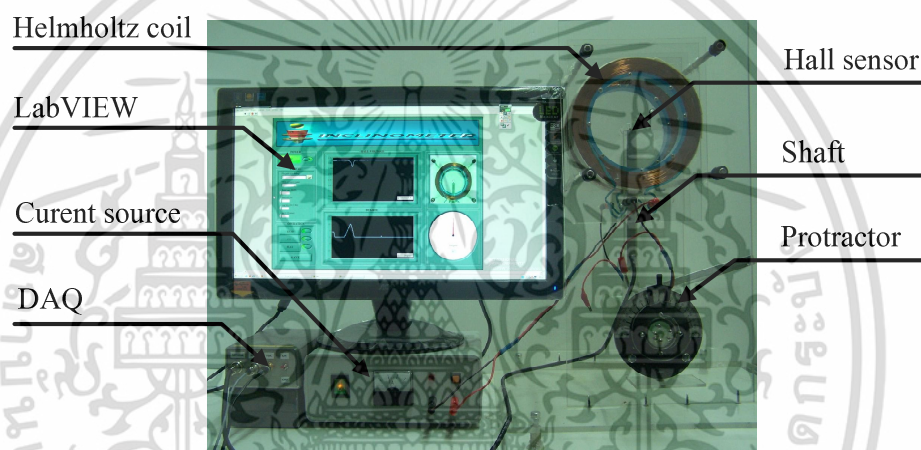
รูปที่ 3.13 ระบบเมื่อแกนเพลลาไม้ได้อยู่บนแนวแกน Y

3.3.2 วิธีการทดลองเอียงเพลลาในแกนตั้งบนระนาบ XY

จากรูปที่ 3.14 คือ แผนภูมิภาพอธิบายระบบในการทดลองเอียงเพลลาในแกนตั้งนี้ในระนาบ XY โดยเงื่อนไขการทดลองต่าง ๆ ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อถัดไป วิธีการทำงานเริ่มจากวงจรจ่ายไฟฟ้าแบบกระแสคงที่จ่ายไฟฟ้าให้แก่ขดลวดเฮลมโฮลทซ์ที่ 1 แอมแปร์ จากนั้นขดลวดเฮลมโฮลทซ์จะสร้างสนามแม่เหล็กที่มีรูปแบบ สามารถตรวจวัดได้โดยอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์ ซึ่งสัญญาณด้านขาออกของอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์นั้นถูกส่งต่อไปยังบอร์ดเก็บข้อมูลในรูปแบบของสัญญาณดิจิทัล ดังหัวข้อ 3.1.2.3 ทำการส่งข้อมูลแบบอนุกรมเพื่อส่งข้อมูลไปเก็บยังโปรแกรม LabVIEW เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และแสดงผลในรูปแบบแผนภูมิภาพทั้งยังมีการเก็บข้อมูลทั้งหมดในรูปแบบของ Microsoft excel. โดยมีระบบจริงดังรูปที่ 3.15



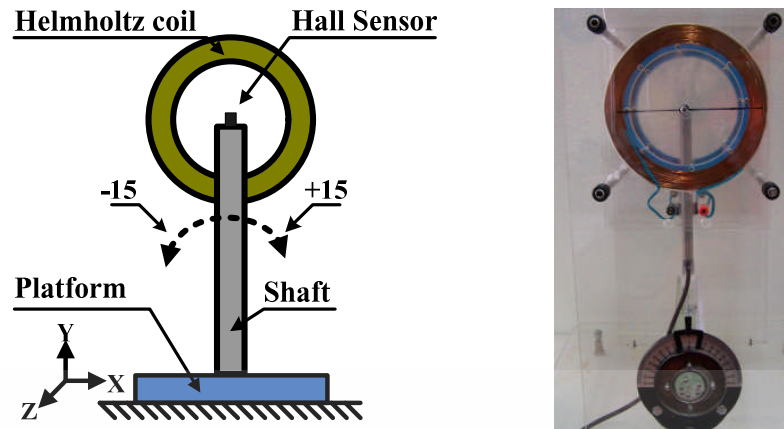
รูปที่ 3.14 แผนภูมิการระบบในการทดลองเอียงเพลลาในแกนตั้งบนระนาบ XY



รูปที่ 3.15 ระบบในการทดลองเอียงเพลลาในแกนตั้งบนระนาบ XY

3.3.3 ระบบการทดลองเอียงเพลลาในแกนตั้งบนระนาบ XY

ทดลองเพื่อวิเคราะห์สัญญาณด้านขาออกของอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์เมื่อเอียงแกนเพลลาออกจากจุดศูนย์กลางของขดลวดเฮลมโฮลทซ์ที่มุมต่าง ๆ ในแนวแกน x เพื่ออ่านสัญญาณด้านขาออกของอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์ทุก 1 องศา โดยทำการเอียงแกนเพลลาตั้งแต่ -15 องศา ถึง +15 องศา โดยที่ R เป็นรัศมีของขดลวดเฮลมโฮลทซ์ ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.16 ระบบเมื่อเอียงแกนเพลลาออกจากจุดศูนย์กลางของขดลวดเฮลมโฮลทซ์ที่มุมต่าง ๆ ในแนวแกน X

3.3.4 วิธีการใช้งานโปรแกรมและกระบวนการวิเคราะห์ของการทดลองเอียงเพลลาในแกนตั้งบนระนาบ XY

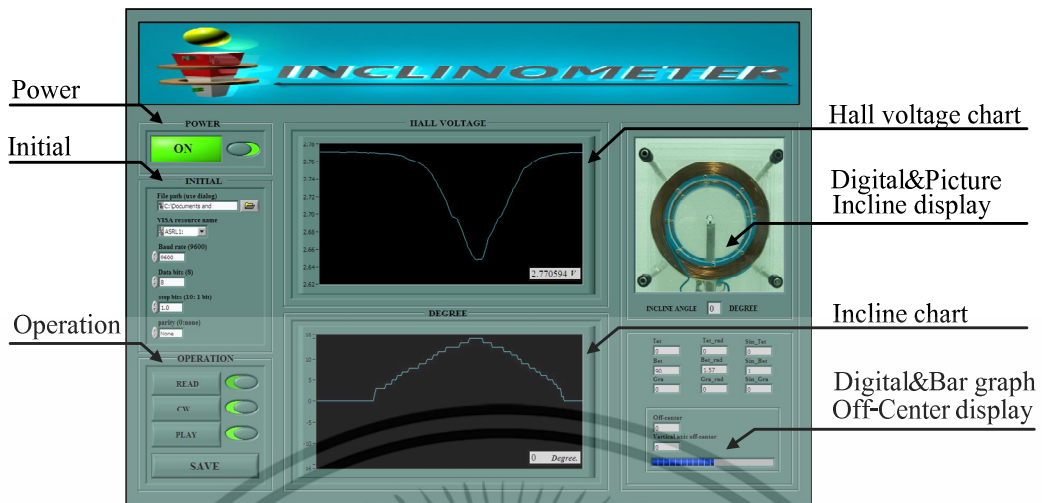
สำหรับโปรแกรมในการวิเคราะห์นั้นใช้โปรแกรม LabVIEW 8.6 [19] ในการออกแบบ มีคุณสมบัติคือสามารถแสดงผลตำแหน่งของมุมเอียงของแกนเพลลาและระยะปลายบนสุดของแกนเพลลาที่เบนออกนอกจุดศูนย์กลางของขดลวดเฮลมโฮลทซ์บนระนาบ XY ในรูปแบบของกราฟและตัวเลข มีวิธีการใช้งานดังนี้

เริ่มจากการกำหนดค่าเริ่มต้นต่าง ๆ ได้แก่ ค่าเริ่มต้นของการสื่อสารแบบอนุกรมและค่าเริ่มต้นของการกำหนดแหล่งจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบของโปรแกรม Microsoft excel จากนั้นเลือกปุ่ม POWER มาที่ตำแหน่ง ON ดังรูปที่ 3.17 และมีกระบวนการวิเคราะห์ดังรูปที่ 3.18 ซึ่งขณะนี้โปรแกรมจะเริ่มรับข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์

ขณะนี้โปรแกรมทำการตรวจสอบปุ่มเพื่อเลือกรับข้อมูลถัดไปหรือคงค่าข้อมูลเดิมไว้ หากปุ่มนี้ทำงานหน้าจอแสดงคำว่า READ โปรแกรมจะรับข้อมูลใหม่เข้ามาเพื่อนำมาวิเคราะห์และหากปุ่มนี้ไม่ทำงานหน้าจอแสดงคำว่า HOLD โปรแกรมจะค้างค่าข้อมูลล่าสุดเพื่อนำมาวิเคราะห์ เมื่อตรวจสอบเงื่อนไขและเลือกรับข้อมูลตามเงื่อนไขดังกล่าวแล้วจะทำการแสดงผลค่าสัญญาณเอาท์พุทของอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์ ในรูปของกราฟและตัวเลข

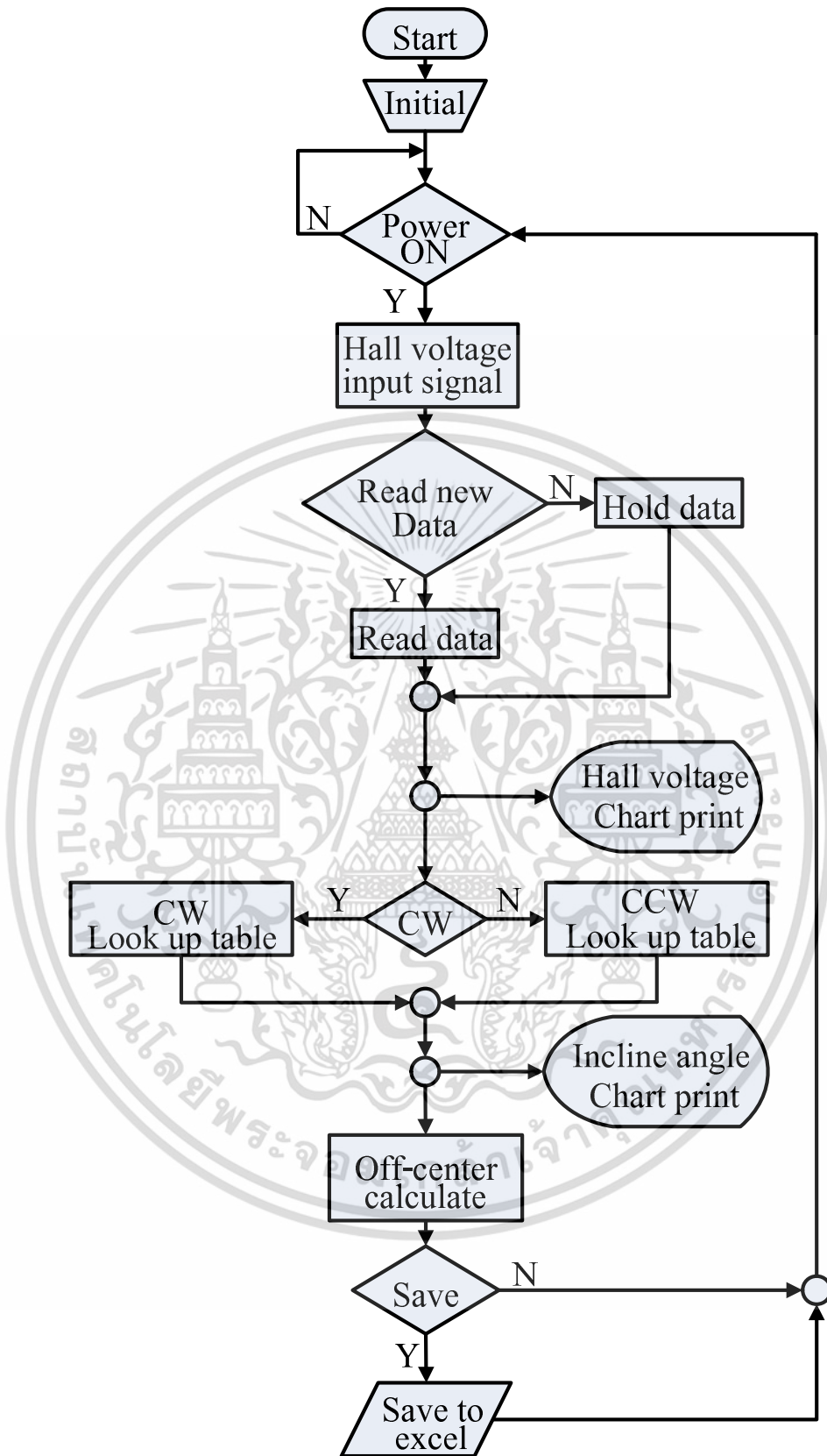
ขั้นตอนต่อมาเป็นการตรวจสอบปุ่มเพื่อเลือกการวิเคราะห์ทิศทางการเอียงแกนเพลลาตามแนวแกน X ซึ่งหากเลือกการเอียงแกนเพลลาไปในทิศทาง $-X$ โปรแกรมจะแสดงคำว่า CCW และหากเลือกการเอียงแกนเพลลาไปในทิศทาง $+X$ โปรแกรมจะแสดงคำว่า CW จากนั้นทำการวิเคราะห์หามุมเอียงตามเงื่อนไขดังกล่าวโดยวิธีเปิดตารางแล้วทำการแสดงผลในรูปของกราฟและตัวเลข จากนั้นตรวจสอบการกดปุ่ม SAVE หากมีการกดปุ่มนี้จะทำการบันทึกข้อมูลที่วิเคราะห์ได้ลง Microsoft excel จากนั้นย้อนกลับไปเริ่มเงื่อนไขตรวจสอบปุ่ม POWER อีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในวงจำกัดเท่านั้น ไม่สามารถนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต การค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 หน้าโปรแกรมของระบบมูมิของเพลาในแกนตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 กระบวนการวิเคราะห์มุมเอียงของเพลาในแกนตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดสอบอุปกรณ์และผลการทดลอง

บทที่ 4 นี้แสดงผลของการทดสอบเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย ผลการทดลอง และการ
วิจารณ์ผลการทดลอง ภายในเนื้อหาจะมีการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาค่าความเชื่อมั่นของเครื่องมือ
แสดงผลการจำลองผล (Simulation) ของการติดตั้งขดลวดเฮลมโฮลทซ์ในระยะเวลาที่เหมาะสม

4.1 ผลการทดสอบอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

หัวข้อนี้จะแสดงในส่วนของการทดสอบอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ การทดสอบวงจร
กระแสตรงที่ซึ่งมีกระแสไฟฟ้าทางด้านขาออก 1 แอมแปร์ การทดสอบบอร์ดเก็บข้อมูลในรูปแบบ
ของสัญญาณดิจิทัล การทดสอบความไวของอุปกรณ์ตรวจจับฮอลล์ และการทดสอบขนาด
ของสนามแม่เหล็กซึ่งถูกสร้างขึ้นมาจากขดลวดเฮลมโฮลทซ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นมา

4.1.1 การทดสอบวงจรไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระแสตรงที่

งานวิจัยฉบับนี้ได้ออกแบบวงจรไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระแสตรงที่โดยมีวงจรดังรูปที่ 3.2
ซึ่งนำมาเป็นส่วนประกอบของเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้าแบบคงที่ให้แก่ขดลวดเฮลมโฮลทซ์ ดังรูป
ที่ 4.1 ซึ่งทำการทดสอบโดยการเปลี่ยนแปลงภาระความต้านทาน มีขนาด 10, 15 และ 20 โอห์ม
แล้วทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าทางด้านขาออก เพื่อทดสอบถึงประสิทธิภาพของเครื่องจ่ายไฟฟ้า
กระแสตรงแบบกระแสตรงที่



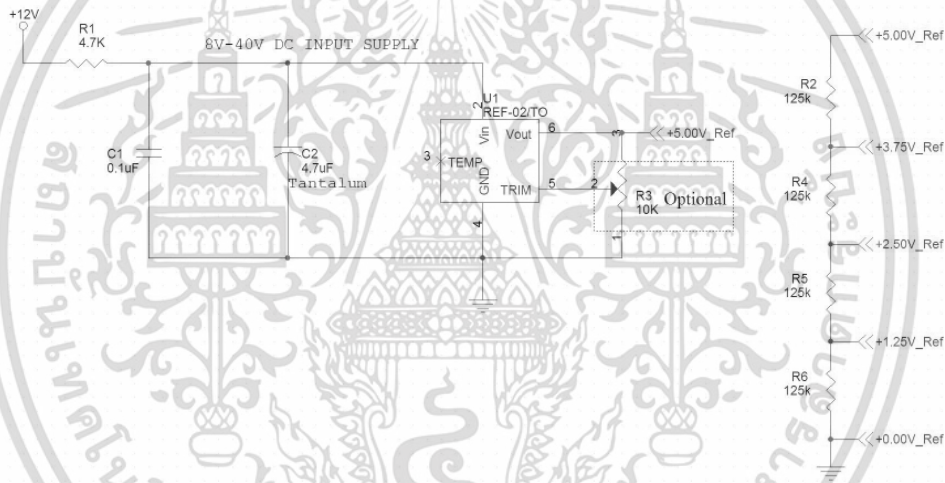
รูปที่ 4.1 เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระแสตรงที่

