

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

**วงจรถับเคลื่อนอเนกประสงค์
UNIVERSAL DRIVES**



นางสาวกัญญานันท์ ตันตียมรพงษ์
นางสาวนุชนาถ ศรีชัยไพศาล
นางสาววีราภรณ์ จิตต์ประสงค์

๑/๖๖
๓ ๑๘๔๖
๘๖๖๐

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....**83186**
วัน,เดือน,ปี...- 6 ส.ค. 2551

b. 11๙ ๖20๖๐
i.

**ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UNIVERSAL DRIVES




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

2007

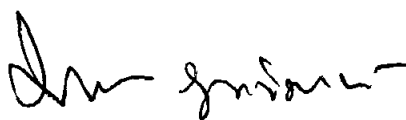
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท วจรจับเคลื่อนนอกประเทศ
UNIVERSAL DRIVES
นักศึกษาผู้จัดทำ นางสาวกัญญานันท์ ดันดีอมรพงษ์ รหัสนักศึกษา 47010030
นางสาวนุชนาถ ศรีชัยไพศาล รหัสนักศึกษา 47010398
นางสาววิราภรณ์ จิตต์ประสงค์ รหัสนักศึกษา 47010734
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
ปีการศึกษา 2550

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท	ลายมือชื่อ
รศ. ประภาส อุดคกิมพันธ์	

ภาควิชารับรองแล้ว



(รศ. ประภาส อุดคกิมพันธ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์ วงจรขับเคลื่อนอนเนกประสงค์

UNIVERSAL DRIVES

นักศึกษาผู้จัดทำ	นางสาวกัญญานันท์	ต้นตอมรพงษ์	รหัสนักศึกษา 47010030
	นางสาวนุชนาถ	ศรชัยไพศาล	รหัสนักศึกษา 47010398
	นางสาววีราภรณ์	จิตต์ประสงค์	รหัสนักศึกษา 47010734
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ. ประภาส	อุคคกิมพันธ์	
ปีการศึกษา	2550		

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาโครงสร้างและหลักการทำงานของมอเตอร์ เพื่อนำไปสร้างวงจรไฟฟ้าที่สามารถควบคุมการขับเคลื่อนมอเตอร์ได้หลากหลายชนิด สำหรับใช้ในการศึกษาระดับห้องปฏิบัติการหรือผู้ที่สนใจต้องการเรียนรู้ หลักการทำงานของมอเตอร์ พร้อมซอฟต์แวร์ตัวอย่างโดยอาศัยเทคนิคการควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F6010 ด้วยภาษาซีมาประยุกต์สร้างสถาปัตยกรรมในการควบคุม ซึ่งในการศึกษานี้ได้ทดลองกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน มอเตอร์ไฟฟ้าชนิดเหนี่ยวนำ อีกทั้งฮาร์ดแวร์ยังถูกออกแบบให้ยืดหยุ่นกับการใช้งานและ ซอฟต์แวร์สามารถนำไปปรับปรุง เพื่อพัฒนาต่อไปได้ในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Universal Drives	
Authors	Miss Kanyanan	Tantiamornpong
	Miss Nuchanart	Sornchaipaisan
	Miss Weeraporn	Jitprasong
Thesis	Assoc.Prof.Prapart	Ukakimapurn
Year	2007	

ABSTRACT

This project educates about structure and principle of motor to design a drive circuit that can be control any kinds of motor for used in a laboratory or anyone is interested in learning about principle of motor with example software. In addition, this project used microcontroller (dsPIC30F6010) with C language for control drives. In this educated is test with DC motor, brushless DC motor and induction motor. Moreover, Hardware is designed to cover for using and software can modify for continuable develop in the future.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเพราะได้รับความเมตตาจาก รองศาสตราจารย์ ประภาส อุดคคิมพานธุ์ ที่ได้ให้คำแนะนำแก่ผู้วิจัยตลอดมา อีกทั้งยังเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ในการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภักฤษณ์ เสมอพิทักษ์ และอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่านที่ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์และให้ความช่วยเหลือตลอดมา

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่อันเป็นที่รักยิ่ง ที่สนับสนุนและเป็นแรงบันดาลใจในการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน



คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX

บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....	1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดในการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
บทที่ 2 โครงสร้างและหลักการทำงานของมอเตอร์.....	3
2.1 โครงสร้างของมอเตอร์.....	3
2.1.1 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	3
2.1.1.1 ส่วนที่อยู่กับที่.....	3
2.1.1.2 ส่วนที่เคลื่อนที่.....	6
2.1.2 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน.....	8
2.1.2.1 พื้นฐานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน.....	8
2.1.3 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ.....	9
2.1.3.1 สเตเตอร์.....	9
2.1.3.2 โรเตอร์.....	10
2.1.3.2.1 แบบกรงกระรอก.....	10
2.1.3.2.2 แบบพันขดลวด.....	11
2.2 หลักการของมอเตอร์.....	11
2.2.1 หลักการของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	11
2.2.1.1 Significance of back-E.M.F.....	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และตัดอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.1.2 สมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าของมอเตอร์.....	13
2.2.1.3 แรงบิด.....	14
2.2.1.3.1 แรงบิดในอาร์เมเจอร์.....	14
2.2.1.3.2 แรงบิดเพลลาของมอเตอร์.....	15
2.2.2 หลักการของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน.....	15
2.2.2.1 การกลับทิศทางการหมุน.....	17
2.2.2.2 การจับมอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่านสามเฟสแบบ ไบโพลาร์.....	18
2.2.2.3 การตรวจจับตำแหน่งโรเตอร์และการใช้อุปกรณ์ฮอลล์.....	20
2.2.2.3.1 อุปกรณ์ฮอลล์.....	21
2.2.2.3.2 หลักการตรวจจับตำแหน่งโดยใช้อุปกรณ์ฮอลล์.....	22
2.2.2.3.3 วิธีการตรวจจับตำแหน่ง.....	23
2.2.2.4 การเปรียบเทียบระหว่างมอเตอร์กระแสตรงธรรมดา กับมอเตอร์ ชนิดไม่มีแปรงถ่าน.....	24
2.2.3 หลักการของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ.....	25
2.2.3.1 สนามแม่เหล็กหมุนในวงจรไฟฟ้า 3 เฟส.....	25
2.2.3.1.1 ขดลวดสเตเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส.....	25
2.2.3.1.2 สนามแม่เหล็กหมุน.....	27
2.2.3.2 การควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ.....	29
บทที่ 3 การใช้งานโมดูล MCPWM เพื่อควบคุมมอเตอร์.....	32
3.1 คุณสมบัติโดยสรุปของโมดูล MCPWM.....	32
3.2 รีจิสเตอร์ที่ใช้งานในโมดูล MCPWM.....	34
3.3 ฐานเวลาสัญญาณ PWM.....	35
3.3.1 คาบเวลาของสัญญาณ PWM.....	35
3.3.2 โหมดการทำงานของส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM ในโมดูล MCPWM.....	37
3.3.3 การทำงานของส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM ในโหมดปรับขอบสัญญาณ.....	37
3.3.4 การเปลี่ยนแปลงค่าตัวชี้เขตสัญญาณ PWM ของโมดูล MCPWM.....	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และดึงอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.5 การทำงานร่วมกันของส่วนกำเนิดสัญญาณPWM หรือการทำงานในแบบ คอมพลิเมนต์ารี.....	39
3.3.6 การควบคุมเวลาวิกฤต.....	39
3.4 การกำหนดการทำงานขาพอร์ตเอาต์พุตของโมดูลMCPWMโดยตรง.....	40
3.5 การใช้งานโมดูลแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลภายในdsPIC.....	40
บทที่ 4 การทดลอง.....	42
4.1 การออกแบบวงจรขับเคลื่อนเอนกประสงค์.....	42
4.2 การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	43
4.3 การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน.....	47
4.4 ขั้นตอนการทดลอง.....	48
4.5 การทดลองหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์.....	52
4.5.1 การหาค่าความต้านทานอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์.....	53
4.5.1.1 มอเตอร์กระแสตรง.....	53
4.5.1.2 มอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน.....	54
4.5.2 การวัดค่าโวลต์เตจคงที่.....	55
4.5.3 การทดลองหาค่าK _e ของมอเตอร์.....	56
4.5.3.1 มอเตอร์กระแสตรง.....	56
4.5.3.2 มอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน.....	57
4.5.4 การวัดค่าทอร์กคงที่.....	58
4.5.4.1 มอเตอร์กระแสตรง.....	59
4.5.4.2 มอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน.....	60
4.6 การทดลองขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ3เฟส.....	63
4.6.1 ขั้นตอนการทดลอง.....	64
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	66
5.1 สรุปผล.....	66
5.2 ปัญหา.....	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และตั้งรางวัลถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	66
บรรณานุกรม.....	67
ภาคผนวก.....	68
IR2110.....	69
ACS706.....	86
ซอฟต์แวร์ที่ใช้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน.....	105
ซอฟต์แวร์ที่ใช้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	112
ซอฟต์แวร์ที่ใช้กับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ.....	115
คู่มือการใช้งาน Universal Drives.....	120

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงลำดับการสวิตซ์สำหรับทิศทางการหมุนแบบตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา.....	17
2.2 แสดงการล่อจิกสำหรับการหมุนของมอเตอร์.....	19
2.3 แสดงการกลับล่อจิกเพื่อกลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์.....	20
2.4 เปรียบเทียบมอเตอร์กระแสตรงธรรมดากับมอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน.....	25
4.1 แสดงการกำหนดค่า PWM1 และ PWM2.....	44
4.2 แสดงการกำหนดค่า PWM1 และ PWM2.....	44
4.3 แสดงความสัมพันธ์ของค่า Hall sensor ทิศทางของสนามแม่เหล็ก และสถานะของ Gate Driver ขณะหมุนทวนเข็มนาฬิกา.....	51
4.4 แสดงความสัมพันธ์ของค่า Hall sensor ทิศทางของสนามแม่เหล็ก และสถานะของ Gate Driver ขณะหมุนตามเข็มนาฬิกา.....	51
4.5 แสดงผลการวัดค่าต่างๆของมอเตอร์กระแสตรง.....	53
4.6 แสดงผลการวัดค่าต่างๆของมอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน.....	54
4.7 แสดงการวัดค่าต่างๆของมอเตอร์กระแสตรง.....	56
4.8 แสดงการวัดค่าต่างๆของมอเตอร์กระแสตรงไม่มีแปรงถ่านเมื่อ $V_{supply} = 20V$ $R_a = 4.15 \Omega$	57
4.9 แสดงผลการวัดค่าต่างๆของมอเตอร์กระแสตรง เมื่อ $r = 0.147$ เมตร.....	59
4.10 แสดงผลการวัดค่าต่างๆของมอเตอร์กระแสตรงเมื่อ $r = 0.147$ เมตรที่คิ่วติ้ไซเกิล = 74%.....	60
4.11 แสดงผลการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและค่าคิ่วติ้ไซเกิลของมอเตอร์กระแสตรง.....	61
4.12 แสดงผลการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและค่าคิ่วติ้ไซเกิลของมอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน.....	62
4.13 แสดงค่า ω ที่ความถี่ แรงดันไฟฟ้า 50 Hz.....	65

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงเปลือกหรือโครง.....	3
2.2 แสดงขั้วแม่เหล็ก.....	4
2.3 แสดงขดลวดสนามแม่เหล็ก.....	5
2.4 แสดงการตรวจสอบการต่อขดลวดฟิลด์ค้อยล์.....	5
2.5 แสดงแปรงถ่านและช่องถ่าน.....	6
2.6 แสดงแกนเหล็กอาร์เมเจอร์.....	7
2.7 แสดงโครงสร้างของ Brushless DC Motor.....	8
2.8 แสดงโครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ.....	9
2.9 แสดงโครงสร้างของสเตเตอร์.....	9
2.10 แสดงโครงสร้างของโรเตอร์.....	10
2.11 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงหลายขั้วพื้นฐาน.....	12
2.12 ทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับ.....	12
2.13 วงจรมอเตอร์กระแสตรงแบบขนาน.....	13
2.14 การเกิดแรงบิด.....	14
2.15 แสดงการจับมอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน 3 เฟส แบบunipolar.....	16
2.16 แสดงลำดับการสวิตซ์ซิ่งและการหมุนของสนามแม่เหล็กของสเตเตอร์.....	16
2.17 แสดงการจับBLDCมอเตอร์ 3 เฟส แบบunipolar.....	18
2.18 สนามแม่เหล็กของสเตเตอร์และทิศทางของทอร์ค.....	19
2.19 แสดงอุปกรณ์ฮอลล์.....	21
2.20 วงจรสมมูลของอุปกรณ์ฮอลล์.....	22
2.22 รูปคลื่นเอาต์พุตจากอุปกรณ์ฮอลล์.....	23
2.22 แสดงการใช้อุปกรณ์ฮอลล์.....	23
2.23 การกำเนิดทอร์คและการสวิตซ์.....	24
2.24 สเตเตอร์ของมอเตอร์ระบบไฟ 3 เฟส ประกอบด้วยขดลวด 3 ชุด : a-a' , b-b' และ c-c' ที่ต่อกันแบบ Y เข้ากับระบบไฟ 3 เฟส เฟส A,B และ C ที่มีรูปคลื่นไฟฟ้า.....	26
2.25 การให้สนามแม่เหล็กหมุน ณ เวลา t_1 , t_2 และ t_3 ที่คลื่น ไฟฟ้าเคลื่อนที่ไป.....	26
2.26 ขดลวดของสเตเตอร์ระบบไฟ 3 เฟส ที่ประกอบด้วยขดลวด 3 ชุด ชุด 1 , 2 และ 3 วางห่างกัน 120° และต่อกันเป็นวงจรสตาร์กับระบบไฟ 3 เฟส.....	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.27 รูปคลื่นไฟฟ้าของระบบไฟ 3 เฟส.....	28
2.28 การให้กำเนิดสนามแม่เหล็กหมุน ณ เวลา t1, t2 และ t3 ที่คลื่นไฟฟ้าเคลื่อนที่ไป.....	28
2.29 ภาพตัดขวางของอินดักชันมอเตอร์อย่างง่าย.....	29
2.30 การลดลงของแรงบิดเมื่อความเร็วสูงกว่ามาตรฐาน.....	30
3.1 แสดงไดอะแกรมการทำงานของโมดูลMCPWMในไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC.....	33
3.2 ไดอะแกรมเวลาแสดงการไหลค้ำของรีจิสเตอร์ PTPER เมื่อฐานเวลาของ PWM ทำงานในโหมดเปลี่ยนแปลงค่าอิสระและโหมดทำงานครั้งเดียว.....	36
3.3 ไดอะแกรมเวลาแสดงการเกิดสัญญาณ PWM เมื่อทำงานในโหมดปรับขอบสัญญาณ.....	37
3.4 ไดอะแกรมเวลาแสดงการเกิดสัญญาณ PWM เมื่อทำงานในโหมดสัญญาณเดี่ยว.....	38
4.1 วงจรขับเคลื่อนเอนกประสงค์จากการออกแบบ.....	42
4.2 บอร์ดที่ได้จากการออกแบบ.....	43
4.3 แสดงการขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรง.....	43
4.4 แสดงการไหลของกระแสจาก Gate T1 ไปยัง Gate T4.....	44
4.5 แสดงการไหลของกระแสจาก Gate T2 ไปยัง Gate T3.....	45
4.6 แสดงการปรับค่าควิตซ์ไคเกิล.....	46
4.7 แสดงบล็อกไดอะแกรมการขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน.....	47
4.8 แสดงวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน.....	47
4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าและการหมุนของแกนแม่เหล็กถาวร.....	48
4.10 Flowchart แสดงการเรียนรู้ตำแหน่ง Hall sensor.....	49
4.11 แสดงลักษณะสัญญาณทางไฟฟ้าในการหมุนมอเตอร์ 1 รอบทางกล.....	50
4.12 การวัดความต้านทานของอาร์เมเจอร์ด้วยการทดสอบกระแส.....	52
4.13 วิธีการวัดค่าเบ็ค-อีเอ็มเอฟคอนสแตนต์ของมอเตอร์.....	55
4.14 การวัดค่าทอร์กคงที่ของมอเตอร์.....	59
4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและค่าควิตซ์ไคเกิลของมอเตอร์กระแสตรง.....	61
4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าควิตซ์ไคเกิลและความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน.....	63
4.17 แสดงบล็อกไดอะแกรมการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.18 แสดงไดอะแกรมการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	63
4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ω ที่ความถี่แรงดันไฟฟ้า 50Hz.....	65



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย

ปัจจุบันมอเตอร์ไฟฟ้าจัดว่ามีความสำคัญกับชีวิตประจำวันของคนเราอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นมองไปทางไหนก็จะเห็นมอเตอร์อยู่รอบๆตัวเรา ตั้งแต่ในโรงงานอุตสาหกรรมจนถึงที่อยู่อาศัยล้วนต้องใช้มอเตอร์ ยกตัวอย่างเช่น พัดลม เครื่องปรับอากาศ เครื่องซักผ้า ไร้อุปกรณ์ คอมพิวเตอร์ เครื่องบิน เป็นต้น จะเห็นได้ว่ามอเตอร์มีความสำคัญกับเราเป็นอย่างมาก ซึ่งมอเตอร์ไฟฟ้านั้นมีมากมายหลายชนิด สามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภทใหญ่ๆคือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และมอเตอร์กระแสสลับ โดยมอเตอร์แต่ละชนิดก็จะใช้กับงานที่แตกต่างกันออกไปตามแต่ความสามารถและความเหมาะสม การที่มอเตอร์จะขับเคลื่อนได้นั้นจะต้องผ่านวงจรขับเคลื่อน (วงจรรีเลย์) ซึ่งมีหน้าที่ในการปรับค่าต่างๆ เช่น แรงดัน , ความถี่ เพื่อป้อนเข้าสู่มอเตอร์ ให้มีความเหมาะสมกับมอเตอร์ตัวนั้นๆ ซึ่งจากการศึกษาพบว่ารูปแบบการทำงานของเอซีไดรฟ์ มีความเหมือนและคล้ายคลึงกับรูปแบบการทำงานของดีซีไดรฟ์ เพราะจะต้องมีความรู้พื้นฐานของดีซีไดรฟ์ก่อนจึงจะสามารถ เข้าใจหลักการของเอซีไดรฟ์ได้ง่ายขึ้น จากลักษณะการทำงานที่คล้ายกัน ก็ได้มีผู้ผลิตออกมาเป็นวงจรถูกขับเคลื่อนอนุกรม หรือ Universal Drive ออกมาขายตามท้องตลาดและถูกใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งเป็นวงจรที่สามารถขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรง(DC motor) มอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน (Brushless DC motor) มอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction motor) ได้ในวงจรชุดเดียว

จากความรู้ข้างต้นและความรู้ที่เคยศึกษาการทำงานมอเตอร์แต่ละชนิดมาแล้ว ผู้วิจัยได้นำแนวความคิดนั้น มาสร้างเป็นวงจรถูกขับเคลื่อนอนุกรมที่มีความยืดหยุ่นต่อการใช้งาน โดยใช้ความรู้จากการทดลองกับมอเตอร์แบบต่างๆมาสร้างให้เกิดเป็นชิ้นงานที่สามารถทำงานได้ในระดับหนึ่ง และมีเชื่อมั่นว่าความรู้และประสบการณ์จากการทำงานวิจัยนี้จะเป็นจุดริเริ่มในการพัฒนาผลงานให้มีประสิทธิภาพเหมือนสินค้าที่มีผู้ผลิตและได้รับการยอมรับในวงการอุตสาหกรรมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F6010 มาเป็นตัวควบคุมการทำงานเพื่อให้สามารถรองรับการควบคุมได้หลากหลายรูปแบบ

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. ศึกษาโครงสร้างและหลักการของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ และมอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน
2. ศึกษาการทำงานวงจรถูกขับเคลื่อนมอเตอร์แต่ละชนิด เพื่อสร้างวงจรถูกขับเคลื่อนอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

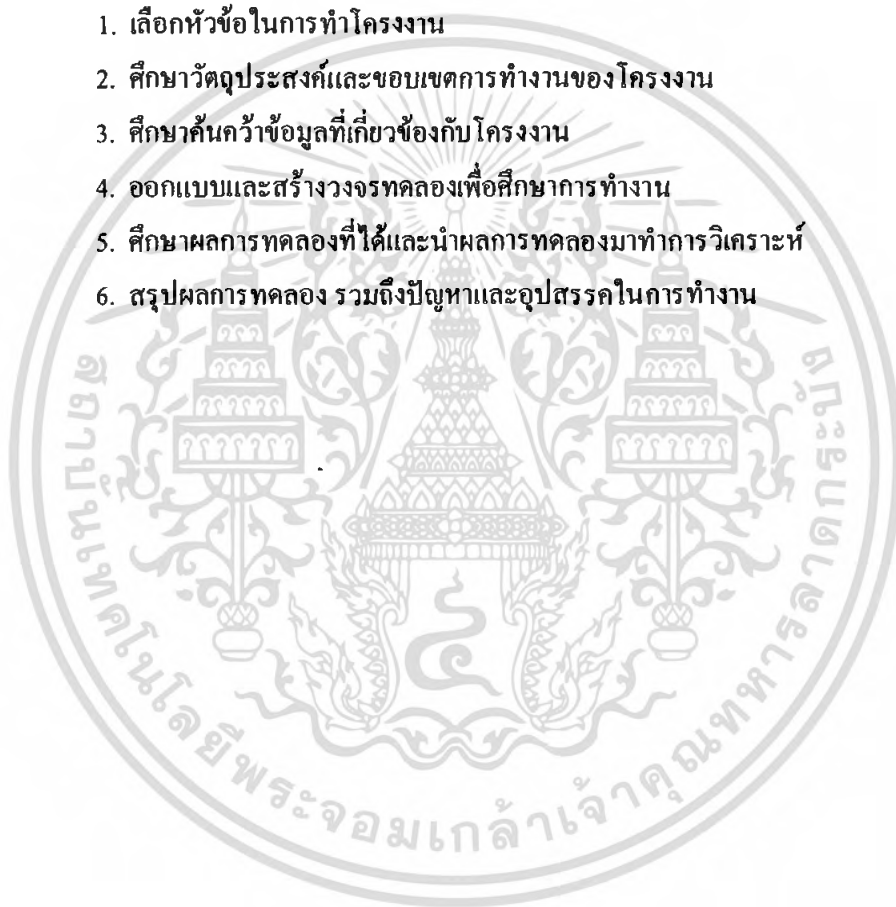
3. ศึกษาการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F6010 เพื่อใช้ควบคุมการทำงานร่วมกับวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดในการวิจัย

1. ออกแบบและสร้างวงจรเอนกประสงค์ เพื่อใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรง มอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน และมอเตอร์กระแสสลับชนิดเหนี่ยวนำ
2. เขียนโปรแกรมตัวอย่างเพื่อใช้กับวงจรขับเคลื่อน

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. เลือกหัวข้อในการทำโครงการ
2. ศึกษาวัตถุประสงค์และขอบเขตการทำงานของโครงการ
3. ศึกษาค้นหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงการ
4. ออกแบบและสร้างวงจรทดลองเพื่อศึกษาการทำงาน
5. ศึกษาผลการทดลองที่ได้และนำผลการทดลองมาทำการวิเคราะห์
6. สรุปผลการทดลอง รวมถึงปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

โครงสร้างและหลักการทำงานของมอเตอร์

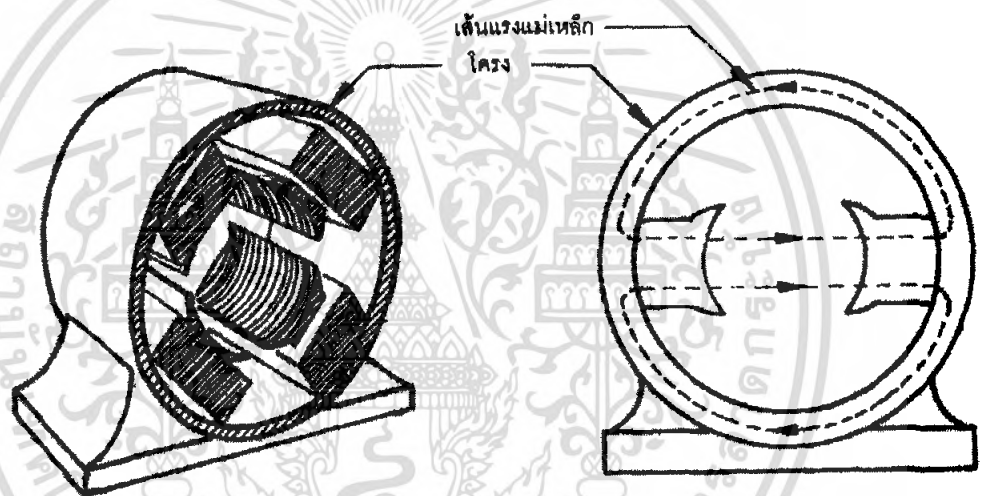
2.1 โครงสร้างของมอเตอร์

2.1.1 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

2.1.1.1 ส่วนที่อยู่กับที่ (Stator) ประกอบด้วย

1. เปลือกหรือโครง (Frame or yoke)

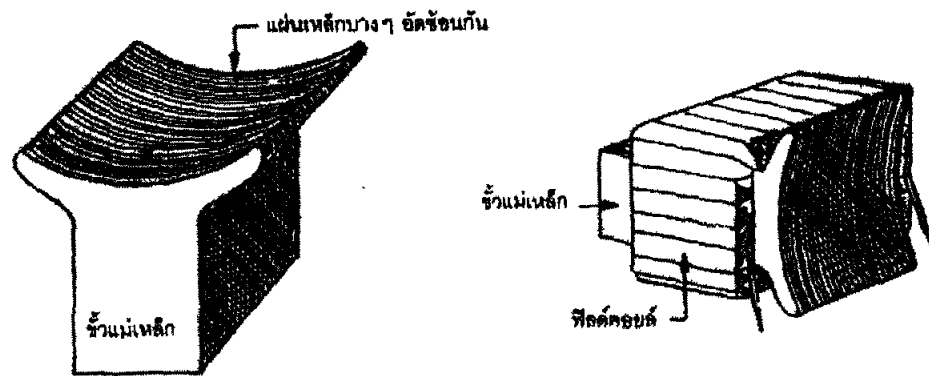
ทำมาจากเหล็กหล่อหรือสารแม่เหล็กทำหน้าที่คือยึดขั้วแม่เหล็กและส่วนประกอบทั้งหมดเป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic circuit)



รูปที่ 2.1 แสดงเปลือกหรือโครง

2. ขั้วแม่เหล็ก (Pole shoes)

ทำมาจากแผ่นเหล็กบาง ๆ (laminated sheet steel) อัดซ้อนเข้าด้วยกัน โดยแต่ละแผ่นจะเคลือบไว้ด้วยฉนวน ขั้วแม่เหล็กนี้จะยื่นออกมาจากโครงโดยขั้วแม่เหล็กนี้จะยึดโครงด้วยสลัก ลักษณะของขั้วแม่เหล็กดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.2



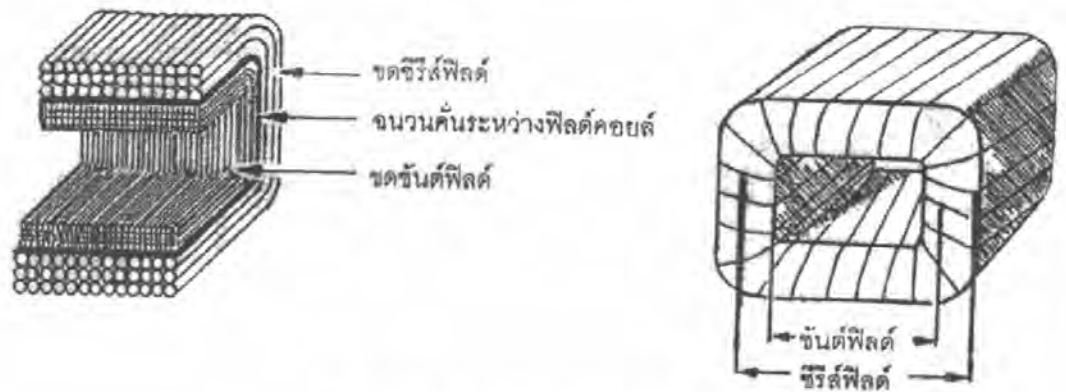
รูปที่ 2.2 แสดงขั้วแม่เหล็ก

3. ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field coil or field winding)

หรือที่เรียกว่าขดลวดฟิลด์คอยล์เป็นขดลวดตัวนำที่พันไว้รอบขั้วแม่เหล็ก ขดลวดสนามแม่เหล็กจะพันจากภายนอกแล้วสวมเข้ากับขั้วแม่เหล็ก ซึ่งขั้วแม่เหล็กนั้นสามารถถอดออกได้ ขดลวดสนามแม่เหล็กนี้ จะต้องมีขนาดที่พอดีคือไม่แน่นหรือหลวมจนเกินไปเพราะถ้าแน่นจนเกินไป ขณะประกอบอาจทำให้เกิดการรั่วลงดินได้และในขณะเดียวกันถ้าหลวมจนเกินไปก็อาจทำให้เกิดอาการสั่นของขดลวดขณะใช้งานและจะทำให้ปิดฝาครอบหัวท้ายไม่ได้อีกด้วย ขดลวดสนามแม่เหล็กทำหน้าที่สร้างเส้นแรงแม่เหล็ก ขดลวดฟิลด์คอยล์มี 2 ชนิดคือ

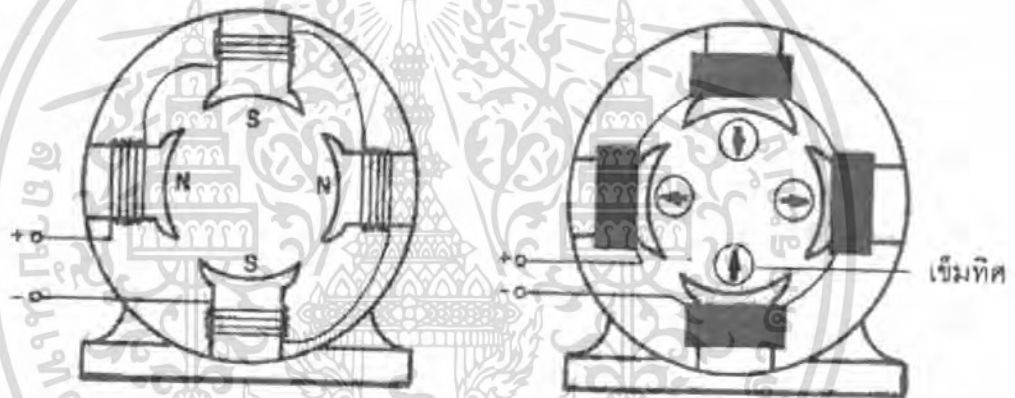
- ขดลวดชัณฑ์ฟิลด์ (shunt field or shunt winding) ขดลวดนี้จะพันด้วยลวดเส้นเล็ก ดังนั้นความต้านทานจะสูง
- ขดลวดซีรีส์ฟิลด์ (series field or series winding) ขดลวดนี้จะพันด้วยลวดเส้นใหญ่ ดังนั้นความต้านทานต่ำ

ขดลวดทั้งสองชนิดนี้พันอยู่บนแกนขั้วแม่เหล็กอันเดียวกัน โดยขดลวดชัณฑ์ฟิลด์จะพันอยู่ด้านในสุดส่วนขดลวดซีรีส์ฟิลด์จะพันไว้ด้านนอกสุดและมีจำนวนรอบเพียงเล็กน้อย จะต้อง มีฉนวนคั่นอยู่ระหว่างขดลวดชัณฑ์ฟิลด์กับขดลวดซีรีส์ฟิลด์ด้วยดังที่แสดง



รูปที่ 2.3 แสดงขดลวดสนามแม่เหล็ก

ขดลวดทั้งสองชุดจะต้องพันไปในทิศทางเดียวกันและขดลวดในแต่ละชุดนั้น จะต้องอนุกรมเข้าด้วยกันระหว่างขั้วแม่เหล็กให้ถูกต้องด้วย เพราะจะทำให้ขั้วแม่เหล็กเป็นขั้วเหนือและขั้วใต้สลับกันไป ดังแสดงในรูปด้านล่าง

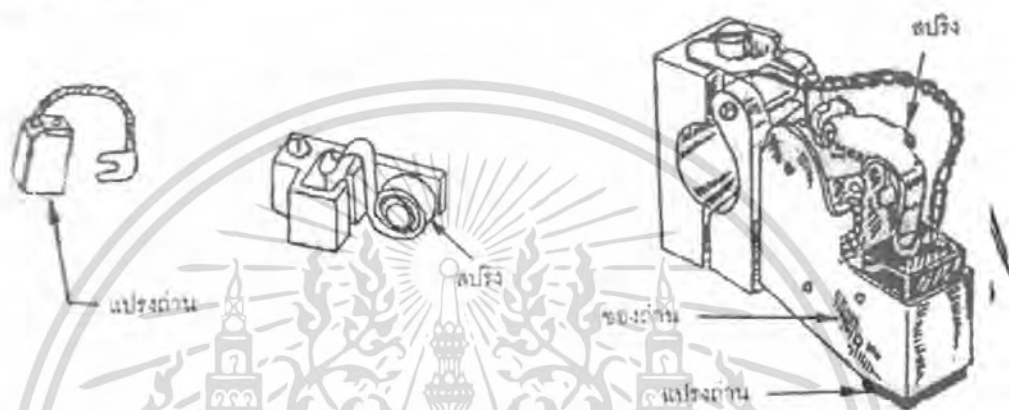


รูปที่ 2.4 แสดงการตรวจสอบการต่อขดลวดฟิลด์คอยล์

การตรวจสอบการต่อว่าถูกต้องหรือไม่ เราสามารถตรวจสอบได้ด้วยการใช้เข็มทิศหรือใช้แท่งแม่เหล็กถาวรตรวจสอบ โดยจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับฟิลด์คอยล์และใช้เข็มทิศหรือแท่งแม่เหล็กถาวรสอดเข้าไปที่ด้านหน้าของขั้วแม่เหล็กแต่ละขั้ว ขั้วแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะต้องสลับกันไป เมื่อทำการตรวจสอบขดชั้นดีฟิลด์แล้วก็ให้ทำการตรวจสอบของขีรีฟิลด์ ในทำนองเดียวกัน ขั้วแม่เหล็กที่แสดงออกเนื่องจากขดขีรีฟิลด์ จะต้องเหมือนกันกับขั้วแม่เหล็กที่ได้จากขดชั้นดีฟิลด์

4. แปรงถ่านและแบร้ง (Brushes and bearing)

แปรงถ่านทำหน้าที่เป็นสะพานไฟจากคอมมิวเตเตอร์ไปยังวงจรรภายนอก แปรงถ่านทำมาจากคาร์บอนอัดแน่นจะมีลักษณะเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้าบรรจุอยู่ในช่องถ่าน โดยที่แปรงถ่านนี้จะมีลวดทองแดงยึดติดอยู่ด้วย เพื่อต่อไฟออกไปใช้งานและถูกกดด้วยสปริงให้สัมผัสกับคอมมิวเตเตอร์ตลอดเวลาและช่องถ่านจะถูกยึดติดอยู่กับฝาครอบ ส่วนแบร้งหรือลูกปืนนั้นจะเป็นตัวรับน้ำหนักทั้งหมดที่ได้รับจากตัวหมุนและช่วยลดแรงเสียดทานของเพลลา ขณะที่อาร์เมเจอร์หมุนปกติแบร้งจะยึดติดอยู่ที่ฝาครอบทั้ง 2 ด้านของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แปรงถ่านและช่องถ่านแสดงได้ดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 2.5 แสดงแปรงถ่านและช่องถ่าน

ในเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงนี้จะต้องมีแปรงถ่านอย่างน้อย 2 แปรง และแปรงถ่านทั้งสองต้องสามารถหมุนปรับตำแหน่งได้พร้อมกัน ดังนั้นช่องถ่านทั้ง 2 จะต้องอยู่บนตัวปรับอันเดียวกันด้วย

5. ฝาปิดหัวท้ายหรือฝาครอบ (End plate)

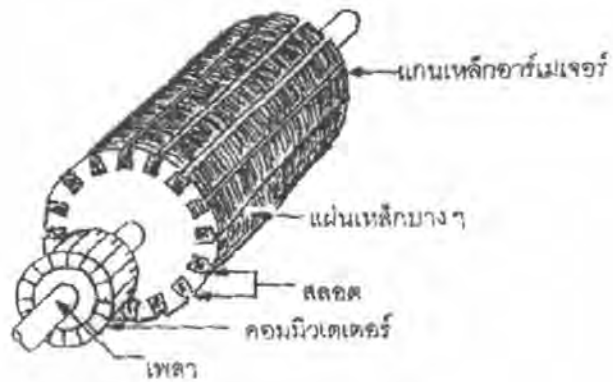
ทำมาจากเหล็กหล่อเช่นเดียวกับโครง ทำหน้าที่รองรับเพลลาของส่วนหมุนและยึดช่องถ่าน

2.1.1.2 ส่วนที่เคลื่อนที่ (Rotor Part) ประกอบด้วย

1. แกนเหล็กอาร์เมเจอร์ (Armature core)

ทำจากแผ่นเหล็กบางๆ ที่ด้านหนึ่งฉาบด้วยฉนวนอัดซ้อนกันเป็นรูปทรงกระบอก เพื่อลดการสูญเสียเนื่องจากฮิสเตอรีซิสและกระแสไหลวนในแกนเหล็ก แกนเหล็กอาร์เมเจอร์นี้ทำเป็นช่องสลอตไว้ดังรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงแกนเหล็กอาร์เมเจอร์

แกนเหล็กอาร์เมเจอร์เป็นที่สำหรับบรรจุขดลวดอาร์เมเจอร์ โดยที่แกนเหล็กอาร์เมเจอร์นี้จะเจาะรูไว้ด้วย เพื่อช่วยในการระบายความร้อนเนื่องจากความสูญเสีย

2. ขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature coil or Armature winding)

คือขดลวดที่บรรจุลงในช่องสลอตของแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ โดยขดลวดนั้นทำมาจากขดลวดทองแดงอบจนอุณหภูมิขดลวดอาร์เมเจอร์จะนิยมพันจากแบบภายนอกอยู่แล้วจึงนำไปบรรจุลงในสลอต เพราะจะทำให้ขดลวดแต่ละขดมีความยาวและมีน้ำหนักสมดุลไม่เกิดการแกว่งขณะหมุน ขดลวดอาร์เมเจอร์มีการพันเป็นแบบแลป (lap) หรือแบบเวฟ (wave) ปลายของขดลวดจะถูกนำมาตัดต่อเข้ากับคอมมิวเตเตอร์

3. คอมมิวเตเตอร์ (Commutator)

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับที่เกิดขึ้นในขดลวดอาร์เมเจอร์ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง คอมมิวเตเตอร์ทำจากแท่งทองแดงที่มีลักษณะคล้ายลิ้มเพื่อให้สามารถนำมาประกอบเข้าด้วยกันเป็นรูปทรงกระบอก คอมมิวเตเตอร์แต่ละอันเรียกว่าจี้และในระหว่างซี่ทองแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ละซี่จะคันไว้ด้วยฉนวนหนาที่แข็งแรง และคอมมิวเตเตอร์นี้จะยึดติดไว้บนเพลากลั่นเดียวกับแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ คอมมิวเตเตอร์

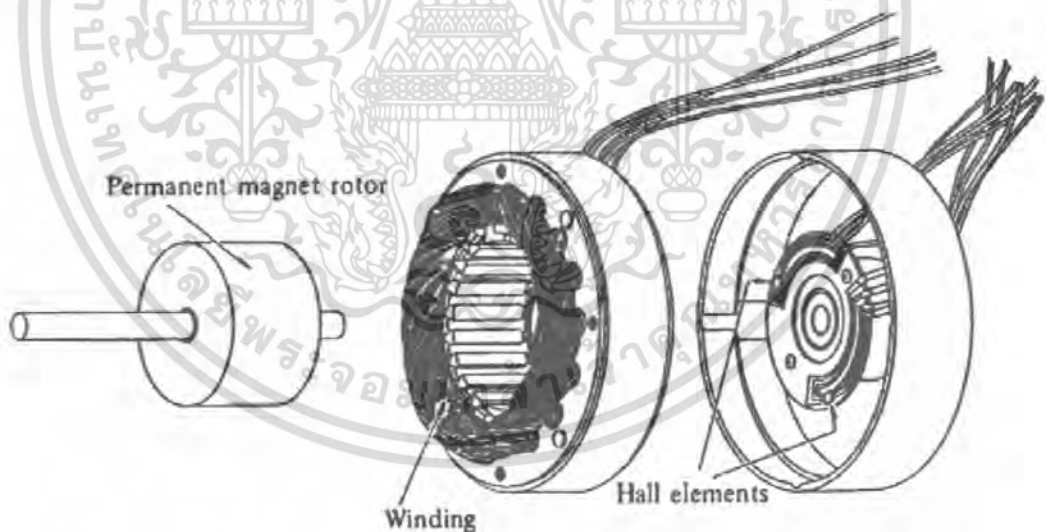
2.1.2 โครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน (BLDC)

มอเตอร์กระแสตรงแบบธรรมดาที่มีประสิทธิภาพสูง และมีลักษณะเหมาะสมกับการใช้งานเป็นเซอร์โวมอเตอร์ แต่มอเตอร์กระแสตรงแบบธรรมดานั้นมีปัญหาเรื่องการช่อมบำรุง คอมมิวเตเตอร์และแปรงถ่าน แต่หากใช้สวิตช์ทรานซิสเตอร์(solid-state switch)แทนคอมมิวเตเตอร์และแปรงถ่านนั้นจะทำให้ไม่ต้องทำการช่อมบำรุง ซึ่งมอเตอร์ชนิดนี้รู้จักกันในนามมอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน หรือ brushless DC motors

