

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การควบคุมเซอร์โวโดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งชนิดปรากฏการณ์ฮอลล์

แบบสองแกน

**SERVO CONTROL USING 2-AXIS HALL EFFECT ROTARY
ENCODER**



โดย

นาย อภิสิทธิ์ อยู่ประเสริฐ

นาย อรรถพล บุญรอด

นาย อานนท์ เรตทิพย์

วท.
๐๒๖๙๓
๒๕๔๘

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 62342
วัน,เดือน,ปี 16 ส.ค. 2549

b. -11621333
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2548

การควบคุมเซอร์โวโดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งชนิดปรากฏการณ์ฮอลล์

แบบสองแกน

SERVO CONTROL USING 2-AXIS HALL EFFECT ROTARY
ENCODER



อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.สมภพ ผลไม้

ผศ.ดร.สุวัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2548

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การควบคุมเซอร์โวโดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งชนิดปรากฏการณ์ฮอลล์
แบบสองแกน

ผู้จัดทำ

- 
1. นาย อภิลิทธิ์ อยู่ประเสริฐ
 2. นาย อรรถพล บุญรอด
 3. นาย อานนท์ เรตทิพย์

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร. สมภาพ ผลไม้)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุพัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมเซอร์โวโดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งชนิดปรากฏการณ์ฮอลล์ แบบสองแกน

นาย อภิสสิทธิ์ อยู่ประเสริฐ
 นาย อรรถพล บุญรอด
 นาย อานนท์ เรตทิพย์
 ดร.สมภพ ผลไม้ อาจารย์ที่ปรึกษา
 ผศ.ดร.สุวัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา อาจารย์ที่ปรึกษา
 ปีการศึกษา 2548

บทคัดย่อ

การควบคุมตำแหน่งและความเร็วของมอเตอร์ในปัจจุบัน อุปกรณ์ที่สำคัญคือเอนโคดเดอร์ เป็นอุปกรณ์สำคัญในการควบคุมแบบป้อนกลับ ซึ่งราคาของเอนโคดเดอร์จะมีราคาสูงตามความละเอียดของพัลส์ที่จ่ายได้ ในโครงการนี้จะทำการใช้เซ็นเซอร์ชนิดปรากฏการณ์ฮอลล์แบบสองแกน มาใช้ในการระบุค่าตำแหน่งของเฟลมอเตอร์แทนเอนโคดเดอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการรับค่าตำแหน่งประมวลผลและสั่งการสัญญาณควบคุม เนื่องจากสามารถสั่งการและประมวลผลด้วยซีพียูเพียงตัวเดียว ทำให้มีความสะดวกในการปรับปรุงแก้ไขการทำงาน

SERVO CONTROL USING 2-AXIS HALL EFFECT ROTARY ENCODER

Apisit	Yooprasert	
Atthaphon	Boonrod	
Arnon	Retthip	
Dr.Somphob	Polmai	Advisor
Asst. Prof. Dr. Supat	Kittiratsatcha	Advisor
2005		

ABSTRACT

At present, encoder is used to control position and speed of DC motor, which is important part of feedback regulation. The cost of the encoder depends on number of pulse supplied by the encoder. In this project, we replace the encoder with a two-axis hall effect sensor in identifying rotor position.

Microcontroller PIC16F877 is used as data receiver, regulator and processing unit, due to it can order and process all data with only one CPU which make it very convenient to improve or modify task.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือของบุคคลหลายท่านด้วยกัน ผู้จัดทำโครงการรู้สึกซาบซึ้งต่อความกรุณาที่ ดร.สมภพ ผลไม้ และ ผศ.ดร.สุวัฒน์ กิตติรัตน์สังจา อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำแนะนำในการทำโครงการครั้งนี้ทั้งทาง ทฤษฎีและปฏิบัติ ตลอดจนอาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชา ความรู้ให้กับผู้จัดทำ

นอกจากนั้นผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ พี่นักศึกษาในระดับปริญญาโทภายในห้อง Pearl Lab ทุกท่านที่ให้คำปรึกษาในระหว่างการทำโครงการ ขอขอบคุณเพื่อนห้อง High Volt ที่ให้ยืมอุปกรณ์ เครื่องมือช่าง เพื่อนห้อง Pearl Lab ทุกคนที่อยู่ทำงานร่วมกันตลอดทั้งปีที่ผ่านมา

ท้ายที่สุดนี้ ผู้จัดทำต้องขอกราบขอพระคุณบิดา มารดา ที่คอยส่งเสียเงินทอง ดูแล และให้กำลังใจตลอดมา ทำให้ผู้จัดทำจบการศึกษาในครั้งนี้

ผู้จัดทำ

อานนท์ เรตทิพย์
อภิสิทธิ์ อยู่ประเสริฐ
อรรถพล บุญรอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
สารบัญรูป	III
สารบัญตาราง	IV
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดในการวิจัย.....	1
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	4
2.2 อุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่ง.....	10
2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	13
2.4 อุปกรณ์สวิตซ์ในอิเล็กทรอนิกส์กำลัง.....	19
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างวงจรควบคุม.....	22
3.1 ส่วนของวงจรถูกำลัง.....	22
3.1.1 วงจรเรียงกระแส.....	22
3.1.2 การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ 4 ควอดแดรนต์.....	22
3.2 วงจรที่ใช้ร่วมกับฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์.....	24
3.2.1 วงจรเดทไทม์.....	24
3.2.2 วงจรขับไอจีบีที.....	25
บทที่ 4 การออกแบบการทดลองและผลการทดลองโครงการ.....	26
4.1 การทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของมอเตอร์.....	26
4.2 การทดสอบหาค่าเอาร์ทพุทของเซนเซอร์ Sentron 2SA-10.....	28
4.3 การทดลองจำลองการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์แบบ 4 ควอดแดรนต์ โดยใช้โปรแกรม PScad.....	30
4.3.1 สัญญาณที่ใช้ในการขับไอจีบีที.....	32
4.3.2 ระบบการคอนโทรล.....	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
4.3.3 ผลการจำลองการควบคุมตำแหน่งที่มุมต่างๆ.....	41
4.4 การจำลองการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์แบบ 4 ควอดแดรนต์.....	45
4.5 ผลการควบคุมตำแหน่ง.....	55
 บทที่ 5 บทสรุป.....	 58

ภาคผนวก

กิตติกรรมประกาศ

เอกสารอ้างอิง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

III

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงภาพรวมของโครงการ.....	2
2.1 แสดงมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทั้ง 4 แบบ.....	5
2.2 วงจรเสมือนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขดลวดกระตุ้นแยก.....	6
2.3 การนำมอเตอร์ไปขับโหลด.....	9
2.4 โมเดลมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบเส้นแรงแม่เหล็กคงที่.....	9
2.5 บล็อกไดอะแกรมของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	9
2.6 แสดงการหาตำแหน่งเพลามอเตอร์ด้วยเซนเซอร์ชนิดปรากฏการณ์ฮอลล์แบบสองแกน.....	11
2.7 แสดงการวางตำแหน่งของเซนเซอร์และแม่เหล็ก.....	11
2.8 แม่เหล็กที่ใช้ร่วมกับเซนเซอร์.....	11
2.9 สัญญาณแรงดันที่เกิดจากการหมุนของแม่เหล็ก.....	12
2.10 แสดงการจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์.....	13
2.11 (ก) สัญลักษณ์พื้นฐานของไอจีบีที (ข) คุณสมบัติกระแสและแรงดันไฟฟ้า (ค) คุณสมบัติในอุดมคติ.....	20
3.1 วงจร ดีซี ทู ดีซีฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์เพื่อใช้ในการควบคุมแบบ 4 ควอดแรนต์.....	23
3.2 Full Bridge Converter แบบ Diode.....	23
3.3 การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ 4 ควอดแรนต์.....	24
3.4 การสร้างสัญญาณพีดับลิวเอ็มแบบยูนิโพลาร์ด้วย Pic Microcontroller	24
3.5 วงจรเดทไทม์.....	25
3.6 วงจรขับไอจีบีที.....	25
4.1 แสดงวงจรที่ใช้ในการหาค่าความเหนี่ยวนำของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	27
4.2 สัญญาณที่ได้จากการใช้ออสซิลโลสโคปจับสัญญาณของวงจรรูปที่ 4.1.....	28
4.3 การต่อขาต่างๆของเซนเซอร์.....	29
4.4 การติดตั้งเซนเซอร์และแม่เหล็กเข้ากับเพลามอเตอร์.....	29
4.5 สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากตัวเซนเซอร์.....	29
4.6 (ก) ส่วนของวงจรกำลัง	30
(ข) ส่วนของฟังก์ชันถ่ายโอนของมอเตอร์.....	31
(ค) ส่วนของวงจรควบคุม และ สร้างสัญญาณพีดับลิวเอ็ม.....	31
4.7 สัญญาณที่ใช้ในการขับอุปกรณ์สวิตซ์ในการหมุนแบบฟอร์เวิร์ด.....	32
4.8 กระแส (I_a) แรงดัน (E_a) แรงดัน (E_b) แรงดัน (E_{ab}) ในการหมุนแบบฟอร์เวิร์ด.....	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่	หน้า
4.9 ทิศทางการไหลของกระแสของการทำงานในควอดแดรนต์ที่ 1	
ก) กรณีที่ไอจีบีที 1 และ 4 ทำงานพร้อมกัน.....	33
ข) กรณีที่ไอจีบีที 4 ทำงานแต่ 1 ไม่ทำงาน (free wheeling diode)	34
4.10 สัญญาณที่ใช้ในการขับอุปกรณ์สวิตซ์ในการเบรกแบบฟอร์เวิร์ด.....	35
4.11 กระแส (I_a) แรงดัน (E_a) แรงดัน (E_b) แรงดัน (E_{ab}) ในการเบรกแบบฟอร์เวิร์ด.....	35
4.12 ทิศทางการไหลของกระแสของการทำงานในควอดแดรนต์ที่ 2.....	36
4.13 สัญญาณที่ใช้ในการขับอุปกรณ์สวิตซ์ในการหมุนแบบรีเวิร์ส.....	36
4.14 กระแส (I_a) แรงดัน (E_a) แรงดัน (E_b) แรงดัน (E_{ab}) ในการหมุนแบบรีเวิร์ส.....	37
4.15 ทิศทางการไหลของกระแสของการทำงานในควอดแดรนต์ที่ 3	
ก) กรณีที่ไอจีบีที 2 และ 3 ทำงานพร้อมกัน.....	37
ข) กรณีที่ไอจีบีที 3 ทำงานแต่ 2 ไม่ทำงาน (free wheeling diode).....	38
4.16 สัญญาณที่ใช้ในการขับอุปกรณ์สวิตซ์ในการเบรกแบบรีเวิร์ส.....	39
4.17 กระแส (I_a) แรงดัน (E_a) แรงดัน (E_b) แรงดัน (E_{ab}) ในการเบรกแบบรีเวิร์ส.....	39
4.18 ทิศทางการไหลของกระแสของการทำงานในควอดแดรนต์ที่ 3.....	40
4.19 แสดงตำแหน่ง(position) ความเร็ว(speed) มุมอ้างอิง(zetar reference)	
มุมป้อนกลับ(zetar feedback) แรงดันควบคุม(V control).....	41
4.20 แสดงตำแหน่ง(position) ความเร็ว(speed) มุมอ้างอิง(zetar reference)	
มุมป้อนกลับ(zetar feedback) แรงดันควบคุม(V control).....	42
4.21 แสดงตำแหน่ง(position) ความเร็ว(speed) มุมอ้างอิง(zetar reference)	
มุมป้อนกลับ(zetar feedback) แรงดันควบคุม(V control).....	43
4.22 โพลซาร์ตแสดงขั้นตอนการทำงานของการควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์.....	46
4.23 โพลซาร์ตแสดงส่วนของโปรแกรมแสดงการรับค่า และการหาค่าตำแหน่ง	
(lookup table)	47
4.24 โพลซาร์ตแสดงส่วนของโปรแกรมการสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม โดยการควบคุม	
แบบ PI.....	48
4.25 โพลซาร์ตแสดงส่วนของการโปรแกรมการแสดงผลตำแหน่งผ่าน LED.....	49
4.26 วงจร ดีซีทูดีซีฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์เพื่อใช้ในการควบคุมแบบ 4 ควอดแดรนต์.....	50
4.27 การควบคุมมอเตอร์ในควอดแดรนต์ที่ 1	
ก) สัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่ออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์.....	50
ข) สัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่ออกจากชุดขับไอจีบีที.....	51
4.28 การควบคุมมอเตอร์ในควอดแดรนต์ที่ 2 และ 4	
ก) สัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่ออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์	51
ข) สัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่ออกจากชุดขับไอจีบีที.....	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่	หน้า
4.29 การควบคุมมอเตอร์ในควอดแดรนต์ที่ 3	
ก) สัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่ออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์	52
ข) สัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่ออกจากชุดขับไอจีบีที.....	53
4.30 สัญญาณเดดไทม์ที่ได้จากวงจร	
ก) รูปคลื่นสัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่ผ่านวงจรเดดไทม์.....	53
ข) รูปคลื่นสัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่ผ่านวงจรเดดไทม์เมื่อทำการขยายภาพ.....	54
4.31 แสดงการทำงานในการระบุตำแหน่งเฟลมอเตอร์ผ่าน LED ตัวเลขเจ็ดส่วนกับ	
ตำแหน่งจริง	56



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IV

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สรุปการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877.....	15
2.2 เปรียบเทียบสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่นิยมใช้.....	20
4.1 ผลการวัดค่าแรงดันและกระแสที่จ่ายให้กับมอเตอร์เพื่อหาค่าความต้านทานของ ขดลวดอาร์มาเจอร์.....	26
4.2 ผลการเปรียบเทียบการระบุตำแหน่งเพลามอเตอร์ระหว่าง แอลอีดี ตัวเลขเจ็ดส่วน และตำแหน่งจริง.....	55



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันความเจริญก้าวหน้าของเทคโนโลยีเป็นไปอย่างรวดเร็ว ทำให้การพัฒนาในด้านต่างๆรวมทั้งด้านอุตสาหกรรม มีความเจริญรุดหน้าไปมาก ซึ่งมอเตอร์เป็นปัจจัยสำคัญของโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากมีการใช้เป็นต้นกำลังในด้านต่างๆจำนวนมาก การควบคุมจะมีทั้งการควบคุมด้านความเร็วหรือตำแหน่ง อุปกรณ์ที่สำคัญในระบบการควบคุมแบบป้อนกลับก็คือ เอนโคเดอร์ โดยจะมีราคาขึ้นอยู่กับความละเอียดในการส่งสัญญาณพัลส์ซึ่งมีผลต่อความสามารถในการควบคุม ราคาอาจเริ่มตั้งแต่หลักพันไปจนถึงหลักแสนบาท

การพัฒนาอุปกรณ์ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้เซนเซอร์ราคาถูก จึงเป็นแนวทางในการลดต้นทุนในการผลิตเครื่องมือที่ใช้ในการขับมอเตอร์ทั้งในด้านตำแหน่งและความเร็ว ซึ่งอุปกรณ์ที่จะพัฒนายังมีข้อดีคือ ไม่ต้องมีการสัมผัสกับชิ้นงานที่ต้องการควบคุมตำแหน่งซึ่งจะมีความสะดวกในการบำรุงรักษามอเตอร์และลดความเสียหายที่จะเกิดกับตัวเซนเซอร์ได้ อีกทั้งยังมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับเอนโคเดอร์ปัจจุบันที่ใช้อยู่

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ 4ควอดแรนต์ โดยการประยุกต์ใช้เซนเซอร์ชนิดปรากฏการณ์ฮอลล์แบบสองแกน ในการตรวจจับและควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์
2. เพื่อศึกษาและพัฒนาระบบควบคุมมอเตอร์โดยการประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผล ร่วมกับการใช้เซนเซอร์ชนิดปรากฏการณ์ฮอลล์แบบสองแกน
3. เพื่อศึกษาการใช้ pic microcontroller โดยการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาซี

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดในงานวิจัย

ขอบเขตของโครงการแสดงบล็อกไดอะแกรม (Block Diagram) ดังรูปที่ 1.1

1. ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 ในการทดลองเนื่องจากมีวงจรสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มและวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล (A to D converter) ในตัว ภาษาที่ใช้เขียนโปรแกรมใช้ภาษาซีเนื่องจากมีความยืดหยุ่นในการทำงานสูง
2. ส่วนตรวจจับตำแหน่งใช้เซนเซอร์ชนิดปรากฏการณ์ฮอลล์แบบสองแกน 2SA-10 ในการส่งค่าสัญญาณในรูปคลื่นไซน์ และ โคไซน์ประมวลผลเป็นค่ามุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่สร้างสัญญาณควบคุมมอเตอร์ โดยรับสัญญาณจาก เซนเซอร์ชนิดปรากฏการณ์ฮอลล์แบบสองแกน เพื่อประมวลผลหาค่ามุมและรับคำสั่งจากผู้ควบคุมพร้อมทั้งแสดงผลลัพธ์

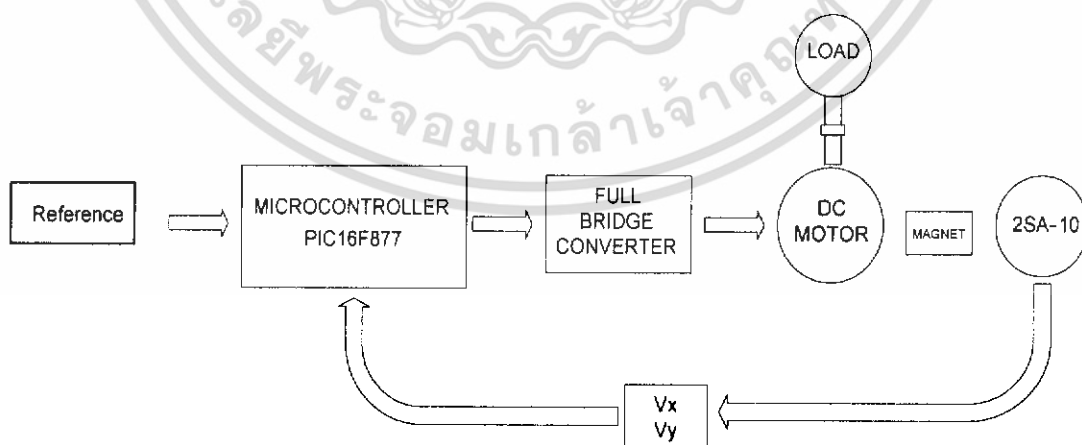
4. ควบคุมการเคลื่อนที่ของมอเตอร์โดยการปรับตัดาไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ที่ป้อนให้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ใช้วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์(Full Bridge Converter) โดยใช้สัญญาณพีดับบลิวเอ็ม (PWM) ที่สร้างจากไมโครคอนโทรลเลอร์

5. สัญญาณพีดับบลิวเอ็มใช้แบบยูนิโพลาร์ (Unipolar) ในโครงงานนี้เลือกใช้ไอจีบีที (IGBT) เป็นตัวสวิตซ์ เนื่องจากควบคุมการทำงานได้ง่าย และไม่มีความสูญเสียเนื่องจากความต้านทานภายในขณะนำกระแส

6. ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน ใช้การรับคำสั่งผ่านทางความต้านทานปรับค่าได้ (Variable resistance) และแสดงผลออกทางแอลอีดีตัวเลขเจ็ดส่วน (light emitting diode)

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาคุณสมบัติของเซนเซอร์ชนิดปรากฏการณ์ฮอลล์แบบสองแกน 2SA-10
2. ศึกษาถึงการแปลงค่าแรงดันจากเซนเซอร์ชนิดปรากฏการณ์ฮอลล์แบบสองแกน ไปเป็นค่ามุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์
3. ศึกษาถึงรายละเอียดวงจรควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบบ 4 ควอดแรนทร์ ตลอดจนวงจรที่ใช้ร่วมในโครงงาน
4. ทำการออกแบบชุดขับโหลด ชุดควบคุม ชุดวงจรกำลัง
5. เขียนโปรแกรมคำสั่งในการควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์
6. ทดลองและสรุปผล



รูปที่ 1.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงภาพรวมของโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. สามารถระบุตำแหน่งของดีซีมอเตอร์ได้โดยใช้อุปกรณ์ทดแทนเอนโคเดอร์
2. สามารถควบคุมตำแหน่งการหยุดโดยการควบคุมแบบป้อนกลับของดีซีมอเตอร์ได้
3. สามารถประยุกต์ใช้คำสั่งภาษาซี เพื่อนำมาควบคุมได้
4. สามารถประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์และเซนเซอร์ชนิดปรากฏการณ์ฮอลล์แบบสองแกน ในงานอื่นๆ ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงเป็นเครื่องจักรที่ทำหน้าที่แปลงรูปพลังงานระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานกล โดยที่เครื่องจักรทำงานโดยการหมุนตัวหมุน(Rotor) เมื่อเครื่องจักรแปลงรูปพลังงานกลไปเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงเรียกว่า "เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง(DC Generator)" และถ้าเครื่องจักรแปลงรูปพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นพลังงานกลเรียกว่า "มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) "

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีแรงบิดในขณะเริ่มหมุนสูง เพราะสามารถทำงานที่ตำแหน่งของมุมระหว่างสนามแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็ก กับสนามแม่เหล็กจากอาร์เมเจอร์ทำมุมกัน 90 องศาทางไฟฟ้า โดยที่มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสลับทั่วไปไม่สามารถทำงานที่ตำแหน่งนี้ได้

ในเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงมีซีคอมมิวเตเตอร์ (Commutator) กับแปรงถ่าน (Carbon Brush) ทำหน้าที่จัดเรียงไฟฟ้ากระแสสลับในขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Coil) ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงออกจากตัวเครื่องจักรจึงเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง แต่เมื่อศักดาที่ขั้วมีค่าสูงกว่า ศักดาที่เกิดขึ้นภายใน จะทำให้กระแสจากภายนอกไหลเข้าสู่ตัวเครื่องจักรซึ่งซีคอมมิวเตเตอร์ จะทำหน้าที่จัดเรียงกระแสที่อยู่ภายใต้ขั้วแม่เหล็กที่แตกต่างกัน ก็จะมีกระแสไหลในทิศทางตรงกันข้าม ทำให้เกิดแรงบิดเสริมกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าในเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงตัวหนึ่งสามารถเป็นได้ทั้งมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ประเภทของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายประเภทขึ้นอยู่กับลักษณะวิธีการสร้างสนามแม่เหล็กของตัวมอเตอร์ และพื้นฐานการออกแบบโครงสร้างของอาร์เมเจอร์ การแบ่งประเภทตามการจ่ายสนามแม่เหล็กแยกออกได้เป็น 2 แบบคือ

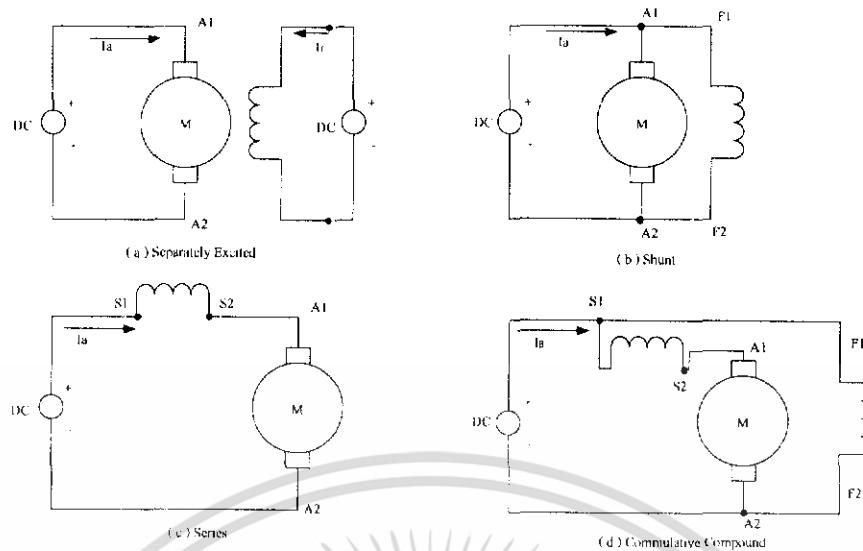
1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้
2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบเส้นแรงแม่เหล็กคงที่

2.1.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้ แบ่งออกเป็นหลายประเภทขึ้นอยู่กับลักษณะและวิธีการสร้างสนามแม่เหล็กที่ขดลวดอาร์เมเจอร์และพื้นฐานโครงสร้างที่ใช้ในการออกแบบอาร์เมเจอร์ แต่เมื่อแบ่งตามการต่อขดลวดฟิลด์จะแบ่งได้ 4 แบบดังนี้

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขดลวดกระตุ้นแยก(Separately Excited DC Motor)
2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน (Shunt DC Motor)
3. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม (Series DC Motor)
4. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม (Commutative Compound DC Motor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสดงมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทั้ง 4 แบบ

- มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขดลวดกระตุ้นแยก การควบคุมศักดาไฟฟ้าที่ติดคร่อมขดลวดอาร์เมเจอร์และขดลวดฟิลด์สามารถทำงานได้อย่างอิสระ เหมาะในงานควบคุมที่ต้องการเปลี่ยนแปลงความเร็ว หรือต้องการความเร็วคงที่

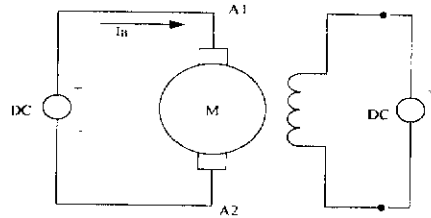
- มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน กระแสไฟฟ้าที่ไหลอยู่ในขดลวดฟิลด์จะแปรตามศักดาไฟฟ้าที่ขั้ว การควบคุมทำได้โดยการต่อตัวต้านทานอนุกรมกับขดลวดฟิลด์ แต่ไม่ค่อยดีนักเมื่อเปรียบเทียบกับแยกขดลวดกระตุ้น

- มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม กระแสที่ไหลผ่านขดลวดอาร์เมเจอร์ และขดลวดฟิลด์คือตัวเดียวกัน เมื่อมอเตอร์นี้รับโหลดเพิ่มขึ้นความเร็วรอบจะตกลงมาก แต่ข้อดีคือแรงบิดที่เกิดจากสนามแม่เหล็กมีค่าเพิ่มขึ้น มอเตอร์นี้จึงเหมาะกับงานที่ต้องการแรงบิดสูงแต่ไม่ให้ความสำคัญกับความเร็ว

- มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม เป็นการนำข้อดีของมอเตอร์แบบอนุกรมและแบบขนานมาใช้ร่วมกัน

- มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก (DC Separately Excited Motor)

วงจรเสมือนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก แสดงดังรูปที่ 2.2 ในการใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดนี้ สามารถควบคุมจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้ว Φ_p ได้อิสระจากศักดาไฟฟ้าที่ขั้ว V และกระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้า I_a



(a) Separately Excited

รูปที่ 2.2 วงจรเสมือนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขดลวดกระตุ้นแยก

ขณะทำงานเป็นมอเตอร์ ศักดาไฟฟ้าที่ขั้วมีค่าสูงกว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ E_a ดังนั้นพลังงานไฟฟ้าจะจ่ายออกมาจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่ขดลวดอาร์เมเจอร์ โดยสามารถเขียนความสัมพันธ์ของสมการได้ดังนี้

$$V_i = E_a + I_a R_a \quad (2.1)$$

ในการควบคุมการความเร็วของมอเตอร์จะอยู่ที่ค่าศูนย์ถึงค่าที่พิกัด เมื่อกำหนดให้กระแสป้อนเข้าขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก (Field Coil) คงที่ ซึ่งเป็นผลให้สนามแม่เหล็กต่อขั้วมีค่าคงที่ สมการที่ใช้ควบคุมความเร็วคือ

$$E_a = K_t \phi_p \omega \quad (2.2)$$

แทนลงในสมการที่ 2.1 จะได้

$$\omega = \frac{1}{K_t \phi_p} (V_i - I_a R_a) \quad (2.3)$$

จะพบว่าความเร็วเชิงมุม ω จะเปลี่ยนแปลงตามโหลด โดยเมื่อกระแสอาร์เมเจอร์ I_a มีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ความเร็วมอเตอร์ตกลง

แรงบิดที่เกิดจากสนามแม่เหล็ก T_e สามารถคำนวณจากสมการ

$$T_e = K_t \phi_p I_a \quad (2.4)$$

$$T_e = \frac{E_a I_a}{\omega} \quad (2.5)$$

$$T_e = \frac{1}{\omega} (V_i I_a - I_a^2 R_a) \quad (2.6)$$

จะพบว่าแรงบิดที่เกิดจากสนามแม่เหล็กแปรผันโดยตรงกับกระแสอาร์เมเจอร์ โดยที่โหลดทางกลเพิ่มขึ้น ทำให้กระแสอาร์เมเจอร์เพิ่มขึ้นตามด้วย

สมการเมื่อขับโหลดคือ

$$T_l = T_e - T_{mech, loss} \quad (2.7)$$

และเมื่อคูณด้วยความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์ ω_r จะทำให้สามารถหาค่ากำลังทางกลทางด้านเอาต์พุต $P_{o,p}$ โดยที่

$$\begin{aligned} P_{o,p} &= T_l \omega_r \\ &= T_e \omega_r - T_{mech, loss} \omega_r \end{aligned} \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งทอมของ $T_e\omega_r$ เป็นทอมที่ใช้ในการแปลงรูปพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล โดยที่

$$T_e\omega_r = E_a I_a \quad (2.9)$$

ในส่วนการแปลงรูปพลังงานจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล สามารถใช้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้ทุกรูปแบบ ไม่ขึ้นอยู่กับการต่อวงจรไฟฟ้า

2.1.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบเส้นแรงแม่เหล็กคงที่ (Permanent Magnet)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบนี้จะมีแม่เหล็กถาวรเป็นตัวสร้างสนามแม่เหล็ก อัตราส่วนระหว่างกระแสอาร์เมเจอร์และแรงบิดจะมีค่าคงที่ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ของสมการดังนี้

$$T = K_t I \quad (2.10)$$

และ
$$E_a = K_e \omega \quad (2.11)$$

ระบบนี้จะทำให้ความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสอาร์เมเจอร์ แรงบิด และความเร็วอยู่ในลักษณะลิเนียร์ (Linear) สมการของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงลักษณะนี้เขียนได้โดย

$$V_t = K_e \omega + L_a \frac{di_a}{dt} + I_a R_a \quad (2.12)$$

สมการไดนามิกของมอเตอร์คือ

$$T = T_L + J \frac{d\omega}{dt} + B\omega + T_f \quad (2.13)$$

เมื่อ	V_t	คือ ศักดาที่ป้อนให้กับมอเตอร์
	K_e	คือ ค่าคงที่ของศักดาย้อนกลับ (Back emf)
	L	คือ ค่าอินดักแตนซ์ของอาร์เมเจอร์
	R	คือ ค่าความต้านทานของอาร์เมเจอร์
	T	คือ แรงบิดที่เกิดโดยมอเตอร์
	J	คือ ผลรวมของโมเมนต์ความเฉื่อยของมอเตอร์
	B	คือ สัมประสิทธิ์ของวิสคอสแดมพ์ปีง
	T_f	คือ แรงบิดเนื่องจากแรงเสียดทานภายใน
	T_L	คือ แรงบิดขับโหลด