จากการทดลองพบว่าเครื่องจ่ายไฟฟ้าแบบกระแสตรงที่นี้สามารถรักษาเสถียรภาพได้ดีที่
กระแสไฟฟ้าขนาด 1 แอมแปร์ ซึ่งเพียงพอสำหรับภาระจากขดลวดเฮลมโฮลทซ์ที่ประดิษฐ์ขึ้น ซึ่ง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
มีขนาดของความต้านทาน 13 โอห์ม
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

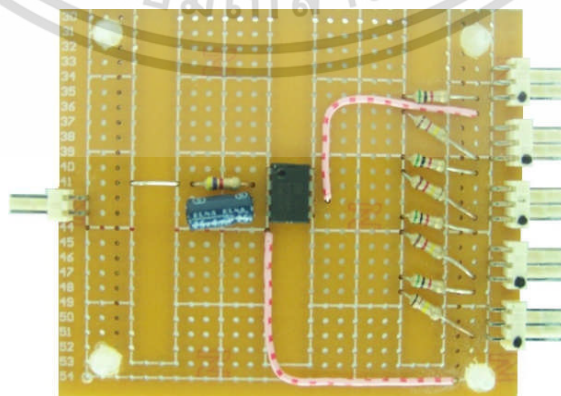
4.1.2 การทดสอบบอร์ดเก็บข้อมูลในรูปแบบของสัญญาณดิจิทัล

บอร์ดเก็บข้อมูลในรูปแบบของสัญญาณดิจิทัลซึ่งกล่าวถึงในหัวข้อที่ 3.1.2.3 นั้น จะทำการทดสอบโดยวิธีการทดสอบแบบ 5 จุด โดยการทดลองอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า 0%, 25%, 50%, 75% และ 100% ของช่วงการวัด (Span) มีค่าเท่ากับ 4.9973 โวลต์ ซึ่งเป็นค่าที่วัดได้จากเป็นอุปกรณ์อ้างอิงในการวัดแรงดันไฟฟ้า คือ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (Digital multi meter) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของ FLUKE รุ่น 8842A เป็นอุปกรณ์อ้างอิงในการวัดแรงดันไฟฟ้าของการทดสอบนี้

โดยใช้แรงดันอ้างอิงจากวงจรดังรูปที่ 4.2 เป็นวงจรในการสร้างแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง ซึ่งมีจุดต่อใช้งานดังรูปที่ 4.3 ผลที่ได้จากการทดลองนี้ได้ถูกแสดงดังตารางที่ 4.1 จากนั้นทำการคำนวณหาค่าความถูกต้อง (Accuracy) และ ค่าความไม่แน่นอนจากการวัด (Uncertainty) โดยผลลัพธ์ที่ได้มีค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ มีสมการคำนวณแสดงดังในหัวข้อที่ 2.4 ซึ่งข้อมูลการวิเคราะห์ที่แสดงดังตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.2 วงจรแรงดันอ้างอิงที่ใช้ในการทดสอบแบบ 5 จุด



รูปที่ 4.3 บอร์ดวงจรแรงดันอ้างอิงที่ใช้ในการทดสอบแบบ 5 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

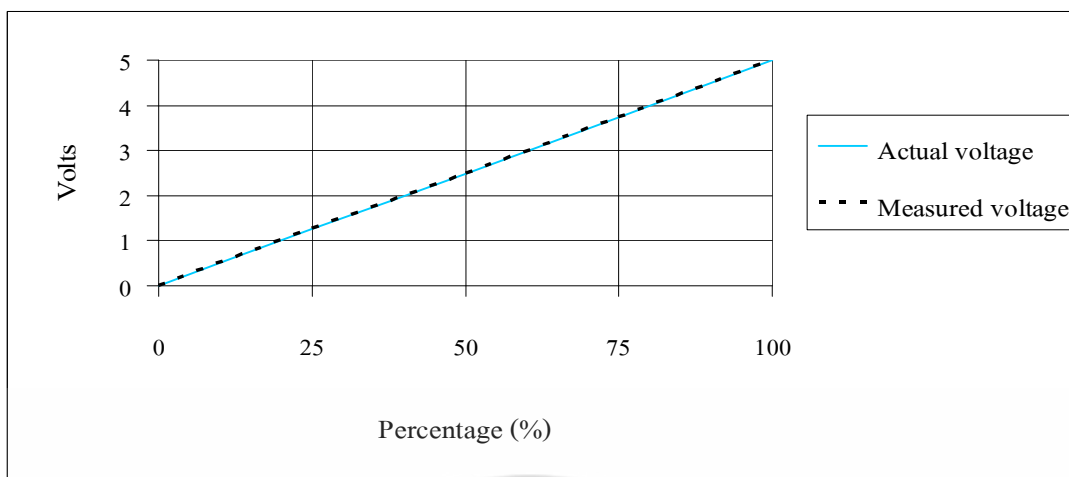
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า 0%, 25%, 50%, 75% และ 100% ของช่วงการวัด

No.	Readout (Volts)				
	0%	25%	50%	75%	100%
1	0.000404	1.255898	2.486876	3.733880	4.996911
2	0.000401	1.255905	2.486899	3.733892	4.996910
3	0.000404	1.255939	2.486892	3.733907	4.996915
4	0.000399	1.255963	2.486893	3.733915	4.996925
5	0.000392	1.255980	2.486889	3.733924	4.996931
6	0.000395	1.256007	2.486887	3.733942	4.996937
7	0.000415	1.256025	2.486881	3.733963	4.996939
8	0.000414	1.256043	2.486910	3.733975	4.996936
9	0.000418	1.256053	2.486924	3.733990	4.996940
10	0.000417	1.256082	2.486934	3.734000	4.996935

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการคำนวณค่าความสามารถในการซ้ำค่าเดิมและค่าความถูกต้อง

Characteristics	Readout (Volts)				
	0%	25%	50%	75%	100%
Average	0.000406	1.255990	2.486899	3.733939	4.996928
Actual	0.000000	1.256000	2.487000	3.734500	4.997300
Deviation	0.000406	0.000011	0.000102	0.000561	0.000372
Accuracy (%)	0.008122	0.000210	0.002031	0.011230	0.007446

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



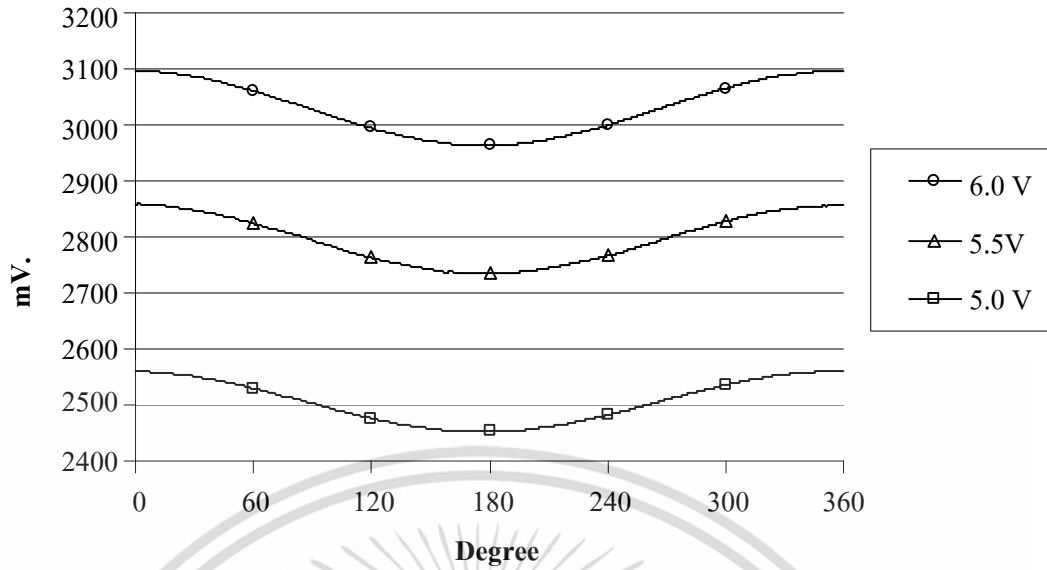
รูปที่ 4.4 แสดงผลการอ่านค่าแรงดัน 0%, 25%, 50%, 75% และ 100% ของช่วงการวัด

การทดสอบโดยวิธีการทดสอบแบบ 5 จุดนั้นพบว่า จากตารางที่ 4.2 มีค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องมีค่ามากที่สุดอยู่ที่ 0.011230 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบค่าระหว่างบอร์ดเก็บข้อมูลแบบดิจิทัลอ่านได้กับอุปกรณ์อ้างอิงในการวัดแรงดันไฟฟ้านั้นมีค่าการเบี่ยงเบนมากที่สุด คือ 0.000561 โวลต์ ซึ่งเมื่อนำมาวาดกราฟดังรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการอ่านค่าได้อย่างถูกต้องของอุปกรณ์เก็บข้อมูลในรูปแบบดิจิทัล

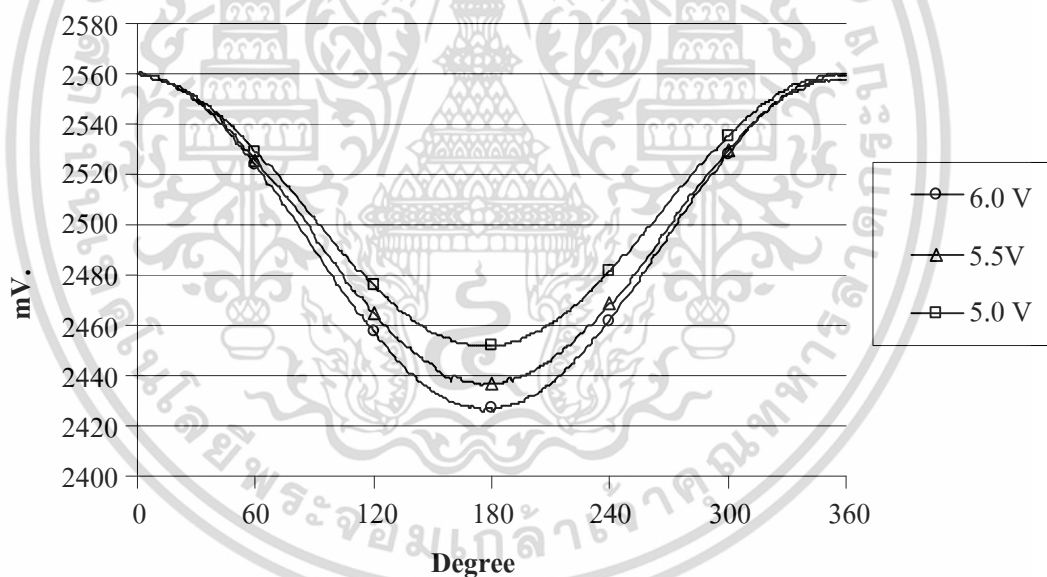
4.1.3 การทดสอบหาความไวของอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์เบอร์ A1302

การทดสอบหาความไวของอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์ในงานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการทดสอบกับอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์เบอร์ A1302 โดยการปรับเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้าที่ไฟเลี้ยงของอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์ ขนาด 5, 5.5 และ 6 โวลต์ ดังหัวข้อที่ 3.2.2 โดยมีผลการทดลองดังรูปที่ 4.5 เพื่อง่ายต่อการเปรียบเทียบจึงทำการยกระดับแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งมุม 0 องศาให้มีค่าเท่ากัน ดังรูปที่ 4.6

จากการทดลองพบว่าเมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ใช้เลี้ยงอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์ขนาด 6 โวลต์ สัญญาณทางด้านขาออกของจะมีความชันมากที่สุด นั่นคือมีความไวมากที่สุดนั่นเอง และค่าความไวนี้จะลดลงเมื่อลดระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้เลี้ยงอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์นี้ลงตามลำดับ โดยระดับแรงดันไฟฟ้าเพื่อใช้เลี้ยงอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์เหล่านี้จะไม่ทำให้แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าด้านขาออก



รูปที่ 4.5 การปรับเปลี่ยนแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้แก่อุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์ เบอร์ A1302



รูปที่ 4.6 การยกระดับแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งมุม 0 องศาให้มีค่าเท่ากัน

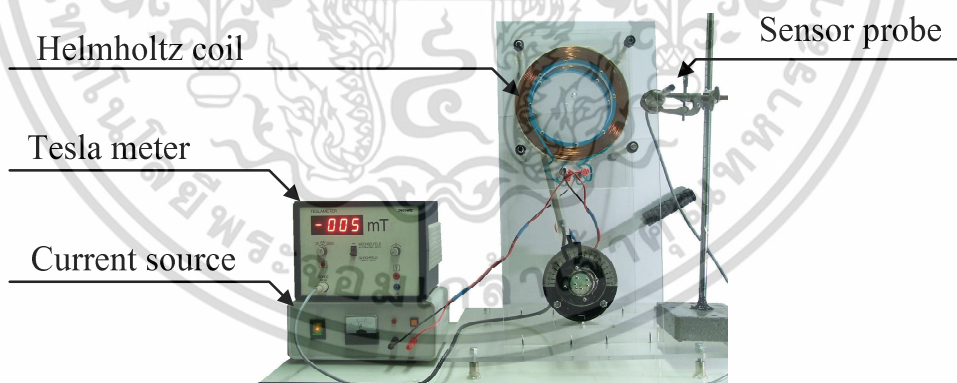
4.1.4 การทดสอบขดลวดเฮลมโฮลทซ์

ในงานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการประดิษฐ์ขดลวดเฮลมโฮลทซ์เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ในการสร้างสนามแม่เหล็กที่มีรูปแบบ ได้ทำการออกแบบและสร้างขึ้นมาเพื่อตอบสนองความต้องการเรื่องความยาวของรัศมี เพื่อที่จะทำให้เพิ่มความสามารถในการวัดมุมของเพลานแกนตั้งให้มี่านการวัดที่มากขึ้น มีการเพิ่มขนาดของเส้นลวดทองแดงที่ใช้ในการพันขดลวดเฮลมโฮลทซ์ให้มีขนาดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

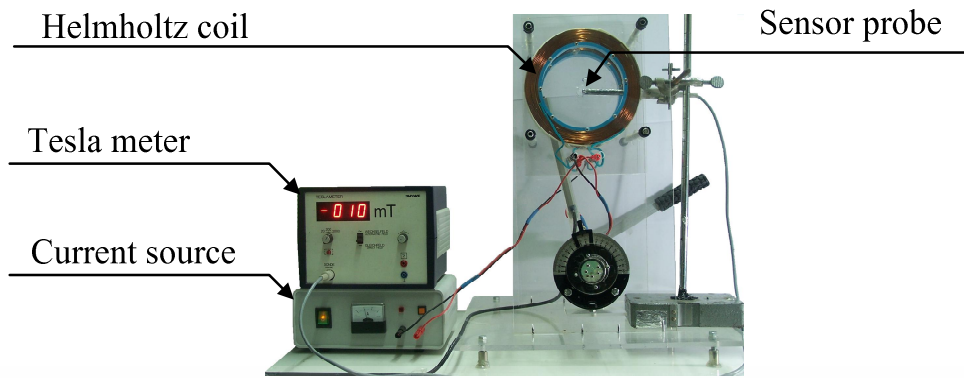
ใหญ่ขึ้น เพื่อความยืดหยุ่นของย่านการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระแสคงที่ให้แก่ตัวขดลวดเฮลมโฮลทซ์และยังสามารถลดความร้อนอันเกิดจากความไม่เหมาะสมของขนาดไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระแสคงที่ที่เทียบกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวดทองแดงทำให้ความต้านทานภายในขดลวดเฮลมโฮลทซ์มีการเปลี่ยนแปลงและอาจจะมีผลกระทบต่อเสถียรภาพในการรักษาระดับของระดับของกระแสไฟฟ้าตรงแบบคงที่ได้ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อถึงความเข้มสนามแม่เหล็กด้านขาออกของขดลวดเฮลมโฮลทซ์ ทำให้เกิดค่าความผิดพลาดในการวัด