2.1.2.1 พื้นฐานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน

(brushless DC motors)

มอเตอร์กระแสตรงแบบธรรมดานั้น ขดลวดอาร์เมเจอร์จะพันที่โรเตอร์ และที่สเตเตอร์ทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็ก ส่วนโครงสร้างของมอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน นั้นคล้ายกับมอเตอร์กระแสสลับมาก



รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างของ Brushless DC Motor

ส่วนประกอบของมอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่านนั้น มีขดลวดอาร์เมเจอร์พันที่สเตเตอร์ และที่โรเตอร์มีแม่เหล็กหนึ่งขั้วหรืออาจมากกว่านั้น การพันขดลวดในมอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่านนั้นคล้ายกับการพันขดลวดโพลีเฟส(polyphase) ในมอเตอร์

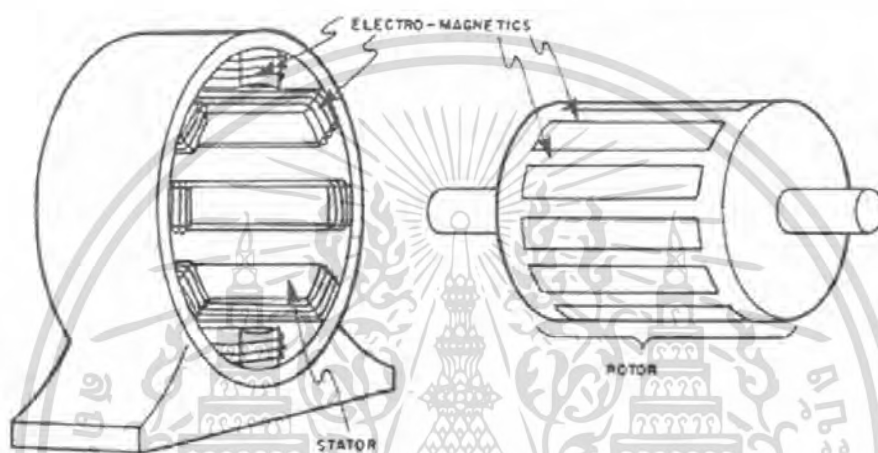
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน แตกต่างจากมอเตอร์กระแสสลับตรงที่มีการตรวจจับตำแหน่งของโรเตอร์(หรือขั้วแม่เหล็ก) เพื่อที่จะส่งสัญญาณไปควบคุมสวิตซ์ไฟฟ้าซึ่งส่วนมากจะใช้ อุปกรณ์ฮอลล์(Hall element) เป็นเซ็นเซอร์ในการตรวจจับตำแหน่งโรเตอร์และตำแหน่งโพล (pole) แต่ในบางมอเตอร์อาจใช้ Optical sensor

2.1.3 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

โครงสร้างและส่วนประกอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสมีส่วนประกอบสำคัญ

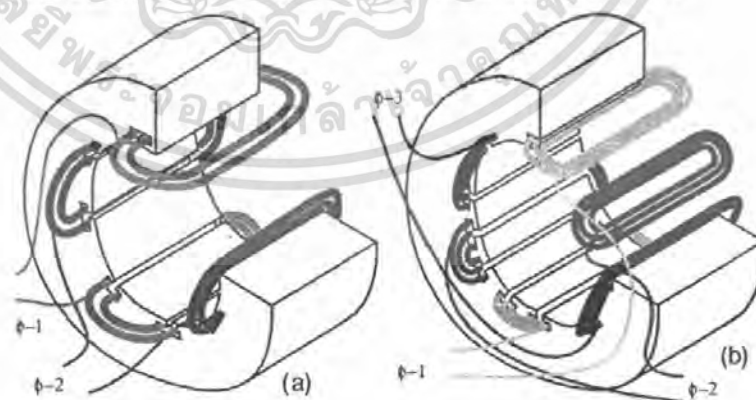
ดังนี้



รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

2.1.3.1 สเตเตอร์

ประกอบด้วย โครงสร้างสเตเตอร์ แกนสเตเตอร์ และขดลวดสเตเตอร์



รูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างของสเตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสเตเตอร์ทำด้วยเหล็กหล่อรูปทรงกระบอก ผิวด้านนอกโดยรอบของมอเตอร์ บางตัวจะออกแบบเป็นครีบบนเพื่อช่วยระบายความร้อน ฐานด้านล่างเป็นขาค้ำมีกล่องต่อสายไฟฟ้าอยู่ ด้านบนหรือด้านข้าง โครงสเตเตอร์ทำหน้าที่จับยึดแกนเหล็กสเตเตอร์ให้แน่นอยู่กับที่ ในมอเตอร์ขนาดเล็กโครงสเตเตอร์ทำด้วยเหล็กหล่อ แต่ในมอเตอร์ขนาดใหญ่มักทำด้วยเหล็กหล่อเหนียวซึ่ง จะทำโครงสเตเตอร์บางลงช่วยลดน้ำหนักของมอเตอร์ลงได้

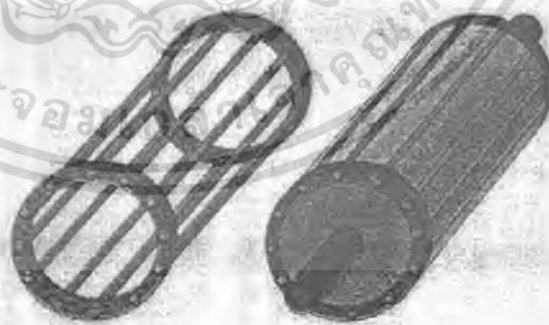
แกนสเตเตอร์ทำด้วยแผ่นเหล็กบางๆเซาะด้านในเป็นร่อง มีไว้เพื่อพันขดลวดเรียกว่าแผ่นเหล็กลามิเนตหน้าแผ่นเหล็กดังกล่าวมาอาบฉนวน แล้วนำมาอัดเข้าด้วยกันจะได้แกนสเตเตอร์ของมอเตอร์ แกนสเตเตอร์เป็นส่วนที่ใช้สำหรับพันขดลวดสเตเตอร์และยังทำหน้าที่เป็นเส้นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กด้วย

ขดลวดสเตเตอร์ (Stator Winding) หมายถึงขดลวดทองแดงเคลือบด้วยฉนวนไฟฟ้า สำหรับพันลงในร่องของแกนสเตเตอร์ ประกอบด้วยขดลวดหนึ่งเฟสจำนวน 3 ชุด (3 เฟส) พันเรียงห่างกัน 120 องศาทางไฟฟ้า การต่อปลายสายขดลวดทั้ง 3 ชุดเข้าด้วยกันต่อได้ 2 แบบคือ แบบสตาร์ (Wye) หรือแบบเดลต้า (Delta)

2.1.3.2. โรเตอร์ (Rotor)

2.1.3.2.1 แบบกรงกระรอก

แกนโรเตอร์ทำด้วยแผ่นเหล็กลามิเนตเซาะผิวด้านนอกให้เป็นร่อง โดยรอบนำแผ่นเหล็กดังกล่าวมาอาบฉนวนแล้วนำมาอัดเข้าด้วยกัน แล้วฝังแท่งทองแดงเข้าไปในร่องของแกนโรเตอร์ทุกร่อง ปลายของแท่งทองแดงทั้งสองข้างจะเชื่อมถึงกันด้วยวงแหวนทองแดงสองวงเพื่อให้แท่งทองแดงเหล่านั้นลัดวงจรถึงกันหมด โครงสร้างของแท่งทองแดงดังกล่าวจะมีลักษณะคล้ายกับกรงกระรอกด้วยสาเหตุดังกล่าวจึงเรียกโรเตอร์ชนิดนี้ว่า โรเตอร์แบบกรงกระรอก



รูปที่ 2.10 แสดงโครงสร้างของโรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็กและขนาดกลาง จะใช้วิธีนำแกนโรเตอร์เข้าไปวางในแบบพิมพ์แล้วฉีดอลูมิเนียมเหลวเข้าไป จะได้อลูมิเนียมอัดแน่นอยู่ในร่องและมีครีบบนออกไปทั้งสองข้างเพื่อใช้เป็นใบพัดสำหรับระบายความร้อน และเมื่ออัดเหลวเข้าไปที่รูกลางของแกนโรเตอร์จะได้โรเตอร์ทรงกระบอก

2.1.3.2.2 แบบพันขดลวด

โรเตอร์แบบพันขดลวดหรือแบบवादโรเตอร์ แกนโรเตอร์ทำด้วยแผ่นเหล็กลามิเนตบีบเป็นร่องแล้วนำมาอัดเข้าด้วยกันเป็นรูปทรงกระบอก มีขดลวดทองแดงอบน้ำยาฉนวนไฟฟ้าจำนวน 3 ชุดพันอยู่ในร่องของแกนโรเตอร์ ขดลวดแต่ละเฟสพันเรียงห่างกัน 120 องศาทางไฟฟ้าต้องพันให้เกิดจำนวนขั้วแม่เหล็กเท่ากับจำนวนขั้วแม่เหล็กบนสเตเตอร์ ปลายสายของขดลวดทั้งสามเฟสจะต่อรวมกันเป็นแบบสตาร์ ปลายสายที่เหลือจะต่อกับสลิปริง 3 อันซึ่งมีแปรงถ่านสัมผัสอยู่และมีสายต่อจากแปรงถ่านออกไปภายนอก เพื่อต่อกับความต้านทานที่ปรับค่าได้จำนวน 3 ตัวซึ่งต่อแบบสตาร์

2.2 หลักการของมอเตอร์

2.2.1 หลักการของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ทิศทางของแรงที่เกิดขึ้นในตัวนำ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านตัวนำซึ่งอยู่ในสนามแม่เหล็กจะเป็นไปตามกฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง ดังนั้นจะได้

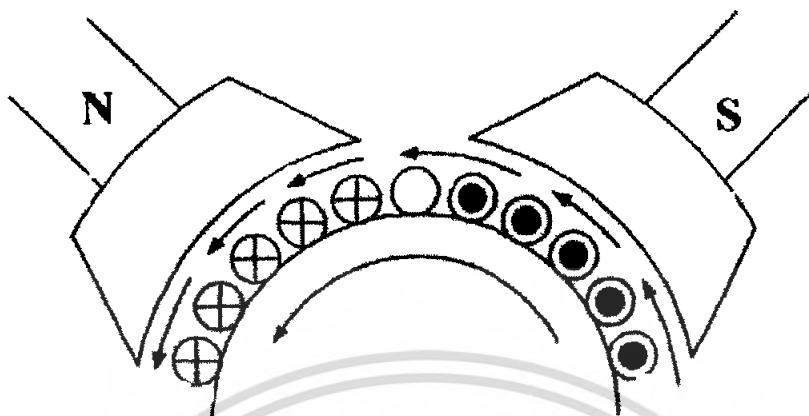
$$F = BIL \quad (N)$$

โดยที่ :	F	เป็นแรงที่เกิดบนตัวนำ	(N)
	B	เป็นความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก	$\left(\frac{Wb}{m^2}\right)$
	L	เป็นความยาวของตัวนำ	(m)
	I	เป็นกระแสไฟฟ้าที่ไหลในตัวนำ	(A)

พิจารณาภาพที่ 2.1 แสดงมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงหลายขั้ว เมื่อเกิดการกระตุ้นที่ขดลวดสนามและตัวนำบนอาร์เมเจอร์ได้รับกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายหลัก ทำให้เกิดแรงในแนวตั้งฉากกับเส้นแรงแม่เหล็กและกระแสไหลผ่านในตัวนำนั้นๆ ดังนั้นเมื่อมีกระแสไหลในขดลวดตัวนำที่พันอยู่บนแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ จะเกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นรอบๆตัวนำและจะเกิดปฏิกิริยากับเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์ ทำให้เกิดแรงผลึกบนตัวนำอาร์เมเจอร์จึงหมุนได้

สมมติว่าตัวนำภายใต้ขั้ว N นำกระแสในทิศทางลงล่าง (+) ภายใต้ขั้ว S นำกระแสในทิศทางขึ้นบน (●) ใช้กฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง ในการพิจารณาทิศทางของแรงในแต่ละตัวนำซึ่งแสดงด้วยหัว

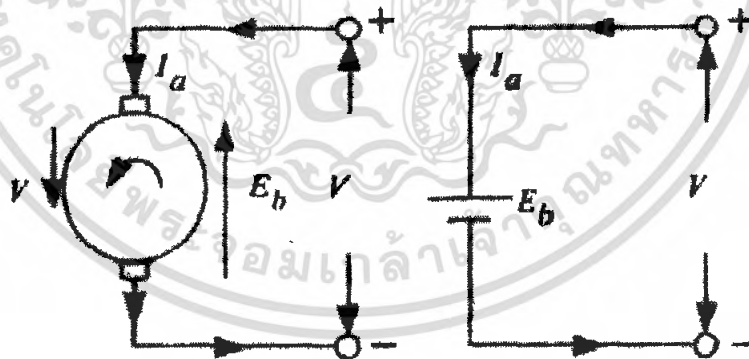
ลูกศรที่อยู่ด้านบนของแต่ละตัวนำ โดยแต่ละตัวนำมีแรง F ทำให้อาร์เมเจอร์หมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาแรงนี้ทำให้เกิดแรงบิดเริ่มหมุน



รูปที่ 2.11 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงหลายขั้วพื้นฐาน

2.2.1.1. Significance of the back e.m.f

เมื่ออาร์เมเจอร์หมุนตัวนำที่อาร์เมเจอร์จะตัดกับเส้นแรงแม่เหล็ก ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในอาร์เมเจอร์ โดยมีทิศทางเป็นไปตามกฎมือขวาของเฟลมมิ่งซึ่งจะตรงกันข้ามกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์เรียกแรงเคลื่อนไฟฟ้านี้ว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับ (back e.m.f) ใช้ตัวย่อ E_b วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่ออาร์เมเจอร์หมุนจะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับ จะได้

$$I_a = \frac{(V - E_b)}{R_a} \quad (A) \quad (2.2)$$

$$E_b = \phi ZN \times \left(\frac{P}{A} \right) \quad (V) \quad (2.3)$$

โดยที่ :

R_a = ความต้านทานในวงจรของอาร์เมเจอร์ (Ω)

N = เป็นความเร็วรอบของมอเตอร์ (r.p.m)

พิจารณาสมการ (2.3) พบว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับจะขึ้นอยู่กับความเร็วรอบของอาร์เมเจอร์ ถ้าความเร็วรอบสูงแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับก็จะมากกระแสที่ไหลในอาร์เมเจอร์ (I_a) จากสมการที่ (2.2) จะมีค่าน้อย ถ้าความเร็วรอบต่ำแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับก็จะน้อย I_a ก็จะมาก แรงบิดจะมีค่าสูงเมื่อมีความเร็วรอบสูง

2.2.1.2 สมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าของมอเตอร์ (Voltage Equation of a motor)

การศึกษาลักษณะสมบัติ (performance) ของมอเตอร์ จำเป็นต้องทราบถึงสมการพื้นฐานของมอเตอร์ก่อน สมการดังกล่าวคือสมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าสามารถเขียนได้ดังนี้

$$V = E_b + I_a R_a \quad (2.4)$$

จากสมการที่ (2.4) คูณด้วย I_a ตลอด จะได้

$$VI_a = E_b I_a + (I_a)^2 R_a \quad (2.5)$$

โดยที่ : V = แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จ่ายให้กับวงจรของมอเตอร์ (V)

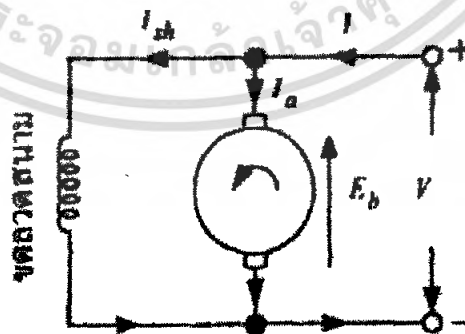
E_b = แรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์ (V)

$I_a R_a$ = แรงเคลื่อนไฟฟ้าตกคร่อมที่ความต้านทานของอาร์เมเจอร์ (V)

VI_a = กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับอาร์เมเจอร์ (electrical input in armature) (W)

$E_b I_a$ = กำลังไฟฟ้าในอาร์เมเจอร์ที่สมมูลกับกำลังทางกลที่เกิดในอาร์เมเจอร์, P_m (W)

$(I_a)^2 R_a$ = กำลังสูญเสียที่ขดลวดในอาร์เมเจอร์ (W)

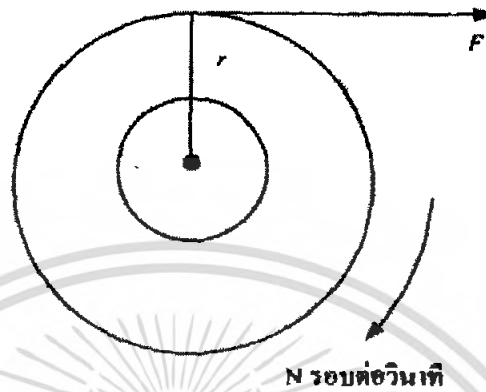


รูปที่ 2.13 วงจรมอเตอร์กระแสตรงแบบขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.3 แรงบิด (Torque)

แรงบิดคือ โมเมนต์การบิดตัวของแรงเหนือแกนที่พิจารณา สามารถคำนวณได้โดยการคูณแรงกับรัศมีที่แรงกระทำ พิจารณาภาพที่ 2.7 แสดงพู่เล่ย์ที่มีรัศมี r มีแรงกระทำในแนวเส้นรอบวง F นิวตันทำให้พู่เล่ย์หมุนด้วยความเร็ว N รอบต่อวินาที



รูปที่ 2.14 การเกิดแรงบิด

จะได้แรงบิด	$T = F \times r$	(N- m)
งานจากแรงในการหมุน 1 รอบ	= แรง \times ระยะทาง = $F \times 2\pi r$	(J)
กำลังที่เกิดขึ้น	= $F \times 2\pi r \times N$	$\left(\frac{J}{S}\right)$
	= $(F \times r) \times 2\pi N$	$\left(\frac{J}{S}\right)$
โดยที่ :	$2\pi N$	= ความเร็วเชิงมุม ω มีหน่วยเป็น $\left(\frac{rad}{s}\right)$
	และ $F \times r$	= แรงบิด (N- m)
\therefore กำลังที่เกิดขึ้น	= $T \times \omega$	$\left(\frac{J}{S}\right)$ หรือ (W) (2.8)

2.2.1.3.1 แรงบิดในอาร์เมเจอร์ (Torque in Armature, T_a)

ถ้า T_a เป็นแรงบิดที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์มีหน่วยเป็น(N-m)ขณะที่มอเตอร์

หมุนอยู่ที่ N (r.p.s)

$$\text{กำลังที่เกิดขึ้นจะมีค่า } P_m = T_a \times 2\pi N \quad (\text{W}) \quad (2.9)$$

$$\text{กำลังกลที่เกิดในอาร์เมเจอร์ } = E_b I_a \quad (\text{W}) \quad (2.10)$$

จากสมการที่(2.9) และ(2.10) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T_a \times 2\pi N = E_b I_a \quad (2.11)$$

เมื่อ $E_b = (\phi ZN) \left(\frac{P}{A} \right) \quad (v)$

$$\therefore T_a \times 2\pi N = (\phi ZN) \left(\frac{P}{A} \right) \times I_a$$

หรือ $T_a = \left(\frac{1}{2\pi} \right) Z \phi I_a \left(\frac{P}{A} \right)$

ดังนั้น $T_a = 0.159$

$$\phi Z I_a \left(\frac{P}{A} \right) N - m = 0.01629 \phi Z I_a \left(\frac{P}{A} \right) (\text{kg-m}) \quad (2.12)$$

โดยที่ : 1 กิโลกรัม-น้ำหนัก (kg-wt) = 9.81(N)

จากสมการที่(2.11) ข้างบนจะเห็นว่า

$$T_a = \left(\frac{1}{2\pi} \right) \frac{(E_b I_a)}{(N)} = 0.159 \frac{E_b I_a}{(N)} \quad (\text{N-m}) \quad (2.13)$$

$$= 0.0162 \frac{E_b I_a}{(N)} \quad (\text{kg-m}) \quad (2.14)$$

2.2.1.3.2 แรงบิดเพลลาของมอเตอร์ (Shaft Torque, T_{sh})

แรงบิดที่อาร์เมเจอร์สามารถคำนวณหาได้โดยใช้สมการที่(2.13) หรือสมการ(2.14) แต่ยังไม่ได้อธิบายการสูญเสียที่แกนเหล็กและแรงเสียดทานในมอเตอร์ แรงบิดที่นำมาใช้ประโยชน์คือแรงบิดที่เพลลา (T_{sh}) กำลังที่เกิดขึ้นที่เพลลา เรียกว่า กำลังม้า (brake horse-power :B.H.P.)

$$\text{ขนาดกำลังม้า(B.H.P.)} = \frac{(T_{sh} \times 2\pi N)}{746} \quad (\text{กำลังม้า}) \quad (2.15)$$

$$T_{sh} = \frac{746 \times \text{B.H.P.}}{(2\pi N)} \quad (\text{N-m}) \quad (2.16)$$

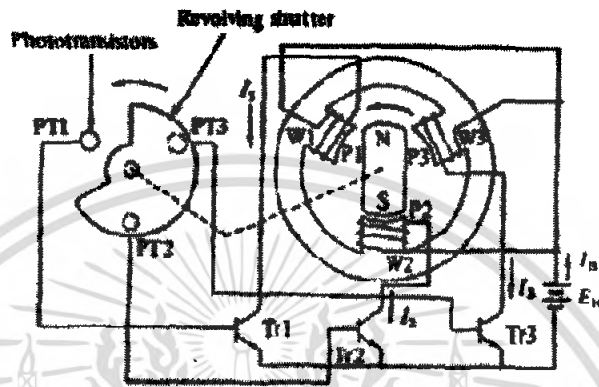
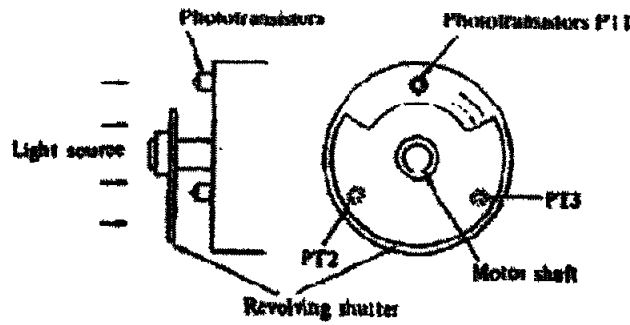
$$T_a - T_{sh} = \text{เป็นแรงบิดสูญเสีย (N-m)}$$

$$\text{แรงบิดที่สูญเสีย} = 0.159 \times \text{สูญเสียที่แกนเหล็กและแรงเสียดทาน(N-m)} \quad (2.17)$$

$$= 0.0162 \times \text{สูญเสียที่แกนเหล็กและแรงเสียดทาน (kg-m)} \quad (2.18)$$

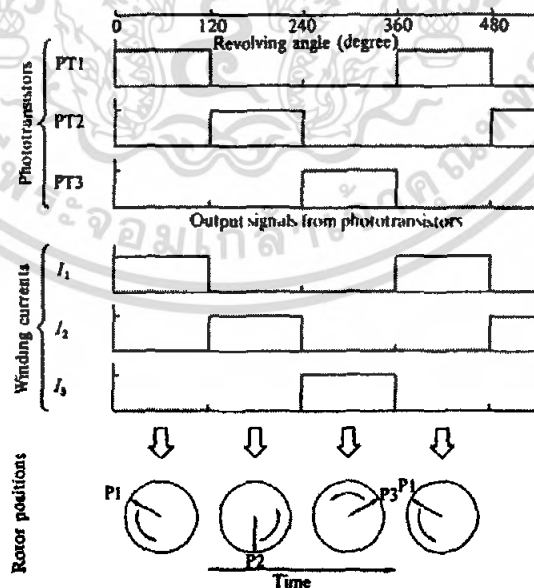
2.2.2 หลักการของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน (Brushless DC Motor)

การพิจารณา Three-phase unipolar-operated motor จะทำให้ง่ายต่อการเข้าใจหลักการพื้นฐานของมอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน



รูปที่ 2-15 แสดงการขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน 3 เฟส แบบ unipolar

ในรูปด้านบนขั้วใต้ของโรเตอร์อยู่ตรงกับ P2 ของสเตเตอร์และเมื่อ PT1 ได้รับแสงทำให้ Tr1 ON จะทำให้มีกระแสไหลไปยัง ขดลวด W1 ทำให้ P1 สร้างสนามแม่เหล็กขั้วใต้ขึ้น เมื่อ P1 เป็นขั้วใต้จะดูดโรเตอร์ที่เป็นขั้วเหนือ ทำให้มอเตอร์หมุนแบบทวนเข็มนาฬิกา



รูปที่ 2.16 แสดงลำดับการสวิตซ์ขั้วและการหมุนของสนามแม่เหล็กของสเตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.1 การกลับทิศทางการหมุน

มอเตอร์กระแสตรงแบบธรรมดา ในการกลับทิศทางการหมุนคือการกลับขั้วแหล่งจ่าย (Voltage) แต่การทำอย่างนั้นจะไม่สามารถใช้ได้กับมอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่านที่ใช้สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ชนิดทรานซิสเตอร์ (Transistor) เพราะสารกึ่งตัวนำเป็นสวิตช์ทางเดียว ในบางวงจรไฟฟ้าจำเป็นต้องขั้วมอเตอร์ในหลายทิศทาง

ในกราฟด้านบนนั้นเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง Phototransistor (PT1, PT2, PT3) และทรานซิสเตอร์ (Tr1, Tr2, Tr3) โดย

- PT1-Tr1 ควบคุมกระแสที่ไหลผ่านขดลวด W1
- PT2-Tr2 ควบคุมกระแสที่ไหลผ่านขดลวด W2
- PT3-Tr3 ควบคุมกระแสที่ไหลผ่านขดลวด W3

การเชื่อมต่อวงจรแบบนี้เป็นการหมุนมอเตอร์แบบทวนเข็มนาฬิกา (CCW) ถ้าเปลี่ยนการเชื่อมต่อเป็นดังด้านล่าง จะสามารถกลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์ได้

- PT1-Tr3
- PT2-Tr1
- PT3-Tr2

ตารางที่ 2.1 แสดงลำดับการสวิตช์ (Switching sequence) สำหรับทิศทางการหมุนแบบตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา

ทิศทางและลำดับการสวิตช์		ทิศทางหมุนทวนเข็มนาฬิกา				ทิศทางหมุนตามเข็มนาฬิกา			
		1	2	3	4	1	2	3	4
Phototransistor	PT1	1	0	0	1	1	0	0	1
	PT2	0	1	0	0	0	0	1	0
	PT3	0	0	1	0	0	1	0	0
Transistors	Tr1	1	0	0	1	0	0	1	0
	Tr2	0	1	0	0	0	1	0	0
	Tr3	0	0	1	0	1	0	0	1

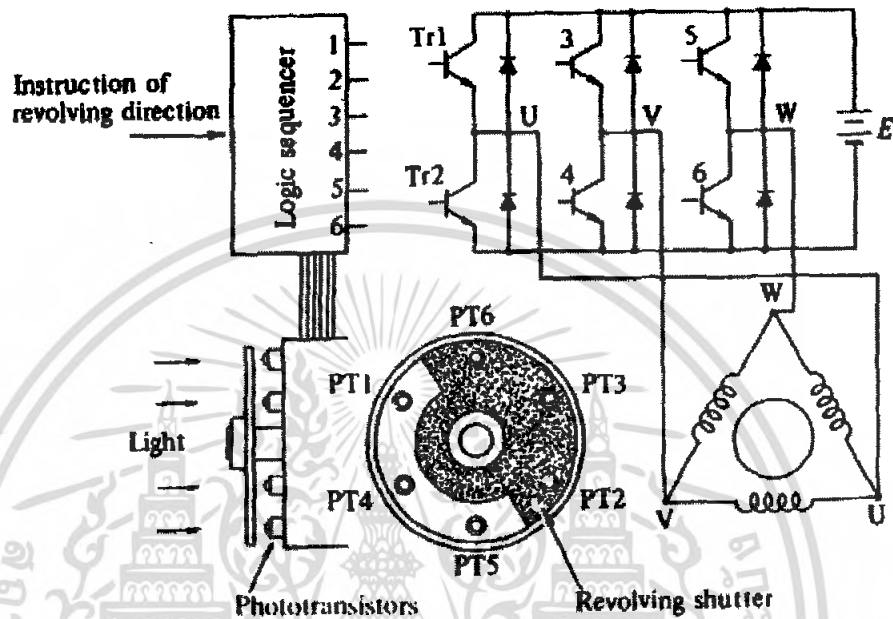
2.2.2.2 การขั้วมอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่านสามเฟสแบบไบโพลาร์

(Three-phase bipolar-driven motor)

เมื่อมอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่านสามเฟส ถูกขับเคลื่อนด้วยวงจรบริดจ์ชนิดสามเฟส (Three-phase bridge) ประสิทธิภาพสูงสุดคืออัตราส่วนระหว่างกำลังงานทางกลที่ออก

จากมอเตอร์ต่อพลังงานทางไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่มอเตอร์ เพราะการขับเคลื่อนมอเตอร์แบบนี้จะมีกระแสไฟสลับไหลผ่านขดลวดแต่ละขดเหมือนในมอเตอร์กระแสสลับ (AC motor) ซึ่งการขับเคลื่อนชนิดนี้คือการขับเคลื่อนแบบไบโพลาร์(bipolar) ซึ่งไบโพลาร์คือการที่ขดลวดสามารถเลือกให้พลังงานการกระตุ้นได้ 2 อย่างคือ ที่ขั้วเหนือและขั้วใต้

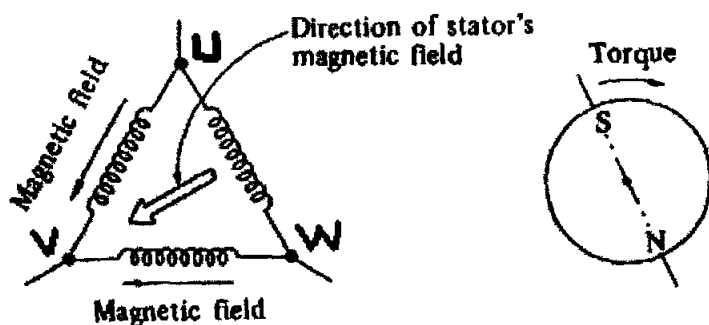
เราจะมาดูหลักการของวงจรบริดจ์สามเฟสดังได้แสดงในรูปด้านล่าง



รูปที่ 2.17 แสดงการขับเคลื่อนมอเตอร์ 3 เฟส แบบ unipolar

ในรูปใช้วิธีออปติคัล(Optical)ในการตรวจจับตำแหน่งของโรเตอร์มีโฟโตทรานซิสเตอร์อันวางที่end-plateซึ่งมีระยะการวางห่างเท่า ๆ กัน โดยแสงจะส่งผลให้ทรานซิสเตอร์ที่เบอร์เดียวกัน ON

จากรูปด้านบน เมื่อPT1, PT4, PT5 ถูกแสงจะทำให้กระแสไหลผ่าน Tr1, Tr4, Tr5 ทำให้จุด U และ W มีพลังงานจากแบตเตอรี่ไหลเข้าไปและที่จุด V เป็น 0 ดังนั้นกระแสจะไหลจาก U ไป V และจาก W ไป V

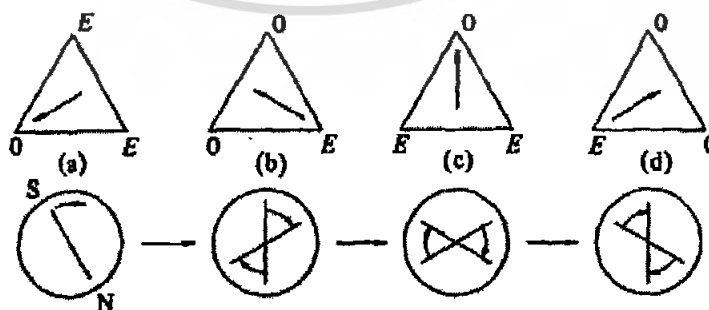


รูปที่ 2.18 สนามแม่เหล็กของสเตเตอร์และทิศทางของทอร์ก

เราจะให้ลูกศรชี้ทิศทางของสนามแม่เหล็กที่ถูกสร้างขึ้น เมื่อมีการเหนี่ยวนำของกระแสที่ไหลในขดลวดของแต่ละเฟส และลูกศรอันใหญ่เป็นผลมาจากสนามแม่เหล็กในสเตเตอร์ โรเตอร์จะถูกวางในตำแหน่งที่ทำมุมกับสนามแม่เหล็กของสเตเตอร์เป็นมุม 90 องศา ดังแสดงในรูปที่ 3-7 จะทำให้โรเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกาไป 30 องศา มีผลให้ PT5 OFF และ PT6 ON ทำให้ขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกาไป 60 องศา เมื่อขั้วได้ของโรเตอร์อยู่ใกล้กับขั้วได้ของโรเตอร์จะทำให้เกิดการหมุนแบบตามเข็มนาฬิกาอย่างต่อเนื่อง

ตารางที่ 2.2 แสดงการลอจิกสำหรับการหมุนของมอเตอร์

ลำดับการ NO-OFF	1	2	3	4	5	6
Tr1	1	1	1	0	0	0
Tr2	0	0	0	1	1	1
Tr3	0	0	1	1	1	0
Tr4	1	1	0	0	0	1
Tr5	1	0	0	0	1	1
Tr6	0	1	1	1	0	0

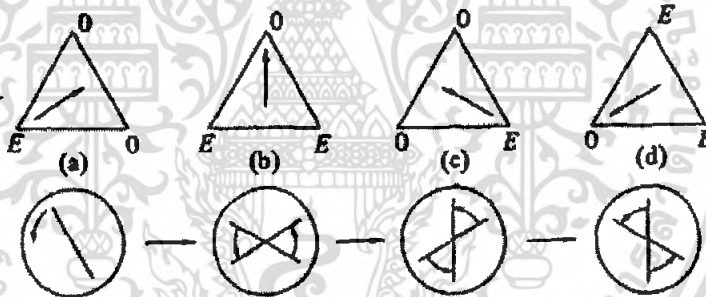


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกลับทิศทางการหมุนสามารถทำได้โดยการกลับลอจิก โดยให้ตัวตรวจจับแสง (Photodetector) ตัวที่โคคนแสงสั่งให้ทรานซิสเตอร์ OFF และในทางกลับกันตัวที่ไม่โคคนแสง Tr จะ เป็น ON ดังเช่นในรูปแรก Tr2, Tr3, Tr6 จะมีสถานะเป็น ON ทำให้โวลต์เตจ E ปรากฏที่ V ในขณะที่ U และ W มีค่าเท่ากับ 0 จะทำให้สนามแม่เหล็กในสเตเตอร์กลับทิศ จึงทำให้ทอร์คของ โรเตอร์กลับทิศ หลังจากที่มีมอเตอร์หมุนไป 30 องศา จะทำให้ Tr2 OFF และ Tr1 ON ซึ่งจะทำให้ สนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ไป 60 องศา

ตารางที่ 2.3 แสดงการกลับลอจิกเพื่อกลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์

ลำดับการ NO-OFF	1	2	3	4	5	6
Tr1	0	1	1	1	0	0
Tr2	1	0	0	0	1	1
Tr3	1	1	0	0	0	1
Tr4	0	0	1	1	1	0
Tr5	0	0	0	1	1	1
Tr6	1	1	1	0	0	0



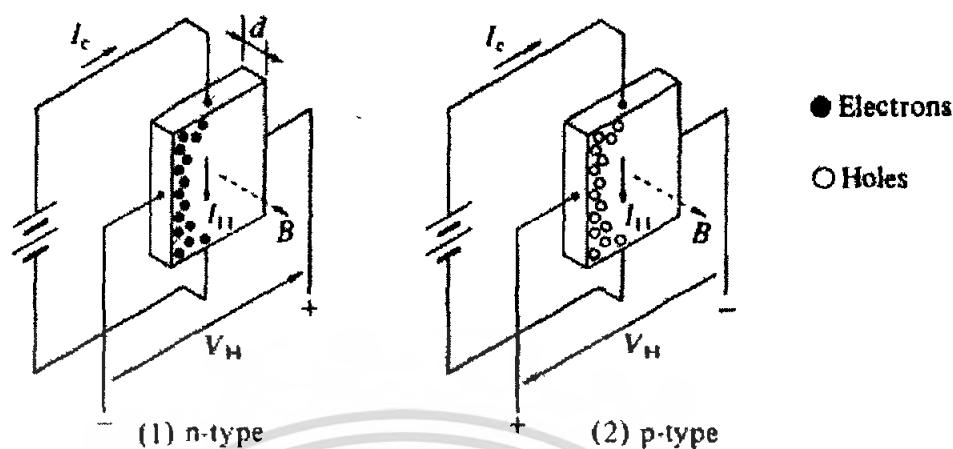
2.2.2.3 การตรวจจับตำแหน่งโรเตอร์และการใช้อุปกรณ์ฮอลล์ (Hall element)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน มีการตรวจจับตำแหน่งขั้วของโร-เตอร์โดยใช้ตัวเซนเซอร์เป็นตัวตรวจจับซึ่งมีวิธีต่างๆดังนี้

1. อุปกรณ์ฮอลล์ (Hall element)
2. Light-emitting diodes and phototransistor หรือ โฟโตไดโอด
3. Inductor sensitive to inductance variation

โดยอุปกรณ์ฮอลล์ถูกใช้อย่างกว้างขวาง ส่วนโฟโตไดโอดและแบบ inductor sensitive ได้รับความนิยมน้อยลงมา

2.2.2.3.1 อุปกรณ์ฮอลล์



รูปที่ 2.19 แสดงอุปกรณ์ฮอลล์

ในรูปด้านบนเมื่อกระแส I_c เคลื่อนที่ในทิศทางลงภายในเซมิคอนดักเตอร์ ซึ่งผิวของเซมิคอนดักเตอร์วางตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก และแรงดัน V_H ถูกสร้างในเซมิคอนดักเตอร์ ซึ่งมีทิศทางตั้งฉากกับทั้งกระแส I_c และสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำ B เมื่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (electromagnetic force) กระทำบนอนุภาค (อิเล็กตรอนหรือโฮล) ตามกฎมือซ้าย อนุภาคจะถูกไบแอสทางด้านซ้ายมือของเซมิคอนดักเตอร์ สภาพขั้วแม่เหล็กนั้นจะขึ้นอยู่กับว่าเซมิคอนดักเตอร์จะเป็นชนิด P หรือชนิด N แมคนิจูดของแรงดัน V_H จะเรียกว่าแรงดันฮอลล์ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร

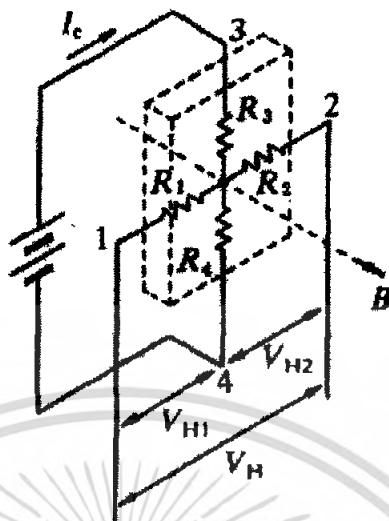
$$V_H = \frac{1}{d} B I_c R_H$$

เมื่อ

 R_H คือ ความต้านทานฮอลล์ I_c คือ กระแสไฟฟ้า B คือ ความหนาแน่นฟลักซ์ d คือ ความหนาของเซมิคอนดักเตอร์

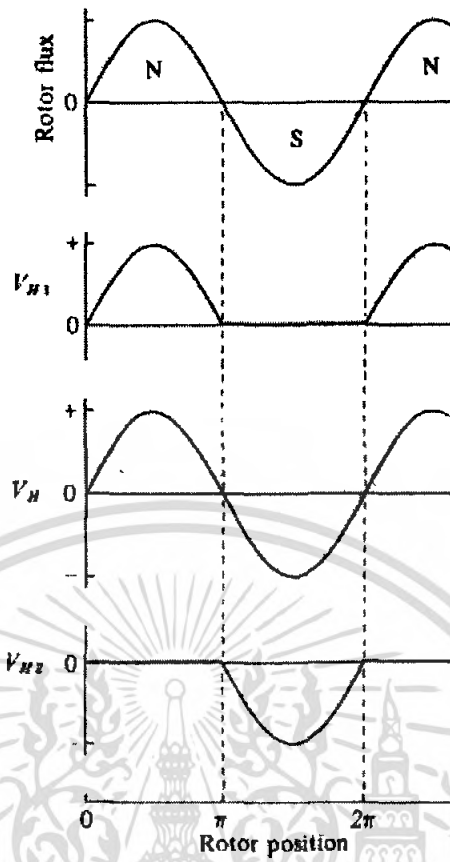
** อุปกรณ์ฮอลล์ใช้เพื่อทำการตรวจจับสนามแม่เหล็ก

