

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

**การควบคุมมอเตอร์ชนิดไร้แปรงถ่านด้วยวิธีตรวจสอบสัญญาณแบ็คอีเอ็มเอฟ
และการประยุกต์ใช้งาน**

**BRUSHLESS DC MOTOR CONTROL USING
BACK ELECTROMOTIVE FORCE METHOD AND ITS APPLICATION**



นายณัฐพล

คงพันธ์

นายไพศาล

ศิริกัลย์

นายมงคลศักดิ์

วิเศษสังข์

นายอภิวัฒน์

ทองชื่น

ว.พ.
ฉ.๒๔๔๓
๒๕๕๐

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... **83112**
วัน,เดือน,ปี..... - 5 ส.ค. 2551

b. 119 b3499
i.....

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2550


ภาควิชาระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การควบคุมมอเตอร์ชนิดไร้แปรงถ่านด้วยวิธีตรวจสอบสัญญาณแบ็คอีเอ็มเอฟ
และการประยุกต์ใช้งาน

BRUSHLESS DC MOTOR CONTROL USING BACK ELECTROMOTIVE FORCE
METHOD AND ITS APPLICATION

ผู้จัดทำ	นายณัฐพล	คงพันธ์	48015287
	นายไพศาล	ศิริกัลย์	48015299
	นายมงคลศักดิ์	วิเศษสังข์	48015300
	นายอภิวัฒน์	ทองชื่น	48015320


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ทัตยา ปุคละนันท์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมมอเตอร์ชนิดไร้แปรงถ่านด้วยวิธีตรวจสอบสัญญาณแบ็คอีเอ็มเอฟ และการประยุกต์ใช้งาน

โดย

นายณัฐพล	คงพันธ์	48015287
นายไพศาล	ศิริกลัย	48015299
นายมงคลศักดิ์	วิเศษสังข์	48015300
นายอภิวัฒน์	ทองชื่น	48015320

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ทัตยา ปุคละนันท์

ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอทฤษฎีการทำงาน หลักการควบคุม และการประยุกต์ใช้งานของ ดีซีมอเตอร์ชนิดไร้แปรงถ่าน โดยทั่วไปแล้วการควบคุมการทำงานของมอเตอร์จะใช้เซนเซอร์ในการวัดค่าต่าง ๆ เช่น ตำแหน่ง ทิศทาง และความเร็ว เป็นต้น แต่ในปริญญานิพนธ์นี้ได้เสนอการควบคุมมอเตอร์โดยไม่มีการใช้เซนเซอร์ แต่จะใช้การตรวจสอบสัญญาณแบ็คอีเอ็มเอฟแทน ทำให้สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนของเซนเซอร์ลงได้

นอกจากนี้ยังได้นำดีซีมอเตอร์ชนิดไร้แปรงถ่านไปประยุกต์ใช้งานกับระบบสายพานลำเลียงที่ ถูกออกแบบขึ้นเพื่อทำหน้าที่แยกชิ้นงานตามขนาดที่กำหนด โดยในระบบจะใช้ดีซีมอเตอร์ชนิดไร้แปรงถ่านเป็นมอเตอร์ขับเคลื่อนสายพานหลัก และใช้ดีซีมอเตอร์สำหรับขับเคลื่อนสายพานในส่วนอื่น ๆ ของระบบ การทำงานของระบบสายพานลำเลียงนี้จะเป็นการแยกชิ้นงานตามขนาด โดยถ้าชิ้นงานมีขนาดตามที่ต้องการจะถูกส่งผ่านไปยังสายพานลำเลียงเส้นหนึ่ง แต่หากชิ้นงานมีขนาดไม่ตรงตามที่ต้องการ จะมีสายพานอีกเส้นสำหรับเลื่อนชิ้นงานให้ผ่านไปยังสายพานลำเลียงอีกเส้นหนึ่ง การควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมดจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR สำหรับรับค่าจากเซนเซอร์เพื่อทำการประมวลผล และ ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ในส่วนต่าง ๆ ของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นงานการใดๆ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BRUSHLESS DC MOTOR CONTROL USING BACK ELECTROMOTIVE FORCE METHOD AND ITS APPLICATION

By

Mr. Nattapol Kongpan

Mr. Paisan Sirikan

Mr. Mongkolsak Wisetsang

Mr. Apiwat Thongchuen

Advisor

Miss Tattaya Pukkalanun

Academic year 2007

ABSTRACT

This thesis presents theory, control methodology and application of brushless DC motor (BLDC). In general, a brushed DC motor uses sensors to detect position, direction, speed and etc. for controlling its operation, while a BLDC motor presented in this project makes use of the detection of back electromotive force (BEMF) instead of sensors. As a result of sensorless system, the cost is significantly reduced.

In addition, the BLDC motor is applied to a conveyor system designed for separating objects according to the size. The BLDC motor is installed to drive the major conveyor belt and DC motors are employed to drive other conveyor belts in the system. The right-size objects will be transmitted to one conveyor belt, while the wrong-size objects will be passed to another conveyor belt. Microcontroller AVR is used as a processor to acquire the data from sensors, analyze the obtained data and control motors in the system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การสร้างโครงการเรื่องการควบคุมมอเตอร์ไร้แปลงถ่านด้วยวิธีตรวจสอบสัญญาณแบ็ค อีเอ็ม เอฟ นี้ได้ใช้เวลาในการศึกษาหาข้อมูล รวบรวมข้อมูลและเก็บรายละเอียดต่างๆโดยใช้เวลาทั้งหมดประมาณหนึ่งปี ซึ่งแต่ละขั้นตอนของการทำงานได้พบอุปสรรคต่างๆมากมายแต่ก็สำเร็จ ลุล่วงไปได้ด้วยดีทั้งนี้ก็เพราะอาจารย์ที่ปรึกษาคือ อาจารย์ทัตยา บุคคละนันท์ คอยให้ความรู้แนวทาง ขั้นตอน คำปรึกษา รวมถึงคำแนะนำต่างๆซึ่งมีประโยชน์อย่างมากและยังคอยกระตุ้นให้ทำงานเสมอมาและผู้จัดทำหวังว่าความรู้และประสบการณ์ต่างๆที่ได้รับจากการทำโครงการครั้งนี้คงจะมีประโยชน์อย่างมากในการทำงานต่อไปในอนาคต

ผู้จัดทำขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาและอาจารย์ท่านอื่นๆทุกท่านที่คอยให้คำปรึกษาและคำแนะนำที่ดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดาและครอบครัวรวมถึงเพื่อนๆที่คอยให้กำลังใจที่ติดลอดมาจนทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผู้จัดทำ

นายณัฐพล

นายไพศาล

นายมงคลศักดิ์

นายอภิวัฒน์

คงพันธ์

ศิริกัลย์

วิเศษสังข์

ทองชื่น

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VII
สารบัญตาราง	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 กล่าวนำ	1
1.2 ความเป็นมา	2
1.3 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์	2
1.4 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 โครงสร้างและคุณสมบัติพื้นฐานของบริชเลส ดีซีมอเตอร์	3
2.1.1 สเตเตอร์	3
2.1.2 โรเตอร์	5
2.1.3 คุณสมบัติทางด้านความเร็วและทอร์ค	6
2.1.4 การเปรียบเทียบบริชเลส ดีซีมอเตอร์กับมอเตอร์ชนิดอื่น	6
2.1.5 สัญญาณแบ็คอีเอ็มเอฟ	8
2.2 การทำงานพื้นฐานของบริชเลส ดีซีมอเตอร์	9
2.2.1 หลักการในโหมด Sensorless Control ของบริชเลส ดีซีมอเตอร์	11
2.3 การนำบริชเลส ดีซีมอเตอร์ ไปประยุกต์ใช้งาน	11
2.3.1 การนำไปประยุกต์ใช้กับงานที่มีโหลดคงที่	12
2.3.2 การนำไปประยุกต์ใช้กับงานที่มีโหลดเปลี่ยนแปลง	12
2.3.3 การนำไปประยุกต์ใช้งานกับระบบควบคุมตำแหน่ง	12

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.4	สัญญาณพัลส์วិคมอคูเลชั่น	12
2.5	จอแสดงผลแอลซีดี	13
2.6	หลักการการทำงานของอินเวอร์เตอร์แบบสองเฟส	14
2.6.1	คุณสมบัติของไอซีเบอร์L298	15
2.7	หลักการการทำงานของอินเวอร์เตอร์แบบสามเฟส	15
2.8	วิธีการตรวจสอบสัญญาณแบ็คอีเอ็มเอฟด้วยวิธี Zero Crossing	16
2.8.1	วิธีเปรียบเทียบแรงดันBEMF กับแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์	16
2.8.2	วิธีเปรียบเทียบแรงดัน BEMF กับกราวด์เสมือน	17
2.8.3	วิธีวัดสัญญาณแรงดัน BEMF โดยใช้ Analog to Digital Converter	18
2.9	คุณสมบัติพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR	18
2.9.1	คุณสมบัติพื้นฐาน	18
2.9.2	รายละเอียดของขาสัญญาณ	19
2.9.3	สถาปัตยกรรมภายใน	20
2.9.4	รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป	22
2.9.5	หน่วยประมวลผลทางคณิตศาสตร์และลอจิก	23
2.9.6	หน่วยความจำ SRAM	23
2.9.7	การอินเตอร์รัพท์	23
2.9.8	สัญญาณรีเซ็ต	23
2.9.9	การเปรียบเทียบสัญญาณอนาลอก	25
2.9.10	การแปลงสัญญาณ Analog เป็น Digital	26
2.9.11	พอร์ตอินพุตและพอร์ตเอาต์พุต	26
2.9.12	Timer/Counter และ Watchdog Timer	30
2.9.12.1	การใช้งาน Timer / Counter 1 ในโหมด PWM	32
2.10	การใช้งานโปรแกรม Code Vision AVR	35

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 การออกแบบตัวควบคุมและระบบสายพานลำเลียง	40
3.1 การออกแบบตัวควบคุมระบบสายพานลำเลียง	40
3.1.1 การออกแบบตัวควบคุมสำหรับบรัชเลส ดีซีมอเตอร์	40
3.1.1.1 วงจร Zero Crossing	42
3.1.1.2 วงจรวัดความเร็วของบรัชเลส ดีซีมอเตอร์	43
3.1.2 การออกแบบตัวควบคุมสำหรับดีซีมอเตอร์	47
3.2 การออกแบบระบบสายพานลำเลียง	49
3.2.1 การติดตั้งมอเตอร์	50
3.2.2 การติดตั้งเซนเซอร์	52
บทที่ 4 ผลการทดลอง	54
4.1 การทดลองของวงจรวัดสัญญาณ BEMF	54
4.1.1 การวัดสัญญาณ BEMF เปรียบเทียบกับ แรงดันขาออกของวงจรตรวจจับ BEMF	55
4.1.2 การวัดสัญญาณ BEMF เปรียบเทียบกับจุดกราวด์เสมือน	56
4.1.3 การวัดสัญญาณ BEMF เปรียบเทียบกันระหว่างเฟสต่อเฟส	58
4.1.4 การวัดสัญญาณขาออกของวงจรตรวจจับ BEMF เปรียบเทียบกับจุดกราวด์เสมือน	59
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป	62
5.1 สรุป	62
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข	62
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการค้นคว้าพัฒนา	63
ภาคผนวก	64
โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบสายพานลำเลียง	65
1. โปรแกรมควบคุมการทำงานของ BLDC MOTOR	65
2. โปรแกรมควบคุมการทำงานของ DC MOTOR	70
3. โปรแกรมที่ใช้ในการวัดความเร็วของมอเตอร์	75
เอกสารอ้างอิง	79

สารบัญญภาพ

รูปที่	หน้า	
2.1	แสดงลักษณะสเตเตอร์ของบรืลเลส ดีซีมอเตอร์	4
2.2	แสดงรูปคลื่นสัญญาณแบ็คอีเอ็มเอฟที่ได้จากมอเตอร์ ที่เป็นแบบ Trapezoidal motor	4
2.3	แสดงรูปคลื่นสัญญาณแบ็คอีเอ็มเอฟที่ได้จากมอเตอร์ ที่เป็นแบบ Sinusoidal motor	5
2.4	แสดงภาพตัดโรเตอร์ของบรืลเลส ดีซีมอเตอร์	5
2.5	แสดงคุณสมบัติทางด้านความเร็วและทอร์คของบรืลเลส ดีซีมอเตอร์	6
2.6	แสดงรูปร่างและวงจรเสมือนของบรืลเลส ดีซีมอเตอร์	9
2.7	แสดงรูปคลื่นที่ได้จาก Hall Sensor และลำดับการจ่ายไฟให้กับ BLDC motor	10
2.8	แสดงวงจรเทียบเคียงของมอเตอร์ในทางอุดมคติ	11
2.9	แสดงรูปร่างของสัญญาณ PWM	13
2.10	แสดงรูปร่างของจอแสดงผลแอลซีดี	14
2.11	แสดงวงจรอินเวอร์เตอร์แบบสองเฟส	14
2.12	แสดงบล็อกไดอะแกรมของไอซี L298	15
2.13	วงจรพื้นฐานของอินเวอร์เตอร์สามเฟส	16
2.14	แสดงหลักการของวิธีเปรียบเทียบแรงดัน BEMF กับแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์	17
2.15	แสดงวิธีเปรียบเทียบแรงดัน BEMF กับกราวด์เสมือน	17
2.16	แสดงวิธีวัดสัญญาณแรงดัน BEMF โดยใช้ Analog to Digital converter	18
2.17	ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega 8535	20
2.18	แสดงสถาปัตยกรรมแบบ RISC ของ AT90S4434/8535	21
2.19	โครงสร้างของหน่วยความจำ	22
2.20	รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป	22
2.21	แสดงโครงสร้างของวงจรรีเซ็ต	24
2.22	รูปแสดง Block Diagram ของ Analog Comparator	25
2.23	แสดงโครงสร้างของพอร์ต A	27

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.24 แสดงโครงสร้างของพอร์ต์ C	29
3.1 แสดงหลักการของการวัดค่าและควบคุม BLDC มอเตอร์	40
3.2 แสดงวงจรอินเวอร์เตอร์สามเฟสที่ใช้ในการควบคุมบรชเลส ดีซีมอเตอร์	41
3.3 แสดงวงจรขับเคลื่อนของมอเตอร์	41
3.4 วงจรของตัวควบคุมที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของบรชเลส ดีซีมอเตอร์	42
3.5 แสดงวงจร Zero Crossing ที่ใช้งานจริง	43
3.6 แสดงวงจรที่ใช้ในการวัดความเร็วของบรชเลส ดีซีมอเตอร์	43
3.7 แสดงหลักการที่ใช้ในการวัดความเร็ว	44
3.8 แสดง FLOW CHART ของวิธีการวัดความเร็ว	45
3.9 แสดง FLOW CHART การควบคุมการทำงานของ BLDC มอเตอร์	45
3.10 แสดงหลักการที่ใช้ในการออกแบบตัวควบคุมสำหรับดีซีมอเตอร์	47
3.11 วงจรที่ใช้ในการควบคุมดีซีมอเตอร์	48
3.12 แสดงรูปร่างของระบบสายพานลำเลียงที่ได้ทำการออกแบบ	49
3.13 แสดงรูปร่างของระบบสายพานลำเลียงชุดกลาง	50
3.14 แสดงการติดมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนสายพานชุดกลาง	50
3.15 แสดงการติดตั้งบรชเลส ดีซีมอเตอร์	51
3.16 แสดงการติดตั้งดีซีมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนสายพานชุดที่สามด้านซ้าย	51
3.17 แสดงการติดตั้งดีซีมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนสายพานชุดที่สามด้านขวา	52
3.18 แสดงการติดตั้งลิมิตสวิตช์	52
3.19 การติดตั้งเซนเซอร์สำหรับตรวจจับวัตถุ	53
4.1 แสดงรูปสัญญาณ BEMF ตามทฤษฎี	54
4.2 แสดงรูปสัญญาณ BEMF ที่วัดได้จากเฟส A ของ BLDC MOTOR เทียบกับแรงดันขาออกของวงจรตรวจจับสัญญาณ BEMF	55
4.3 แสดงรูปสัญญาณ BEMF ที่วัดได้จากเฟส B ของ BLDC MOTOR เทียบกับแรงดันขาออกของวงจรตรวจจับสัญญาณ BEMF	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4 แสดงรูปสัญญาณ BEMF ที่วัดได้จากเฟส C ของ BLDC MOTOR เทียบกับแรงดันขาออกของวงจรตรวจจับสัญญาณ BEMF	56
4.5 แสดงรูปสัญญาณ BEMF ที่วัดได้จากเฟส A ของ BLDC MOTOR เทียบกับสัญญาณที่วัดได้จากจูดกราวด์เสมือน	56
4.6 แสดงรูปสัญญาณ BEMF ที่วัดได้จากเฟส B ของ BLDC MOTOR เทียบกับสัญญาณที่วัดได้จากจูดกราวด์เสมือน	57
4.7 แสดงรูปสัญญาณ BEMF ที่วัดได้จากเฟส C ของ BLDC MOTOR เทียบกับสัญญาณที่วัดได้จากจูดกราวด์เสมือน	57
4.8 แสดงรูปสัญญาณ BEMF ที่วัดได้จากเฟส A เทียบกับสัญญาณที่วัดได้จากเฟส B ของ BLDC MOTOR	58
4.9 แสดงรูปสัญญาณ BEMF ที่วัดได้จากเฟส A เทียบกับสัญญาณที่วัดได้จากเฟส C ของ BLDC MOTOR	58
4.10 แสดงรูปสัญญาณ BEMF ที่วัดได้จากเฟส B เทียบกับสัญญาณที่วัดได้จากเฟส C ของ BLDC MOTOR	59
4.11 แสดงการเกิด Zero Crossing ที่เฟส A	59
4.12 แสดงการเกิด Zero Crossing ที่เฟส B	60
4.13 แสดงการเกิด Zero Crossing ที่เฟส C	60

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงการเปรียบเทียบขั้วขั้วเลส ดีซี มอเตอร์กับมอเตอร์แปรงถ่าน (Brushless dc motor)	7
2.2 แสดงการเปรียบเทียบขั้วขั้วเลส ดีซี มอเตอร์กับอินดักชันมอเตอร์	7
2.3 คุณลักษณะของสัญญาณรีเซ็ต	24
2.4 การใช้งานพอร์ต A เป็น พอร์ตอินพุต/เอาต์พุต	27
2.5 การใช้งานพอร์ต B	27
2.6 การใช้งานพอร์ต B เป็นพอร์ต อินพุต/ เอาต์พุต	28
2.7 การใช้งานพอร์ต C เป็นพอร์ต อินพุต/เอาต์พุต	29
2.8 การใช้งานพอร์ต D ในฟังก์ชันการทำงานอื่น	30
2.9 แสดงการใช้งานพอร์ต D เป็นพอร์ตอินพุต/เอาต์พุต	30
2.10 แสดง CLOCK 0 PRESCALER	31
2.11 COMPARE 1 MODE SELECT	32
2.12 PWM MODE SELECT	32
2.13 CLOCK 1 PRESCALER SELECT	32
2.14 การกำหนดค่าสูงสุดของค่า PWM	33
2.15 ตารางกำหนดลักษณะขาสัญญาณที่ขา PD5 (OC1A) ขา PD4 (OC1B) ในโหมด PWM	33
2.16 ตารางเอาต์พุตของ PWM (OCR1X=0000H) หรือ TOP	33
2.17 COMPARE MODE ใน PWM MODE	34
2.18 COMPARE MODE SELECT	34
2.19 TIMER/COUNTER 2 PRESCALER SELECT	34

บทที่ 1

บทนำ

1.1 กล่าวนำ

ในปัจจุบันการควบคุมดิซิมอเตอร์จะพบได้มากในงานอุตสาหกรรมและในกระบวนการผลิตเป็นอย่างมาก ดังนั้นการออกแบบระบบควบคุมดิซิมอเตอร์ และการวิเคราะห์ จึงเป็นเทคนิคใหม่ที่มีความสำคัญและน่าสนใจ ระบบการควบคุมแบบดั้งเดิมอุปกรณ์ที่สำคัญในระบบมักได้แก่พวกมอเตอร์ไฟฟ้าต่างๆ ไฮดรอลิกส์ แอ็คชูเอเตอร์และพวกเบรกและครัชเป็นต้น แต่ด้วยความเจริญก้าวหน้าของเทคโนโลยีการสร้างแม่เหล็กถาวรให้มีคุณภาพสูง ทำให้ดิซิมอเตอร์กลายเป็นอุปกรณ์จักรกลที่สำคัญในระบบควบคุมเกือบทุกชนิดในปัจจุบัน และ ในเวลาเดียวกันบวกกับความก้าวหน้าของไมโครโปรเซสเซอร์ทำให้เกิดการสร้างการประยุกต์งานใหม่ๆขึ้น ทำให้ดิซิมอเตอร์และสตีปมอเตอร์ได้รับความนิยมใช้งานอุตสาหกรรมปัจจุบันอย่างกว้างขวาง แต่มีมอเตอร์อีกชนิดหนึ่งซึ่งปัจจุบันได้มีการประยุกต์นำไปใช้งานมากขึ้นไม่แพ้กับดิซิมอเตอร์ คือ มอเตอร์ไร้แปรงถ่าน หรือ Brushless DC motor การประยุกต์ใช้งานของดิซิมอเตอร์แบบไม่มีแปรงถ่านนี้ มักจะใช้ในระบบที่ต้องการ โมเมนต์ของแรงเฉื่อยไม่มากนัก เนื่องจากโครงสร้างโรเตอร์ของมอเตอร์แบบนี้ สร้างขึ้นด้วยสารแม่เหล็กชนิดพิเศษเพื่อให้เป็นมอเตอร์ชนิดที่มีโมเมนต์ของแรงเฉื่อยต่ำตัวอย่างการนำมอเตอร์ไม่มีแปรงถ่านไปประยุกต์ใช้งานยกตัวอย่างเช่น Automotive , Aerospace , Medical , Industrial Automation Equipment and Instrumentation ดังนั้นการศึกษาถึงการทำงานของมอเตอร์ชนิดนี้ และการนำมอเตอร์ชนิดนี้ไปประยุกต์ใช้งานจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจยิ่ง

ผู้จัดทำจึงเห็นว่าเป็นสิ่งที่น่าสนใจที่จะทำการศึกษาดังกล่าวถึงทฤษฎีการทำงานตลอดถึงวิธีการควบคุมมอเตอร์ไร้แปรงถ่าน โดยปกติแล้วในการควบคุมมอเตอร์ทั่วไปจะใช้เซนเซอร์และเอนโค้ดเดอร์ในการตรวจสอบตำแหน่งของมอเตอร์ แต่ในโครงงานนี้จะไม่มีการใช้เซนเซอร์แต่จะใช้การตรวจสอบตำแหน่งของมอเตอร์ไร้แปรงถ่าน ด้วยวิธีการตรวจสอบแรงดันด้านกลับ หรือ ที่เรียกว่าแรงดันแบ็ค อี เอ็ม เอฟ (Back Electromotive Force Voltage) แทน ด้วยเหตุนี้ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในส่วนของเซนเซอร์ลงไปได้ นอกจากนี้มอเตอร์ไร้แปรงถ่านยังมีคุณสมบัติที่เหนือกว่า ดิซิมอเตอร์และอินดักชันทั่วไปหลายประการยกตัวอย่างเช่นคุณสมบัติทางด้านความเร็วและทอร์คที่ดีกว่า ผลตอบสนองทางไดนามิกที่ดีกว่ามีอายุการใช้งานที่ดีกว่าไม่เกิดสัญญาณรบกวน เพราะไม่มีแปรงถ่าน ขณะทำงานให้เสียงเงียบเป็นต้น

1.2 ความเป็นมา

ในปัจจุบันได้มีการนำมอเตอร์ไร้แปรงถ่านไปประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวางเพิ่มมากขึ้นทั้งในโรงงานอุตสาหกรรมหรือในระบบควบคุมอัตโนมัติ โดยทั่วไปแล้วมอเตอร์ไร้แปรงถ่านจะมีทั้งแบบที่มีเซนเซอร์ และ แบบที่ไม่มีเซนเซอร์หรือที่เรียกว่าเซนเซอร์เลส บริษัท ดีซีมอเตอร์ คือจะไม่มีเซนเซอร์ที่ทำหน้าที่ตรวจสอบตำแหน่งของมอเตอร์ทำให้มอเตอร์มีราคาถูกลง แต่ก็มีวิธีอื่นที่ใช้ในการตรวจสอบตำแหน่งของมอเตอร์ได้ ก็จะต้องใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ และการเขียนโปรแกรมเข้าช่วยในการตรวจสอบหาตำแหน่งของมอเตอร์แทน ทางกลุ่มผู้จัดทำจึงเห็นว่าเป็นสิ่งที่ท้าทายและน่าสนใจในการที่จะศึกษาถึงการทำงานของมอเตอร์ชนิดนี้จึงทำให้เกิดโครงการการควบคุมมอเตอร์ไร้แปรงถ่านด้วยวิธีตรวจสอบสัญญาณ BEMF ขึ้น

1.3 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาถึงทฤษฎีการทำงานและลักษณะ โครงสร้างพื้นฐานของ BLDC มอเตอร์
2. เพื่อศึกษาและทำการออกแบบตัวควบคุมสำหรับ BLDC มอเตอร์ และ การประยุกต์ใช้งานของ BLDC มอเตอร์กับระบบสายพานลำเลียง
3. เพื่อทำการทดลองควบคุม BLDC มอเตอร์ด้วยวิธีการตรวจสอบสัญญาณ BEMF
4. เพื่อให้เข้าใจแนวทางในการนำมอเตอร์ไร้แปรงถ่านไปประยุกต์ใช้งานในระบบควบคุมอัตโนมัติ หรือ ประยุกต์ใช้งานในด้านอื่น

1.4 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

เนื้อหาในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วยเนื้อหาทั้งหมด 5 บทอาจแยกออกเป็นส่วนๆ ได้ดังนี้

บทที่ 1 บทนำ

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ กล่าวถึงทฤษฎีโครงสร้างการทำงานและคุณสมบัติของมอเตอร์ไร้แปรงถ่านรวมถึงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์

บทที่ 3 การออกแบบตัวควบคุมกล่าวถึงการออกแบบตัวควบคุมสำหรับ Brushless DC motor และ DC motor และการออกแบบระบบสายพานลำเลียง

บทที่ 4 ผลการทดลอง จะกล่าวถึงส่วนของผลที่ได้จากการทดลองควบคุม Brushless DC motor ด้วยวิธีตรวจสอบสัญญาณแบ็คอีเอ็มเอฟ

บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป จะเป็นส่วนที่แสดงถึงผลของการทำโครงการนี้ ปัญหาที่เกิดขึ้น วิธีแก้ไขปัญหา และแนวทางในพัฒนาปรับปรุง โครงการนี้ให้ดีขึ้นต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

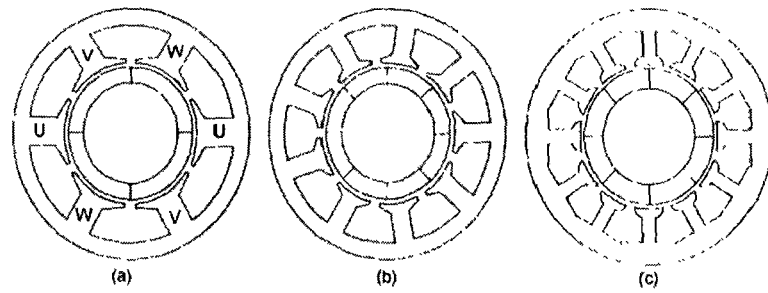
มอเตอร์ไร้แปรงถ่าน หรือ Brushless Direct Current (BLDC) motor เป็นมอเตอร์อีกชนิดหนึ่งที่ได้รับคามนิยมอย่างรวดเร็ว BLDC motor ถูกนำไปประยุกต์ใช้งานในหลายๆด้าน เช่น ในโรงงานอุตสาหกรรม ในเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ในเครื่องมือแพทย์ ในกระบวนการผลิตสินค้า ตลอดจน ในงานทางด้านการวัด และควบคุม ตามชื่อที่เรียกแล้วมอเตอร์ชนิดนี้ไม่มีแปรงถ่านที่ใช้ในการคอมมิวเตชัน แต่มอเตอร์ชนิดนี้จะใช้การคอมมิวเตชันด้วยอิเล็กทรอนิกส์ บริษัท ดีซีมอเตอร์ มีคุณสมบัติที่โดดเด่นเหนือกว่าดีซีมอเตอร์ และ อินดักชันมอเตอร์ทั่วไปหลายประการ ยกตัวอย่าง เช่น คุณสมบัติทางด้านความเร็วและทอร์กที่ดีกว่า ค่าขนาดของทอร์กจะขึ้นอยู่กับขนาดของมอเตอร์ อายุการใช้งานยาวนานกว่า ต้องการการบำรุงรักษาน้อยกว่า ในบทนี้จะกล่าวถึงโครงสร้างการทำงานพื้นฐานและคุณสมบัติของมอเตอร์ชนิดนี้

