สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติควบคุมด้วยระบบเซอร์โว

AUTOMATIC VENDING MACHINE USING SERVO SYSTEM

โดย

นางสาวกุลยา กุลชนะบรม

นายทศพร เหรียญเจริญกิจ

นางสาววรรณิศา ศิริกายะ

วพ.
ก 7284
2550

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 81999
วัน,เดือน,ปี 4 ก.ค. 2551

b 11944109
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาระบบควบคุม

สาขาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม สาขาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

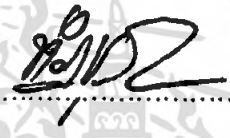
เรื่อง **เครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติควบคุมด้วยระบบเซอร์โว**

AUTOMATIC VENDING MACHINE USING SERVO SYSTEM

ผู้จัดทำ 1. นางสาวกุลชา กุลชนะบรม รหัส 47010054

2. นายทศพร เหรียญเจริญกิจ รหัส 47010278

3. นางสาววรรณิศา ศิริกาญะ รหัส 47010656



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ทัตชา ปุคคละนันทน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติควบคุมด้วยระบบเซอร์โว

โดย

นางสาวกุลชา กุลชนะบรม 47010054

นายทศพร เหรียญเจริญกิจ 47010278

นางสาววรรณิศา ศิริกาชะ 47010656

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ทัตชา ปุคคละนันทน์

ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการศึกษาวิธีการควบคุมและใช้งานระบบเซอร์โว โดยนำมาประยุกต์ใช้งานในรูปแบบของเครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติแบบหยอดเหรียญ โดยเริ่มต้นจากการศึกษาการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ เพื่อควบคุมความเร็วให้เหมาะสมต่อการใช้งาน ทำการทดลองหาค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งเนื่องจากการปรับแต่งมอเตอร์ เพื่อทำการชดเชยและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น และติดตั้งมอเตอร์เข้ากับอุปกรณ์ส่วนอื่น ๆ ของเครื่องจำหน่ายสินค้าฯ การทำงานของระบบเริ่มต้นจากผู้ใช้หยอดเหรียญและเลือกชนิดของสินค้า เซอร์โวมอเตอร์จะหมุนไปยังตำแหน่งของสินค้าที่ถูกเลือก และมอเตอร์อีกตัวจะผลักสินค้าให้ตกลงบนช่องรับสินค้าต่อไป สำหรับการควบคุมและประมวลผลในระบบจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30f2010 เพื่อควบคุมให้เครื่องทำงานได้ตามต้องการอย่างถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AUTOMATIC VENDING MACHINE USING SERVO SYSTEM

By

Miss Kullaya Kulchanaborom

Mr. Dhossaporn Rıencharoenkij

Miss Wannısa Sirikaya

Advisor

Miss Tattaya Pukkalanun

Academic Year 2007

ABSTRACT

In this project, a study of using servo system and its application is presented. A servo motor was selected and experimented to find the appropriate speed for applying it to an automatic vending machine. As a result of modifying the motor, the error of obtained position occurs. However, it can be compensated by the program before installing the motor to the system. The process begins when user inserts a coin and chooses a desired product. The servo motor will turn to the selected position and another motor will push a box of chosen product to fall off to the outlet. Microcontroller, dsPIC30f2010 is used as a processor to implement the system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือ ความร่วมมือจากหลายๆฝ่าย และการสนับสนุน โดยผู้จัดทำขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ทัดยา ปุคคละนันทน์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้โอกาสในการศึกษา ความกรุณาในการให้คำปรึกษา และให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.สุมิตร พนาอุดมทรัพย์ ที่ให้คำปรึกษาและความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับวงจรไฟฟ้า และความรู้ในด้านต่างๆ

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ พี่ๆทุกคนที่เอื้อเฟื้อ และให้การช่วยเหลือในทุกๆด้านเสมอมา

และท้ายที่สุดขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัวอันเป็นที่รักยิ่ง ที่ให้การสนับสนุนทางด้านการศึกษา และเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

นางสาวกุลชา กุลชนะบรม
นายทศพร เหรียญเจริญกิจ
นางสาววรรณิศา ศิริกาญะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ I

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญรูป VI

สารบัญตาราง VIII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาของโครงงาน 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1

1.3 ขอบเขตของการศึกษา 1

บทที่ 2 ทฤษฎีและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง 2

2.1 เซอร์โวมอเตอร์ 2

2.1.1 ส่วนประกอบหลักของเซอร์โวมอเตอร์ 3

2.1.2 หลักการทำงานพื้นฐานของระบบเซอร์โว 12

2.2 ระบบควบคุม 13

2.2.1 ประเภทของระบบควบคุม 13

2.2.2 การใช้งานระบบควบคุมแบบปิดโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ 17

2.3 การรับข้อมูลและการแสดงผลต่อผู้ใช้งาน 29

บทที่ 3 การคำนวณและหลักการออกแบบ 30

3.1 หลักการทำงาน 31

3.2 ส่วนประกอบของเครื่องและอุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ควบคุม 34

3.2.1 ตัวโครงสร้างของเครื่องจำหน่ายสินค้าฯ 34

3.2.2 มอเตอร์ชุดชก 35

3.2.3 เซอร์โวมอเตอร์ 36

3.2.4 อุปกรณ์ควบคุม 38

3.2.5 วงจรไฟฟ้าที่เกี่ยวข้อง 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง 43

4.1 การทดลองหาค่าความคลาดเคลื่อนของมอเตอร์ 43

4.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 43

4.1.2 ขั้นตอนในการทำการทดลอง 43

4.1.3 สรุปผลการทดลอง 47

4.2 การทดลองค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อมีการปรับแต่งความเร็วมอเตอร์ 48