ข้อดีของมอเตอร์ลักษณะนี้ที่ติกว่าขดลวดพันคือ ไม่มีกำลังสูญเสียในขดลวดฟิลด์ มีประสิทธิภาพสูงกว่า และมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับมอเตอร์ที่มีพิกัดกำลังเท่ากัน การประยุกต์ใช้งานเหมาะกับระบบที่ต้องการแรงบิดของโหลดสูง

ในโครงการใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบเส้นแรงแม่เหล็กคงที่

2.1.3 การนำมอเตอร์ไปขับโหลด

แสดงโดยรูปที่ 2.3 เป็นการนำมอเตอร์ไปขับโหลด โดยการคำนวณค่าแรงบิดเป็นดังสมการ

$$T_l = 9.8(W_2 - W_1)\left(\frac{D}{2}\right) \quad (\text{N.m}) \quad (2.14)$$

$$\omega = \frac{2\pi N}{60} \quad (2.15)$$

$$P_{out} = T_l \omega \quad (\text{W}) \quad (2.16)$$

เมื่อ	W_1 คือ น้ำหนักที่อ่านได้จากตาชั่ง	(kg)
	W_2 คือ น้ำหนักของลูกตาชั่ง (Take load)	(kg)
	D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของมู่เลย์	(m)
	N คือ ความเร็วของมอเตอร์	(rpm)

2.1.4 ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function)

พิจารณามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน เมื่อมีการควบคุมศักดาไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์และคงที่ค่าสนามแม่เหล็กกระตุ้น สมการ Kirchoff สำหรับวงจรอาร์เมเจอร์คือ

$$L_a \frac{di_a(t)}{dt} + R_a i_a(t) = e(t) - e(s) \quad (2.17)$$

โดยที่ $e_c(t)$ คือ Back emf ของ motor

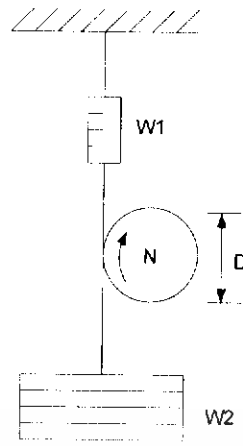
$$e_c(t) = K_v \frac{d\theta_0(t)}{dt} \quad (2.18)$$

โดยที่ K_v คือ General Constant (v/rad) สมการ NEWTON ของ Mechanical Portion

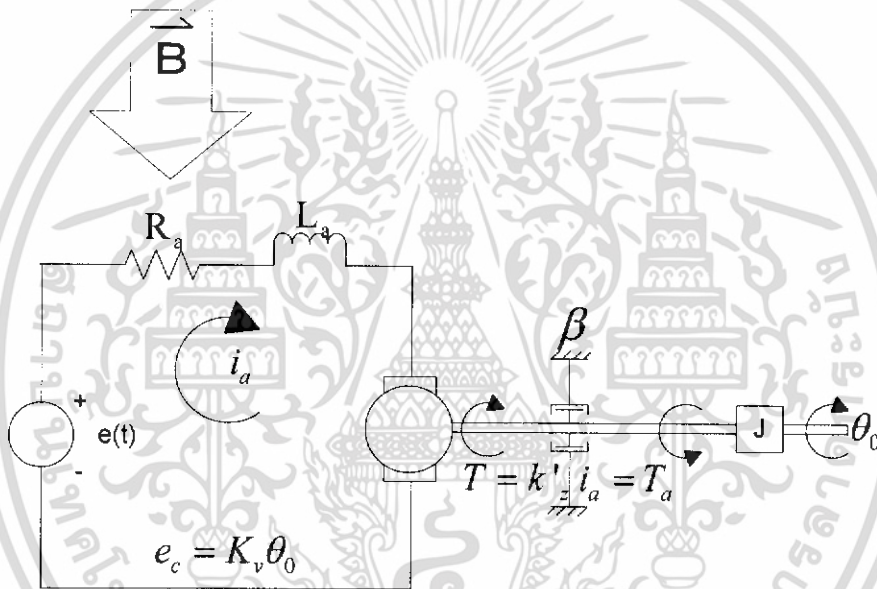
$$T_a - \beta \frac{d\theta_0(t)}{dt} = J \frac{d^2\theta_0(t)}{dt^2} \quad (2.19)$$

หรือ
$$T_a = J \frac{d^2\theta_0(t)}{dt^2} + \beta \frac{d\theta_0(t)}{dt} \quad (2.20)$$

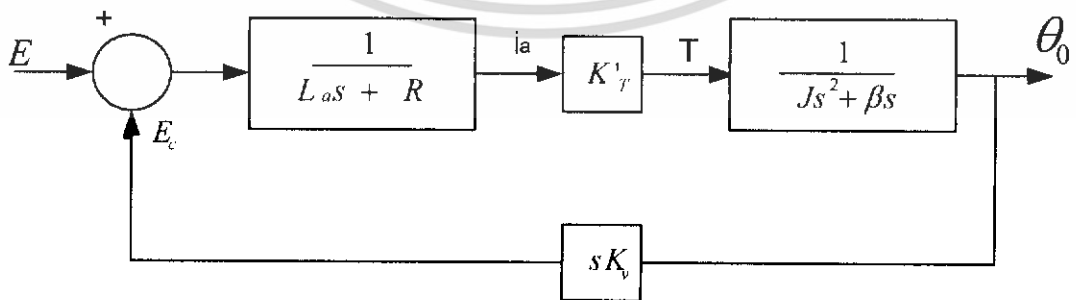
$$T_a = k'_z i_a(t) \quad (2.21)$$



รูปที่ 2.3 การนำมอเตอร์ไปขับโหลด



รูปที่ 2.4 โมเดลมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบเส้นแรงแม่เหล็กคงที่



รูปที่ 2.5 บล็อกไดอะแกรมของมอเตอร์กระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Take Laplace สมการ (2.18) – (2.21) จะได้ผลลัพธ์ดังสมการ (2.22) – (2.25)

$$(L_a s + R_a) I_a = E(s) - E_c(s) \quad (2.22)$$

$$E_c(s) = K_v s \theta_0(s) \quad (2.23)$$

$$(J s^2 + \beta s) \theta_0(s) = T_a(s) \quad (2.24)$$

$$T_a(s) = K'_z I_a(s) \quad (2.25)$$

จาก (2.22) - (2.25) จะได้
$$\frac{\theta(s)}{E(s)} = \frac{K'_z I_a(s)}{(L_a(s) + R_a) I_a (J s^2 + \beta s) + K'_z I_a(s) K_v s} \quad (2.26)$$

เขียน Block diagram แทนสมการที่ (2.22) – (2.25) ได้ดังรูปที่ 2.5

เมื่อ

$$\frac{d\theta_0(t)}{dt} = \omega$$

โดยที่

ω = ความเร็วรอบของมอเตอร์

θ = ระยะทางเชิงมุม

2.2 อุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่ง

อุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งหรือความเร็ว มีหน้าที่ในการตรวจจับสัญญาณเพื่อป้อนกลับสู่ส่วนควบคุม เพื่อทำการควบคุมตำแหน่งหรือความเร็วให้ได้ตามต้องการ ในโครงการนี้ เป็นการประยุกต์ใช้เซ็นเซอร์ชนิดปรากฏการณ์ฮอลล์แบบสองแกน ในการวัดค่าแรงดันที่เกิดจากสนามแม่เหล็กในแนวสองแกนคือแกนในแนวนอน (V_x) และแกนในแนวตั้ง (V_y) เพื่อส่งค่าไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลหาค่าตำแหน่ง เพื่อสร้างสัญญาณกลับมาควบคุมมอเตอร์ โดยผ่านวงจร DC to DC Converter แบบ Full Bridge อีกทีหนึ่ง

ในโครงการนี้ใช้เซ็นเซอร์ชนิดปรากฏการณ์ฮอลล์แบบสองแกน 2SA-10 ของบริษัท Sentron AG (A Melexis Company) ในการตรวจจับตำแหน่งเพลลา ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

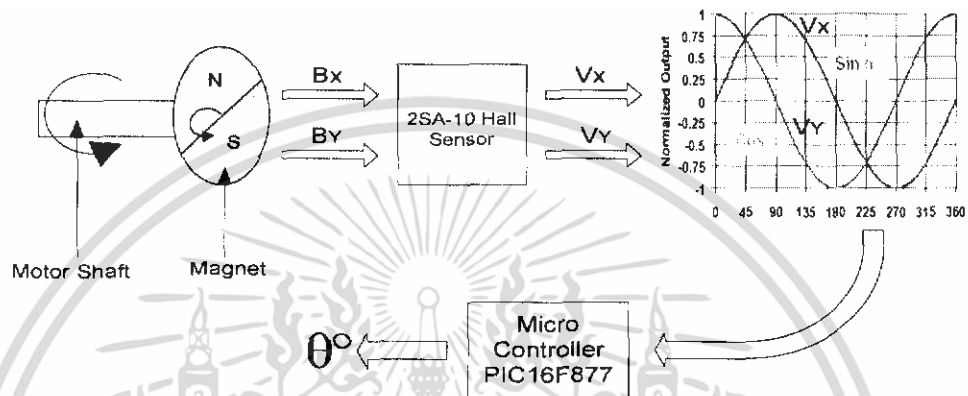
- สามารถวัดองค์ประกอบของสนามแม่เหล็กได้ 2 แกนโดยการวาง sensor ในจุดเดียวกัน
- มีความไวต่อสัญญาณสนามแม่เหล็กทั้งสองแกน
- ค่ามุมผิดพลาดสูงสุดเมื่อทำงานที่อุณหภูมิ -40°C ถึง 150°C น้อยกว่า 1°
- กระแสรบกวนต่ำ
- สร้างมาจากเทคโนโลยี CMOS
- ค่า Hysteresis ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

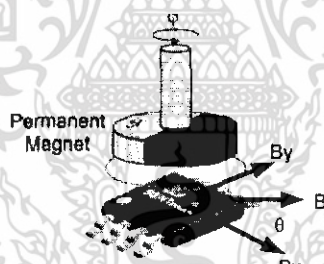
หลักการทำงานของเซนเซอร์แบบชนิดปรากฏการณ์ฮอลล์แบบสองแกน

การวัดค่าตำแหน่งมุม และความเร็วของเฟลลามอเตอร์แสดงได้ดังรูปที่ 2.6

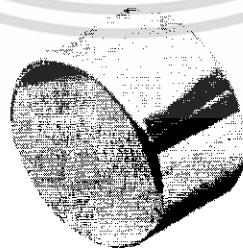
แม่เหล็กถาวรขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 6.35 มม. และหนา 3.80 มม. จะถูกติดไว้ที่เฟลาของมอเตอร์ซึ่งทำให้แม่เหล็ก มีตำแหน่งการหมุนเช่นเดียวกับเฟลา เซนเซอร์จะถูกวางไว้ในตำแหน่งที่ผิวด้านหน้าของเซนเซอร์ ขนานไปกับแม่เหล็ก ดังนั้นฟลักซ์แม่เหล็กจะเคลื่อนที่ผ่านเซนเซอร์ทำให้เกิดแรงดันเออร์ทพุต



รูปที่ 2.6 แสดงการหาตำแหน่งเฟลลามอเตอร์ด้วยเซนเซอร์ปรากฏการณ์ฮอลล์แบบสองแกน



รูปที่ 2.7 แสดงการวางตำแหน่งของเซนเซอร์และแม่เหล็ก



รูปที่ 2.8 แม่เหล็กที่ใช้ร่วมกับเซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังแสดงในรูปที่ 2.7 แม่เหล็กจะถูกติดตั้งในตำแหน่งที่มีระยะห่างจากตัวเซนเซอร์คงที่ สนามแม่เหล็กจะเคลื่อนผ่านในแนวเส้นผ่านศูนย์กลางของแม่เหล็ก เซนเซอร์ 2SA-10 มีสัญญาณเอาต์พุต 2 ค่า ซึ่งค่าแรงดันของสัญญาณเอาต์พุตจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของสนามแม่เหล็ก โดย

$V_x \cos\theta$ คือแรงดันที่เกิดจากความเข้มสนามแม่เหล็กผ่านเซนเซอร์แกนนอน (V_x)

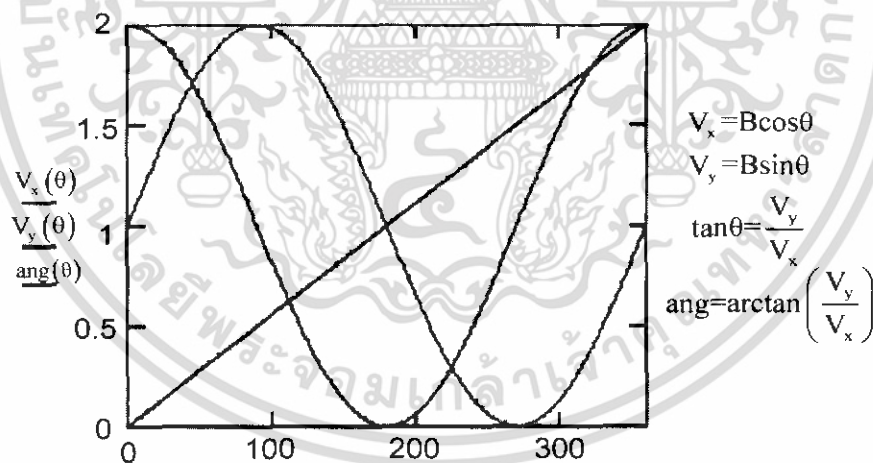
$V_x \sin\theta$ คือแรงดันที่เกิดจากความเข้มสนามแม่เหล็กผ่านเซนเซอร์แกนตั้ง (V_y)

ดังนั้นเมื่อทำการหมุนแท่งแม่เหล็ก สัญญาณแรงดันทั้งสอง (V_x และ V_y) จะสร้างสัญญาณไซน์ (SIN) และโคไซน์ (COS) ของการหมุนของแม่เหล็ก แสดงได้ดัง รูปที่ 2.9

เมื่อทำการหารค่า V_x ด้วย V_y จะได้ค่า tangent ของมุมของแม่เหล็ก ดังนั้นหากเราใช้ฟังก์ชัน arctangent ก็จะสามารถหาค่ามุมของแม่เหล็กได้ ซึ่งก็คือค่ามุมของเฟลามาเตอร์นั่นเอง แต่ค่า arctangent ฟังก์ชันจะซ้ำทุกๆ 180° และจะถูกจำกัดอยู่ที่ 90° และ 180° เมื่อ $V_x = 0$

ซึ่งอาจใช้วิธีคำนวณโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A ซึ่งมีฟังก์ชันในการหาค่า arctangent ภายในตัว

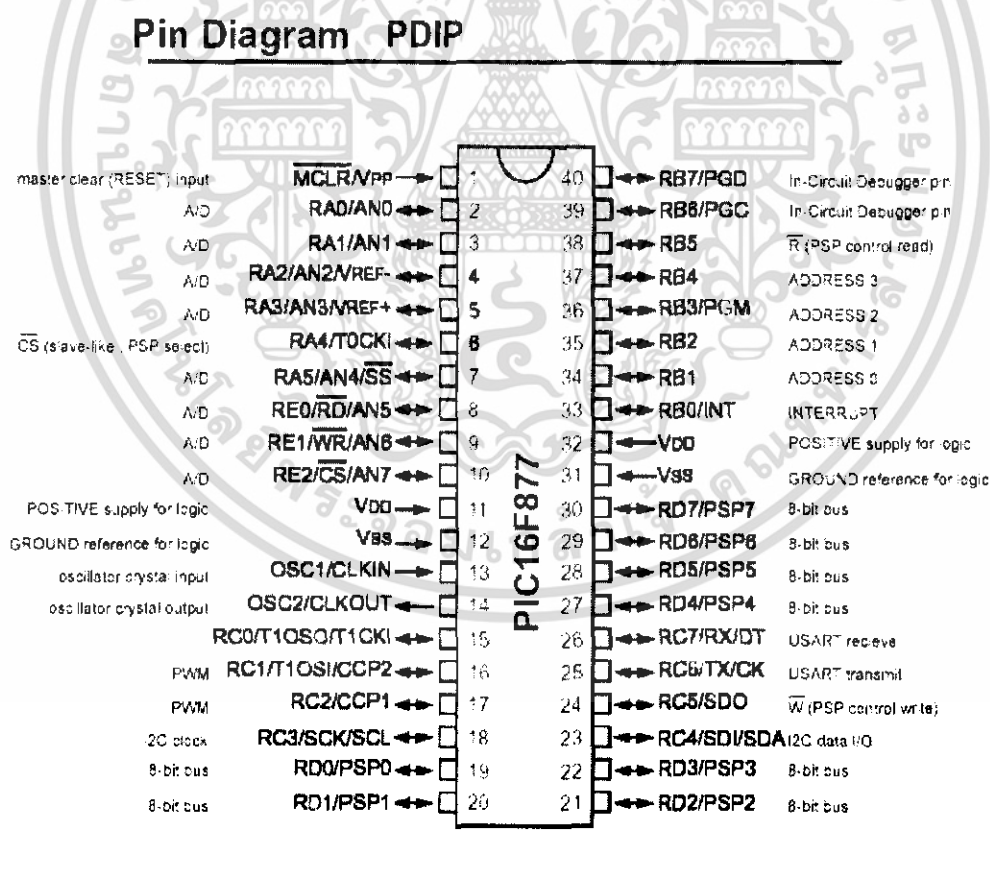
แต่การหาค่าโดยใช้การคำนวณด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำให้สิ้นเปลืองหน่วยความจำและทำให้เกิดความล่าช้าในการคำนวณ จึงควรใช้วิธีเปิดตาราง (Look up table) ซึ่งจะทำให้สามารถประมวลผลได้เร็วกว่า



รูปที่ 2.9 สัญญาณแรงดันที่เกิดจากการหมุนของแม่เหล็ก

2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้มีการคิดค้นและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จนปัจจุบันมีไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลใหม่ๆ เกิดขึ้นมามากมาย ล้วนแล้วแต่มีศักยภาพในการทำงานสูงด้วยกันทั้งสิ้น แต่ในโครงการนี้จะศึกษาการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC ของทางบริษัท ไมโครชิพ (Microchip) ซึ่งมีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ มีฟังก์ชันให้เลือกใช้งานมากมาย เช่น โมดูลแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล (Analog to Digital converter) , ไทมเมอร์ (Timer) และเคาน์เตอร์ (Counter) , USART , SPI , I²C , PWM และอื่นๆ ซึ่งคุณสมบัติที่น่าสนใจสองประการคือ โมดูลการแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลและโมดูลการสร้างสัญญาณพัลส์บวลิวเอ็ม (PWM) ซึ่งทั้งหมดนี้รวมอยู่ภายในซีพียูเพียงตัวเดียว ทำให้ซีพียูเพียงตัวเดียวนี้อาจทำงานได้หลายอย่าง และสามารถลดในส่วนของฮาร์ดแวร์บางอย่างลง ส่วนในด้านความเร็วของซีพียู ในซีพียูตระกูลนี้จะใช้เวลาในการกระทำคำสั่งต่างๆ เพียง 1 หรือ 2 ไชเกิลต่อคำสั่งเท่านั้น โดยการทำงานนี้จะเป็นลักษณะไปป์ไลน์ (Pipe Line) ทำให้มีความเร็วในการทำงานมากกว่าซีพียูทั่วไป (ที่ความถี่เดียวกัน) ในเบอร์ที่เราจะศึกษาในที่นี้เป็นเบอร์ 16F877A ซึ่งมีคุณสมบัติเหมาะสมหลายๆด้านอีกทั้งราคายังไม่สูงเกินไป



รูปที่ 2.10 แสดงการจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- คุณสมบัติของต่างๆของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A มีดังนี้
- ซีพียูเป็นแบบ RISC มีคำสั่งใช้งานเพียง 35 โครงสร้างคำสั่ง
 - ในการปฏิบัติงานคำสั่งต่างๆจะใช้ไซเคิลเดียวหรือ 2 ไซเคิลในคำสั่งที่เป็นการกระโดด
 - ความถี่สัญญาณนาฬิกาตั้งแต่ไฟตรงจนถึงสูงสุดที่ทำงานได้คือ 20 MHz
 - การทำงานเป็นลักษณะไปป์ไลน์ (Pipe Line)ทำให้การทำงานเร็วมากขึ้น
 - หน่วยความจำโปรแกรม (Flash Program Memory) มีขนาด 8k (14-Bit Words)
 - หน่วยความจำข้อมูล (RAM) 368 Bytes
 - หน่วยความจำข้อมูล (EEPROM) 256 Bytes
 - สามารถตอบสนองต่อการอินเตอร์รัปต์ได้ 15 แหล่ง
 - มีสแต็ก 8 ระดับ
 - เพาเวอร์อนรีเซต (POR), เพาเวอร์อัปไทเมอร์ (PWRT), และ Oscillator Start-Up Timer
 - มีวงจรวัดชดเชยไทเมอร์ (Watchdog Timer) ที่มีวงจรออสซิลเลเตอร์ในตัว ทำให้มีความน่าเชื่อถือในการทำงานสูง
 - สามารถเลือกการป้องกันข้อมูลทั้งในหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูล สามารถเลือกระดับการป้องกันได้ (Code Protection)
 - มีโหมดประหยัดพลังงาน (Sleep Mode)
 - สามารถโปรแกรมโดยใช้แรงดัน +5 V ได้
 - ฟังก์ชันการโปรแกรมแบบ ICSP (In-Circuit Serial Programming)
 - ทำงานที่ไฟเลี้ยง 2.0 ถึง 5.5 V
 - กระแสทั้งซิงก์และซอร์สของพอร์ตคือ 25 mA
 - ใช้พลังงานไฟฟ้าในกรณีไม่ขับโหลดน้อยกว่า 2 mA ที่ไฟเลี้ยง +5 V และสัญญาณนาฬิกา 4 MHz
20 uA ที่ไฟเลี้ยง +3 V และสัญญาณนาฬิกา 32 kHz
น้อยกว่า 1 uA ในโหมดประหยัดพลังงานหรือสแตนด์บาย

คุณสมบัติพิเศษเพิ่มเติม

- ไทเมอร์จำนวน 3 ตัวคือ ไทเมอร์ 0 ขนาด 8 บิต มีปริสเกลเลอร์ขนาด 8 บิตในตัว, ไทเมอร์ 1 ขนาด 16 บิต พร้อมปริสเกลเลอร์ และ ไทเมอร์ 2 ขนาด 8 บิต มีปริสเกลเลอร์, โพลัสเทลเลอร์, และรีจิสเตอร์คาบเวลา ขนาด 8 บิตในตัว
- โมดูล Capture/Compare/PWM จำนวน 2 ชุด โดยส่วนตรวจจับสัญญาณหรือแคปเจอร์ มีขนาด 16 บิต ความละเอียดสูงสุดที่ 12.5 นาโนวินาที
ส่วนเปรียบเทียบสัญญาณมีขนาด 16 บิต ความละเอียดสูงสุด 200 นาโนวินาที
วงจรรีตีบลิวเอ็ม ความละเอียดสูงสุด 10 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลความละเอียด 10 บิต 8 แชนแนลภายในตัว
- มีโมดูลสื่อสาร USART พร้อมการตรวจจับแอดเดรส 9 บิต
- วงจรเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรมทั้ง SPI และบัส I²C
- มีโมดูลตรวจจับระดับแรงดันไฟเลี้ยง Brown-out reset (BOR) เพื่อการรีเซตซีพียู

ตารางที่ 2.1 สรุปการทำงานขาพอร์ตทั้งหมดของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877(มีต่อ)

ชื่อขา	ตำแหน่งขา	ชนิดของขา	ชนิดของวงจรบัฟเฟอร์	รายละเอียดของการทำงาน
OSC1/CLKIN	9(13)	อินพุต	ซิมิตต์ทริกเกอร์/ซิมอส	-ขาต่อคริสตอลรับสัญญาณนาฬิกาจากภายนอก
OSC2/CLKOUT	10(14)	เอาต์พุต	-	-ขาต่อคริสตอล/ไนโอมิต RC เป็นขาเอาต์พุต -สัญญาณนาฬิกาความถี่ 1/4 ของสัญญาณที่ขา OSC1
MCLR/Vpp	1	อินพุต	ซิมิตต์ทริกเกอร์	-ขารับสัญญาณรีเซตหลัก(Master Clear Input)G6ทำงานที่ลอจิก 0 -ขารับแรงดันโปรแกรม (Programming voltage)
ขาพอร์ต A เป็นขาพอร์ต 2 ทิศทาง				
RA0/AN0	2	อินพุต/เอาต์พุต	ทีทีแอล/อะนาลอก	-ขาพอร์ต RA0 -อินพุตแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล ช่อง 0
RA1/AN1	3	อินพุต/เอาต์พุต	ทีทีแอล/อะนาลอก	-ขาพอร์ต RA1 -อินพุตแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล ช่อง 1
RA2/AN2-Vref-/Cvref	4	อินพุต/เอาต์พุต	ทีทีแอล/อะนาลอก	-ขาพอร์ต RA2 อินพุตแปลง -สัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล ช่อง 2 -อินพุตแรงดันอ้างอิงลบของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล -เอาต์พุตแรงดันอ้างอิงของโมดูลแรงดันอ้างอิง
RA3/AN3/Vref+	5	อินพุต/เอาต์พุต	ทีทีแอล/อะนาลอก	-ขาพอร์ต RA3 อินพุตวงจรแปลง -สัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล ช่อง 3 -อินพุตแรงดันอ้างอิงบวกของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 สรุปการทำงานขาพอร์ตทั้งหมดของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877(มีต่อ)

ชื่อขา	ตำแหน่งขา	ชนิดของขา	ชนิดของวงจรมัลติพlexer	รายละเอียดของการทำงาน
RA4/T0CKI/ C1OUT*	6	อินพุต/ เอาต์พุต	ซิมิตต์ทริกเกอร์	-ขาพอร์ต กรณีใช้พอร์ตเอาต์พุตมี โครงสร้างแบบเดรนเปิด -อินพุตสัญญาณนาฬิกาของไทมเมอร์ 0 -เอาต์พุตวงจรเปรียบเทียบแรงดัน อ้างอิงอะนาล็อกช่อง 1(pic16F87xA)
RA5/AN4/SS/ C2OUT*	7	อินพุต/ เอาต์พุต	ทีทีแอล/ อะนาล็อก	-ขาพอร์ต RA5 -อินพุตวงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อก ช่อง 4 -ขาสัญญาณ Slave select ใช้ในการ สื่อสารข้อมูลอนุกรมแบบซิงโครนัส -เอาต์พุตวงจรเปรียบเทียบแรงดันอะนา ลอกช่อง 2(Pic16F87xA)
ขาพอร์ต B เป็นขาพอร์ต 2 ทิศทาง สามารถกำหนดให้ต่อตัวต้านทานพูลอัพภายในเมื่อทำงานเป็นอินพุตได้ทางซอฟต์แวร์				
RB0/INT	21(33)	อินพุต/ เอาต์พุต	ทีทีแอล/ซิมิตต์ ทริกเกอร์(1)	-ขาพอร์ต RB0 -อินพุตรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จาก ภายนอก
RB1	22(34)	อินพุต/ เอาต์พุต	ทีทีแอล	-ขาพอร์ต RB1
RB2	23(35)	อินพุต/ เอาต์พุต	ทีทีแอล	-ขาพอร์ต RB2
RB3/LVP	24(36)	อินพุต/ เอาต์พุต	ทีทีแอล	-ขาพอร์ต RB3 -อินพุตรับแรงดันโปรแกรมต่ำ(+5V) ถ้า เอ็นเอเบิลไว้
RB4	25(37)	อินพุต/ เอาต์พุต	ทีทีแอล	-ขาพอร์ต RB4 และสามารถเกิดอินเตอร์ รัปต์เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงลอจิกขึ้นที่ ขานี้ หากเอ็นเอเบิลไว้
RB5	26(38)	อินพุต/ เอาต์พุต	ทีทีแอล	-ขาพอร์ต RB5 และสามารถเกิดอินเตอร์ รัปต์ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงลอจิกขึ้นที่ ขานี้ หากเอ็นเอเบิลไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 สรุปการทำงานขาพอร์ตทั้งหมดของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877(มีต่อ)

ชื่อขา	ตำแหน่งขา	ชนิดของขา	ชนิดของวงจรบัฟเฟอร์	รายละเอียดของการทำงาน
RB6/PGC	27(39)	อินพุต/ เอาต์พุต	ทีทีแอล/ ชmitt์ทริกเกอร์ (2)	-ขาพอร์ต RB6 -เป็นขาสัญญาณนาฬิกาของการดีบักในวงจร (ICD) -สามารถเกิดอินเตอร์รัปต์เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงลอจิกขึ้นที่ขานี้ หากเอ็นเอเบิลไว้
RB7/PGD	28(40)	อินพุต/ เอาต์พุต	ทีทีแอล/ ชmitt์ทริกเกอร์ (2)	-ขาพอร์ต RB7 -เป็นขาสัญญาณนาฬิกาของการดีบักในวงจร (ICD) -สามารถเกิดอินเตอร์รัปต์เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงลอจิกขึ้นที่ขานี้ หากเอ็นเอเบิลไว้
ขาพอร์ต C เป็นขาพอร์ต 2 ทิศทาง				
RC0/T1OSO/ T1CKI	11(15)	อินพุต/ เอาต์พุต	ชmitt์ทริกเกอร์	-ขาพอร์ต RC0 -เอาต์พุตวงจรออสซิลเลเตอร์ของไทเมอร์ 1 -อินพุตสัญญาณนาฬิกาของไทเมอร์ 1
RC0/T1OSO/ T1CKI	12(16)	อินพุต/ เอาต์พุต	ชmitt์ทริกเกอร์	-ขาพอร์ต RC1 -อินพุตวงจรออสซิลเลเตอร์ของไทเมอร์ 1 -อินพุตวงจรแคปเจอร์/เอวัวร์พุตวงจรเปรียบเทียบ/ เอวัวร์พุต pwm สำหรับโมดูล CCP2
RC2/CCP1	13(17)	อินพุต/ เอาต์พุต	ชmitt์ทริกเกอร์	-ขาพอร์ต RC2 -อินพุตวงจรแคปเจอร์/เอาต์พุตวงจรเปรียบเทียบ/ เอวัวร์พุต pwm สำหรับโมดูล CCP1
RC3/SCK/ SCL	14(18)	อินพุต/ เอาต์พุต	ชmitt์ทริกเกอร์	-ขาพอร์ต RC3 -ขานาฬิกาของวงจร SPI และระบบบัส I ² C
RC4/SDI/ SDA	15(23)	อินพุต/ เอาต์พุต	ชmitt์ทริกเกอร์	-ขาพอร์ต RC4 -ขาพอร์ตอินพุตวงจร SPI ขาข้อมูลอนุกรมของระบบบัส I ² C
RC5/SDO	16(24)	อินพุต/ เอาต์พุต	ชmitt์ทริกเกอร์	-ขาพอร์ต RC5 -ขาพอร์ตเอาต์พุตของวงจร SPI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัด 62342 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 สรุปการทำงานของขาพอร์ตทั้งหมดของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877(มีต่อ)

