

# สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบสะสมพลังงานโดยใช้ฟลายวีล

Energy Storage Using Flywheel



T110999



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... **110999**  
วัน,เดือน,ปี..... **- 8 S.ค. 2553**

b..... **122๕5๕๓๑**  
i.....

ปฏิญานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2551

ระบบสะสมพลังงานโดยใช้ฟลายวีล

Energy Storage Using Flywheel



รศ.ดร. สุวัฒน์

กิตติรัตน์สัจจา

ดร. สมภาพ

ผลไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2551

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบเก็บสะสมพลังงานโดยใช้ฟลายวีล

ผู้จัดทำ

1. นายธนาสิน ตักดีสุนทรศิริ
2. นายปชานันท์ ชลสิทธิ์สงครามชัย



..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
( รศ.ดร. สุพัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา )

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
( ดร. สมภพ ผลไม้ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ระบบสะสมพลังงานโดยใช้ฟลายวีล

นาย ธนาสิน คักดีสุนทรศิริ  
 นาย ปธานันท์ ชลสินธุ์สงครามชัย  
 รศ.ดร. สุวัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา อาจารย์ที่ปรึกษา  
 ดร. สมภพ ผลไม้ อาจารย์ที่ปรึกษา  
 ปีการศึกษา 2551

### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาถึงระบบสะสมพลังงานโดยใช้ flywheel ซึ่งมีพื้นฐานมาจากมอเตอร์สวิตช์รีลักแตนซ์ ซึ่งในโครงการนี้จะนำอุปกรณ์ตัวนี้มาประยุกต์ใช้ ถึงแม้ว่ามันค่อนข้างจะไม่พัฒนา ซึ่งมีสาเหตุมาจากการไม่มีความเป็นแม่เหล็ก ดังนั้นอุปกรณ์สวิตช์รีลักแตนซ์จะมีความน่าเชื่อถือมากกว่าเครื่องจักรแม่เหล็กถาวร และในส่วนของโรเตอร์ยังถูกสร้างมาจากวัสดุที่มีความแข็งแรงสูง และมีราคาถูก

ในโครงการนี้ ระบบสะสมพลังงานโดยใช้ฟลายวีล สามารถถูกใช้กับมอเตอร์สวิตช์รีลักแตนซ์ที่อยู่ในรูปการทำงานในช่วงที่เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้า

โครงการนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับการควบคุมและการทำงานของมอเตอร์สวิตช์รีลักแตนซ์ ซึ่งได้นำมาประยุกต์ใช้ในโครงการ และได้ติดตั้งอุปกรณ์สะสมพลังงาน flywheel เข้ากับมอเตอร์สวิตช์รีลักแตนซ์ด้วย

## Energy Storage Using Flywheel

Thanasin	saksuntornsiri	
Pthannun	Cholsindusongkramchai	
Assoc.Prof.Dr.Supat	Kittiratsatcha	Advisor
Dr.Sompob	Polmai	Advisor
2008		

### Abstract

This project presents a flywheel energy storage system based on a switched reluctance motor. This project is using a switched reluctance motor ,even its relatively development because there is no concern with demagnetization, hence switched reluctance machines are inherently more reliable than permanent magnet machines and more than that their rotors are entirely constructed from high strength low-cost materials.

In this project, we'll study about the control and working of switched reluctance motors so it can be applied for using in this project and install the flywheel energy storage device to switched reluctance motor.

### กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำโครงการนรู้สีกษาซึ่งต่อความกรุณาที่ รศ.ดร. สุพัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา และ ดร. สมภาพ ผลไม้ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำแนะนำต่างๆเพื่อให้โครงการมีความก้าวหน้าเรื่อยมา ตลอดจนอาจารย์ในภาควิชาที่ให้ความรู้แก่คณะผู้จัดทำในครั้งนี้ ถ้าปราศจากท่านเหล่านี้ โครงการนี้คงไม่สำเร็จลุ่่งไปได้ด้วยดี

นอกจากนั้นผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ พี่เอก พี่บู พี่บอล พี่หนึ่ง ป้า และพวกพี่ๆที่ห้อง PEARL LAB และคณะผู้จัดทำต้องขอขอบคุณเพื่อนร่วมห้องปฏิบัติการ (PEARL LAB) ตลอดจนเจ้าหน้าที่ห้องธุรการที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเบิกใบเสร็จของโครงการ และผู้จัดทำต้องขอบคุณเพื่อนร่วมห้องปฏิบัติการ(lab) ที่คอยเอาใจใส่คอยถามไถ่ตลอดเวลา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คุณตอย คุณตุ่น คุณเหน่ คุณบอล และโดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณท๊อป ที่คอยช่วยเร่งให้ งานเสร็จไวๆ

นอกจากนี้ ผู้จัดทำต้องขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยส่งเสียเงินทอง ให้ผู้จัดทำเรียนหนังสือจนจบ และกำลังใจแก่ผู้จัดทำ

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำโครงการนี้หวังว่าทุกท่านที่ได้กล่าวมา คงมีความสุข และประสบความสำเร็จในหน้าที่การงาน รวมถึงการดำเนินชีวิต โดยคณะผู้จัดทำหวังว่าอนาคตถ้ามีโอกาสหน้า คงได้ร่วมงานกับทุกท่านที่กล่าวมาข้างต้นนี้อีกต่อไป

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VI
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ	1
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ	2
1.5 แผนการดำเนินโครงการ	2
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	3
1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญานิพนธ์	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของของฟลายวีล	4
2.2 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของมอเตอร์สวิตช์รีลักแตนซ์	8
2.3 วงจรขับเคลื่อน	16
2.4 ทฤษฎีของสวิตช์รีลักแตนซ์เมื่อขณะทำตัวเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	18
บทที่ 3 การออกแบบระบบควบคุม	21
3.1 Flowchart แสดงการทำงานของโปรแกรม	21
3.2 Diagram การทำงานของมอเตอร์ขณะที่แปลงเป็น Generator	22
3.3 การออกแบบ Program	23
3.4 การออกแบบวงจรขับเคลื่อน	26
3.5 การออกแบบวงจรขับเคลื่อน	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 ผลการทดลอง	27
4.1 ผลการทดลองช่วง Motoring-mode	27
4.2 ผลการทดลองช่วง Generating-mode	31
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	36
5.1 วิเคราะห์ผลของโครงการ	36
5.2 ปัญหาและแนวทางในการแก้ไข	36
5.2.1 ปัญหาที่พบ	36
5.2.2 แนวทางการแก้ไขปัญหา	36
5.3 สรุปผลการทดลองและวิจารณ์	36
5.4 แนวทางการพัฒนา	37
บรรณานุกรม	38
ภาคผนวก ก. รูปชิ้นงาน	40
ภาคผนวก ข. โปรแกรม	43
ภาคผนวก ค. Datasheet	58
ประวัติผู้เขียน	68



## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ทรงกระบอกรูปทรงต่างๆ	5
รูปที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานที่ฟลายวีลเก็บได้เทียบกับชนิดอื่นๆ	7
รูปที่ 2.3 แสดงวงจรสมมูลย์ทางไฟฟ้าและทางแม่เหล็ก	8
รูปที่ 2.4 แสดงแกนเหล็กที่มีวัตต์สองชนิดวางแบบอนุกรม	10
รูปที่ 2.5 กราฟ Magnetizing	10
รูปที่ 2.6 มอเตอร์แบบ 12/8 ที่ตำแหน่ง Aligned	11
รูปที่ 2.7 กราฟ Magnetizing แสดงตำแหน่ง Aligned และ Unaligned	12
รูปที่ 2.8 มอเตอร์แบบ 12/8 ที่ตำแหน่ง Unaligned	12
รูปที่ 2.9 แสดงกราฟค่าความเหนี่ยวนำและแรงบิดเมื่อป้อนกระแสเข้าขดลวดเฟส	13
รูปที่ 2.10 แสดงค่าพลังงานสะสมและ Co-energy	14
รูปที่ 2.11 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Co-energy	15
รูปที่ 2.12 วงจรขับเคลื่อนสองสวิตช์ต่อเฟส	16
รูปที่ 2.13 วงจรขับเคลื่อนสองสวิตช์ต่อเฟสขณะเพิ่มพลังงาน	16
รูปที่ 2.14 วงจรขับเคลื่อนสองสวิตช์ต่อเฟสขณะลดพลังงาน	17
รูปที่ 2.15 วงจรขับเคลื่อนสองสวิตช์ต่อเฟสขณะลดพลังงาน	17
รูปที่ 2.16 โครงสร้างพื้นฐานของ SRG	18
รูปที่ 2.17 วงจรคอนโทรลเลอร์แบบ 4 เฟส	19
รูปที่ 2.18 วงจรคอนโทรลเลอร์ 1 เฟสในช่วง excitation และ generation	19
รูปที่ 2.19 การแปลงพลังงานในมอเตอร์สวิตช์รีลักแตนซ์	20
รูปที่ 3.1 Flowchart การปรับกระแสของโปรแกรม	21
รูปที่ 3.2 แสดง Diagram ของ SRG	22
รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า inductance กับการทำงานของ Switch	22
รูปที่ 3.4 แสดงบางส่วนของ main.c	23
รูปที่ 3.5 การกำหนดค่า ADC	23
รูปที่ 3.6 การปรับ ADC ที่วัดได้	24
รูปที่ 3.7 แสดงการคำนวณค่าของ Encoder	24
รูปที่ 3.8 แสดงการ initial ค่า Encoder	25
รูปที่ 3.9 แสดงการสั่งการ port ให้เป็น output	25
รูปที่ 3.10 วงจรขับเคลื่อน	26
รูปที่ 3.11 วงจรขับเกต	26
รูปที่ 4.1 แสดงแรงดันคร่อมขดลวดและกระแสที่เฟส A	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VII

รูปที่ 4.2 แสดงแรงดันคร่อมขดลวดและกระแสที่เฟส B	28
รูปที่ 4.3 แสดงแรงดันคร่อมขดลวดและกระแสที่เฟส C	28
รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณ PWM และ Commutation	29
รูปที่ 4.5 แสดงแรงดันคร่อมขดลวดและสัญญาณ Commutation	29
รูปที่ 4.6 แสดงแรงดันคร่อมขดลวดและสัญญาณ PWM	30
รูปที่ 4.7 แสดงสัญญาณขั้วเกิดและกระแส	30
รูปที่ 4.8 แสดงแรงดันคร่อมขดลวดและสัญญาณขั้วเกิด	31
รูปที่ 4.9 แสดงแรงดันคร่อมขดลวดและกระแสที่ เฟส A	32
รูปที่ 4.10 แสดงแรงดันคร่อมขดลวดและกระแสที่ เฟส B	32
รูปที่ 4.11 แสดงแรงดันคร่อมขดลวดและกระแสที่ เฟส C	33
รูปที่ 4.12 แสดงสัญญาณ Commutation ระหว่างเฟส A และ B	34
รูปที่ 4.13 แสดงสัญญาณ Commutation ระหว่างเฟส B และ C	34
รูปที่ 4.14 แสดงรูปคลื่นกระแส excitation ที่ R 1.5 โอห์ม	35
รูปที่ 4.15 แสดงรูปคลื่นกระแส Generation	35



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงข้อเปรียบเทียบระหว่างฟลายวีลความเร็วสูงกับความเร็วต่ำ	5
ตารางที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างพารามิเตอร์ของวงจรไฟฟ้าและวงจรแม่เหล็ก	9



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ระบบเก็บพลังงานโดยใช้ฟลายวีล เป็นระบบที่รักษาพลังงานให้อยู่ในรูปแรงเฉื่อย อุณหภูมิและการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ไม่ส่งผลกระทบต่อระบบได้ มีความสะดวกในการวัดความเร็วรอบ ซึ่งในอดีตมีการนำมอเตอร์ชนิดต่างๆเข้ามาใช้อยู่แล้ว เช่น Synchronous Machine (SM), Permanent Magnet Synchronous Motor (PMSM) แต่ในโครงการที่จะทำนี้จะนำมอเตอร์สวิตช์รีลักแตนซ์มาใช้เป็นแหล่งกำเนิดพลังงาน เนื่องจาก มอเตอร์ชนิดนี้มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน ราคาถูก มีการสูญเสียในแกนเหล็กต่ำ โรเตอร์มีความแข็งแรงสูงไม่ต้องมีการบำรุงรักษา รวมทั้งสามารถทำงานได้แม้กระแสเฟสใดเฟสหนึ่งเกิดความเสียหาย สามารถทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานได้ ด้วยเหตุนี้จึงเหมาะแก่การศึกษา และ ค้นคว้าการทำระบบเก็บพลังงานโดยใช้ฟลายวีลที่มีมอเตอร์สวิตช์รีลักแตนซ์ เป็นแหล่งกำเนิดพลังงาน

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาความสำคัญและการทำงานของระบบเก็บพลังงานโดยใช้ฟลายวีล โดยใช้มอเตอร์สวิตช์รีลักแตนซ์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงาน
2. เพื่อศึกษาการใช้โปรแกรม MPLAB IDE เพื่อนำมาใช้ในการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์
3. มีความเข้าใจและความรู้ เกี่ยวกับระบบเก็บพลังงานโดยใช้ฟลายวีล รู้ถึงความสามารถและประโยชน์ รวมถึงข้อดีข้อเสียของระบบเก็บพลังงานโดยใช้ฟลายวีล
4. เพื่อนำไปใช้เป็นความรู้ และข้อมูล ในการดำเนินการออกแบบและติดตั้งระบบเก็บพลังงานโดยใช้ฟลายวีล

### 1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

1. ศึกษาทฤษฎีต่างๆเกี่ยวกับ ระบบเก็บพลังงานโดยใช้ฟลายวีล รวมถึงการอธิบายเกี่ยวกับคุณสมบัติต่างๆของระบบ ที่จะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้
2. ศึกษาการทำงานของวงจรขับเคลื่อนของมอเตอร์สวิตช์รีลักแตนซ์ รวมถึงวงจรขับเคลื่อนชนิดอื่นๆ สามารถเปรียบเทียบข้อดีข้อเสีย และจุดสำคัญที่เรานำมอเตอร์สวิตช์รีลักแตนซ์มาใช้เป็นวงจรขับเคลื่อนของระบบเก็บพลังงานโดยใช้ฟลายวีลได้
3. ศึกษาการใช้งานโปรแกรม MPLAB IDE เพื่อใช้เป็นตัวเขียนคำสั่งต่างๆ ให้มอเตอร์สวิตช์รีลักแตนซ์ทำงานตามคุณลักษณะที่เราต้องการ
4. ทดสอบชุดมอเตอร์สวิตช์รีลักแตนซ์ที่จะทำงานควบคู่กับ Flywheel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

1.4.1 ศึกษาทฤษฎีของระบบเก็บพลังงานโดยใช้ฟลายวีลทำการศึกษาทฤษฎี ความ เป็นมา หลักการทำงาน ต่างๆ ของระบบเก็บพลังงานโดยใช้ฟลายวีลเพื่อให้เข้าใจ และให้ สามารถนำไปวางแผนการดำเนินโครงการต่อไป

1.4.2 ศึกษาทฤษฎีของมอเตอร์สวิตช์รีลักแตนซ์ทำการศึกษาทฤษฎี หลักการทำงาน ของมอเตอร์สวิตช์รีลักแตนซ์ เพื่อให้เข้าใจ และหาวิธีการที่จะทำให้มอเตอร์สวิตช์รีลักแตนซ์ เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

1.4.3 ศึกษาการใช้โปรแกรม MPLAB IDEทำการศึกษาโปรแกรม MPLAB IDE จาก หนังสือ และตัวโปรแกรมตัวอย่างของโครงการที่เคยทำมาก่อนหน้า เพื่อให้เข้าใจหลักการเขียน และ เพื่อใช้ในการดัดแปลงโปรแกรมให้เปลี่ยนทิศการทำงานของมอเตอร์สวิตช์รีลักแตนซ์ ใน การทำเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

1.4.4 ทดสอบฟลายวีลกับมอเตอร์สวิตช์รีลักแตนซ์ ทดสอบฟลายวีลเข้าสู่ชุดมอเตอร์ สวิตช์รีลักแตนซ์ และทำการทดลองค่าพลังงาน

1.4.5 สรุปผลการศึกษาต่างๆ และจัดทำรายงาน เมื่อได้ทำการศึกษาต่างๆ ในหัวข้อที่ ผ่านๆมา ก็จัดทำรูปเล่มรายงานขึ้น เพื่อรวบรวม ผลการศึกษาอันคว่า เพื่อเป็นประโยชน์ในการ ดำเนินโครงการในภายภาคหน้าต่อไป

## 1.5 แผนการดำเนินโครงการ

หัวข้อ ภาคเรียนที่ 1	มิถุนายน				กรกฎาคม				สิงหาคม				กันยายน			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
ศึกษาการทำงานของมอเตอร์	*	*	*	*												
ศึกษาการใช้ MPLAB IDE					*	*	*	*								
ศึกษาโปรแกรมที่ใช้ควบคุมวงจรถ									*	*	*	*				
ศึกษาทฤษฎีการทำงานของ Flywheel Energy Storage													*	*	*	*

หัวข้อ ภาคเรียนที่ 2	พฤศจิกายน				ธันวาคม				มกราคม				กุมภาพันธ์			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
ศึกษาทฤษฎีความสัมพันธ์ระหว่าง SRM กับ Flywheel	*	*	*	*												
ประยุกต์โปรแกรมเข้ากับชุด SRM					*	*	*	*	*	*						
ทดลองเก็บผล และปรับปรุงแก้ไข									*	*	*	*	*	*	*	*
สรุปผลและจัดทำรูปเล่ม																*

ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1.6.1 มีความเข้าใจหลักการพื้นฐานของมอเตอร์สวิตช์รีล็กแดนซ์

1.6.2 มีความเข้าใจและความรู้เกี่ยวกับ ระบบเก็บพลังงานโดยใช้ฟลายวีล

รู้ถึงความสามารถ และประโยชน์ รวมถึงข้อดีข้อเสียของระบบเก็บพลังงานโดยใช้ฟลายวีล

1.6.3 เรียนรู้การใช้งานของโปรแกรม MPLAB IDE เพื่อใช้ในการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้เป็นชุดคำสั่งที่ใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010

1.6.4 สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในอนาคตได้

## 1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญานิพนธ์

ระบบการเก็บพลังงานโดยใช้ฟลายวีล สามารถแบ่งออกเป็นบทต่างๆได้ดังนี้

### บทที่ 1

บทนำ กล่าวถึงความสำคัญของที่มาและปัญหา วัตถุประสงค์ของโครงการงาน ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการงาน แผนการดำเนินโครงการงาน ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย การจัดโครงสร้างของปฏิญานิพนธ์

### บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง กับระบบการเก็บพลังงานโดยใช้ฟลายวีล ซึ่งจะประกอบไปด้วยทฤษฎีที่ใช้ของมอเตอร์สวิตช์รีล็กแดนซ์ และ ระบบฟลายวีล

### บทที่ 3

การออกแบบและสร้าง (หรือการออกแบบการทดลอง) ซึ่งจะแสดงการเขียนโปรแกรมซึ่งทำหน้าที่ควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการออกคำสั่งให้มอเตอร์สวิตช์รีล็กแดนซ์หมุนทิศทางตามที่เรากำหนด

### บทที่ 4

การทดลอง และผลการทดลอง ได้แก่ ตรวจสอบเฟสกลับทิศ จากมอเตอร์เปลี่ยนเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานในระบบฟลายวีลหรือไม่

### บทที่ 5

บทสรุปและเสนอแนวทางการที่จะดำเนินการ จะกล่าวถึง ผลสรุปผลการทำงาน และแนวทาง หรือข้อแนะนำของงานที่จะพัฒนาต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของฟลายวีล

จุดประสงค์หลักของชุดอุปกรณ์ฟลายวีลก็คือ สะสมพลังงานจลน์จากการหมุน ซึ่งสามารถเปลี่ยนจากพลังงานกลที่สะสมอยู่ในฟลายวีลมาเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ มีตัวอย่างของระบบเก็บสะสมพลังงานโดยใช้ฟลายวีลมากมายที่มีการตีพิมพ์ออกมา แต่ว่าจริงแล้วก็ถูกแบ่งออกเป็นสองหมวดหมู่เท่านั้น ซึ่งก็คือแบบความเร็วต่ำแต่มีอุปกรณ์ความเฉื่อยสูง กับแบบอุปกรณ์ความเร็วสูงแต่ความเฉื่อยต่ำ แต่ในกรณีใดก็แล้วก็ตามก็มีความสัมพันธ์พื้นฐานเหมือนกันระหว่างความเร็วเชิงมุม ( $\omega$ ) และพลังงานที่ถูกสะสมดังสมการ

$$E_c = \frac{1}{2} J \omega^2 \quad (2.1)$$

จุดประสงค์สำคัญของการนี้ก็ควรที่จะทราบถึงการควบคุมการทำงานของ SRM (Switched Reluctance Motor) เพื่อที่จะนำไปใช้ในอุปกรณ์ฟลายวีลที่มีความเร็วสูงซึ่งฟลายวีลนั้นแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ แบบที่มีความเร็วสูงและ แบบที่มีความเร็วต่ำดังแสดงในตารางด้านล่าง

ตารางที่ 2.1 แสดงข้อเปรียบเทียบระหว่างฟลายวีลความเร็วสูงกับความเร็วต่ำ

	Flywheels: low-speed	Flywheels: high-speed
Maximum Power Rating	1650 kW	750 kW
Maximum Energy or Duration	~15 sec	Minutes
Response Time	< 1 cycle	< 1 cycle
Capital Cost :		
Energy-related. \$/kWh	300	25,000
Power-related. \$/kw	300	350
Balance of Plant	~80 \$/kWh	~ 1000 \$/kWh
Operating Features:		
Efficiency	0.9	0.93
Parasitic energy reqt.	~ 1%	30 W/kW
Lifetime/Replacement	20 yrs	20 yrs
Size	6.6 sq.ft/kWh	3-4 sq.ft/kWh
Siting Issues		
Environmental	None	None
Safety	Containment	Containment
Geologic	None	None
Technology Readiness	Commercial products	Low volume production