4.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 48

4.2.2 ขั้นตอนในการทำการทดลอง 48

4.2.3 สรุปผลการทดลอง 51

4.3 การทดลองเมื่อมีการเชดเชยความคลาดเคลื่อนเมื่อมอเตอร์หมุนในระยะใกล้ 52

4.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 52

4.3.2 ขั้นตอนในการทำการทดลอง 52

4.3.3 สรุปผลการทดลอง 55

บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุปผล 56

5.1 ปัญหาที่พบและแนวทางในการแก้ไข 56

5.2 สรุปผล 57

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการค้นคว้าวิจัย 57

ภาคผนวก โปรแกรมควบคุมการทำงาน 59

เอกสารอ้างอิง 71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ลักษณะของเซอร์โวมอเตอร์	2
2.2	แสดงการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล	4
2.3	วงจรเทียบเคียงของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	4
2.4	แสดงการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	5
2.5	เอนโคดเดอร์ (Encoder)	7
2.6	แสดงการแยกประเภทของเอนโคดเดอร์ (ภาษาเยอรมัน)	7
2.7	โครงสร้างของรีโซลเวอร์ (Resolver)	8
2.8	ตัวอย่างรีโซลเวอร์ (Resolver) หรือ Brushless Resolver	9
2.9	ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งเพลากับแรงดันค่ายอดที่เกิดขึ้นบนขดลวดแต่ละชุด	10
2.10	แสดงจำนวนบิทในรีโซลเวอร์เอนโคดเดอร์ (Resolver Encoder)	11
2.11(a)	แสดงโครงสร้างของอินครีเมนทอล (Incremental Encoder)	12
(b)	แสดงสัญญาณพัลส์ที่ได้จากอินครีเมนทอล (Incremental Encoder)	12
2.12	บล็อกของระบบเซอร์โวมอเตอร์	12
2.13	การควบคุมระบบ	13
2.14	ระบบควบคุมแบบเปิด	13
2.15	ระบบควบคุมแบบเปิด	14
2.16	ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ	15
2.17	ระบบควบคุมหลายตัวแปร	15
2.18	ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ	16
2.19	การจัดขาใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC 30f2010	18
2.20	แสดงไดอะแกรมการทำงานของโมดูล MCPWM ในไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC	24
2.21	ตัวอย่างการทำงานพื้นฐานของตัวเข้ารหัสแบบควอดราเจอร์	25
2.22	หลักการทำงานการเข้ารหัสแบบควอดราเจอร์ที่ใช้ตัวตรวจจับแสง	25
2.23	ตัวอย่างการทำงานของตัวเข้ารหัสแบบควอดราเจอร์ที่มีพัลส์อินเด็กซ์	27
2.24	ไดอะแกรมแสดงส่วนประกอบและการทำงานของโมดูลQEI	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.1	แสดงภาพการเชื่อมต่อของระบบ	30
3.2	เครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติฯ	31
3.3	แผนผังการทำงาน	32
3.4	หลอดบรรจุสินค้า	34
3.5	ช่องวางตำแหน่งของหลอดบรรจุสินค้า	34
3.6	จานหมุน	35
3.7	มอเตอร์ชุดชก	35
3.8	แสดงสัญญาณ PWM ซึ่งแสดงที่ค่าดิวตี้ไซเคิลต่างๆกัน	36
3.9	วงจรมอเตอร์ชุดชก	39
3.10	วงจรขับมอเตอร์	40
3.11	วงจรเบรก	40
3.12	วงจรปุ่มกด	41
3.13	วงจรจอแสดงผล	41
3.14	วงจรรวมทั้งระบบ	42
4.1	สเกล 360 องศาที่ใช้ในการทดลอง	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทั่วๆไปของอินดัคชั่นมอเตอร์(Asynchronous) กับเซอร์โวมอเตอร์ (Synchronous Servo)	3
3.1	แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ทุกส่วนเข้ากับอุปกรณ์ควบคุม	38
3.2	แสดงองศาและจำนวนพัลส์การหมุนของเซอร์โวมอเตอร์	39
4.1	บันทึกผลการทดลองที่ 4.1	44
4.2	บันทึกผลการทดลองที่ 4.2	48
4.3	บันทึกผลการทดลองที่ 4.3	52
5.1	แสดงปัญหาและแนวทางในการแก้ไข	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงาน

เรื่องของความแม่นยำถือเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งหากขาดไปแล้วอาจก่อให้เกิดความเสียหายที่จะส่งผลกระทบต่อชิ้นงานหรือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิตนั้นๆ ด้วยเหตุผลนี้มอเตอร์ประเภทเซอร์โว หรือที่เรียกอีกอย่างว่าเซอร์โวมอเตอร์ (Servo motor) จึงเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมมากยิ่งขึ้น เนื่องจากคุณสมบัติเด่นทางด้านความแม่นยำที่เราสามารถควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์ให้หมุนไปได้ตามที่ต้องการ ทำให้เกิดความสนใจและต้องการที่จะศึกษาพื้นฐานเกี่ยวกับเซอร์โวมอเตอร์ ประยุกต์สิ่งที่ต้องการศึกษามาสร้างเป็นเครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติแบบหยอดเหรียญขึ้น โดยมีเซอร์โวมอเตอร์เป็นชิ้นส่วนหลักภายในเครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติฯ นอกจากที่จะได้ความรู้จากการศึกษาในครั้งนี้แล้ว เครื่องนี้ยังสามารถอำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้งานได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

ศึกษาสิ่งที่สนใจและนำมาประยุกต์เป็นเครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติฯที่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ซื้อได้ โดยจะต้องศึกษาถึงพื้นฐานและคุณสมบัติของเซอร์โวมอเตอร์ วิธีการโปรแกรมข้อมูลเข้าไปในตัวควบคุม(Microcontroller) เพื่อควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ให้หมุนไปยังตำแหน่งของสินค้าที่ถูกต้องตามที่ผู้ซื้อต้องการ สามารถศึกษา ทำการทดลอง และแก้ไขปัญหาที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้เครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติฯทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเป็นไปตามที่ต้องการมากที่สุด

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ขอบเขตของการศึกษาของโครงงานนี้ คือ ศึกษาคุณสมบัติของเซอร์โวมอเตอร์พร้อมกับศึกษาการเขียนโปรแกรมควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ด้วยตัวควบคุม(Microcontroller) และศึกษาวงจรที่เกี่ยวข้อง ซึ่งในการเขียนโปรแกรมให้กับเซอร์โวมอเตอร์นั้น จะต้องทำการทดสอบตำแหน่งในการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์ เพื่อตรวจสอบและเปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณ แล้วนำมาปรับแก้และชดเชยความคลาดเคลื่อนให้กับเซอร์โวมอเตอร์ เพื่อให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปใกล้เคียงกับตำแหน่งที่ต้องการมากที่สุด ส่วนระบบอื่นๆ เช่น มอเตอร์ชุดชัก จอแสดงผล (LCD) ปุ่มกด และชุดหยอดเหรียญก็จะต้องทำงานได้อย่างถูกต้องและต่อเนื่องกันเป็นระบบที่สมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการออกแบบเครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติฯ ซึ่งส่วนประกอบหลักนั้น จะมุ่งเน้นไปที่เซอร์โวมอเตอร์และระบบควบคุม โดยจะกล่าวถึงหลักการต่างๆ นอกจากนี้ยังมีหลักการทำงานในส่วนของการรับส่งข้อมูลและแสดงผลแก่ผู้ใช้งานด้วย

2.1 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo motor)

เซอร์โวมอเตอร์เป็นระบบขับเคลื่อนทางไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่ในอดีตปริมาณการใช้งานระบบนี้ในอุตสาหกรรมยังไม่แพร่หลายนัก เนื่องจากราคาในอดีตค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับระบบขับเคลื่อนทางไฟฟ้าอื่นๆ แต่ในปัจจุบันความรวดเร็วในการผลิตเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าเป็นสิ่งหนึ่งในการแข่งขัน นอกเหนือจากคุณภาพและราคา ดังนั้นอุตสาหกรรมจึงเริ่มที่จะแสวงหาเทคโนโลยีที่มีการตอบสนองรวดเร็วพร้อมทั้งมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้นในการผลิต