ในการทดสอบระบบการวัดทำได้โดยจัดวางขดลวดทั้งสองให้มีระยะห่างของขดลวดเท่ากับระยะรัศมีของขดลวดเฮลมโฮลทซ์ เพื่อให้สอดคล้องกับสมการที่นำมาใช้อ้างอิงกับสมการที่ 2.7 จากการคำนวณได้ระยะความห่างของขดลวดทั้งสอง คือ 4.624 มิลลิเมตร

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบความเข้มของสนามแม่เหล็กที่จุดศูนย์กลางของขดลวดเฮลมโฮลทซ์ด้วยเทสลามิเตอร์ เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท Phywe มีความละเอียด 1 มิลลิเทสลา ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระแสคงที่ ขนาด 1 แอมแปร์เพื่อใช้เป็นกระแสไฟฟ้าใช้เลี้ยงขดลวดเฮลมโฮลทซ์ มีการจัดวางอุปกรณ์ในการทดสอบดังรูปที่ 4.7 เป็นการจัดวางอุปกรณ์สำหรับการหาสนามแม่เหล็กเพื่อใช้เป็นค่าเซตพอยน์ (Set point) สามารถทำได้โดยนำหัววัดวางที่ตำแหน่งนอกแนวสนามแม่เหล็กที่ถูกสร้างขึ้นจากขดลวดเฮลมโฮลทซ์ และรูปที่ 4.8 เป็นการจัดวางอุปกรณ์สำหรับการหาความเข้มของสนามแม่เหล็กที่จุดศูนย์กลางของขดลวดเฮลมโฮลทซ์ สามารถทำได้โดยนำหัววัดวางที่บริเวณจุดศูนย์กลางของขดลวดเฮลมโฮลทซ์



รูปที่ 4.7 การจัดวางอุปกรณ์สำหรับการหาค่าเซตพอยน์ในการทดสอบขดลวดเฮลมโฮลทซ์

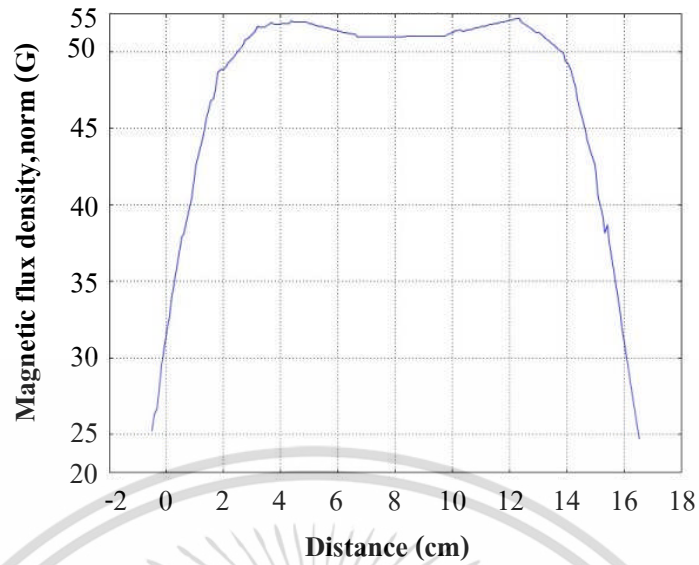


รูปที่ 4.8 การจัดวางอุปกรณ์สำหรับการวัดค่าสนามแม่เหล็กในการทดสอบขดลวดเฮลมโฮลทซ์

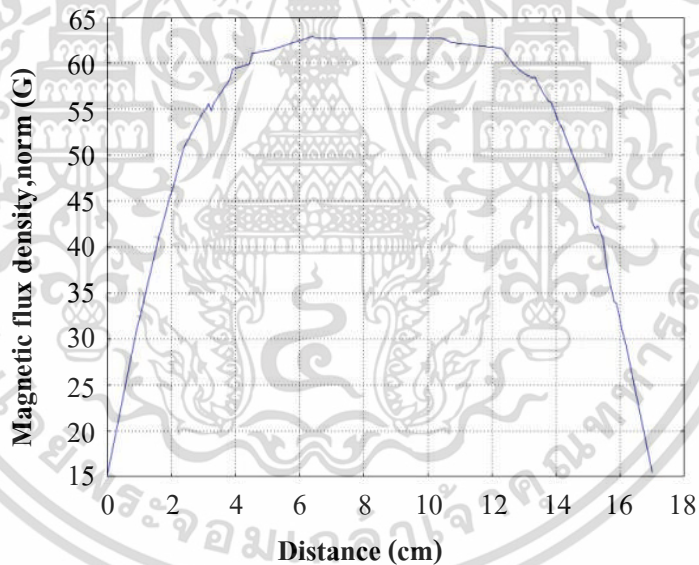
ผลการทดลองพบว่าความเข้มของสนามแม่เหล็กจากจุดศูนย์กลางของขดลวดเฮลมโฮลทซ์ที่วัดได้หลังจากทำการชดเชยค่าความผิดพลาดแล้วมีค่าเท่ากับ 5 มิลลิเทสลา เมื่อนำมาเทียบกับค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กจากจุดศูนย์กลางของขดลวดเฮลมโฮลทซ์จากการคำนวณพบว่ามีความผิดพลาดไปจากการคำนวณ 0.376 มิลลิเทสลา หรือ 7.52 เปอร์เซ็นต์ สาเหตุของความผิดพลาดอาจเกิดจากเรื่องความละเอียดในการวัดความเข้มสนามแม่เหล็กของเทสลามิเตอร์ ซึ่งมีความละเอียดที่ 1 มิลลิเทสลา

4.1.5 การทดสอบเพื่อหาระยะการวางที่เหมาะสมของขดลวดเฮลมโฮลทซ์

งานวิจัยฉบับนี้ได้ออกแบบขดลวดเฮลมโฮลทซ์เพื่อเป็นอุปกรณ์ในการสร้างสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มของสนามแม่เหล็กที่มีรูปแบบ ซึ่งรูปแบบของความเข้มของสนามแม่เหล็กนั้นมีอีกปัจจัยหนึ่งที่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปแบบได้ คือ ระยะห่างในการจัดวางของขดลวดเฮลมโฮลทซ์ ดังรูปที่ 2.2 สามารถจำลองผลได้ด้วยโปรแกรม COMSOL [20] แสดงผลดังรูปที่ 4.9 มีระยะห่างเป็น $0.8R$ รูปที่ 4.10 มีระยะห่างเป็น R และรูปที่ 4.11 มีระยะห่างเป็น $1.2R$ โดยที่แกนตั้งคือค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กและแกนนอนคือระยะตามแนวรัศมีของขดลวดเฮลมโฮลทซ์

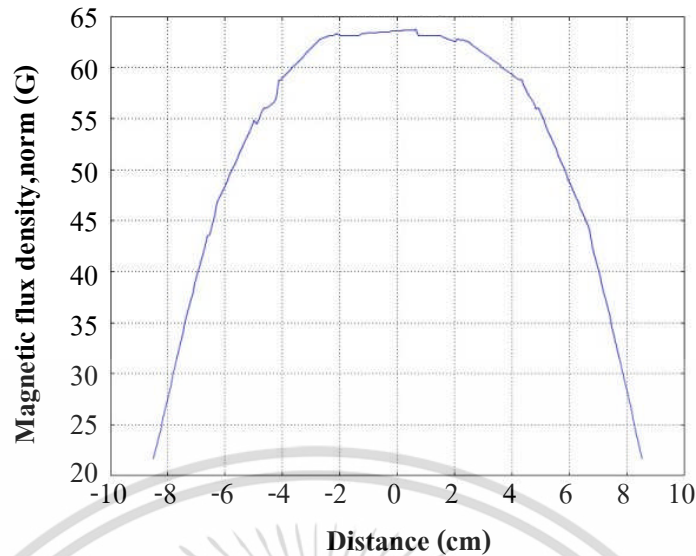


รูปที่ 4.9 ตำแหน่งการจัดวางขดลวดเฮลมโฮลทซ์ซึ่งมีระยะห่างเป็น $0.8 R$



รูปที่ 4.10 ตำแหน่งการจัดวางขดลวดเฮลมโฮลทซ์ซึ่งมีระยะห่างเป็น R

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ตำแหน่งการจัดวางขดลวดเฮลมโฮลทซ์ซึ่งมีระยะห่างเป็น $1.2 R$

ผลการจำลองเมื่อเปรียบเทียบทั้งสามเงื่อนไขแล้ว พบว่าเมื่อระยะห่างของการวางขดลวดเฮลมโฮลทซ์ทั้งสองเท่ากับ $0.8 R$ ดังรูปที่ 4.9 จะได้ความสัมพันธ์คือสัญญาณมีขนาดใหญ่ที่สุดและมีความชันของสัญญาณมากที่สุดแต่มีเดดแบนด์ (Dead band) มากที่สุดเช่นกัน เมื่อระยะห่างของการวางขดลวดเฮลมโฮลทซ์ทั้งสองเท่ากับ $1.2 R$ ดังรูปที่ 4.11 จะได้ความสัมพันธ์ที่ตรงกันข้ามกับความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.9 ทั้งหมด กล่าวคือ สัญญาณมีขนาดเล็กที่สุดและมีความชันของสัญญาณน้อยที่สุดแต่มีเดดแบนด์ น้อยที่สุดเช่นกัน สุดท้ายเมื่อระยะห่างของการวางขดลวดเฮลมโฮลทซ์ทั้งสองเท่ากับ R ดังรูปที่ 4.10 จะได้ความสัมพันธ์เสมือนว่านำความสัมพันธ์ของรูปที่ 4.9 และความสัมพันธ์ของรูปที่ 4.11 มารวมกัน กล่าวคือมีความสัมพันธ์ในลักษณะเป็นกลาง โดยในงานวิจัยฉบับนี้ได้เลือกใช้งานเมื่อระยะห่างของการวางขดลวดเฮลมโฮลทซ์ทั้งสองเท่ากับ R

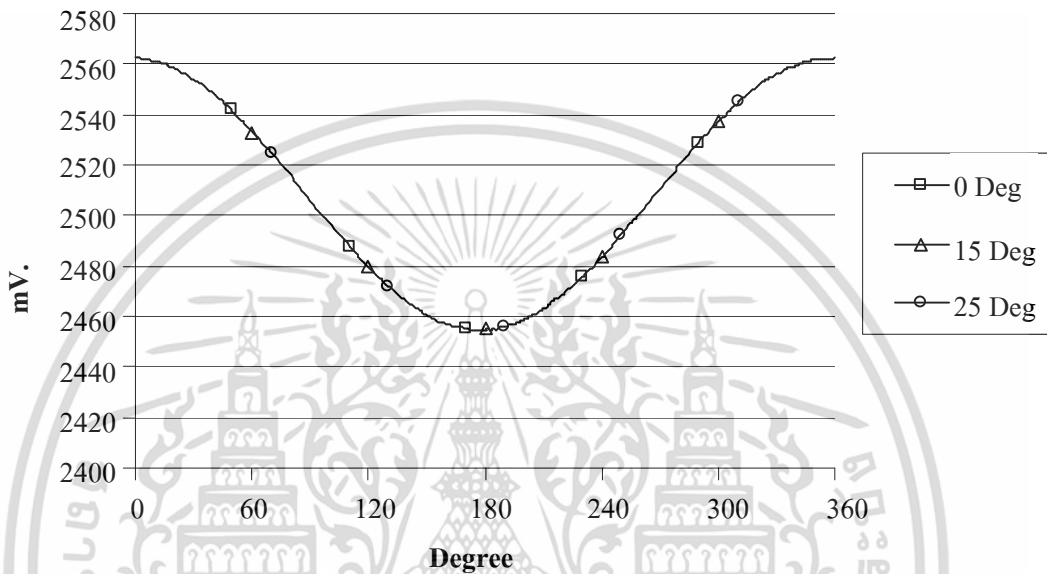
4.2 ผลการทดลอง

ในบทนี้กล่าวถึงผลทดลอง โดยการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ในการทดลองขั้นตอนแรกได้ทำการทดลองหาคุณสมบัติต่าง ๆ ของระบบการวัดเมื่อโดยการทดลองในเงื่อนไขแบบต่าง ๆ คือ การทดลองหาสมบัติของระบบตรวจรู้เมื่อระบบตรวจรู้ไม่ได้อยู่บนแนวแกน X ดังหัวข้อที่ 3.3.1.1 และ การทดลองหาสมบัติของระบบตรวจรู้เมื่อแกนเพลลาไม่ได้อยู่บนแนวแกน Y ดังหัวข้อที่ 3.3.1.2 เมื่อได้คุณสมบัติต่าง ๆ ของระบบการวัดแล้ว ในขั้นตอนการทดลองที่สองหลังจากทำการพิจารณาว่าใดคุณสมบัติที่เหมาะสมกับงานวิจัยนี้ ซึ่งงานวิจัยฉบับนี้ได้เลือกวิธีการทดลองเชิงเพลลาในแกนตั้งนี้ในระนาบ XY ดังหัวข้อที่ 3.3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 การทดลองหาสมบัติของระบบตรวจรู้เมื่อระบบตรวจรู้ไม่ได้อยู่บนแนวแกน X

การเปรียบเทียบสัญญาณของระบบตรวจรู้ที่อยู่บนแนวแกน X กับระบบตรวจรู้ที่ไม่อยู่บนแนวแกน X ดังรูปที่ 3.12 โดยทำการเอียงระบบออกจากแกน X มีมุมเอียงคือ 0, 15 และ 25 องศา แล้วทำการเก็บค่าสัญญาณด้านขาออกเมื่อหมุนแกนเพลารอบแกน Y ไปครั้งละ 1 องศา ซึ่งมีการหมุนแกนเพลาทันที 360 เมื่อนำสัญญาณทางด้านขาออกมาวาดกราฟได้ดังรูปที่ 4.12



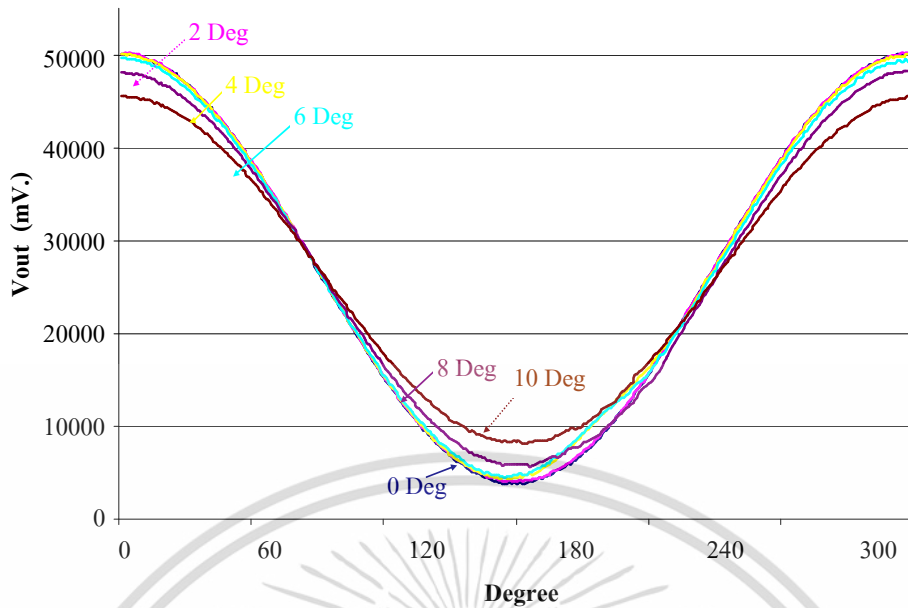
รูปที่ 4.12 แผนภูมิเส้นแสดงสมบัติของระบบตรวจรู้เมื่อระบบตรวจรู้ไม่ได้อยู่ในแนวระนาบ

จากสมมุติฐานที่ว่าสนามแม่เหล็กโลกจะส่งผลกระทบต่อระบบการวัด และเมื่อติดตั้งระบบแล้วตัวระบบเองจะต้องอยู่ในแนวเดิมจึงจะสามารถอ่านค่าได้ถูกต้อง จากการทดลองพบว่าเมื่อทำการติดตั้งระบบ โดยการเอียงระบบไปทั้งหมดในมุมต่าง ๆ นั้น เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่าการติดตั้งระบบที่มุมต่างกันใด ๆ ขนาดของแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาออกของอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์มีขนาดเท่ากันทุกช่วงการวัด แสดงให้เห็นว่าสนามแม่เหล็กโลกไม่ส่งผลกระทบต่อระบบการวัด แม้ว่าติดตั้งระบบการวัดไว้ที่มุมเอียงใด ๆ ก็ตาม