สมการคำนวณหาค่าพลังงานที่เก็บสะสมพลังงานที่ถูกเก็บอยู่ในโรเตอร์ถูกเรียกว่า พลังงานจลน์ (Kinetic Energy)

$$E_k = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (2.2)$$

โดยที่

$\omega$  คือ ความเร็วเชิงมุม

$I$  คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุจากศูนย์กลางของการหมุน

มวลรูปทรงกระบอกที่ใช้้นหากมีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันวิธีการคำนวณก็จะแตกต่างกันด้วย

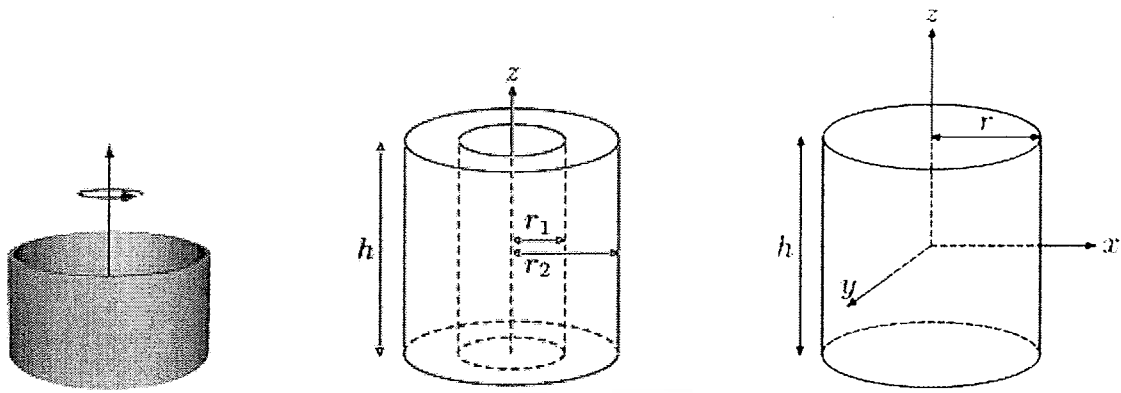
แต่ที่จะนำมาใช้เป็นแบบทรงกระบอก 3 ชนิดคือ

1. ทรงกระบอกปลายเปิด 
$$I = mr^2 \quad (2.3)$$

2. ทรงกระบอกแบบที่มีความหนาที่เป็นแบบวงแหวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  

$$I = \frac{1}{2} m(r_2^2 + r_1^2) \quad (2.4)$$
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ทรงกระบอกปลายเปิด    ทรงกระบอกที่มีความหนาเป็นวงแหวน    ทรงกระบอกตัน

รูปที่ 2.1 มวลรูปทรงกระบอกรูปทรงต่างๆ

### 3. ทรงกระบอกตัน

โดยที่

$m$  คือ มวล

$$I = \frac{mr^2}{2}$$

(2.5)

$r$  คือ รัศมีของทรงกระบอก

เมื่อทำการคำนวณนั้น เราจะใช้หน่วย SI เป็นหลักในการคำนวณ หน่วยของมวล นั้นเราจะใช้เป็นกิโลกรัม ใช้เมตรสำหรับรัศมี และความเร็วเชิงมุม มีหน่วยเป็น เรเดียนต่อวินาที และคำตอบของสมการนั้นจะตอบในหน่วย จูลส์ จำนวนของพลังงานที่สามารถเก็บได้อย่างปลอดภัยภายในโรเตอร์นั้นขึ้นอยู่กับโรเตอร์จะมีรอยบิดหรือว่ามีรอยการแตกหรือไม่ ความเครียดของโรเตอร์ก็เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงสิ่งแรกๆในการออกแบบระบบสะสมพลังงานโดยใช้ฟลายวีล

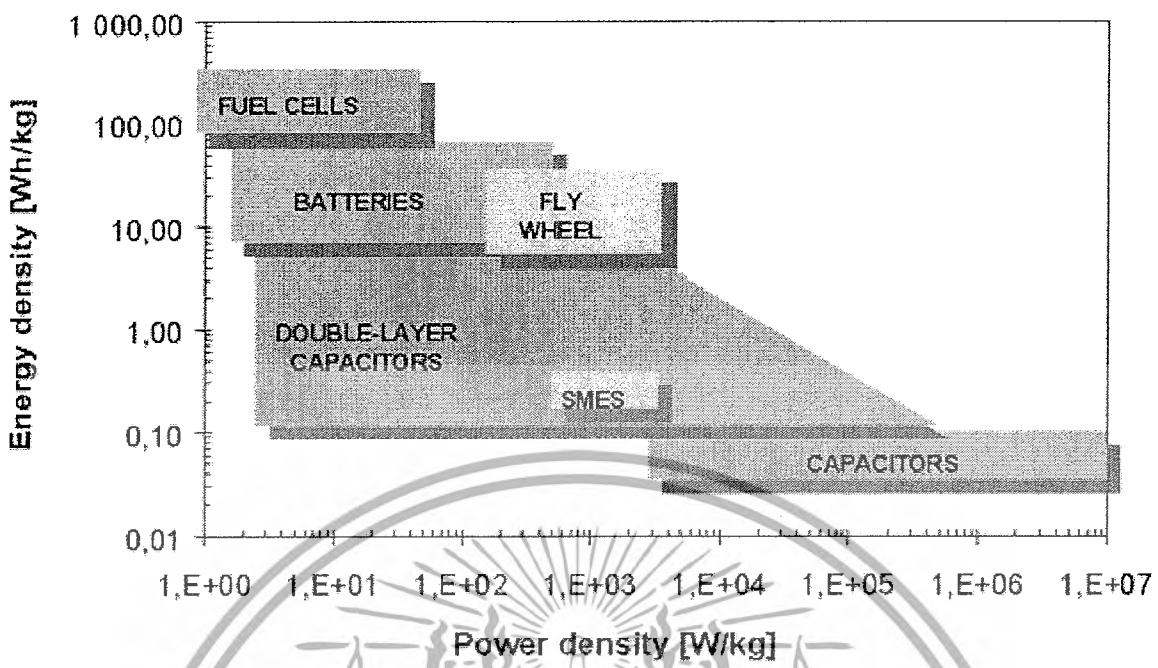
$$\sigma_r = \rho r^2 \omega^2$$

(2.6)

โดยที่

- $\sigma_r$  คือค่าความเครียดบริเวณริมของทรงกระบอก
- $\rho$  คือความหนาแน่นของวัตถุทรงกระบอก
- $r$  คือรัศมีของวัตถุทรงกระบอก
- $\omega$  คือความเร็วเชิงมุมของวัตถุทรงกระบอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 เปรียบเทียบพลังงานที่ฟลายวีลเก็บได้เทียบกับแหล่งเก็บสะสมพลังงานประเภทอื่นๆ

### ข้อดีของ Energy Storage Using Flywheel

1. ปลอดภัยจากผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่
2. รักษาสภาพแวดล้อม เนื่องจากใช้วัสดุที่ไม่เป็นอันตราย
3. สะดวกในการวัดความเร็วรอบ ทำให้ทราบค่าที่แน่นอนของพลังงานที่ถูกเก็บเอาไว้

### ข้อเสียของ Energy Storage Using Flywheel

1. การควบคุมค่อนข้างยาก เมื่อเทียบกับระบบเก็บพลังงานชนิดอื่นๆ
2. มีน้ำหนักมากถ้าเป็นแบบความเร็วต่ำเพราะต้องการให้ Moment of Inertia สูงทำให้ต้องมีมวลมากสำหรับการเคลื่อนย้าย

### การพัฒนาประสิทธิภาพของระบบ

จากสมการ  $E_c = \frac{1}{2} J\omega^2$

เราจะเห็นได้ว่าพลังงานจะเก็บเข้าสู่ตัวฟลายวีลได้มากขึ้นถ้า มีความเร็วมากขึ้นใน

ขณะที่มีมวลเท่าเดิม แต่อย่างไรก็ดีการที่จะทำงานในความเร็วสูงๆอาจจะทำให้มีปัญหาต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้เสียค่าตามมา อาทิเช่น ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. มีการสูญเสียพลังงานมากขึ้น เนื่องมาจากความต้านทานของอากาศ
2. มีการเกิด losses มากขึ้นจากแรงเสียดทานบริเวณแกนรองรับ
3. พลังงานในแกนเหล็กมีการสูญเสียมากขึ้น
4. มีโอกาสที่ระบบจะล้มเหลวมากขึ้นเนื่องมาจาก การที่จะต้องทำงานด้วยความเร็วรอบที่สูงขึ้น เพราะอุปกรณ์ต่างๆบางอย่างจะมีค่ากำหนดความเร็วห้ามเกินเท่าไรด้วย

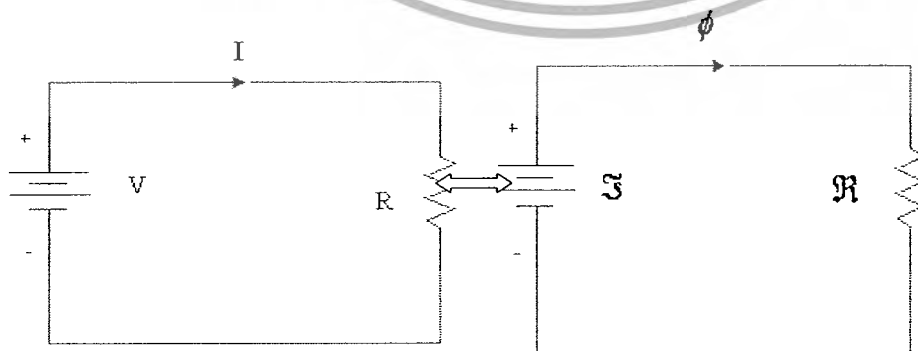
พลังงานที่สูญเสียในแกนเหล็กนั้น สามารถลดได้โดยออกแบบ และการเลือกวัสดุที่ใช้ทำแกนให้เหมาะสม และแรงเสียดทานสามารถทำให้ลดลงได้โดยใช้ Magnetic bearing ซึ่งมันเป็นวิธีที่ดีสำหรับการที่จะไม่เกิดแรงเสียดทานเนื่องมาจากไม่มีการสัมผัสกัน ซึ่งค่า loss ที่เกิดขึ้นนั้นจะมีค่าในระบบฟลายวีลนั้นจะมีค่าน้อยมาก ซึ่งมันทำมาจากสารประกอบคาร์บอน และสารประกอบ glass-fibers ที่เคลือบด้วย epoxy resin อันทำให้มันสามารถหมุนได้ด้วยความเร็วที่สูงถึง 1 km/s

เพื่อที่จะลดแรงเสียดทานในอากาศนั้น เราก็ควรที่จะติดตั้งระบบขึ้นมาในปล่องสูญญากาศ ที่ปล่องนั้นควรจะมีความดันต่ำกว่า 1 pbar

## 2.2 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของมอเตอร์สวิตซ์รีลักแตนซ์

ข้อได้เปรียบของมอเตอร์สวิตซ์รีลักแตนซ์ คือ จะไม่เกิด loss เมื่ออยู่ในสภาวะเตรียมพร้อมซึ่งไม่มีกระแสกระตุ้นอยู่ในสเตเตอร์ แต่ค่าการสูญเสียทางแม่เหล็กต้องถูกทำให้น้อยที่สุดเพื่อที่จะหลีกเลี่ยงการเกิด over heat เพราะว่าในปล่องสูญญากาศนั้นการถ่ายเทความร้อนนั้นต่ำมาก ๆ เนื่องจากไม่มีการหมุนเวียนของอากาศ แต่ทว่าฟลายวีลแบบความเร็วต่ำก็สามารถหลีกเลี่ยงปัญหาเหล่านี้ได้ แต่ว่าความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับพลังงานงานของฟลายวีลแบบความเร็วสูงนั้น สามารถแข่งขันกับแบตเตอรี่ หรือระบบเก็บพลังงานแบบอื่นๆได้ดีกว่า

วงจรสมมูลย์แม่เหล็กจะคล้ายกับวงจรสมมูลย์ทางไฟฟ้าแบบมีเฉพาะความต้านทานดังแสดงในรูปที่ 3 โดยที่จะสามารถเปรียบเทียบกันได้ดังตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่า เราสามารถใช้หลักการเดียวกับวงจรไฟฟ้าที่มีเฉพาะตัวต้านทาน ในการคำนวณหาผลเฉลยของวงจรได้



รูปที่ 2.3 แสดงวงจรสมมูลย์ทางไฟฟ้าและทางแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างพารามิเตอร์ของวงจรไฟฟ้าและวงจรแม่เหล็ก

วงจรสมมูลย์ทางไฟฟ้า	วงจรสมมูลย์ทางแม่เหล็ก
Voltage, v	Magnetomotive Force (mmf),
Current, i	Magnetic Flux
Resistance, R	รีลักแตนซ์

mmf จะเปรียบเสมือนกับแรงดันไฟฟ้าโดยที่

$$\mathcal{F} = Ni \quad (2.6)$$

เมื่อ N คือจำนวนรอบ และ i คือกระแสในขดลวด เส้นแรงแม่เหล็ก จะเปรียบเสมือนกับกระแสไฟฟ้า ดังนั้นเราสามารถกำหนดนิยามของ รีลักแตนซ์ ได้ดังนี้

$$\mathcal{R} = \frac{\mathcal{F}}{\phi} = \frac{LN}{\mu A} \quad (2.7)$$

โดยที่ l คือความยาวของวัตถุตามแนวของเส้นแรงแม่เหล็ก และ A คือพื้นที่หน้าตัดของวัตถุที่เส้นแรงแม่เหล็กไหล ดังนั้นการรวมของ รีลักแตนซ์ จึงสามารถรวมได้สองรูปแบบคือ แบบอนุกรมและแบบขนาน

กำหนดให้ค่าความซึมซาบแม่เหล็กของแกนเหล็กในภาพที่ 2.4 มีค่าเป็นอนันต์ โดยมีช่องว่างจำนวน 2 ช่อง โดยแต่ละช่องมีค่าความซึมซาบแม่เหล็กไม่เท่ากัน ดังนั้นเราสามารถคำนวณหา ค่า รีลักแตนซ์ ของช่องว่างทั้งสองช่องได้

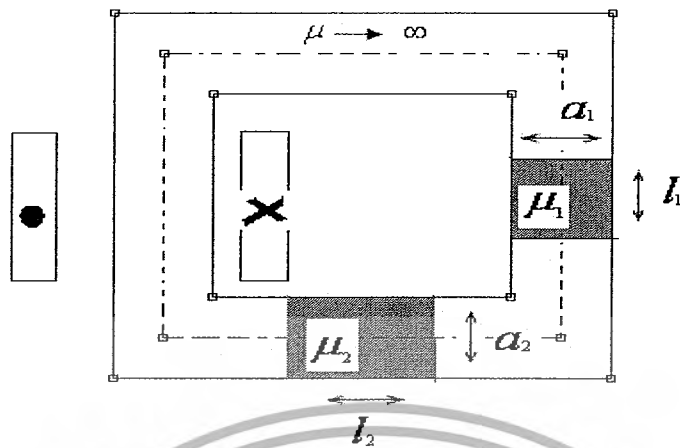
ค่า รีลักแตนซ์ ของช่องว่างที่ 1 คือ

$$\mathcal{R}_1 = \frac{Da}{111\mu} \quad (2.8)$$

ค่า รีลักแตนซ์ ของช่องว่างที่ 2 คือ

$$\mathcal{R}_2 = \frac{Da}{222\mu} \quad (2.9)$$

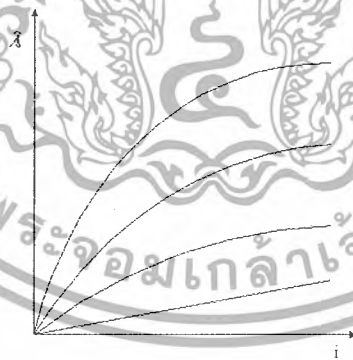
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงแกนเหล็กที่มีขดลวดสองขดวางแบบอนุกรม

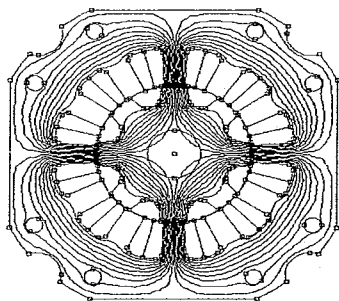
### กราฟ Magnetizing

คือกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเส้นแรงแม่เหล็กเกี่ยวขดลวด  $\lambda$  ในแนวตั้งฉาก และกระแสในขดลวดเฟส  $i$  ณ ตำแหน่งของโรเตอร์ใดๆ ดังแสดงดังรูปที่ 2.5 ซึ่งจะเห็นว่าเส้นกราฟเหล่านี้สามารถมีได้หลายเส้น ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของโรเตอร์ด้วย ดังนั้นเส้นแรงแม่เหล็กเกี่ยวขดลวด จึงเป็นทั้งฟังก์ชันของกระแสเฟสและตำแหน่งของโรเตอร์



รูปที่ 2.5 กราฟ Magnetizing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 มอเตอร์แบบ 12/8 ที่ตำแหน่ง Aligned

### ตำแหน่ง Aligned

ณ ตำแหน่ง aligned นี้คือตำแหน่งที่แกนของขั้วโรเตอร์คู่ใดๆ วางอยู่ในแนวแกนเดียวกันกับแกนของขั้วสเตเตอร์ของเฟสใดเฟสหนึ่ง ตัวอย่างเช่นในรูปที่ 2.6 แสดงถึงมอเตอร์สามเฟสชนิด 12/8 หมายความว่า เป็นมอเตอร์แบบสามเฟสที่มีสเตเตอร์จำนวน 12 ขั้วและโรเตอร์จำนวน 8 ขั้ว โดยกำหนดให้เฟสที่ 1 คือเฟสในแนวระนาบและแนวตั้งฉาก ดังนั้นจะเห็นได้ว่าขั้วโรเตอร์อยู่ตรงกับขั้วของสเตเตอร์ของเฟสที่ 1 ณ ตำแหน่งนี้เมื่อมีกระแสไหลเข้าไปยังเฟสที่ 1 แรงบิดที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากับศูนย์ นั่นคือโรเตอร์จะอยู่ในตำแหน่งที่มีค่าความเหนี่ยวนำสูงที่สุด ถ้าลองขยับโรเตอร์ไปในทิศทางด้านซ้ายหรือด้านขวาเล็กน้อยจะพบว่าโรเตอร์จะถูกดึงกลับมาอยู่ที่ตำแหน่ง aligned นี้ แสดงว่าจุดนี้เป็นจุดสมดุลแบบมีเสถียรภาพ (Stable Equilibrium)

จากสมการที่ 2.10 พบว่า ถ้าความกว้างของช่องอากาศระหว่างขั้วของโรเตอร์กับขั้วของสเตเตอร์มีค่าน้อยที่สุดจะทำให้ค่ารีล็กแตนซ์  $\mathfrak{R}$  มีค่าต่ำที่สุดด้วย

$$\mathfrak{R} = \frac{1}{\mu A} \quad (2.10)$$

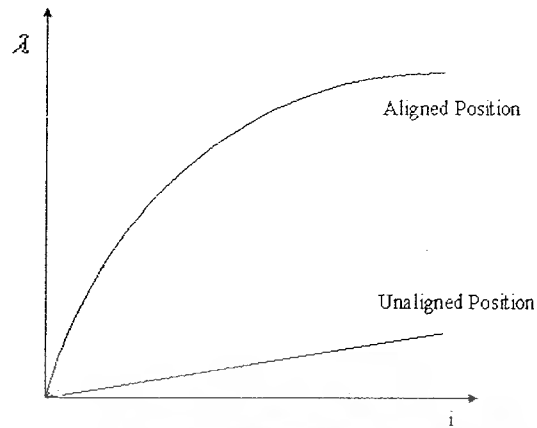
โดยที่  $\mu$  คือความกว้างของช่องอากาศ ค่า  $\mu$  คือค่าความซึมซาบแม่เหล็ก และ  $A$  คือค่าพื้นที่หน้าตัดที่เส้นแรงแม่เหล็กไหลผ่านแบบตั้งฉาก เมื่อค่ารีล็กแตนซ์รวมของวงจรมีค่าต่ำสุด ทำให้ค่าความเหนี่ยวนำของวงจรมีค่าสูงสุด

ตามสมการที่ 2.11

$$L = \frac{N^2}{\mathfrak{R}_{total}} \quad (2.11)$$

เมื่อ  $L$  คือค่าความเหนี่ยวนำของวงจร  $N$  คือจำนวนรอบขดลวดของเฟส และ  $\mathfrak{R}_{total}$  คือ ค่ารีล็กแตนซ์รวมของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

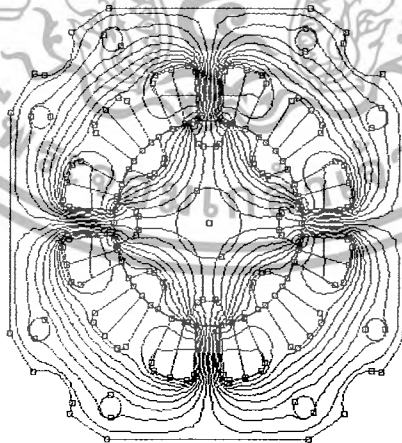


รูปที่ 2.7 กราฟ Magnetizing แสดงตำแหน่ง Aligned และ Unaligned

โดยปกติแล้วแล้ววัสดุที่นำมาใช้ทำแกนของมอเตอร์ จะเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็กแบบไม่เชิงเส้น ดังนั้นจึงเกิดปรากฏการณ์อิ่มตัวเกิดขึ้น ดังจะเห็นได้จากเส้นกราฟ magnetizing ดังภาพที่ 2.7 ซึ่งตำแหน่งของโรเตอร์ ณ aligned จะอยู่ตำแหน่งเส้นบนสุด

