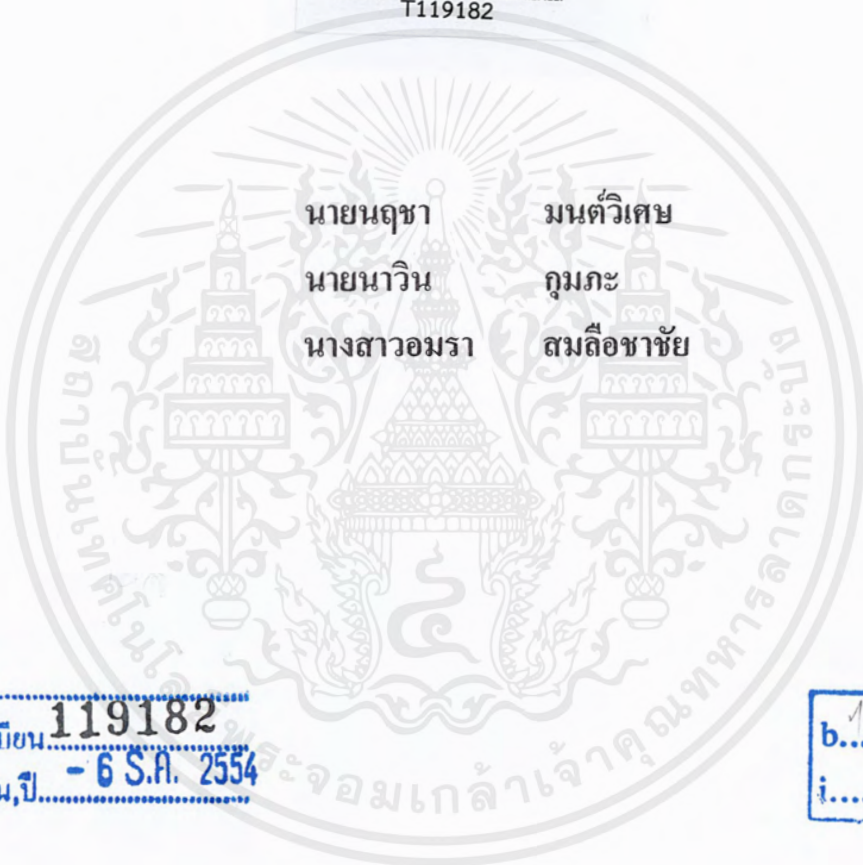


จักรยานยนต์ไฟฟ้า

Electric Motorcycle



T119182



นายนฤชา มนต์วิเศษ
นายนาวิน กุมภะ
นางสาวอมรา สมลือชาชัย

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **119182**
วัน,เดือน,ปี - 6 S.ค. 2554

b. 10.06.2553
i.

ปฏิญญานិพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electric Motorcycle



**THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHATRONICS ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2010**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2553

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า
Electric Motorcycle

ผู้จัดทำ	นายณฤชา มนต์วิเศษ	รหัส 50010771
	นายนาวิน กุมภะ	รหัส 50010811
	นางสาวอมรา สมลือชาชัย	รหัส 50011879


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์สองเมือง นันทขว้าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

โดย

นายนฤชา มนต์วิเศษ รหัส 50010771
 นายนาวิน กุมภะ รหัส 50010811
 นางสาวอมรา สมลือชาชัย รหัส 50011879

อาจารย์ที่ปรึกษา
 อาจารย์สองเมือง นันทขว้าง

ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการศึกษา ขั้นตอนการสร้าง และออกแบบรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าซึ่งมีจุดมุ่งหมายในการศึกษา และนำความรู้ด้านวิศวกรรมระบบควบคุมไปใช้ในการสร้างรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า โดยทำการดัดแปลงรถจักรยานยนต์ทั่วไปให้เป็นรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านชนิดสามเฟสเป็นตัวขับเคลื่อนรถจักรยานยนต์ เพื่อทดแทนการใช้เครื่องยนต์ รวมถึงออกแบบระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านชนิดสามเฟส เพื่อทำการวัดสัญญาณที่ Hall Sensor และใช้เป็นเงื่อนไขในการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เพื่อให้มอเตอร์สามารถขับเคลื่อนรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าได้ต่อไป นอกจากนี้ยังทำการวัดแรงดันไฟฟ้าในแต่ละเฟส ขณะที่ทำการขับเคลื่อน เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของรูปสัญญาณเปรียบเทียบกับทฤษฎีด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electric Motorcycle

By

Mr.Naruecha

Monvised

Mr.Nawin

Kumpa

Miss Ammara

Somluechachai

Thesis advisor

Mr.Songmoung

Nundrakwang

Academic Year 2010

ABSTRACT

This thesis present the design and implementation produce of the electric motorcycle. The objective is studying and utilizing the knowledge of control engineer to create the electric motorcycle by convert a typical motorcycle to electric motorcycle and the engine has been replaced with brushless DC motor. The systems which drive motor has been created to measuring Hall sensor for condition of feeding current to brushless DC motor that have the electric motorcycle drive. Including measure voltage in each phase while the motor driving for inspect of waveform to compare with theory.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิติกรรมประกาศ

การจัดทำปฏิญานិพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีก็เพราะได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก อ.สองเมือง นันทขว้าง, ห้อง work shop ภาควิชาเครื่องกล, ห้อง PCC LAB รวมถึงรุ่นพี่ปริญญาโททุกท่านที่ได้กรุณาให้คำแนะนำที่ดีมาโดยตลอด รวมถึงเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ที่จำเป็น และความช่วยเหลืออื่น ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอบพระคุณเป็นอย่างสูง และขอบคุณเพื่อนทุก ๆ คนที่เป็นกำลังใจให้ ช่วยสนับสนุนอุปกรณ์ที่ขาดเหลือ กระตุ้นเตือน รวมถึงถามความคืบหน้าของโครงการอยู่เสมอ สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา รวมถึงสนับสนุนเรื่องงบประมาณต่าง ๆ ตลอดจนเป็นแรงบันดาลใจที่ดีที่สุดที่ทำให้โครงการนี้สำเร็จอย่างสมบูรณ์ลงได้

คณะผู้จัดทำ

นายนฤชา มนต์วิเศษ

นายนาวิน กุมภะ

นางสาวอมรา สมลือชาชัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 กล่าวนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์	3
1.3 ขั้นตอนการศึกษาและจัดทำโครงการ	4
1.4 ตารางการทำงานภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2553	4
1.5 แผนการทำโครงการภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2553	5
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 หลักการพื้นฐานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน	6
2.2 โครงสร้างและหลักการทำงาน	6
2.3 สเตเตอร์	7
2.4 โรเตอร์	9
2.5 Hall Sensors	10
2.6 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน	11
2.7 ลำดับในการคอมมิวเตชัน	13
2.8 MOSFET (Metal Oxide Semiconductor FET)	16
2.9 ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบและโครงสร้าง	
3.1 งานด้านโครงสร้าง	33
3.2 สถาปัตยกรรมภายในที่ใช้การประมวลผลของdsPIC4011	37
3.3 วงจรและการขับเคลื่อนมอเตอร์ชนิดไร้แปรงถ่าน	43
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
ผลการทดลอง	49
สรุปผลการทดลอง	54
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป	
สรุป	55
ปัญหาที่พบ	55
วิธีแก้ไข	56
เอกสารอ้างอิง	57
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก โปรแกรมภาษา C	59
ภาคผนวก ข เอกสารคู่มืออุปกรณ์ที่ใช้	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 ภาพรถจักรยานยนต์ที่จะนำมาดัดแปลงเป็นรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า	2
รูปที่ 1.2 แผนผังการทำงานของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า	3
รูปที่ 2.1 แสดงสเตรเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน	8
รูปที่ 2.2 แสดงสัญญาณ Back EMF แบบ Trapezoidal	8
รูปที่ 2.3 แสดงสัญญาณ Back EMF แบบ Sinusoidal	8
รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะการจัดวางตำแหน่งของแม่เหล็กโรเตอร์แบบต่างๆ	9
รูปที่ 2.5 แสดงภาพตัดด้านข้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน	10
รูปที่ 2.6 แสดงวงจรขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน	12
รูปที่ 2.7 แสดงตัวอย่างของสัญญาณ Hall Sensors, Back EMF แรงบิดทาง output และกระแสเฟส	13
รูปที่ 2.8 แสดงลำดับของการจ่ายกระแสให้กับขดลวด	14
รูปที่ 2.9 แสดงวงจรของการควบคุม	14
รูปที่ 2.10 โครงสร้างสัญลักษณ์วงจรพื้นฐาน	16
รูปที่ 2.11 กราฟลักษณะการ โอนย้ายกราฟลักษณะด้านแคเรน	17
รูปที่ 2.12 การทำงานใน Depletion - Mode	17
รูปที่ 2.13 การทำงานใน Enhancement - Mode	18
รูปที่ 2.14 โครงสร้างสัญลักษณ์และวงจรพื้นฐาน	19
รูปที่ 2.15 กราฟลักษณะสมบัติการ โอนย้ายและกราฟลักษณะสมบัติด้านแคเรน	19
รูปที่ 2.16 DSP engine ของ dsPIC30F4011	22
รูปที่ 2.17 DSP engine ของ dsPIC30F4011	23
รูปที่ 2.18 โครงสร้างการใช้พอร์ตร่วมใน dsPIC30F4011	25
รูปที่ 2.19 บล็อกไดอะแกรมแจ้งเตือนการเปลี่ยนแปลงของอินพุตใน dsPIC30F4011	26
รูปที่ 2.20 บล็อกไดอะแกรมของไทเมอร์แบบ A ใน dsPIC30F4011	27
รูปที่ 2.21 บล็อกไดอะแกรมภาคจับอินพุตใน dsPIC30F4011	29
รูปที่ 2.22 แสดงอีเวนต์ที่เกิดขึ้นจาก โหมคจับอินพุตแต่ละแบบ	29
รูปที่ 2.23 บล็อกไดอะแกรมตัวเปรียบเทียบเอาต์พุตใน dsPIC30F4011	30
รูปที่ 2.24 การเปรียบเทียบเอาต์พุตเพื่อสร้างสัญญาณ PWM	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.1 แสดงภาพก่อน หลังการถอดเครื่องยนต์ (a) ก่อนถอด (b) หลังถอด	33
รูปที่ 3.2 แสดงแบบ โครงรถจักรยานยนต์	34
รูปที่ 3.3 แสดงแบบจำลองอุปกรณ์ชุดยืมมอเตอร์	35
รูปที่ 3.4 แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ชุดยืมมอเตอร์กับ โครงรถ	35
รูปที่ 3.5 การประกอบมอเตอร์กับชุดอุปกรณ์ยืมมอเตอร์(a)ด้านหน้า (b) ด้านหลัง	36
รูปที่ 3.6 แสดงตำแหน่งที่ต้องใส่บูสท์	36
รูปที่ 3.7 แสดงตัวรถจักรยานยนต์เมื่อประกอบอุปกรณ์ชุดยืมมอเตอร์กับตัวถังเรียบร้อยแล้ว	36
รูปที่ 3.8 ไดอะแกรมของการทำงานของโมดูล MCPWM ในไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้	37
รูปที่ 3.9 ตัวอย่างการนำเอาที่พูดของ โมดูล MCPWM ในไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้	38
รูปที่ 3.10 ไดอะแกรมการทำงานของส่วนกำเนิดช่วงเวลาวิกฤตของแต่ละคู่วงจรเอาต์พุต ในโมดูล MCPWM	40
รูปที่ 3.11 ไดอะแกรมเวลาของการกำหนดช่วงเวลาวิกฤตลงในเอาต์พุตของ โมดูล MCPWM	41
รูปที่ 3.12 แสดงการกำหนดช่วงเวลาวิกฤตเมื่อใช้กับชุดยืมมอเตอร์	41
รูปที่ 3.13 แสดงไดอะแกรมการทำงานของ Motor Driver	43
รูปที่ 3.14 timing diagram ระหว่าง Hall Sensor กับ Phase current	44
รูปที่ 3.15 แสดงวงจรควบคุมการทำงานของ motor driver	45
รูปที่ 3.16 แสดงวงจร drive phase A	45
รูปที่ 3.17 แสดงวงจร drive phase B	46
รูปที่ 3.18 แสดงวงจร drive phase C	46
รูปที่ 3.19 แสดงวงจรแสดงผลจอ LCD	47
รูปที่ 3.20 แสดงแผนผังการทำงานของโปรแกรม Motor driver	48
รูปที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณ Hall sensor ก่อนต่อ R pull up และหลังต่อ R pull up	49
รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณ ระหว่าง HALL A (ด้านบน)กับ HALL B (ด้านล่าง)	50
รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณ ระหว่าง HALL B (ด้านบน)กับ HALL C (ด้านล่าง)	50
รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณระหว่าง Phase A (เทียบกับ Ground)ด้านบน และ Phase B (เทียบกับ Ground) ด้านล่าง	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.5	แสดงสัญญาณระหว่าง Phase B (เทียบกับ Ground)ด้านบน และ Phase C (เทียบกับ Ground) ด้านล่าง	51
รูปที่ 4.6	แสดงสัญญาณที่ Phase A เทียบกับ Phase B	52
รูปที่ 4.7	แสดงสัญญาณที่ Phase B เทียบกับ Phase C	52
รูปที่ 4.8	แสดงสัญญาณที่ Phase C เทียบกับ Phase A	53
รูปที่ 4.9	แสดงความเร็วสูงสุดของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า เมื่อไม่ได้รับการระงาน(no load) ที่อ่านได้ จาก LCD	53
รูปที่ 4.10	แสดงรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 1.1	แสดงตารางการทำงานในภาคเรียนที่ 1	4
ตารางที่ 1.2	แสดงตารางการทำงานในภาคเรียนที่ 2	5
ตารางที่ 2.1	แสดงลำดับสำหรับการหมุนมอเตอร์ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา	15
ตารางที่ 2.2	แสดงลำดับสำหรับการหมุนมอเตอร์ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา	15
ตารางที่ 3.1	ตัวอย่างของย่านเวลาวิกฤตที่ความถี่ในการทำงานค่าต่างๆ	42



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 กล่าวนำ

ในปัจจุบันราคาน้ำมัน โลกมีแนวโน้มปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องและโลกกำลังประสบกับปัญหาต่างๆ เช่น อากาศแปรปรวน เกิดภัยธรรมชาติ น้ำแข็งขั้วโลกละลายทำให้น้ำทะเลดันตัวสูงขึ้นทำให้ปริมาณน้ำจืดลดลง ปัญหาเหล่านี้เป็นผลสืบเนื่องมาจาก ปัญหาภาวะโลกร้อน ซึ่งมีต้นเหตุมาจากการที่มนุษย์ได้เพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงต่างๆ การผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม และการขนส่ง ยานพาหนะส่วนใหญ่ที่ใช้ในการขนส่ง เป็นยานพาหนะที่ใช้เครื่องยนต์ในการขับเคลื่อน และใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง การเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงก่อให้เกิดมลพิษในปริมาณมาก ซึ่งมีผลกระทบต่อภาวะโลกร้อน และนอกจากนี้ยังมีผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจด้วย โดยผู้ทำโครงการเล็งเห็นว่า โดยส่วนมากประเทศไทยใช้รถจักรยานยนต์เป็นยานพาหนะในการเดินทางและรถจักรยานยนต์ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ก่อให้เกิดมลพิษ หากทำการดัดแปลงรถจักรยานยนต์ที่ใช้กันทั่วไปจากที่เคยใช้เครื่องยนต์ในการขับเคลื่อนมาเป็นการใช้มอเตอร์ไฟฟ้าในการขับเคลื่อนแทน ซึ่งจะสามารถช่วยลดปริมาณของก๊าซพิษได้ในปริมาณมาก เพราะพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานที่ค่อนข้างสะอาด ก่อให้เกิดมลพิษน้อย และมีราคาถูกกว่าการใช้น้ำมัน สำหรับการใช้งานในระยะยาว

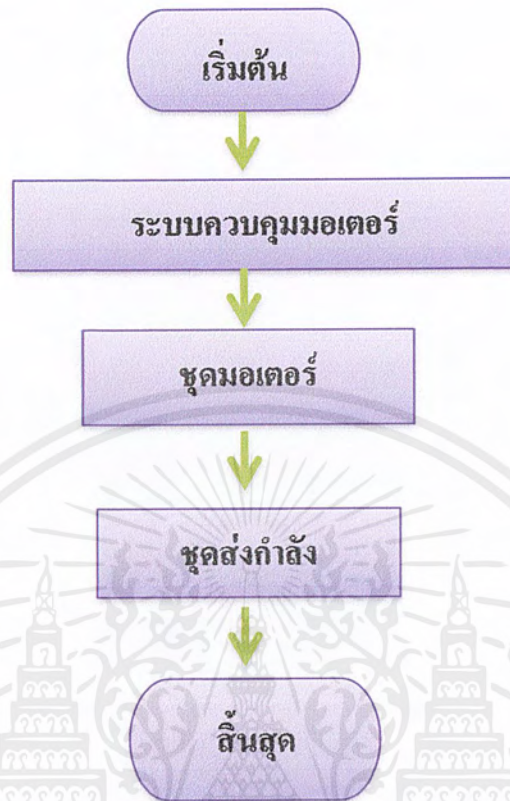
ดังนั้นโครงการนี้จึงได้ถูกจัดทำขึ้นเพื่อศึกษาและออกแบบ รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า โดยนำรถจักรยานยนต์ที่ใช้ทั่วไปในปัจจุบันดังรูป 1.1 มาดัดแปลง เปลี่ยนระบบขับเคลื่อนจากเครื่องยนต์เป็นมอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งมอเตอร์ที่เลือกใช้เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านชนิดสามเฟส มอเตอร์ชนิดนี้จะให้ความเร็วสูง มีอายุการใช้งานนาน และสามารถควบคุมความเร็วให้คงที่ได้ดีกว่ามอเตอร์ชนิดอื่นๆ ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์นั้นจะใช้ High Power Motor Controller เป็นตัวควบคุม ซึ่งเมื่อระบบควบคุมความเร็วหรือคันเร่งถูกบิดจะส่ง

สัญญาณไปยังตัวควบคุมเพื่อควบคุมความเร็วของมอเตอร์ และมอเตอร์จะขับเคลื่อนกำลังให้ขับเคลื่อนรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าให้เคลื่อนที่ต่อไปได้ ดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.1 ภาพรถจักรยานยนต์ที่จะนำมาดัดแปลงเป็นรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 แผนผังการทำงานของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาและออกแบบรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าโดยการนำรถจักรยานยนต์ที่ใช้ทั่วไปมาดัดแปลงใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านชนิดสามเฟสเป็นตัวขับเคลื่อนแทนเครื่องยนต์
2. เพื่อศึกษาและออกแบบการติดตั้งระบบควบคุมมอเตอร์และระบบขับเคลื่อนของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า
3. เพื่อนำองค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษาในสาขาวิศวกรรมระบบควบคุมมาประยุกต์ใช้ในโครงการ
4. เพื่อให้รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าสามารถใช้งานได้จริง มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับรถจักรยานยนต์ที่ใช้อยู่ทั่วไป และมีผลกระทบต่อมลภาวะลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขั้นตอนการศึกษาและจัดทำโครงการ

เริ่มจากการศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับมอเตอร์ไฟฟ้าแบบไร้แปรงถ่านชนิดสามเฟส ศึกษาการขับมอเตอร์โดยใช้ Pulse width modulation ออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ หลังจากนั้นจึงทำการขับเคลื่อน

1.4 ตารางการทำงานภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2553

ตารางที่ 1.1 แสดงตารางการทำงานในภาคเรียนที่ 1

ลำดับ	เรื่อง	ระยะเวลาการดำเนินการ															
		มิถุนายน				กรกฎาคม				สิงหาคม				กันยายน			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	ศึกษาการทำจอร์จขานยนต์ไฟฟ้า	←————→															
2	ศึกษาทฤษฎีมอเตอร์แบบไร้แปรงถ่าน	←————→															
3	สั่งซื้อมอเตอร์ไฟฟ้าแบบไร้แปรงถ่านชนิดสามเฟส			←————→													
4	ถอดโครงรถจอร์จขานยนต์			←————→													
5	เขียนแบบโครงรถจอร์จขานยนต์					←————→											
6	ออกแบบอุปกรณ์ชุดขับเคลื่อน									←————→							
7	ติดตั้งอุปกรณ์ชุดขับเคลื่อน											←————→					
8	ออกแบบชุดส่งกำลัง																←————→
9	ทำรูปเล่มรายงาน และ ไฟลีนำเสนอ																←————→
10	นำเสนอรายงาน																←————→

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ตารางการทำงานในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2553

ตารางที่ 1.2 แสดงตารางการทำงานในภาคเรียนที่ 2

เรื่อง	ระยะเวลาการดำเนินการ															
	พฤศจิกายน				ธันวาคม				มกราคม				กุมภาพันธ์			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
ออกแบบชุดส่งกำลัง	↔															
ออกแบบชุด Drive Motor	↔															
ทำการทดลองใน photo board				↔												
ออกแบบแผ่น pcb ของชุด Drive Motor								↔								
ทำแผงวงจร ตามที่ออกแบบ										↔						
ติดตั้ง ชุด Drive motor										↔						
ทดสอบวงจร Drive พร้อมทั้งเก็บผลการทดลอง										↔						
แก้ไข และปรับปรุงข้อผิดพลาด												↔				
ทำรูปเล่มรายงาน และ ไฟล์นำเสนอ												↔				
นำเสนอรายงาน															↔	

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ต้นแบบรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าที่สามารถใช้ได้จริงและให้ความเร็วได้ใกล้เคียงหรือเทียบเท่ากับรถจักรยานยนต์ที่ใช้ทั่วไป
2. ได้ความรู้ในการออกแบบ โครงสร้างและการทำงานของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า
3. ได้เรียนรู้การประสานงานกับหน่วยงานต่างๆ ในการทำชิ้นงานและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า
4. ได้นำความรู้ในสาขาวิศวกรรมระบบควบคุมมาประยุกต์ใช้ในโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการพื้นฐานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านหรือ Brushless DC Motor เรียกสั้นๆว่า BLDC เป็นมอเตอร์ชนิดหนึ่งที่ได้รับคความนิยมในการนำมาใช้งานมาก ในปัจจุบันมีการใช้มอเตอร์ชนิดนี้ในงานอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุปกรณ์และเครื่องจักรกลอัตโนมัติ

จากข้อแสดงให้เห็นว่า มอเตอร์ชนิดนี้ไม่มีแปรงถ่านสำหรับการคอมมิวเตชัน แต่จะใช้ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในการคอมมิวเตชันแทน ข้อดีของมอเตอร์ชนิดนี้เมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์แบบมีแปรงถ่านและมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ คือ

- คุณลักษณะของกราฟความเร็วเทียบกับแรงบิดดีกว่า DC Motor
- การตอบสนองทางไดนามิกที่เร็วกว่า
- มีอายุการใช้งานนานกว่า
- ไม่มีเสียงรบกวนขณะใช้งาน
- มีความเร็วสูงกว่า
- อัตราส่วนของแรงบิดเมื่อเทียบกับขนาดของมอเตอร์มีค่าสูงกว่า จึงเหมาะที่จะนำไปใช้งานในที่ที่มีการจำกัดพื้นที่และน้ำหนัก

2.2 โครงสร้างและหลักการทำงาน

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านหรือ Brushless DC Motor เป็นมอเตอร์ชนิดซิงโครนสมอเตอร์ โดย โรเตอร์จะหมุนไปพร้อมกับสนามแม่เหล็กหมุนที่สเตเตอร์ที่ความถี่

เดียวกัน มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านจะไม่มีค่าสลิปเหมือนในมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน มีทั้งแบบ 1 เฟส 2 เฟส และ 3 เฟส ตามประเภทของมัน ซึ่งมีจำนวนของขดลวดที่สเตเตอร์ที่สอดคล้องกับจำนวนของเฟส ซึ่งมอเตอร์ชนิด 3 เฟส เป็นมอเตอร์ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดและมีการนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง

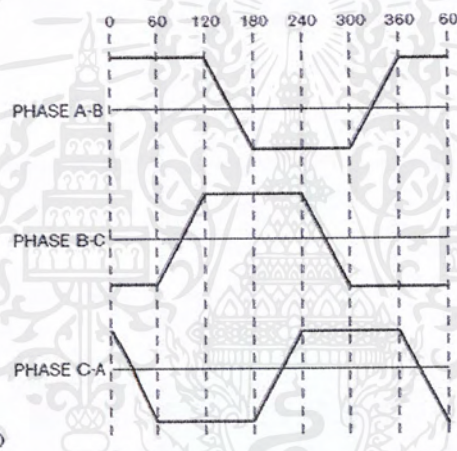
2.3 สเตเตอร์

สเตเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน ประกอบด้วย แผ่นเหล็กอัดกันเป็นชั้นๆ มีขดลวดภายใน slot ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งเป็นแบบที่นิยมใช้ ซึ่งคล้ายกับสเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำแต่จะมีการพันขดลวดที่แตกต่างกันไป Brushless DC Motor ส่วนใหญ่จะมีขดลวดสเตเตอร์ 3 ขด ต่อกันแบบสตาร์ ขดลวดแต่ละขดมาจากการนำเส้นลวดจำนวนมากมารวมกันเป็นหนึ่งขด ขดลวดหนึ่งขดหรือมากกว่าจะถูกนำไปวางใน slot และต่อกันเป็นวงจร ขดลวดเหล่านี้จะถูกแผ่ออกไปตามเส้นรอบวงของสเตเตอร์เพื่อสร้างขั้วแม่เหล็กเป็นจำนวนคู่

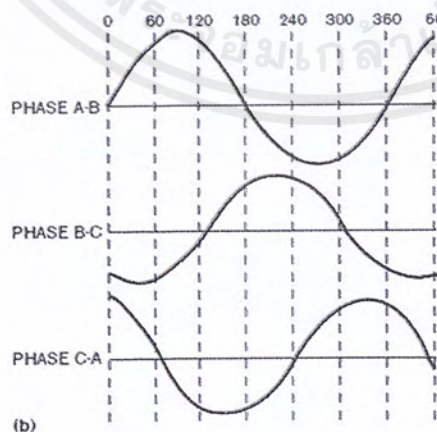
ขดลวดสเตเตอร์มีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ Trapezoidal และ Sinusoidal ความแตกต่างระหว่างทั้งสองแบบขึ้นอยู่กับการทำงานของวงจรภายในของขดลวดทั้งสอง เพื่อให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำย้อนกลับ (Back EMF) ในแบบที่แตกต่างกัน จากชื่อที่กล่าวมานั้นบอกได้ว่า มอเตอร์แบบ Trapezoidal มี Back EMF เป็นแบบ Trapezoidal ส่วนมอเตอร์แบบ Sinusoidal มี Back EMF เป็นแบบ Sinusoidal ดังแสดงในรูปที่ 2-2 และรูปที่ 2-3 นอกจากนี้ Back EMF แล้วยังมีกระแสเฟส Trapezoidal และ Sinusoidal แรงบิดที่ output ที่ได้จากมอเตอร์แบบ Sinusoidal จะเท่ากับแรงบิด output ที่ได้จากมอเตอร์แบบ Trapezoidal แต่มอเตอร์แบบ Trapezoidal จะมีขดลวดในสเตเตอร์มากกว่ามอเตอร์แบบ Sinusoidal การควบคุมแหล่งจ่ายของระดับของแรงดันมอเตอร์ที่ถูกต้องสำหรับสเตเตอร์สามารถเลือก 48 Volt หรือน้อยกว่านั้น มอเตอร์จะถูกนำไปใช้งานเกี่ยวกับเครื่องจักรกล หุ่นยนต์ แขนกล และงานที่ต้องใช้การเคลื่อนที่ ที่แรงดัน 100 Volt หรือสูงกว่านั้น มอเตอร์จะถูกนำไปใช้งานเกี่ยวกับเครื่องอัตโนมัติและงานในอุตสาหกรรม



รูปที่ 2.1 แสดงสเตเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบ ไร้แปรงถ่าน



รูปที่ 2.2 แสดงสัญญาณ Back EMF แบบ Trapezoidal



รูปที่ 2.3 แสดงสัญญาณ Back EMF แบบ Sinusoidal

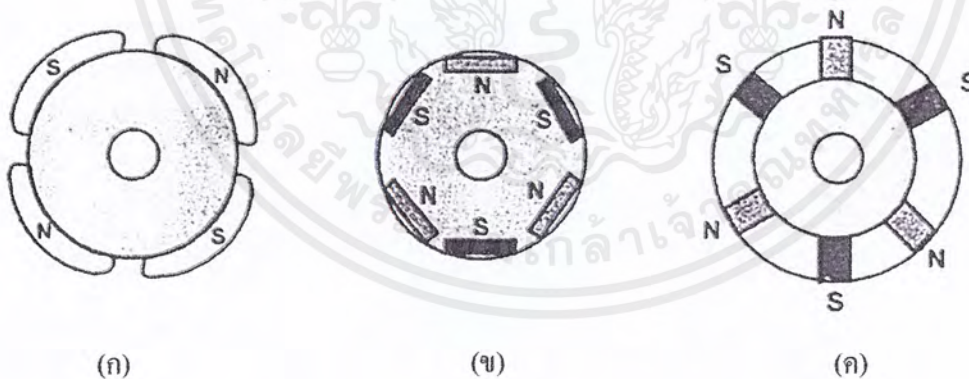
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 โรเตอร์

โรเตอร์ของมอเตอร์ชนิดนี้ทำด้วยแม่เหล็กถาวร ที่มีตั้งแต่ สองคู่ขั้วถึงแปดคู่ขั้วสลับกัน ระหว่างขั้วเหนือ(N) และขั้วใต้(S)

