

เครื่องวัดสนามแม่เหล็กแบบดิจิตอล



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

ร.พ.  
ก 152 ค  
0547

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่สู่สาธารณะ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ เว้นแต่ได้รับอนุญาตจากเจ้าพนักงานที่เกี่ยวข้อง

เลขหมู่.....

58694

เลขทะเบียน.....

วัน,เดือน,ปี 31 ส.ค 2549

11208.ค.๕๘  
๖.....  
๑.....

# Digital Gauss Meter



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of

Bachelor of Science

Department of Applied Physics

Faculty of Science King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**โครงการพิเศษเรื่อง** เครื่องวัดสนามแม่เหล็กแบบดิจิตอล  
**นักศึกษา** นายกรกฎ ชัยสงคราม  
 นายเกษมสันต์ จันดีวงศ์  
**ภาควิชา** ฟิสิกส์ประยุกต์  
**สาขาวิชา** ฟิสิกส์ประยุกต์ - เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม  
**อาจารย์ที่ปรึกษา** รศ.ดร. จิตี หนูแก้ว  
**อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม** อ.เบญจพล ตันอู๋  
 อ.ทุติยาภรณ์ ทิววงศ์

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า  
 เจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้รับโครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
 ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	ผศ.วิชาญ เตชิตธีระ
กรรมการ	ผศ.วิชญ์ เพชรภา
กรรมการ	อ. สุรชาติ กมลดีดก
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. จิตี หนูแก้ว
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อ.เบญจพล ตันอู๋ อ.ทุติยาภรณ์ ทิววงศ์

(รองศาสตราจารย์ วิชาญ เตชิตธีระ)  
 หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	เครื่องวัดสนามแม่เหล็กแบบดิจิตอล
นักศึกษา	นายกรกฎ ชัยสงคราม นายเกษมสันต์ จันดีะวงศ์
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
ปีการศึกษา	2547
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์ - เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. จิติ หนูแก้ว
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อ.เบญจพล ตันธุ์

โครงการพิเศษนี้ ได้ทำการศึกษาและสร้างเครื่องมือวัดสนามแม่เหล็ก โดยใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ P89V51RD2 ซึ่งจะอาศัยไอซีแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลขนาด 12 บิต เบอร์ MCP3202 เป็นตัวรับสัญญาณของแรงดันไฟฟ้าจากวงจรขยายแรงดัน โดยแรงดันที่ให้กับ วงจรมาจากการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กผ่านหัววัดแบบฮอลล์เฟลท เบอร์ UGN3503 และจะ แสดงผลที่วัดได้มีหน่วยเป็นเกาส์ (Gauss) ออกทางจอแสดงผลแบบผลึกเหลว ซึ่งค่าสนามแม่เหล็ก ที่วัดได้จะมีค่าในช่วง  $\pm 900$  เกาส์ และมีความละเอียดที่วัดได้น้อยที่สุดคือ 1 เกาส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Special Project Title</b>	Digital Gauss Meter	
<b>Name</b>	Mr. Karakod	Chaisongkram
	Mr. Kaseamson	Juntawong
<b>Department</b>	Applied Physics	
<b>Program</b>	Science and Industry Instrumentation	
<b>Academic Year</b>	2004	
<b>Special Project Advisor</b>	Assoc.Prof. Dr. Jiti Nukaew	
<b>Special Project co-advisor</b>	Mr. Benchapol Tunhoo	

### Abstract

This special project propose is to study and construct the magnetic field equipment using microcontroller P89V51RD2 which convert analog signal to 12 bit number MCP3202. The voltage signal from circuit amplifier is an input to the converter. The circuit amplifier input is the voltage signal from magnetic field changing of Hall plate sensor number UGN3505.

The display result is in Gauss unit and was shown by Liquid Crystal Display. The measurement range of the magnetic field equipment ranges from -900 to +900 Gauss and the resolution of the system is about 1 Gauss.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากความสนับสนุน ช่วยเหลือ และความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่าน ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ. ที่นี้ด้วย

คุณพ่อ คุณแม่

มีความกรุณาสงเสีย เลี้ยงดู ให้กำลังใจ และโอกาสในการศึกษา จนกระทั่งจบการศึกษา และต่อไป

รศ.ดร. จิติ หนูแก้ว

ขอขอบพระคุณสำหรับแนวคิดในการเขียนโปรแกรม และคำปรึกษา

รศ. วิชิต ศิริโชติ

ขอขอบพระคุณสำหรับแนวคิดในการเขียนโปรแกรม คำปรึกษา และแนวทางในการแก้ปัญหาต่างๆ

อ. เบญจพล ต้นผู้

ขอขอบพระคุณสำหรับคำปรึกษา ความรู้ต่างๆ สถานที่ รวมถึงอุปกรณ์ทุกอย่าง

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ผู้เชื่อเพื่ออุปกรณ์ในการทำโครงการพิเศษ

คณะกรรมการทุกท่าน

ที่กรุณาตรวจรายงานโครงการพิเศษ

เพื่อนๆ

ขอขอบคุณที่ช่วยให้กำลังใจ และความครั้นเครง

ท้ายที่สุดนี้ขอขอบคุณทุกท่านที่ได้กล่าวนามและไม่ได้กล่าวนามด้วยความจริงใจ

นายกรกฎ ชัยสงคราม

นายเกษมสันต์ จันตะวงศ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญเรื่อง	ง - จ
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	1
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	
2.1 สนามแม่เหล็ก	3
2.2 ฟลักซ์แม่เหล็กกับกฎของเกาส์	4
2.3 กฎของเกาส์สำหรับสนามแม่เหล็ก	5
2.4 แรงลอเรนทซ์	6
2.5 กฎของเลนซ์	7
2.6 ปฏิกิริยาฮอลล์	8
2.7 การกำเนิดสนามแม่เหล็กด้วยขดลวดเฮล์มโฮลทซ์	12
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย	
3.1 ส่วนวัดค่าสนามแม่เหล็ก	15
3.1.1 ส่วนรับค่าสัญญาณอนาล็อกจากหัววัด Hall sensor	15
3.1.2 ส่วนส่งค่าสนามแม่เหล็กที่วัดได้ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์	16
3.2 ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์	16
3.2.1 ส่วนรับข้อมูลจาก MCP3202	16
3.2.2 ส่วนส่งข้อมูล	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.1	ส่วนแสดงผล	17
3.2.2.2	ส่วนแสดงผลทางคอมพิวเตอร์	17
3.3	การสอบเทียบ	17
3.4	แผนผังการทำงานของโปรแกรมต่างๆ	20
<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง</b>		
4.1	การติดตั้งอุปกรณ์	23
4.2	การส่งข้อมูลผ่านทางสาย RS232 ออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์โดยโปรแกรม Labview	25
4.3	ผลการทดลองการวัดค่าสนามแม่เหล็ก	26
4.3.1	ผลการทดลองการวัดค่าสนามแม่เหล็กจากเครื่องมาตรฐาน	26
4.3.2	ผลการทดลองการวัดค่าสนามแม่เหล็กจากเครื่องที่สร้างขึ้นในหน่วย โวลต์	28
4.3.3	ผลการทดลองวัดค่าจากเครื่องมาตรฐานกับเครื่องที่สร้างขึ้น	30
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง</b>		
5.1	สรุปผลการทดลอง	32
5.2	แนวทางการพัฒนา	32
เอกสารอ้างอิง		
ภาคผนวก		



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงเส้นแรงแม่เหล็กที่มีความเข้มของสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกัน	3
รูปที่ 2.2 พลั๊กซ์ของสนามแม่เหล็กที่ผ่านพื้นที่ขนาด dS เมื่อ dS เป็นเวกเตอร์ที่ตั้งฉากกับผิว	4
รูปที่ 2.3 การใช้กฎมือขวาหาทิศทางของผลคูณเชิงเวกเตอร์ V และ B	7
รูปที่ 2.4 ก-ค แสดงการเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์	8
รูปที่ 2.5 การวัดความต่างศักย์ฮอลล์ $V_H$	10
รูปที่ 2.6 แสดงเส้นสนามแม่เหล็กของขดลวดเส้นลวดโซลีนอยด์	12
รูปที่ 2.7 แสดงเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดวงกลม	13
รูปที่ 3.1 แสดงการต่อวงจรจาก Hall sensor มายัง MCP3202	15
รูปที่ 3.2 แสดงการต่อวงจรของการส่งสัญญาณจาก MCP3202 ไปยัง P89V51RD2BN	16
รูปที่ 3.3 แสดงการเชื่อมต่อวงจรจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปยังแอลซีดี	19
รูปที่ 3.4 แผนผังแสดงโปรแกรมหลัก	20
รูปที่ 3.5 แผนผังแสดงการส่งค่าไปแสดงผลที่หน้าจอกอมพิวเตอร์	21
รูปที่ 3.6 แผนผังแสดงการทำงานของโปรแกรม Labview	22
รูปที่ 4.1 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์	23
รูปที่ 4.2 การบันทึกค่าสนามแม่เหล็กที่วัดได้	23
รูปที่ 4.3 เครื่องวัดสนามแม่เหล็กมาตรฐาน	24
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการรับข้อมูลโดยโปรแกรม Labview	25
รูปที่ 4.5 การบันทึกค่าสนามแม่เหล็กในโปรแกรม Excel	25
รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง กระแส (I) กับ สนามแม่เหล็ก (G) จากเครื่องมาตรฐาน	27
รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง กระแส (I) กับ แรงดัน (V) จากเครื่องที่สร้างขึ้น	29
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของค่าสนามแม่เหล็กจากเครื่องที่ขึ้นกับ เครื่องมาตรฐาน	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองในการวัดค่าสนามแม่เหล็กโดยการป้อนกระแสไฟฟ้าในค่า ต่างๆ จากเครื่องมาตรฐาน	26
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (%) ของเครื่องมาตรฐานเมื่อเทียบกับ ค่าที่คำนวณจากทฤษฎี	26
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองในการวัดค่าแรงดัน โดยการป้อนกระแสไฟฟ้าในค่าต่างๆ จาก เครื่องที่สร้างขึ้น	28
ตารางที่ 4.4 ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กจากเครื่องมาตรฐานและเครื่องที่สร้างขึ้น	30



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ในปัจจุบันประเทศไทยได้มีการใช้งานอุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันมากขึ้นไม่ว่าจะเป็น มอเตอร์ จอภาพคอมพิวเตอร์ โทรศัพท์มือถือ ลำโพง เครื่องเสียง เป็นต้น ซึ่งอุปกรณ์แต่ละชนิดนั้นมีความเกี่ยวข้องกับสนามแม่เหล็กทั้งสิ้น ไม่ว่าจะเป็นการส่งสัญญาณไปรบกวนการทำงานของอุปกรณ์อย่างอื่น หรือถูกรบกวนการทำงานจากแหล่งอื่น โดยจะทำให้อุปกรณ์นั้นมีการทำงานที่ผิดพลาดไปจากเดิมได้ ดังนั้นในการใช้งานเราต้องคำนึงถึงผลกระทบของสนามแม่เหล็กที่มีต่ออุปกรณ์นั้นด้วย เพื่อที่จะทำให้อุปกรณ์นั้นมีประสิทธิภาพในการทำงานได้ดียิ่งขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทราบค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กในบริเวณนั้นหรือของอุปกรณ์นั้น แต่ในการวัดค่าของสนามแม่เหล็ก เราไม่สามารถทราบค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กได้จากประสาทสัมผัสของเราโดยตรง เราจึงต้องอาศัยปรากฏการณ์ทางกายภาพเพื่อเปลี่ยนค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กให้เป็นปริมาณที่เราสามารถทราบค่าได้

ซึ่งในการวิจัยนี้เราใช้วิธีแบบดิฟเฟอเรนเชียล ทำการวัดแรงดันไฟฟ้าออกมา โดยจะวัดปริมาณความเข้มของสนามแม่เหล็กออกมาในรูปของ Gauss

### 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการเชื่อมต่อของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์กับระบบตรวจวัดสัญญาณ
2. เพื่อเรียนรู้หลักในการออกแบบระบบให้ใช้งานได้ง่ายและใช้งานได้จริง
3. เพื่อเรียนรู้ลักษณะงานที่เป็นระบบและรู้จักวิเคราะห์ปัญหา
4. เพื่อศึกษาระบบตรวจวัดสัญญาณ
5. เพื่อศึกษาการใช้ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์

### 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ในโครงการนี้จะทำการศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับ การวัดค่าของสนามแม่เหล็ก เพื่อนำมาออกแบบส่วนของหัววัดและศึกษาการทำงานของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อนำมาออกแบบในส่วนของการควบคุมการทำงานของเครื่องวัดและส่วนของการแสดงผล โดยใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการควบคุมการทำงาน แล้วจึงนำสองส่วนนี้มาประกอบเข้าด้วยกันเพื่อทำเป็นเครื่องวัดค่าสนามแม่เหล็ก ซึ่งสามารถทำงานและแสดงผลได้จริง

#### 1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและหลักการของสนามแม่เหล็ก และการวัดค่าของสนามแม่เหล็ก
2. ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีของการทำงานของระบบคอนโทรลเลอร์ที่จะนำมาใช้งาน
3. ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีของส่วนของ การแสดงผลทางหน้าจอ LCD และ การเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
4. ออกแบบและสร้างส่วนของหัววัด ระบบควบคุมการทำงาน และการเก็บข้อมูล
5. ทำการทดลองเพื่อเก็บค่าที่ได้จากหัววัด
6. นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน
7. ปรับปรุงและแก้ไขส่วนของหัววัด เพื่อให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงหรือเท่ากับค่ามาตรฐาน
8. นำส่วนของหัววัดและส่วนของระบบควบคุมการทำงานมาประกอบเข้าด้วยกัน
9. วิเคราะห์ผลที่ได้
10. สรุปผลการทดลอง

#### 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. รู้จักประยุกต์การใช้งานของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อให้เกิดประโยชน์ยิ่งขึ้น
2. รู้จักค้นคว้าข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล
3. รู้จักการทำงานอย่างมีระบบ และสามารถแก้ไขปัญหาได้อย่างมีหลักการและเหตุผล
4. สามารถสร้างเครื่องวัดสนามแม่เหล็กเพื่อนำมาใช้งานได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 สนามแม่เหล็ก (The Magnetic Field)

สนามแม่เหล็ก (The Magnetic Field) คือบริเวณ (space) ที่มีอำนาจการกระทำที่เกิดจากแม่เหล็ก อำนาจการกระทำที่ส่งออกมาจาก แม่เหล็กที่มีลักษณะเป็นเวกเตอร์ (Magnetic Field Vector) มีสัญลักษณ์เป็น  $B$  ดังที่แสดงในรูปที่ 2.1 เรียกอีกชื่อหนึ่งว่าอำนาจแม่เหล็กชักนำ (Magnetic Induction) ซึ่งมีลักษณะเป็นเวกเตอร์ด้วย เรียกว่าฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux) มีสัญลักษณ์เป็น  $\Phi_B$  และมีหน่วยของการวัดเป็น weber (volt·sec)



รูปที่ 2.1 แสดงเส้นแรงแม่เหล็กที่มีความเข้มของสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกัน

สนามแม่เหล็กมีหน่วยการวัดเป็นความเข้มของจำนวนฟลักซ์แม่เหล็ก หรือ เป็นจำนวน Magnetic flux/unit area. ดังนั้น

Magnetic Induction = Magnetic Flux/unit area

$$\text{หรือ } B = \frac{\Phi_B}{A} \text{ weber/m}^2 \quad (2.1)$$

•• ในทางกลับกัน จะสามารถหาเส้นแรงแม่เหล็กจากสนามแม่เหล็กได้ ดังนี้

$$\Phi_B = \int B ds \quad (2.2)$$

$$= \int_0^A B \cos \theta ds \quad \text{weber} \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2 ฟลักซ์แม่เหล็กกับกฎของเกาส์ (Magnetic Flux and Gauss's Law)

#### ฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux)

เช่นเดียวกับการให้คำจำกัดความของขนาดของสนามไฟฟ้า ที่โยงฟลักซ์เส้นแรงไฟฟ้า หรือฟลักซ์ไฟฟ้าเข้ากับสนามไฟฟ้า กล่าวคือขนาดของสนามไฟฟ้ามีค่าเท่ากับความหนาแน่น ฟลักซ์เส้นแรงไฟฟ้าต่อพื้นที่หนึ่งตารางเมตร เราให้คำจำกัดความของขนาดสนามแม่เหล็กว่า เท่ากับความหนาแน่นฟลักซ์เส้นแรงแม่เหล็กหรือฟลักซ์แม่เหล็กต่อพื้นที่หนึ่งตารางเมตรเช่นกัน ถ้า เรากำหนดให้  $\Phi_B$  แทนฟลักซ์แม่เหล็กที่ตัดผ่านพื้นที่  $S$  โดยที่พื้นที่  $S$  นี้ อาจจะเป็นพื้นผิวจริงหรือ พื้นผิวในจินตนาการอย่างใดอย่างหนึ่งก็ได้ และเราจะแบ่งพื้นที่นี้เป็นพื้นที่เล็ก ๆ  $dS$  ทิศทางของ  $dS$  ซึ่งเป็นปริมาณเวกเตอร์ตั้งฉากกับพื้นที่ที่จุดซึ่งเราพิจารณาตามที่แสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ฟลักซ์ของสนามแม่เหล็กที่ผ่านพื้นที่ขนาด  $dS$  เมื่อ  $dS$  เป็นเวกเตอร์ที่ตั้งฉากกับผิว