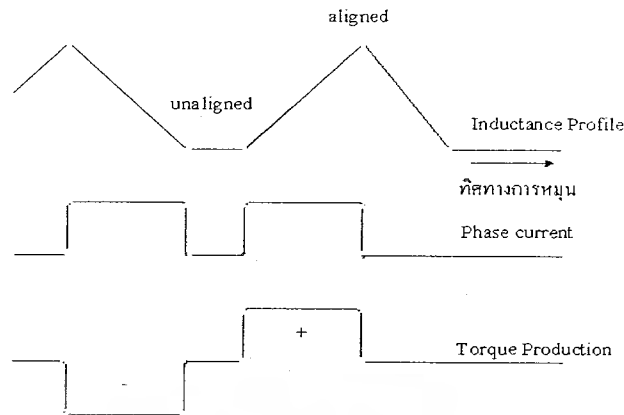
#### ตำแหน่ง Unaligned

ณ ตำแหน่งนี้แกนตรงกลางระหว่างขั้วของโรเตอร์ (Interpolar Axis) อยู่ตรงกับขั้วของสเตเตอร์ของเฟสที่ 1 ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.8 มอเตอร์แบบ 12/8 ที่ตำแหน่ง Unaligned

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 แสดงกราฟค่าความเหนี่ยวนำและแรงบิดเมื่อป้อนกระแสเข้าขดลวดเฟส

เมื่อป้อนกระแสเข้าไปในขดลวดของเฟสที่ 1 แรงบิดที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากับศูนย์ แต่ถ้าเมื่อลองขยับโรเตอร์เพียงเล็กน้อยพบว่าโรเตอร์จะเคลื่อนที่หมุนออกจากตำแหน่งนี้ และไปหยุดที่ตำแหน่ง aligned ดังนั้น ณ จุด unaligned จะเป็นจุดสมดุลแบบไม่มีเสถียรภาพ (Unstable Equilibrium)

จากรูปที่ 2.8 พบว่า ค่าความกว้างของช่องอากาศมีค่ามากที่สุด ดังนั้นจึงทำให้ค่ารีลักแตนซ์มีค่าสูงสุด และทำให้ค่าความเหนี่ยวนำของวงจรมีค่าต่ำสุดด้วย ส่วนเส้นกราฟ magnetizing จะอยู่ในตำแหน่งดังรูปที่ 2.7 จะเห็นได้ว่า ณ ตำแหน่งนี้เส้นกราฟ magnetizing จะเป็นเส้นตรงและไม่ปรากฏการอิ่มตัวเกิดขึ้น เนื่องจากค่ารีลักแตนซ์ของช่องอากาศมีค่ามากกว่าของแกนมอเตอร์มาก ดังแสดงในสมการที่ 2.12

$$L = N^2 \left( \frac{1}{\mathfrak{R}_{core} + \mathfrak{R}_{gap}} \right) \quad (2.12)$$

สมการที่ 2.13 แสดงถึงแรงบิดที่เกิดขึ้นของเฟสใดเฟสหนึ่ง ณ ตำแหน่งของโรเตอร์ใดๆ

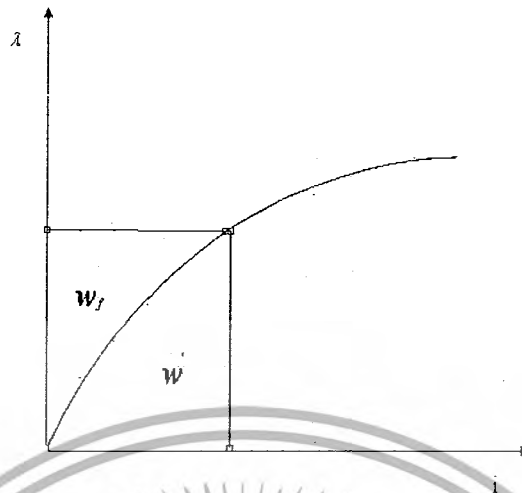
$$T = \left[ \frac{\partial W'}{\partial \theta} \right]_{i = \text{constant}} \quad (2.13)$$

เมื่อ  $W'$  คือ coenergy ซึ่งสามารถคำนวณได้จากพื้นที่ใต้กราฟของ magnetizing ณ ตำแหน่งโรเตอร์ใดๆ ดังแสดงในสมการที่ 2.14

$$W' = \int_0^{i_i} \lambda di \quad (2.14)$$

โดยพื้นที่เหนือกราฟนั้นคือก็คือ stored field energy ,  $W_f$  ดังแสดงในภาพที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 แสดงค่าพลังงานสะสมและ Co-energy

จากสมการที่ 2.13 และ 2.14 เราสามารถอธิบายว่า instantaneous torque ได้โดยการใช้ภาพที่ 2.11 กำหนดให้มอเตอร์เคลื่อนที่จากตำแหน่ง  $\theta_1$  ไปยังตำแหน่ง  $\theta_2$  โดยที่กระแสที่ไหลในเฟสยังมีค่าคงที่ ในขณะที่นั้นมอเตอร์จะมีการแลกเปลี่ยนพลังงานกับแหล่งจ่ายและมีการเปลี่ยนแปลงของทั้ง stored field energy และ coenergy และ instantaneous torque สามารถคำนวณได้จากการเปลี่ยนแปลงของ coenergy  $\Delta W_m$  และการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งตำแหน่งของโรเตอร์  $\theta$  พลังงานที่เปลี่ยนถ่ายกับแหล่งจ่ายคือ

$$\Delta W_e = ABCD \quad (2.15)$$

การเปลี่ยนแปลงของ coenergy สามารถที่อธิบายได้ดังนี้

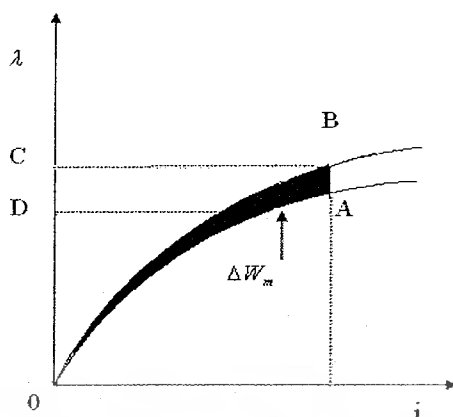
$$\Delta W_f = OBC - OAD \quad (2.16)$$

ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของ coenergy ซึ่งเปลี่ยนไปเป็นพลังงานกล คือ

$$\begin{aligned} \Delta W_m &= \Delta W_e - \Delta W_f \\ &= ABCD - (OBC - OAD) \\ &= (ABCD + OAD) - OBC \\ &= OAD \end{aligned} \quad (2.17)$$

จะเห็นได้ว่าพลังงานทั้งหมดที่ได้รับจากแหล่งจ่าย ไม่ได้เปลี่ยนไปเป็นพลังงานกลทั้งหมด บางส่วนถูกเก็บไว้ในรูปของสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



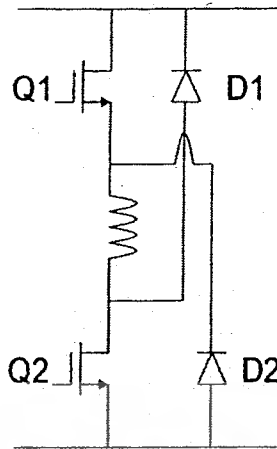
รูปที่ 2.11 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Co-energy

ข้อได้เปรียบของมอเตอร์สวิตช์รีลักแตนซ์ คือ จะไม่เกิดความสูญเสียเมื่ออยู่ในสภาวะเตรียมพร้อมซึ่งไม่มีกระแสกระตุ้นอยู่ในสเตเตอร์ แต่ค่าการสูญเสียทางแม่เหล็กต้องถูกทำให้น้อยที่สุดเพื่อที่จะหลีกเลี่ยงการเกิด over heat เพราะว่าในปล่องสูญญากาศนั้นการถ่ายเทความร้อนนั้นแย่มากๆ เนื่องจากไม่มีการหมุนเวียนของอากาศ แต่ทว่าฟลายวีลแบบความเร็วต่ำก็สามารถหลีกเลี่ยงปัญหาเหล่านี้ได้ แต่ว่าความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับพลังงานงานของฟลายวีลแบบความเร็วสูงนั้น สามารถแข่งขันกับแบตเตอรี่ หรือระบบเก็บพลังงานแบบอื่นๆได้ดีกว่า

### 2.3 วงจรขับเคลื่อน

วงจรขับเคลื่อนที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์จะใช้แบบ 2 สวิตช์ต่อเฟสเพราะว่าวงจรนี้สามารถสร้างแรงดันตกคร่อมขดลวดได้ทั้งค่าบวก ค่าศูนย์ และค่าลบ ซึ่งวงจรขับเคลื่อนแบบนี้จะมีความยืดหยุ่นในการควบคุมรูปร่างของกระแสได้ดี นอกจากนี้ถ้าอุปกรณ์ของเฟสใดเฟสหนึ่งเกิดความเสียหาย เฟสที่เหลือยังสามารถทำงานต่อไปได้

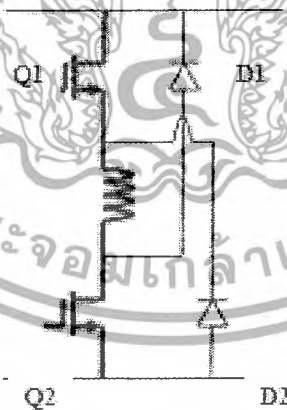
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 วงจรขับเคลื่อนสองสวิตช์ต่อเฟส

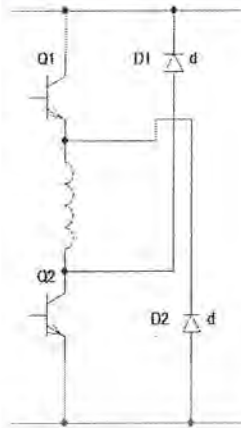
การทำงานของวงจรสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กรณี

กรณีที่ 1 เมื่อ สวิตช์ Q1 และ Q2 ทั้งคู่ ON แรงดันตกคร่อมขดลวดจะมีค่าเท่ากับ แรงดันดีซีลิงค์ กระแสและเส้นแรงแม่เหล็กจะ เพิ่มขึ้น ดังที่แสดงในภาพที่ 2.13



รูปที่ 2.13 วงจรขับเคลื่อนสองสวิตช์ต่อเฟสขณะเพิ่มพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

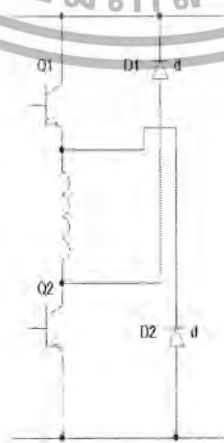


รูปที่ 2.14 วงจรขับเคลื่อนสองสวิทช์ต่อเฟสขณะลดพลังงาน

กรณีที่ 2 ถ้าสวิทช์ Q1 OFF ในขณะที่สวิทช์ Q2 ON กระแสจะไหลผ่านไดโอด D2 แรงดันตกคร่อมสวิทช์ขณะ ON มีค่าไว้อย่างมากในทำนองเดียวกันถ้าสวิทช์ Q1 ON ในขณะที่ Q2 OFF ดังภาพที่ 2.14

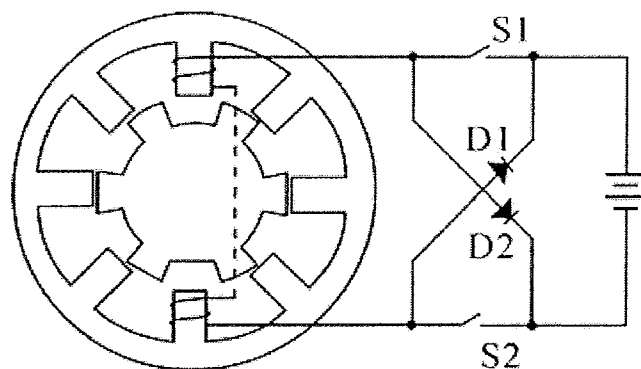
กรณีที่ 3 ถ้าต้องการสร้างแรงดันค่าลบพร้อมขดลวดเพิ่มลดกระแส หรือเส้นแรงแม่เหล็กสามารถทำได้โดยการ OFF สวิทช์ Q1 และ Q2 กระแสจะไหลผ่านไดโอดทั้งคู่และคืน พลังงานสู่แหล่งจ่ายดังภาพที่ 2.15

แต่ในการทำงานจริงจำเป็นต้องติดตัวเก็บประจุเข้าไป โดยติดตัวเก็บประจุแบบ electrolyte และ ชนิด film ขนานกันเพื่อเป็นตัวรองรับพลังงานที่จะมีการคืนในกรณีที่ 3 ที่ต้องนำมาขนาดกันนั้นเพราะว่า ตัวเก็บประจุชนิด electrolyte ทำงานที่ความถี่ต่ำ แต่ในการทำงานของวงจรนี้มีความถี่ของสวิทช์สูงซึ่งจะทำให้ตัวเก็บประจุชนิด electrolyte การเป็นตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งการขนานตัวเก็บประจุชนิด film เข้าไปเพื่อให้ตัวเก็บประจุยังคงสภาพเป็นตัวเก็บประจุต่อไปที่ความถี่สูง



รูปที่ 2.15 วงจรขับเคลื่อนสองสวิทช์ต่อเฟสขณะลดพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

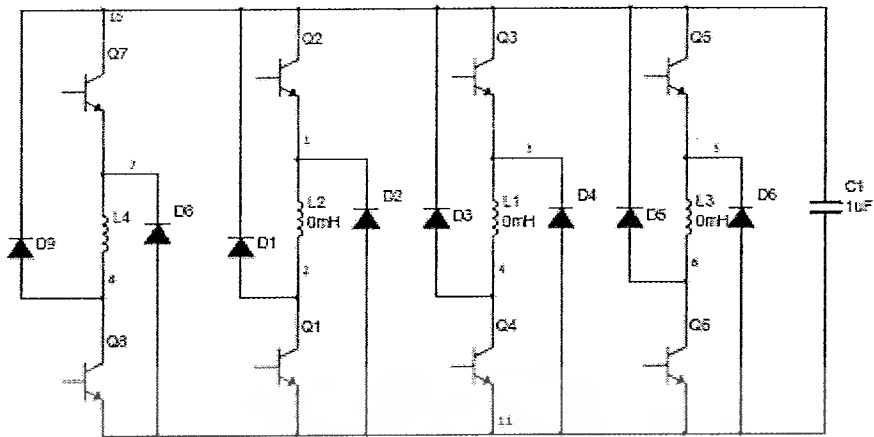


รูปที่ 2.16 โครงสร้างพื้นฐานของ SRG

## 2.4 ทฤษฎีของสวิตช์รีลักแตนซ์เมื่อขณะทำตัวเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ความสามารถของสวิตช์รีลักแตนซ์เจอเนอเรเตอร์ (SRG) นั้นถือว่าสูงมากเนื่องมาจากความทรงประสิทธิภาพในการแปลงพลังงาน ความสามารถที่จะทำงานได้ในช่วงความเร็วที่กว้าง และควบคุมได้ง่ายไม่ซับซ้อน โดยปกติแล้ว โครงสร้างของ SRG จะประกอบไปด้วยขั้วยื่นสองฝั่งซึ่งก็คือ โรเตอร์กับสเตเตอร์ และที่โรเตอร์นั้นจะไม่มีขดลวดหรือแม่เหล็กถาวรติดตั้งอยู่ แต่ที่สเตเตอร์นั้นจะมีการพันขดลวดไว้ที่รอบขั้วยื่นซึ่งจะเชื่อมกันระหว่างเฟส

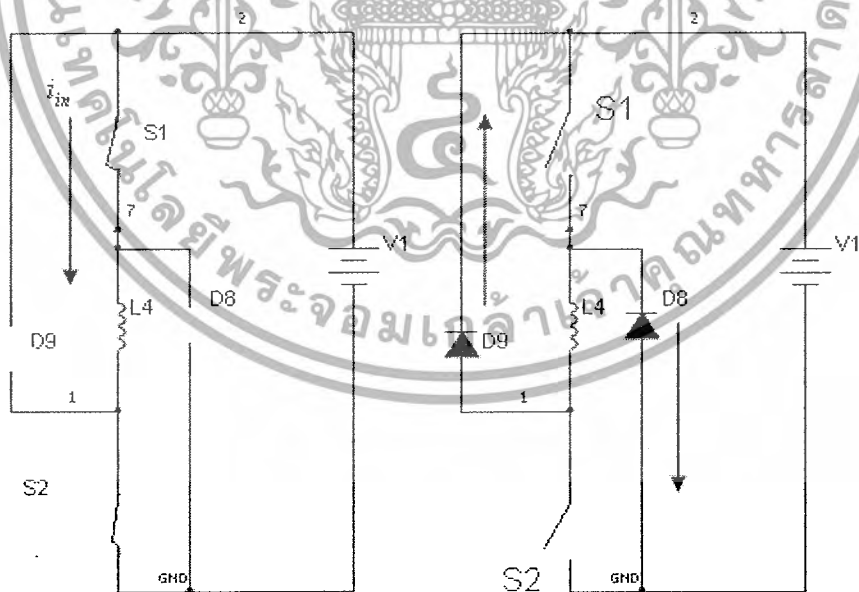
การทำงานของ SRG นั้นแบ่งได้เป็น 2 ส่วน (excitation กับ generation) ในหนึ่งช่วงทางไฟฟ้า โดยในขณะที่ทางฝั่ง generation เป็นทางด้านหลักและสวิตช์ S1 และ S2 เปิดอยู่ นั้นขดลวดที่สเตเตอร์จะได้รับการกระตุ้นจากวงจรจากภายนอกพลังงานไฟฟ้าและพลังงานกล จะถูกจ่ายให้โดยแหล่งจ่ายภายนอกจะถูกแปลงให้เป็นพลังงานสนามแม่เหล็ก และเมื่อสวิตช์ทั้งสองตัวนั้นได้ปิดลงและไดโอดได้เริ่มทำงาน พลังงานสนามแม่เหล็กและพลังงานกลจะถูกแปลงไปเป็น พลังงานไฟฟ้าจ่ายกลับไปยังแหล่งจ่ายหรือโหลดเพราะว่าคุณสมบัติในการใช้เวลาร่วมกันในการ excitation ทำให้การควบคุมของ SRG มีความยืดหยุ่นสูง และปัจจัยบางอย่างในการควบคุม SRG อาทิเช่น มุมจุดชนวน, กระแสกระตุ้น และวิธีการควบคุม สิ่งเหล่านี้ล้วนแล้วแต่มีผลต่อการสร้างพลังงานอย่างยิ่ง



รูปที่ 2.17 วงจรคอนโทรลเลอร์แบบ 4 เฟส

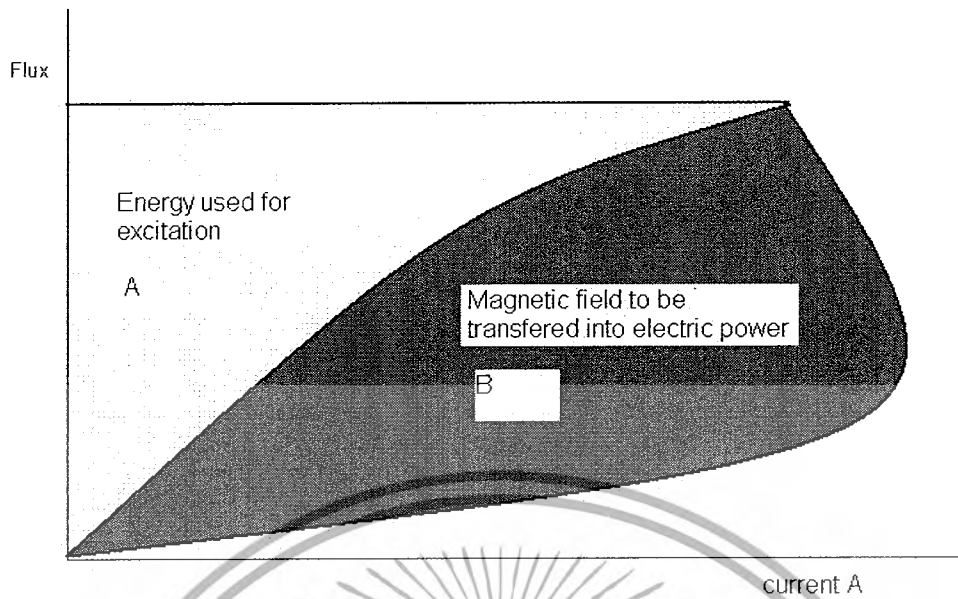
### วงจรขับเคลื่อนใน SRG

คือวงจรที่ควบคุมมุมจุดชนวนซึ่งปกติแล้วจะประกอบไปด้วย ทรานซิสเตอร์สำหรับ สวิตช์ซึ่ง 2 ตัวและไดโอด 2 ตัว ต่อ 1 เฟสดังแสดงในรูปที่ 2.17 และรูปที่ 2.18 แสดงสถานะ ของวงจรคอนโทรลเลอร์ เมื่อสวิตช์ S1 และ S2 ทำงานในวงจรปิดจะเรียกว่าอยู่ในช่วง excitation และเมื่อสวิตช์ S1 และ S2 ทำงานในวงจรเปิดจะอยู่ในช่วง generating ซึ่งความต่าง ศักย์ที่ได้จะขึ้นกับลักษณะของขดลวด