จากเหตุผลดังกล่าว เซอร์โวมอเตอร์จึงเริ่มแพร่หลายมากขึ้น และเริ่มเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องจักรรุ่นใหม่ๆ ที่ได้มีการออกแบบใช้งานเซอร์โวมอเตอร์แทนระบบขับเคลื่อนอื่นๆเพิ่มขึ้น เมื่อมีปริมาณการใช้งานที่เพิ่มขึ้น ทำให้ราคาของเซอร์โวมอเตอร์นั้นลดลงเมื่อเทียบกับอดีตด้วยเช่นกัน ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการใช้งานเซอร์โวมอเตอร์กันอย่างกว้างขวางมากขึ้น

เซอร์โวมอเตอร์ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อประยุกต์ใช้กับงานที่มีการควบคุมตำแหน่ง (Position Control) เป็นหลัก ซึ่งต้องการคุณสมบัติการตอบสนองด้านไดนามิคส์สูง (high dynamics response) ต้องการความละเอียดและความแม่นยำสูงในการควบคุมสูงด้วย

รูปที่ 2.1 ลักษณะของเซอร์โวมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางปฏิบัติเพื่อให้ได้มาซึ่งคุณสมบัติตามที่กล่าว โครงสร้างภายในเซอร์โวมอเตอร์จึงมีโรเตอร์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางและรัศมีเล็กๆ รวมถึงการทำให้โรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร เพื่อเป็นการลดแรงเฉื่อยของโรเตอร์(Rotor moment of inertia) และชดเชยแรงบิดหรือทอร์คที่หายไปเนื่องจากโรเตอร์มีขนาดเล็กลงด้วยการเพิ่มความยาวโรเตอร์ ดังนั้นรูปร่างโครงสร้างทางกายภาพของเซอร์โวมอเตอร์ที่เราพบเห็นทั่วไปจึงมีลักษณะผอมบางและมีความยาวมากกว่ามอเตอร์ที่ใช้งานทั่วไป นอกจากนั้นยังมีแรงบิดสูงกว่ามอเตอร์ทั่วไปอีกด้วย (หากพิจารณาที่พิกัดกำลังเท่าๆกัน) ซึ่งสามารถเปรียบเทียบได้คล้ายกับคนที่มีรูปร่าง "สูง ผอมบาง แต่แรงดี" เป็นต้น

จากตารางที่ 2.1 จะแสดงให้เห็นว่าระบบเซอร์โว คือ การควบคุมเครื่องจักรกลให้ทำงานตอบสนองด้านไดนามิคส์ (Dynamic Response) เช่น ความเร็ว อัตราเร่ง แรงบิด และตำแหน่งให้ได้ดีที่สุด (Optimum Solution) และใช้เวลาน้อยที่สุด (Time Optimum)

ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทั่วๆไปของอินดัคชั่นมอเตอร์(Asynchronous) กับเซอร์โวมอเตอร์ (Synchronous Servo)

คำอธิบาย	Asynchronous	Permanent Magnet Synchronous Servo
เปรียบเทียบที่พิกัดกำลังเท่าๆกัน (Rated power)	0.75 kW	**0.75 kW**
ความเร็วพิกัด (Rated speed)	2825 min^{-1}	**3000 min^{-1}**
แรงบิดพิกัด (Rated torque)	2.5 Nm	**2.4 Nm**
แรงบิดสูงสุด (Max. torque)	6,6 Nm	**12.0 Nm**
แรงเฉื่อยของโรเตอร์ (Rotor moment of inertia)	5.7 x 10^{-4} kgm^2	**2.7 x 10^{-4} kgm^2**
เปรียบเทียบเวลาที่ใช้เร่งความเร็วไปที่ 3000 รอบต่อนาที (Theory. acceleration time to 3000 min^{-1})	27 ms	**7 ms**
กระแสพิกัด (Rated current)	3.0 A	**2.6 A**
แรงดันพิกัด (Rated voltage)	230 V	**190 V**
ประสิทธิภาพ (Efficiency)	77 %	**88 %**

2.1.1 ส่วนประกอบหลักของเซอร์โวมอเตอร์

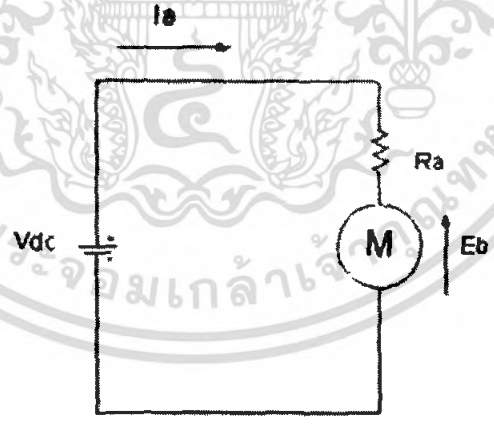
เซอร์โวมอเตอร์เป็นมอเตอร์กระแสตรงที่มีการป้อนกลับด้วยอุปกรณ์ป้อนกลับ(Feedback device) ภายใน ส่วนประกอบมีดังนี้

1) มอเตอร์กระแสตรง (D.C. motor) มอเตอร์ไฟฟ้า คือ อุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล เพื่อนำพลังงานกลที่ได้ไปขับเคลื่อนสิ่งต่างๆตามต้องการ มอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟฟ้ากระแสตรงนั้น จะใช้การขับเคลื่อนในแบบที่มีอัตราเร็วไม่สูงมากนัก เนื่องจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนั้นมีแรงบิดเริ่มต้นที่สูง (Starting torque) สามารถควบคุมควบคุมอัตราเร็วได้ค่อนข้างง่าย แต่มีข้อเสียคือมีโครงสร้างที่ค่อนข้างซับซ้อนมาก จึงจำไม่เหมาะที่จะใช้ในงานที่มีอัตราเร็วค่อนสูงมากๆ แรงทางกลที่เกิดขึ้นก็อาศัยหลักการที่ว่าเมื่อมีกระแสไหลในตัวนำซึ่งอยู่ในสนามแม่เหล็กก็จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นในขดลวดตัวนั้น และขดลวดตัวนำจะหมุนไปตามสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้น โดยการดูดของขั้วแม่เหล็กที่ต่างกันและผลักกันระหว่างขั้วแม่เหล็กที่เหมือนกัน ซึ่งแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจะทำให้เพลาของมอเตอร์หมุน ก็จะได้พลังงานกลไปใช้งาน แต่ก็จะมีแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นในทิศทางตรงกันข้ามกับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายจากภายนอกแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า แรงดันไฟฟ้าด้านกลับ (Counter e.m.f or back e.m.f.)