2.2.2.3.2 หลักการของการตรวจจับสนามแม่เหล็กโดยใช้อุปกรณ์ฮอลล์



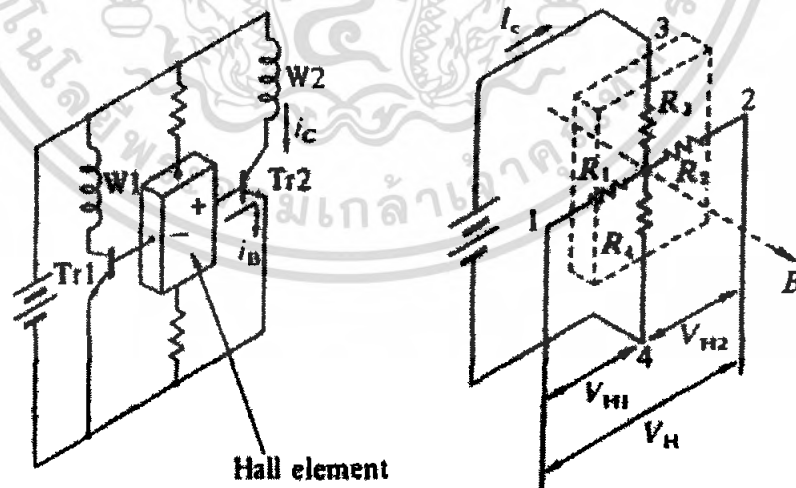
รูปที่ 2.20 วงจรสมมูลของอุปกรณ์ฮอลล์

ในรูปแสดงวงจรสมมูลเป็นอุปกรณ์ฮอลล์ที่มี 4-terminal เมื่อกระแส I_c ซึ่งเป็นกระแสที่ใช้ในการคอนโทรลหรืออาจเรียกว่ากระแสไบอัส ไหลผ่านจาก terminal 3 ไปยัง terminal 4 โดยผ่านฮอลล์ และกระแส I_c นี้กระทำกับสนามแม่เหล็กที่ตั้งฉากกับระนาบอุปกรณ์ จะทำให้เกิดการสร้างแรงดัน V_H จากทางด้าน terminal 1 ไปยัง terminal 2 และเมื่อ terminal 4 ถูกยึดให้เป็นจุดอ้างอิง ที่ terminal 1 และ 2 มีแรงดันแต่ละจุดคือ $\frac{V_H}{2}$ และ $-\frac{V_H}{2}$ ตามลำดับ ซึ่งให้ $R_1=R_2$ และ $R_3=R_4$ หากมีการกลับขั้วจะทำให้ฟลักซ์แม่เหล็กเปลี่ยนทิศทาง ดังนั้นเมื่ออุปกรณ์ฮอลล์ถูกวางใกล้กับโรเตอร์ ฮอลล์จะสามารถตรวจจับสนามแม่เหล็กและความหนาแน่นฟลักซ์ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ซึ่งจะให้เราเห็นรูปของแรงดัน V_{H1} และ V_{H2}



รูปที่ 2.21 รูปคลื่นเอาต์พุตจากอุปกรณ์ฮอลล์

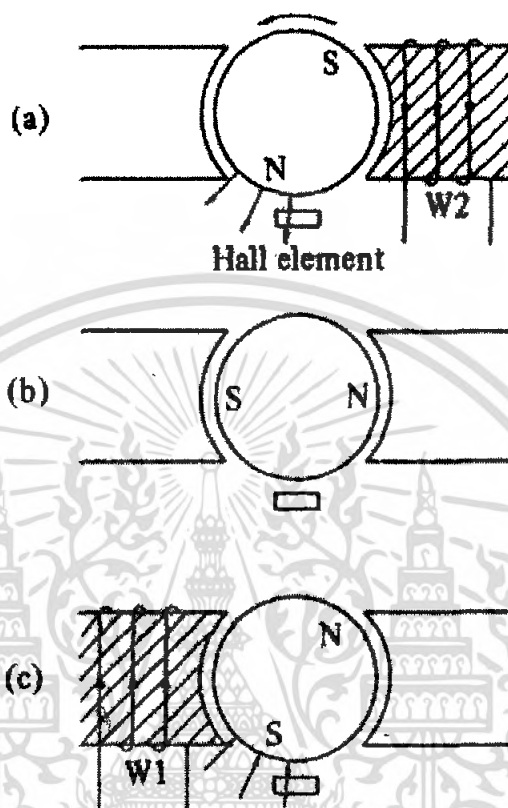
2.2.2.3.3 วิธีการตรวจจับตำแหน่ง



รูปที่ 2.22 แสดงการใช้อุปกรณ์ฮอลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปแสดงการใช้ฮอลล์กับBLDC โดยแสดงการใช้ฮอลล์ ตัว สัญญาณเอาต์พุตที่ออกมาจากฮอลล์จะต่อกับ $Tr1$ และ $Tr2$ เพื่อทำการคอนโทรลกระแสไฟฟ้าในขดลวดสเตเตอร์ $W1$ และ $W2$ ในรูปด้านล่างแสดงสถานะของโรเตอร์ในขณะหมุน



รูปที่ 2.23 การกำเนิดทอร์กและการสวิตช์

- ฮอลล์ทำการตรวจจับขั้วเหนือของโรเตอร์และขดลวด $W2$ ถูกกระตุ้น เพื่อที่จะสร้างแม่เหล็กขั้วได้ ซึ่งจะขับโรเตอร์ให้หมุนทวนเข็มนาฬิกา
- เมื่อไม่มีสนามแม่เหล็กซึ่งฮอลล์จะตรวจได้ว่าไม่พบสนามแม่เหล็กจะทำให้ Tr ทั้ง 2 อัน OFF และไม่มีกระแสไหลเข้าไปที่ $W1$ และ $W2$ แต่โรเตอร์จะหมุนต่อเนื่องด้วยความเฉื่อย
- ฮอลล์ตรวจจับขั้วใต้ของโรเตอร์และขดลวด $W1$ ถูกกระตุ้นและสร้างขั้วได้ซึ่งจะดูดขั้วเหนือของโรเตอร์เพื่อทำการหมุนแบบ CCW ต่อเนื่อง

2.2.2.4 การเปรียบเทียบระหว่างมอเตอร์กระแสตรงธรรมดากับมอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม้ว่ามอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน กับมอเตอร์กระแสตรงแบบธรรมดา จะมีความคล้ายคลึงกันทางด้านลักษณะทางจลน์ แต่ก็มีความแตกต่างกันบ้างในมอเตอร์กระแสตรงแบบธรรมดานั้นจะใช้แปรงถ่านและคอมมิวเตเตอร์(commutator) ในมอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่านใช้ semiconductor transistor

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบมอเตอร์กระแสตรงธรรมดากับมอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน

	มอเตอร์กระแสตรงธรรมดา	มอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน
โครงสร้าง	แม่เหล็กฝังอยู่ที่สเตเตอร์	แม่เหล็กฝังอยู่ที่โรเตอร์ คล้ายกับ AC Synchronous motor
จุดเด่น	ตอบสนองเร็ว มีความสามารถในการควบคุมดี เยี่ยม	การใช้งานยาวนาน ซ่อมบำรุงง่าย (ไม่ต้องซ่อมบำรุงบ่อย)
การพันขดลวด	แบบวงแหวน การพันอย่างง่ายสุดคือแบบ เดลต้า (Δ)	คุณภาพดี. พันแบบเดลต้าหรือวายต่อกับ 3 เฟส ธรรมดา. พันแบบวาย 3 เฟส นิวทรัลเป็น กราวด์ หรืออาจพันแบบ 4 เฟส อย่างง่าย 2 เฟส
การคอมมิวเตชัน	ใช้แปรงถ่านกับคอมมิวเตเตอร์	ใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์ทางไฟฟ้า
การตรวจจับตำแหน่งโรเตอร์	ตรวจจับฮอลล์โมติโคยบ์ส (brush)	อุปกรณ์ฮอลล์ (Hall), optical, etc.
การกลับทิศทางการหมุน	โดยการกลับขั้วโวลต์เตจที่ terminal	กลับลำดับการกระตุ้นเฟส

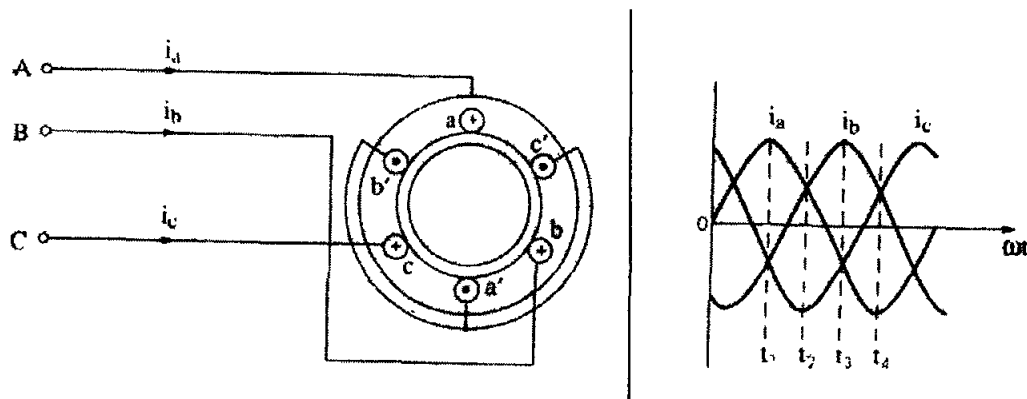
2.2.3 หลักการของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

2.2.3.1 สนามแม่เหล็กหมุนในวงจรไฟฟ้า 3 เฟส

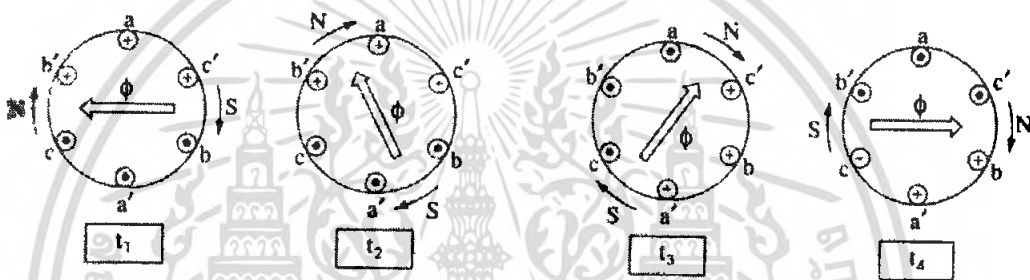
เพื่อให้เข้าใจถึงสนามแม่เหล็กหมุนที่ให้กำเนิดในวงจรไฟฟ้า 3 เฟส จะขออธิบายถึงรูปแบบต่างๆของการให้กำเนิดเส้นแรงแม่เหล็กในวงจรไฟฟ้า 3 เฟสที่ประกอบด้วยขดลวด 3 ชุดวางห่างกัน 120° เมื่อต่อเข้ากับระบบไฟ 3 เฟส ดังนี้

2.2.3.1.1 ขดลวดสเตเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส

ประกอบด้วยขดลวด 3 ชุด a-a', b-b' และ c-c' ต่อกันแบบสตาร์ตามรูปที่ 3-12 เมื่อต่อเข้ากับระบบไฟ 3 เฟส A,B,C ที่มีรูปคลื่นไฟฟ้าตามรูป จะให้สนามแม่เหล็กหมุนรอบขดลวดสเตเตอร์ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.24 สเตเตอร์ของมอเตอร์ระบบไฟ 3 เฟส ประกอบด้วยขดลวด 3 ชุด : a-a' , b-b' และ c-c' ที่ต่อกันแบบ Y เข้ากับระบบไฟ 3 เฟส เฟส A,B และ C ที่มีรูปคลื่นไฟฟ้า



รูปที่ 2.25 การให้สนามแม่เหล็กหมุน ณ เวลา t_1, t_2 และ t_3 ที่คลื่นไฟฟ้าเคลื่อนที่ไป

▶ เมื่อเวลา t_1 ที่คลื่น ไฟฟ้าเคลื่อนที่ไป

กระแส I_a ในเฟส 1 เป็นบวก (+) ทำให้กระแสไหลในสเตเตอร์เฟส 1 จาก a มายัง a' (a-a')
 กระแส I_b ในเฟส 2 เป็นลบ (-) ทำให้กระแสไหลในสเตเตอร์เฟส 2 จาก b' มายัง b (b'-b)
 กระแส I_c ในเฟส 3 เป็นลบ (-) ทำให้กระแสไหลในสเตเตอร์เฟส 3 จาก c' มายัง c (c'-c)

▶ เมื่อเวลา t_2 ที่คลื่น ไฟฟ้าเคลื่อนที่ไป

กระแส I_a ในเฟส 1 เป็นบวก (+) ทำให้กระแสไหลในสเตเตอร์เฟส 1 จาก a มายัง a' (a-a')
 กระแส I_b ในเฟส 2 เป็นบวก (+) ทำให้กระแสไหลในสเตเตอร์เฟส 2 จาก b มายัง b' (b-b')
 กระแส I_c ในเฟส 3 เป็นลบ (-) ทำให้กระแสไหลในสเตเตอร์เฟส 3 จาก c' มายัง c (c'-c)

▶ เมื่อเวลา t_3 ที่คลื่น ไฟฟ้าเคลื่อนที่ไป

กระแส I_a ในเฟส 1 เป็นลบ (-) ทำให้กระแสไหลในสเตเตอร์เฟส 1 จาก a' มายัง a (a'-a)

กระแส I_b ในเฟส 2 เป็นบวก (+) ทำให้กระแสไหลในสเตเตอร์เฟส 2 จาก b มายัง b' ($b-b'$)
 กระแส I_c ในเฟส 3 เป็นลบ (-) ทำให้กระแสไหลในสเตเตอร์เฟส 3 จาก c' มายัง c ($c'-c$)

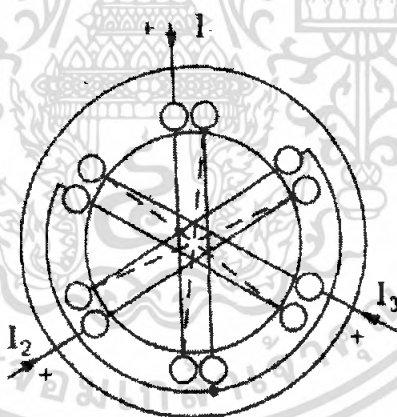
► เมื่อเวลา 4 ที่คลื่นไฟฟ้าเคลื่อนที่ไป

กระแส I_a ในเฟส 1 เป็นลบ (-) ทำให้กระแสไหลในสเตเตอร์เฟส 1 จาก a' มายัง a ($a'-a$)
 กระแส I_b ในเฟส 2 เป็นบวก (+) ทำให้กระแสไหลในสเตเตอร์เฟส 2 จาก b มายัง b' ($b-b'$)
 กระแส I_c ในเฟส 3 เป็นบวก (+) ทำให้กระแสไหลในสเตเตอร์เฟส 3 จาก c มายัง c' ($c-c'$)

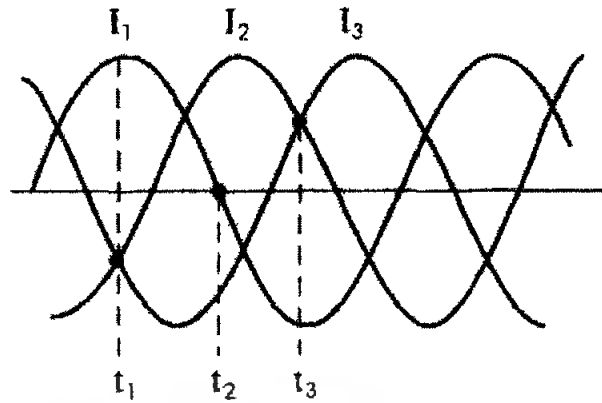
หมายเหตุ : สนามแม่เหล็กที่ทำให้กำเนิดในขดลวดสเตเตอร์ระบบไฟ 3 เฟส เป็นสนามแม่เหล็กหมุน (rotating หรือ revolving field)

2.2.3.1.2 สนามแม่เหล็กหมุน

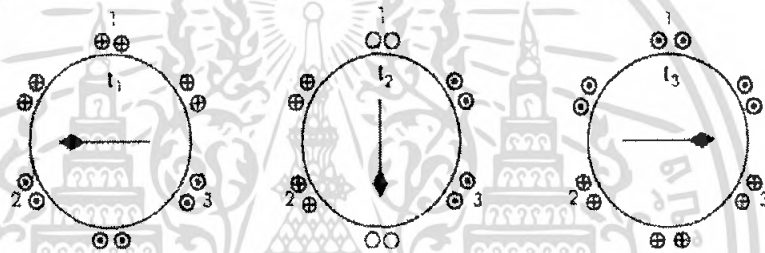
เช่นเดียวกับรูปแบบตามรูปที่ 3-12 ถ้าให้กระแสระบบไฟ 3 เฟส I_1 , I_2 และ I_3 ตามรูปคลื่นไฟฟ้ารูปที่ 3-15 ไหลผ่านขดลวดสเตเตอร์ระบบไฟ 3 เฟส ที่ประกอบด้วยขดลวด 3 ชุด ชุด 1, 2 และชุด 3 วางห่างกัน 120° ตามรูปที่ 3-14 จะให้กำเนิดสนามแม่เหล็กหมุนตามรูปที่ 3-16 ต่อไปนี้



รูปที่ 2.26 ขดลวดของสเตเตอร์ระบบไฟ 3 เฟส ที่ประกอบด้วยขดลวด 3 ชุด ชุด 1, 2 และ 3 วางห่างกัน 120° และต่อกันเป็นวงจรสตาร์กับระบบไฟ 3 เฟส



รูปที่ 2.27 รูปคลื่นไฟฟ้าของระบบไฟ 3 เฟส



รูปที่ 2.28 การให้กำเนิดสนามแม่เหล็กหมุน ณ เวลา t_1 , t_2 และ t_3 ที่คลื่นไฟฟ้าเคลื่อนที่ไป

► เมื่อเวลา t_1 ที่คลื่นไฟฟ้าเคลื่อนที่ไป

กระแส I1 เป็นบวก ทำให้มีกระแสไหลเข้า (+) ขดลวดเฟส 1 ขณะที่กระแส I2 และ I3 เป็นลบจึงมีกระแสไหลออก (-) จากขดลวดเฟส 2 และ เฟส 3

► เมื่อเวลา t_2 ที่คลื่นไฟฟ้าเคลื่อนที่ไป

กระแส I1 เป็นศูนย์ จึงไม่มีกระแสไหลในขดลวดเฟส 1 ขณะที่กระแส I2 เป็นบวก มีกระแสไหลเข้า (+) ขดลวดเฟส 2 และกระแส I3 เป็นลบ มีกระแสไหลออก (-) จากขดลวดเฟส 3

► เมื่อเวลา t_3 ที่คลื่นไฟฟ้าเคลื่อนที่ไป

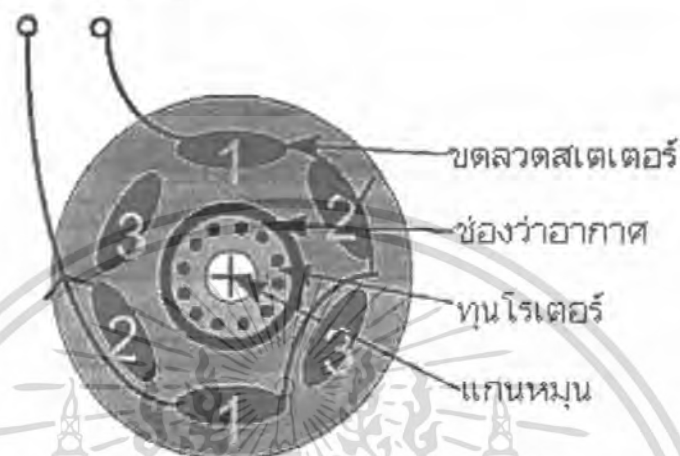
กระแส I1 เป็นลบ จึงมีกระแสไหลออก (-) จากขดลวดเฟส 1 ขณะที่กระแส I2 และ I3 เป็นบวกมีกระแสไหลเข้า (+) ขดลวดเฟส 2 และเฟส 3 ตามลำดับ

หมายเหตุ : วงจรไฟฟ้าระบบไฟ 3 เฟส ให้กำเนิดสนามแม่เหล็กหมุน หมุนรอบขดลวดทั้ง 3 ชุด ที่วางห่างกัน 120°

2.2.3.2 การควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิดอินดักชันมอเตอร์เป็นมอเตอร์ที่มีราคาไม่แพง มีความน่าเชื่อถือสูง โครงสร้างไม่ซับซ้อนมีการใช้งานกันอย่างกว้างขวางโดยการควบคุมความเร็วของอินดักชันนั้นจะต้องใช้ คอนเวอร์เตอร์ และ อินเวอร์เตอร์มาเป็นชุดในการควบคุม

การจะเข้าใจว่าอินเวอร์เตอร์ทำงานอย่างไรนั้น จำเป็นต้องเข้าใจโครงสร้างและหลักการการทำงานของมอเตอร์เสียก่อน



รูปที่ 2.29 ภาพตัดขวางของอินดักชันมอเตอร์อย่างง่าย

โดยหลักการของอินดักชันมอเตอร์นั้นจะคล้ายกับการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า เมื่อขดลวดสเตเตอร์เป็นชุด Primary ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่กับที่ ต่อกับแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า 3 เฟส ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนทั่วกับความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ ผลของสนามแม่เหล็กที่ตัดผ่านช่องว่างอากาศ (air gap) ระหว่างสเตเตอร์และโรเตอร์จะทำให้เกิดการไหลของกระแสในขดลวด โรเตอร์ ซึ่งทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นที่โรเตอร์ โดยเป็นปฏิกิริยาที่ไหลของกระแสที่ไหลร่วมกับการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กจึงทำให้โรเตอร์หมุนได้ เนื่องจากแรงผลักรวมของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากการเหนี่ยวนำในแท่งโรเตอร์นั่นเอง อย่างไรก็ตามถ้าการหมุนของโรเตอร์เท่ากับความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนผลก็คือจะไม่มีการตัดกันของสนามแม่เหล็กหมุนกับแท่งตัวนำโรเตอร์ ดังนั้นจะไม่มีกระแสไหลในแท่งตัวนำทำให้ไม่มีการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก ดังนั้นโรเตอร์จึงต้องหมุนด้วยความเร็วที่ต่ำกว่าความเร็วของสนามแม่เหล็กเพียงเล็กน้อยอยู่เสมอ ทั้งนี้เพื่อให้มีการตัดกันของสนามแม่เหล็กเพื่อให้เกิดแรงผลักผลจึงได้แรงบิดเกิดขึ้น ความแตกต่างระหว่างความเร็วของสนามแม่เหล็กกับความเร็วของโรเตอร์เรียกว่า สลิป (Slip)

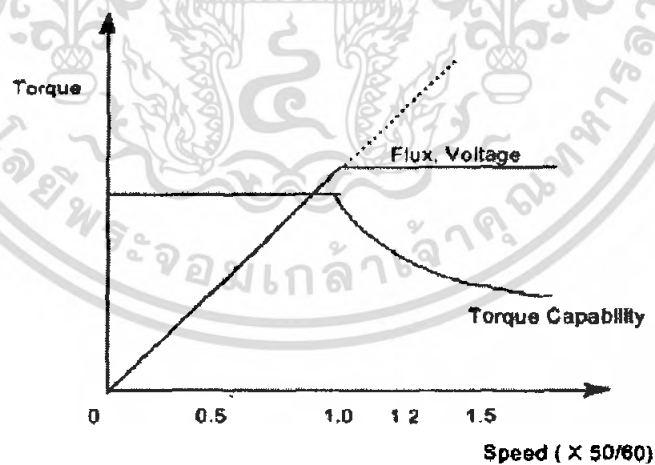
ดังนั้นจะพบเห็นได้ว่าความเร็วรอบของมอเตอร์ จะขึ้นอยู่กับความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนว่าจะหมุนเร็วหรือช้าขนาดไหน แต่สนามแม่เหล็กหมุนเองก็ขึ้นอยู่กับความถี่ของ

กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์และจำนวนขั้วแม่เหล็กที่ออกแบบมา ดังนั้นการจะควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์จำเป็นต้องควบคุมความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าตามสมการ

$$\text{speed} \approx \frac{120f}{P} \quad (1)$$

เมื่อ speed(n) = ความเร็วรอบมอเตอร์ (rpm)
 Frequency(f) = ความถี่แรงดันไฟฟ้า (Hz)
 Pole(P) = จำนวนขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์

เนื่องจากค่าประกอบส่วนใหญ่ในตัวมอเตอร์ จะเป็นค่าอินดักแตนซ์(Inductance) หรือค่า L เป็นส่วนใหญ่ ในกรณีที่ต้องการปรับความเร็วรอบลดลงความถี่ไฟฟ้าจะต้องถูกลดลงตามสมการ (1) จะส่งผลให้ค่าความต้านทานรวมทางไฟฟ้าลดลงตามไปด้วย เมื่อความต้านทานรวมลดลงจะทำให้กระแสไหลเข้าสู่มอเตอร์มากขึ้นอาจทำให้มอเตอร์เสียหายได้ จึงจำเป็นต้องลดแรงดันไฟฟ้าลงด้วยเพื่อควบคุมไม่ให้กระแสไหลเข้าสู่มอเตอร์จนเกินพิกัด แต่ถ้าเป็นการเพิ่มความถี่ขึ้นเกินกว่าความถี่มาตรฐานเช่นมากกว่า 50 Hz เพื่อปรับรอบให้หมุนเร็วขึ้นเกินพิกัดส่งผลให้ค่าความต้านทานรวมเพิ่มขึ้น เนื่องจากความถี่เพิ่มขึ้นตามหลักการจะต้องเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นตาม ทั้งนี้เพื่อรักษากระแสไฟฟ้าหรือฟลักซ์แม่เหล็กให้มีค่าคงที่และมากเพียงพอต่อการขับโหลด แต่ในความเป็นจริงเราไม่สามารถเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้สูงกว่าค่าพิกัดของมอเตอร์ได้ เพราะจะทำให้ฉนวนที่ขดลวดมอเตอร์อาจทะลุแล้วลัดวงจรภายในมอเตอร์ได้ จึงทำให้กระแสที่ไหลเข้ามอเตอร์จำต้องลดลง เมื่อปริมาณกระแสที่ไหลเข้ามอเตอร์ลดลงจะทำให้สนามแม่เหล็กลดลงตามไปด้วย มอเตอร์จึงไม่สามารถขับโหลดที่มีแรงบิดเพิ่มขึ้นได้ จำเป็นจะต้องลดแรงบิดลง



รูปที่ 2.30 การลดลงของแรงบิดเมื่อความเร็วสูงกว่ามาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ จะทำการควบคุมความถี่เพียงอย่างเดียวไม่ได้จึงต้องมีการควบคุมแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์ด้วย จึงเป็นที่มาของการควบคุมแบบ V/F



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

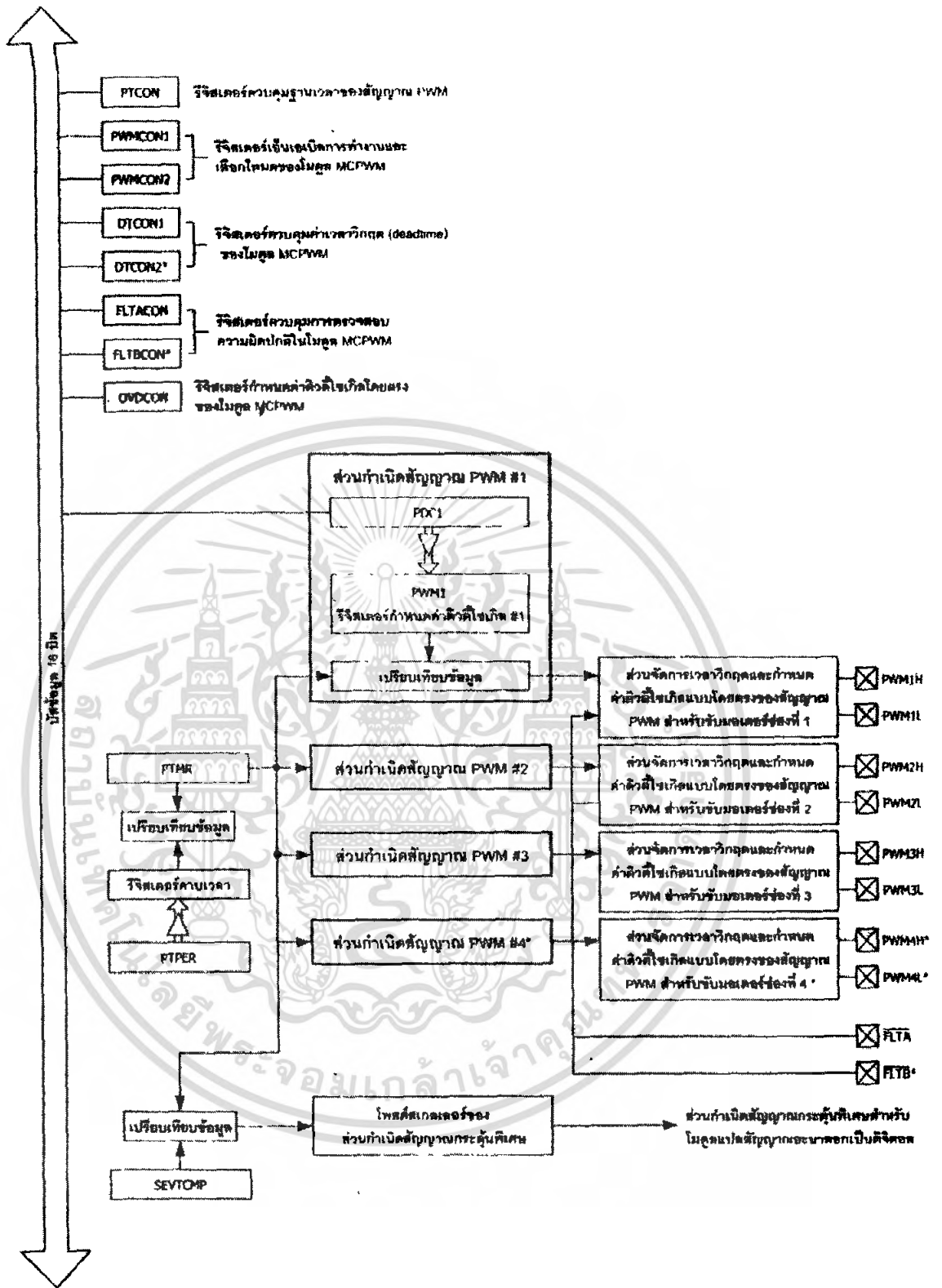
การใช้งานโมดูล MCPWM เพื่อควบคุมมอเตอร์

3.1 คุณสมบัติโดยสรุปของโมดูล MCPWM

1. ความละเอียดของสัญญาณ PWM ที่สร้างขึ้นเท่ากับ $T_{cy}/2$
2. ในโมดูล MCPWM 1 ชุด มี 2 เาต์พุต
3. สามารถใช้งานเอาต์พุตของโมดูล MCPWM แยกกันอย่างอิสระและร่วมกัน
4. เมื่อทำงานในแบบร่วมกันหรือคอมพิลเมนต์ารีสามารถกำหนดค่าวิฤต (dead time)

เพื่อช่วยการขับเคลื่อนมอเตอร์ 3 เฟสให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

5. สามารถเลือกโหมดเอาต์พุตได้ 4 โหมด
 - a. โหมดปรับขอบสัญญาณ (Edge aligned mode)
 - b. โหมดสัญญาณเดี่ยว (Single event mode)
 - c. โหมดปรับสัญญาณกึ่งกลาง (Center aligned mode)
 - d. โหมดปรับสัญญาณกึ่งกลางพร้อมปรับปรุงค่า (Center aligned mode with double updates)
6. มีอินพุตสำหรับจับความผิดพลาดในการทำงาน (FAULT) แบบโปรแกรมได้
7. สามารถสร้างสัญญาณกระตุ้นส่งไปยังโมดูลแปลงสัญญาณอนาล็อกเพื่อกำหนดจังหวะการทำงานให้สัมพันธ์กัน



รูปที่ 3.1 แสดงไดอะแกรมการทำงานของโมดูลMCPWMในไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในแผนภาพไดอะแกรมแสดงการทำงานของโมดูล MCPWM ส่วนประกอบหลักของโมดูลนี้คือส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM ที่มีอยู่ด้วยกันสูงสุด 4 ชุด ซึ่งได้ค่าฐานเวลาจากรีจิสเตอร์ PTMR และ PTPER ส่วนค่าความถี่ที่เกิดของสัญญาณ PWM ในโมดูล MCPWM นี้สามารถกำหนดได้จากรีจิสเตอร์ความถี่ที่เกิดในส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM แต่ละส่วนที่เป็นอิสระต่อกัน นอกจากนั้นยังสามารถกำหนดการทำงานของขาพอร์ตเอาต์พุตของโมดูล MCPWM โดยผ่านทางรีจิสเตอร์ OVDCON

ส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM สำหรับควบคุมมอเตอร์แต่ละชุดในโมดูล MCPWM สามารถกำหนดให้ทำงานแยกจากกันเป็นอิสระ (independent mode) หรือทำงานร่วมกัน (Complementary mode) เพื่อขับมอเตอร์ 3 เฟสได้ โดยกำหนดผ่านรีจิสเตอร์ PWMCON1 และ PWMCON2 และเมื่อกำหนดให้ทำงานร่วมกันจะต้องมีการจัดการสัญญาณเพื่อให้มอเตอร์ในแต่ละเฟสสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง นั่นคือการจัดการช่วงเวลาหนึ่งเฟส (dettetime control) โดยใช้รีจิสเตอร์ DTCON1 และ DTCON2

สัญญาณที่ออกจากโมดูล MCPWM จะมีขาพอร์ต 2 ขาคู่ของ นั่นคือขาเอาต์พุตด้านแรงดันสูง

PWMxH และขาเอาต์พุตด้านแรงดันต่ำ -PWMxL (x คือหมายเลขของช่องเอาต์พุตมี 4 ค่าคือ 1-4) หรือเรียกว่าคู่เอาต์พุต นอกจากนั้นยังสามารถส่งสัญญาณเอาต์พุตผ่านโพสต์สเกลเลอร์เพื่อสร้างสัญญาณกระตุ้นพิเศษให้แก่โมดูลแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล(ADC)ด้วย เพื่อให้โมดูล MCPWM สามารถทำงานสัมพันธ์กับโมดูล ADC ได้ด้วย

นอกจากนั้นในโมดูล MCPWM ยังมีอินพุตสำหรับรับสัญญาณตรวจสอบความผิดปกติ หรือ FAULT เพื่อป้องกันไม่ให้โมดูล MCPWM ทำงานผิดพลาดหรือเสียหายเมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นในโมดูล MCPWM ทำงานผิดพลาดหรือเสียหายเมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นในโมดูล MCPWM โดยในส่วนนี้มีพอร์ตอินพุตสำหรับรับสัญญาณ 2 ขา คือ FLTA และ FLTB

3.2 รีจิสเตอร์ที่ใช้งานในโมดูล MCPWM

ในโมดูล MCPWM ของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC มีรีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมและกำหนดค่า อันประกอบด้วย

1. PTCN รีจิสเตอร์ควบคุมฐานเวลาในการกำเนิดสัญญาณ PWM
2. PTMR รีจิสเตอร์กำหนดค่าฐานเวลาของการกำเนิดสัญญาณ PWM
3. PTPER รีจิสเตอร์กำหนดคาบเวลาของฐานเวลาสำหรับการกำเนิดสัญญาณ PWM
4. SEVTCMP รีจิสเตอร์เปรียบเทียบค่า
5. PWMCON1 รีจิสเตอร์ควบคุม PWM#1
6. PWMCON2 รีจิสเตอร์ควบคุม PWM#2

7. DTCON1 รีจิสเตอร์ควบคุมค่าเวลาวิกฤตหรือ Dead Time#1
8. DTCON2 รีจิสเตอร์ควบคุมค่าเวลาวิกฤตหรือ Dead Time#2
9. FLTACON รีจิสเตอร์ควบคุมการตรวจจับความผิดปกติของการจับมอเตอร์ชุด A
10. FLTBCON รีจิสเตอร์ควบคุมการตรวจจับความผิดปกติของการจับมอเตอร์ชุด B
11. PDC1 รีจิสเตอร์กำหนดค่าดีวีดีไซเกิลของโมดูลกำหนดสัญญาณ PWM ชุดที่ 1
12. PDC2 รีจิสเตอร์กำหนดค่าดีวีดีไซเกิลของ โมดูลกำหนดสัญญาณ PWM ชุดที่ 2
13. PDC3 รีจิสเตอร์กำหนดค่าดีวีดีไซเกิลของโมดูลกำหนดสัญญาณ PWM ชุดที่ 3
14. PDC4 รีจิสเตอร์กำหนดค่าดีวีดีไซเกิลของโมดูลกำหนดสัญญาณ PWM ชุดที่ 4

3.3 ฐานเวลาสัญญาณ PWM

ในรูปแบบไดอะแกรมการกำหนดฐานเวลาของสัญญาณ PWM ที่ใช้ในโมดูล MCPWM ซึ่งแยกอิสระจากโมดูลเอาต์พุตเปรียบเทียบ (Output Compare : OC) ค่าฐานเวลาได้มาจากการทำงานของไทเมอร์ 15 บิตต่อร่วมกับพริสเกลเลอร์และโพสเกลเลอร์ในโมดูลของ MCPWM โดยข้อมูล 15 บิตนั้นบรรจุอยู่ใน 15 บิตล่างของรีจิสเตอร์ PTMR ส่วนบิต MSB คือบิต PTDIR เป็นบิตที่อ่านได้อย่างเดียวใช้ในการแสดงทิศทางในการนับค่าในปัจจุบันของฐานเวลา PWM นี้ โดยถ้าบิตนี้เป็น “0” แสดงว่า PTMR กำลังนับค่าขึ้น และเป็น “1” เมื่อกำลังนับค่าลง

การเอ็นเอเบิลให้ส่วนฐานเวลา PWM นี้ทำงานต้องเซ็ตบิต PTEN ซึ่งเป็นบิต 15 ของรีจิสเตอร์ PTCON อย่างไรก็ตามค่าในรีจิสเตอร์ PTMR จะไม่ถูกเคลียร์แม้ว่าส่วนฐานเวลาของ PWM นี้จะถูกดีสเอเบิลด้วยการเคลียร์บิต PTEN

ฐานเวลา PWM ใน โมดูล MCPWM สามารถกำหนดให้ทำงานได้ 4 โหมด คือ

1. โหมดเปลี่ยนแปลงค่าอิสระ (Free Running mode)
2. โหมดทำงานครั้งเดียว (Single Event mode)
3. โหมดนับค่าขึ้นหรือลงอย่างต่อเนื่อง (Continuous Up/Down mode)
4. โหมดการนับค่าขึ้นหรือลงอย่างต่อเนื่องพร้อมการอินเตอร์รัปต์ เพื่อปรับปรุงค่า

(Continuous Up /Down Count mode with interrupts for double-updates) การเลือกโหมดทำได้ด้วยการกำหนดค่าที่บิต PTMOD1 และ PTMOD0 ซึ่งเป็นบิต 1 และ 0 ในรีจิสเตอร์ PTCON

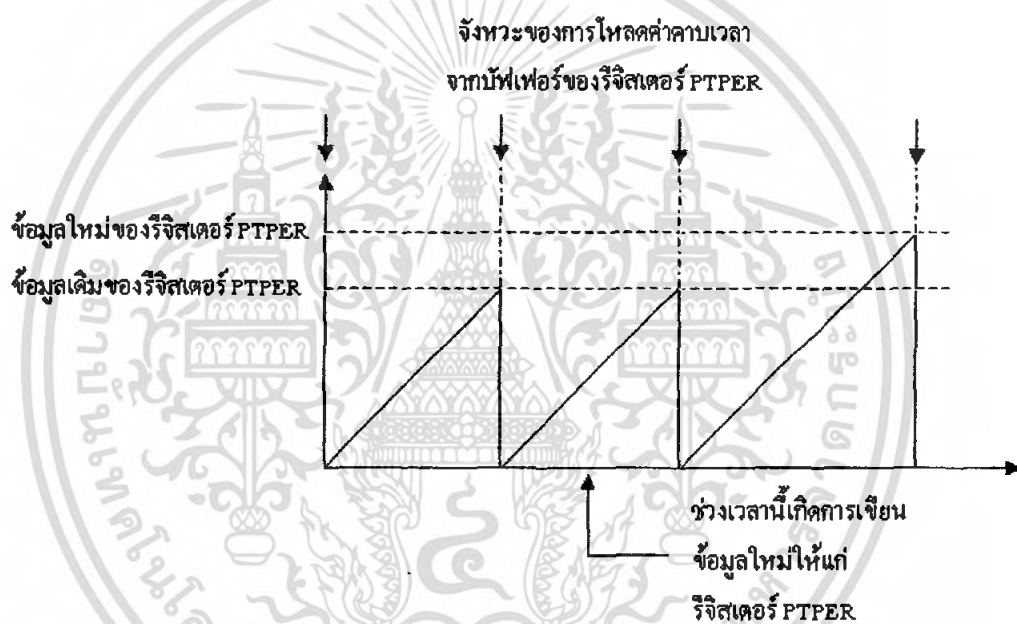
3.3.1 คาบเวลาของสัญญาณ PWM

รีจิสเตอร์ PTPER ถูกใช้สำหรับกำหนดค่าการนับคาบเวลาของรีจิสเตอร์ PTMR ผู้พัฒนาต้องระบุข้อมูลขนาด 15 บิตลงในบิต 0 ถึง 14 ของรีจิสเตอร์ PTPER เมื่อโมดูลนี้ทำงานจนกระทั่งค่า

ของรีจิสเตอร์ PTMR เท่ากับ PTPER ค่าฐานเวลาจะรีเซ็ตเป็น “0” หรือเปลี่ยนทิศทางการนับค่าในสัญญาณนาฬิกาถูกลดไป ขึ้นอยู่กับการกำหนดโหมดทำงาน