เนื่องจากต้องการให้ความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กในโรเตอร์มีความหนาแน่นสูง วัสดุแม่เหล็กที่เหมาะสมในการเลือกใช้ทำโรเตอร์ คือ แม่เหล็กเฟอร์ไรต์ เนื่องจากเทคโนโลยีมีความก้าวหน้ามากขึ้น จึงทำให้แม่เหล็กอัลลอยด์ ซึ่งมีความหนาแน่นแม่เหล็กต่อปริมาตรสูงกว่า และทำให้โรเตอร์สามารถบีบอัดได้มากขึ้น จึงได้รับ ความนิยมสูงกว่า ต่อมา มีการปรับปรุง อัตราส่วนของขนาดต่อน้ำหนักของแม่เหล็กอัลลอยด์ จึงทำให้มอเตอร์ที่ได้ให้แรงบิดสูงกว่า มอเตอร์ที่ใช้แม่เหล็กเฟอร์ไรต์ โดยที่มอเตอร์มีขนาดเท่ากัน

ตัวอย่างของแม่เหล็กอัลลอยด์ที่หายาก เช่น Neodymium (Nd) Samarium Cobalt (SmCo) อัลลอยด์ของ Neodymium , Ferrite และ Boron (NdFeB) เป็นต้น ซึ่งกำลังมีการวิจัยและปรับปรุงความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กเพื่อทำให้โรเตอร์สามารถบีบอัดได้มากขึ้น

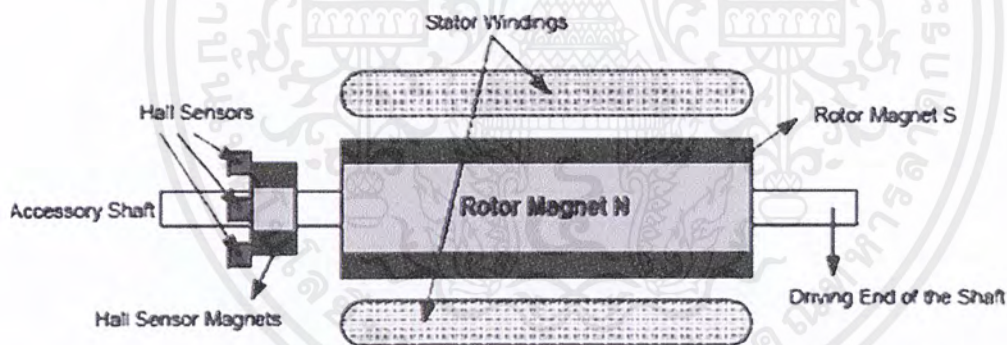


รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะการจัดวางตำแหน่งของแม่เหล็กโรเตอร์แบบต่างๆ (ก) แบบแกนเป็นวงกลมกับแม่เหล็กบนเส้นรอบวง (ข) แบบแกนเป็นวงกลมกับแม่เหล็กเป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากติดในโรเตอร์ (ค) แบบแกนเป็นวงกลมกับแม่เหล็กเป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากแทรกในแกน โรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 Hall Sensors

การคอมมิวเตชันของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านนั้นจะไม่เหมือนกับการคอมมิวเตชันของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบมีแปรงถ่านในการหมุนมอเตอร์นั้น มอเตอร์แบบไร้แปรงถ่านจะถูกควบคุมด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ขดลวดสเตเตอร์จะถูกกระตุ้นตามลำดับอย่างต่อเนื่องซึ่งจำเป็นต้องรู้ตำแหน่งของโรเตอร์ โรเตอร์จะถูกกระตุ้นตามลำดับของการกระตุ้น ตำแหน่งของโรเตอร์ถูกตรวจจับโดยใช้ Hall Sensors ที่ติดอยู่ที่สเตเตอร์ ซึ่งส่วนใหญ่จะติดตั้ง Hall Sensors 3 ตัว ไว้ด้านข้างของเพลลาที่ไม่ใช้ในการขับ เมื่อใดที่โรเตอร์ผ่านเข้าใกล้ Hall Sensors จะให้สัญญาณออกมาเป็น High หรือ Low เป็นการแสดงว่าเป็นขั้ว N หรือขั้ว S ที่กำลังผ่านเข้าใกล้ Sensors โดยใช้หลักการรวมกันของสัญญาณสามสัญญาณของ Hall Sensors ซึ่งสามารถให้ความแม่นยำในการกำหนดลำดับของการคอมมิวเตชันได้



รูปที่ 2.5 แสดงภาพตัดด้านข้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

รูปที่ 2.5 แสดงภาพตัดด้านข้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน โดยแสดงตำแหน่งของโรเตอร์ แม่เหล็กถาวร ตัว Hall Sensors ที่ถูกติดอยู่กับส่วนที่ไม่เคลื่อนที่ของมอเตอร์ การจัดเรียง Hall Sensors เป็นขั้นตอนที่ซับซ้อน เพราะถ้าหากมีการจัดเรียงตัวใดตัวหนึ่งผิด จะทำให้เกิดความผิดพลาดในการจับตำแหน่งของโรเตอร์ได้ และเพื่อให้การติดตั้งตำแหน่งของ Hall Sensors นั้นง่ายขึ้น ในมอเตอร์บางตัวจึงมี Hall Sensors ติดอยู่ที่โรเตอร์ โดยตัว Hall

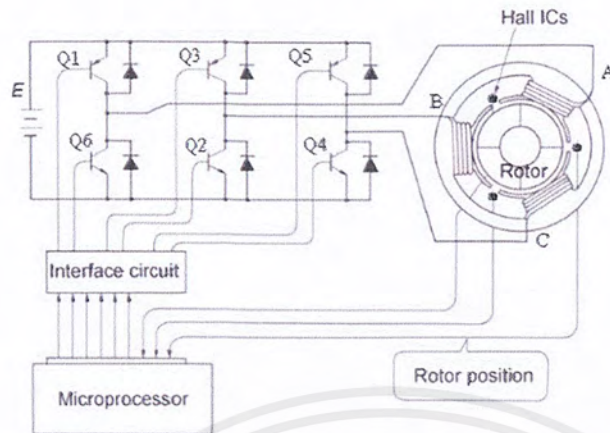
Sensors จะถูกติดตั้งบนแผงวงจรและมีฝาปิดด้านท้าย ซึ่งทำให้ผู้ใช้สามารถปรับแต่งชิ้นส่วนของ Hall Sensors ให้เป็นแนวเดียวกันกับแม่เหล็กโรเตอร์ ได้ เพื่อให้ได้การทำงานที่ดีที่สุด สัญญาณ output ของ Hall Sensors จะมีอยู่ 2 แบบ คือ แบบมุมต่างเฟส 60 องศา และ 120 องศา

Hall Sensors ต้องการแหล่งจ่ายแรงดันในช่วง 4 Volt ถึง 24 Volt และต้องการกระแส ในช่วง 5 ถึง 15 mA ขณะที่มีการออกแบบระบบควบคุมให้คำนึงถึงคุณสมบัติของแรงดันและระดับกระแสของมอเตอร์ที่แน่นอนของ Hall Sensors ที่จะใช้ โดยทั่วไป output ของ Hall Sensors จะเป็นแบบ Open Collector

2.6 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

ในแต่ละลำดับของการคอมมิวเตชัน มีขดลวดหนึ่งขดที่จ่ายพลังงานเป็นบวก (กระแสไหลเข้าขดลวด) ขดลวดที่สองเป็นลบ (กระแสไหลออกจากขดลวด) และขดที่สามไม่มีการกระตุ้น จะทำให้เกิดแรงบิด เพราะมีการตัดกันระหว่างสนามแม่เหล็กจากขดลวดสเตเตอร์กับแม่เหล็กถาวร แรงบิดสูงสุดจะเกิดขึ้นเมื่อสนามแม่เหล็กทั้งสองทำมุม 90 องศา ซึ่งกันและกัน และตกลงมาเมื่อสนามแม่เหล็กมีการเคลื่อนที่ไปพร้อมกัน เพื่อจะให้มอเตอร์มีการหมุนอย่างต่อเนื่อง สนามแม่เหล็กที่ถูกสร้างโดยขดลวด จะต้องเลื่อนตำแหน่งของโรเตอร์ให้หมุนตามสนามแม่เหล็กหมุนที่สเตเตอร์ให้ทัน ในการจ่ายพลังงานให้กับขดลวดมีอยู่ ขั้นตอนตามลำดับของการคอมมิวเตชัน

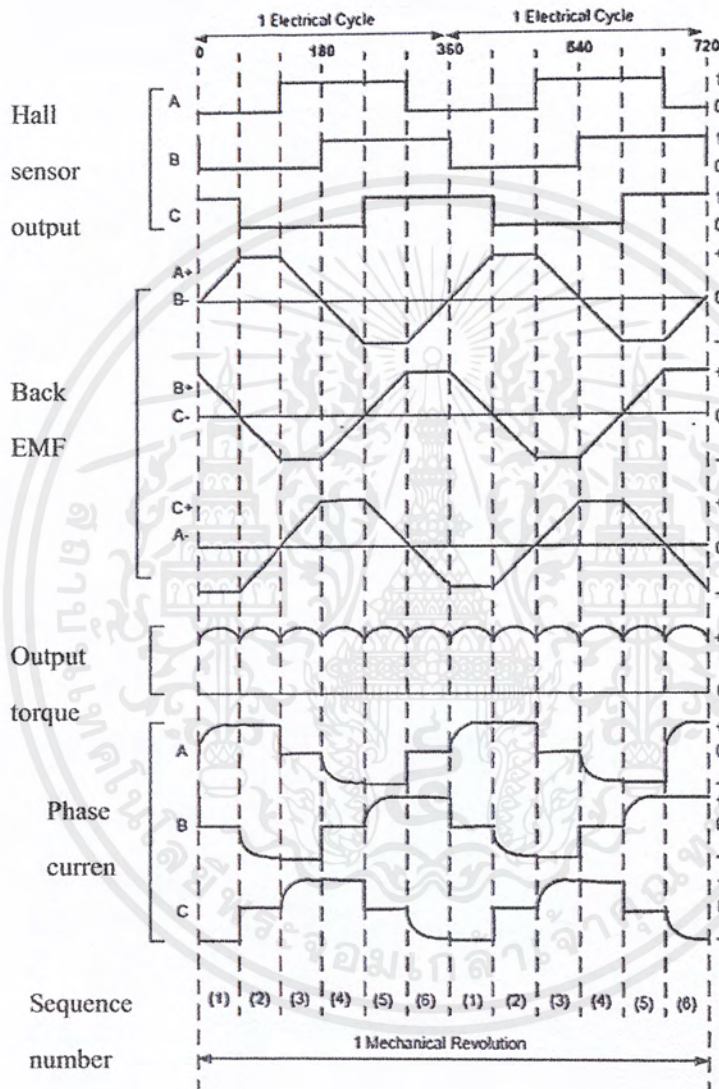
เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจ กำหนดให้มีขั้วแม่เหล็กที่โรเตอร์ 1 ขั้ว รูปที่ 2.6 แสดงการทำงานของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน ซึ่งมี Hall Sensors เป็นอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งของโรเตอร์ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับสัญญาณจาก Hall Sensors มาประมวลผลเพื่อทำการควบคุมอุปกรณ์กำลัง และเพื่อให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็กที่สเตเตอร์ตัดกับฟลักซ์แม่เหล็กที่โรเตอร์ แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ใช้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านจึงเป็นซุกอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส



รูปที่ 2.6 แสดงวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

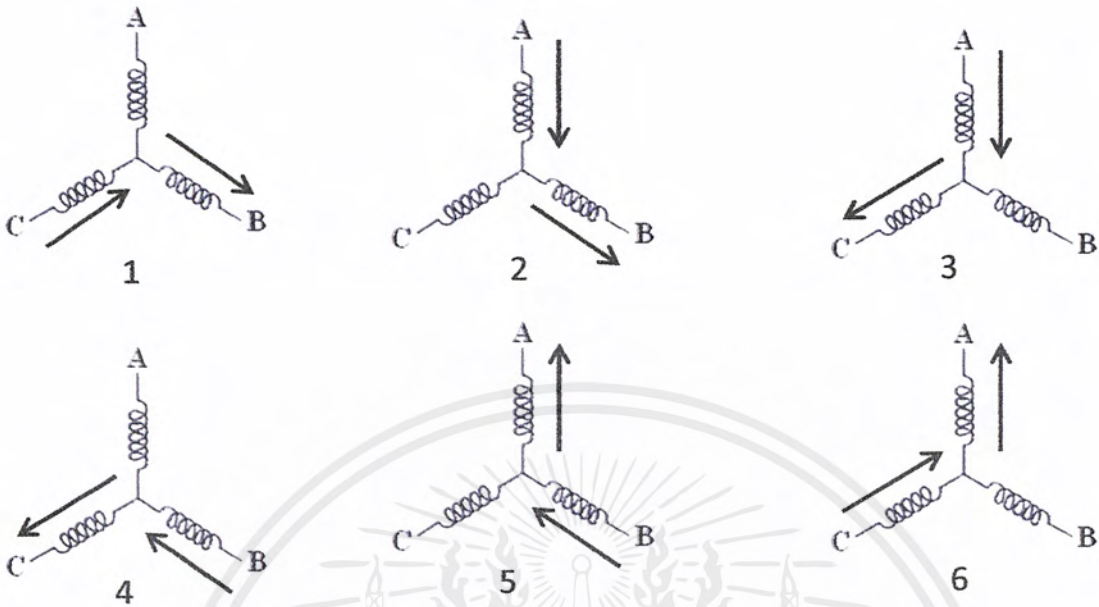
2.7 ลำดับในการคอมมิวเตชัน

รูปที่ 2.7 แสดงตัวอย่างของสัญญาณ Hall Sensors, Back EMF, แรงบิดทาง output และกระแสเฟส รูปที่ 2.8 แสดงลำดับการสวิตช์ที่สัมพันธ์กับ Hall Sensors รูปที่ 2.7 สอดคล้องกับรูปที่ 2.8 ในการหมุนทุกๆ 60 องศาไฟฟ้า หนึ่งใน Hall Sensors จะเปลี่ยนสถานะ และจะต้องทำทั้ง 6 ขั้นตอนจนครบหนึ่งรอบทางไฟฟ้า ในเวลาเดียวกัน ทุกๆ 60 องศาทางไฟฟ้าการสวิตช์กระแสเฟสจะต้องเปลี่ยนไปเรื่อยๆ อย่างไม่รู้จบตามหนึ่งรอบทางไฟฟ้า อาจจะไม่เหมือนหนึ่งรอบในทางกลของโรเตอร์ จำนวนรอบทางไฟฟ้าจะวนซ้ำจนครบการหมุนทางกล กำหนดโดยคู่ขั้วโรเตอร์ สำหรับในแต่ละคู่ขั้วของโรเตอร์หนึ่งรอบทางไฟฟ้าจึงครบ ดังนั้นจำนวนของรอบทางไฟฟ้าต่อการหมุนเท่ากับคู่ขั้วโรเตอร์



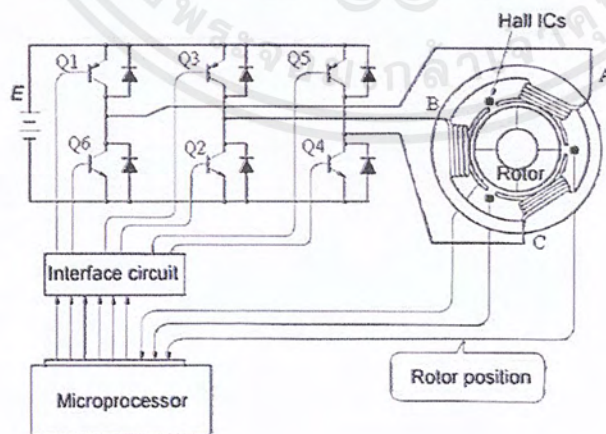
รูปที่ 2.7 แสดงตัวอย่างของสัญญาณ Hall Sensors, Back EMF, แรงบิดทาง output และกระแสเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แสดงลำดับของการจ่ายกระแสให้กับขดลวด

รูปที่ 2.9 แสดงวงจรของตัวควบคุม ที่ใช้ในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน ทรานซิสเตอร์ Q0 ถึง Q5 เป็นอุปกรณ์สวิตช์กำลัง ควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งอุปกรณ์ในการสวิตช์สามารถใช้ MOSFETs, IGBTs หรือ Bipolar Transistors



รูปที่ 2.9 แสดงวงจรของการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงลำดับสำหรับการหมุนมอเตอร์ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

Sequence Number	Hall Sensor Input			Active PWMs		Phase Current		
	A	B	C			A	B	C
1	0	0	1	PWM (Q1)	PWM (Q4)	DC+	off	DC-
2	0	0	0	PWM (Q1)	PWM (Q2)	DC+	DC-	off
3	1	0	0	PWM (Q5)	PWM (Q2)	off	DC-	DC+
4	1	1	0	PWM (Q5)	PWM (Q6)	DC-	off	DC+
5	1	1	1	PWM (Q3)	PWM (Q6)	DC-	DC+	off
6	0	1	1	PWM (Q3)	PWM (Q4)	off	DC+	DC-

ตารางที่ 2.2 แสดงลำดับสำหรับการหมุนมอเตอร์ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

Sequence Number	Hall Sensor Input			Active PWMs		Phase Current		
	A	B	C			A	B	C
1	0	1	1	PWM (Q5)	PWM (Q2)	off	DC-	DC+
2	1	1	1	PWM (Q1)	PWM (Q2)	DC+	DC-	off
3	1	1	0	PWM (Q1)	PWM (Q4)	DC+	off	DC-
4	1	0	0	PWM (Q3)	PWM (Q4)	off	DC+	DC-
5	0	0	0	PWM (Q3)	PWM (Q6)	DC-	DC+	off
6	0	0	1	PWM (Q5)	PWM (Q6)	DC-	off	DC+

จากตารางที่ 2.1 สำหรับลำดับการหมุนของมอเตอร์ในทิศตามเข็มนาฬิกา และตารางที่ 2.2 สำหรับลำดับการหมุนของมอเตอร์ในทิศทวนเข็มนาฬิกา ซึ่งเป็นตัวอย่างของสัญญาณ Hall Sensors ที่มุมต่างเฟส 60 องศา อย่างที่ได้เคยกล่าวไว้แล้วในตอนแรกในส่วนของ Hall Sensors ซึ่งอาจมีมุมต่างเฟส 60 องศา หรือ 120 องศา แล้วแต่ชนิดของ Hall Sensors

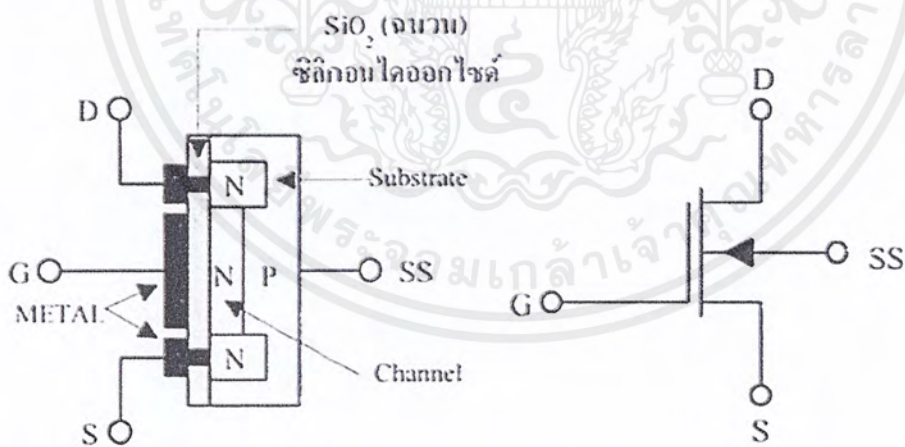
จากรูปที่ 2.9 ถ้าสัญญาณถูกกำหนดโดย PWM สวิตช์ปิดและเปิดอย่างต่อเนื่อง มอเตอร์ จะหมุนที่ระดับความเร็วที่กำหนด สมมติว่า แรงดัน DC Bus เท่ากับระดับแรงดันของมอเตอร์ บวกกับค่าสูญเสียในสวิตช์ การเปลี่ยนแปลงความเร็วควรจะเป็นสัญญาณ PWM ที่ความถี่สูงกว่า ความถี่ของมอเตอร์ ในการคำนวณแบบคร่าวๆ ความถี่ PWM อย่างน้อยที่สุดควรเป็น 10 ครั้งของ

ความถี่สูงสุดของมอเตอร์ เมื่อ Duty Cycle ของ PWM เปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง แรงดันเฉลี่ยที่จ่ายให้กับสเตเตอร์ลดลง ดังนั้นการลดความเร็วเป็นประโยชน์อีกอย่างที่ได้จาก PWM ถ้าแรงดัน DC Bus สูงกว่าขนาดแรงดันของมอเตอร์ มอเตอร์สามารถควบคุมได้โดยกำหนดอัตราส่วนร้อยละของ PWM Duty Cycle ให้มีลักษณะเดียวกันกับขนาดของแรงดันมอเตอร์เพื่อเพิ่มการยืดหยุ่นต่อการควบคุม เพื่อใช้กับมอเตอร์ที่ขนาดแรงดันแตกต่างกันและปรับแรงดัน output เฉลี่ย โดยตัวควบคุมต่อขนาดแรงดันมอเตอร์ การควบคุม PWM Duty Cycle ถ้าสัญญาณ PWM กำหนดจากไมโครคอนโทรลเลอร์ สวิตซ์ด้านสูงสามารถเปิดในคาบเวลาที่มีลำดับตรงกัน และเช่นเดียวกัน สวิตซ์ด้านต่ำก็สามารถควบคุมโดยการใช้ Duty Cycle จาก PWM ได้ด้วย

2.8 MOSFET (Metal Oxide Semiconductor FET)

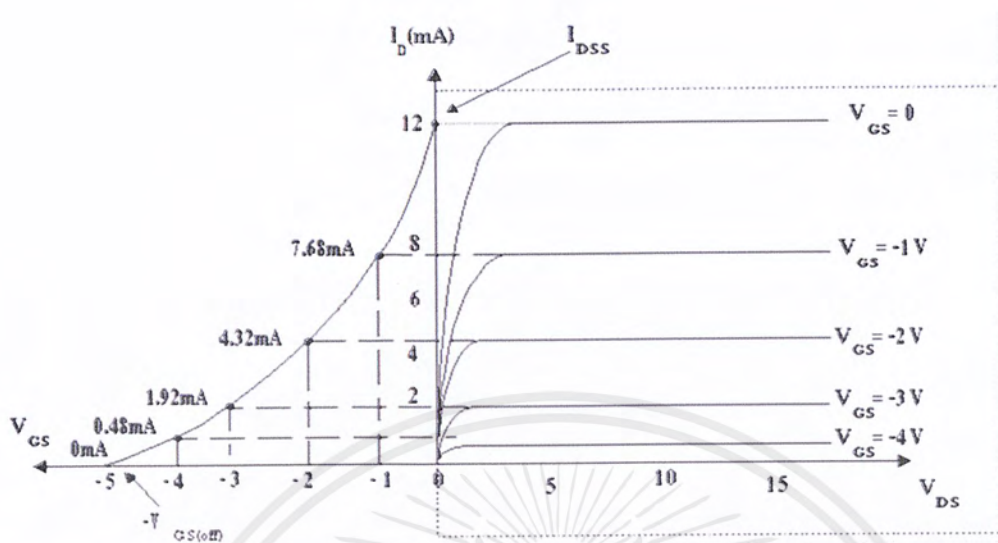
เนื่องจากมีฉนวน (Insulated) ที่ทำมาจาก SiO_2 กั้นระหว่างเกตกับช่อง (Channel) จึงเรียก MOSFET อีกหนึ่งชื่อคือ “Insulated Gate FET” (IGFET) และจากฉนวนที่กั้นนี้เองทำให้ไม่มีกระแสไหลที่ขา G (Gate)

2.8.1 DMOFET N - Channel



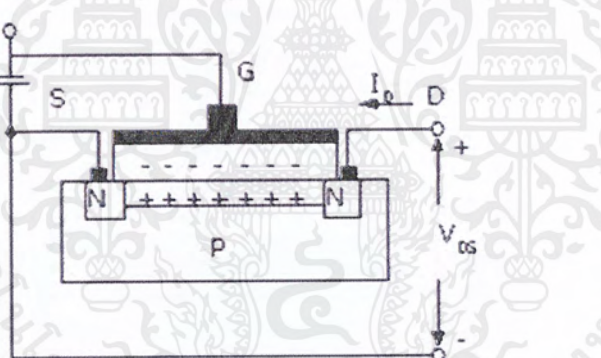
รูปที่ 2.10 โครงสร้างสัญลักษณ์วงจรพื้นฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 กราฟลักษณะการ โอนย้ายกราฟลักษณะด้านตรง

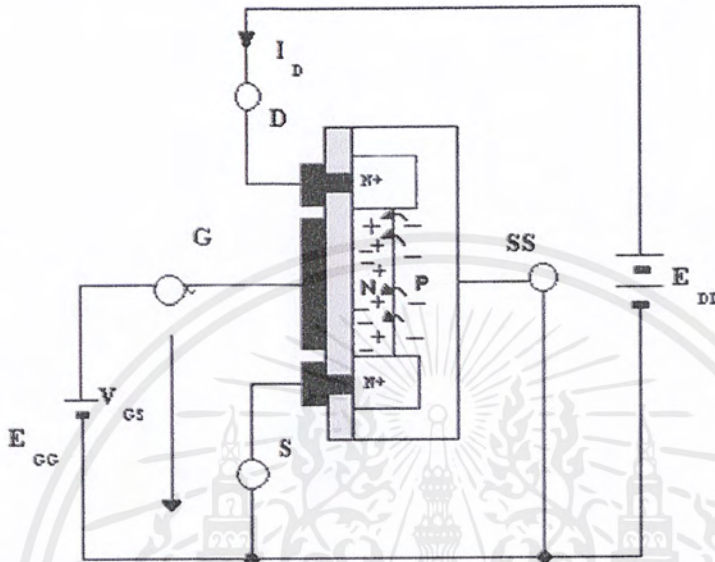
หลักการทํางาน



รูป 2.12 การทํางานใน Depletion - Mode

จากวงจรรูป 2.12 เมื่อ V_{GS} เป็นลบขั้วบวกของ E_{GG} จะดึงอิเล็กตรอนอิสระของชั้นสเตรทเข้ามาและผลักโฮลของชั้นสเตรทไปอยู่บริเวณรอยต่อของ N - Channel ขณะเดียวกันขั้วลบของ E_{GG} จะสร้างสนามไฟฟ้าผลักอิเล็กตรอนอิสระของ N - Channel ไปอยู่บริเวณรอยต่อทำให้อิเล็กตรอนอิสระของ N - Channel ข้ามรอยต่อมารวมตัวกับโฮลของชั้นสเตรททำให้

อิเล็กตรอนอิสระของ N – Channel มีจำนวนลดลงนั่นคือความต้านทานของ N – Channel จะสูงขึ้นกระแส Drain I_D ก็จะไหลเข้าขา D ผ่าน N – Channel และออกมาที่ขา S ได้น้อยลง



รูปที่ 2.13 การทำงานใน Enhancement – Mode

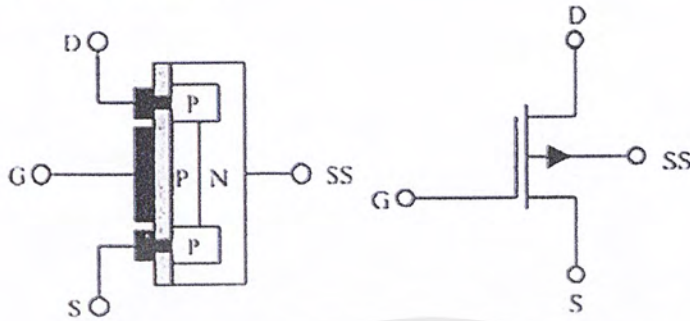
จากวงจรรูป 2.13 เมื่อ V_{GS} เป็นบวกขั้วบวกของ E_{GG} จะสร้างสนามไฟฟ้าผลักโฮล (พาหะส่วนน้อย) ของ N – Channel ไปอยู่บริเวณรอยต่อและขั้วลบของ E_{GG} จะผลักพาหะส่วนน้อย (อิเล็กตรอนอิสระ) ของสาร P ชั้วลบตรงที่ไปอยู่บริเวณรอยต่อทำให้พาหะส่วนน้อยหรืออิเล็กตรอนอิสระของสาร P (ชั้วลบตรง) ข้ามรอยต่อไปรวมตัวกับโฮลของ N – Channel ทำให้สภาพความนำของ N – Channel สูงขึ้น (เพราะว่าจำนวนอิเล็กตรอนอิสระมีค่ามากขึ้น) กระแส Drain I_D ก็จะไหลเข้าขา D ผ่าน N – Channel และออกมาที่ขา S มากขึ้น

จากหลักการดังกล่าวแสดงได้ดังกราฟลักษณะสมบัติไอออนย้ายสมการของกราฟลักษณะสมบัติไอออนย้ายจะเหมือนของ JFET คือ