ชื่อขา	ตำแหน่งขา	ชนิดของขา	ชนิดของวงจรมัลติเพล็กซ์	รายละเอียดของการทำงาน
RC6/TxD	17(25)	อินพุต/ เอาต์พุต	ซิมิตต์ทริก เกอ์	ขาพอร์ต RC6 ขาพอร์ตเอาต์พุตวงจร USART สำหรับ เชื่อมต่อพอร์ตอนุกรม
RC7/RxD0	18(26)	อินพุต/ เอาต์พุต	ซิมิตต์ทริก เกอ์	ขาพอร์ต RC7 ขาพอร์ตเอาต์พุตวงจร USART สำหรับ เชื่อมต่อพอร์ตอนุกรม
ขาพอร์ต D เป็นขาพอร์ต 2 ทิศทาง สามารถใช้เป็นส่วนขยายพอร์ตแบบขนานเพื่อติดต่อกับระบบ บัสอื่น				
RD0/PSP0	19	อินพุต/ เอาต์พุต	ซิมิตต์ทริก เกอ์/ทีทีแอล ³	-ขาพอร์ต RD0 -ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 0
RD1/PSP1	20	อินพุต/ เอาต์พุต	ซิมิตต์ทริก เกอ์/ทีทีแอล ³	-ขาพอร์ต RD1 -ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 1
RD2/PSP2	21	อินพุต/ เอาต์พุต	ซิมิตต์ทริก เกอ์/ทีทีแอล ³	-ขาพอร์ต RD2 -ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 2
RD3/PSP3	22	อินพุต/ เอาต์พุต	ซิมิตต์ทริก เกอ์/ทีทีแอล ³	-ขาพอร์ต RD3 -ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 3
RD4/PSP4	27	อินพุต/ เอาต์พุต	ซิมิตต์ทริก เกอ์/ทีทีแอล ³	-ขาพอร์ต RD4 -ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 4
RD5/PSP5	28	อินพุต/ เอาต์พุต	ซิมิตต์ทริก เกอ์/ทีทีแอล ³	-ขาพอร์ต RD5 -ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 5
RD6/PSP6	29	อินพุต/ เอาต์พุต	ซิมิตต์ทริก เกอ์/ทีทีแอล ³	-ขาพอร์ต RD6 -ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 6
RD7/PSP7	30	อินพุต/ เอาต์พุต	ซิมิตต์ทริก เกอ์/ทีทีแอล ³	-ขาพอร์ต RD7 -ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 7
ขาพอร์ต E เป็นขาพอร์ต 2 ทิศทาง				
RE0/AN5/RD	8	อินพุต/ เอาต์พุต	ซิมิตต์ทริก เกอ์/ทีทีแอล (3)	-ขาพอร์ต RE0 -อินพุตวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็น ดิจิตอลช่อง 5 -ขาสัญญาณ RD สำหรับส่วนขยายพอร์ต ขนาน
RE1/AN6/WR	9	อินพุต/ เอาต์พุต	ซิมิตต์ทริก เกอ์/ทีทีแอล (3)	-ขาพอร์ต RE1 -อินพุตวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็น ดิจิตอลช่อง 6 -ขาสัญญาณ WR สำหรับส่วนขยายพอร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 สรุปการทำงานขาพอร์ตทั้งหมดของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

ชื่อขา	ตำแหน่งขา	ชนิดของขา	ชนิดของวงจรบัฟเฟอร์	รายละเอียดของการทำงาน
ขาต่อไฟเลี้ยง				
V _{DD}	20(11,32)	อินพุต	-	ขาต่อไฟเลี้ยง ใช้ได้ตั้งแต่ +2 ถึง +5.5V
V _{SS}	8,9, (12,31)	อินพุต	-	ขาต่อกราวด์
<p>หมายเหตุ</p> <p>1) อินพุตของวงจรบัฟเฟอร์จะเป็นแบบขมิตต์ทริกเกอร์ เมื่อใช้งานเป็นอินพุตรับสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากภายนอก</p> <p>2) อินพุตของวงจรบัฟเฟอร์จะเป็นแบบขมิตต์ทริกเกอร์ เมื่อทำงานในโหมดโปรแกรมข้อมูลอนุกรม</p> <p>3) อินพุตของวงจรบัฟเฟอร์จะเป็นแบบขมิตต์ทริกเกอร์ เมื่อกำหนดให้ทำงานเป็นขาพอร์ตปกติ และเป็นแบบทีทีแอลเมื่อกำหนดให้ทำงานเป็นส่วนขยายพอร์ตแบบขนาน สำหรับเชื่อมต่อระบบบัสกับไมโครโปรเซสเซอร์อื่น</p> <p>4) อินพุตของวงจรบัฟเฟอร์จะเป็นแบบขมิตต์ทริกเกอร์ เมื่อกำหนดให้ทำงานในโหมด RC และเป็นซิมอสเมื่อทำงานในโหมดอื่น</p>				

2.4 อุปกรณ์สวิตชิงในอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

คุณลักษณะของสารกึ่งตัวนำกำลังที่ควรพิจารณา

1. อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำจะต้องสามารถทนแรงดันเบรคดาวน์ได้สูง(มีผลต่อพิคกำลังการใช้งาน)
2. อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำจะต้องมีแรงดันตกคร่อมและความต้านทานขณะนำกระแสต่ำ(มีผลต่อกำลังไฟฟ้าสูญเสียและประสิทธิภาพ)
3. อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำจะต้องมีการเปลี่ยนสถานะช่วงเริ่มนำกระแสและช่วงเริ่มหยุดนำกระแสที่เร็ว(มีผลต่อความถี่ในการสวิตชิง)
4. อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำกำลังจะต้องมีความสามารถในการใช้งานที่ระดับความร้อนสูง(มีผลต่ออุณหภูมิในขณะใช้งาน)

ไอจีบีที(Insulated Gate Bipolar Transistors: IGBT)

จัดเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถควบคุมให้นำกระแส และควบคุมให้หยุดนำกระแสได้ โดยการควบคุมจากแรงดันไฟฟ้าที่ขาเกต ไอจีบีทีมีสัญลักษณ์ คุณสมบัติของกระแส และแรงดันไฟฟ้าขณะสภาวะอยู่ตัว ดังรูปที่ 2.11

ไอจีบีทีได้รวมข้อดีของมอสเฟสกำลัง ทรานซิสเตอร์กำลัง(บีจีที) และจีทีโอไคริสเตอร์มารวมอยู่ด้วยกัน คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

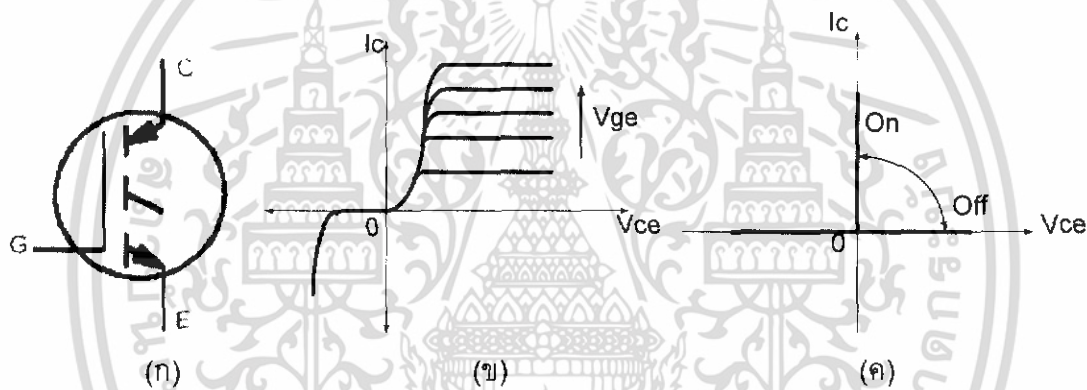
ไอจีบีทีจะมีค่าของอิมพีแดนซ์ขาเกตที่มีค่าสูงคล้ายมอสเฟสกำลังซึ่งต้องการพลังงานน้อยมากในการควบคุมการสวิตช์ นำและหยุดนำกระแสด้วยแรงดันไฟฟ้าที่ขาเกต รวมทั้งสามารถใช้งานที่ความถี่สูง

ไอจีบีทีมีค่าแรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสต่ำกว่าทรานซิสเตอร์กำลัง ซึ่งมีค่า 2-3 โวลต์ สำหรับพิกัดแรงดันไฟฟ้า 1000 โวลต์ นอกจากนั้น ไอจีบีทีจะออกแบบให้ทนแรงดันไฟฟ้าด้านลบ คล้ายกับจีทีไอไคริสเตอร์

ไอจีบีทีจะมีช่วงเวลานำกระแสและหยุดนำกระแสประมาณ 1 ไมโครวินาที มีขนาดพิกัดกระแสไฟฟ้าถึง 2,000 แอมแปร์ และพิกัดแรงดันไฟฟ้าถึง 5,000 โวลต์

การเปรียบเทียบสวิตช์ อิเล็กทรอนิกส์กำลัง

การเปรียบเทียบสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่สามารถควบคุมการนำกระแสได้ด้วยวงจรควบคุมโดยคำนึงถึงขนาดพิกัดกำลังและความถี่ในการสวิตช์ ดังตารางที่ 2.2



รูปที่ 2.11 (ก) สัญลักษณ์พื้นฐานของไอจีบีที (ข) คุณลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้า (ค) คุณลักษณะในอุดมคติ

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่นิยมใช้

อุปกรณ์	ความสามารถ ส่งผ่านกำลัง	ความเร็วใน การสวิตช์	ความสามารถทน แรงดันไฟฟ้าด้านลบ	ชนิดการ ควบคุม
จีทีไอ	สูง	ต่ำ	ได้	กระแสไฟฟ้า
บีเจที	กลาง	กลาง	ไม่ได้	กระแสไฟฟ้า
มอสเฟสกำลัง	ต่ำ	สูง	ไม่ได้	แรงดันไฟฟ้า
ไอจีบีที	กลาง	กลางและ ค่อนข้างสูง	ได้	แรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ขออนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไอจีบีที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานหลากหลาย ที่คล้ายกับมอสเฟสกำลัง แต่มีพิกัดกำลังที่ใหญ่กว่า และสามารถออกแบบให้ทนแรงดันไฟฟ้าได้ทั้งด้านบวกและด้านลบ จึงอาจเรียกว่าอุปกรณ์ประเภทไม่ต้องมีสแน็บเบอร์ (Snubberless) คือ สามารถทนกระแสและแรงดันไฟฟ้าได้มากจนอาจไม่ต้องการวงจรสแน็บเบอร์ แต่ความเร็วในการสวิตซ์ยังไม่เทียบเท่ามอสเฟสกำลัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและสร้างวงจรควบคุม

3.1 ส่วนของวงจรกำลัง

3.1.1 วงจรเรียงกระแส

วงจรเรียงกระแสมีวัตถุประสงค์เพื่อแปลงผันกำลังไฟฟ้า จากไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยต้องการให้แรงดันไฟฟ้าที่ออกมาเป็นกระแสตรงมากที่สุด วงจรเรียงกระแสมีทั้งแบบครึ่งคลื่นและแบบเต็มคลื่น แต่วงจรที่เลือกใช้จะเป็นแบบเต็มคลื่น เพราะสามารถนำไปใช้งานที่มีพิกัดกำลังสูงได้ และค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยเป็นศูนย์ ทำให้เกิดการอิมพัลส์ของแกนหม้อแปลงที่ต่อต้านเข้ายากกว่าแบบครึ่งคลื่น อีกทั้งยังมีค่ากระแสรีปเปลต่ำกว่าวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวแบบครึ่งคลื่น วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวแบบเต็มคลื่น แสดงได้ดังรูปที่ 3.1

3.1.2 การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ 4 ควอดแดรนต์

ลักษณะการทำงานของมอเตอร์แบบ 4 ควอดแดรนต์

ควอดแดรนต์ที่ 1 การหมุนในทิศทางฟอร์เวิร์ด (Forward Motoring)

ทำการควบคุมทิศทางของแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้า (V_t) กระแสไฟฟ้าในขดลวดอาร์เมเจอร์ (I_a) มีค่าเป็นบวก ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (E_b) แรงบิด (T) ของมอเตอร์มีค่าในทิศทางบวก

ควอดแดรนต์ที่ 2 การเบรกในทิศทางฟอร์เวิร์ด (Forward Braking)

ทำการควบคุมให้ไฟฟ้าในขดลวดอาร์เมเจอร์ (I_a) ไหลกลับทิศทาง ส่วนแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (E_b) มีทิศทางบวกเหมือนเดิมแต่จะมีค่ามากกว่าแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้า (V_t) ซึ่งเป็นผลให้เกิดแรงบิดเหนี่ยวนำ (T) เป็นลบและต้านแรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่เป็นบวก ทำให้เกิดการหมุนในทิศทางตรงกันข้ามหรือเบรกขึ้น ซึ่งในสภาวะนี้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะทำหน้าที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

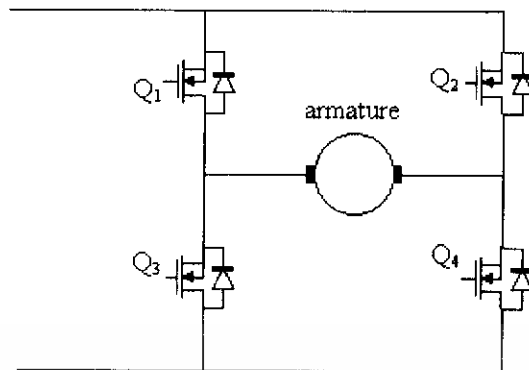
ควอดแดรนต์ที่ 3 การหมุนในทิศทางรีเวิร์ส (Reverse Motoring)

ทำการควบคุมกระแสไหลในขดลวดอาร์เมเจอร์ให้ไหลในทิศทางลบเหมือนเดิม และทำการกลับทิศแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้า (V_t) ให้มีทิศเป็นลบ ซึ่งทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (E_b) แรงบิด (T) มีทิศเป็นลบ เป็นผลทำให้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงกลับทิศทางการหมุน

ควอดแดรนต์ที่ 4 การเบรกในทิศทางรีเวิร์ส (Reverse Braking)

ทำการควบคุมให้กระแสไหลเข้าในขดลวดอาร์เมเจอร์ (I_a) ไหลกลับทิศทางเป็นในทิศทางบวก เพื่อสร้างแรงบิดในทิศทางบวกต้านกับแรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แต่แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (E_b) ยังมีทิศทางเป็นลบเหมือนเดิม ทำให้มอเตอร์เกิดการเบรกขึ้น และเช่นเดียวกับควอดแดรนต์ที่ 2 สภาวะนี้มอเตอร์จะเปลี่ยนเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

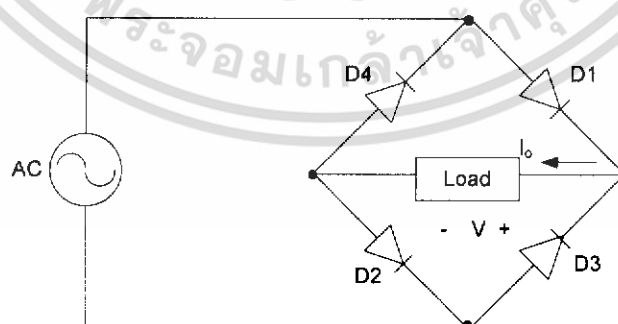


รูปที่ 3.1 วงจร ดีซี ทู ดีซีฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์เพื่อใช้ในการควบคุมแบบ 4 ควอดแดรนต์

การควบคุมการสวิตชิงโดยใช้สัญญาณพีดับบลิวเอ็มแบบยูนิโพลาร์ (PWM Unipolar Switching Controlled)

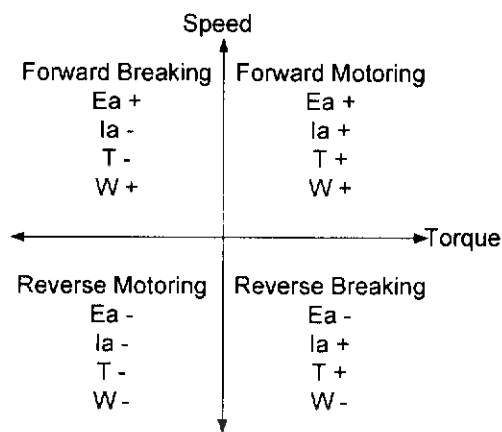
การควบคุมการทำงานของมอเตอร์ จะทำการควบคุมแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์โดยใช้ อุปกรณ์สวิตชิง ซึ่งสัญญาณที่ป้อนให้กับอุปกรณ์นั้นจะใช้สัญญาณพีดับบลิวเอ็ม(PWM) ซึ่งมีอยู่ สองแบบก็คือ แบบไบโพลาร์ (Bipolar) และแบบ ยูนิโพลาร์ (Unipolar) ซึ่งในโครงการนี้จะใช้ การสวิตชิงแบบยูนิโพลาร์เพราะมีข้อดีเมื่อเปรียบเทียบกับไบโพลาร์ คือ ทำให้กระแสเอาต์พุตมีความต่อเนื่องและค่ารีปเปิลของกระแสย่อย ค่าแรงดันที่ตกคร่อมมอเตอร์ไม่มีการสูญเสียทาง ชักลอบเหมือนแบบไบโพลาร์ และความถี่การสวิตชิงมีค่าเป็นสองเท่า

หลักการสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มแบบยูนิโพลาร์ก็คือ ทำการสร้างสัญญาณ สามเหลี่ยมฟันเลื่อย (Saw Tooth Signal) ขึ้นมาแล้วนำไปทำการมอดดูเลชัน (Modulation) กับ สัญญาณควบคุม (Control Signal) 2 สัญญาณ และทำให้ได้เอาต์พุตออกมาสองสัญญาณ ดังรูป ที่ 3.4

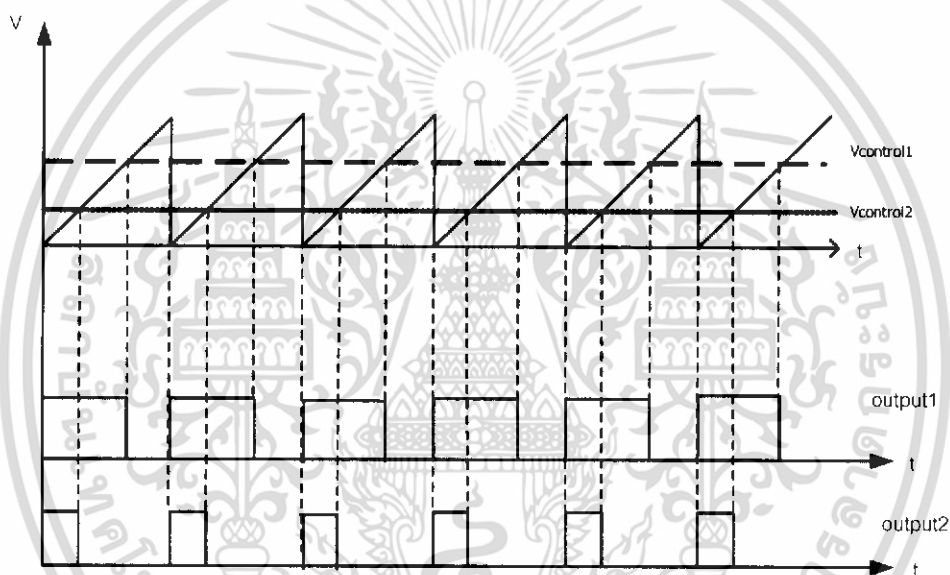


รูปที่ 3.2 Full Bridge Converter แบบ Diode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ 4 ควอดแดรนต์



รูปที่ 3.4 การสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มแบบยูนิโพลาร์ด้วย Pic Microcontroller

3.2 วงจรที่ใช้ร่วมกับฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

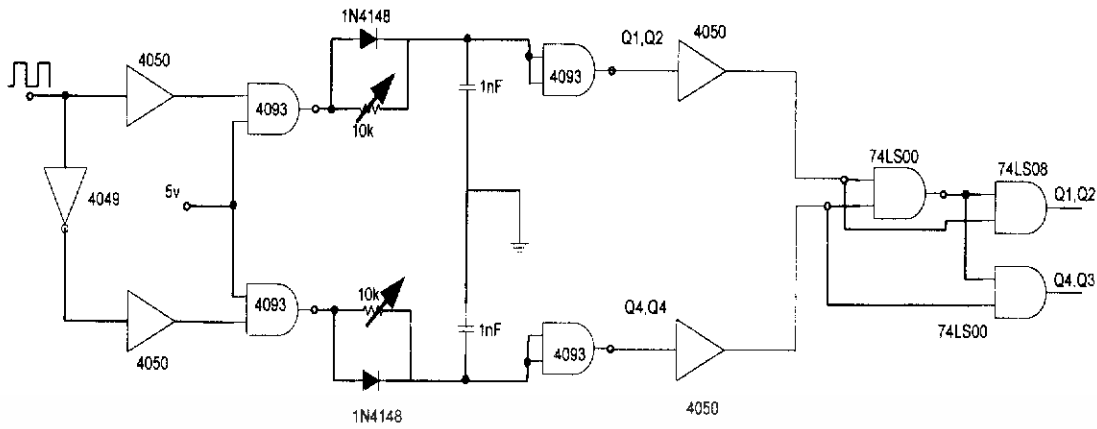
ประกอบไปด้วยวงจรต่างๆดังนี้

- วงจรเดดไทม์
- วงจรขับไอจีบีที

3.2.1 วงจรเดดไทม์

วงจรเดดไทม์มีไว้เพื่อป้องกันสวิตช์ในกึ่งเดียวกันทำงานพร้อมกัน ซึ่งจะเกิดการลัดวงจรภายในกึ่งเดียวกัน ทำให้สวิตช์เสียหายได้ วงจรที่ใช้ในโครงงานนี้เป็นดังรูป 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

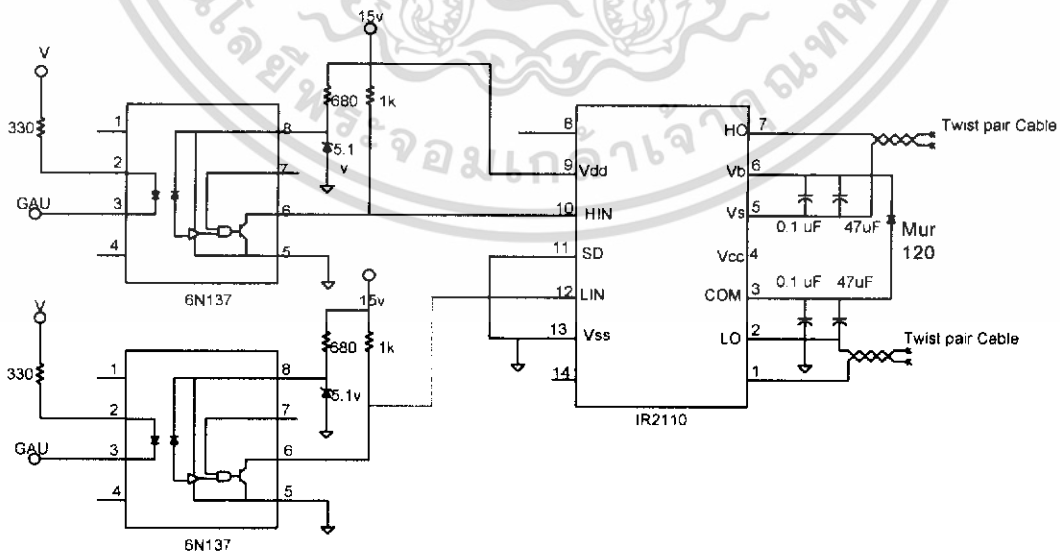


รูปที่ 3.5 วงจรตรวจจับใหม่

การกำหนดค่าตรวจจับสามารถกำหนดได้จากค่าความต้านทาน และคาปาซิเตอร์ ควรใช้ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้เนื่องจากสามารถปรับเปลี่ยนค่าตรวจจับได้ตามต้องการ สะดวกต่อการนำวงจรไปใช้ในการทดลองกับไอซีหลายเบอร์ ซึ่งค่าตรวจจับของสวิทช์ที่สามารถยังคงทำงานได้ของอุปกรณ์สวิทช์ ซึ่งสามารถดูได้จากข้อมูลของสวิทช์

3.2.2 วงจรขับไอจีบีที

วงจรขับไอจีบีทีที่ใช้ในโครงงานนี้ จะมีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 2 ส่วนคือ ออฟโตคัปเปิลและไอซีขับไอจีบีทีโดยที่ ออฟโตคัปเปิลจะเป็นตัวแยกกราวด์ของสัญญาณพัลส์ที่รับเข้ามากับกราวด์ของระบบ และไอซี ไออาร์ 2110 จะใช้เป็นตัวขับขาเกทของไอจีบีทีโดยในหนึ่งชุดจะสามารถขับไอจีบีทีได้ 2 ตัว ซึ่งจะใช้ในการขับไอจีบีทีที่อยู่ในกิ่งเดียวกัน วงจรแสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 วงจรขับไอจีบีที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การออกแบบการทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของมอเตอร์

พิกัดและพารามิเตอร์ของมอเตอร์

- แรงดัน 13.5 โวลต์
- กระแส 3.6 แอมป์
- โมเมนต์ความเฉื่อย $1.411 \times 10^{-4} \text{ kg.m}^2$
- ความเร็ว 800 รอบ/นาที

การทดสอบหาค่าความต้านทานของขดลวดอาร์มาเจอร์

อุปกรณ์ที่ใช้

1. ดีซีมอเตอร์ แบบสนามแม่เหล็กคงที่
2. แหล่งจ่ายไฟตรง 0-30 โวลต์

วิธีทดสอบ

1. ต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้ากับขดลวดอาร์มาเจอร์ของมอเตอร์
2. ค่อย ๆ ปรับแรงดันไฟฟ้าระดับต่าง ๆ ให้กับมอเตอร์ แล้วจดบันทึกค่าแรงดันและค่ากระแสที่จ่าย ให้กับมอเตอร์
3. คำนวณหาค่าความต้านทานของมอเตอร์

$$R = \frac{V}{I}$$

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดค่าแรงดันและกระแสที่จ่ายให้กับมอเตอร์เพื่อหาค่าความต้านทานของขดลวดอาร์มาเจอร์

ครั้งที่	แรงดัน(โวลต์)	กระแส(แอมป์)	ความต้านทาน(โอห์ม)
1	1	0.49	2.08
2	2	1.03	1.94
3	3	1.62	1.85
4	4	2.3	1.73
5	5	2.9	1.72

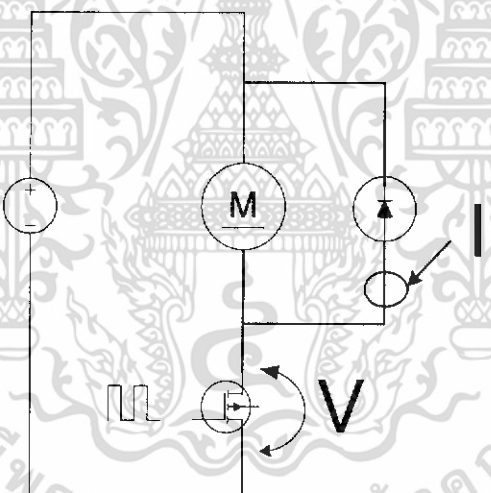
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงสามารถคำนวณความต้านทานเฉลี่ยได้เท่ากับ 1.86 โอห์ม
 การทดลองหาค่าความเหนี่ยวนำของมอเตอร์
 อุปกรณ์ที่ใช้

1. ดีซีมอเตอร์ แบบสนามแม่เหล็กคงที่
2. แหล่งจ่ายไฟตรง 0-30 โวลต์
3. ออสซิลโลสโคป
4. ไตโอด
5. มอสเฟต

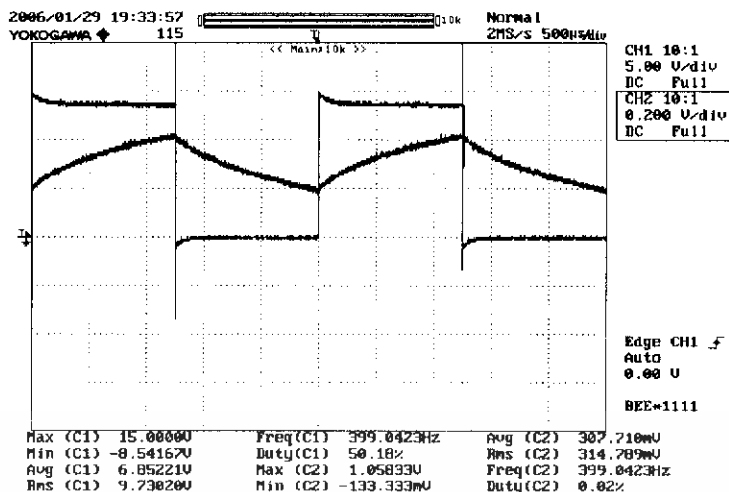
วิธีการทดลอง

1. ทำการต่อวงจรดังรูปที่ 4.1 เพื่อหาค่าความเหนี่ยวนำของมอเตอร์
2. ใช้ออสซิลโลสโคปจับสัญญาณกระแส ณ จุด 1 และจับสัญญาณแรงดันตกคร่อม มอสเฟตดังรูปที่ 4.1
3. นำกราฟสัญญาณที่ได้ดังรูปที่ 4.2 มาคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำ



รูปที่ 4.1 แสดงวงจรที่ใช้ในการหาค่าความเหนี่ยวนำของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 สัญญาณที่ได้จากการใช้ออสซิลโลสโคปจับสัญญาณของวงจรรูปที่ 4.1