รูปที่ 2.2 แสดงการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล



รูปที่ 2.3 วงจรเทียบเคียงของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

จากรูปที่ 2.3 จะได้ว่าแรงดันไฟฟ้าที่มีผลต่อการใช้งานจริงในอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์จึงมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ลบด้วยแรงดันไฟฟ้าด้านกลับ เขียนเป็นสมการได้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_a R_a = V - E_b \quad (2.1)$$

หรือ

$$E_b = V - I_a R_a \quad (2.2)$$

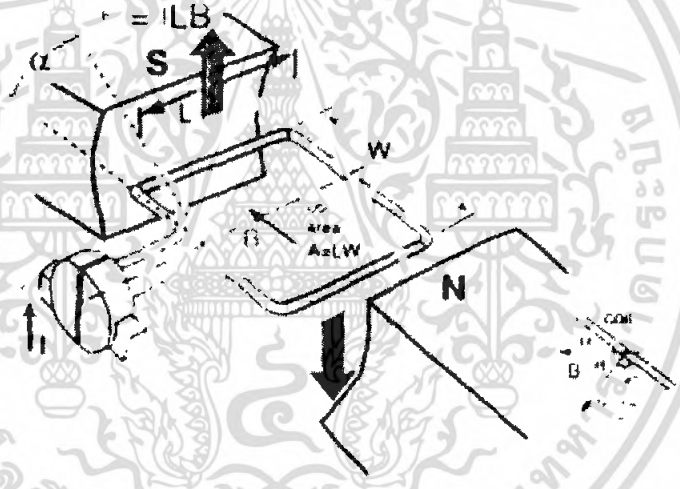
เมื่อ E_b = แรงดันไฟฟ้าต้านกลับ (V)

V = แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ (V)

I_a = กระแสที่ไหลในอาร์เมเจอร์ (A)

R_a = ความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์ (Ω)

ค่าแรงดันไฟฟ้าต้านกลับนี้จะมีค่าไม่เท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ แรงดันไฟฟ้าต้านกลับที่เกิดขึ้น สามารถเขียนเปรียบเทียบได้เหมือนกับในอาร์เมเจอร์นั้นมีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงซ่อนอยู่ และจ่ายไฟออกมาตรงกันข้ามกับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายเข้าไป



รูปที่ 2.4 แสดงการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

จากรูปที่ 2.4 เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงอย่างง่าย ซึ่งประกอบด้วยขดลวดที่วางอยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็ก โดยปลายของขดลวดทั้งสองข้างต่อเข้ากับคอมมิวเตเตอร์ด้านละซี่ ซึ่งจะมีแปรงถ่านต่อไว้และแปรงถ่านทั้งสองต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจากภายนอก ขดลวดตัวนำนั้นจะต้องหมุนอยู่ในสนามแม่เหล็ก เมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวดอาร์เมเจอร์ที่วางอยู่ในสนามแม่เหล็ก จะทำให้ขดลวดมีคุณสมบัติเป็นขั้วแม่เหล็กตามกฎมือขวา เกิดแรงไฟฟ้าเหนี่ยวนำทำให้มีแรงผลักดันที่อาร์เมเจอร์ เกิดแรงบิดที่สม่ำเสมอราบเรียบ ไม่กระตุกเพราะมีขดลวดหลายๆ ชุดที่อยู่ติดกันผลัดกันทำงานทีละชุดตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงที่กระทำบนขดลวดตัวนำต่อหนึ่งขดในขณะที่มีกระแสไหลผ่านตัวนำนั้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนกระแสที่ไหล ความเข้มของสนามแม่เหล็กและความยาวของตัวนำในส่วนที่ตัดผ่านสนามแม่เหล็ก (หรือความยาวของตัวนำส่วนที่ใช้งานจริง) สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$F = B\ I_a\ L \tag{2.3}$$

เมื่อ F = แรงที่กระทำที่ขดลวดตัวนำ (Newton. N)

B = ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (Weber per square meter $\frac{W_b}{m^2}$)

L = ความยาวของตัวนำในส่วนที่ผ่านสนามแม่เหล็ก (Meter . m)

I_a = กระแสที่ไหลในขดลวดตัวนำ (Ampere. A)

แรงที่กระทำ F นี้จะยังส่งผลให้เกิดแรงบิดซึ่ง แรงบิด (Torque) คือการหมุนหรือการบิดของโมเมนต์ของแรงๆหนึ่ง ที่กระทำรอบๆแกนของมอเตอร์ มีขนาดเท่ากับผลคูณของแรงกันรัศมีเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$T = F\ r \tag{2.4}$$

เมื่อ T = แรงบิดที่เกิดขึ้น (Newton-meter. N-m)

r = ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของเพลาถึงตัวนำ (Meter. M)

คุณลักษณะการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเมื่อพิจารณาในกรณีความสัมพันธ์ของแรงบิดกันกระแสที่ไหลในอาร์เมเจอร์ จะได้ว่าแรงบิดที่เกิดขึ้นจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนั้นขึ้นอยู่กับกระแสที่ไหลในอาร์เมเจอร์และเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากฟิลด์คอยล์หรือจากขั้วแม่เหล็กถาวรสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ คือ

$$T = K_e\ \Phi\ I_a \tag{2.5}$$

เมื่อ K_e = ค่าคงที่ของมอเตอร์

Φ = เส้นแรงแม่เหล็ก (Weber)

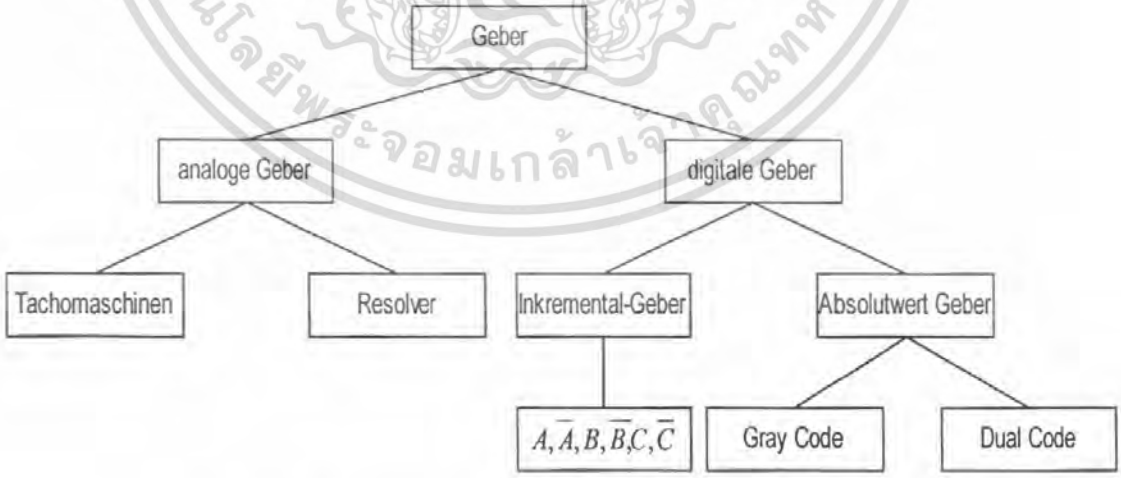
2) อุปกรณ์ป้อนกลับ (Feedback device) หรือที่นิยมเรียกขานกันในแวดวงอุตสาหกรรมว่า "เอนโคดเดอร์ (Encoder)" ถือได้ว่าเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งในระบบขับเคลื่อนเซอร์โวมอเตอร์ และระบบขับเคลื่อนไฟฟ้าแบบเอซีชนิดที่ควบคุมแบบวงปิด (closed-loop) ระบบเซอร์โวไม่สามารถควบคุมได้ หากระบบปราศจากเอนโคดเดอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.5 เอนโคดเดอร์ (Encoder)