4.2.2 การทดลองหาสมบัติของระบบตรวจรู้เมื่อแกนเพลานี้ไม่ได้อยู่บนแนวแกน Y

เป็นการเปรียบเทียบสัญญาณด้านขาออกของระบบเมื่อแกนเพลานี้ไม่ได้อยู่บนแนวแกน Y ดังรูปที่ 3.13 เป็นการหาสมบัติของระบบ จากแนวความคิดที่ว่า หากมีการแอนเอียงของเพลานี้ในแกนตั้งนั้นลักษณะของสัญญาณทางด้านขาออกของอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์จะมีลักษณะอย่างไร โดยทำการเอียงแกนเพลานี้ที่มุม 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 องศา แล้วทำการวัดค่าสัญญาณด้านขาออกเมื่อหมุนแกนเพลานี้ไปครั้งละ 1 องศา ซึ่งมีการหมุนแกนเพลานี้ทั้งหมด 360 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 แผนภูมิเส้นแสดงการทดลองหาสมบัติของระบบตรวจรู้เมื่อแกนเฟลาไม่ได้อยู่บนแนวแกน Y

จากรูปที่ 4.13 เมื่อพิจารณามุมที่อุปกรณ์ตรวจรู้สอดคล้อง ทำมุมกับเส้นแรงแม่เหล็กโดยพิจารณาเป็นสี่ช่วงคือ หนึ่ง 0 องศา ถึง 90 องศา สอง 90 องศา ถึง 180 สาม 180 องศา ถึง 270 และสี่ 270 องศา ถึง 360 องศา พบว่า

1. 0 องศา ถึง 90 องศา เมื่อเปรียบเทียบที่มุมในการหมุนแกนเดียวกันแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาออกจะมีค่ามากไปหาน้อยตามลำดับ จาก 0, 2, 4, 6, 8, 10 องศา พบว่าเมื่อมุมในการหมุนแกนมากขึ้นค่าแรงดันจะลู่เข้าหากัน
2. 90 องศา ถึง 180 ที่จุด 90 องศา เมื่อเปรียบเทียบที่มุมในการหมุนแกนเดียวกันแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาออกจะมีค่ามากไปหาน้อยตามลำดับ จาก 10, 8, 6, 4, 2, 0 องศา พบว่าเมื่อมุมในการหมุนแกนมากขึ้นค่าแรงดันจะลู่ออกจากกัน
3. 180 องศา ถึง 270 องศา เมื่อเปรียบเทียบมุมในการหมุนแกนเดียวกันแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาออกจะมีค่ามากไปหาน้อยตามลำดับ จาก 10, 8, 6, 4, 2, 0 องศา พบว่าเมื่อมุมในการหมุนแกนมากขึ้นค่าแรงดันจะลู่เข้าหากัน
4. 270 องศา ถึง 360 องศา เมื่อเปรียบเทียบที่มุมในการหมุนแกนเดียวกันแรงดันจะมีค่ามากไปหาน้อยตามลำดับ จาก 0, 2, 4, 6, 8, 10 องศา พบว่าเมื่อมุมในการหมุนแกนมากขึ้นค่าแรงดันจะลู่เข้าหากัน
5. เมื่อพิจารณาตลอดช่วง เปรียบเทียบที่มุมในการหมุนแกนเดียวกันพบว่าความชันมีค่ามากไปหาน้อยตามลำดับ จาก 0, 2, 4, 6, 8, 10 องศา

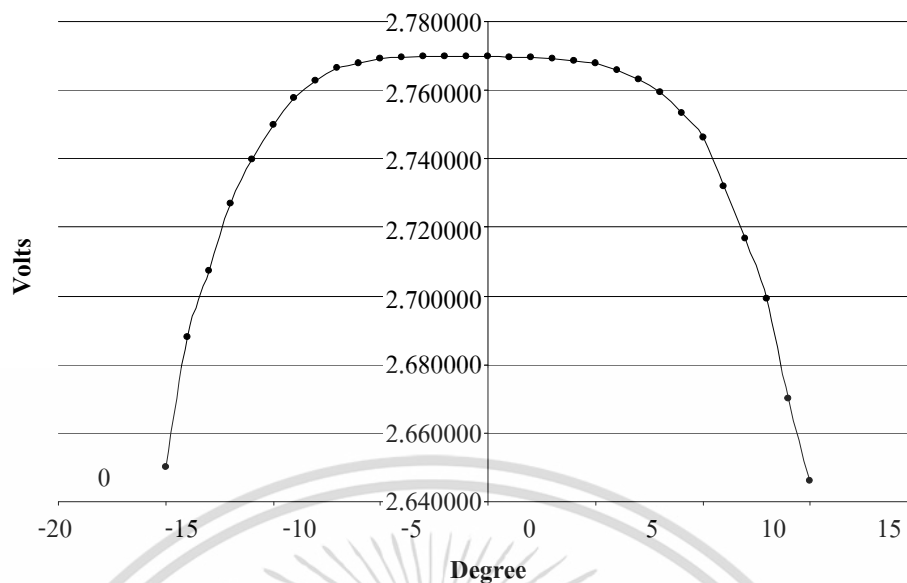
4.2.3 ระบบในการทดลองเอียงเพลลาในแกนตั้งบนระนาบ XY

หลังจากทำการทดลองหาสมบัติของระบบตรวจรู้ดังหัวข้อที่ 4.2.1 และหัวข้อที่ 4.2.2 แล้ว จากรูปที่ 3.14 คือแผนภูมิภาพอธิบายระบบในการทดลองเอียงเพลลาในแกนตั้งนี้ในระนาบ XY วิธีการทำงานเริ่มจาก วงจรจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระแสคงที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่ขดลวด-เฮลมโฮลทซ์ ขนาด 1 แอมแปร์ จากนั้นขดลวดเฮลมโฮลทซ์จะสร้างสนามแม่เหล็กที่มีรูปแบบสามารถตรวจวัดได้โดยอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์ซึ่งสัญญาณด้านขาออกของอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์นั้นถูกส่งต่อไปยังบอร์ดเก็บข้อมูลในรูปแบบของสัญญาณดิจิทัล ดังหัวข้อ 3.1.2.3 เมื่อทำการทดลองแล้วได้ผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการวัดค่าแรงดันทางด้านขาออกของอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์ของการทดลองเอียงเพลลาในแกนตั้งนี้ในระนาบ XY

Degree	V Hall (V.)	Degree	V Hall (V.)
-15	2.650100	1	2.769679
-14	2.688131	2	2.769428
-13	2.707198	3	2.769038
-12	2.726975	4	2.768569
-11	2.739786	5	2.767689
-10	2.749849	6	2.765796
-9	2.757786	7	2.763193
-8	2.762697	8	2.759450
-7	2.766339	9	2.753136
-6	2.767895	10	2.746173
-5	2.769074	11	2.731853
-4	2.769623	12	2.716858
-3	2.769898	13	2.699176
-2	2.769954	14	2.670058
-1	2.769954	15	2.646233
0	2.769747		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 แผนภูมิเส้นแสดงการทดลองเอียงเพลาในแกนตั้งนี้ในระนาบ XY

เมื่อนำข้อมูลมาเขียนเป็นแผนภูมิเส้นจะได้ดังรูปที่ 4.14 แสดงถึงแนวโน้มอันมีลักษณะคล้ายคลึงกันกับเงื่อนไขของการวางขดลวดทั้งสองที่ระห่างเท่ากับ R จากการจำลองด้วยโปรแกรม COMSOL ดังรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าระบบการวัดที่ติดตั้งขึ้นมาี้มีความสอดคล้องกับทฤษฎีของขดลวดเฮลมโฮลทซ์

จากนั้นทำการส่งข้อมูลแบบอนุกรมเพื่อส่งข้อมูลไปเก็บยังโปรแกรม LabVIEW เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และแสดงผลในรูปแบบแผนภูมิภาพดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 ภาพแสดงการทดลองเอียงเพลาในแกนตั้งนี้ในระนาบ XY แสดงผลด้วยโปรแกรม LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการแสดงผลค่ามุมเอียงของเพลานในแกนตั้งนั้น ระบบมีความละเอียดในการวิเคราะห์มุมเอียงได้ 1 องศา เมื่อบันทึกข้อมูลในโปรแกรม Microsoft excel จะได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 4.4 จากตารางนี้แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการแยกแยะมุมเอียงของเพลานในแกนตั้งสามารถวิเคราะห์ค่าได้ถูกต้องในช่วงมุม -15 องศา ถึงมุม -4 องศา และช่วงมุม 3 องศา ถึง 15 องศา ซึ่งมีการวิเคราะห์ที่ผิดพลาดในช่วงมุมตั้งแต่ -3 องศา ถึง มุม 2 องศา อันเนื่องมาจากช่วงของมุมเอียงนี้มีผลต่างของสัญญาณทางด้านขาออกของอุปกรณ์ตรวจวัดชนิดฮอลล์น้อยกว่าจนระบบไม่สามารถแยกแยะให้ถูกต้องได้ เมื่ออ้างอิงรูปที่ 4.14 แสดงให้เห็นว่าเป็นช่วงเดดแบนของระบบการวัดมุมเอียงของเพลานในแกนตั้งนี้

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์หามุมเอียงของเพลานในแกนตั้ง ของการทดลองเอียงเพลานในแกนตั้งนี้ในระนาบ XY

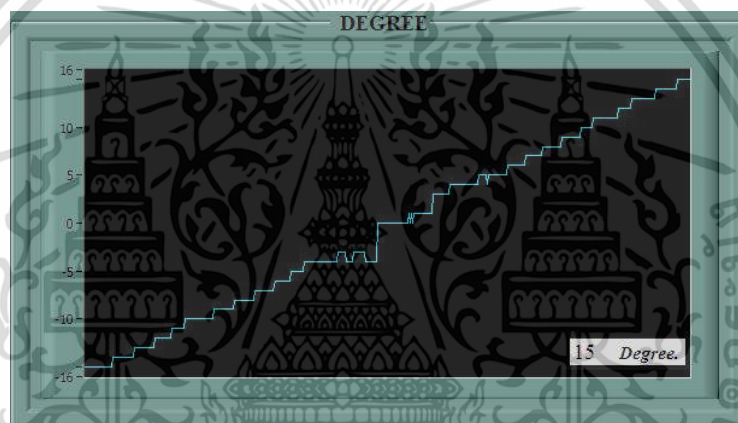
Degree		Degree	
Actual	Readout	Actual	Readout
-15	-15	1	0
-14	-14	2	1
-13	-13	3	3
-12	-12	4	4
-11	-11	5	5
-10	-10	6	6
-9	-9	7	7
-8	-8	8	8
-7	-7	9	9
-6	-6	10	10
-5	-5	11	11
-4	-4	12	12
-3	0	13	13
-2	-3	14	14
-1	0	15	15
0	0		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแสดงผลที่หน้าจอ (Front panel) เพื่อแสดงค่ามุมเอียงของเพลานในแกนตั้ง ณ ขณะเวลานั้น ๆ มี 2 การแสดงผล คือ แสดงผลในรูปแบบของกราฟและแสดงผลในรูปแบบภาพเคลื่อนไหว อีกส่วนของการแสดงผลที่หน้าจอคือระยะการเคลื่อนที่ของปลายด้านบนสุดของแกนเพลาน ที่เคลื่อนออกจากจุดศูนย์กลาง (Off-center) ของขดลวดเสลมโซลทซ์

จากรูปที่ 4.15 โปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้นสามารถทำการแสดงผลในรูปแบบของกราฟิก เพื่อแสดงค่ามุมเอียงของเพลานในแกนตั้ง ณ ขณะเวลานั้น ๆ โดยมีช่วงการแสดงผลตั้งแต่ -16 องศา ถึง 16 องศา ซึ่งเพียงพอกับมุมเอียงของเพลานในแกนตั้งในงานวิจัยฉบับนี้

จากรูปที่ 4.16 โปรแกรมคอมพิวเตอร์แสดงผลชนิดภาพเคลื่อนไหวเพื่อแสดงค่ามุมเอียงของเพลานในแกนตั้ง ณ ขณะเวลานั้น ๆ ซึ่งมีความละเอียดในการเปลี่ยนแปลงรูปภาพเป็น 1 องศา ต่อเฟรม



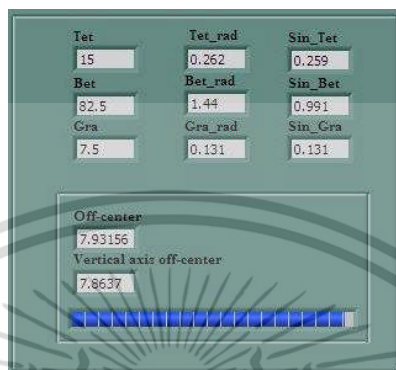
รูปที่ 4.16 แสดงการวัดค่ามุมเอียงของเพลานในแกนตั้งในระนาบ XY แสดงผลด้วยโปรแกรม LabVIEW



รูปที่ 4.17 การแสดงผลการวัดค่ามุมเอียงของเพลานในแกนตั้งในระนาบ XY แบบมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้การเคลื่อนไหวแสดงผลด้วยโปรแกรม LabVIEW ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.17 โปรแกรมคอมพิวเตอร์แสดงผลชนิดกราฟชนิดแท่ง (Bar graph) ตามแนวแกนนอนเพื่อแสดงค่าการเคลื่อนที่ของปลายด้านบนสุดของแกนเพลลา ที่เคลื่อนออกจากจุดศูนย์กลาง ของขดลวดเฮลมโฮลทซ์ ณ ขณะเวลานั้น ๆ โดยใช้หลักการของตรีโกณมิติดังความสัมพันธ์ในหัวข้อที่ 2.3



รูปที่ 4.18 ภาพแสดงการวัดค่ามุมเอียงของเพลลาในแกนตั้งในระนาบ XY แสดงผลด้วยโปรแกรม LabVIEW

ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์หาระยะปลายแกนเพลลาที่เคลื่อนที่ออกห่างจากจุดศูนย์กลางของขดลวดเฮลมโฮลทซ์

Degree	Calculation value			Readout value		
	Sin θ	D	X	Sin θ	D	X
-15	0.258819	7.931559	-7.863703	0.258819	7.931559	-7.863703
-14	0.241922	7.405517	-7.350317	0.241922	7.405517	-7.350317
-13	0.224951	6.878910	-6.834692	0.224951	6.878910	-6.834692
-12	0.207912	6.351780	-6.316984	0.207912	6.351780	-6.316984
-11	0.190809	5.824166	-5.797353	0.190809	5.824166	-5.797353
-10	0.173648	5.296109	-5.275955	0.173648	5.296109	-5.275955
-9	0.156434	4.767648	-4.752951	0.156434	4.767648	-4.752951
-8	0.139173	4.238824	-4.228499	0.139173	4.238824	-4.228499
-7	0.121869	3.709678	-3.702758	0.121869	3.709678	-3.702758
-6	0.104528	3.180248	-3.175890	0.104528	3.180248	-3.175890
-5	0.087156	2.650577	-2.648054	0.087156	2.650577	-2.648054
-4	0.069756	2.120704	-2.119412	0.069756	2.120704	-2.119412
-3	0.052336	1.590669	-1.590124	0.052336	1.590669	-1.590124
-2	0.034899	1.060514	-1.060352	0.034899	1.060514	-1.060352
-1	0.017452	0.530277	-0.530257	0.017452	0.530277	-0.530257
0	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทาง

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 (ต่อ) การวิเคราะห์หาระยะปลายแกนเพลลาที่เคลื่อนที่ออกห่างจากจุดศูนย์กลางของ
ขดลวด เฮลมโฮลทซ์

Degree	Calculation value			Readout value		
	Sin θ	D	X	Sin θ	D	X
1	0.017452	0.530277	0.530257	0.017452	0.530277	0.530257
2	0.034899	1.060514	1.060352	0.034899	1.060514	1.060352
3	0.052336	1.590669	1.590124	0.052336	1.590669	1.590124
4	0.069756	2.120704	2.119412	0.069756	2.120704	2.119412
5	0.087156	2.650577	2.648054	0.087156	2.650577	2.648054
6	0.104528	3.180248	3.175890	0.104528	3.180248	3.175890
7	0.121869	3.709678	3.702758	0.121869	3.709678	3.702758
8	0.139173	4.238824	4.228499	0.139173	4.238824	4.228499
9	0.156434	4.767648	4.752951	0.156434	4.767648	4.752951
10	0.173648	5.296109	5.275955	0.173648	5.296109	5.275955
11	0.190809	5.824166	5.797353	0.190809	5.824166	5.797353
12	0.207912	6.351780	6.316984	0.207912	6.351780	6.316984
13	0.224951	6.878910	6.834692	0.224951	6.878910	6.834692
14	0.241922	7.405517	7.350317	0.241922	7.405517	7.350317
15	0.258819	7.931559	7.863703	0.258819	7.931559	7.863703