ฟลักซ์แม่เหล็กคิดจากพื้นที่  $dS$  หรือที่ผ่านพื้นที่  $dS$  คือ

$$d\Phi_B = \vec{B} \cdot d\vec{S} \tag{2.4}$$

ในเมื่อ  $B$  เป็นสนามแม่เหล็กซึ่งมีค่าเท่ากับฟลักซ์แม่เหล็กต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ และ สนามแม่เหล็กโดยทั่วๆ มีขนาดและทิศทางเปลี่ยนไปตามตำแหน่ง

ฟลักซ์แม่เหล็กคิดจากพื้นที่ทั้งหมดหรือที่ผ่านพื้นที่ ทั้งหมดหาได้จากการอินทิเกรตหรือ การรวม  $d\Phi_B$  จากพื้นที่เล็ก ๆ ทั้งหมด หรือ  $\Phi_B = \int Bds$

หน่วย SI ของฟลักซ์แม่เหล็กคือ เวเบอร์ (weber) แทนด้วยสัญลักษณ์ Wb และ  $1Wb = 1T.m^2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3 กฎของเกาส์สำหรับสนามแม่เหล็ก (Gauss's Law for Magnetic Field, B)

กฎของเกาส์ที่ใช้กับสนามไฟฟ้าโยงฟลักซ์เส้นแรงไฟฟ้าหรือฟลักซ์ไฟฟ้าเข้ากับพื้นที่ผิวปิด (closed surface) กล่าวคือ ฟลักซ์เส้นแรงไฟฟ้าของพื้นที่ผิวปิดขึ้นอยู่กับผลบวกทางพีชคณิตของประจุไฟฟ้าที่อยู่ภายในพื้นที่ผิวปิดนั้น และเราเขียนกฎของเกาส์ในกรณีสนามไฟฟ้า (E) ในรูปอินทิกรัลเชิงพื้นที่ได้เป็น

$$\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{\sum_{i=1}^N q_i}{\epsilon_0} \quad (2.5)$$

ในเมื่อ  $\sum_{i=1}^N q_i$  คือผลบวกทางพีชคณิตของประจุไฟฟ้าที่อยู่ภายในพื้นที่ผิวปิด

กฎของเกาส์ที่ใช้กับสนามไฟฟ้า บอกกับว่าประจุบวกเป็นแหล่งให้เส้นแรงสนามไฟฟ้าที่พุ่งออกมา (source) จากประจุ และประจุลบเป็นแหล่งเก็บเส้นแรงสนามไฟฟ้าที่พุ่งเข้าหาประจุ (sink) เส้นแรงสนามไฟฟ้าที่สอดคล้องกันนี้คือ เส้นแรงสนามไฟฟ้าของประจุบวกเดี่ยว ที่เป็นจุดทำหน้าที่แหล่งกำเนิด และเส้นแรงของสนามไฟฟ้าของประจุลบเดี่ยวที่เป็นจุดทำหน้าที่เป็นแหล่งเก็บเข้า

พิจารณาว่ากฎของเกาส์ที่ใช้กับสนามแม่เหล็กจะมีรูปร่างเป็นเช่นไรนั้น ก่อนอื่นต้องเขียนฟลักซ์แม่เหล็กของพื้นที่ผิวปิดในรูป

$$\Phi_B = \oint \vec{B} \cdot d\vec{s} \quad (2.6)$$

จะใช้ตัวห้อย E และ B กำกับ เพื่อระบุให้ชัดเจนว่าเป็นฟลักซ์ของเส้นแรงไฟฟ้าหรือเส้นแรงแม่เหล็ก ทั้งนี้เพื่อป้องกันการสับสนในกรณีที่มีสนามทั้งสองชนิด

เส้นแรงของสนามแม่เหล็กเป็นวงจรปิดที่ไม่มีทั้งแหล่งเกิดและแหล่งเก็บ ดังนั้นกฎของเกาส์ที่ใช้กับสนามแม่เหล็กคือ

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0 \quad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งมีความหมายว่า

- อินทิกรัลเชิงพื้นที่ปิดของสนามแม่เหล็กหรือฟลักซ์แม่เหล็กของพื้นที่ผิวปิดใดๆ มีค่าเป็นศูนย์เสมอ
- จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งเข้าพื้นที่ผิวปิดมีค่าเท่ากับ จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งออกจากพื้นที่ผิวปิด
- เส้นแรงแม่เหล็กเป็นวงจรมัด
- ขั้วแม่เหล็กโดดไม่มีในธรรมชาติ (หรืออย่างน้อยหมายความว่าจะยังไม่มีใครพบขั้วแม่เหล็กโดด)

#### 2.4 แรงลอเรนทซ์ (Lorentz Force)

$$F = qE + qV \times B \quad (2.8)$$

ปริมาณแรกทางขวามือให้ค่าแรงที่สนามไฟฟ้า  $E$  กระทำกับประจุ  $q$  ส่วนปริมาณที่สองทางขวามือให้ค่าแรงที่สนามแม่เหล็ก  $(B)$  กระทำต่อประจุ  $q$  ที่เคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กด้วยความเร็ว  $V$

แรงไฟฟ้า  $F_e = qE \quad (2.9)$

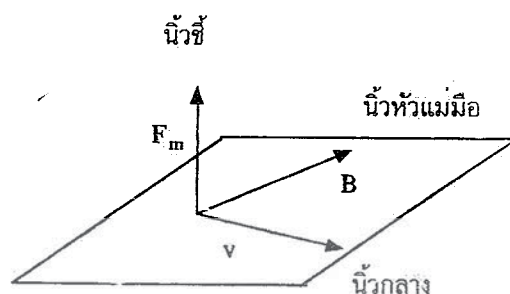
แรงแม่เหล็ก  $F_m = qV \times B \quad (2.10)$

ในขณะที่แรงไฟฟ้า  $F_e$  มีทิศทางตามสนาม  $E$  แรงแม่เหล็กมีทิศทางตั้งฉากกับระนาบซึ่งประกอบด้วยเวกเตอร์  $V$  และ เวกเตอร์  $B$  และสามารถหาทิศทางของ  $F_m$  ได้จาก กฎมือขวากล่าวคือ กางนิ้วกลางและนิ้วหัวแม่มือให้ตั้งฉากซึ่งกันและกัน ให้นิ้วกลางแทน ความเร็ว  $(V)$  นิ้วหัวแม่มือแทนสนามแม่เหล็ก  $(B)$  นิ้วชี้จะบอกทิศทางของ  $F_m$  ขนาดของแรง  $F_m$  คือ

$$|F_m| = qVB \sin \theta \quad (2.11)$$

ในเมื่อ  $\theta$  เป็นมุมระหว่างเวกเตอร์  $V$  และ เวกเตอร์  $B$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 การใช้กฎมือขวาหาทิศทางของผลคูณเชิงเวกเตอร์  $\mathbf{v}$  และ  $\mathbf{B}$

จากสูตรข้างบนสังเกตได้ว่า ขนาดของแรงที่กระทำต่อประจุ  $q$  เป็นสัดส่วนกับขนาดของประจุ  $q$  อัตราเร็วของประจุ  $v$  และสนามแม่เหล็ก ( $\mathbf{B}$ ) และสนามแม่เหล็กไม่มีแรงกระทำต่อประจุที่อยู่กับที่ ( $v = 0$ )

## 2.5 กฎของเลนซ์ (Lenz's Law)

เครื่องหมายลบในกฎของฟาราเดย์เป็นตัวบอกให้ทราบว่า กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำไหลในเส้นทางหรือ sense ไດในวงจร การคำนวณขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะใช้นิยามของฟาราเดย์ แต่การหาเส้นทางของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำหรือแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำนั้นเราต้องอาศัยกฎของเลนซ์

กฎของเลนซ์ระบุว่า

“กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำไหลในเส้นทางที่ต่อต้านการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กซึ่งทำให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำ”

หัวใจสำคัญของกฎของเลนซ์อยู่ที่ใจความที่ว่า “...ต่อต้านการเปลี่ยนแปลงแม่เหล็ก...” เพื่อที่จะเข้าใจกฎของเลนซ์ จะต้องแน่ใจว่าเข้าใจความหมายที่ยกมา

ขั้นแรก คำว่า “การเปลี่ยนแปลง” ตามนิยามของกฎของเลนซ์ กฎของเลนซ์โยงกระแสเหนี่ยวนำเข้ากับการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็ก และไม่ได้โยงกระแสเหนี่ยวนำกับฟลักซ์แม่เหล็กโดยตรง กฎของเลนซ์บอกว่า ถ้าฟลักซ์แม่เหล็กเพิ่ม แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจะทำให้ฟลักซ์แม่เหล็กลด แต่ถ้าฟลักซ์แม่เหล็กลด แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจะทำให้ฟลักซ์แม่เหล็กเพิ่ม ให้สังเกตว่าเลนซ์ไม่ได้พูดว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นต่อต้านสนามแม่เหล็ก แต่พูดว่าต่อต้านการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่สอง กระแสเหนี่ยวนำจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นมาอีกชุดหนึ่งและสนามแม่เหล็กชุดหลังนี้จะเป็นตัวที่รวมกับหรือหักล้างกับสนามแม่เหล็กชุดเดิม ขึ้นอยู่กับว่าสนามชุดเดิมเพิ่มหรือลด ถ้าสนามชุดเดิมเพิ่ม สนามชุดหลังที่เกิดจากกระแสเหนี่ยวนำจะต้านการเพิ่มโดยให้สนามแม่เหล็กชุดหลังมาหักล้างกับสนามเดิม โดยสร้างสนามแม่เหล็กชุดหลังที่มีทิศทางสวนกัน แต่ถ้าสนามแม่เหล็กเดิมลด สนามชุดหลังที่เกิดจากกระแสเหนี่ยวนำจะต้านการลดโดยให้สนามแม่เหล็กชุดใหม่ที่เกิดจากกระแสเหนี่ยวนำเสริมกับสนามแม่เหล็กชุดเดิม

โดยสรุปเป็นหลักการใหญ่ตามหลักการของเลนซ์ได้ดังนี้คือ

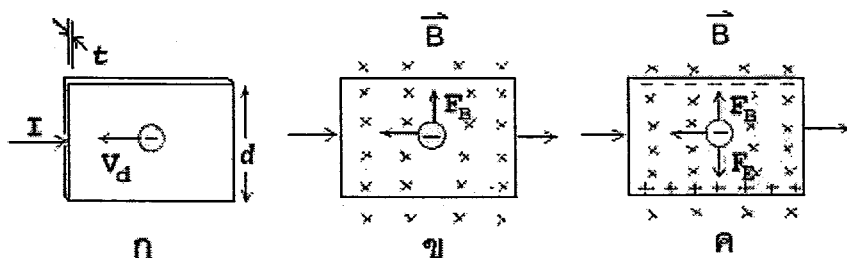
1. ถ้าขนาดของฟลักซ์แม่เหล็กเดิมในวงจรลด สนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสเหนี่ยวนำจะมีทิศทางที่เสริมกับสนามแม่เหล็กเดิม
2. ถ้าขนาดของฟลักซ์แม่เหล็กเดิมในวงจรเพิ่ม สนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสเหนี่ยวนำจะมีทิศทางที่หักล้างกับสนามแม่เหล็กเดิม
3. เครื่องหมายลบในสมการให้ความหมายตามที่บรรยายในข้อ 1. และ 2. กล่าวคือแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นในลักษณะที่ต่อต้านการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็ก

## 2.6 ปฏิกิริยาฮอลล์ (Hall Effect)

Hall Effect เป็นหลักทางฟิสิกส์ที่พบโดย Edwin Hall (1855-1938) เป็นปรากฏการณ์ที่ว่า "เมื่อมีกระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวนำ (หรือวัตถุใดๆ หรือแผ่นสารใดๆ เช่น สารกึ่งตัวนำ) ที่วางอยู่ในสนามแม่เหล็ก จะมีแรงดันเกิดขึ้นคร่อมตัวนำนั้น โดยทิศของแรงดันจะตั้งฉากกับทิศสนามแม่เหล็กและทิศของกระแสไฟฟ้า" ความจริงหลักการดังกล่าวนี้เป็นไปแรงลอเรนซ์ (Lorentz force)

จากสมการที่ 2.8

$$F = qE + qv \times B$$



รูปที่ 2.4 ก-ค แสดงการเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์อธิบายได้โดยใช้รูป 2.4 ก-ค ดังนี้

รูปที่ 2.4 ก แสดงแผ่นตัวนำบางที่มีความกว้าง  $d$  หนา  $t$  และมีกระแสไฟฟ้า (conventional current)  $I$  ผ่านในทิศจากด้านซ้ายไปด้านขวา พหุประจุคืออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ (ด้วยอัตราเร็วลอยเลื่อน  $V_d$ ) ในทิศตรงข้ามกับกระแสไฟฟ้า  $I$  จากด้านขวาไปด้านซ้าย

รูปที่ 2.4 ข เมื่อใส่สนามแม่เหล็ก ( $B$ ) ในทิศพุ่งเข้าหาและตั้งฉากกับระนาบแผ่นตัวนำบาง หรือกระดาษ จะเกิดแรงแม่เหล็ก  $F_B$  กระทำกับอิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนเบนไปทางขอบด้านบนของแผ่นตัวนำบาง

รูปที่ 2.4 ค เมื่อเวลาผ่านไปจะมีอิเล็กตรอนถูกผลักไปที่ขอบด้านบนจำนวนมาก ส่วนขอบด้านล่างจะเกิดประจุไฟฟ้าบวกจำนวนมากเช่นกัน การที่มีประจุไฟฟ้าต่างชนิดกันที่ขอบทั้งสอง ทำให้เกิดสนามไฟฟ้า เรียกว่า สนามไฟฟ้าฮอลล์ (hall field)  $E_H$  ในแผ่นตัวนำบางมีทิศจากขอบด้านล่างไปขอบด้านบน สนามไฟฟ้าจะทำให้เกิดแรงไฟฟ้า  $F_E$  กระทำกับอิเล็กตรอน ซึ่งจะทำให้อิเล็กตรอนถูกผลักไปทางขอบด้านล่าง เมื่อแรงไฟฟ้าและแรงแม่เหล็กมีขนาดเท่ากัน อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ในทิศไปทางซ้ายโดยไม่เบน

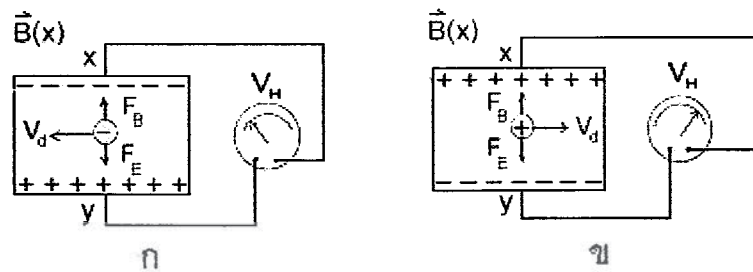
สนามไฟฟ้าที่เกิดในแผ่นตัวนำบางมีความสัมพันธ์กับความต่างศักย์หรือโวลต์เตจ  $V$  ดังนี้

$$E_H = \frac{V}{d} \quad (2.12)$$

ความต่างศักย์หรือโวลต์เตจที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า ความต่างศักย์ฮอลล์ (hall potential difference หรือ hall voltage)  $V_H$  พบว่า ความต่างศักย์ฮอลล์มีค่ามากที่สุด เมื่อแผ่นตัวนำบางทำจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซีลีคอน และเจอร์เมเนียม ส่วนตัวนำไฟฟ้าที่ดี ความต่างศักย์ฮอลล์จะมีค่าน้อยกว่ามาก

จากสมการ (2.12) จะได้ว่า

$$V_H = E_H d \quad (2.13)$$

รูปที่ 2.5 การวัดความต่างศักย์ฮอลล์  $V_H$ 

เราสามารถวัด  $V_H$  โดยต่อ มิลลิโวลต์มิเตอร์เข้ากับจุด  $x$  และจุด  $y$  ดังรูปที่ 2.5 ก  
 สภาพัฒ์ของ  $V_H$  ทราบได้จากเครื่องหมายที่อ่านได้จาก มิลลิโวลต์มิเตอร์

จากรูปที่ 2.5 ก พาหะประจุคืออิเล็กตรอนจึงมีประจุลบ ถ้าพาหะประจุมีประจุบวก ทิศของ  $V_d$  และ  $E_H$  จะตรงข้ามกับในรูป 2.5 ก แต่ทิศของ  $F_B$  และ  $E_E$  ยังคงเดิม ดังแสดงในรูป 2.5 ข ทำให้ประจุบวกถูกผลักไปที่ขอบด้านขวา ส่วนประจุลบถูกผลักไปที่ขอบด้านซ้าย และสภาพัฒ์ของ  $V_H$  จะตรงข้ามกับกรณีที่พาหะประจุมีประจุลบ

จากรูปที่ 2.4 ค ขณะทีแรงแม่เหล็กและแรงไฟฟ้ามีขนาดเท่ากัน เราจะได้

$$(-e)E_H = (-e)V_d B \quad (2.14)$$

$$E_H = V_d B \quad (2.15)$$

จากสมการ (2.13) จะได้

$$V_H = E_H d \quad (2.16)$$

$$V_H = V_d B d \quad (2.17)$$

เนื่องจากอัตราเร็วลอยเลื่อน  $V_d$  มีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_d = \frac{I}{neA} \quad (2.18)$$

เมื่อ  $n$  คือจำนวนพาหะประจุต่อลูกบาศก์เมตร (หรือความหนาแน่นของพาหะประจุ) และ  $A$  คือพื้นที่หน้าตัดของแผ่นตัวนำบาง