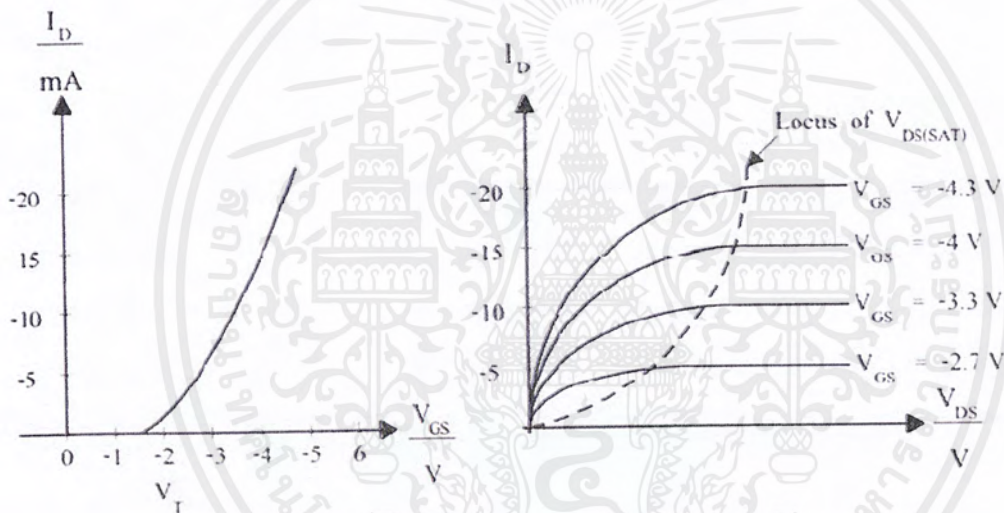
$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.2 DMOSFET P - Channel



รูปที่ 2.14 โครงสร้างสัญลักษณ์และวงจรพื้นฐาน



รูปที่ 2.15 กราฟลักษณะสมบัติการโอนย้ายและกราฟลักษณะสมบัติด้านแรงดัน

หลักการทำงาน

DMOSFET P - Channel จะมีหลักการทำงานเช่นเดียวกันกับ DMOSFET N - Channel โดยการไบอัสจะตรงข้ามกันกล่าวคือ V_{DS} จะมีค่าเป็นลบจึงต้องต่อ V_{SS} ดังรูปนั่นคือเมื่อ DMOSFET P - Channel นำกระแสจากวงจร I_D จะอ่านค่าได้เป็นลบโดยที่ V_{GS} จะอ่านค่าได้เป็นลบโดยที่ถ้า V_{GS} มีค่าเป็นลบจะทำให้กระแสมีประมาณมากเมื่อ $V_{GS} = 0$ กระแสเดรนจะเท่ากับ I_{DSS} ถ้า V_{GS} เป็นบวกกระแสเดรนก็จะลดลงจากรูปเมื่อ $V_{GS} = V_P = 4$ V ทำให้ $I_D = 0$ mA สำหรับสมการก็จะมีลักษณะเช่นเดียวกัน

2.9 ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011

ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC เป็นผลิตภัณฑ์ยอดนิยมของบริษัทไมโครชิพมาเป็นเวลานาน เพราะเป็นชิพที่ราคาต่ำ ใช้งานง่ายและมีให้เลือกหลากหลายตามประเภทของงาน ไมโครชิพนำเสนอผลิตภัณฑ์ตระกูลdsPICในปีค.ศ. 2001 ที่เป็นการบรรจุฮาร์ดแวร์ของ DSP ลงใน PIC ทำให้มีสมรรถนะในการคำนวณสูงขึ้นแต่ยังคงความใช้งานง่ายและราคาต่ำของ PIC ไว้

dsPICเป็นตัวประมวลผล 16 บิตที่มีรุ่นแบ่งแยกไปตามลักษณะงานเช่นการควบคุมมอเตอร์เซนเซอร์หรือการใช้งานทั่วไปโดยจะแตกต่างกันที่จำนวนขาและอุปกรณ์สนับสนุนรุ่นแรกที่ผลิตคือdsPIC30F ที่ทำงานกับไฟเลี้ยง 5 โวลต์ต่อมาได้พัฒนาเป็น dsPIC33F ใช้ไฟเลี้ยง 3.3 โวลต์ (แต่ยังสามารถรับสัญญาณอินพุตระดับ 5 โวลต์ได้) และได้เพิ่มความสามารถของอุปกรณ์สนับสนุนเช่นภาค DMA (Direct Memory Access)

สถาปัตยกรรมของdsPICเป็นแบบ modified Harvard มีบัสข้อมูลขนาด 16 บิตและบัสคำสั่งขนาด 24 บิตโครงสร้างภายในจะเหมือนกับตระกูล PIC24F เพียงแต่เพิ่มส่วนสนับสนุน DSP ลงในชิพรูปที่2.6แสดง DSP engine ของ dsPIC30F ที่ประกอบด้วยฟังก์ชันหลักดังนี้

- หน่วยคูณ (multiplier) ความเร็วสูงขนาด 17 บิต x 17 บิต
- บาร์เรลชิฟต์เตอร์ (barrel shifter) เลื่อนข้อมูลจาก 40 บิตเป็น 16 บิต (ซ้ายหรือขวา)
- หน่วยบวก (adder) ขนาด 40 บิต
- หน่วยทำการปิดเศษ (round logic) และการจำกัดค่า (saturation logic)

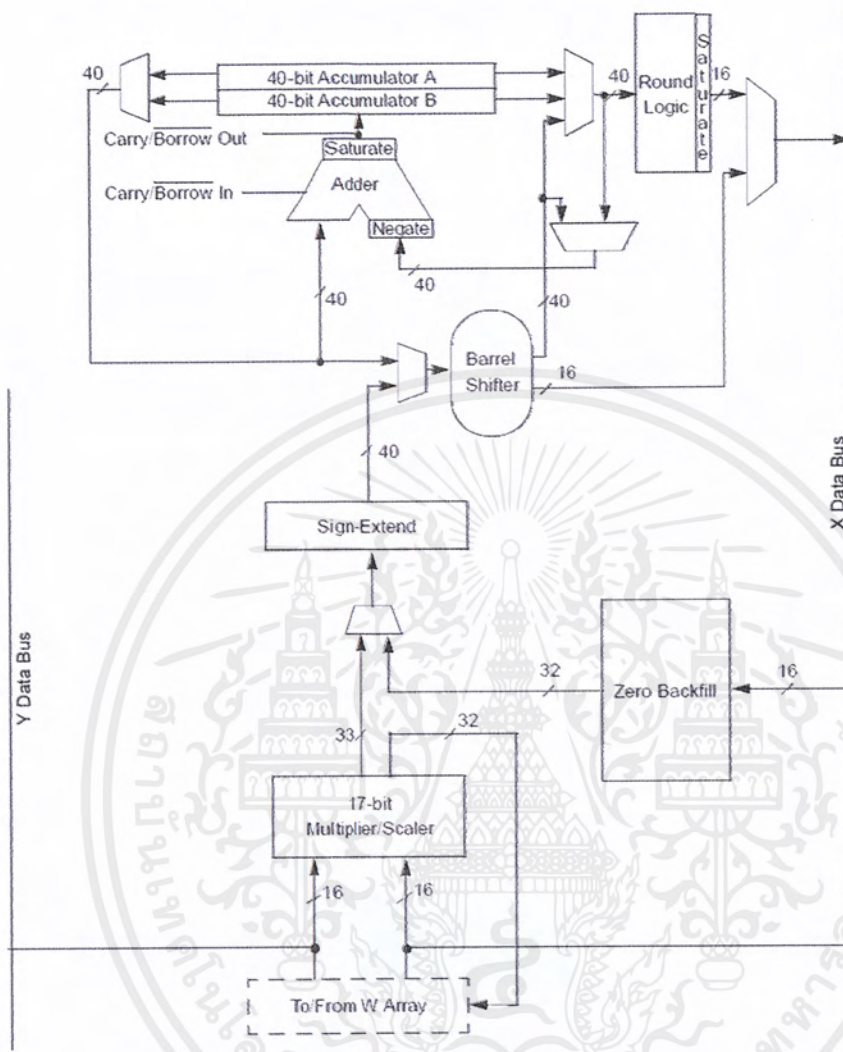
ในปฏิญญาฉบับนี้ได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล DSPIC ของบริษัท ไมโครชิพ รหัส dsPIC30F4011 ซึ่งจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.9.1 หน่วยประมวลผลกลาง

หน่วยประมวลผลของ dsPIC30F4011 ใช้คำสั่งที่มีความยาว 1 เวิร์ด ขนาด 24 บิต โดยมีโปรแกรมเคาน์เตอร์ขนาด 23 บิต (จริงๆแล้วโดยโครงสร้างมี 24 บิต แต่ไม่สนใจบิต MSB ซึ่งก็คือบิต 23 และบิต LSB หรือบิต 0 กำหนดเป็น “0” จึงทำให้สามารถติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมได้สูงสุด 4 เมกะเวิร์ด) เพื่อแจ้งแอดเดรสของหน่วยความจำโปรแกรมที่เข้าไปประมวลผล dsPIC30F4011 มีความจุของหน่วยความจำโปรแกรม 12 กิโลไบต์ เมื่อคำสั่งมีความยาว 24 บิต จึงบรรจุคำสั่งได้จริง 4 กิโลเวิร์ด

รีจิสเตอร์หลักที่ใช้ในการทำงานคือ รีจิสเตอร์ W (Working register) สำหรับใน dsPIC30F4011 จะแตกต่างจากไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC อย่างมาก โดยรีจิสเตอร์ W ได้รับการจัดโครงสร้างเป็นอะเรย์ขนาด 16 บิต จึงทำให้สามารถรองรับทั้งข้อมูล, ค่าแอดเดรส หรือค่าของรีจิสเตอร์ใดๆ ที่ต้องนำมาประมวลผล โดยใน dsPIC30F4011 มีรีจิสเตอร์ W ให้ใช้งานถึง 16 ตัว ส่วนใหญ่ใช้ในการประมวลผลหลัก ส่วนอีกตัวหนึ่งคือ รีจิสเตอร์ W15 จะใช้ทำงานร่วมกับตัวชี้สแต็กในการทำงานของโปรแกรมย่อยและบริการอินเตอร์รัปต์

ด้านการตอบสนองอินเตอร์รัปต์นั้น dsPIC30F4011 มีการจัดสรรพื้นที่เก็บค่าอินเตอร์รัปแวกเตอร์ไว้มากถึง 54 ตำแหน่ง และยังสามารถกำหนดระดับความสำคัญได้อีก 8 ระดับด้วย



รูปที่ 2.16 DSP engine ของ dsPIC30F4011

จากรูปที่ 2.17 แสดงบล็อกไดอะแกรมของตัวประมวลผล dsPIC30F สังเกตว่า หน่วยความจำข้อมูลจะถูกแบ่งเป็นบล็อก X และ Y ที่สามารถอ่านเข้ามาพร้อมๆกันคำสั่ง DSP จะใช้ประโยชน์จากการแยกหน่วยความจำนี้ทำให้การประมวลผลข้อมูลเร็วขึ้นส่วนคำสั่ง MCU ปกติจะมองบล็อก X และ Y เป็นหน่วยความจำข้อมูลชุดเดียวจากรูป 2.17 เรายังได้เห็นส่วน PSV ที่ช่วยให้สามารถเข้าถึงหน่วยความจำโปรแกรมได้ง่ายเหมือนกับหน่วยความจำข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.2 พอร์ตอินพุตและเอาต์พุต

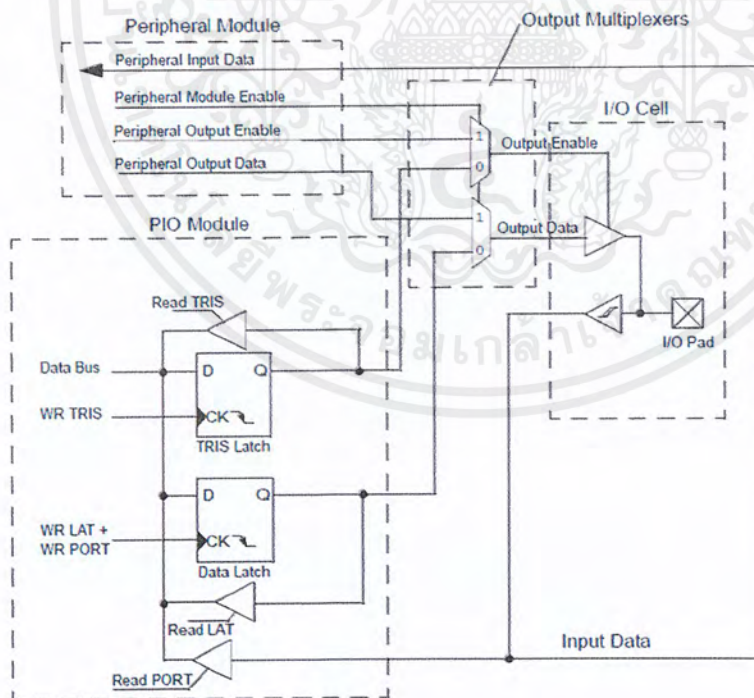
พอร์ตอินพุตและเอาต์พุตจัดได้ว่าเป็นอุปกรณ์รอบข้างพื้นฐานที่สุดสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ในการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกอื่นๆ เพราะหลักการของตัวประมวลผลใดๆก็มีการรับอินพุตเข้ามาจัดการตามกระบวนการที่กำหนดผลลัพธ์ที่ได้คือเอาต์พุตที่จะทำให้ระบบทำงานตามเป้าหมายในอดีตการใช้งานพอร์ตอินพุตและเอาต์พุตมักจะเป็นแบบขนาน (parallel) คือพอร์ตจะถูกกำหนดให้เป็นอินพุตหรือเอาต์พุตทั้งคู่เช่นพอร์ต A ตั้งให้เป็นอินพุตขนาด 8 บิตเพราะไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยก่อนไม่มีความซับซ้อนคือไม่มีอุปกรณ์รอบข้างอื่นๆภายในตัวแม้แต่หน่วยความจำยังต้องต่อเพิ่มภายนอกจากนั้นยังทำงานซ้ำการรับส่งแบบขนานจึงมีความเหมาะสมแต่ปัจจุบันไมโครคอนโทรลเลอร์มีอุปกรณ์ภายในมากมายดังนั้นแต่ละขาจะสามารถเลือกฟังก์ชันได้ว่าจะป็นอินพุตเอาต์พุตหรือฟังก์ชันอย่างอื่นตามที่กำหนดไว้สำหรับขา นั้น

dsPIC30F4011 มีพอร์ตให้ใช้งานมากถึง 7 พอร์ต รวม 40 ขา ดังนี้

- พอร์ต B มี 9 ขาคือ RB0-RB8 โดยทุกขาสามารถกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุตหรือเอาต์พุตได้ และยังสามารถขับกระแสทั้งแบบซิงค์และซอร์สได้สูงถึง 25mA
- พอร์ต C มี 3 ขาคือ RC13-RC15
- พอร์ต D มี 4 ขาคือ RD0-RD3
- พอร์ต E มี 7 ขาคือ RE0-RE5 และ RE8
- พอร์ต F มี 7 ขาคือ RF0-RF6

2.9.3 โครงสร้างของพอร์ตร่วม

จากรูป 2.18 แสดงโครงสร้างของพอร์ตใน dsPIC33F ที่ออกแบบมาให้ใช้งานร่วมกันระหว่างอินพุตเอาต์พุตกับอุปกรณ์รอบข้าง A และ B การเลือกใช้งานกระทำได้โดยตั้งค่าในรีจิสเตอร์ที่กำหนดตัวอย่างเช่นถ้าต้องการให้ขานี้เป็นอินพุตต้องเซตบิตที่ตรงกับขาในรีจิสเตอร์ชื่อ TRISx เป็น 1 แต่ถ้าเซตเป็น 0 ก็จะเป็นเอาต์พุตนอกจากนั้นเมื่อเป็นอินพุตยังสามารถเลือกได้ว่าจะอ่านค่าจากพอร์ตในขณะนั้นหรืออ่านค่าข้อมูลที่เก็บไว้ในแลตช์หรืออ่านค่าจากรีจิสเตอร์ TRISx สังเกตว่าการเลือกนี้กระทำโดยอาศัยบัฟเฟอร์สามสถานะในกรณีที่ต้องการให้ขานี้เป็นอุปกรณ์รอบข้าง A หรือ B ก็ต้องไปเปิดการใช้งาน (enable) ในรีจิสเตอร์สำหรับอุปกรณ์รอบข้างตัวนั้น รีจิสเตอร์พิเศษเหล่านี้มีชื่อเรียกว่า SFR (Special Function Registers) บิตที่เปิดการใช้งานสำหรับอุปกรณ์ A หรือ B ก็จะไปสั่งงานชุดมัลติเพล็กซ์ให้ขานี้ต่อกับอุปกรณ์นั้นหากอุปกรณ์ A และ B ถูกเปิดใช้งานพร้อมกัน A จะมีลำดับความสำคัญมากกว่า B นั่นคืออุปกรณ์ A จะถูกเลือกใช้งาน

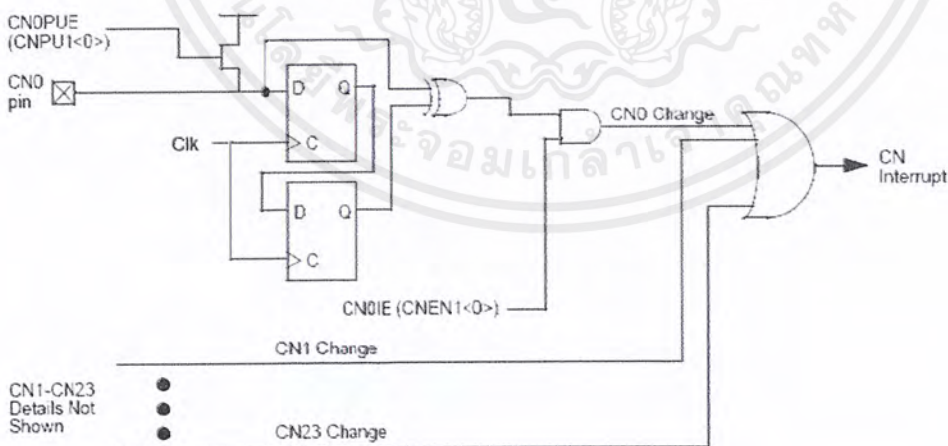


รูปที่ 2.18 โครงสร้างการใช้พอร์ตร่วมใน dsPIC30F4011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.4 การแจ้งเตือนเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงที่อินพุต

การแจ้งเตือนการเปลี่ยนแปลงหรือ CN (Change Notification) เป็นฟังก์ชันสนับสนุนของขาพอร์ตอินพุตในไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC ที่สามารถประยุกต์ใช้ในงานหลายแบบเมื่อเปิดการใช้งานขาอินพุตที่มีฟังก์ชัน CN จะสามารถตรวจสอบลอจิกที่อินพุตนั้นเมื่อใดที่ลอจิกเปลี่ยนแปลงก็จะสร้างสัญญาณอินเทอร์รัพท์ขึ้นรูปที่ 2.21 แสดงวงจรแจ้งเตือนการเปลี่ยนแปลงใน dsPIC33F โดยจำนวนของขา CN ขึ้นอยู่กับเบอร์ของ dsPIC นั้นรายละเอียดของวงจรจะแสดงเฉพาะช่อง CNO ส่วนช่องอื่นๆจะมีวงจรแบบเดียวกันหลักการทำงานก็คือใช้ฟลิปฟล็อปแบบ D สองตัวในการเก็บสถานะของลอจิกณเวลาก่อนหน้านั้นเปรียบเทียบกับลอจิกค่าใหม่เมื่อใดที่มีการเปลี่ยนแปลงจะทำให้เอาต์พุตของฟลิปฟล็อปทั้งสองตัวมีค่าไม่เท่ากันเอาต์พุตของเกต XOR จะมีค่า 1 ซึ่งถ้าหากเปิดการใช้งาน CNOIE = 1 ก็จะทำให้เกิดสัญญาณอินเทอร์รัพท์ CN ขึ้นจากวงจรจะเห็นได้ว่าหากเปิดการใช้งานขา CN พร้อมกันหลายขาไม่ว่าสัญญาณเปลี่ยนแปลงที่ขาใดก็จะเกิดสัญญาณอินเทอร์รัพท์ CN แต่การจะทราบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นที่ขาใดจะต้องทำการอ่านข้อมูลของทุกขาที่เปิดใช้งานและมาตรวจสอบอีกครั้งหนึ่งในดาต้าชีทของไมโครคอนโทรลเลอร์จะระบุข้อกำหนดทางไฟฟ้าเช่นความกว้างน้อยสุดของการเปลี่ยนแปลงที่สามารถตรวจจับได้ผู้พัฒนาต้องคำนึงถึงเงื่อนไขเหล่านี้เพื่อแน่ใจว่าระบบจะทำงานได้อย่างถูกต้อง



รูปที่ 2.19 บล็อก ไดอะแกรมแจ้งเตือนการเปลี่ยนแปลงของอินพุตใน dsPIC30F4011

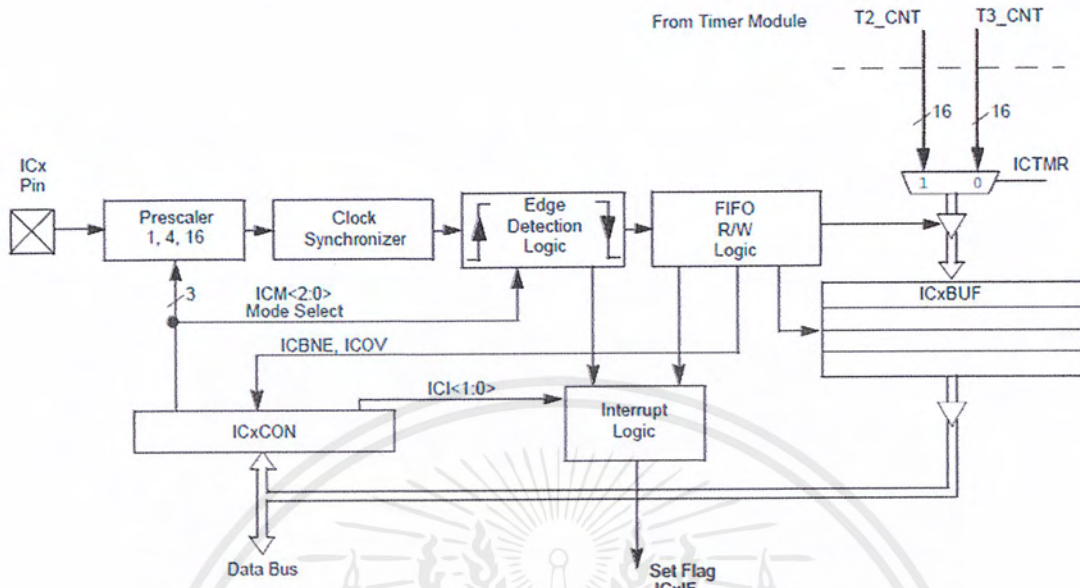
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งานเป็นตัวตั้งเวลาแบบนี้จะเป็นพื้นฐานในการอิมพลีเมนต์อัลกอริธึมการควบคุมที่ขึ้นอยู่กับคาบเวลาการสุ่ม Δ ที่กำหนดสมมุติว่าเท่ากับ 0.01 วินาทีที่จะต้องนำคาบเวลาการสุ่มนั้นมาแปลงเป็นค่าตัวเลขที่เหมาะสมเพื่อโหลดเข้าไปยังรีจิสเตอร์PRxทำให้เกิดไทเมอร์อินเตอร์รัพท์ทุก 0.01 วินาทีและอัลกอริธึมตัวควบคุมก็จะถูกเรียกทำงานทุกครั้งที่เกิดไทเมอร์อินเตอร์รัพท์ในกรณีที่ต้องการตั้งเวลายานานมากหากปรับสเกลของพัลส์แล้วยังพบว่าไทเมอร์ขนาด 16 บิตไม่เพียงพอใน dsPIC30F ยังมีไทเมอร์แบบ B และ C ที่สามารถนำมาต่อกันเป็นไทเมอร์ขนาด 32 บิตได้ รายละเอียดสามารถศึกษาจากคู่มือของdsPIC

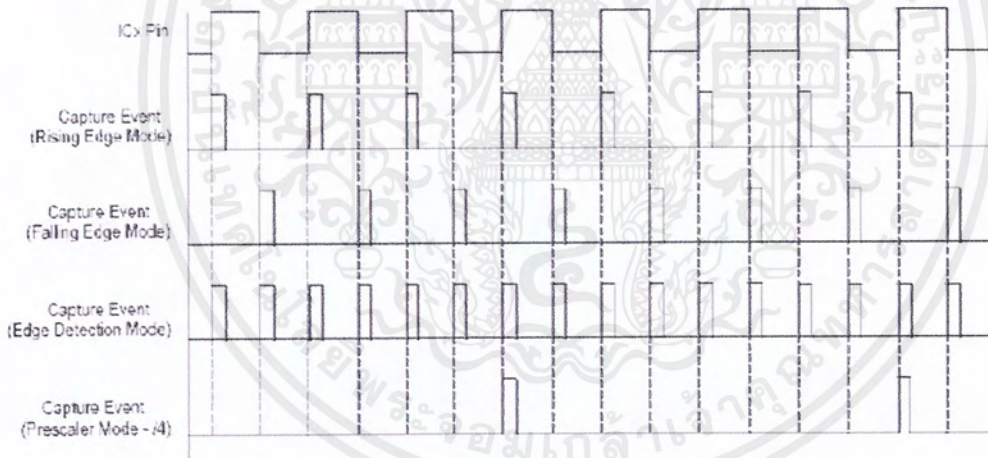
2.9.6 ตัวจับอินพุต

ไทเมอร์ในงานจับอินพุต (input capture) คือเมื่อต้องการวัดคาบเวลาของสัญญาณลอจิกหรือความกว้างของพัลส์หลักการคือสามารถตั้งให้ไทเมอร์เริ่มทำงานเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงลอจิก(ขอบขาขึ้นหรือขาลง) และหยุดทำงานตามการเปลี่ยนแปลงครั้งต่อไปตามที่กำหนด (ขอบขาขึ้นหรือขาลงที่สามารถเว้นไปจำนวน 4 หรือ 16 ครั้ง)

จากรูปที่2.21 เป็นบล็อกไดอะแกรมของวงจรจับอินพุตใน dsPIC30F ตัวอย่างเช่นหากเราต้องการวัดค่าคาบเวลาของสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมทำได้โดยเลือกโหมดตรวจจับเฉพาะขอบขาขึ้น (หรือตรวจจับเฉพาะขอบขาลง) ของสัญญาณแต่หากต้องการวัดความกว้างของพัลส์ก็เลือกโหมดตรวจจับทั้งขอบขาขึ้นและขาลงรูปที่2.23 แสดงอีเวนต์ (event) ที่เกิดขึ้นจากโหมดตรวจจับอินพุตแต่ละแบบสังเกตว่าตัวจับอินพุตจะทำงานกับสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมในกรณีที่ต้องการวัดคาบสัญญาณรูปคลื่นขาขึ้นสามารถทำได้โดยป้อนสัญญาณเข้าวงจรออปแอมป์อัตราขยายสูงตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานตัวจับอินพุตในงานควบคุมได้แก่การวัดความเร็วรอบของมอเตอร์จากคาบเวลาของสัญญาณจากเอนโคเดอร์โดยจากค่าของคาบเวลาและจำนวนพัลส์ของเอนโคเดอร์ในหนึ่งรอบสามารถแปลงเป็นค่าความเร็วรอบได้นอกจากนั้นตัวจับอินพุตยังสามารถใช้งานในลักษณะเดียวกับขา CN คือสร้างสัญญาณอินเตอร์รัพท์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงที่อินพุตแต่จะมีความยืดหยุ่นมากกว่าคือสามารถตั้งให้เกิดอินเตอร์รัพท์ทุกครั้งหรือเฉพาะอีเวนต์ที่ 2,3 หรือ 4 ก็ได้ตัวจับอินพุตสามารถทำงานร่วมกับ DMA ได้ด้วย



รูปที่ 2.21 บล็อกไดอะแกรมภาคจับอินพุตใน dsPIC30F4011

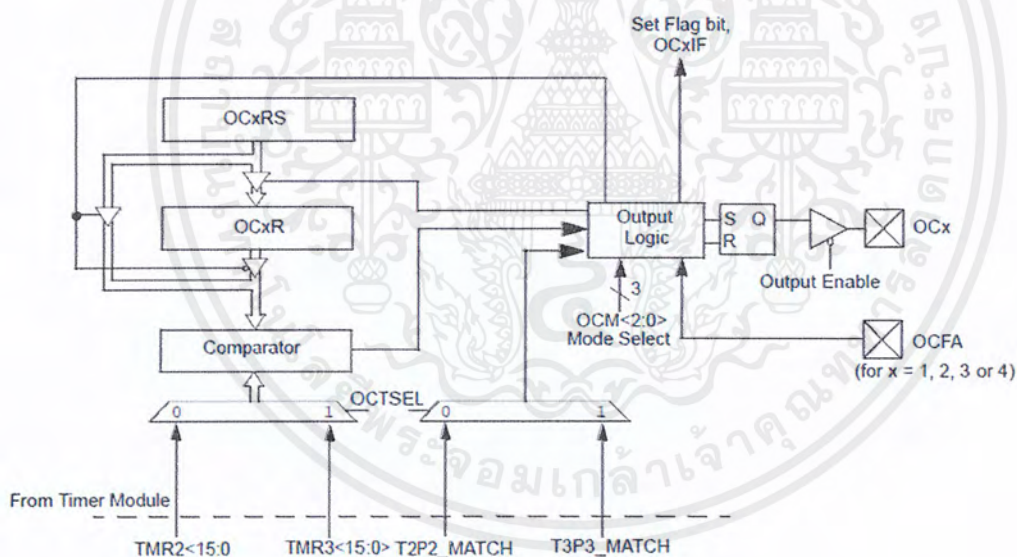


รูปที่ 2.22 แสดงอีเวนต์ที่เกิดขึ้นจากโหมคจับอินพุตแต่ละแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