เอนโคดเดอร์จะทำหน้าที่เสมือนกับผู้ตรวจการ โดยจะทำหน้าที่ตรวจวัดความเร็ว(Speed) ทิศทางการหมุนของมอเตอร์ (Direction of Rotation) และตำแหน่งเพลาของโรเตอร์ (shaft position) แล้วรายงานผลกลับไปยังอุปกรณ์ควบคุม (Controller) เพื่อควบคุมให้ทรานซิสเตอร์กำลังในวงจรกำลังของชุดขับเคลื่อนเซอร์โวมอเตอร์เกิดการตัด-ต่อกระแสไฟฟ้าให้สัมพันธ์กับตำแหน่งของโรเตอร์

จากบทบาทของเอนโคดเดอร์ซึ่งทำหน้าที่ตรวจวัดความเร็ว(Speed) และตำแหน่ง (position) ของมอเตอร์ จึงทำให้อุปกรณ์ชนิดนี้ถูกเรียกชื่อตามบทบาทและหน้าที่ว่า "Speed Sensor" หรือไม่ก็เรียกว่า "Shaft Position Sensor" (ซึ่งนักนิยมเรียกในระบบเซอร์โว) โดยประกอบด้วยชนิดต่างๆ ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงการแยกประเภทของเอนโคดเดอร์ (ภาษาเยอรมัน)

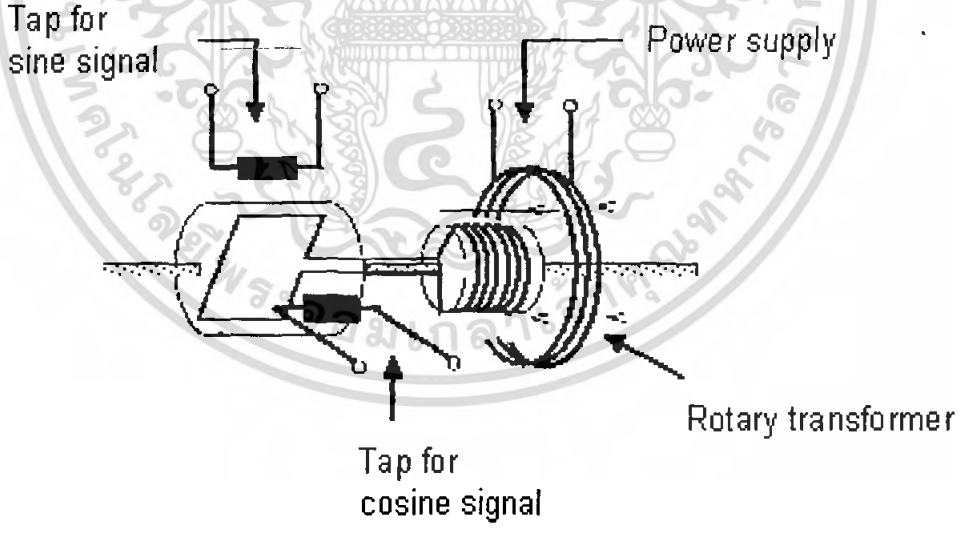
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.6 เอนโคดเดอร์ (Geber=Encoder) สามารถแยกประเภทตามหลักการได้ 2 กลุ่ม คือชนิดที่ทำงานโดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำหรือเรียกว่าอะนาลอกเอนโคดเดอร์ (Analog Geber = Analog Encoder) และชนิดที่ทำงานโดยอาศัยหลักการดิจิตอล (digital Geber = digital Encoder)

ชนิดที่ทำงานโดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำ หรือเรียกว่าอะนาลอก จะประกอบด้วยเทคโคเจนเนอเรเตอร์(TachoMaschinen = TachoGenerator) และ รีโซลเวอร์ (Resolver) ส่วนชนิดที่ทำงานโดยอาศัยหลักการออพติคอลหรือแบบดิจิตอลจะแยกเป็นแบบอินครีเมนทอลเอนโคดเดอร์ (incremental encoder = Inkremental-Geber) และแอ็ปโซลูทเอนโคดเดอร์ (absolute encoder = Absolutwert Geber) ซึ่งแต่ละชนิดมีหลักการทำงานดังนี้

เทคโคเจนเนอเรเตอร์ (TachoGenerator) นิยามของเทคโคเจน นั่นก็คือ เจนเนอเรเตอร์ขนาดเล็กที่ทำหน้าที่แปลงความเร็วรอบมาเป็นแรงดันไฟฟ้าสำหรับควบคุม 0-10 โวลท์ (V) เพื่อป้อนกลับไปยังชุดขับเคลื่อน (โดยทั่วไปจะใช้ในระบบขับเคลื่อนดีซี)

รีโซลเวอร์ (Resolver) รีโซลเวอร์เป็นเซนเซอร์ชนิดที่มีการใช้งานมากในระบบเซอร์โว เนื่องจากมีความแข็งแรงทนทาน ทนต่อสภาพแวดล้อมอุตสาหกรรมได้ดี เช่น แรงสั่นสะเทือน แรงกระแทก และอุณหภูมิรอบข้าง เป็นต้น รีโซลเวอร์มีลักษณะคล้ายกับหม้อแปลงตัวเล็กๆ (Small Transformer) หรือใช้คำอธิบายในเชิงเปรียบเทียบว่า "Rotary Transformer" ซึ่งต้องการสื่อถึงหม้อแปลงไฟฟ้าแบบหมุนนั่นเอง



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของรีโซลเวอร์ (Resolver)

โครงสร้างของรีโซลเวอร์จะมีลักษณะคล้ายกับมีหม้อแปลงไฟฟ้าอยู่ 2 ชุด จากรูปที่ 2.7 โดยชุดแรก(ขวามือ)จะเป็นชุดที่รับสัญญาณอ้างอิงหรือสัญญาณกระตุ้น ซึ่งมีความถี่สูงในช่วง 2.10 KHz จากอุปกรณ์ควบคุม (Controller) เพื่อสร้างแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำเพื่อให้เกิดกระแสไหลไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