การวิเคราะห์คุณสมบัติค่าความไม่แน่นอนของการวัดมุมเอียงของเพลลาในแกนตั้ง ใช้การวิเคราะห์ทางสถิติโดยผลลัพธ์ที่ได้มีค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ มีสมการคำนวณแสดงดังหัวข้อ 2.4 โดยนำผลการวิเคราะห์มุมเอียงของเพลลาในแกนตั้งที่ได้จากการทดลอง 10 ครั้ง นำมาเป็นการวิเคราะห์ทางสถิติของคุณสมบัติค่าความไม่แน่นอนของการวัดมุมเอียงของเพลลาในแกนตั้งแสดงดังตารางที่ 4.5 จากการวิเคราะห์พบว่าความไม่แน่นอนของการวัดมุมเอียงของเพลลาในแกนตั้งมีค่ามากที่สุดที่มุม -3 องศา มีค่าเท่ากับ ± 0.3786

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติ ของการทดลองเอียงเพลลาในแกนตั้งในระนาบ XY

Actual degree	Readout degree										Characteristic		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVG	STD	Uc
-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15.0	0.0000	0.0000
-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14.0	0.0000	0.0000
-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13.0	0.0000	0.0000
-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12.0	0.0000	0.0000

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อาจเผยแพร่ให้คนอื่นได้โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการทดลองเชิงเพลาในแกนตั้งใน

ระนาบ XY

Actual degree	Readout degree										Characteristic		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVG	STD	Uc
-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11.0	0.0000	0.0000
-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10.0	0.0000	0.0000
-9	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-9.0	0.0000	0.0000
-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8.0	0.0000	0.0000
-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7.0	0.0000	0.0000
-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6.0	0.0000	0.0000
-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5.0	0.0000	0.0000
-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4.0	0.0000	0.0000
-3	-3	-4	-3	-4	0	-3	-3	-4	-4	-3	-3.1	1.1972	0.3786
-2	0	-2	-4	-3	-3	-3	-3	-4	-3	-3	-2.8	1.1353	0.3590
-1	-3	-3	-4	-3	0	-3	-3	-3	-4	-3	-2.9	1.1005	0.3480
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0000	0.0000
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0000	0.0000
2	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0.8	0.4216	0.1333
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3.0	0.0000	0.0000
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4.0	0.0000	0.0000
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5.0	0.0000	0.0000
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6.0	0.0000	0.0000
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7.0	0.0000	0.0000
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8.0	0.0000	0.0000
9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9.0	0.0000	0.0000
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10.0	0.0000	0.0000
11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11.0	0.0000	0.0000
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12.0	0.0000	0.0000
13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13.0	0.0000	0.0000
14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14.0	0.0000	0.0000
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15.0	0.0000	0.0000

4.3 วิจารณ์ผลการทดลอง

ผลการทดสอบอุปกรณ์และวิจารณ์ผลการทดลองในส่วนของการทดสอบอุปกรณ์นั้น ประกอบไปด้วย

วงจรจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระแสคงที่ ผลการทดสอบพบว่าอุปกรณ์สามารถใช้งานได้ดี กล่าวคือ สามารถควบคุมกระแสไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ระบบจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ระบบระบายความร้อน เช่น การติดตั้งฮีทซิงค์ และพัดลม ระบายความร้อน

การทดสอบบอร์ดเก็บข้อมูลในรูปแบบของสัญญาณดิจิทัลทำโดยวิธีการทดสอบแบบ 5 จุด ผลการทดสอบพบว่า พบว่าที่ค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่น 95เปอร์เซ็นต์ นั้นยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง ความคลาดเคลื่อนนี้อาจเกิดได้จากการจัดการสัญญาณรบกวนยังไม่ดีพอ

การทดสอบขดลวดเฮลมโฮลทซ์ เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ถูกสร้างขึ้นใหม่ พบว่าการพันขดลวดยังไม่เป็นระเบียบนักทำให้มีความหนาที่ไม่เท่ากันตลอดทั้งวงรอบ อาจมีผลต่อค่าคำนวณเนื่องด้วยความหนาของขดลวดเชื่อมโยงไปถึงระยะรัศมีของขดลวดเฮลมโฮลทซ์ และเมื่อทำการทดสอบหาค่าสนามแม่เหล็กที่จุดศูนย์กลางนั้น เครื่องมือที่ใช้ในการวัดอ้างอิงนั้นมีความละเอียดน้อยกว่าความเข้มสนามแม่เหล็กที่คำนวณได้ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวัดได้ เมื่อทำการทดลองใช้งานระบบในการวัดมุมเอียงของเพลานแกนตั้งทำให้พบว่าโปรแกรม LabVIEW มีอัตราเร็วในการตอบสนองทางด้านกราฟิกต่ำ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอหลักการในการประยุกต์ใช้ทฤษฎีของตรีโกณมิติร่วมกับทฤษฎีของสนามแม่เหล็ก เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์หามุมเอียงของเพลาในแกนตั้ง ซึ่งถูกติดตั้งไว้ในบริเวณสนามแม่เหล็กสร้างขึ้นจากขดลวดเฮลมโฮลทซ์ มีสมบัติ คือ ที่จุดศูนย์กลางของขดลวดเฮลมโฮลทซ์มีความเข้มของสนามแม่เหล็กมากที่สุดและความเข้มสนามแม่เหล็กมีค่าลดลงตามระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของขดลวดเฮลมโฮลทซ์ จากความสัมพันธ์นี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการหามุมเอียงได้ กล่าวคือ เมื่อมีการเอนเอียงของแกนเพลา เมื่อวิเคราะห์หาค่ามุมเอียงได้แล้วสามารถให้หลักการทางตรีโกณมิติคำนวณหาระยะห่างระหว่างปลายด้านบนสุดของเพลาในแกนตั้งกับจุดศูนย์กลางของขดลวดเฮลมโฮลทซ์

จากการทดลองพบว่าเครื่องมือสามารถแยกแยะมุมเอียงได้ที่ความละเอียด 1 องศา โดยมีช่วงของการวัดอยู่ที่ -15 องศา ถึง -4 องศา และ 3 องศา ถึง 15 องศา ส่วนในช่วงที่ไม่สามารถแยกแยะมุมเอียงได้เนื่องจากผลต่างของแรงดันทางด้านขาออกของอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์ของแต่ละมุมเอียงในช่วงนี้มีค่าน้อยมากจนระบบไม่สามารถแยกแยะได้

ในการเพิ่มประสิทธิภาพทางด้านความถูกต้องของระบบการวัด โดยการชดเชยค่าความผิดพลาดอันเนื่องมาจากอุณหภูมิแวดล้อมทำได้โดยชดเชยค่าแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตของอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์ โดยอ้างอิงจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ของความไวของอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์กับอุณหภูมิแวดล้อม (Device sensitivity VS Ambient temperature) และกราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตของอุปกรณ์ตรวจรู้ชนิดฮอลล์ในสถานะที่ไม่มีสนามแม่เหล็กในระบบกับอุณหภูมิแวดล้อม (Output Voltage VS Ambient temperature)

ในการเพิ่มประสิทธิภาพทางด้านความละเอียดของระบบการวัดทำได้โดยเพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็ก เพื่อให้สัญญาณมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยการเพิ่มจำนวนรอบของขดลวดและใช้วัสดุสารแม่เหล็กเป็นแกนกลางหรือทำการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้แก่ขดลวดมากขึ้นในช่วงที่เส้นลวดสามารถรองรับได้ ส่วนการเพิ่มช่วงในการวัดสามารถทำได้โดยลดความยาวของเพลาเพื่อให้สามารถวัดมุมได้มากขึ้น

ในการเพิ่มประสิทธิภาพทางด้านผลการแสดงผลของระบบการวัดทำได้โดยลดการแสดงผลทางด้านกราฟบางประการลง เพิ่มอัตราการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมให้มากขึ้น หรือปรับเปลี่ยนไปใช้งานการสื่อสารในมาตรฐานอื่นซึ่งมีอัตราในการรับส่งข้อมูลที่มากขึ้น เช่น Universal Serial Bus , IEEE-488.

บรรณานุกรม

- [1] Frazao, O. et. al. 2006. “Optical inclinometer based on single long-period fiber grating combined with a fused taper.”. **Optics Letters**. vol. 31, no. 20 : pp. 2960 – 2962.
- [2] Ramsden, E. 2006. **Hall-Effect Sensor Theory and applications**. Oxford : Elsevier Inc.
- [3] edt.missouri.edu. 2008. “**DESIGN AND CONSTRUCTION OF HELMHOLTZ COIL FOR BIOMAGNETIC STUDIES ON SOYBEAN.**” [Online].
<http://edt.missouri.edu/Summer2008/Thesis/GyawaliS-072108-T11505/research.pdf>
- [4] Ramsden, E. 2006. **Hall-Effect Sensor Theory and applications**. Oxford : Elsevier Inc.
- [5] Netdenizen.Com. 2000. “**Off-Axis Field Due to a Current Loop.**” [Online].
Available : <http://www.netdenizen.com/emagnet/offaxis/iloopoffaxis.htm>.
- [6] Arfken, G. 1985. **Mathematical Methods for Physicists**. Orlando : Academic Press.
- [7] COMSOL 3.2b Release Notes, 2006. “**COMSOL Multiphysics,**”
- [8] นที ทองอ่อน. 2550. การออกแบบตัวตรวจวัดจากหลักการเก็บประจุโดยใช้ความเข้มข้น. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [9] เจริญ เพชรมณี. 2547. **เรียนลัด LabVIEW**. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.
- [10] Fz-juelich.de. “**PC-Based DAQ System.**” [Online].
<http://www.fz-juelich.de/zell/datapool/page/160/DAQ.pdf>
- [11] Thai Embedded. 2008. “**Delta-Sigma ADC เรียนรู้ ADC Architecture แบบต่าง ๆ.**” [Online]. Available : <http://www.thaiembedded.com/blog/?tag=delta-sigma-adc>.
- [12] Leybold Didactic GmbH. “**Helmholtz-Spulenpaar Pair of Helmholtz Coils.**” [Online]. Available : <http://www.leybold-didactic.de>.
- [13] National Semiconductor. “**LM117/LM317A/LM317 datasheet.**” [Online]. Available : www.national.com/ds/LM/LM117.pdf
- [14] Allegro micro system INC. “**A1302 datasheet.**” [Online]. Available : www.allegromicro.com/en/Products/Part_Numbers/.../1301.pdf
- [15] Darryl Holder. 1992. “**Design and construction of helmholtz coil magnetic test.**” U.S.Army missile command.
- [16] PowerStream Technologies. “**AWG Wire Sizes**” [Online]. Available : http://www.powerstream.com/Wire_Size.htm

- [17] Allegro micro system INC. **“A1321EUA datasheet.”** [Online]. Available :
www.allegromicro.com/en/Products/Part_Numbers/.../1321.pdf
- [18] Kelly, S. 2008. **Foundamentals of instrumentation.** New york : Delmar cengage learning.
- [19] National Instruments. **“NI LabView.”** [Online]. Available : <http://www.ni.com/labview/>
- [20] Ndt.net. **“Simulation of magnetic field distribution of excitation coil for EM flow meter and its validation using magnetic camera.”** [Online]. Available :
www.ndt.net/article/wcndt2008/papers/502.pdf



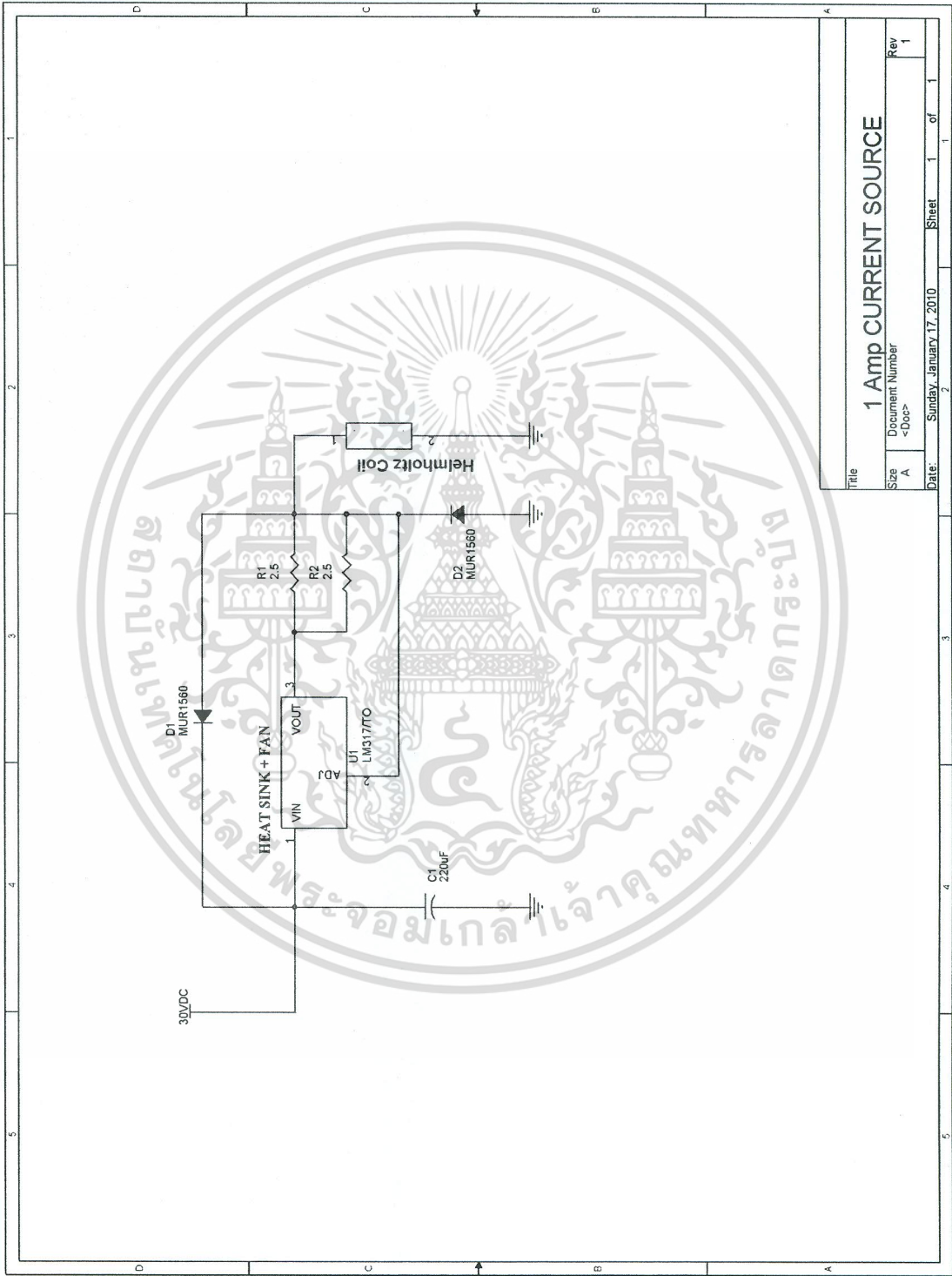
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Title		1 Amp CURRENT SOURCE	
Size	Document Number	Rev	
A	<Doc>	1	
Date:	Sunday, January 17, 2010	Sheet	1 of 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