2.1 โครงสร้างและคุณสมบัติพื้นฐานของบริษัท ดีซีมอเตอร์

บริษัท ดีซีมอเตอร์ เป็นอีกชนิดหนึ่งของชิงโครนสมอเตอร์ซึ่งมีสเตเตอร์ทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็ก สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นนี้จะผ่านไปที่โรเตอร์ของมอเตอร์ที่เป็นแม่เหล็กถาวรทำให้มอเตอร์หมุนไปได้ที่ความเร็วเดียวกัน บริษัท ดีซีมอเตอร์ มีทั้งแบบหนึ่งเฟส สองเฟส และสามเฟส จำนวนขั้วที่สเตเตอร์ของบริษัท ดีซีมอเตอร์ จะเป็นตัวกำหนดความละเอียดในการหมุนของมอเตอร์ โดยส่วนมากแล้วบริษัท ดีซีมอเตอร์แบบสามเฟส จะได้รับความนิยมและมีการนำไปใช้งานมากกว่าแบบ หนึ่งเฟส และแบบสองเฟส ในโครงการนี้จะใช้มอเตอร์ที่เป็นแบบสามเฟสมีจำนวนขั้วของสเตเตอร์ทั้งหมด 6 ขั้ว ซึ่งจะหมุนครบหนึ่งรอบหรือหกสเต็ป สเต็ปละ 60 องศา หรือ 1 รอบครบ 360 องศา

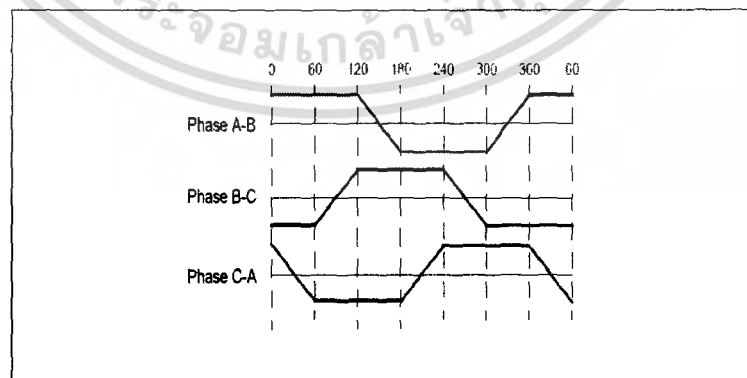
2.1.1 สเตเตอร์

สเตเตอร์ของบริษัท ดีซีมอเตอร์ ทำด้วยแผ่นลามิเนตวางทับซ้อนกันภายในมีร่องสำหรับใส่ขดลวด หรือ เรียกว่าสล็อต บริษัท ดีซีมอเตอร์ มีสเตเตอร์คล้ายกับอินดักชันมอเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ส่วนมากแล้วบริษัท ดีซีมอเตอร์จะมีขดลวดสเตเตอร์ 3ขดที่มีการต่อกันเป็นแบบสตาร์ในแต่ละขั้วของสเตเตอร์จะมีเส้นลวดจำนวนมากพันต่อกันอยู่ภายในช่องสล็อตของสเตเตอร์มอเตอร์ที่มีขั้วจำนวนขั้วของสเตเตอร์มากจะให้การหมุนที่มีความละเอียดมากตามไปด้วยในโครงการนี้จะใช้มอเตอร์ ที่เป็นแบบที่มีขั้วของสเตเตอร์ทั้งหมดจำนวน 6 ขั้วแสดงในรูป 2.1 ช่ายสุค



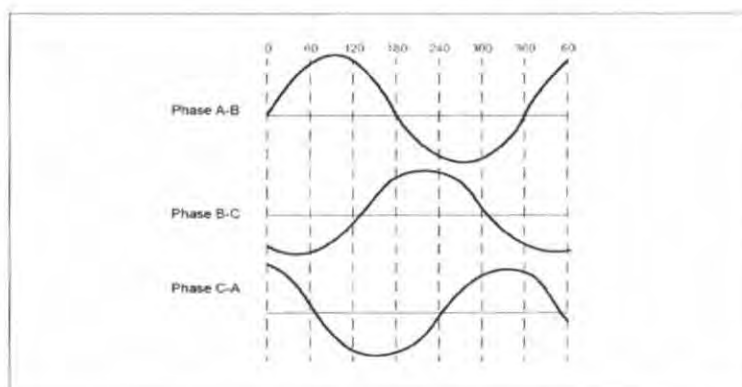
รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะสเตเตอร์ของบรืลเลสดีซีมอเตอร์

ขดลวดสเตเตอร์ของบรืลเลส ดีซีมอเตอร์แบ่งออกเป็นสองแบบ ขึ้นอยู่กับลักษณะในการพันขดลวด ซึ่งสามารถแบ่งบรืลเลส ดีซีมอเตอร์ออกเป็นสองแบบตามลักษณะการพันขดลวดสเตเตอร์ คือแบบ Trapezoidal motor และแบบ Sinusoidal motor มอเตอร์ทั้งสองแบบที่มีการพันขดลวดสเตเตอร์ที่ต่างกันนี้จะให้สัญญาณ BEMF แตกต่างกันคือ Trapezoidal motor จะให้สัญญาณ BEMF ออกมาเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ส่วน Sinusoidal motor ก็จะทำให้สัญญาณ BEMF ออกมาเป็นรูปสัญญาณไซน์ บรืลเลส ดีซีมอเตอร์ที่เป็น Sinusoidal motor จะให้ทอร์คเอาต์พุตทอร์คที่มีความราบเรียบมากกว่าบรืลเลส ดีซีมอเตอร์ที่เป็นแบบ Trapezoidal motor อย่างไรก็ตามทำให้ราคาของมอเตอร์ที่เป็นแบบ Sinusoidal มีราคาแพงกว่ามอเตอร์ที่เป็นแบบ Trapezoidal สาเหตุมาจากการที่ใช้ขดลวดในการพันไปตามสเตเตอร์ที่มากกว่าโดยมากแล้วการเลือกใช้งานบรืลเลส ดีซีมอเตอร์จะใช้พิกัดของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขดลวดสเตเตอร์เป็นตัวพิจารณาในการเลือกยกตัวอย่างเช่น มอเตอร์ขนาด 48 โวลท์หรือน้อยกว่าจะถูกนำไปใช้งานทางด้านAutomotive, Robotics, Small arm movement ส่วนมอเตอร์ที่มีขนาดพิกัดแรงดัน 100 โวลท์หรือมากกว่าจะถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานทางด้าน Automation and Industrial application เป็นต้น



รูปที่ 2.2 แสดงรูปคลื่นสัญญาณBEMF ที่ได้จากมอเตอร์ที่เป็นแบบ Trapezoidal motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงรูปคลื่นสัญญาณ BEMF ที่ได้จากมอเตอร์ที่เป็นแบบ Sinusoidal motor

2.1.2 โรเตอร์

โรเตอร์ของบรัชเลส ดีซีมอเตอร์มีลักษณะที่เป็นแบบแม่เหล็กถาวรซึ่งสามารถมีได้มากถึงสองถึงแปดคู่โพล ซึ่งประกอบด้วยขั้วเหนือและขั้วใต้ โดยพื้นฐานแล้วต้องการให้เกิดการซึมซาบของสนามแม่เหล็กขึ้นที่โรเตอร์ วัสดุที่ถูกเลือกนำมาทำเป็นโรเตอร์ของบรัชเลส ดีซีมอเตอร์จะเป็นสารจำพวกสารแม่เหล็ก เมื่อก่อนสารที่นำมาทำเป็นโรเตอร์จะเป็นสารประเภทเฟอร์ไรต์เป็นส่วนใหญ่ แต่ด้วยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีในการผลิตที่เพิ่มมากขึ้นสารอัลลอยด์ถูกนำมาใช้ และได้รับความนิยมมากขึ้น เพราะถึงแม้ว่าสารเฟอร์ไรต์จะมีราคาถูกกว่า แต่ก็ให้การซึมซาบของสนามแม่เหล็กต่อปริมาตรน้อยกว่าสารอัลลอยด์ที่ให้การซึมซาบของสนามแม่เหล็กต่อปริมาตรที่ต่ำกว่า โรเตอร์ที่ทำจากอัลลอยด์จะให้ทอร์กที่ดีกว่าโรเตอร์ที่ทำจากเฟอร์ไรต์โดยที่ขนาดของมอเตอร์มีขนาดเท่ากัน

Neodymium (Nd), Samarium Cobalt (SmCo), อัลลอยด์ของ Neodymium, ส่วนผสมระหว่าง Ferrite และ Boron (NdFeB) เป็นบางตัวอย่างของสารแม่เหล็กที่กำลังได้รับการทำวิจัยอย่างต่อเนื่องเพื่อที่จะนำมาทำเป็น โรเตอร์ของบรัชเลส ดีซีมอเตอร์รูปที่ 2.4 แสดงภาพตัดโรเตอร์ของบรัชเลส ดีซีมอเตอร์

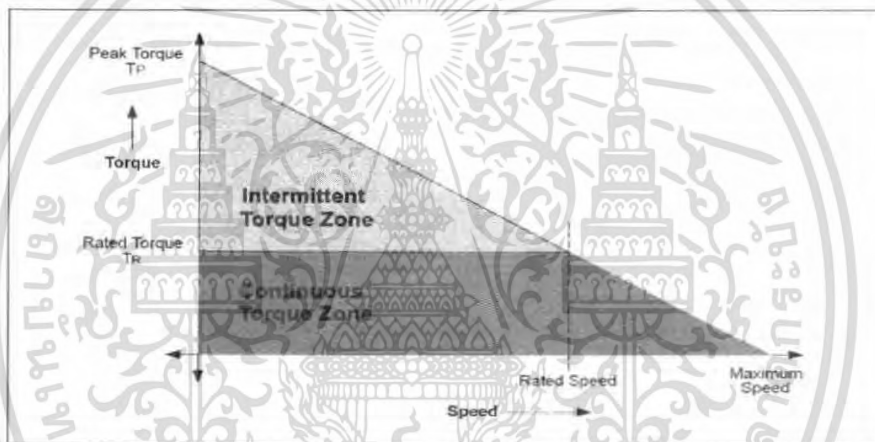


รูปที่ 2.4 แสดงภาพตัดโรเตอร์ของบรัชเลสดีซีมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 คุณสมบัติทางด้านความเร็วและทอร์ก

รูปที่ 2.5 แสดงคุณสมบัติทางด้านความเร็วและทอร์กของบรุษเลสดีซีมอเตอร์ ซึ่งมีพารามิเตอร์อยู่สองตัวที่เป็นตัวกำหนดคุณสมบัติทางด้านความเร็วและทอร์กของบรุษเลสดีซีมอเตอร์คือ พีคทอร์ก (PEAK TORQUE ,TP) และเรททอร์ก (RATED TORQUE,TR) มอเตอร์จะสามารถรับโหลดได้ที่เรททอร์กในขณะที่มอเตอร์ทำงานอย่างต่อเนื่อง ในบรุษเลสดีซีมอเตอร์แล้วทอร์กเปรียบเสมือนตัวแปรที่ใช้ในการกำหนดพิคค่าความเร็วของมอเตอร์หรือ RATED SPEED บรุษเลส ดีซีมอเตอร์สามารถหมุนได้ถึงความเร็วสูงสุดหรือ MAXIMUM SPEED ซึ่งประมาณ 150% ของ RATED SPEED แต่จะทำให้ค่าทอร์กของมอเตอร์เริ่มมีค่าลดลงซึ่งเป็นธรรมชาติของดีซีมอเตอร์ คือเมื่อความเร็วมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าทอร์กมีค่าลดลง ดังนั้นการเลือกบรุษเลสดีซีมอเตอร์ไปใช้งานควรเลือกให้เหมาะสมกับงานที่นำไปประยุกต์ใช้



รูปที่ 2.5 แสดงคุณสมบัติทางด้านความเร็วและทอร์กของบรุษเลสดีซีมอเตอร์

2.1.4 การเปรียบเทียบบรุษเลสดีซีมอเตอร์ กับมอเตอร์ชนิดอื่น

เมื่อเปรียบเทียบบรุษเลส ดีซีมอเตอร์กับอินดักชั่นมอเตอร์แล้วบรุษเลสดีซีมอเตอร์มีข้อดีมากกว่า แต่ก็มีข้อเสียอยู่บ้างเล็กน้อย ยกตัวอย่างข้อดี เช่น มอเตอร์บรุษเลสต้องการการซ่อมบำรุงที่น้อยกว่าและมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์ที่มีแปรงถ่านหรือ (Brushed DC motor) บรุษเลสดีซีมอเตอร์ให้ทอร์กเอาท์พุตมากกว่ามอเตอร์แปรงถ่านและ อินดักชั่นมอเตอร์ (Induction motor) เพราะว่บรุษเลส ดีซีมอเตอร์มีโรเตอร์ที่เป็นแม่เหล็กถาวร ไม่มีแรงเฉื่อยเกิดขึ้นที่โรเตอร์เมื่อบรุษเลส ดีซีมอเตอร์ทำงานจะให้เสียงที่เงียบมากกว่ามอเตอร์ที่มีแปรงถ่าน ส่วนข้อเสียเช่นควบคุมยาก ตารางที่ 2.1 แสดงตารางเปรียบเทียบ บรุษเลส ดีซี มอเตอร์ กับมอเตอร์แปรงถ่าน (Brushed DC motor) ตารางที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบ บรุษเลส ดีซีมอเตอร์กับอินดักชั่นมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของมอเตอร์กับมอเตอร์แปรงถ่าน (Brushed DC motor)

เปรียบเทียบ	BLDC MOTOR	BRUSHED DC MOTOR
คอมมิวเตชัน	อิเล็กทรอนิกส์คอมมิวเตชัน	ใช้แปรงถ่านในการคอมมิวเตชัน
การซ่อมบำรุง	ต้องการ การซ่อมบำรุงน้อยกว่า	ต้องซ่อมบำรุงตามเวลาที่กำหนด
ความเร็ว/ ทอร์ค	ราบเรียบทุกค่าความเร็วที่ค่า พิกัดโหลด	ไม่ราบเรียบที่ค่าความเร็วที่สูง ค่า friction เพิ่ม ทำให้ทอร์คลดลง
อายุใช้งาน	นานกว่า	สั้นกว่า
ความเสถียร ของโรเตอร์	ต่ำ เพราะมีโรเตอร์เป็นแม่เหล็ก ถาวร มีผลการตอบสนองทางได นามิกที่ดีกว่า	มีความเสถียรมากกว่า เพราะมีแปรงถ่าน
สัญญาณ รบกวน	น้อยกว่าเพราะมีโรเตอร์เป็น แม่เหล็กถาวรไม่มีการอาร์ค เกิดขึ้น	มากกว่าเพราะเกิดการอาร์คขึ้นที่แปรง ถ่าน จึงทำให้เกิดสัญญาณรบกวนขึ้น
ราคาของ มอเตอร์	แพงกว่าเพราะมีโรเตอร์เป็นแม่ เหล็กถาวรต้องใช้ค่าใช้จ่ายใน การทำมากกว่า	ราคาถูกกว่า
การควบคุม	ควบคุมยากและใช้ตัวควบคุมที่ แพง	ควบคุมง่าย และ ตัวควบคุมราคาถูก

ตารางที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของมอเตอร์กับ อินдукชันมอเตอร์

เปรียบเทียบ	BLDC MOTOR	INDUCTION MOTOR
ความเร็ว/ ทอร์ค	ราบเรียบทุกค่าความเร็วที่ค่า พิกัดโหลด	ไม่เป็นเชิงเส้นมีค่าทอร์คที่ต่ำเมื่อมอเตอร์ ทำงานที่ความเร็วรอบต่ำ
เอาต์พุต เพาเวอร์	มากกว่าเพราะมีโรเตอร์เป็นแบบ แม่เหล็กถาวร ไม่มีการสูญเสีย กำลังงานเกิดขึ้น	ต่ำกว่า เพราะทั้งสเตเตอร์ และ โรเตอร์ เป็นขดลวด ทำให้เกิดการสูญเสียกำลัง งานขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2(ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของมอเตอร์กับอินดักชันมอเตอร์

เปรียบเทียบ	BLDC MOTOR	INDUCTION MOTOR
ความเสถียรของมอเตอร์	ต่ำ เพราะมีโรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร มีผลการตอบสนองทางไดนามิกที่ดีกว่า	สูงกว่า และมีผลตอบสนองทางไดนามิกที่แย่กว่า
กระแสไฟฟ้าเมื่อเริ่มสตาร์ท	อยู่ที่พิกัด และ ไม่ต้องการวงจรพิเศษช่วยในการสตาร์ท	เมื่อเริ่มสตาร์ทจะดึงกระแสประมาณ 7 เท่าของกระแสพิกัด ปกติแล้วจะใช้วงจรสตาร์ท และ เคลด้า ในการสตาร์ท
การควบคุม	ต้องใช้ตัวควบคุมเสมอและในตัวควบคุมนี้สามารถปรับความเร็วของมอเตอร์ได้	ไม่ต้องการตัวควบคุมเมื่อต้องการความเร็วคงที่ แต่หากต้องการเปลี่ยนค่าความเร็วของมอเตอร์ต้องใช้ตัวควบคุม

2.1.5 สัญญาณแบ็คอีเอ็มเอฟ

เมื่อประสิทธิภาพของมอเตอร์หมุน ในแต่ละขดลวดของมอเตอร์จะเกิดแรงดันต้านกลับขึ้นหรือที่รู้จักกันก็คือแรงดัน แบ็ค อี เอ็ม เอฟ(Back Electromotive Force Voltage) ซึ่งมีทิศทางตรงกันข้ามกับแรงดันที่จ่ายให้กับขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์ตามกฎหมายของเลนส์(Lenz's Law)สัญญาณแบ็ค อี เอ็ม เอฟ จะขึ้นอยู่กับตัวแปรหลักสามประการคือ

1. ความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์
2. สนามแม่เหล็กที่ถูกดูดกลืนโดยโรเตอร์ของมอเตอร์
3. จำนวนรอบของขดลวดสเตเตอร์

จากข้างต้นเราสามารถเขียนสมการเพื่อหาค่าของสัญญาณ BEMF ได้ดังสมการข้างล่างนี้

$$\text{BACK EMF} = (E) \propto N/r\omega \quad (2.1)$$

โดยที่

N เป็นจำนวนของขดลวดต่อเฟส

l เป็นความยาวของโรเตอร์

r เป็นรัศมีภายในของโรเตอร์

B เป็นความเข้มสนามแม่เหล็กของโรเตอร์

มอเตอร์ที่ได้รับการออกแบบมาแล้วความเข้มสนามแม่เหล็กของโรเตอร์จำนวนรอบของขดลวดที่สเตเตอร์ และความยาวของโรเตอร์จะมีค่าคงที่ตายตัว ดังนั้นจึงมีเพียงตัวแปรเดียวที่ทำให้ค่าของสัญญาณ BEMF สามารถเปลี่ยนแปลงได้ก็คือความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์ (ω)

เมื่อมอเตอร์หมุนที่ความเร็วพิกัด (Rate Speed) ระดับของแรงดันไฟฟ้าที่แตกต่างกันระหว่างแรงดัน BEMF และ แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์จะเพียงพอที่จะสามารถดึงให้มอเตอร์หมุนไปได้ที่กระแสพิกัด (Rate Current) ซึ่งจะทำให้มอเตอร์เกิดค่าทอร์กพิกัดด้วย (Rate Torque) แต่ถ้ามอเตอร์หมุนเกินค่าความเร็วพิกัดอาจทำให้แรงดัน BEMF มีค่าเพิ่มมากขึ้นแทน ซึ่งจะทำให้ระดับของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมขดลวดลดลงกระแสก็จะลดลง และจะเป็นผลทำให้ค่าทอร์กลดลงด้วย จุดสุดท้ายของความเร็วจะเกิดขึ้นเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ มีค่าเท่ากับผลรวมของแรงดัน BEMF รวมกับการสูญเสียต่างๆที่เกิดขึ้นในตัวมอเตอร์โดยที่ค่าของกระแสและค่าทอร์กจะมีค่าเท่ากับศูนย์

2.2 การทำงานพื้นฐานของBrushless DC Motor

ในการทำงานของมอเตอร์แบบที่ใช้แปรงถ่าน (Brushed DC motor) จะมีการทำงานแบบง่ายๆ โดยมีแปรงถ่านเป็นตัวคอยสับเปลี่ยนการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดของมอเตอร์เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กที่เหมาะสม มอเตอร์ชนิดนี้จะมีสายเพียงสองเส้นเท่านั้น แต่ในมอเตอร์แบบไร้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor) จะมีขดลวดอยู่สามชุดและจะทำงานครั้งละสองชุดสับเปลี่ยนกันเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กที่เหมาะสม จะเห็นได้ว่ามอเตอร์ไร้แปรงถ่านจะมีสายจำนวนสามเส้นต่อออกมาตามรูปที่ 2.6 คือขั้ว A, B และ C ตามลำดับ



รูปที่ 2.6 แสดงรูปร่างและวงจรมอเตอร์ของ Brushless DC Motor

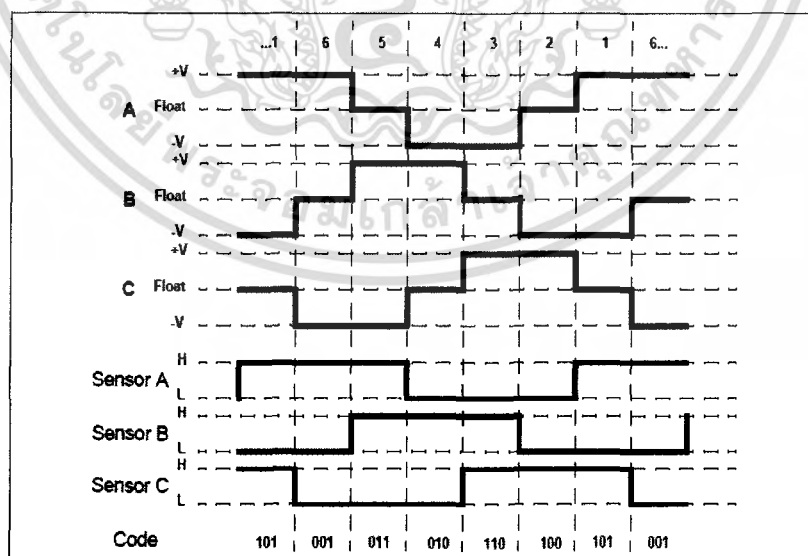
จากรูปที่ 2.6 ด้านซ้ายแสดงภาพตัดขวางของมอเตอร์จะเห็นตัวหมุนหรือโรเตอร์ที่เป็นแบบแม่เหล็กถาวรอยู่ตรงกลางและขดลวด A B C อยู่รอบๆ แต่หากเป็นมอเตอร์ที่เป็นแบบเปลือกหมุน (Out Runner) จะกลับกันคือขดลวดจะอยู่ตรงกลางแล้วมีเปลือกแม่เหล็กเป็นวงกลมอยู่รอบนอกแทน ในรูปที่ 2.6 จะเห็นว่ากระแสจะไหลผ่านขดลวดจาก A ไป B ตามเส้นทางที่ 1 ทำให้เกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนามแม่เหล็กสำหรับดึงดูดแกนหมุนให้อยู่ระหว่างขั้วของ A และ B หรือ มอเตอร์จะวางตัวอยู่ตามรูปที่ 2.6 และหากให้การไหลของกระแสไหลตามเส้นทางที่ 6 คือจากขั้ว A ไปยังขั้ว C จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กระหว่างขั้ว A และ C ทำให้โรเตอร์หมุนเคลื่อนไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาไปอยู่ระหว่างขั้ว A และ C แทน หรือขั้ว N ประมาณเลข 11 บนหน้าปัดนาฬิกาและหากเปลี่ยนกระแสให้ไหลในเส้นทางที่ 5 คือจาก B ไปยัง C ต่อไปอีกโรเตอร์จะหมุนทวนเข็มนาฬิกาต่อไปอีกขั้ว N จะอยู่ที่ระหว่างขั้ว B และ C หรือที่ประมาณ 9 นาฬิกาดังนั้นหากให้เกิดการหมุนอย่างต่อเนื่องจะต้องทำการสับขั้วให้กระแสไหลในจังหวะที่เหมาะสมตามลำดับไป ซึ่งดูได้จากรูปที่ 2.7 ซึ่งแสดงลำดับของการจ่ายไฟให้กับบริชเลส ดีซีมอเตอร์ และเมื่อจ่ายกระแสไปจนครบ 6 ขั้นจะเกิดการหมุนครบ 1 รอบพอดี ในระหว่างขั้นต่างๆ นี้ขั้ว A B และ C จะถูกสับเปลี่ยนไปมาระหว่างบวกและลบ

จากหลักการทำงานข้างต้นจะเห็นว่าการสับเปลี่ยนขั้วมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งของโรเตอร์เป็นอย่างมาก การสับเปลี่ยนขั้วเพื่อให้เกิดสนามแม่เหล็กที่เหมาะสมจะทำให้มอเตอร์มีแรงบิดที่ดี โดยแรงบิดจะเกิดขึ้นสูงสุดเมื่อโรเตอร์ทำมุมกับสนามแม่เหล็ก 90 องศา การควบคุมมอเตอร์ไร้แปรงถ่านเราอาจจะได้ยินคำว่า Sensorless อีกคำหนึ่งในการควบคุมมอเตอร์แบบนี้จะไม่ใช้เซนเซอร์ในการตรวจสอบตำแหน่งของมอเตอร์แต่จะใช้การตรวจสอบสัญญาณ แบ็ค อี เอ็ม เอฟ แทน

การใช้ Sensor มีข้อดีคือตัวควบคุมทำงานง่ายแต่มีข้อยุ่งยากคือต้องใช้เซนเซอร์เพิ่ม และเป็นภาระในการดูแลรักษาทำให้มีเทคนิคในการตรวจสอบตำแหน่งโดยที่ไม่ต้องใช้เซนเซอร์ขึ้นหรือที่เรียกว่า Sensorless Control นั่นเอง



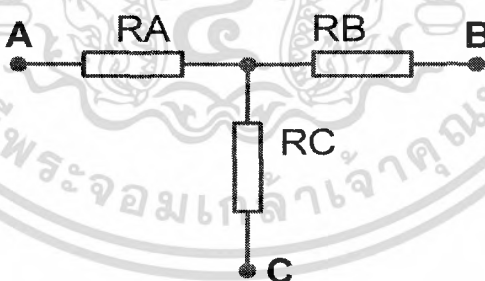
รูปที่ 2.7 รูปคลื่นที่ได้ Hall Sensor และลำดับการจ่ายไฟให้กับ BLDC motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 หลักการในโหมด SENSORLESS CONTROL ของBrushless DC Motor

หลักการทำงานในโหมดเซนเซอร์เลสคอนโทรล (Sensorless Control) ของ Brushless DC Motor ก็คือจะไม่มีการใช้เซนเซอร์ในการตรวจสอบตำแหน่งโรเตอร์ของมอเตอร์ โดยจากลักษณะของมอเตอร์และการทำงานที่มีการจ่ายไฟทีละ 2 ขั้วจะมีขั้วที่ว่างอยู่อีกหนึ่งขั้วซึ่งในขณะที่มอเตอร์หมุนจะมีสัญญาณออกมา สัญญาณนั้นก็คือนำสัญญาณ BEMF นั้นเอง และเราสามารถที่จะนำสัญญาณนี้ไปประเมินค่าเพื่อทำการกำหนดตำแหน่งโรเตอร์ของมอเตอร์ได้เช่นเดียวกับการใช้ Hall Sensor ตรวจสอบ วิธีนี้มีข้อดีคือไม่จำเป็นต้องติดตั้งเซนเซอร์ทำให้สะดวก และประหยัดแต่ก็มีข้อเสียคือ เมื่อมอเตอร์ยังไม่หมุนจะไม่มีสัญญาณ BEMF ออกมาทำให้ตัวควบคุมไม่สามารถตรวจสอบตำแหน่งของมอเตอร์ในตอนเริ่มต้นหมุนได้ หรือ อาจจะหมุนได้แต่สะดุด หรือ แม้แต่หมุนกลับทางไปเลยก็มี ทั้งนี้มาจากการที่ว่าไม่สามารถวัดสัญญาณ BEMF ได้ในตอนต้นนั่นเองแต่ตัวควบคุมที่ดีจะมีเทคนิคในการเริ่มต้นสตาร์ทที่ดีซึ่งจะทำให้สามารถเริ่มต้นการหมุนได้แน่นอนกว่า