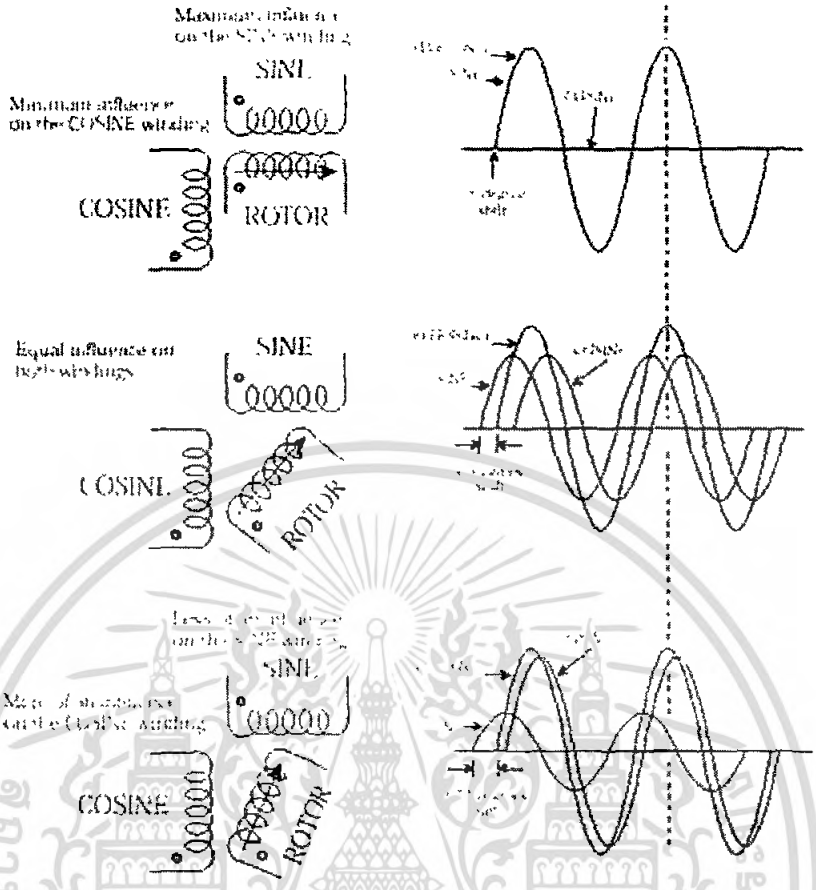
สร้างสนามแม่เหล็กให้กับขดลวดชุดที่สอง ส่วนชุดที่สอง(ซ้ายมือ)จะประกอบด้วย ขดลวดปฐมภูมิที่ติดกับโรเตอร์ 1 ชุด และมีขดลวดทุติยภูมิ 2 ชุด (one primary and two secondary windings) วางในตำแหน่งที่ทำมุมห่างกัน 90 องศา ซึ่งเรียกว่าขดลวดไซน์(sine) และโคไซน์(cosine)

รูปที่ 2.8 ตัวอย่างรีโซลเวอร์ (Resolver) หรือ Brushless Resolver

หลักการทำงาน เมื่อเริ่มต้นเปิดสวิตช์จ่ายไฟเข้าชุดอุปกรณ์ควบคุม (Controller) หรือชุดขับเคลื่อนเซอร์โวมอเตอร์ (Servo drive) อุปกรณ์ควบคุม (Controller) จะจ่ายสัญญาณอ้างอิงความถี่สูงเข้าไปที่ขดลวดสเตเตอร์ชุดที่หนึ่ง จากนั้นก็เกิดการเหนี่ยวนำและเกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำขึ้นที่ขดลวดที่พันอยู่ที่โรเตอร์ แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำนี้จะทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่าย จ่ายกระแสให้กับขดลวดปฐมภูมิชุดที่สอง ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กและเหนี่ยวนำข้ามไปยังขดลวดทุติยภูมิไซน์ (sine) และโคไซน์ (cosine)

สัญญาณที่ได้จากการเหนี่ยวของขดลวดทุติยภูมิไซน์ (sine) และโคไซน์ (cosine) จะมีมุมต่างเฟสกัน 90 องศา ตามลักษณะของขดลวดที่วางทำมุมต่างกัน ส่วนขนาดของสัญญาณในแต่ละช่วงเวลาก็จะมีขนาดไม่เท่ากัน โดยขึ้นอยู่กับมุมของสนามแม่เหล็กจากโรเตอร์ที่ไปตัดกับขดลวดไซน์ (sine) และโคไซน์ (cosine) ดังรูปที่ 2.9

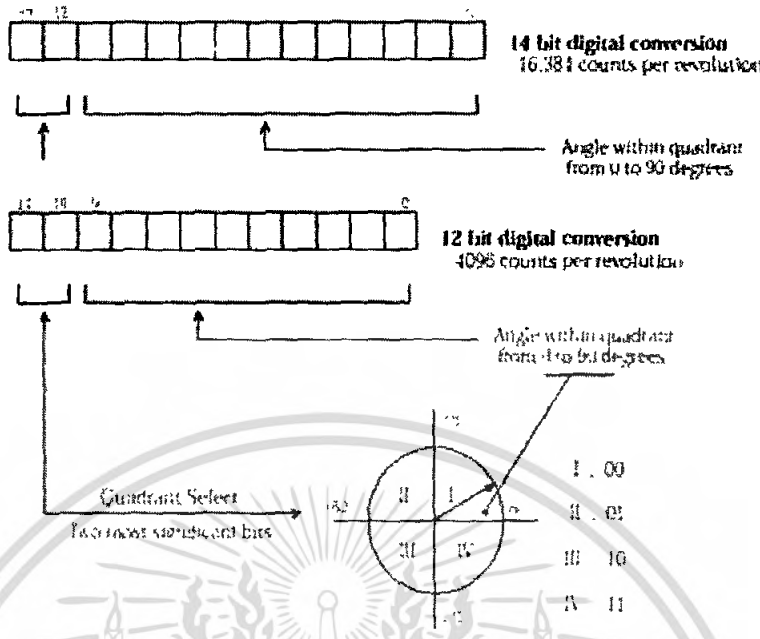
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งเพลากับแรงดันค่ายอดที่เกิดขึ้นบนขดลวดแต่ละชุด