แทนสมการ (2.18) ลงในสมการ (2.17) จะได้

$$V_H = \frac{IBd}{neA} \quad (2.19)$$

เนื่องจาก  $t = \frac{A}{d}$  คือความหนาของแผ่นตัวนำบาง ดังนั้น

$$V_H = \frac{IB}{net} \quad (2.20)$$

สมการ (2.20) เขียนได้ใหม่เป็น

$$B = neti^{-1} V_H \quad (2.21)$$

ปริมาณ  $V_H$  และ  $t$  ในสมการ (2.21) หาได้จากการวัด ส่วนค่า  $n$  ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ทำหัววัด วัสดุที่เป็นสารกึ่งตัวนำจะมีจำนวนพาหะประจุน้อยกว่าตัวนำไฟฟ้าที่ดี แต่ก็ยังมีค่ามากพอที่จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าที่สามารถวัดได้ ส่วนฉนวนมีจำนวนพาหะประจุน้อยมาก แต่ก็ยอมให้กระแสไฟฟ้าปริมาณเล็กน้อยผ่าน จากการศึกษาพบว่า สารกึ่งตัวนำที่เจือสิ่งเจือปนมีค่า  $n \approx 10^{22} \text{ m}^{-3}$  และโลหะทั่วไปมีค่า  $n \approx 10^{28} \text{ m}^{-3}$  ดังนั้น เราจึงสามารถหาความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ไม่ทราบค่าจากสมการ (2.21) ได้

ความเข้มของสนามแม่เหล็กมีหน่วยในระบบเอสไอเป็นเทสลา (tesla) แทนด้วยสัญลักษณ์ T หน่วยเดิมของความเข้มของสนามแม่เหล็กคือ เกาส์ (gauss) แทนด้วยสัญลักษณ์ G โดยที่  $1\text{T} = 10^4 \text{ G}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 การกำเนิดสนามแม่เหล็กด้วยขดลวดเฮล์มโฮลทซ์ (Helmholtz coil)

เป็นเทคนิคที่ใช้ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่มีลักษณะเหมือนกันด้วยขดลวดหนึ่งคู่ ที่อยู่ในแนวเดียวกัน และมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่มีขนาดเท่ากันทั้งสองขด ซึ่งเราสามารถคำนวณค่าสนามแม่เหล็กของแต่ละอันเพื่อให้ได้สนามแม่เหล็กที่สม่ำเสมอหมด จากค่าของรัศมีของขดลวด โดยเส้นของสนามแม่เหล็กจะเป็นดังรูป



รูปที่ 2.6 แสดงเส้นสนามแม่เหล็กของขดลวดเฮล์มโฮลทซ์

สนามแม่เหล็กบนเส้นตรงกลางของเคอร์เร็นท์ลูป (Current loop) สามารถคำนวณได้จากกฎของ บิโอทสวาเวิร์ท ซึ่งสนามแม่เหล็กจาก 2 วงจร ของขดลวดเฮล์มโฮลทซ์ (Helmholtz coil) ที่จัดไว้ในแนวเดียวกันนั้น เกิดโดยการทับซ้อนของสนามแม่เหล็กจากขดลวดสองขดนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนามแม่เหล็กบนแกนของเส้นลวดที่เกิดจากกระแสในหนึ่งรอบโดยมีรัศมี R และให้

$$B_{\text{mg}} = \frac{\mu_0 IR \sin \nu}{2r^2} \quad \text{เมื่อ} \quad \mu_0 = 4\pi 10^{-7} \text{ mks} \quad (2.22)$$

เมื่อ  $I$  คือกระแสในเส้นลวด

$\mu_0$  คือค่า permeability ของอากาศ

$r, R$  และ  $\nu$  เป็นตามรูปที่ 2.7



รูป 2.7 แสดงเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดวงกลม

ความเข้ม  $B$  ของสนามแม่เหล็กบนแกนของขดลวดวงกลมที่มีจำนวนรอบเท่ากับ  $N$  เป็นไปตามสมการ 2.23

$$B = \frac{\mu_0 N I R^2}{2(R^2 + x^2)^{3/2}} \quad (2.23)$$

เมื่อ  $I$  เป็นกระแสในขดลวด ความเข้มที่จุด  $B$  ซึ่งมีระยะทาง  $x$

$$B = \frac{\mu_0 N I R^2}{2(R^2 + x^2)^{3/2}} = \frac{\mu_0 N I}{2R} \cdot \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{x}{R}\right)^2\right]^{3/2}} = \frac{k}{\left[1 + \left(\frac{x}{R}\right)^2\right]^{3/2}} \quad (2.24)$$

ถ้ามีขดลวดโคเอกเซียลสองอันที่มีจำนวนของขดลวด  $N$  และ กระแสไฟฟ้า  $I$  เหมือนกัน

สนามแม่เหล็กบนแกนจะเป็นค่าของสนามแม่เหล็กจากขดลวดสองอันบวกกันให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$B = B_1 + B_2 \quad (2.25)$$

และ

$$B = \frac{k}{\left[1 + \left(\frac{x_1}{R}\right)^2\right]^{3/2}} + \frac{k}{\left[1 + \left(\frac{x_2}{R}\right)^2\right]^{3/2}} \quad (2.26)$$

เมื่อ  $x_1$  และ  $x_2$  เป็นระยะทางจากขดลวดขดที่ 1 และ 2  
ที่จุดตรงกลางของขดลวดทั้งสอง

$$x_1 = x_2 = R/2 \quad (2.27)$$

เพราะฉะนั้น

$$B = \frac{8.992 \times 10^{-7} NI}{R} \quad (2.28)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย

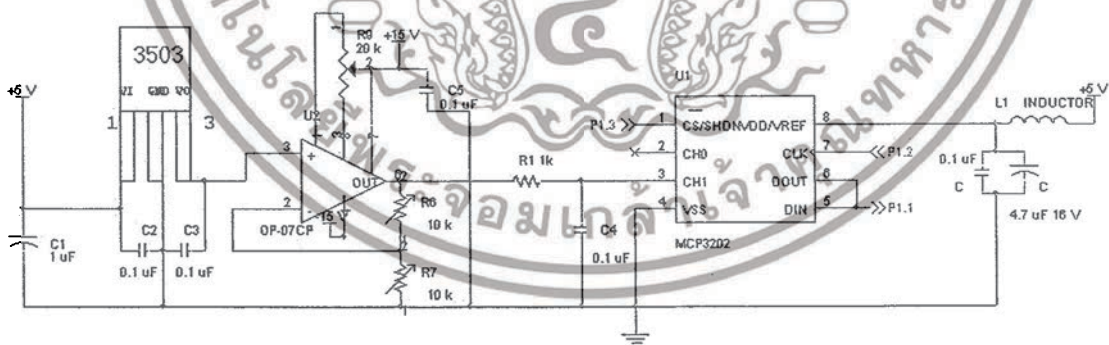
การดำเนินงานในโครงการพิเศษนี้ได้ทำการออกแบบ เครื่องวัดสนามแม่เหล็กระบบดิจิทัล ซึ่งแบ่งออกเป็นส่วนใหญ่ๆ ได้ 2 ส่วน ซึ่งประกอบไปด้วย ส่วนที่ใช้วัดค่าของสนามแม่เหล็กและส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งจะให้เป็นตัวประมวลผล เก็บค่าที่วัดได้และแสดงค่าสนามแม่เหล็กที่วัดได้

### 3.1 ส่วนวัดค่าสนามแม่เหล็ก

ในส่วนวัดค่าสนามแม่เหล็กจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

#### 3.1.1 ส่วนรับค่าสัญญาณอนาล็อกจากหัววัด Hall sensor

นำค่าแรงดันเอาต์พุตจากขา 3 ของ Hall sensor ต่อเข้ากับขา AIN (ขา 3) ของ MAX121 โดยที่ต้องจ่ายแรงดัน +5 V ที่ขา 1 ของ Hall sensor และต่อตัวเก็บประจุ 0.1  $\mu$ F ระหว่างขา 1 กับขา 2 และ ขา 2 กับขา 3 ซึ่งค่าที่วัดได้จาก Hall sensor จะมีค่าเป็นแรงดัน (มีหน่วยเป็นโวลต์) ซึ่งจะอยู่ที่ประมาณ 2.5 V หรือเท่ากับ 0 G

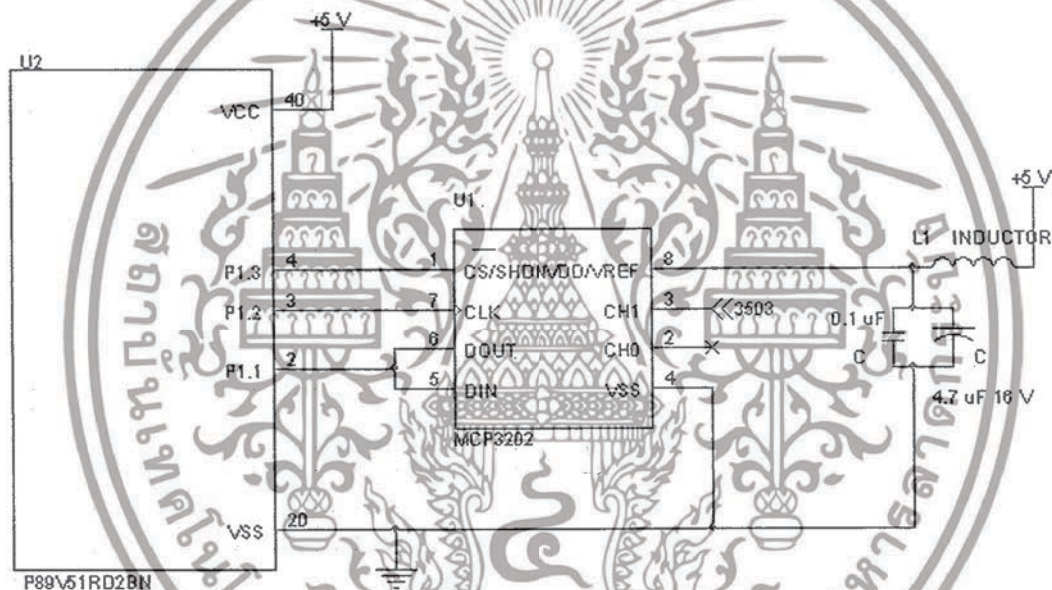


รูปที่ 3.1 แสดงการต่อวงจรจาก Hall sensor มายัง MCP3202

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2 ส่วนส่งค่าสนามแม่เหล็กที่วัดได้ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์

ส่วนนี้จะเป็นการทำงานของ MCP3202 ซึ่งหลังจากรับค่าสัญญาณแรงดันจากขา 3 ของ Hall sensor เข้าสู่ทางขา 3 ของ MCP3202 (CH1) ซึ่งจะถูกลบเป็นสัญญาณดิจิตอลด้วยวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลที่อยู่ภายในตัว IC และนำสัญญาณความถี่จากขา P1.2 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไปยังขา 7 (CLKIN) ของ MCP3202 จากนั้นนำสัญญาณจากขา 6 ของ MCP3202 ( $D_{OUT}$ ) ต่อไปยังขา P1.1 ของไมโครคอนโทรลเลอร์และนำสัญญาณจาก P1.3 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไปยังขา 1 ( $\overline{CS}/SHDN$ ) ของ MCP3202



รูปที่ 3.2 แสดงการต่อวงจรของการส่งสัญญาณจาก MCP3202 ไปยัง P89V51RD2BN

## 3.2 ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์

### 3.2.1 ส่วนรับข้อมูลจาก MCP3202

ไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับข้อมูลจาก MCP3202 ซึ่งมีการตั้งค่าให้ MCP3202 ทำงานโดยที่ ต้องมีการสั่ง Enable ที่ขา  $\overline{CS}/SHDN$  จากไมโครคอนโทรลเลอร์ และส่งสัญญาณนาฬิกาไป ควบคุมการทำงานของ MCP3202 ที่ขา 7 (CLK) แล้วจึงรับข้อมูลที่ MCP3202 แปลงสัญญาณมา โดยนำไปเข้าที่ขา P1.1 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2 ส่วนส่งข้อมูล

ส่วนส่งข้อมูลจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแสดงผลและส่วนบันทึกข้อมูล

#### 3.2.2.1 ส่วนแสดงผล

ส่วนแสดงผลจะแสดงค่าของสนามแม่เหล็กที่วัดได้ออกทางหน้าจอแอลซีดี ซึ่งมี การเชื่อมต่อดังรูปที่ 3.3

#### 3.2.2.2 ส่วนแสดงผลทางคอมพิวเตอร์

ส่วนของการแสดงผลออกทางคอมพิวเตอร์นั้น จะส่งข้อมูลผ่านทางสาย RS232 โดยใช้โปรแกรม Labview ในการรับข้อมูล เพื่อมาบันทึกเป็นไฟล์นามสกุล .xls และ แสดงผลทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยใช้กราฟ

### 3.3 การสอบเทียบ

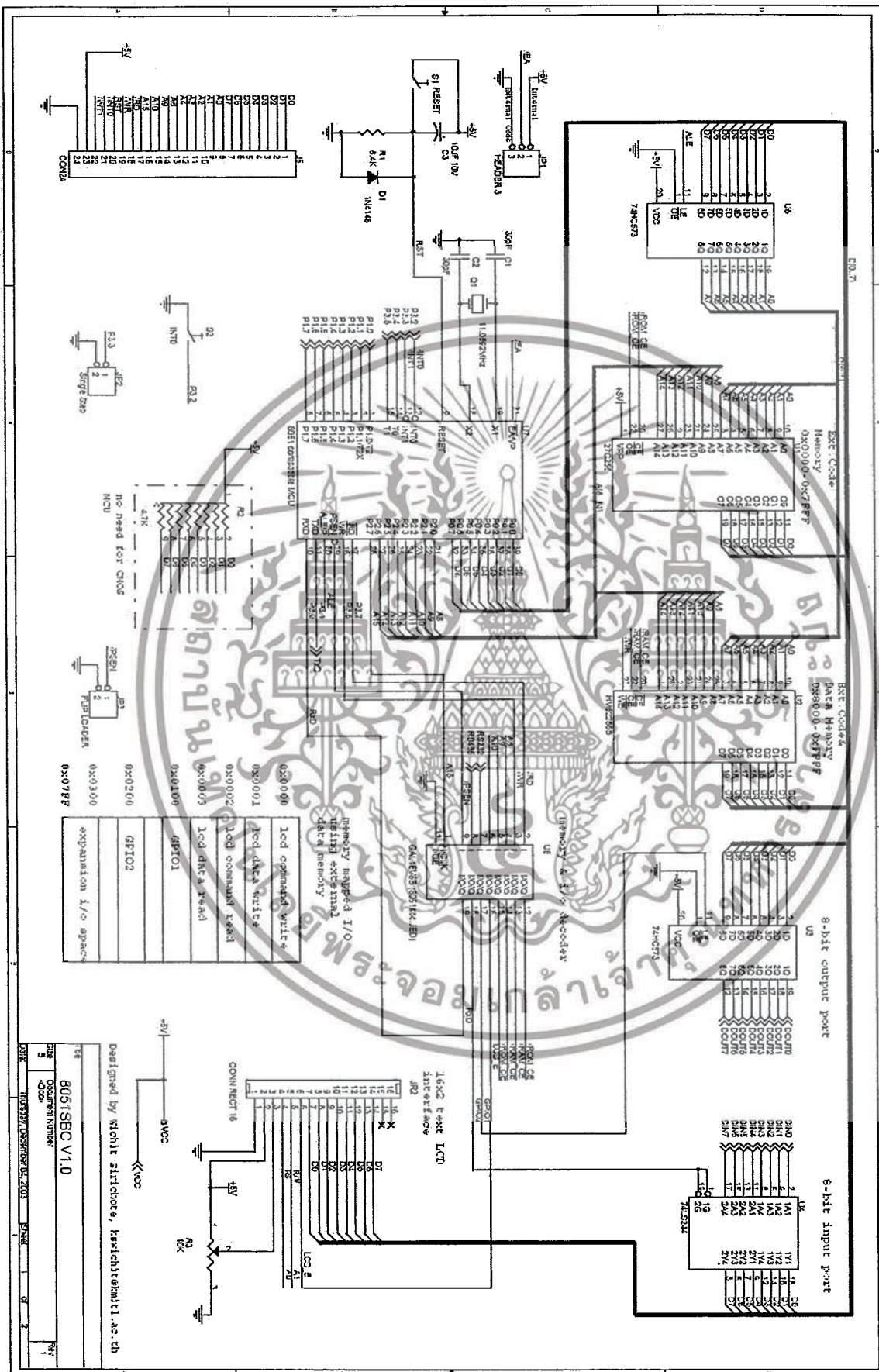
การสอบเทียบมีความสำคัญอย่างยิ่งในเครื่องมือวัดทุกชนิด เพื่อความถูกต้องแม่นยำและ น่าเชื่อถือ ในโครงการนี้เราได้ทำการสอบเทียบโดยใช้เครื่องวัดสนามแม่เหล็กมาตรฐาน โดยที่