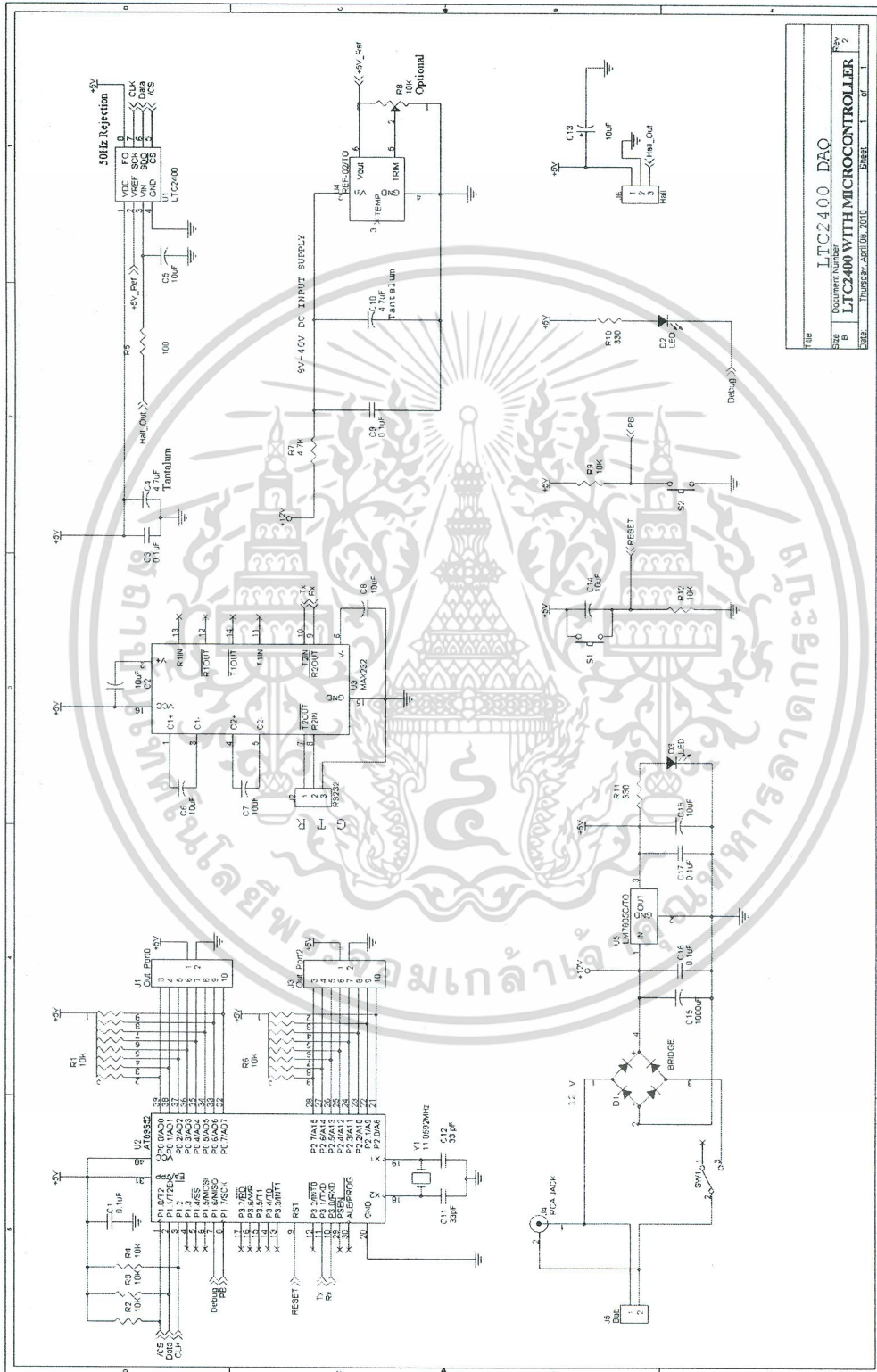
ภาคผนวก ข.

วงจรรบรัดเก็บข้อมูลในรูปแบบของสัญญาณดิจิทัลความละเอียด 12 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

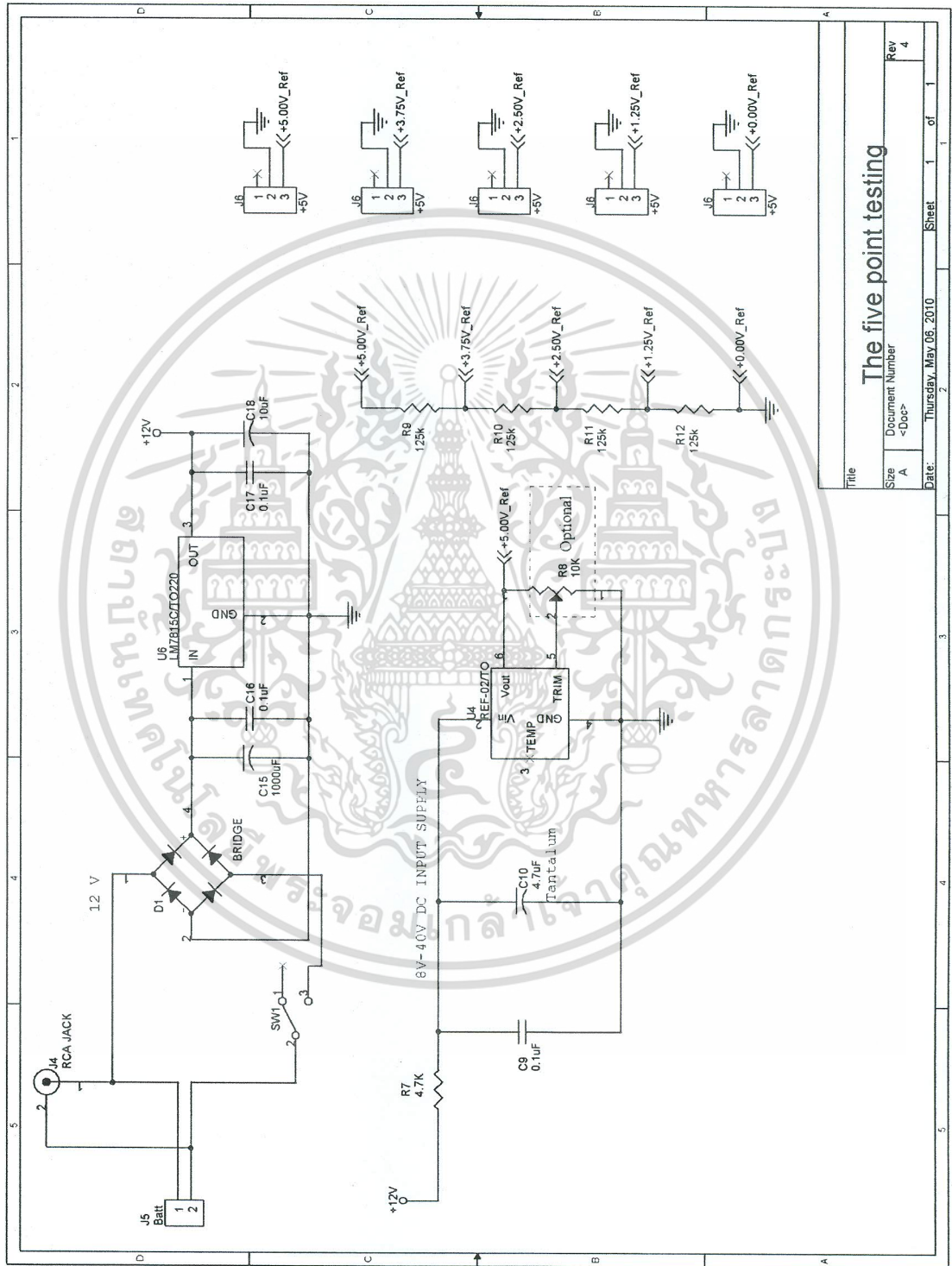


File	ITC2400_DAC		
Documnt Number	LTC2400WITHMICROCONTROLLER		
Size	1	2	2
DATE	199807_09	08_2010	0808

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

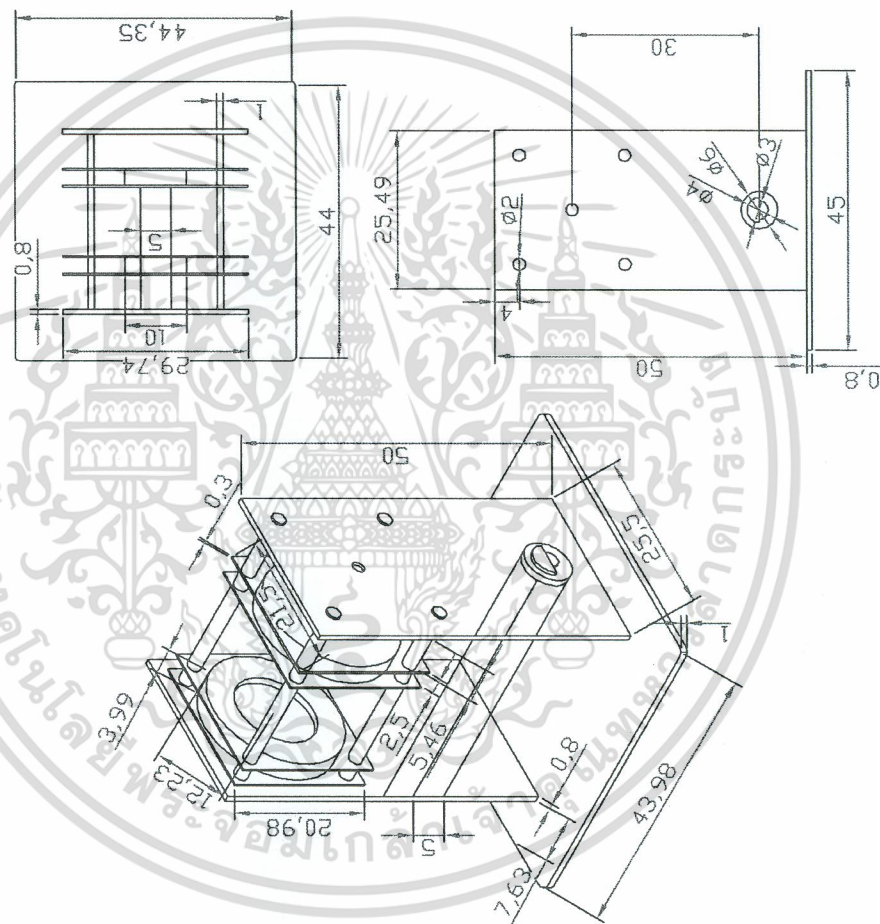


Title		The five point testing	
Size	Document Number	Sheet	1 of 1
A	<Doc>		
Rev	4	Date:	Thursday, May 06, 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ฉ.

โปรแกรมที่ใช้ในบอร์ดเก็บข้อมูลในรูปแบบของสัญญาณดิจิทัลความละเอียด 24 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#include <reg52.h>           // AT89S52 configuration
//#include <intrins.h>       // 1MC Delay time in _nop_ operation
#include <stdio.h>           // RS232 communication
//.....

unsigned long Counter,ADC_DATA,x1,x2,x3,x4,x5,temp = 0;
float Buf_ADC;
//.....

sbit ADC_CS1 = P1^0;        // Pin 5 LTC2400
sbit ADC_SDO = P1^1;        // Pin 6 LTC2400
sbit ADC_SCK = P1^2;        // Pin 7 LTC2400
sbit P1_3 = P1^3;           // Ground state
sbit P1_4 = P1^4;           // Ground state
sbit P1_5 = P1^5;           // Ground state
sbit Debug = P1^6;          // LED debugging program
sbit Swich = P1^7;          // Input switch
//-----

void serinit(void)
{
    TMOD = 0x20;             // Timer1 Mode2(8 bit auto reload) for serial port
    SCON = 0x50;             // Setup for 8 bit data
    TH1 = 0xFD;              // Set 9600 bps Timer1 default
    TF1 = 0;                 // Clear bit over flag Timer1
    TI = 1;                  // Clear bit over flag TX
    TR1 = 1;                 // Start Timer1
}
//-----

void delay(unsigned int x)
{
    unsigned int i,j;
    for (i=0;i<x;i++)
    {
        for (j=0;j<115;j++) { }
    }
}
//-----

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

unsigned long read_ADC1(void)
{
    unsigned char k;
    unsigned long n;
    n = 0;
    ADC_SCK = 0;
    ADC_CS1 = 0;
    delay(100);      //|-100-|| --125--|
    ADC_CS1 = 1;    // _____/-----\_____
    delay(125);     //
    ADC_CS1 = 0;    //-----|ENABLE CHIP
    for(k=0; k<32; k++)
    {
        n<<= 1;
        ADC_SCK = 1;
        n |= ADC_SDO;
        ADC_SCK = 0;
    }
    ADC_CS1 = 1;
    n&=0x1ffffff;   // (A)maskout sign bit 0001 1111 1111 1111 1111 1111 1111 1111
    // n&=0x0ffffff; // (B)maskout sign bit 0000 1111 1111 1111 1111 1111 1111 1111
    n>>=4;         // get 24-bit conversion result
    return n;
}
//-----
unsigned long filter_ADC() // Moving average
{
    x5 = x4;
    x4 = x3;
    x3 = x2;
    x2 = x1;
    x1 = read_ADC1();
    temp = (x1+x2+x3+x4+x5)/5;
    return temp;
}
//-----

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void CHK_Switch()
{
    while(Swich);    // Wait for Low
    delay(300);      // Debouce
    while(~Swich);   // Wait for High
}

void main(void)
{
    P1_3 = 0;
    P1_4 = 0;
    P1_5 = 0;
    CountER,ADC_DATA = 0;
    serinit();       // Serial communication innitial
    delay(1000);     // Delay time 1 Sec
    while(1)
    {
        CHK_Switch();
        // ADC_DATA = read_ADC1();           // Realtime ADC(Inhibit filter function)
        ADC_DATA = filter_ADC();           // Average ADC
        // Buf_ADC = ADC_DATA*2.980232E-7; // VDC Output ((Vref=5V)/(2^24)) = LSB
        Buf_ADC = ADC_DATA*2.983808E-7; // VDC Output ((Vref=5.006V)/(2^24)) = LSB
        Buf_ADC = Buf_ADC+35E-5; // VDC Output = ADC computed + (offset=0.00035v)
        // printf ("%d\n",ADC_DATA); // Raw data print
        printf ("%0.6f\n",Buf_ADC); // ADC float six digit printing
        // delay(200); // 200 mSec delay time
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#include <reg52.h>
#include <intrins.h>
//xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
sbit CS   = P1^0;
sbit CLK  = P1^1;
sbit Data = P1^2;
sbit Swich = P2^0;
//-----
unsigned int x1,x2,x3,x4,x5,x6,x7,x8,x9,x10,x11,x12,x13,x14,x15,x16 = 0;
unsigned int ADC_Data,ADC_Volt,CountER = 0;
unsigned int PrintLCD_Num = 0;
//xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
// function serinit() is initial for use serial communication
//xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
void serinit(void)
{
    TMOD = 0x20; // Timer1 Mode2(8 bit auto reload) for serial port
    SCON = 0x50; // Setup for 8 bit data
    TH1 = 0xFD; // Set 9600 bps Timer1 default
    TF1 = 0; // Clear bit over flag Timer1
    TI = 1; // Clear bit over flag TX
    TR1 = 1; // Start Timer1
}
//xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
// function send_text is same function printf,But it occupied little memory
// Example: send_text ("Enter Number");
//xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
void send_text(unsigned char *text) // Char print
{
    while(*text != 0x00)
    {
        SBUF=*text;
        while(!TI);
        TI = 0;
        text++;
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ


```

for(i=0;i<4;i++)
{
    CLK = 0;
    if(channel&8) Data = 1;
    else Data = 0;
    CLK = 1;
    channel <<=1;
}
Data = 1;
CLK = 0;
for(i=0;i<12;i++)
{
    k<<=1;
    CLK=1;
    CLK=0;
    if(Data) k|=1;
    else k&=~1;
}
CS = 1;
return k&=0xffff;
}
//-----
unsigned int low_pass_filter(void)//Data average
{
    unsigned char i;
    x1=x2=x3=x4=x5=x6=x7=x8=x9=x10=x11=x12=x13=x14=x15=x16=0;// unsigned int variable
    for(i=0;i<16;i++)
    {
        x16=x15;
        x15=x14;
        x14=x13;
        x13=x12;
        x12=x11;
        x11=x10;
        x10=x9;
        x9=x8;
        x8=x7;
        x7=x6;

```

```

        x6=x5;
        x5=x4;
        x4=x3;
        x3=x2;
        x2=x1;
        x1=readADC(1); // readADC in order of unsigned int variable and selected Chanal 1
    }
    return((x1+x2+x3+x4+x5+x6+x7+x8+x9+x10+x11+x12+x13+x14+x15+x16)/16);
}
//-----
unsigned int ADC_Real_Volts(void) // Real voltage computation
{
    unsigned long Long_Data,ADC_Count = 0;
    ADC_Volt = 0;
    ADC_Count = low_pass_filter();
    Long_Data = ADC_Count*5000; // 5000 mV full scale and variable must be same
    ADC_Volt = (Long_Data/4095);
    return ADC_Volt;
}
//-----
unsigned int ADC_Digital_Volts(void)// Digital voltage computation
{
    return (low_pass_filter());
}
//-----
void Print_Index(void) // Counter use for realtime output
{
    unsigned int Buff_COU,COU_Txt1,COU_Txt2 = 0;// Print counter
    unsigned int COU_Txt3,COU_Txt4,COU_Txt5 = 0;// Print counter
    //.....
    Counter++; // Counter_Incremental_Value.
}
//=====