คาบเวลาของฐานเวลามีขนาดของบัพเฟออร์เป็น 2 เท่า เพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงค่าในระหว่างการทำงานได้โดยปราศจากการรบกวน นั่นคือรีจิสเตอร์ PTPER จะมีรีจิสเตอร์บัพเฟออร์สำรองรับค่าที่ต้องการเปลี่ยนแปลงใหม่ ในระหว่างที่กำลังทำงานกับค่าเดิมโดยรีจิสเตอร์บัพเฟออร์นี้ ผู้ใช้งานไม่สามารถเข้าถึงได้ ข้อมูลสำหรับกำหนดค่าคาบเวลาจะถูกเขียนลงในรีจิสเตอร์ PTPER แยกต่างกันไปตามโหมดการทำงานของฐานเวลา PWM

ก) ในโหมดเปลี่ยนแปลงค่าอิสระและโหมดทำงานครั้งเดียว ข้อมูลจากรีจิสเตอร์ PTPER จะถูกโหลดลงในรีจิสเตอร์คาบเวลาเมื่อรีจิสเตอร์ PTMR ถูกรีเซ็ตเป็น “0” หลังจากที่ค่าของรีจิสเตอร์ PTMR ตรงกับค่าของ PTPER ดังแสดงด้วย



รูปที่ 3.2 โค้ดแกรมเวลาแสดงการโหลดค่าของรีจิสเตอร์ PTPER เมื่อฐานเวลาของ PWM ทำงานในโหมดเปลี่ยนแปลงค่าอิสระและโหมดทำงานครั้งเดียว

ข้อมูลสำหรับกำหนดคาบเวลาของสัญญาณ PWM ที่เขียนไปยังรีจิสเตอร์ PTPER สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$PTPER = \frac{F_{CY}}{F_{PWM} \times PTMR_Prescaler} - 1 \text{ โดย}$$

F_{CY} = ความถี่ของการทำงาน

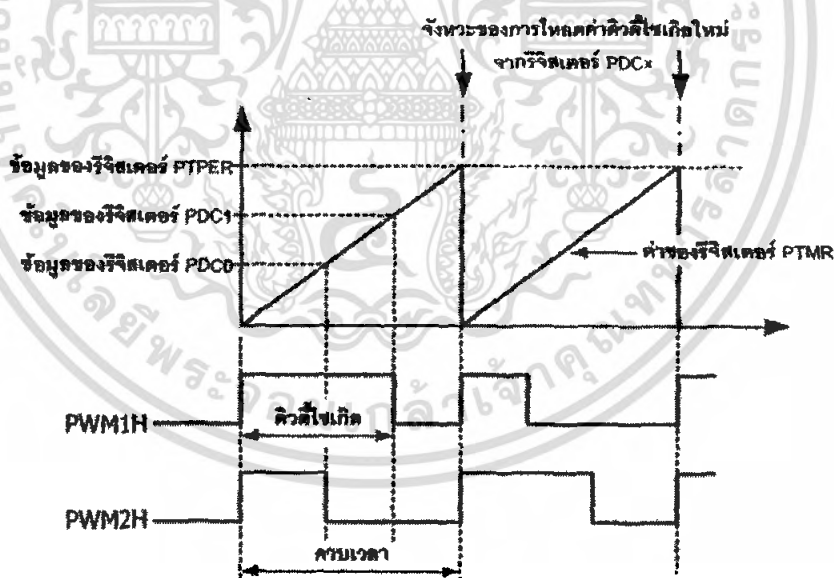
F_{PWM} = ความถี่ของสัญญาณ

3.3.2 โหมดการทำงานของส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM ในโหมด MCPWM

มีด้วยกัน 4 แบบหลักคือ

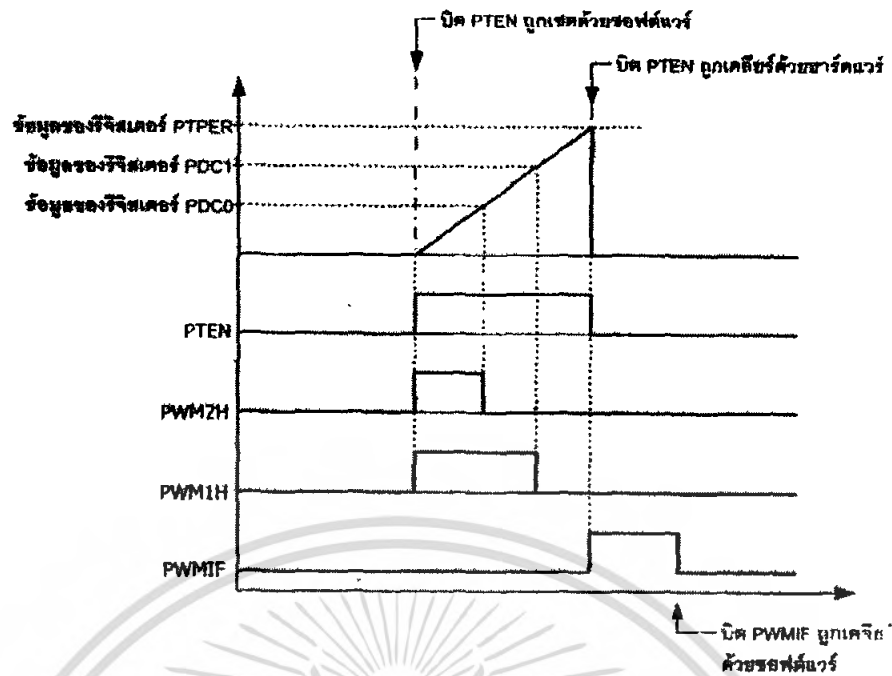
1. โหมดปรับขอบสัญญาณ (Edge aligned mode)
2. โหมดสัญญาณเดี่ยว (Single event mode)
3. โหมดปรับสัญญาณกึ่งกลาง (Center aligned mode)
4. โหมดปรับสัญญาณกึ่งกลางพร้อมปรับปรุ่ค่า (Center aligned mode with double updates) ซึ่งสัมพันธ์กับโหมดการทำงานของฐานเวลา PWM โดย
5. เมื่อฐานเวลา PWM ทำงานในโหมดเปลี่ยนแปลงค่าอิสระ ส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM จะทำงานในโหมดปรับขอบสัญญาณ
6. เมื่อฐานเวลา PWM ทำงานในโหมดทำงานครั้งเดียว ส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM จะทำงานในโหมดสัญญาณเดี่ยว
7. เมื่อฐานเวลา PWM ทำงานในโหมดนับค่าขึ้นลงอย่างต่อเนื่อง ส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM จะทำงานในโหมดปรับสัญญาณกึ่งกลาง
8. เมื่อฐานเวลา PWM ทำงานในโหมดนับค่าขึ้นลงอย่างต่อเนื่อง พร้อมปรับปรุ่ค่าส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM จะทำงานในโหมดปรับสัญญาณกึ่งกลางพร้อมปรับปรุ่ค่า

3.3.3 การทำงานของส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM ในโหมดปรับขอบสัญญาณ



รูปที่ 3.3 ไตอะแกรมเวลาแสดงการเกิดสัญญาณ PWM เมื่อทำงานในโหมดปรับขอบสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ไคอะแกรมเวลาแสดงการเกิดสัญญาณ PWM เมื่อทำงานในโหมดสัญญาณเดียว

ไคอะแกรมเวลาแสดงการเกิดสัญญาณ PWM เมื่อทำงานในโหมดปรับขอบสัญญาณ เริ่มต้นด้วยการกำหนดให้ฐานเวลา PWM ทำงานในโหมดเปลี่ยนแปลงค่าอิสระ ดังนั้นคาบเวลาของสัญญาณ PWM จะถูกกำหนดโดยค่าที่โหลดให้เรจิสเตอร์ PTPER ส่วนคิวดั๊ไซเกิลถูกกำหนดโดยค่าในเรจิสเตอร์ PDCx

ในกรณีที่คิวดั๊ไซเกิลไม่เป็นศูนย์ วงจรเอาต์พุตของส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM ทุกชุดที่ได้รับการเอนเอเบิลจะทำงานที่จุดเริ่มต้นของคาบเวลาของสัญญาณ PWM หรือเมื่อค่าในเรจิสเตอร์ PTMR เท่ากับศูนย์ และหยุดทำงานเมื่อค่าของเรจิสเตอร์ PTMR ตรงกับคิวดั๊ไซเกิลของส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM

ถ้าหากค่าในเรจิสเตอร์ PDCx เป็นศูนย์ วงจรเอาต์พุตของส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM จะไม่ทำงานใดๆ นั่นหมายความว่าในโหมดนี้จะสามารถกำเนิดสัญญาณ PWM ได้ก็ต่อเมื่อค่าเรจิสเตอร์ PDCx ต้องมากกว่าค่าที่กำหนดในเรจิสเตอร์ PTPER

3.3.4 การเปลี่ยนแปลงคิวดั๊ไซเกิลสัญญาณ PWM ของโมดูล MCPWM

เรจิสเตอร์กำหนดคิวดั๊ไซเกิลทั้ง 4 ตัว PDC1 ถึง PDC4 ต่างก็มีเรจิสเตอร์บัพเฟอร์เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวน เมื่อมีการปรับปรุ้งค่าของสัญญาณ PWM โดยคิวดั๊ไซเกิลของสัญญาณ PWM จะถูกปรับปรุ้งค่าตามข้อมูลที่เขียนลงในเรจิสเตอร์ PDCx จากนั้นจากค่าเรจิสเตอร์ PDCx จะ

ถูกโหนดไปยังบัพเพอร์เพื่อทำการเปรียบเทียบ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลในรีจิสเตอร์ PDCx เรียบร้อย ข้อมูลนั้นจึงถูกส่งไปยังบัพเพอร์เพื่อทำงานต่อไปทำให้ไม่เกิดการติดขัดหรือเกิดความผิดพลาดในขณะที่เปลี่ยนค่าคิวด์ไซเกิล

เมื่อฐานเวลา PWM ทำงานในโหมดนับค่าขึ้นลงอย่างต่อเนื่อง (ค่าของ PTMOD1 และ PTMOD0 เท่ากับ "0x") ค่าคิวด์ไซเกิลของสัญญาณ PWM จะถูกปรับปรุงเมื่อค่าของรีจิสเตอร์ PTMR เท่ากับ PTPER และเมื่อรีจิสเตอร์ PTMR เกิดการรีเซตเป็นศูนย์

3.3.5 การทำงานร่วมกันของส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM หรือการทำงานในแบบคอมพลีเมนตารี (Complementary PWM Output Mode)

การทำงานในลักษณะนี้ของโมดูล MCPWM เหมาะสำหรับการนำไปสร้างสัญญาณเพื่อขับโหนดแบบอินเวอร์เตอร์ ตัวอย่างของโหนดแบบอินเวอร์เตอร์ได้แก่มอเตอร์อินดักชันไฟสลับ 3 เฟส (ACIM:AC Induction Motor) และมอเตอร์แบบไม่มีแปรงถ่าน (BLDC:Brushless DC motor) ในการทำงานแบบคอมพลีเมนตารีนี้ วงจรเอาต์พุตของโมดูล PWM ในคู่ที่นำมาใช้งานนั้นไม่สามารถกำหนดให้ทำงานได้พร้อมกัน นั่นคือ PWMxH และ PWMxL ต้องมีสถานะที่ตรงข้ามกัน ทำให้มอเตอร์ที่อยู่กับขาเอาต์พุตนั้นสลับกันทำงาน โดยจะมีส่วนประกอบที่สำคัญที่เพิ่มขึ้นมา 2 ส่วนคือ ส่วนกำเนิดช่วงเวลาวิกฤต (Dead Time Generation) และส่วนตรวจสอบความผิดปกติและกำหนดการทำงานของขาเอาต์พุตโดยตรง (Override and Fault Logic)

3.3.6 การควบคุมเวลาวิกฤต Dead Time Control)

โดยธรรมชาติของอุปกรณ์เหนี่ยวนำ เมื่อได้รับแรงดันกระตุ้นให้ทำงานแล้วสั่งให้หยุดทำงานตัวอุปกรณ์จะไม่สามารถหยุดอุปกรณ์ได้ในทันทีและหากกระตุ้นให้วงจรจับชุดต่อไปทำงานทันทีจะทำให้เกิดการชนกันของแรงดันซึ่งอาจนำมาซึ่งความเสียหายของวงจรได้ นั่นคือที่มีของคำว่า dead time หรือ เวลาวิกฤต ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหานี้จะต้องมีการหน่วงเวลาให้อุปกรณ์ที่ถูกกำหนดให้หยุดทำงานอีกเล็กน้อย เพื่อให้แน่ใจว่ามีการหยุดทำงานลงอย่างแท้จริงก่อนที่จะกระตุ้นให้เกิดสภาวะการทำงานในเฟสถัดไป

ส่วนที่ทำหน้าที่นี้คือ ส่วนกำเนิดช่วงเวลาวิกฤต (Dead Time Generator) โดยส่วนกำเนิดช่วงเวลาวิกฤตจะได้รับการเอนเอเบิลโดยอัตโนมัติเมื่อกำหนดให้โมดูล MCPWM ทำงานในแบบคอมพลีเมนตารี ใน dsPIC ที่มีโมดูล MCPWM แบบ 6 เอาต์พุตจะสามารถกำหนดค่าเวลาวิกฤตได้ 1 ค่า ส่วนแบบ 8 เอาต์พุตสามารถกำหนดได้ 2 ค่า ในกรณีที่สามารรถกำหนดได้ 2 ค่า สามารถเลือกใช้วิธีการกำหนดค่าได้จาก 2 วิธีดังต่อไปนี้

1. สามารถเลือกกำหนดค่าเวลาวิกฤตในช่วงหยุดทำงานของเอาต์พุตด้านแรงดันสูงหรือต่ำก็ได้ โดยเวลาวิกฤตค่าแรกจะกำหนดลงระหว่างช่วงหยุดทำงานของเอาต์พุตด้านแรงดันต่ำ

2. ค่าเวลาวิกฤตทั้งสองค่าสามารถกำหนดลงในแต่ละคู่ของเอาต์พุตได้อย่างอิสระ

3.4 การกำหนดการทำงานของขาพอร์ตเอาต์พุตของโมดูล MCPWM โดยตรง

นอกจากการกำหนดให้ขาพอร์ตของโมดูล MCPWM ทำงานกับส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM แล้วยังสามารถกำหนดได้โดยตรงหรือ PWM Output Override โดยกระทำผ่านรีจิสเตอร์ OVDCON โดยกระทำผ่านรีจิสเตอร์ OVDCON โดยการกำหนดค่าที่รีจิสเตอร์นี้เป็นการกำหนดในลักษณะเข้าถึงโดยตรงที่ขาพอร์ตเอาต์พุตของโมดูล MCPWM

ข้อมูล 8 บิตบนช่องรีจิสเตอร์ OVDCON ใช้กำหนดการทำงานของขาพอร์ตเอาต์พุตว่า ต้องการให้ควบคุมจากส่วนสัญญาณ PWM ตามวิธีการปกติ (เซตเป็น “1”) หรือจากค่าของบิต POUTxx (เคลียร์บิตเป็น “0”) ซึ่งเป็นข้อมูลใน 8 บิตล่างของรีจิสเตอร์ OVDCON นี้ โดยแบ่งเป็น คู่ๆ คือ บิต 15 และ 14 ใช้กำหนดการทำงานของขาเอาต์พุตโมดูล PWM4 ไล่ไปตามลำดับ ดังนั้น บิต 9 และ 8 จึงใช้กำหนดการทำงานของขาเอาต์พุตในโมดูล PWM1

ส่วน 8 บิต ล่างของรีจิสเตอร์ OVDCON คือบิต POUTxx ใช้กำหนดการทำงานของขาเอาต์พุตโมดูล PWM แบบโดยตรง ซึ่งจะมีการใช้งานก็ต่อเมื่อบิต POVDxx ใน 8 บิตบนเป็น “0”

อย่างไรก็ตามเมื่อกำหนดให้โมดูล MCPWM ทำงานในคอมพลิเมนต์ารีหรือแบบทำงานร่วมกัน จะไม่สามารถกำหนดการทำงานของขาพอร์ตโดยตรงได้

ในการทำงานให้ควบคุมขาพอร์ตเอาต์พุตของโมดูล MCPWM โดยตรงด้วยการกำหนดค่าในรีจิสเตอร์ OVDCON ยังมีอีก 1 บิตควบคุมในรีจิสเตอร์ PWMCON2 ที่ต้องให้ความสนใจนั่นคือ บิต OSYNC (บิต 1 ของรีจิสเตอร์ PWMCON2) โดยบิตนี้ใช้ในการกำหนดจังหวะการเปลี่ยนแปลงค่าของรีจิสเตอร์ OVDCON เพื่อให้สัมพันธ์กับการทำงานของฐานเวลา PWM หรือเกิดการซิงโครไนซ์จะต้องเซตบิตนี้เป็น “1” โดยการซิงโครไนซ์จะเกิดขึ้นเมื่อ

- (1) ค่าของรีจิสเตอร์ PTMR เป็นศูนย์ในโหมดปรับขอบสัญญาณ
- (2) ค่าของรีจิสเตอร์ PTMR เป็นศูนย์หรือเมื่อค่าของ PTMR เท่ากับค่าของ PTPER ในโหมดปรับสัญญาณกึ่งกลาง

3.5 การใช้งานโมดูลแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลภายใน dsPIC

คุณสมบัติโดยสรุปของ โมดูลแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล

1. เป็น โมดูลแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลที่มีความละเอียด 10 บิต จำนวน 6 ช่อง
2. ใช้วิธีการแปลงสัญญาณแบบประมาณค่าหรือซิกเซฟซีฟ แอ็ปพร็อกซิเมชัน
3. มีอัตราเร็วในการสุ่มสัญญาณสูงสุด 500 kilo sample ต่อวินาที (ksps) หรือ 500000 จุด ตัวอย่างต่อวินาที
4. สามารถกำหนดให้ทำงาน ได้ขณะเข้าสู่โหมดสลีป (Sleep mode)

5. สามารถกำหนดระดับแรงดันอ้างอิงได้ทั้งจากภายในผ่านทางขา AV_{DD} กับ AV_{SS} และภายนอกผ่านทางขา V_{REF+} และ V_{REF-} .

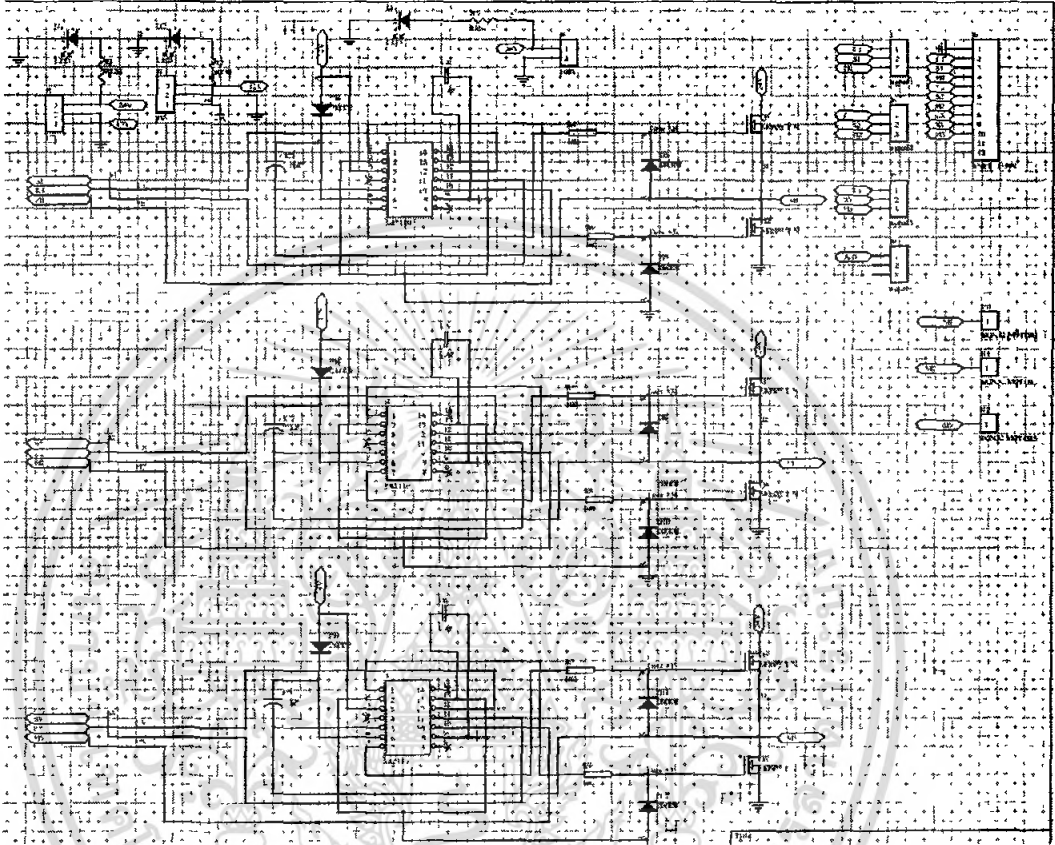


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

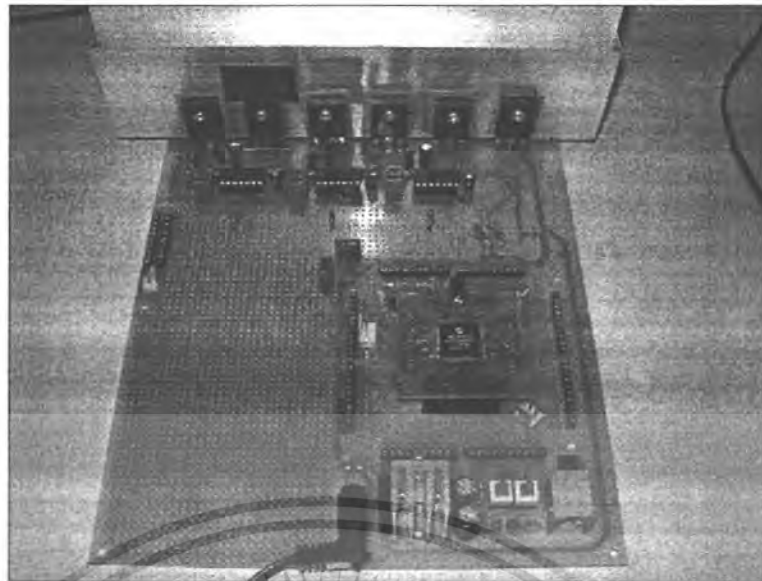
การทดลอง

4.1 การออกแบบวงจรขับเคลื่อนอเนกประสงค์



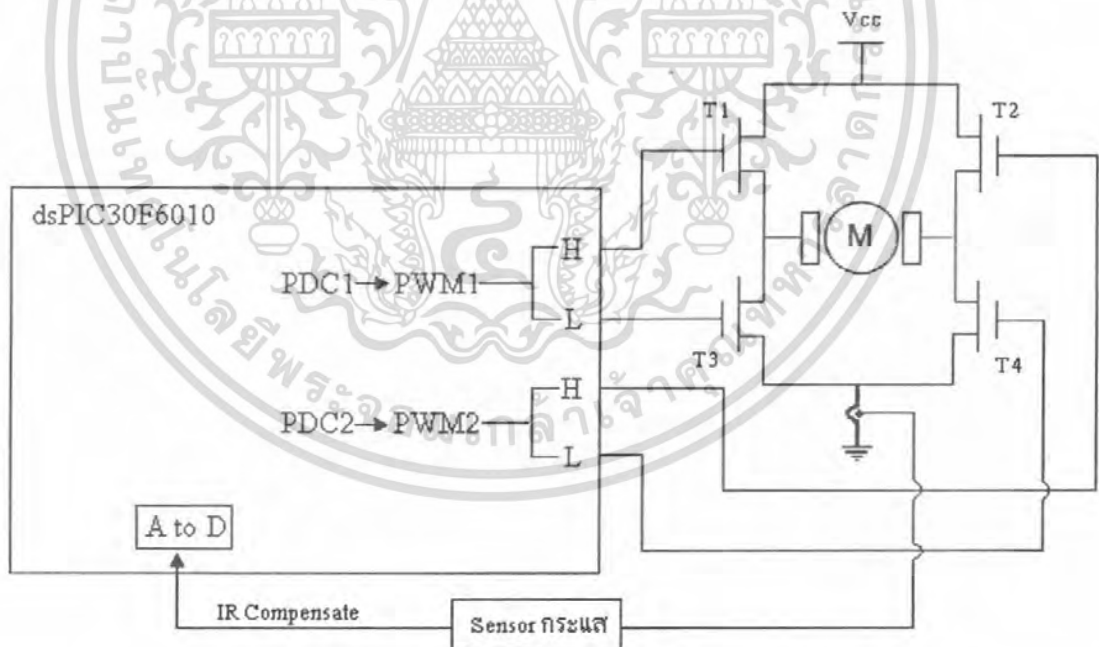
รูปที่ 4.1 วงจรขับเคลื่อนอเนกประสงค์จากการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 บอร์ดที่ได้จากการออกแบบ

4.2 การขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรง



รูปที่ 4.3 แสดงการขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรง

วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงจะใช้ Gate 4 ตัว ในการขับเคลื่อน ซึ่ง Gate Driver ทำหน้าที่สวิตช์ซึ่ง V_{Supply} (V_{CC}) จะได้ $V_{average}$ จ่ายให้แก่มอเตอร์ และทิศทางการหมุนของมอเตอร์นั้น

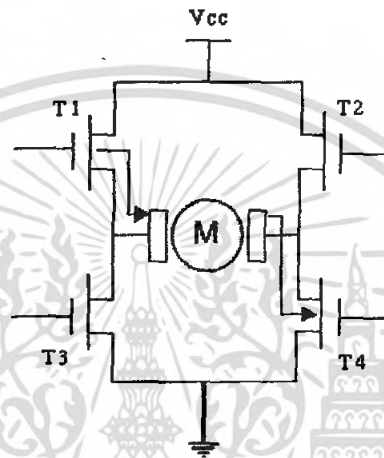
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F6010 ในการควบคุมได้ โดยทำการกำหนดค่า PWM1 และ PWM2 ดังตารางด้านล่าง

ตารางที่ 4.1 แสดงการกำหนดค่า PWM1 และ PWM2

PWM1		PWM2		ผลที่เกิดจากdsPIC			
H	L	H	L	Gate T1	Gate T2	Gate T3	Gate T4
ON	-	-	ON	ON	-	-	ON

กระแสไหลจาก Gate T1 ไปยัง Gate T4



รูปที่ 4.4 แสดงการไหลของกระแสจาก Gate T1 ไปยัง Gate T4

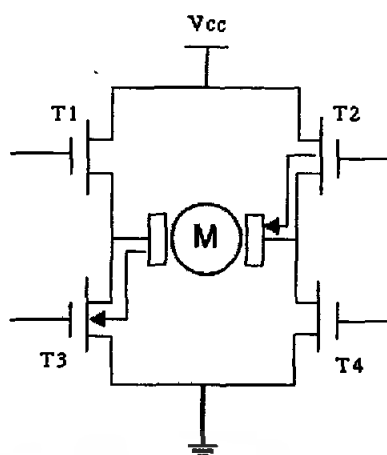
การกลับทิศทางการหมุนมอเตอร์ทำได้โดยกำหนด PWM1 และ PWM2 ดังตารางด้านล่าง

ตารางที่ 4.2 แสดงการกำหนดค่า PWM1 และ PWM2

PWM1		PWM2		ผลที่เกิดจากdsPIC			
H	L	H	L	Gate T1	Gate T2	Gate T3	Gate T4
-	ON	ON	-	-	ON	ON	-

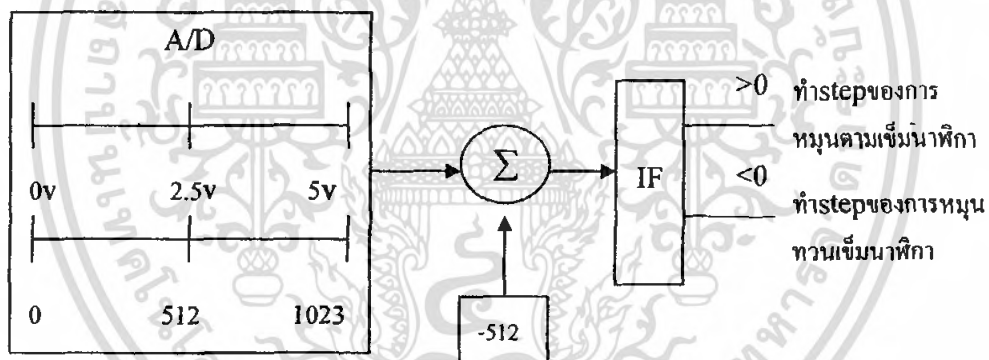
กระแสไหลจาก Gate T2 ไปยัง Gate T3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

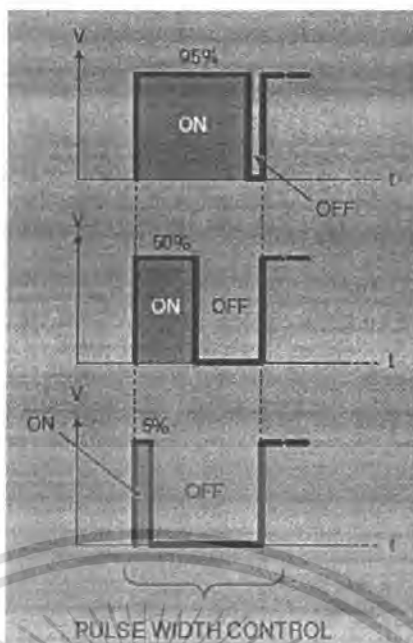


รูปที่ 4.5 แสดงการไหลของกระแสจาก Gate T2 ไปยัง Gate T3

ส่วนการปรับความเร็วรอบนั้นทำได้โดยการปรับเปลี่ยนค่าความถี่ไซเคิลด้วยตัวต้านทานปรับค่าได้ที่ต่ออยู่กับโมดูล A/D ของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC เช่นกันซึ่งโมดูล A/D นี้ทำหน้าที่กำหนดค่าอ้างอิงให้กับรีจิสเตอร์ PDC ในโมดูล MCPWM เทคนิคนี้สามารถใช้ได้ทั้งมอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่านและมอเตอร์เหนี่ยวนำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงการปรับค่าดิวตี้ไซเคิล

จากสมการ $V_{average} = V_{Supply} \times \text{Duty Cycle}$ หากกำหนดค่า Duty Cycle เป็น 100% $V_{average}$ จะเท่ากับ V_{Supply} ซึ่งจะทำให้มอเตอร์หมุนได้เร็วที่สุด แต่ถ้าหากลดค่า Duty Cycle ลงมาเหลือ 50% $V_{average}$ จะมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของ V_{Supply} ความเร็วก็จะลดลงเป็นครึ่งหนึ่งด้วย แต่ในความเป็นจริงมอเตอร์จะไม่สามารถหมุนได้ตามกำลังอินพุตที่ใส่เข้าไป จากสมการแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์

$$V = E_g + I_a R_a$$

ใช้กระแสอาร์เมเจอร์ I_a คูณเข้าไปทั้งสองข้างของสมการ

$$V I_a = E_g I_a + I_a^2 R_a$$

จะได้

$$V I_a = \text{กำลังอินพุตที่จ่ายให้กับมอเตอร์ (Watt)}$$

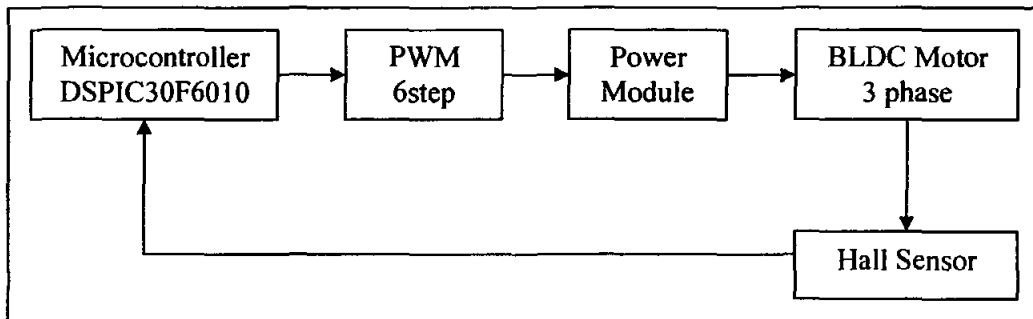
$$E_g I_a = \text{กำลังไฟฟ้าส่วนที่เปลี่ยนรูปเป็นกำลังกลในอาร์เมเจอร์ (Watt)}$$

$$I_a^2 R_a = \text{การสูญเสียในขดลวดอาร์เมเจอร์ (Watt)}$$

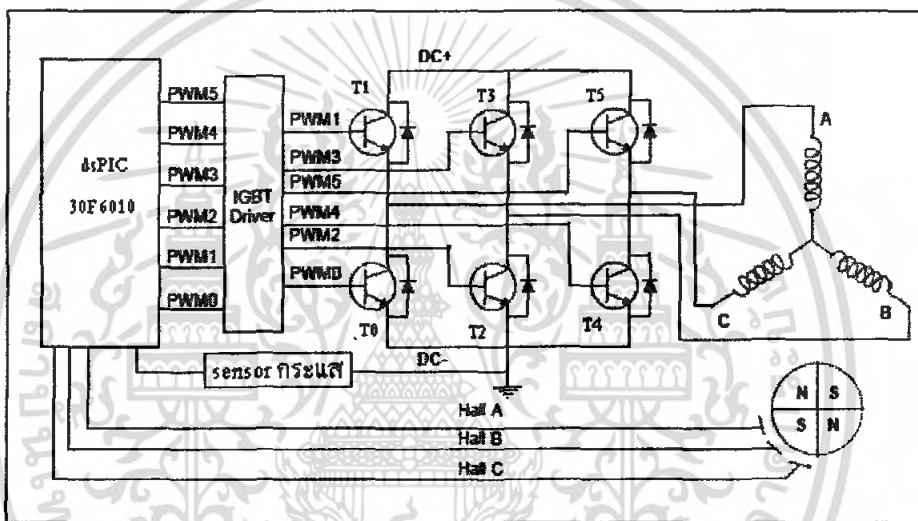
จากสมการแสดงให้เห็นว่าจำเป็นต้องมีกำลังสูญเสียในตัวมอเตอร์ เพราะฉะนั้นจะต้องมีการชดเชยค่า IR Compensate ด้วยการ ใช้ Current Sensor วัดกระแสจากมอเตอร์ แล้วส่งไปยังโมดูล A/D ต่อจากนั้น dsPIC จะทำการชดเชยให้แก่มอเตอร์ด้วยเทคนิคทางซอฟต์แวร์ ซึ่งการทำเช่นนี้จะทำให้กำลังเอาต์พุตของมอเตอร์มีความใกล้เคียงกับกำลังอินพุตที่ใส่เข้าไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน

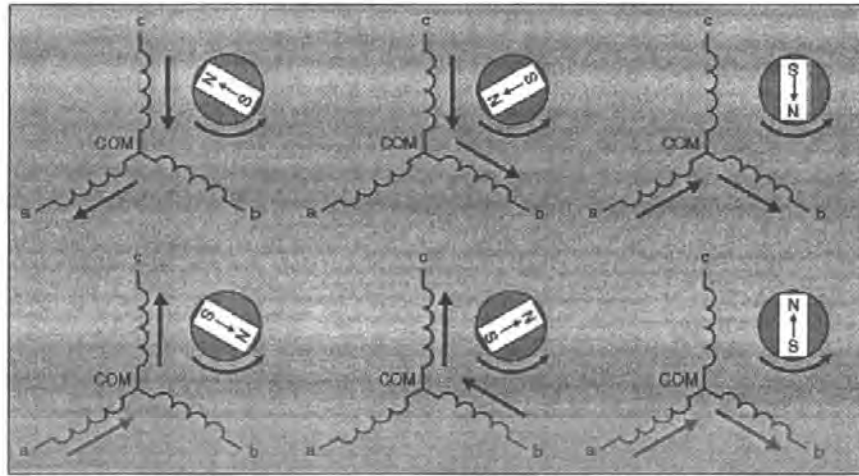


รูปที่ 4.7 แสดงบล็อกไดอะแกรมการขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน



รูปที่ 4.8 แสดงวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน

การควบคุมการหมุนของแกนแม่เหล็กถาวรครบ 360 องศาทางไฟฟ้า อาศัยการไหลของกระแสไฟฟ้าทั้งสิ้น 6 step แต่ละ step เป็นการป้อนพลังงานให้แก่ขดลวดที่ละ 2 เฟสสลับกันไป ด้วยการควบคุมการสวิทช์ของ gate driver T1 - T6 ที่ทำหน้าที่ตัดต่อกระแสที่จ่ายให้กับขดลวดมอเตอร์ ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กระหว่างขดลวดที่มีกระแสไหลผ่านกับแกนแม่เหล็กถาวรซึ่งการป้อนพลังงานแต่ละ step ทำให้เกิดการสร้างสนามแม่เหล็กในทิศทางต่างๆกัน การป้อนพลังงานจาก step n ถึง step n+1ซึ่งแต่ละ step ทำให้ Rotor หมุนไป 60 องศาทางไฟฟ้า เรียกว่าการ commutation



รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางกระแสไฟฟ้า และการหมุนของแกนแม่เหล็กถาวร

4.4 ขั้นตอนการทดลอง

1) ควบคุมจำนวนรอบการหมุนของ BLDC Motor ซึ่งควรจะรู้ก่อนว่า rotor ประกอบด้วยแม่เหล็กกี่คู่ขั้ว โดยทำการทดลองหาจำนวนคู่ขั้วของแม่เหล็กถาวรด้วยการจ่ายสัญญาณไฟฟ้า 6 step ติดต่อกัน 4 ครั้ง หรือ 24 step (6 step ทำให้เกิดการหมุน 1 รอบทางไฟฟ้า) พบว่ามอเตอร์หมุน 2 รอบทางกล ได้ความสัมพันธ์เป็น

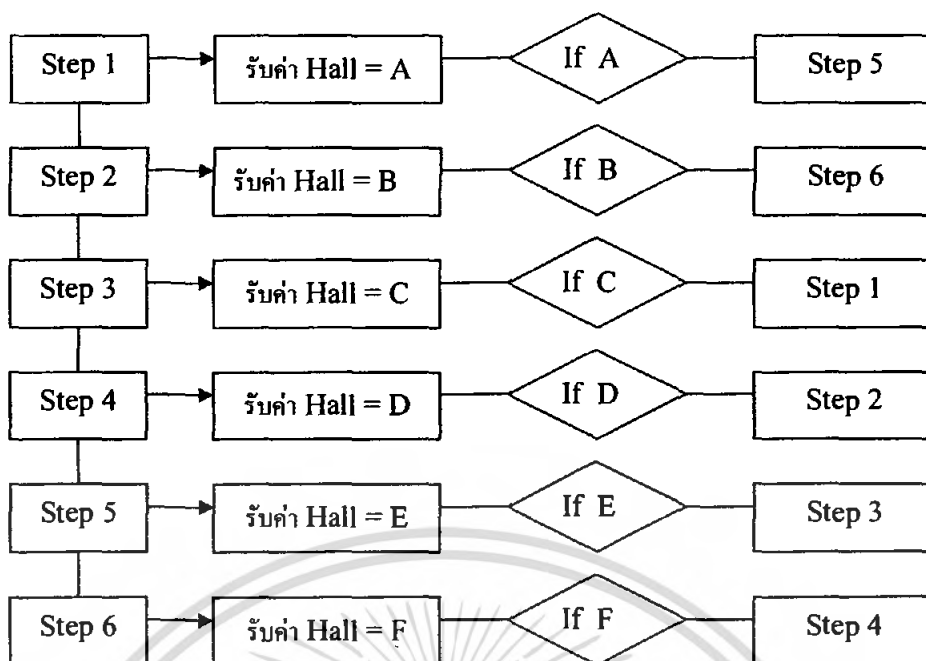
$$24\text{step} = \text{การหมุน}4\text{รอบทางไฟฟ้า}$$

$$= \text{การหมุน}2\text{รอบทางกล}$$

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่ามอเตอร์ตัวนี้ประกอบด้วย 2 คู่ขั้ว (2 รอบทางไฟฟ้า = 1 รอบทางกล)

หากต้องการให้หมุน 1 รอบจะต้องจ่ายสัญญาณ 12 step

2) ในขั้นเริ่มต้นไม่สามารถทราบได้ว่า Hall sensor ถูกวางไว้ที่ตำแหน่งใด จึงใช้เทคนิคทาง software เพื่อให้มอเตอร์เรียนรู้ตำแหน่งของ Hall sensor ในขณะที่เริ่มหมุนเพื่อให้ทราบว่า การหมุนแต่ละ step สัญญาณที่ได้จาก Hall sensor ณ ตำแหน่งนั้นเป็นอย่างไร เพื่อนำค่าสัญญาณนี้ใช้ในการป้อนกลับตำแหน่งของ Rotor เป็นการแสดงให้เห็นว่าควรกระทำ step ต่อไป