1. เราอ่านค่าจากเครื่องมาตรฐานว่ามีค่าสนามแม่เหล็กที่เวลานั้นมีค่าเท่าไร เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่ากระแสไฟฟ้า แล้วจึงนำค่าสนามแม่เหล็กกับค่ากระแสไฟฟ้า มาพล็อตกราฟ เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าที่มีต่อสนามแม่เหล็กใน ขดลวดเฮล์มโฮลทซ์ ซึ่งจะได้สมการเชิงเส้น
2. จากนั้นนำเครื่องวัดสนามแม่เหล็กที่สร้างขึ้นมาวัดและอ่านค่าว่ามีค่าเท่าไร อันดับแรกจะวัดให้อยู่ในรูปของแรงดันกับกระแสไฟฟ้า เนื่องจากเซนเซอร์นั้นแปลง สัญญาณสนามแม่เหล็กออกมาในรูปของแรงดัน
3. เมื่อได้ค่าแรงดันกับกระแสไฟฟ้าแล้ว จึงนำค่ามาพล็อตกราฟระหว่างค่าแรงดันกับ กระแสไฟฟ้า เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าที่มีต่อแรงดันของเครื่องที่ สร้างขึ้น ซึ่งจะได้สมการเชิงเส้น
4. นำสมการทั้งสองที่ได้จากการพล็อตกราฟ มาหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับ สนามแม่เหล็ก
5. นำสมการที่ได้มาทำการเขียนโปรแกรมในการแปลงค่าแรงดันจากตัวเซนเซอร์ให้อยู่ใน รูปของสนามแม่เหล็ก

6. แล้วย้นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าสนามแม่เหล็กที่ได้จากเครื่องมาตรฐานและจากสมการของเฮล์มโฮลทซ์

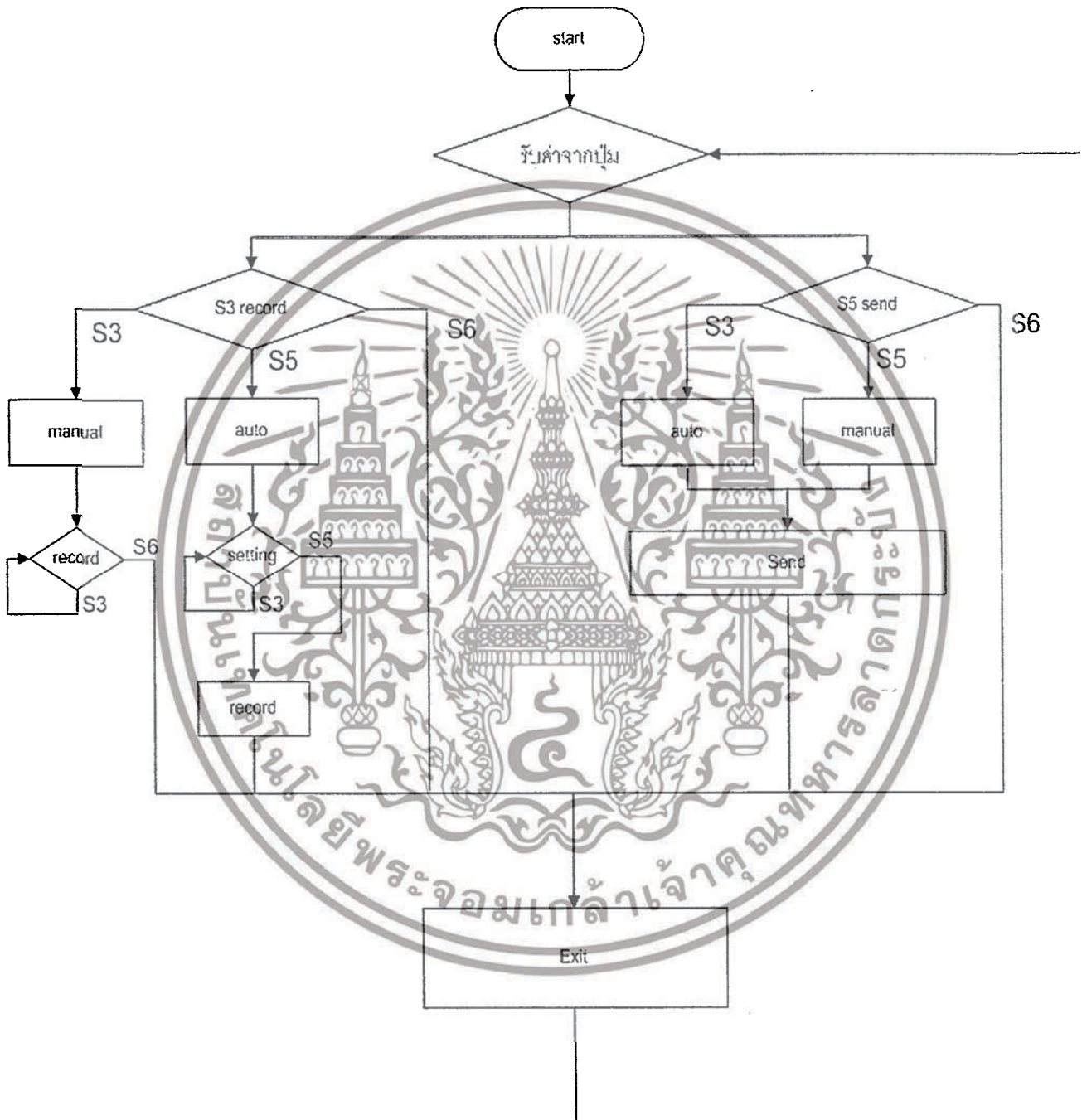


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและโครงสร้างของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
 รูปที่ 3.3 แสดงการเชื่อมต่อวงจรจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปยังจอ LCD

### 3.4 แผนผังการทำงานของโปรแกรมต่างๆ



รูปที่ 3.4 แผนผังแสดงโปรแกรมหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

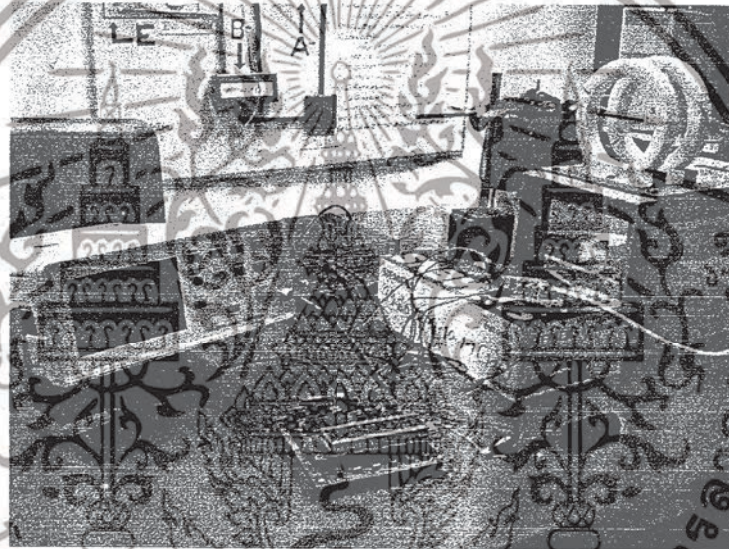
รูปที่ 3.6 แผนผังแสดงการทำงานของโปรแกรม Labview

## บทที่ 4

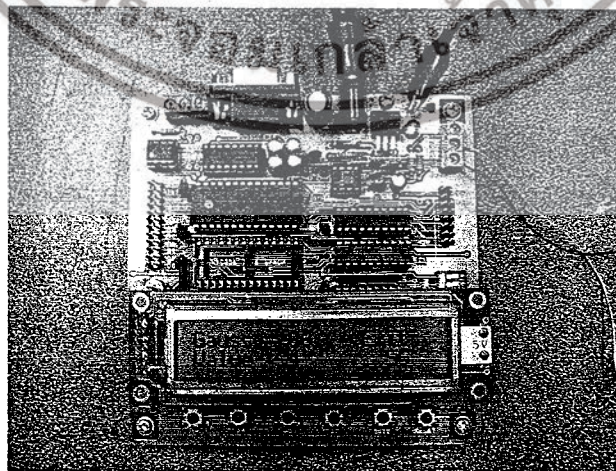
### ผลการทดลอง

#### 4.1 การติดตั้งอุปกรณ์

ในการทดลองนี้จะป้อนกระแสไฟฟ้าผ่านขดลวดเฮล์มโฮลทซ์เพื่อเป็นตัวกำเนิดสนามแม่เหล็ก ซึ่งมีจำนวนรอบของขดลวด 250 รอบ และมีระยะห่าง 5.7 เซนติเมตร และทำการเปรียบเทียบกับเครื่องวัดสนามแม่เหล็กมาตรฐาน

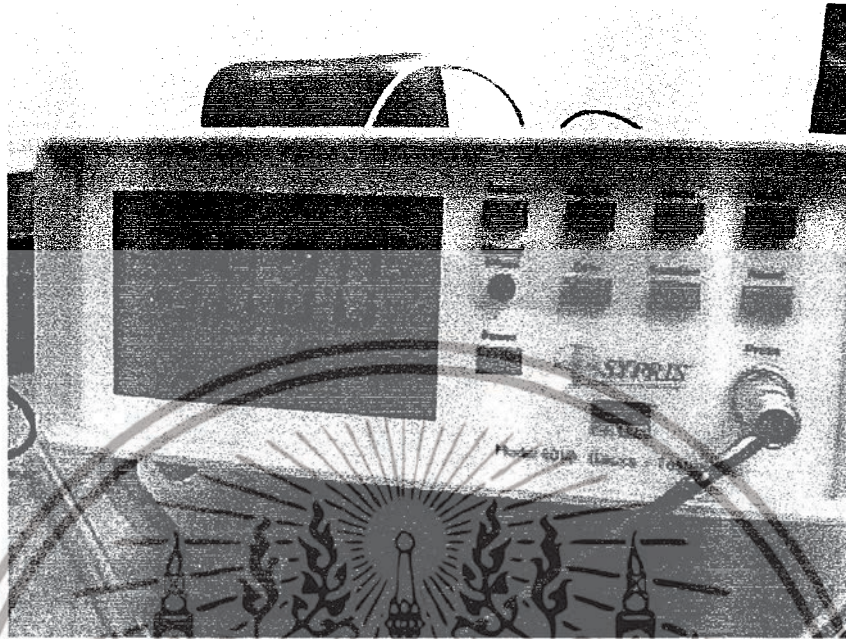


รูปที่ 4.1 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์



รูปที่ 4.2 การบันทึกค่าสนามแม่เหล็กที่วัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 เครื่องวัดสนามแม่เหล็กมาตรฐาน ยี่ห้อ SYPRIS รุ่น 6010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การส่งข้อมูลผ่านทางสาย RS232 ออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์โดยโปรแกรม Labview



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการรับข้อมูลโดยโปรแกรม Labview

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Time	Gauss										
2	8590448	-112										
3	8590493	49										
4	8590509	89										
5	8590531	102										
6	8590545	127										
7	8590560	171										
8	8590571	242										
9	8590583	382										
10	8590597	488										
11	8590616	584										
12	0590630	END										
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24												
25												

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้ง รูปที่ 4.5 ก้ารบันทึกค่าสันามแม่เหล็กในโปรแกรม Excel เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3 ผลการทดลองการวัดค่าสนามแม่เหล็ก

##### 4.3.1 ผลการทดลองการวัดค่าสนามแม่เหล็กจากเครื่องมาตรฐาน

เครื่องมาตรฐาน จำนวนรอบของขดลวด = 250 รอบ, รัศมี = 5.7 เซนติเมตร					
กระแส (A)	สนามแม่เหล็ก (G)				
	ทฤษฎี	ทดลองครั้งที่ 1	ทดลองครั้งที่ 2	ทดลองครั้งที่ 3	เฉลี่ย
0.500	19.710	19.000	19.500	19.900	19.467
1.000	39.430	38.000	38.400	39.600	38.667
1.500	59.140	60.000	60.900	60.000	60.300
2.000	78.860	76.700	80.000	80.400	79.033
2.500	98.570	95.800	97.900	98.700	97.467
3.000	118.289	116.000	118.400	118.700	117.700
3.500	136.004	136.400	138.500	137.200	137.367

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองในการวัดค่าสนามแม่เหล็กโดยการป้อนกระแสไฟฟ้าในค่าต่างๆ จากเครื่องมาตรฐาน

กระแส (A)	ทฤษฎี(G)	ทดลอง(G)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (%)
0.500	19.710	19.467	1.233
1.000	39.430	38.667	1.935
1.500	59.140	60.300	-1.961
2.000	78.860	79.033	-0.219
2.500	98.570	97.467	1.119
3.000	118.289	117.700	0.498
3.500	136.004	137.367	-1.002

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (%) ของเครื่องมาตรฐานเมื่อเทียบกับ

ค่าที่คำนวณจากทฤษฎี เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำมาวาดกราฟจะได้กราฟที่มีลักษณะเป็นเชิงเส้น และสมการเส้นตรงของความเข้มสนามแม่เหล็กจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง กระแส (I) กับ สนามแม่เหล็ก (G) จากเครื่องมาตรฐาน คือ

$$G = 39.210I + 0.152 \quad (4.1)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.2 ผลการทดลองการวัดค่าสนามแม่เหล็กจากเครื่องที่สร้างขึ้น ในหน่วย โวลต์

เครื่องวัดที่สร้างขึ้น จำนวนรอบของขดลวด = 250 รอบ, รัศมี = 5.7 เซนติเมตร				
กระแส (A)	แรงดัน (V)			
	ทดลองครั้งที่ 1	ทดลองครั้งที่ 2	ทดลองครั้งที่ 3	เฉลี่ย
0.500	3.009	3.008	3.008	3.008
1.000	3.040	3.036	3.036	3.037
1.500	3.066	3.066	3.066	3.066
2.000	3.096	3.094	3.097	3.096
2.500	3.124	3.125	3.125	3.125
3.000	3.156	3.156	3.156	3.156
3.500	3.185	3.186	3.185	3.185

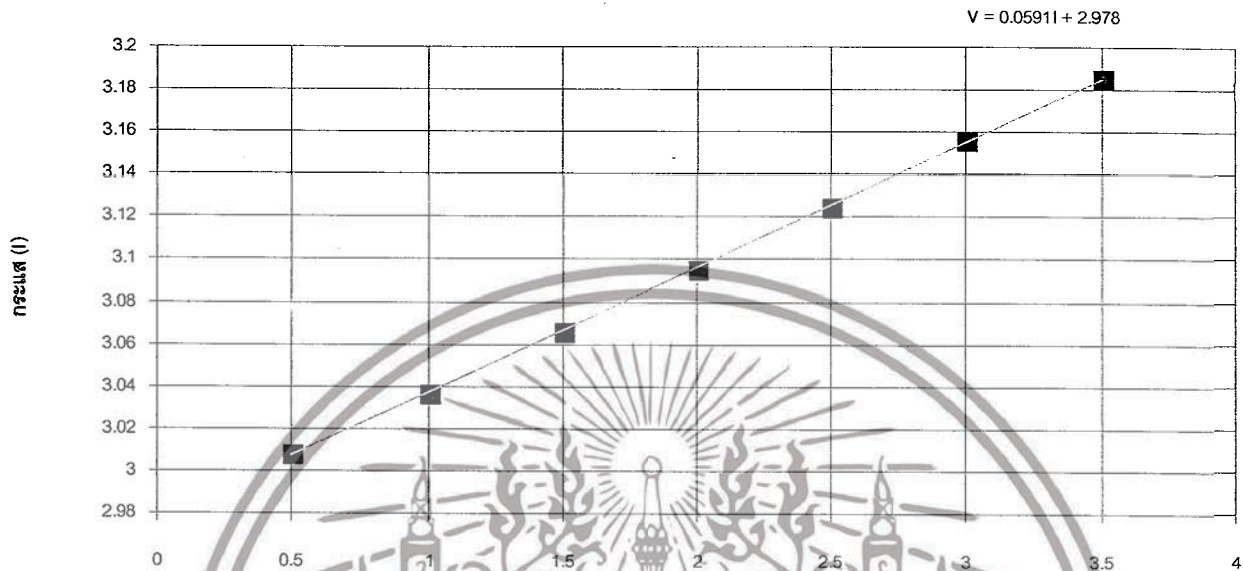
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองในการวัดค่าแรงดัน โดยการป้อนกระแสไฟฟ้าในค่าต่างๆ จากเครื่องที่สร้างขึ้น

เมื่อนำมาวาดกราฟจะได้กราฟที่มีลักษณะเป็นเชิงเส้น และสมการเส้นตรงของแรงดัน จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง กระแส (I) กับ แรงดัน (V) จากเครื่องที่สร้างขึ้น คือ

$$V = 0.059I + 2.978 \quad (4.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง กระแส (I) กับ แรงดัน (V) จากเครื่องที่สร้างขึ้น



รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง กระแส (I) กับ แรงดัน (V) จากเครื่องที่สร้างขึ้น