ภาพที่ 2.18 วงจรคอนโทรลเลอร์ 1 เฟสในช่วง excitation และ generation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 การแปลงพลังงานในมอเตอร์สวิตช์รีลักแตนซ์

รูปที่ 2.19 นี้แสดงให้เห็นกราฟการแปลงพลังงานของ SRG เมื่อพื้นที่ A แสดงถึงพลังงาน excitation ที่จักรกลใช้ในขณะที่เป็น generator และพื้นที่ B แสดงถึงพลังงานที่ถูกแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าเมื่อจักรกลถูกใช้ในสถานะ generator

ซึ่งอัตราส่วนระหว่างพลังงานถูกสร้างออกมากับพลังงาน Excitation จะเป็นตัวกำหนดว่าจักรกลนี้เหมาะสมที่จะเป็น motor หรือ generator มากกว่ากัน

$\frac{B}{A} \leq 1$  จักรกลจะทำงานได้มีประสิทธิภาพดีกว่าเมื่อทำงานเป็น motor

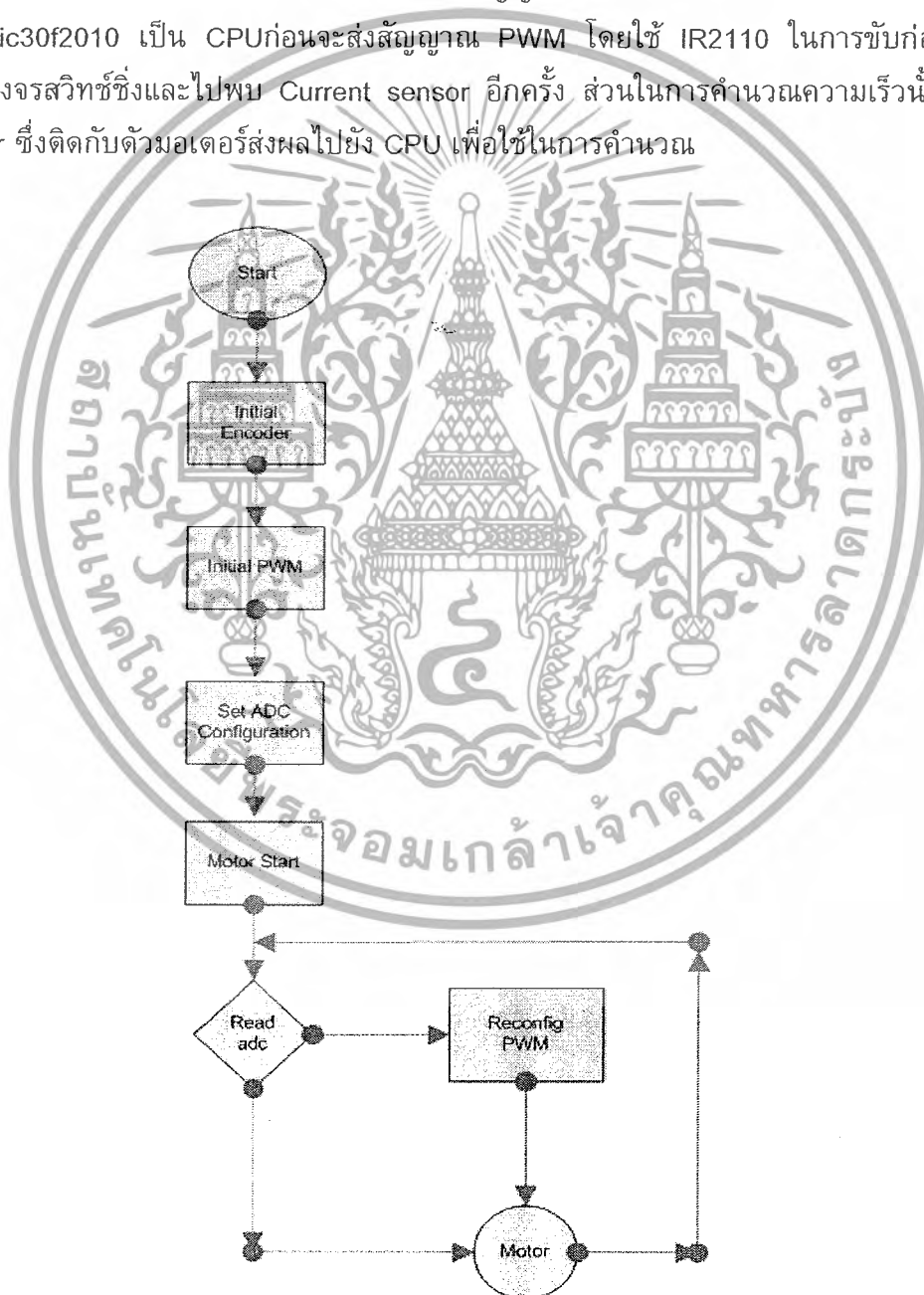
$\frac{B}{A} \geq 1$  จักรกลจะทำงานได้มีประสิทธิภาพดีกว่าเมื่อทำตัวเป็น generator

### บทที่ 3

#### การออกแบบระบบควบคุม

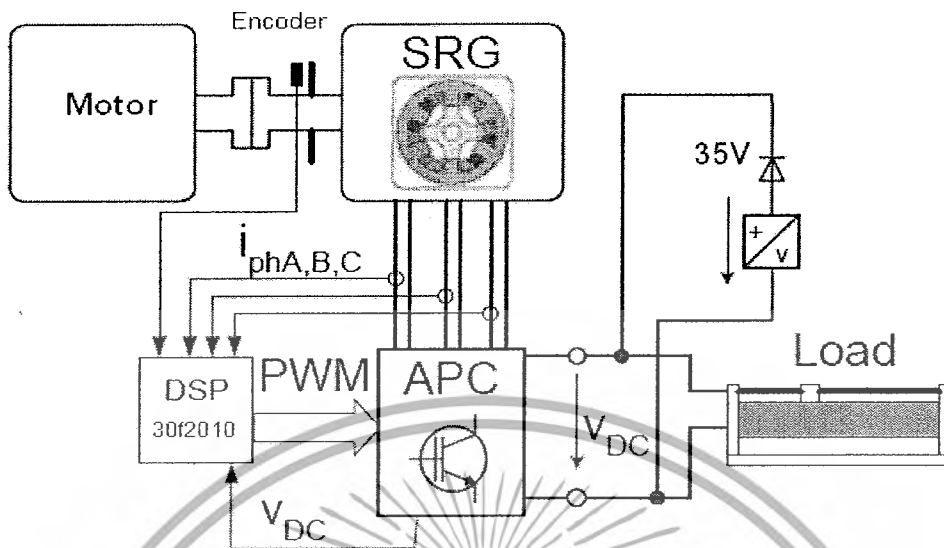
##### 3.1 Flowchart แสดงการทำงานของโปรแกรม

การควบคุมนี้ใช้สำหรับการทำงานที่เป็นมอเตอร์โดนเน้นที่การควบคุมกระแสเพื่อใช้ปรับความเร็วของมอเตอร์ด้วยการปรับสัญญาณคอมมิวเทชันซึ่งมีผลต่อการทริกเฟส โดยการวัดกระแสที่เซ็นเซอร์ฮอลล์เอฟเฟกต์แล้ว Feedback สัญญาณกลับไปยังตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ Dspic30f2010 เป็น CPU ก่อนจะส่งสัญญาณ PWM โดยใช้ IR2110 ในการขับก่อนที่จะส่งผ่านวงจรสวิตซ์ซึ่งจะไปพบ Current sensor อีกครั้ง ส่วนในการคำนวณความเร็วนั้นจะใช้ Encoder ซึ่งติดกับตัวมอเตอร์ส่งผลไปยัง CPU เพื่อใช้ในการคำนวณ



รูปที่ 3.1 Flowchart การปรับกระแสของโปรแกรม

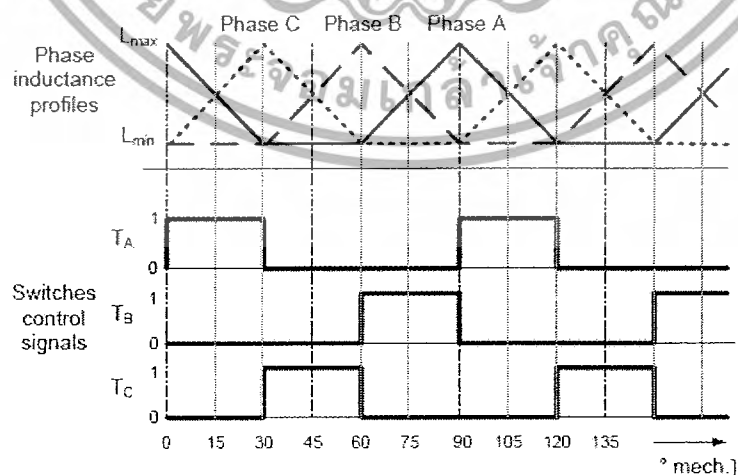
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้นิพนธ์ได้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดง Diagram ของ SRG

### 3.2 Diagram การทำงานของมอเตอร์ขณะที่แปลงเป็น Generator

จากรูปที่ 3.2 จะเห็นว่ามอเตอร์ซึ่งเป็นชุดขับเคลื่อนซึ่งส่งพลังงานกลมาที่ SRG ซึ่งจะทำให้แกนหมุน และวงจรรีพาวเวอร์คอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่เป็นตัวที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนเฟส ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นมา และมีความเหนี่ยวนำเกิดขึ้น ทำให้ได้พลังงานไฟฟ้าออกมาซึ่งพลังงานที่ได้นี้จะส่งออกมาที่ดิซิบัส ซึ่งทำให้แรงดันที่บัสเพิ่มมากขึ้นและสามารถนำไปขับโหลดได้ ส่วนที่ Supply นั้นจะทำหน้าที่จ่ายไฟเมื่อกระแสลดลงไปจากที่เรากำหนด และการติด Diode ไว้ก็เพื่อป้องกันการไหลย้อนกลับของกระแส ซึ่งอาจทำให้ Supply เกิดความเสียหายขึ้นได้



รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า inductance กับการทำงานของ Switch

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การออกแบบโปรแกรมในส่วนต่าง ๆ

```
// if( (e_Angle>0)&&(e_Angle<30) )//Gen
if( (e_Angle>230)&&(e_Angle<351) )//motor
(

    MOUT |= Phasel;//GEN
    PWMCON1bits.PEN1H=1;//PWMxH pin is enabled for PWM output
    PWMCON1bits.PEN2H=0;//PWMxH pin is enabled for PWM output
    PWMCON1bits.PEN3H=0;//PWMxH pin is enabled for PWM output

//    PWMCON1bits.PEN1L=0;//PWMxH pin is enabled for PWM output
//    PWMCON1bits.PEN2L=1;//PWMxH pin is enabled for PWM output
//    PWMCON1bits.PEN3L=0;//PWMxH pin is enabled for PWM output

)

// if( (e_Angle>119)&&(e_Angle<151) )//gen
if ((e_Angle>350)|| (e_Angle<111))//motor
(
    MOUT |= Phase2;//GEN
    PWMCON1bits.PEN1H=0;//PWMxH pin is enabled for PWM output
    PWMCON1bits.PEN2H=1;//PWMxH pin is enabled for PWM output
    PWMCON1bits.PEN3H=0;//PWMxH pin is enabled for PWM output
//    PWMCON1bits.PEN1L=0;//PWMxH pin is enabled for PWM output
//    PWMCON1bits.PEN2L=0;//PWMxH pin is enabled for PWM output
//    PWMCON1bits.PEN3L=1;//PWMxH pin is enabled for PWM output
)
}
```

รูปที่ 3.4 แสดงบางส่วนของ main.c

### 3.3 การออกแบบ Program

การออกแบบ Program นั้นจะเน้นที่การใส่ค่ามุมจุดขบวนตัวโปรแกรมจะกำหนดตามที่ต้องการว่าจะทำงานเป็น generator หรือ motor ดังที่ในรูปที่ 3.4 ซึ่งจะเห็นว่าค่าที่ได้รับจาก Encoder นั้นจะถูกอ่านและนำไปสู่ การส่งสัญญาณที่ใช้ในขับ IR2110 และ PWM ที่ออกมาใช้ในการควบคุมเฟสด้วยซึ่งก็เป็นผลมาจากค่าจาก Encoder เช่นกันนอกจากการควบคุมมุมจุดขบวนแล้ว Main.c ยังควบคุมค่าที่ได้จาก ADC ด้วยซึ่งค่าที่ส่งมา ADC จะเป็นการควบคุมกระแสที่ส่งมาจาก Current sensor อีกด้วยโดยต้องคำนวณค่าว่าเกินที่เราต้องการหรือไม่ ดังรูปที่ 3.5 หลังจากนั้นเมื่อสั่งให้มอเตอร์ทำงานตัวโปรแกรมก็จะคอยกำหนดค่า ADC

```
//read command from ADC of VR
j = VR_input ;
j = j*640 ;
j=j/1023;
j=j+536;
Control_Input = j;
if(Control_Input>640) Control_Input=640 ;//2.5A
if(Control_Input<536) Control_Input=536 ;//0.8A
```

### รูปที่ 3.5 การกำหนดค่า ADC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

PrintChar(' '); PrintChar('D'); PrintChar('='');          PrintIntToStr(Control_Input); PrintChar

//Control current , feedback from ACS sensor

PrintString(" P1",4);
if(ACS_A<Control_Input)
{
    PDC1+=2;          // 0x16FA=100%
    PrintChar('+');
}
if(ACS_A>Control_Input)
{
    if(PDC1>PDC1-=3;          // 0x16FA=100%
    PrintChar('-');
}

PrintString(" P2",4);
if(ACS_B<Control_Input)
{
    PDC2+=2;          //0x05E2//
    PrintChar('+');
}
if(ACS_B>Control_Input)
{
    if(PDC2>PDC2-=3;          //0x05E2//
    PrintChar('-');
}

```

### รูปที่ 3.6 การปรับ ADC ที่วัดได้

ที่เราต้องการดังที่เห็นว่าถ้ามอเตอร์เราทำงานได้ในช่วง 0.8 A ถึง 2.5 A ก็ควรจะมามีค่า ADC ที่วัดได้ในช่วง 536 – 640 ส่วนในรูปที่ 3.6 แสดงให้เห็นค่า ADC ที่วัดได้โดยจะปรับค่าให้เหมาะสมตามที่เรากำหนดไว้ ซึ่งเราสามารถปรับค่า Reference โดยที่ค่าทั้งหมดนั้นจะถูกแสดงออกมาทางหน้าจอกอมพิวเตอร์ โดยผ่าน Hyper Terminal นอกจากนี้เรายังจำเป็นต้องเขียนค่ากำหนดของ Encoder ดังรูปที่ 3.7 ซึ่งเราจะเห็นว่าค่าที่ได้นั้นต้องนำไปเปรียบเทียบกับระหว่าง มุมทางกลหรือในรูปที่เห็นคือ ENCODER และมุมทางไฟฟ้าในรูปคือ e\_angle ต้องมีความเหมาะสมกับสมรรถนะของ Encoder ดังที่เราแสดงในโปรแกรม Encoder ที่ใช้มีความละเอียด 360 pulse ต่อรอบ

```

unsigned int ENCODER //Encoder angle
unsigned int e_Angle //electrical angle

void chk_ENC(void)
{
    unsigned int i,j;
    unsigned long long buf;

    if(POSCNT==ENCODER) return;

    //For 360 pulse encoder
    ENCODER = POSCNT ;
    i = ENCODER ;//0-719;
    i >>= 1 //divider by 2 , 0-360;

    while(i>45) i=i-45;
    i<<=3; // x8 for 24 stator , calculate the electrical angle
    e_Angle=i;
}

```

### รูปที่ 3.7 แสดงการคำนวณค่าของ Encoder

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//*****
//Initial Rotor position to Phase 1

PORTE = Phase1 ;//Phase 1 on
Tl_start(T500mS) ;
while(!Tl_over()) ;

PORTE = Phase2 ;//Phase 1 on
Tl_start(T500mS) ;
while(!Tl_over()) ;
PORTE = Phase2 ;//Phase 1 on

PORTE = Phase3 ;//Phase 1 on
Tl_start(T500mS) ;
while(!Tl_over()) ;

PORTE = Phase1 ;//Phase 1 on
Tl_start(T1S) ;
while(!Tl_over()) ;

```

### รูปที่ 3.8 แสดงการ initial ค่า Encoder

ก่อนการเริ่มทำงานของโปรแกรมนั้นทุกส่วนต้องมีการ initial ค่าเริ่มต้นก่อนเสมอดังในรูปที่ 3.8 ที่แสดงการ initial ค่าของ Encoder เพื่อหาตำแหน่งของเฟส A B และ C เช่นเดียวกันกับค่า PWM ก็ต้องมีการกำหนดค่าไว้ก่อนแล้วเพื่อที่จะสามารถส่งได้ตามที่เราต้องการ นอกจากนี้เรายังจำเป็นต้องมีการกำหนดการทำงานของ port ดังในรูปที่ 3.9 เป็นการกำหนดค่าของ port E ที่เรากำหนดให้เป็น output ที่จะส่งสัญญาณ PWM มาจากตัว DSPic นอกจากการกำหนด port แล้วเรายังจำเป็นต้องมีการใช้ฟังก์ชัน timer เข้ามาช่วยในการทำงานด้วย เพราะว่า timer จะเป็นตัวช่วยในการจัดลำดับการทำงานของโปรแกรมห้ราบรื่นยิ่งขึ้น อาทิเช่น การสั่งให้จ่ายสัญญาณ Commutation ออกมา 3 วินาทีตัวโปรแกรมไม่จำเป็นที่จะต้องรอ 3 วินาทีถึงจะสามารถดำเนินการในส่วนต่อไปได้ แต่โปรแกรมจะสามารถทำงานได้เลยโดยอีก 3 วินาทีจึงกลับมาตรวจสอบความถูกต้องของสัญญาณ Commutation อีกครั้ง ซึ่งเป็นการลดเวลาการใช้งานอย่างมาก

```

TRISDbits.TRISD0 = 0 ;//set RD0 is output: LED
PORTDbits.RD0 = 0 ;//LED-off

TRISDbits.TRISD1 = 1 ;//set RD1 is input: Direction, 0=backward 1=forward

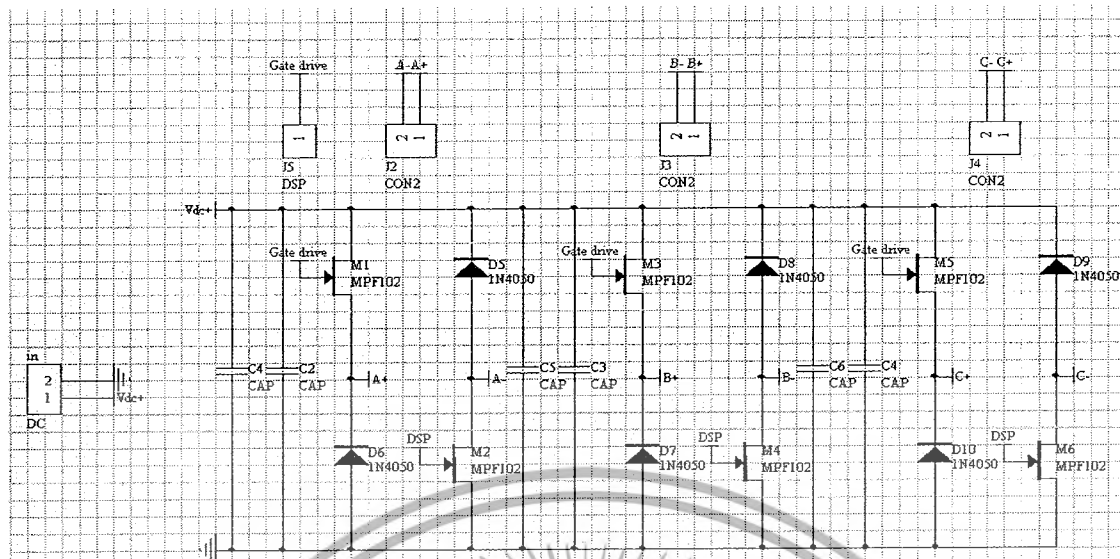
//Output control
TRISEbits.TRISE0 = 0 ;//set RE3 is output: commutation Phase 1
TRISEbits.TRISE2 = 0 ;//set RE5 is output: commutation Phase 2
TRISEbits.TRISE4 = 0 ;//set RE4 is output: commutation Phase 3

//Output control
TRISEbits.TRISE1 = 0 ;//set RE3 is output: commutation Phase 1H
TRISEbits.TRISE3 = 0 ;//set RE5 is output: commutation Phase 2H
TRISEbits.TRISE5 = 0 ;//set RE4 is output: commutation Phase 3H