```

```

COU_Txt1 = CounTER/10000 ; // 65535/10000 COU_Txt1 = 6
Buff_COU = CounTER%10000 ; // 65535%10000 Buff_COU = 6535
Send_TXT(COU_Txt1+48);
//-----

COU_Txt2 = Buff_COU/1000; // 5535/1000 COU_Txt2 = 5
Buff_COU = Buff_COU%1000; // 5535/1000 Buff_COU = 535
Send_TXT(COU_Txt2+48);
//-----

COU_Txt3 = Buff_COU/100; // 535/100 COU_Txt3 = 5
Buff_COU = Buff_COU%100; // 535/1000 Buff_COU = 35
Send_TXT(COU_Txt3+48);
//-----

COU_Txt4 = Buff_COU/10; // 35/10 COU_Txt4 = 3
Buff_COU = Buff_COU%10; // 35/10 Buff_COU = 5
Send_TXT(COU_Txt4+48);
//-----

COU_Txt5 = Buff_COU; // COU_Txt4 = 5
Send_TXT(COU_Txt5+48);
//-----

Send_TXT(44); // Send ";"
}
//=====
void Print_Degree(PrintLCD_Num)
{
    if(PrintLCD_Num<=Degree_0) // 0 Degree
        send_text("0 Degree");
    //.....
    if(PrintLCD_Num>Degree_0) // 1 Degree
    {
        if(PrintLCD_Num<=Degree_1)
            send_text("1 Degree");
    }
    //.....
    if(PrintLCD_Num>Degree_1) // 2 Degree
    {
        if(PrintLCD_Num<=Degree_2)
            send_text("2 Degree");
    }
}

```

```

//.....
if(PrintLCD_Num>Degree_2)      // 3 Degree
{
    if(PrintLCD_Num<=Degree_3)
        send_text("3 Degree");
}
//.....
if(PrintLCD_Num>Degree_3)      // 4 Degree
{
    if(PrintLCD_Num<=Degree_4)
        send_text("4 Degree");
}
//.....
if(PrintLCD_Num>Degree_4)      // 5 Degree
{
    if(PrintLCD_Num<=Degree_5)
        send_text("5 Degree");
}
//.....
if(PrintLCD_Num>Degree_5)      // 6 Degree
{
    if(PrintLCD_Num<=Degree_6)
        send_text("6 Degree");
}
//.....
if(PrintLCD_Num>Degree_6)      // 7 Degree
{
    if(PrintLCD_Num<=Degree_7)
        send_text("7 Degree");
}
//.....
if(PrintLCD_Num>Degree_7)      // 8 Degree
{
    if(PrintLCD_Num<=Degree_8)
        send_text("8 Degree");
}
//.....
if(PrintLCD_Num>Degree_8)      // 9 Degree

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดาวน์โหลดเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    {
        if(PrintLCD_Num<=Degree_9)
            send_text("9 Degree");
    }
    //.....

    if(PrintLCD_Num>Degree_9)        // 10 Degree
        send_text("10 Degree");
    //.....

    Send_TXT(44);                    // Send ","
}

//=====
void Print_RS232(PrintLCD_Num)
{
    unsigned int Buff_LCD,LCD_Txt1,LCD_Txt2 = 0;// ADC value convertor
    unsigned int LCD_Txt3,LCD_Txt4,LCD_Txt5 = 0;// ADC value convertor
    //=====
    // Print_Degree(PrintLCD_Num);    // Function for degree index
    LCD_Txt1 = PrintLCD_Num/10000;    // 65535/10000 LCD_Txt1 = 6
    Buff_LCD = PrintLCD_Num%10000;    // 65535%10000 Buff_LCD = 6535
    Send_TXT(LCD_Txt1+48);            // ASCII = 6
    //-----
    LCD_Txt2 = Buff_LCD/1000;         // 535/1000 LCD_Txt2 = 5
    Buff_LCD = Buff_LCD%1000;         // 535/1000 Buff_LCD = 535
    Send_TXT(LCD_Txt2+48);            // ASCII = 5
    //-----
    LCD_Txt3 = Buff_LCD/100;          // 535/100 LCD_Txt3 = 5
    Buff_LCD = Buff_LCD%100;          // 535/1000 Buff_LCD = 35
    Send_TXT(LCD_Txt3+48);            // ASCII = 5
    //-----
    LCD_Txt4 = Buff_LCD/10;           // 35/10 LCD_Txt4 = 3
    Buff_LCD = Buff_LCD%10;           // 35/10 Buff_LCD = 5
    Send_TXT(LCD_Txt4+48);            // ASCII = 3
    //-----
    LCD_Txt5 = Buff_LCD;              // LCD_Txt4 = 5
    Send_TXT(LCD_Txt5+48);            // ASCII = 5
    //-----
    new_line();                        // New Line For Next Value
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//-----
Switch_CHK(void)
{
    bit SW = 0;
    if(Swich==0)          // Switch puched
    {
        delay(50);        // Debounce
        while(Swich==0); // Wait for abandon Switch
        SW = 1;
    }
    else
    {
        SW = 0;
    }
    return SW;           // Return SW Flag
}
//xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
void main(void)
{
    CounTER = 0;
    serinit();
    delay(5000);        // Delay time 5 Sec
    while(1)
    {
        while(Switch_CHK()) // Puch botton switch
        // ADC_Digital_Volts(); // Counter index
        Print_RS232(ADC_Digital_Volts()); // Digita voltage ouput
        // Print_RS232(ADC_Real_Volts()); // Real voltage output
    }
}

```

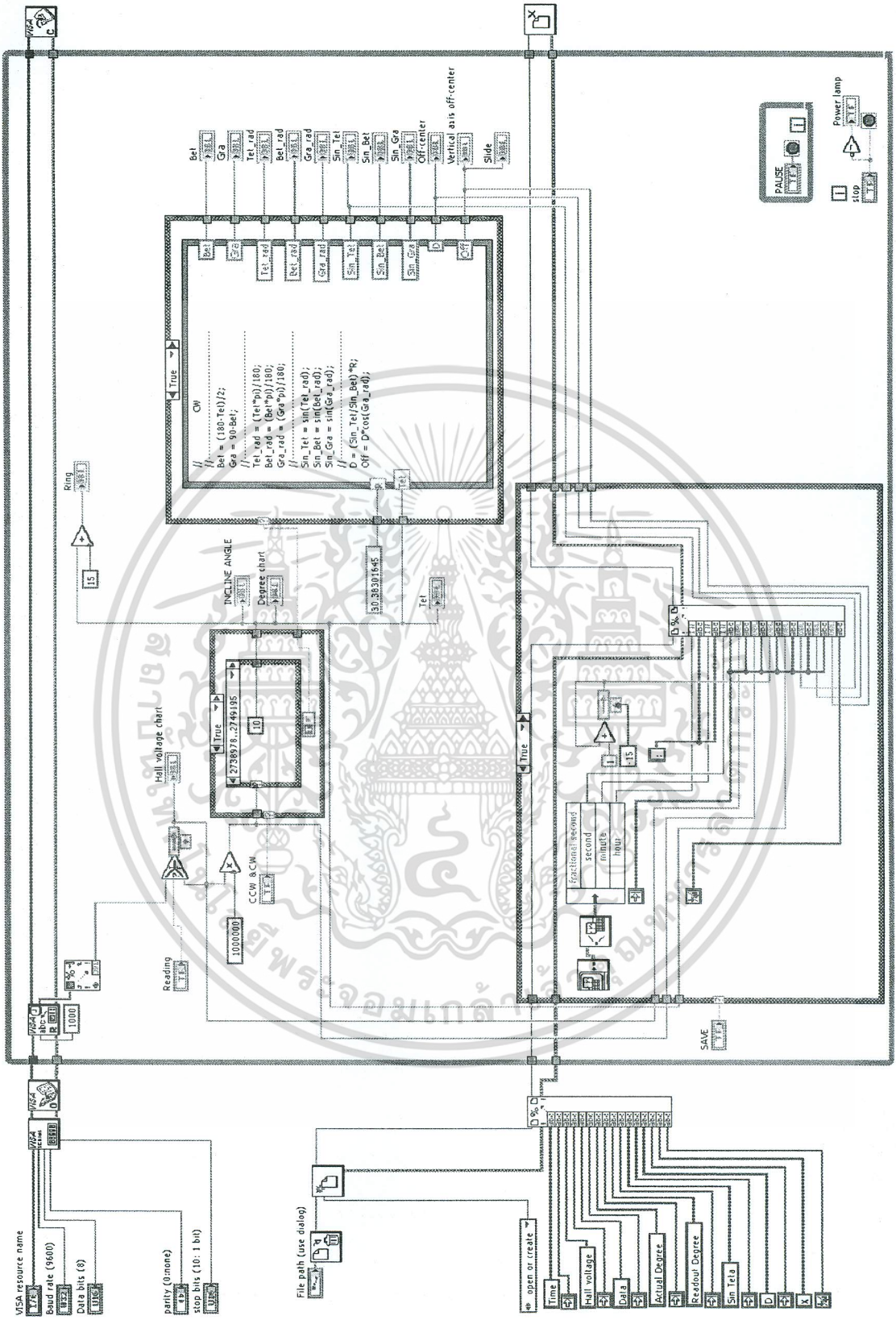
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



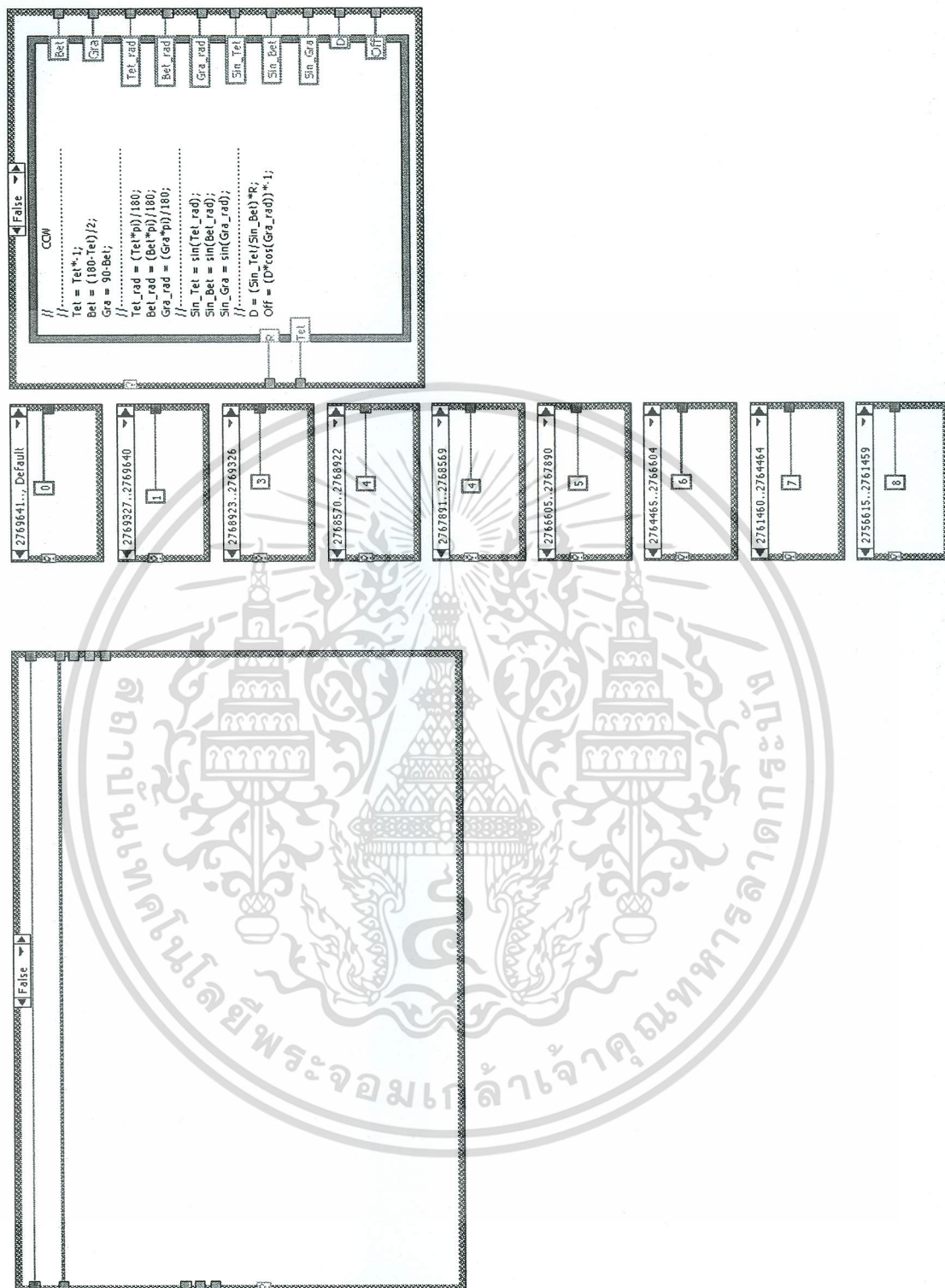
ภาคผนวก ซ.

โปรแกรม LabVIEW ที่ใช้งานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ฉ.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. Lerdlekha Tanachaikhan, Narin Tammarugwattana, Witsarut Sriratana and Panupon Klongratog, "Declined Angle Analysis of Shaft using Magnetic Field Measurement," ICROS-SICE International Joint Conference 2009, August 18-21, 2009, Fukuoka International Congress Center, Japan

ICCAS-SICE 2009

ICROS-SICE International Joint Conference 2009

<http://www.sice.or.jp/ICCAS-SICE2009/>

Fukuoka International Congress Center

2-1 Sekijo-machi, Hakata-ku, Fukuoka City, 812-0032, Japan

Phone: +81-92-262-4111 Fax: +81-92-262-4701

August 18-21, 2009

Final Program and Papers

Click to Open
ICCAS-SICE 2009 Final Program and Papers

Organized by

The Society of Instrument and Control Engineers (SICE)
 The Institute of Control, Robotics and Systems (ICROS)

Supported by

Fukuoka City

Technically Co-Sponsored by

IEEE Industrial Electronics Society
 IEEE Robotics and Automation Society
 IEEE Control Systems Society
 The International Society of Automation (ISA)

In Association with

Asian Control Association (ACA)
 China Instrument and Control Society (CIS)
 Chinese Association of Automation (CAA)
 Chinese Automatic Control Society (CACSS)
 International Measurement Confederation (IMEKO)
 IEEE Japan Council
 IFAC NMO-Japan
 The Institute of Electrical Engineers of Japan



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time: 13:15-14:55

Chair: Shigeru Ando (The University of Tokyo), Kenbu Teramoto (Saga University)

Place: Room 18

13:15-13:35

2B18-1

Robust Color Tracking based on Mean-shift under Illuminance Change

*Koichi Hidaka (Tokyo Denki University)

In this paper, we propose a color tracking method mean-shift based on the robust color system. Our proposed color system is simple calculation, and then proposed system can calculate faster than conventional normalized vector distance (NVD). We show validity of proposed method by experimental result that our method enables real-time color object tracking of illuminance changing conditions.

13:35-13:55

2B18-2

Evaporative Estimation Using Multiple Regression

Prapas Roengruen (King Mongkut's Institute of Technology),
*Watsamon Nakarin (King Mongkut's Institute of Technology),
Arjin Numsomran (King Mongkut's Institute of Technology),
Vittaya Tipsuwanporn (King Mongkut's Institute of Technology)

This paper present evaporative estimation of water using multiple regressions technique. It is difficulty to direct measure evaporative rate. In this paper will seek for water evaporation equation that provides to estimate evaporation using meteorology data. The equation that will be used to analysis these data is received from statistic method where called multiple regression. The used data in this paper obtain from Thai Meteorological Department which collects daily data from environment with various sensors. The result from this process will be value of daily evaporation and this result provided to comparing with the evaporative value of pan evaporation.

13:55-14:15

2B18-3

A Simple and Valuable Method for Detecting Levels of Interface of Oil-water and Oil Layer

*Guirong Lu (Jiangsu Polytechnic University), Hao Hu (Jiangsu Polytechnic University),
Suolin Duan (Jiangsu Polytechnic University), Hongyuan Wang (Jiangsu Polytechnic University)

A new method for monitoring two levels of interface of oil-water and oil layer in single tank is proposed. A sensor with a simple structure from parallel-plate capacitor has been developed. One electrode of the sensor has been divided into two parts from diagonal line by a small crack. According to relationships between the capacitances measured from electrodes and the two levels, formulas for estimating the two levels have been derived and tested. The experimental results indicate that responses of the designed sensor are very satisfactory. Therefore, this is a simple and useful method.