สามารถหาค่า ความเหนี่ยวนำของมอเตอร์ จากสมการ

$$I = I_0 e^{\frac{-R_0 t}{L}}$$

- I = 1.323 แอมแปร์
- I₀ = 1.8 แอมแปร์
- R = 1.86 โอห์ม
- t = 500 ไมโครวินาที

ซึ่งจะได้ค่าความเหนี่ยวนำคือ 3.02 มิลลิเฮนรี่

สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบสามารถทำการหาค่า L และ R ได้ตามต้องการโดย L มีค่าเท่ากับ 3.02 มิลลิเฮนรี่ และ R มีค่าเท่ากับ 1.86 โอห์ม

4.2. การทดสอบหาค่าเอาต์พุตของเซนเซอร์ Sentron 2SA-10

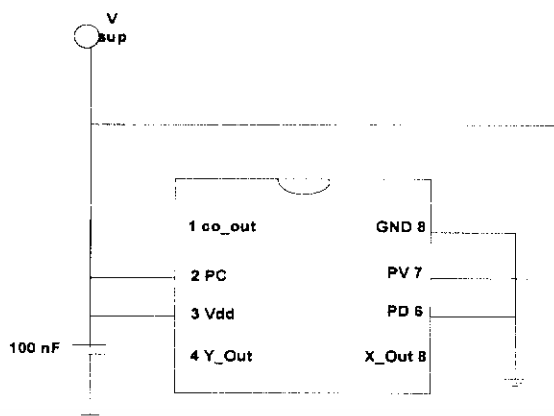
อุปกรณ์ที่ใช้

1. มอเตอร์ที่ใช้ในโครงการ
2. เซนเซอร์ชนิดปรากฏการณ์ฮอลล์แบบสองแกน Sentron 2SA-10
3. แม่เหล็กถาวรทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.635 เซนติเมตร หนา 0.380 เซนติเมตร
4. ออสซิลโลสโคป

วิธีการทดสอบ

1. ต่อขาต่างๆ ของเซนเซอร์ดังรูปที่ 4.3 แล้วติดตัวเซนเซอร์เข้ากับเฟลวมอเตอร์
2. นำแม่เหล็กถาวรติดตั้งห่างจากเซนเซอร์ประมาณ 2.5 มิลลิเมตร
3. จ่ายไฟให้กับมอเตอร์
4. ใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากตัวเซนเซอร์ที่ขา 4 และขา 8

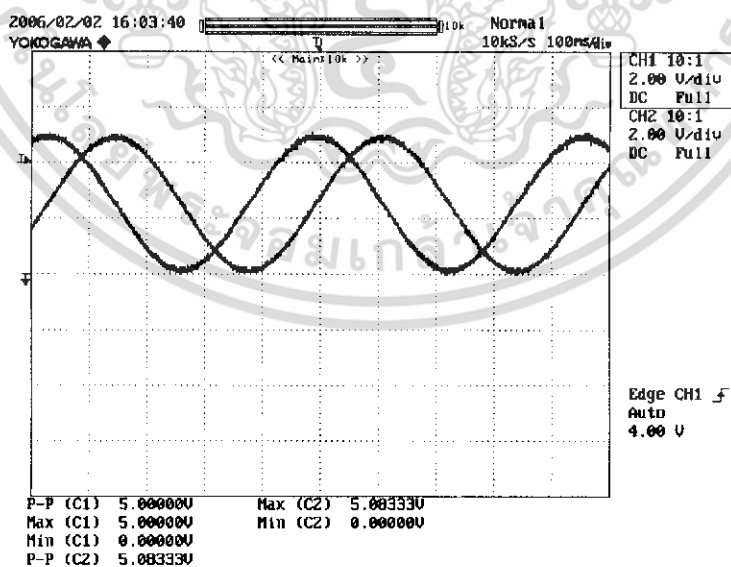
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 การต่อขาต่างๆของเซนเซอร์



รูปที่ 4.4 แสดงการติดตั้งเซนเซอร์และแม่เหล็กเข้ากับเฟลลามอเตอร์



รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากตัวเซนเซอร์

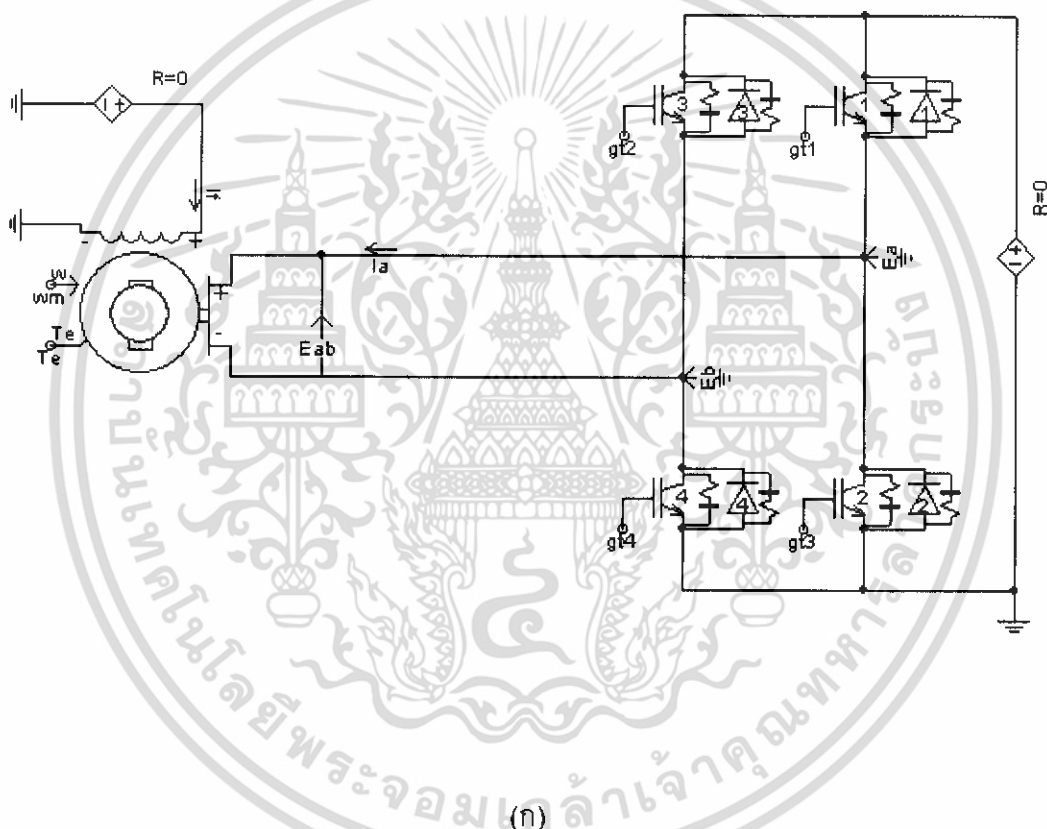
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

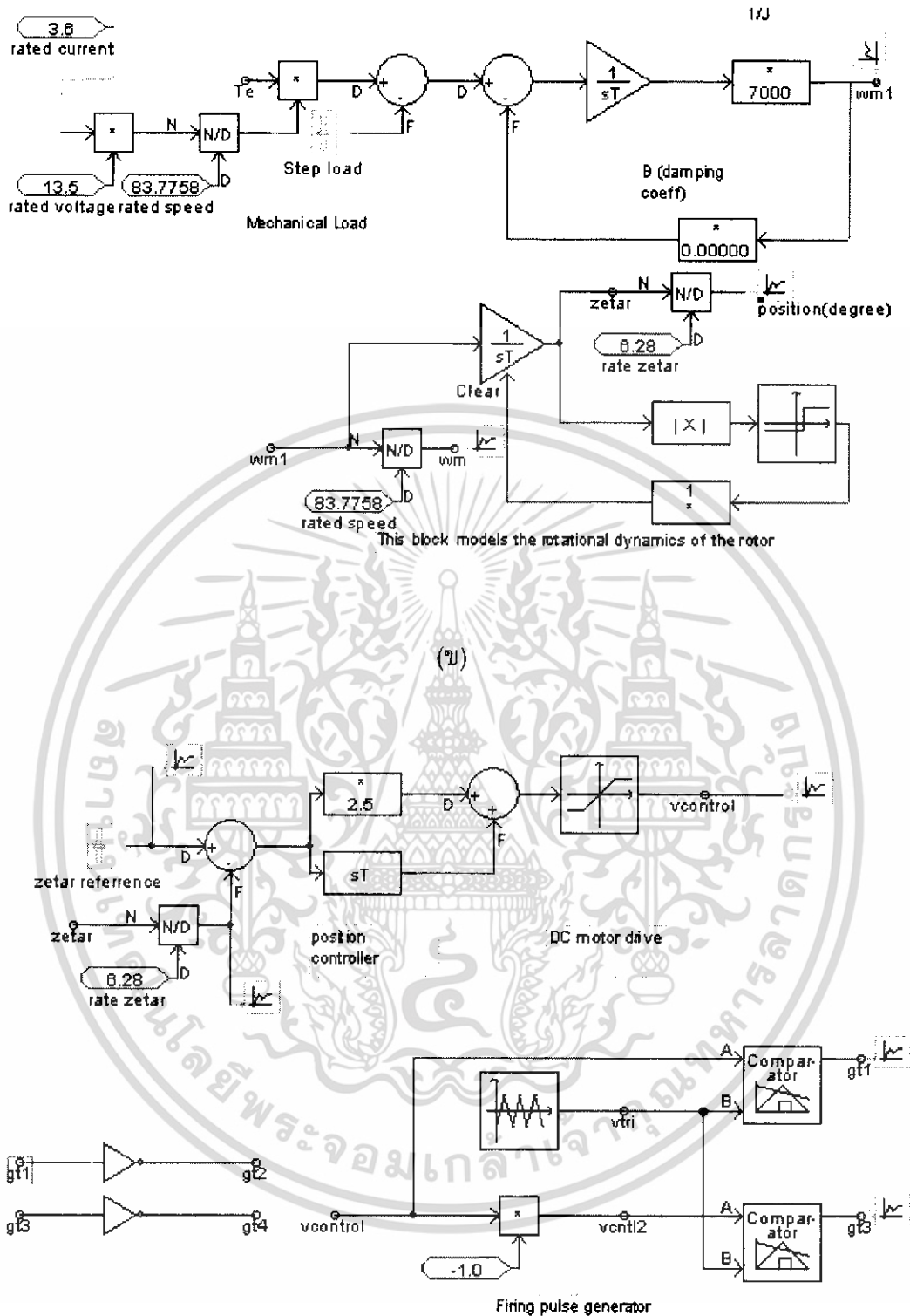
จากการทดลองจะเห็นว่าเมื่อมอเตอร์หมุนครบ 1 รอบจะเกิดสัญญาณเอาร์ทพุตที่ขึ้นมา มีลักษณะเป็นสัญญาณไซน์ และโคไซน์ 1 คาบต่อ 1 รอบการหมุน ซึ่งสัญญาณที่ได้นี้จะนำไปใช้ในการคำนวณหาตำแหน่ง จำนวนรอบ หรือความเร็วของมอเตอร์ได้

4.3 การทดลอง จำลองการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์แบบ 4 ครอตแควนท์ โดยใช้โปรแกรม pscad

โดยรูปวงจรแสดงดังรูปที่ 4.6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)

รูปที่ 4.6 (ก) ส่วนของวงจรกำลัง (ข) ส่วนของฟังก์ชันถ่ายโอนของมอเตอร์
(ค) ส่วนของวงจรควบคุม และ สร้างสัญญาณฟีดแบ็คลิวเอ็ม

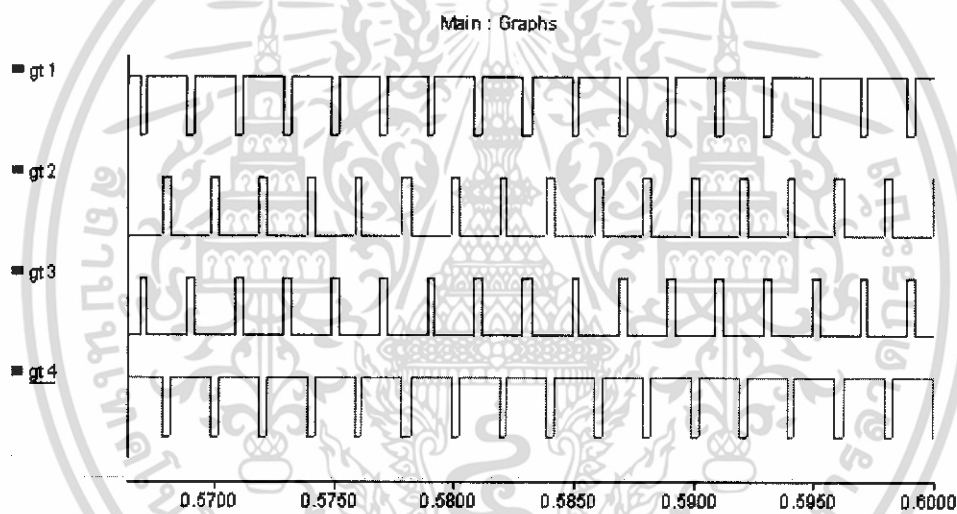
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 สัญญาณที่ใช้ในการขับไอจีบีที

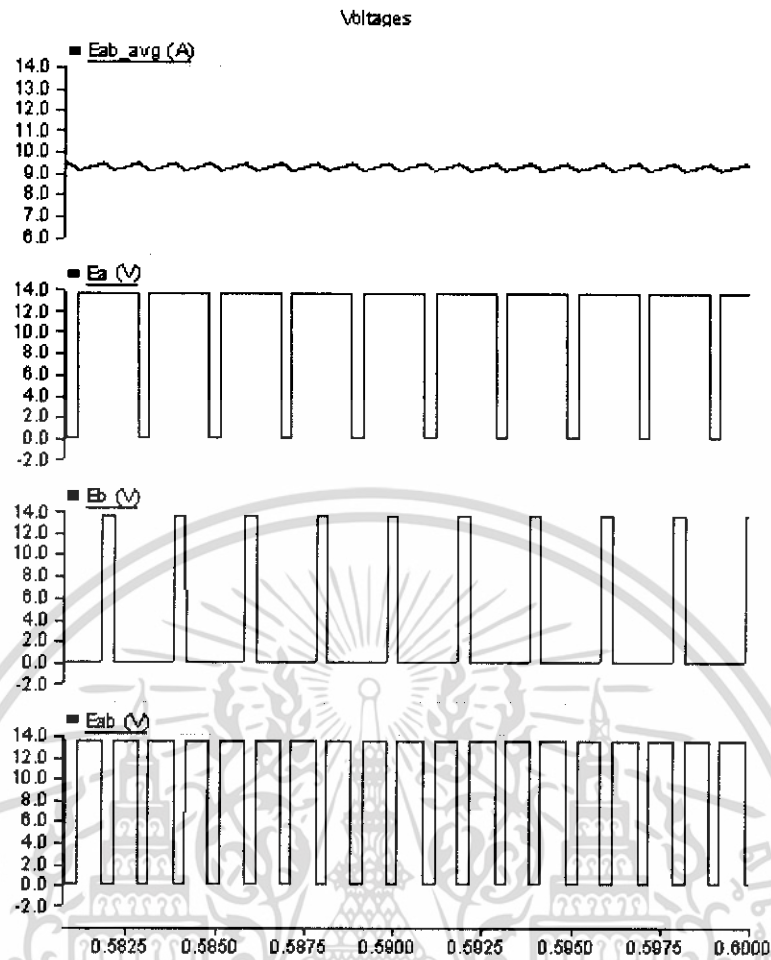
การควบคุมการหมุนของมอเตอร์ โดยการใช้นสัญญาณสวิตซ์ในการขับไอจีบีที ในวงจรกำลัง(4 ควอดแดรนต์) โดยจากรูป gt1 gt2 gt3 และ gt4 ใช้เป็นสัญญาณในการขับไอจีบีที ตัวที่ 1 2 3 และ 4 ตามลำดับ โดยที่สัญญาณ gt1 จะต้องกลับเฟสกับ gt3 ในทำนองเดียวกัน สัญญาณ gt2 ก็จะต้องกลับเฟสกับสัญญาณ gt4 เนื่องจากใช้ขับไอจีบีทีในกึ่งเดียวกันนั่นเอง โดยที่ลักษณะการทำงานจะแบ่งการทำงานออกเป็น 4 ควอดแดรนต์ดังนี้

ควอดแดรนต์ที่ 1

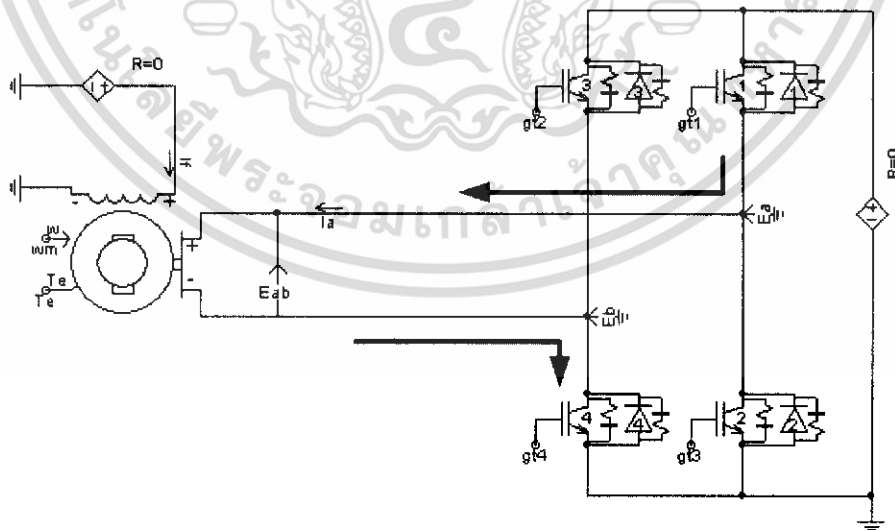
เมื่อต้องการควบคุมให้มอเตอร์หมุนในทิศทางฟอร์เวิร์ด ต้องทำการปรับดิไวตีไซเคิล ของสัญญาณ gt1 ให้มีค่ามากกว่าสัญญาณ gt2 ซึ่งจะมีผลให้สัญญาณของ gt4 มากกว่าสัญญาณ gt3 ด้วย แสดงไว้ดังรูปที่ 4.7 ซึ่งจากลักษณะดังกล่าวทำให้แรงดันเฉลี่ยตกคร่อมมอเตอร์มีค่าเป็นบวก โดยกระแสอาร์เมเจอร์ (I_a) และค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (E_{ab}) เกิดขึ้นในทิศทางบวกส่งผลให้แรงบิดมีค่าเป็นบวก มอเตอร์จึงหมุนในทิศฟอร์เวิร์ดนั่นเอง แสดงไว้ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.7 สัญญาณที่ใช้ในการขับอุปกรณ์สวิตซ์ในการหมุนแบบฟอร์เวิร์ด

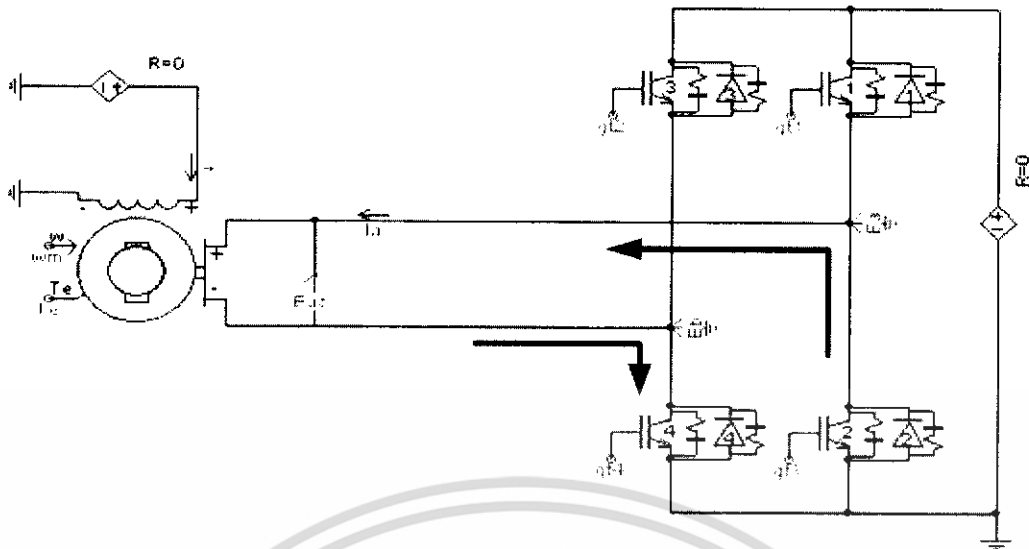


รูปที่ 4.8 กระแส (I_a) แรงดัน (E_a) แรงดัน (E_b) แรงดัน (E_{ab}) ในการหมุนแบบฟอร์เวิร์ด



(ก) กรณีที่ไोजีบีที 1 และ 4 ทำงานพร้อมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

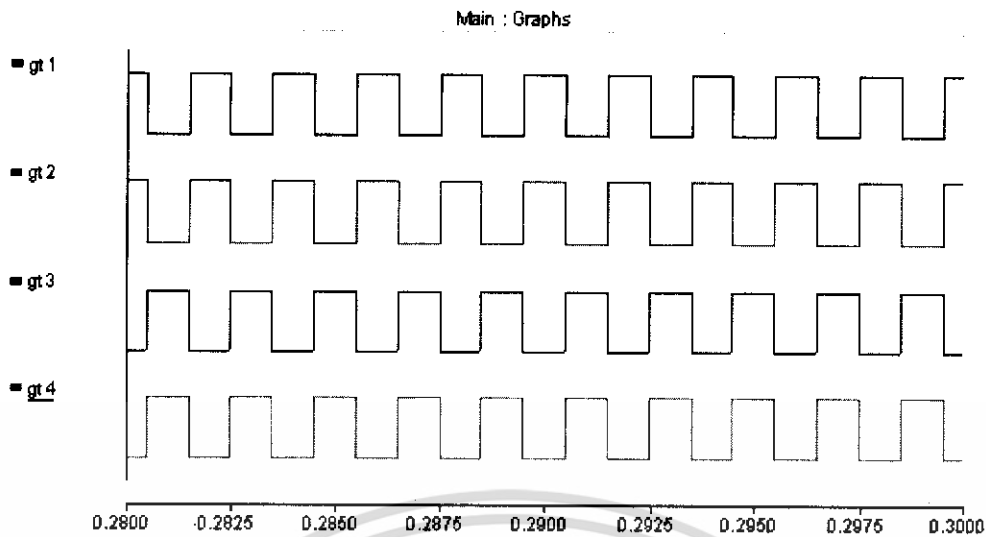
รูปที่ 4.9 ทิศทางการไหลของกระแสของการทำงานในควอดแดรนต์ที่ 1

(ก) กรณีที่ไอจีบีที 1 และ 4 ทำงานพร้อมกัน

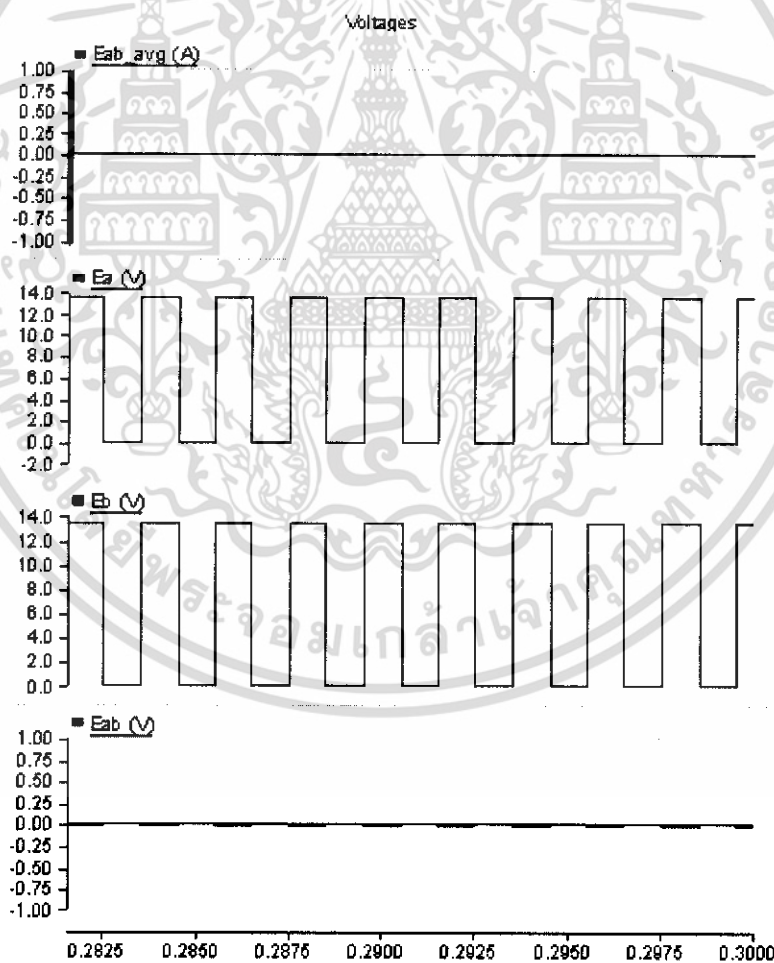
(ข) กรณีที่ไอจีบีที 4 ทำงานแต่ 1 ไม่ทำงาน (free wheeling diode)

ควอดแดรนต์ที่ 2

เมื่อต้องการควบคุมให้มอเตอร์เบรคจากทิศทางฟอร์เวิร์ด ต้องทำการปรับดีวีซีเคิลของสัญญาณ $gt1$ ให้มีค่าเท่ากับสัญญาณ $gt2$ ซึ่งจะมีผลให้สัญญาณของ $gt4$ เท่ากับสัญญาณ $gt3$ ด้วย แสดงไว้ดังรูปที่ 4.10 ซึ่งจากลักษณะดังกล่าวทำให้แรงดันเฉลี่ยตกคร่อมมอเตอร์มีค่าเป็นศูนย์ แต่ในสภาวะนี้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (E_{ab}) ยังคงมีค่าเป็นบวกและมีค่าสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายทำให้มอเตอร์เปลี่ยนหน้าที่จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จ่ายพลังงานออกไป โดยที่กระแสอาร์เมเจอร์ (I_a) กลับทิศทางเป็นลบ, ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (E_a) เกิดขึ้นในทิศทางบวก ดังรูปที่ 4.11 ส่งผลให้แรงบิดมีค่าเป็นลบต้านกับแรงบิดเดิม ทำให้เกิดการเบรค

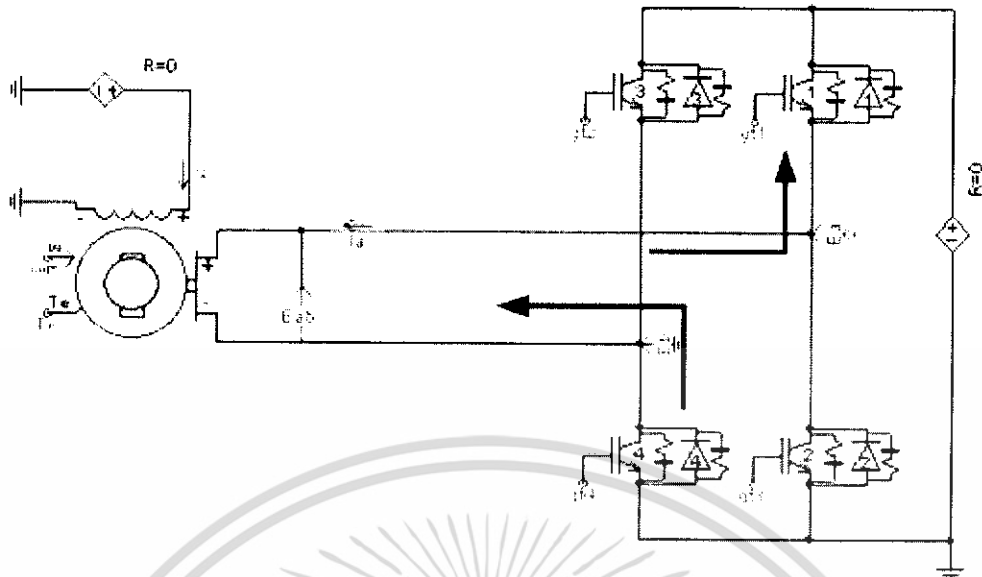


รูปที่ 4.10 สัญญาณที่ใช้ในการขับอุปกรณ์สวิตซ์ในการเบรคแบบฟอร์เวิร์ด



รูปที่ 4.11 กระแส (I_a) แรงดัน (E_a) แรงดัน (E_b) แรงดัน (E_{ab}) ในการเบรคแบบฟอร์เวิร์ด

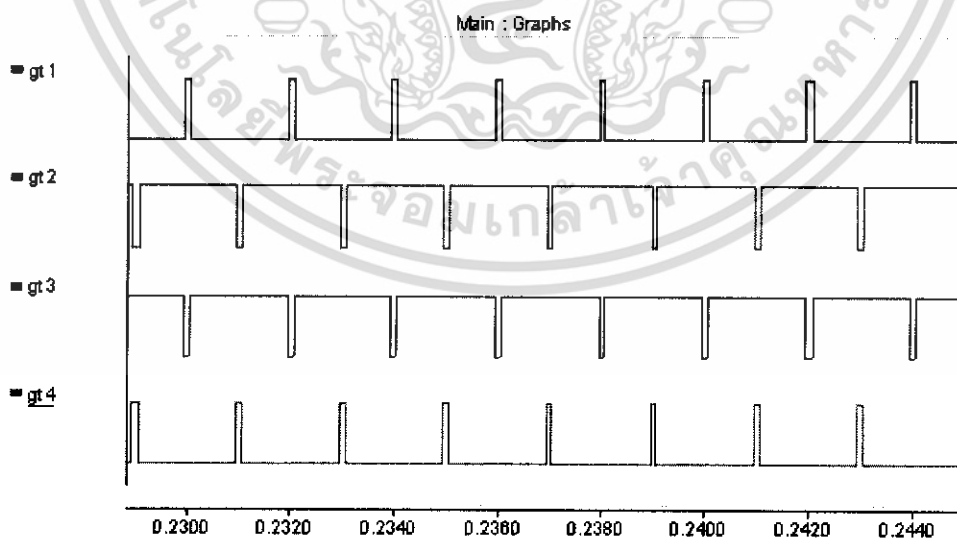
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ทิศทางการไหลของกระแสของการทำงานในควอดแดรนต์ที่ 2