ตามทฤษฎีแล้ว เมื่อทำการจ่ายไฟให้กับมอเตอร์ซึ่งทำการจ่ายไฟทีละสองเฟส จะมีเฟสหนึ่งที่ลอยอยู่แรงดัน BEMF ที่เกิดขึ้นที่เฟสนี้ควรมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์หรือ $V_{CC}/2$ ตามรูปที่ 2.7 ในรูปเป็นสัญญาณที่ได้ในทางอุดมคติหรือที่ได้จาก Hall Sensor ซึ่งคิดเพียงค่าโวลต์ความต้านทานเท่านั้นแต่ในทางปฏิบัติแล้วแต่ละเฟสของมอเตอร์เป็น ขดลวด เมื่อทำงานจริงจะเกิดค่าความต้านทานและค่าความเหนี่ยวนำเสมือนขึ้นเป็นผลให้สัญญาณ BEMF ที่ได้จริงๆมีลักษณะไม่เป็นไปตามรูปที่ 2.7 ซึ่งจะได้ทำการทดลองให้เห็นจริงในบทที่ 4 รูปที่ 2.8 เป็นวงจรของ Brushless DC Motor ในทางอุดมคติที่ให้สัญญาณออกมาตามรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.8 แสดงวงจรเทียบเคียงของมอเตอร์ในทางอุดมคติ

2.3 การนำ Brushless DC Motor ไปประยุกต์ใช้งาน

มอเตอร์ชนิดนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง แต่เราสามารถจำแนกลักษณะตามการนำไปใช้งานออกเป็นสามแบบหลักๆคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 การนำไปประยุกต์ใช้กับงานที่มีโหลดคงที่

เป็นอีกประเภทหนึ่งของการนำวีลีส ดีซีมอเตอร์ไปใช้งาน โดยที่การปรับค่าความเร็วมีความสำคัญมากกว่าความแม่นยำของความเร็วที่ค่า Set Point งานที่มีโหลดคงที่ยกตัวอย่างเช่น Fans, Pumps and Blower การนำวีลีส ดีซีมอเตอร์ไปประยุกต์ใช้งานในกรณีนี้ ตัวควบคุมจะมีราคาที่ไม่แพงมากนักปกติจะเป็นการควบคุมแบบเปิดหรือ Open loop

2.3.2 การนำไปประยุกต์ใช้กับงานที่มีโหลดเปลี่ยนแปลง

ลักษณะของงานประเภทนี้โหลดของมอเตอร์จะมีการเปลี่ยนแปลง และตัวควบคุมจะต้องมีประสิทธิภาพหรือความแม่นยำในการควบคุมความเร็วที่สูง มีผลตอบสนองทางไดนามิกที่ดี ยกตัวอย่างเช่น เครื่องซักผ้า คอมเพลสเซอร์ ระบบเกียร์อิเล็กทรอนิกส์ แขนกล การควบคุมแบบนี้อาจต้องจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ป้อนกลับ หรือเป็นการควบคุมแบบลูปปิด (Close loop Control) ซึ่งทำให้ราคาของระบบแพงขึ้น

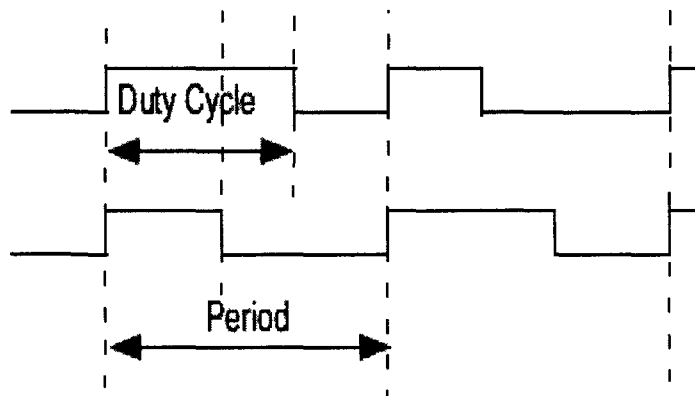
2.3.3 การนำไปประยุกต์ใช้กับระบบควบคุมตำแหน่ง

ใช้ในงานอุตสาหกรรมเป็นส่วนมาก เช่น เกียร์แมคคาทรอนิกส์, ระบบขับเคลื่อนสายพาน, เครื่อง CNC, Process control การควบคุมเครื่องจักรเป็นต้น ในงานประเภทนี้ผลตอบสนองทางไดนามิกของทอร์คและความเร็วมีความสำคัญ ส่วนมากจะเป็นการควบคุมแบบลูปปิดซึ่งอาจจะต้องมีถึงสามลูปการควบคุม คือ Torque control loop, Speed control loop, และ Position control loop ซึ่งจะต้องใช้อุปกรณ์จำพวกเอนโค้ดเดอร์ทำการวัดค่าความเร็วของมอเตอร์ด้วย

2.4 สัญญาณพัลส์วิดมอดูเลชัน

สัญญาณ PWM (Pulse width modulation) เป็นสัญญาณดิจิทัลที่เปลี่ยนจากลอจิก 0 (low) เป็นลอจิก 1 (high) โดยมีระยะห่างของคาบเวลา (period) ที่แน่นอนหรือมีความถี่คงที่โดยสัญญาณพัลส์วิดมอดูเลชันนี้จะประกอบไปด้วยขนาดความกว้างของสัญญาณพัลส์ คาบเวลา ซึ่งเป็นช่วงของระยะเวลาของสัญญาณ 1 ลูก ประกอบไปด้วยลอจิก 1 และลอจิก 0 และค่าดิวตีไซเคิล (Duty cycle) ซึ่งค่าดิวตีไซเคิลสามารถหาได้จากค่าความกว้างของสัญญาณพัลส์ด้านบวกหารด้วยคาบเวลาของสัญญาณหนึ่งลูก การปรับความเร็วของวีลีส ดีซีมอเตอร์จะสามารถปรับได้จากการปรับแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์ โดยที่แรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์นั้นจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าเฉลี่ยของสัญญาณพัลส์วิดมอดูเลชันในหนึ่งคาบเวลาของสัญญาณ การคำนวณหาค่าดิวตีไซเคิลสามารถหาได้จากสมการที่ 2.2

$$\text{Duty cycle} = \text{Ton} / T(\text{period}) \quad (2.2)$$



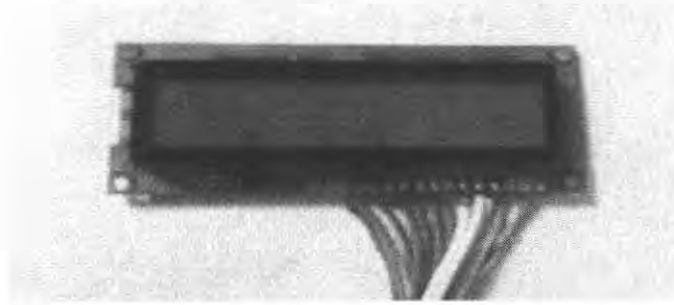
รูปที่ 2.9 แสดงรูปร่างของสัญญาณ PWM

2.5 จอแสดงผลแอลซีดี

อุปกรณ์ในปัจจุบันนี้ส่วนแสดงผลมักใช้จอแอลซีดีเสียเป็นส่วนใหญ่ไม่ว่าจะเป็นเครื่องเล่นวีดีโอเครื่องคิดเลข เกมส์คอมพิวเตอร์เราสามารถแบ่งจอแอลซีดี โมดูลชนิดคอทเมตริกส์ออกได้เป็นพวกๆคือ จอแอลซีดี โมดูลแสดงผลแบบอักขระ(Character lcd module) จอแอลซีดี โมดูลแสดงผลแบบกราฟฟิก (Garphic lcd module) และ จอแอลซีดี โมดูลแสดงผลแบบเซกเมนต์ (Segment lcd module) ไอซีที่นิยมใช้งานทางด้านกราฟฟิกคือDV12864 ซึ่งเป็น Garphic lcd module มีขนาด 128×64 dot ซึ่งมีคอนโทรลเลอร์ภายใน โดยโครงสร้างภายในของจอแอลซีดีจะประกอบด้วยส่วนควบคุมการอ้างถึงหน้า (Page) และส่วนควบคุมในการอ้างถึงเซกเมนต์ ซึ่งในการใช้งานเราจะต้องควบคุมส่วนเหล่านี้ โดยการส่งรหัสควบคุมไปที่ขาของจอแอลซีดีและหน้าที่ของขาต่างๆของจอแอลซีดีจะมีการทำงานดังนี้

- ขาที่ 1 GND ขาสำหรับต่อกราวด์ของวงจร
- ขาที่ 2 VCC สำหรับต่อไฟเลี้ยง
- ขาที่ 3 VO สำหรับปรับความสว่างของหน้าจอ LCD
- ขาที่ 4 RS (register select) ขาเลือกการติดต่อกับรีจิสเตอร์คำสั่งหรือข้อมูล โดย 0 จะติดต่อกับคำสั่ง 1 จะติดต่อกับข้อมูล
- ขาที่ 5 R/W (read/write control) ขาอ่านหรือเขียนข้อมูลให้กับ โมดูล LCD
- ขาที่ 6 E (ENABLE) ขาป้อนสัญญาณพัลส์ ให้โมดูล LCD ทำงาน
- ขาที่ 7 – 14 D0-D7 เป็นขาข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

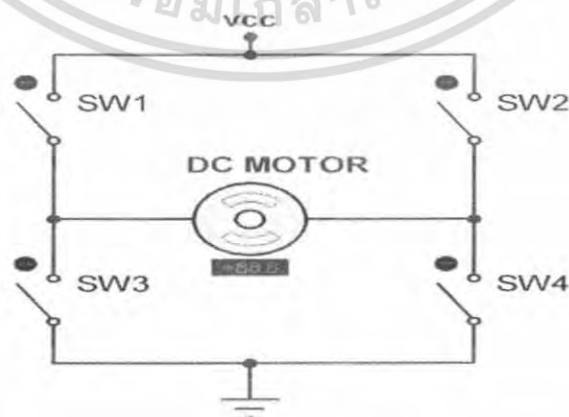


รูปที่ 2.10 แสดงรูปร่างของจอแสดงผล LCD

2.6 หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์แบบสองเฟส

จากรูปที่ 2.11การทำงานของวงจรจะใช้แหล่งจ่ายไฟเพียงชุดเดียว คือ บวก หรือ ลบ เพื่อป้อนให้กับมอเตอร์ซึ่งแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์นี้จะมีขนาดเกือบเท่ากับแรงดันของแหล่งจ่าย ในวงจร SW1 และ SW4 จะนำกระแสเมื่อมอเตอร์ได้รับแรงดันให้หมุนไปในทิศทางหนึ่งและ SW2 และ SW3 จะนำ กระแสเมื่อมอเตอร์ได้รับแรงดันให้หมุนไปในทิศทางตรงกันข้าม ดังนั้นแรงดันที่ตกคร่อม SW แต่ละตัวที่นำกระแสจะมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของแรงดันที่แหล่งจ่ายลบกับแรงดันที่ตกคร่อมมอเตอร์

ในโครงงานนี้ได้มีการใช้ชิพมอเตอร์คู่ซึ่งได้ใช้ไอซีเบอร์ L298 ซึ่งมีหลักการทำงานคล้ายกับวงจรอินเวอร์เตอร์แบบสองเฟสซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวขับเคลื่อนมอเตอร์ทั้งหมด ไอซีเบอร์ L298 นี้มีการทำงานแบบ Dual Full Bridge Driver การควบคุมการทำงานของไอซี จะใช้สัญญาณสัญญาณพัลส์วิดมอดูเลชันPWM ควบคุมจากตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จ่ายสัญญาณให้กับ L298 เพื่อทำการปรับความเร็วและควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์

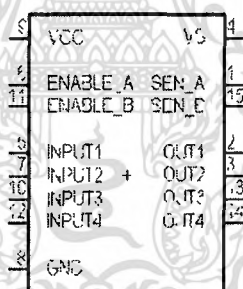


รูปที่ 2.11 แสดงวงจรอินเวอร์เตอร์แบบสองเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 คุณสมบัติของไอซีเบอร์ L298

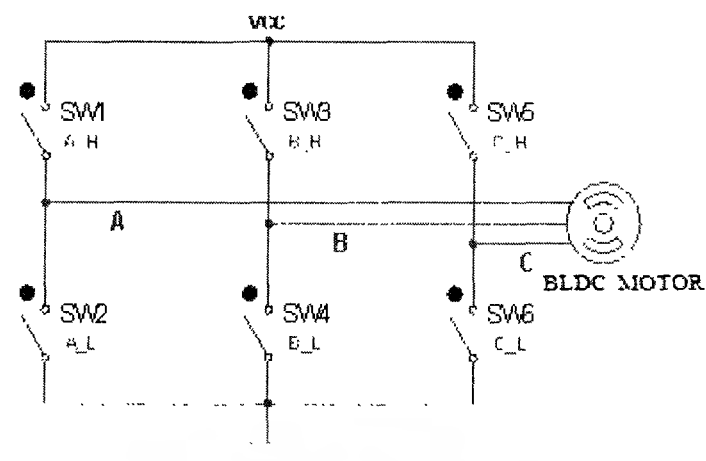
ไอซี L298 เป็นไอซีที่สามารถรองรับแรงดัน และ กระแสสูงออกแบบให้สามารถรับอินพุตในระดับ TTLสามารถนำไปใช้งานในการขับโหลดที่เป็นประเภทขดลวดเช่น รีเลย์ โซลินอยด์ ดิซีมอเตอร์ และ สเต็ปมอเตอร์ มีขาอินพุตสองขา เพื่อเปิด ปิดการทำงานของไอซี ในรูปที่ 2.12 แสดงบล็อกไดอะแกรมของไอซี L298 ซึ่งมีการทำงานคือเมื่อทำการจ่ายแรงดันที่ขา VCC (+5V)แรงดันที่ขา VS หรือ ก็คือแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์ และขากราวด์ต่อลงกราวด์ เมื่อทำการต่อดิซีมอเตอร์เข้าที่ขาเอาต์พุต 1 และเอาต์พุต 2 และให้แรงดันที่ขาอินพุต 1 มีค่าเป็น “1” HIGHT ที่ขาอินพุต 2 มีค่าเป็น “0”LOW และขาที่ 6 ขา ENABLE_A ได้รับสัญญาณอินพุตจะทำให้เกิดการไหลของกระแสจากเอาต์พุต 1 ผ่านมอเตอร์ และกลับเข้าที่ขาเอาต์พุต 2 ของ L298 และในทางตรงกันข้ามหากให้แรงดันที่ขาอินพุต 2 มีค่าเป็น “1” HIGHT แรงดันที่ขาอินพุต 1 มีค่าเป็น “0” LOW เมื่อขา ENABLE_A ได้รับสัญญาณอินพุตจะทำให้กระแสไหลจากเอาต์พุต 2 ผ่านมอเตอร์ และกลับเข้าไปที่ขาเอาต์พุต 1 ของ L298 ส่วนขาอินพุต 3, อินพุต 4,เอาต์พุต 3,เอาต์พุต 4, และขา ENABLE_Bก็จะมีการทำงานที่เหมือนกันกับข้างต้น ขา SEN_AและSEN_Bจะเป็นขาที่ใช้สำหรับการวัดกระแส หากไม่ทำการวัดกระแส ทั้งสองขานี้จะต้องทำการต่อลงกราวด์



รูปที่ 2.12 แสดงบล็อกไดอะแกรมของไอซีL298

2.7 หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์แบบสามเฟส

จากรูปที่ 2.13 เป็นวงจรพื้นฐานของอินเวอร์เตอร์สามเฟสซึ่งในโครงงานนี้จะใช้วงจรนี้ในการควบคุมการทำงานของ บริชเลส ดิซีมอเตอร์ เมื่อบริชเลสดิซีมอเตอร์ถูกขับโดยวงจรบริดจ์สามเฟส นี้จะทำให้มีประสิทธิภาพสูงมาก เนื่องจากสามารถจ่ายกระแสไฟผ่านขดลวดได้ทั้งสองทิศทาง เหมือนกับเอซีมอเตอร์การควบคุมกระแสได้สองทิศทางเราเรียกว่าไบโพลาร์ไครเวอร์ทำให้ขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก ได้ทั้งขั้วเหนือและขั้วใต้



รูปที่ 2.13 วงจรพื้นฐานของอินเวอร์เตอร์สามเฟส

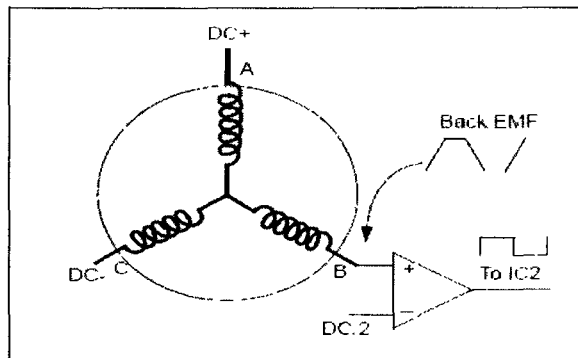
สำหรับการทำงานของวงจรจะทำงานแบบหกสแต็ป คือ SW1 – SW6 จะสลับเปลี่ยนกันทำงานครั้งละสองตัวเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กให้กับมอเตอร์ โดยมากแล้วอุปกรณ์ที่นำมาใช้เป็นสวิตช์จะเป็นพวก MOSFET สัญญาณที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของสวิตช์ทั้งหกตัวจะเป็นสัญญาณ PWM (Pulse Width Modulation) สัญญาณ PWM นี้จะใช้ในการปรับค่าแรงดันเฉลี่ยที่จ่ายให้กับมอเตอร์เพื่อทำการควบคุมความเร็วของมอเตอร์

2.8 วิธีการตรวจสอบสัญญาณแบ็คอีเอ็มเอฟด้วยวิธี Zero Crossing

การตรวจสอบแรงดัน BEMF ZERO CROSSING สามารถตรวจสอบได้ด้วยสามวิธีที่แตกต่างกันดังนี้คือ

2.8.1 วิธีเปรียบเทียบแรงดัน BEMF กับแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์

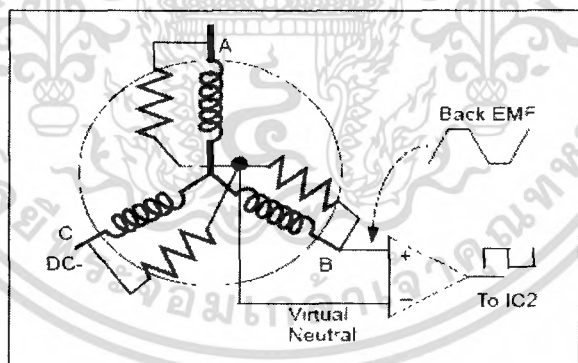
วิธีนี้จะเป็นการเปรียบเทียบแรงดัน BEMF กับครึ่งหนึ่งของแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์โดยใช้วงจร Comparator รูปที่ 2.14 แสดงหลักการของวิธีนี้จากรูปคลื่นเฟส A ต่อกับแรงดันบวกของแหล่งจ่าย (DC+) เฟส C ต่อกับแรงดันด้านลบของแหล่งจ่ายและเฟส B ลอยอยู่เมื่อเกิดแรงดันแบ็คอีเอ็มเอฟ ขึ้นที่เฟส B ค่าของแรงดันแบ็คอีเอ็มเอฟ จะเพิ่มขึ้นและลดลงตามค่าของแหล่งจ่าย (DC+ และ DC-) การเปรียบเทียบแรงดันแบ็คอีเอ็มเอฟ กับครึ่งหนึ่งของแรงดันแหล่งจ่ายจะให้แรงดันที่เฟส B มีค่าที่จุดกึ่งกลางของเฟส A และเฟส C เป็นอินพุตให้กับออปแอมป์ ที่ตั้งแรงดันอ้างอิงไว้ที่ครึ่งหนึ่งของแรงดันแหล่งจ่าย ถ้าแรงดันที่เฟส B มีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของแหล่งจ่ายจะทำให้เอาต์พุตของออปแอมป์มีค่าเป็น “1” (high) ในรูปยกตัวอย่างเพียงเฟสเดียว การใช้งานจะต้องต่อออปแอมป์ที่ทุกเฟสของมอเตอร์



รูปที่ 2.14 แสดงหลักการของวิธีเปรียบเทียบแรงดัน BEMF กับแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์

2.8.2 วิธีเปรียบเทียบแรงดัน BEMF กับกราวด์เสมือน

จากรูปการทำให้เกิดกราวด์เสมือน (Virtual Ground) จะใช้วงจรตัวต้านทานสามตัวต่อขนานกับขั้วขลวดของมอเตอร์และต่อกันเป็นกราวด์เสมือนดังรูปวงจรถั่วด้านทานนี้จะต่ออยู่ที่บอร์ดควบคุมระหว่างวงจรอินเวอร์เตอร์สามเฟสและมอเตอร์ค่าของตัวต้านทานควรจะให้ค่าที่เท่ากันและไม่มีผลกระทบต่อกระแสของมอเตอร์ ในกรณีนี้สัญญาณ BEMF จะถูกเปรียบเทียบกับจุดกราวด์เสมือนเมื่อแรงดัน BEMF ในขลวดข้ามจุดศูนย์ทางด้านบวก เอาท์พุทของวงจร Comparator จะให้สัญญาณเป็น "1" (high)

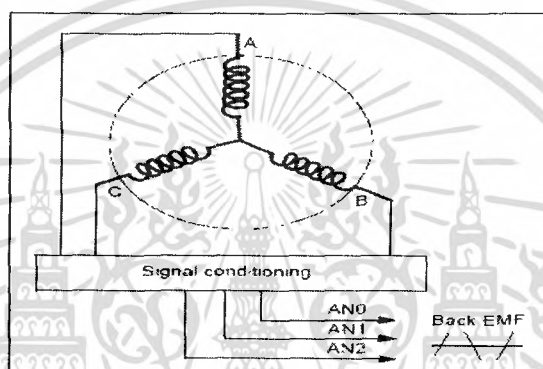


รูปที่ 2.15 แสดงวิธีเปรียบเทียบแรงดัน BEMF กับกราวด์เสมือน

และเมื่อแรงดัน BEMF ในขลวดข้ามจุดศูนย์ทางด้านลบ เอาท์พุทของวงจร Comparator จะให้สัญญาณจากระดับสูงเป็นระดับต่ำหรือ "0" (low) ในการใช้งานจะต้องใช้วงจร Comparator ทั้งหมดสามชุด ซึ่งในแต่ละเฟสของมอเตอร์จะให้สัญญาณดิจิทัลสามสัญญาณที่แปรผันตามสัญญาณ BEMF ในแต่ละขลวดของมอเตอร์และเราจะนำสัญญาณเหล่านี้ไปกำหนดการคอมมิวเตชันให้กับมอเตอร์ต่อไป และในโครงการนี้ได้ใช้วิธีนี้ในการตรวจสอบสัญญาณ BEMF

2.8.3 วิธีวัดสัญญาณแรงดัน BEMF โดยใช้ Analog to Digital Converter

วิธีที่สามที่ใช้ในการวัดสัญญาณ BEMF ZERO CROSSING นี้จะใช้ A/D คอนเวอร์เตอร์ดังแสดงในรูปที่ 2.16 ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีโมดูล ADC จะสามารถวัดระดับของสัญญาณ BEMF ได้จาก เอาท์พุทของโมดูล ADC ที่ทำการแปลงสัญญาณ BEMF เป็นสัญญาณดิจิทัลแล้วเปรียบเทียบกับค่าสัญญาณดิจิทัลที่มีค่าเท่ากับแรงดันที่จุดศูนย์ เมื่อค่าทั้งสองมีค่าเท่ากันจะทำการเปลี่ยนการคอมมิวเตชันให้กับมอเตอร์ วิธีนี้เป็นวิธีที่มีความยืดหยุ่นในการวัดสัญญาณเพราะถ้าในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์มีโมดูล ADC แล้วก็ไม่จำเป็นต้องต่อวงจรเพิ่มอย่างไรร่วมกับวิธีนี้จะต้องต่อวงจรฟิลเตอร์เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนความถี่สูงที่มาพร้อมกับสัญญาณ BEMF



รูปที่ 2.16 แสดงวิธีวัดสัญญาณแรงดัน BEMF โดยใช้ Analog to Digital Converter

2.9 คุณสมบัติพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR

2.9.1 คุณสมบัติพื้นฐาน

สถาปัตยกรรมภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ถูกออกแบบให้เป็นแบบ RISC (REDUCE INSTRUCTIONSET COMPUTER) คือทำให้การประมวลผลมีความเร็ว 1 คำสั่งต่อ 1 CLOCK หรือ CPU สามารถประมวลผลคำสั่งได้ 1 MIPS / MHz

- มีคำสั่งในการควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์จำนวน 118 คำสั่ง
- หน่วยความจำแบบ FLASH สำหรับบันทึก PROGRAM MEMORY ขนาด 8 Kbyte สำหรับ (AT90s/8535)
- หน่วยความจำแบบ FLASH สำหรับบันทึก PROGRAM MEMORY ขนาด 4 Kbyte สำหรับ (AT90s/LS4434)
- หน่วยความจำแบบ EEPROM สำหรับบันทึก DATA MEMORY ขนาด 512 Byte สำหรับ (AT90s/LS8535)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หน่วยความจำแบบ EEPROM สำหรับบันทึก DATA MEMORY ขนาด 256 Byte สำหรับ (AT90s/LS4434)

- หน่วยความจำแบบ RAM ขนาด 512 Byte (AT90s/LS8535)

- หน่วยความจำแบบ RAM ขนาด 256 Byte (AT90s/LS4434)

- ระบบการเปลี่ยนสัญญาณ Analog to Digital ขนาด 10 บิต จำนวน 8 Channel

- กลุ่มรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปขนาด 8 บิต จำนวน 32 ตัว

- พอร์ตอินพุตและเอาต์พุตขนาด 8 บิต จำนวน 4 พอร์ต

- ระบบการสื่อสารข้อมูลดิจิทัลแบบอะซิงโครนัส (UART) 1 Channel

- ระบบการสื่อสารข้อมูลดิจิทัลแบบซิงโครนัส (SPI) 1 Channel

- ความถี่สัญญาณนาฬิกา 0 - 8 MHz (AT90S8535/90S4434)

- ความถี่สัญญาณนาฬิกา 0 - 4 MHz (AT90S8535/90S4434)

- ระบบการรีเซ็ตแบบอัตโนมัติเมื่อเริ่มจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ (POWER ON RESET)

- ระบบการกำเนิดความถี่สัญญาณแบบ PWM จำนวน 3 Channel

- ระบบการตรวจจับระดับสัญญาณอนาล็อก

- SLEEP MODE : IDEL , POWER SAVE AND POWER DOWN

- ระบบการป้องกันการ COPY ข้อมูลภายในหน่วยความจำ (LOCK FOR SOFTWARE SECURITY)

- ระบบตรวจจับการทำงานผิดพลาดของ CPU (WATCHDOG TIMER WITH ON CHIP OSCILATOR)

- ระบบการอินเตอร์รัพท์จากภายนอก (EXTERNAL INTERRUPT)

- TIMER/COUNTER ขนาด 16 บิต 1 Channel

- TIMER/COUNTER ขนาด 8 บิต 2 Channel

2.9.2 รายละเอียดของขาสัญญาณ

- VCC คือ ขาจ่ายไฟให้กับ CPU

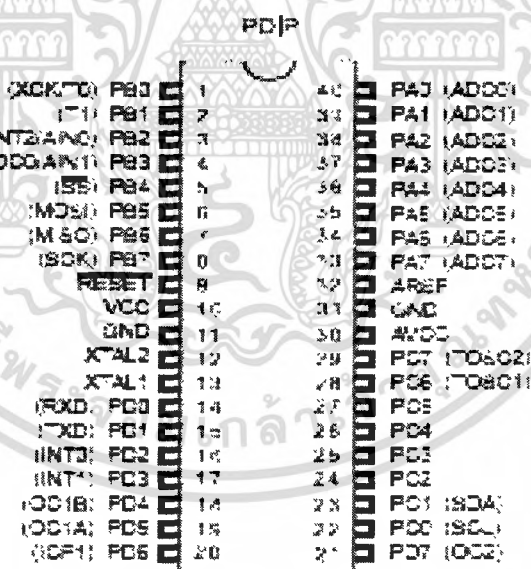
- Port A (PA7..PA0) เป็นพอร์ต 2 ทิศทางขนาด 8 บิต โดยสามารถกำหนดให้แต่ละขาของพอร์ตสามารถ PULL UP ภายในแยกจากกันซึ่งสามารถรับกระแส SINK 20mA โดยพอร์ต A ยังใช้เป็นขาอินพุตเพื่อรับสัญญาณอนาล็อกในส่วนของการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog to Digital Converter)

- **Port B (PB7..PB0)** เป็นพอร์ต 2 ทิศทางขนาด 8 บิต โดยสามารถกำหนดให้แต่ละขาของพอร์ตสามารถ PULL UP ภายในอิสระแยกจากกันซึ่งแต่ละขาสามารถรับกระแส SINK 20mA และยังสามารถนำไปใช้งานอื่นๆอีก