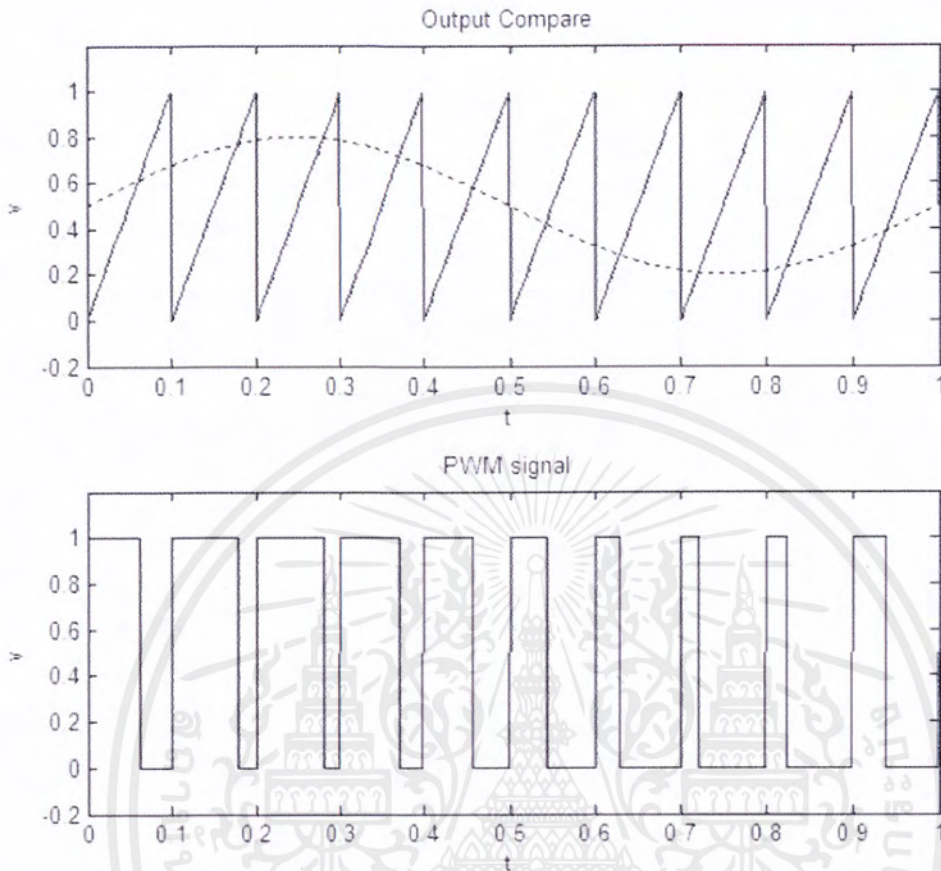
2.9.7 ตัวเปรียบเทียบเอาต์พุต

ไทมเมอร์สามารถใช้งานเป็นตัวเปรียบเทียบเอาต์พุต (output compare) ดังแสดงรูปที่ 2.23 โดยจะทำการเปรียบเทียบค่าในรีจิสเตอร์ OCxR (หรือ OCxRS) กับค่าของไทมเมอร์และสร้างสัญญาณอินเตอร์รัพท์ OCxIF กับสัญญาณเอาต์พุต OCx การที่รีจิสเตอร์ที่ใช้เปรียบเทียบมีสองตัว ทำให้สามารถสร้างสัญญาณเอาต์พุตได้หลายลักษณะตามโหมดที่เลือก เช่น อาจจะเป็นพัลส์เดี่ยว (one-shot) หรือพัลส์ต่อเนื่องก็ได้ ตัวเปรียบเทียบเอาต์พุตสามารถใช้ในการสร้างสัญญาณ PWM (Pulse Width Modulation) ที่ใช้ในการขับมอเตอร์หรือควบคุมความสว่างของ LED ก็ได้ คุณสมบัติของสัญญาณ PWM จะเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่เป็นตัวแทนของสัญญาณแอนะล็อก โดยอัตราส่วนระหว่างลอจิกหนึ่งและศูนย์ของพัลส์ (duty cycle) จะแปรตามระดับของสัญญาณแอนะล็อกนั้น



รูปที่ 2.23 บล็อกไดอะแกรมตัวเปรียบเทียบเอาต์พุตใน dsPIC30F4011

จากรูปที่ 2.24 แสดงตัวอย่างของการเปรียบเทียบเอาต์พุตเพื่อสร้างสัญญาณ PWM โดยสัญญาณแอนะล็อกเป็นรูปคลื่นไซน์เปรียบเทียบกับรูปคลื่นฟันเลื่อยเมื่อใดที่สัญญาณแอนะล็อกมีค่ามากกว่าคลื่นฟันเลื่อย PWM จะมีค่าเป็น 1 นอกจากนั้นจะเป็น 0 จะเห็นได้ว่า duty cycle ของ PWM จะแปรผันตามระดับของสัญญาณแอนะล็อก



รูปที่ 2.24 การเปรียบเทียบเอาต์พุตเพื่อสร้างสัญญาณ PWM

ดังนั้นการสร้าง PWM โดยตัวเปรียบเทียบเอาต์พุตในรูปที่ 2.24 ก็จะมีหลักการ เช่นเดียวกับการเปรียบเทียบสัญญาณในรูปที่ 2.26 นั้นเอง โดยรูปคลื่นฟันเลื่อยก็คือค่านับในไทเมอร์ที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ส่วนสัญญาณแอนะล็อกก็คือค่าที่ถูกโหลดเข้าไปในรีจิสเตอร์ OCxR เมื่อใดที่ ไทเมอร์นับถึงค่านี้อาต์พุต OCx จะตกจาก 1 เป็น 0 (ความถี่และความละเอียดของ PWM สามารถตั้งได้ตามที่ระบุในคู่มือ dsPIC)

2.9.8 โมดูล PWM สำหรับควบคุมมอเตอร์

ในไมโครคอนโทรลเลอร์dsPICตระกูล MC (Motor Control) จะมีโมดูล PWM พิเศษ สำหรับการควบคุมมอเตอร์โดยเฉพาะเหมาะกับการไปใช้งานเป็นตัวขับมอเตอร์แบบต่างๆเช่น AC อินดักชัน 3เฟสหรือแบบ DC ไม่มีแปรงถ่านเพราะมีเอาต์พุตหลายช่องและฟังก์ชันสนับสนุนเช่นการสร้างdeadtimeเราจะได้กล่าวถึงอีกครั้งในภาคตัวอย่างการออกแบบ



บทที่ 3

หลักการออกแบบ และผังการทำงาน

3.1 งานด้านโครงสร้าง

ในการออกแบบชิ้นงาน จะต้องมีความแม่นยำสูงมาก ดังนั้นผู้จัดทำจึงใช้โปรแกรม solid works เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบ เนื่องจากโปรแกรม solid works เป็นโปรแกรมที่มีความแม่นยำสูง และสามารถนำมาแสดงภาพสามมิติได้

3.1.1 การถอดโครงรถจักรยานยนต์

โครงตัวถังของรถที่เลือกใช้เป็นการเลือกใช้เป็น โครงรถจักรยานยนต์จริงที่มีขายในท้องตลาด เนื่องจากโครงรถจักรยานยนต์เป็น โครงที่มีผ่านการออกแบบและรับรองมาตรฐานอยู่แล้วจึงสะดวกต่อการใช้ไม่จำเป็นต้องออกแบบใหม่ทั้งหมด อาทิเช่น ระบบกันสะเทือน ระบบเบรก ระบบไฟส่องสว่างที่ถูกต้องตามกฎหมายกำหนด ทางเราเพียงปรับแก้เพียงเล็กน้อยก็สามารถใช้งานได้



(a)



(b)

รูปที่ 3.1 แสดงภาพก่อน หลังการถอดเครื่องยนต์ (a) ก่อนถอด (b) หลังถอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 เขียนแบบโครงรถจักรยานยนต์

ในการออกแบบจักรยานยนต์ไฟฟ้าต้องมีการเขียนแบบ โครงรถ และอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อใช้ในการอ้างอิงในการออกแบบอุปกรณ์ประกอบชิ้นอื่นๆ ดังรูปที่ 3.1 เป็นโครงรถจักรยานยนต์ที่ได้ทำการถอดเครื่องยนต์แล้ว



รูปที่ 3.2 แสดงแบบ โครงรถจักรยานยนต์

3.1.3 การออกแบบอุปกรณ์ชุดยึดมอเตอร์

อุปกรณ์ชุดยึดมอเตอร์ต้องพอดีกับ โครงรถจักรยานยนต์ และมอเตอร์ รวมทั้งมีความทนทาน และสามารถรับแรงบิด และมวลของมอเตอร์ได้ โดยสามารถคำนวณความเค้นของชิ้นงานได้จากสมการ

$$\tau = \frac{Tr}{J} \quad (3.1)$$

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \quad (3.2)$$

เมื่อ τ คือ ความเค้นเฉือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T คือ แรงบิด

r คือ รัศมีของท่อนกลม

J คือ โมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้วของพื้นที่

σ_c คือ ความเค้นอัด

F คือ แรงที่กระทำต่อชิ้นงาน

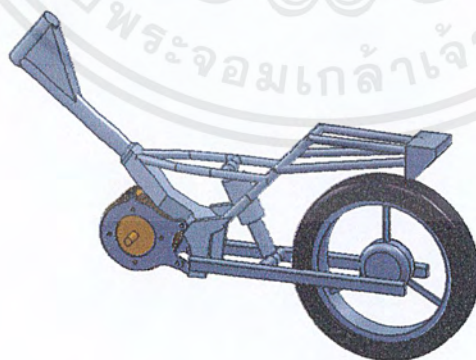
A คือ พื้นที่หน้าตัดที่รับแรง

สามารถออกแบบอุปกรณ์ชุดยึดมอเตอร์ได้ ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงแบบจำลองอุปกรณ์ชุดยึดมอเตอร์

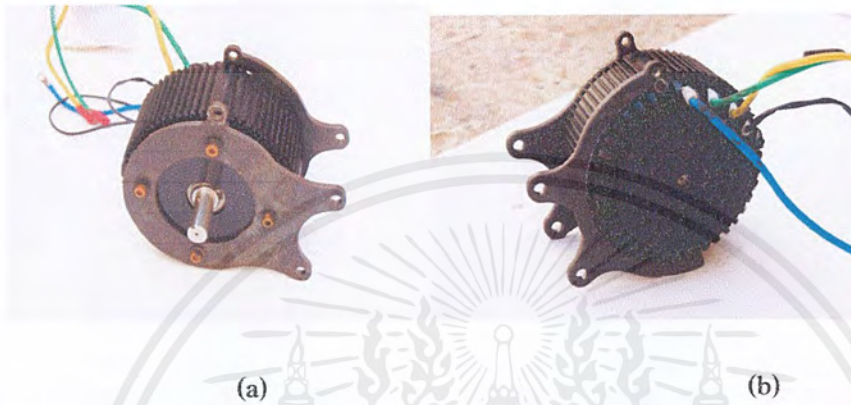
3.1.4 การติดตั้งอุปกรณ์ชุดยึดมอเตอร์



รูปที่ 3.4 แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ชุดยึดมอเตอร์กับโครงรถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการติดตั้งอุปกรณ์ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ต้องขันนอตให้แน่น เพื่อยึดให้มอเตอร์ให้มั่นคง รวมทั้งใส่ บูสท์ กันการ โกงตัว และการบิด ของนอต ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.5 การประกอบมอเตอร์กับชุดอุปกรณ์ขับเคลื่อนมอเตอร์ (a) ด้านหน้า (b) ด้านหลัง



รูปที่ 3.6 แสดงตำแหน่งที่ต้องใส่บูสท์



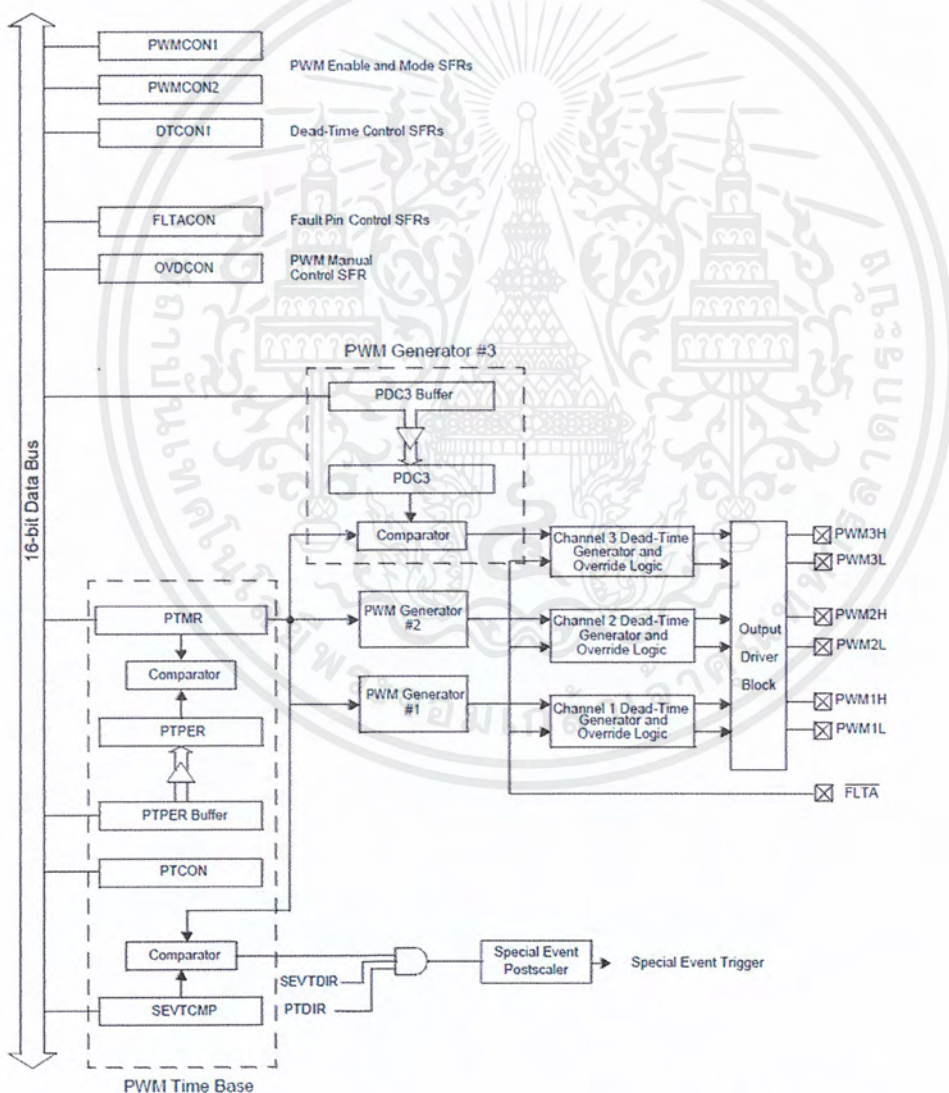
รูปที่ 3.7 แสดงตัวรถจักรยานยนต์เมื่อประกอบอุปกรณ์ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์กับตัวถังเรียบร้อยแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 สถาปัตยกรรมภายในที่ใช้การประมวลผลของdsPIC4011

3.2.1 โมดูล MCPWM

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในปฏิยานิพนธ์นี้ มีโมดูลสำหรับสร้างสัญญาณพัลส์วัดมอดดูเลชั่น (PWM) เพื่อควบคุมมอเตอร์ หรือเรียกว่า โมดูล Motor Control PWM (MCPWM) ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในปฏิยานิพนธ์นี้จะมีโมดูลพัลส์วัดมอดดูเลชั่น 6 ช่อง จึงเหมาะกับการขับมอเตอร์ 3 เฟส ดังนั้นสามารถนำไปใช้ควบคุมมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านซึ่งไคอะแกรมของการทำงานของ โมดูล MCPWM ดังรูปที่ 3.8

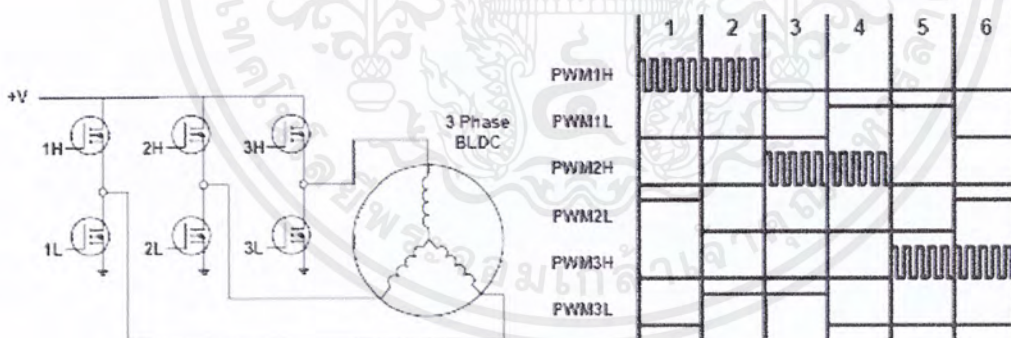


รูปที่ 3.8 ไคอะแกรมของการทำงานของ โมดูล MCPWM ในไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปข้างบนได้แสดงไคอะแกรมการทำงานของโมดูล MCPWM ส่วนประกอบหลักของโมดูลนี้ส่วนกำเนิดสัญญาณพัลส์วิดมอดดูเลชั่น ที่มีอยู่ด้วยกัน 3 ชุด ซึ่งได้ค่าฐานเวลามาจากรีจิสเตอร์ PTMR และ PTPER ส่วนค่าความถี่ไซเคิลในส่วนกำเนิดสัญญาณพัลส์วิดมอดดูเลชั่นในโมดูล MCPWM นี้สามารถกำหนดได้จากรีจิสเตอร์ความถี่ไซเคิลในส่วนกำเนิดสัญญาณพัลส์วิดมอดดูเลชั่นแต่ละส่วนที่เป็นอิสระต่อกัน นอกจากนั้นยังสามารถกำหนดการทำงานของขาพอร์ตเอาต์พุตของโมดูล MCPWM โดยตรงผ่านทางรีจิสเตอร์ OVDCON

ส่วนกำเนิดสัญญาณพัลส์วิดมอดดูเลชั่น สำหรับควบคุมมอเตอร์แต่ละชุดในโมดูล MCPWM สามารถกำหนดให้ทำงานแยกจากกันเป็นอิสระหรือทำงานร่วมกันเพื่อขับมอเตอร์ 3 เฟสได้โดยกำหนดผ่านรีจิสเตอร์ PWMCON1 และ PWMCON2 และเมื่อกำหนดให้ทำงานร่วมกันจะต้องมีการจัดการสัญญาณเพื่อให้มอเตอร์ในแต่ละเฟสสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง นั่นคือการจัดการค่าเวลาหน่วงเฟส (datetime control) โดยใช้รีจิสเตอร์ DTCON1 ซึ่งตัวอย่างการนำเอาต์พุตของโมดูล MCPWM ของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้นี้จะได้ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างการนำเอาต์พุตของโมดูล MCPWM ในไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้

3.2.2 การควบคุมเวลาวิกฤต (Dead Time Control)

โดยธรรมชาติของอุปกรณ์เหนี่ยวนำ เมื่อได้รับแรงดันกระตุ้นให้ทำงานแล้วสั่งให้หยุดทำงานตัวอุปกรณ์จะไม่สามารถหยุดทำงานได้ทันที และหากกระตุ้นให้วงจรจับชุดต่อไปทำงานทันทีจะทำให้เกิดการชนกันของแรงดัน ซึ่งอาจนำมาซึ่งความเสียหายของวงจรได้ นั่นคือที่มาของคำว่า Dead time หรือเวลาวิกฤต ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหานี้จะต้องมีการหน่วงเวลาให้อุปกรณ์ที่ถูกกำหนดให้หยุดทำงานอีกเล็กน้อยเพื่อให้แน่ใจว่ามีการหยุดทำงานลงอย่างแท้จริง ก่อนที่จะกระตุ้นให้เกิดสภาวะการทำงานในเฟสถัดไป

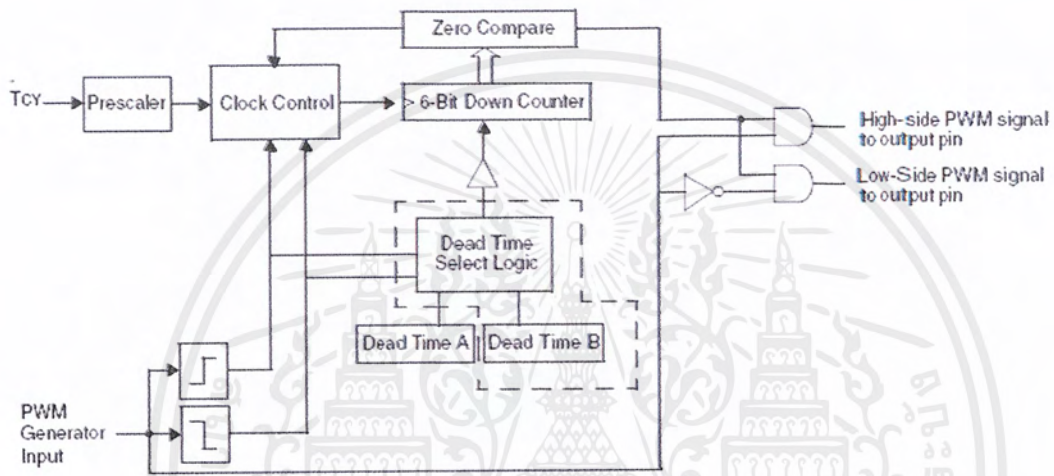
ส่วนที่ทำหน้าที่นี้คือ ส่วนกำเนิดช่วงเวลาวิกฤต (Dead Time Generator) โดยส่วนกำเนิดช่วงเวลาวิกฤตจะได้รับการเอนเอเบิล โดยฮาร์ดแวร์เมื่อกำหนดให้โมดูล MCPWM ทำงานในแบบคอมพลิเมนต์ารี ใน dsPIC ที่มีโมดูล MCPWM แบบ 6 เาท์พุตจะสามารถกำหนดค่าวิกฤตได้ 1 ค่า ส่วนแบบ 8 เาท์พุตสามารถกำหนดได้ 2 ค่า ในกรณีที่สามารถกำหนดได้ 2 ค่า สามารถเลือกใช้วิธีการกำหนดค่าได้จาก 2 วิธีดังต่อไปนี้

- สามารถเลือกกำหนดค่าเวลาวิกฤตในช่วงหยุดทำงานของเอาท์พุตด้านแรงดันสูงหรือต่ำก็ได้ โดยเวลาวิกฤตค่าแรกจะกำหนดลงระหว่างช่วงหยุดทำงานของเอาท์พุตด้านแรงดันต่ำกับช่วงทำงานของเอาท์พุตด้านแรงดันสูง ส่วนค่าที่สองกำหนดลงระหว่าง ช่วงหยุดทำงานของเอาท์พุตด้านแรงดันสูงกับช่วงทำงานของเอาท์พุตด้านแรงดันต่ำ
- ค่าเวลาวิกฤตทั้งสองค่าสามารถกำหนดลงในแต่ละคู่ของเอาท์พุตได้อย่างอิสระ

3.2.2.1 ส่วนกำเนิดช่วงเวลาวิกฤต

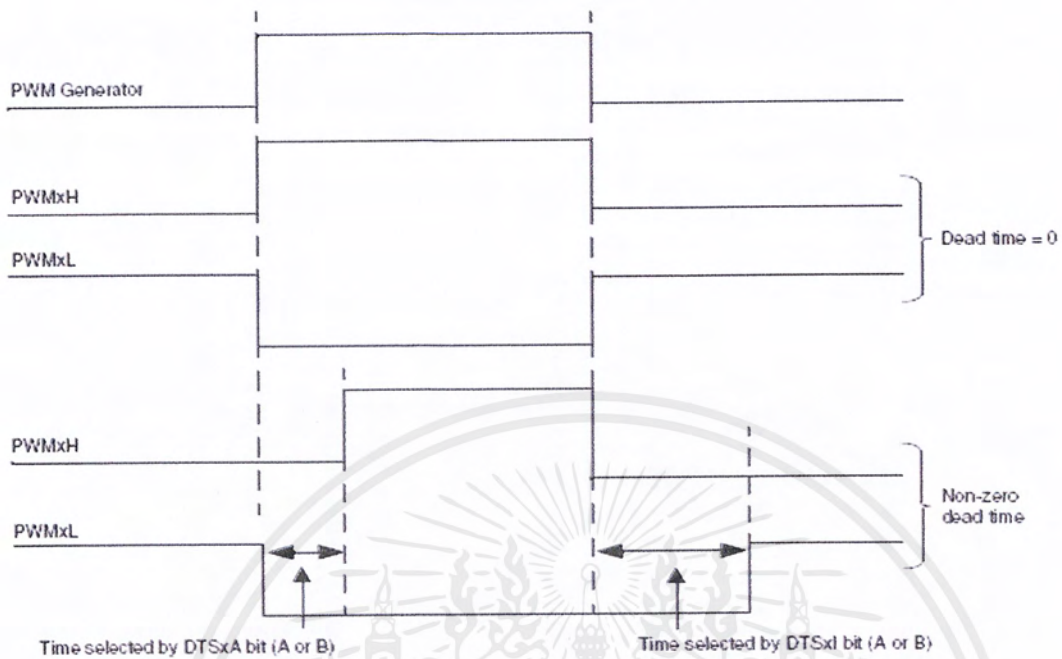
ในรูปที่ 3.10 แสดงไดอะแกรมการทำงานของส่วนกำเนิดช่วงเวลาวิกฤตของแต่ละคู่วงจรเอาท์พุตใน โมดูล MCPWM มีวงจรนับลง 6 บิต ซึ่งถูกใช้กำหนดค่าเวลาวิกฤต โดยมีส่วนตรวจจับขอบขาขึ้นและลงของสัญญาณเชื่อมต่อเข้ากับเอาท์พุต ของส่วนเปรียบเทียบเพื่อ

กำหนดค่าดีวีทีซีเกิด ค่าเวลาวิกฤตจะถูกโหลดไปยังวงจรมับลงเมื่อตรวจจับขอบขาของ สัญญาณพัลส์วิดมอดดูเลชั่นได้ จะเริ่มการนับค่าลงจนเป็น “0” เอาท์พุทของโมดูลพัลส์วิดมอดดูเลชั่นจึงมีการเปลี่ยนแปลงสถานะ

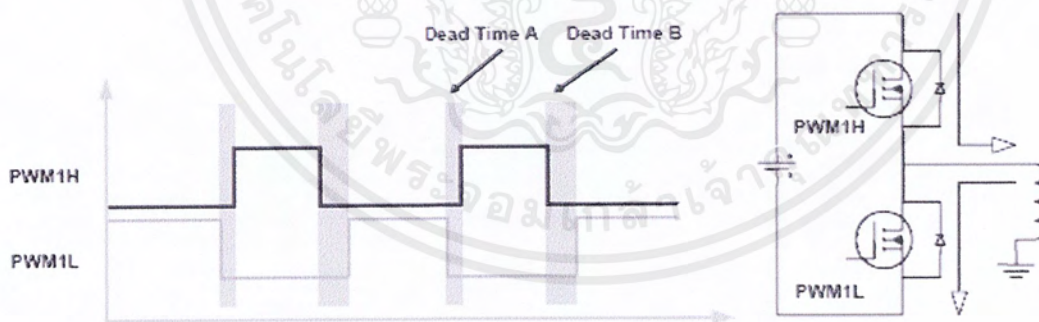


รูปที่ 3.10 ไคอะแกรมการทำงานของส่วนกำเนิดช่วงเวลาวิกฤต
ของแต่ละคู่วงจรถูกเอาท์พุทใน โมดูล MCPWM

ในรูปที่ 3.11 แสดงไคอะแกรมเวลาของการกำหนดช่วงเวลาวิกฤตลงในเอาท์พุทของ โมดูล MCPWM โดยค่าเวลาวิกฤตค่าที่สองจะเกิดขึ้นได้ใน dsPIC ที่มีโมดูล MCPWM แบบ 8 เอาท์พุทเท่านั้น



รูปที่ 3.11 ไดอะแกรมเวลาของการกำหนดช่วงเวลาวิกฤตลงในเอาต์พุตของโมดูล MCPWM



รูปที่ 3.12 แสดงการกำหนดช่วงเวลาวิกฤตเมื่อใช้กับชุดขับมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.2 ย่านของเวลาวิกฤต

ค่าเวลาวิกฤตสามารถกำหนดได้จากอัตราปรีสเกลเลอร์ร่วมกับข้อมูล 6 บิตที่กำหนดลงในวงจรนับของส่วนกำเนิดเวลาวิกฤต (ดูรูปที่ 3.13 ประกอบ) ซึ่งก็คือค่าของบิต DTA5 ถึง DTA0 (บิต 5 ถึง บิต 0) ของรีจิสเตอร์ DTCON1 ในกรณีใช้ส่วนกำเนิดเวลาวิกฤตชุด A ในกรณีใช้ส่วนกำเนิดเวลาวิกฤตชุด B ค่าเวลาวิกฤตจะกำหนดได้จากค่าของบิต DTB5 ถึง DTB0 (บิต 5 ถึง บิต 0) ของรีจิสเตอร์ DTCON2 และอัตราปรีสเกลเลอร์ที่บิต DTBPS1 และ DTBPS0 (บิต 15 และ บิต 14) ของรีจิสเตอร์ DTCON1