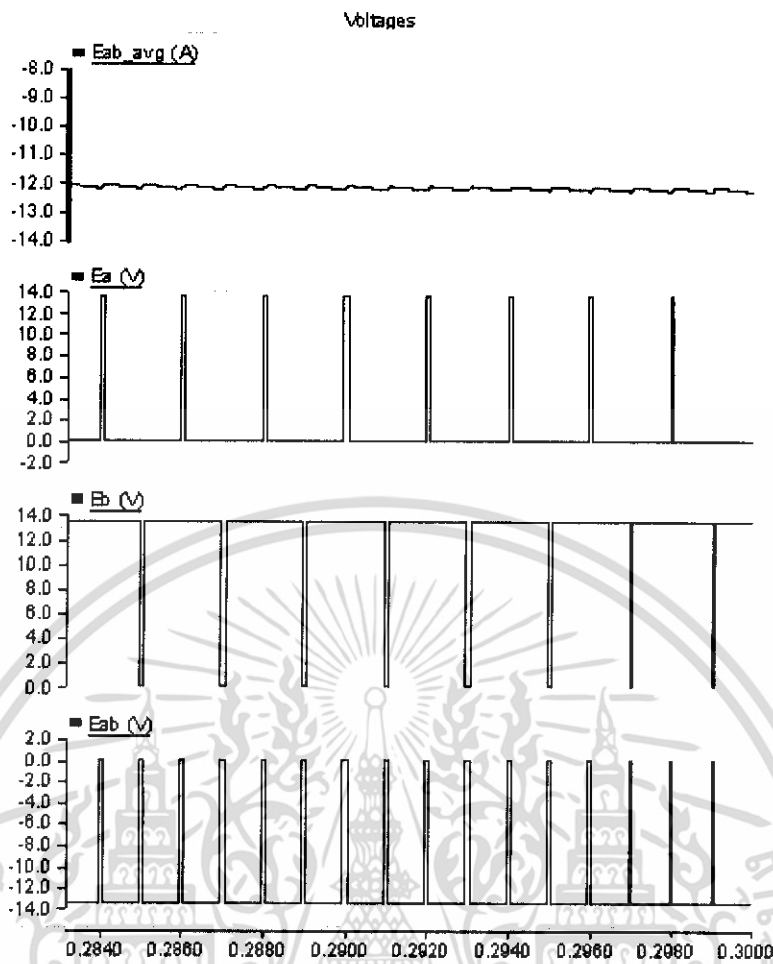
ควอดแดรนต์ที่ 3

เมื่อต้องการควบคุมให้มอเตอร์หมุนในทิศทางรีเวิร์ส ต้องทำการปรับดิวิตีไซเคิล ของสัญญาณ $gt1$ ให้มีค่าน้อยกว่าสัญญาณ $gt2$ ซึ่งจะมีผลให้สัญญาณของ $gt4$ น้อยกว่าสัญญาณ $gt3$ ด้วย ดังรูปที่ 4.13 ซึ่งจากลักษณะดังกล่าวทำให้แรงดันเฉลี่ยตกคร่อมมอเตอร์มีค่าเป็นลบ โดยกระแสอาร์เมเจอร์ (I_a) จะไหลในทิศทางลบ ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (E_{ab}) ก็จะเป็นลบเช่นกัน ส่งผลให้แรงบิดมีค่าเป็นลบ มอเตอร์จึงหมุนในทิศทางรีเวิร์สนั่นเอง ดังรูปที่ 4.14

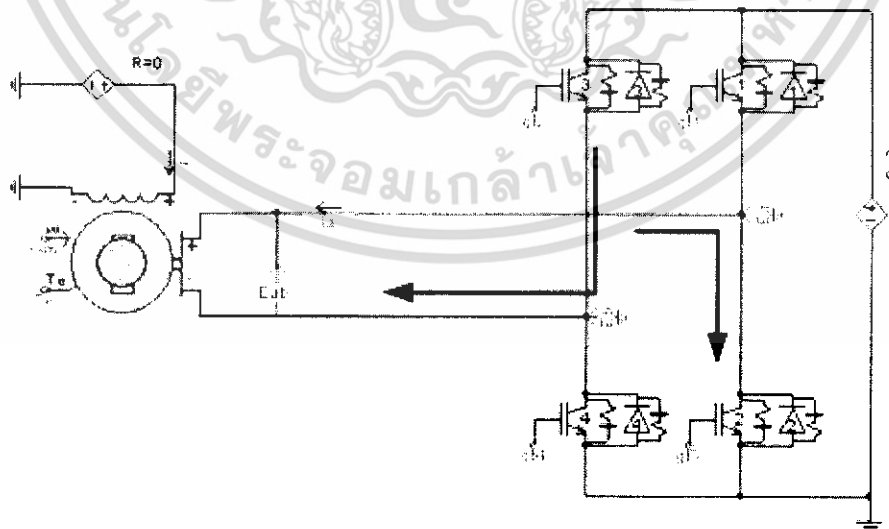


รูปที่ 4.13 สัญญาณที่ใช้ในการขับอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งในการหมุนแบบรีเวิร์ส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

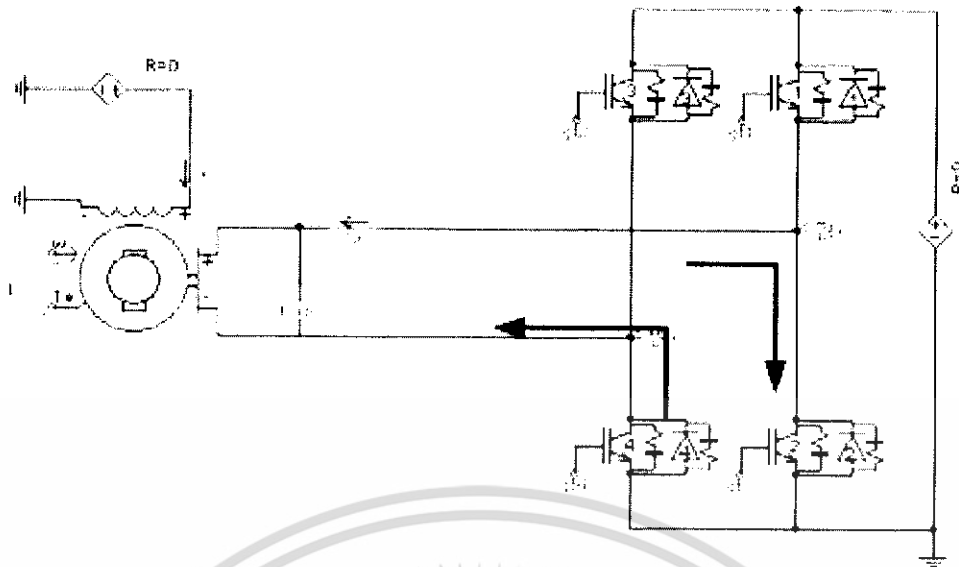


รูปที่ 4.14 กระแส (I_a) แรงดัน (E_a) แรงดัน (E_b) แรงดัน (E_{ab}) ในการหมุนแบบรีเวอร์ส



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

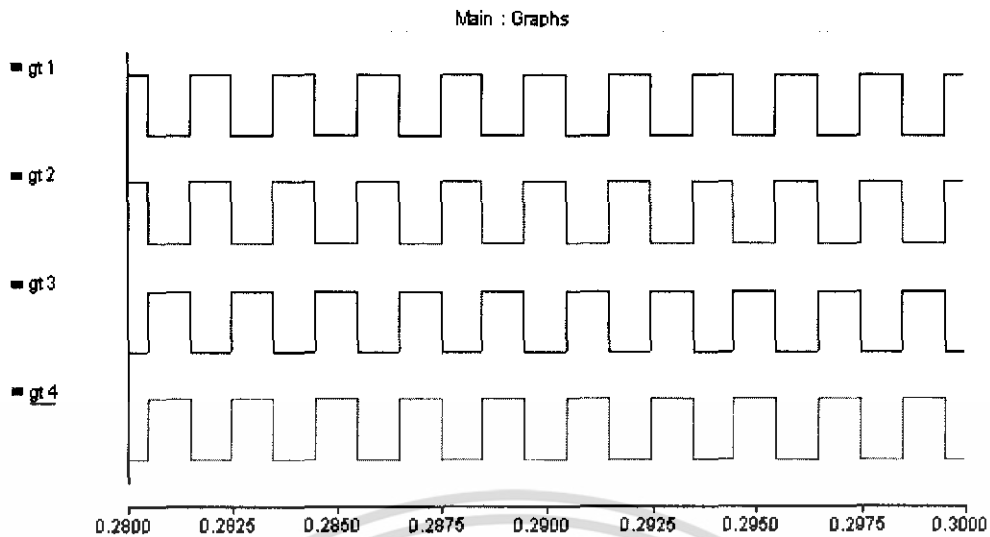


(ข)

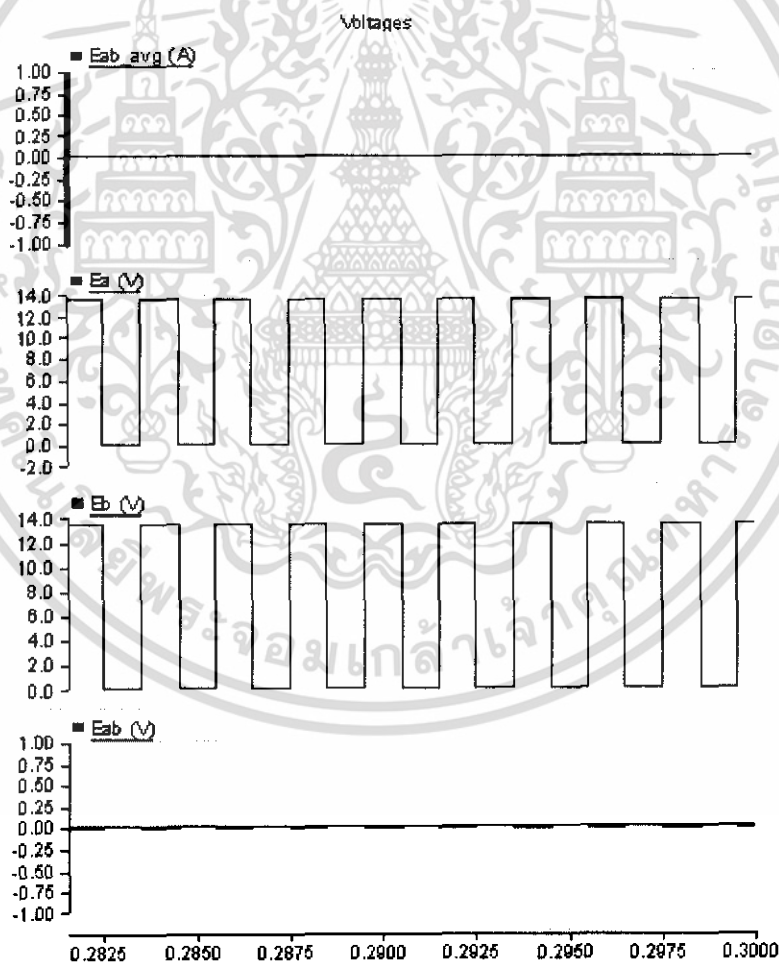
รูปที่ 4.15 ทิศทางการไหลของกระแสของการทำงานในควอดแดรนต์ที่ 3
 ก) กรณีที่ไอจีบีที 2 และ 3 ทำงานพร้อมกัน
 ข) กรณีที่ไอจีบีที 3 ทำงานแต่ 2 ไม่ทำงาน (free wheeling diode)

ควอดแดรนต์ที่ 4

เมื่อต้องการควบคุมให้มอเตอร์เบรคจากทิศทางรีเวิร์ส ต้องทำการปรับดิวิตีไซเคิล ของสัญญาณ $gt1$ ให้มีค่าเท่ากับสัญญาณ $gt2$ ซึ่งจะมีผลให้สัญญาณของ $gt4$ เท่ากับสัญญาณ $gt3$ ด้วย ดังรูปที่ 4.16 ซึ่งจากลักษณะดังกล่าวทำให้แรงดันเฉลี่ยตกคร่อมมอเตอร์มีค่าเป็นศูนย์ แต่ในสภาวะนี้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (E_{ab}) ยังคงมีค่าเป็นลบและมีค่าสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายทำให้มอเตอร์เปลี่ยนหน้าที่จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จ่ายพลังงานออกไปโดยที่กระแสอาร์เมเจอร์ (I_a) กลับทิศทาง ดังรูปที่ 4.17 ส่งผลให้แรงบิดมีค่าเป็นบวกด้านกับแรงบิดเดิม ทำให้เกิดการเบรค

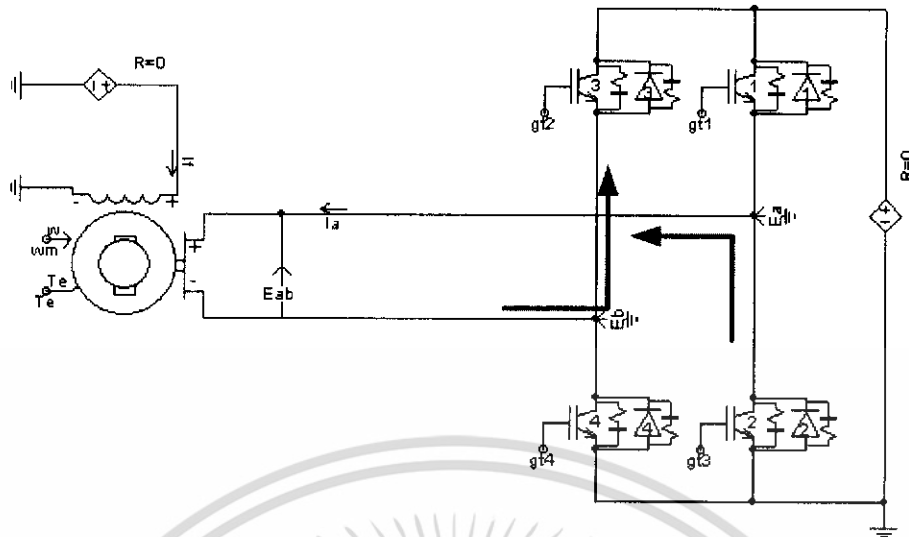


รูปที่ 4.16 สัญญาณที่ใช้ในการขับอุปกรณ์สวิตซิ่งในการเบรคแบบรีเวอร์ส



รูปที่ 4.17 กระแส (I_a) แรงดัน (E_a) แรงดัน (E_b) แรงดัน (E_{ab}) ในการเบรคแบบรีเวอร์ส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 ทิศทางการไหลของกระแสของการทำงานในควอดแดรนต์ที่ 3

4.3.2 ระบบการคอนโทรล

จุดมุ่งหมายการคอนโทรลเพื่อควบคุมตัวแปรเอาต์พุตของระบบให้เข้าสู่ค่าที่กำหนดไว้ ซึ่งคือตำแหน่งของมอเตอร์นั่นเองโดยเลือกใช้ ปร็อบพอร์ซันนัล-อินทิกรัลคอนโทรล (PI-control) โดยมีคุณสมบัติ คือ

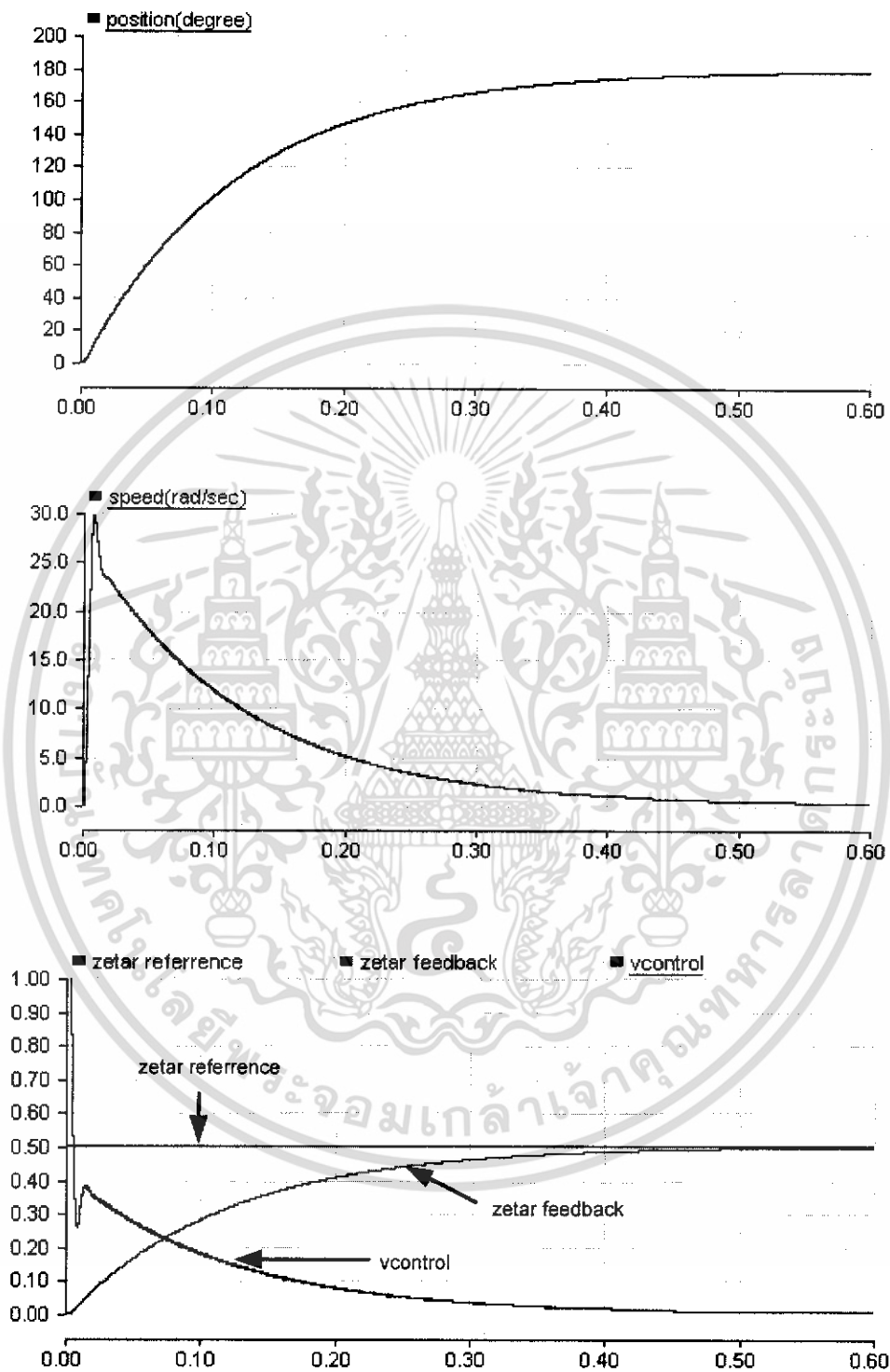
P เป็นตัวขยายสัญญาณ ทำให้ผลตอบสนองของดีขึ้น แต่จะเกิดการออสซิลเลตเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง

I สัญญาณควบคุมจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าอินทิกรัลของสัญญาณเออร์เรอร์จึงสามารถแก้ค่าออฟเซตได้

ข้อดีของการควบคุมแบบ PI คือ มีข้อดีของทั้งแบบ P และ I ทำให้แก้ค่าออฟเซตในแบบปร็อบพอร์ซันนัล และกำลังขยายของอินทิเกรตสามารถปรับค่าได้อย่างอิสระ

ข้อเสียคือ ระบบอาจไม่เสถียรในกรณีที่มีกระบวนการไทม์แล็กมากๆ เพราะการตอบสนองของตัวแปรช้ามาก ไม่สามารถแก้ข้อผิดพลาดได้ทันเวลา

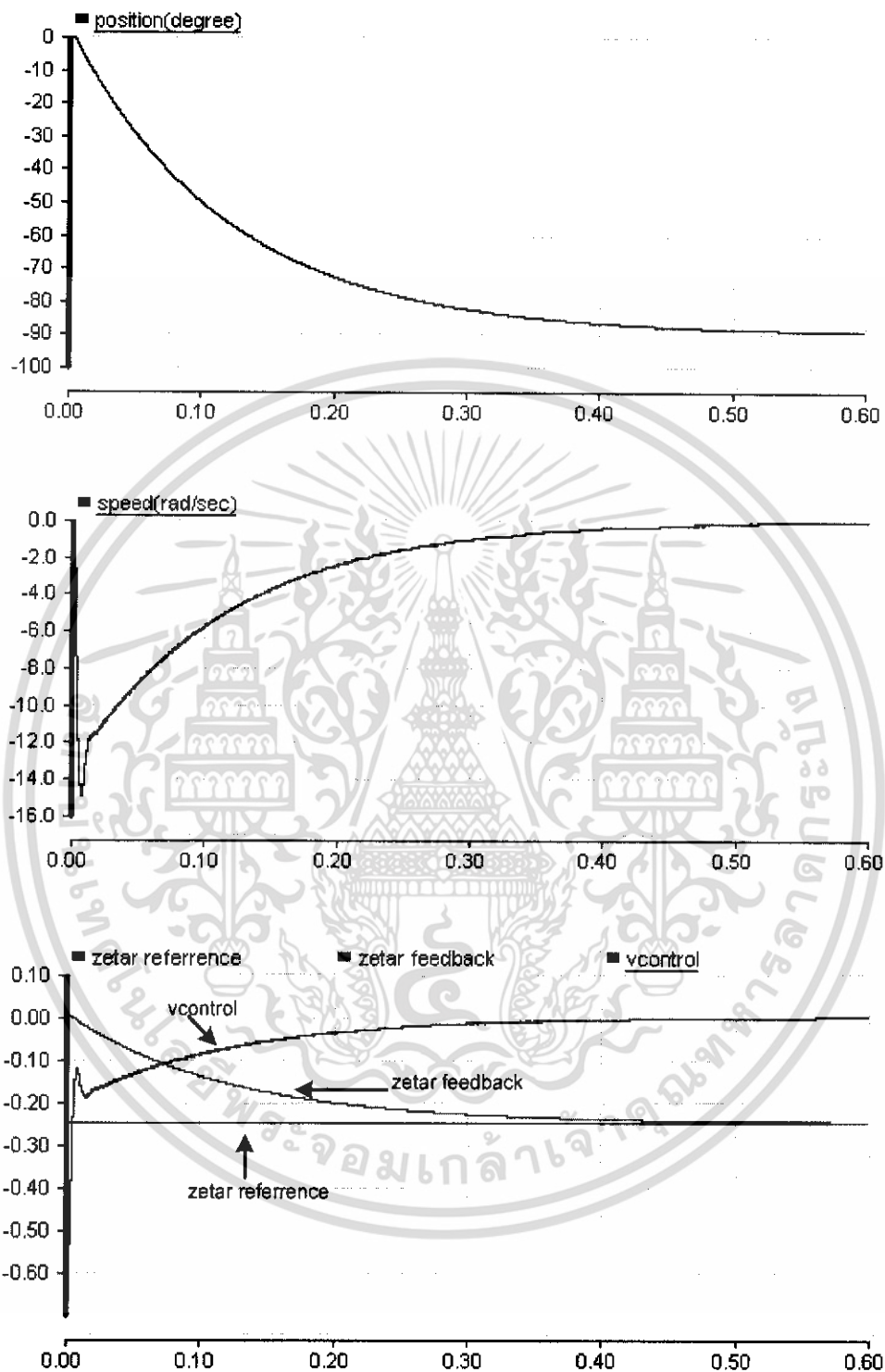
4.3.3 ผลการจำลองการควบคุมตำแหน่งที่มุมต่างๆ การปรับมอเตอร์จากตำแหน่ง 0° ไปยัง 180°



รูปที่ 4.19 แสดงตำแหน่ง(position) ความเร็ว(speed) มุมอ้างอิง(zetar reference) มุมป้อนกลับ(zetar feedback) แรงดันควบคุม(Vcontrol)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

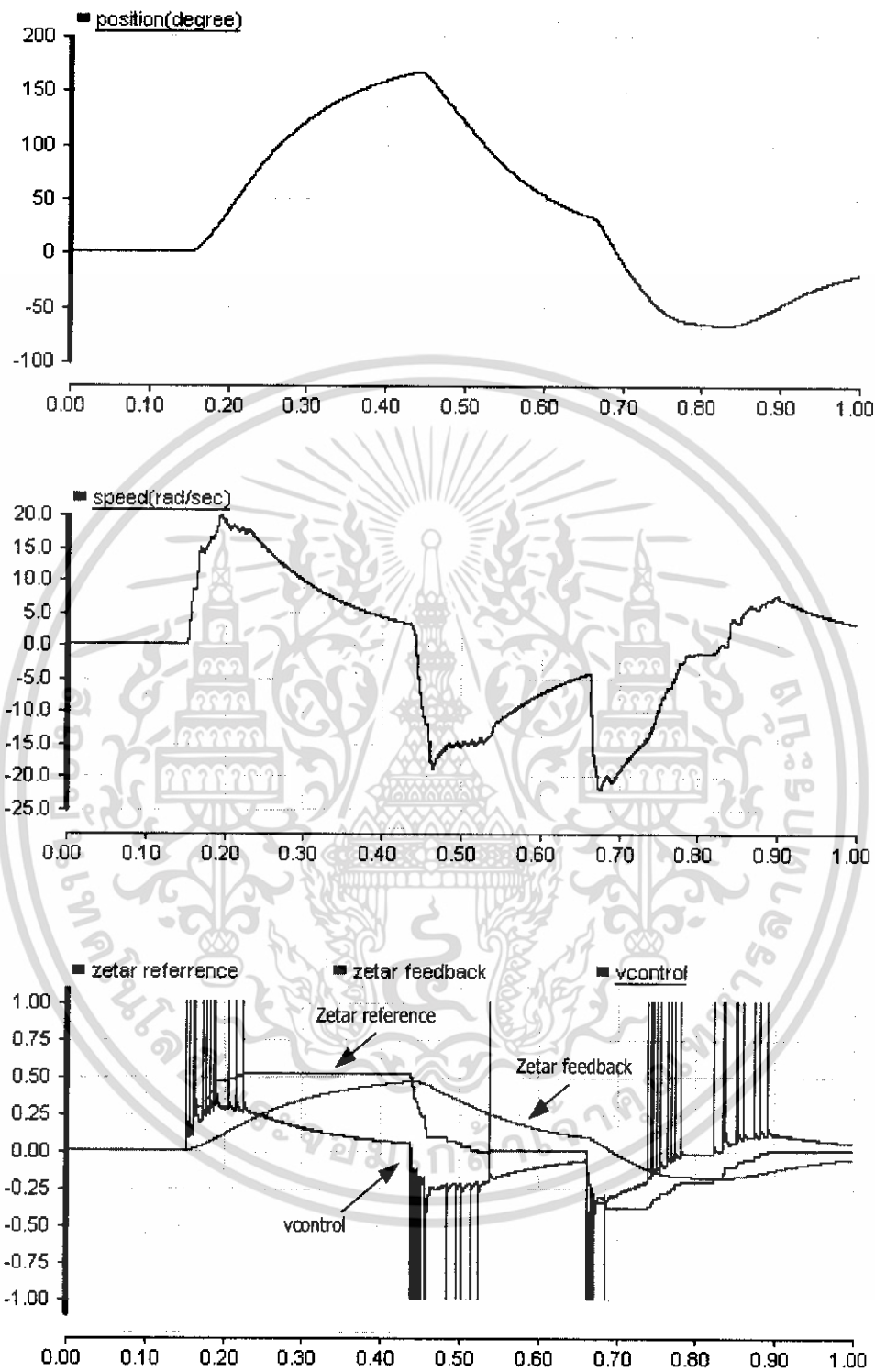
การปรับมอเตอร์จากตำแหน่ง 0° ไปยัง -90°



รูปที่ 4.20 แสดงตำแหน่ง(position) ความเร็ว(speed) มุมอ้างอิง (zetar reference) มุมป้อนกลับ (zetar feedback) แรงดันควบคุม (Vcontrol)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับมอเตอร์ไปยังตำแหน่งต่างๆ



รูปที่ 4.21 แสดงตำแหน่ง(position) ความเร็ว(speed) มุมอ้างอิง(zetar reference) มุมป้อนกลับ(zetar feedback) แรงดันควบคุม(V control)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

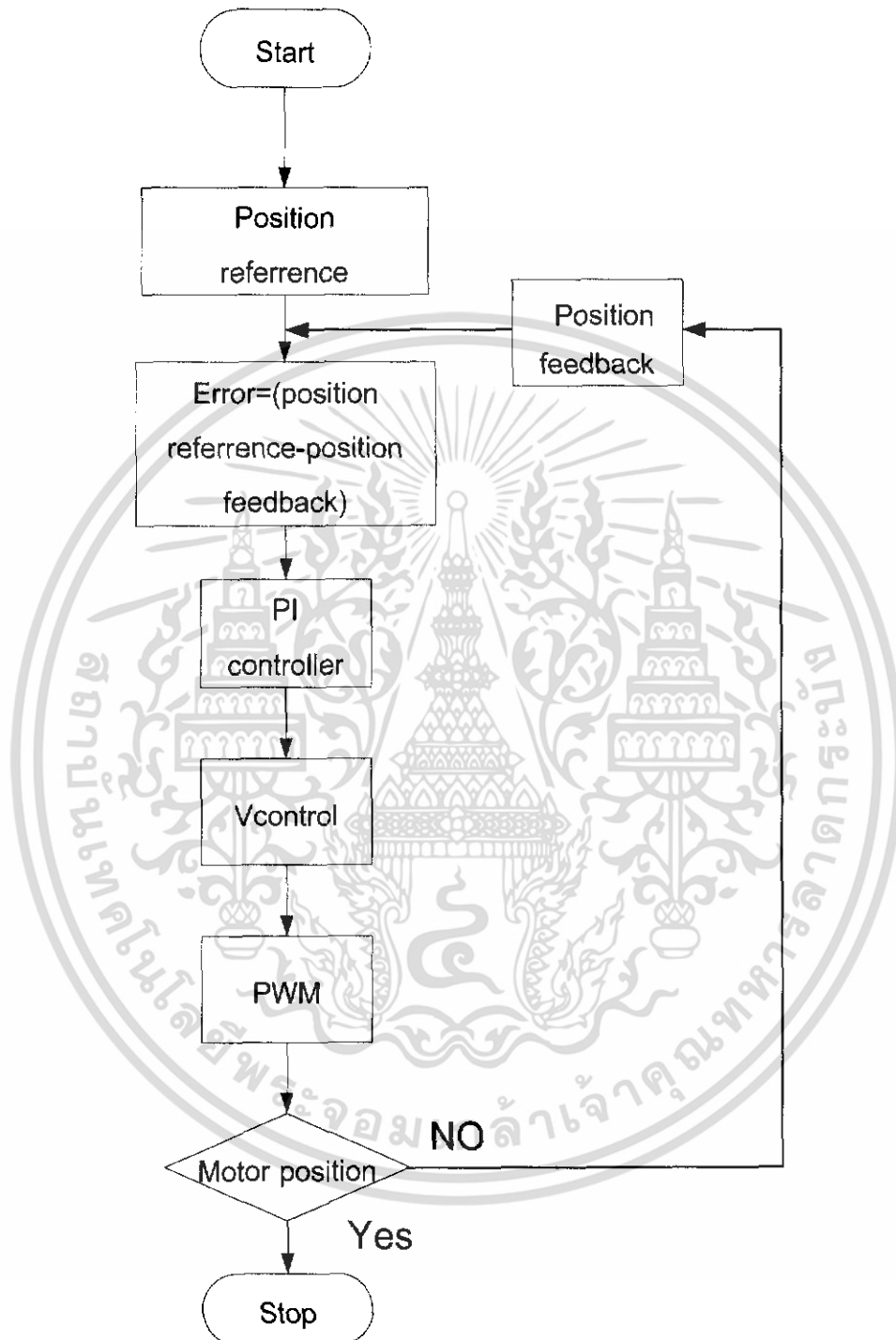
สรุปการทำงาน

เมื่อมีการป้อนตำแหน่งที่อ้างอิงเข้าไป ระบบก็จะมีการปรับเพื่อให้สัญญาณที่ป้อนกลับมีค่าเข้าใกล้สัญญาณอ้างอิงที่ป้อนเข้าไป จึงมีผลให้แรงดันที่ใช้ควบคุมมีการปรับเปลี่ยน โดยเมื่อมอเตอร์มีการหมุนไปข้างหน้า แรงดันควบคุมก็จะปรับตัวลดลงให้ต่ำกว่าครึ่งหนึ่งของสัญญาณสามเหลี่ยมที่ใช้ในการเปรียบเทียบเพื่อไม่ให้มอเตอร์หมุนเลย และหากมอเตอร์หมุนยังไม่ถึงตำแหน่งอ้างอิง แรงดันควบคุมก็จะถูกปรับให้เพิ่มขึ้น เป็นเช่นนี้จนกระทั่งมอเตอร์หมุนไปยังตำแหน่งที่ต้องการ แรงดันควบคุมก็จะเท่ากับตำแหน่งครึ่งหนึ่งของสัญญาณสามเหลี่ยม ซึ่งตรงจุดนี้ Duty cycle ของสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็ม เท่ากับ 50 % มอเตอร์ก็จะหยุด