14:15-14:35

2B18-4

State Estimation in the Case of Loss of Observations

*Naeem Khan (University of Leicester),
D-W Gu (University of Leicester)

Loss of information is a common problem in control and communication systems. Kalman filter is a versatile tool for state estimation, but would it still produce accurate estimation in such a case? In this paper we investigate this situation and propose several approaches to compensate the loss of information in employing Kalman filter to estimate the state of a system. Minimum error variance for these approaches is derived from the basic structure of the classical Kalman filter. Necessary discussion for all approaches regarding their applications and drawbacks are stated. Optimal Kalman Gain matrix for these approaches is calculated. Selection criterion for the approaches are also presented.

14:35-14:55

2B18-5

Declined Angle Analysis of Shaft using Magnetic Field Measurement

*Lerdlekha Tanachaikhan (Ramkhamhaeng University), Narin Tammarugwattana (KMITL),
Witsarut Sriratana (King Mongkuts Institute of Technology Ladkrabang),
Panupon Klongratog (King Mongkuts Institute of Technology Ladkrabang)

This paper presents the method to develop sensor for measuring shaft rotation and angular decline based on trigonometric and Pythagoras method. Magnetic flux density on the direction of constant magnetic field was measured using Helmholtz Coil as a magnetic field generator and using Hall Generator No. A1302 as a sensor. The resolution of shaft rotation was 1 degree per step and the range of shaft decline was varied from 4 to 10 degree away from the origin which was normal to ground level. Angle declining from the origin which is normal to magnetic field can be determined by measuring the relationships between Hall voltage and magnetic filed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Declined Angle Analysis of Shaft using Magnetic Field Measurement

Lerdlekha Tanachaikhan¹, Narin Tammarugwattana², Witsarut Sriratana² and Panupon Klongratog²

¹Faculty of Engineering, Ramkhamhaeng University, Huamark, Bangkok 10240, Thailand
(Tel : 66-2-310-8570, Fax: 66-2-314-3783; E-mail: lerdlekha@ru.ac.th)

²Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand
(Tel : 66-2-739-2407 ext.125, Fax: 66-2-739-2406; E-mail: kswitsar@kmitl.ac.th)

Abstract: This paper presents the method to develop sensor for measuring shaft rotation and angular decline based on trigonometric and Pythagoras method. Magnetic flux density on the direction of constant magnetic field was measured using Helmholtz Coil as a magnetic field generator and using Hall Generator No. A1302 as a sensor. The resolution of shaft rotation was 1 degree per step and the range of shaft decline was varied from 4 to 10 degree away from the origin which was normal to ground level. Angle declining from the origin which is normal to magnetic field can be determined by measuring the relationships between Hall voltage and magnetic field. If the shaft which was fixed on Hall Generator was rotated and not perpendicular to magnetic field, the Hall voltage was varied and the results was then transferred to computer to evaluate the angular decline of shaft. It can be indicated that the voltage varies sinusoidally while increasing the decline angle. Despite low costs of system, the method presented in this study was developed with consideration of effectiveness and reliability. Moreover, the method can be applied in machine alignment as well as in detection of building structure declination.

Keywords: Angular decline, Helmholtz Coil, Hall Generator, Hall voltage, Shaft.

1. INTRODUCTION

Angle of shaft decline is significant for machine alignment which could be required for machines exhibiting vibration during operation or floor settlement to enhance the effectiveness of industrial process. The method to evaluate the angular decline is also applicable in estimation of settlement of building structure which can be caused by, for instance, earthquake for safety purposes as well as in building construction. Among several methods which can be adopted to measure the angular decline, Hall Effect was chosen as a sensor in a study presented in this paper. Details are given as follows.

2. FUNDAMENTAL METHOD

The magnetic field (B) can be measured from Lorentz force (F) of magnetic field which is a function of electron charge (q) and angular position (θ) as given in Eq.(1):

$$F = qvB\cos\theta \quad (1)$$

where v is the velocity of the charge due to magnetic field

Hall voltage (V_H) is fabricated from semiconductor namely P-type and N-type which is therefore dependent on magnetic field as shown in Eq. (2) and (3):

$$V_H = \frac{I_X B_Z}{qpd} \quad (2)$$

$$V_H = -\frac{I_X B_Z}{qnd} \quad (3)$$

where I_X is the current flow through Hall generator on X-axis (A)

B_Z is the density of magnetic field on Z-axis (Tesla)

d is the thickness of Hall generator (mm)

p is the number of holes

n is the number of electrons

3. SYSTEM DESIGN

The system consists of two Helmholtz coils [1] with 6.8 cm of radius which were serially wired by 400 turns of copper cable (0.8128 mm of diameter). These coils were mounted in parallel with 6.8 m of distance (equal to coil radius) for generating of magnetic field as illustrated in Figure 1. This system was used to stimulate Hall Generator-type sensor which was placed between two Helmholtz Coils as shown in Figure 2. Magnetic field generated at the center of Helmholtz Coil was found to be stable. Also, the direction of magnetic flux was distributed from the center of coil. The relationships of current supplied constantly to Helmholtz Coil and density of magnetic field can be expressed as in Eq.(4):

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

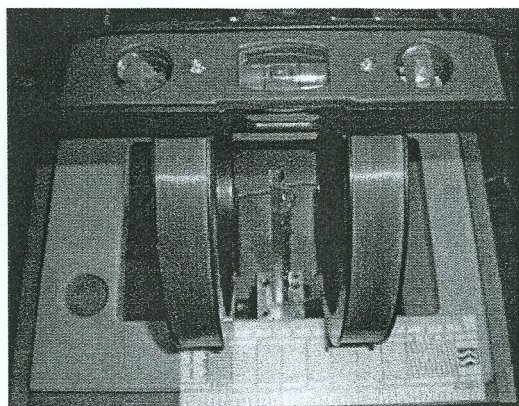


Fig. 1 Electromagnetic field generator

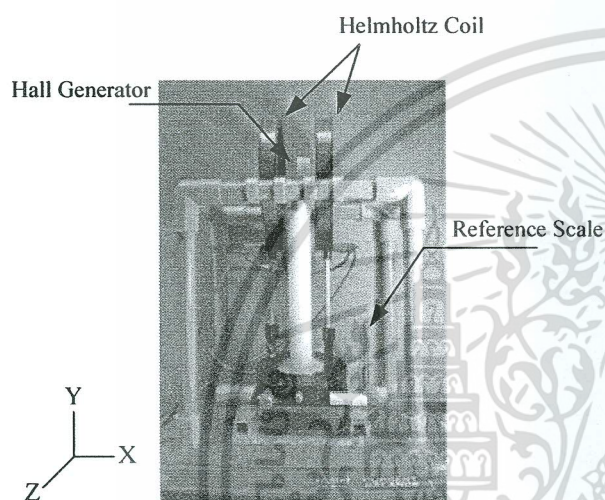


Fig. 2 Installation of Helmholtz Coil for stimulating Hall Generator

$$B = \frac{\mu_0 NI}{r \left(\frac{5}{4} \right)^2} \quad (4)$$

where μ_0 is the magnetic permissibility (Weber per Amp-meter)

N is the number of turns of each sub-coil

I is the current supplied to Helmholtz coil (A)

r is the coil radius or distance between Helmholtz coils (m)

4. EXPERIMENTAL ANALYSIS

The experiment was first varied the angular position of shaft by 1 degree interval of decline ranging from 0 to 10 degree. The origin was at the position of Hall Generator normal to ground and magnetic field as shown in Figure 3. For each degree of decline, the shaft was full-round rotated (360 degree) with the resolution of 1 degree per step and then compared to the values measured by the angular detector as illustrated in Figure 4. Graph of output voltage from the system developed

as a function of angular variation on Z-axis is shown in Figure 5.

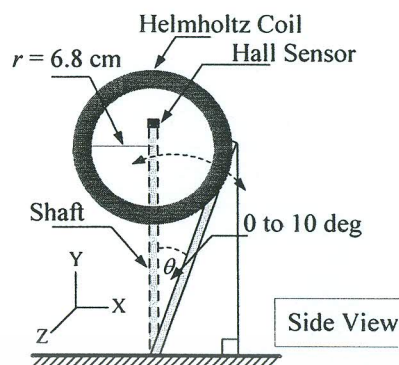


Fig. 3 Side view of shaft decline and system developed

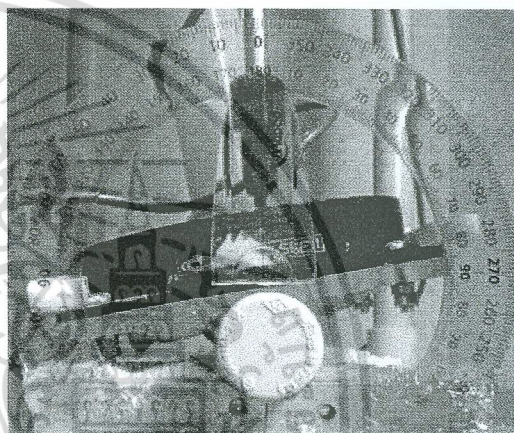


Fig. 4 Installation of angular detector

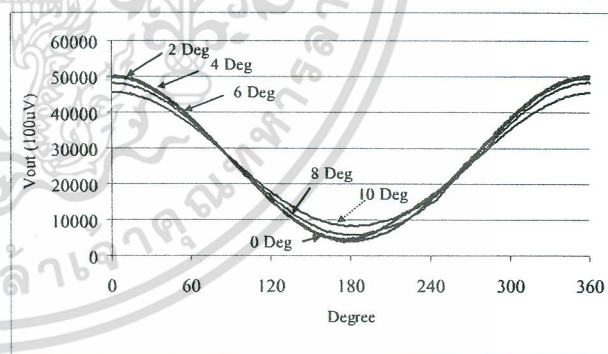


Fig. 5 Output voltage as a function of shaft decline on Z-axis

Output voltage from Hall Effect and Instrument Amplifier which is dependent on the shaft decline ranging from 0 to 10 degree with the resolution of 1 degree per step and no movement of shaft position on Z-axis is shown in Figure 6 and Table 1. It can be observed that the center of Helmholtz Coil exhibits the maximum density of magnetic field that contributes to high variation of current flow through Hall Generator and increase of output voltage from Hall effect. Therefore, output voltage from Hall Effect is influenced by magnetic field density generated by Helmholtz Coil.

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

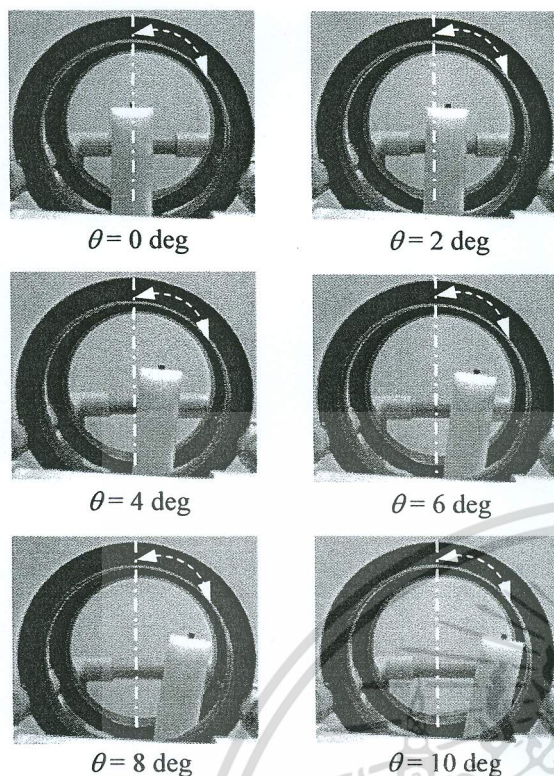


Fig. 6 Shaft decline at each step

Table 1 Output voltage as a function of angular position of shaft

Degree	Analog Output (Volt)	
	Hall Sensor	Instrument Amp
0	2.561	4.980
1	2.561	4.980
2	2.561	4.970
3	2.561	4.970
4	2.561	4.960
5	2.560	4.940
6	2.559	4.910
7	2.558	4.860
8	2.556	4.780
9	2.554	4.670
10	2.551	4.530

From Table 1, analog output voltage from instrument amplifier for every 1 degree increment was used as analog input signal for digital converter model MCP3202 and then converted from analog signal to digital signal for processing in Microcontroller (AT89S52). The relationships of angular decline and digital output are given in table 2.

Table 2 Relationships of output voltage and digital signal as a function of angular displacement

Degree	Digital Output (12Bit)						
	1	2	3	4	5	Min	Max
0	4093	4094	4093	4092	4092	4092	4094
1	4094	4093	4092	4093	4094	4092	4094
2	4086	4085	4089	4085	4084	4084	4089
3	4081	4079	4082	4080	4084	4079	4084
4	4078	4078	4076	4074	4076	4074	4078
5	4052	4055	4053	4061	4056	4052	4061
6	4036	4031	4041	4037	4037	4031	4041
7	3995	3995	3994	3993	3993	3993	3995
8	3921	3921	3920	3922	3926	3920	3926
9	3845	3841	3844	3847	3841	3841	3847
10	3724	3719	3723	3724	3723	3719	3724

From Table 2, the repeatability of system developed was evaluated from 5 values of results measured repeatedly from the same input. Angle (θ) due to shaft decline on X-axis can be estimated from Eq.(5) and is demonstrated in Figure 7.

$$d = L \cos(\theta_0^\circ - \theta) \quad (5)$$

where d is the off-center distance of Y-axis on X-axis
 L is the shaft length
 θ is the decline angle from Y-axis

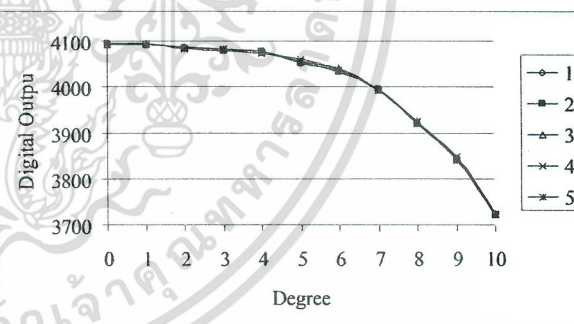


Fig. 7 Digital output as a function of angular displacement

5. CONCLUSION

The system developed for measuring the angular displacement of shaft is presented in this paper. Electric voltage varied by the current flow through Hall Generator which is dependent on the density of magnetic field as a function of angular displacement was analyzed. Shaft rotation on Z-axis was divided into 4 ranges: 0 to 90 degree (Range 1), 90 to 180 degree (Range 2), 180 to 270 degree (Range 3), and 270 to 360 degree (Range 4). For Range 1, it can be observed that the voltage reaches the maximum at 0 degree and slightly decreases when the decline angle of shaft increases. For Range 2 and Range 3, the voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายได้โดยไม่ได้รับอนุญาต การคัดลอกหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจะถือว่าผิดกฎหมาย
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

similarly reaches the maximum at 10 degree and gradually decreases when the decline angle of shaft increases. The voltage variation of Range 4 is similar to that of Range 1. The maximum voltage is at 0 degree and slightly decreases when the decline angle of shaft increases. However, the output voltage in all considered ranges was found to be sinusoidally varied with the maximum at 0 degree and gradual decrease if the shaft is more declined.

REFERENCES

- [1] Edward Ramsden, W “Hall-Effect Sensor Theory and applications” *Elsevier, Burlington MA 01803, USA*, pp.195-196, 2006.
- [2] C.S. Rangan, G.R. Sarma, V.S.V. Mani, “Instrumentation devices and system”, *Tata McGraw Hill, New Delhi*, 1989.
- [3] Harry N. Norton, “Sensor and Analyzer Handbook”, *Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ 07632, USA*, 1982.
- [4] Jame W. Dally, William F. Riley, Kenneth G. McConnell, “Instrumentation for Engineering Measurement”, *John Wiley & Sons, Inc.*, 1993.
- [5] Richard S. Figliola, Donald E. Beasley, “Theory and design for mechanical measurements”, *John Wiley*, New York, 1991.
- [6] Richard S. Muller and Theodore I. Kamins, “Device electronics for integrated circuit” *John Wiley & Sons*, Singapore, pp.42-45, 1986.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายภาณุพล โขลกกระโทก เกิดเมื่อวันที่ 4 พฤศจิกายน พ.ศ.2525 ที่จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ จากภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2549 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการวัดคุม ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2549 โดยในปี พ.ศ. 2550 ได้เข้าทำงานในตำแหน่งวิศวกรบริการ บริษัทบลูสเท็ค อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี และในปีพ.ศ. 2551 ได้เข้าทำงานในตำแหน่งผู้ช่วยนักวิจัย ประจำห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องมือทางการแพทย์และสิ่งแวดล้อม (Medical and Environmental Equipment Research Laboratory) ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้