ข้อมูล 6 บิตที่ใช้ในการกำหนดค่าเวลาวิกฤต (DT) สามารถคำนวณได้จาก

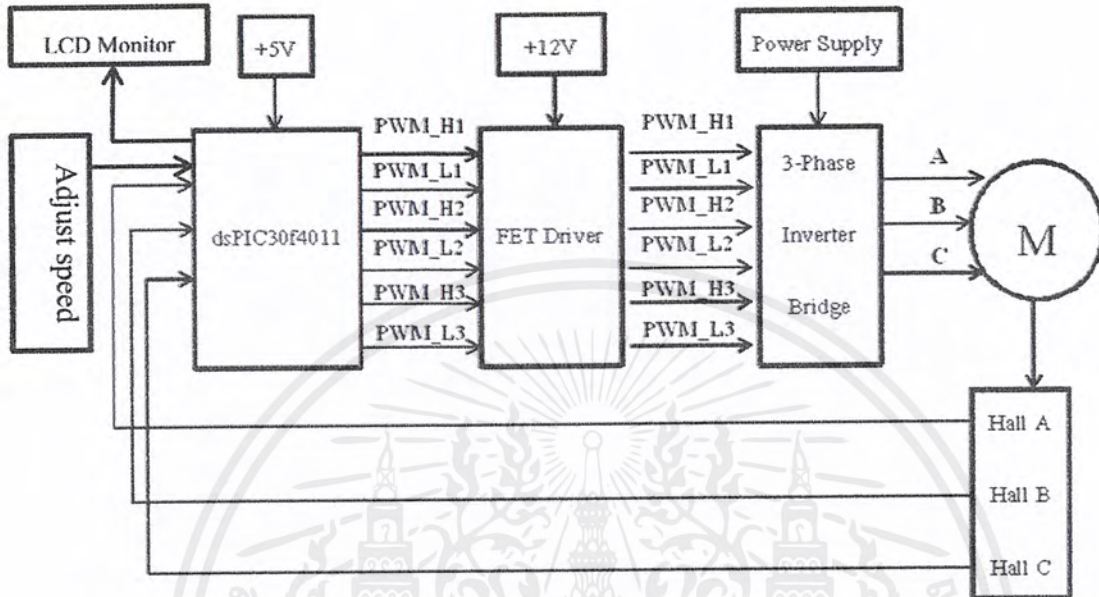
$$DT = \frac{Dead_Time}{Prescaler \times Tcy}$$

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างของย่านเวลาวิกฤตที่ความถี่ในการทำงานค่าต่างๆ และอัตราปรีสเกลเลอร์เท่ากับ 2Tcy และ 4Tcy

ค่าเวลา Tcy (ความถี่ Fcy)	อัตราของปรีสเกลเลอร์	ความละเอียด	ย่านของเวลาหน่วยเฟส
33 นาโนวินาที (30MHz)	4Tcy	130 นาโนวินาที	9-130 ไมโครวินาที
50 นาโนวินาที (20MHz)	4Tcy	200 นาโนวินาที	12-200 ไมโครวินาที
100 นาโนวินาที(10MHz)	2Tcy	200นาโนวินาที	12-200 ไมโครวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วงจรและการขับมอเตอร์ชนิดไร้แปรงถ่าน

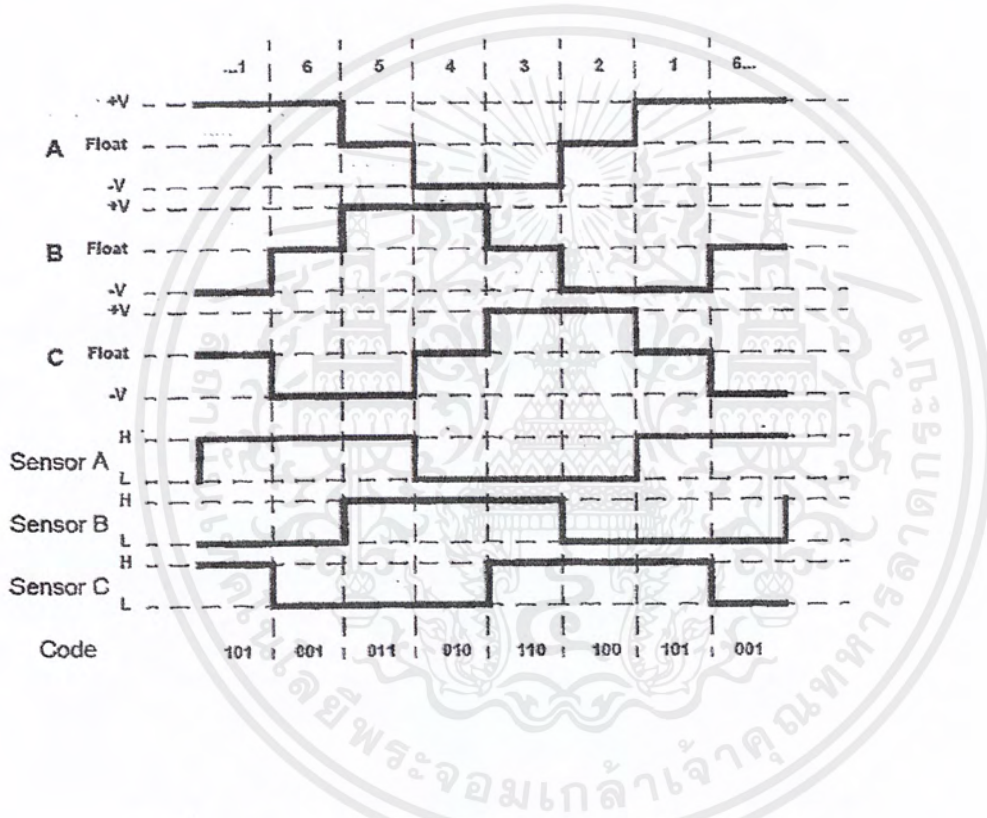


รูปที่ 3.13 แสดงไดอะแกรมการทำงานของ Motor Driver

จากรูป เป็นไดอะแกรมการทำงานของ Motor Driver ที่ใช้ในโครงการนี้ โดยจะใช้ dsPIC30F4011 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ 1 และ ใช้ FET Driver เบอร์ IR 2110 เป็นตัวส่งการ 3-Phase Inverter Bridge และใช้ MOSFET เบอร์ IRF3204 เป็น 3-Phase Inverter ของวงจร

การทำงานของ Motor Driver จะทำงาน โดยรับสัญญาณจาก Hall Sensor ทั้ง 3 ตัวที่อ่านค่าของ pole จากโรเตอร์ แล้วส่งข้อมูลให้ dsPIC30F4011 เป็นตัวประมวลผลว่าจะจ่ายแรงดันที่สวิตช์ไฟฟ้าสูง(+DC)ให้กับเฟสใด และจะจ่ายแรงดันที่มีสวิตช์ไฟฟ้าต่ำ(-DC)ให้กับเฟสใด โดยเฟสที่เหลือจะไม่มีแรงดันทั้งสวิตช์สูง(+DC)และสวิตช์ต่ำ(-DC)เลย ซึ่งสเต็ปการจ่ายไฟจะขึ้นกับสัญญาณที่ได้จาก Hall Sensor ทั้ง 3 ตัว ที่ติดตั้งไว้ในมอเตอร์ โดย dsPIC30F4011 จะส่งสัญญาณ PWM ไปให้ FET Driver ที่เป็นตัวควบคุมการทำงานของ 3-phase Inverter Bridge ประกอบด้วย MOSFET 6 ตัว ซึ่งทำหน้าที่เป็น Power Switch ซึ่งเป็นตัวกำหนดแรงดันไฟฟ้าให้กับเฟสใดๆ ของมอเตอร์ เช่น ในสเต็ปแรกจ่าย +DC ให้กับเฟส A และจ่าย -DC ให้กับเฟส B เมื่อจ่ายแรงดัน

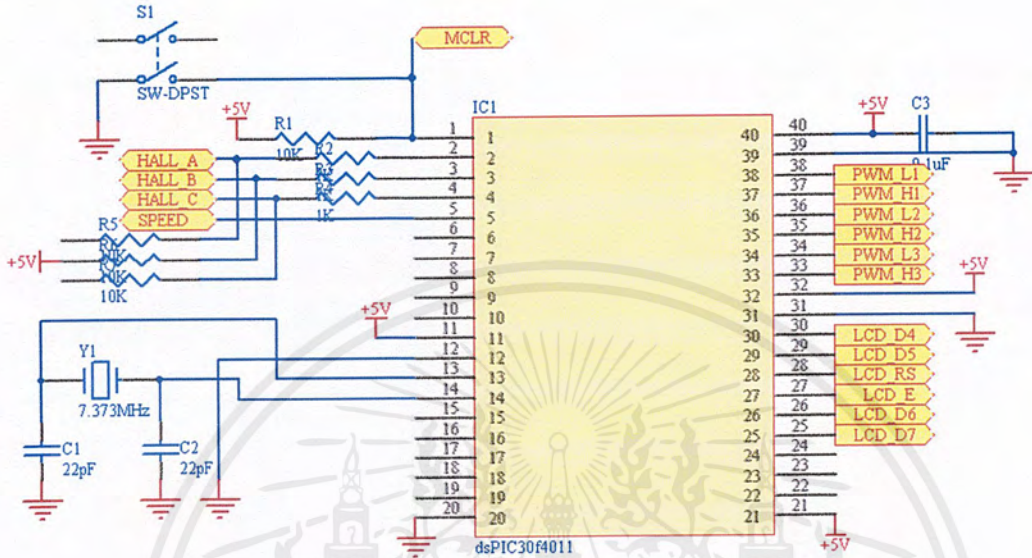
เข้าไปในขดลวดเหนี่ยวนำทั้งสองจะก่อให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้า ระหว่างเฟส A กับเฟส B ขึ้น มีผลทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้า โดยจะไหลจากเฟสที่มีการศักย์ไฟฟ้าสูงซึ่งก็คือ เฟส A ไปยังศักย์ไฟฟ้าต่ำซึ่งก็คือเฟส B โดยจะทำการจ่ายแรงดันเรียงลำดับกันไปตามรูปที่ 3.9 จนครบ ทั้ง 6step ซึ่งจะทำให้มอเตอร์หมุนครบรอบพอดี



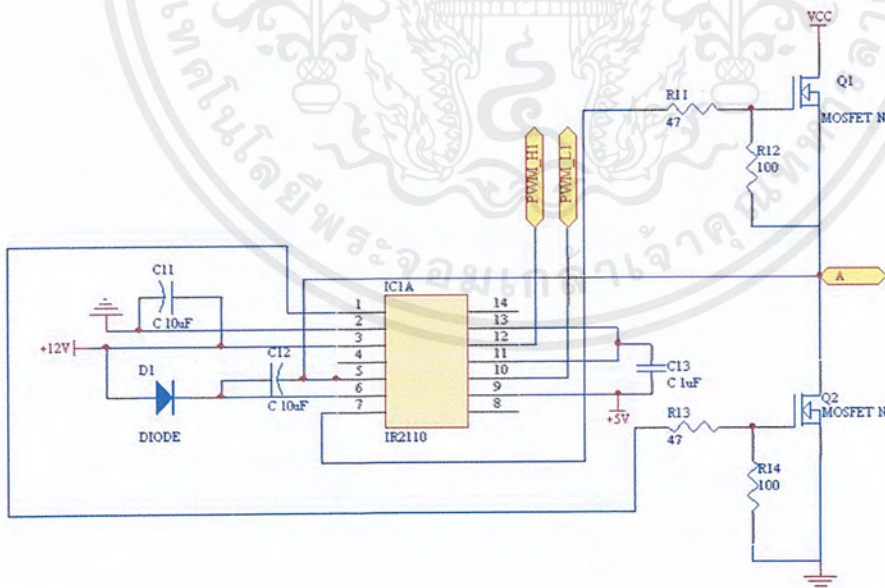
รูปที่ 3.14 timing diagram ระหว่าง Hall Sensor กับ Phase current

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 วงจรที่ใช้ในโครงการ

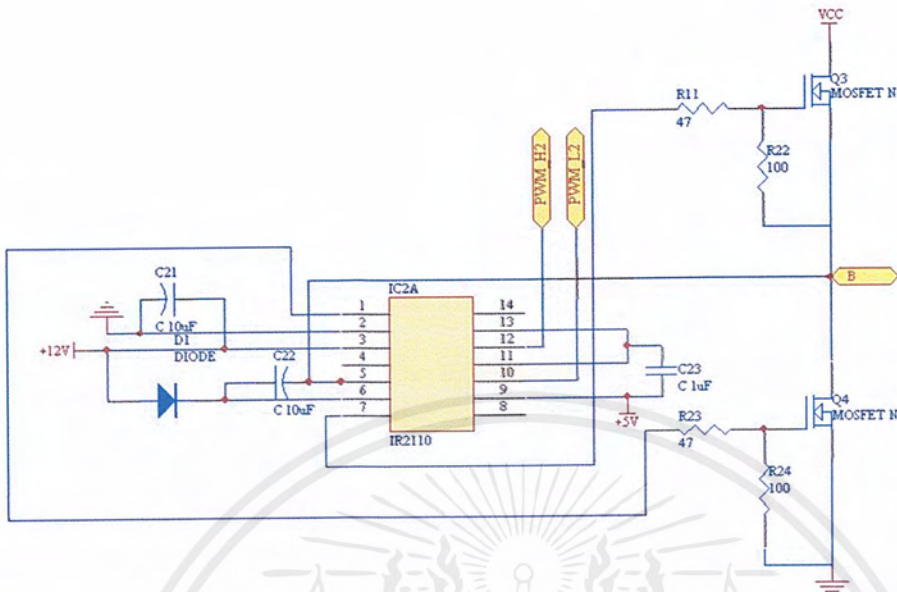


รูปที่ 3.15 แสดงวงจรควบคุมการทำงานของ motor driver

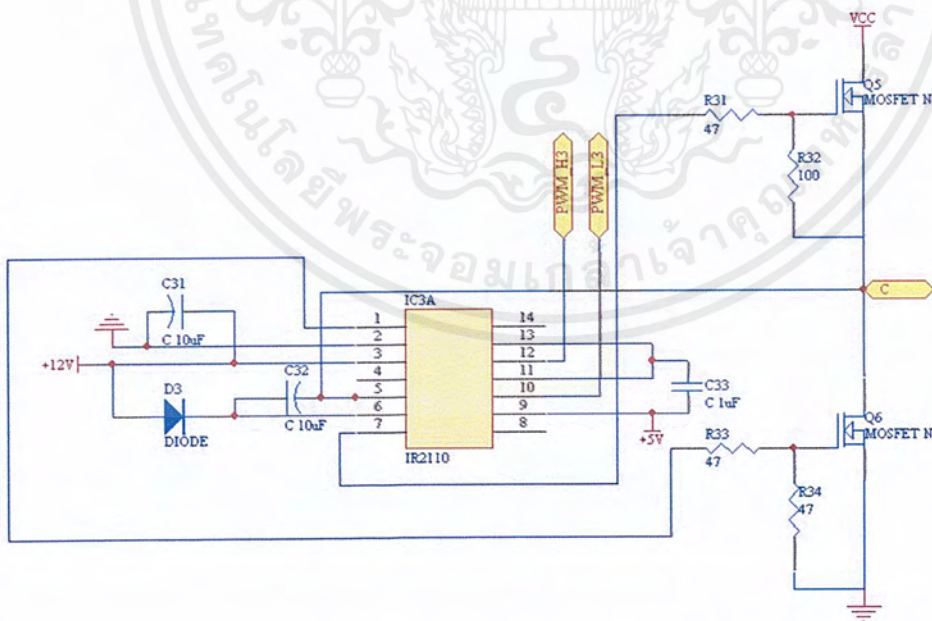


รูปที่ 3.16 แสดงวงจร drive phase A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

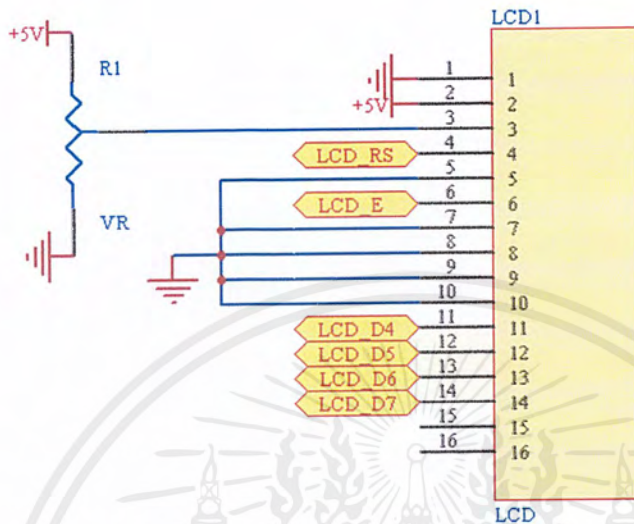


รูปที่ 3.17 แสดงวงจร drive phase B



รูปที่ 3.18 แสดงวงจร drive phase C

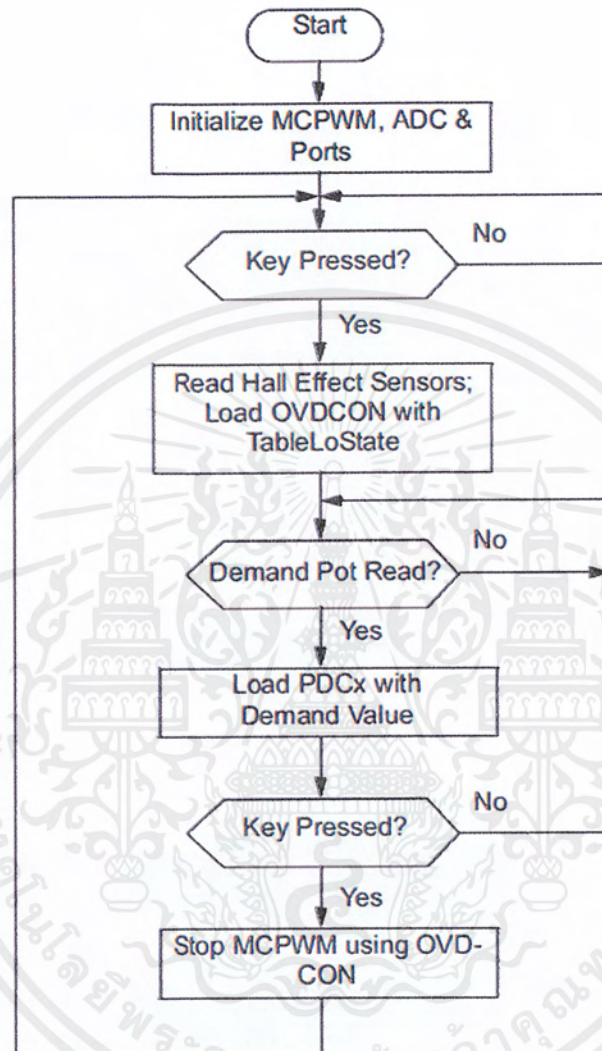
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 แสดงวงจรแสดงผลจอ LCD

จากรูปที่ 3.19 แสดงวงจรที่ใช้งาน โดย จ่ายไฟ 5 V ให้กับ Controller แล้วให้ port B0-B2 เป็น input รับสัญญาณที่ได้จาก Hall sensor โดย Hall sensor ต้องต่อเข้ากับ R Pull up เข้าที่ไฟ 5V เพราะถ้าไม่ต่อ R Pull up สัญญาณที่ออกมาจะมีค่าเปลี่ยนแปลงระหว่าง 0 – 0.2 V แต่ถ้าต่อ R Pull up สัญญาณที่ออกมาจะอยู่ระหว่าง 0 – 5 V และให้ port B3 เป็น input รับสัญญาณที่ได้จาก R ปรับค่าได้ (คันเร่ง) เพื่อนำไปแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อปรับ Duty Cycle เพื่อปรับความเร็วของมอเตอร์ และให้ port E0 – E5 เป็น output จ่ายสัญญาณ PWM ให้กับ IR2110 (FET Driver) เพื่อควบคุมการทำงานของ MOSFET โดย IR2110 1 ตัวจะควบคุมการทำงานของ MOSFET 2 ตัว (ตัวบนจะจ่ายไฟ +DC และตัวล่างจะจ่ายไฟ -DC) ดังรูปที่ 3.11 – 3.12 และ MOSFET ทั้งสองจะทำหน้าที่จ่ายแรงดันให้แก่แต่ละเฟสของมอเตอร์และเมื่อมอเตอร์หมุน Controller จะแสดงความเร็วของการเคลื่อนที่ผ่านทางจอ LCD โดยจะส่งข้อมูล (output) ออกทาง port F0 – F5 โดยความเร็วที่ได้จะแสดงในหน่วย km/hr. โดยผังการทำงานของโปรแกรมจะเป็นไปเป็นไปตามรูปที่ 3.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



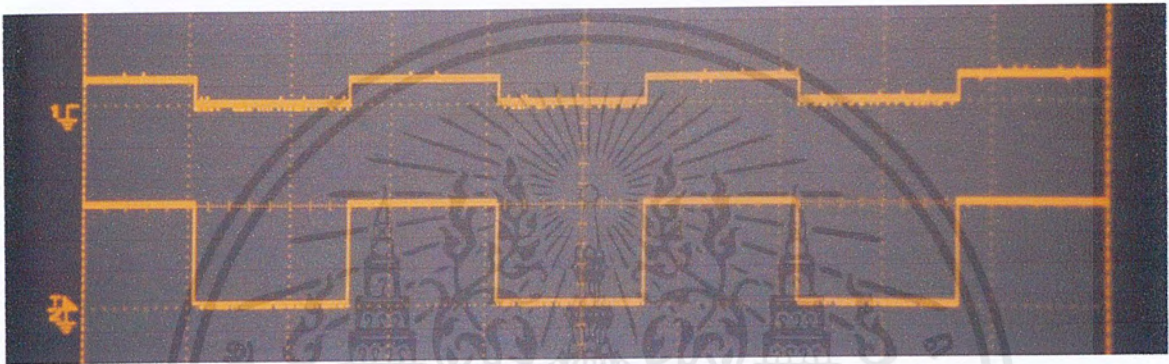
รูปที่ 3.20 แสดงแผนผังการทำงานของโปรแกรม Motor driver

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

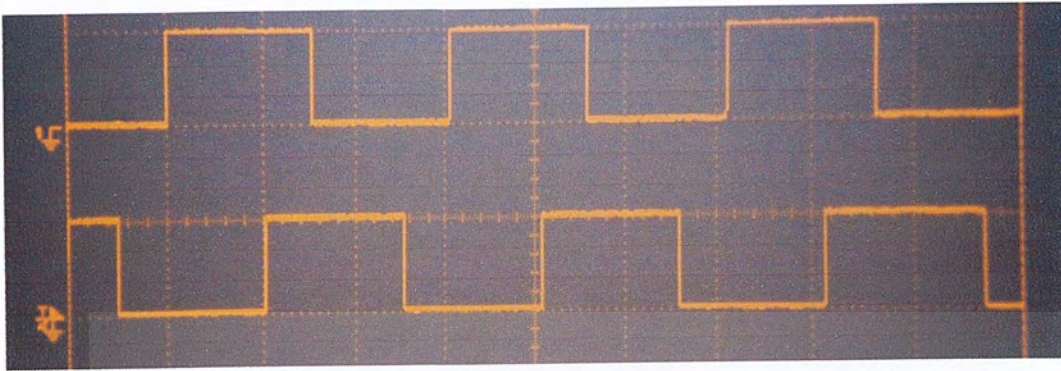
ผลการทดลอง

ผลการทดลอง



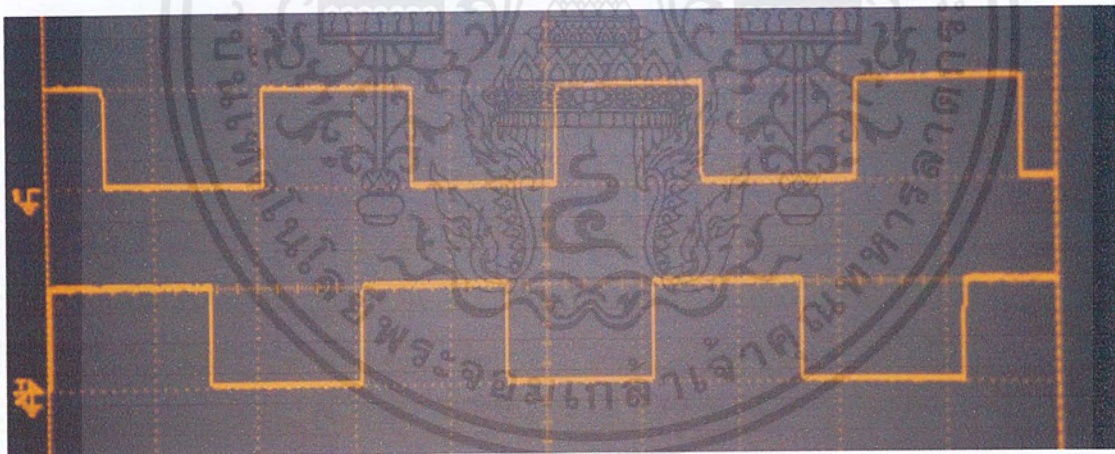
รูปที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณ Hall sensor ก่อนต่อ R pull up และหลังต่อ R pull up

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าก่อนที่สัญญาณจาก Hall sensor (ด้านบน)จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 0.2 V แต่หลังจากต่อ R pull up แล้ว สัญญาณ จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 5 V ซึ่งสัญญาณหลังจากที่ต่อ R pull up นี้สามารถนำไปเป็น input ของ controller ได้เลย



รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณ ระหว่าง HALL A (ด้านบน)กับ HALL B (ด้านล่าง)

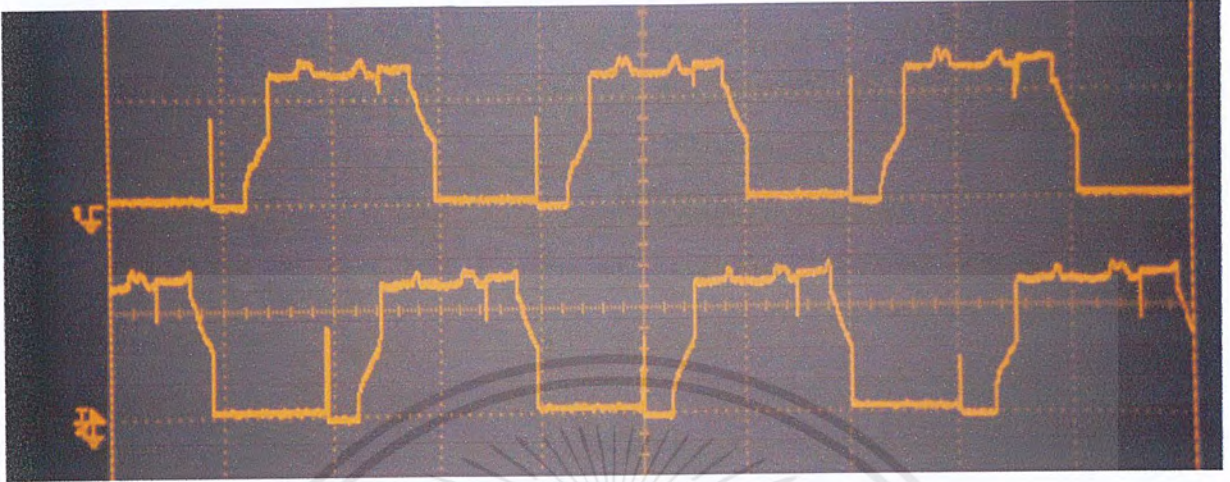
จากกราฟจะสังเกตได้ว่าสัญญาณ HALL A และ HALL B มีเฟสต่างกัน 60 องศาซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี



รูปที่ 4.3แสดงสัญญาณ ระหว่าง HALL B (ด้านบน)กับ HALL C (ด้านล่าง)

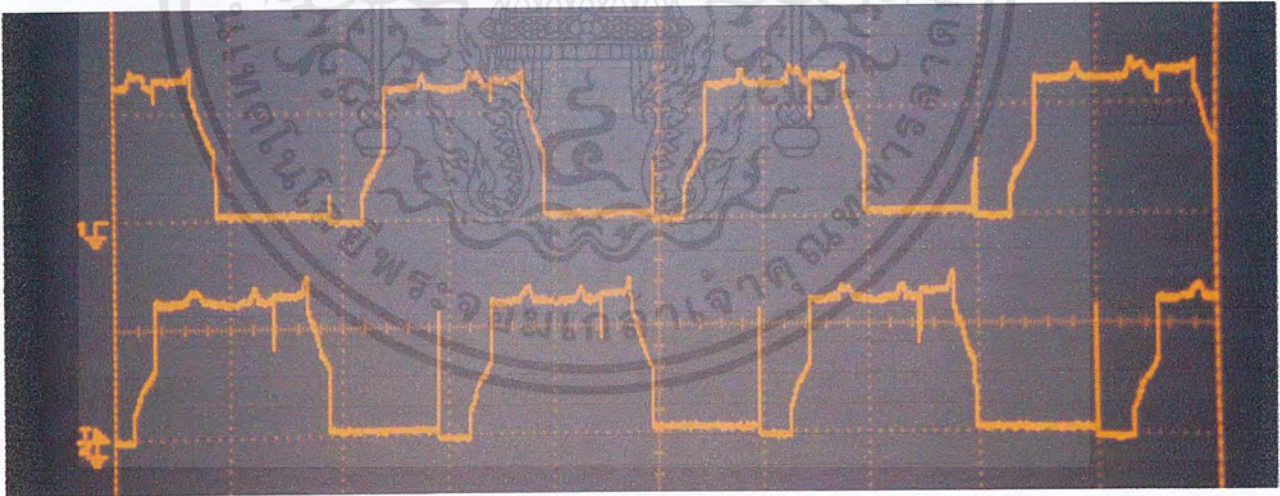
จากกราฟจะสังเกตได้ว่าสัญญาณ HALL B และ HALL C มีเฟสต่างกัน 60 องศาซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณระหว่าง Phase A (เทียบกับ Ground) ด้านบนและ Phase B (เทียบกับ Ground) ด้านล่าง