จากการทดลองทั้งสองนี้ สามารถนำมาสร้างความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดัน และ  
 สนามแม่เหล็กได้ดังนี้

$$\text{จากสมการ 4.1} \quad G - 0.152 = 39.210I \quad (4.3)$$

$$\text{จากสมการ 4.2} \quad V - 2.978 = 0.059I \quad (4.4)$$

$$\text{นำ (4.3) / (4.4)} \quad \frac{(G - 0.152)}{(V - 2.978)} = \frac{39.210I}{0.059I}$$

$$G - 0.152 = 39.210/0.059(V - 2.978)$$

$$G = 663.452V - 1975.607 \quad (4.5)$$

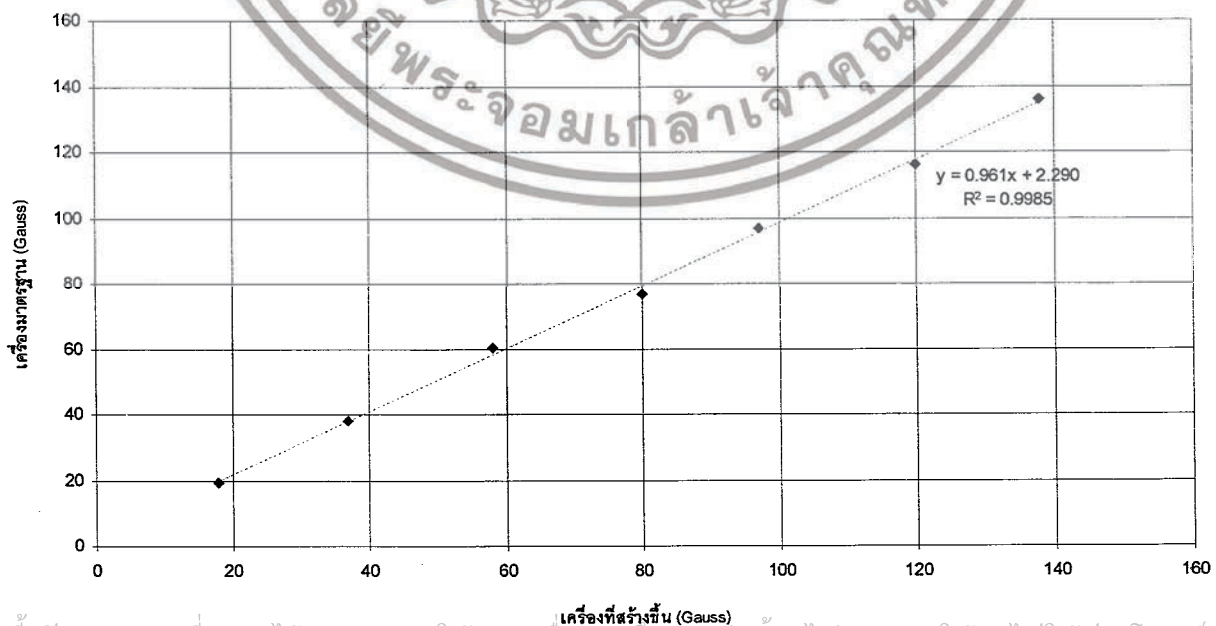
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าสนามแม่เหล็กกับค่าแรงดันแล้ว จึงนำมาเขียนโปรแกรมแปลงค่า แรงดันที่วัดได้มาเป็นค่าสนามแม่เหล็ก เพื่อนำมาสร้างเป็นเครื่องวัดสนามแม่เหล็ก

#### 4.3.3 ผลการทดลองวัดค่าจากเครื่องมาตรฐานกับเครื่องที่สร้างขึ้น

จำนวนรอบของขดลวด = 250 รอบ, รัศมี = 5.7 เซนติเมตร					
กระแส (A)	สนามแม่เหล็ก (G)			เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (%)	
	ทฤษฎี	เครื่องมาตรฐาน	เครื่องที่สร้างขึ้น	เครื่องมาตรฐาน	เครื่องที่สร้างขึ้น
0.500	19.710	19.120	18	2.993	8.676
1.000	39.430	38.000	37	3.627	6.162
1.500	59.140	60.000	58	-1.454	1.928
2.000	78.860	76.745	80	2.682	-1.446
2.500	98.570	96.750	97	1.846	1.593
3.000	118.289	116.000	120	1.935	-1.446
3.500	136.004	136.000	138	0.003	-1.468

ตารางที่ 4.4 ผลการวัดค่าสนามแม่เหล็กจากเครื่องมาตรฐานและเครื่องที่สร้างขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของค่าสนามแม่เหล็กจากเครื่องที่ขึ้นกับเครื่องมาตรฐาน  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุตบแต่งสิ่งเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการสอบเทียบได้ค่า สมการ  $y = 0.961x + 2.290$  (4.6)

ค่าความชัน = 0.961

ค่า Corelation = 0.9985



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

เครื่องวัดสนามแม่เหล็กแบบดิจิตอลที่ได้จัดทำขึ้นมา สามารถวัดค่าของสนามแม่เหล็กได้ โดยได้ทำการทดสอบวัดจากขดลวดเฮล์มโฮลทซ์ ตามขนาดของขดลวดและกระแสที่ให้ต่างๆ กัน ซึ่งผลจากการสอบเทียบที่ได้พบว่าเครื่องวัดสนามแม่เหล็กแบบดิจิตอลสามารถทำการวัดสนามแม่เหล็กได้ตรงกับเครื่องมือวัดสนามแม่เหล็กที่ได้มาตรฐานแล้ว โดยสามารถที่จะอ่านค่าสนามแม่เหล็กตั้งแต่ช่วง  $-900$  gauss ถึง  $+900$  gauss และสามารถที่จะบันทึกค่าของสนามแม่เหล็กจากการวัดที่เวลาต่าง ๆ เก็บไว้ในตัวเครื่อง ซึ่งสามารถที่จะเรียกดูข้อมูลที่ได้จากการวัดภายหลังได้ จากโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้น เพื่อให้สามารถติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องวัดสนามแม่เหล็กแบบดิจิตอลกับคอมพิวเตอร์ได้ ค่าที่ได้จากการบันทึกในคอมพิวเตอร์จะอยู่ในรูปแบบของไฟล์ไมโครซอฟเอกเซล ซึ่งจะง่ายและสะดวกต่อการอ่านข้อมูลภายหลังอีกด้วย แต่เครื่องมือวัดสนามแม่เหล็กแบบดิจิตอลที่สร้างขึ้นนี้ยังสามารถบันทึกข้อมูลจากรูปแบบการบันทึกได้สูงสุดเพียง 310 ข้อมูล และช่วงของการวัดยังสามารถอ่านได้ในช่วง  $-900$  gauss ถึง  $+900$  gauss

#### 5.2 แนวทางการพัฒนา

- 5.2.1 ใช้แบตเตอรี่แทนการใช้แหล่งจ่ายแรงดัน เพื่อความสะดวกในการใช้งานนอกสถานที่
- 5.2.2 ใช้ EEPROM ในการเก็บข้อมูล เพื่อให้ข้อมูลยังคงอยู่เมื่อปิดสวิทช์
- 5.2.3 พัฒนารูปแบบเครื่องต้นแบบให้สามารถนำไปใช้งานภายนอกสถานที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

เจลีเยว มณีเลิศ, ฟิสิกส์ระดับมหาวิทยาลัย 2: ไฟฟ้า แม่เหล็ก, ปทุมธานี: สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยรังสิต, ครั้งที่ 1 มิถุนายน 2543.

ไพโรจน์ ตีรณธนากุล, ฟิสิกส์พื้นฐาน ไฟฟ้าแม่เหล็ก, ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ.

หัวข้อสนามแม่เหล็ก : <http://science.psu.ac.th/~physics/Hall-effect%20probe.pdf>

เครื่องวัดสนามแม่เหล็ก: <http://www.school.net.th/library/snet3/saowalak/hall/hall.htm>

พิเชษฐ คงชนะ, อุดิศักดิ์ เกิดมณี, ฮอลล์ดีไวซ์, ปริญญาณีพนธ์, ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2543.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
/****** Gauss Meter *****/
```

```
#include <reg52.h>
```

```
#include <math.h>
```

```
#include <intrins.h>
```

```
#include <stdio.h>
```

```
#include "lcddrv.c"
```

```
#define XBYTE ((unsigned char volatile xdata*) 0)
```

```
sfr AUXR = 0x8E;
```

```
sbit D_line = P1^1;
```

```
sbit CLK = P1^2;
```

```
sbit CS = P1^3;
```

```
char Data_in,flag,mode;
```

```
int Data_out,i,gauss,p,d,e,f,j,h,m,a,c,a1,a2;
```

```
float volt,mav;
```

```
xdata unsigned int buff[350];
```

```
xdata unsigned int buff1[9];
```

```
unsigned char cputick,line1[20],line2[20];
```

```
unsigned int sec,min,min1,hour,msec,sec1;
```

```
unsigned int b,x,xm,xa,y,z,s,*pa;
```

```
void clr_screen(void);
```

```
void botton(void);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void delay(unsigned int num) //Function Delay
```

```
{  
    unsigned int i,k;  
    for(i=0;i<=num;i++)  
    {  
        for(k=0;k<=1000;k++)  
        {  
        }  
    }  
}
```

```
////////////////////////////////////
```

```
void tick(void) interrupt 5
```

```
{  
    TF2=0;  
    cputick++;  
}
```

```
////////////////////////////////////
```

```
void one_min(void)
```

```
{    TR2=1;  
    cputick=0;  
    while(cputick<10)  
    ;  
    cputick = 0;  
}
```

```
////////////////////////////////////
```

```
void CLK_high()
```

```
{  
    CLK = 1;  
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
////////////////////////////////////
```

```
void CLK_low()
```

```
{  
    CLK = 0;  
}
```

```
////////////////////////////////////
```

```
void send()
```

```
{  
    if(Data_in & 0x80)  
        {D_line = 1;}  
    else  
        {D_line = 0;}  
    Data_in <<= 1;  
    CLK_high();  
    _nop_();  
    CLK_low();  
}
```

```
////////////////////////////////////
```

```
void start()
```

```
{  
    int a;  
    CS = 1;  
    Data_in = 0xd0;  
    CLK_low();  
    CS = 0;  
    for(a=0;a<4;a++)  
    { send();  
    }  
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

////////////////////////////////////
void receive()
{
    int c;
    for(c=0;c<13;c++)
    {
        _nop_();
        Data_out<<= 1;
        Data_out |= D_line;
        CLK_high();
        _nop_();
        CLK_low();
    }
    CS = 1;
}
////////////////////////////////////
void show_lcd()
{
    unsigned char line1[20],line2[20];

    sprintf (line1,"Gauss = %d   Exit",gauss);
    goto_xy(0,0);
    Puts(line1);

    sprintf (line2,"Value : %d   S6 ",h+1);
    goto_xy(0,1);
    Puts(line2);
}
////////////////////////////////////

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void external_data_manual()
{
    buff1[e] = gauss;    // e =0;

    h=e++;    // e = 1

    if(e==10)
    {
        e=0;
    }
}
////////////////////////////////////////////////////
void external_data_auto()
{
    buff[d] = gauss;

    m=d++;

    if(d==330)
    {
        d=0;
    }
}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
////////////////////////////////////
```

```
void moving_av()
```

```
{
```

```
unsigned int av[15];
```

```
av[14]=av[13];
```

```
av[13]=av[12];
```

```
av[12]=av[11];
```

```
av[11]=av[10];
```

```
av[10]=av[9];
```

```
av[9]=av[8];
```

```
av[8]=av[7];
```

```
av[7]=av[6];
```

```
av[6]=av[5];
```

```
av[5]=av[4];
```

```
av[4]=av[3];
```

```
av[3]=av[2];
```

```
av[2]=av[1];
```

```
av[1]=av[0];
```

```
av[0]=Data_out;
```

```
mav=(av[14]+av[13]+av[12]+av[11]+av[10]+av[9]+av[8]+av[7]+av[6]+av[5]  
+av[4]+av[3]+av[2]+av[1]+av[0])/15;
```

```
volt = mav*0.001220703125;
```

```
gauss = (663.4517766*volt) - 1975.606990; //int
```

```
show_lcd();
```

```
}
```

```
////////////////////////////////////
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void A2D()
{
    start();
    receive();
    Data_out &= 0x0FFF;
    moving_av();
}

/////////////////////////////////////////////////////////////////
int check_switch(void)
{
    unsigned char ch;
    ch = XBYTE[0x200];
    switch(ch)
    {
        case 0xEF: return(1);break; // S3
        case 0xDE: return(2);break; // S4
        case 0xBF : return(3);break; // S5
        case 0x7F : return(4);break; // S6
        case 0xF7 : return(5);break; // dipswitch
        default : return(0);break;
    }

    delay(10);
}

/////////////////////////////////////////////////////////////////
void welcome()
{
    sprintf (line1," Gauss Meter ");
    goto_xy(0,0);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Puts(line1);
sprintf (line2,"          ");
goto_xy(0,1);
Puts(line2);
delay(150);
}

```

```

////////////////////////////////////

```

```

void index_menu()

```

```

{
    sprintf (line1," Record Send ");
    goto_xy(0,0);
    Puts(line1);
    sprintf (line2," S3 S5 ");
    goto_xy(0,1);
    Puts(line2);
}

```

```

////////////////////////////////////

```

```

void display_set_time(void)

```

```

{
    sprintf (line1," Set Time Push S3 ");
    goto_xy(0,0);
    Puts(line1);
    sprintf (line2,"          ");
    goto_xy(0,1);
    Puts(line2);
    delay(300);
}

```

```

////////////////////////////////////

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void timer()
{
    a2=0;
    cputick=0;
    d=0;
    if ((sec==0)&&(min!=0)){sec=60;min1=min--;}

```

```

while(a2!=3)

```

```

{

```

```

    while (cputick<100)
    {

```

```

        cputick = 0;

```

```

        x=msec++;

```

```

        if(x>=57)
        {

```

```

            msec=0;

```

```

            y=sec--; // Count Seconds

```

```

            if(y==0)
            {

```

```

                A2D();

```

```

                external_data_auto();

```

```

                s=y;

```

```

            }
            if(s==0)
            {

```

```

                sec=60;

```

```

                z=min--;

```

```

        // Count Minutes

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(z<=0)
{
    min=0;
    sec=0;
    cputick = 101;
    a2=3;
}
}
}

```



```

sprintf (line1,"Gauss = %d",gauss);
goto_xy(0,0);
Puts(line1);
sprintf(line2," [ %02d:%02d ]",min,sec);
goto_xy(0,1);
Puts(line2);
}
}
}

```

////////////////////////////////////

```

void set_time()
{
    a1=check_switch();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

delay(30);
while(a1!=3)
{
    a1=check_switch();
    delay(30);

    if(a1==1)
    {
        sec = sec+30;
        if(sec==60)
        {
            sec=0;
            min++;
            if(min==6)
            {
                min = 0;
            }
        }

        sprintf (line1," [%02d:%02d ] Start",min,sec);
        goto_xy(0,0);
        Puts(line1);

        sprintf (line2," Push S3   S5 ");
        goto_xy(0,1);
        Puts(line2);
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

timer();

printf (line1," Recorde Complete. ");

goto_xy(0,0);

Puts(line1);

printf (line2,"
");
goto_xy(0,1);
Puts(line2);
delay(300);
}
////////////////////////////////////////////////////
void send_manual(void)
{
for(j=0;j<h+1;j++)
{
pa=&buff1[j];
xm=*pa;
printf("%d\n",xm);
}

printf (line1," Send Complete. ");
goto_xy(0,0);
Puts(line1);

printf (line2,"
");
goto_xy(0,1);
Puts(line2);
delay(200);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
////////////////////////////////////
```

```
void send_auto(void)
```

```
{
```

```
    for(j=0;j<m+1;j++)
```

```
    {
```

```
        pa=&buff[j];
```

```
        xa=*pa;
```

```
        printf("%d\n",xa);
```

```
    }
```

```
        sprintf (line1," Send Complete. ");
```

```
        goto_xy(0,0);
```

```
        Puts(line1);
```

```
        sprintf (line2,"");
```

```
        goto_xy(0,1);
```

```
        Puts(line2);
```

```
        delay(200);
```

```
    }
```

```
////////////////////////////////////
```

```
void send_com(void)
```

```
{
```

```
    sprintf (line1," Auto Manual Exit ");
```

```
    goto_xy(0,0);
```

```
    Puts(line1);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

sprintf (line2," S3  S5  S6 ");
goto_xy(0,1);
Puts(line2);

do
{
a = check_switch();
}
while(a==0);

switch(a)
{
case 1:
send_auto();
break;
case 3:delay(100);
send_manual();
break;
case 4:printf("a=4\n");break;
}
delay(50);
printf("3000\n");
index_menu();
delay(50);
botton();
}

////////////////////////////////////

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void menu()
```

```
{
```

```
do
```

```
{
```

```
  a = check_switch();
```

```
}
```

```
while(a==0);
```

```
  a = check_switch();
```

```
  switch(a)
```

```
  { // Push S3 in bottom
```

```
    case 1: while(a!=4) // S6 exit manual
```

```
    {
```

```
      do
```

```
      {
```

```
        A2D();
```

```
        a = check_switch();
```

```
        delay(20);
```

```
      } while(!((a==1)|| (a==4)));
```

```
      if (a==1)
```

```
      {
```

```
        one_min();
```

```
        external_data_manual();
```

```
      }
```

```
    }
```

```
  e=0;
```

```
  one_min();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        botton();
        break;

//////// Push S5 in botton////////

case 3 :      while(a!=5) // S5 Auto
                {
                    do{
                        display_set_time();
                        delay(150);
                        set_time();
                        index_menu();
                        delay(50);
                        botton();
                    }
                    while(a!=5);
                    d=0;
                    break;
                }
case 4 :delay(50);////////
                index_menu();
                delay(50);
                botton();
                break;
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
////////////////////////////////////
```

```
void botton()
```

```
{
```

```
do
```

```
{
```

```
a = check_switch();
```

```
}
```

```
while(a==0);
```

```
a = check_switch();
```

```
switch(a)
```

```
{
```

```
case 1: while(a!=4) {
```

```
sprintf (line1," Manual Auto Exit");
```

```
goto_xy(0,0);
```

```
Puts(line1);
```

```
sprintf (line2," S3 S5 S6 ");
```

```
goto_xy(0,1);
```

```
Puts(line2);
```

```
delay(150);
```

```
menu();
```

```
}
```

```
a=5;
```

```
delay(150);
```

```
index_menu();
```

```
break;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        case 3 :delay(100);

                send_com();

                break;

    }
}

```

```

////////////////////////////////////

```

```

main()

```

```

{

```

```

    SCON = 0x50;

```

```

    TMOD |= 0x21;

```

```

    TH1 = 0xFD;

```

```

    TR1 = 1;

```

```

    TI = 1;

```

```

    PCON &= 0x7F;

```

```

    RCAP2H = 0xDC;

```

```

    RCAP2L = 0x00;

```

```

    TR2 = 0;

```

```

    TF2 = 1;

```

```

    ET2 = 1;

```

```

    EA = 1;

```

```

    AUXR = 2;

```

```

    f = 0;

```

```

    e = 0;

```

```

    d = 0;