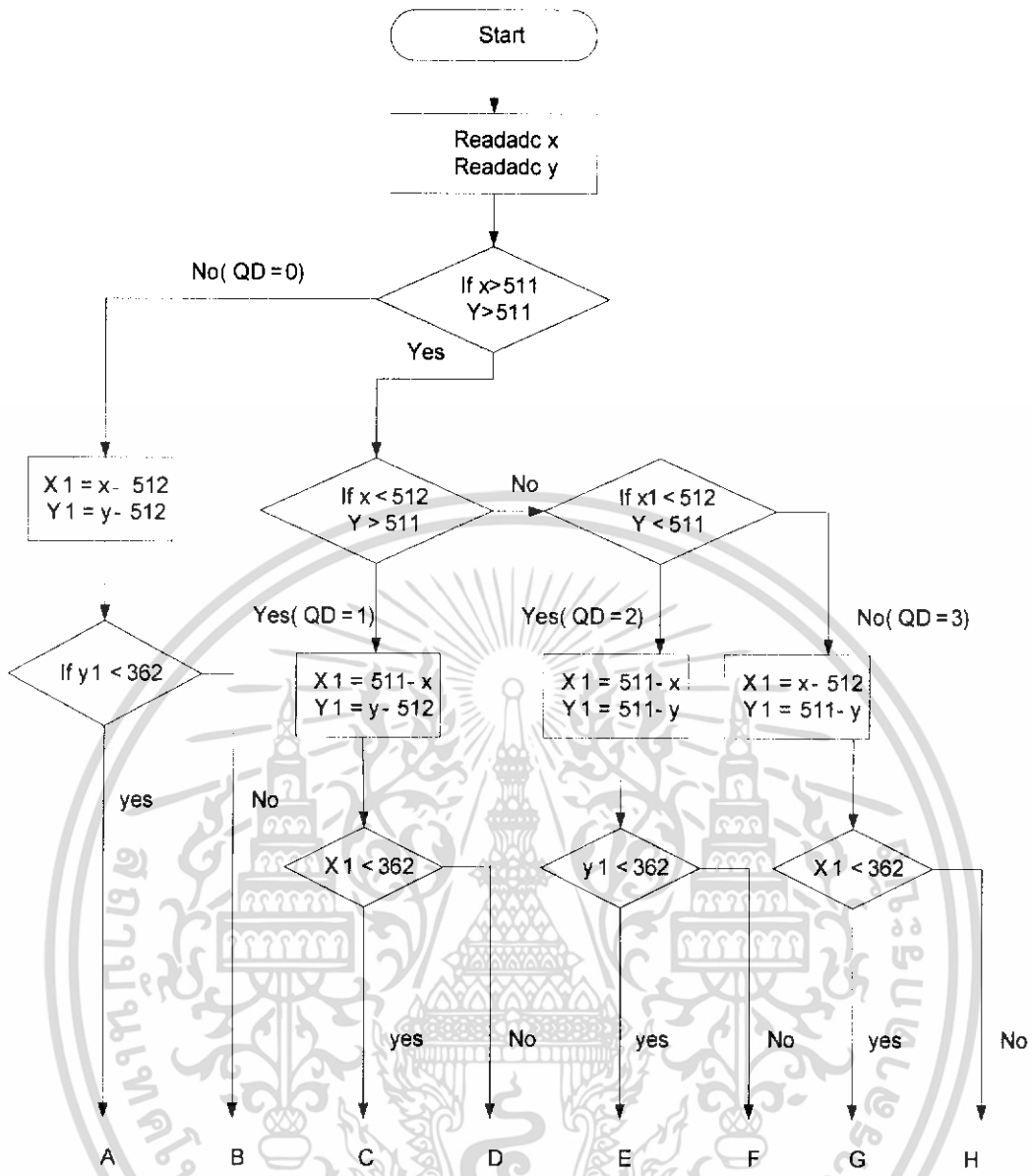
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดลองการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์แบบ 4 ครอดแตรนท์



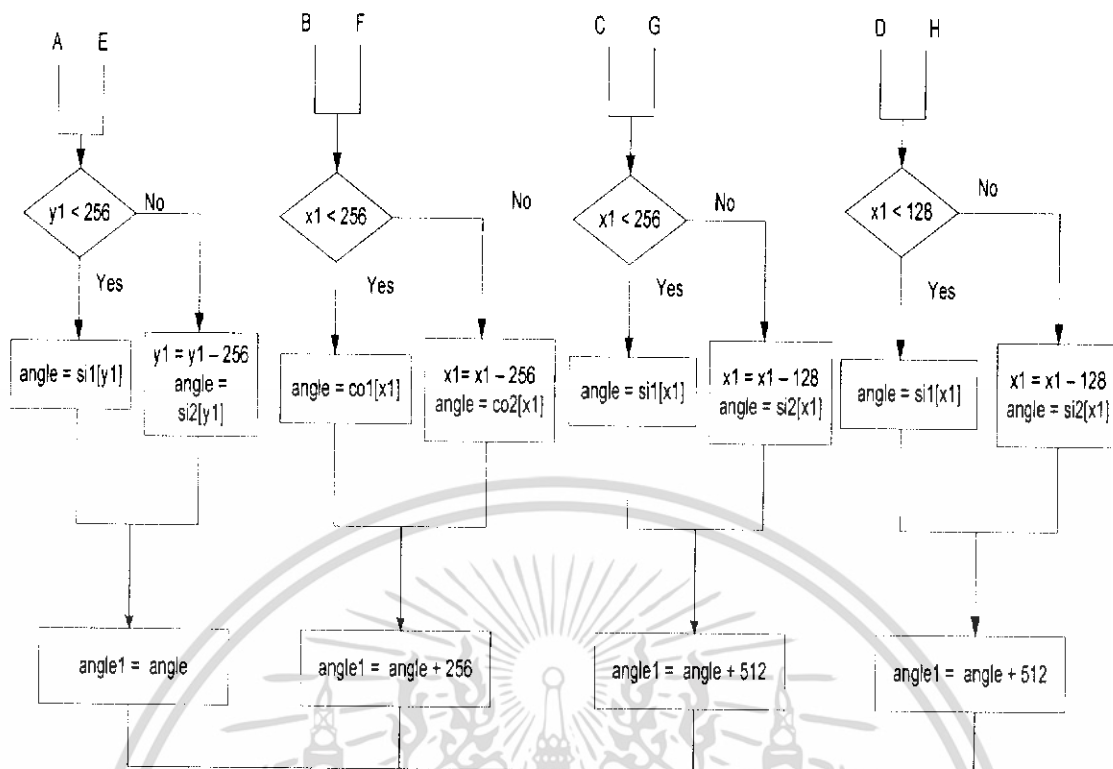
รูปที่ 4.22 โฟลวชาร์ตแสดงขั้นตอนการทำงานของระบบการควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



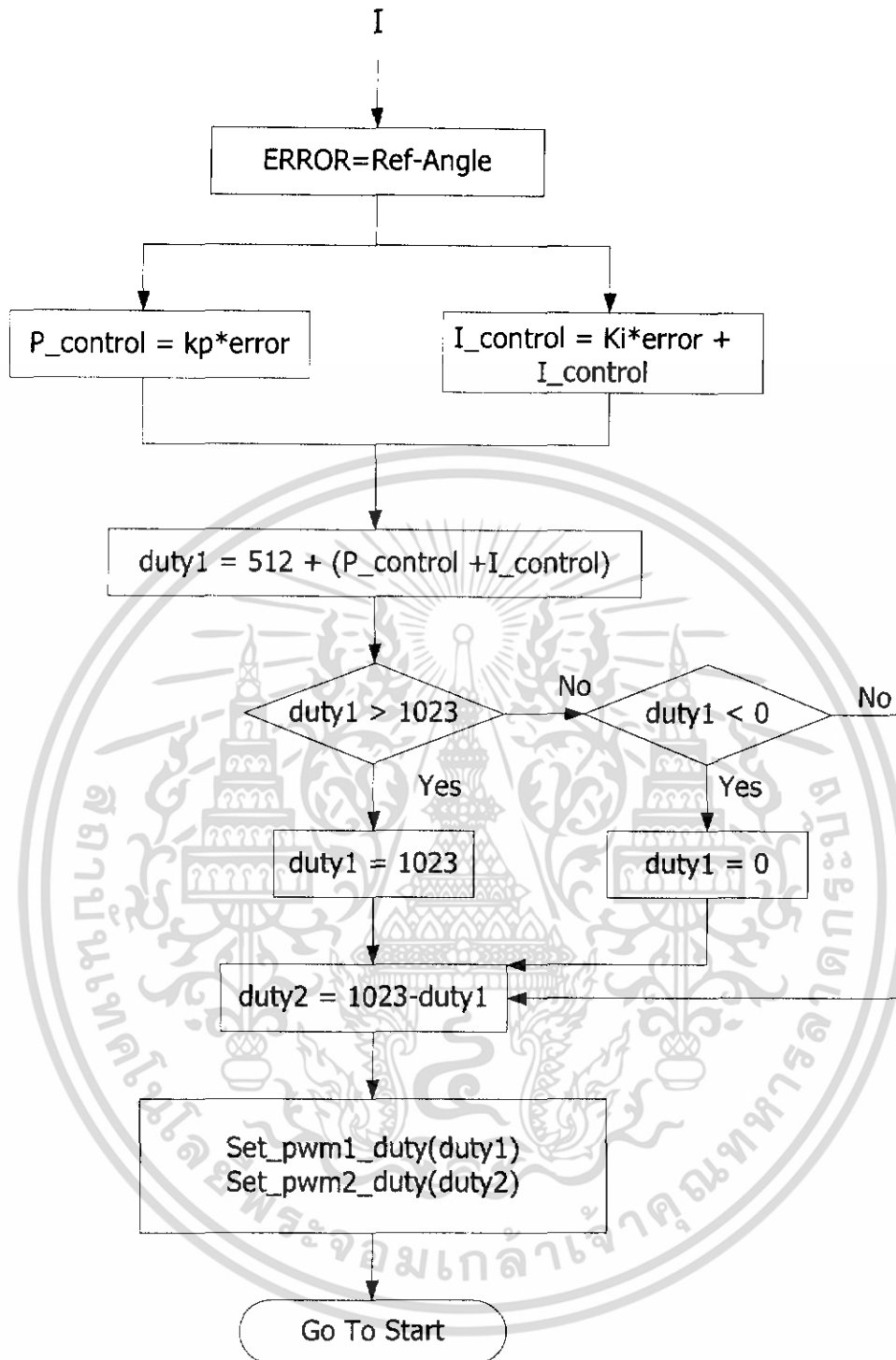
รูปที่ 4.23 โฟลวชาร์ตแสดงส่วนของโปรแกรมแสดงการรับค่า และการหาค่าตำแหน่ง (lookup table)(มีต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



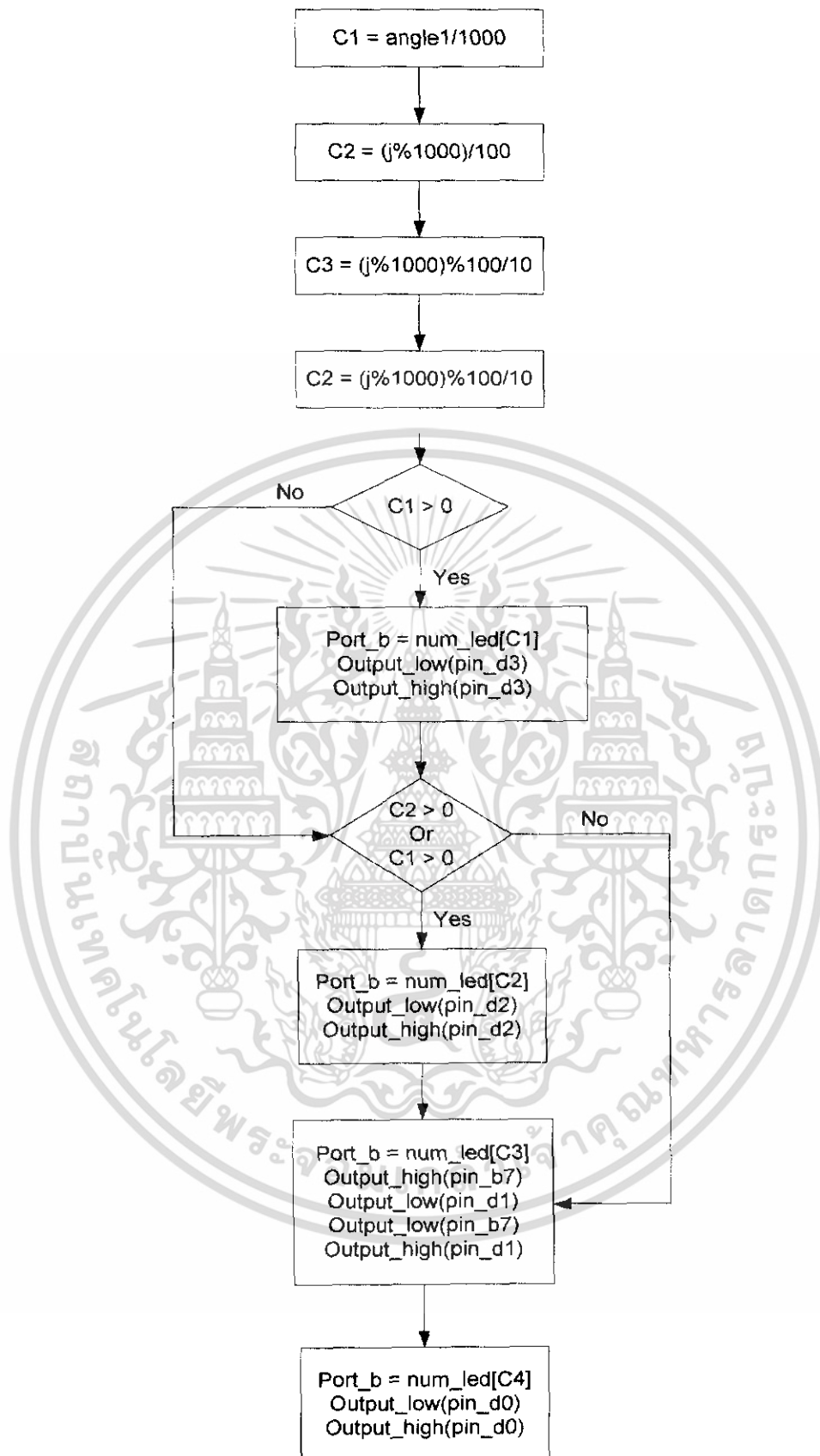
รูปที่ 4.23 โฟลวชาร์ตแสดงส่วนของโปรแกรมแสดงการรับค่า และการหาค่าตำแหน่ง (lookup table)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



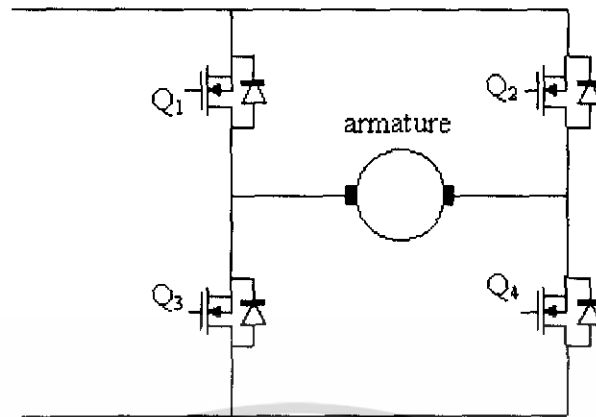
รูปที่ 4.24 โฟลวชาร์ตแสดงส่วนของโปรแกรมการสร้างสัญญาณที่ดับบลิวเอ็ม โดยการควบคุมแบบ PI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

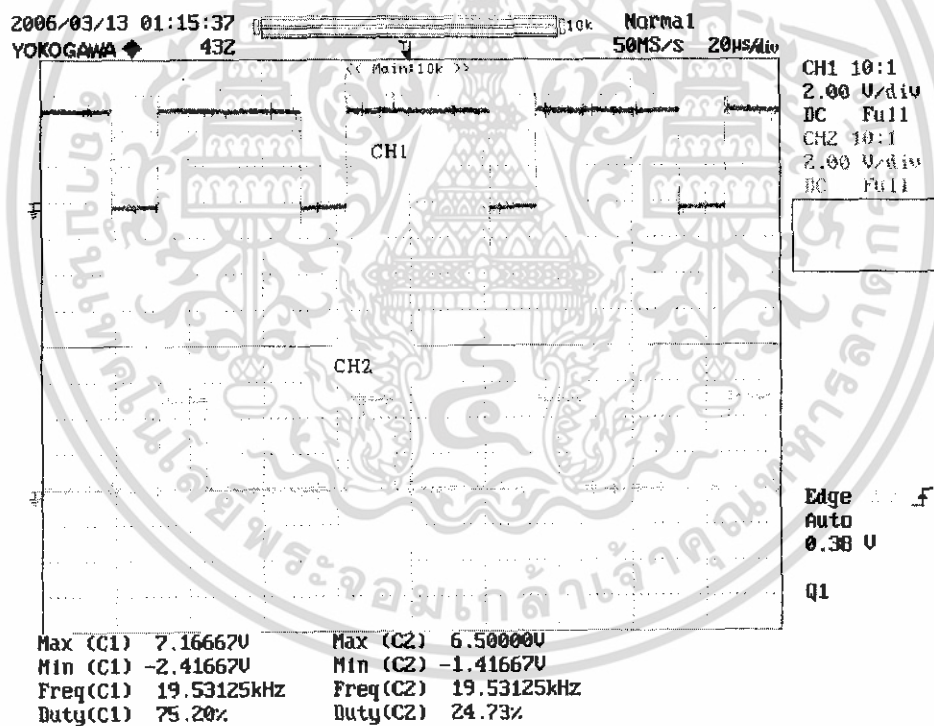


รูปที่ 4.25 โฟลวชาร์ตแสดงส่วนของการโปรแกรมการแสดงผลตำแหน่งผ่าน LED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

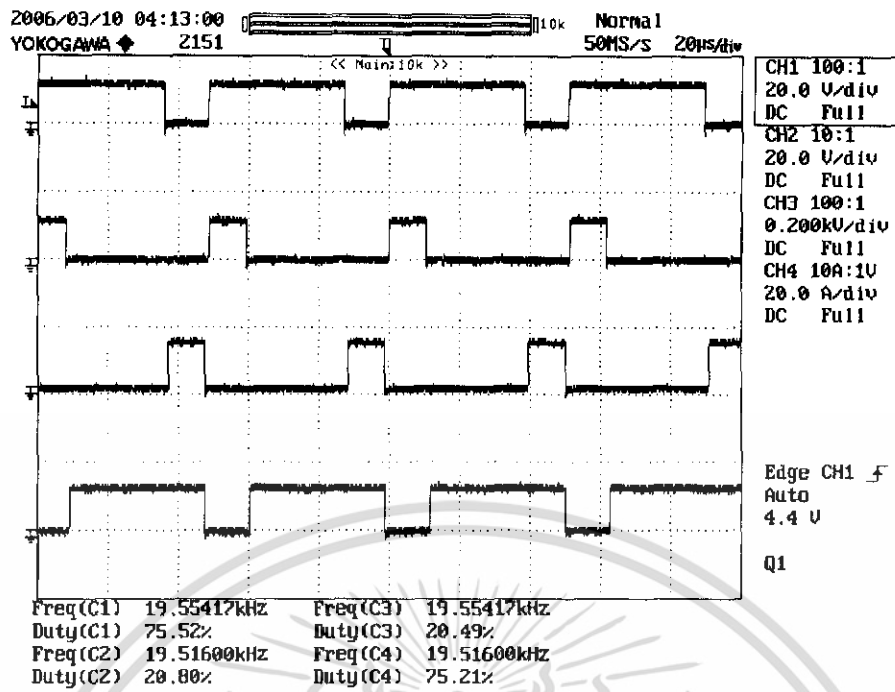


รูปที่ 4.26 วงจร ตีชีหุติชีฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์เพื่อใช้ในการควบคุมแบบ 4 ควอดแดรนต์



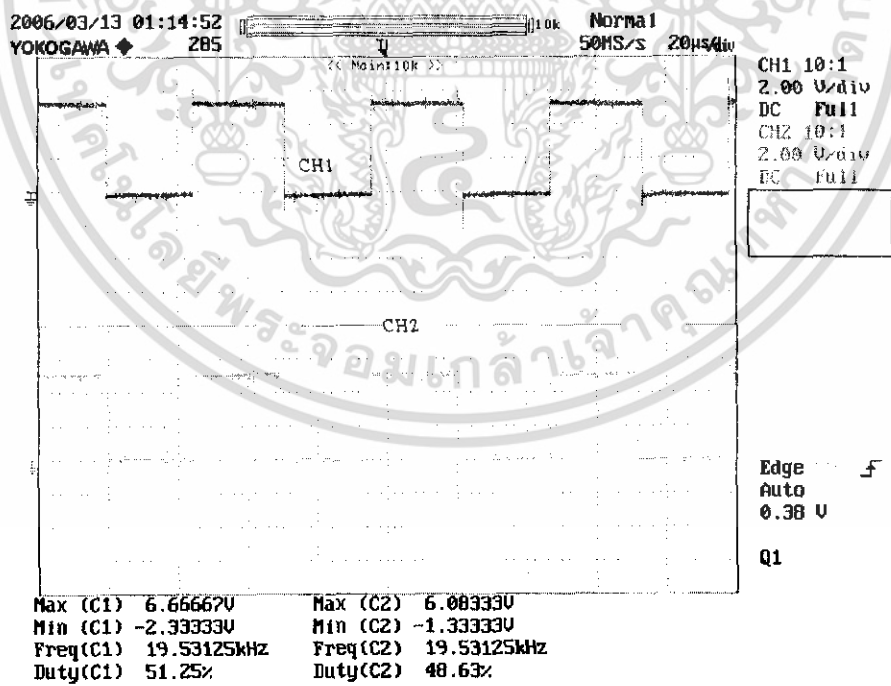
(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



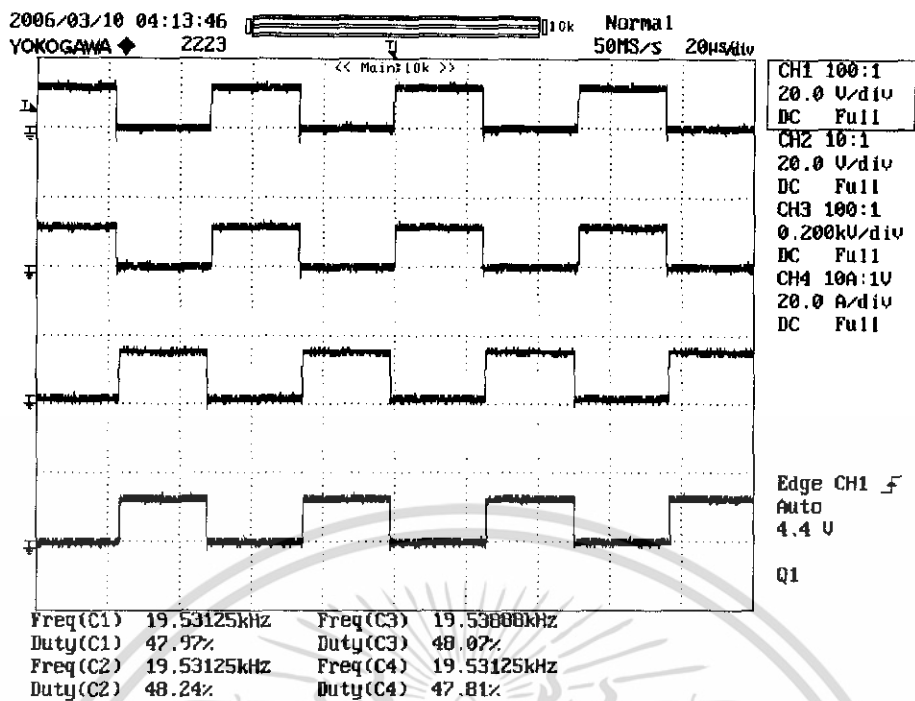
(ข)

รูปที่ 4.27 การควบคุมมอเตอร์ในควอดแรนต์ที่ 1 ก) สัญญาณพีดับสวิตช์เอมที่ออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ข) สัญญาณพีดับสวิตช์เอมที่ออกจากชุดขับไอจีบีที



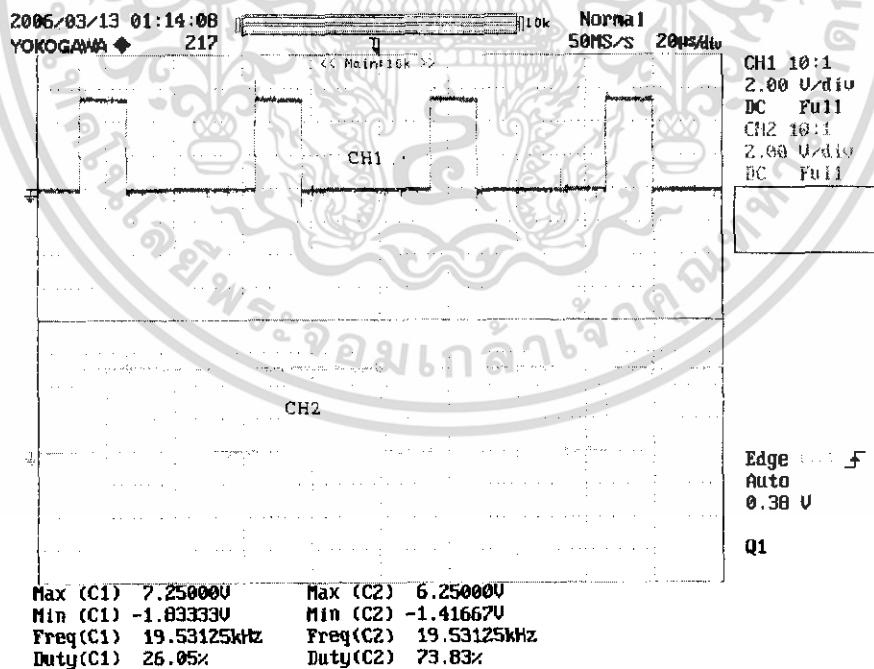
(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



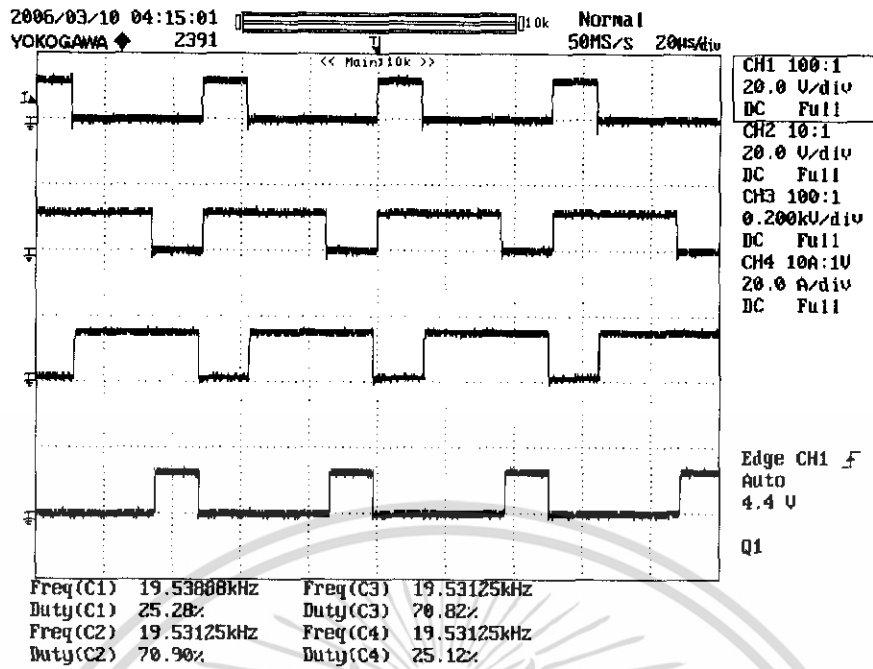
(ข)

รูปที่ 4.28 การควบคุมมอเตอร์ในควอดแรนท์ที่ 2 และ 4 ก) สัญญาณพัลส์บลิวเอมที่ออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ข) สัญญาณพัลส์บลิวเอมที่ออกจากชุดขับไอจีบีที