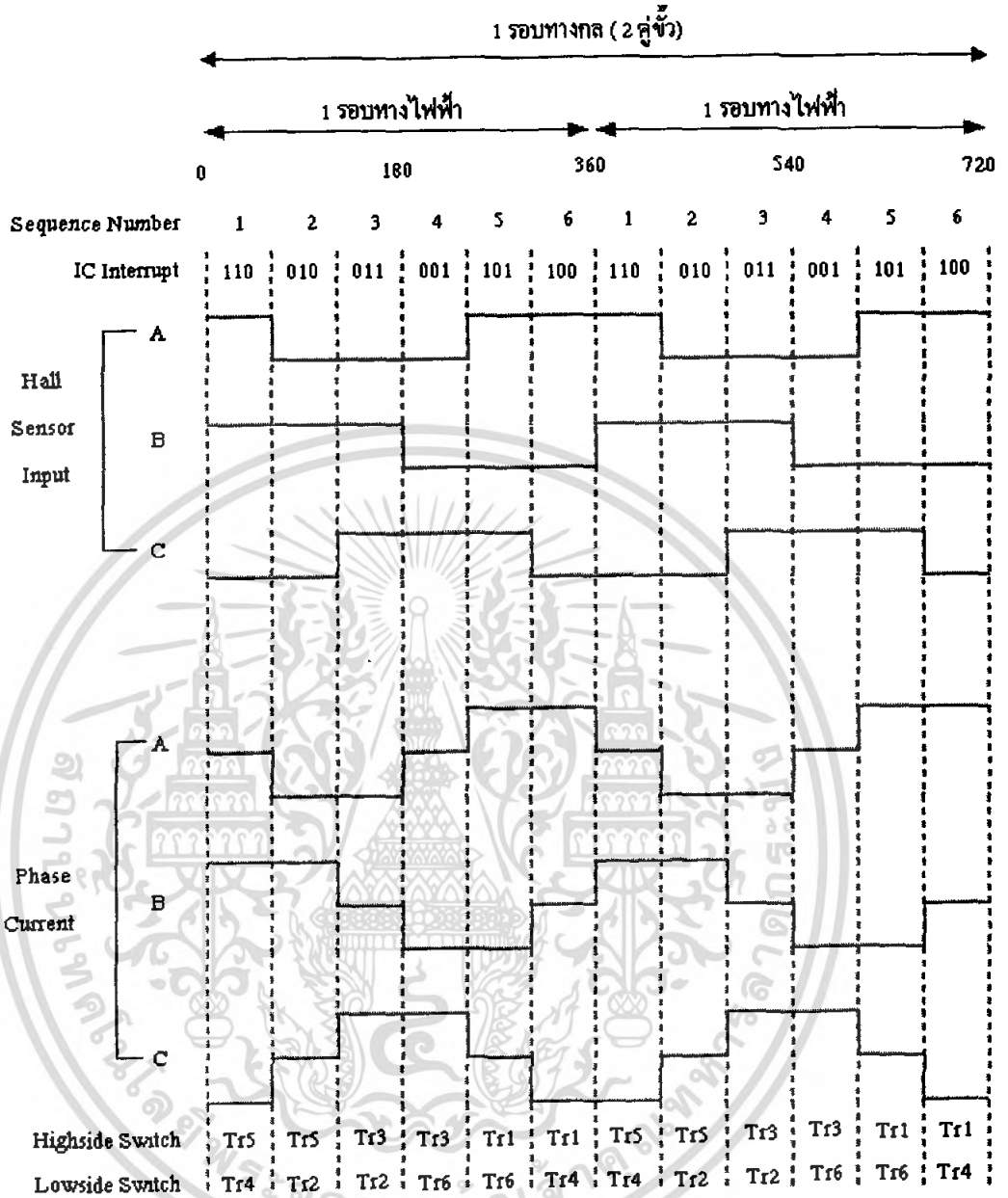


รูปที่ 4.10 Flowchart แสดงการเรียนรู้ตำแหน่ง Hall sensor

Hall sensor แต่ละตัวมีเอาต์พุตเป็นสัญญาณ Digital High Level สำหรับ 180 องศาทางไฟฟ้า ต่อรอบทางไฟฟ้า และ Digital Low Level อีก 180 องศาไฟฟ้าต่อรอบไฟฟ้า ดังนั้น เมื่อเปรียบเทียบค่าของ Hall sensor ขณะที่ Rotor อยู่ที่ตำแหน่งใดๆเปรียบเทียบกับค่าในตำแหน่งตัวแปร A,B, C,D,E,F แล้วจึงต้องทำให้เกิดstepการไหลของกระแสไฟฟ้าที่ห่างออกไป 120 องศา

3) ขณะที่มอเตอร์หมุนทำการวัดสัญญาณ PWM ทุกสัญญาณเปรียบเทียบกับสัญญาณจาก Hall sensor ทุกตัว ได้ผลดังนี้

ลักษณะสัญญาณการหมุน 1 รอบทางไฟฟ้า



รูปที่ 4.11 แสดงลักษณะสัญญาณทางไฟฟ้าในการหมุนมอเตอร์ 1 รอบทางกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแปลงรูปสัญญาณสรุปเป็นตารางแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ของค่า Hall sensor ทิศทางของสนามแม่เหล็ก และสถานะของ Gate Driver ขณะหมุนทวนเข็มนาฬิกา

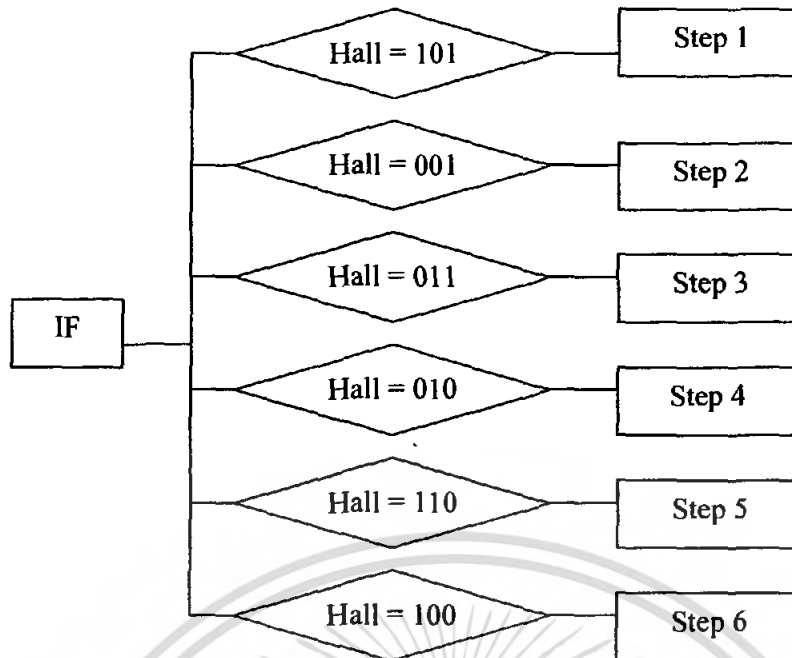
Sequence #	Hall Sensor Input			Active		Phase Current		
	A	B	C			A	B	C
1	1	0	1	PWM5(tr5)	PWM2(tr2)	DC-	DC+	off
2	0	0	1	PWM5(tr5)	PWM4(tr4)	off	DC+	DC-
3	0	1	1	PWM1(tr1)	PWM4(tr4)	DC+	off	DC-
4	0	1	0	PWM1(tr1)	PWM6(tr6)	DC+	DC-	off
5	1	1	0	PWM3(tr3)	PWM6(tr6)	off	DC-	DC+
6	1	0	0	PWM3(tr3)	PWM2(tr2)	DC-	off	DC+

ตารางที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ของค่า Hall sensor ทิศทางของสนามแม่เหล็ก และสถานะของ Gate Driver ขณะหมุนตามเข็มนาฬิกา

Sequence #	Hall Sensor Input			Active		Phase Current		
	A	B	C			A	B	C
1	1	1	0	PWM5(tr5)	PWM4(tr4)	off	DC+	DC-
2	0	1	0	PWM5(tr5)	PWM2(tr2)	DC-	DC+	off
3	0	1	1	PWM3(tr3)	PWM2(tr2)	DC-	off	DC+
4	0	0	1	PWM3(tr3)	PWM6(tr6)	off	DC-	DC+
5	1	0	1	PWM1(tr1)	PWM6(tr6)	DC+	DC-	off
6	1	0	0	PWM1(tr1)	PWM4(tr4)	DC+	off	DC-

จากขั้นตอนข้างต้น ในขณะที่มอเตอร์เริ่มหมุนมอเตอร์จะหมุนแบบกระตุก 12 ครั้ง เนื่องจากเป็นมอเตอร์ 2 คู่ขั้วใช้สัญญาณทั้งสิ้น 12 step ในการหมุนครบ 360 องศาทางกล ทั้งนี้เพื่อให้มอเตอร์เรียนรู้ตำแหน่งของ Hall sensor

4) นำค่า Hall sensor จากตารางมาทำการปรับปรุง software เพื่อให้มอเตอร์สามารถเริ่มหมุนได้เลยโดยไม่ต้องเรียนรู้ค่า Hall sensor ด้วยตนเอง ดัง Flowchart ต่อไปนี้



4.5 การทดลองหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์

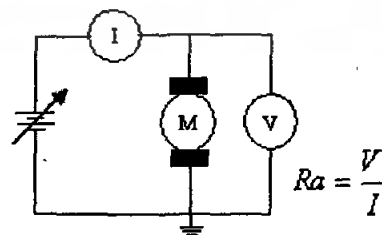
จุดมุ่งหมายในการทดสอบค่าพารามิเตอร์ต่างๆของมอเตอร์นั้นเพื่อให้ทราบข้อมูลที่จำเป็นเพื่อพิจารณาถึงเสถียรภาพการทำงานของระบบสำหรับนำไปประยุกต์การใช้งานตามที่ต้องการ

วิธีการทดสอบที่ใช้ในที่นี้ เป็นวิธีการทดสอบที่ได้พัฒนาขึ้น ให้เหมาะสมกับผู้ที่มีเครื่องมือสำหรับทดสอบที่จำกัด คือเราได้เลือกเอาเฉพาะวิธีที่ง่ายที่สุดในการทดสอบหรือวิธีการทดสอบที่ไม่ต้องใช้เครื่องมือที่ยุ่งยาก

เนื่องจากการใช้มอเตอร์ในลักษณะงานบางอย่าง จะต้องคำนึงถึงขีดจำกัดการทำงานของเขาที่พุดซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ เช่น ความร้อน เราจะต้องตัดสินใจในขั้นแรกว่าพารามิเตอร์อะไรสัมพันธ์กับงานที่ใช้อยู่

4.5.1 การหาค่าความต้านทานอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ (R_a)

การวัดค่าความต้านทานของอาร์มาเจอร์ที่สะดวกที่สุด คือการเปลี่ยนจากการใช้โอมห์มิเตอร์มาใช้วิธีการวัดด้วยโวลท์-แอมป์มิเตอร์



รูปที่ 4.12 การวัดความต้านทานของอาร์เมเจอร์ด้วยการทดสอบกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเราทำการลือคอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ให้หยุดนิ่งอยู่กับที่ตำแหน่งหนึ่ง จากนั้นก็จ่าย โวลท์เต็มตกร้อมตัวมอเตอร์แล้วทำการวัดค่ากระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์ ซึ่งสามารถคำนวณค่า ความต้านทานจากสูตร $R_a = \frac{V}{I}$

เราต้องทำการวัดค่ากระแสหลายๆค่าแล้วจึงหาค่าเฉลี่ย จะได้เป็นค่า R_a ของมอเตอร์ตัวนั้นๆ

4.5.1.1 มอเตอร์กระแสตรง ทำการจ่าย V_m (V_{supply}) ให้แก่มอเตอร์ จากนั้นเบรก มอเตอร์ให้หยุดนิ่งอยู่กับที่ ค่า $E_g = 0$ จะเกิดค่ากระแส I_a (A) ขึ้น ทำการบันทึกค่า I_a จากนั้นเปลี่ยน การจ่าย V_m และทดลองซ้ำและคำนวณค่า R_a

ตารางที่ 4.5 ผลการวัดค่าต่างๆของมอเตอร์กระแสตรง

V_m (V)	I_a (A)	R_a (Ω)
3.00	0.13	23.0769
4.00	0.17	22.2222
5.00	0.22	22.727
6.00	0.26	23.0769
7.00	0.31	22.58

จากทฤษฎี Linear Least Square ซึ่งเป็นสมการประมาณค่าเส้นตรง

$$\sum xy = A \sum x^2 + B \sum x \quad (1)$$

$$\sum y = A \sum x + NB \quad (2)$$

เมื่อกำหนดให้ X คือ I_a

Y คือ V_m

$$\text{จะได้ } \sum XY = 5.9$$

$$\sum X^2 = 0.2579$$

$$\sum Y = 25$$

$$\sum X = 1.09$$

$$n = 5$$

แทนค่าลงในสมการที่ (1) และ (2)

$$5.9 = 0.2579A + 1.09B$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$25 = 1.09A + 5B$$

แก้สมการจะได้ค่า $A = 22.61$

$\therefore R_a$ ของมอเตอร์กระแสตรงมีค่า = 22.61 Ω

4.5.1.2 มอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน

เมื่อทำการปรับค่าควิตซ์ไช้เกิดจะได้ $V_{average}$ ที่จ่ายให้กับมอเตอร์ จากนั้นทำการเบรกมอเตอร์ให้หยุดนิ่งดังนั้นค่า $E_g = 0$ และบันทึกค่า I_a (A) เปลี่ยนค่าควิตซ์ไช้เกิดและทดลองซ้ำหาค่า R_a

ตารางที่ 4.6 ผลการวัดค่าต่างๆของมอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน

Duty	$V_{average}$ (V)	I (A)	R_o (Ω)
20%	1	0.04	25
30%	1.5	0.1	15
40%	2	0.18	11.11
50%	2.5	0.26	9.6
60%	3	0.38	7.89
70%	3.5	0.51	6.86

$$\sum xy = A \sum x^2 + B \sum x \quad (1)$$

$$\sum y = A \sum x + NB \quad (2)$$

เมื่อกำหนดให้ X คือ I

Y คือ $V_{average}$

จะได้ $\sum xy = 15.3$

$$\sum x^2 = 2.5622$$

$$\sum x = 3.92$$

$$\sum y = 27$$

$$n = 9$$

แทนค่าลงในสมการที่ (1) และ (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$15.3 = 2.5622A + 3.92B$$

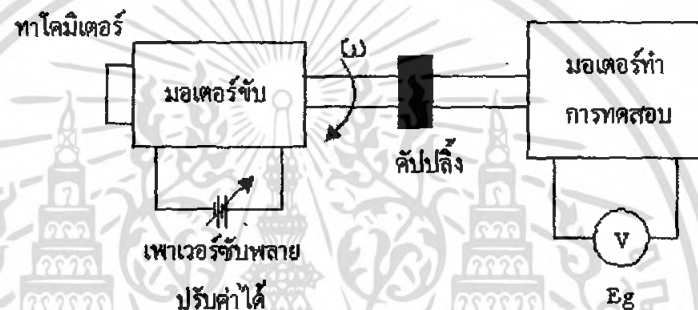
$$27 = 3.92A + 9B$$

แก้สมการจะได้ค่า $A = 4.1413$

∴ ค่า R_a ของมอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน มีค่าเท่ากับ 4.1413Ω

4.5.2 การวัดค่าโวลต์เตจคงที่ (ค่า back-emf constant ของมอเตอร์)

การวัดค่า back-emf constant (K_e) เรากระทำได้โดยขับมอเตอร์ที่ต้องการทดสอบให้หมุนเหมือนเป็นเซนเซอร์เรเตอร์ด้วยมอเตอร์อีกตัวหนึ่ง และวัดค่าโวลต์เตจที่เกิดขึ้นในตัวมอเตอร์ที่ทดสอบ (E_g) ขณะเดียวกันก็ทำการวัดความเร็วรอบของแกนมอเตอร์ ω ด้วย ตัวอย่างของวงจรที่ใช้ในการทดสอบแสดงดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 4.13 วิธีการวัดค่าแบ็ก-อีเอ็มเอฟคอนสแตนต์ของมอเตอร์

เราหาค่าแบ็ก-อีเอ็มเอฟคอนสแตนต์ของมอเตอร์ได้จากความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$K_e = \frac{E_g}{\omega}$$

เราสามารถหาความสัมพันธ์ของ K_t และ K_e ได้จากสมการ

$$K_t = K_e [Nm/A; V/rads^{-1}]$$

4.5.3 การทดลองหาค่า K_e ของมอเตอร์

4.5.3.1 มอเตอร์กระแสตรง

ทำการป้อนแรงดันให้แก่มอเตอร์ จากนั้นวัดค่าแรงดันย้อนกลับ (E_g) ขณะเดียวกันก็ทำการวัดความเร็วรอบของมอเตอร์ด้วยทาโคมิเตอร์ซึ่งมีหน่วยเป็น rpm (รอบต่อนาที) ดังนั้นจะต้องเปลี่ยนให้เป็นหน่วย (rad/sec) จากสูตร $\omega (rpm) \times \frac{2\pi}{60} = \omega (rad/sec)$ สามารถคำนวณ

K_e ได้จากสมการ $K_e = \frac{E_g}{\omega}$ จากนั้นทำการเปลี่ยนค่า V_{Supply} และทดลองซ้ำ

ตารางที่ 4.7 การวัดค่าต่างๆของมอเตอร์กระแสตรง

V_{Supply}	$E_g(V)$	ω (rpm)	ω (rad/sec)	$K_e (V / rad / sec)$
4.03	1.1	193.9	20.305	0.05417
5.02	1.7	279.0	29.217	0.0581857
6.01	2.5	455.6	47.710	0.052399
7.00	3.2	565	59.166	0.054085
8.00	4.1	786	82.310	0.0498118

$$\sum xy = A \sum x^2 + B \sum x \quad (1)$$

$$\sum y = A \sum x + NB \quad (2)$$

เมื่อกำหนดให้ $X = \omega$

$$Y = E_g$$

จะได้

$$\sum XY = 718.08$$

$$\sum X^2 = 13817.72$$

$$\sum Y = 12.6$$

$$\sum X = 238.708$$

$$n = 5$$

แทนค่าลงในสมการที่ (1) และ (2)

$$718.08 = 13817.72A + 238.708B \quad (1)$$

$$12.6 = 238.708A + 5B \quad (2)$$

แก้สมการจะได้ค่า $A = 0.0481$

\therefore ค่า K_e ของมอเตอร์กระแสตรงมีค่าเท่ากับ $0.0481 \frac{\text{volts}}{\text{rad / sec}}$

4.5.3.2 มอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการปรับค่าตัวชี้โวลเทจจะได้ V_{average} ที่ป้อนให้แก่มอเตอร์ ทำการวัดค่า I_a และ ω ขณะนั้น และต้องทำการเปลี่ยนหน่วย ω (rpm) ให้อยู่ในรูป (rad/sec) ส่วนค่า E_g จะได้มาจากการคำนวณ

$$\text{จากสมการ } V_{av} = E_g + I_a R_a ; \text{ เมื่อ } R_a = 4.15 \Omega$$

$$\text{เราสามารถหาค่า } K_e \text{ ได้จากสมการ } K_e = \frac{E_g}{\omega}$$

ตารางที่ 4.8 การวัดค่าต่างๆของมอเตอร์กระแสตรงไม่มีแปรงถ่าน เมื่อ $V_{\text{supply}} = 20 \text{ V}$ $R_a = 4.15 \Omega$

Duty	Vav	ω (rpm)	ω (rad/sec)	Ia	Eg	Ke
20%	4	284	29.74	0.01	3.9585	0.0139
30%	6	415.6	43.52	0.02	5.917	0.0142
40%	8	553	57.91	0.03	7.8755	0.01424
50%	10	686.8	71.92	0.04	9.834	0.01432
60%	12	813	85.14	0.05	11.7925	0.0145
70%	14	960.7	100.60	0.05	13.7925	0.01436
80%	16	1093	114.46	0.06	15.751	0.0144
90%	18	1229	128.70	0.07	17.7095	0.0144
100%	20	1357	142.10	0.08	19.668	0.0145

$$\sum xy = A \sum x^2 + B \sum x \quad (1)$$

$$\sum y = A \sum x + NB \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } X &= \omega \\ Y &= E_g \end{aligned}$$

$$\text{จะได้ } \sum XY = 103200.6$$

$$\sum X^2 = 7161335.1$$

$$\sum Y = 106.3$$

$$\sum X = 7392.1$$

$$n = 9$$

แทนค่าลงในสมการที่ (1) และ (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$103200.6 = 7161335.1A + 7392.1B \quad (1)$$

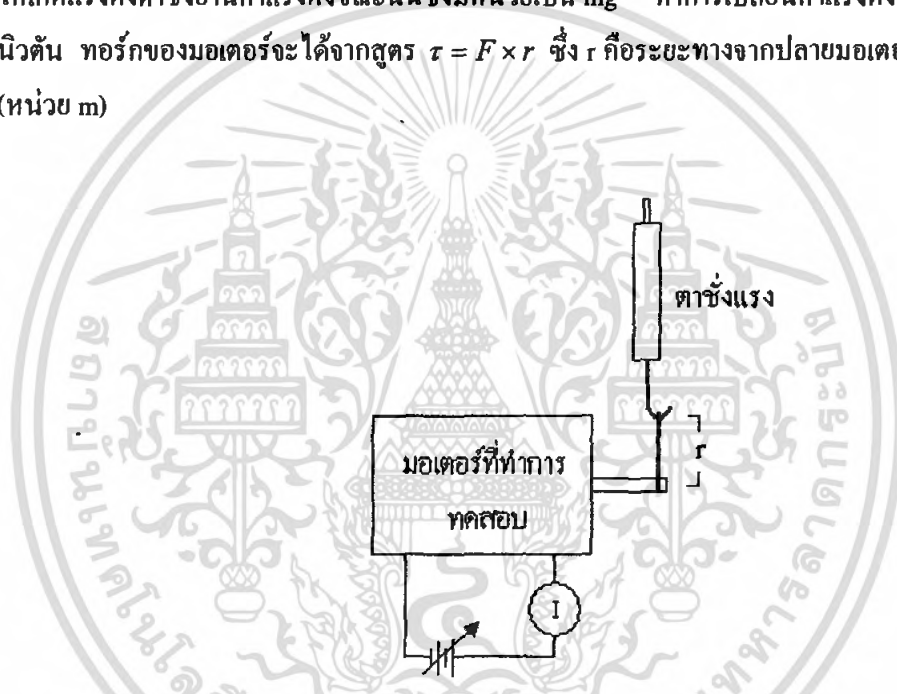
$$106.3 = 7392.1A + 9B \quad (2)$$

$$\text{แก้สมการจะได้ค่า } A = 0.0146$$

$$\therefore \text{ค่า } K_e \text{ ของมอเตอร์ BLDC มีค่าเท่ากับ } 0.0146 \frac{\text{volts}}{\text{rad/sec}}$$

4.5.4 การวัดค่าทอร์กคงที่ (torque constant ;Kt)

เราทำการป้อนโวลต์เตจค่าหนึ่ง เพื่อให้มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วคงที่ทำการวัดกระแสอาร์มเจอร์(Ia) ขณะนั้น และที่ปลายของมอเตอร์จะทำการผูกกับตาชั่งแรง เมื่อมอเตอร์หมุนจะทำให้เกิดแรงดึงตาชั่งอ่านค่าแรงดึงขณะนั้นซึ่งมีหน่วยเป็น mg ทำการเปลี่ยนค่าแรงดึงให้เป็นหน่วยนิวตัน ทอร์กของมอเตอร์จะได้จากสูตร $\tau = F \times r$ ซึ่ง r คือระยะทางจากปลายมอเตอร์ไปยังตาชั่ง (หน่วย m)



รูปที่ 4.14 การวัดค่าทอร์กคงที่ของมอเตอร์

เราหาค่าทอร์กคงที่ของมอเตอร์ได้จากความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$K_e = \frac{\tau}{I_a}$$

4.5.4.1 มอเตอร์กระแสตรง

ทำการป้อน V_{supply} แล้ววัดค่า I_a และแรงดึงของมอเตอร์จากตาชั่ง แต่เนื่องจากแรงดึงของตาชั่งมีหน่วยเป็น mg จึงทำการเปลี่ยนหน่วยให้เป็นนิวตัน

$$\text{จากสูตร} \quad F(\text{mg}) \times 9.81 = F(\text{N})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถคำนวณค่าทอร์กได้จาก $\tau = F \times r$; เมื่อ r มีระยะทางเท่ากับ 0.147 เมตร

ตารางที่ 4.9 ผลการวัดค่าต่างๆของมอเตอร์กระแสตรง เมื่อ $r = 0.147$ เมตร

V_{supply}	F(mg)	F(N)	I_a	τ	Kt
20	0.2	1.96	1.25	0.28812	0.2305
30	0.23	2.254	1.53	0.33134	0.2165
40	0.26	2.548	1.75	0.37456	0.2140
50	0.28	2.744	1.79	0.40337	0.2250
60	0.31	3.038	1.96	0.4456	0.2274

$$\sum xy = A \sum x^2 + B \sum x \quad (1)$$

$$\sum y = A \sum x + NB \quad (2)$$

เมื่อ $X = I_a$

$Y = \tau$

จะได้ $\sum XY = 3.11801$

$$\sum X^2 = 14.0116$$

$$\sum Y = 1.843$$

$$\sum X = 8.28$$

$$n = 5$$

แทนค่าลงในสมการที่ (1) และ (2)

$$3.118 = 14.0116A + 8.28B \quad (1)$$

$$1.843 = 8.28A + 5B \quad (2)$$

แก้สมการจะได้ค่า $A = 0.219$

\therefore ค่า K_t ของมอเตอร์กระแสตรงมีค่าเท่ากับ 0.219 Newton-meter/ampere

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.4.2 มอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน

เมื่อป้อน V_{supply} แล้ววัดค่า I_a และแรงดึงของมอเตอร์จากตาชั่ง แต่จะต้องเปลี่ยนแรงดึงให้เป็นหน่วยให้เป็นนิวตัน

$$\text{จากสูตร} \quad F(\text{mg}) \times 9.8 = F(\text{N})$$

สามารถคำนวณค่าทอร์กได้จาก $\tau = F \times r$; เมื่อ r มีระยะทางเท่ากับ 0.147 เมตร

ตารางที่ 4.10 ผลการวัดค่าต่างๆของมอเตอร์กระแสตรง เมื่อ $r = 0.147$ เมตร , ที่ตัวดีไซเคิล = 74%

V_{supply}	F (mg)	F (N)	I_a (A)	τ	Kt
15	0.34	3.332	2.05	0.4898	0.2389
20	0.37	3.626	2.28	0.5330	0.2338
25	0.41	4.018	2.59	0.5906	0.2281
30	0.47	4.606	3.06	0.6771	0.2213
35	0.54	5.292	3.42	0.7779	0.2275

$$\sum xy = A \sum x^2 + B \sum x \quad (1)$$

$$\sum y = A \sum x + NB \quad (2)$$

เมื่อ $X = I_a$
 $Y = \tau$

จะได้ $\sum XY = 8.48154$

$$\sum X^2 = 37.169$$

$$\sum Y = 3.0639$$

$$\sum X = 13.4$$

$$n = 5$$

แทนค่าลงในสมการที่ (1) และ (2)

$$8.48154 = 37.169A + 13.4B \quad (1)$$

$$8.48154 = 13.4A + 5B \quad (2)$$

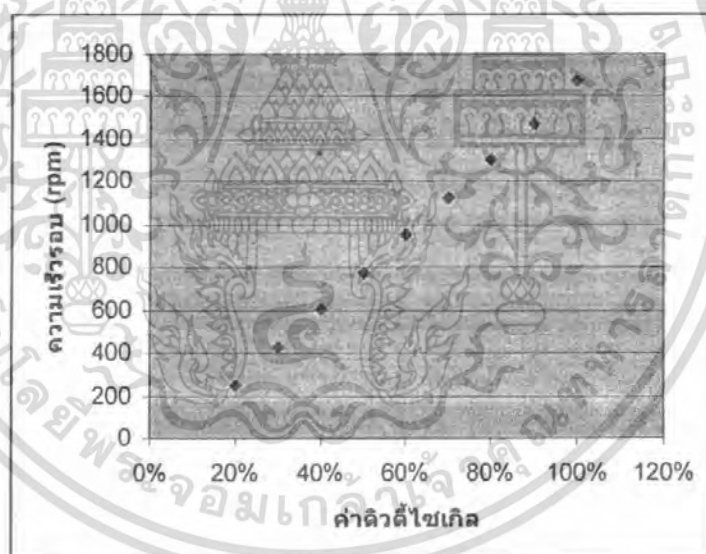
แก้สมการจะได้ค่า $A = 0.2212$

\therefore ค่า K_t ของมอเตอร์กระแสตรงมีค่าเท่ากับ 0.2212 Newton-meter/ampere

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ และค่าดีวีซีไอเกิลของมอเตอร์กระแสตรง

Duty Cycle	V_{av}	Ia	Egจากการ คำนวณ	ω จากการ คำนวณ(rpm)	ω จากการ วัด(rpm)	Ke
20%	4	0.06	2.6434	245.90	251.6	0.01051
30%	6	0.07	4.4173	410.91	425	0.01039
40%	8	0.07	6.4173	596.96	602.4	0.01065
50%	10	0.07	8.4173	783.00	774.6	0.01087
60%	12	0.08	10.1912	948.02	951.5	0.01071
70%	14	0.08	12.1912	1134.07	1124	0.01085
80%	16	0.08	14.1912	1320.11	1301.1	0.01091
90%	18	0.08	16.1912	1506.16	1473	0.01099
100%	20	0.08	18.1912	1692.20	1677.3	0.01085

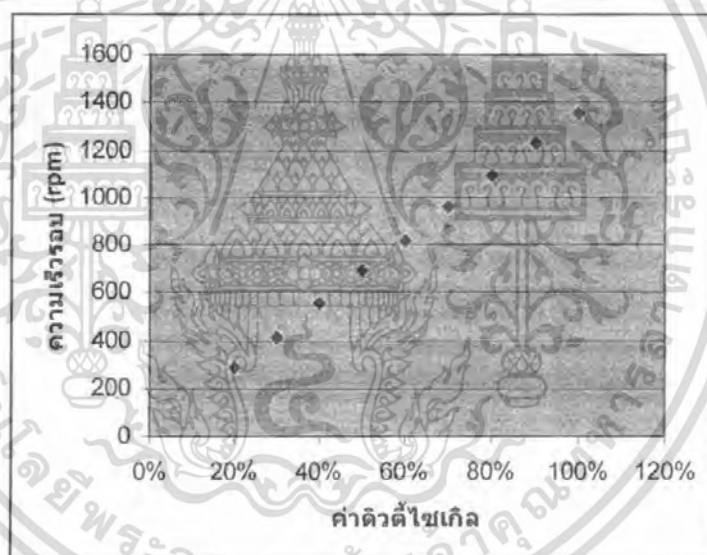


รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและค่าดีวีซีไอเกิลของมอเตอร์กระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 ผลการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ และค่าควิตซ์ไซเกิลของมอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน

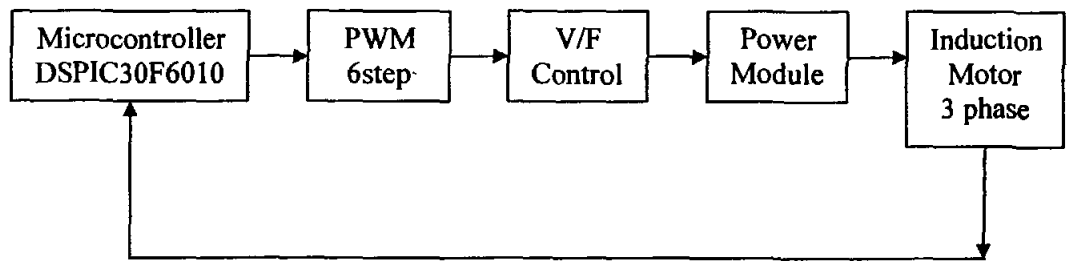
Duty Cycle	$V_{av}(V)$	$I_a(A)$	E_g จากการ คำนวณ	ω จากการ คำนวณ(rpm)	ω จากการ วัด(rpm)	K_e
20%	4	0.01	3.9585	271.13	284	0.0139
30%	6	0.02	5.917	405.27	415.6	0.0142
40%	8	0.03	7.8755	539.42	553	0.0142
50%	10	0.04	9.834	673.56	686.8	0.0143
60%	12	0.05	11.7925	807.71	813	0.0145
70%	14	0.05	13.7925	944.69	960.7	0.0144
80%	16	0.06	15.751	1078.84	1093	0.0144
90%	18	0.07	17.7095	1212.98	1229	0.0144
100%	20	0.08	19.668	1347.12	1357	0.0145



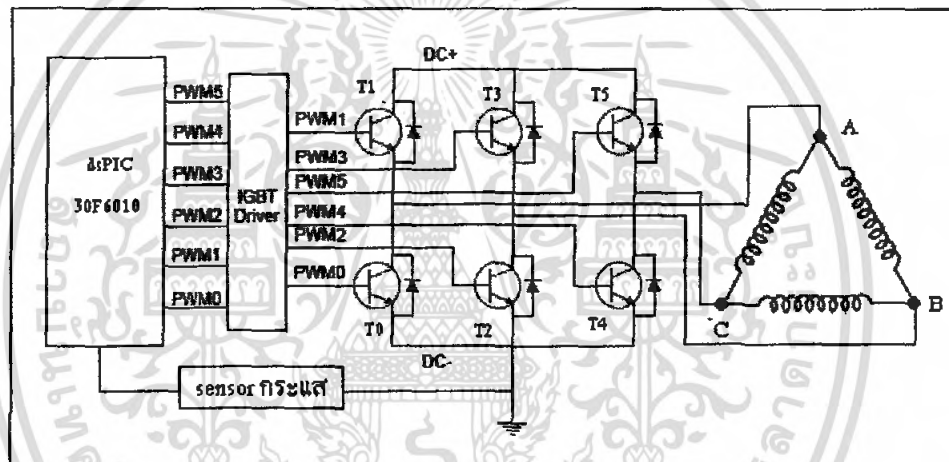
รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าควิตซ์ไซเกิลและความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การทดลองขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส



รูปที่ 4.17 แสดงบล็อกไดอะแกรมการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ



รูปที่ 4.18 แสดงไดอะแกรมการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ

4.6.1 ขั้นตอนการทดลอง

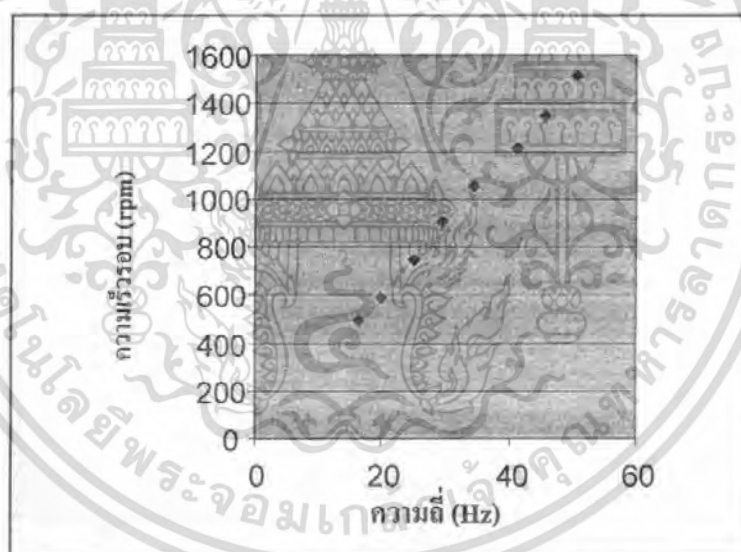
1. เนื่องจากหลักการเหนี่ยวนำที่มีความคล้ายคลึงกับมอเตอร์กระแสตรง แบบไม่มีแปรงถ่านจึงได้นำเทคนิคทางซอฟต์แวร์ของการขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่านมาประยุกต์ใช้ โดยการป้อนสัญญาณ 6 step ที่สามารถควบคุมความถี่ของแรงดันไฟฟ้า ด้วยค่าการหน่วงเวลา ระหว่างstepของการกระตุ้น เพื่อควบคุมความเร็วรอบให้ได้ตามต้องการในขั้นตอนแรกจึงป้อนแรงดันไฟฟ้าที่ 60 โวลต์โดยควบคุมความถี่เป็น 50 Hz เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดของความเร็วรอบและแรงบิด เมื่อใช้เทค โคมิเตอร์วัดความเร็วรอบพบว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำซึ่งต่อแบบเดลต้าหมุนด้วยความเร็วรอบ 1516 รอบต่อนาทีด้วยแรงบิดดีพอสมควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ที่ความถี่แรงดันไฟฟ้า 50 Hz ปรับเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้า พบว่าแรงบิดของมอเตอร์เปลี่ยนไปในลักษณะแปรผันตามค่าแรงดันไฟฟ้า แต่เมื่อเปลี่ยนค่าความถี่ให้ลดลงพบว่าความเร็วรอบลดลงตามแสดงผลดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.13 แสดงค่า ω ที่ความถี่ แรงดันไฟฟ้า 50 Hz

ครั้งที่ทำการทดลอง	ความถี่ที่อินพุต (Hz)	ω จากการคำนวณ(RPM)	ω จากการวัด(RPM)
1	50.6	1518	1516
2	45.64	1369.2	1348
3	41.14	1234.2	1215
4	34.5	1035	1054
5	29.7	891	901
6	25.2	756	748
7	20.0	600	589
8	16.4	492	489



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ω ที่ความถี่แรงดันไฟฟ้า 50 Hz

3. ทำการปรับปรุงเทคนิคทางซอฟต์แวร์ เพื่อให้สามารถเปลี่ยนความเร็วรอบและแรงบิดได้ด้วยตัวด้านทานปรับค่าได้ที่ต่ออยู่กับโมดูล A/D ของ dsPIC โดยควบคุมอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้า และความถี่แรงดันไฟฟ้า (V/F) ให้คงที่เพื่อรักษาประสิทธิภาพของความเร็วรอบและแรงบิดให้คงที่ ณ ขณะใดๆ และป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับมอเตอร์เมื่อมีกระแสไหลเข้าสู่มอเตอร์เกินพิกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากการทดลองใช้งานวงจรขับเคลื่อนอนกประสงค์ พร้อมซอฟต์แวร์ตัวอย่างที่ได้พัฒนาขึ้น ทำการขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรง มอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน และมอเตอร์เหนี่ยวนำ พบว่าสามารถขับเคลื่อนและควบคุมการทำงานในเบื้องต้นของมอเตอร์ทั้ง 3 ชนิดได้เช่น ความเร็วรอบ แรงบิด ทิศทางการหมุน รวมไปถึงการใช้เทคนิคการขับเคลื่อน เช่น การขับด้วยวิธี 6 step แบบวายซึ่งทำให้มอเตอร์กินกระแสต่ำ การกลับทิศทางการหมุน การชดเชยกำลังสูญเสีย การให้มอเตอร์เรียนรู้ตำแหน่งของฮอลล์เซ็นเซอร์ด้วยตนเอง จากผลการสังเกตขณะขับเคลื่อนพบว่ามอเตอร์ทั้ง 3 ชนิดสามารถหมุนได้อย่างเดินเรียบ(smooth) กินกระแสในหน่วยมิลลิแอมแปร์ในสถานะไม่มีโหลด อุณหภูมิต่ำ เสียงเงียบ รักษาแรงบิดและความเร็วรอบได้คงที่ซึ่งการได้ทดลองและเรียนรู้วิธีการเหล่านี้สามารถนำความรู้และประสบการณ์ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบควบคุมควบคุมมอเตอร์ต่างๆให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

5.2 ปัญหา

1. การขับเคลื่อนแบบเดลต้าสเตป (Delta Step) ทำให้มอเตอร์กินกระแสถึง 460 มิลลิแอมแปร์ในสถานะไม่มีโหลด
2. ขณะขับเคลื่อนมอเตอร์ด้วยความเร็วสูงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในวงจรขับเคลื่อน เช่น Gate Driver อาจเสียหายได้เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ใช้การขับเคลื่อนแบบสตาร์สเตป (Star Step) ทำให้มอเตอร์กินกระแสต่ำกว่าแบบเดลต้าสเตป (Delta Step) คือกินกระแสไม่เกิน 200 มิลลิแอมแปร์ในสถานะไม่มีโหลด
2. ติดตั้งตัวระบายความร้อนที่มีขนาดเหมาะสมต่อการระบายความร้อน Gate Driver

บรรณานุกรม

- [1] ธีวชัย อัดถวิบูลย์กุล “มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ(A.C. MOTORS)” ศูนย์ส่งเสริมอาชีพ; 2546
- [2] ผ.ศ.ศุภชัย สุรินทร์วงศ์ “อินตักซ์มอเตอร์ไฟฟ้าระบบไฟ 3 เฟส” สำนักพิมพ์ ศ.ศ.ท. ; 2544
- [3] ศิวะ หงษ์นภา “ระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ(วงจรภาคกำลัง)” สำนักพิมพ์ ศ.ศ.ท. ; 2543
- [4] ศิวะ หงษ์นภา “การควบคุมและการประยุกต์ใช้งานเอซีไดรฟ์” บริษัท ภูเก็ตวิลล่าไคร้คชั่น จำกัด ; 2547
- [5] ไชยชาญ หินเกิด “เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง (Direct current machines)” สำนักพิมพ์ ศ.ศ.ท. ; 2546
- [6] โยชิน เปรมปราชญ์ริชต์ “ระบบเซอร์โว และอิเล็กทรอนิกส์คอนโทรลมอเตอร์” สำนักพิมพ์ Japan International Cooperation Agency (JICA) ; 2533
- [7] T.Kenjo and S.Nagamori “ Permanent-Magnet and Brushless DC Motors” Oxford University Press ; 1985

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

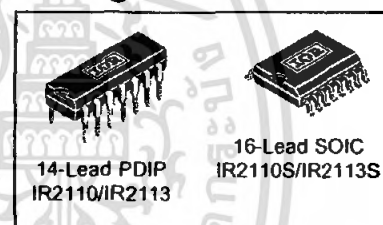
Product Summary

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.