```

### รูปที่ 3.9 แสดงการสั่งการ port ให้ทำหน้าที่เป็น output

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



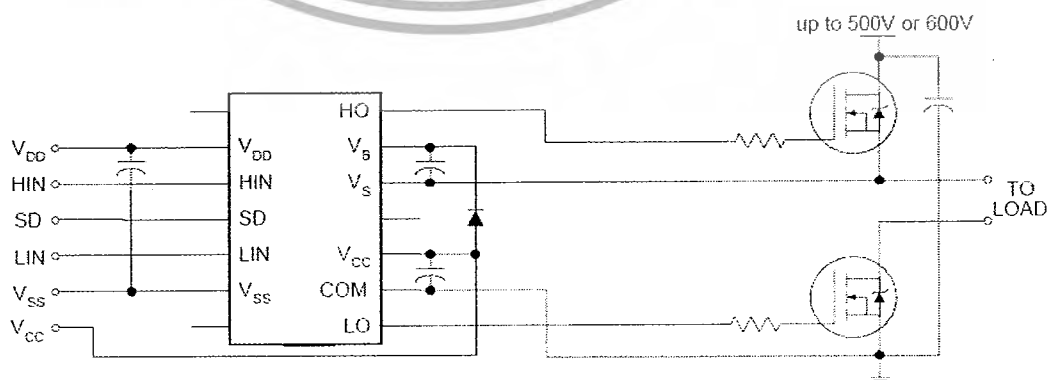
รูปที่ 3.10 วงจรขับเคลื่อน

### 3.4 การออกแบบวงจรขับเคลื่อน

วงจรขับเคลื่อนที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์จะใช้แบบ 2 สวิตช์ต่อเฟสเพราะว่าวงจรนี้สามารถสร้างแรงดันตกคร่อมขดลวดได้ทั้งค่าบวก ค่าศูนย์ และค่าลบ ซึ่งวงจรขับเคลื่อนแบบนี้จะมีความยืดหยุ่นในการควบคุมรูปร่างของกระแสได้ดี นอกจากนี้ถ้าอุปกรณ์ของเฟสใดเฟสหนึ่งเกิดความเสียหาย เฟสที่เหลือยังสามารถทำงานต่อไปได้ และยังให้ความสมดุลระหว่างระดับแรงดันขา เข้ากับคุณลักษณะแรงบิดกับความเร็วของมอเตอร์ ซึ่งย่านการทำงานแรงบิดคงที่สามารถทำได้ จนถึงความเร็วโดยที่กระแสในเฟสนั้นจะคงควบคุม (regulate) ได้

### 3.5 การออกแบบวงจรขับเคลื่อน

วงจรนี้ใช้สำหรับเป็นตัวขับ MOSFET ที่วงจรขับเคลื่อนทำงานซึ่งมีรูปแบบดังนี้โดยใช้ IR 2110 ไม่มีตัวแยกกราวด์ (Isolate) ของวงจรถูกำลึงกับวงจรควบคุม



รูปที่ 3.11 วงจรขับเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

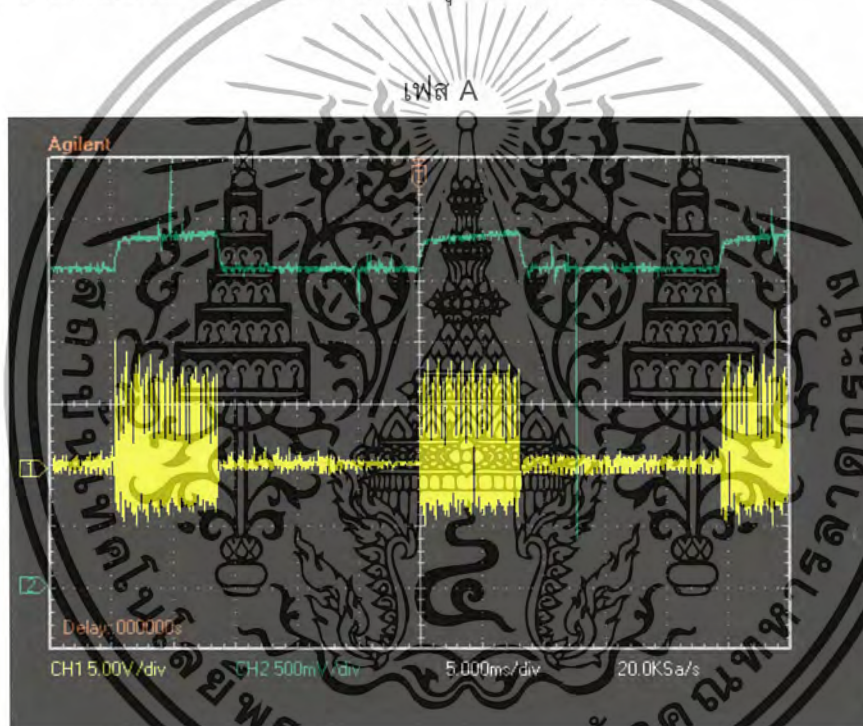
### ผลการทดลอง

#### 4.1 ผลการทดลองช่วง Motoring-mode

รูปคลื่นของกระแสและแรงดันของแต่ละเฟส

การทดลองในส่วนนี้จะไม่สามารถใช้ probe ธรรมดาในการทดลองได้จะต้องใช้ differential probe ในการทดลองเนื่องจากจะต้องใช้วัดคร่อมขดลวดอาจจะทำให้เกิดการ short circuit ขึ้นได้ โดยการ Switching ในการทดลองนี้ได้ใช้แบบ soft-switching ซึ่งจะทำให้เกิด loss น้อยกว่าและรักษาระดับกระแสได้ดีกว่า Hard-Switching

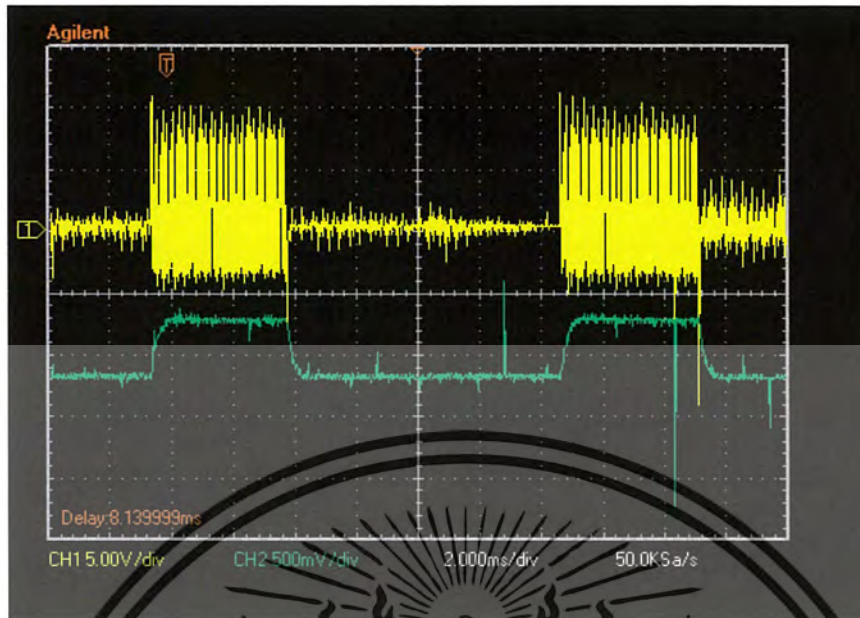
ซึ่งจากการทดลองเราจะเห็นว่ากระแส และแรงดันแต่ละเฟสจะมีรูปร่างที่เหมือนกัน ถึงแม้ว่าจะเป็นคนละเฟสกัน แต่แต่ละเฟสก็จะมีมุมต่างกัน 120 องศา



รูปที่ 4.1 CH 1 แสดงแรงดันคร่อมขดลวดเฟส A  
CH 2 แสดงกระแสที่เฟส A

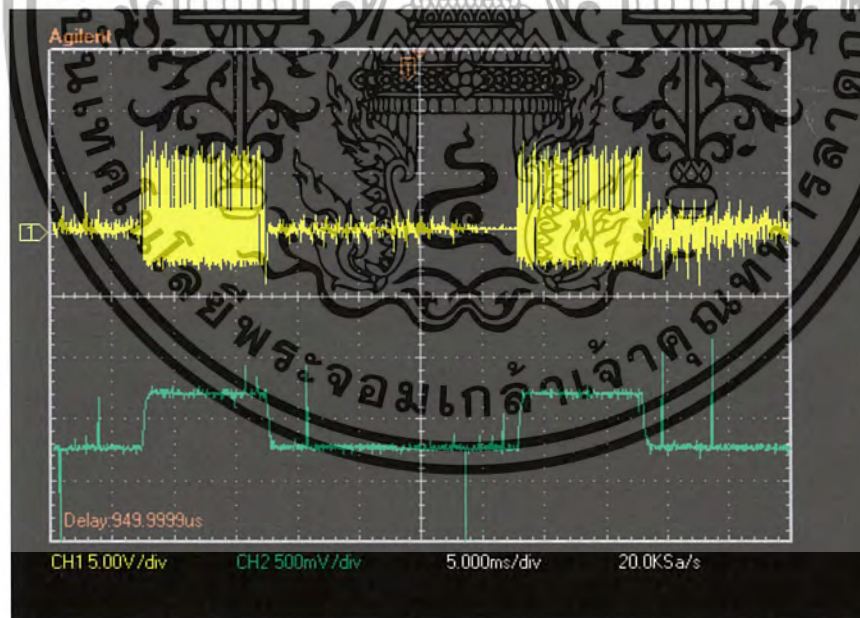
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เฟส B



รูปที่ 4.2 CH 1 แสดงแรงดันคร่อมขดลวดเฟส B  
CH 2 แสดงกระแสที่เฟส B

## เฟส C



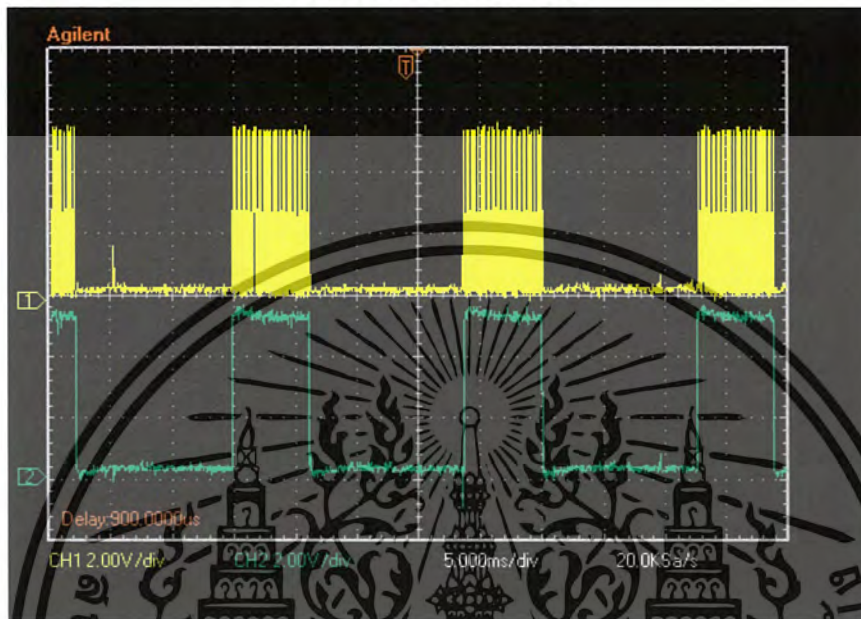
รูปที่ 4.3 CH 1 แสดงแรงดันคร่อมขดลวดเฟส C  
CH 2 แสดงกระแสที่เฟส C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### สัญญาณ Commutation

การทดลองนี้แสดงการเปรียบระหว่างสัญญาณ Commutation และ PWM ของเฟสเดียวกัน เพื่อนำมาใช้ในการขับ MOSFET ในการควบคุมการจ่ายกระแสให้ขดลวดในแต่ละเฟสโดยที่มุมขับของแต่ละเฟสจะต่างกัน 120 องศา

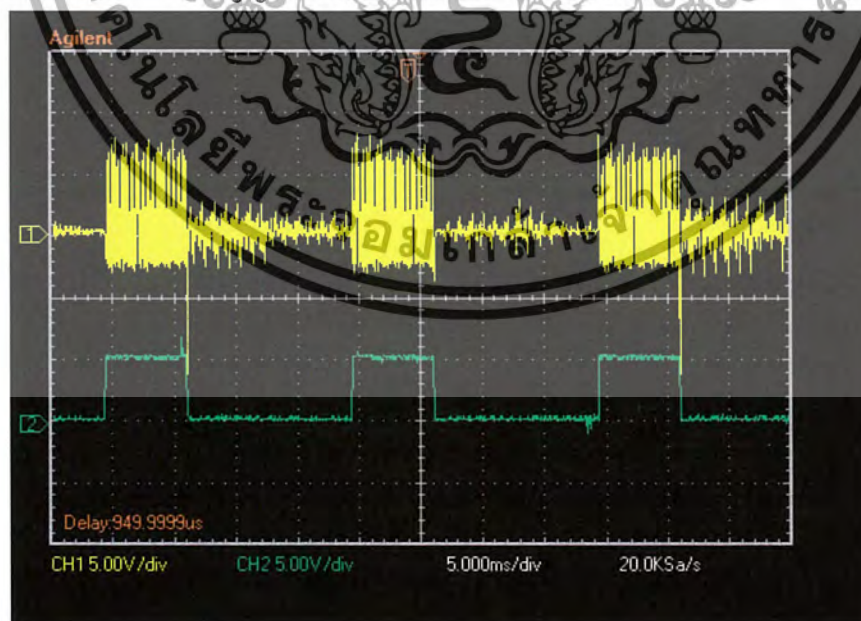
#### Commutation กับ PWM



รูปที่ 4.4 CH 1 แสดงสัญญาณ PWM

CH 2 แสดงสัญญาณ Commutation

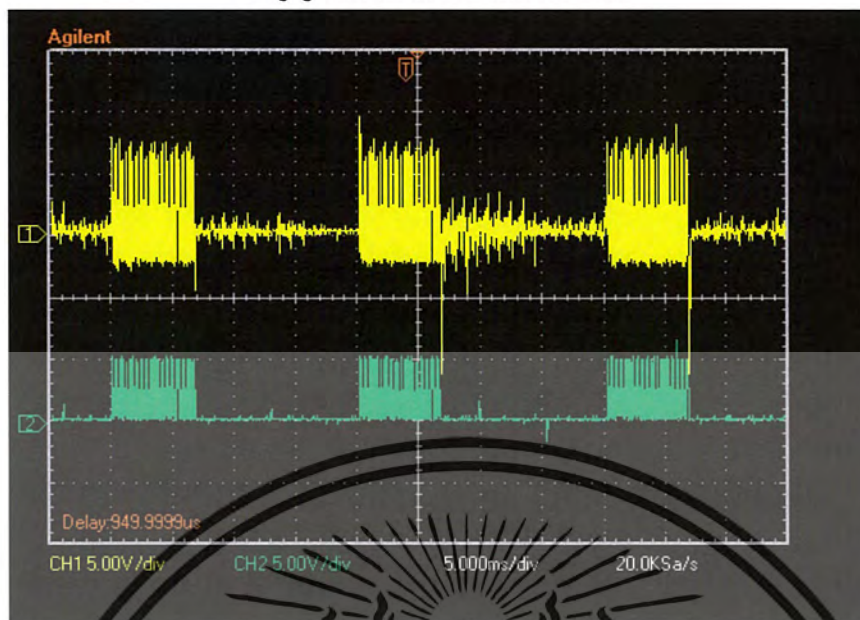
สัญญาณแสดงแรงดันและ Commutation



รูปที่ 4.5 CH 1 แสดงแรงดันคร่อมขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ CH 2 แสดงสัญญาณ Commutation ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

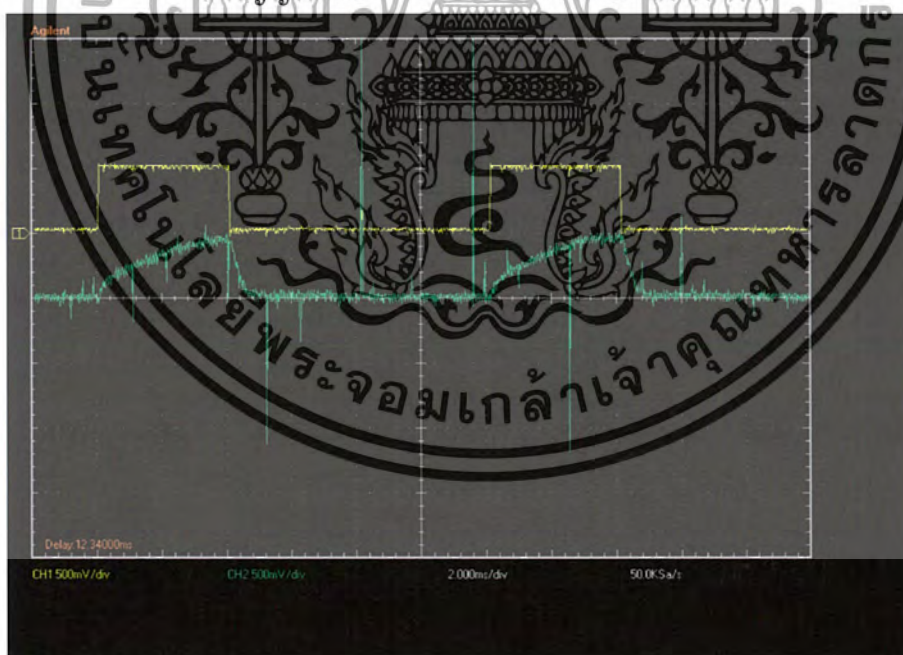
## สัญญาณแสดงแรงดันและ PWM



รูปที่ 4.6 CH 1 แสดงแรงดันกรวมขดลวด

CH 2 แสดงสัญญาณ PWM

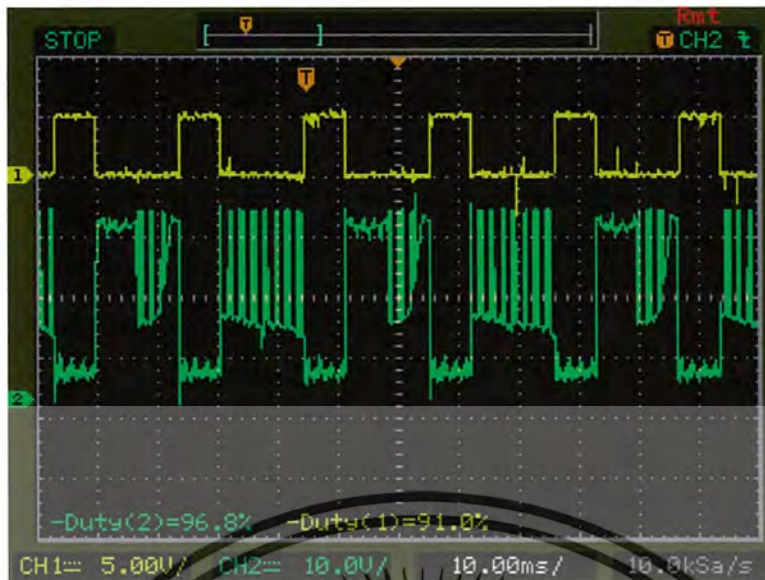
สัญญาณขับเกิดพร้อมกระแสและแรงดัน



รูปที่ 4.7 CH 1 แสดงสัญญาณขับเกิด

CH 2 แสดงกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 CH 1 แสดงสัญญาณขับเกด  
CH 2 แสดงแรงดันคร่อมขดลวด

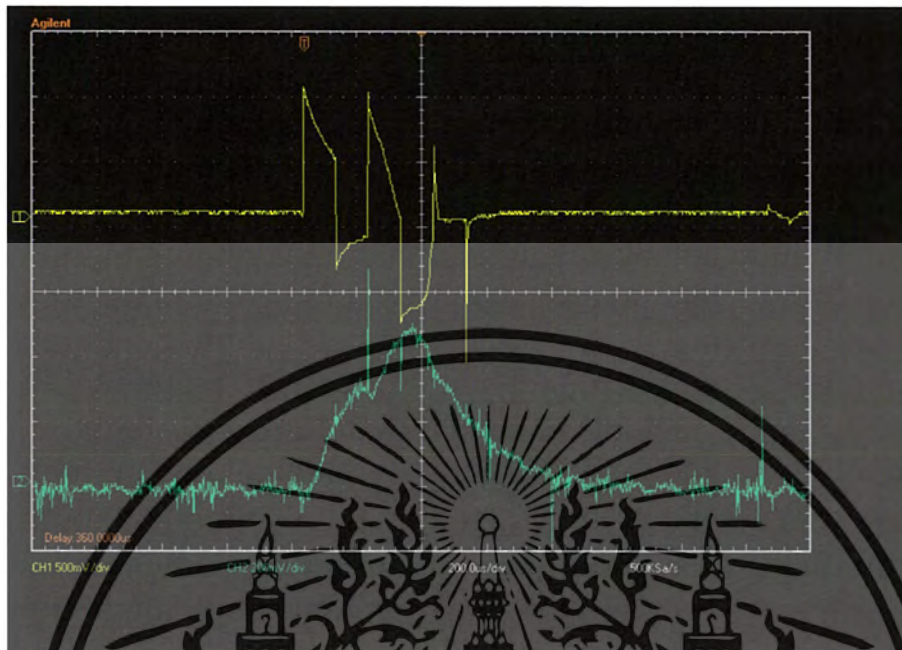
#### 4.2 ผลการทดลองช่วง Generating-mode

การทดลองในช่วง Generator นี้จะแสดงให้เห็นกระแสที่แตกต่างไปเนื่องจากค่า Torque ที่ได้มานั้นจะเป็นช่วงลบและจ่ายที่ใช้จะเป็นแหล่งพลังงานกลจากภายนอก ซึ่งมอเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็น Generator ตัวนี้จะแปลงพลังงานกลให้เกิดพลังงานสนามแม่เหล็กและเมื่อมีการเปลี่ยนเฟสก็จะคายพลังงานออกมาและจะได้ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปคลื่นกระแสและแรงดันแต่ละเฟส ที่ความเร็ว 2700 rpm.