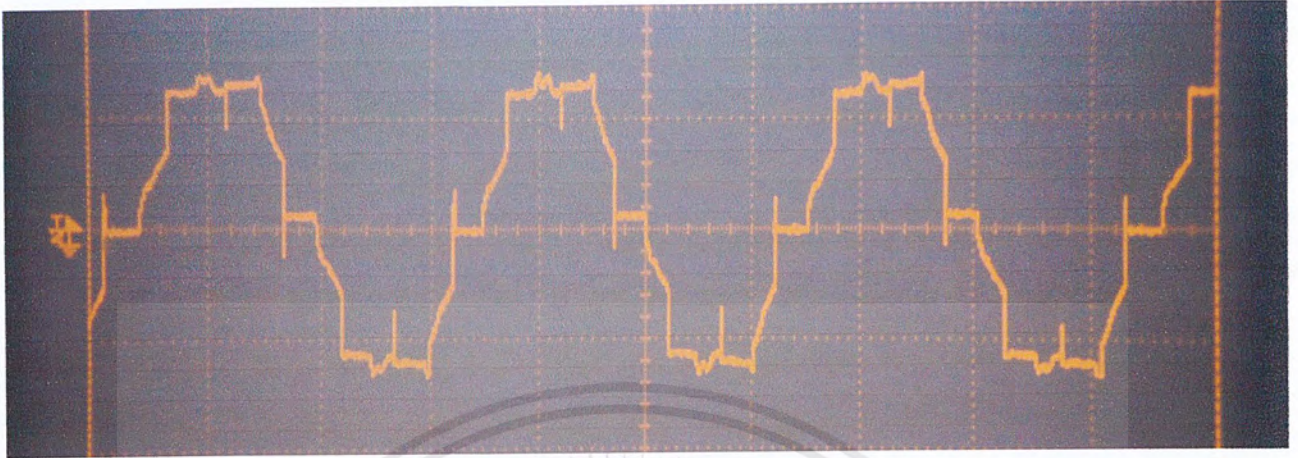
จากรูปที่ 4.4 สังเกตได้ว่าสัญญาณระหว่าง Phase A (เทียบกับ Ground) ในด้านบน มีเฟสที่นำสัญญาณจาก Phase B (เทียบกับ Ground) ในด้านล่าง อยู่ 120 องศาซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี



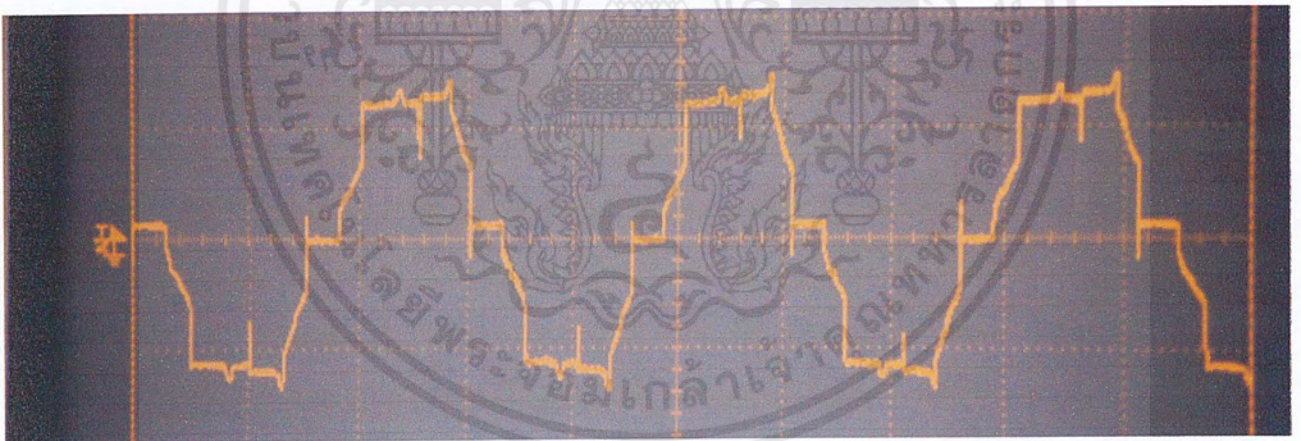
รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณระหว่าง Phase B (เทียบกับ Ground) ด้านบนและ Phase C (เทียบกับ Ground) ด้านล่าง

จากรูปที่ 4.3 สังเกตได้ว่าสัญญาณระหว่าง Phase B (เทียบกับ Ground) ในด้านบน มีเฟสที่นำสัญญาณจาก Phase C (เทียบกับ Ground) ในด้านล่าง อยู่ 120 องศาซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

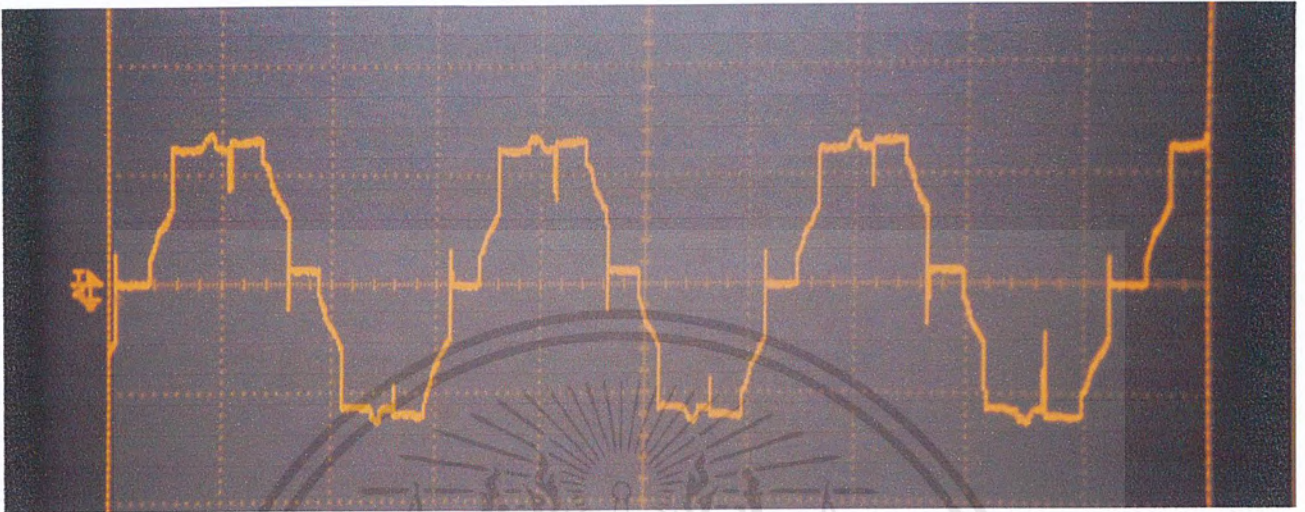


รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณที่ Phase A เทียบกับ Phase B

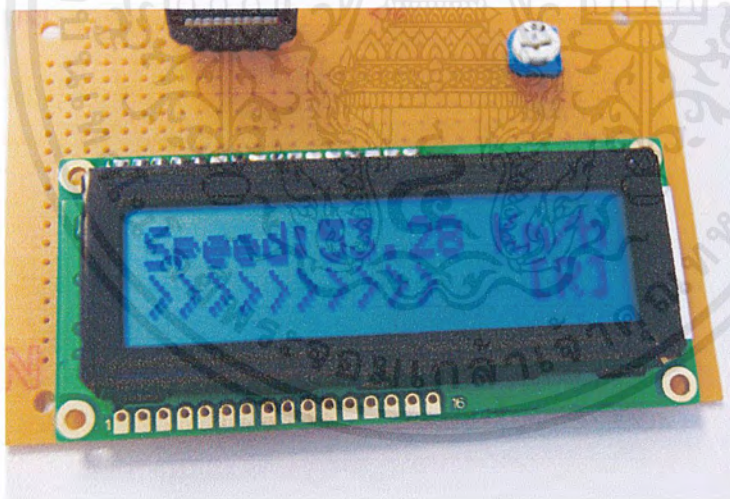


รูปที่ 4.7 แสดงสัญญาณที่ Phase B เทียบกับ Phase C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงสัญญาณที่ Phase C เทียบกับ Phase A



รูปที่ 4.9 แสดงความเร็วสูงสุดของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าเมื่อไม่ได้รับภาระงาน(no load) ที่อ่านได้จาก LCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 แสดงรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์

สรุปผลการทดลอง

เมื่อจ่ายไฟเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับสัญญาณจาก HALL sensor ว่าในขณะนี้โรเตอร์หมุนอยู่ที่จุดใด แล้วนำค่าที่ได้ไปประมวลผลว่าควรจ่ายแรงดันที่มีศักย์สูงให้เฟสใดของมอเตอร์ และจะจ่ายแรงดันที่มีศักย์ต่ำให้เฟสใดของมอเตอร์ โดยความเร็วจะขึ้นอยู่กับ R ปรับค่าได้ ผ่าน ADC เพื่อปรับความเร็วของมอเตอร์ และความเร็วสูงสุดของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าขณะขับเคลื่อนจริงที่ได้คือ 36.38km/hr. และความเร็วสูงสุดของจักรยานยนต์ไฟฟ้าในขณะที่ไม่ได้รับภาระงาน(no load) คือ 53.28km/hr. และมีอัตราเร่งขณะออกตัว 2.52m/s^2

บทที่ 5

บทวิจารณ์และสรุป

สรุป

ผู้จัดทำได้ทำรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าขึ้นโดยนำรถจักรยานยนต์เก่ามาดัดแปลงโดยการใช้อมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านชนิดสามเฟสเป็นตัวขับเคลื่อนแทนเครื่องยนต์ และผู้จัดทำยังได้ทำชุดขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านชนิดสามเฟส โดยการรับสัญญาณจาก Hall sensor แล้วส่งข้อมูลให้คอนโทรลเลอร์ประมวลผลว่าควรจ่ายแรงดันสัปดาห์ให้กับเฟสใด และควรจ่ายแรงดันสัปดาห์ให้กับเฟสใดของมอเตอร์ ซึ่ง step การจ่ายแรงดันจะมีทั้งหมด 6steps แต่ละstep จะขึ้นอยู่กับค่าของสัญญาณ Hall sensor และสามารถปรับความเร็วของรถจักรยานยนต์ได้โดยใช้ R ปรับค่าได้ ต่อเข้ากับ ADC ของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อสร้างสัญญาณ PWM ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ และความเร็วของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าในขณะที่ขับเคลื่อนจริงที่สูงที่สุดคือ 36.36km/hr.(เมื่อจ่ายไฟ 24 V DC) ความเร็วสูงสุดของจักรยานยนต์ไฟฟ้าในขณะที่ไม่ได้รับภาระงาน(no load) คือ 53.28 km/hr. และมีอัตราเร่งขณะออกตัว 2.52m/s^2

ปัญหาที่พบ

1. บอร์ดชุด Drive motor ใหม่ เนื่องจากสายทองแดงเล็กเกินไป
2. MOSFET ใหม่เนื่องจากมีความร้อนสูง
3. ขาดเครื่องมือบางอย่างที่ใช้ในการทำงาน
4. เขียนโปรแกรมแล้วชุด Drive motor ไม่ทำงาน หรือทำงานผิดปกติ

วิธีการแก้ไข

1. ออกแบบแผ่น PCB ใหม่ให้ลายทองแดงใหญ่ขึ้นและใส่ลวดทองแดงลงไป
ในลายทองแดงด้วย
2. เปลี่ยนเบอร์ MOSFET ให้สามารถทนกระแส และแรงดันได้สูงขึ้น
3. หยิบยืมอุปกรณ์จากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล และห้อง PCC LAB
4. ปรึกษาผู้รู้ และปรับแก้โปรแกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Peter Moreton. “Industrial Brushless Servomotor.”

[2] Microchip. “Brushless DC Motor Fundamentals.”

[3] นคร รักดีชาติ, คู่มือการทดลองเบื้องต้น dsPIC Microcontroller ด้วยโปรแกรมภาษา C กับ MPLABC30, innovation Experiment Co, Ltd