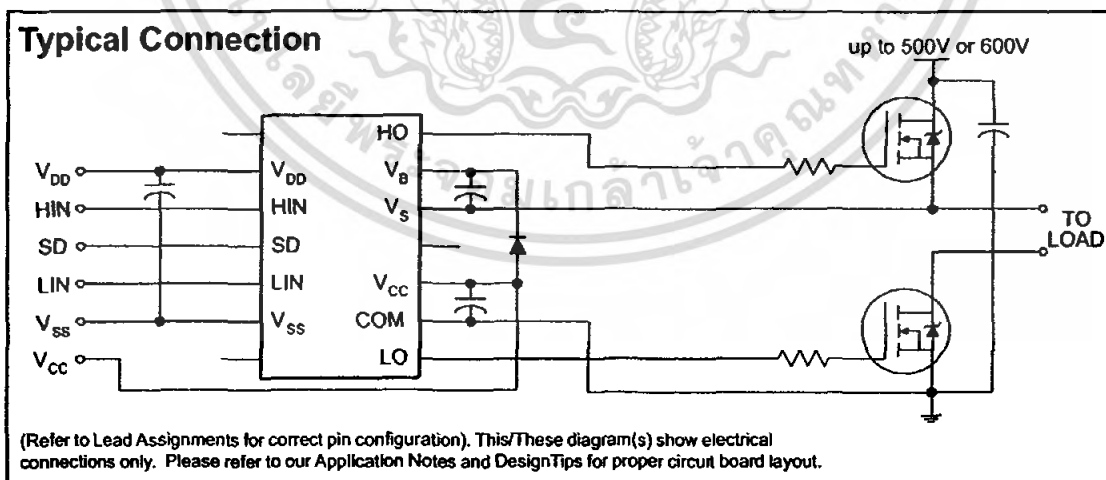
Description

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



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

International
IR Rectifier

Absolute Maximum Ratings

Absolute maximum ratings indicate sustained limits beyond which damage to the device may occur. All voltage parameters are absolute voltages referenced to COM. The thermal resistance and power dissipation ratings are measured under board mounted and still air conditions. Additional information is shown in Figures 28 through 35.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units	
V _B	High side floating supply voltage (IR2110)	-0.3	525	V	
	(IR2113)	-0.3	625		
V _S	High side floating supply offset voltage	V _B - 25	V _B + 0.3		
V _{HO}	High side floating output voltage	V _S - 0.3	V _B + 0.3		
V _{CC}	Low side fixed supply voltage	-0.3	25		
V _{LO}	Low side output voltage	-0.3	V _{CC} + 0.3		
V _{DD}	Logic supply voltage	-0.3	V _{SS} + 25		
V _{SS}	Logic supply offset voltage	V _{CC} - 25	V _{CC} + 0.3		
V _{IN}	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	V _{SS} - 0.3	V _{DD} + 0.3		
dV _S /dt	Allowable offset supply voltage transient (figure 2)	—	50		V/ns
P _D	Package power dissipation @ T _A ≤ +25°C	(14 lead DIP)	—	1.6	W
		(16 lead SOIC)	—	1.25	
R _{THJA}	Thermal resistance, junction to ambient	(14 lead DIP)	—	75	°C/W
		(16 lead SOIC)	—	100	
T _J	Junction temperature	—	150	°C	
T _S	Storage temperature	-55	150		
T _L	Lead temperature (soldering, 10 seconds)	—	300		

Recommended Operating Conditions

The input/output logic timing diagram is shown in figure 1. For proper operation the device should be used within the recommended conditions. The V_S and V_{SS} offset ratings are tested with all supplies biased at 15V differential. Typical ratings at other bias conditions are shown in figures 36 and 37.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units
V _B	High side floating supply absolute voltage	V _S + 10	V _S + 20	V
V _S	High side floating supply offset voltage (IR2110)	Note 1	500	
	(IR2113)	Note 1	600	
V _{HO}	High side floating output voltage	V _S	V _B	
V _{CC}	Low side fixed supply voltage	10	20	
V _{LO}	Low side output voltage	0	V _{CC}	
V _{DD}	Logic supply voltage	V _{SS} + 3	V _{SS} + 20	
V _{SS}	Logic supply offset voltage	-5 (Note 2)	5	
V _{IN}	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	V _{SS}	V _{DD}	
T _A	Ambient temperature	-40	125	°C

Note 1: Logic operational for V_S of -4 to +500V. Logic state held for V_S of -4V to -V_B. (Please refer to the Design Tip DT97-3 for more details).

Note 2: When V_{DD} < 5V, the minimum V_{SS} offset is limited to -V_{DD}.

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

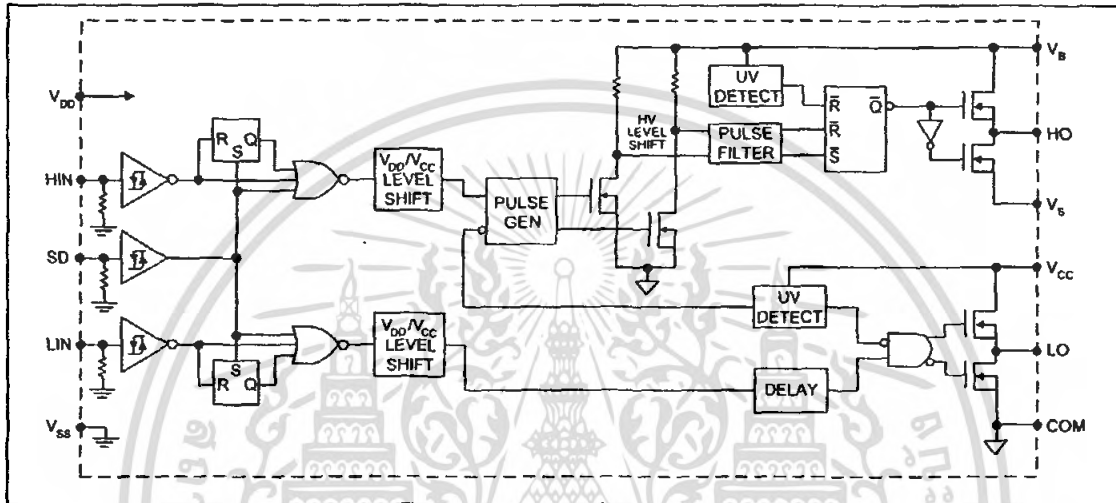
V_{BIAS} (V_{CC} , V_{BS} , V_{DD}) = 15V, T_A = 25°C and V_{SS} = COM unless otherwise specified. The V_{IH} , V_{TH} and I_{IN} parameters are referenced to V_{SS} and are applicable to all three logic input leads: HIN, LIN and SD. The V_O and I_O parameters are referenced to COM and are applicable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

International
IR Rectifier

Functional Block Diagram

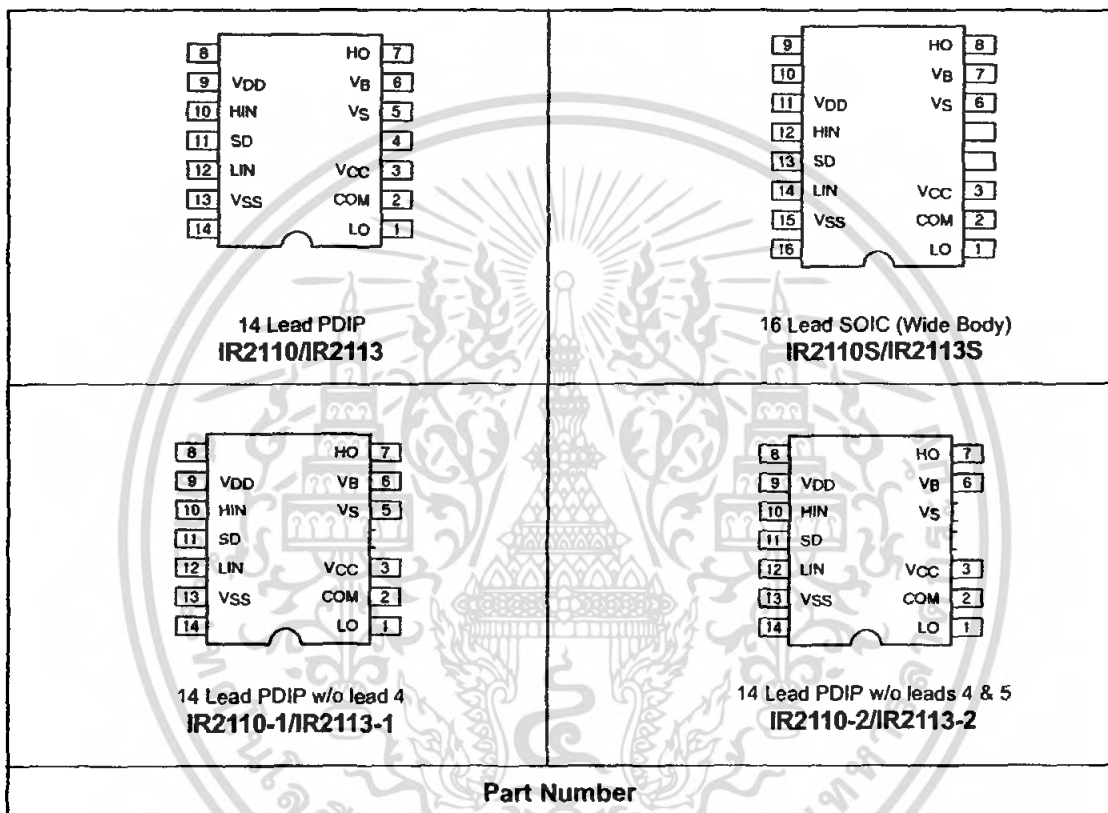


Lead Definitions

Symbol	Description
V _{DD}	Logic supply
HIN	Logic input for high side gate driver output (HO), in phase
SD	Logic input for shutdown
LIN	Logic input for low side gate driver output (LO), in phase
V _{SS}	Logic ground
V _B	High side floating supply
HO	High side gate drive output
V _S	High side floating supply return
V _{CC}	Low side supply
LO	Low side gate drive output
COM	Low side return

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Lead Assignments



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

International
IR Rectifier

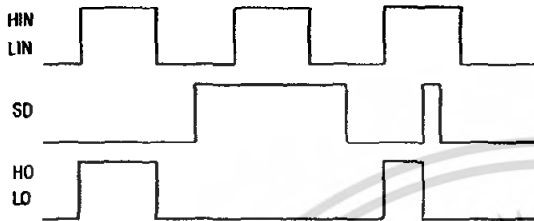


Figure 1. Input/Output Timing Diagram

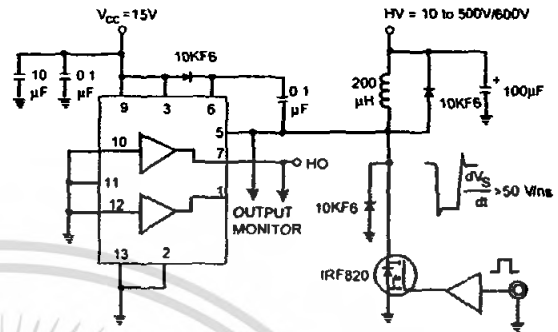


Figure 2. Floating Supply Voltage Transient Test Circuit

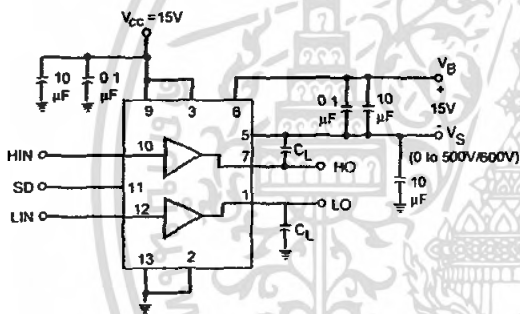


Figure 3. Switching Time Test Circuit

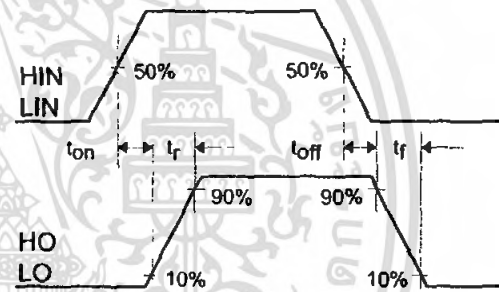


Figure 4. Switching Time Waveform Definition

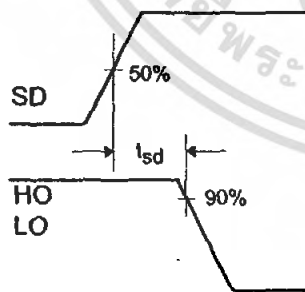


Figure 5. Shutdown Waveform Definitions

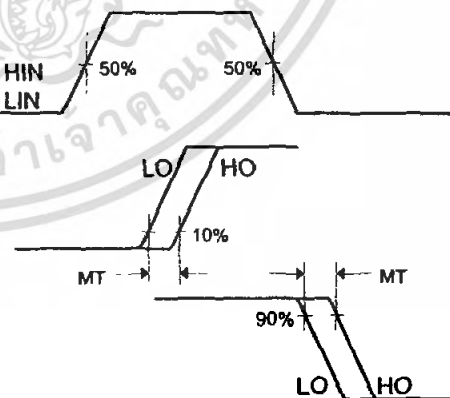


Figure 6. Delay Matching Waveform Definitions

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

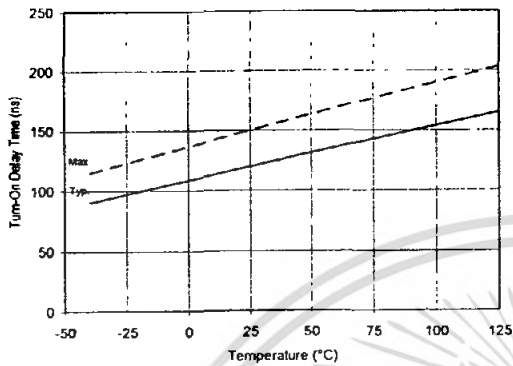


Figure 7A. Turn-On Time vs. Temperature

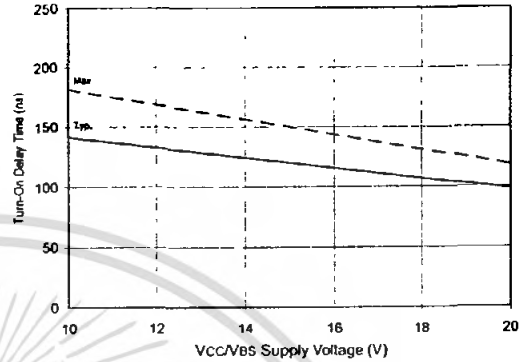


Figure 7B. Turn-On Time vs. Vcc/Vs Supply Voltage

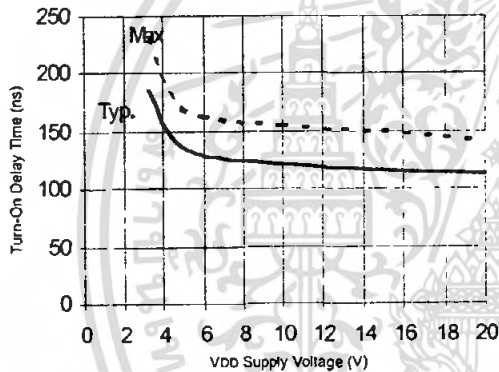


Figure 7C. Turn-On Time vs. VDD Supply Voltage

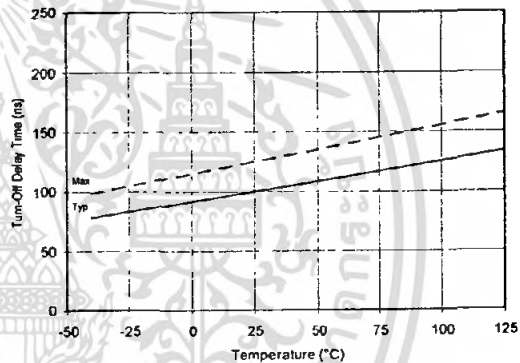


Figure 8A. Turn-Off Time vs. Temperature

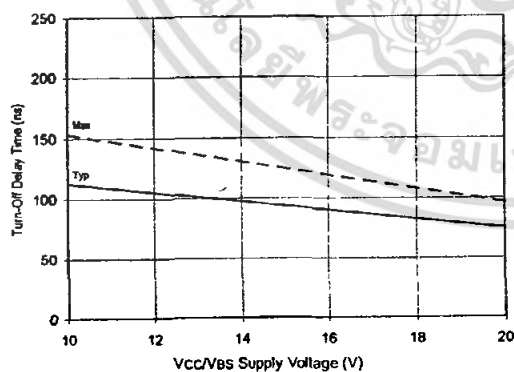


Figure 8B. Turn-Off Time vs. Vcc/Vs Supply Voltage

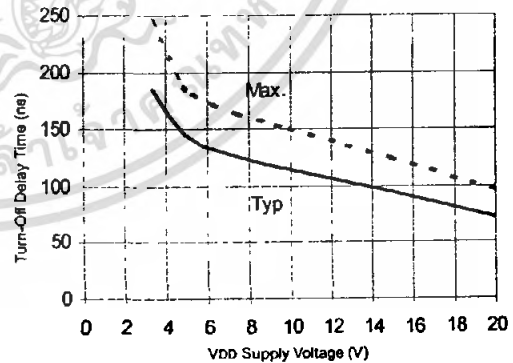


Figure 8C. Turn-Off Time vs. VDD Supply Voltage

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

International
IR Rectifier

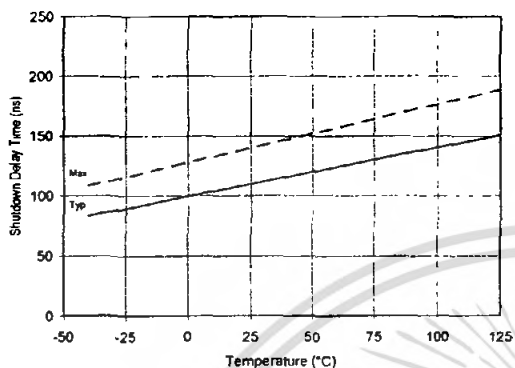


Figure 9A. Shutdown Time vs. Temperature

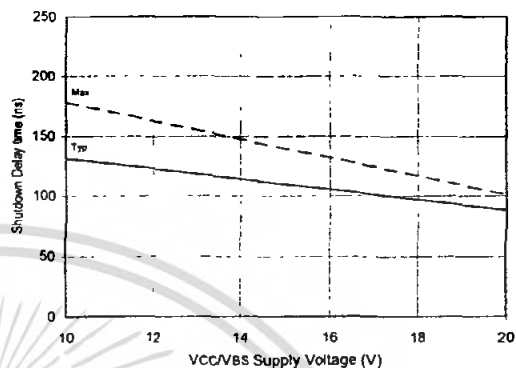


Figure 9B. Shutdown Time vs. Vcc/Vas Supply Voltage

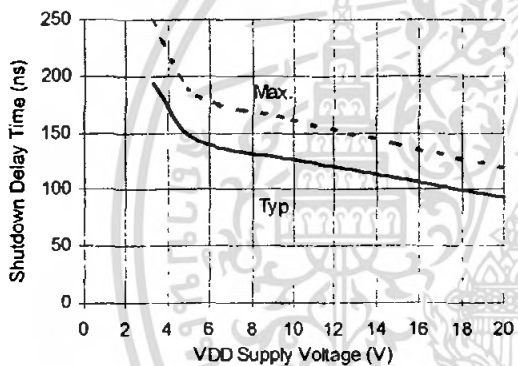


Figure 9C. Shutdown Time vs. VDD Supply Voltage

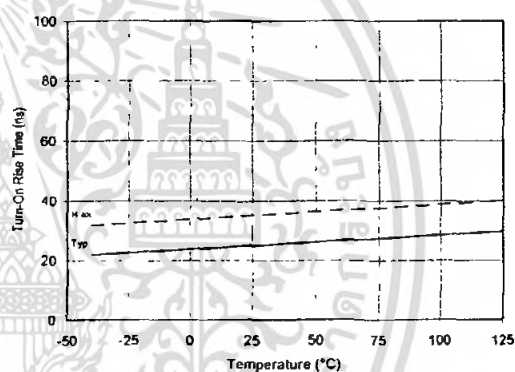


Figure 10A. Turn-On Rise Time vs. Temperature

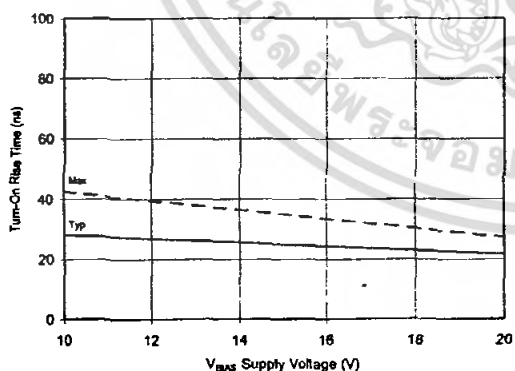


Figure 10B. Turn-On Rise Time vs. Voltage

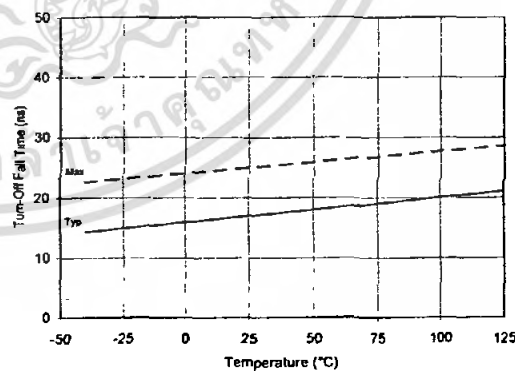


Figure 11A. Turn-Off Fall Time vs. Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

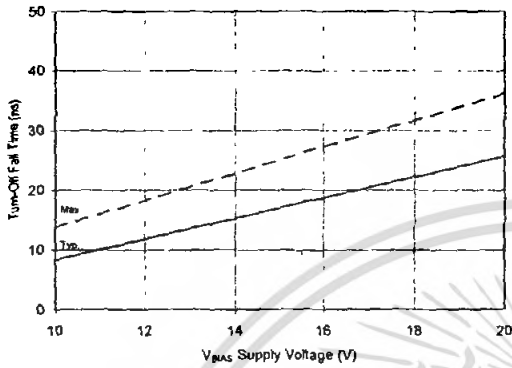


Figure 11B. Turn-Off Fall Time vs. Voltage

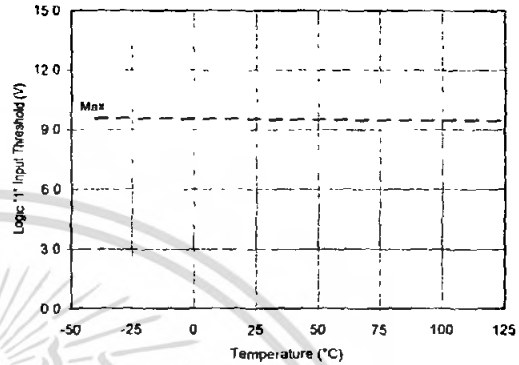


Figure 12A. Logic "1" Input Threshold vs. Temperature

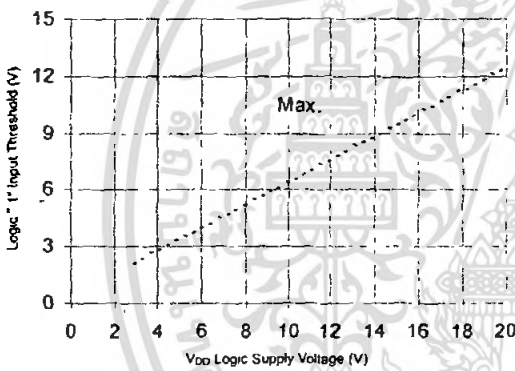


Figure 12B. Logic "1" Input Threshold vs. Voltage

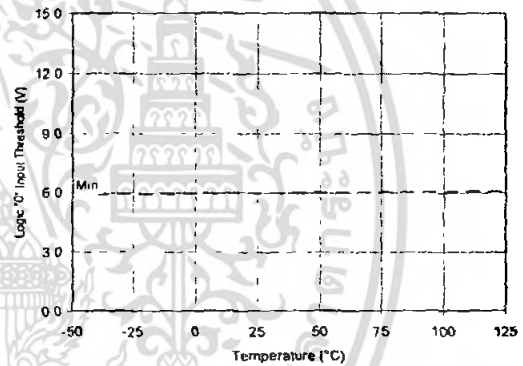


Figure 13A. Logic "0" Input Threshold vs. Temperature

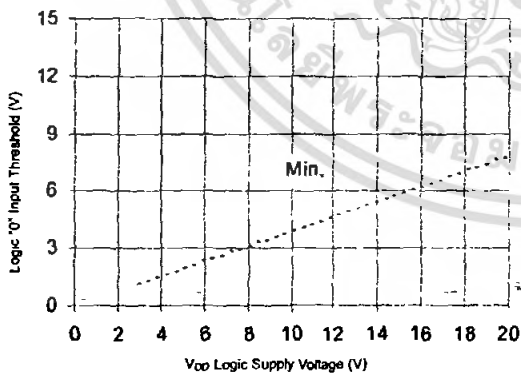


Figure 13B. Logic "0" Input Threshold vs. Voltage

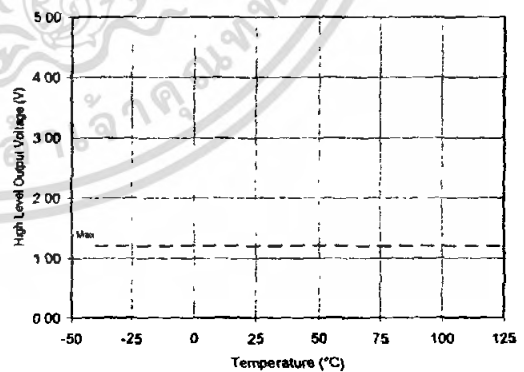


Figure 14A. High Level Output vs. Temperature

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

International
IR Rectifier

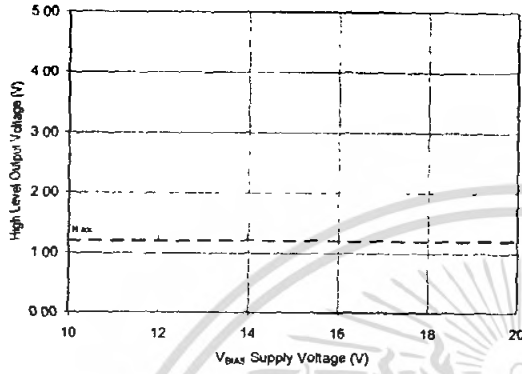


Figure 14B. High Level Output vs. Voltage

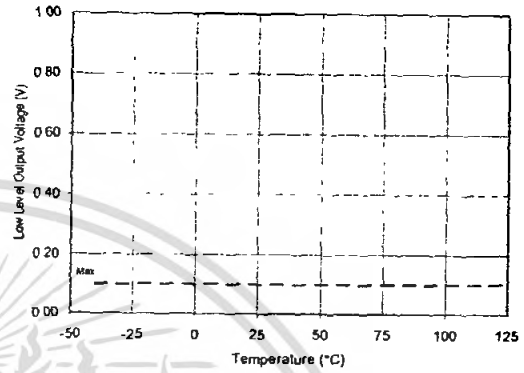


Figure 15A. Low Level Output vs. Temperature

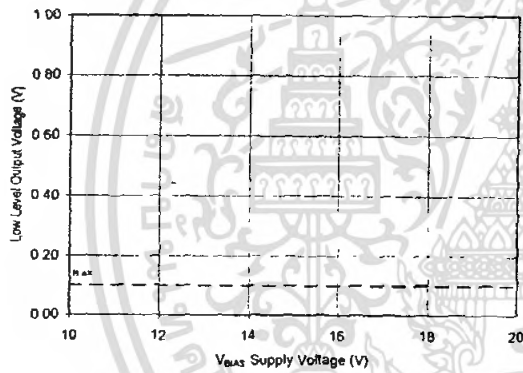


Figure 15B. Low Level Output vs. Voltage

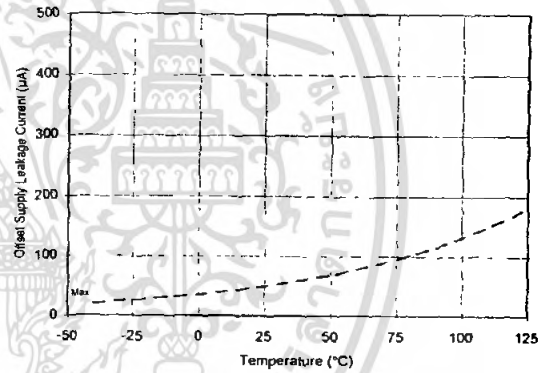


Figure 16A. Offset Supply Current vs. Temperature

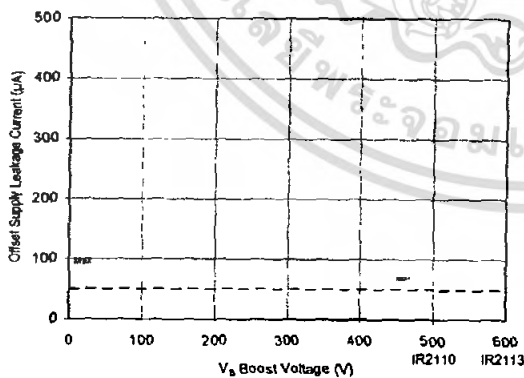


Figure 16B. Offset Supply Current vs. Voltage

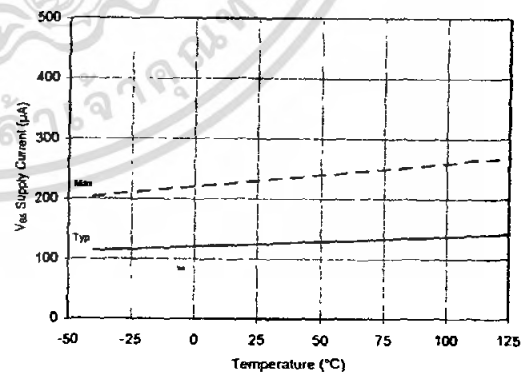


Figure 17A. VBS Supply Current vs. Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

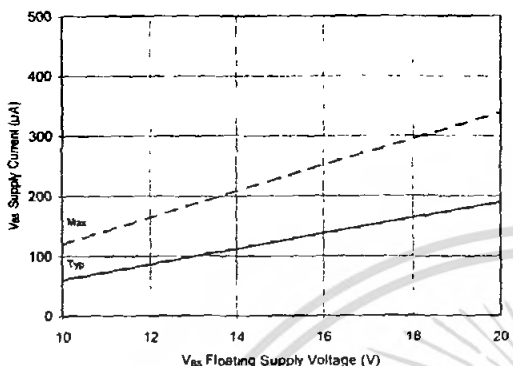


Figure 17B. V_{BS} Supply Current vs. Voltage

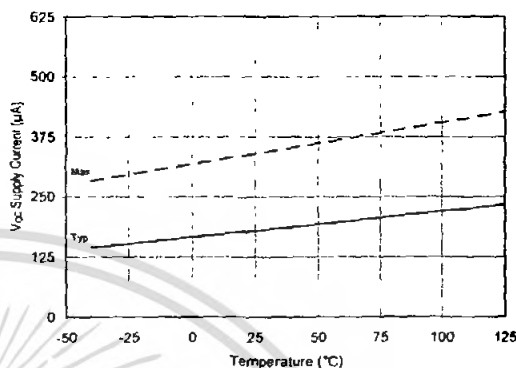


Figure 18A. V_{CC} Supply Current vs. Temperature

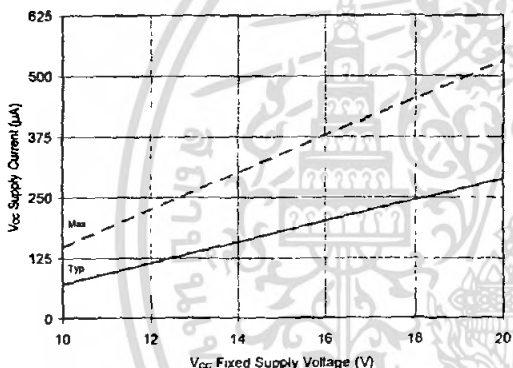


Figure 18B. V_{CC} Supply Current vs. Voltage

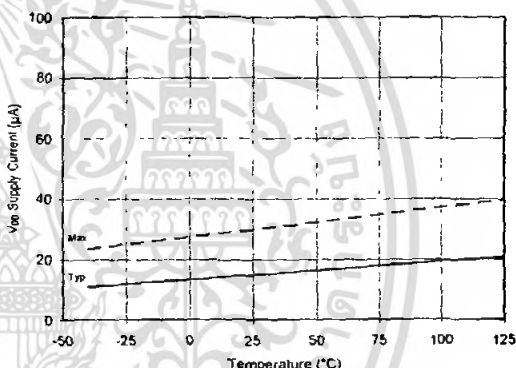


Figure 19A. V_{DD} Supply Current vs. Temperature

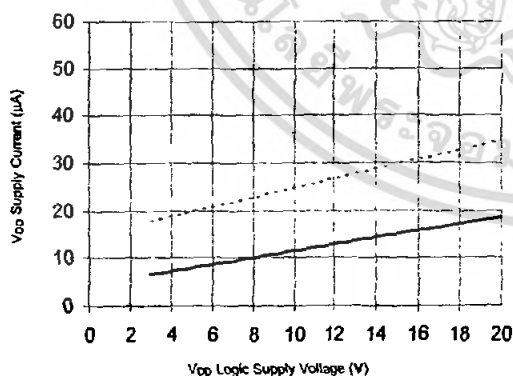


Figure 19B. V_{DD} Supply Current vs. V_{DD} Voltage

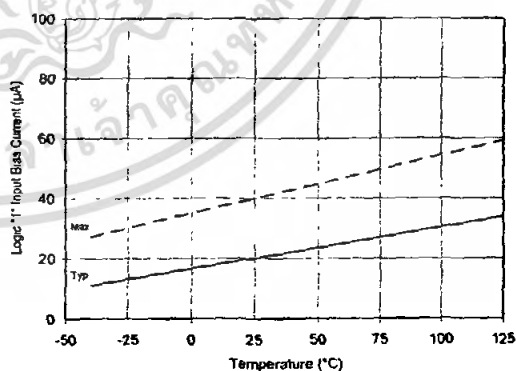


Figure 20A. Logic "1" Input Current vs. Temperature

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

International
IOR Rectifier

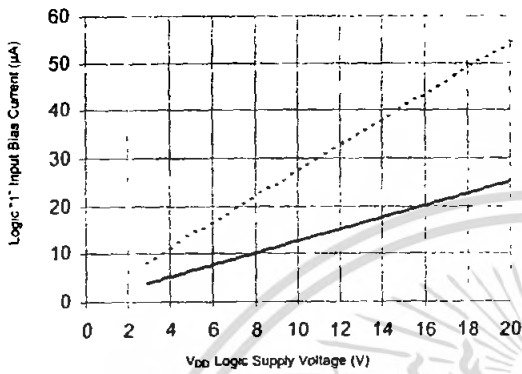


Figure 20B. Logic "1" Input Current vs. V_{DD} Voltage

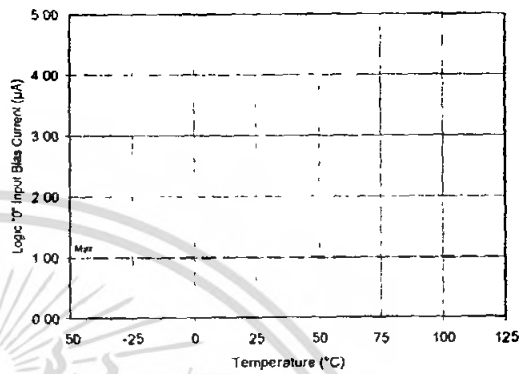


Figure 21A. Logic "0" Input Current vs. Temperature

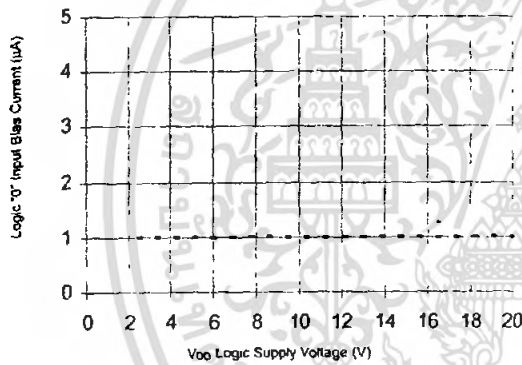


Figure 21B. Logic "0" Input Current vs. V_{DD} Voltage

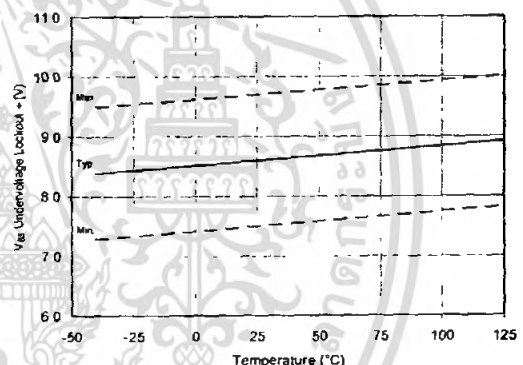


Figure 22. V_{BS} Undervoltage (+) vs. Temperature

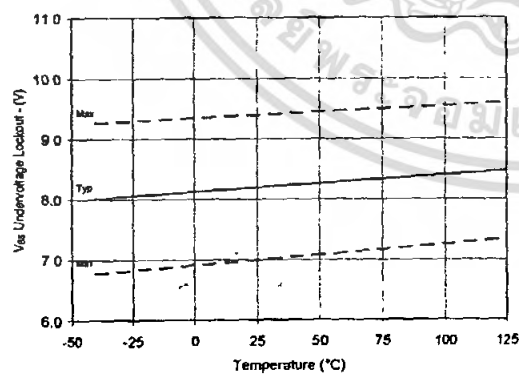


Figure 23. V_{BS} Undervoltage (-) vs. Temperature

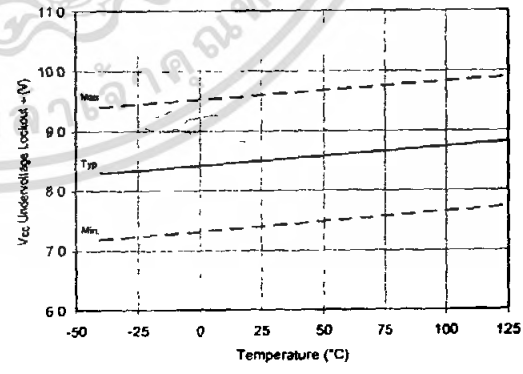


Figure 24. V_{CC} Undervoltage (+) vs. Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

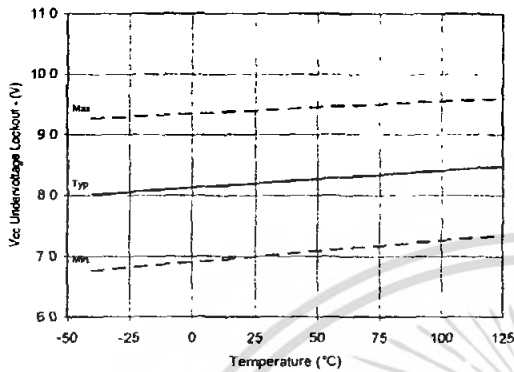


Figure 25. Vcc Undervoltage (-) vs. Temperature

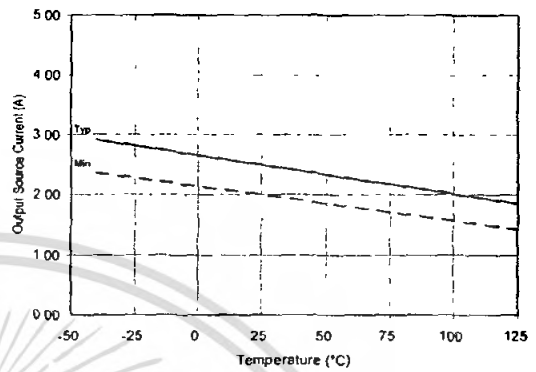


Figure 26A. Output Source Current vs. Temperature

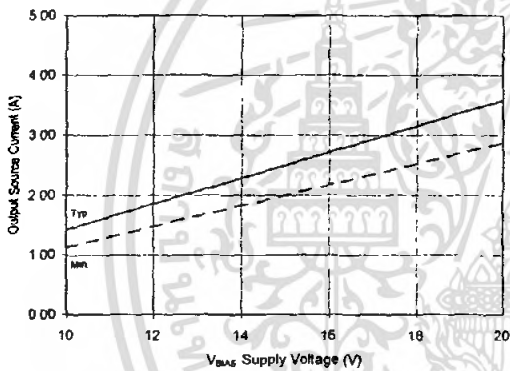


Figure 26B. Output Source Current vs. Voltage

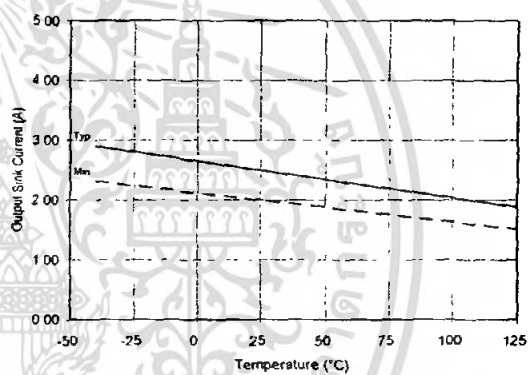


Figure 27A. Output Sink Current vs. Temperature

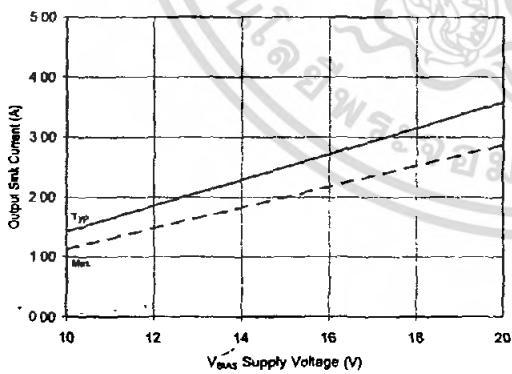


Figure 27B. Output Sink Current vs. Voltage

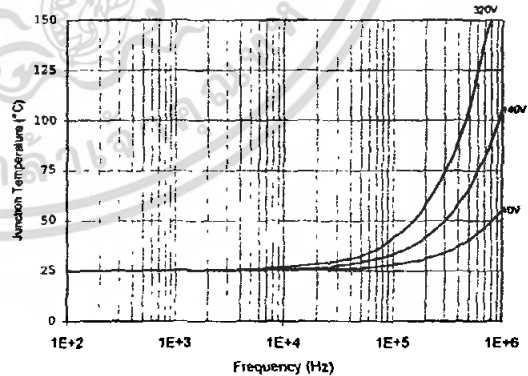


Figure 28. IR2110/IR2113 T_J vs. Frequency (IRFBC20) $R_{GATE} = 33\Omega$, $V_{CC} = 15V$