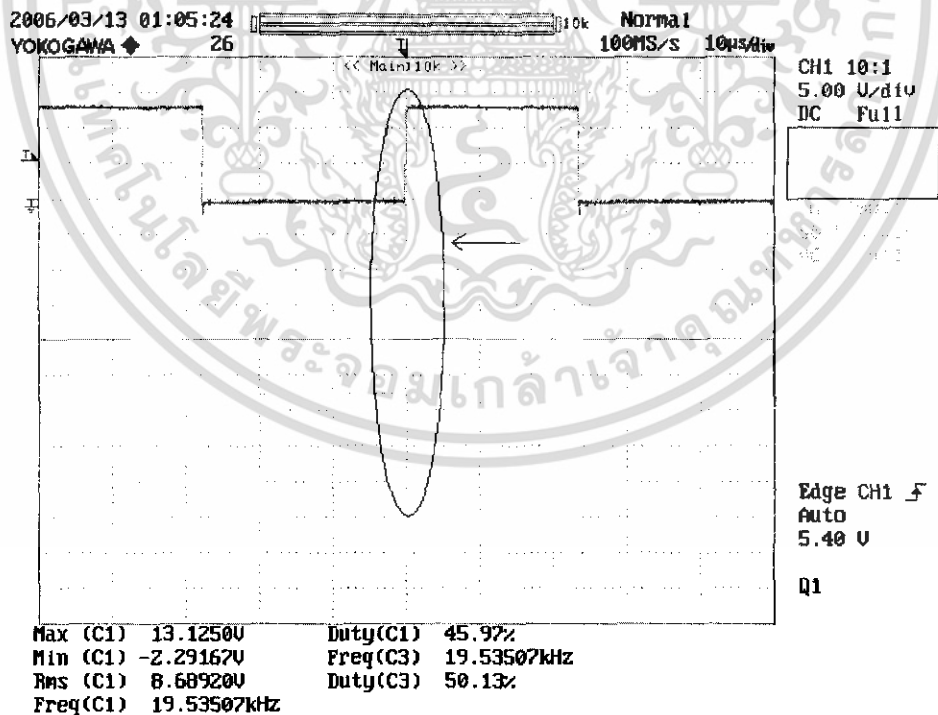
(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



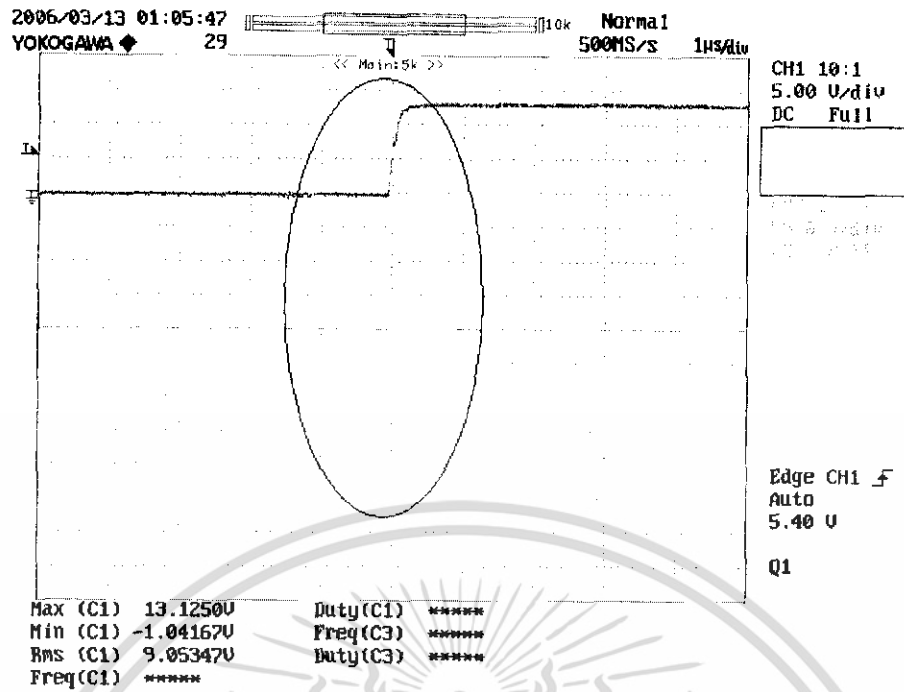
(ข)

รูปที่ 4.29 การควบคุมมอเตอร์ในควอดแรนต์ที่ 3 ก) สัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่ออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ข) สัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่ออกจากชุดขับไอจีบีที



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 4.30 เดดไทม์ที่ได้จากวงจร ก) รูปคลื่นสัญญาณเฟดดับลิวเอิมที่ผ่านวงจรเดดไทม์
ข) รูปคลื่นสัญญาณเฟดดับลิวเอิมที่ผ่านวงจรเดดไทม์เมื่อทำการขยายภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลการทดลองการควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์

อุปกรณ์ที่ใช้

ชุดโครงการการควบคุมเซอร์โวโดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งชนิดปรากฏการณ์ฮอลล์แบบสองแกน

วิธีทดลอง

หมุนตัวต้านทานปรับค่าได้ซึ่งใช้เป็นตัวปรับค่าอ้างอิงไปทางซ้ายหรือขวา แล้วสังเกตพฤติกรรมของเฟลมอเตอร์

ผลการทดลอง

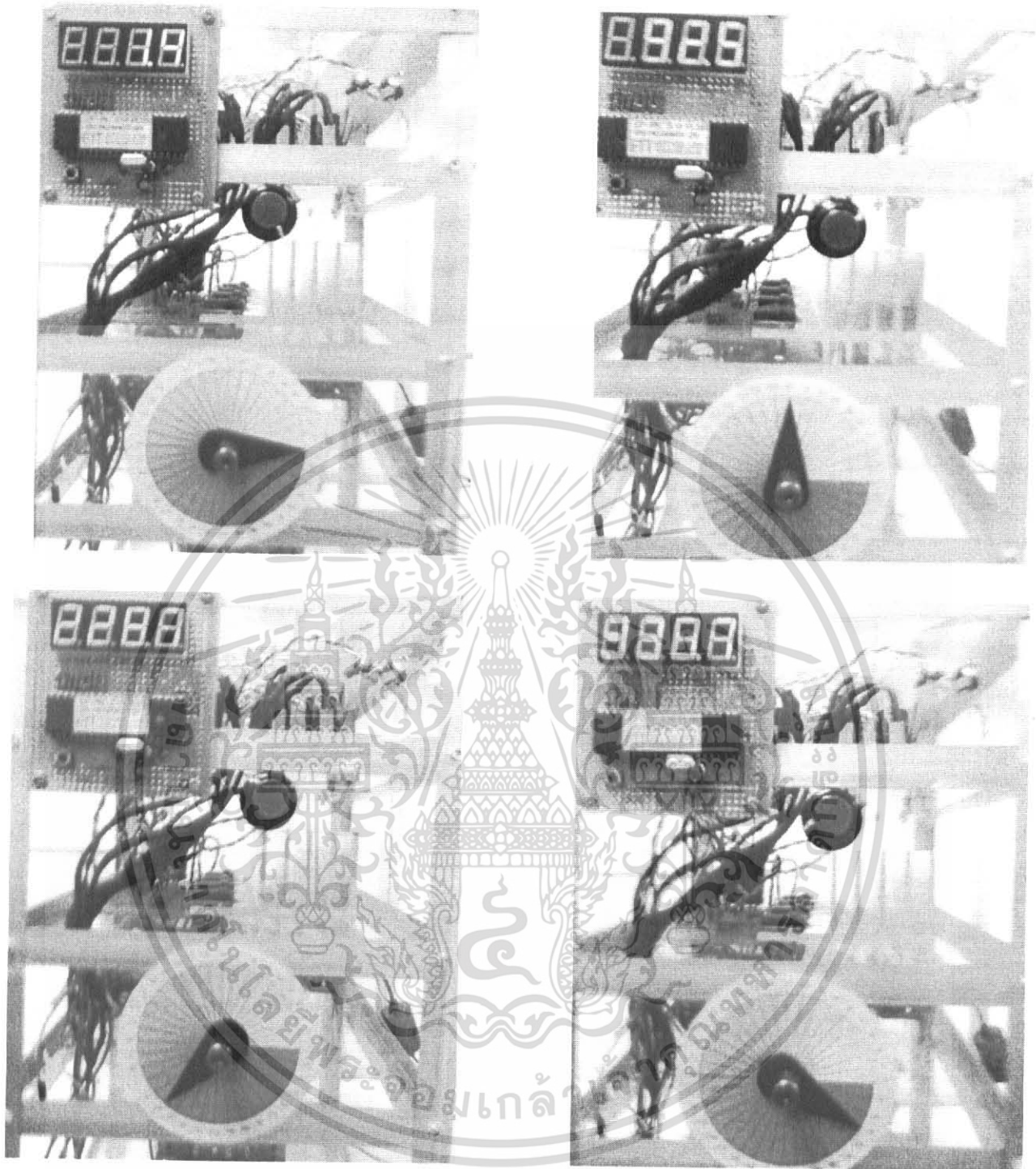
เมื่อหมุนปรับตัวต้านทานปรับค่าได้ จะพบว่าเฟลมอเตอร์จะมีการหมุนตามการปรับตัวต้านทานคือเมื่อหมุนปรับตัวต้านทานตามเข็มนาฬิกาเฟลมอเตอร์ก็หมุนตามเข็มนาฬิกา และถ้าหมุนปรับตัวต้านทานทวนเข็มนาฬิกาเฟลมอเตอร์ก็จะหมุนทวนเข็มนาฬิกาด้วยเช่นกัน

สำหรับการทดลองหาความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของมอเตอร์ซึ่งใช้ LED ตัวเลขเจ็ดส่วนแสดงการระบุตำแหน่งโดยเปรียบเทียบกับตำแหน่งจริงของเฟลมอเตอร์ดังรูปที่ 4.31 และสามารถแสดงผลการทดลองได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการเปรียบเทียบการระบุตำแหน่งเฟลมอเตอร์ระหว่าง LED ตัวเลขเจ็ดส่วน และตำแหน่งจริงของโรเตอร์

ตำแหน่งที่แสดงผ่าน LED ตัวเลขเจ็ดส่วน (องศา)	ตำแหน่งจริง (องศา)
1.4	1
29.8	30
62.1	60
92.5	90
118.5	120
152.2	150
179.4	180
207.6	210
237.8	240
267.8	270
297.8	300
330.7	330
355.7	357

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 แสดงการทำงานในการระบุตำแหน่งเฟลวมอเตอร์ผ่าน LED ตัวเลขเจ็ดส่วน กับตำแหน่งจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าสามารถควบคุมให้เฟลวมอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกาได้ตามต้องการ แต่การแสดงค่านั้นมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยซึ่งมีสาเหตุมาจากการติดตั้งตำแหน่งของเซ็นเซอร์กับระยะแม่เหล็กที่ติดตั้งไว้บนเพลลาของมอเตอร์ไม่ได้ตำแหน่งที่เหมาะสม ซึ่งในการออกแบบติดตั้งจำเป็นต้องให้มีความเที่ยงตรง เพื่อให้สัญญาณเอาต์พุตทั้ง 2 ชุดที่ออกจากเซ็นเซอร์มีขนาดเท่ากัน ซึ่งจะเป็นผลให้การป้อนกลับของสัญญาณมีความแม่นยำเพื่อการประมวลผลตำแหน่งที่มีความถูกต้องด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป

สรุปงานจากการทำโครงงาน

1. ศึกษาการใช้งานเซนเซอร์ชนิดปรากฏการณ์ฮอลล์แบบสองแกน (Sentron 2SA-10)
2. การทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของมอเตอร์
3. ศึกษาใช้งาน Pic microcontroller และการโปรแกรมด้วยภาษาซี
4. จำลองการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์แบบ 4 ครอดเดรนท์ โดยใช้โปรแกรม PScad
5. ศึกษาและออกแบบใช้งานวงจร Deadtime, IGBT driver, DC to DC converter
6. สร้างชิ้นงานจริงแสดงการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์

ปัญหาและอุปสรรค

1. มักเกิดจากการที่อุปกรณ์ที่ออกแบบบกพร่อง และความผิดพลาดจากการต่อสาย
2. เกิดจากการติดตั้งเซนเซอร์มีผลให้ที่สัญญาณขาออก ทั้ง 2 ขา ของเซนเซอร์ ไม่เท่ากันอาจทำให้เกิดความผิดพลาดในการระบุตำแหน่ง
3. จากการที่แปลงค่าสัญญาณอะนาล็อก เป็นดิจิตอลเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ ต้องมีการหน่วงเวลาเล็กน้อยซึ่งอาจเป็นผลให้เกิดความผิดพลาดในการตรวจจับตำแหน่ง

ข้อเสนอแนะ

ในโครงงานนี้ส่วนสำคัญมากอย่างหนึ่งคือการติดตั้งตำแหน่งของเซ็นเซอร์กับระยะแม่เหล็กที่ติดตั้งไว้บนเพลลาของมอเตอร์ในการออกแบบติดตั้งจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องให้มีความเที่ยงตรง เพื่อให้สัญญาณเอาท์พุททั้ง 2 ชุดที่ออกจากเซนเซอร์มีขนาดเท่ากัน ซึ่งจะเป็นผลให้การป้อนกลับของสัญญาณมีความถูกต้องเพื่อการประมวลผลตำแหน่งที่มีความถูกต้องด้วยเช่นกัน แต่วิธีหนึ่งที่น่าจะสามารถแก้ไขปัญหานี้ได้คือ โดยการโปรแกรมทางไมโครคอนโทรลเลอร์ให้มีการรับค่าเข้ามาประมวลผลตำแหน่งแล้วทำการเก็บไว้ในตารางก่อน จากนั้นจึงจะนำไปใช้ต่อไป

ในส่วนของการควบคุมมอเตอร์ให้ทำงานแบบเซอร์โวของโครงงานนี้ มีการป้อนสัญญาณกลับเฉพาะในส่วนของตำแหน่งของเพลลามอเตอร์เท่านั้น ดังนั้นในส่วนของการควบคุมเมื่อมีการเกิดแรงบิดต้านการหมุนของมอเตอร์เนื่องจากโหลด จะเป็นผลให้เกิดความผิดพลาดของตำแหน่งมอเตอร์ได้เล็กน้อย เพื่อให้ได้ผลการควบคุมที่ดีขึ้นจึงควรมีการป้อนกลับสัญญาณในส่วนของการกระแสของอาร์มาเจอร์ด้วย ซึ่งจะทำให้สามารถควบคุมแรงบิดของมอเตอร์ได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ณีภูษพล วงศ์สุนทรชัย และ ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, **ปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x**, กรุงเทพฯ,บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด,2545.
- [2] วีระเชตฐ์ ชันเงิน และ วุฒิพล ชาราธิ์เศรษฐ์, **อิเล็กทรอนิกส์กำลัง**, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ, สนพ. ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. ฟรินติ้ง,2547.
- [3] โยธิน เปรมปราณีรัชต์, **ระบบเซอร์โวและอิเล็กทรอนิกส์คอนโทรลมอเตอร์**, พิมพ์ครั้งที่1,กรุงเทพฯ,สนพ. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,2533.
- [4] Ned Mohan, Tore M. Undeland and William P. Robbins, **power Electronics Converter**, John Wiley & Sons, Inc., 1989.
- [5] John Hinndmarsh and Alasdair Renfrew, **Electrical Machines and Drive Systems**, edition, Butterworh-Heinemann,1996.
- [6] ทศพล ศีระกิตติสุวรรณ และคณะ, “การควบคุมตำแหน่งของเซอร์โวมอเตอร์กระแสตรงโดยไมโครโปรเซสเซอร์,”ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2543.
- [7] ชัยศรี เอี่ยมอำไพ, “การใช้ MRAC เพื่อควบคุมตำแหน่งมอเตอร์กระแสตรง,” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2535.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
โปรแกรม PIC 16F877

1. โปรแกรมควบคุมตำแหน่งมอเตอร์

```
#define _16F877_
#include <16F877.h>
#fuses HS
#fuses NOLVP,nowdt
#fuses noprotect
#define clock_sp 20000000 // set clock speed
#define device ADC=10 // use analog to digital 10 bit
#define delay (clock=clock_sp) // delay function
#define fast_io(A)
#include <math.h> // use math operation
#define Kp 1.77 // Gain P
#define Ki 0.0175 // Gain I
int16 I_control;
//***** function prototype *****/
int16 readadc(int I);
void dutycycle(int16 j,int16 k);
//*****
//***** angle table *****/
int const sl1[256] = {0,0,1,1,1,2,2,2,3,3,3,4,4,4,4,5,5,5,6,6,
6,7,7,7,8,8,8,9,9,9,10,10,10,11,11,11,11,12,12,12,
13,13,13,14,14,14,15,15,15,16,16,16,17,17,17,18,18,18,19,19,
19,19,20,20,20,21,21,21,22,22,22,23,23,23,24,24,24,25,25,25,
26,26,26,27,27,27,28,28,28,29,29,29,29,30,30,30,31,31,31,32,
32,32,33,33,33,34,34,34,35,35,35,36,36,36,37,37,37,38,38,38,
39,39,39,40,40,40,41,41,41,42,42,42,43,43,43,44,44,44,45,45,
45,46,46,46,47,47,47,48,48,48,49,49,49,50,50,50,51,51,51,52,
52,52,53,53,53,54,54,54,55,55,55,56,56,56,57,57,57,58,58,58,
```

(มีต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

59,59,59,60,60,60,61,61,61,62,62,62,63,63,63,64,64,64,65,65,
65,66,66,67,67,67,68,68,68,69,69,69,70,70,70,71,71,71,72,72,
72,73,73,74,74,74,75,75,75,76,76,76,77,77,77,78,78,79,79,79,
80,80,80,81,81,81,82,82,83,83,83,84,84,84,85,85);

**Int const sl2[106]= {85,86,86,87,87,87,88,88,88,89,89,90,90,90,91,
91,91,92,92,93,93,93,94,94,94,95,95,96,96,96,
97,97,97,98,98,99,99,99,100,100,101,101,101,102,102,103,103,
103,104,104,105,105,105,106,106,107,107,107,108,108,109,109,
109,110,110,111,111,111,112,112,113,113,113,114,114,115,115,
116,116,116,117,117,118,118,119,119,119,120,120,121,121,122,
122,122,123,123,124,124,125,125,125,126,126,127,127,128};**

**Int const co1[256]={255,255,255,254,254,254,254,253,253,253,252,252,252,251,251,
251,250,250,250,249,249,249,248,248,248,247,247,247,246,
246,246,245,245,245,244,244,244,243,243,243,242,242,242,241,
241,241,240,240,240,239,239,239,239,238,238,237,237,237,
236,236,236,235,235,235,234,234,234,233,233,233,232,232,232,
231,231,231,230,230,230,230,229,229,229,228,228,228,227,227,
227,226,226,226,225,225,225,224,224,224,223,223,223,222,222,
222,221,221,221,220,220,220,219,219,219,218,218,218,217,217,
217,216,216,216,216,215,215,215,214,214,214,213,213,213,212,
212,212,211,211,211,210,210,210,209,209,209,208,208,208,207,
207,207,206,206,206,205,205,205,204,204,204,203,203,203,202,
202,202,201,201,201,200,200,200,199,199,199,198,198,197,197,
197,196,196,196,195,195,195,194,194,194,193,193,193,192,192,
192,191,191,191,190,190,190,189,189,189,188,188,187,187,187,
186,186,186,185,185,185,184,184,184,183,183,183,182,182,182,
181,181,180,180,180,179,179,179,178,178,178,177,177,177,176,
176,175,175,175,174,174,174,173,173,173,172,172,171,171,171,
170};**

**Int const co2[106]={170,170,169,169,168,168,168,167,167,167,166,166,165,165,165,
164,164,164,163,163,162,162,162,161,161,161,160,160,159,159,
159,158,158,157,157,157,156,156,156,155,155,154,154,154,153,**

(มีต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

153,152,152,152,151,151,150,150,150,149,149,148,148,148,147,
147,146,146,146,145,145,144,144,144,143,143,142,142,141,141,
141,140,140,139,139,138,138,138,137,137,136,136,136,135,135,
134,134,133,133,132,132,132,131,131,130,130,129,129,128,128,
128);

```

```

//*****

```

```

//***** recieve analog to digital *****//

```

```

Int16 readadc(Int l) {

```

```

    Int16 z;

```

```

    set_adc_channel(l);

```

```

    delay_us(10);

```

```

    z = read_adc();

```

```

    return(z);

```

```

}

```

```

//*****

```

```

//***** PWM function *****//

```

```

void dutycycle(Int16 j,Int16 k){

```

```

    Int select;

```

```

    Int16 duty1,duty2,error1,p_control,i_old,p_control1,

```

```

        i_control1,i_control2,pl_control;

```

```

    signed Int16 error;

```

```

    error = j-k;

```

```

    If (error < 0)

```

```

        select = 1 ;

```

```

    else

```

```

        select = 0 ;

```

```

switch(select) {

```

```

case 0 : error1 = error;

```

```

        p_control = Kp*error1;

```

```

        I_control2 = KI*error1;

```

```

        break;

```

(มีต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

case 1 : error1 = 0 - error;
    p_control1 = Kp*error1;
    p_control = 0 - p_control1;
    i_control1 = KI*error1;
    i_control2 = 0 - i_control1;
    break;
}
i_control = i_control2 + i_control; // i_control
pi_control = i_control + p_control; // pi_control
duty1 = 512 + pi_control;
if (duty1 > 1008){
    duty1 = 1008; // 100% duty cycle
    i_control = i_control - i_control2;
}
else if (duty1 < 15){
    duty1 = 15; // 0% duty cycle
    i_control = i_control - i_control2;
}
duty2 = 1023 - duty1; // duty2 is compliment of duty1
set_pwm1_duty(duty1); // built pwm channel RC2
set_pwm2_duty(duty2); // built pwm channel RC1
}
*****
***** Main function *****
void main (void){
    int QD,QD1,table,angle;
    register int16 ady,adx;
    int16 ref,angle1;
    setup_adc(adc_clock_div_32); // use clock 2(tosc) 625 khz
    setup_ADC_ports(RA0_RA1_RA3_ANALOG);
    setup_ccp1(CCP_PWM); // Configure CCP1 as a PWM
    setup_ccp2(CCP_PWM); // Configure CCP2 as a PWM

```

(มีต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
setup_timer_2(T2_DIV_BY_1, 255, 1); // set timer 2 built pwm at 19.5 kHz
```

```
l_control = 0;
```

```
while (true)
```

```
    adx = readadc(0);           // receive cos (0-1023)
```

```
    ady = readadc(1);           // receive sin (0-1023)
```

```
    ref = readadc(3);           // receive reference 0-1023
```

```
    if (adx > 511 && ady > 511)
```

```
        QD = 0;                 // quadrant 1
```

```
    else if (adx < 512 && ady > 511)
```

```
        QD = 1;                 // quadrant 2
```

```
    else if (adx < 512 && ady < 512)
```

```
        QD = 2;                 // quadrant 3
```

```
    else
```

```
        QD = 3;                 // quadrant 4
```

```
    switch(QD) {
```

```
        case 0 : adx = adx-512;   // quadrant 1
```

```
                ady = ady-512;
```

```
                if (ady < 362)
```

```
                    table = 0;    // check from sin 0-44 degree
```

```
                else
```

```
                    table = 1;    // check from cos 45-90 degree
```

```
                break;
```

```
        case 1 : adx = 511-adx;   // quadrant 2
```

```
                ady = ady-512;
```

```
                if (adx < 362)
```

```
                    table = 2;    // check from cos 0-44 degree
```

```
                else
```

```
                    table = 3;    // check from sin 45-90 degree
```

```
                break;
```

(มีต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

case 2 : adx = 511-adx;          // quadrant 3
    ady = 511-ady;
    if (ady < 362)
        table = 0;                // check from sin 0-44 degree
    else
        table = 1;                // check from cos 45-90 degree
    break;

case 3 : adx = adx-512;        // quadrant 4
    ady = 511-ady;
    if (adx < 362)
        table = 2;                // check from cos 0-44 degree
    else
        table = 3;                // check from sin 45-90 degree
    break;
}
switch(table){
    case 0 : if (ady < 256)        // check from sin 0-44 degree
        angle = sl1[ady];        // use index from adc 0-255
    else {
        ady = ady-256;          // use index from adc 255-362
        angle = sl2[ady];
    }
    break;

    case 1 : if (adx < 256)        // check from cos 45-90 degree
        angle = co1[adx];        // use index from adc 0-255
    else {
        adx = adx-256;          // use index from adc 255-362
        angle = co2[adx];
    }
    break;

    case 2 : if (adx < 256)        // check from cos 0-44 degree
        angle = sl1[adx];        // use index from adc 0-255

```

(มีต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.โปรแกรมส่วนของการแสดงผลผ่าน LED 7-SEGMENT

```
#define _16F877A_
#include <16F877A.h>
#fuses HS
#fuses NOLVP,nowdt
#fuses noprotect
#define clock_sp 20000000 // set clock speed
#define device ADC=10 // use analog to digital 10 bit
#use delay (clock=clock_sp)
#use fast_io(A)
#include <math.h> // use math operation
#define port_b=6
#define dbc 3.51906
register int i;
char num_led[10] = {0x3f,0x06,0x5b,0x4f,0x66, // 0,1,2,3,4,
0x6d,0x7d,0x07,0x7f,0x6f}; // 5,6,7,8,9
//***** function prototype *****/
int16 readadc(i);
//*****
int const sl[256] = {0,0,1,1,1,2,2,2,3,3,3,4,4,4,4,5,5,5,6,6,
6,7,7,7,8,8,8,9,9,9,10,10,10,11,11,11,11,12,12,12,
13,13,13,14,14,14,15,15,15,16,16,16,17,17,17,18,18,18,19,19,
19,19,20,20,20,21,21,21,22,22,22,23,23,23,24,24,24,25,25,25,
26,26,26,27,27,27,28,28,28,29,29,29,30,30,30,31,31,31,32,
32,32,33,33,33,34,34,34,35,35,35,36,36,36,37,37,37,38,38,38,
39,39,39,40,40,40,41,41,41,42,42,42,43,43,43,44,44,44,45,45,
45,46,46,46,47,47,47,48,48,48,49,49,49,50,50,50,51,51,51,52,
52,52,53,53,53,54,54,54,55,55,55,56,56,56,57,57,57,58,58,58,
59,59,59,60,60,60,61,61,61,62,62,62,63,63,63,64,64,64,65,65,
65,66,66,67,67,67,68,68,68,69,69,69,70,70,70,71,71,71,72,72,
72,73,73,74,74,74,75,75,75,76,76,76,77,77,77,78,78,79,79,79,
```

(มีต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

80,80,80,81,81,81,82,82,83,83,83,84,84,84,85,85);

int const sl2[106]= {85,86,86,87,87,87,88,88,88,89,89,90,90,90,91,
91,91,92,92,93,93,93,94,94,94,95,95,96,96,96,
97,97,97,98,98,99,99,99,100,100,101,101,101,102,102,103,103,
103,104,104,105,105,105,106,106,107,107,107,108,108,109,109,
109,110,110,111,111,111,112,112,113,113,113,114,114,115,115,
116,116,116,117,117,118,118,119,119,119,120,120,121,121,122,
122,122,123,123,124,124,125,125,125,126,126,127,127,128);

int const co1[256]= {255,255,255,255,254,254,254,254,253,253,253,252,252,252,251,
251,251,250,250,250,249,249,249,248,248,248,247,247,247,247,
246,246,246,245,245,245,244,244,244,243,243,243,242,242,242,
241,241,241,240,240,240,239,239,239,239,238,238,238,237,237,
237,236,236,236,235,235,235,234,234,234,233,233,233,232,232,
232,231,231,231,230,230,230,230,229,229,229,228,228,228,227,
227,227,226,226,226,225,225,225,224,224,224,223,223,223,222,
222,222,221,221,221,220,220,220,219,219,219,218,218,218,217,
217,217,216,216,216,216,215,215,215,214,214,214,213,213,213,
212,212,212,211,211,211,210,210,210,209,209,209,208,208,208,
207,207,207,206,206,206,205,205,205,204,204,204,203,203,203,
202,202,202,201,201,201,200,200,200,199,199,199,198,198,197,
197,197,196,196,196,195,195,195,194,194,194,193,193,193,192,
192,192,191,191,191,190,190,190,189,189,189,188,188,187,187,
187,186,186,186,185,185,185,184,184,184,183,183,183,182,182,
182,181,181,180,180,180,179,179,179,178,178,178,177,177,177,
176,176,175,175,175,174,174,174,173,173,173,172,172,171,171,
171};

int const co2[106]= {170,170,170,169,169,168,168,168,167,167,167,166,166,165,165,
165,164,164,164,163,163,162,162,162,161,161,161,160,160,159,
159,159,158,158,157,157,157,156,156,155,155,154,154,154,
153,153,152,152,152,151,151,150,150,150,149,149,148,148,148,
147,147,146,146,146,145,145,144,144,144,143,143,142,142,141,

(มีต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
141,141,140,140,139,139,138,138,138,137,137,136,136,136,135,  
135,134,134,133,133,132,132,132,131,131,130,130,129,129,128,  
128};
```

```
//****************************************************************  
//***** recieve analog to digital *****//  
Int16 readadc(l) {  
    Int16 z;  
    set_adc_channel(l);  
    delay_us(10);  
    z = read_adc();  
    return(z);  
}  
//****************************************************************  
//***** function LED display *****//  
void led_7seg(Int16 j){  
    Int c1,c2,c3,c4;  
    c1=(j/1000); // c1 is column 1  
    c2=(j%1000)/100; // c2 is column 2  
    c3=((j%1000)%100)/10; // c3 is column 3  
    c4=((j%1000)%100)%10; // c4 is column 4  
    if (c1 > 0) {  
        port_b=num_led[c1]; // on led column 1  
        output_low(pin_d3);  
        delay_ms(2);  
        output_high(pin_d3);  
    }  
    if (c2 > 0 || c1>0) {  
        port_b=num_led[c2]; // on led column 2  
        output_low(pin_d2);  
        delay_ms(2);  
        output_high(pin_d2);  
    }  
}
```

(มีต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

port_b=num_led[c3];          // on led column 3
output_high(pin_b7);
output_low(pin_d1);
delay_ms(2);
output_low(pin_b7);
output_high(pin_d1);
port_b=num_led[c4];          // on led column 4
output_low(pin_d0);
delay_ms(2);
output_high(pin_d0);
}
//*****//
//***** Main function *****//
void main (void){
    int QD,QD1,table,angle;
    int16 ady,adx,ref,angle1;
    setup_adc(adc_clock_div_32);    // use clock 2 (tosc) 166.67-500khz
    setup_ADC_ports(RA0_RA1_RA3_ANALOG);
    set_tris_d(0xf0);    // set RD0-RD2 is output
    set_tris_b(0x00);    // set port B is output
    while (true){
        adx = readadc(0);    // recieve cos (0-1023)
        ady = readadc(1);    // recieve sin (0-1023)
        if (adx > 511 && ady > 511)
            QD = 0;    // quadrant 1
        else if(adx < 512 && ady > 511)
            QD = 1;    // quadrant 2
        else if(adx < 512 && ady < 512)
            QD = 2;    // quadrant 3
        else
            QD = 3;    // quadrant 4
    }
}