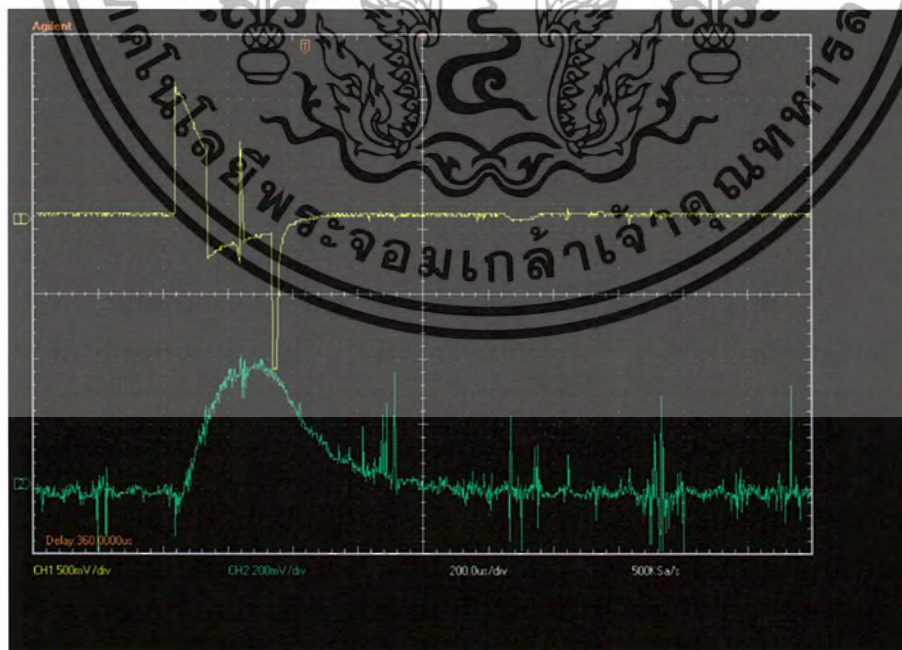
เฟส A



รูปที่ 4.9 CH 1 แสดงแรงดันคร่อมขดลวดที่ เฟส A

CH 2 แสดงกระแสที่ เฟส A

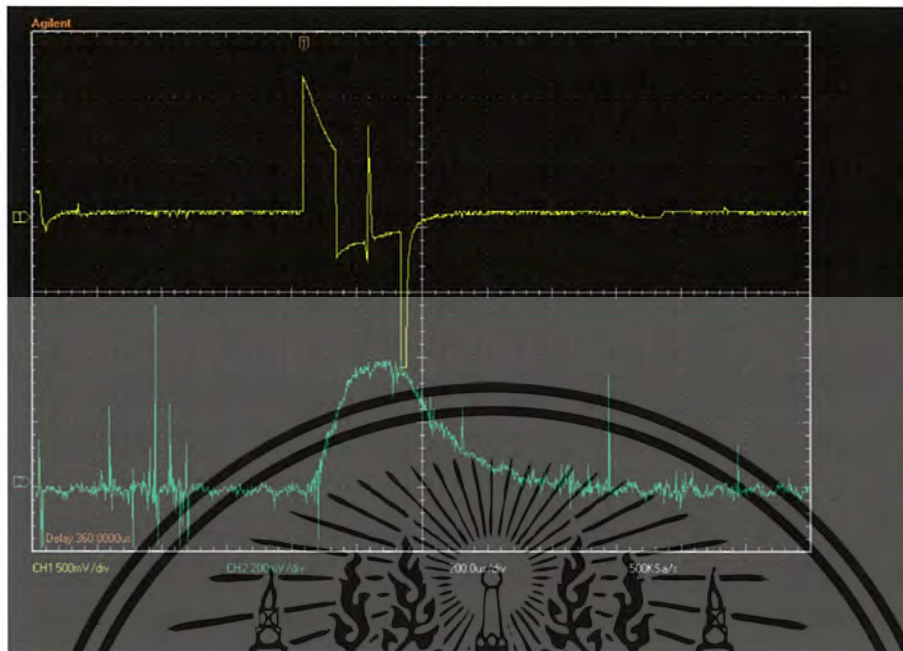
เฟส B



รูปที่ 4.10 CH 1 แสดงแรงดันคร่อมขดลวดที่ เฟส B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้ภายในที่โรงเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เฟส C



รูปที่ 4.11 CH 1 แสดงแรงดันเครื่องขดลวดที่ เฟส C  
CH 2 แสดงกระแสที่ เฟส C

## สัญญาณ Commutation

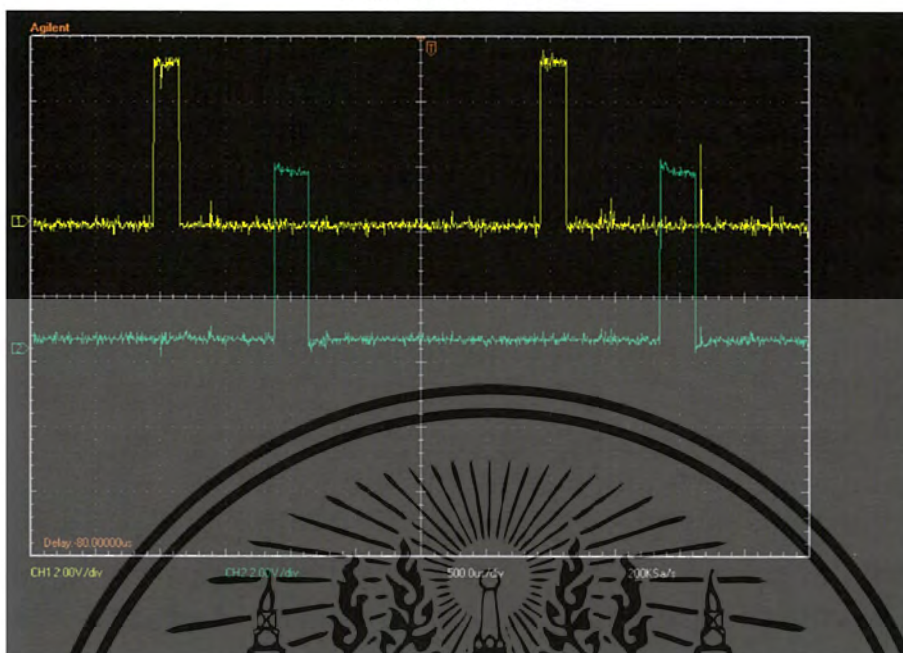
สัญญาณที่เห็นนี้จะดูมีขนาดเล็กกว่าแบบ Motoring-mode เนื่องจากมีการปรับค่า Duty-Cycle ให้น้อยลงเพื่อป้องกันปัญหา back EMF ซึ่งอาจทำให้ MOSFET เสียหายได้

ส่วนสัญญาณรูปคลื่นกระแส Generation นั้นต้องใช้ Machine มาทดสอบที่ความเร็วสูง เพื่อที่จะให้เห็นการเพิ่มขึ้นของกระแสอย่างชัดเจนยิ่งขึ้น ทั้งนี้การคำนวณกระแส Generation และ excitation ต้องนำค่าความต้านทานของทั้งสองมาคำนวณด้วยจึงจะได้ค่าที่แท้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณ Commutation ที่ความเร็ว 2700rpm.

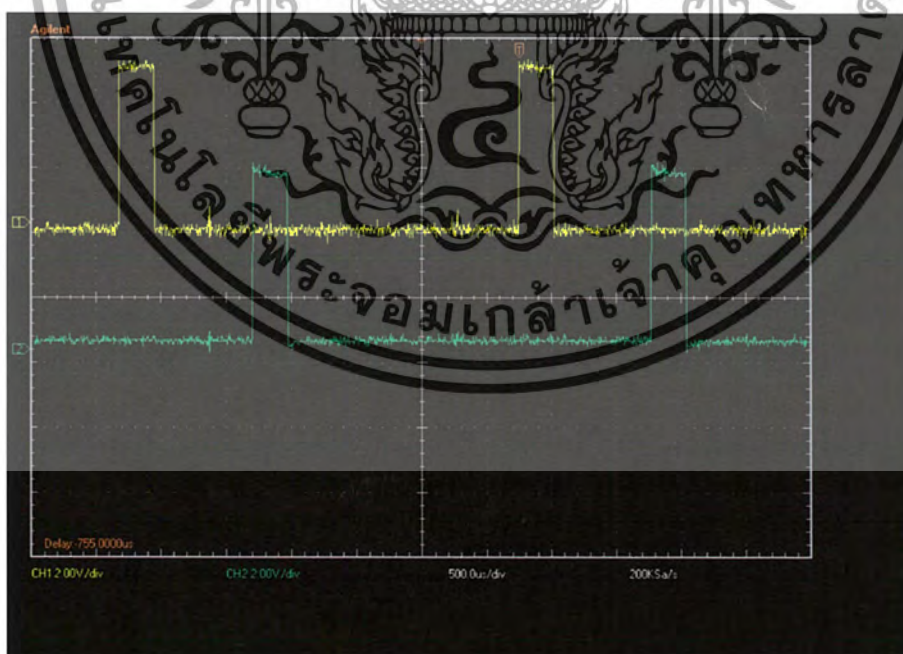
เฟส A เทียบ เฟส B



รูปที่ 4.12 CH 1 แสดงสัญญาณ commutation เฟส A

CH 2 แสดงสัญญาณ commutation เฟส B

เฟส B เทียบ เฟส C

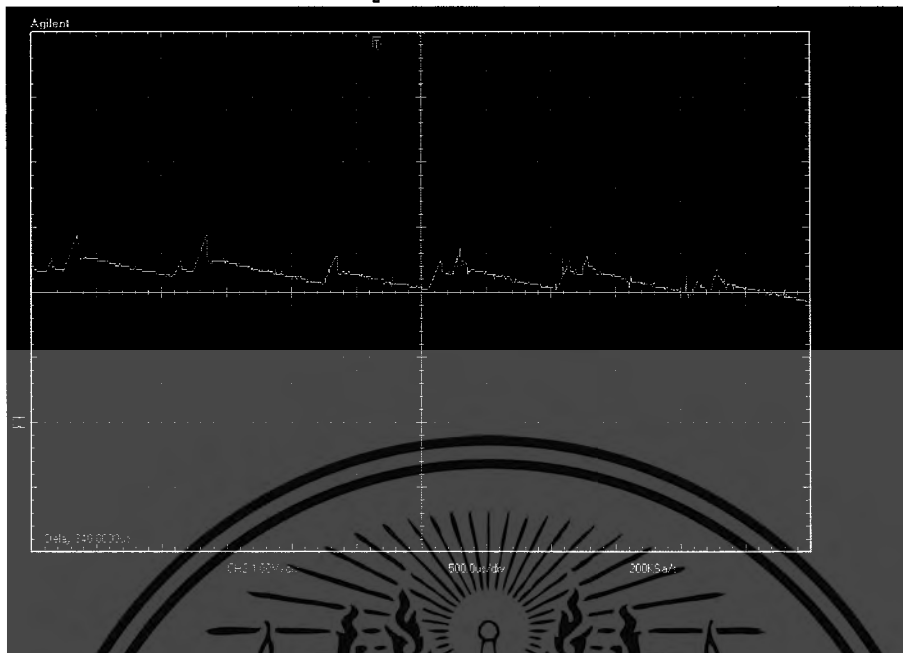


รูปที่ 4.13 CH 1 แสดงสัญญาณ commutation เฟส B

CH 2 แสดงสัญญาณ commutation เฟส C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### สัญญาณ รูปคลื่นกระแส Excitation



รูปที่ 4.14 ที่ความเร็ว 2700rpm. ต่อ R 1.5 โอห์ม

### สัญญาณรูปคลื่นกระแส Generation



รูปที่ 4.15 ที่ความเร็ว 2700rpm. ใช้ค่า R 100 โอห์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### บทสรุปและเสนอแนวทางที่จะดำเนินการ

จากสิ่งที่ได้ทำการศึกษาไปแล้วสิ่งที่ได้มาก็คือ โปรแกรมสำหรับ dsPIC30F2010 ซึ่งเป็น Microcontroller ที่เรานำไปควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์สวิตช์รีลักเตนซ์จะสรุปได้ดังนี้ การทดลองนี้มอเตอร์ชนิดนี้สามารถทำตัวเป็น Generator ได้โดยขึ้นอยู่กับตำแหน่งการ Switching ของมอเตอร์เฟต ซึ่งสามารถควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

#### 5.1 วิเคราะห์ผลของโครงการ

โครงการนี้เป็นการศึกษาและสร้างระบบการเก็บพลังงานโดยใช้ฟลายวีล ประกอบไปด้วย สเตเตอร์และโรเตอร์แบบขั้วยื่น ซึ่งในอดีตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ยังไม่พัฒนาเท่าที่ควร อีกทั้งยังมีขนาดที่ใหญ่ แต่ในปัจจุบันนั้นอุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์มีขนาดเล็กและถูกลงจึงทำให้มอเตอร์สวิตช์รีลักเตนซ์เป็นตัวเลือกหนึ่งในการนำมาใช้งานทดแทนมอเตอร์ประเภทอื่นๆ เพื่อนำไปใช้ในการเป็นแรงขับให้ฟลายวีลหมุน และเก็บพลังงานไว้ในรูปพลังงานจลน์ และสามารถคลายพลังงานออกมาในรูปพลังงานไฟฟ้าไปใช้งานได้

#### 5.2 ปัญหาและแนวทางในการแก้ไข

จากข้อผิดพลาดต่างๆที่กล่าวมา พอจะสรุปเป็นปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไขปัญหาได้ดังนี้

##### 5.2.1 ปัญหาที่พบ

- อุปกรณ์ต่างๆที่จำเป็นต้องสั่งให้ทางร้านที่มีความชำนาญเป็นผู้ทำนั้น บางครั้งเกิดความล่าช้าของทางร้าน และของบางอย่างที่สั่งยังไม่ได้ตามที่ตกลงกันไว้
- มอเตอร์ที่ใช้มีการกินกระแสที่สูง ต้องควบคุมเป็นอย่างดี แต่กลับมีกำลังที่ต่ำทำให้ไม่สามารถติดตั้งวงล้อที่มีรัศมีกว้างและน้ำหนักมาก จึงทำให้ไม่สามารถทำตัวเป็นฟลายวีลที่ดีได้

##### 5.2.2 แนวทางการแก้ไขปัญหา

- ทำการ limit กระแสก่อนการทดลองทุกครั้งเพื่อป้องกันการเสียหายของอุปกรณ์
- ใช้มู่เล่ย์(ซึ่งใช้จำลองแทนวงล้อ)ที่เบาลงแต่จะใช้ความเร็วมอเตอร์ให้สูงขึ้นเพื่อเป็นการเพิ่ม แรงเฉื่อยใช้ แหล่งจ่ายภายนอกเพื่อให้มีความเร็วสูงขึ้น

#### 5.3 สรุปผลการทดลองและวิจารณ์

การทดลองทางด้าน Generator Mode ที่ได้แสดงให้เห็นว่ามอเตอร์ชนิดนี้สามารถทำตัวให้เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าได้จริง เมื่อมีแหล่งพลังงานกลภายนอกมาหมุนในที่นี้ก็คือฟลายวีล นั่นเองซึ่งเป็นการเก็บพลังงานไว้ในรูปพลังงานกล และการควบคุมในช่วงมอเตอร์นั้นสามารถควบคุมได้เฉพาะกระแสเท่านั้น ไม่สามารถควบคุมค่าความเร็วที่แน่นอนได้ ทำได้เพียงแต่เพิ่มให้มากขึ้นหรือลดลงเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 5.4 แนวทางการพัฒนา

พัฒนาโปรแกรมให้สามารถเปลี่ยนแปลงเองได้ว่าสภาพไหนสมควรที่จะเป็นมอเตอร์ สภาพไหนสมควรที่จะเป็นแหล่งกำเนิด พร้อมทั้งพัฒนาคุณภาพของมอเตอร์ให้มีกำลังมากกว่านี้ เพื่อที่จะสามารถติดตั้งฟลายวีลที่มีขนาดใหญ่ได้ เพื่อการทดลองที่สมบูรณ์แบบยิ่งขึ้น นอกจากนี้ก็พัฒนาอุปกรณ์ เช่น Encoder เพื่อความแม่นยำในการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บรรณานุกรม

- [1] ผศ.ดร. สุวัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา, “มอเตอร์สวิตซ์รีลักแตนซ์:ทฤษฎีและการออกแบบ”, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, เมษายน 2550
- [2] นาย สิทธิชัย แก้วไทย, “วิธีการประมาณค่าแรงบิดสำหรับเครื่องจักรกลแบบสวิตซ์รีลักแตนซ์”, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, 2549
- [3] Sisavath Khotpanya , “A magnetic model of three-phase switched reluctance machine using cubic spline interpolation technique”, A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of master engineering, 2006
- [4].T.J.E. Miller, “Switched Reluctance Motors and their Control”, Magna Physics publications oxford science publication, 1993
- [5] PAN Zai Ping, “Study on Switch Reluctance Generator”, J Zhejiang University SCIENCE, ISSN 1009-3095, 2004
- [6] M. Nassereddine, J. Rizk and M. Nagrial , “Analysis and performance of a Switched Reluctance Generator for wind energy Conversion”, School of Engineering, University of Western Sydney

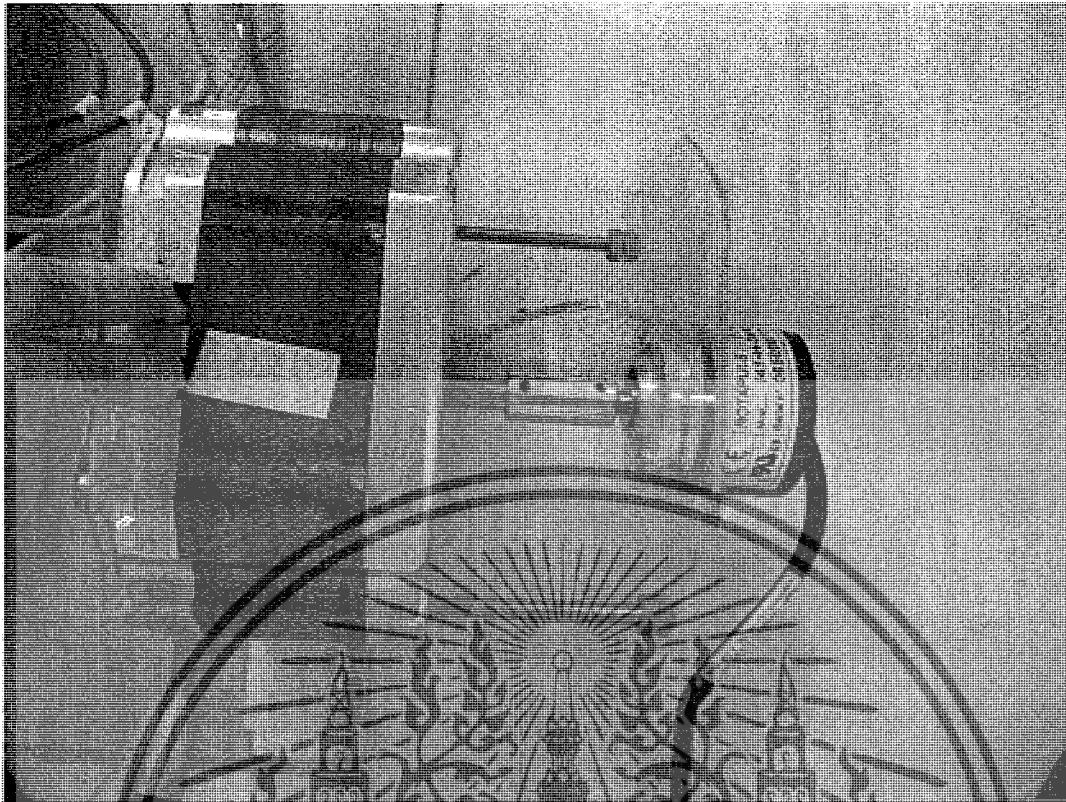
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



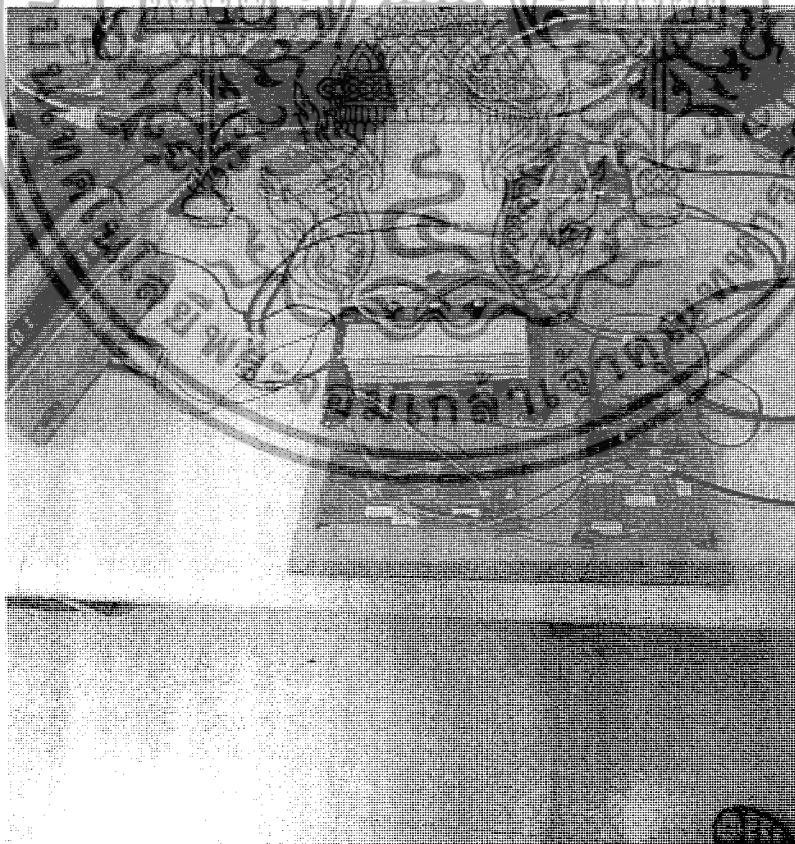
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