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

International
IR Rectifier

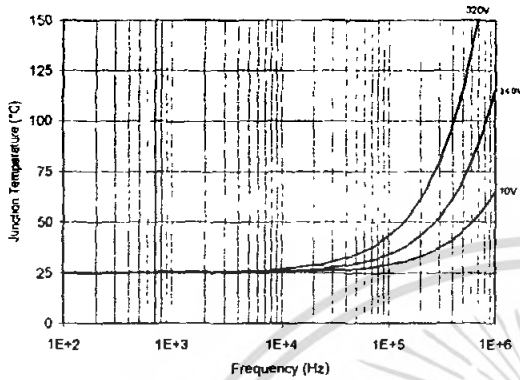


Figure 29. IR2110/IR2113 T_J vs. Frequency (IRFBC30) $R_{GATE} = 22\Omega$, $V_{CC} = 15V$

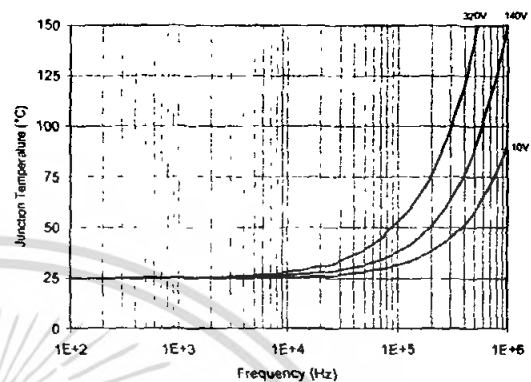


Figure 30. IR2110/IR2113 T_J vs. Frequency (IRFBC40) $R_{GATE} = 15\Omega$, $V_{CC} = 15V$

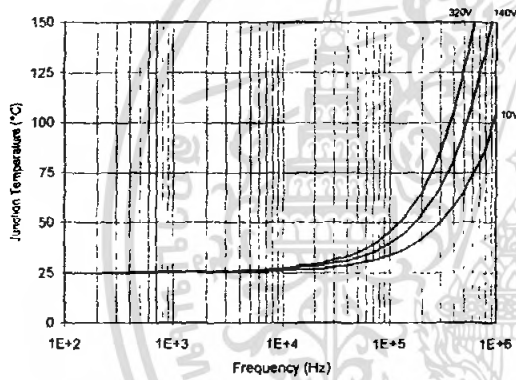


Figure 31. IR2110/IR2113 T_J vs. Frequency (IRFPE50) $R_{GATE} = 10\Omega$, $V_{CC} = 15V$

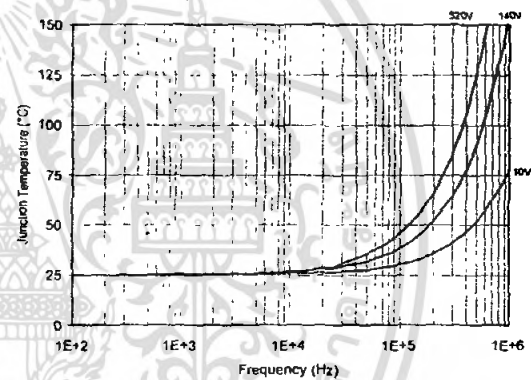


Figure 32. IR2110S/IR2113S T_J vs. Frequency (IRFBC20) $R_{GATE} = 33\Omega$, $V_{CC} = 15V$

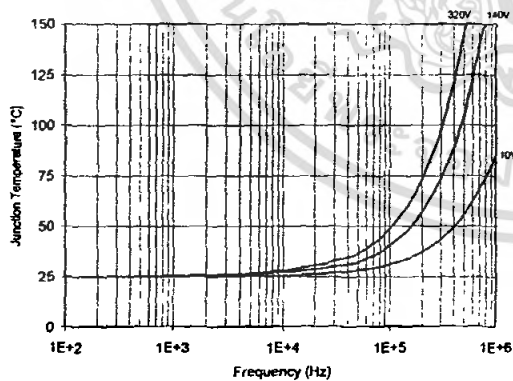


Figure 33. IR2110S/IR2113S T_J vs. Frequency (IRFBC30) $R_{GATE} = 22\Omega$, $V_{CC} = 15V$

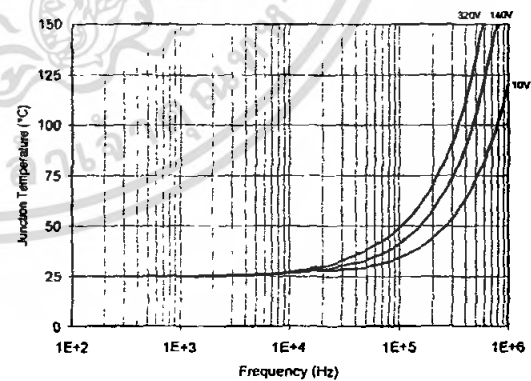


Figure 34. IR2110S/IR2113S T_J vs. Frequency (IRFBC40) $R_{GATE} = 15\Omega$, $V_{CC} = 15V$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

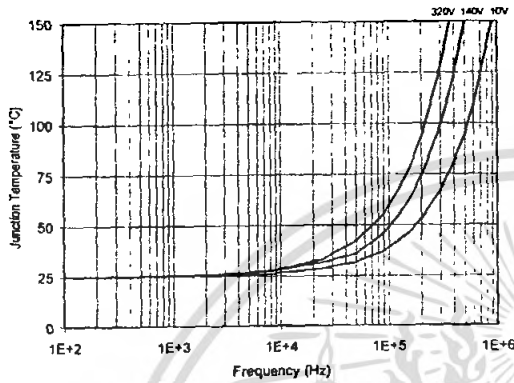


Figure 35. IR2110S/IR2113S T_j vs. Frequency (IRFP50) $R_{GATE} = 10\Omega$, $V_{CC} = 15V$

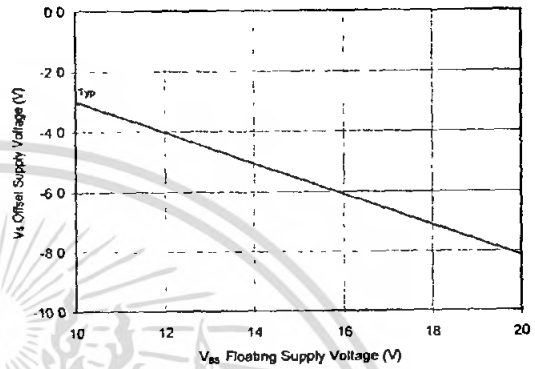


Figure 36. Maximum V_s Negative Offset vs. V_{SS} Supply Voltage

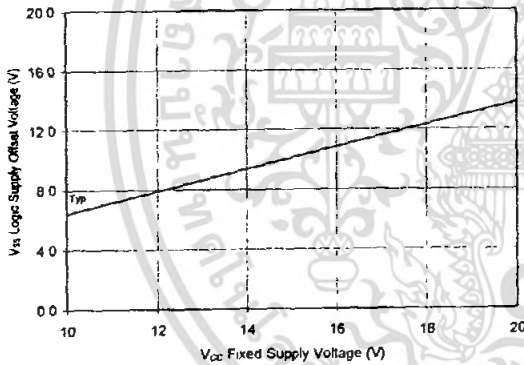
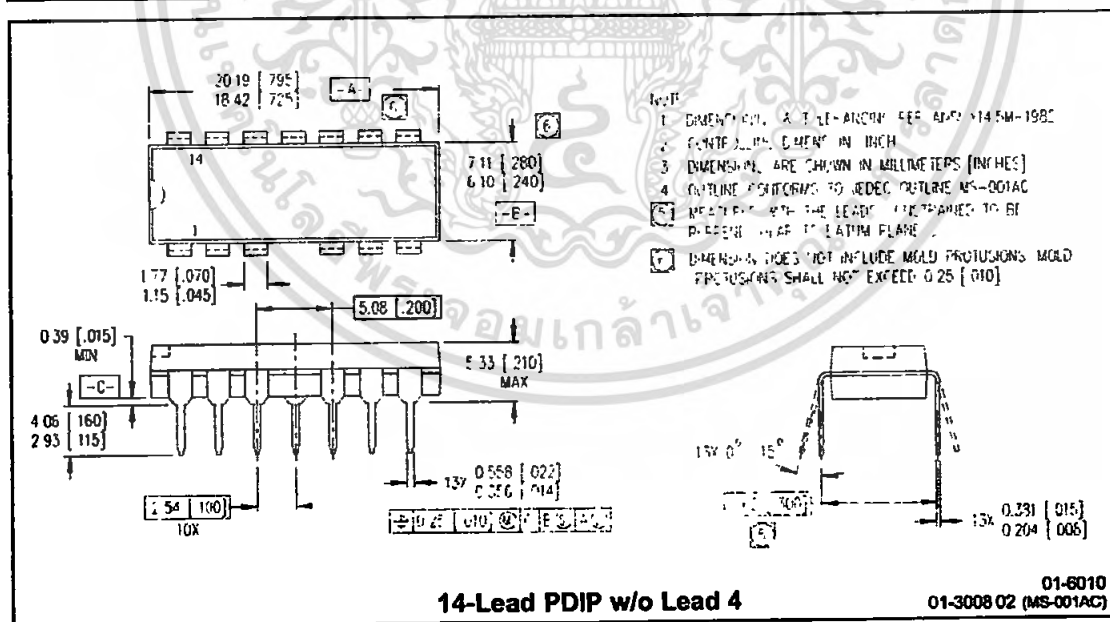
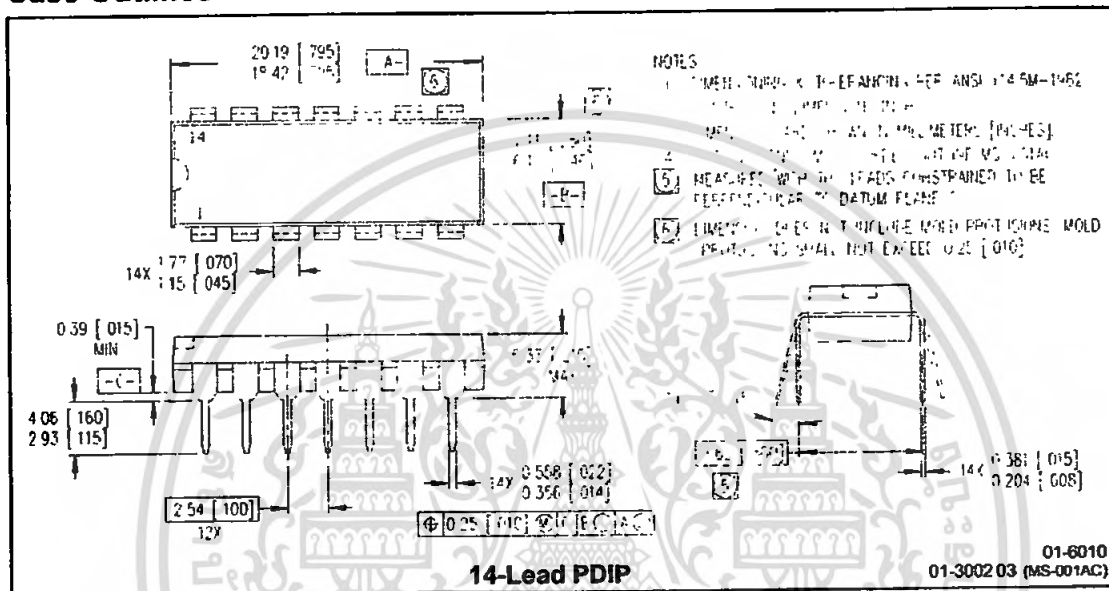


Figure 37. Maximum V_{SS} Positive Offset vs. V_{CC} Supply Voltage

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

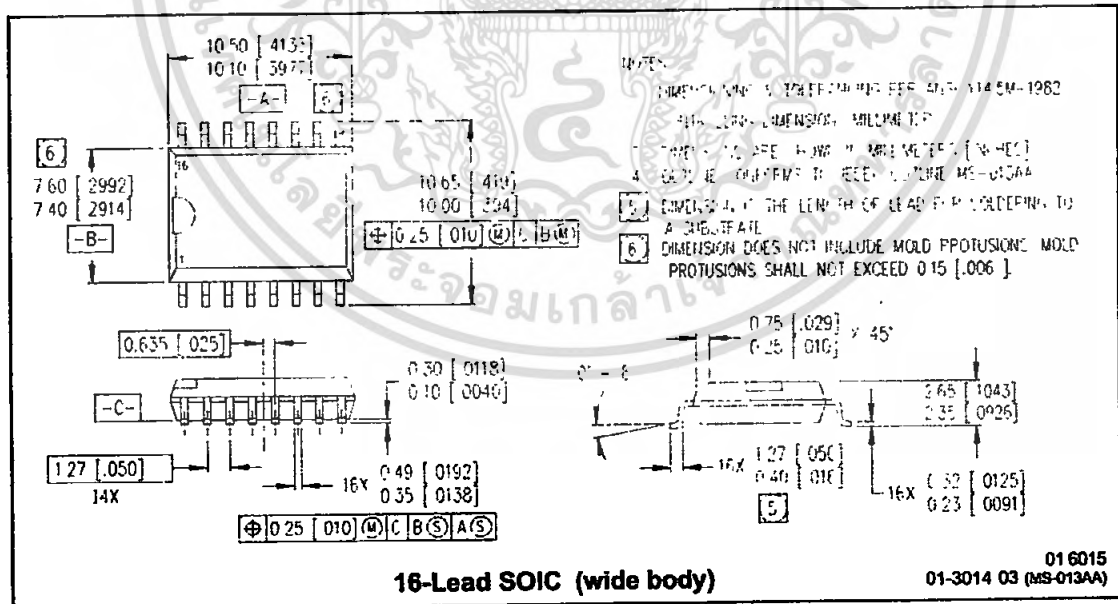
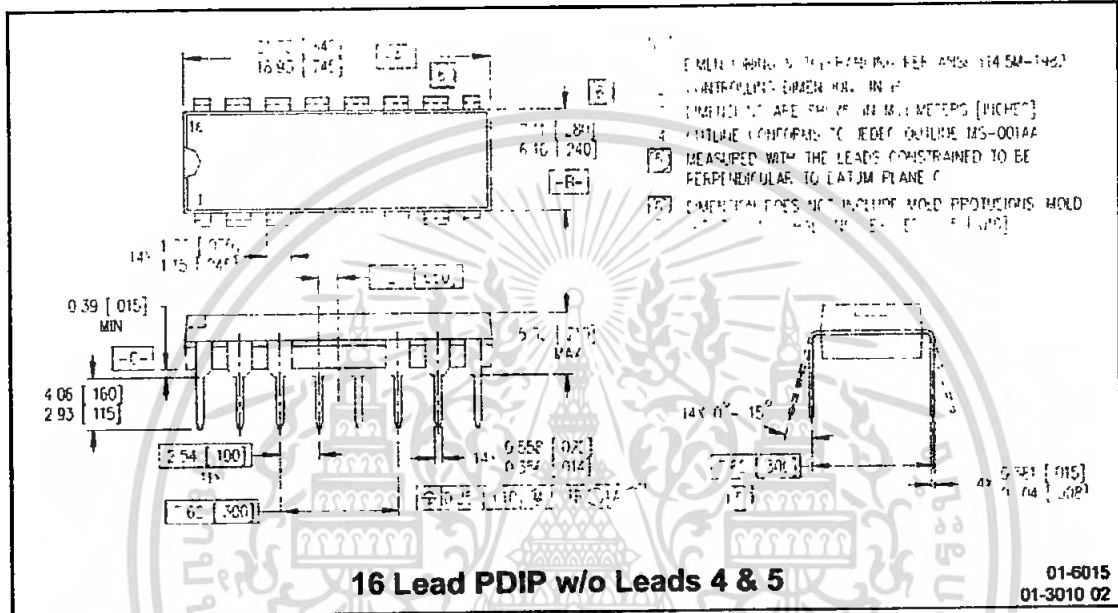
International
IR Rectifier

Case Outlines



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



ACS706ELC-05C

Bidirectional 1.5 mΩ Hall Effect Based Linear Current Sensor with Voltage Isolation and 15 A Dynamic Range

Package LC



Pins 6 and 7 are internally connected in shipping product. For compatibility with future devices, leave pin 6 floating.

Nominal Operating Temperature, T_A

Range E..... -40 to 85°C

Overcurrent Transient Tolerance*, I_P 60 A

*100 total pulses, 250 ms duration each, applied at a rate of 1 pulse every 100 seconds.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage, V_{CC} 16 V

Reverse Supply Voltage, V_{RCC} -16 V

Output Voltage, V_{OUT} 16 V

Reverse Output Voltage, V_{ROUT} -0.1 V

Output Current Source, $I_{OUT(SOURCE)}$ 3 mA

Output Current Sink, $I_{OUT(SINK)}$ 10 mA

Maximum Transient Sensed Current*, $I_{R(max)}$ 100 A

Operating Temperature,

Maximum Junction, $T_{J(max)}$ 165°C

Storage Temperature, T_S -65 to 170°C

Junction Temperature, $T_J < T_{J(max)}$



TÜV America

Certificate Number:

UBV 04 12 54214 005

The Allegro ACS706 family of current sensors provides economical and precise solutions for current sensing in industrial, automotive, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switched-mode power supplies, and overcurrent fault protection.

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

The output of the device has a positive slope ($>V_{CC}/2$) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from pins 1 and 2, to pins 3 and 4), which is the path used for current sensing. The internal resistance of this conductive path is typically 1.5 mΩ, providing low power loss. The thickness of the copper conductor allows survival of the device at up to 5× overcurrent conditions. The terminals of the conductive path are electrically isolated from the sensor leads (pins 5 through 8). This allows the ACS706 family of sensors to be used in applications requiring electrical isolation without the use of opto-isolators or other costly isolation techniques.

The ACS706 is provided in a small, surface mount SOIC8 package. The leadframe is plated with 100% matte tin, which is compatible with standard lead (Pb) free printed circuit board assembly processes. Internally, the flip-chip uses high-temperature Pb-based solder balls, currently exempt from RoHS. The device is fully calibrated prior to shipment from the factory.

Features and Benefits

- Small footprint, low-profile SOIC8 package
- 1.5 mΩ internal conductor resistance
- Excellent replacement for sense resistors
- 1600 V_{RMS} minimum isolation voltage between pins 1-4 and 5-8
- 4.5 to 5.5 V, single supply operation
- 50 kHz bandwidth
- 133 mV/A output sensitivity and 15 A dynamic range
- Output voltage proportional to ac and dc currents
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Near-zero magnetic hysteresis
- Ratiometric output from supply voltage

Use the following complete part number when ordering:

Part Number	Package
ACS706ELC-05C	SOIC8 surface mount

ACS706ELC05C-DS, Rev. 1

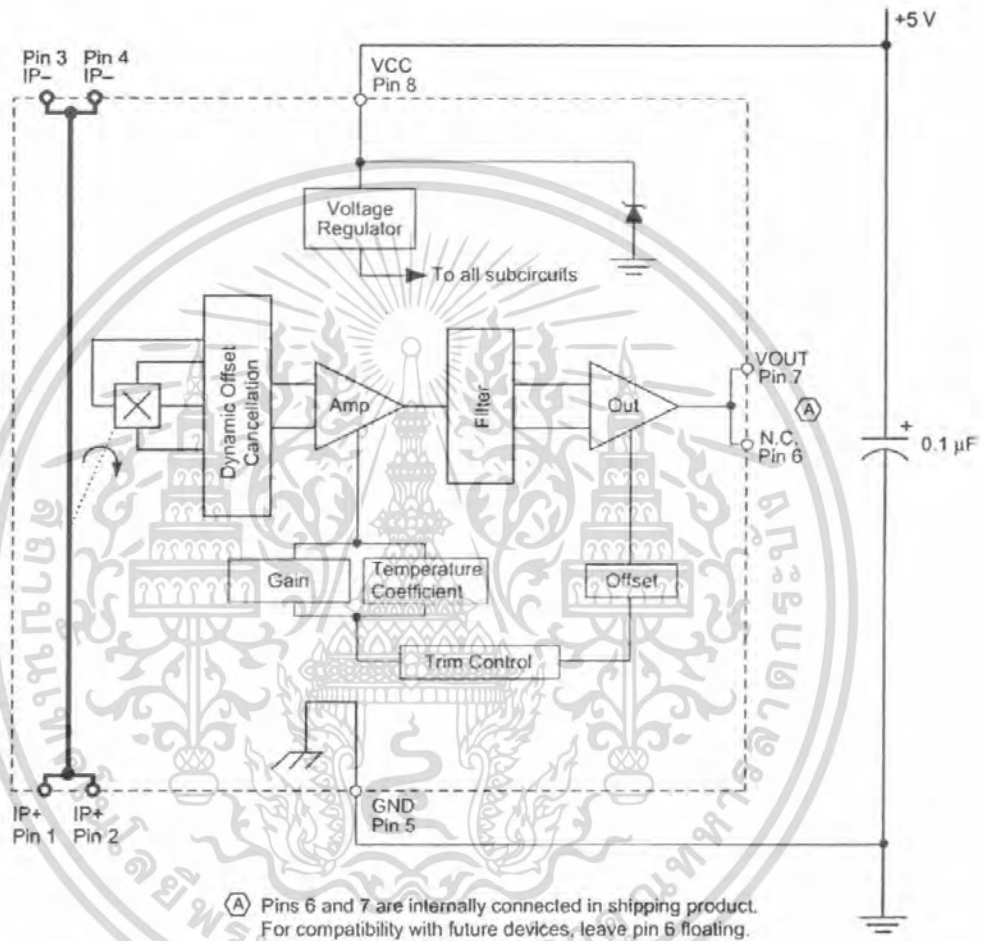


115 Northeast Cutoff, Box 15035
Worcester, Massachusetts 01615-0035 (508) 853-5000
www.allegromicro.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACS706ELC-05C

Functional Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACS706ELC-05C

OPERATING CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
ELECTRICAL CHARACTERISTICS , over operating ambient temperature range unless otherwise specified						
Optimized Accuracy Range	I_P		-5	-	5	A
Linear Sensing Range	I_R		-15	-	15	A
Supply Voltage	V_{CC}		4.5	5.0	5.5	V
Supply Current	I_{CC}	$V_{CC} = 5.0$ V, output open	5	8	10	mA
Output Resistance	R_{OUT}	$I_{OUT} = 1.2$ mA	-	1	2	Ω
Output Capacitance Load	C_{LOAD}	VOUT to GND	-	-	10	nF
Output Resistive Load	R_{LOAD}	VOUT to GND	4.7	-	-	k Ω
Primary Conductor Resistance	$R_{PRIMARY}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	-	1.5	-	m Ω
RMS Isolation Voltage	V_{ISORMS}	Pins 1-4 and 5-8; 60 Hz, 1 minute	1600	2500	-	V
DC Isolation Voltage	V_{ISODC}		-	5000	-	V
PERFORMANCE CHARACTERISTICS , over operating ambient temperature range, unless otherwise specified						
Propagation Time	t_{PROP}	$I_P = \pm 5$ A, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	3.15	-	μs
Response Time	$t_{RESPONSE}$	$I_P = \pm 5$ A, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	6	-	μs
Rise Time	t_r	$I_P = \pm 5$ A, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	7.45	-	μs
Frequency Bandwidth	f	-3 dB, $T_A = 25^\circ\text{C}$; I_P is 10 A peak-to-peak; no external filter	-	50	-	kHz
Sensitivity	Sens	Over full range of I_P , I_P applied for 5 ms; $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	133	-	mV/A
		Over full range of I_P , I_P applied for 5 ms	124	-	142	mV/A
Noise	V_{NOISE}	Peak-to-peak, $T_A = 25^\circ\text{C}$, no external filter	-	90	-	mV
		Root Mean Square, $T_A = 25^\circ\text{C}$, no external filter	-	16	-	mV
Linearity	E_{LIN}	Over full range of I_P , I_P applied for 5 ms	-	± 1	± 4.7	%
Symmetry	E_{SYM}	Over full range of I_P , I_P applied for 5 ms	-98	100	104.5	%
Zero Current Output Voltage	$V_{OUT(0)}$	$I_P = 0$ A, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	$V_{CC}/2$	-	V
Electrical Offset Voltage	V_{OE}	$I_P = 0$ A, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-15	-	15	mV
		$I_P = 0$ A	-65	-	65	mV
Magnetic Offset Error	I_{ERRORM}	$I_P = 0$ A, after excursion of 5 A	-	± 0.01	± 0.05	A
Total Output Error ¹	E_{TOT}	$I_P = \pm 5$ A, I_P applied for 5 ms; $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	± 1.5	-	%
		$I_P = \pm 5$ A, I_P applied for 5 ms	-	-	± 12.5	%
THERMAL CHARACTERISTICS ^{2,3} , $T_A = -40^\circ\text{C}$ to 125°C , $V_{CC} = 5$ V unless otherwise specified						
			-	Value	-	Units
Junction-to-Lead Thermal Resistance	$R_{\theta JL}$	Mounted on the Allegro ASEK 70x evaluation board; additional information about reference boards and tests is available on the Allegro Web site	-	5	-	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Junction-to-Ambient Thermal Resistance	$R_{\theta JA}$	Mounted on the Allegro ASEK 70x evaluation board; additional information about reference boards and tests is available on the Allegro Web site	-	41	-	$^\circ\text{C}/\text{W}$

¹Percentage of I_P with $I_P = 5$ A. Output filtered. Up to a 2.0% shift in E_{TOT} may be observed at end-of-life for this device.

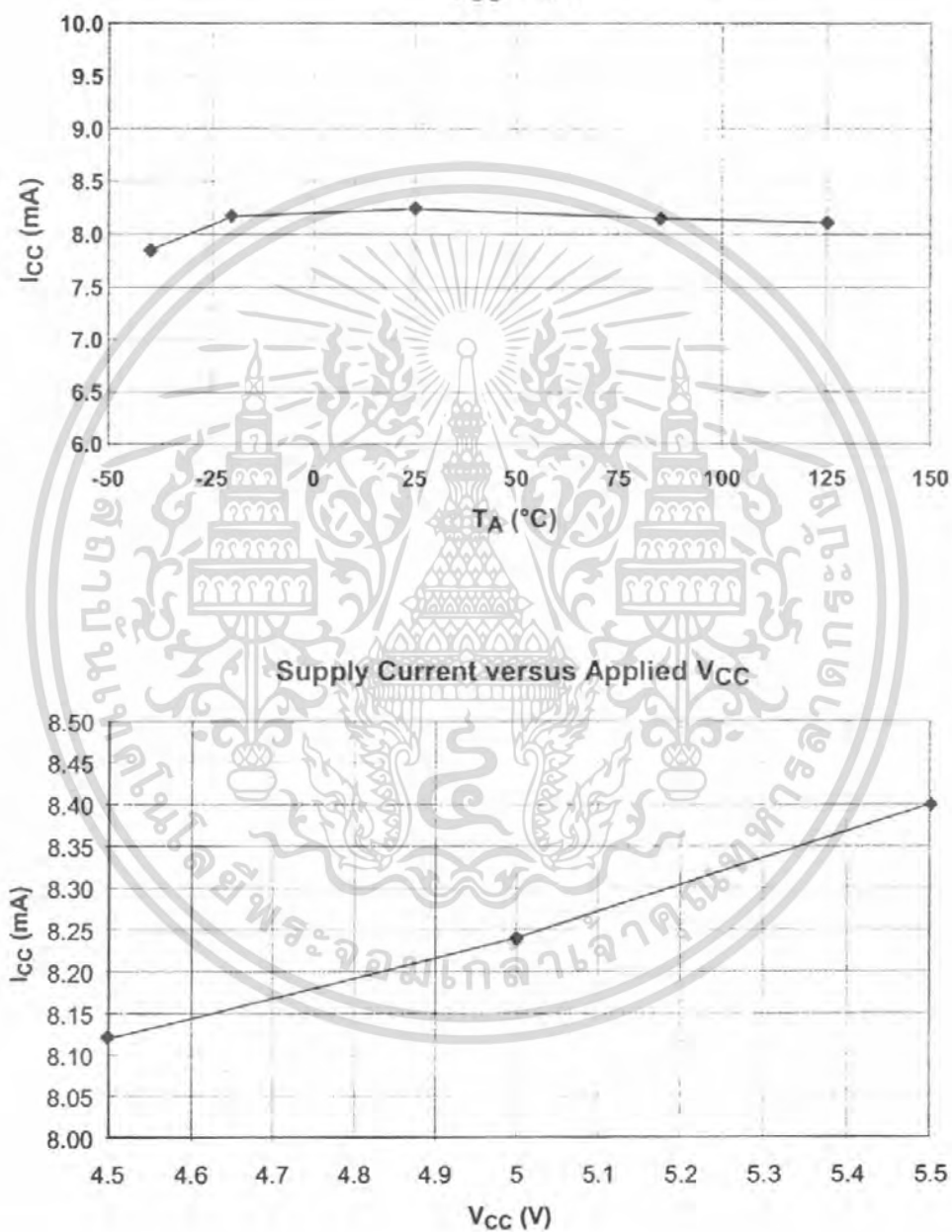
²The Allegro evaluation board has 1500 mm² of 2 oz. copper on each side, connected to pins 1 and 2, and to pins 3 and 4, with thermal vias connecting the layers. Performance values include the power consumed by the PWB. Further details on the board are available from the ACS704 Frequently Asked Questions document on our website. Further information about board design and thermal performance also can be found on pages 16 and 17 of this datasheet.

³ $R_{\theta JA}$ values shown in this table are typical values, measured on the Allegro evaluation board. The actual thermal performance depends on the board design, the airflow in the system, and thermal interactions between the sensor and surrounding components through the PCB and the ambient air. To improve thermal performance, see our applications material on the Allegro Web site.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACS706ELC-05C

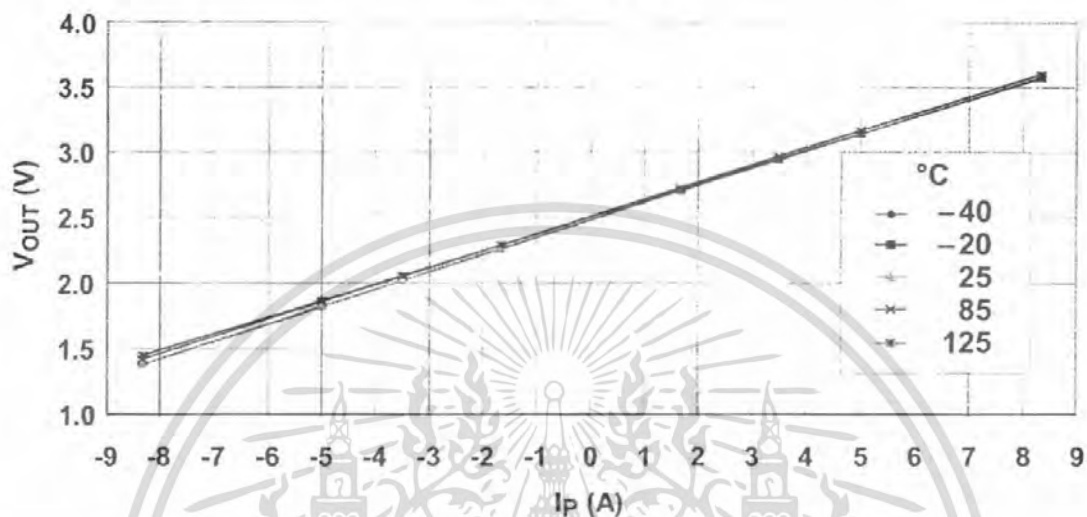
Typical Performance Characteristics
 Supply Current versus Ambient Temperature
 $V_{CC} = 5\text{ V}$



ACS706ELC-05C

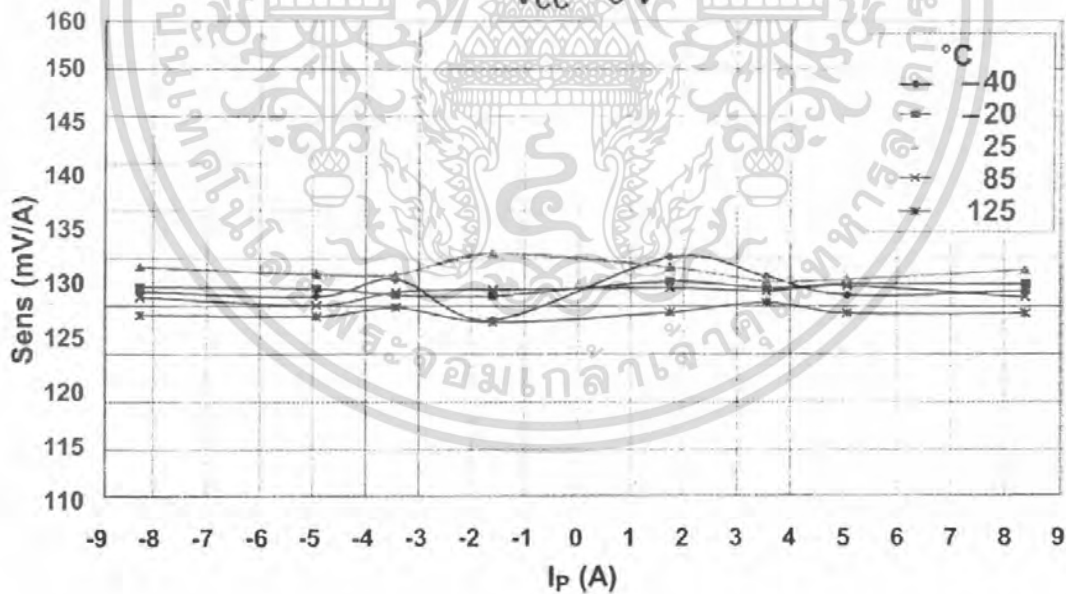
Output Voltage versus Primary Current

$V_{CC} = 5\text{ V}$



Sensitivity versus Primary Current

$V_{CC} = 5\text{ V}$

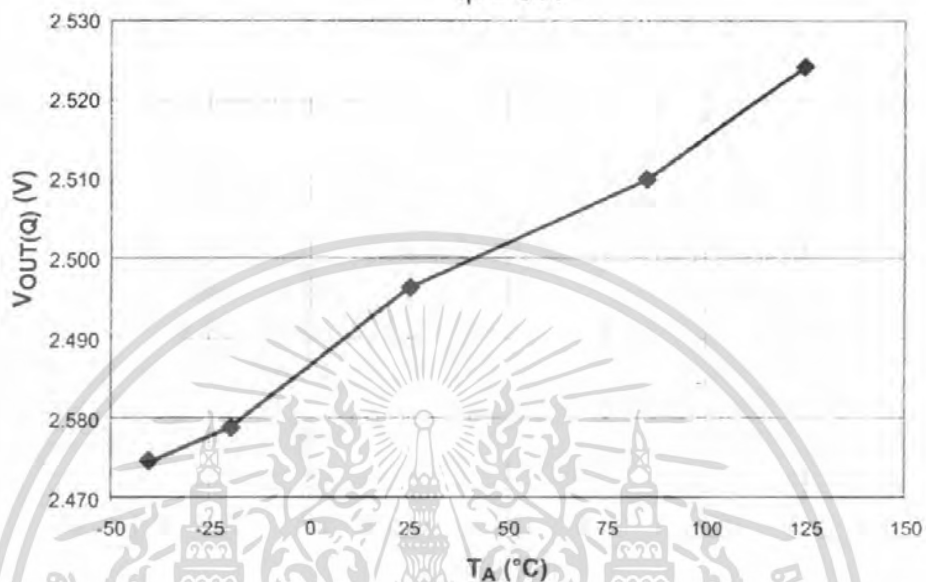


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACS706ELC-05C

Zero Current Output Voltage vs. Ambient Temperature

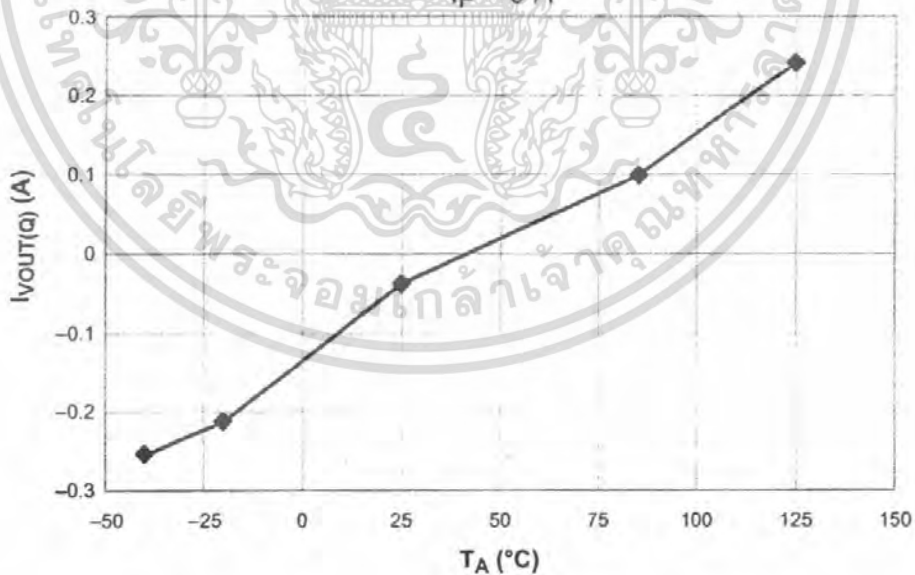
$I_P = 0\text{ A}$



Zero Current Output Current versus Ambient Temperature

(Data in above chart converted to amperes)

$I_P = 0\text{ A}$

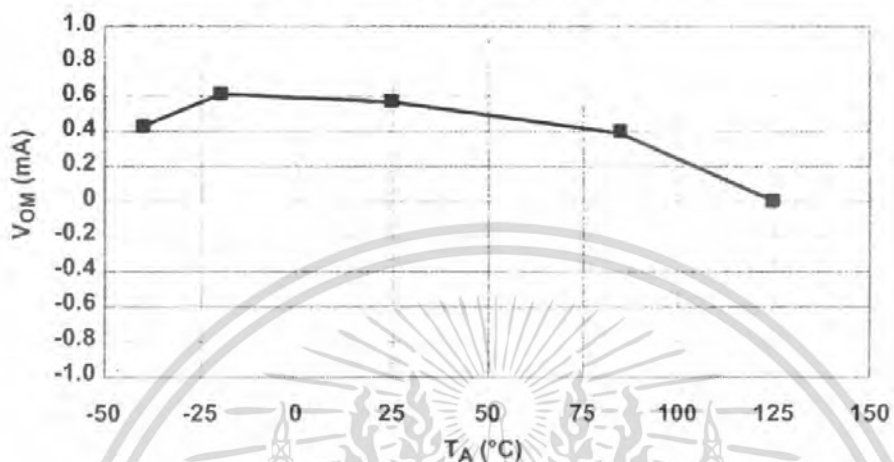


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACS706ELC-05C

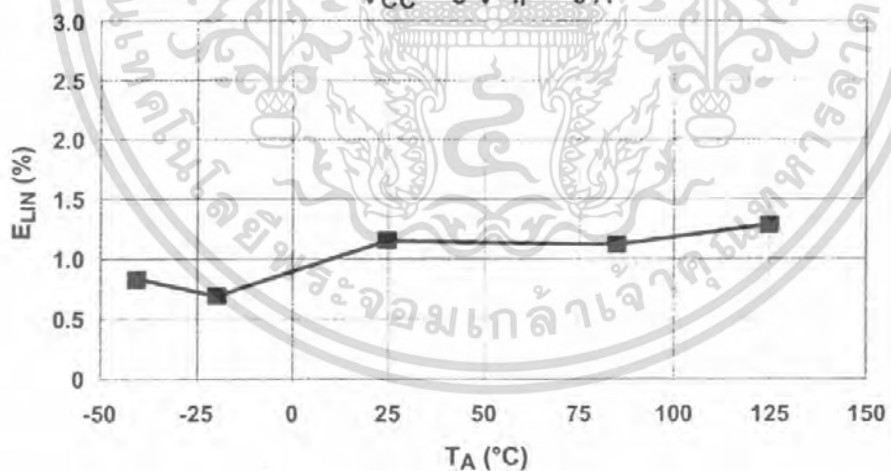
Magnetic Offset Error versus Ambient Temperature

$V_{CC} = 5\text{ V}$; $I_P = 0\text{ A}$, after excursion to 5 A



Nonlinearity versus Ambient Temperature

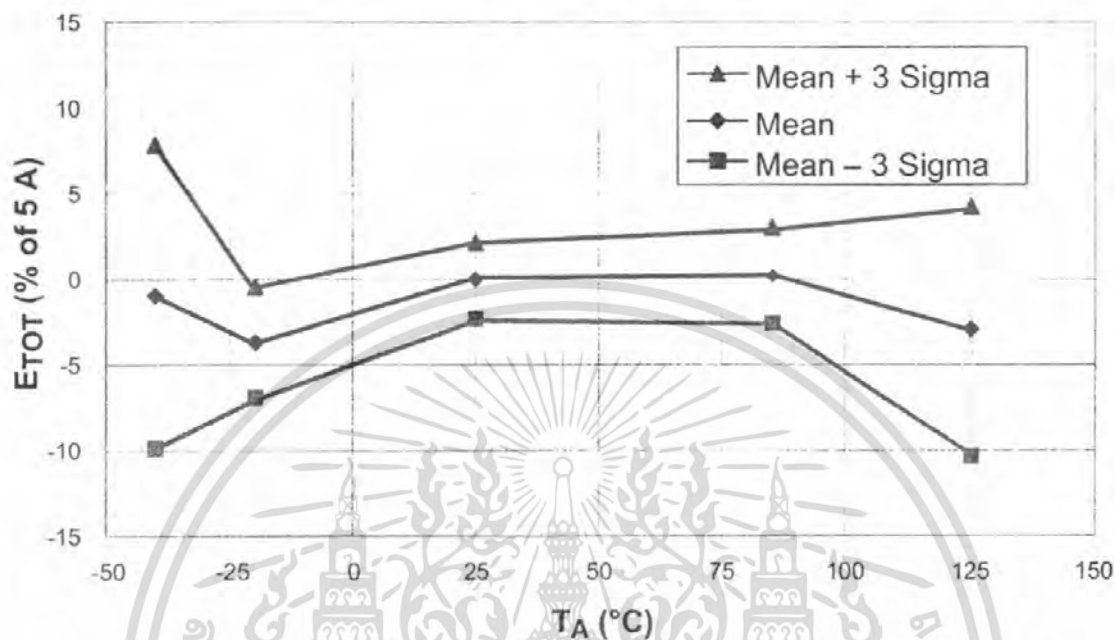
$V_{CC} = 5\text{ V}$; $I_P = 5\text{ A}$



ACS706ELC-05C

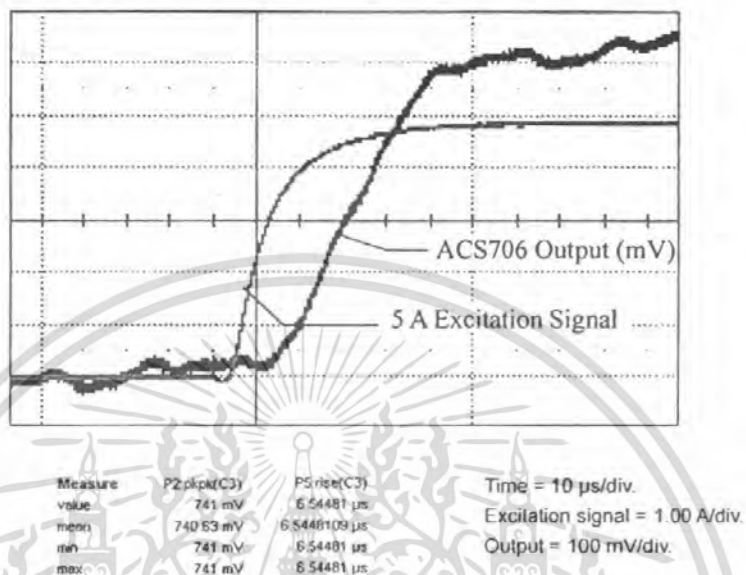
Typical Percentage Error versus Ambient Temperature

Measurements taken at $T_A = -40, 25, -20, 85$ and 125°C

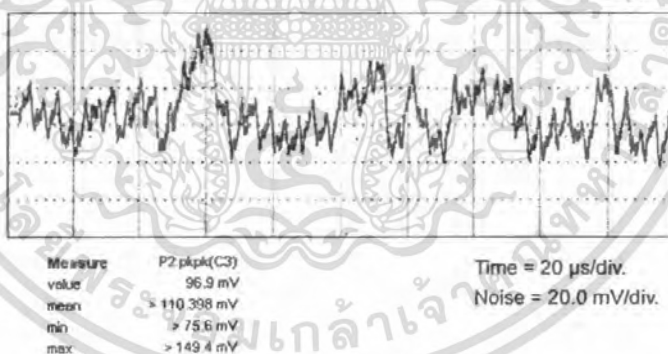


ACS706ELC-05C

Step Response of ACS706ELC-05C at $T_A=25^\circ\text{C}$



Typical Peak-to-Peak Noise of ACS706ELC-05C at $T_A=25^\circ\text{C}$



ACS706ELC-05C

ACS706ELC-05C Noise Filtering and Frequency Response Performance

Break Frequency of Filter on Output (kHz)	Resistance (k Ω)	Capacitance (μ F)	Nominal Programmed Sensitivity (mV/A)	Filtered Peak-to-Peak Noise (mV)	Resolution with Filtering (A)	Rise Time for 5A Step, Filtered (μ s)
Unfiltered	-	-	133	90	0.677	7.45
80	0.200	0.01	133	75.9	0.571	8.26
50	0.320			64.7	0.486	10.08
40	0.392			60.3	0.453	11.39
20	0.800			43.3	0.326	17.56
10	1.6			28.9	0.218	31.96
7.0	3.15			18.3	0.137	54.55
3.3	4.8			13.8	0.104	81.77
0.6	26			1.9	0.015	404.16
0.3	53			0.76	0.00573	732.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACS706ELC-05C

Definitions of Accuracy Characteristics

Sensitivity (Sens). The change in sensor output in response to a 1 A change through the primary conductor. The sensitivity is the product of the magnetic circuit sensitivity (G/A) and the linear IC amplifier gain (mV/G). The linear IC amplifier gain is programmed at the factory to optimize the sensitivity (mV/A) for the full-scale current of the device.