- **Port C (PC7..PC0)** เป็นพอร์ต 2 ทิศทางขนาด 8 บิต โดยสามารถกำหนดให้แต่ละขาของพอร์ตสามารถ PULL UP ภายในอิสระแยกจากกันซึ่งแต่ละขาสามารถรับกระแส SINK 20mA และยังสามารถนำไปใช้งานอื่นๆอีก

- **Port D (PD7..PD0)** เป็นพอร์ต 2 ทิศทางขนาด 8 บิต โดยสามารถกำหนดให้แต่ละขาของพอร์ตสามารถ PULL UP ภายในอิสระแยกจากกันซึ่งแต่ละขาสามารถรับกระแส SINK 20mA และยังสามารถนำไปใช้งานอื่นๆอีก

- RESET คือขารีสตาร์ท CPU
- XTAL 1 ป้อนสัญญาณนาฬิกาให้กับ CPU
- XTAL 2 ป้อนสัญญาณนาฬิกาให้กับ CPU
- AVCC ใช้จ่ายไฟให้กับวงจร ANALOG TO DIGITAL
- AREF เป็นขาแรงดันอ้างอิงที่ใช้งานในส่วนวงจร ANALOG TO DIGITAL



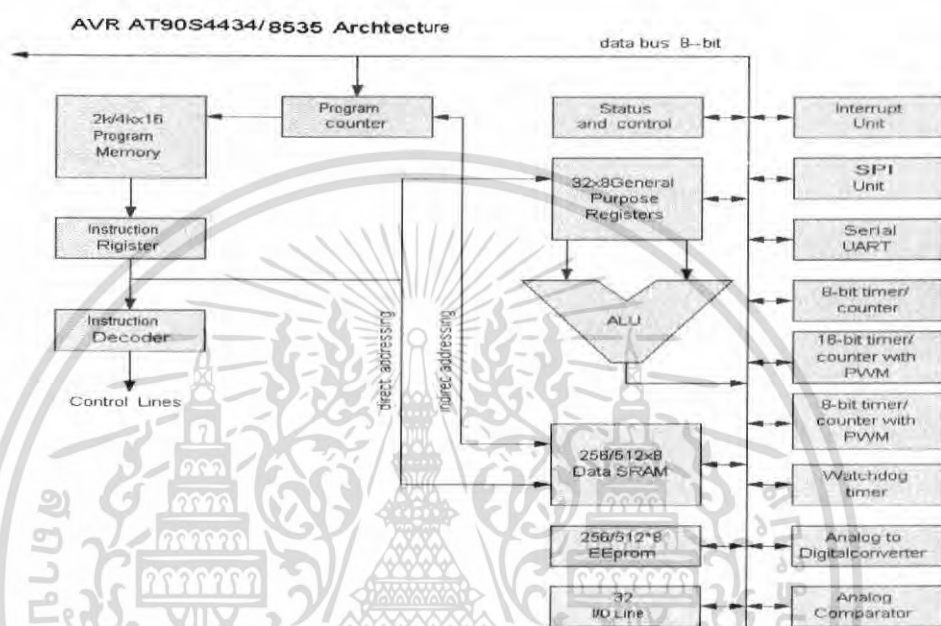
รูปที่ 2.17 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega 8535

2.9.3 สถาปัตยกรรมภายใน

โครงสร้างภายในจะประกอบด้วย รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปขนาด 8 บิตจำนวน 12 ตัวที่สามารถเข้าถึงข้อมูลได้ภายใน 1 Clock ซึ่งหมายความว่า MCU สามารถจัดการข้อมูลภายในรีจิสเตอร์ใช้งาน

ทั่วไปได้เสร็จภายใน 1 Clock ของสัญญาณนาฬิกา โดยรีจิสเตอร์ R26 - R31 เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนเนื้อหาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

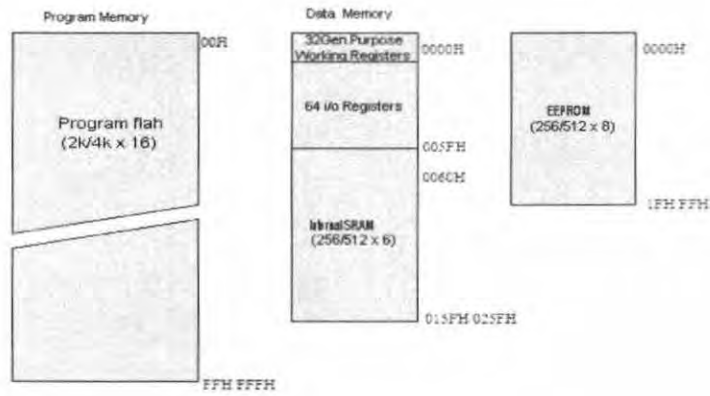
บิต จำนวน 6 บิต สามารถจับคู่เพื่อใช้เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิต 3 ตัวโดยใช้ชื่อรีจิสเตอร์ X ,Y และ Z ALU จะสนับสนุนการกระทำทางคณิตศาสตร์ระหว่างรีจิสเตอร์กับรีจิสเตอร์หรือระหว่างรีจิสเตอร์กับค่าคงที่ ซึ่งเรียกใช้งานทั่วไปสามารถกระทำได้โดยการอ้างหน่วยความจำภายในที่ตำแหน่ง 00H -1FH จำนวน 32 ตำแหน่งและใน MCU ได้จัดแบ่งให้มีรีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงาน of หน่วยอินพุตและเอาต์พุตต่างๆอีก 64 ตำแหน่งโดยสามารถเรียกใช้งานได้โดยการอ้าง



รูปที่ 2.18 แสดงสถาปัตยกรรมแบบ RISC ของ AT90S4434/8535

ตำแหน่งหน่วยความจำที่ตำแหน่ง 20H - 5FH ระบบการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้หลักการออกแบบของ HAVARD ด้วยการแยกระบบบัสของ Program และ Data ออกจากกันโดยโปรแกรมจะมีการประมวลผลด้วย Single Level Pipelining ซึ่งทำให้ CPU สามารถ FETCH และ EXECUTE คำสั่งได้ภายใน 1 คาบเวลา ใน 1 คำสั่งจะใช้รหัสการทำงาน 16 bit หรือ 1 WORD โดยทุกครั้งที่มีการอินเตอร์รัพท์หรือข้ามไปทำงานในโปรแกรมย่อยค่าของ Program Counter จะถูกเก็บลง Stack ซึ่งจะใช้พื้นที่หน่วยความจำใน SRAM บางส่วนเพื่อทำเป็นพื้นที่ของ Stack

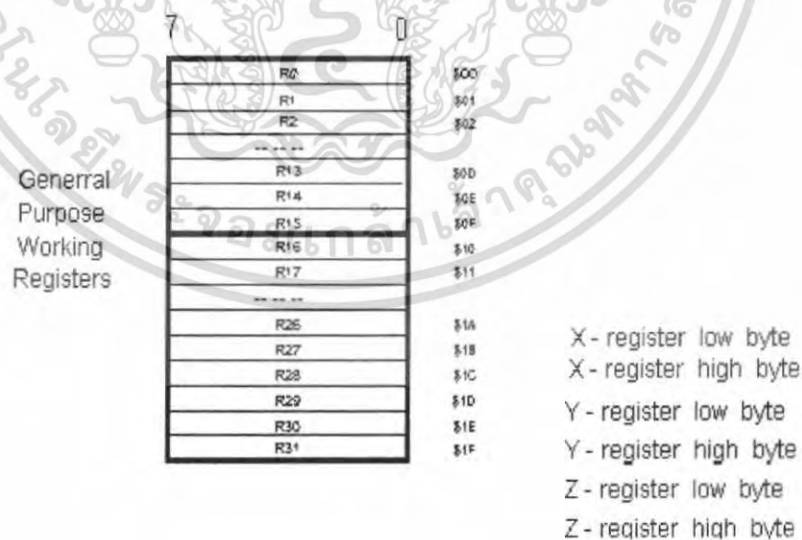
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 โครงสร้างของหน่วยความจำ

2.9.4 รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป

รีจิสเตอร์ทั้งหมดสามารถใช้ชุดคำสั่ง เพื่อเข้าถึงได้โดยตรงและจะใช้ช่วงเวลาที่การเข้าถึงเพียง 1 Clock โดยคำสั่ง SBCI, SUBI, CPI, ANDI และ ORI ซึ่งกระทำระหว่างรีจิสเตอร์กับค่าคงที่และรีจิสเตอร์กับรีจิสเตอร์และคำสั่ง LDI ที่ใช้โหนดค่าคงที่ที่เข้าในรีจิสเตอร์จะต้องใช้งานกับรีจิสเตอร์ R6 -R31 ส่วนคำสั่ง SBC, SUB, CP, AND และ OR และคำสั่งใช้งานอื่นๆสามารถใช้งานได้กับรีจิสเตอร์ทั่วไป



รูปที่ 2.20 รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.5 หน่วยประมวลผลทางคณิตศาสตร์และลอจิก

ระบบการประมวลผลที่มีประสิทธิภาพของ AVR คือ ALU ที่สามารถสื่อสารข้อมูลโดยตรงกับ รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปได้ทั้ง 32 ตัว โดย ALU ได้จัดแบ่งระบบการจัดการข้อมูลไว้ 3 ส่วนคือ ส่วนของการจัดการทางคณิตศาสตร์ ส่วนของการกระทำทางลอจิกและในส่วนของการกระทำกับบิต

2.9.6 หน่วยความจำ SRAM

หน่วยความจำภายใน MCU จัดไว้ 352 ตำแหน่งสำหรับ AT90S4434 และ 608 ตำแหน่งสำหรับ AT90S8535 โดยหน่วยความจำทั้งหมดถูกแบ่งออกเป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป รีจิสเตอร์ใช้งาน I/O และ หน่วยความจำภายใน SRAM โดย 96 ตำแหน่งแรกจะถูกแบ่งออกเป็น ส่วนของรีจิสเตอร์ และ อีก 256 ตำแหน่งสำหรับ AT90S4434 และ 512 ตำแหน่งสำหรับ AT90S8535 ถูกจัดไว้เป็นส่วนของหน่วยความจำภายใน SRAM การเข้าถึงข้อมูลถูกแบ่งออกเป็น 5 ส่วนคือ Direct , Indirect with Displacement , Indirect with Pre – Decrement และ Indirect with Post – Increment

2.9.7 การอินเทอร์รัพท์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT90S4434/AT90S8535 มีระบบการตอบสนองสัญญาณอินเทอร์รัพท์ จาก 16 แหล่งสัญญาณ โดยแยกอินเทอร์รัพท์เวกเตอร์ของแต่ละอินเทอร์รัพท์ออกจากกันในการควบคุมการตอบสนองของอินเทอร์รัพท์แต่ละแหล่ง สามารถแยกการควบคุมได้จากบิต ENABLE ของอินเทอร์รัพท์นั้นๆ และบิต I ซึ่งใช้ควบคุมการอินเทอร์รัพท์ทั้งหมดโดยตำแหน่งแรกๆ ใน Program memory จะเป็นตำแหน่งที่ถูกใช้เป็นพื้นที่ของอินเทอร์รัพท์เวกเตอร์

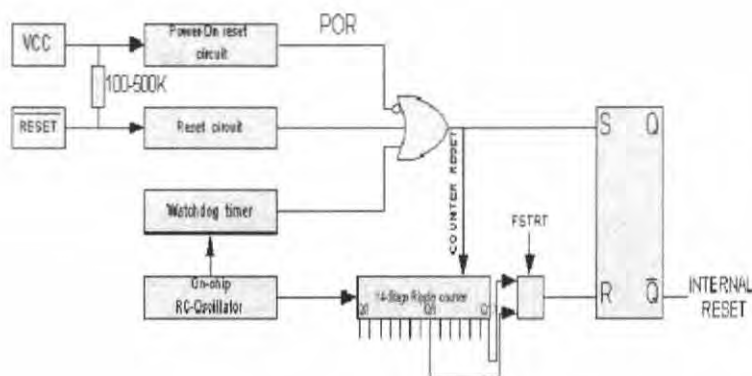
2.9.8 สัญญาณรีเซ็ต

ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT90S4434 / AT90S8535 มีสัญญาณที่ใช้ในการรีเซ็ต 3 แหล่งคือ

- POWER ON RESET ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะรีเซ็ตเมื่อมีการจ่ายไฟให้กับขา VCC และ GND

- EXTERNAL RESET ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะรีเซ็ตเมื่อมีสัญญาณลอจิก LOW เข้า มาที่ขา รีเซ็ตเป็นระยะเวลามากกว่า 2 คาบเวลาของสัญญาณ XTAL

- WATCHDOG RESET ไมโครคอนโทรลเลอร์จะรีเซ็ตเมื่อถึงคาบเวลาของ Watchdog และ Watchdog จะต้องถูกกำหนดให้ทำงาน



รูปที่ 2.21 แสดงโครงสร้างของวงจรรีเซ็ต

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของสัญญาณรีเซ็ต ($V_{CC} = 5V$)

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Units
Vpot	Power-on Reset Threshold Voltage	1.4	1.6	1.8	V
Vrst	Reset Pin Threshold Voltage	—	0.6V _{CC}	—	V
t _{TOUT}	Reset Delay Time-out Period FSTRT Unprogrammed	11	16	21	ms
t _{TOUT}	Reset Delay Time-out Period FSTRT Unprogrammed	1.0	1.1	1.2	ms

-Power On Reset วงจรของ Power On Reset (POR) ถูกสร้างขึ้นเพื่อให้แน่ใจว่า MCU จะไม่ทำงานถ้าระดับของแรงดันไฟเลี้ยงวงจรยังไม่ถึงระดับที่จะทำให้ระบบการทำงานภายในของ MCU ทำงานได้อย่างถูกต้อง ถ้าต้องการใช้ระบบ Power On Reset ภายใน MCU ทำงานจะต้องต่อขา รีเซ็ตเข้ากับ Vcc หรือต่อผ่านความต้านทาน Pull Up ค่าประมาณ 100k - 500k โดย FSTRT ใช้ในการเลือกคาบเวลา Time - OUT ซึ่งเมื่อบิต FSTRT ถูกโปรแกรมจะทำให้ช่วงเวลา Time - OUT มีคาบเวลาน้อยลง ซึ่งมีประโยชน์อย่างมากเมื่อใช้ OSC ที่เป็น Ceramic Resonator

-External Reset การรีเซ็ตจากภายนอกจะเกิดขึ้นโดยการให้ลอจิก LOW ที่ขา Reset อย่างน้อย 2 Clock ของสัญญาณนาฬิกาซึ่งเมื่อสัญญาณที่ขอบขาขึ้นของขา รีเซ็ตขึ้นถึงระดับ Treshold

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

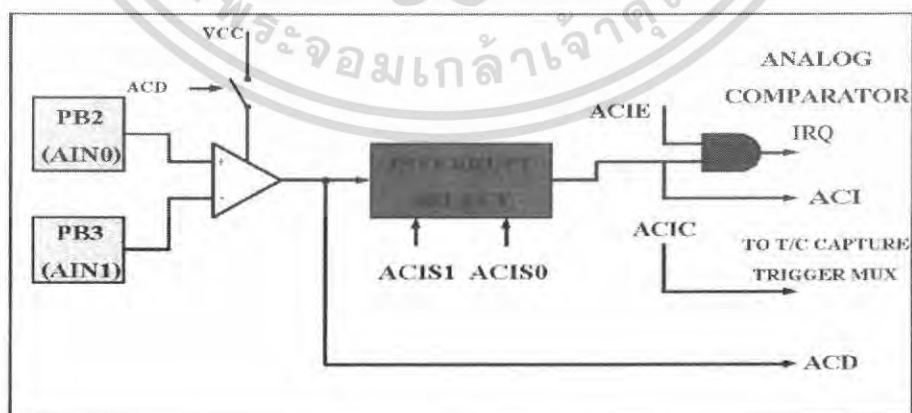
Voltage จะทำให้วงจร Time Delay เริ่มทำงาน ซึ่ง CPU จะถูกรีเซ็ตเมื่อคาบเวลาของ Timer Delay มากกว่าคาบเวลา Time – Out

-Watchdog Reset เมื่อ WTD TIME – OUT เริ่มกำเนิดสัญญาณ PULSE ที่มีคาบเวลาเท่ากับ Clock ของสัญญาณนาฬิกา โดยในช่วงขอบขาของ PULSE จะทำให้ระบบการหน่วงเวลาเมื่อเริ่มทำงานจนหมดช่วงเวลาของ TIME – OUT จึงจะทำให้ CPU รีเซ็ต

2.9.9 การเปรียบเทียบสัญญาณอนาล็อก

ระบบการเปรียบเทียบสัญญาณอนาล็อกจะทำหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณอนาล็อกที่ขา PB2 และขา PB3 ไม่เกิน 5 V PB2 (AIN0) ทำหน้าที่เป็นขาสัญญาณบวกของ Analog Comparator PB3 (AIN1) ทำหน้าที่เป็นขาสัญญาณลบของ Analog Comparator เมื่อระดับสัญญาณที่ขา PB2 (AIN0) มีค่ามากกว่าระดับสัญญาณที่ขา PB3 (AIN1) จะทำให้ Output ของ Analog Comparator มีลอจิก High ซึ่งจะทำให้บิต ACO เซ็ตเป็น 1 ซึ่งสัญญาณจากบิต ACO จะถูกนำไปใช้เป็น Input ของชุด Input Capture Function ของ Timer/Counter 1 จะสามารถเลือก Input Capture Function ของ Timer/Counter 1 สามารถเลือก Input ได้ 2 ส่วนคือ ขา ICP หรือจากบิต ACO ด้วยการเลือกจากบิต ACIC ซึ่งถ้าบิต ACIC เซ็ตเป็น 1 จะเป็นการกำหนดให้ Input Capture Function รับสัญญาณจาก ACO สัญญาณที่ออกจาก Output ของ Analog Comparator จะถูกนำไปเป็นสัญญาณกำเนิดอินเตอร์รัพท์ ซึ่งจะเกิดการอินเตอร์รัพท์ เมื่อสัญญาณที่ขา PB2 (AIN0) มีค่ามากกว่าสัญญาณที่ขา PB3 (AIN1) และบิต ACIE ถูกเซ็ตเป็น 1 โดยจะใช้บิต ACI เป็นบิตแสดงการเกิดอินเตอร์รัพท์

สามารถเลือกลักษณะของสัญญาณที่ออกมาจาก Output Analog Comparator ที่เกิดอินเตอร์รัพท์ได้จากบิต ACIS1 และบิต ACIS0 ที่จะให้เกิดอินเตอร์รัพท์จาก ขอบขาขึ้น, ขอบขาลง หรือ สัญญาณ Toggle



รูปที่ 2.22 รูปแสดง Block Diagram ของ Analog Comparator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.10 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล

คุณสมบัติของการแปลงสัญญาณ Analog เป็น Digital

- Bit Resolution
- +/- 1/2 LSB Accuracy
- 65 - 260 us Conversion Time
- Multiplexed Input Channels
- Rail - to - Rail Input Rang
- Free Run or Single Conversion Mode
- Interrupt on ADC Conversion Complete
- Sleep Mode Noise Canceler

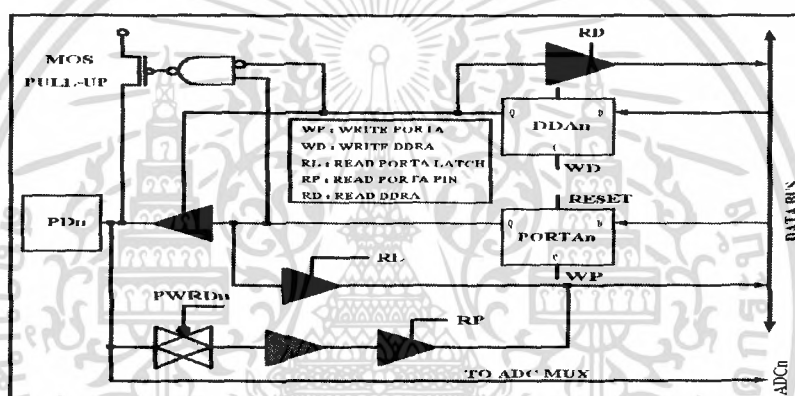
ใน AT90S4434 / AT90S8535 จัดให้มีวงจรแปลงสัญญาณ Analog เป็น Digital ขนาด 10 บิต 8 Channel ซึ่งแต่ละ Channel จะรับสัญญาณเข้ามาทางแต่ละขาของ Port A โดยในระบบจะมีวงจร Sample and Hold เพื่อช่วยให้สัญญาณ Analog ที่รับเข้ามาเพื่อแปลงเป็นสัญญาณ Digital มีระดับสัญญาณคงที่ โดยวงจรแปลงสัญญาณ Analog เป็น Digital จะมีแหล่งจ่ายไฟและกราวด์แยกกันต่างหากจากแหล่งจ่ายไฟของระบบซึ่งใช้งานจริงไม่ควรให้ความแตกต่างของแรงดันไฟของวงจรและของระบบแตกต่างกันเกินไป +/- 0.3 V ซึ่งในการใช้งานจะต้องจ่ายแรงดันไฟอ้างอิงและกราวด์ที่ขา AREF ในช่วงระดับแรงดัน $V_{cc} - AGND$

2.9.11 พอร์ตอินพุตและพอร์ตเอาต์พุต

- พอร์ต A (PORT A) เป็นพอร์ต 2 ทิศทางขนาด 8 บิต โดยมีหน่วยควบคุมการทำงานต่าง ๆ ของพอร์ตคือ รีจิสเตอร์ PORT A (DATA REGISTER) อยู่ที่ตำแหน่ง 1BH (3BH) รีจิสเตอร์ DDRA (DATA DIRECTION REGISTER) อยู่ที่ตำแหน่ง 1AH (3AH) และ PINA (PORT A INPUT PINS) อยู่ที่ตำแหน่ง 19H (39H) โดย PINA จะสามารถอ่านได้อย่างเดียวไม่สามารถเขียนข้อมูลลงได้ในขณะที่ PORT A และ DDRA สามารถเขียนและอ่านได้และยังถูกนำไปใช้งานเป็นขาสัญญาณ INPUT ของวงจร ANALOG TO DIGITAL บิต DDAn ในรีจิสเตอร์ DDRA จะเป็นบิตที่ใช้ในการกำหนดทิศทางของแต่ละพอร์ต ถ้าเป็นบิต DDAn ถูกเซตเป็น 1 จะทำให้ขาของพอร์ตนั้นเป็น OUTPUT แต่เมื่อ DDAn เป็น 0 จะทำให้ขานั้นถูกกำหนดเป็น INPUT

ตารางที่ 2.4 การใช้งานพอร์ต A เป็น พอร์ตอินพุต/เอาต์พุต

DDAn	PORTAn	I/O	Pull Up	Comment
0	0	input	No	Tri-state (Hi-Z)
0	1	input	Yes	PAn will source current if ext. puuled low
1	0	output	No	Push-Pull Zero Output
1	1	output	No	Push-Pull One Output (Hi-Z)



รูปที่ 2.23 แสดงโครงสร้างของพอร์ต A

- พอร์ต B (PORT B) เป็นพอร์ต 2 ทิศทางขนาด 8 บิต โดยมีรีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมพอร์ต B คือรีจิสเตอร์ PORT B อยู่ที่ตำแหน่ง 18H(38H) รีจิสเตอร์ DDRB อยู่ที่ตำแหน่ง 17H(37H) และ PINA (PORT A INPUT PINS) อยู่ที่ตำแหน่ง 16H (36H) โดยที่ PORT A แต่ละขาสามารถกำหนด PULL UP ได้ตามต้องการโดยพอร์ต B สามารถใช้งานเป็นฟังก์ชันต่างๆดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 การใช้งานพอร์ต B

Port Pin	Alternate Functions
PB0	T0 (Timer/Counter 0 external conuter input)
PB1	T1 (Timer/Counter 0 external conuter input)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 (ต่อ) การใช้งานพอร์ต B

Port Pin	Alternate Functions
PB2	AIN0 (Analog comparator positive input)
PB3	AIN1 (Analog comparator positive input)
PB4	SS (SPI Select input)
PB5	MOSI (SPI Bus Master Output/Slave)
PB6	MOS0 (SPI Bus Master Input/Slave)
PB7	SCK (SPI Bus Serial Clock)

ตารางที่ 2.6 การใช้งานพอร์ต B เป็นพอร์ต อินพุต/ เอาท์พุต

DDBn	PORTBn	I/O	Pull Up	Comment
0	0	input	No	Tri-state (Hi-Z)
0	1	input	Yes	PBn will source current if ext. puuled low
1	0	output	No	Push-Pull Zero Output
1	1	output	No	Push-Pull One Output (Hi-Z)

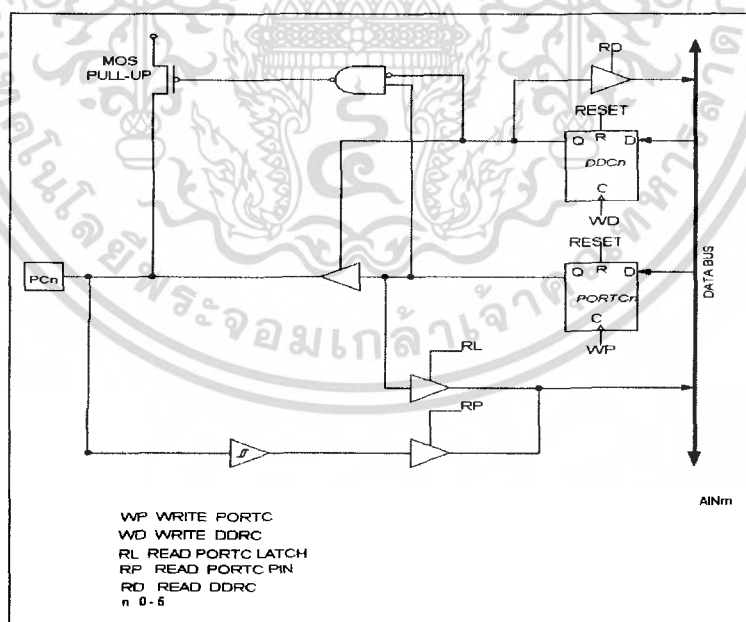
- พอร์ต C (PORT C) เป็นพอร์ต 2 ทิศทางขนาด 8 บิต โดยมีหน่วยควบคุมการทำงาน 3 หน่วย คือ PORT C (DATA REGISTER - PORTC) อยู่ที่ตำแหน่งหน่วยความจำ 15H (35H) DDRC อยู่ที่ตำแหน่งหน่วย 14H (34H) และ PINC อยู่ที่ตำแหน่ง 13H(33H) โดย PINC จะสามารถอ่านได้อย่างเดียวขณะที่ PORT C และ DDRC จะสามารถอ่านและเขียนได้ในแต่ละขาของ PORT C สามารถแยกการกำหนดความต้านทาน PULL UP ได้ตามต้องการ ในขณะที่พอร์ต C แต่ละขาสามารถรับกระแสได้ 20 mA โดยถ้าภายในกำหนดให้มีความต้านทาน PULL UP และภายนอกมีความต้านทาน PULL LOW จะทำให้ MCU จ่ายกระแสออกภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้ง 8 บิตของพอร์ต C จะมีลักษณะเหมือนกัน โดย PC_n แทนขาต่าง ๆ ของพอร์ต C และ DDC_n เป็นบิตที่ใช้ควบคุมทิศทางของขา นั้น ๆ โดยถ้า DDC_n มีการเซ็ทเป็น 1 แสดงว่าเป็นขา OUTPUT แต่ถ้าขา DDC_n เป็น 0 คือการกำหนดให้เป็นขา INPUT ถ้าต้องการให้ MOS PULL UP เกิดการ ACTIVE จะดีเลย์ให้ $PORTC_n$ เป็น 0 ดังค่าแสดงในตาราง

ตารางที่ 2.7 การใช้งานพอร์ต C เป็นพอร์ตอินพุต/เอาต์พุต

DDC _n	PORTC _n	I/O	Pull Up	Comment
0	0	input	No	Tri-state (Hi-Z)
0	1	input	Yes	PC _n will source current if ext. puuled low
1	0	output	No	Push-Pull Zero Output
1	1	output	No	Push-Pull One Output



รูปที่ 2.24 แสดงโครงสร้างของพอร์ต C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- พอร์ต D (PORT D) เป็น พอร์ต 2 ทิศทางมีหน่วยควบคุมการทำงานของพอร์ตดังนี้ PORT D อยู่ที่ตำแหน่ง 12H (32H) DDRD อยู่ที่ตำแหน่ง 11H (31H) PIND) อยู่ที่ตำแหน่ง 10H (30H) โดยที่ PIND อ่านได้อย่างเดียว PORT D และ DDRD สามารถอ่านและเขียนโดยพอร์ตสามารถรับกระแสได้ 20 mA ซึ่งแต่ละขาของพอร์ต D สามารถเลือกฟังก์ชันการทำงานอื่น ๆ ดังในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 การใช้งานพอร์ต D ในฟังก์ชันการทำงานอื่น