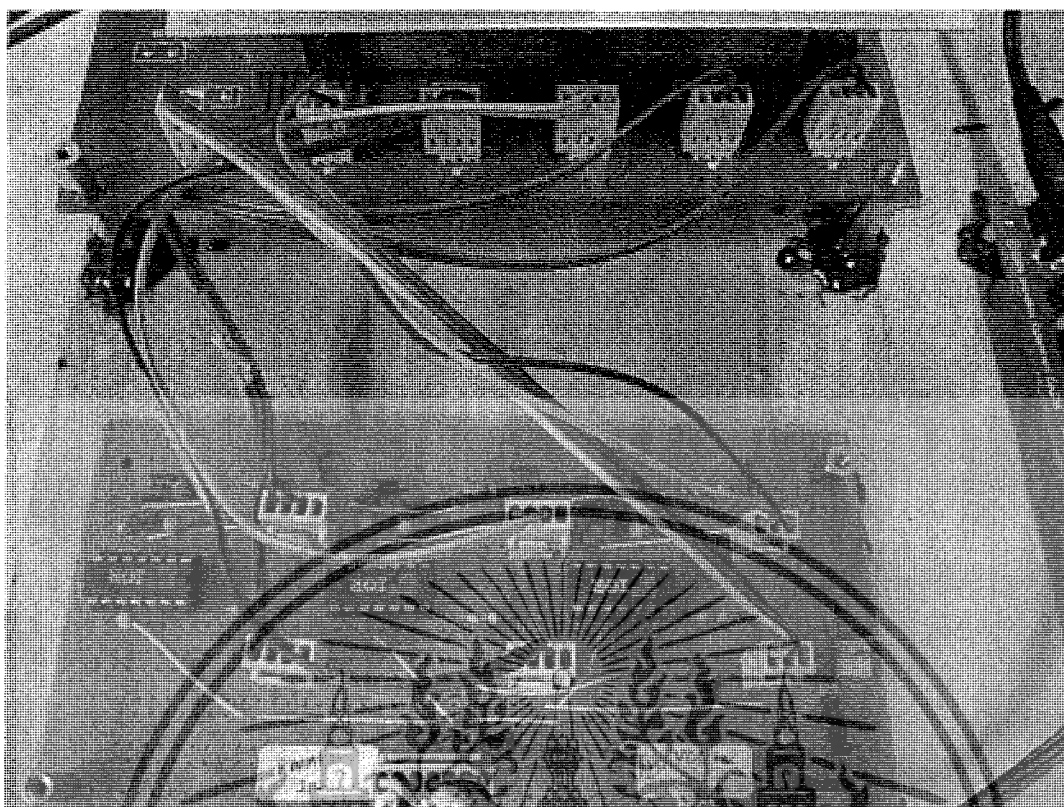


มอเตอร์ที่ติดตั้ง Encoder

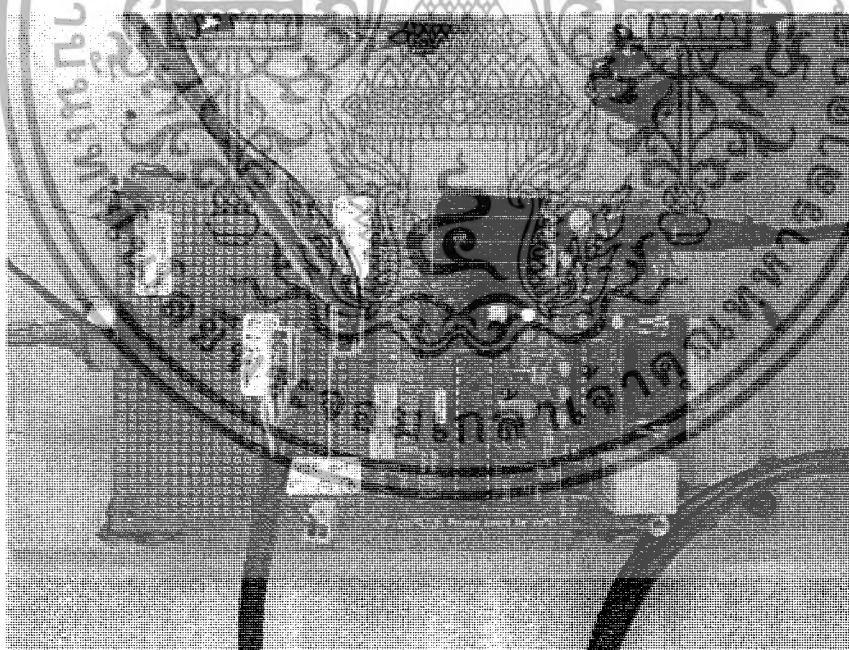


รูปชิ้นงานที่ต่อกับ DC Supply ขนาด 3A 60V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



วงจรมอเตอร์ที่เชื่อมต่อกับวงจรคอนโทรลเลอร์



บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



```

/* .....

SRM Controller
.....

Main program.
*/

#include "p30f2010.h"
#include "common.h"

_FOSC(CSW_FSCM_OFF & XT_PLL16); //Run this project using an external crystal
//routed via the PLL in 16x multiplier mode
//For the 7.3728 MHz crystal we will derive a
//throughput of  $7.3728e+6 \cdot 16/4 = 29.4$  MIPS(Fcy)
//,~33.9 nanoseconds instruction cycle time(Tcy).
_FWDT(WDT_OFF); //Turn off the Watch-Dog Timer.
_FBORPOR(MCLR_EN & PWRT_OFF); //Enable MCLR reset pin and turn off the
//power-up timers.
_FGS(CODE_PROT_OFF); //Disable Code Protection

#define enaRE0x2a

//for NO PWM
#define Phase1 0x03
#define Phase2 0x0c
#define Phase3 0x30

unsigned char FirstStart;

//ADC results value
extern unsigned int VR_input ;
extern unsigned int ACS_A ;
extern unsigned int ACS_B ;
extern unsigned int ACS_C ;

//Encoder results
extern unsigned int e_Angle ;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
unsigned int          Speed ;
```

```
unsigned int  ofA ;
```

```
unsigned int  ofB ;
```

```
unsigned int  ofC ;
```

```
unsigned int Control_Input ;
```

```
unsigned int NowSpeed          ;
```

```
void ControlByVR(void) // function of Vr input and PWM
{
    unsigned long j ;

    //1. read command from ADC of VR
    j = VR_input ;
    j = j*DUTY30 ;
    j = j/1023 ;
    if(j>DUTY30) j=DUTY30 ; //limit duty cycle to 30% maximum
    Control_Input=j;
    //-----

    PrintChar('R');PrintChar('='); PrintIntToStr(NowSpeed); PrintChar(';');
    PrintChar(' '); PrintChar('D');PrintChar('=');
    PrintIntToStr(Control_Input);PrintChar(';');

    //2. Set PWM dutycycle
    PDC1= Control_Input ; //PWM duty cycle of
Channel-1(A)
    PDC2= Control_Input ; //PWM duty cycle of
Channel-2(B)
    PDC3= Control_Input ; //PWM duty cycle of
Channel-3(C)
}
//Show results
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

PrintChar(' ');PrintChar(' ');PrintChar(';');
PrintChar('A');PrintIntToStr(ACS_A );PrintChar(' ');PrintChar(';'); //show
current flow of phase A
PrintChar('B');PrintIntToStr(ACS_B );PrintChar(' ');PrintChar(';'); //show
current flow of phase B
PrintChar('C');PrintIntToStr(ACS_C );PrintChar(';');
//show current flow of phase C
NextLine();
}

// function of ACS input and round speed
//use ACS current sensor feedback to CPU , try to regulate the current
void ControlByCurrent(void)
{
    unsigned long j;

    //read command from ADC of VR
    j = VR_input ;
    j = j*640 ;
    j=j/1023;
    j=j+536;
    Control_Input =j;
    if(Control_Input>640) Control_Input=640 ;//2.5A

    if(Control_Input<536) Control_Input=536 ;//0.8A

    PrintChar('R');PrintChar('='); PrintIntToStr(NowSpeed); PrintChar(';');

    /** if generator version, comment this section

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

PrintChar(' '); PrintChar('D'); PrintChar('=');
PrintIntToStr(Control_Input); PrintChar(';');

//Control current , feedback from ACS sensor

PrintString(" P1",4);
if(ACS_A<Control_Input)
{
    PDC1+=2; // 0x16FA=100%
    PrintChar('+');
}
if(ACS_A>Control_Input)
{
    if(PDC1) PDC1-=3; // 0x16FA=100%
    PrintChar('-');
}
PrintString(" P2",4);
if(ACS_B<Control_Input)
{
    PDC2+=2; //0x05BE;//
    PrintChar('+');
}
if(ACS_B>Control_Input)
{
    if(PDC2)PDC2-=3; //0x05BE;//

    PrintChar('-');
}

PrintString(" P3",4);
if(ACS_C<Control_Input)
{
    PDC3+=2; //0x05BE;//

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        PrintChar('+');
    }
    if(ACS_C>Control_Input)
    {
        if(PDC3>DUTY40) PDC3 = DUTY40 ;// 0x05BE;//

        PrintChar('-');
    }

    if(PDC1>DUTY40) PDC1 = DUTY40 ;// 0x16FA=100%
    if(PDC2>DUTY40) PDC2 = DUTY40 ;// 0x16FA=100%
    if(PDC3>DUTY40) PDC3 = DUTY40 ;// 0x16FA=100%

    /**/

    //Show results

    PrintChar(' ');PrintChar(' ');PrintChar(';');
    PrintChar('A');PrintIntToStr(ACS_A);PrintChar(' ');PrintChar(';'); //show
current flow of phase A
    PrintChar('B');PrintIntToStr(ACS_B);PrintChar(' ');PrintChar(';'); //show
current flow of phase B
    PrintChar('C');PrintIntToStr(ACS_C);PrintChar(' ');PrintChar(';');
    //show current flow of phase C
    NextLine();

}

void ControlByRound(void) // function of Vr input and round speed
{

```

```

    unsigned long j ;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//read command from ADC of VR
j      =      VR_input      ;
j      =      j*500          ;// max ADC value = 500rpm
Control_Input = j/1023      ;
if(Control_Input>500) Control_Input=500 ;

PrintChar('R'); PrintChar('='); PrintIntToStr(NowSpeed); PrintChar(';');
PrintChar(' '); PrintChar('D'); PrintChar('=');
PrintIntToStr(Control_Input); PrintChar(';');

//Control speed , feedback from ENCODER

if(NowSpeed<Control_Input)
{
    PDC1+=3;
    PDC2+=3;
    PDC3+=3;
    PrintChar('+');
}
else
{
    if(PDC1) PDC1-=5; ;
    if(PDC2) PDC2-=5; ;
    if(PDC3) PDC3-=5; ;
    PrintChar('-');
}

if(PDC1>DUTY30) PDC1 = DUTY30 ;// 0x16FA=100%
if(PDC2>DUTY30) PDC2 = DUTY30 ;// 0x16FA=100%
if(PDC3>DUTY30) PDC3 = DUTY30 ;// 0x16FA=100%

//Show results

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**PrintChar(' ');PrintChar(' ');PrintChar(';');**  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
PrintChar('A');PrintIntToStr(ACS_A );PrintChar(' ');PrintChar(';'); //show
current flow of phase A
```

```
PrintChar('B');PrintIntToStr(ACS_B );PrintChar(' ');PrintChar(';'); //show
current flow of phase B
```

```
PrintChar('C');PrintIntToStr(ACS_C );PrintChar(';');
//show current flow of phase C
NextLine();
```

```
}
```

```
void main(void)
```

```
{
```

```
unsigned long j ;
unsigned char i ;
unsigned char MOUT ;
unsigned char main_step ;
unsigned char roundC ;
unsigned char FORWARD ;

for(i=0;i<255;i++);

TRISDbits.TRISD0 = 0 ;//set RD0 is output: LED
PORTDbits.RD0 = 0 ;//LED-off

TRISDbits.TRISD1 = 1 ;//set RD1 is input: Direction,
0=backward 1=forward
```

```
//Output control
```

```
TRISEbits.TRISE0 = 0 ;//set RE3 is output: commutation
```

```
Phase 1
```

```
TRISEbits.TRISE2 = 0 ;//set RE5 is output: commutation
```

```
Phase 2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
TRISEbits.TRISE4 = 0 ;//set RE4 is output: commutation
```

Phase 3

```
//Output control
```

```
TRISEbits.TRISE1 = 0 ;//set RE3 is output: commutation
```

Phase 1H

```
TRISEbits.TRISE3 = 0 ;//set RE5 is output: commutation
```

Phase 2H

```
TRISEbits.TRISE5 = 0 ;//set RE4 is output: commutation
```

Phase 3H

```
Init_Timer1() ;
```

```
InitUART() ;
```

```
initPWM() ;
```

```
FirstStart=1;
```

```
ADC_Init() ;
```

```
//while(1)
```

```
{
```

```
T1_start(T1S) ;
```

```
FirstStart=1;
```

```
while(!T1_over());
```

```
NextLine();
```

```
NextLine();
```

```
PrintString("Initial ADC ",12);
```

```
PrintChar('A');PrintIntToStr(ACS_A );PrintChar(' ');PrintChar(';'); //show
```

current flow of phase A

```
PrintChar('B');PrintIntToStr(ACS_B );PrintChar(' ');PrintChar(';'); //show
```

current flow of phase B

```
PrintChar('C');PrintIntToStr(ACS_C );PrintChar(';');
```

```
//show current flow of phase C
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

NextLine();
NextLine();

ofA = ACS_A-536;
ofB = ACS_B-536;
ofC = ACS_C-536;

FirstStart=0;

//}

// ENCODER_Test() ;// when want to test the encoder and read
motor angle.

PrintString("-----",16);
NextLine();
PrintString("MOTOR Controller",16);
NextLine();
PrintString("START",5);
NextLine();
PrintString("-----",16);
NextLine();

//*****

//Initial Rotor position to Phase 1

PORTE = Phase1 ;//Phase 1 on
T1_start(T500mS) ;
while(!T1_over()) ;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

PORTE = Phase2      ;//Phase 1 on
T1_start(T500mS)    ;
while(!T1_over())   ;
PORTE = Phase2      ;//Phase 1 on

```

```

PORTE = Phase3      ;//Phase 1 on
T1_start(T500mS)    ;
while(!T1_over())   ;

```

```

PORTE = Phase1      ;//Phase 1 on
T1_start(T1S)       ;
while(!T1_over())   ;

//Initial Encodr
initENCODER();//initial encoder

//
//      flag_firstRun=1;
//      ENCODER=0;
//      POSCNT=0;
//      e_Angle=0;
//      A_Pulse   =   1   ;
//      if(PORTBbits.RB4==0) A_Pulse=0;

//-----

```

```

T1_start(T1S)       ;
while(!T1_over())   ;
PORTE=0;//

```

```

//*****

```

```

T1_start(T1S);
while(!T1_over()) ;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

T1_start(T250mS);

//Check direction from on board jumper
FORWARD=1;
if(PORTDbits.RD1==0)    FORWARD=0;

roundC=0;
NowSpeed=0;
T2_start(10);

T1_start(T1S)    ;

while(1)
{
calculate
    //1. Check Speed (rpm) , kept dif of angle every 20mS and
    if(T2_over())
    {
        T2_start(10); //20mS timer

        if(POSCNT == Speed) NowSpeed=0;
        if(POSCNT > Speed) NowSpeed = POSCNT - Speed;
        if(POSCNT < Speed)
        {
            NowSpeed = 720-Speed;
            NowSpeed=NowSpeed+POSCNT;
        }

        j=NowSpeed;
        j=j*3000;
        j=j/720;
        NowSpeed=j;
        Speed=POSCNT;
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## //2. Control scheme

if(T1\_over())

{

T1\_start(T250mS) ;

roundC++;

if(roundC&gt;4)//every 1 second

{

roundC=0;

//2.1 Select control law

//ControlByVR() ; //

Open loop control,

ControlByCurrent() ; //

Close loop

control, feedback by current sensor

// ControlByRound() ; //

Close loop

control, feedback by round speed measurement from encoder

} //\*/

//3. Encoder check

chk\_ENC();

//4. Phase control

MOUT=0;

if(FORWARD)

{

//FORWARD NEW

// if( e\_Angle&gt;0)&amp;&amp;(e\_Angle&lt;30) //Gen

if( e\_Angle&gt;230)&amp;&amp;(e\_Angle&lt;351) //motor

{

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOUT |= Phase1;//GEN
PWMCON1bits.PEN1H=1;//PWMxH pin is enabled for PWM output
PWMCON1bits.PEN2H=0;//PWMxH pin is enabled for PWM output
PWMCON1bits.PEN3H=0;//PWMxH pin is enabled for PWM output
// PWMCON1bits.PEN1L=0;//PWMxH pin is enabled for PWM output
// PWMCON1bits.PEN2L=1;//PWMxH pin is enabled for PWM output
// PWMCON1bits.PEN3L=0;//PWMxH pin is enabled for PWM output
}

```

```

// if( (e_Angle>119)&&(e_Angle<151) )//gen
if ((e_Angle>350)||e_Angle<111)//motor
{
MOUT |= Phase2;//GEN
PWMCON1bits.PEN1H=0;//PWMxH pin is enabled for PWM output
PWMCON1bits.PEN2H=1;//PWMxH pin is enabled for PWM output
PWMCON1bits.PEN3H=0;//PWMxH pin is enabled for PWM output
// PWMCON1bits.PEN1L=0;//PWMxH pin is enabled for PWM output
// PWMCON1bits.PEN2L=0;//PWMxH pin is enabled for PWM output
// PWMCON1bits.PEN3L=1;//PWMxH pin is enabled for PWM output
}

// if( (e_Angle>239)&&(e_Angle<271) ) //gen
if( (e_Angle>110)&&(e_Angle<231) ) //motor
{

```

```

MOUT |= Phase3;//GEN
PWMCON1bits.PEN1H=0;//PWMxH pin is enabled for PWM output
PWMCON1bits.PEN2H=0;//PWMxH pin is enabled for PWM output
PWMCON1bits.PEN3H=1;//PWMxH pin is enabled for PWM output
// PWMCON1bits.PEN1L=1;//PWMxH pin is enabled for PWM output
// PWMCON1bits.PEN2L=0;//PWMxH pin is enabled for PWM output
// PWMCON1bits.PEN3L=0;//PWMxH pin is enabled for PWM output