```

(มีต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

switch(QD) {
    case 0 : adx = adx-512;          // quadrant 1
            ady = ady-512;
            if (ady < 362)
                table = 0;          // check from sin 0-44 degree
            else
                table = 1;          // check from cos 45-90 degree
            break;

    case 1 : adx = 511-adx;         // quadrant 2
            ady = ady-512;
            if (adx < 362)
                table = 2;          // check from cos 0-44 degree
            else
                table = 3;          // check from sin 45-90 degree
            break;

    case 2 : adx = 511-adx;         // quadrant 3
            ady = 511-ady;
            if (ady < 362)
                table = 0;          // check from sin 0-44 degree
            else
                table = 1;          // check from cos 45-90 degree
            break;

    case 3 : adx = adx-512;         // quadrant 4
            ady = 511-ady;
            if (adx < 362)
                table = 2;          // check from cos 0-44 degree
            else
                table = 3;          // check from sin 45-90 degree
            break;
}

switch(table){
    case 0 : if (ady < 256)          // check from sin 0-44 degree
                (มีต่อ)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

angle = sl1[ady]; // use Index from adc 0-255
    else {
        ady = ady-256; // use Index from adc 255-362
        angle = sl2[ady];
    }
    break;
case 1 : If (adx < 256) // check from cos 45-90 degree
    angle = co1[adx]; // use Index from adc 0-255
    else {
        adx = adx-256; // use Index from adc 255-362
        angle = co2[adx];
    }
    break;
case 2 : If (adx < 256) // check from cos 0-44 degree
    angle = sl1[adx]; // use Index from adc 0-255
    else {
        adx = adx-256;
        angle = sl2[adx]; // use Index from adc 255-362
    }
    break;
case 3 : If (ady < 256) // check from sin 45-90 degree
    angle = co1[ady]; // use Index from adc 0-255
    else {
        ady = ady-256; // use Index from adc 255-362
        angle = co2[ady];
    }
    break;
}
QD1 = QD;
switch(QD1) {
    case 0 : angle1 = angle; // quadrant 1
    break;

```

(มีต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

case 1 : angle1 = angle + 256; // quadrant 2
    break;
case 2 : angle1 = angle + 512; // quadrant 3
    break;
case 3 : angle1 = angle + 768; // quadrant 4
    break;
}
angle1 = angle1*dbe; // convert to real angle 0-360 but use at 0-3600
led_7seg(angle1);
}
}
//*****//

```

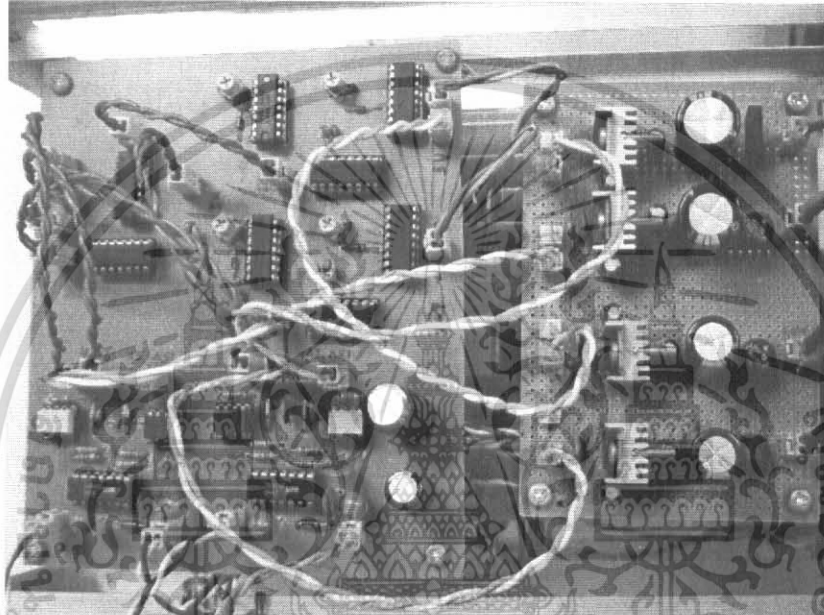


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

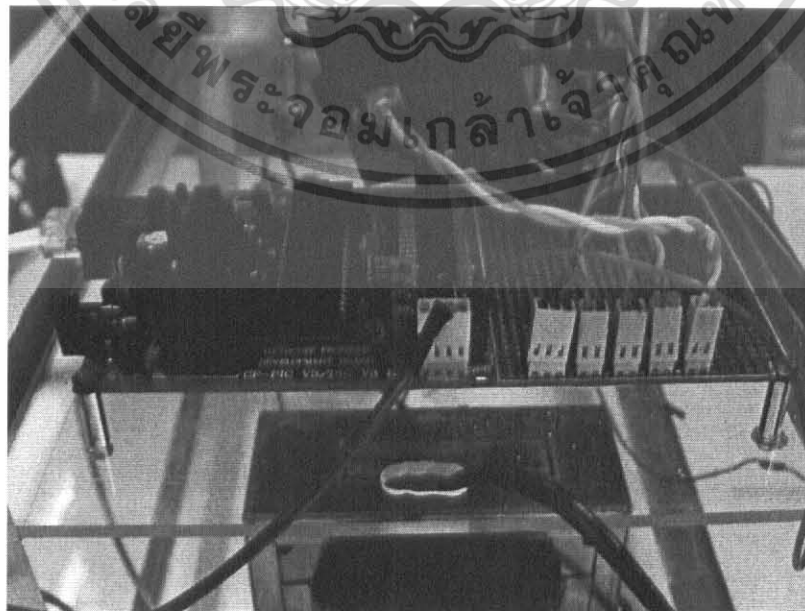
ภาคผนวก ข
ชุดวงจรและอุปกรณ์การทดลอง

1. ชุดวงจรควบคุม

- วงจรเรียงกระแส
- วงจร ชับไอจีบีที
- วงจร เคดไทม์

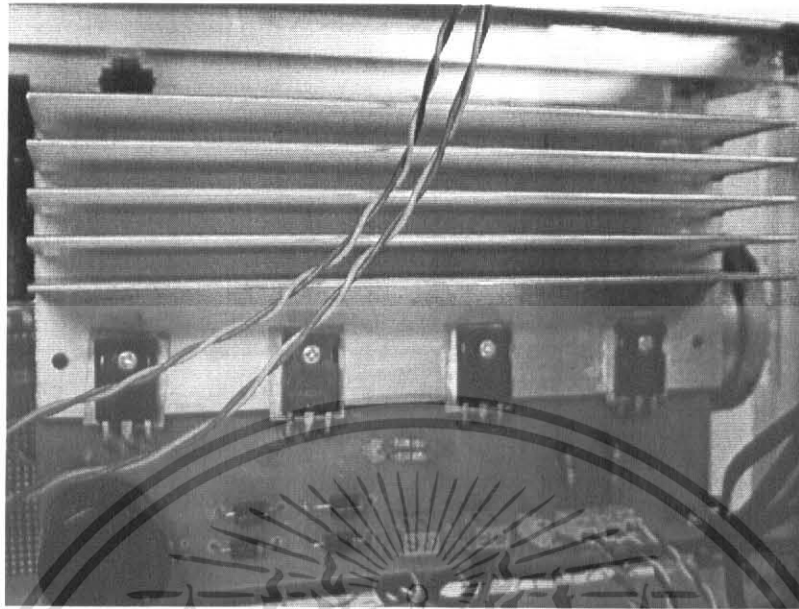


2. บอร์ด PIC ไมโครคอนโทรลเลอร์

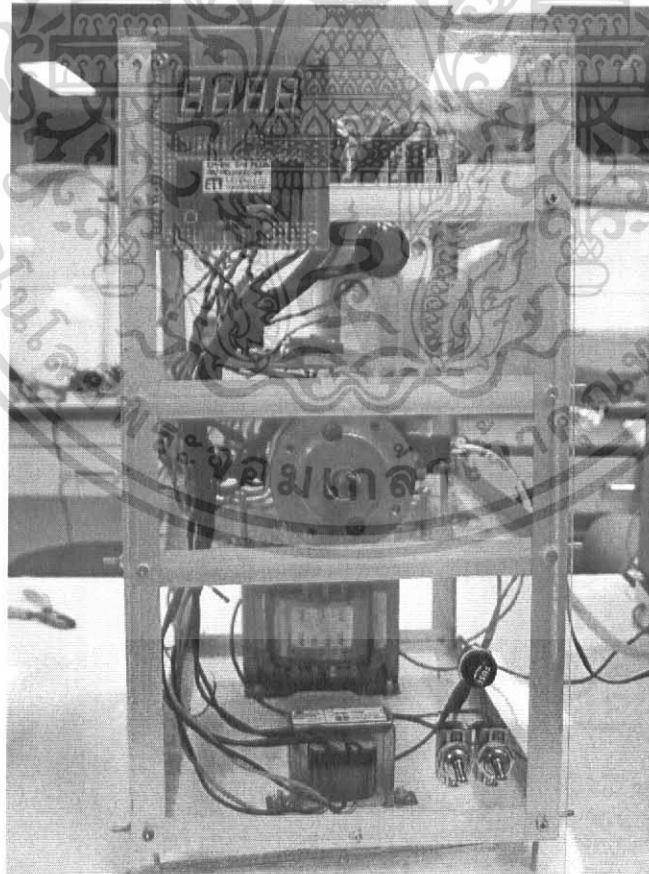


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วงจร ดิจิทัลซีพียูลบริจค์คอนเวอร์เตอร์

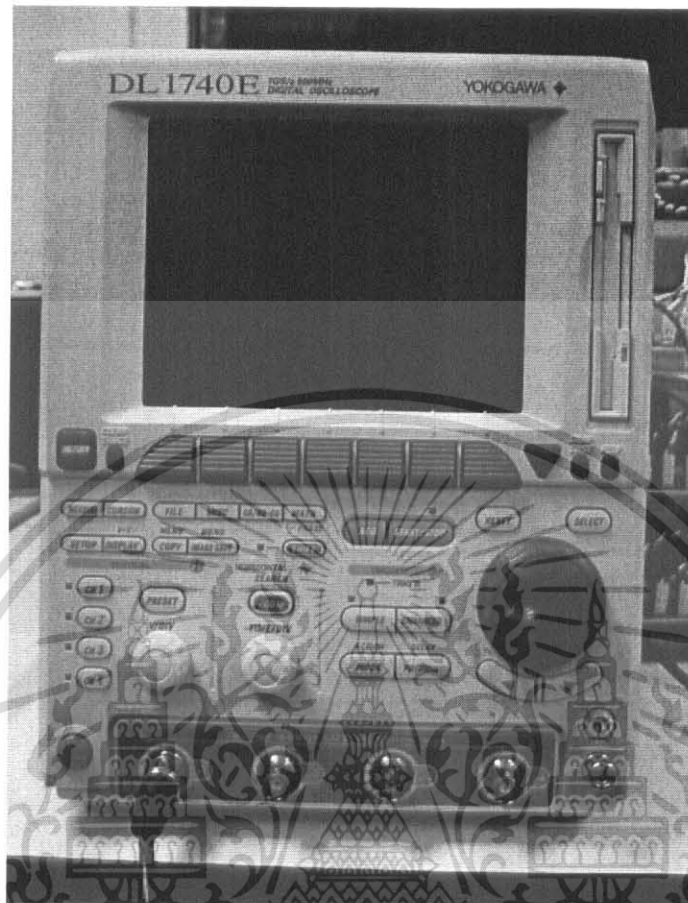


4. ชุดวงจรการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. สโคปวัดสัญญาณ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2SA-10

Integrated 2-Axis Hall Sensor



Features

- Measures two components of a magnetic field at the same spot.
- Excellent matching of sensitivity along the two axes.
- Max. angle error from -40°C .. $+125^{\circ}\text{C}$: $< 1^{\circ}$
- Very high sensitivity
- Low quiescent current
- Fabricated in standard CMOS technology
- Very low hysteresis
- Surface mount SOIC-8 package

Applications

- 2-D position sensing
- Contactless potentiometer
- Angular position sensor for micro motors
- Miniaturized contactless encoder
- Contactless rotary switch
- 2-D magnetic field mapping
- Joystick

General Description

Sentron's new magnetic angular sensor 2SA-10 detects the absolute angular position of a small magnet that is positioned above the device surface. The 2SA-10 is an integrated combination of a CMOS Hall circuit and a thin ferromagnetic disk. The CMOS circuit contains two pairs of Hall-elements for each of the two directions parallel with the chip surface X and Y. The ferromagnetic disk amplifies the external magnetic field and concentrates it on the Hall elements.

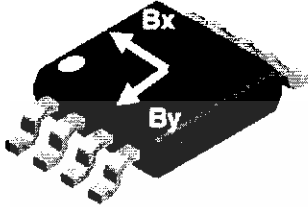
The 2SA-10 is ideally suited for rotary position sensing in harsh automotive and industrial environments. It produces two linear, ratio-metric output voltages proportional to the sine and the cosine function of the angle of the applied magnetic field parallel to the chip surface.

The circuit is fabricated using a standard CMOS process and the ferromagnetic disk is added in a simple post-processing step. The monolithic device incorporates Hall elements, offset cancellation circuitry, current source, chopper stabilized amplification circuitry, parameter programming capability. By dynamic offset cancellation any offset voltage caused by temperature variations, packaging stress or others is strongly reduced. As a result, the device has an extremely stable signal output, is immune to mechanical stress and is virtually immune to temperature cycling.

Therefore, the circuit features a wide application range and very high accuracy.

Package: SOIC-8

Pin-out:



- 1 CO_OUT, common output
- 2 PC, programming clock¹⁾
- 3 VDD, Supply voltage
- 4 Y_OUT, Y-channel analog output
- 5 X_OUT, X-channel analog output
- 6 PD, programming data¹⁾
- 7 PV, programming voltage¹⁾
- 8 GND, Supply common

Note 1: Used for factory programming

Absolute Maximum Ratings

Symbol	Parameter	Min.	Max.	Unit	Remarks
V _{SUP}	Supply Voltage	0	6	V	
T	Ambient Temperature	-40	+125	°C	

Magnetic Input Conditions

Symbol	Parameter	Min.	Max.	Unit	Remarks
B _{MAX} ²⁾	Max. Induction		>1000	mT	Device saturates, but is not damaged
D _{fc}	Diameter of magnetic disk		0.2	mm	See Figure 5 for location of disk
ω	angular speed		100'000	rpm	

Note 2: At center of magnetic disc

Recommended Operating Conditions

Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit	Remarks
V _{SUP}	Supply Voltage	4.5	5	5.5	V	
I _{OUT}	Output Current	-1		1	mA	
C _L	Load Capacitance			1000	pF	
B ³⁾	Magnetic Field			80	mT	

Note 3: At center of magnetic disc

Electrical Characteristics

At T=-40°C to 150°C, V_{SUP}=4.5V to 5.5V if not otherwise specified.

Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit	Test conditions
I _{SUP}	Supply Current		16	18	mA	
CO_OUT	Common (reference) Output Voltage ⁴⁾	V _{SUP} /2 -20mV	V _{SUP} /2	V _{SUP} /2 +20mV		I _{OUT} =0mA
BW	Bandwidth: DC to	10	15	18	kHz	

Note 4: Ratio-metric (proportional to V_{SUP})

Analog Output-Characteristics ^{5,6)}

With V_{SUP}= 5V and in the temperature range -40°C to 150°C, if not otherwise specified.

Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit	Test conditions
S	Magnetic Sensitivity ⁶⁾	40	50	60	V/T	
ΔS/ΔT	Magnetic Sensitivity Temperature drift	-0.05		0.05	%/°C	I _{OUT} =0mA T=-40°C to 150°C
Sx/Sy	Magnetic Sensitivity mismatch (X-Y) ⁶⁾		0	2	%	B = B _L ⁷⁾
∠Sx-Sy	Phase matching	-0.3	0	0.3	°	B = B _L ⁷⁾
Voff	Offset Voltage	-10	0	10	mV	B=0T ⁷⁾ , I _{OUT} =0mA T=-20°C to 80°C
ΔVoff/ΔT	Offset Voltage Temperature drift	-0.05		0.05	mV/°C	B=0T ⁷⁾ , I _{OUT} =0mA
B _{FS} ^{7,8)}	Full Scale Magnetic Field Range	-45		45	mT	
B _L ^{7,8)}	Linear Magnetic Field Range	-40		40	mT	
NL	Non Linearity		0.1	0.2	%	For B ≤ B _L ⁷⁾
			0.5	1	%	For B ≤ B _{FS} ⁷⁾
ΔBnoise ⁷⁾	Input referred magnetic noise spectrum density (RMS)			750	nT/√Hz	B _W =1Hz to 10kHz
X_OUT max	Max. full scale output voltage	5% V _{SUP}		95% V _{SUP}	V	B ≥ 50mT
Y_OUT max	Max. full scale output voltage	5% V _{SUP}		95% V _{SUP}	V	B ≥ 50mT
Hys max	Maximum Hysteresis			0.03	% B _{FS}	B ≥ B _{MAX}

Note 5: When the analog output pins X_OUT and Y_OUT are used in differential mode (i.e. Vx=X_OUT-CO_OUT)

Note 6: Ratio-metric (proportional to V_{SUP})

Note 7: At center of magnetic disk

Note 8: The 2SA-10 can also be ordered with Sensitivity of 25V/T for B_L=60mT and B_{FS}=80mT

Block Diagram 2SA-10

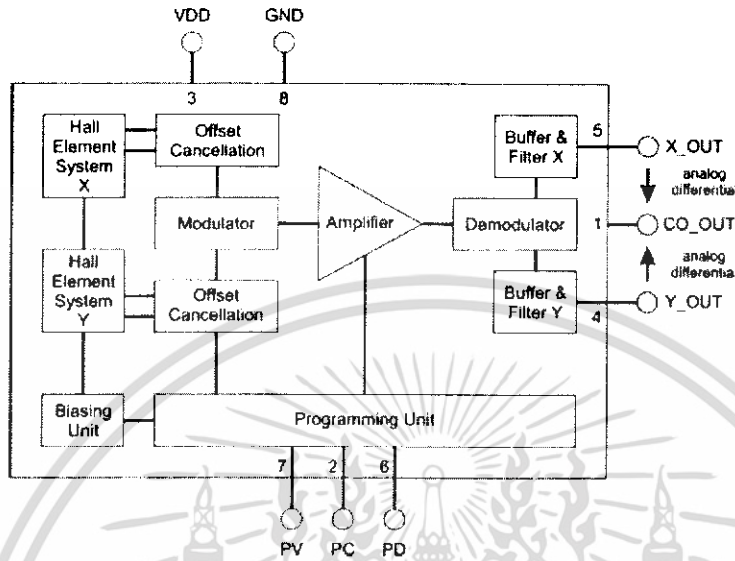


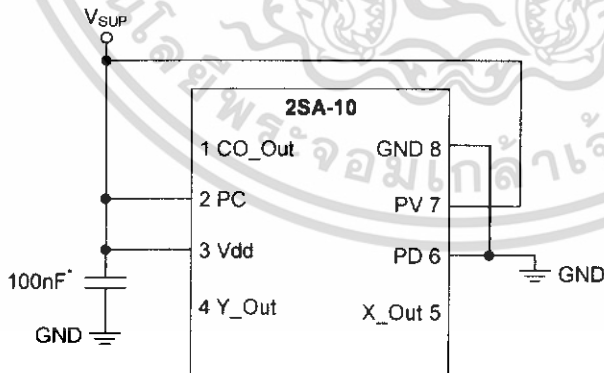
Fig. 1 Block Diagram 2SA-10

Connection Diagram 2SA-10

IMPORTANT

For reliable operation within the specifications the sensor must be connected as follows:

- Connect Pin 6 (PD) to Pin 8 (GND)
- Connect Pin 2 (PC) to Pin 3 (Vdd)
- Connect Pin 7 (PV) to Pin 3 (Vdd)
- Put a 100nF capacitor close to the chip between Pin 3 (Vdd) and Pin 8 (GND)



* If the supply voltage is disturbed by EMI it can be useful to place a second capacitor (100pF, ceramic) parallel to the 100nF capacitor.

Fig. 2 Connection diagram of 2SA-10

Package dimensions SOIC-8

Bx, By : Magnetic sensitive directions

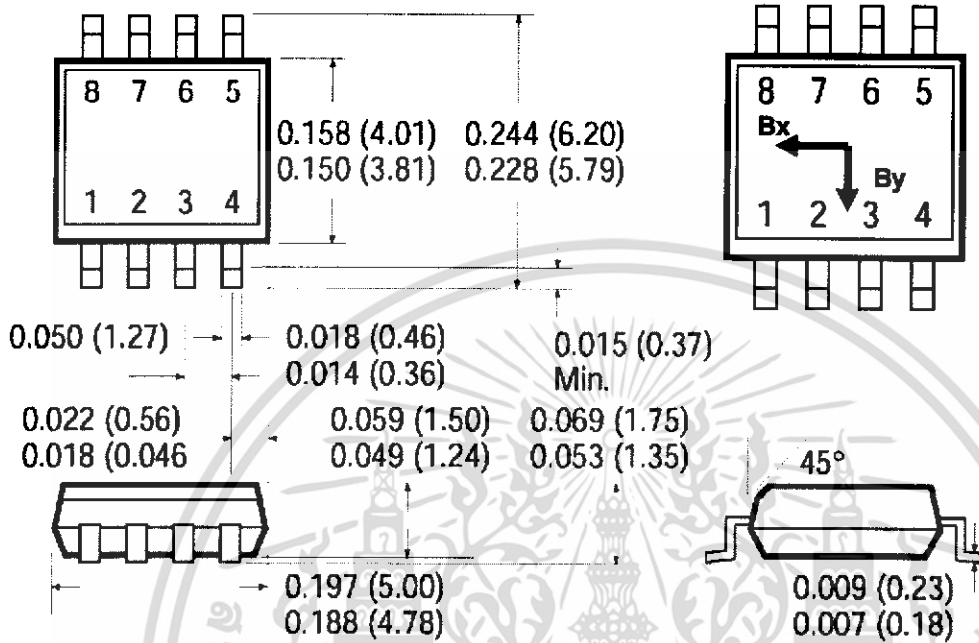


Fig. 3 Package dimensions and magnetic sensitive directions

Dimension and Pads 2SA-10 in dice form

(all dimensions in μm)

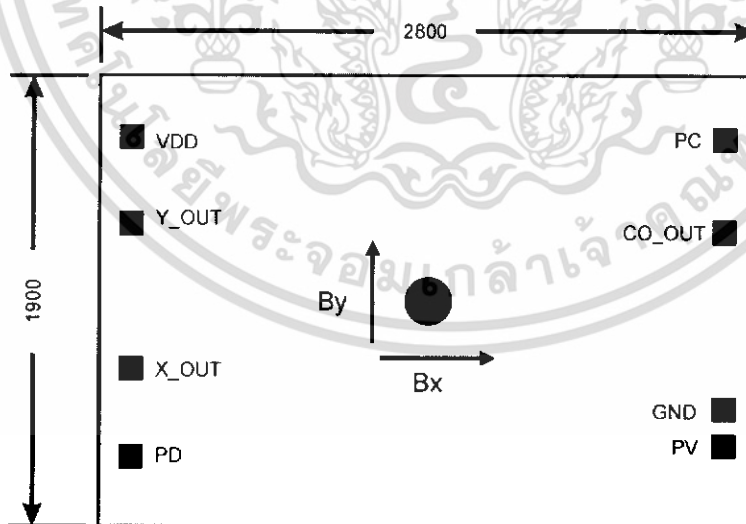


Fig. 4 2SA-10 dimensions of dice

Location of Disk

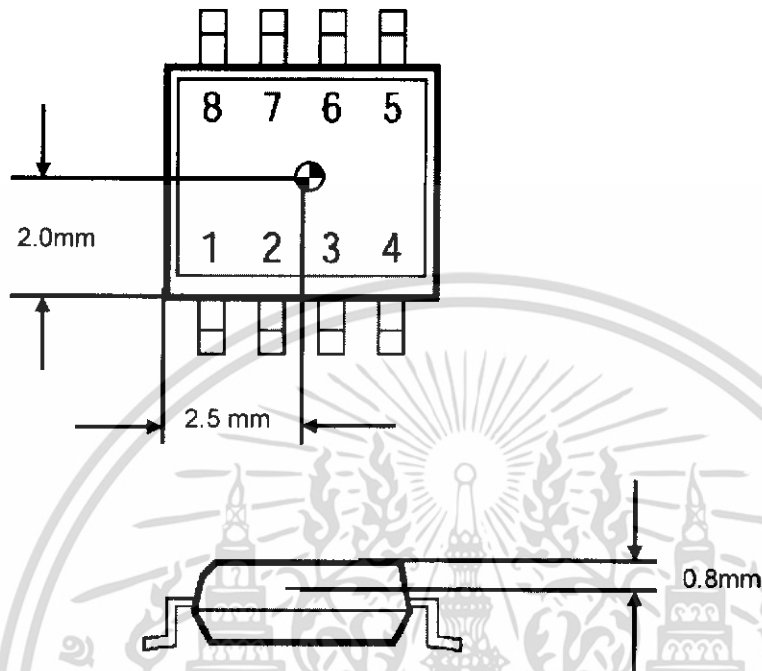


Fig. 5 2SA-10 location of disk

Applications

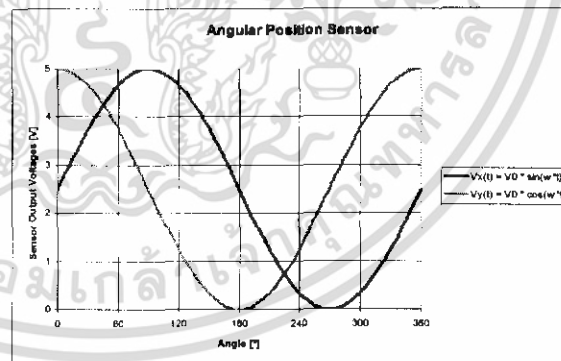
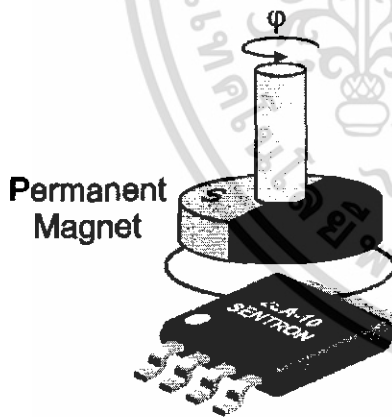
The unique integrated two-axis Hall-sensor offers a rugged, low cost solution for any rotational reference detection. Application examples are found in contactless angular sensors and encoders, in rotational switches, in brushless dc motors and in joysticks

The 2SA-10 is applied in a way very similar to magnetoresistive GMR and AMR angular sensors by sensing the rotation of a magnetic field component parallel with the chip. However, the full integration of magnetic field sensor and programmable signal conditioning circuit of the 2SA-10 offers an exceptional cost effectiveness.

Sentron's 2SA-10 combines the advantage of a miniaturized angular sensor solution and simultaneously higher product performance and reliability. The features of high sensitivity, low offset and low temperature drift meets even the most demanding requirements across many industries.

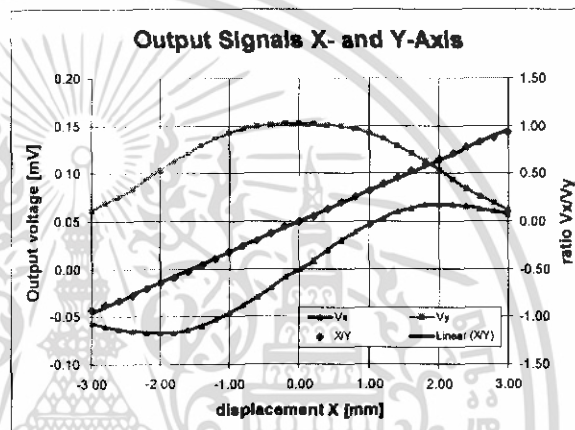
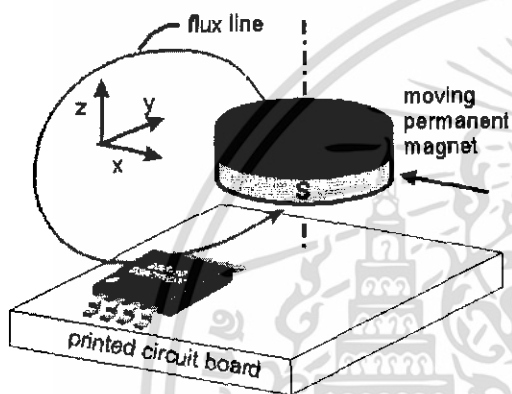
Absolute Angle Sensor

The 2SA-10 is positioned under a rotating magnet mounted at the shaft end of a rotating axis. The magnet is magnetized diametrically, so that by rotating the shaft the field through the sensor also rotates. The generated voltages V_x and V_y of the 2SA-10 represent the sine and cosine of the magnetic field direction. Even though the signal amplitudes depend upon the vertical distance between sensor and magnet, the angle information, which is calculated by the ratio of V_x and V_y is not depending on this value. In this manner the angle sensor is very robust towards sensitivity temperature drift, magnet temperature drift and ageing effects as well as assembly tolerances.

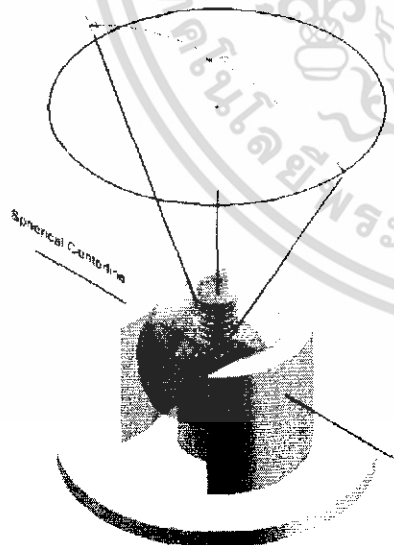


Linear Position Sensor

The 2SA-10 is positioned in the vicinity underneath a small permanent magnet with round shape. The magnetization axis of the magnet is perpendicular to the sensor plane. When the magnet moves parallel to the plane, the magnetic field at the sensor rotates. The output signal V_x of the 2SA-10 behaves like $X*B/r^2$ and the output signal V_y like $Y*B/r^2$ with X and Y being the coordinates of the magnet with respect to the sensor, B being the field strength at the sensor and r being the distance between magnet and sensor. If the magnet now moves parallel to the x -axis, the coordinate Y is constant and the ratio $V_x/V_y = X/const.$ is a very linear measure of the position of the magnet. Using a second 2SA-10 sensor the principle can be extended to very linear two-dimensional position sensing.



Position Sensor / Joystick



The 2SA-10 is positioned in the rotation center of a joystick control handle, which holds a permanent magnet at its lower end. In centered position the field emanating from the magnet is exactly perpendicular to the chip surface and the sensor output is zero for X and Y . As soon as the stick is inclined, the sensor output becomes positive or negative on X and Y . The output signal is linear with the inclination angle for a range of about $\pm 30^\circ$ of inclination

Please contact us for documentation such as application notes, technical papers and others.