จากนั้นสัญญาณทั้งสองคือ สัญญาณไซน์และสัญญาณคอส (sine signal and cos signal) ที่ได้ก็จะถูกป้อนกลับไปยังชุดอุปกรณ์ควบคุม(Controller) และถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอล โดยอุปกรณ์ที่เรียกว่า "resolver-to-digital converter" (RDC ซึ่งเป็น IC เพียงตัวหนึ่ง) ซึ่งมีจำนวนอยู่ในช่วง 1000-4000 พัลส์ ต่อการหมุน 1 รอบ โดยขึ้นอยู่กับความละเอียดของ RDC ตัวอย่างเช่น RDC 14 บิท ก็จะสามารถแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลได้ความละเอียดเท่ากับ 16,384 พัลส์ต่อรอบ โดยบิทที่ 12 และ 13 จะรายงานตำแหน่งว่าอยู่ในควอแดรนท์(Quadrant)ใด ส่วนบิทที่ 0 ถึง 12 จะทำหน้าที่รายงานตำแหน่งของโรเตอร์ในควอแดรนท์(Quadrant)นั้นๆ สามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 แสดงจำนวนบิทในรีโซลเวอร์เอนโคดเดอร์ (Resolver Encoder)

อินครีเมนทอลเอนโคดเดอร์ (Incremental Encoder) ทำงานโดยอาศัยหลักการออพติคอล บ่อยครั้งจึงถูกเรียกตามหลักการว่าออพติคอลเอนโคดเดอร์ (Optical encoder) หรือบางกรณีก็จะถูกเรียกว่าดิจิตอลเอนโคดเดอร์ (Digital Encoder)

โครงสร้างจะประกอบด้วยตัวกำเนิดแสง ตัวจับแสงซึ่งถูกคั่นกลางด้วยแผ่นจานกลมๆที่มีการทำรูเจาะไว้รอบๆแผ่น (จำนวนรูจะขึ้นอยู่กับความละเอียดของอินครีเมนทอลเอนโคดเดอร์ (Incremental Encoder)) และหน้ากากแยกช่องของสัญญาณพัลส์ A B และ Z ดังรูปที่ 2.11 (a)

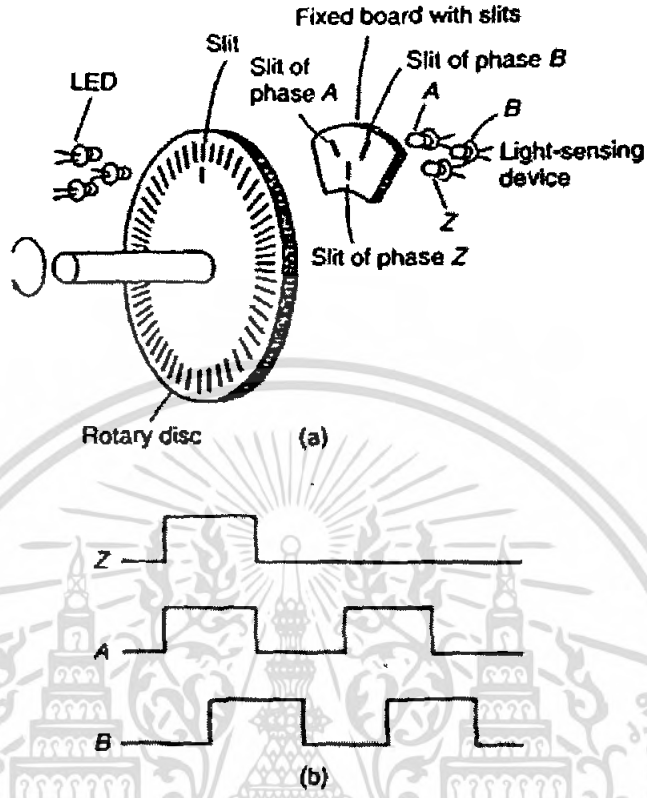
สัญญาณพัลส์ที่ได้จากเอนโคดเดอร์ชนิดนี้จะประกอบด้วย 3 แทรค (tracks) คือ A B และ Z ดังรูปที่ 2.11 (b)

พัลส์ที่เกิดจากแทรค A และ B จะเกิดการเหลื่อมกันมีความต่างเฟสกัน 90 องศา เพื่อทำหน้าที่รายงานผลของความเร็วและทิศทางการหมุนของมอเตอร์ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ดังนี้

กรณีพัลส์ A เกิดขึ้นก่อนพัลส์ B ไมโครคอนโทรลเลอร์(Microcontroller) จะรับรู้ว่ามอเตอร์กำลังหมุนด้วยทิศทางตามเข็มนาฬิกา แต่ถ้าหากพัลส์ B เกิดขึ้นก่อนพัลส์ A ไมโครคอนโทรลเลอร์(Microcontroller) จะรับรู้ว่ามอเตอร์กำลังหมุนด้วยทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ส่วนแทรค Z หรือพัลส์อ้างอิงจะเกิดขึ้น 1 พัลส์ในการหมุน 1 รอบ ทำหน้าใช้อ้างอิงตำแหน่งของโรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

POSITION TRANSDUCERS

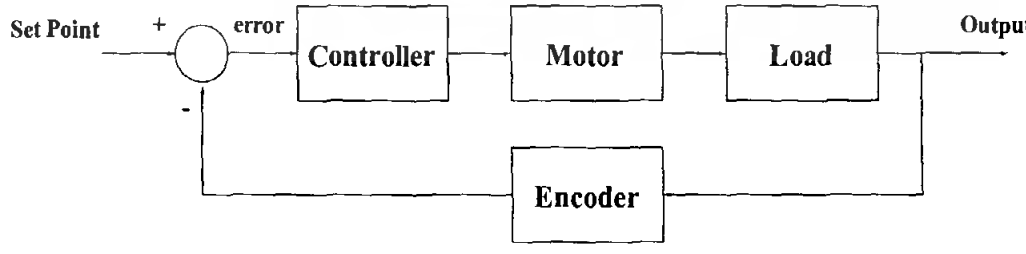


รูปที่ 2.11 (a) แสดงโครงสร้างของอินครีเมนทอล (Incremental Encoder)

(b) แสดงสัญญาณพัลส์ที่ได้จากอินครีเมนทอล (Incremental Encoder)

2.1.2 หลักการทำงานพื้นฐานของระบบเซอร์โว

ระบบเซอร์โวมอเตอร์ คือ ระบบที่เอาท์พุทเกิดเป็นทางกล โดยเอาท์พุทที่ต้องการนี้จะยังมีความแตกต่างระหว่างอินพุทอยู่ โดยเอาท์พุทจะเป็นไปตามที่อินพุทต้องการจนในที่สุดเอาท์พุทจะหยุดที่ตำแหน่งที่ต้องการเมื่อผลแตกต่างระหว่างอินพุทและเอาท์พุทเป็นศูนย์



รูปที่ 2.12 บล็อกไดอะแกรมของระบบเซอร์โวมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากบล็อกไดอะแกรมสามารถกล่าวถึงส่วนประกอบต่างๆของระบบเซอร์โวมอเตอร์ได้ดังนี้