Port Pin	Alternate Functions
PD0	RDX (UART Input line)
PD1	TDX (UART Output line)
PD2	INT0 (External interrupt 0 input)
PD3	INT1 (External interrupt 1 input)
PD4	OC1B (Timer/Counter1 output compareB match output)
PD5	OC1A (Timer/Counter1 output compareA match output)
PD6	ICP (Timer/Counter1 input capture pin)
PD7	OC2 (Timer/Counter2 output compare match output)

ตารางที่ 2.9 แสดงการใช้งานพอร์ต D เป็นพอร์ตอินพุต/เอาต์พุต

DDDn	PORTDn	I/O	Pull Up	Comment
0	0	input	No	Tri-state (Hi-Z)
0	1	input	Yes	PCn will source current if ext. puuled low
1	0	output	No	Push-Pull Zero Output
1	1	output	No	Push-Pull One Output

2.9.12 Timer/Counter และ Watchdog Timer

Timer & Counter ภายใน AT90S4434 / AT90S8535 มี Timer / Counter 3 ชุด โดยจัดเป็น Timer / Counter ขนาด 8 บิต 2 ชุดและ Timer / Counter ขนาด 16 บิต 1 ชุด Timer / Counter2 ภายในสามารถรับสัญญาณ Clock จากภายนอกซึ่งเป็น Option ที่จะนำ Timer / Counter2 มาทำเป็น RTC โดยใช้ XTAL ที่มีค่าความถี่เท่ากับ 32.768 KHz มาเป็นฐานเวลา Timer/ Counter0 และ Timer / Counter1 ใช้วงจร Prescaling ขนาด 10 บิตร่วมกันส่วน Timer / Counter2ใช้วงจร Prescaling แยกออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **Timer / Counter 0** โครงสร้าง Timer / Counter 0 ขนาด 8 บิต ซึ่งสามารถเลือกสัญญาณ Clock ได้จาก CLK ของระบบที่ถูกหารหรือสัญญาณภายนอกโดยการใช้งานจะกำหนดได้ในรีจิสเตอร์ TCCR0 และ TIFR สัญญาณควบคุมได้จากรีจิสเตอร์ TCCR0 ซึ่งการควบคุมการอินเทอร์รัพท์จะควบคุมได้จากรีจิสเตอร์ TIMSK เมื่อ Timer / Counter0 ได้รับสัญญาณจากภายนอกซึ่งสัญญาณดังกล่าวจะซิงโครไนซ์กับสัญญาณนาฬิกาภายใน CPU โดย Timer / Counter0 จะเป็นวงจรมับขึ้นที่สามารถเขียนและอ่านข้อมูลได้ตลอดเวลา เมื่อทำการเขียนข้อมูลลงใน Timer / Counter0 ในขณะที่มีสัญญาณ Clock จะทำการนับค่าต่อเนื่องจากค่าที่ถูกเขียนลงไป

ตารางที่ 2.10 แสดง CLOCK 0 PRESCALER

CS02	CS01An	CS00	Description
0	0	0	Stop, Timer / Counter 0 is stopped
0	0	1	CLK
0	1	0	CLK/ 8
0	1	1	CLK/ 64
1	0	0	CLK/ 256
1	0	1	CLK/ 1024
1	1	0	External Pin TO , falling edge
1	1	1	External Pin TO , rising edge

- **Timer / Counter 1** Timer / Counter1 ขนาด 16 บิตซึ่งสามารถเลือกสัญญาณ Clock ได้จาก CLK หรือสัญญาณที่ได้ทำการหารจาก CLK การหยุด Timer/ Counter1 ในรีจิสเตอร์ TCCR1A และ TCCR1B โดยเฟล็กที่แสดงสถานะต่างๆ ส่วนสัญญาณควบคุมอยู่ในรีจิสเตอร์ TCCR1A และ TCCR1B การควบคุมสัญญาณอินเทอร์รัพท์จะควบคุมได้จากรีจิสเตอร์ TIMSK เมื่อ Timer1 / Counter1 ถูกกำหนดให้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอกสัญญาณดังกล่าวจะถูกซิงโครไนซ์กับสัญญาณนาฬิกาภายใน CPU Timer1 / Counter1 จะประกอบด้วยส่วนของการเปรียบเทียบ Output สองฟังก์ชัน โดยใช้รีจิสเตอร์ OCR1A และ OCR1B เป็นส่วนของการเก็บค่าข้อมูลของการเปรียบเทียบ

ตารางที่ 2.11 COMPARE 1 MODE SELECT

COM1X1	COM1X0	Description
0	0	Timer/Counter 1 disconnected form output pin OC1X
0	1	Toggle the OC1X output line
1	0	Clear the OC1X output line (to Zero)
1	1	Set the OC1X output line (to line)

ตารางที่ 2.12 PWM MODE SELECT

PWM11	PWM10	Description
0	0	PWM operation of Timer/Counter 1 is disabled
0	1	Timer/Counter 1 is an 8-bit PWM
1	0	Timer/Counter 1 is an 9-bit PWM
1	1	Timer/Counter 1 is an 10-bit PWM

ตารางที่ 2.13 CLOCK 1 PRESCALER SELECT

CS12	CS11An	CS10	Description
0	0	0	Stop, Timer / Counter 1 is stopped
0	0	1	CLK
0	1	0	CLK / 8
0	1	1	CLK / 64
1	0	0	CLK / 256
1	0	1	CLK / 1024
1	1	0	External Pin T1 , falling edge
1	1	1	External Pin T1 , rising edge

2.9.12.1 การใช้งาน Timer / Counter1 ในโหมด PWM

การทำงานในโหมด PWM ของ Timer / Counter1 จะสามารถเลือกใช้งานได้ทั้ง 8 , 9 , 10 บิต โดยเอาท์พุทที่ได้จะออกที่ขา PD5 (OC1A) และขา PD4 (OC1B) ในการทำงาน Timer / Counter1 จะนับขึ้นและนับลง ซึ่งจะนับจาก 0000 ถึงค่า สูงสุดตามที่กำหนดและนับจากค่าสูงสุดลงมาที่ 0000 แล้วจึงนับอีกครั้ง เมื่อค่าใน Timer / Counter1 เท่ากับค่าในรีจิสเตอร์ OC1A หรือ OCR1B จะทำให้ออกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขา PD5 (OC1A) / PD4 (OC1B) เปลี่ยนแปลงตามที่กำหนดในบิต COM1A1 / COM1A0 หรือ COM1B1 / COM1B0

ตารางที่ 2.14 การกำหนดค่าสูงสุดของค่า PWM

PWM Resolution	Timer TOP value	Frequency
8 bit	00FF(255)	$f_{TC1}/510$
9 bit	01FF(511)	$f_{TC1}/1022$
10 bit	03FF(1023)	$f_{TC1}/2046$

ตารางที่ 2.15 ตารางกำหนดลักษณะขาสัญญาณที่ขา PD5 (OC1A) ขา PD4 (OC1B) ในโหมด PWM

COM1X1	COM1X0	Effect on OCX1
0	0	Not connected
0	1	Not connected
1	0	Cleared on compare match upcounting. Set on compare match downcounting (non-inverted PWM)
1	1	Cleared on compare match downcounting. Set on compare match upcounting (inverted PWM)

เมื่อ OCR1 มีค่าเท่ากับ 0000 หรือ ค่าสูงสุด จะทำให้เอาต์พุตขา OC1A / OCR1B มีลอจิกเป็น LOW หรือ HIGH ตามที่กำหนดในบิต COM1A1 / COM1A0 หรือ COM1B1 หรือ COM1B0 เมื่อ Timer / Counter1 เกิด Overflow และค่าการนับเป็น 0000 จะทำให้บิต TOV1 เซ็ตเป็น 1

ตารางที่ 2.16 ตารางเอาต์พุตของ PWM (OCR1X=0000H) หรือ TOP

COM1X1	COM1X0	OCR1X	Output OC1X
1	0	&0000	L
1	0	TOP	H
1	1	&0000	H
1	1	TOP	L

- **Timer / Counter 2** เมื่อ PWM ถูกกำหนดให้ทำงานจะทำให้Timer /Counter2 ทำงานใน Compare Output Match โดย Timer/ Counter 2 จะนับขึ้นจาก 00H - FFH ซึ่งเมื่อเกิด Compare Output Match จะทำให้ขา PD7(OC2)เป็นไปตามที่กำหนด

ตารางที่ 2.17 COMPARE MODE ใน PWM MODE

COMn1	COMn0	Effect on Compare Pin
0	0	Not connected
0	1	Not connected
1	0	Cleared on compare match,upcounting. Set on compare match,downcounting (non-inverted PWM)
1	1	Cleared on compare match,upcounting. Set on compare match,downcounting (non-inverted PWM)

ตารางที่ 2.18 COMPARE MODE SELECT

COM21	COM20	Description
0	0	Timer/Counter disconnected form output pin OC2
0	1	Toggle the OC2 Output line
1	0	Clear the OC2 Output line (to Zero)
1	1	Set the OC2 output line (to one)

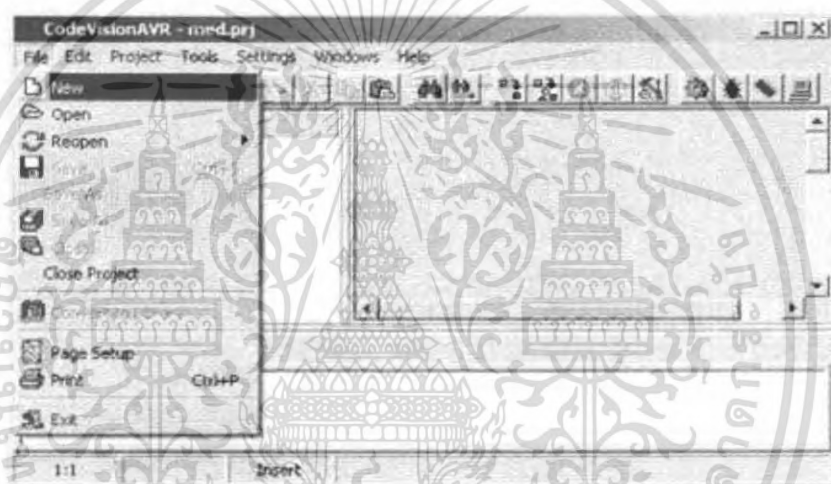
ตารางที่ 2.19 TIMER/COUNTER 2 PRESCALER SELECT

CS22	CS21An	CS20	Description
0	0	0	Timer / Counter 2 is stopped
0	0	1	TCK2
0	1	0	TCK 2 / 8
0	1	1	TCK 2 / 32
1	0	0	TCK 2 / 64
1	0	1	TCK 2 / 128
1	1	0	TCK 2 / 256
1	1	1	TCK 2 / 1024

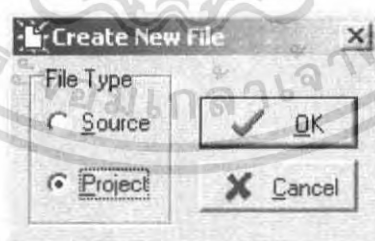
2.10 การใช้งานโปรแกรม Code Vision AVR

เมื่อพูดถึงไมโครคอนโทรลเลอร์แล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR จะเป็นอีกหนึ่งตระกูลที่มีผู้ใช้เป็นจำนวนมากในการเขียนโปรแกรมสามารถเขียนได้หลายภาษาเช่นกันมีโปรแกรมหลายโปรแกรมที่สามารถใช้เขียน แต่ในโครงการนี้จะใช้โปรแกรม Code Vision AVR ในการเขียน SOURCE CODE ภาษาซี แล้วจึง DOWNLOAD ไปที่ตัว AVR เพื่อที่จะนำตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ไปใช้งานต่อไปเมื่อได้ทำการลงโปรแกรมเรียบร้อยแล้วจะมีขั้นตอนการใช้งานโปรแกรมดังต่อไปนี้

1. ทำการเปิดโปรแกรมขึ้นมา จะใช้วิธีดับเบิลคลิกที่ Desktop ก็ได้คลิก File ---> New จะได้นหน้าต่างดังนี้

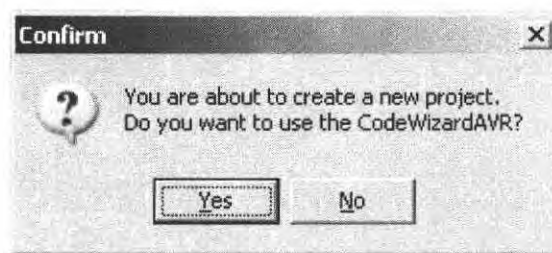


2. เลือก PROJECT แล้วกด OK

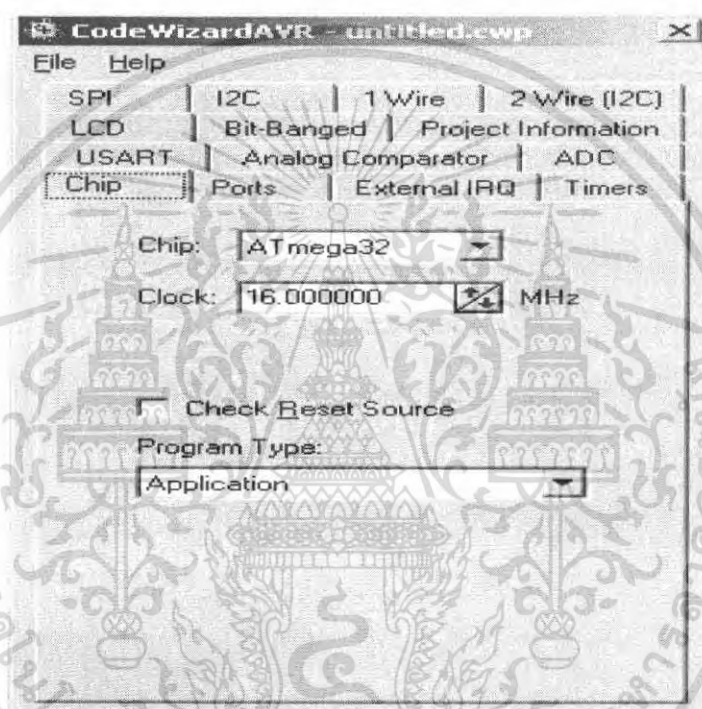


3. จะมีหน้าต่างมาถามเราว่าต้องจะสร้างโปรเจกต์ด้วย CodeWizardAVR หรือเปล่า ให้กด Yes ไปตรงนี้จะ เป็น FEATURE ที่เด่นอย่างหนึ่งของ Code Vision AVR เราสามารถ INITIAL และ CONFIG ได้โดยการคลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



4. จะเจอ Tab อยู่หลายอย่าง ให้ตั้งค่าตามที่ต้องการ



การใช้งานในแต่ละ TAB

- **Chip** เบอร์ AVR ที่ใช้งาน, ความถี่ที่ใช้, ชนิดของโปรแกรม
- **Ports** ไว้กำหนดว่าเป็นอินพุต/เอาต์พุต Pull up
- **External IRQ Enable** ขาอินเตอร์รัพท์ภายนอก
- **Timers** ตั้งรูปแบบการทำงาน Timer รวมทั้ง Watchdog
- **USART** การรับส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม
- **Analog Comparator** ใช้/ไม่ใช่ Analog Comparator
- **ADC** ตั้งค่า ADC ภายในของ AVR

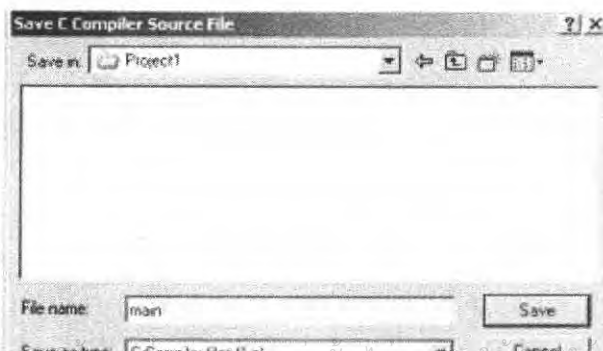
- **LCD** กำหนดพอร์ตที่ใช้งานจอ LCD มีฟังก์ชัน LCD ให้ ไม่ต้องเขียนฟังก์ชันเอง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **Bit-Banged** กำหนดพอร์ต ที่ใช้ติดต่อกับ DS1302
- **Project Information** ไว้เขียนรายละเอียดเกี่ยวกับโปรเจก
- **SPI** ตั้งค่าการใช้งาน SPI
- **I2C** ตั้งค่าการใช้งาน I2C เลือก I2C device
- **1 Wire** ตั้งค่าการใช้งาน 1 Wire (DS1820)
- **2 Wire (I2C)** ตั้งค่าเพิ่มเติม I2C

5. หลังจากที่ตั้งค่าเสร็จแล้ว ให้เลือกGenerate, Save and Exit โปรแกรมจะทำการ Generate Code ตามที่เราตั้งค่าไว้ในขั้นตอนที่ 4

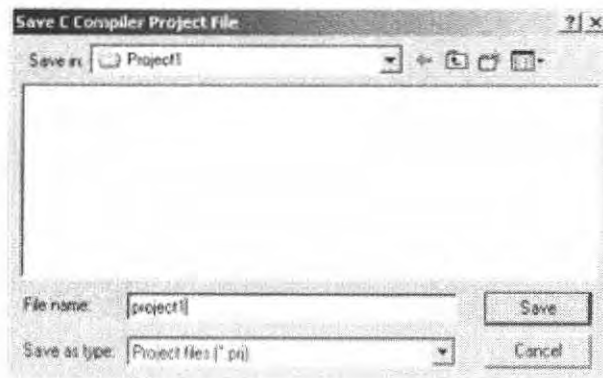


6. ตั้งชื่อ File



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูอาจารย์เท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปยังประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ตั้งชื่อโปรเจกต์



8. ตั้งชื่อ CodeWizardAVR โปรเจกต์



9. หลังจากคลิก Save ในขั้นตอนที่ 8 แล้ว โปรแกรมจะ Generate โปรเจกต์มาให้เราสามารถเพิ่ม Code เพิ่ม File .h, .C เข้าไปในโปรเจกต์ได้เลย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่สำหรับ/เพื่อใช้ส่วนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. เมื่อเขียนโปรแกรมเสร็จแล้วให้กด Shift+F9 เพื่อ Compile โปรแกรมที่เราเขียนไป ถ้าไม่มีข้อผิดพลาดจะเห็น หน้าต่างขึ้นมาดังนี้



11. เมื่อโปรแกรมแจ้งว่าไม่มีข้อผิดพลาดในการเขียนโปรแกรมหรือ ERROR เราสามารถที่จะนำ File .HEX ที่ได้จากการ Compile ซึ่งจะอยู่ในโฟลเดอร์โปรเจกต์ที่เราเซฟไว้ หลังจากนั้นเรานำ File .HEX ไป BURN ใส่ IC ได้เลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

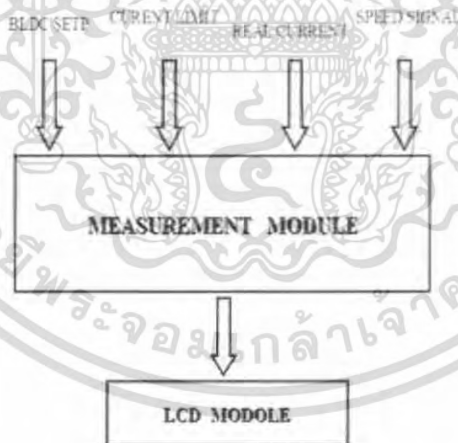
การออกแบบตัวควบคุมและระบบสายพานลำเลียง

3.1 การออกแบบตัวควบคุมระบบสายพานลำเลียง

จากที่กล่าวมาแล้วว่าโครงการนี้ได้นำรีเลย์ส ดีซีมอเตอร์ไปประยุกต์ใช้กับระบบสายพานลำเลียง ในการออกแบบตัวควบคุมระบบสายพานลำเลียงนั้นจะแบ่งออกเป็นสองส่วนใหญ่ๆ คือ การออกแบบตัวควบคุมสำหรับรีเลย์ส ดีซีมอเตอร์และการออกแบบตัวควบคุมสำหรับดีซีมอเตอร์

3.1.1 การออกแบบตัวควบคุมสำหรับรีเลย์ส ดีซีมอเตอร์

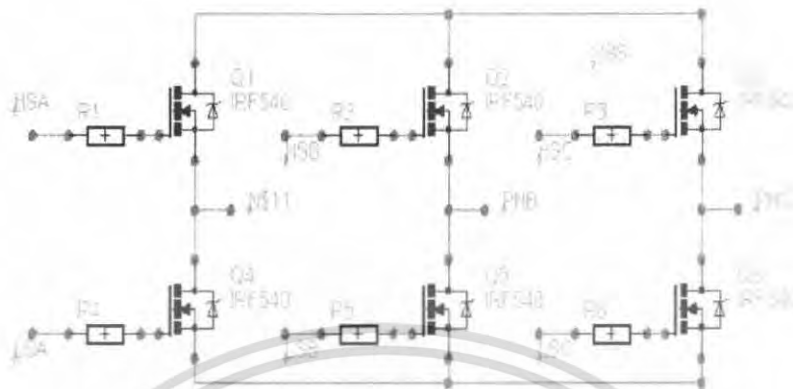
หลักในการออกแบบตัวควบคุมสำหรับรีเลย์ส ดีซีมอเตอร์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1 จากรูปในส่วนของหน่วยวัดค่า (measurement module) จะทำการรับค่าต่างๆที่วัดได้จากตัวรีเลย์ส ดีซีมอเตอร์ ค่า Speed Setpoint ,Current Limit, Real Current, Speed signal เข้ามาใน โมดูลเพื่อทำการวัดค่า ค่าต่างๆที่วัดได้นี้จะถูกนำไปประมวลผลเพื่อหาสัญญาณควบคุมให้กับรีเลย์ส ดีซีมอเตอร์ และจะแสดงผลของค่าที่วัดได้นี้ไปยังส่วนแสดงผลหรือจอ LCD



รูปที่ 3.1 แสดงหลักการของการวัดค่าและควบคุม BLDC มอเตอร์

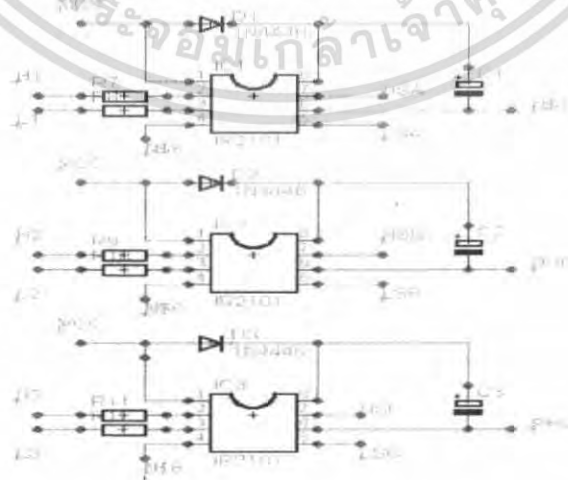
จากที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ว่าในการควบคุมรีเลย์ส ดีซีมอเตอร์นั้นจะใช้วงจรอินเวอร์เตอร์แบบสามเฟสในการควบคุมซึ่งวงจรใช้งานจริงแสดงได้ดังรูปที่ 3.2 ในโครงการนี้ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR เบอร์ ATmega8535 เป็นตัวควบคุมการทำงานของรีเลย์ส ดีซี

มอเตอร์วงจรอินเวอร์เตอร์แบบสามเฟสนี้จะรับสัญญาณควบคุมจากวงจรจับแกมมอสเฟตที่รับสัญญาณ PWM มาจากไมโครคอนโทรลเลอร์อีกที



รูปที่ 3.2 แสดงวงจรอินเวอร์เตอร์สามเฟสที่ใช้ในการควบคุมบริษัทเลส ดีซีมอเตอร์

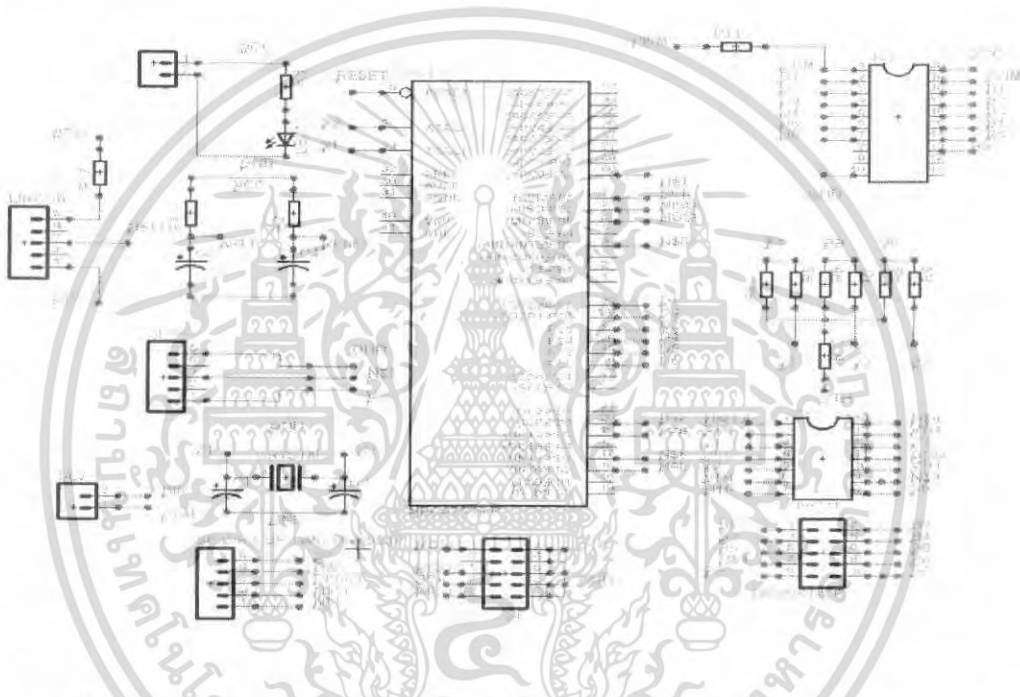
จากวงจรจะเห็นว่าเฟตที่ใช้เป็นชนิดเอ็น (N-Type) ทั้งหมด การที่จะให้เฟต ON จะต้องป้อนแรงดันบวกที่ขาเกตของเฟต แต่ละเฟตของมอเตอร์จะต่ออยู่ระหว่างเฟตชุดบนและเฟตชุดล่างของแต่ละเฟส การทำงานของวงจรเฟตชุดบนและเฟตชุดล่างจะทำงานที่ละตัวพร้อมกัน ไปเพื่อสับเปลี่ยนการจ่ายไฟให้กับบริษัทเลส ดีซีมอเตอร์ จะเห็นได้ว่าขาเดรน (Drain) ของเฟตชุดบนจะต่อกับไฟเลี้ยง VSS ขาซอร์ส (Source) ของเฟตชุดล่างจะต่อกับกราวด์ ซึ่งแรงดันที่จ่ายให้กับวงจรนี้จะเป็นแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์ด้วย ส่วนในรูปที่ 3.3 เป็นวงจรจับแกมมอสเฟตที่ใช้ไอซีเบอร์ IR2101 ซึ่ง เป็นไอซีจับแกมของมอสเฟตซึ่งรับสัญญาณควบคุมมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ (ATmega8535)



รูปที่ 3.3 แสดงวงจรจับแกมของมอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

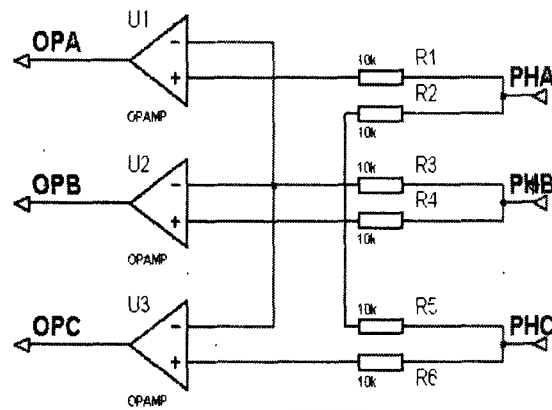
การทำงานของวงจรจะรับสัญญาณควบคุมการทำงานจากไมโครคอนโทรลเลอร์(+5V)เข้ามาที่ขา 2 และขา 3 ของแต่ละชุด และจะให้เอาต์พุตออกมาที่ขา 7 และขา 5 ต่อเข้ากับขาเกทของมอสเฟตแต่ละตัวตามขาที่ได้แสดงไว้ แรงดันไฟฟ้าที่ขา 7 และขา 5 ของไอซีจะมีค่าเท่ากับแรงดันที่จ่ายให้กับวงจร(+Vcc) ในส่วนวงจรของตัวควบคุมซึ่งเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการสร้างสัญญาณควบคุมให้กับวงจรขับเคลื่อนมอสเฟต จะรับค่าสัญญาณที่ได้จากวงจร ZERO CROSSING ในการตรวจสอบสัญญาณ เบ็ค อี เอ็ม เอฟ เพื่อนำมาประมวลผลหาตำแหน่งของมอเตอร์ และสร้างสัญญาณควบคุมส่งให้กับวงจรขับเคลื่อนมอสเฟตต่อไป รูปที่ 3.4 แสดงวงจรที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของบริษัทเลสเตอร์ ดีไซน์เตอร์