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
a=0;
```

```
sec=0;
```

```
min= 0;
```

```
hour=0;
```

```
msec=0;
```

```
InitLcd();
```

```
welcome();
```

```
index_menu();
```

```
while(1)
```

```
{
```

```
botton();
```

```
}
```

```
////////////////////////////////////
```

```
/****** Gauss Meter *****/
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

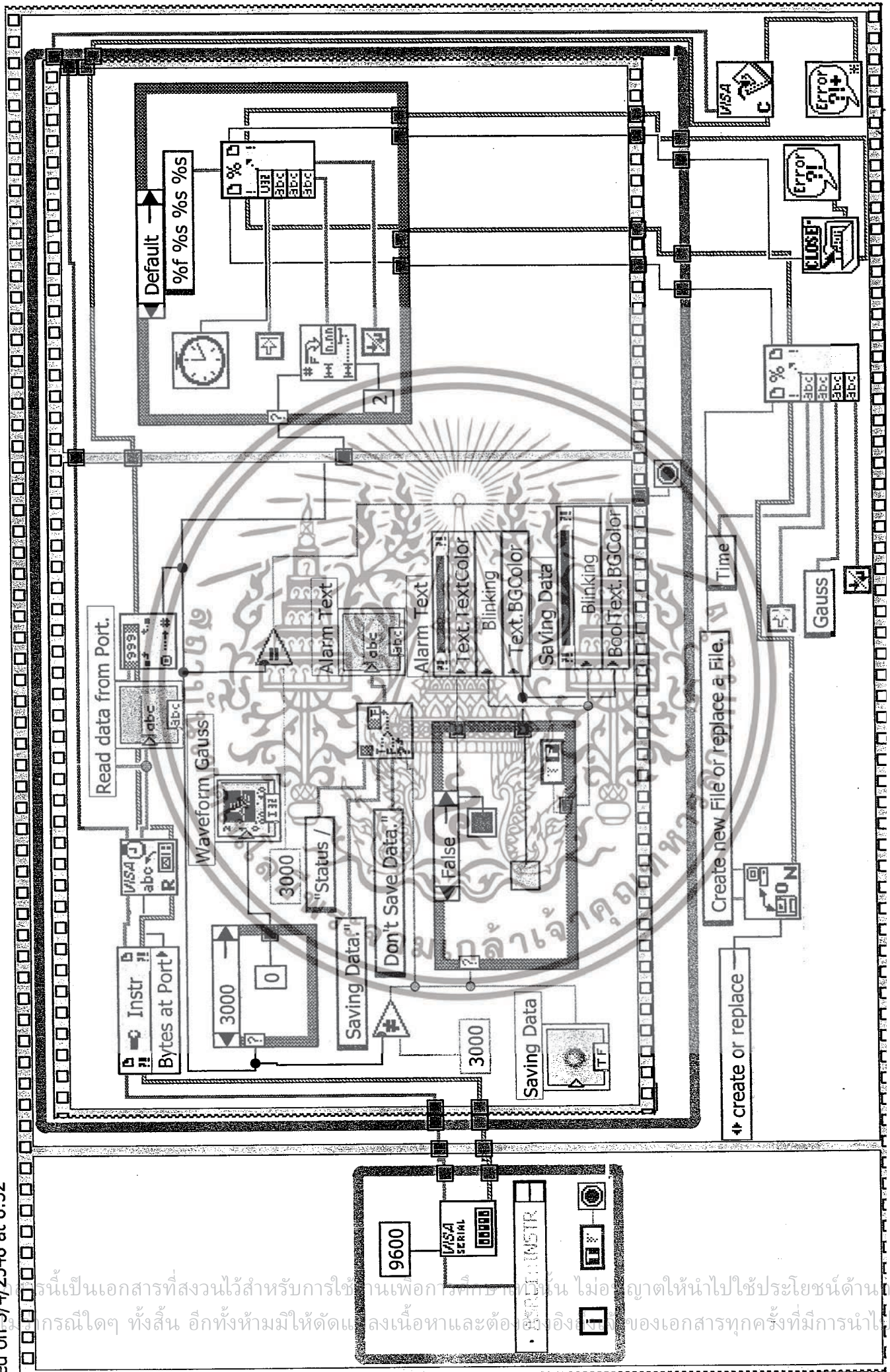


ภาคผนวก ข.

โปรแกรมการรับค่าทางหน้าจอกอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม Labview

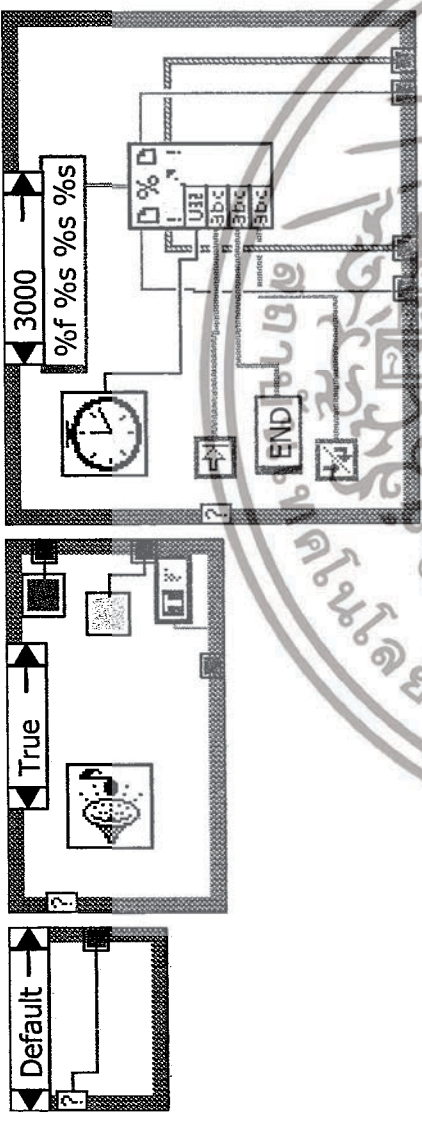
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project 7-03-48\เอกสารอ้างอิง\gaussmeter\_labview.vi  
ast modified on 6/3/2548 at 16:00  
printed on 5/4/2548 at 8:52



นี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
กรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project 7-03-48\เอกสารอ้างอิง\gaussmeter\_labview.vi  
Last modified on 6/3/2548 at 16:00  
Printed on 5/4/2548 at 8:52



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

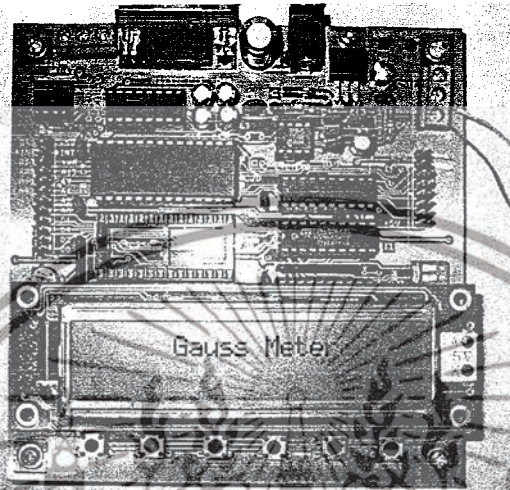


ภาคผนวก ค.  
ขั้นตอนการใช้งาน

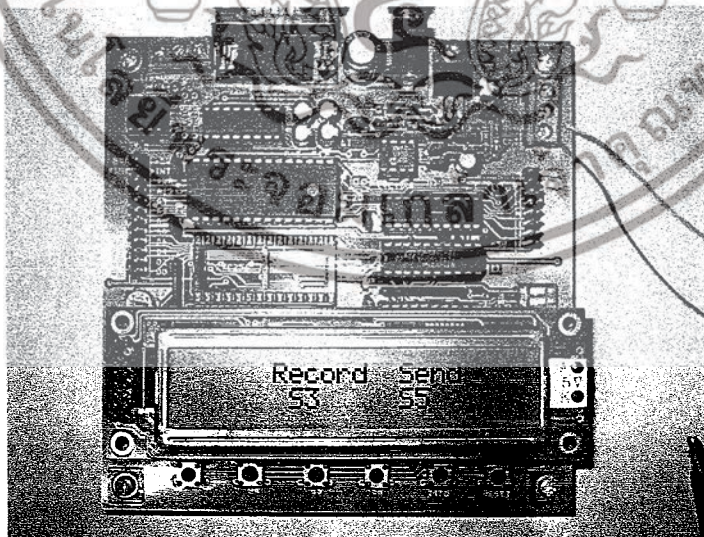
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ขั้นตอนการใช้เครื่อง

1. เข้าสู่เมนู

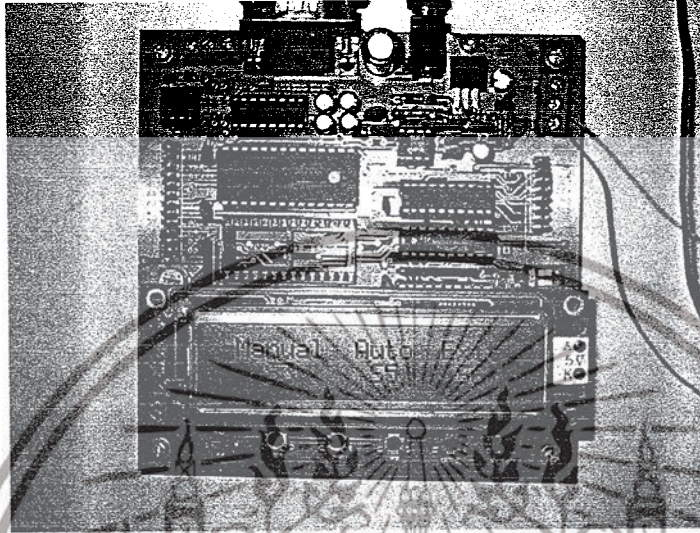


2. เมนูหลัก

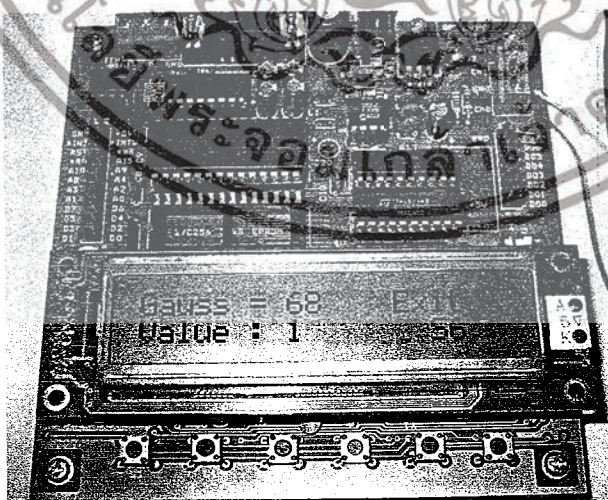


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กด S3 เพื่อเข้าสู่เมนูบันทึกข้อมูล

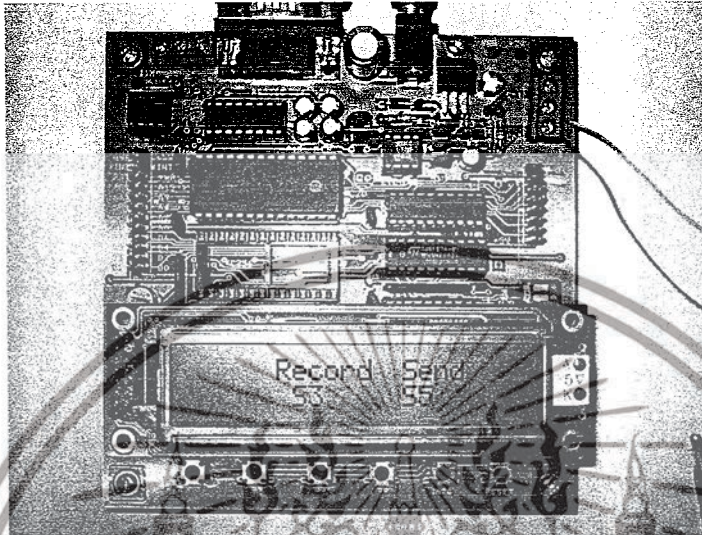


4. กด S3 เพื่อทำการบันทึกค่าแบบ Manual

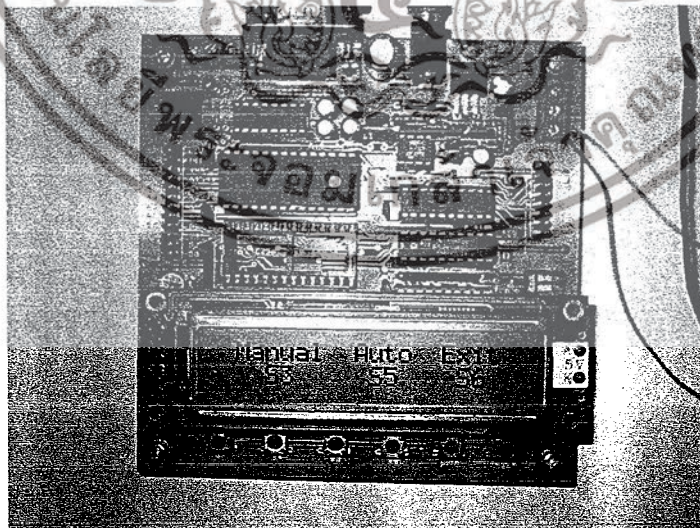


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. กด S6 เมื่อต้องการออกมาที่เมนูหลัก

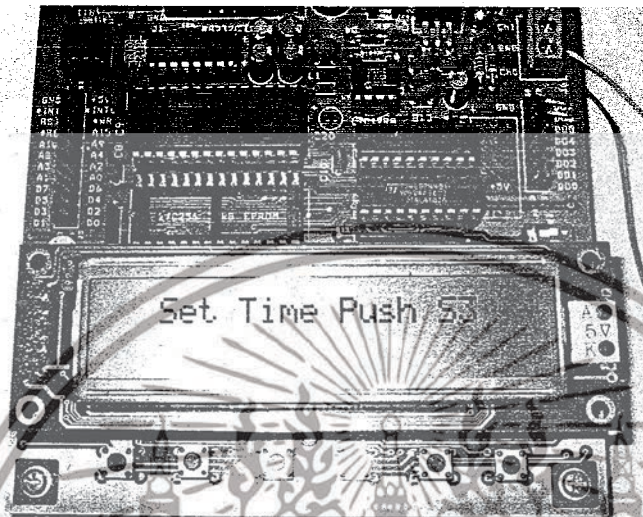


6. กด S3 เพื่อเข้าสู่เมนูบันทึกข้อมูล

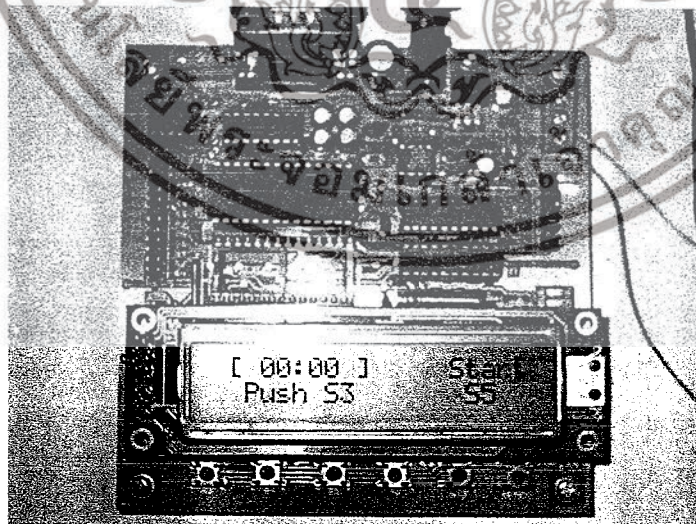


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. กด S5 เพื่อเข้าสู่เมนูการบันทึกข้อมูลแบบ Auto