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

โปรแกรมภาษา C

```

#include "common.h"

#include "lcd_lib.h"

#include "stdio.h"

#include "setup.h"

_FOSC(CSW_FSCM_OFF & XT_PLL16); // Disable Clock Switching, Enable Fail-Safe Clock
// Clock Source = Primary XT + (PLL x 16)

_FWDT(WDT_OFF); // Disable Watchdog

_FBORPOR(PBOR_OFF & PWRT_64 & MCLR_EN); // Disable Brown-Out, Power
ON = 64mS, Enable MCLR

_FGS(CODE_PROT_OFF); // Code Protect OFF

const u1 sector[7] = {0, 2, 6, 1, 4, 3, 5};

const u2 step[7] = {0, 0x0210, 0x0204, 0x2004, 0x2001, 0x0801, 0x0810};

/* Global Variable */

u2 hall_value;

double ActSpeed;

u2 DesSpeed = 500;

u1 sector_value;

u1 lcd_buf[40];

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

u2 adc_value;

u2 i;

/* Function Prototype */

void StepDrive(u1 sector_value, u2 duty_cycle);

void __attribute__((interrupt, no_auto_psv)) _T1Interrupt(void);
void __attribute__((interrupt, no_auto_psv)) _T2Interrupt(void);
void __attribute__((interrupt, no_auto_psv)) _T3Interrupt(void);

u2 read_adc(void);

int main(void)
{
    initialization();
    _T2IE = 1;
    SetDDRamAddr(0x00);
    PutsLCD((u1 *)"Speed:");
    SetDDRamAddr(0x0c);
    PutsLCD((u1 *)"Km/h");
    SetDDRamAddr(0xcd);
    PutsLCD((u1 *)"[ ]");

    while(1)
    {
        sprintf(lcd_buf,"%2.2f ",ActSpeed);
        SetDDRamAddr(0x06);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

PutsLCD((u1 *)lcd_buf);

SetDDRamAddr(0xce);

if(LED1 == 1)
{
    PutsLCD((u1 *)"R");
}
else
{
    PutsLCD((u1 *)"S");
}

for(i=0; i<(DesSpeed/200); i++)
{
    SetDDRamAddr(0xc0 + i);
    PutsLCD((u1 *)">");
}

delay_ms(500);

SetDDRamAddr(0xc0);

PutsLCD((u1 *)" ");
}

return(0);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//-----Timer1 Interrupt-----//
void __attribute__((interrupt, no_auto_psv)) _T1Interrupt(void)
{
    static u1 LastSector;

    static s1 Sector;

    static u2 timeout;

    hall_value = (PORTB & 0x0007);
    sector_value = sector[hall_value];

    adc_value = read_adc();

    if(adc_value > AD_START)
    {
        //_T2IE = 1;
        LED1 = 1;
        if(sector_value != LastSector)
        {
            LastSector = sector_value;

            Sector = sector_value;

            Sector++;

            timeout=0;
        }

        if(Sector > 6)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
    Sector = 1;
}
else if (Sector < 1)
{
    Sector = 6;
}

StepDrive(Sector, DesSpeed);
}
else
{
    //_T2IE = 0;
    LED1 = 0;
    LED2 = 0;
    //StepDrive(1, 100);
}
_T1IF = 0;
}

//----Driving Step Function----//
void StepDrive(u1 sector, u2 duty_cycle)
{
    OVDCON = step[sector];
    PDC1 = duty_cycle;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

PDC2 = PDC1;

PDC3 = PDC1;
}

//-----Read ADC Function-----//
u2 read_adc(void)
{
    u2 adc_buff;

    static u2 temp;

    ADCON1bits.SAMP = 1;           // Start Sampling ADC Now
    while(!ADCON1bits.SAMP);       // Wait ADC Sampling Complete
    ConvertADC10();                // Convert Result
    while(BusyADC10());            // Wait Conver Result Complete

    adc_buff = ReadADC10(0);        // Save Result to Buffer
    adc_buff = (adc_buff + temp)>>1;
    temp = adc_buff;
    return adc_buff;
}

//-----Timer2 Interrupt-----//
void __attribute__((interrupt, no_auto_psv)) _T2Interrupt(void)
{
    static u2 Setpoint, CalValue, LastADC;

    Setpoint = adc_value + LastADC;
    LastADC = adc_value;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(CalValue < Setpoint)
{
    LED2 = 1;
    CalValue += 10;
}
else
{
    LED2 = 0;
    CalValue = Setpoint;
}
DesSpeed = CalValue;
_T2IF = 0;
}
//----Timer3 Interrupt----//
void __attribute__((interrupt, no_auto_psv)) _T3Interrupt(void)
{
    static u2 LastSector;
    static u2 polecount = 1;
    static double Period, LastPeriod, MotorRPM;
    static u2 timeout, Start;
    static u1 DetectFlag;

    if(DetectFlag == 1)
    {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Period++;

Start++;
}

timeout++;

if(Period > MAX_PULSE)
    Period = MAX_PULSE;
else if(Period <= MIN_PULSE)
    Period = MIN_PULSE;
if(sector_value != LastSector)
{
    timeout = 0;
    if (sector_value == INDEX)
    {
        polecount++;
        if(polecount == POLEPAIRS)
        {
            DetectFlag = 1;
            polecount = 1;
            if(Start > 900)
            {
                Period = (Period + LastPeriod)/2;

                MotorRPM = MAX_RPM - ((Period/MAX_PULSE)*MAX_RPM);

                ActSpeed = MotorRPM*FACTOR;           //Km/h =
                ((RPM*pi*dimetre)*60)/100

                LastPeriod = Period;
            }
        }
    }
}

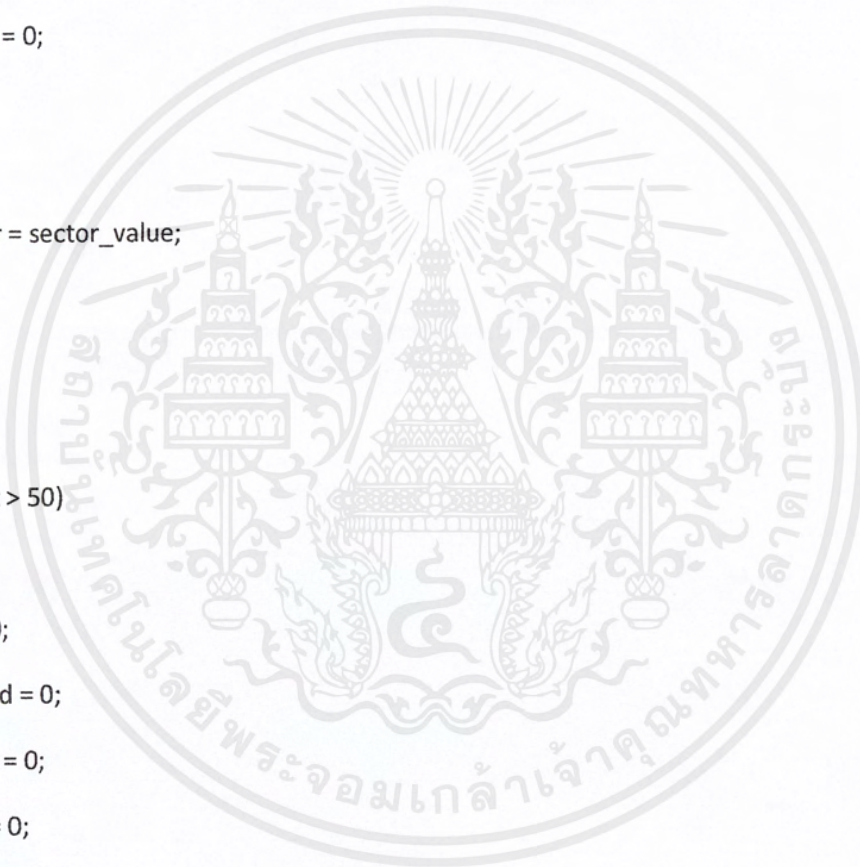
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    Start = 1000;
}
else
{
    Period = 0;
}
Period = 0;
}
}
LastSector = sector_value;
}
else
{
    if(timeout > 50)
    {
        Start = 0;
        ActSpeed = 0;
        timeout = 0;
        Period = 0;
        polecount = 1;
        DetectFlag = 0;
    }
}
_T3IF = 0;
}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

เอกสารคู่มืออุปกรณ์ที่ใช้

International
IR Rectifier

IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

Data Sheet No. PD60147 rev.U

HIGH AND LOW SIDE DRIVER

Features

- Floating channel designed for bootstrap operation
Fully operational to +500V or +600V
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 $\pm 5V$ 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

Product Summary

V_{OFFSET} (IR2110)	500V max.
(IR2113)	600V max.
$I_{\text{O+/-}}$	2A / 2A
V_{OUT}	10 - 20V
$t_{\text{on/off}}$ (typ.)	120 & 94 ns
Delay Matching (IR2110)	10 ns max.
(IR2113)	20ns max.

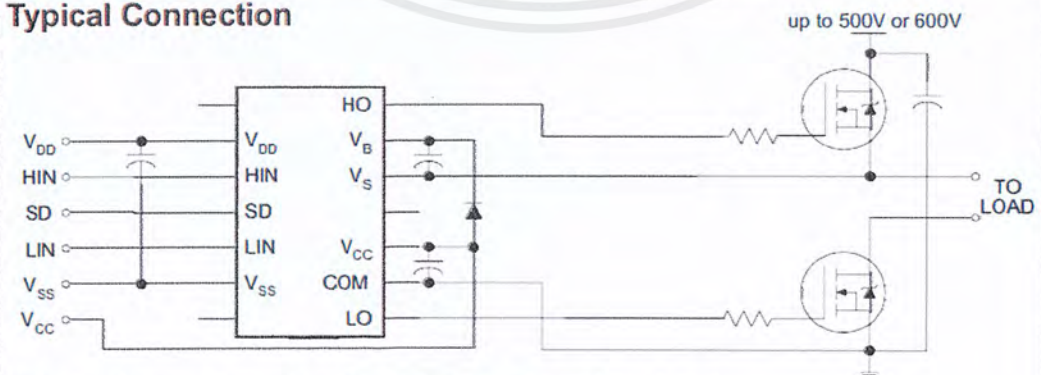
Description

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.

Packages



Typical Connection



(Refer to Lead Assignments for correct pin configuration). This/These diagram(s) show electrical connections only. Please refer to our Application Notes and DesignTips for proper circuit board layout.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

Dynamic Electrical Characteristics

V_{BIAS} (V_{CC} , V_{BS} , V_{DD}) = 15V, C_L = 1000 pF, T_A = 25°C and V_{SS} = COM unless otherwise specified. The dynamic electrical characteristics are measured using the test circuit shown in Figure 3.

Symbol	Definition	Figure	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
t_{on}	Turn-on propagation delay	7	—	120	150	ns	$V_S = 0V$
t_{off}	Turn-off propagation delay	8	—	94	125		$V_S = 500V/600V$
t_{sd}	Shutdown propagation delay	9	—	110	140		$V_S = 500V/600V$
t_r	Turn-on rise time	10	—	25	35		
t_f	Turn-off fall time	11	—	17	25		
MT	Delay matching, HS & LS turn-on/off	(IR2110) (IR2113)	—	—	—		10 20

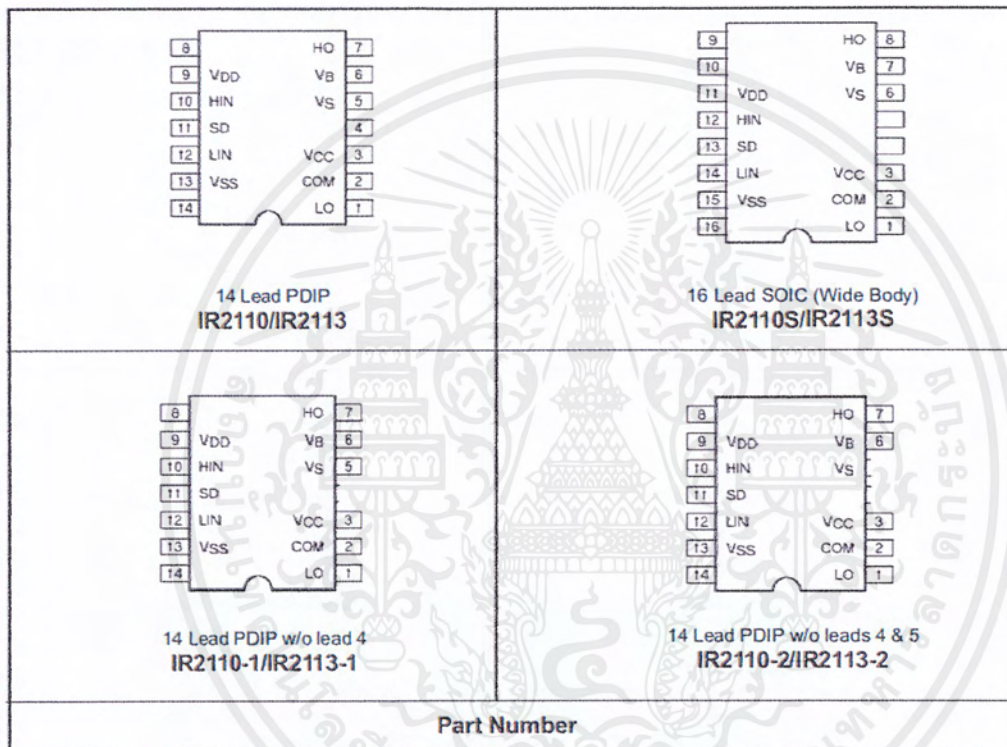
Static Electrical Characteristics

V_{BIAS} (V_{CC} , V_{BS} , V_{DD}) = 15V, T_A = 25°C and V_{SS} = COM unless otherwise specified. The V_{IN} , V_{TH} and I_{IN} parameters are referenced to V_{SS} and are applicable to all three logic input leads: HIN, LIN and SD. The V_O and I_O parameters are referenced to COM and are applicable to the respective output leads: HO or LO.

Symbol	Definition	Figure	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
V_{IH}	Logic "1" input voltage	12	9.5	—	—	V	
V_{IL}	Logic "0" input voltage	13	—	—	6.0		
V_{OH}	High level output voltage, $V_{BIAS} - V_O$	14	—	—	1.2		$I_O = 0A$
V_{OL}	Low level output voltage, V_O	15	—	—	0.1		$I_O = 0A$
I_{LK}	Offset supply leakage current	16	—	—	50	μA	$V_B = V_S = 500V/600V$
I_{QBS}	Quiescent V_{BS} supply current	17	—	125	230		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{QCC}	Quiescent V_{CC} supply current	18	—	180	340		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{QDD}	Quiescent V_{DD} supply current	19	—	15	30		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{IN+}	Logic "1" input bias current	20	—	20	40		$V_{IN} = V_{DD}$
I_{IN-}	Logic "0" input bias current	21	—	—	1.0		$V_{IN} = 0V$
V_{BSUV+}	V_{BS} supply undervoltage positive going threshold	22	7.5	8.6	9.7	V	
V_{BSUV-}	V_{BS} supply undervoltage negative going threshold	23	7.0	8.2	9.4		
V_{CCUV+}	V_{CC} supply undervoltage positive going threshold	24	7.4	8.5	9.6		
V_{CCUV-}	V_{CC} supply undervoltage negative going threshold	25	7.0	8.2	9.4		
I_{O+}	Output high short circuit pulsed current	26	2.0	2.5	—	A	$V_O = 0V$, $V_{IN} = V_{DD}$ $PW \leq 10 \mu s$
I_{O-}	Output low short circuit pulsed current	27	2.0	2.5	—		$V_O = 15V$, $V_{IN} = 0V$ $PW \leq 10 \mu s$

IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

Lead Assignments



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

International
IR Rectifier

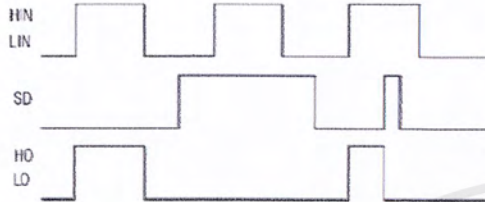


Figure 1. Input/Output Timing Diagram

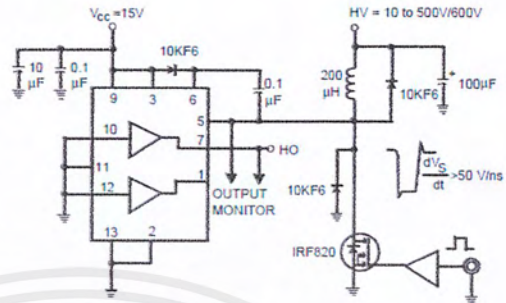


Figure 2. Floating Supply Voltage Transient Test Circuit

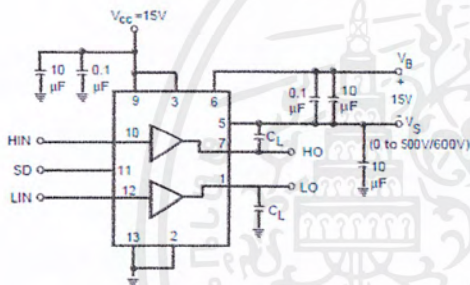


Figure 3. Switching Time Test Circuit

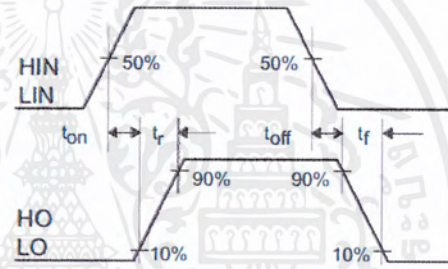


Figure 4. Switching Time Waveform Definition

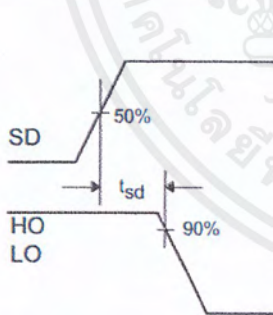


Figure 5. Shutdown Waveform Definitions

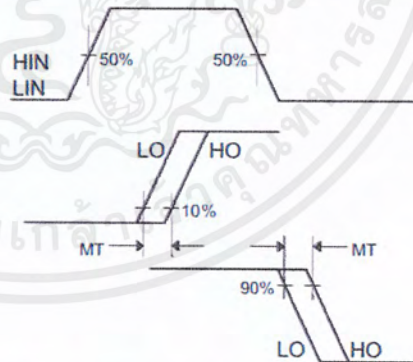


Figure 6. Delay Matching Waveform Definitions

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

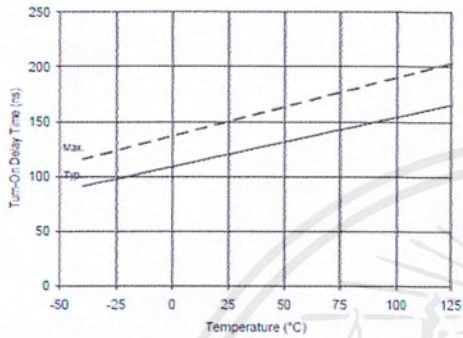


Figure 7A. Turn-On Time vs. Temperature

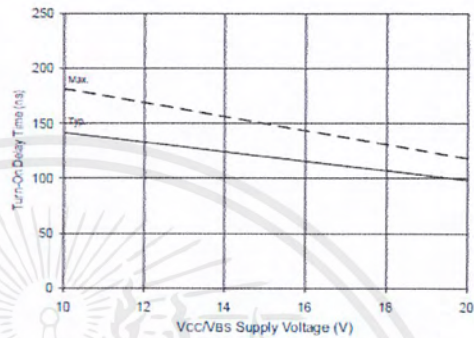


Figure 7B. Turn-On Time vs. Vcc/Ves Supply Voltage

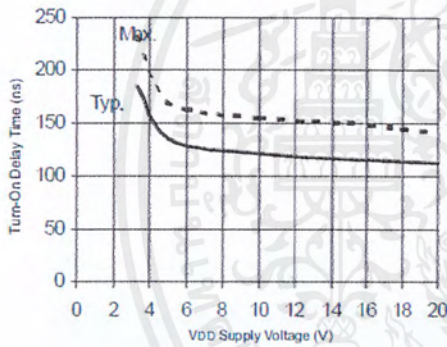


Figure 7C. Turn-On Time vs. VDD Supply Voltage

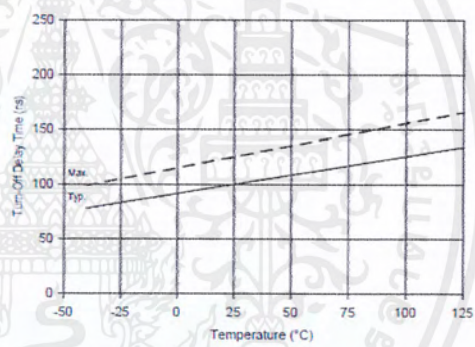


Figure 8A. Turn-Off Time vs. Temperature

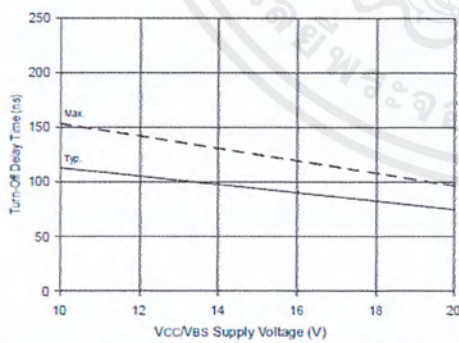


Figure 8B. Turn-Off Time vs. Vcc/Ves Supply Voltage

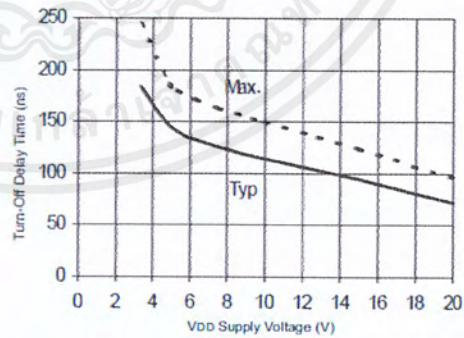


Figure 8C. Turn-Off Time vs. VDD Supply Voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

International
IR Rectifier

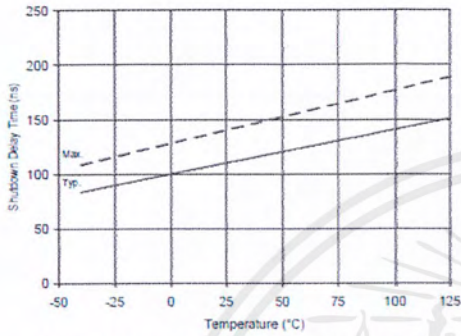


Figure 9A. Shutdown Time vs. Temperature

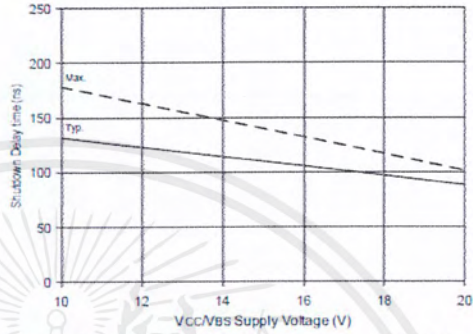


Figure 9B. Shutdown Time vs. Vcc/Vs Supply Voltage

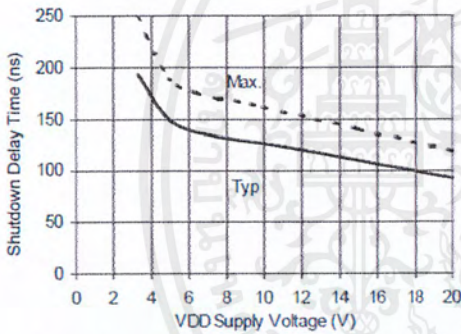


Figure 9C. Shutdown Time vs. VDD Supply Voltage

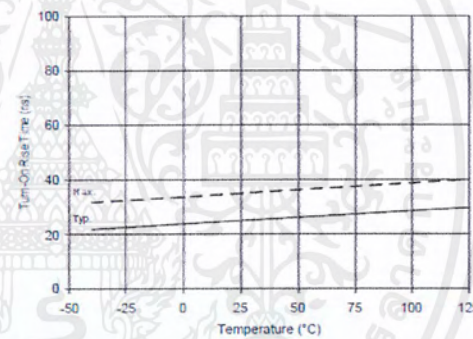


Figure 10A. Turn-On Rise Time vs. Temperature

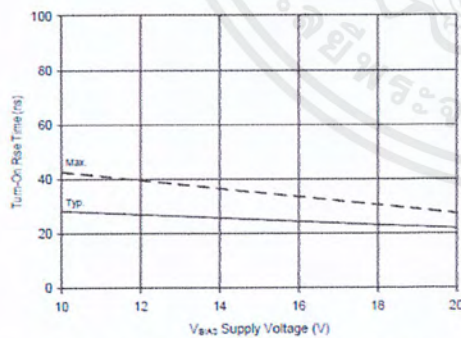


Figure 10B. Turn-On Rise Time vs. Voltage

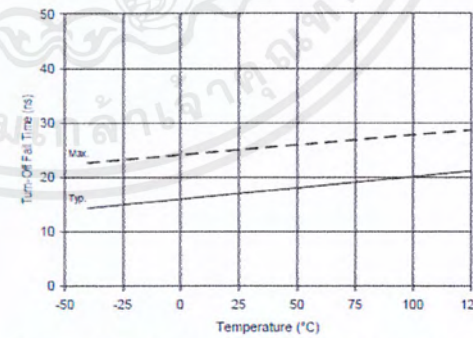


Figure 11A. Turn-Off Fall Time vs. Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

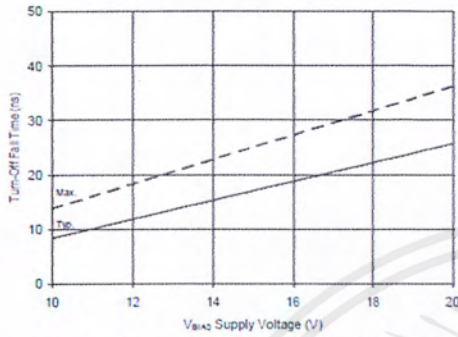


Figure 11B. Turn-Off Fall Time vs. Voltage

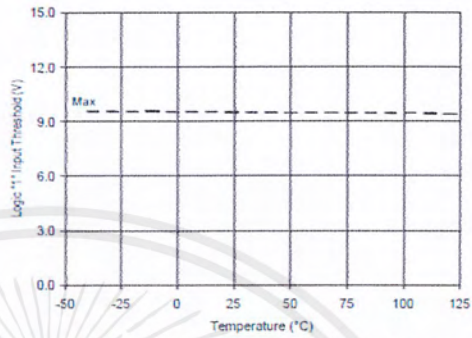


Figure 12A. Logic "1" Input Threshold vs. Temperature

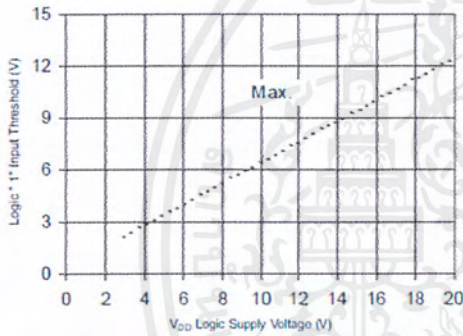


Figure 12B. Logic "1" Input Threshold vs. Voltage

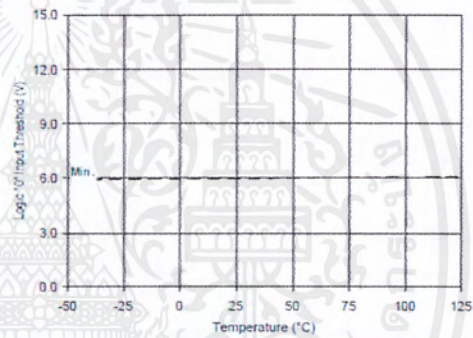


Figure 13A. Logic "0" Input Threshold vs. Temperature

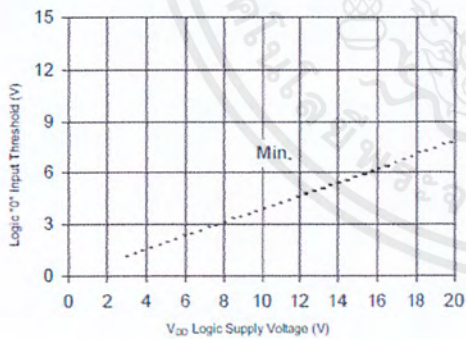


Figure 13B. Logic "0" Input Threshold vs. Voltage

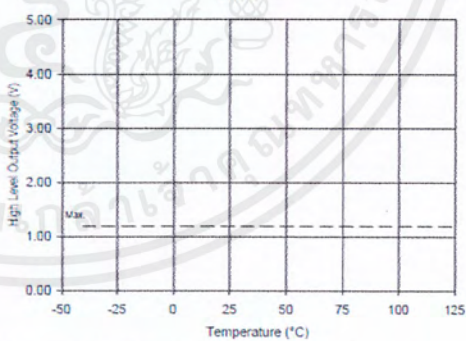


Figure 14A. High Level Output vs. Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

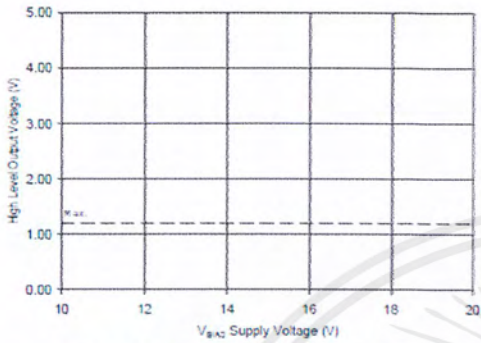


Figure 14B. High Level Output vs. Voltage

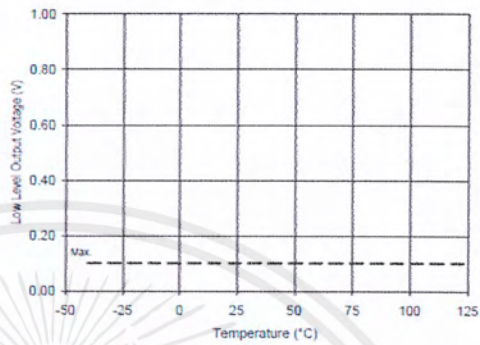


Figure 15A. Low Level Output vs. Temperature

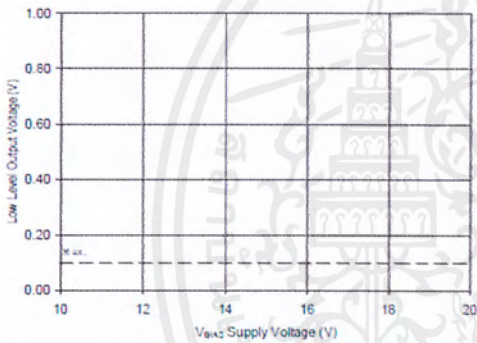


Figure 15B. Low Level Output vs. Voltage

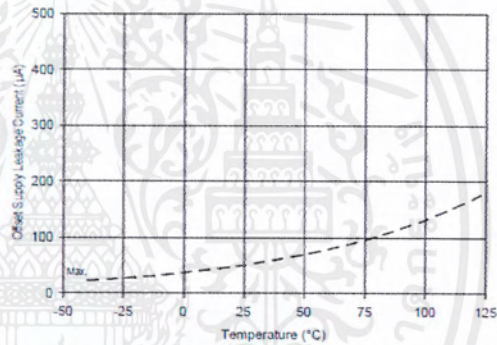


Figure 16A. Offset Supply Current vs. Temperature

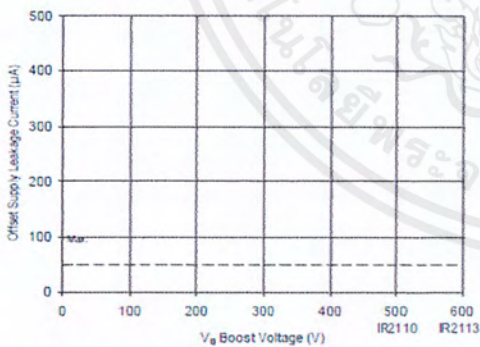