รูปที่ 3.4 วงจรของตัวควบคุมที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของบริษัทเลสเตอร์ ดีไซน์เตอร์

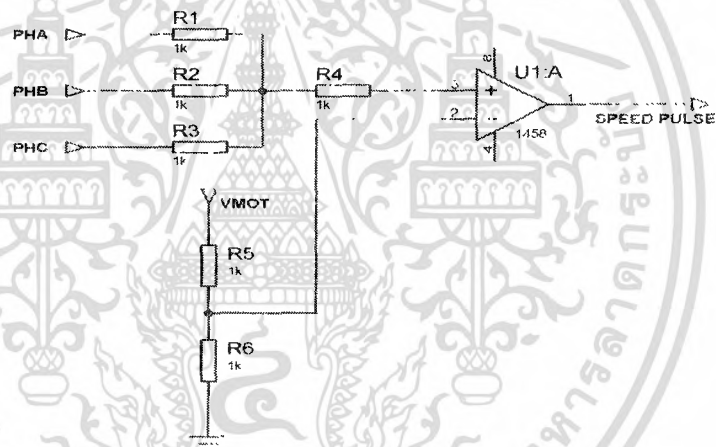
3.1.1.1 วงจร Zero Crossing

จากที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ในเรื่องของวงจร Zero Crossing ซึ่งมีวิธีการตรวจสอบสัญญาณ BEMF อยู่สามวิธีด้วยกัน แต่ในโครงการนี้จะใช้วิธีเปรียบเทียบสัญญาณ BEMF กับกราวด์เสมือน (Compare bemf to Virtual Ground) ร่วมกับวงจร Comparator เพื่อทำการตรวจสอบสัญญาณ BEMF และส่งค่าสัญญาณที่ตรวจสอบได้นี้ ให้กับวงจรในส่วนของตัวควบคุม เพื่อทำการประมวลผลหาตำแหน่งของมอเตอร์ และทำการส่งสัญญาณควบคุมให้กับวงจรขับเคลื่อนมอสเฟตต่อไปรูปที่ 3.5 แสดงวงจร Zero Crossing ที่ใช้ในการตรวจสอบสัญญาณ BEMF จริง ประกอบด้วยตัวต้านทานและออปแอมป์ต่อกันดังรูป



รูปที่ 3.5 แสดงวงจร Zero Crossing ที่ใช้งานจริง

3.1.1.2 วงจรวัดความเร็วของบรืษเลต คีชีมอเตอรื



รูปที่ 3.6 แสดงวงจรที่ใช้ในการวัดความเร็วของบรืษเลตคีชีมอเตอรื

จากรูปเป็นวงจรที่ใช้ในการวัดค่าความเร็วของบรืษเลต คีชีมอเตอรื โดยการทำงานของวงจรจะทำการตั้งแรงดันไว้ที่ครึ่งหนึ่งของแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์เป็นแรงดันอ้างอิง และจะรับสัญญาณที่ใช้ในการเปรียบเทียบจากมอเตอร์ของแต่ละเฟสซึ่งเป็นสัญญาณรวม ทำการเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิง ทุกๆครั้งที่เกิด ZERO CROSSING ของสัญญาณ BEMF จะทำให้เกิดพัลส์ขึ้นที่เอาต์พุตของวงจรเสมอ จากรูปที่ 3.7 เป็นสัญญาณ BEMF ที่ป้อนให้กับวงจรวัดความเร็วข้างต้น เมื่อเกิดการ ZERO CROSSING ของสัญญาณ BEMF ที่ขอบขาขึ้นจะทำให้เอาต์พุตของวงจรเกิดการแอกทีฟมีค่าเป็น 1 "HIGH" และเมื่อเกิดการ ZERO CROSSING ของสัญญาณ BEMF ที่ขอบขาลงจะทำให้เอาต์พุตของวงจรแอกทีฟมีค่าเป็น 0 "LOW" สัญญาณพัลส์ที่ได้นี้จะถูกส่งต่อไปให้กับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

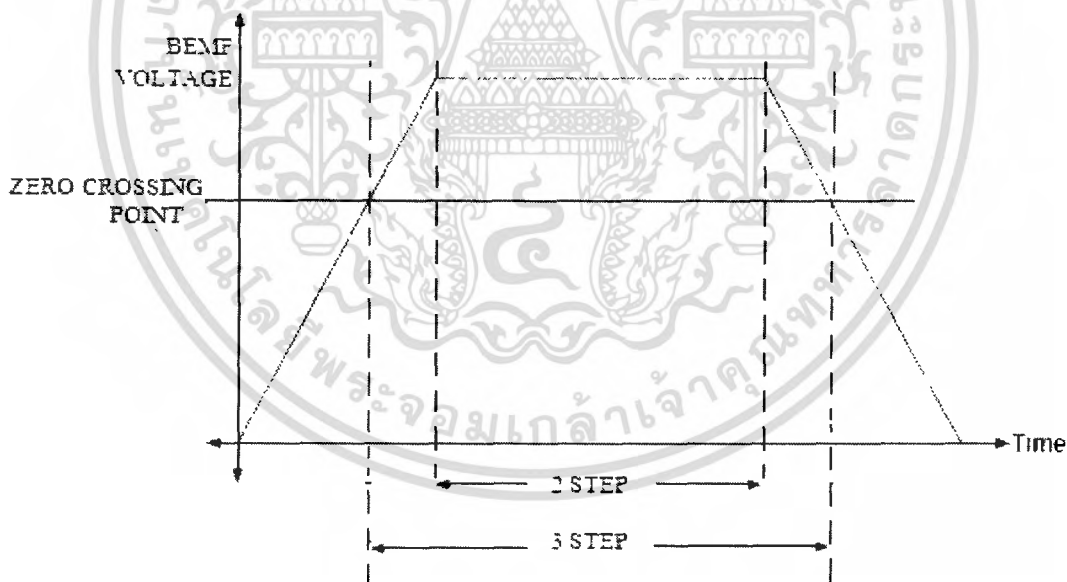
โมดูล TIMER/COUNTER ภายในตัว CPU ทำการนับค่าซึ่งเมื่อดูจากรูปแล้วในการเกิดพัลส์ 1 ครั้ง จะเทียบได้กับการหมุนของมอเตอร์เท่ากับ 3 สเต็ป หรือ ครั้งรอบในการคำนวณหาความเร็วนี้จะใช้ฐานเวลาจากเวลาที่ป้อนให้กับ CPU ซึ่งในโครงงานนี้ป้อนความถี่ค่า 16 MHz ให้กับ CPU แล้วทำการหารด้วย Prescaler 8 เหลือ 2 MHz หมายความว่าในการเกิดพัลส์ 1 ครั้ง TIMER/COUNTER ใช้เวลานับ 1/2 MHz หรือ $0.5 \mu S$ และนำค่าใน TIMER/COUNTER นี้ไปคูณกับ 2 เพื่อให้ได้เวลาที่มอเตอร์หมุนครบ 1 รอบหรือ 6 Step ดังนั้นสามารถคำนวณหาความเร็วของมอเตอร์ใน 1 รอบได้จากสมการที่ 3.1 และ 3.2

$$(TCNT \times 2) \times 0.0000005 \text{ Sec} = 1 \text{ รอบ/วินาที} \quad (3.1)$$

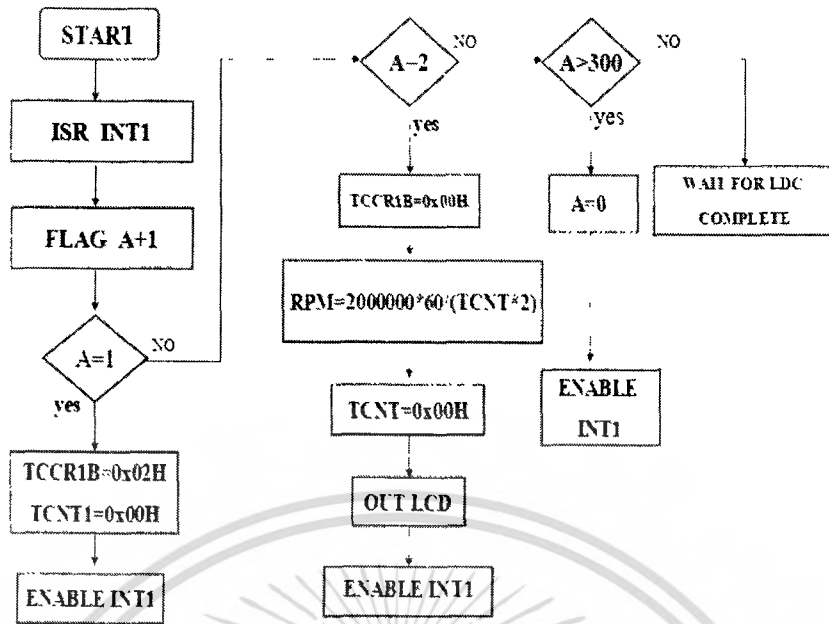
หรือทำให้เป็นจำนวนรอบต่อนาที (RPM) ได้คือ

$$1 \text{ rpm} = (1 \times 2000000 \times 60) / (TCNT \times 2) \quad (3.2)$$

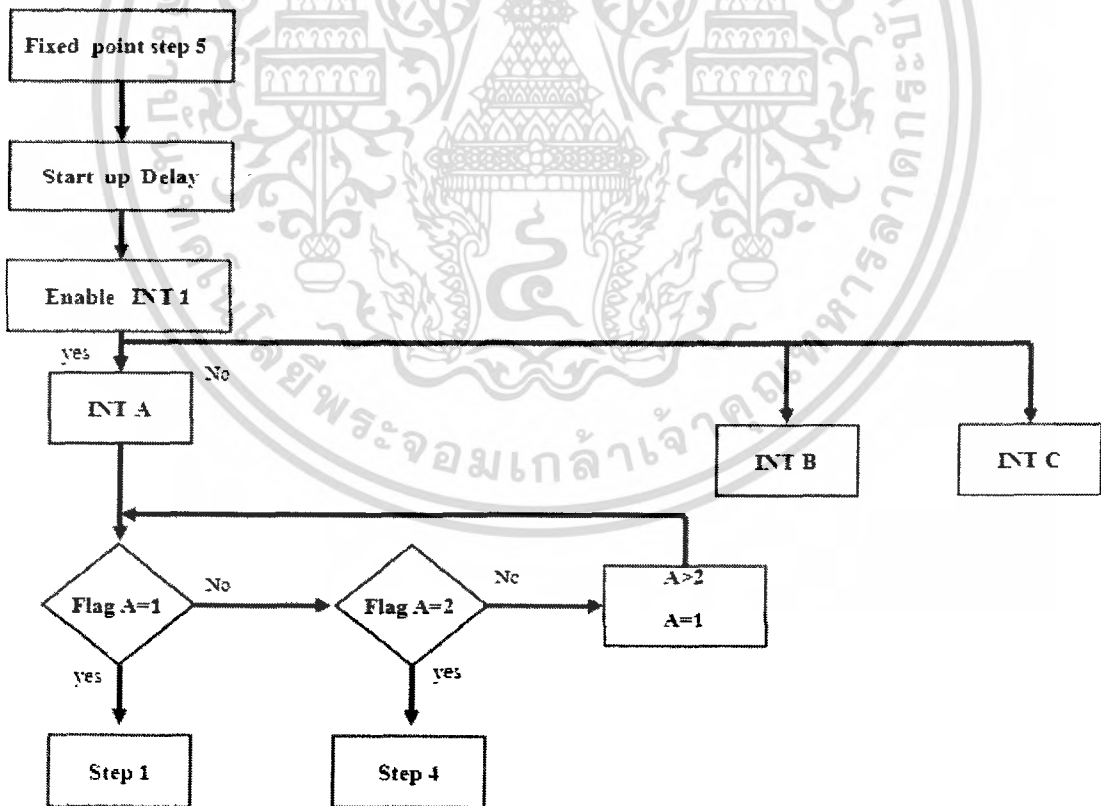
การกำหนดค่าต่างๆ ในรีจิสเตอร์เพื่อให้ TIMER/COUNTER ทำการนับค่าความเร็วสามารถแสดงได้จาก Flow Chart ลำดับการทำงานดังรูปที่ 3.8 และรูปที่ 3.9 จะแสดง Flow Chart ลำดับขั้นตอนการควบคุมการทำงานของบรัชเลส ดีซีมอเตอร์



รูปที่ 3.7 แสดงหลักการที่ใช้ในการวัดความเร็ว

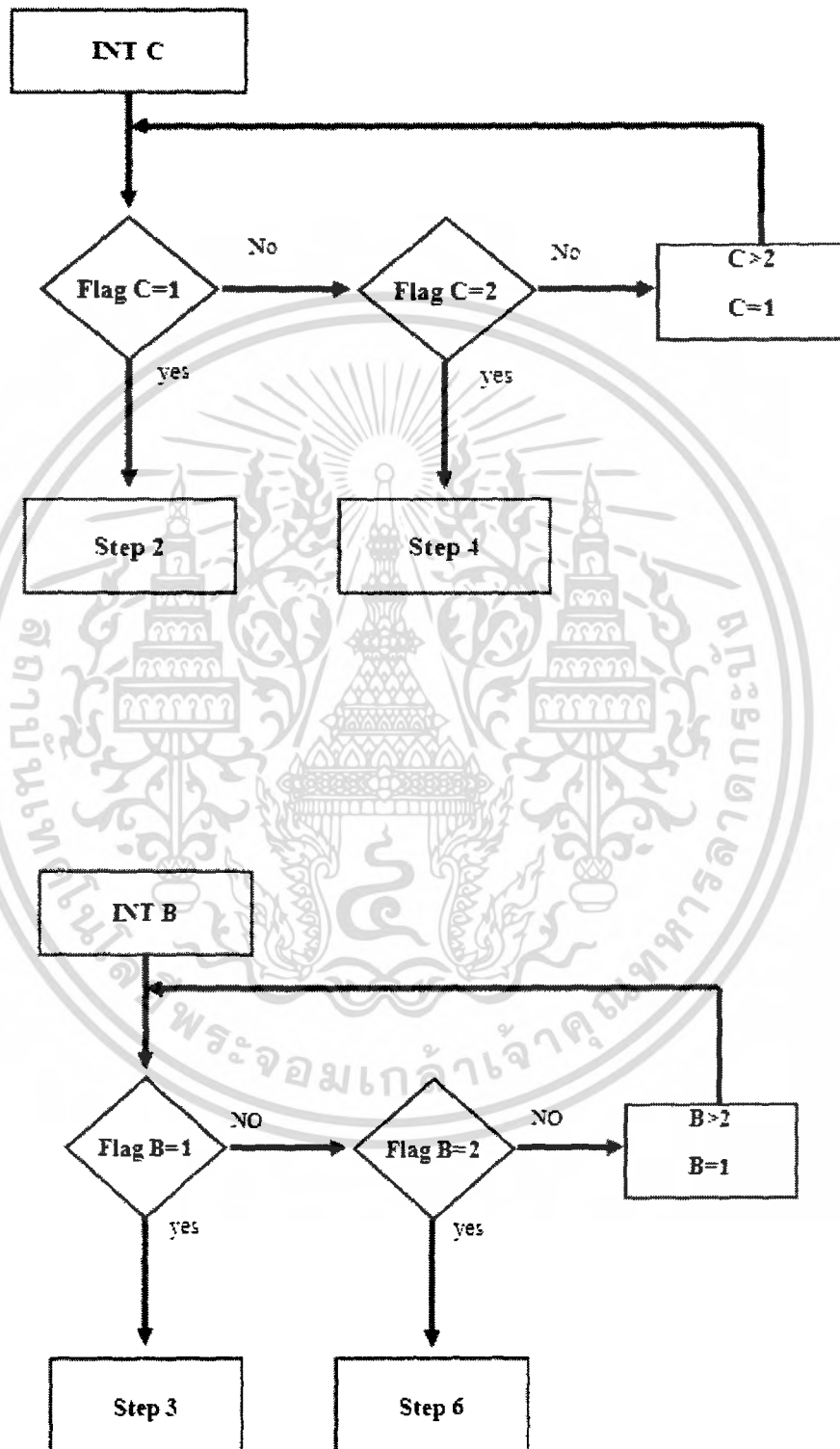


รูปที่ 3.8 แสดง FLOW CHART ของวิธีการวัดความเร็ว



รูปที่ 3.9 แสดง FLOW CHART การควบคุมการทำงานของ BLDC มอเตอร์

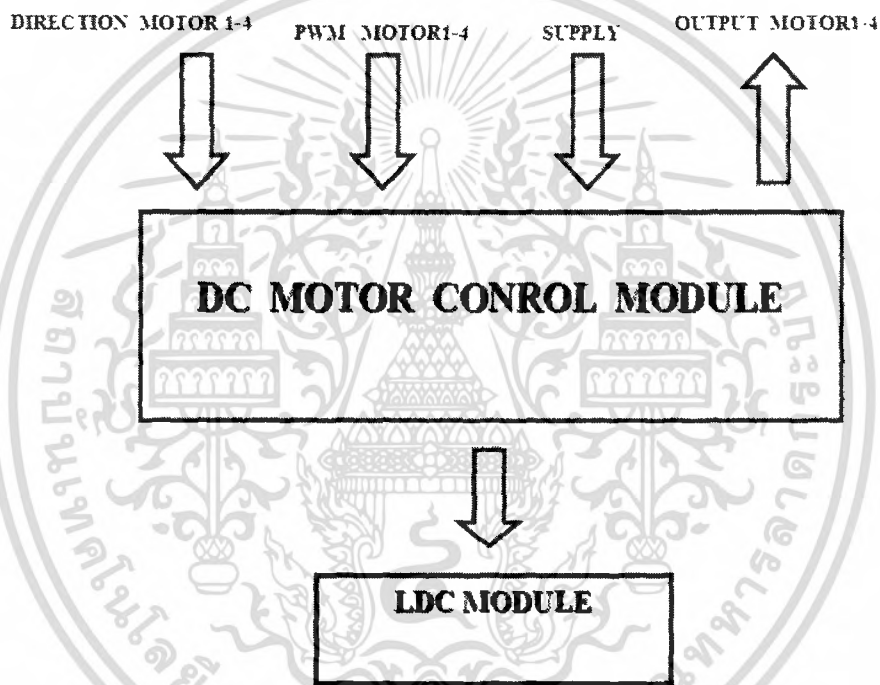
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 (ต่อ) แสดง FLOW CHART การควบคุมการทำงานของ BLDC มอเตอร์
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ภายใต้การดูแลของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การออกแบบตัวควบคุมสำหรับดีซีมอเตอร์

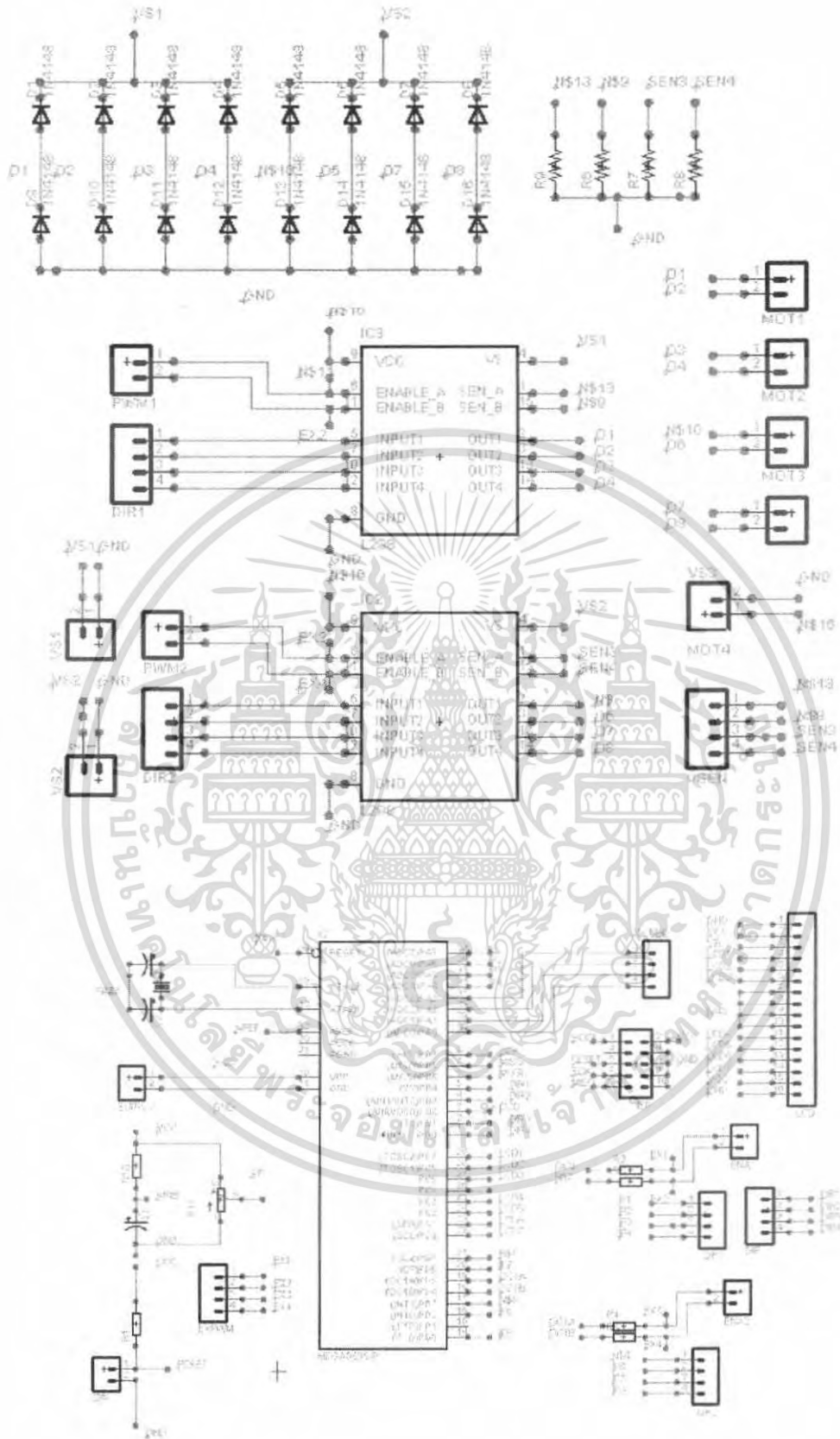
สำหรับหลักการในการออกแบบตัวควบคุมสำหรับ ดีซีมอเตอร์นั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.10 ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณควบคุมต่างๆมายังส่วนของ DC motor Control Module ในโครงการนี้ใช้ดีซี มอเตอร์ทั้งหมดจำนวนสี่ตัว ซึ่งภายใน DC motor Control Module นั้นจะเป็นวงจรควบคุมการทำงานของดีซีมอเตอร์ที่เป็นไอซีเบอร์ L298 สองตัวสามารถควบคุมมอเตอร์ได้ทั้งหมด 4 ตัว เมื่อโมดูลนี้รับค่าสัญญาณควบคุมมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์แล้วก็จะทำการส่งสัญญาณเอาต์พุตออกไปเพื่อควบคุมดีซีมอเตอร์ และส่งค่าการควบคุมออกไปยัง ส่วนแสดงผลหรือจอ LCD ด้วย



รูปที่ 3.10 แสดงหลักการที่ใช้ในการออกแบบตัวควบคุมสำหรับดีซีมอเตอร์

มอเตอร์ดีซีที่ใช้ในระบบสายพานลำเลียงชุดนี้เป็นมอเตอร์ขนาด 12 โวลต์ เป็นมอเตอร์ขนาดความเร็ว 450 RPM สองตัวขับเคลื่อนสายพานส่วนที่สาม 300 RPM หนึ่งตัวขับเคลื่อนสายพานส่วนที่สอง และ 500 RPM หนึ่งตัวทำหน้าที่ขับเคลื่อนสายพานถึงชุดสายพานที่ทำหน้าที่เป็นตัวเลื่อนขึ้นงานมอเตอร์ดีซี ทุกตัวใช้ไอซีเบอร์ L298 ทำหน้าที่เป็นวงจรขับและควบคุมทิศทางการหมุน โดยรับสัญญาณควบคุมมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ ATmega8535 ซึ่งเป็นตัวควบคุมที่ใช้ในการควบคุมดีซีมอเตอร์ทั้งหมด การปรับความเร็วของ ดีซีมอเตอร์จะสามารถทำได้โดยทำการปรับค่าของสัญญาณ PWM ที่จ่ายให้กับไอซี L298 วงจรของตัวควบคุมดีซีมอเตอร์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

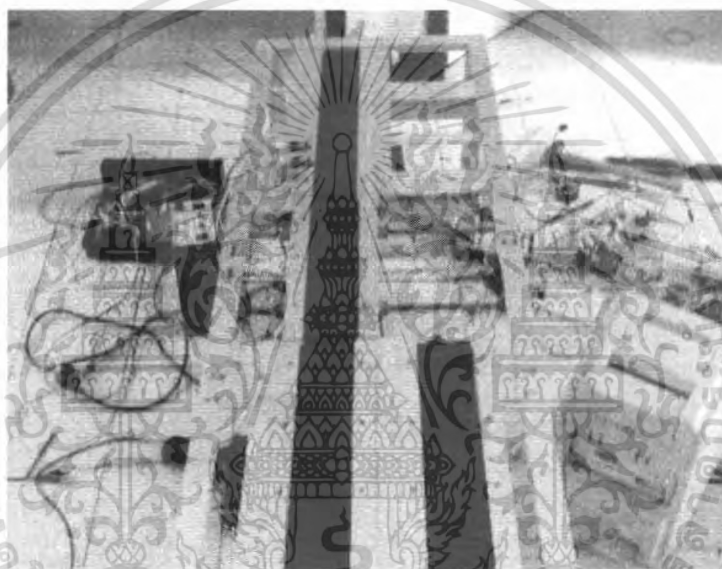


รูปที่ 3.11 วงจรที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านนี้ เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบระบบสายพานลำเลียง

ระบบสายพานลำเลียงชุดนี้ได้ออกแบบให้ทำมาจากอะลูมิเนียมทั้งหมดประกอบกันขึ้นเป็นชุดสายพานลำเลียงแยกจากกันสามส่วน ส่วนแรกเป็นชุดสายพานหลักที่ทำหน้าที่ในการรับชิ้นงานเข้ามาในระบบโดยใช้รีลเลส ดิซีมอเตอร์เป็นตัวควบคุมการหมุนของสายพาน ส่วนที่สองเป็นชุดของสายพานที่สามารถเลื่อนซ้ายขวาได้ ทำหน้าที่ในการเลื่อนชิ้นงานให้ผ่านไปยังชุดสายพานในส่วนที่สามตามขนาดของชิ้นงานที่ตรวจสอบได้ ส่วนสายพานชุดที่สามเป็นชุดสายพานที่ใช้ในการรับชิ้นงานที่ได้ทำการคัดแยกหรือทำการตรวจสอบแล้ว ซึ่งชุดของสายพานชุดที่สามนี้ประกอบด้วยส่วนของสายพานจำนวนสองชุด ซึ่งรูปร่างของระบบสายพานลำเลียงชุดนี้แสดงได้ดังรูปที่ 3.12

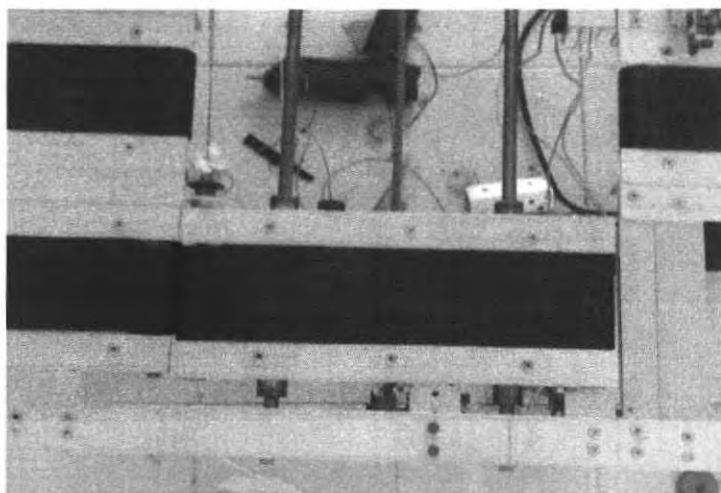


รูปที่ 3.12 แสดงรูปร่างของระบบสายพานลำเลียงที่ได้ทำการออกแบบ

ระบบสายพานลำเลียงชุดนี้มีสัดส่วนรายละเอียดต่างๆดังนี้

- ความกว้างของชุดสายพานลำเลียง	40	Cm.
- ความยาวของชุดสายพานลำเลียง	115	Cm.
- ความกว้างรางของสายพานลำเลียง	6.5	Cm.
- ความยาวของสายพานลำเลียงชุดแรก	40	Cm.
- ความยาวของสายพานลำเลียงชุดกลาง	30	Cm.
- ความยาวของสายพานลำเลียงชุดที่สาม	40	Cm.
- ขนาดความกว้างของสายพาน	6.3	Cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 แสดงรูปร่างของระบบสายพานลำเลียงชุดกลาง