```

```

    }

    }

    else
    {

        //BACKWARD NEW
        if(e_Angle<11)
MOUT |= Phase3;//0-10

        if( (e_Angle>10)&&(e_Angle<111) ) MOUT |= Phase1;//11-110

        if( (e_Angle>110)&&(e_Angle<231) ) MOUT |= Phase2;//111-230

        if( (e_Angle>230)&&(e_Angle<361) ) MOUT |= Phase3;// 231-360
    }
    PORTE = MOUT;
}
}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค.

DataSheet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## IR2110(s)/IR2113(s) & (PbF)

### HIGH AND LOW SIDE DRIVER

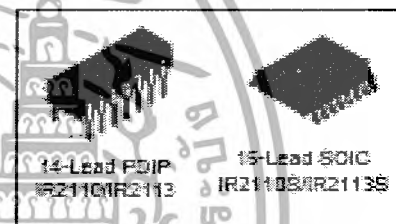
#### Features

- Floating channel designed for bootstrap operation Fully operational to  $\pm 500\text{V}$  or  $\pm 600\text{V}$   
Tolerant to negative transient voltage  
dV/dt Immune
- Gate drive supply range from 10 to 20V
- Undervoltage lockout for both channels
- 3.3V logic compatible  
Separate logic supply range from 3.3V to 20V  
Logic and power ground  $\pm 5\text{V}$  offset
- CMOS Schmitt-triggered inputs with pull-down
- Cycle by cycle edge-triggered shutdown logic
- Matched propagation delay for both channels
- Outputs in phase with inputs
- Also available LEAD-FREE

#### Product Summary

V <sub>OFFSET</sub> (IR2110)	500V max.
(IR2113)	600V max.
I <sub>O+-</sub>	2A / 2A
V <sub>OUT</sub>	10 - 20V
t <sub>on/off</sub> (typ.)	120 & 94 ns
Delay Matching (IR2110)	10 ns max.
(IR2113)	20ns max.

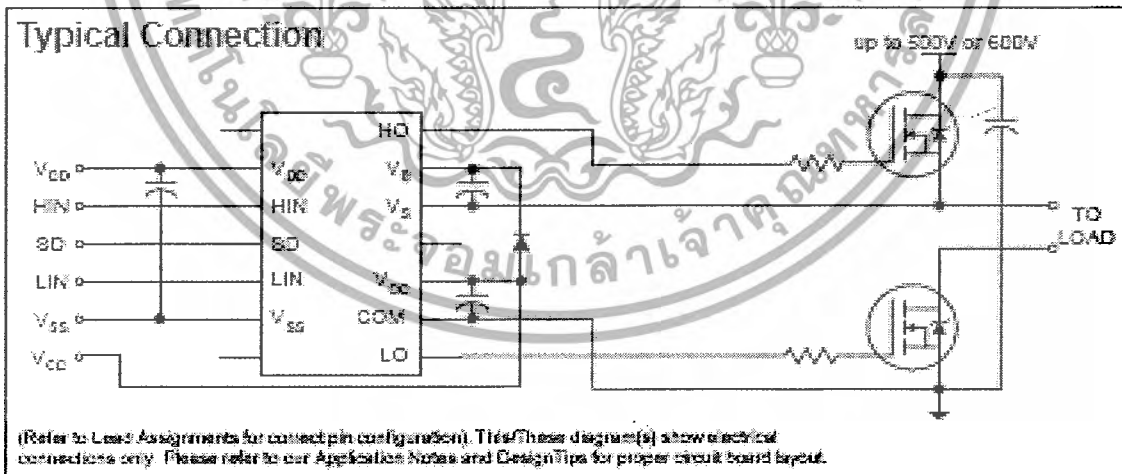
#### Packages



#### Description

The IR2110/IR2113 are high voltage, high speed power MOSFET and IGBT drivers with independent high and low side referenced output channels. Proprietary HVIC and latch immune CMOS technologies enable ruggedized monolithic construction. Logic inputs are compatible with standard CMOS or LSTTL output, down to 3.3V logic. The output drivers feature a high pulse current buffer stage designed for minimum driver cross-conduction. Propagation delays are matched to simplify use in high frequency applications. The floating channel can be used to drive an N-channel power MOSFET or IGBT in the high side configuration which operates up to 500 or 600 volts.

#### Typical Connection



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MUR1510, MUR1515, MUR1520, MUR1540, MUR1560

Preferred Devices

## SWITCHMODE™ Power Rectifiers

... designed for use in switching power supplies, inverters and as free wheeling diodes, these state-of-the-art devices have the following features:

- Ultrafast 35 and 60 Nanosecond Recovery Time
- 175°C Operating Junction Temperature
- Popular TO-220 Package
- High Voltage Capability to 600 Volts
- Low Forward Drop
- Low Leakage Specified @ 150°C Case Temperature
- Current Derating Specified @ Both Case and Ambient Temperatures

### Mechanical Characteristics:

- Case: Epoxy, Molded
- Weight: 1.9 grams (approximately)
- Finish: All External Surfaces Corrosion Resistant and Terminal Leads are Readily Solderable
- Lead Temperature for Soldering Purposes: 260°C Max. for 10 Seconds
- Shipped 50 units per plastic tube
- Marking: U1510, U1515, U1520, U1540, U1560

### MAXIMUM RATINGS

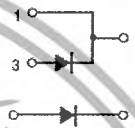
Please See the Table on the Following Page



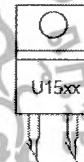
ON Semiconductor™

<http://onsemi.com>

**ULTRAFAST  
RECTIFIERS  
15 AMPERES  
100-600 VOLTS**



MARKING DIAGRAM



TO-220AC  
CASE 221B  
PLASTIC

U15xx = Device Code  
xx = 10, 15, 20,  
40 or 60

### ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping
MUR1510	TO-220	50 Units/Rail
MUR1515	TO-220	50 Units/Rail
MUR1520	TO-220	50 Units/Rail
MUR1540	TO-220	50 Units/Rail
MUR1560	TO-220	50 Units/Rail

Preferred devices are recommended choices for future use and best overall value.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ACS712

### Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

#### Features and Benefits

- Low-noise analog signal path
- Device bandwidth is set via the new FILTER pin
- 5  $\mu$ s output rise time in response to step input current
- 50 kHz bandwidth
- Total output error 1.5% at  $T_A = 25^\circ\text{C}$ , and 4% at  $-40^\circ\text{C}$  to  $85^\circ\text{C}$
- Small footprint, low-profile SOIC8 package
- 1.2 m $\Omega$  internal conductor resistance
- 2.1 kV<sub>RMS</sub> minimum isolation voltage from pins 1-4 to pins 5-8
- 5.0 V, single supply operation
- 66 to 185 mV/A output sensitivity
- Output voltage proportional to AC or DC currents
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Nearly zero magnetic hysteresis
- Ratiometric output from supply voltage

Package: 8 pin SOIC (suffix LC)



Approximate Scale 1:1

#### Description

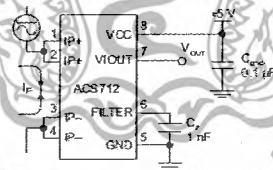
The Allegro<sup>®</sup> ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, automotive, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switched-mode power supplies, and overcurrent fault protection.

The device consists of a precise, low-offset, linear Hall sensor circuit with a copper conduction path located near the surface of the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which is sensed by the integrated Hall IC and converted into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy after packaging.

The output of the device has a positive slope ( $\rightarrow V_{\text{IOUT}}(Q)$ ) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from pins 1 and 2, to pins 3 and 4), which is the path used for current sensing. The internal resistance of this conductive path is 1.2 m $\Omega$  typical, providing low power

*Continued on the next page...*

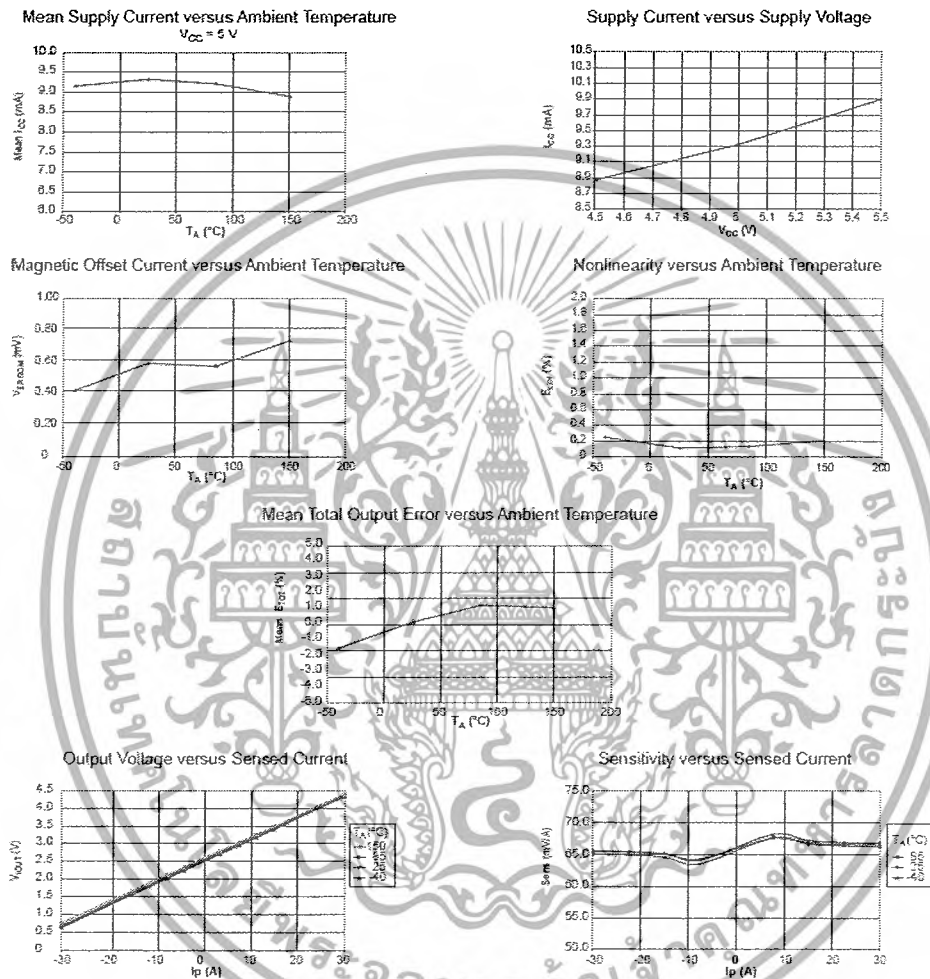
#### Typical Application



Application 1: The ACS712 outputs an analog signal,  $V_{\text{OUT}}$ , that varies linearly with the uni- or bi-directional AC or DC primary sensed current,  $I_p$ , within the range specified.  $C_F$  is recommended for noise management, with values that depend on the application.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with  
2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current ConductorCharacteristic Performance  
 $I_p = 30\text{ A}$ , Sens = 66 mV/A unless otherwise specified

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# dsPIC30F2010

## 28-Pin dsPIC30F2010 Enhanced Flash 16-Bit Digital Signal Controller

**Note:** This data sheet summarizes features of this group of dsPIC30F devices and is not intended to be a complete reference source. For more information on the CPU, peripherals, register descriptions and general device functionality, refer to the "dsPIC30F Family Reference Manual" (DS70046). For more information on the device instruction set and programming, refer to the "dsPIC30F/33F Programmer's Reference Manual" (DS70157).

### High-Performance Modified RISC CPU:

- Modified Harvard architecture
- C compiler optimized instruction set architecture
- 83 base instructions with flexible addressing modes
- 24-bit wide instructions, 16-bit wide data path
- 12 Kbytes on-chip Flash program space
- 512 bytes on-chip data RAM
- 1 Kbyte nonvolatile data EEPROM
- 16 x 16-bit working register array
- Up to 30 MIPS operation:
  - DC to 40 MHz external clock input
  - 4 MHz-10 MHz oscillator input with PLL active (4x, 8x, 16x)
- 27 interrupt sources
- Three external interrupt sources
- 8 user-selectable priority levels for each interrupt
- 4 processor exceptions and software traps

### DSP Engine Features:

- Modulo and Bit-Reversed modes
- Two 40-bit wide accumulators with optional saturation logic
- 17-bit x 17-bit single-cycle hardware fractional/integer multiplier
- Single-cycle Multiply-Accumulate (MAC) operation
- 40-stage Barrel Shifter
- Dual data fetch

### Peripheral Features:

- High current sink/source I/O pins: 25 mA/25 mA
- Three 16-bit timers/counters; optionally pair up 16-bit timers into 32-bit timer modules
- Four 16-bit capture input functions
- Two 16-bit compare/PWM output functions
  - Dual Compare mode available
- 3-wire SPI modules (supports 4 Frame modes)
- I<sup>2</sup>C™ module supports Multi-Master/Slave mode and 7-bit/10-bit addressing
- Addressable UART modules with FIFO buffers

### Motor Control PWM Module Features:

- 6 PWM output channels
  - Complementary or Independent Output modes
  - Edge and Center-Aligned modes
- 4 duty cycle generators
- Dedicated time base with 4 modes
- Programmable output polarity
- Dead-time control for Complementary mode
- Manual output control
- Trigger for synchronized A/D conversions

### Quadrature Encoder Interface Module Features:

- Phase A, Phase B and Index Pulse input
- 16-bit up/down position counter
- Count direction status
- Position Measurement (x2 and x4) mode
- Programmable digital noise filters on inputs
- Alternate 16-bit Timer/Counter mode
- Interrupt on position counter rollover/underflow

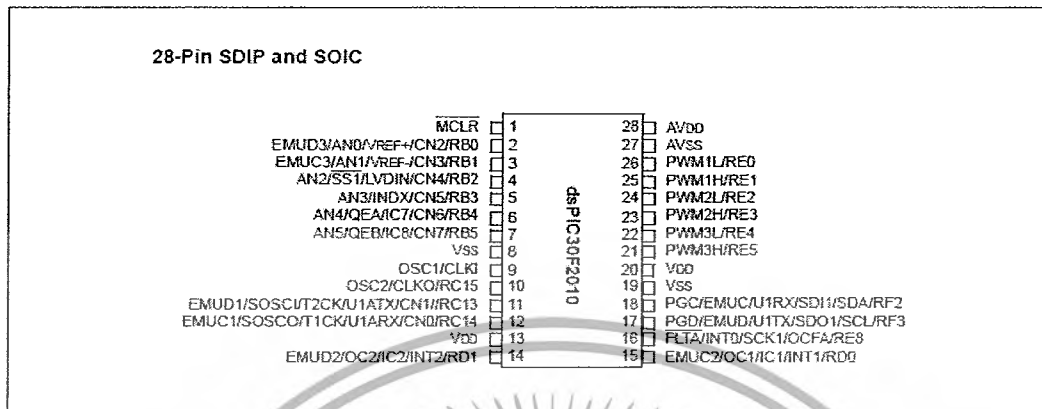
### Analog Features:

- 10-bit Analog-to-Digital Converter (ADC) with:
  - 1 Msps (for 10-bit A/D) conversion rate
  - Six input channels
  - Conversion available during Sleep and Idle
- Programmable Brown-out Reset

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## dsPIC30F2010

## Pin Diagrams



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# dsPIC30F2010

Table 1-1 provides a brief description of device I/O pinouts and the functions that may be multiplexed to a port pin. Multiple functions may exist on one port pin. When multiplexing occurs, the peripheral module's functional requirements may force an override of the data direction of the port pin.

**TABLE 1-1: PINOUT I/O DESCRIPTIONS**

Pin Name	Pin Type	Buffer Type	Description
AN0-AN5	I	Analog	Analog input channels.
AVDD	P	P	Positive supply for analog module.
AVSS	P	P	Ground reference for analog module.
CLKI	I	ST/CMOS	External clock source input. Always associated with OSC1 pin function.
CLKO	O	—	Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode. Optionally functions as CLKO in RC and EC modes. Always associated with OSC2 pin function.
CN0-CN7	I	ST	Input change notification inputs. Can be software programmed for internal weak pull-ups on all inputs.
EMUD	I/O	ST	ICD Primary Communication Channel data input/output pin.
EMUC	I/O	ST	ICD Primary Communication Channel clock input/output pin.
EMUD1	I/O	ST	ICD Secondary Communication Channel data input/output pin.
EMUC1	I/O	ST	ICD Secondary Communication Channel clock input/output pin.
EMUD2	I/O	ST	ICD Tertiary Communication Channel data input/output pin.
EMUC2	I/O	ST	ICD Tertiary Communication Channel clock input/output pin.
EMUD3	I/O	ST	ICD Quaternary Communication Channel data input/output pin.
EMUC3	I/O	ST	ICD Quaternary Communication Channel clock input/output pin.
IC1, IC2, IC7, IC8	I	ST	Capture inputs. The dsPIC30F2010 has 4 capture inputs. The inputs are numbered for consistency with the inputs on larger device variants.
INDX	I	ST	Quadrature Encoder Index Pulse input.
QEA	I	ST	Quadrature Encoder Phase A input in QEI mode.
QEB	I	ST	Auxiliary Timer External Clock/Gate input in Timer mode. Quadrature Encoder Phase A input in QEI mode. Auxiliary Timer External Clock/Gate input in Timer mode.
INT0	I	ST	External interrupt 0
INT1	I	ST	External interrupt 1
INT2	I	ST	External interrupt 2
FLTA	I	ST	PWM Fault A input
PWM1L	O	—	PWM 1 Low output
PWM1H	O	—	PWM 1 High output
PWM2L	O	—	PWM 2 Low output
PWM2H	O	—	PWM 2 High output
PWM3L	O	—	PWM 3 Low output
PWM3H	O	—	PWM 3 High output
MCLR	I/P	ST	Master Clear (Reset) input or programming voltage input. This pin is an active-low Reset to the device.
OCFA	I	ST	Compare Fault A input (for Compare channels 1, 2, 3 and 4).
OC1-OC2	O	—	Compare outputs.
OSC1	I	ST/CMOS	Oscillator crystal input. ST buffer when configured in RC mode; CMOS otherwise.
OSC2	I/O	—	Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode. Optionally functions as CLKO in RC and EC modes.

**Legend:** CMOS = CMOS compatible input or output      Analog = Analog input  
 ST = Schmitt Trigger input with CMOS levels      O = Output  
 I = Input      P = Power

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**FAIRCHILD**  
SEMICONDUCTOR\*

IRF740

Data Sheet

January 2002

### 10A, 400V, 0.550 Ohm, N-Channel Power MOSFET

This N-Channel enhancement mode silicon gate power field effect transistor is an advanced power MOSFET designed, tested, and guaranteed to withstand a specified level of energy in the breakdown avalanche mode of operation. All of these power MOSFETs are designed for applications such as switching regulators, switching converters, motor drivers, relay drivers, and drivers for high power bipolar switching transistors requiring high speed and low gate drive power. They can be operated directly from integrated circuits.

Formerly developmental type TA17424.

### Ordering Information

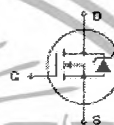
PART NUMBER	PACKAGE	BRAND
IRF740	TO-220AB	IRF740

NOTE: When ordering, include the entire part number.

### Features

- 10A, 400V
- $r_{DS(ON)} = 0.550\Omega$
- Single Pulse Avalanche Energy Rated
- SOA Is Power Dissipation Limited
- Nanosecond Switching Speeds
- Linear Transfer Characteristics
- High Input Impedance
- Related Literature
  - TB324 "Guidelines for Soldering Surface Mount Components to PC Boards"

### Symbol



### Packaging

JEDEC TO-220AB  
TOP VIEW



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRF740

Absolute Maximum Ratings  $T_C = 25^\circ\text{C}$ , Unless Otherwise Specified

	IRF740	UNITS
Drain to Source Voltage (Note 1).....	400	V
Drain to Gate Voltage ( $R_{GS} = 20k\Omega$ ) (Note 1).....	400	V
Continuous Drain Current.....	10	A
$T_C = 100^\circ\text{C}$ .....	8.5	A
Fused Drain Current (Note 5).....	40	A
Gate to Source Voltage.....	$\pm 20$	V
Maximum Power Dissipation.....	125	W
Linear Derating Factor.....	1.0	W/ $^\circ\text{C}$
Single Pulse Avalanche Energy Rating (Note 4).....	520	mJ
Operating and Storage Temperature.....	-55 to 150	$^\circ\text{C}$
Maximum Temperature for Soldering Leads at 0.031in (1.6mm) from Case for 10s.....	300	$^\circ\text{C}$
Package Body for 10s, See Technical 934.....	250	$^\circ\text{C}$

CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

NOTE:

1.  $T_J = 25^\circ\text{C}$  to  $125^\circ\text{C}$ .

Electrical Specifications  $T_C = 25^\circ\text{C}$ , Unless Otherwise Specified

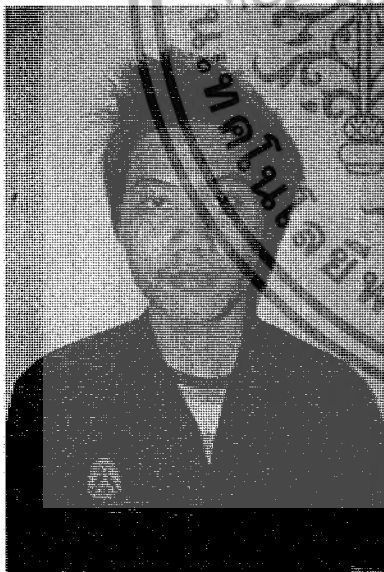
PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Drain to Source Breakdown Voltage	$BV_{DSS}$	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu\text{A}$ (Figure 10)	400	-	-	V
Gate to Threshold Voltage	$V_{GS(TH)}$	$V_{DS} = V_{DS}, I_D = 250\mu\text{A}$	2.0	-	4.0	V
Zero Gate Voltage Drain Current	$I_{DSS}$	$V_{DS} = \text{Rated } BV_{DSS}, V_{GS} = 0V$	-	-	25	$\mu\text{A}$
		$V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}, V_{GS} = 0V, T_J = 125^\circ\text{C}$	-	-	250	$\mu\text{A}$
On-State Drain Current (Note 2)	$I_{D(ON)}$	$V_{DS} = I_{D(ON)} \times R_{DS(on)}$	10	-	-	A
Gate to Source Leakage Current	$I_{GSS}$	$V_{GS} = \pm 20V$	-	-	$\pm 500$	nA
Drain to Source On-Resistance (Note 2)	$R_{DS(ON)}$	$V_{GS} = 10V, I_D = 5.2A$ (Figure 8, 9)	-	0.47	0.550	$\Omega$
Forward Transconductance (Note 2)	$g_{fs}$	$V_{DS} \geq 50V, I_D = 5.2A$ (Figure 12)	5.8	8.0	-	S
Turn-On Delay Time	$t_{D(on)}$	$V_{GS} = 20V, I_D = 10A, R_G = 0.1\Omega, R_L = 20\Omega, V_{DS} = 10V$	-	15	24	ns
Rise Time	$t_r$	MOSFET Switching Times are Essentially Independent of Operating Temperature	-	25	41	ns
Turn-Off Delay Time	$t_{D(off)}$		-	32	75	ns
Fall Time	$t_f$		-	25	38	ns
Total Gate Charge (Gate to Source + Gate to Drain)	$Q_{g(TOT)}$	$V_{GS} = 10V, I_D = 10A, V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}, I_{G(FET)} = 1.5\text{mA}$ (Figure 14)	-	41	83	nC
Gate to Source Charge	$Q_{gs}$	Gate Charge is Essentially Independent of Operating Temperature	-	8.5	-	nC
Gate to Drain "Miller" Charge	$Q_{gd}$		-	25	-	nC
Input Capacitance	$C_{iss}$	$V_{GS} = 0V, V_{DS} = 25V, f = 1.0\text{MHz}$ (Figure 11)	-	1250	-	pF
Output Capacitance	$C_{oss}$		-	300	-	pF
Reverse-Transfer Capacitance	$C_{res}$		-	80	-	pF
Internal Drain Inductance	$L_D$	Measured From the Contact Screw on Tab to Center of Die	-	3.5	-	nH
		Measured From the Drain Lead, 6mm (0.25in) From Package to Center of Die	-	4.5	-	nH
Internal Source Inductance	$L_S$	Measured From the Source Lead, 6mm (0.25in) From Header to Source Bonding Pad	-	7.5	-	nH
Thermal Resistance Junction to Case	$R_{\theta JC}$		-	-	1.0	$^\circ\text{C/W}$
Thermal Resistance Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	Free Air Operation	-	-	62.5	$^\circ\text{C/W}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ประวัติผู้แต่ง



นายปธานันท์ ชลสินธุ์สงครามชัย เกิดเมื่อวันที่ 9 มกราคม 2530 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายจาก โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า จังหวัดกรุงเทพมหานคร เข้าศึกษาที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังในปี 2548 ความสามารถทางคอมพิวเตอร์และการใช้ โปรแกรม MPLAB IDE , Ms-office , Internet & E-mail ฝึกงานที่บริษัท ธิรไทย จำกัด(มหาชน) ระหว่าง เดือน เมษายน ถึง พฤษภาคม 2551  
E-mail : behotwing@hotmail.com



นายชนาสิน สักดิ์สุนทรศิริ เกิดเมื่อวันที่ 19 พฤศจิกายน 2529 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายจาก โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า จังหวัดกรุงเทพมหานคร เข้าศึกษาที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังในปี 2548 ฝึกงานที่บริษัท Kindenko Thailand ระหว่างเดือน เมษายน ถึง พฤษภาคม 2551  
Email : romafc07@hotmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้