Noise (V_{NOISE}). The product of the linear IC amplifier gain (mV/G) and the noise floor for the Allegro Hall effect linear IC (≈ 1 G). The noise floor is derived from the thermal and shot noise observed in Hall elements. Dividing the noise (mV) by the sensitivity (mV/A) provides the smallest current that the device is able to resolve.

Linearity (E_{LIN}). The degree to which the voltage output from the sensor varies in direct proportion to the primary current through its full-scale amplitude. Nonlinearity in the output can be attributed to the saturation of the flux concentrator approaching the full-scale current. The following equation is used to derive the linearity:

$$100 \left\{ 1 - \left[\frac{(V_{\text{out_full-scale amperes}} - V_{\text{OUT(Q)}})}{2(V_{\text{out_half-scale amperes}} - V_{\text{OUT(Q)}})} \right] \right\}$$

where $V_{\text{out_full-scale amperes}}$ = the output voltage (V) when the sensed current approximates full-scale $\pm I_P$.

Symmetry (E_{SYM}). The degree to which the absolute voltage output from the sensor varies in proportion to either a positive or negative full-scale primary current. The following formula is used to derive symmetry:

$$100 \left(\frac{V_{\text{out_full-scale amperes}} - V_{\text{OUT(Q)}}}{V_{\text{OUT(Q)}} - V_{\text{out_full-scale amperes}}} \right)$$

Quiescent output voltage ($V_{\text{OUT(Q)}}$). The output of the sensor when the primary current is zero. For a unipolar supply voltage, it nominally remains at $V_{\text{CC}}/2$. Thus, $V_{\text{CC}} = 5$ V translates into $V_{\text{OUT(Q)}} = 2.5$ V. Variation in $V_{\text{OUT(Q)}}$ can be attributed to the resolution of the Allegro linear IC quiescent voltage trim and thermal drift.

Electrical offset voltage (V_{OE}). The deviation of the device output from its ideal quiescent value of $V_{\text{CC}}/2$ due to nonmagnetic causes. To convert this voltage to amperes, divide by the device sensitivity, Sens.

Accuracy (E_{TOT}). The accuracy represents the maximum deviation of the actual output from its ideal value. This is also known as the total output error. The accuracy is illustrated graphically in the Output Voltage versus Current chart on the following page.

Accuracy is divided into four areas:

- **0 A at 25°C.** Accuracy of sensing zero current flow at 25°C, without the effects of temperature.
- **0 A over Δ temperature.** Accuracy of sensing zero current flow including temperature effects.
- **Full-scale current at 25°C.** Accuracy of sensing the full-scale current at 25°C, without the effects of temperature.
- **Full-scale current over Δ temperature.** Accuracy of sensing full-scale current flow including temperature effects.

Ratiometry. The ratiometric feature means that its 0 A output, $V_{\text{OUT(Q)}}$, (nominally equal to $V_{\text{CC}}/2$) and sensitivity, Sens, are proportional to its supply voltage, V_{CC} . The following formula is used to derive the ratiometric change in 0 A output voltage, $\Delta V_{\text{OUT(Q)RAT}}$ (%):

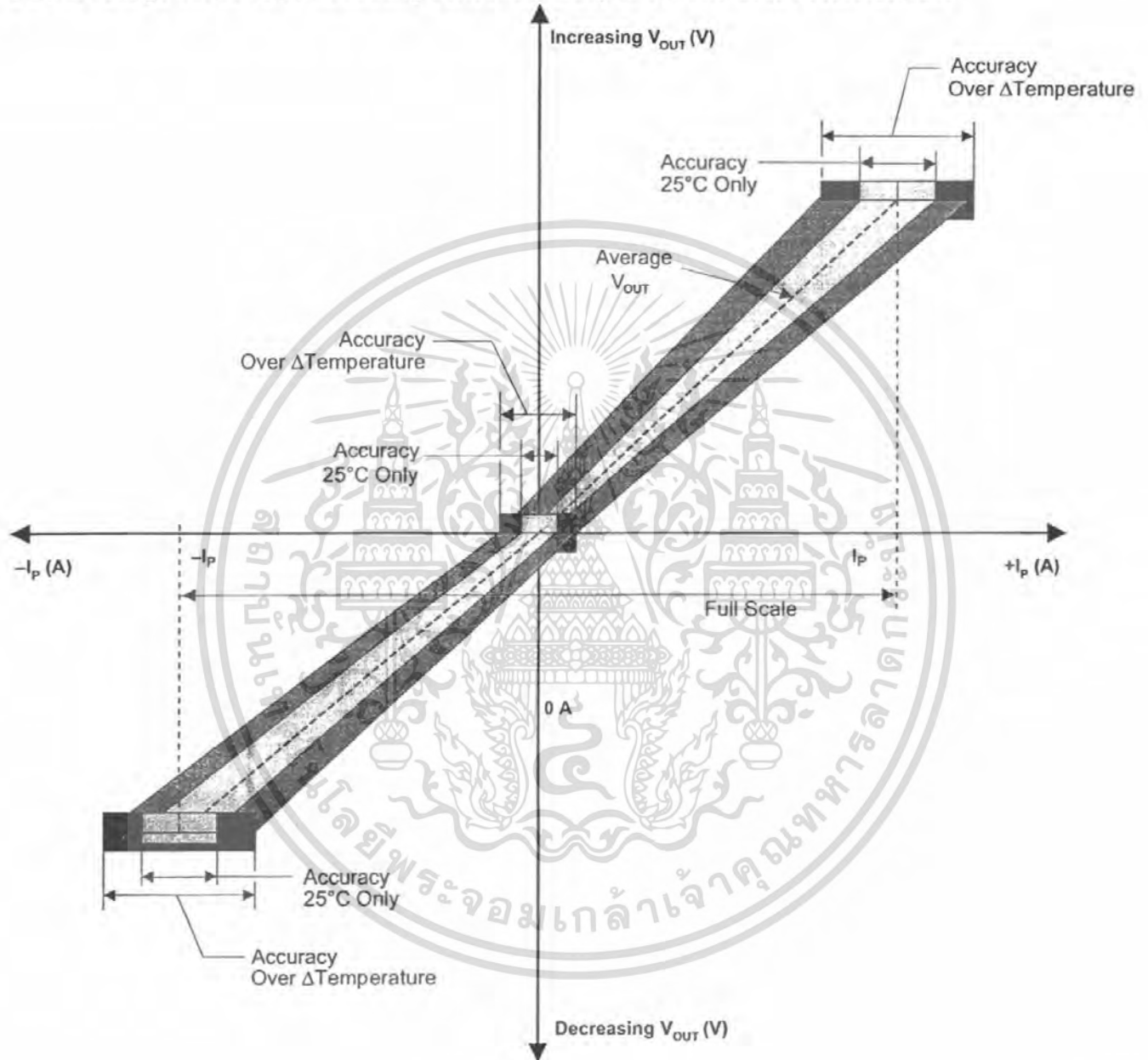
$$100 \left(\frac{V_{\text{OUT(Q)VCC}} - V_{\text{OUT(Q)5V}}}{V_{\text{CC}} / 5 \text{ V}} \right)$$

The ratiometric change in sensitivity, $\Delta \text{Sens}_{\text{RAT}}$ (%), is defined as:

$$100 \left(\frac{\text{Sens}_{V_{\text{CC}}} - \text{Sens}_{5\text{V}}}{V_{\text{CC}} / 5 \text{ V}} \right)$$

ACS706ELC-05C

Output voltage vs. current, illustrating sensor accuracy at 0 A and at full-scale current

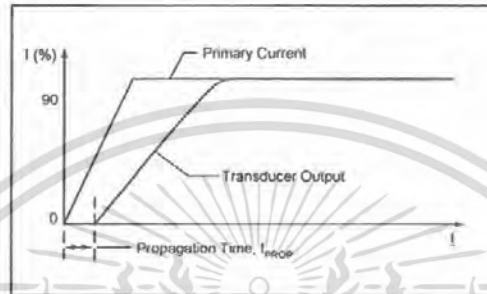


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

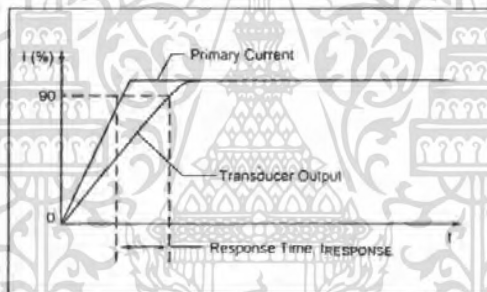
ACS706ELC-05C

Definitions of Dynamic Response Characteristics

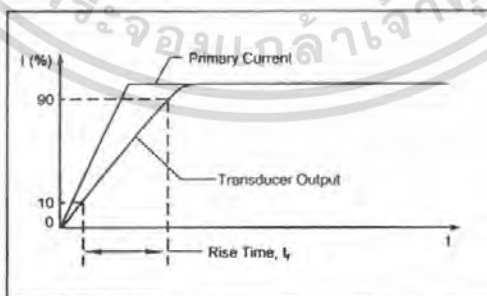
Propagation delay (t_{PROP}): The time required for the sensor output to reflect a change in the primary current signal. Propagation delay is attributed to inductive loading within the linear IC package, as well as in the inductive loop formed by the primary conductor geometry. Propagation delay can be considered as a fixed time offset and may be compensated.



Response time ($t_{RESPONSE}$): The time interval between a) when the primary current signal reaches 90% of its final value, and b) when the sensor reaches 90% of its output corresponding to the applied current.



Rise time (t_r): The time interval between a) when the sensor reaches 10% of its full scale value, and b) when it reaches 90% of its full scale value. The rise time to a step response is used to derive the bandwidth of the current sensor, in which $f(-3 \text{ dB}) = 0.35/t_r$. Both t_r and $t_{RESPONSE}$ are detrimentally affected by eddy current losses observed in the conductive IC ground plane.



ACS706ELC-05C

Standards and Physical Specifications

Parameter	Specification
Flammability (package molding compound)	UL recognized to UL 94V-0
Fire and Electric Shock	UL60950-1:2003 EN60950-1:2001 CAN/CSA C22.2 No. 60950-1:2003

Device Branding Key (Two alternative styles are used)

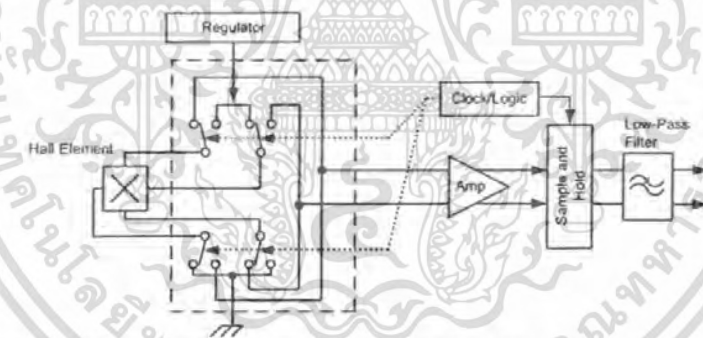
ACS706T ELC05C YYWWA	ACS	Allegro Current Sensor
	706	Device family number
	T	Indicator of 100% matte tin leadframe plating
	E	Operating ambient temperature range code
	LC	Package type designator
	05C	Primary sensed current
	YY	Manufacturing date code: Calendar year (last two digits)
	WW	Manufacturing date code: Calendar week
	A	Manufacturing date code: Shift code
	ACS706T ELC05C L...L YYWW	ACS
706		Device family number
T		Indicator of 100% matte tin leadframe plating
E		Operating ambient temperature range code
LC		Package type designator
05C		Primary sensed current
L...L		Manufacturing lot code
YY		Manufacturing date code: Calendar year (last two digits)
WW	Manufacturing date code: Calendar week	

ACS706ELC-05C

Chopper Stabilization Technique

Chopper Stabilization is an innovative circuit technique that is used to minimize the offset voltage of a Hall element and an associated on-chip amplifier. Allegro patented a Chopper Stabilization technique that nearly eliminates Hall IC output drift induced by temperature or package stress effects. This offset reduction technique is based on a signal modulation-demodulation process. Modulation is used to separate the undesired dc offset signal from the magnetically induced signal in the frequency domain. Then, using a low-pass filter, the modulated dc offset is suppressed while the magnetically induced signal passes through the filter. As a result of this chopper stabilization approach, the output voltage from the Hall IC is desensitized to the effects of temperature and mechanical stress. This technique produces devices that have an extremely stable Electrical Offset Voltage, are immune to thermal stress, and have precise recoverability after temperature cycling.

This technique is made possible through the use of a BiCMOS process that allows the use of low-offset and low-noise amplifiers in combination with high-density logic integration and sample and hold circuits.



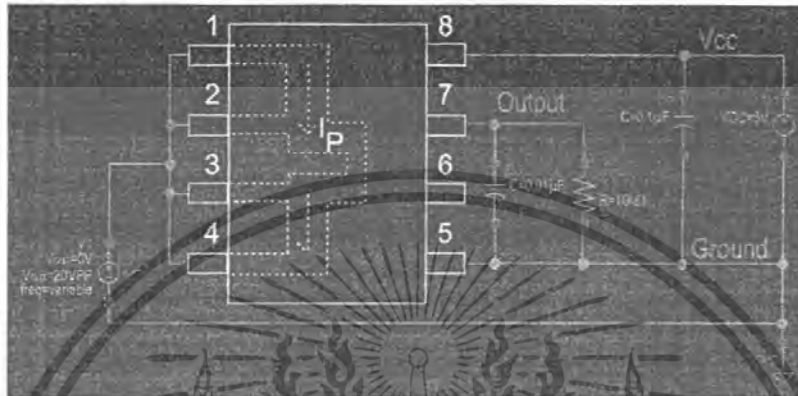
Concept of Chopper Stabilization Technique

ACS706ELC-05C

Applications Information

Transient Common-Mode Voltage Rejection in the ACS706

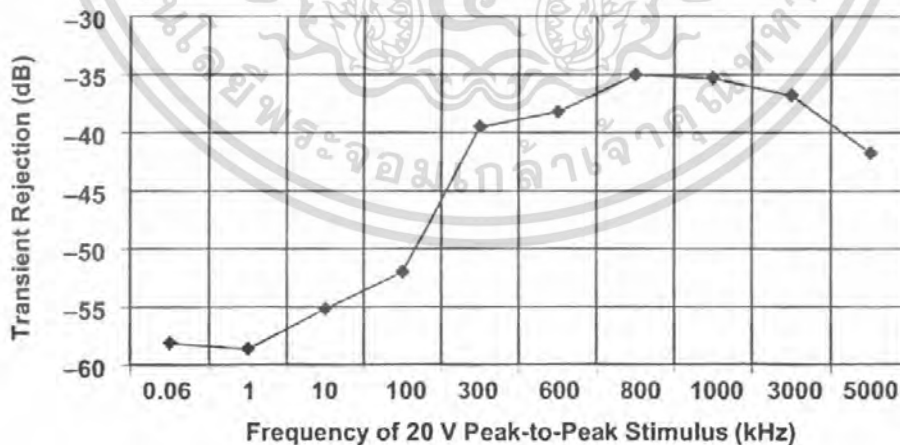
In order to quantify transient common-mode voltage rejection for the ACS706, a device was soldered onto a printed circuit board. A 0.1 μF bypass capacitor and a 5 V dc power supply were connected between VCC and GND (pins 8 and 5) for this device. A 10 k Ω load resistor and a 0.01 μF capacitor were connected in parallel between the VOUT pin and the GND pin of the device (pins 7 and 5).



ACS706 Schematic Diagram of the Circuit used to Measure Transient Rejection

A function generator was connected between the primary current conductor (pins 1 thru 4) and the GND pin of the device (pin 5). This function generator was configured to generate a 10 V peak (20 V peak-to-peak) sine wave between pins 1-4 and pin 5. Note that the sinusoidal stimulus was applied such that no electrical current would flow through the copper conductor composed of pins 1-4 of this device.

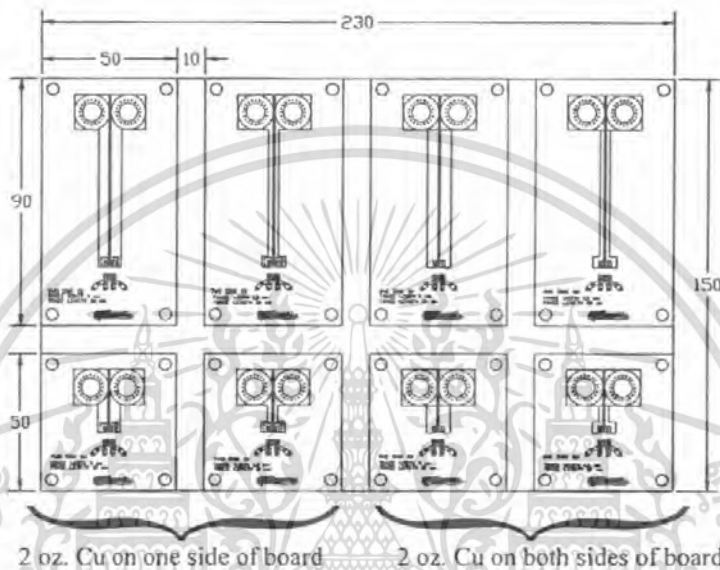
The frequency of this sine wave was varied from 60 Hz to 5 MHz in discrete steps. At each frequency, the statistics feature of an oscilloscope was used to measure the voltage variations (noise) on the ACS706 output in mV (peak to peak). The noise was measured both before and after the application of the stimulus. Transient common-mode voltage rejection as a function of frequency is shown in the following figure.



ACS706ELC-05C

The Effect of PCB Layout on ACS706 Thermal Performance

Eight different PC boards were fabricated to characterize the effect of PCB design on the operating junction temperature of the Hall-effect IC inside of the ACS706. These PC boards are shown in the figure below.



An ACS706 device was soldered on to each PCB for thermal testing. The results of the testing are shown in the following table.

Test Results on Eight Thermal Characterization PCBs

Tested at 15A, $T_A = 20^\circ\text{C}$, still air, 2 oz. copper traces, current carried on and off board by 14 gauge wires

PC Boards Sides with Traces	Trace Width (mm)	Trace Length (mm)	Temperature Rise Above Ambient ($^\circ\text{C}$)
1	4	50	90
	1.5	50	Overheated
	4	10	48
	1.5	10	110
2	4	50	53
	1.5	50	106
	4	10	38
	1.5	10	54

ACS706ELC-05C

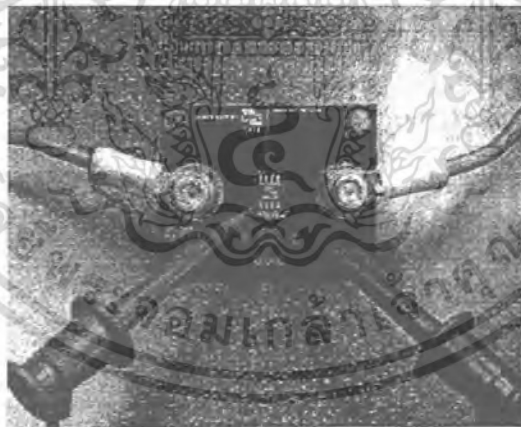
Improved PC Board Designs

The eight PC boards in the figure above do not represent an ideal PC board for use with the ACS706. The ACS706 evaluation boards, for sale at the Allegro Web site On-Line Store, represent a more optimal PC board design (see photo below). On the evaluation boards, the current to be sensed flows through very wide traces that were fabricated using 2 layers of 2 oz. copper. Thermal management tests were conducted on the Allegro evaluation boards and all tests were performed using the same test conditions described in the bulleted list above. The results for these thermal tests are shown in the table below. When using the Allegro evaluation boards we see that even at an applied current of 20 A the junction temperature of the ACS706 is only ≈ 30 degrees above ambient temperature.

Test Results on Eight Electrical Characterization PCBs

Tested at $T_A = 20^\circ\text{C}$, still air

Applied Current (A)	Temp Rise Above Ambient ($^\circ\text{C}$)
15	22
20	31



Allegro Current sensor evaluation board with ACS706 and external connections.

****ซอฟต์แวร์ที่ใช้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่าน****

```

#include<p30f6010.h>
#include<pwm.h>
#include<ports.h>
#include<uart.h>
#include <math.h>
#include <adc.c>
#include <PWM.c>
#include <uart.c>

#define PWM_MAX_VALUE      3840
#define PWM_MIN_VALUE      10

#define Hall1              PORTDbits.RD4
#define Hall2              PORTDbits.RD5
#define Hall3              PORTDbits.RD6

#define Motor_Phase_A      PDC1
#define Motor_Phase_B      PDC2
#define Motor_Phase_C      PDC3
#define Float              0
#define Gnd                1
#define Supply              PWM_value

#define Motor_A_Gnd        Motor_Phase_A =Gnd ; OVDCONbits.POVD1H = 0;
OVDCONbits.POVD1L = 1;
#define Motor_A_Float      Motor_Phase_A = Float ;OVDCONbits.POVD1H =
0;OVDCONbits.POVD1L = 0; LATEbits.LATE0 = 0; LATEbits.LATE1 = 0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#define Motor_A_Supply          OVDCONbits.POVD1H = 1;OVDCONbits.POVD1L
= 1;

#define Motor_B_Gnd            Motor_Phase_B =Gnd ; OVDCONbits.POVD2H = 0;
OVDCONbits.POVD2L = 1;
#define Motor_B_Float          Motor_Phase_B = Float ;OVDCONbits.POVD2H =
0;OVDCONbits.POVD2L = 0; LATEbits.LATE2 = 0; LATEbits.LATE3 = 0;
#define Motor_B_Supply          OVDCONbits.POVD2H = 1;OVDCONbits.POVD2L
= 1;

#define Motor_C_Gnd            Motor_Phase_C =Gnd ; OVDCONbits.POVD3H = 0;
OVDCONbits.POVD3L = 1;
#define Motor_C_Float          Motor_Phase_C = Float ; OVDCONbits.POVD3H =
0;OVDCONbits.POVD3L = 0; LATEbits.LATE4 = 0; LATEbits.LATE5 = 0;
#define Motor_C_Supply          OVDCONbits.POVD3H = 1;OVDCONbits.POVD3L
= 1;

#define Motor_Off              Motor_Phase_A = 0 ; Motor_Phase_B = 0 ;
Motor_Phase_C = 0 ; Motor_A_Float ; Motor_B_Float ; Motor_C_Float

unsigned int    PWM_value,Conut_LED;

int main(void)
{
int    dir;
unsigned int  adc1,adc;
float After_scale,cmd,I,T,Eg,wo;

        CNPU1bits.CN13PUE = 1;
        CNPU1bits.CN14PUE = 1;
        CNPU1bits.CN15PUE = 1;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

TRISDbits.TRISD2 = 0;
TRISDbits.TRISD3 = 0;
TRISDbits.TRISD4 = 1;
TRISDbits.TRISD5 = 1;
TRISDbits.TRISD6 = 1;

```

```
PWM_init();
```

```
Motor_Off
```

```
while(1)
```

```
{
```

```
    adc1= analog(5);
```

```
    After_scale=((adc1-512.0)/8.0);
```

```
    adc=analog(6);
```

```
    dir=adc-512;
```

```
    cmd=(dir*8)+After_scale;
```

```
    cmd=abs(cmd);
```

```
    Conut_LED++;
```

```
    if(Conut_LED == 4000 )
```

```
    {
        Conut_LED = 0;
```

```
        LATDbits.LATD2 = !LATDbits.LATD2;
```

```
        LATDbits.LATD3 = !LATDbits.LATD2;
```

```
    }
```

```
    if(cmd > PWM_MAX_VALUE )
```

```
    {
```

```
        cmd = PWM_MAX_VALUE-10 ;
```

```
    }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

PWM_value=cmd;

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

if(dir>0)
{
    if(Hall1== 1 & Hall2 == 0 & Hall3 == 0)
    {
        Motor_A_Gnd ;
        Motor_B_Float;
        Motor_C_Supply ; Motor_Phase_C
=Supply;
//step1
}
    if( Hall1 == 1 & Hall2 == 1 & Hall3 == 0 )
    {
        Motor_A_Float;
        Motor_B_Gnd ;
        Motor_C_Supply ;
        Motor_Phase_C=Supply ;
//step2
    }
    if( Hall1 == 0 & Hall2 == 1 & Hall3 == 0 )
    {
        Motor_C_Float;
        Motor_B_Gnd ;
        Motor_A_Supply ; Motor_Phase_A=
Supply;
//step3
}
    if( Hall1 == 0 & Hall2== 1 & Hall3 ==1 )
    {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Motor_B_Float;

Motor_C_Gnd;
Motor_A_Supply ; Motor_Phase_A=
Supply; //step4
}

if( Hall1== 0 & Hall2 == 0 & Hall3 == 1 )
{
Motor_A_Float;

Motor_C_Gnd ;
Motor_B_Supply ; Motor_Phase_B=
Supply; //step5
}
if( Hall1 == 1 & Hall2 == 0 & Hall3 == 1 )
{
Motor_A_Gnd;

Motor_C_Float;
Motor_B_Supply ; Motor_Phase_B=
Supply; //step6
}

else
{
if(Hall1 == 0 & Hall2 == 1 & Hall3 == 1)
{

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Motor_A_Gnd;

Motor_B_Float;
Motor_C_Supply ; Motor_Phase_C

=Supply;
}

if( Hall1 == 0 & Hall2 == 0 & Hall3 == 1 )
{
Motor_A_Float;

Motor_B_Gnd ;
Motor_C_Supply ;

Motor_Phase_C=Supply ;
}

if( Hall1 == 1 & Hall2 == 0 & Hall3 == 1 )
{
Motor_C_Float;
Motor_B_Gnd ;
Motor_A_Supply ; Motor_Phase_A=
Supply;
}

if( Hall1 == 1 & Hall2== 0 & Hall3 ==0 )
{
Motor_B_Float;
Motor_C_Gnd;
Motor_A_Supply ; Motor_Phase_A=
Supply;
}

if( Hall1 == 1 & Hall2 == 1 & Hall3 == 0 )
{
Motor_C_Gnd ;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Motor_A_Float;

Motor_B_Supply ; Motor_Phase_B=

Supply;

}

if( Hall1 == 0 & Hall2 == 1 & Hall3 == 0 )
{

Motor_C_Float ;
Motor_A_Gnd;

Motor_B_Supply ; Motor_Phase_B=

Supply;
}
}
////////////////////////////////////
}
return 0;
I=0.048*adc1-24.208;
T=0.2212*I;
Eg=6.0-4.1413*abs(I);
wo=Eg/0.0146;
printf("\r adc1 %.3f I=%.3f T=%.3f Eg=%.3f wo=%.3f",adc1,I,T,Eg,wo);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

****ซอฟต์แวร์ที่ใช้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง****

```

#include<p30f6010.h>
#include<pwm.h>
#include<ports.h>
#include<uart.h>
#include<math.h>
#include<timer.h>
#include<ADC.c>
#include<PWM.c>
#include<UART.c>

#define PWM_MAX_VALUE      3840
#define PWM_MIN_VALUE      10

#define Motor_Phase_A      PDC1
#define Motor_Phase_B      PDC2

#define Gnd                 1
#define Supply              PWM_value

#define Motor_A_Gnd         Motor_Phase_A =Gnd ; OVDCONbits.POVD1H = 0;
OVDCONbits.POVD1L = 1;
#define Motor_A_Supply      OVDCONbits.POVD1H = 1;OVDCONbits.POVD1L
= 1;

#define Motor_B_Gnd         Motor_Phase_B =Gnd ; OVDCONbits.POVD2H = 0;
OVDCONbits.POVD2L = 1;
#define Motor_B_Supply      OVDCONbits.POVD2H = 1;OVDCONbits.POVD2L
= 1;

void __attribute__((__interrupt__)) _PWMInterrupt(void)

```

```

{
    IFS2bits.PWMIF = 0;
}

int    main(void)
{

int    dir;
unsigned int  adc,adc1,PWM_value;
float After_scale,cmd,I,T,Eg,wo;

    TRISDbits.TRISD2 = 0;
    TRISDbits.TRISD3 = 0;
    PORTDbits.RD2 = 1;
    PORTDbits.RD3 = 1;
    PWM_init();
    uart1_init();

    while(1)
    {
        adc1= analog(5);
        After_scale=((adc1-512.0)/8.0);
        adc=analog(7);
        dir=adc-512;

        cmd=(dir*8)+After_scale ;
        cmd=abs(cmd);

        if (cmd > PWM_MAX_VALUE )
        {
            cmd = PWM_MAX_VALUE - 10 ;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }

    PWM_value=cmd;

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

    if(dir>0)
    {
        Motor_A_Gnd ;
        Motor_B_Supply ; Motor_Phase_B =Supply;
    }
    else
    {
        Motor_B_Gnd ;
        Motor_A_Supply ; Motor_Phase_A =Supply;
    }
    return 0;

    I=0.048*adc1-24.208;
    T=0.219*I;
    Eg=6.0-22.61*abs(I);
    wo=Eg/0.0481;

    printf("\r adc1 %.3f I=%.3f T=%.3f Eg=%.3f wo=%.3f",adc1,I,T,Eg,wo);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซอฟต์แวร์ที่ใช้กับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

```

#include<p30f6010.h>
#include<pwm.h>
#include<ports.h>
#include<uart.h>
#include <math.h>
#include <ADC.c>
#include <PWM.c>
#include <UART.c>

void delay_ms(unsigned int ms)
{
    unsigned int x,a;
    for(x=0;x<ms;x++)
    {
        for(a=0;a<816;a++);
    }
}

#define PWM_MAX_VALUE 3840
#define PWM_MIN_VALUE 10

#define Motor_Phase_A      PDC1

#define Motor_Phase_B      PDC2
#define Motor_Phase_C      PDC3

#define Float              0
#define Gnd                 1
#define Supply              PWM_value

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#define Motor_A_Gnd          Motor_Phase_A =Gnd ; OVDCONbits.POVD1H = 0;
OVDCONbits.POVD1L = 1;

#define Motor_A_Float        Motor_Phase_A = Float ;OVDCONbits.POVD1H =
0;OVDCONbits.POVD1L = 0; LATEbits.LATE0 = 0; LATEbits.LATE1 = 0;

#define Motor_A_Supply       OVDCONbits.POVD1H = 1;OVDCONbits.POVD1L
= 1;

#define Motor_B_Gnd          Motor_Phase_B =Gnd ; OVDCONbits.POVD2H = 0;
OVDCONbits.POVD2L = 1;

#define Motor_B_Float        Motor_Phase_B = Float ;OVDCONbits.POVD2H =
0;OVDCONbits.POVD2L = 0; LATEbits.LATE2 = 0; LATEbits.LATE3 = 0;

#define Motor_B_Supply       OVDCONbits.POVD2H = 1;OVDCONbits.POVD2L
= 1;

#define Motor_C_Gnd          Motor_Phase_C =Gnd ; OVDCONbits.POVD3H = 0;
OVDCONbits.POVD3L = 1;

#define Motor_C_Float        Motor_Phase_C = Float ; OVDCONbits.POVD3H =
0;OVDCONbits.POVD3L = 0; LATEbits.LATE4 = 0; LATEbits.LATE5 = 0;

#define Motor_C_Supply       OVDCONbits.POVD3H = 1;OVDCONbits.POVD3L
= 1;

int main(void)
{
int    dir;
unsigned int  adc1,adc,PWM_value;
float After_scale,cmd;

    PWM_init();

    while(1)
        {
            TRISDbits.TRISD2 = 0;

```

```

TRISDbits.TRISD3 = 0;

PORTDbits.RD2 = 1;
PORTDbits.RD3 = 1;

adc1= analog(5);
After_scale=((adc1-512.0)/8.0);
adc=analog(7);
dir=adc-512;
cmd=(dir*8)+After_scale;
cmd=abs(cmd);

if (cmd > PWM_MAX_VALUE ) {cmd = PWM_MAX_VALUE-10 ;};

PWM_value=cmd;

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

if(dir>0)
{
    Motor_A_Gnd ;
    Motor_B_Float;
    Motor_C_Supply ; Motor_Phase_C =Supply;

    delay_ms(15);

    Motor_A_Float;

    Motor_B_Gnd ;
    Motor_C_Supply ; Motor_Phase_C=Supply ;

    delay_ms(15);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Motor_C_Float;
Motor_B_Gnd ;
Motor_A_Supply ; Motor_Phase_A= Supply;

```

```

delay_ms(15);

```

```

Motor_A_Supply ; Motor_Phase_A= Supply;

```

```

Motor_B_Float;

```

```

Motor_C_Gnd;

```

```

delay_ms(15);

```

```

Motor_A_Float;

```

```

Motor_C_Gnd ;

```

```

Motor_B_Supply ; Motor_Phase_B= Supply;

```

```

delay_ms(15);

```

```

Motor_A_Gnd;

```

```

Motor_C_Float ;

```

```

Motor_B_Supply ; Motor_Phase_B= Supply;

```

```

delay_ms(15);

```

```

}

```

```

else

```

```

{

```

```

Motor_A_Gnd;

```

```

Motor_B_Float;

```

```

Motor_C_Supply ; Motor_Phase_C =Supply;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

delay_ms(15);
Motor_A_Float;
Motor_B_Gnd ;
Motor_C_Supply ; Motor_Phase_C=Supply ;
delay_ms(15);
Motor_C_Float;
Motor_B_Gnd ;
Motor_A_Supply ; Motor_Phase_A= Supply;
delay_ms(15);
Motor_B_Float;
Motor_C_Gnd;
Motor_A_Supply ; Motor_Phase_A= Supply;
delay_ms(15);
Motor_C_Gnd ;
Motor_A_Float;
Motor_B_Supply ; Motor_Phase_B= Supply;
delay_ms(15);
Motor_C_Float ;
Motor_A_Gnd;
Motor_B_Supply ; Motor_Phase_B= Supply;
delay_ms(15);
}
return 0;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้งาน Universal DriveZ (วงจรขับเคลื่อนอนเนกประสงค์)

1. เสียบปลั๊ก DC Adapter 12 volt เข้ากับไฟฟ้ากระแสสลับ 220volt 50/60 Hz
2. ทำการเบริน ซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์ชนิดนั้นๆ ด้วย ICD2 โดยต้องกดสวิทซ์ทั้ง 2 ตัว ทำให้LED สีแดงสว่าง เป็นการแสดงว่าขณะนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์อยู่ในโหมด Program สามารถเบรินซอฟต์แวร์ไปได้
3. ต่อ DC Power Supply กับ Terminal ของบอร์ดทดลอง (Maximum Voltage = 200 V, Maximum Current = 30A)
4. ต่อมอเตอร์กับterminal ของบอร์ดทดลอง กรณีที่ทำทดลองมอเตอร์ 3 เฟส ให้ต่อกับ terminal ที่ 1,2,3 สำหรับ DC motor ต่อกับ terminal 1 และ2
5. กดสวิทซ์ทั้ง 2 ตัว อีกครั้งทำให้LED สีเขียวสว่าง เป็นการแสดงว่าขณะนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์อยู่ในโหมด RUN หรือทำงานอยู่ (เพื่อเป็นการเช็ค ว่า Microcontroller สามารถทำงานได้ในโหมด RUNใน Software ควรมีคำสั่งที่ทำให้ LED ซึ่งต่ออยู่กับRD2 และRD3 สว่าง เมื่ออยู่ในโหมด RUN)
6. เปิดสวิทซ์ Power Supply ปรับค่าVoltage ตามต้องการ
7. การปรับความเร็วการหมุนของมอเตอร์ สามารถปรับความต้านทานปรับค่าได้
8. สามารถกลับทิศทางการหมุนด้วยการหมุนปรับความต้านทานปรับค่าได้ (AN7) ให้อยู่ที่จุดกึ่งกลาง มอเตอร์จะหยุดนิ่ง ถ้าหมุนปรับความต้านทานต่อไป มอเตอร์ก็จะหมุนในทิศตรงข้ามทิศทางเดิม
9. เมื่อต้องการให้มอเตอร์หยุดหมุน ควรปรับความต้านทานปรับค่าได้ให้อยู่ที่จุดกึ่งกลาง จนมอเตอร์หยุดหมุน แล้วจึงปิดสวิทซ์ Power Supply และกดสวิทซ์ทั้ง 2 ตัวลง เพื่อให้Microcontroller หยุดทำงาน