จากรูปที่ 3.13 แสดงรูปของสายพานชุดกลางหรือชุดที่ใช้ในการเลื่อนชิ้นงาน การออกแบบใช้เหล็กสองท่อนยึดเป็นแกนของตัวเลื่อนแล้วทำการติดตั้งลูกปืนทั้งสองด้านของตัวเลื่อน การเคลื่อนที่จะใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนสายพานเป็นตัวดึงซ้ายขวาตามที่แสดงในรูปที่ 3.14

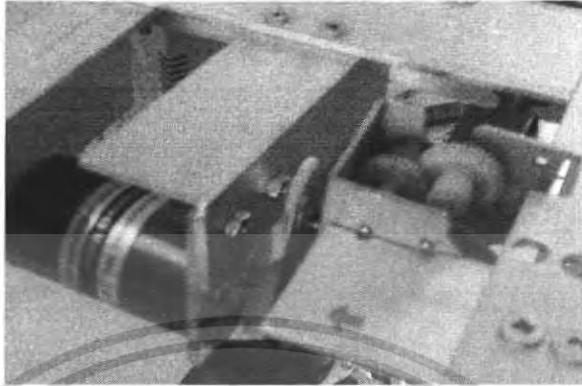


รูปที่ 3.14 แสดงการติดตั้งมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนสายพานชุดกลาง

3.2.1 การติดตั้งมอเตอร์

ระบบสายพานลำเลียงชุดนี้ส่วนที่ใช้เป็นตัวขับเคลื่อนเป็นมอเตอร์ทั้งหมดประกอบด้วย บริษัท ดีซีมอเตอร์ หนึ่งตัวขับเคลื่อนสายพานชุดแรก และสายพานชุดที่เหลือใช้ดีซีมอเตอร์ขับเคลื่อนทั้งหมด ประกอบด้วยมอเตอร์ขับเคลื่อนสายพานชุดกลางสองตัวและมอเตอร์ขับเคลื่อนสายพานชุดท้ายอีกสองตัวรวมเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วทั้งระบบใช้มอเตอร์ทั้งหมดจำนวน 5 ตัวสายพานลำเลียงชุดแรกใช้รหัสในการขับเคลื่อนเนื่องจากมอเตอร์นี้มีความเร็วรอบที่ค่อนข้างสูงจึงได้ทำการทดรอบให้กับมอเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 3.15



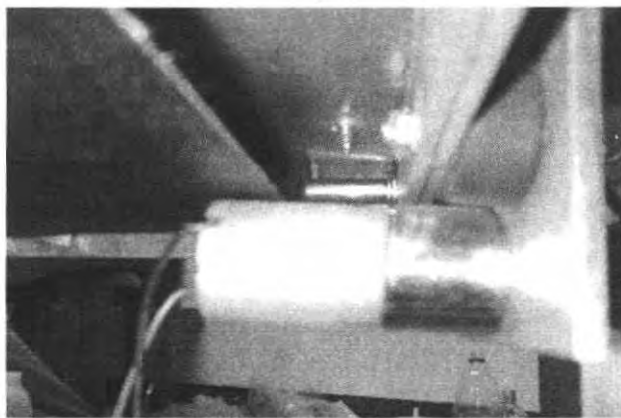
รูปที่ 3.15 แสดงการติดตั้งบริษัทเสตคซีมอเตอร์

สายพานชุดกลางใช้มอเตอร์สองตัว ตัวแรกใช้ในการขับเคลื่อนในส่วนของชิ้นงานและ ตัวที่สองใช้สำหรับขับเคลื่อนเพื่อให้ชิ้นงานผ่านไปยังสายพานชุดที่สาม และสายพานชุดที่สามประกอบด้วยมอเตอร์สองตัวที่ใช้ในการขับเคลื่อนการติดตั้งแสดงได้ดังรูปที่ 3.16 และ 3.17



รูปที่ 3.16 แสดงการติดตั้งซีมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนสายพานชุดที่สามด้านซ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 แสดงการติดตั้งคีมมอดเตอร์ที่ใช้ในการจับสายพานชุดที่สามด้านขวา

3.2.2 การติดตั้งเซนเซอร์

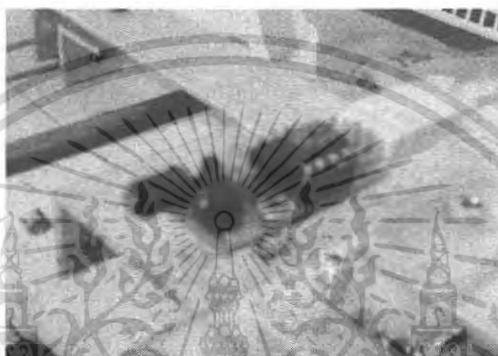
ระบบสายพานลำเลียงชุดนี้ใช้เซนเซอร์ทั้งหมดจำนวนสามตัวเป็น ลิมิตสวิตช์สองตัวและโฟโตเซนเซอร์อีกหนึ่งตัว ซึ่งเป็น โมดูลสำเร็จรูปสามารถตรวจจับวัตถุ โดยใช้หลักการของแสง ลิมิตสวิตช์ทั้งสองตัวใช้ในการตรวจสอบตำแหน่งของตัวเลื่อน ว่าตัวเลื่อนเคลื่อนที่ไปถึงตำแหน่งของสายพานชุดที่สามหรือยัง การติดตั้งลิมิตสวิตช์ทั้งสองตัวแสดง ได้ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 แสดงการติดตั้งลิมิตสวิตช์ (บน) ด้านซ้าย (ล่าง) ด้านขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการเชิงพาณิชย์ที่ออกให้ในนามของหน่วยงานราชการโดยไม่หวังกำไร หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยไว้ก่อน และขอสงวนสิทธิ์ในการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนเซนเซอร์สำหรับตรวจจับวัตถุที่ขวางกั้นด้วยแสงอินฟราเรดโดยใช้หลักการส่งคลื่นแสงไปกระทบกับวัตถุและตรวจจับการสะท้อนกลับของแสง ภายใน โมดูลเซนเซอร์นี้ควบคุมการทำงานด้วยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถปรับตั้งระยะในการตรวจจับวัตถุได้และโมดูลนี้ให้อาชีพุดออกมาเป็นสัญญาณในระดับ TTL การติดตั้งเซนเซอร์สำหรับตรวจจับวัตถุสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.19 สัญญาณที่ได้จากเอาต์พุตของเซนเซอร์นี้จะถูกส่งเป็นอินพุตให้กับตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการกำหนดเงื่อนไขในการควบคุมสายพานลำเลียงชุดกลางที่ใช้สำหรับเลื่อนชิ้นงานซ้าย ขวา ตามที่เซนเซอร์สามารถตรวจสอบได้



รูปที่ 3.19 การติดตั้งเซนเซอร์สำหรับตรวจจับวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

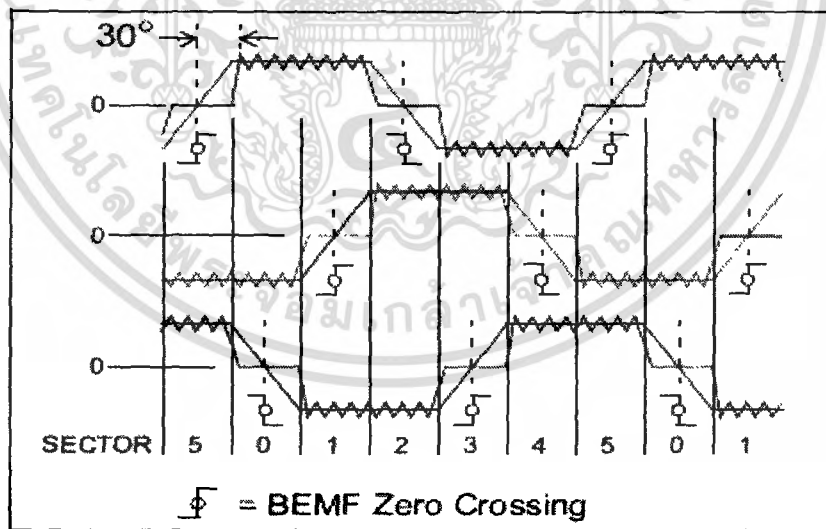
ในบทที่ 3 เราได้อธิบายในส่วนของ การออกแบบตัวควบคุมแล้ว บทนี้จะเป็นส่วนของผลของการทดลองที่ได้จากการออกแบบตัวควบคุมระบบขับเคลื่อนด้วยวิธีตรวจสอบสัญญาณ BEMF เพื่อแสดงให้เห็นว่าผลการทดลองที่ได้นั้นถูกต้องเป็นไปตามทฤษฎีหรือไม่อย่างไร

4.1 การทดลองของวงจรวัดสัญญาณ BEMF

จากการทดลองใช้วงจร Zero Crossing ในบทที่ 3 เพื่อทำการวัดสัญญาณ BEMF ของระบบขับเคลื่อนหลักๆแล้วจะแบ่งออกเป็น 4 การทดลองด้วยกัน โดยแบ่งได้ดังนี้

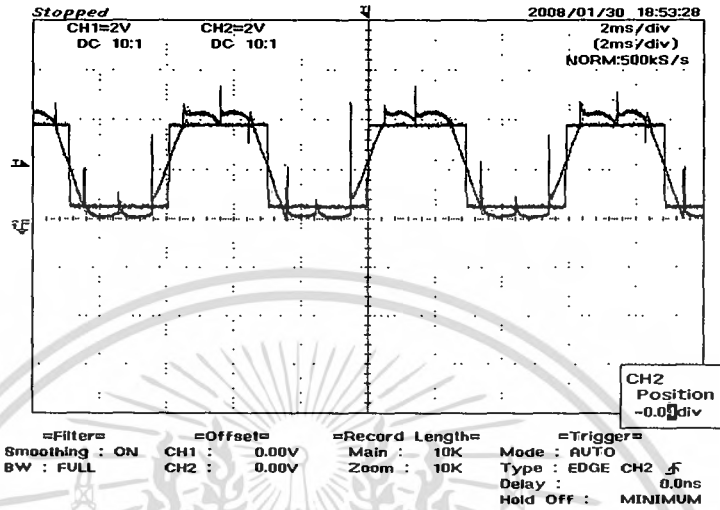
1. การวัดสัญญาณ BEMF เปรียบเทียบกับแรงดันขาออกของวงจรตรวจจับ BEMF
2. การวัดสัญญาณ BEMF เปรียบเทียบกับจุดกราวด์เสมือน
3. การวัดสัญญาณ BEMF เปรียบเทียบกับระหว่างเฟส
4. การวัดสัญญาณขาออกของวงจรตรวจจับ BEMF เปรียบเทียบกับจุดกราวด์เสมือน

การทดลองในบทที่ 4 นี้เพียงเพื่อทำให้มอเตอร์ไร้แปรงถ่านมีการหมุนครบรอบ โดยมีความเร็วคงที่ซึ่งจะเริ่มทำการทดลองและวัดผลกันเป็นส่วนๆ ไป

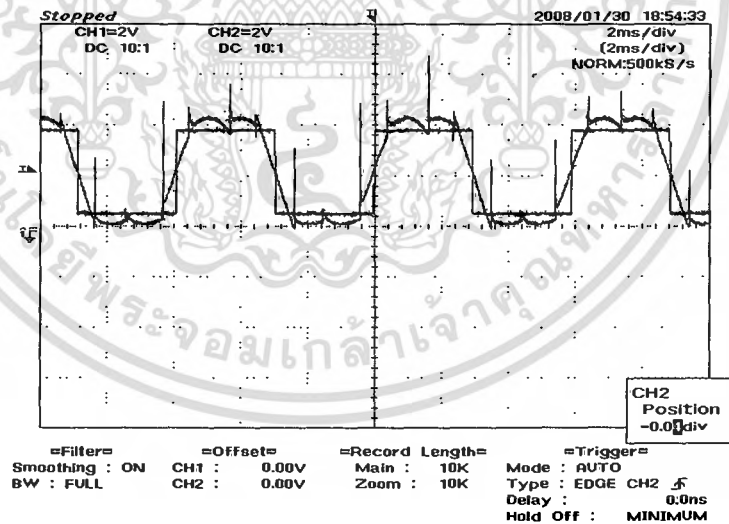


รูปที่ 4.1 แสดงรูปสัญญาณ BEMF ตามทฤษฎี

4.1.1 การวัดสัญญาณ BEMF เปรียบเทียบกับแรงดันขาออกของวงจรตรวจจับ BEMF

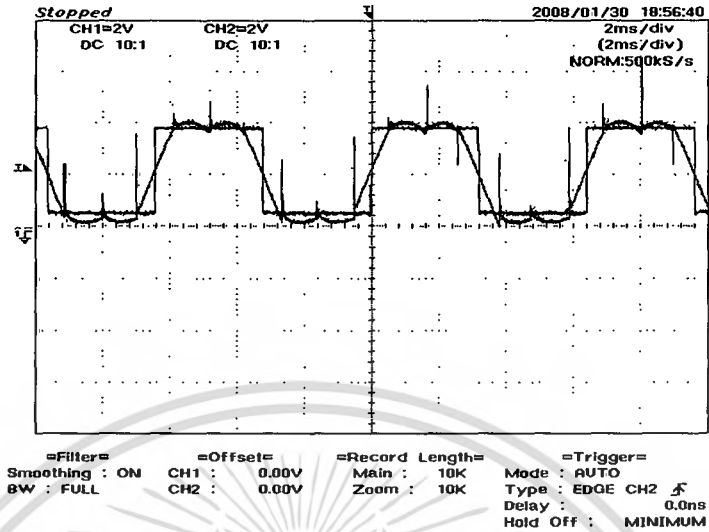


รูปที่ 4.2 แสดงรูปสัญญาณ BEMF ที่วัดได้จากเฟส A ของ BLDC MOTOR เทียบกับแรงดันขาออกของวงจรตรวจจับสัญญาณ BEMF



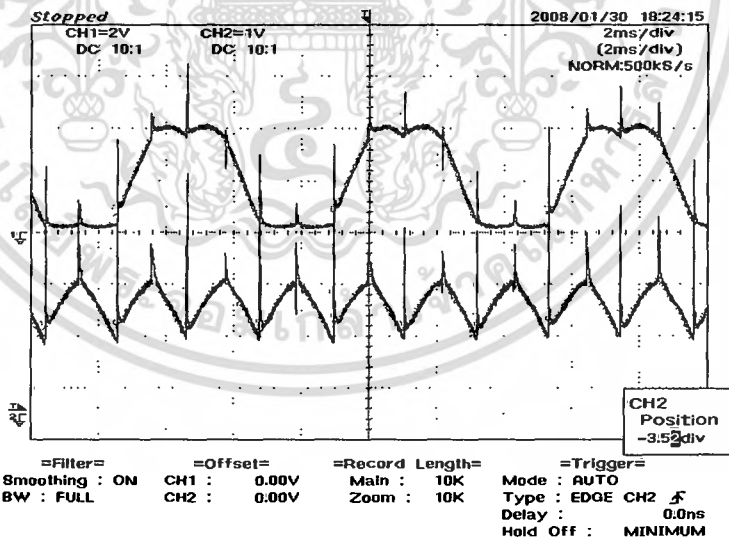
รูปที่ 4.3 แสดงรูปสัญญาณ BEMF ที่วัดได้จากเฟส B ของ BLDC MOTOR เทียบกับแรงดันขาออกของวงจรตรวจจับสัญญาณ BEMF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



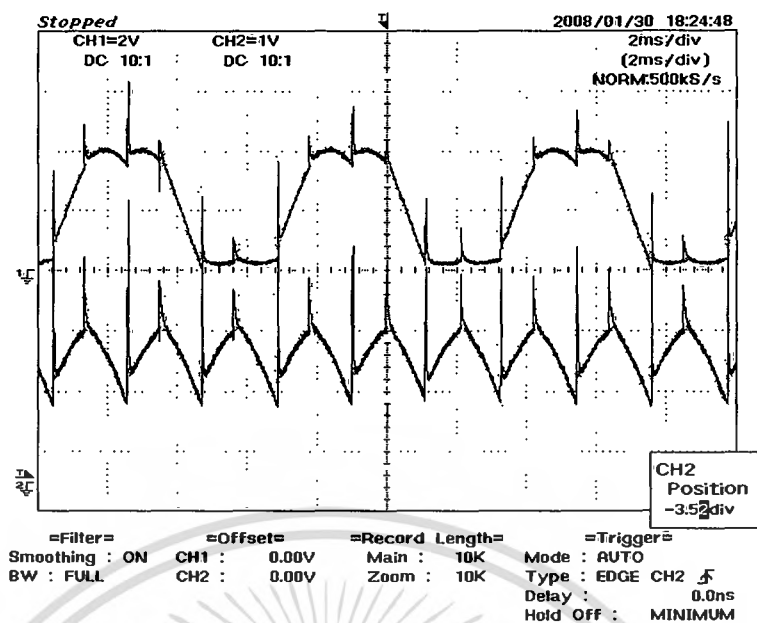
รูปที่ 4.4 แสดงรูปสัญญาณ BEMF ที่วัดได้จากเฟส C ของ BLDC MOTOR เทียบกับแรงดันขาออกของวงจรตรวจจับสัญญาณ BEMF

4.1.2 การวัดสัญญาณ BEMF เปรียบเทียบกับจุดกราวด์เสมือน

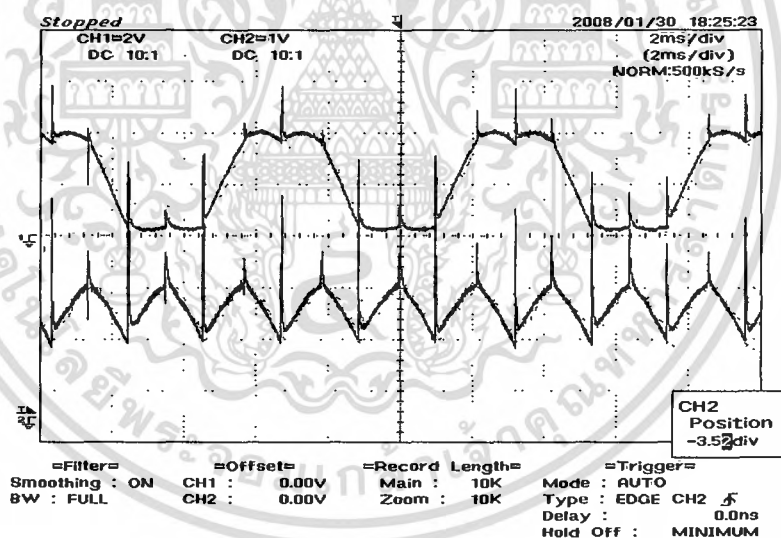


รูปที่ 4.5 แสดงรูปสัญญาณ BEMF ที่วัดได้จากเฟส A ของ BLDC MOTOR เทียบกับสัญญาณที่วัดได้จากจุดกราวด์เสมือน (Virtual Ground)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



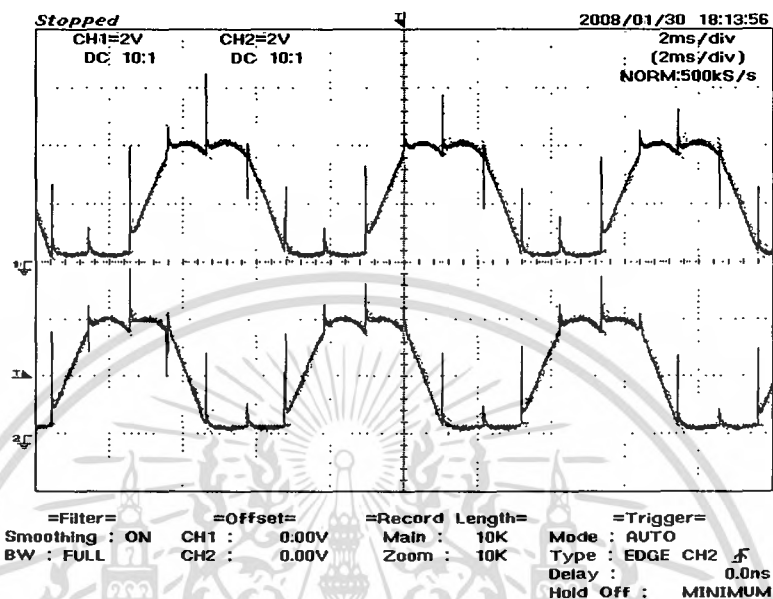
รูปที่ 4.6 แสดงรูปสัญญาณ BEMF ที่วัดได้จากเฟส B ของ BLDC MOTOR
เทียบกับสัญญาณที่วัดได้จากจุดกราวด์เสมือน (Virtual Ground)



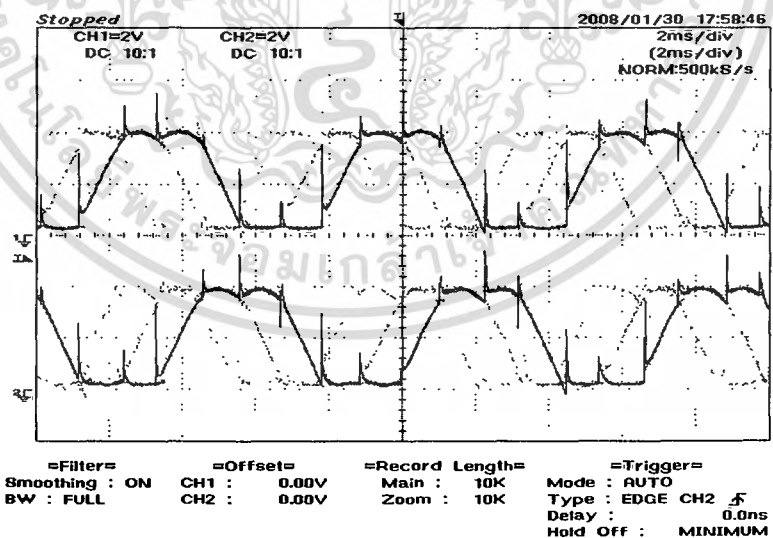
รูปที่ 4.7 แสดงรูปสัญญาณ BEMF ที่วัดได้จากเฟส C ของ BLDC MOTOR
เทียบกับสัญญาณที่วัดได้จากจุดกราวด์เสมือน (Virtual Ground)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 การวัดสัญญาณ BEMF เปรียบเทียบกันระหว่างเฟสต่อเฟส

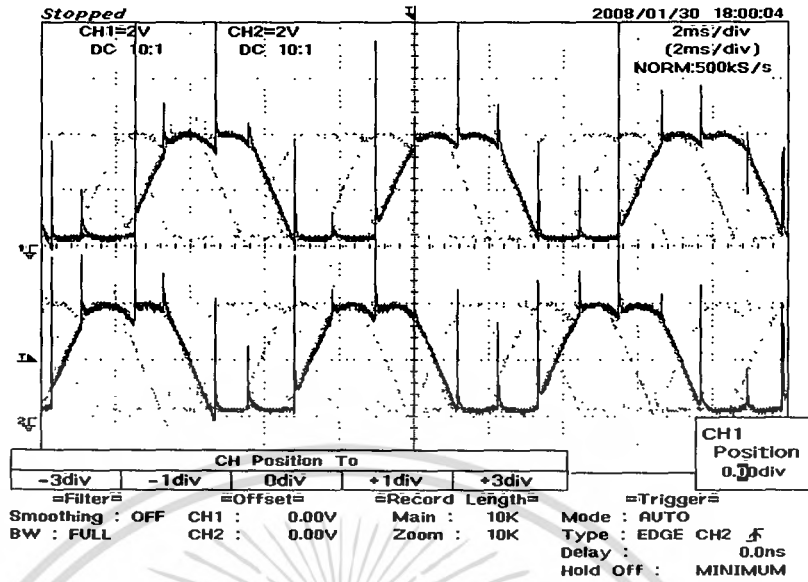


รูปที่ 4.8 แสดงรูปสัญญาณ BEMF ที่วัดได้จากเฟส A เทียบกับสัญญาณที่วัดได้จากเฟส B ของ BLDC MOTOR



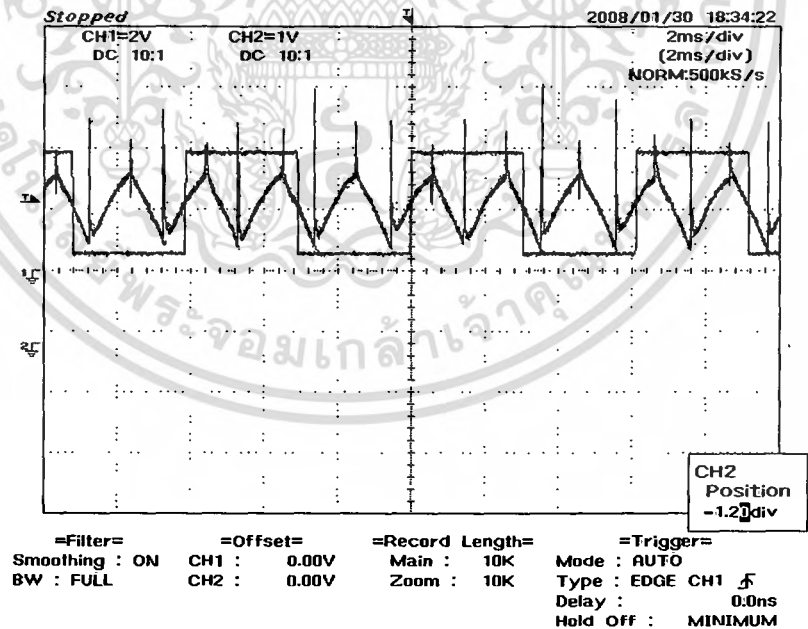
รูปที่ 4.9 แสดงรูปสัญญาณ BEMF ที่วัดได้จากเฟส A เทียบกับสัญญาณที่วัดได้จากเฟส C ของ BLDC MOTOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



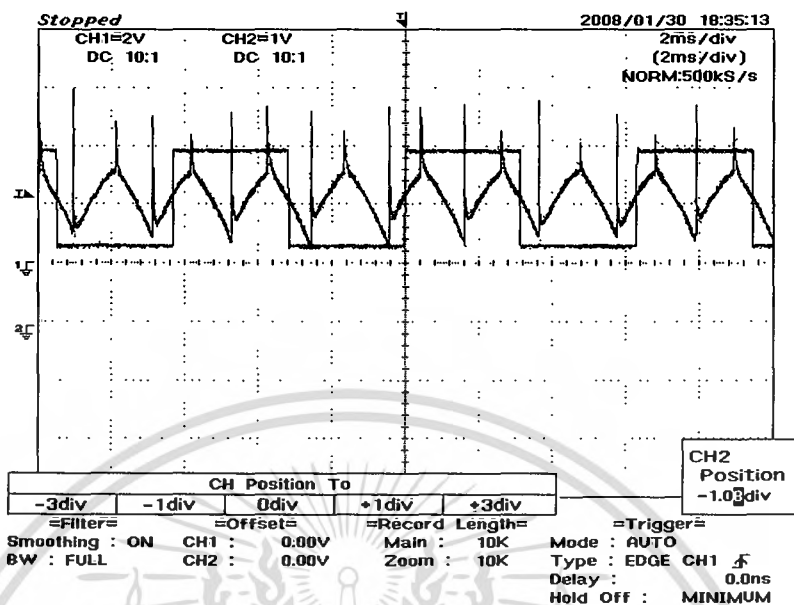
รูปที่ 4.10 แสดงรูปสัญญาณ BEMF ที่วัดได้จากเฟส B เทียบกับสัญญาณที่วัดได้จากเฟส C ของ BLDC MOTOR