Figure 16B. Offset Supply Current vs. Voltage

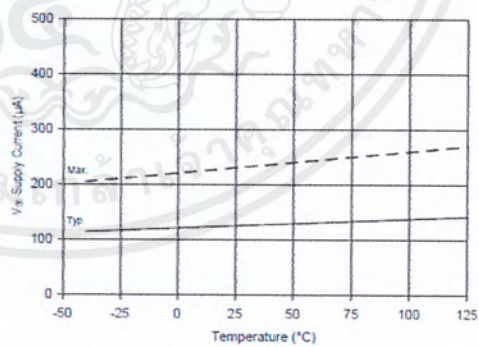


Figure 17A. V_S Supply Current vs. Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

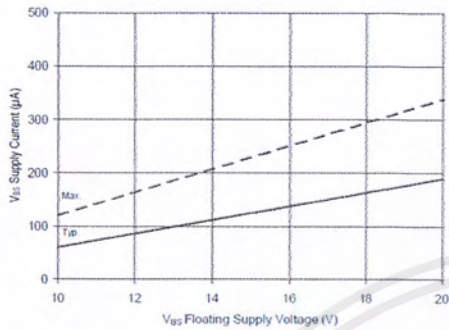


Figure 17B. VAS Supply Current vs. Voltage

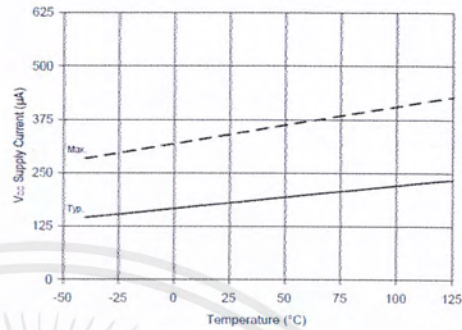


Figure 18A. VCC Supply Current vs. Temperature

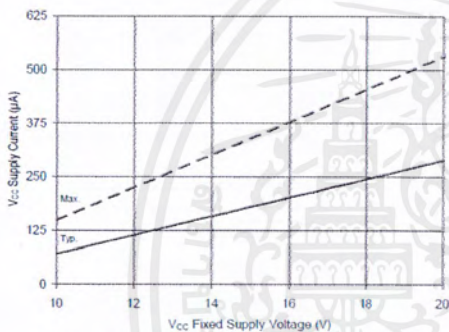


Figure 18B. VCC Supply Current vs. Voltage

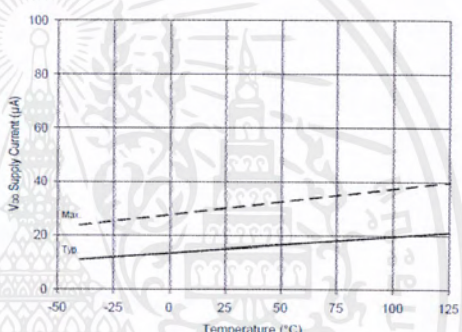


Figure 19A. VDD Supply Current vs. Temperature

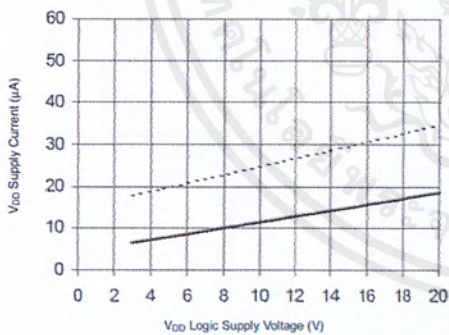


Figure 19B. VDD Supply Current vs. VDD Voltage

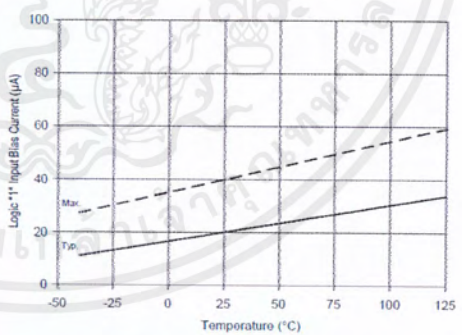


Figure 20A. Logic "1" Input Current vs. Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

International
ISIR Rectifier

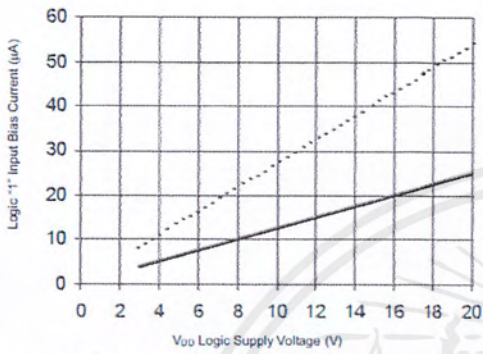


Figure 20B. Logic "1" Input Current vs. V_{DD} Voltage

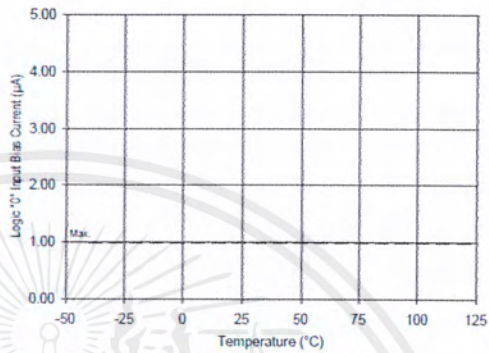


Figure 21A. Logic "0" Input Current vs. Temperature

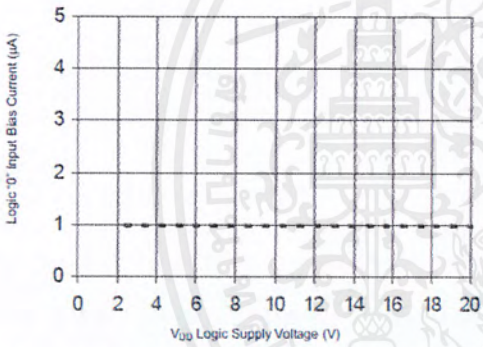


Figure 21B. Logic "0" Input Current vs. V_{DD} Voltage

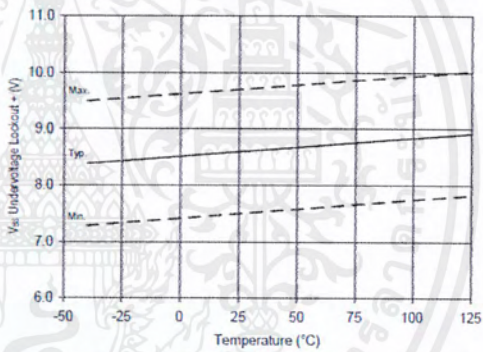


Figure 22. V_{BS} Undervoltage (+) vs. Temperature

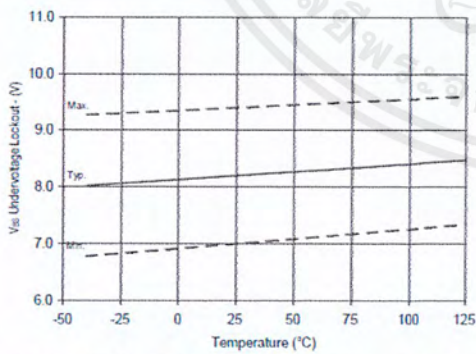


Figure 23. V_{BS} Undervoltage (-) vs. Temperature

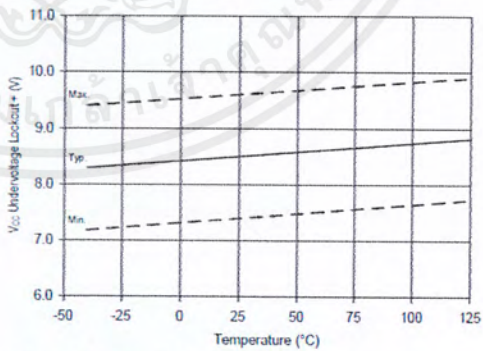


Figure 24. V_{CC} Undervoltage (+) vs. Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

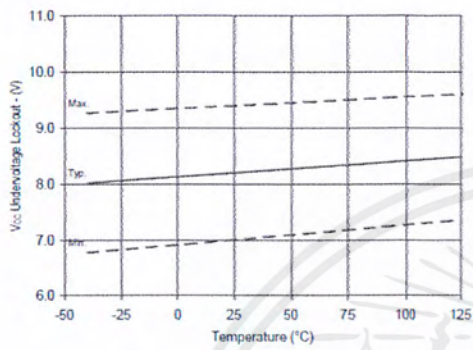


Figure 25. Vcc Undervoltage (-) vs. Temperature

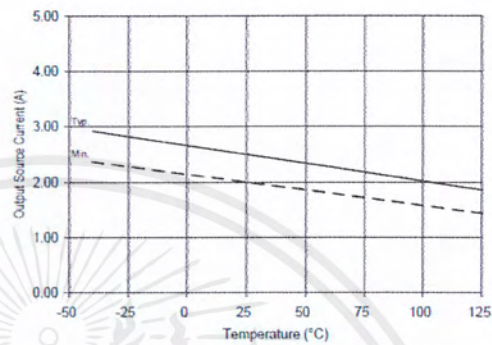


Figure 26A. Output Source Current vs. Temperature

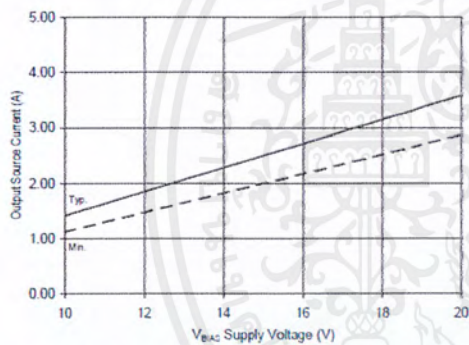


Figure 26B. Output Source Current vs. Voltage

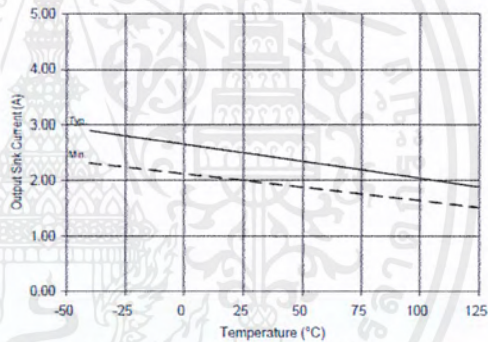


Figure 27A. Output Sink Current vs. Temperature

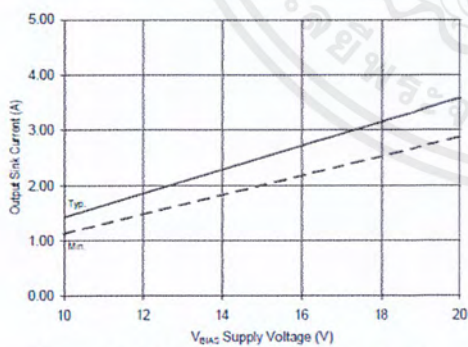


Figure 27B. Output Sink Current vs. Voltage

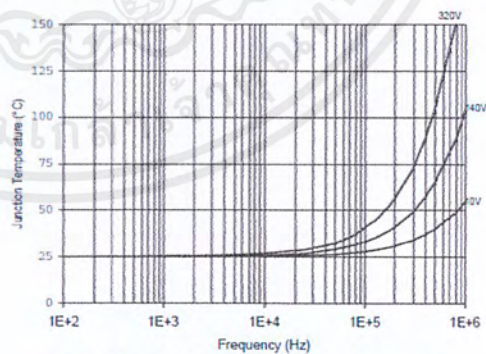


Figure 28. IR2110/IR2113 T_j vs. Frequency (IRFBC20) $R_{GATE} = 33\Omega$, $V_{CC} = 15V$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

International
IR Rectifier

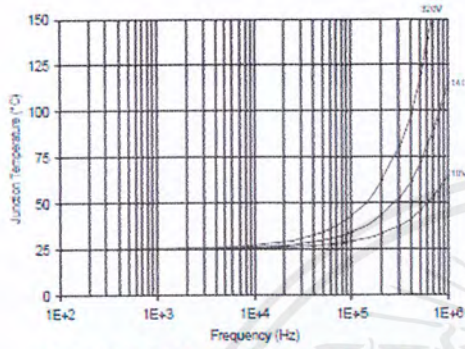


Figure 29. IR2110/IR2113 T_J vs. Frequency (IRFBC30) $R_{GATE} = 22\Omega$, $V_{CC} = 15V$

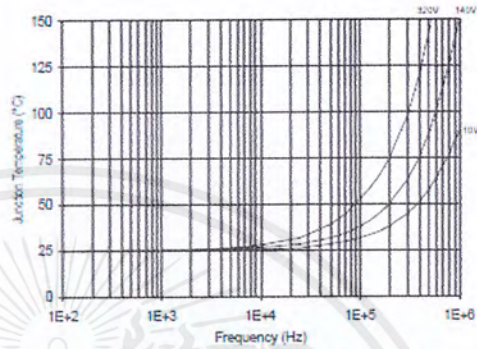


Figure 30. IR2110/IR2113 T_J vs. Frequency (IRFBC40) $R_{GATE} = 15\Omega$, $V_{CC} = 15V$

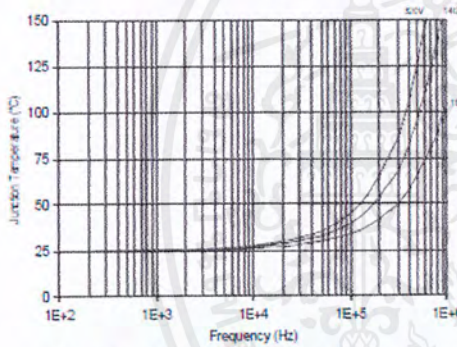


Figure 31. IR2110/IR2113 T_J vs. Frequency (IRFPE50) $R_{GATE} = 10\Omega$, $V_{CC} = 15V$

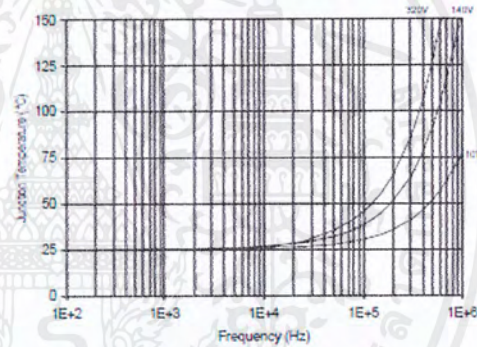


Figure 32. IR2110S/IR2113S T_J vs. Frequency (IRFBC20) $R_{GATE} = 33\Omega$, $V_{CC} = 15V$

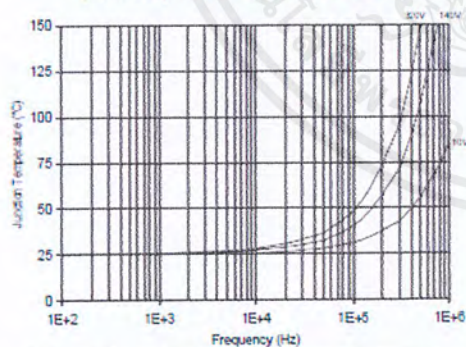


Figure 33. IR2110S/IR2113S T_J vs. Frequency (IRFBC30) $R_{GATE} = 22\Omega$, $V_{CC} = 15V$

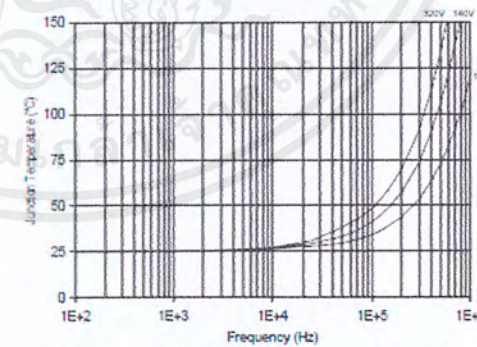


Figure 34. IR2110S/IR2113S T_J vs. Frequency (IRFBC40) $R_{GATE} = 15\Omega$, $V_{CC} = 15V$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

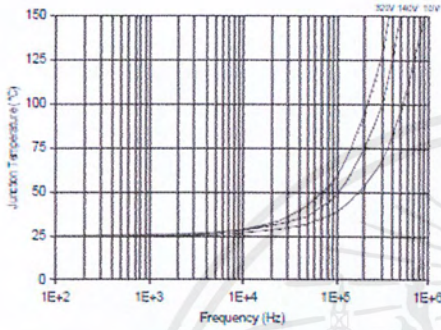


Figure 35. IR2110S/IR2113S T_J vs. Frequency (IRFPE50) $R_{GATE} = 10\Omega$ $V_{CC} = 15V$

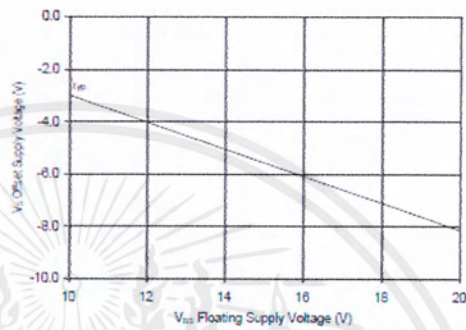


Figure 36. Maximum V_S Negative Offset vs. V_{BS} Supply Voltage

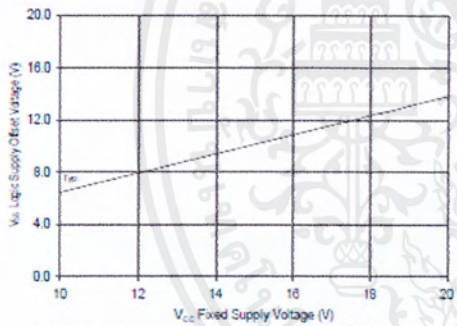


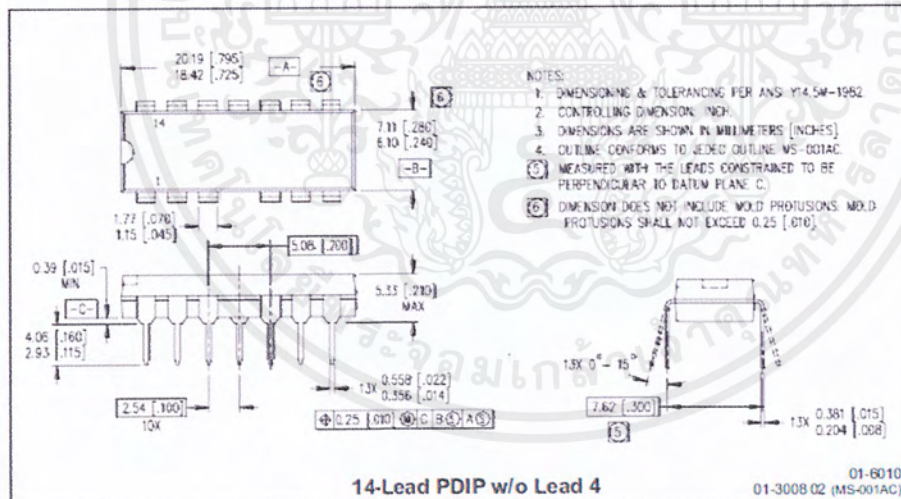
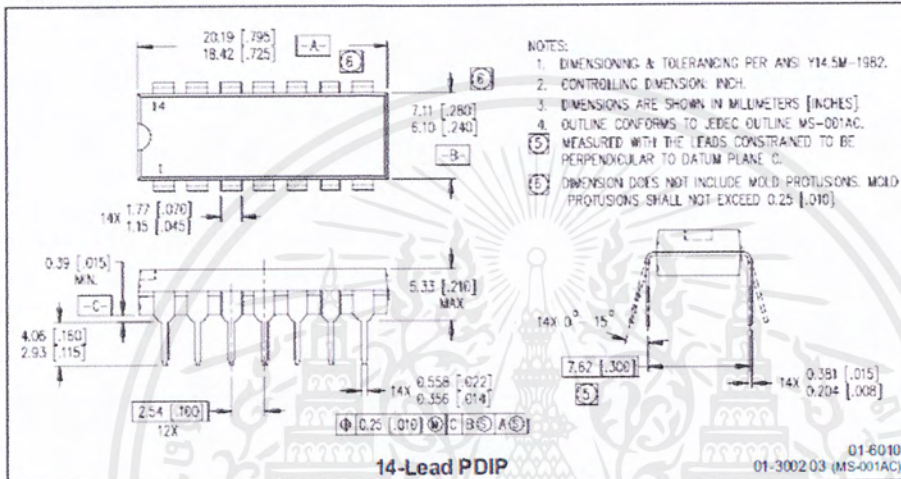
Figure 37. Maximum V_{SS} Positive Offset vs. V_{CC} Supply Voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

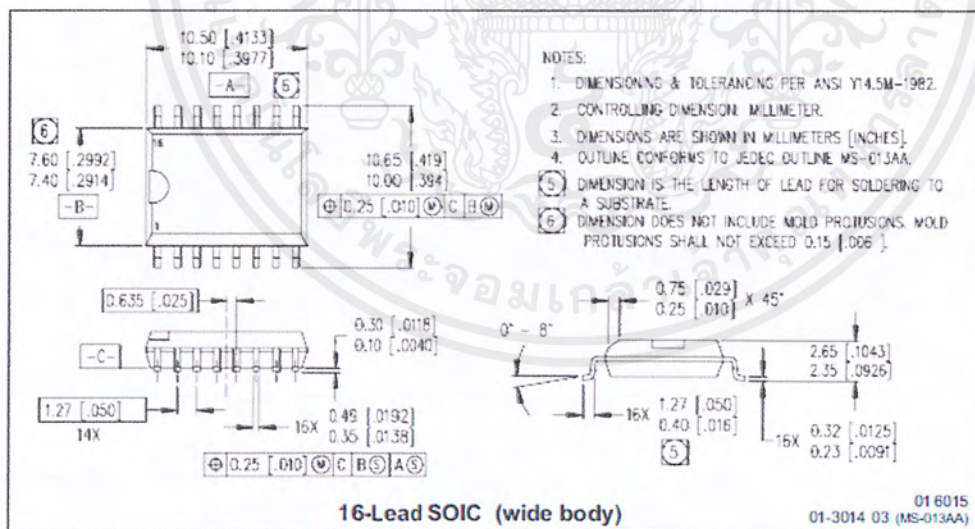
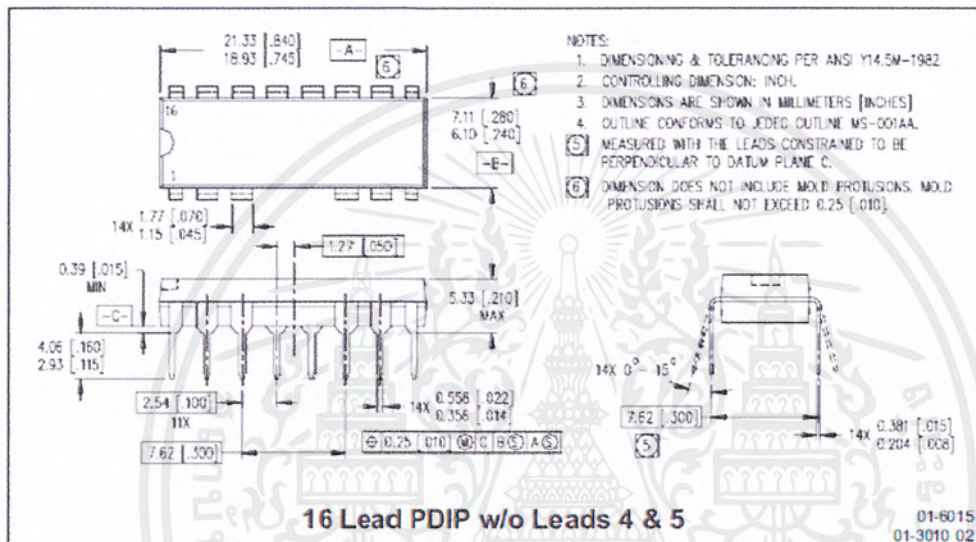
International
Rectifier

Case Outlines



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

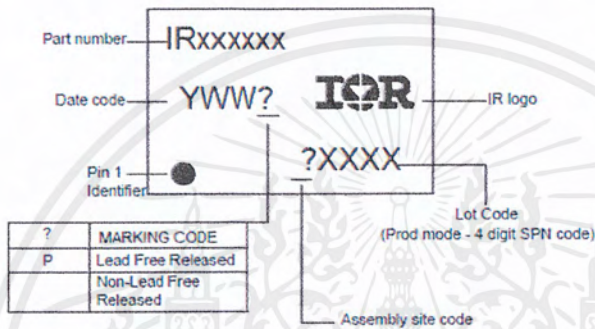


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

International
IR Rectifier

LEADFREE PART MARKING INFORMATION



ORDER INFORMATION

Part only available Lead Free

14-Lead PDIP IR2110 order IR2110PbF
 14-Lead PDIP IR2110-1 order IR2110-1PbF
 14-Lead PDIP IR2110-2 order IR2110-2PbF
 14-Lead PDIP IR2113 order IR2113PbF
 14-Lead PDIP IR2113-1 order IR2113-1PbF
 14-Lead PDIP IR2113-2 order IR2113-2PbF
 16-Lead SOIC IR2110S order IR2110SPbF
 16-Lead SOIC IR2113S order IR2113SPbF

International
IR Rectifier

IR WORLD HEADQUARTERS: 233 Kansas St., El Segundo, California 90245 Tel: (310) 252-7105

This product has been qualified per industrial level
 Data and specifications subject to change without notice 3/23/2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

International
IR Rectifier

PD - 94301A

SMPS MOSFET

IRFP90N20D

HEXFET® Power MOSFET

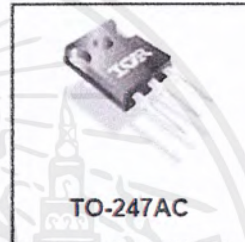
Applications

- High frequency DC-DC converters

V_{DSS}	$R_{DS(on) \max}$	I_D
200V	0.023Ω	94A ^①

Benefits

- Low Gate-to-Drain Charge to Reduce Switching Losses
- Fully Characterized Capacitance Including Effective C_{OSS} to Simplify Design, (See App. Note AN1001)
- Fully Characterized Avalanche Voltage and Current

**Absolute Maximum Ratings**

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10\text{V}$	94 ^①	A
$I_D @ T_C = 100^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10\text{V}$	66	
I_{DM}	Pulsed Drain Current ^②	380	W
$P_D @ T_C = 25^\circ\text{C}$	Power Dissipation	580	
	Linear Derating Factor	3.8	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 30	V
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ^③	6.7	V/ns
T_J	Operating Junction and	-55 to + 175	°C
T_{STG}	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf·in (1.1N·m)	

Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	0.26	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.24	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	40	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFP90N20D

International
IOR RectifierStatic @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	200	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.24	—	V/°C	Reference to $25^\circ\text{C}, I_D = 1\text{mA}$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.023	Ω	$V_{GS} = 10V, I_D = 56A$ ④
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	3.0	—	5.0	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu A$
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	$V_{DS} = 200V, V_{GS} = 0V$
		—	—	250		$V_{DS} = 160V, V_{GS} = 0V, T_J = 150^\circ\text{C}$
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS} = 30V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		$V_{GS} = -30V$

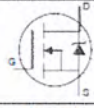
Dynamic @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
g_{fs}	Forward Transconductance	39	—	—	S	$V_{DS} = 50V, I_D = 56A$
Q_g	Total Gate Charge	—	180	270	nC	$I_D = 56A$
Q_{gs}	Gate-to-Source Charge	—	45	67		$V_{DS} = 160V$
Q_{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	87	130		$V_{GS} = 10V$, ④
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	23	—	ns	$V_{DD} = 100V$
t_r	Rise Time	—	160	—		$I_D = 56A$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	43	—		$R_G = 1.2\Omega$
t_f	Fall Time	—	79	—		$V_{GS} = 10V$ ④
C_{iss}	Input Capacitance	—	6040	—	pF	$V_{GS} = 0V$
C_{oss}	Output Capacitance	—	1070	—		$V_{DS} = 25V$
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	170	—		$f = 1.0\text{MHz}$
C_{oss}	Output Capacitance	—	8350	—		$V_{GS} = 0V, V_{DS} = 1.0V, f = 1.0\text{MHz}$
C_{oss}	Output Capacitance	—	420	—		$V_{GS} = 0V, V_{DS} = 160V, f = 1.0\text{MHz}$
$C_{oss\ eff.}$	Effective Output Capacitance	—	870	—		$V_{GS} = 0V, V_{DS} = 0V\ \text{to}\ 160V$ ⑤

Avalanche Characteristics

	Parameter	Typ.	Max.	Units
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy ②	—	1010	mJ
I_{AR}	Avalanche Current ①	—	56	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy ①	—	58	mJ

Diode Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
I_S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	94 ⑥	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode. 
I_{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	380		
V_{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.5	V	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = 56A, V_{GS} = 0V$ ④
t_{rr}	Reverse Recovery Time	—	230	340	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_F = 56A$
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	—	1.9	2.8	μC	$di/dt = 100A/\mu s$ ④
t_{on}	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by $L_S + L_D$)				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

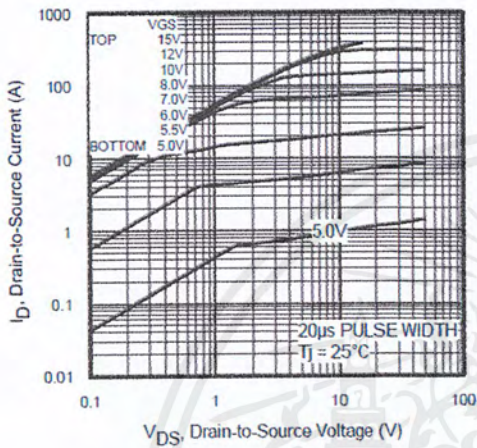


Fig 1. Typical Output Characteristics

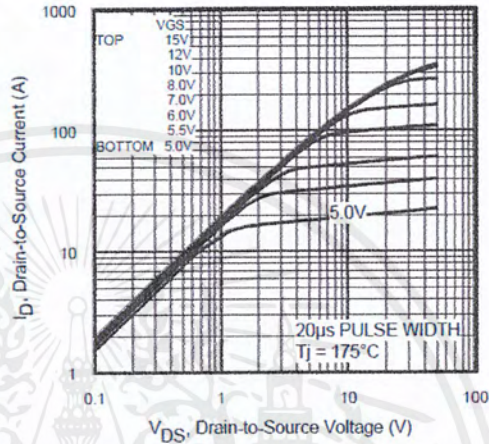


Fig 2. Typical Output Characteristics

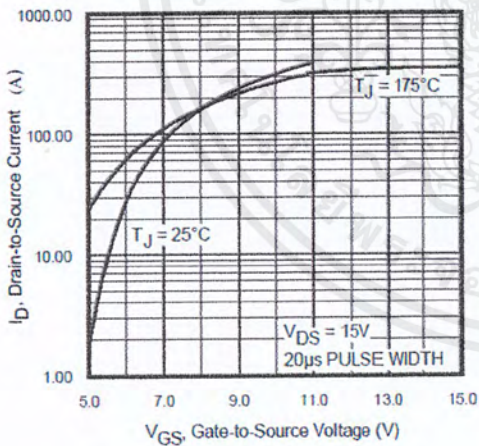


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

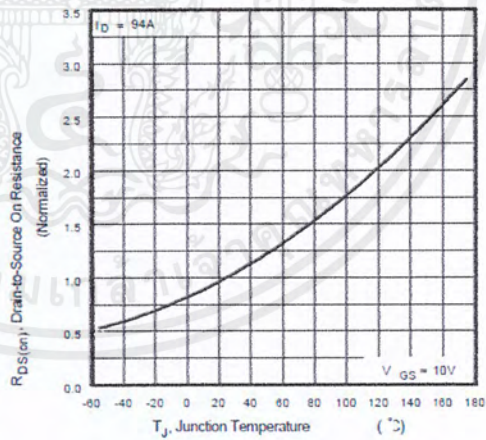


Fig 4. Normalized On-Resistance vs. Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFP90N20D

International
IR Rectifier

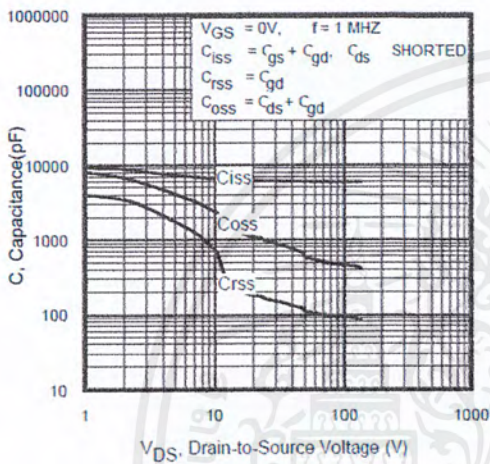


Fig 5. Typical Capacitance vs. Drain-to-Source Voltage

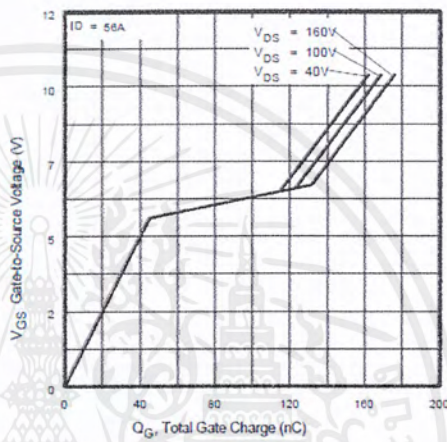


Fig 6. Typical Gate Charge vs. Gate-to-Source Voltage

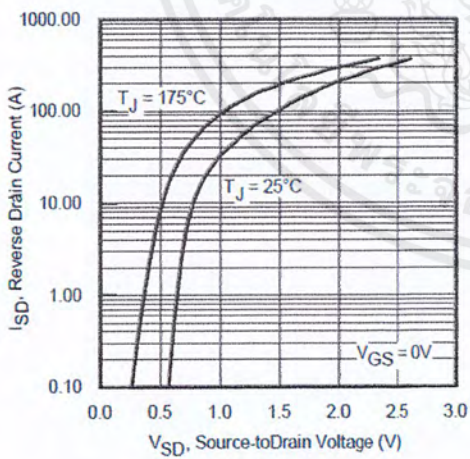


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

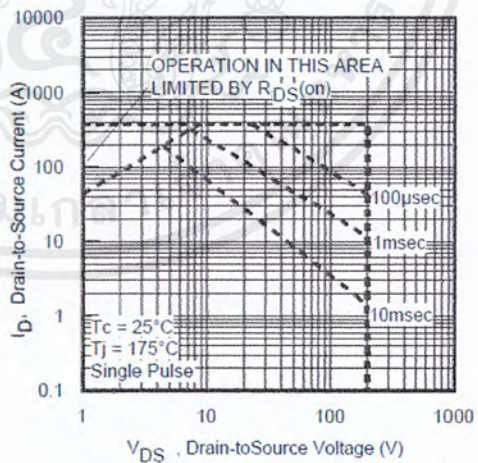


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

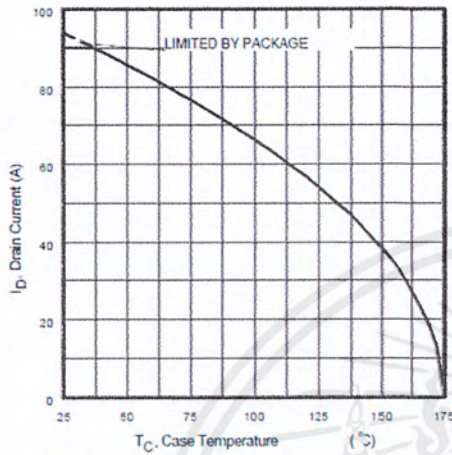


Fig 9. Maximum Drain Current vs. Case Temperature

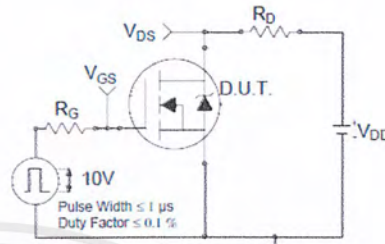


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

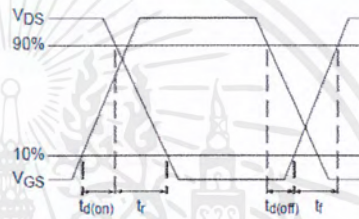


Fig 10b. Switching Time Waveforms

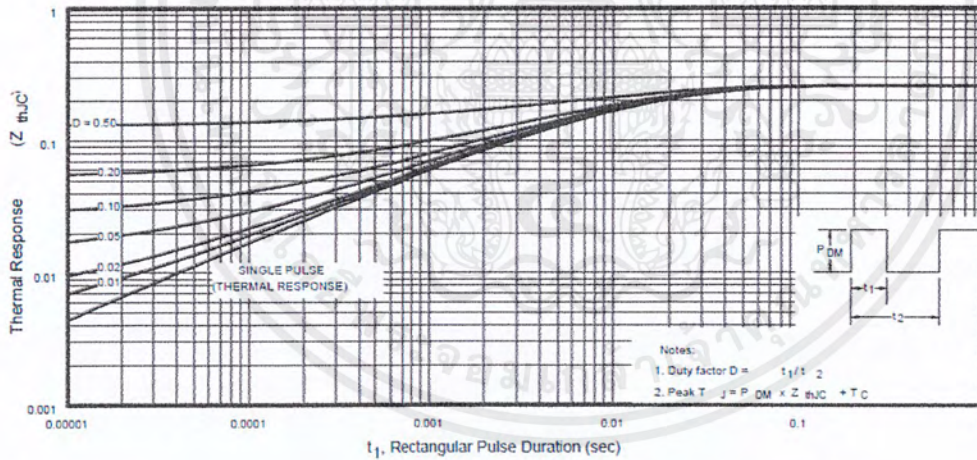


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFP90N20D

International
IR Rectifier

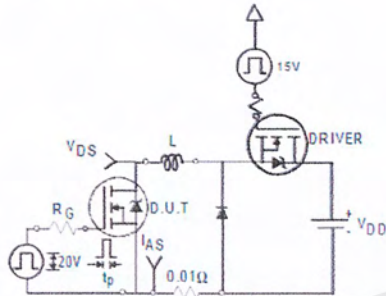


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

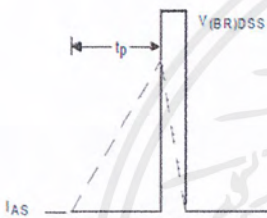


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

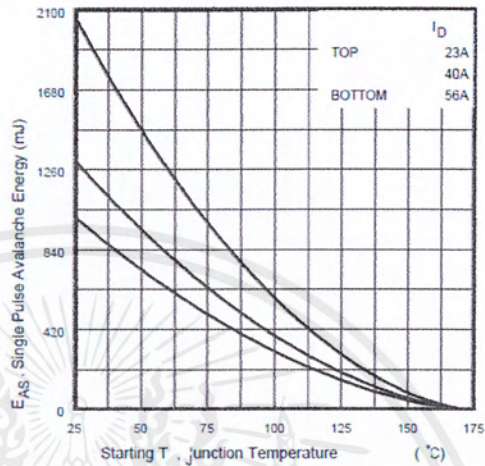


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy vs. Drain Current

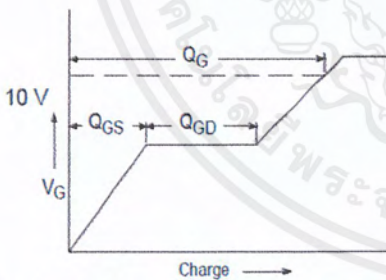


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

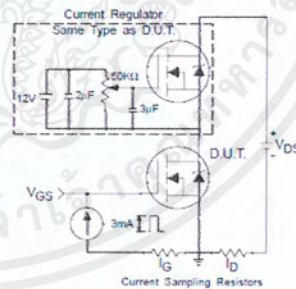


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

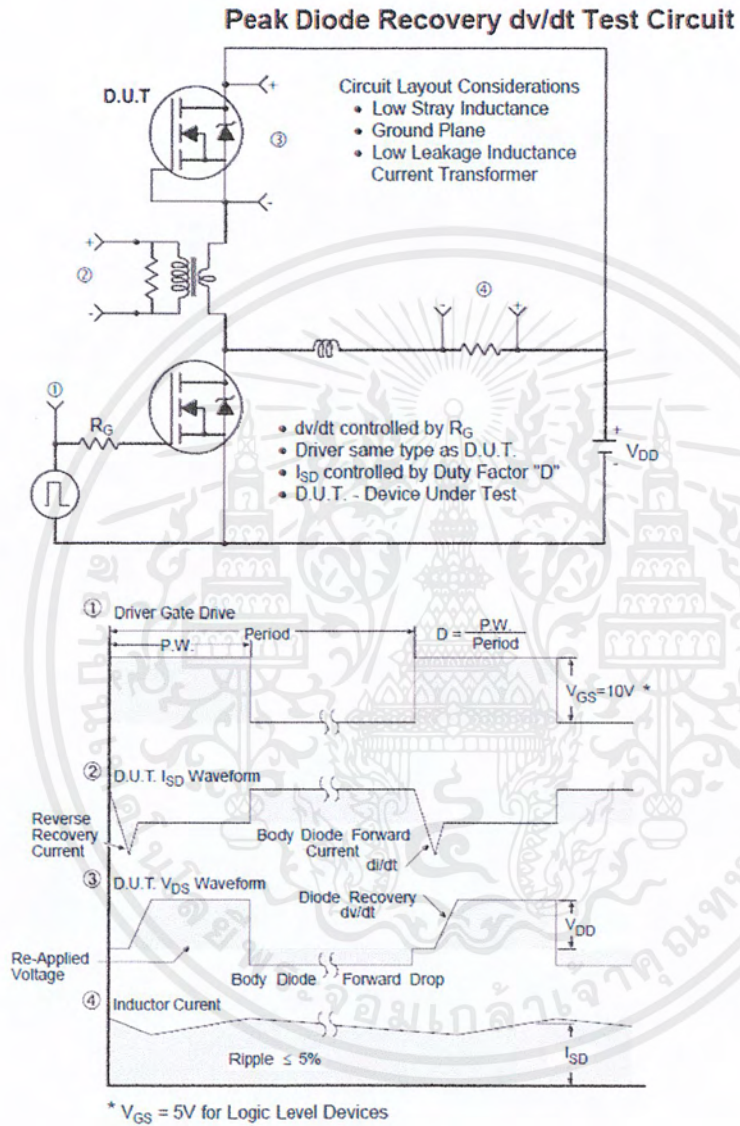


Fig 14. For N-Channel HEXFET® Power MOSFETs

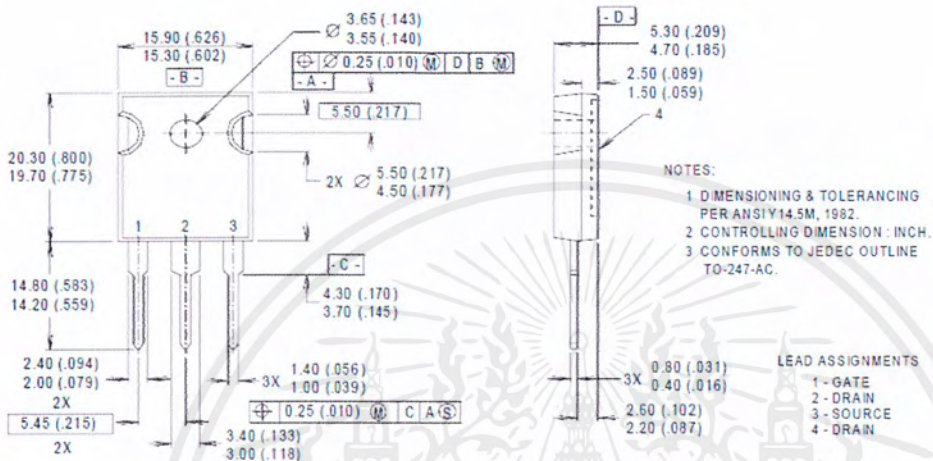
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFP90N20D

International
IR Rectifier

TO - 247 Package Outline

Dimensions are shown in millimeters (inches)



Notes:

- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature.
- ② Starting $T_J = 25^\circ\text{C}$, $L = 0.64\text{mH}$, $R_G = 25\Omega$, $I_{AS} = 56\text{A}$.
- ③ $I_{SD} \leq 56\text{A}$, $di/dt \leq 470\text{A}/\mu\text{s}$, $V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}$, $T_J \leq 175^\circ\text{C}$.
- ④ Pulse width $\leq 300\mu\text{s}$; duty cycle $\leq 2\%$.
- ⑤ C_{OSS} eff. is a fixed capacitance that gives the same charging time as C_{OSS} while V_{DS} is rising from 0 to 80% V_{DSS} .
- ⑥ Calculated continuous current based on maximum allowable junction temperature. Package limitation current is 90A.

Data and specifications subject to change without notice.
This product has been designed and qualified for the Industrial market.
Qualification Standards can be found on IR's Web site.

International
IR Rectifier

IR WORLD HEADQUARTERS: 233 Kansas St., El Segundo, California 90245, USA Tel: (310) 252-7105

TAC Fax: (310) 252-7903

Visit us at www.irf.com for sales contact information.09/01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้