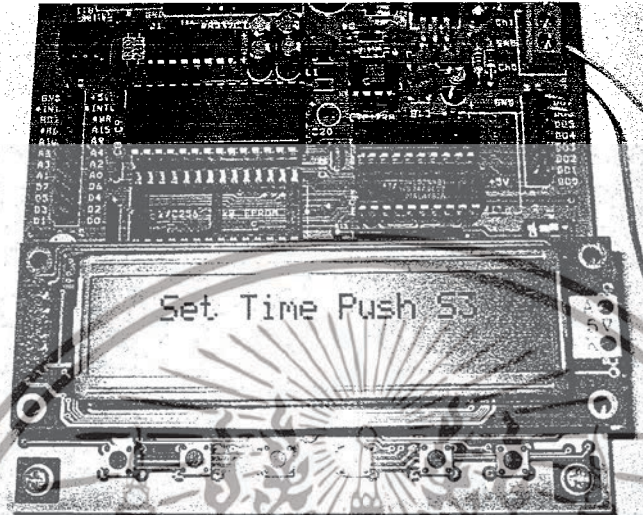


8. กด S3 เพื่อตั้งเวลา

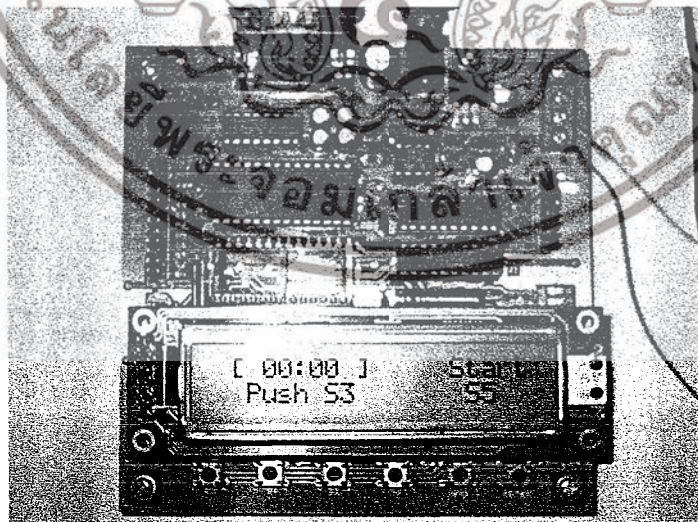


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

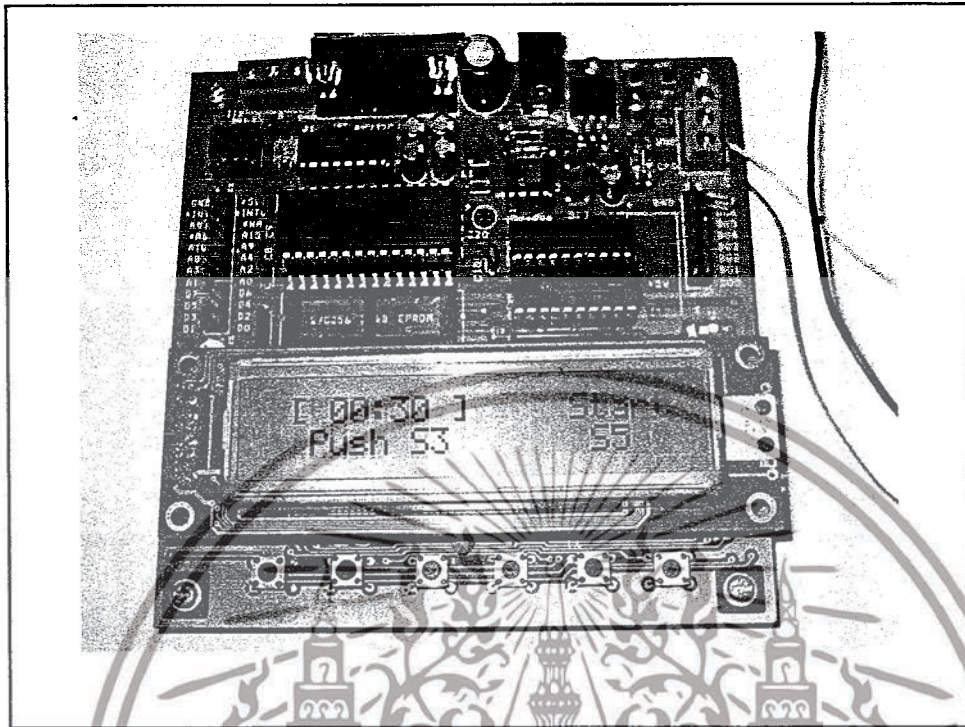
7. กด S5 เพื่อเข้าสู่เมนูการบันทึกข้อมูลแบบ Auto



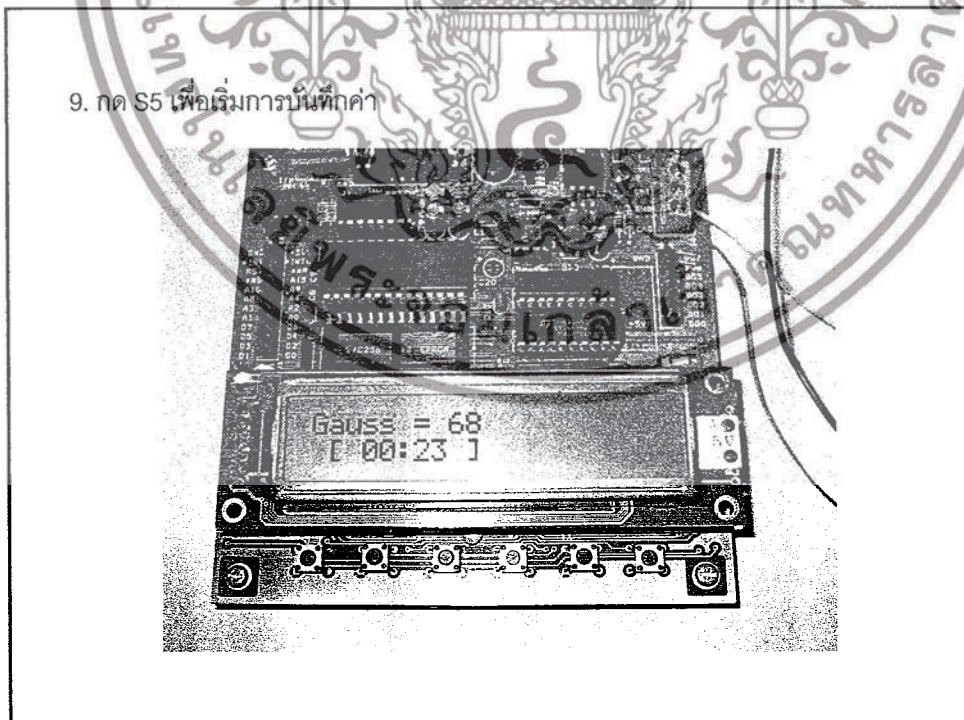
8. กด S3 เพื่อตั้งเวลา



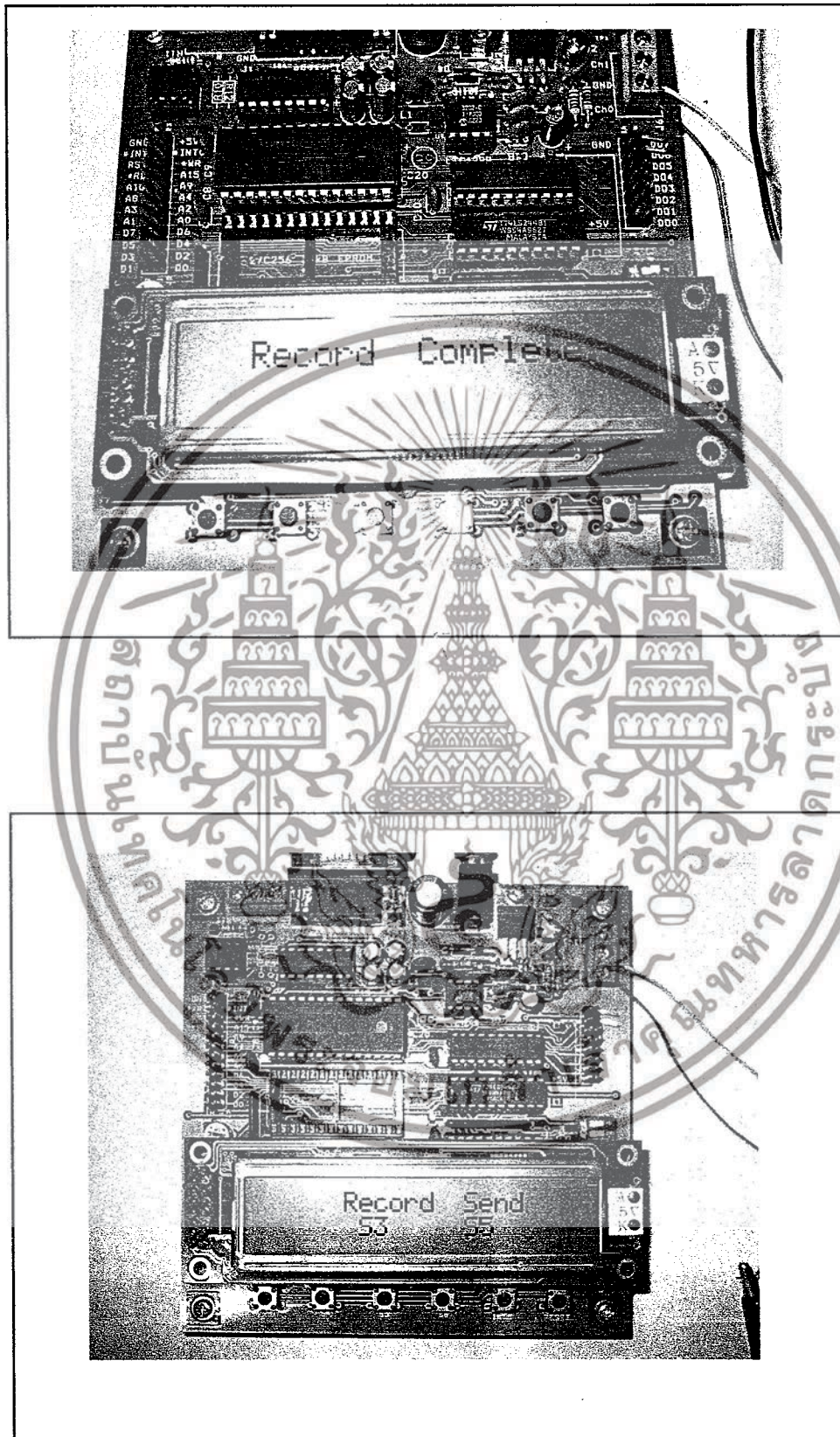
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



9. กด S5 เพื่อเริ่มการบันทึกค่า

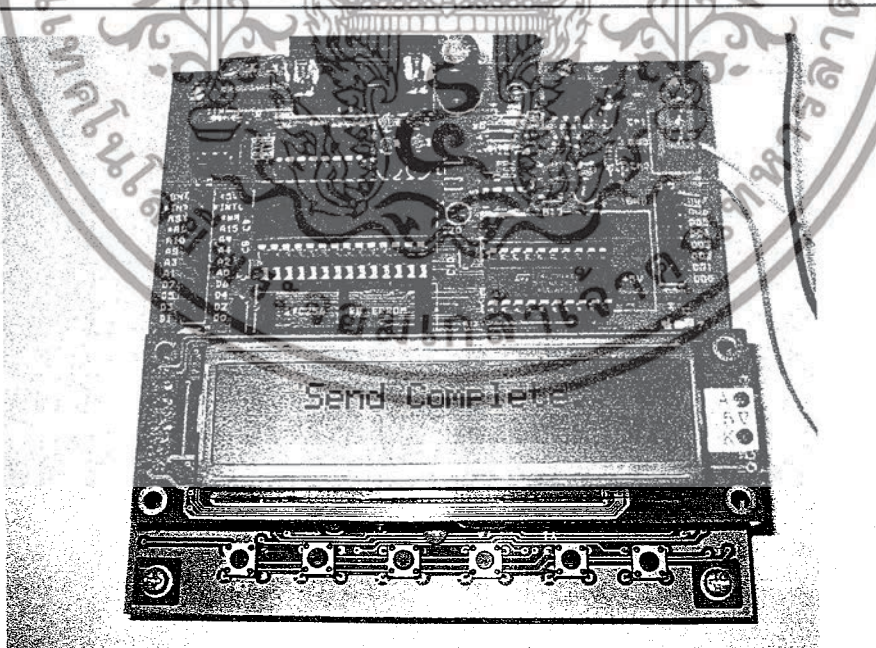
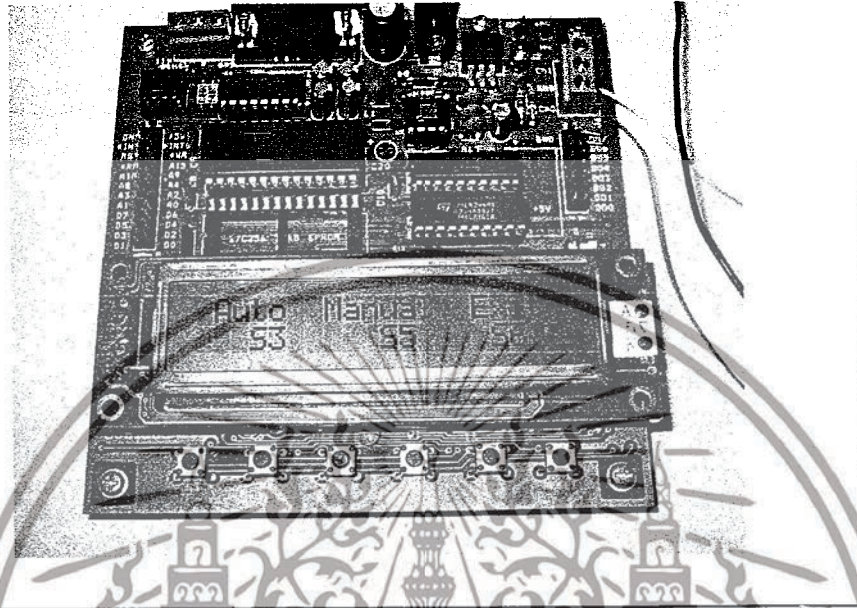


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



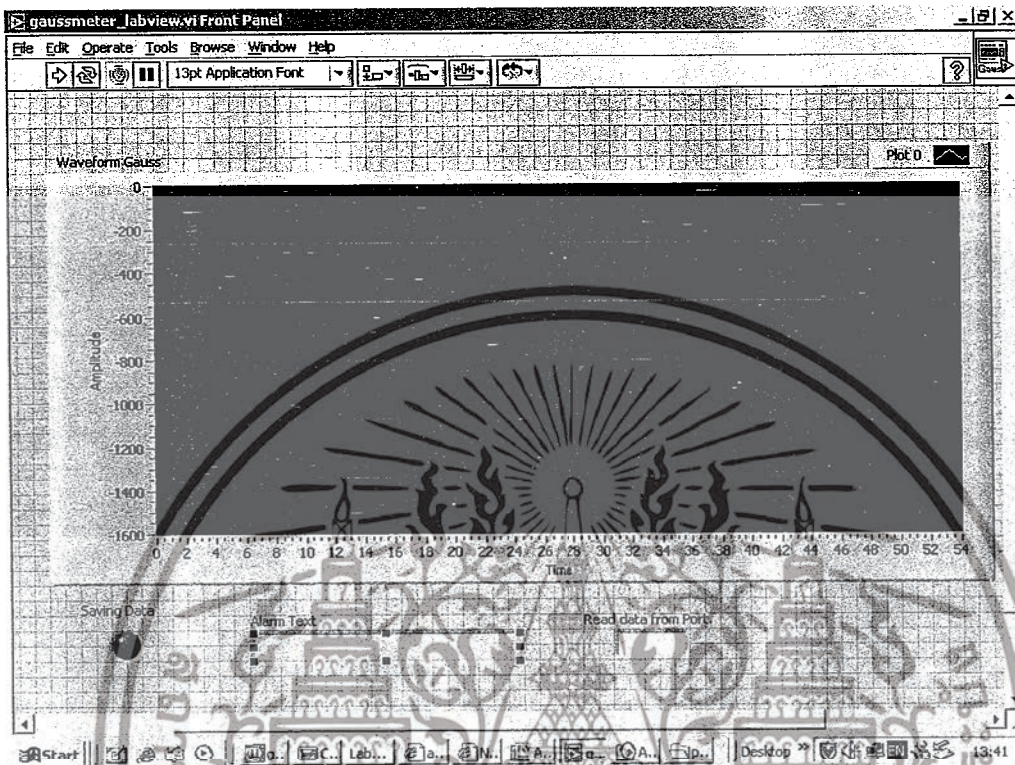
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. กด S5 เพื่อเข้าสู่เมนูส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์

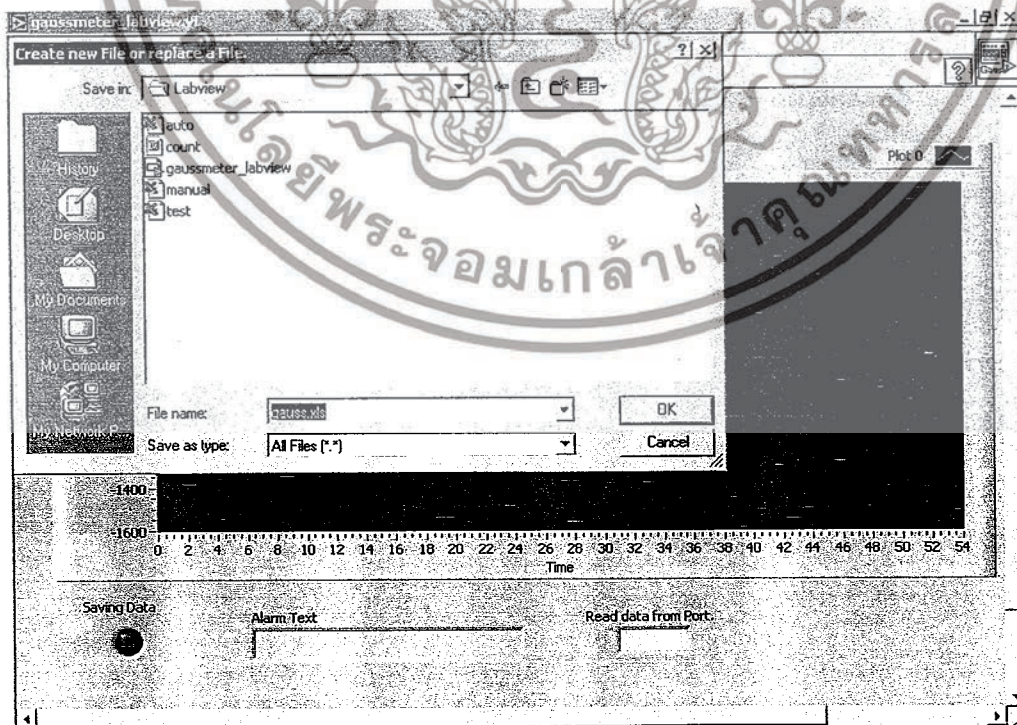


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 11. กดปุ่มเริ่มการทำงานที่โปรแกรม Labview