4.1.4 การวัดสัญญาณขาออกของวงจรตรวจจับ BEMF เปรียบเทียบกับจุดคร่าวด์เสมือน

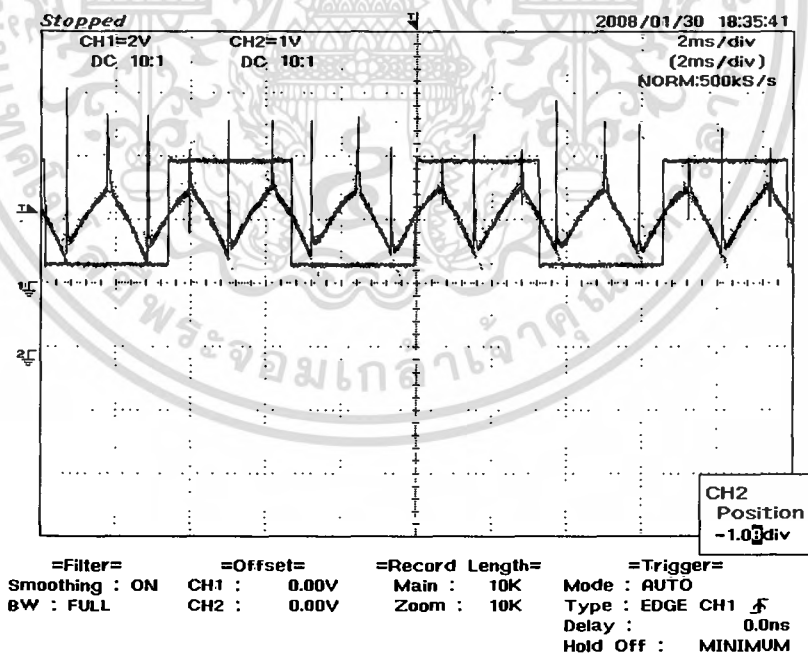


รูปที่ 4.11 แสดงการเกิด ZERO CROSSING ที่เฟส A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แสดงการเกิด ZERO CROSSING ที่เฟส B



รูปที่ 4.13 แสดงการเกิด ZERO CROSSING ที่เฟส C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปเป็นการวัดสัญญาณ BEMF Zero Crossing รูปที่ 4.2 ถึง รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณ BEMF ที่เกิดขึ้นที่เฟส A B และเฟส C ของขั้วมอเตอร์ โดยที่เปรียบเทียบกับแรงดันขาออกเพื่อแสดงให้เห็นถึงการตรวจจับสัญญาณ ณ จุด Zero Crossing รูปที่ 4.5 ถึงรูปที่ 4.7 เป็นรูปสัญญาณ BEMF เปรียบเทียบกับสัญญาณที่วัดจากจุดกราวด์เสมือน (Virtual Ground) ที่เกิดขึ้นในแต่ละเฟสของขั้วมอเตอร์ โดยที่จุดกราวด์เหมือนนั้นเป็นแรงดันขาเข้าของวงจรตรวจจับด้านลบ โดยที่แรงดันที่จุดกราวด์เสมือนนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงที่ช้ามาก และจะเห็นว่าจุดนี้จะมีลักษณะเหมือนกับ BEMF แต่จะเป็นสัญญาณรวมของสัญญาณ BEMF ที่ทุกสแต๊ป รูปที่ 4.8 ถึงรูปที่ 4.10 เป็นการเปรียบเทียบสัญญาณ BEMF ในแต่ละเฟสของขั้วมอเตอร์ จะเห็นได้ว่าเฟสของสัญญาณมีการเลื่อนเฟสกันอยู่

และจากรูปที่ 4.11 ถึง รูปที่ 4.13 แสดงให้เห็นถึงจุด Zero Crossing ที่เกิดขึ้นในแต่ละเฟสจะเห็นว่าที่จุดกึ่งกลางของสัญญาณรูปสามเหลี่ยมจะเป็นจุดที่เกิดการข้ามศูนย์หรือเกิด Zero Crossing ของสัญญาณ BEMF ที่จุดนี้ระดับของสัญญาณ BEMF และสัญญาณที่วัดได้จากจุดกราวด์เสมือนจะมีค่าเท่ากันและหากแรงดันที่เฟสของมอเตอร์ที่เกิด BEMF มีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่ากราวด์เสมือนก็จะทำให้แรงดันขาออกของวงจรตรวจจับสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะนำค่าของสัญญาณที่ได้นี้ไปทำการประมวลผลเพื่อใช้ในการกำหนดการทำงานของมอเตอร์

บทที่ 5

บทวิจารณ์และสรุป

5.1 สรุป

จากการที่ได้ทำการทดลองควบคุมบริษัทเลส ดีซีมอเตอร์ปรากฏว่าสามารถควบคุมการหมุนของมอเตอร์ได้ แต่เมื่อนำมอเตอร์ไปประยุกต์ใช้งานกับชุดระบบสายพานลำเลียงที่ได้ทำการออกแบบไว้ ได้เกิดปัญหาขึ้นคือมอเตอร์มีความเร็วรอบสูงเกินไปเนื่องจากการควบคุมด้วยวิธีตรวจสอบสัญญาณ BEMF ค่าของแรงดัน BEMF จะแปรตามค่าของความเร็วเมื่อมอเตอร์มีความเร็วรอบที่ต่ำจะทำให้ตรวจสอบสัญญาณ BEMF ทำได้ยากแต่อย่างไรก็ตามได้ทำการแก้ปัญหาขึ้นด้วยการทดเฟืองให้กับมอเตอร์ซึ่งทำให้มอเตอร์สามารถหมุนขับสายพานได้ ในส่วนอื่นๆของระบบที่ใช้ดีซีมอเตอร์เป็นตัวขับสายพานไม่พบปัญหาสามารถควบคุมการหมุนของมอเตอร์และนำไปใช้กับระบบสายพานลำเลียงได้

เนื่องจากกลุ่มผู้จัดทำยังไม่มีประสบการณ์ในการออกแบบมากนัก ทำให้ระบบสายพานลำเลียงชุดนี้ออกมาได้ไม่ดีเท่าที่ควรยกตัวอย่างเช่น การติดตั้งมอเตอร์และสายพานขับเคลื่อนซึ่งทำการติดตั้งได้ไม่ค่อยดีนักเมื่อมอเตอร์หมุนทำให้เกิดเสียงเนื่องจากไม่ได้ศูนย์ การติดตั้งสายพานที่ใช้ในการลำเลียงชิ้นงาน ทำการติดตั้งสายพานได้ไม่พอดีเมื่อสายพานเคลื่อนที่เกิดการติดขัดของสายพานกับรางของสายพานเล็กน้อย ในส่วนของชุดควบคุมการทำงานของระบบสามารถทำงานได้แต่เกิดสัญญาณรบกวนขึ้นเล็กน้อยไม่ส่งปัญหาต่อการควบคุมการทำงานของมอเตอร์แต่อย่างใด

ในการทำโครงการเรื่องการควบคุมบริษัทเลส ดีซีมอเตอร์ในครั้งนี้ได้เกิดปัญหาต่างๆขึ้นมากมายแต่ด้วยความร่วมมือของสมาชิกภายในกลุ่มที่ช่วยกันทำงานในแต่ละส่วนจึงทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข

จากการทำโครงการนี้ได้เกิดปัญหาต่างๆขึ้นมากมายแต่ปัญหาที่สำคัญที่เกิดขึ้นคือ

1. ปัญหาเมื่อทำการเริ่มสตาร์ทมอเตอร์ เมื่อมอเตอร์ยังไม่หมุนจะไม่สามารถรู้ตำแหน่งของมอเตอร์ได้เพราะไม่มีสัญญาณ BEMF ออกมา และได้ทำการแก้ปัญหาโดยการให้มอเตอร์หมุนก่อน 1 ครั้งในทิศทางใดก็ได้ เพื่อตรวจสอบตำแหน่งของมอเตอร์จากนั้นแล้วจึงค่อยป้อนสัญญาณควบคุมโดยใช้เทคนิคที่เรียกว่า Start Up Delay

2. ปัญหาในส่วนของ การปรับความเร็วของบริษัทเลส ดีซีมอเตอร์เนื่องจากมอเตอร์ที่ใช้เป็นมอเตอร์ที่มีความเร็วรอบสูงและมีแรงบิดที่ต่ำซึ่งจะส่งผลต่อการปรับความเร็วของมอเตอร์ทำให้จะต้องใช้ตัวกำเนิดความถี่ที่มีค่าสูงเนื่องจากต้องใช้สัญญาณพัลส์วิดมอดูเลชันในการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการค้นคว้าพัฒนา

สำหรับโครงการการควบคุมมอเตอร์ไร้แปรงถ่านด้วยวิธีตรวจสอบสัญญาณ แบ็ค อี เอ็ม เอฟ ทางผู้จัดทำมีข้อเสนอแนะว่าในการที่จะควบคุมบรัชเลส ดีซีมอเตอร์ในโหมดเซนเซอร์เลส (Sensorless Control) แล้วจำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาถึงโครงสร้าง การทำงาน วิธีการที่ใช้ในการวัดสัญญาณ แบ็ค อี เอ็ม เอฟ ตลอดจนวิธีการควบคุมมอเตอร์เสียก่อนเพราะว่ามอเตอร์ชนิดนี้มีหลักการการทำงานที่แน่นอนตรงกับทฤษฎีที่มีการใช้งานกันอย่างกว้างขวาง รวมทั้งยังต้องมีความรู้ทางด้านวงจรอิเล็กทรอนิกส์และการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์พอสมควร ส่วนการที่จะนำบรัชเลส ดีซีมอเตอร์ไปประยุกต์ใช้งานใตุนั้น จำเป็นต้องพิจารณาในเรื่องของโหลดที่จะนำมอเตอร์ไปขับและควรเลือกขนาดของมอเตอร์ให้เหมาะสมกับงานนั้นๆด้วย



เอกสารอ้างอิง

- [1] โยธิน เปรมปราชญ์. “ระบบการควบคุมมอเตอร์” พ.ศ.2526.
- [2] Ward Brown. “AN857 Brushless DC motor control made easy” Microchip Technology Inc.2002 . pp.1-3.
- [3] Padmaraja Yedamale. “AN885 Brushless DC (BLDC) motor fundamental” Microchip Technology Inc. 2003. pp1-16.
- [4] Jim Lepkowski.“AN894 Motor ontrol sensor feedback circuit” Microchip Technology Inc.2003 . pp 1-17.
- [5] Padmaraja Yedamale .“AN970 Using PIC18F2431 for sensorless BLDC motor Control” Microchip Technology Inc . 2005.pp1- 4.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบสายพานลำเลียง

1. โปรแกรมควบคุมการทำงานของ BLDC MOTOR

```

/*http://www.hpinfotech.com
e-mail:office@hpinfotech.com
Project : brushless DC motor control using back electromotive force method
Date : 27/9/2007
Chip type : ATmega8535L
Program type : Application
Clock frequency : 16.000000 MHz
Memory model : Small
External SRAM size : 0
Data Stack size : 1024

```

```

*****
*****/

```

```

#include <mega8535.h>
#include <delay.h>
#include <stdio.h>
unsigned int A=0,B=0,C=0,Timestep,j,duty,setpoint;
#define ADC_VREF_TYPE 0x20
unsigned char read_adc(unsigned char adc_input)
{
  ADMUX=adc_input|ADC_VREF_TYPE;
  // Start the AD conversion
  ADCSRA|=0x40;
  // Wait for the AD conversion to complete
  while ((ADCSRA & 0x10)==0);
  ADCSRA|=0x10;
  return ADCH;
}
char state[]={0x74,0x78,0xb8,0xac,0xcc,0xd4};
//char state[]={0x41,0x81,0x82,0x22,0x24,0x44};
char delay[]={30,25,20,15,7,3};
unsigned int timerpm;
//char state[]={0x43,0x23,0x25,0x85,0x86,0x46};
void step1(void)
{
  //TCCR0=0x00;
  PORTC=0x74;
  //OCR0=duty;
  //TCCR0=0x6a;
}
void step1S(void)
{
  //TCCR0=0x00;
  PORTC=0x74;
  OCR1A=setpoint;
  //TCCR0=0x6a;
}
void step2(void)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
//TCCR0=0x00;
  PORTC=0x78;
//TCCR0=0x6a;
}
void step3(void)
{
// TCCR0=0x00;
  PORTC=0xb8;
// TCCR0=0x6a;
}
void step4(void)
{
//TCCR0=0x00;
  PORTC=0xac;
// TCCR0=0x6a;
}
void step5(void)
{
// TCCR0=0x00;
  PORTC=0xcc;
// TCCR0=0x6a;
}
void step6(void)
{
// TCCR0=0x00;
PORTC=0xd4;
// TCCR0=0x6a;
}
// External Interrupt 5 service routine
// Calculation BEMF Rising and Falling Egde on Phase A
interrupt [EXT_INT0] void BEMF_Ph_A(void)
{
GIFR=0x00;
Timestep=TCNT1L;
TCCR1B=0x00;
A+=1;
j+=1;
if(A>2)
{
  A=1;
}
if(j>50)
{
  j=0;
}
if(A==1)
{
  if(j>50)
  {
    for(j=0;j<Timestep;j++)
    {
      delay_us(45);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }
    step1S();
    GIFR=0xe0;
    TCNT1L=0x00;
    TCCR1B=0x0d;
    }
    else
    for(j=0;j<Timestep;j++)
    {
        delay_us(45);
    }
    step1();
    GIFR=0xe0;
    TCNT1L=0x00;
    TCCR1B=0x0d;
    }
    else if(A==2)
    {
    for(j=0;j<Timestep;j++)
    {
        delay_us(45);
    }
    step4();
    GIFR=0xe0;
    TCNT1L=0x00;
    TCCR1B=0x0d;
    }
    }
    // External Interrupt 6 service routine
    // Calculation BEMF Rising and Falling Edge on Phase B
    interrupt [EXT_INT1] void BEMF_Ph_B(void)
    {
    //lcd_clear();
    //showspeed();
    GIFR=0x00;
    Timestep=TCNT1L;
    TCCR1B=0x00;
    B+=1;
    if(B>2)
    {
        B=1;
    }
    if(B==1)
    {
    for(j=0;j<Timestep;j++)
    {
        delay_us(45);
    }
    step3();
    GIFR=0xe0;
    TCNT1L=0x00;
    TCCR1B=0x0d;
    }
    }

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

else if(B==2)
{
for(j=0;j<Timestep;j++)
{
delay_us(45);
}
step6();
GIFR=0xe0;
TCNT1L=0x00;
TCCR1B=0x0d;
}
}
// External Interrupt 7 service routine
// Calculation BEMF Rising and Falling Edge on Phase C
interrupt [EXT_INT2] void BEMF_Ph_C(void)
{
GIFR=0x00;
Timestep=TCNT1L;
TCCR1B=0x00;
C+=1;
if(C>2)
{
C=1;
}
if(C==1)
{
for(j=0;j<Timestep;j++)
{
delay_us(45);
}
step2();
GIFR=0xe0;
TCNT1L=0x00;
TCCR1B=0x0d;
}
else if(C==2)
{
for(j=0;j<Timestep;j++)
{
delay_us(45);
}
step5();
GIFR=0xe0;
TCNT1L=0x00;
TCCR1B=0x0d;
}
}
}
void main(void)
{
// Input/Output Ports initialization
// Port A initialization
PORTA=0x00;
DDRA=0x00;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

// Port B initialization
PORTB=0x00;
DDRB=0xff;
// Port C initialization
PORTC=0x00;
DDRC=0x00;
// Port D initialization
PORTD=0x00;
DDRD=0xff;
TCCR0=0x6a;
OCR0=0xff;
TCCR1A=0x81;
TCCR1B=0x00;
TCNT1H=0x00;
TCNT1L=0x00;
ICR1H=0x00;
ICR1L=0x00;
OCR1AH=0x00;
OCR1AL=0x00;
OCR1BH=0x00;
OCR1BL=0x00;
// Timer/Counter 0 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 0 Stopped
// Mode: Normal top=FFh
// OC0 output: Disconnected
ASSR=0x00;
TCNT0=0x00;
//TIFR=0x00;
// Timer/Counter 1 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 1 Stopped
// Mode: Normal top=FFFFh
// OC1A output: Discon.
// OC1B output: Discon.
// OC1C output: Discon.
// Noise Canceler: Off
// Input Capture on Falling Edge
// Timer 1 Overflow Interrupt: Off
// Input Capture Interrupt: Off
// Compare A Match Interrupt: Off
// Compare B Match Interrupt: Off
// Compare C Match Interrupt: Off
// Timer/Counter 2 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 2 Stopped
// Mode: Normal top=FFh
// OC2 output: Disconnected
TCCR2=0x00;
TCNT2=0x00;
OCR2=0x00;
// External Interrupt(s) initialization
// INT0: On

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

// INT0 Mode: Any change
// INT1: On
// INT1 Mode: Any change
// INT2: On
// INT2 Mode: Falling Edge
GICR|=0xE0;
MCUCR=0x05;
MCUCSR=0x00;
GIFR=0xE0;
// Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
TIMSK=0x00;
//ETIMSK=0x00;
// Analog Comparator initialization
// Analog Comparator: Off
// Analog Comparator Input Capture by Timer/Counter 1: Off
ACSR=0x80;
//SFIOR=0x00;
for(j=0;j<6;j++)
{
PORTB=state[j];
delay_ms(delay[j]);
}
GIFR=0xE0;
step6();
//TCCR0=0x07;
//TCNT0=0x00;
TCCR1B=0x0d;
TCNT1L=0x00;
#asm("sei")
// Global enable interrupts
ADMUX=ADC_VREF_TYPE;
ADCSRA=0x87;
while (1)
{
GIFR=0xE0;
setpoint=read_adc(0);
};
}

```

2. โปรแกรมควบคุมการทำงานของ DC MOTOR

/******

This program was produced by the
CodeWizardAVR V1.24.6 Professional
Automatic Program Generator
© Copyright 1998-2005 Pavel Haiduc, HP InfoTech s.r.l.
<http://www.hpinfotech.com>
e-mail:office@hpinfotech.com
Project : brushless DC motor control using back electromotive force method
Chip type : ATmega8535L
Program type : Application
Clock frequency : 16.000000 MHz
Memory model : Small
External SRAM size : 0

Data Stack size : 128

*****/

```
#include <mega8535.h>
```

```
#include <delay.h>
```

```
// Alphanumeric LCD Module functions
```

```
#asm
```

```
.equ __lcd_port=0x15 ;PORTC
```

```
#endasm
```

```
#include <lcd.h>
```

```
// Standard Input/Output functions
```

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

```
#define ADC_VREF_TYPE 0x00
```

```
#define DIAM1 PORTB.4
```

```
#define DIBM1 PORTB.3
```

```
#define DIAM2 PORTB.1
```

```
#define DIBM2 PORTB.0
```

```
#define DIAM3 PORTD.3
```

```
#define DIBM3 PORTD.2
```

```
#define DIAM4 PORTD.6
```

```
#define DIBM4 PORTD.0
```

```
#define SWMODE PORTB.7
```

```
#define EXTDIM1 PINA.7
```

```
#define EXTDIM2 PINA.6
```

```
#define EXTDIM3 PINA.5
```

```
#define EXTDIM4 PINA.4
```

```
// Read the 10 most significant bits
```

```
// Read the AD conversion result
```

```
int set,minset;
```

```
unsigned int read_adc(unsigned char adc_input)
```

```
{
```

```
ADMUX=adc_input|ADC_VREF_TYPE;
```

```
// Start the AD conversion
```

```
ADCSRA|=0x40;
```

```
// Wait for the AD conversion to complete
```

```
while ((ADCSRA & 0x10)==0);
```

```
ADCSRA|=0x10;
```

```
set=ADCW;
```

```
return ADCW;
```

```
}
```

```
// Declare your global variables here
```

```
void main(void)
```

```
{
```

```
unsigned int setp0,setp1,setp2,setp3,j;
```

```
char sp0[10],sp1[10],sp2[10],sp3[10];
```

```
// Declare your local variables here
```

```
// Input/Output Ports initialization
```

```
// Port A initialization
```

```
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In
```

```
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T
```

```
PORTA=0xf0;
```

```
DDRA=0x00;
```

```
// Port B initialization
```

```
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=Out Func2=In Func1=In Func0=In
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=0 State2=T State1=T State0=T
PORTB=0x0b;
DDRB=0xf4;
// Port C initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T
PORTC=0x00;
DDRC=0x00;
// Port D initialization
// Func7=Out Func6=In Func5=Out Func4=Out Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In
// State7=0 State6=T State5=0 State4=0 State3=T State2=T State1=T State0=T
PORTD=0x00;
DDRD=0xff;
// Timer/Counter 0 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: 16000.000 kHz
// Mode: Fast PWM top=FFh
// OC0 output: Non-Inverted PWM
TCCR0=0x6b;
TCNT0=0x00;
OCR0=0x7f;
// Timer/Counter 1 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: 16000.000 kHz
// Mode: Fast PWM top=00FFh
// OC1A output: Non-Inv.
// OC1B output: Non-Inv.
// Noise Canceler: Off
// Input Capture on Falling Edge
// Timer 1 Overflow Interrupt: Off
// Input Capture Interrupt: Off
// Compare A Match Interrupt: Off
// Compare B Match Interrupt: Off
TCCR1A=0xA1;
TCCR1B=0x09;
TCNT1H=0x00;
TCNT1L=0x00;
ICR1H=0x00;
ICR1L=0x00;
OCR1AH=0x00;
OCR1AL=0xff;
OCR1BH=0x00;
OCR1BL=0xff;
// Timer/Counter 2 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: 16000.000 kHz
// Mode: Fast PWM top=FFh
// OC2 output: Non-Inverted PWM
ASSR=0x00;
TCCR2=0x69;
TCNT2=0x00;
OCR2=0xff;
// External Interrupt(s) initialization

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

// INT0: Off
// INT1: Off
// INT2: Off
MCUCR=0x00;
MCUCSR=0x00;
// Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
TIMSK=0x00;
// USART initialization
// Communication Parameters: 8 Data, 1 Stop, No Parity
// USART Receiver: Off
// USART Transmitter: On
// USART Mode: Asynchronous
// USART Baud rate: 9600
// Analog Comparator initialization
// Analog Comparator: Off
// Analog Comparator Input Capture by Timer/Counter 1: Off
ACSR=0x80;
SFIOF=0x00;
// ADC initialization
// ADC Clock frequency: 125.000 kHz
// ADC Voltage Reference: AREF pin
// ADC High Speed Mode: On
// ADC Auto Trigger Source: None
// Only the 8 most significant bits of
// the AD conversion result are used
ADMUX=ADC_VREF_TYPE;
ADCSRA=0x87;
SFIOF&=0xEF;
SFIOF|=0x10;
// LCD module initialization
lcd_init(16);
while (1)
{
//lcd_clear();
  lcd_gotoxy(0,0);
  lcd_putsf("CH1:");
  lcd_gotoxy(8,0);
  lcd_putsf("CH2:");
  lcd_gotoxy(0,1);
  lcd_putsf("CH3:");
  lcd_gotoxy(8,1);
  lcd_putsf("CH4:");
  sprintf(sp0,"%d",read_adc(0)/10);
  lcd_gotoxy(4,0);
  lcd_putsf(" ");
  lcd_gotoxy(4,0);
  lcd_puts(sp0);
  OCR0=set/4;
  sprintf(sp1,"%d",read_adc(1)/10);
  lcd_gotoxy(12,0);
  lcd_putsf(" ");
  lcd_gotoxy(12,0);
  lcd_puts(sp1);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

OCR2=set/4;
sprintf(sp2,"%d",read_adc(2)/10);
lcd_gotoxy(4,1);
lcd_putsf(" ");
lcd_gotoxy(4,1);
lcd_puts(sp2);
OCR1A=set/4;
sprintf(sp3,"%d",read_adc(3)/10);
lcd_gotoxy(12,1);
lcd_putsf(" ");
lcd_gotoxy(12,1);
lcd_puts(sp3);
OCR1B=set/4;
if (EXTDIM1==0)
{
DIAM1=1;
DIBM1=0;
}
if(EXTDIM1==1)
{
DIAM1=0;
DIBM1=1;
}
if(EXTDIM2==0)
{
DIAM2=1;
DIBM2=0;
}
if(EXTDIM2==1)
{
DIAM2=0;
DIBM2=1;
}
if(EXTDIM3==0)
{
DIAM3=1;
DIBM3=0;
}
if(EXTDIM3==1)
{
DIAM3=0;
DIBM3=1;
}
if(EXTDIM4==0)
{
DIAM4=1;
DIBM4=0;
}
if(EXTDIM4==1)
{
DIAM4=0;
DIBM4=1;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}
}

```

3. โปรแกรมที่ใช้ในการวัดความเร็วของมอเตอร์

```

/*****
This program was produced by the
CodeWizardAVR V1.24.6 Professional
Automatic Program Generator
© Copyright 1998-2005 Pavel Haiduc, HP InfoTech s.r.l.
http://www.hpinfotech.com
e-mail:office@hpinfotech.com
Project : brushless DC motor control using back electromotive force method
Chip type      : ATmega8535L
Program type   : Application
Clock frequency : 16.000000 MHz
Memory model   : Small
External SRAM size : 0
Data Stack size : 128
*****/
#include <mega8535.h>
#include <delay.h>
// Alphanumeric LCD Module functions
#asm
.equ __lcd_port=0x15 ;PORTC
#endasm
#include <lcd.h>
#include <stdio.h>
#define ADC_VREF_TYPE 0x00
unsigned int realspeed,A,set,cl;
//int A;
char speed[10],cur[10],sp[8];
// Read the AD conversion result
unsigned int read_adc(unsigned char adc_input)
{
ADMUX=adc_input|ADC_VREF_TYPE;
// Start the AD conversion
ADCSRA|=0x40;
// Wait for the AD conversion to complete
while ((ADCSRA & 0x10)==0);
ADCSRA|=0x10;
return ADCW;
}
// External Interrupt 1 service routine
interrupt [EXT_INT1] void ext_int1_isr(void)
{
GICR|=0x00;
MCUCR=0x00;
MCUCSR=0x00;
GIFR=0x00;
A+=1;
if(A>50)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
A=0;
GICR|=0x80;
MCUCR=0x04;
MCUCSR=0x00;
GIFR=0x80;
}
else if(A==1)
{
TCCR1B=0x02;
TCNT1=0x00;
//PORTD=0xf8;
GICR|=0x80;
MCUCR=0x04;
MCUCSR=0x00;
GIFR=0x80;
}
else if(A==2)
{
TCCR1B=0x00;
//PORTD=0x08;
lcd_clear();
realspeed=12000000/(TCNT1*2);
//realspeed=(TCNT1);
sprintf(speed,"%d",realspeed/4);
  lcd_gotoxy(0,0);
  lcd_putsf("SPEED:");
  lcd_gotoxy(6,0);
  lcd_puts(speed);
  lcd_gotoxy(13,0);
  lcd_putsf("RPM");
  lcd_gotoxy(0,1);
  lcd_putsf("SP:");
  lcd_gotoxy(9,1);
  lcd_putsf("CL:");
  lcd_gotoxy(15,1);
  lcd_putsf("A");
  sprintf(sp,"%d",set*10);
  lcd_gotoxy(3,1);
  lcd_puts(sp);
  sprintf(cur,"%d",cl/50);
  lcd_gotoxy(12,1);
  lcd_puts(cur);
TCNT1=0x00;
GICR|=0x80;
MCUCR=0x04;
MCUCSR=0x00;
GIFR=0x80;
}
else
GICR|=0x80;
MCUCR=0x04;
MCUCSR=0x00;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

GIFR=0x80;
}
// Declare your global variables here
void main(void)
{
// Declare your local variables here
// Input/Output Ports initialization
// Port A initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T
PORTA=0x00;
DDRA=0x00;
// Port B initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T
PORTB=0x00;
DDRB=0x00;
// Port C initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T
PORTC=0x00;
DDRC=0x00;
// Port D initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T
PORTD=0x08;
DDRD=0xf7;
// Timer/Counter 0 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 0 Stopped
// Mode: Normal top=FFh
// OC0 output: Disconnected
TCCR0=0x00;
TCNT0=0x00;
OCR0=0x00;
// Timer/Counter 1 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 1 Stopped
// Mode: Normal top=FFFFh
// OC1A output: Discon.
// OC1B output: Discon.
// Noise Canceler: Off
// Input Capture on Falling Edge
// Timer 1 Overflow Interrupt: Off
// Input Capture Interrupt: Off
// Compare A Match Interrupt: Off
// Compare B Match Interrupt: Off
TCCR1A=0x00;
TCCR1B=0x00;
TCNT1H=0x00;
TCNT1L=0x00;
ICR1H=0x00;
ICR1L=0x00;

```

```

OCR1AH=0x00;
OCR1AL=0x00;
OCR1BH=0x00;
OCR1BL=0x00;
// Timer/Counter 2 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 2 Stopped
// Mode: Normal top=FFh
// OC2 output: Disconnected
ASSR=0x00;
TCCR2=0x00;
TCNT2=0x00;
OCR2=0x00;
// External Interrupt(s) initialization
// INT0: Off
// INT1: On
// INT1 Mode: Any change
// INT2: Off
GICR|=0x80;
MCUCR=0x04;
MCUCSR=0x00;
GIFR=0x80;
// Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
TIMSK=0x00;
// Analog Comparator initialization
// Analog Comparator: Off
// Analog Comparator Input Capture by Timer/Counter 1: Off
ACSR=0x80;
SFIOF=0x00;
ADMUX=ADC_VREF_TYPE;
ADCSRA=0x87;
SFIOF&=0xEF;
SFIOF|=0x10;
// LCD module initialization
lcd_init(16);
// Global enable interrupts
#pragma asm("sei")
while (1)
{
    set=read_adc(4);
    cl=read_adc(6);
    GICR|=0x80;
    MCUCR=0x04;
    MCUCSR=0x00;
    GIFR=0x80;
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้