## 12. ตั้งชื่อไฟล์เพื่อบันทึกข้อมูล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. โปรแกรมจะแสดงข้อมูลที่ส่งมาโดยการพลอตกราฟค่า เกาส์ และ เวลา ที่สัมพันธ์กัน



14. โปรแกรมทำการบันทึกข้อมูลลงในโปรแกรม Excel

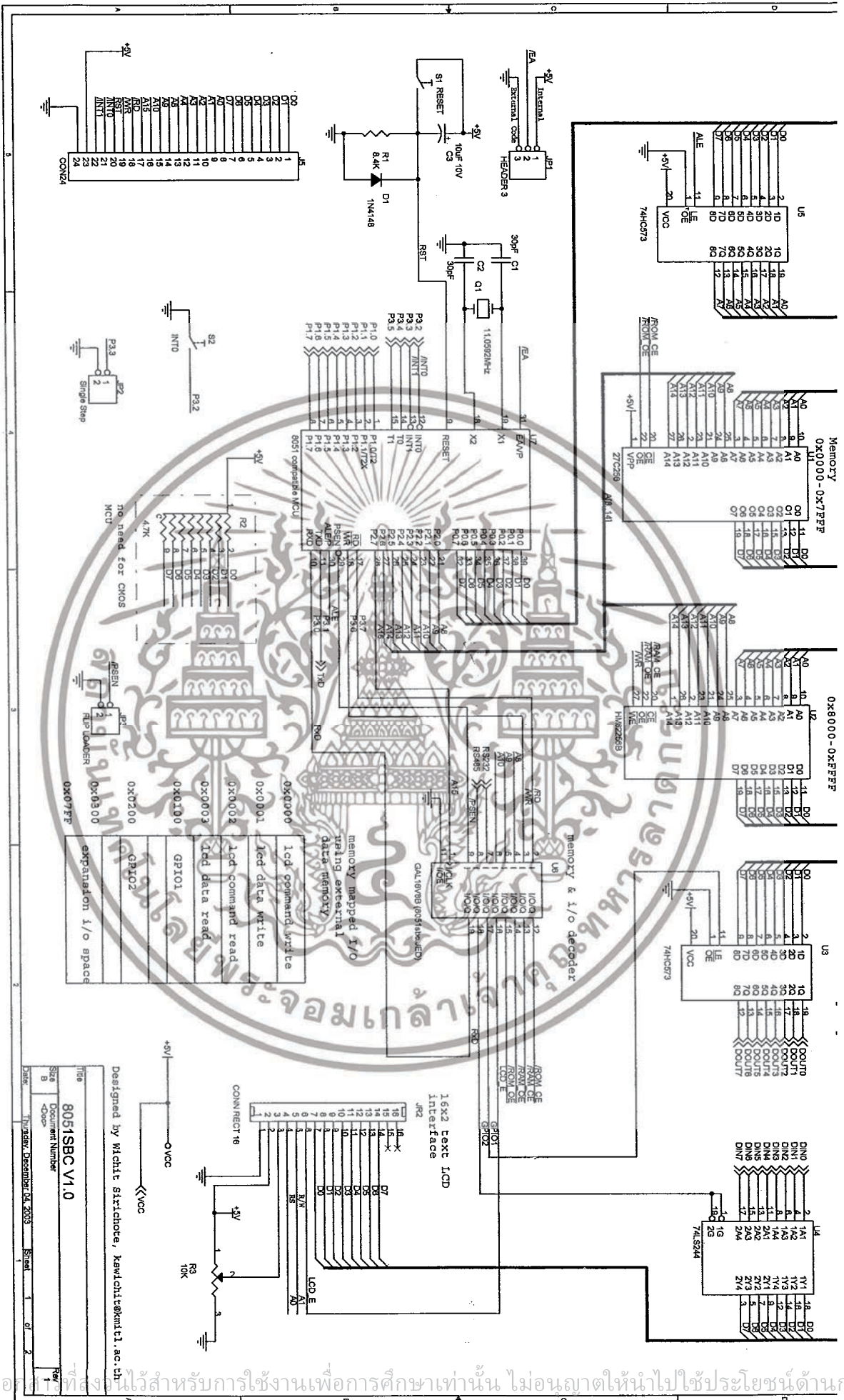
The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet with the following data:

Time	Gauss
8590448	-112
8590493	49
8590509	83
8590531	102
8590545	127
8590560	171
8590571	242
8590583	382
8590597	468
8590616	584
8590638	END

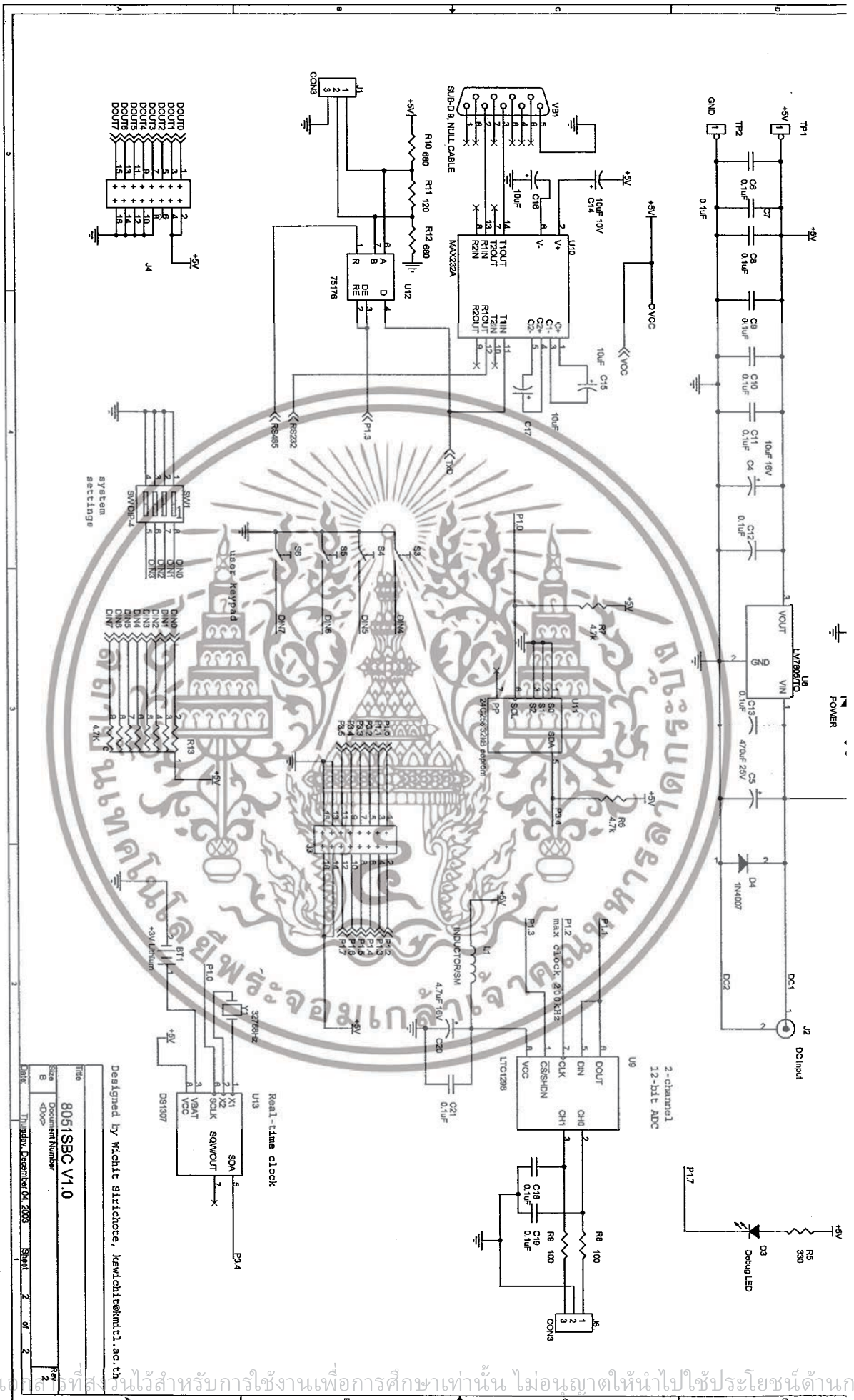
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Designed by Nitchit Sitichone, kawichit@kmitl.ac.th

8051SBC V1.0

Size: A4  
 Document Number: 8051SBC V1.0  
 Rev: 2

Date: Thursday, December 04, 2003 Sheet: 2 of 2

# P89V51RB2/RC2/RD2

8-bit 80C51 5 V low power 16/32/64 kB Flash microcontroller with 1 kB RAM

Rev. 03 — 02 December 2004

Product data

## 1. General description

The P89V51RB2/RC2/RD2 are 80C51 microcontrollers with 16/32/64 kB Flash and 1024 bytes of data RAM.

A key feature of the P89V51RB2/RC2/RD2 is its X2 mode option. The design engineer can choose to run the application with the conventional 80C51 clock rate (12 clocks per machine cycle) or select the X2 mode (6 clocks per machine cycle) to achieve twice the throughput at the same clock frequency. Another way to benefit from this feature is to keep the same performance by reducing the clock frequency by half, thus dramatically reducing the EMI.

The Flash program memory supports both parallel programming and in serial In-System Programming (ISP). Parallel programming mode offers gang-programming at high speed, reducing programming costs and time to market. ISP allows a device to be reprogrammed in the end product under software control. The capability to field/update the application firmware makes a wide range of applications possible.

The P89V51RB2/RC2/RD2 is also In-Application Programmable (IAP), allowing the Flash program memory to be reconfigured even while the application is running.

## 2. Features

- 80C51 Central Processing Unit
- 5 V Operating voltage from 0 MHz to 40 MHz
- 16/32/64 kB of on-chip Flash user code memory with ISP (In-System Programming) and IAP (In-Application Programming)
- Supports 12-clock (default) or 6-clock mode selection via software or ISP
- SPI (Serial Peripheral Interface) and enhanced UART
- PCA (Programmable Counter Array) with PWM and Capture/Compare functions
- Four 8-bit I/O ports with three high-current Port 1 pins (16 mA each)
- Three 16-bit timers/counters
- Programmable watchdog timer
- Eight interrupt sources with four priority levels
- Second DPTR register
- Low EMI mode (ALE inhibit)
- TTL- and CMOS-compatible logic levels



**PHILIPS**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้เพื่อการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# MCP3202

## 2.7V Dual Channel 12-Bit A/D Converter with SPI™ Serial Interface

### Features

- 12-bit resolution
- $\pm 1$  LSB max DNL
- $\pm 1$  LSB max INL (MCP3202-B)
- $\pm 2$  LSB max INL (MCP3202-C)
- Analog inputs programmable as single-ended or pseudo-differential pairs
- On-chip sample and hold
- SPI™ serial interface (modes 0,0 and 1,1)
- Single supply operation: 2.7V - 5.5V
- 100 ksp/s max. sampling rate at  $V_{DD} = 5V$
- 50 ksp/s max. sampling rate at  $V_{DD} = 2.7V$
- Low power CMOS technology
  - 500 nA typical standby current, 5  $\mu A$  max.
  - 550  $\mu A$  max. active current at 5V
- Industrial temp range: -40°C to +85°C
- 8-pin MSOP, PDIP, SOIC and TSSOP packages

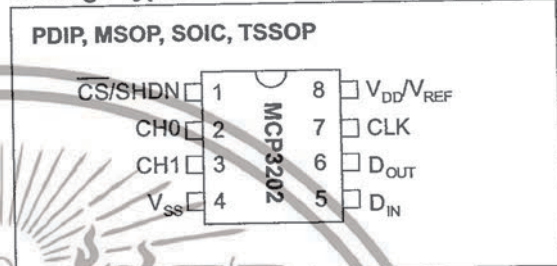
### Applications

- Sensor Interface
- Process Control
- Data Acquisition
- Battery Operated Systems

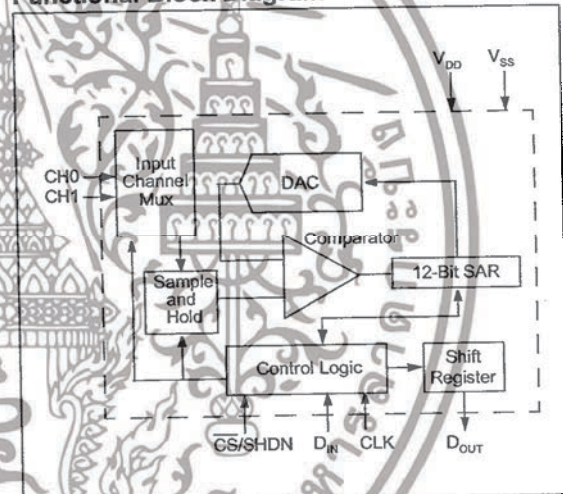
### Description

The Microchip Technology Inc. MCP3202 is a successive approximation 12-bit Analog-to-Digital (A/D) Converter with on-board sample and hold circuitry. The MCP3202 is programmable to provide a single pseudo-differential input pair or dual single-ended inputs. Differential Nonlinearity (DNL) is specified at  $\pm 1$  LSB, and Integral Nonlinearity (INL) is offered in  $\pm 1$  LSB (MCP3202-B) and  $\pm 2$  LSB (MCP3202-C) versions. Communication with the device is done using a simple serial interface compatible with the SPI protocol. The device is capable of conversion rates of up to 100 ksp/s at 5V and 50 ksp/s at 2.7V. The MCP3202 device operates over a broad voltage range (2.7V - 5.5V). Low current design permits operation with typical standby and active currents of only 500 nA and 375  $\mu A$ , respectively. The MCP3202 is offered in 8-pin MSOP, PDIP, TSSOP and 150 mil SOIC packages.

### Package Types



### Functional Block Diagram



# 3503

27501B\*

## RATIOMETRIC, LINEAR HALL-EFFECT SENSORS

The UGN3503LT, UGN3503U, and UGN3503UA Hall-effect sensors accurately track extremely small changes in magnetic flux density—changes generally too small to operate Hall-effect switches.

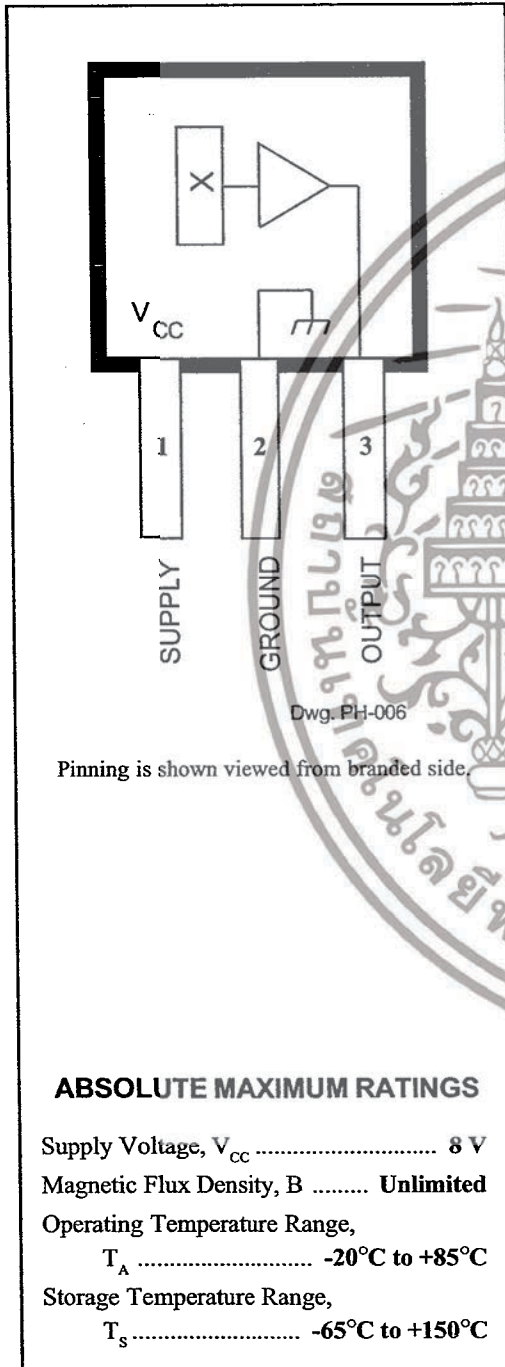
As motion detectors, gear tooth sensors, and proximity detectors, they are magnetically driven mirrors of mechanical events. As sensitive monitors of electromagnets, they can effectively measure a system's performance with negligible system loading while providing isolation from contaminated and electrically noisy environments.

Each Hall-effect integrated circuit includes a Hall sensing element, linear amplifier, and emitter-follower output stage. Problems associated with handling tiny analog signals are minimized by having the Hall cell and amplifier on a single chip.

Three package styles provide a magnetically optimized package for most applications. Package suffix 'LT' is a miniature SOT-89/T0-243AA transistor package for surface-mount applications; suffix 'U' is a miniature three-lead plastic SIP, while 'UA' is a three-lead ultra-mini-SIP. All devices are rated for continuous operation over the temperature range of -20°C to +85°C.

### FEATURES

- Extremely Sensitive
- Flat Response to 23 kHz
- Low-Noise Output
- 4.5 V to 6 V Operation
- Magnetically Optimized Package



### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage, $V_{CC}$ .....	8 V
Magnetic Flux Density, B .....	Unlimited
Operating Temperature Range,	
$T_A$ .....	-20°C to +85°C
Storage Temperature Range,	
$T_S$ .....	-65°C to +150°C

Always order by complete part number, e.g., **UGN3503UA**.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อที่ Allegro MicroSystems, Inc. ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้