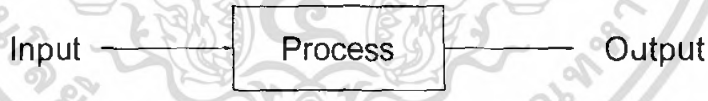
1) ระบบควบคุม (Controller) เป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ที่จะสั่งการเพื่อให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปตามตำแหน่งและทิศทางที่ต้องการ

2) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current ,D.C. Motor) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล ซึ่งจะรับพลังงานไฟฟ้าจากชุดแอมปลิไฟเออร์ เพื่อทำให้เกิดพลังงานกลและภายในชุดของมอเตอร์ได้มีการติดตั้งชุดเกียร์ลดรอบ

3) การป้อนกลับ หรือตัวตรวจวัดตำแหน่งของระบบควบคุมของเซอร์โวมอเตอร์ การป้อนกลับนี้จะใช้อุปกรณ์ป้อนกลับ (Feedback device: encoder) ที่เป็นส่วนประกอบภายในเซอร์โวมอเตอร์ เพื่อส่งสัญญาณป้อนกลับไปให้กับระบบควบคุม

2.2 ระบบควบคุม

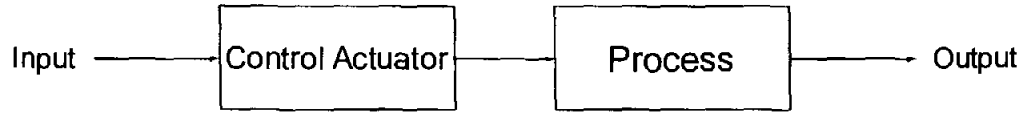
ระบบควบคุม คือ ส่วนประกอบหลายๆส่วนต่อเชื่อมกันขึ้นเป็นระบบ ที่จะให้การตอบสนองตามที่เราต้องการ พื้นฐานของการวิเคราะห์ระบบจะมีพื้นฐานจากทฤษฎีระบบเชิงเส้น ซึ่งจะแสดงถึงความสัมพันธ์ของอินพุท(Input) และเอาท์พุท(Output) หรือการตอบสนอง (Response) ดังนั้นส่วนประกอบหรือกระบวนการ(Process) ที่เราต้องการที่จะควบคุม สามารถแทนด้วยบล็อก (block) ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ส่วนอินพุท(Input) และเอาท์พุท(Output) ของระบบมักจะแทนด้วยสัญญาณ โดยสัญญาณอินพุท(Input) จะเป็นส่วนสำคัญของผลลัพธ์หรือเอาท์พุท (Output)



รูปที่ 2.13 การควบคุมระบบ

2.2.1 ประเภทของระบบควบคุม ตามลักษณะการทำงานมี 2 แบบ คือ

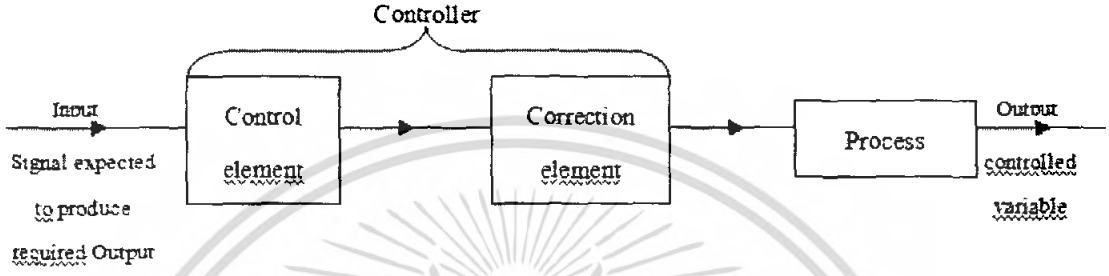
1) ระบบควบคุมแบบเปิด (Open Loop Control System) เป็นการใช้อุปกรณ์ส่งกำลัง (Control Actuator) หรืออุปกรณ์เพื่อให้ได้การตอบสนองตามที่เราต้องการ โดยไม่ต้องนำผลการตอบสนองของระบบเข้ามาสู่การพิจารณาลักษณะของระบบควบคุมแบบเปิดแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ระบบควบคุมแบบเปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระบบควบคุมแบบเปิด เราสามารถพิจารณาได้ว่าระบบประกอบด้วยระบบย่อยที่วางอยู่ดังที่แสดงอยู่ในรูปที่ 2.15 ในความเป็นจริงอุปกรณ์ที่ทำงานเป็นระบบย่อยเหล่านี้ เราอาจจะไม่สามารถแยกออกมาเป็นส่วนๆได้ หรือแยกอย่างชัดเจนได้ว่าอุปกรณ์ใดทำหน้าที่อย่างใด โดยเฉพาะแต่ว่าอุปกรณ์ในความเป็นจริงเหล่านั้นสามารถแยกหน้าที่การทำงานออกเป็นส่วนๆได้ตามที่แสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ระบบควบคุมแบบเปิด

ซึ่งส่วนประกอบย่อยของระบบควบคุมแบบเปิดมีดังนี้

- Control Element ส่วนนี้จะพิจารณาว่าควรจะให้ระบบทำงานต่อไปอย่างไร เมื่อได้รับค่าส่งหรืออินพุท(Input) ของระบบควบคุม

- Correction Element ส่วนนี้จะตอบสนองต่ออินพุท(Input) ที่ได้รับจากส่วนของ Control element และนำไปปรับเปลี่ยนตัวแปรที่จะถูกควบคุมเพื่อให้ได้ค่าตามต้องการ

- Process หรืออาจเรียกว่า Plant ระบบจะเป็นส่วนปฏิบัติการเพื่อให้ได้ค่าเอาท์พุท (Output) ที่ต้องการออกมา

ส่วนประกอบสองส่วนแรกคือ Control Element และ Correction Element เมื่อรวมกันแล้วเราอาจจะเรียกรวมกันว่า ไมโครคอนโทรลเลอร์(Microcontroller) ตัวอย่างของระบบควบคุมแบบเปิดก็เช่น การที่เราเปิดน้ำเข้าสู่ถังเก็บ โดยที่คนควบคุมคอยทำหน้าที่ปิด-เปิดน้ำให้ไหลออกไปจากถังโดยที่ผู้ควบคุมนี้ไม่สามารถที่จะมองเห็นระดับน้ำในถังได้

ในที่นี้ Controlled Variable ก็คือปริมาณน้ำที่ไหลออกจากท่อ หรืออัตราการไหลนั่นเอง สำหรับส่วนที่เป็น Controlled Element ก็คือผู้ที่ทำหน้าที่เปิด-ปิดน้ำ จะอาศัยประสบการณ์ว่าการเปิดวาล์วน้ำไปประมาณเท่าที่กำหนด ก็ควรจะทำให้มีน้ำไหลออกมาจากถังและมีระดับน้ำเหลืออยู่ในถังในปริมาณที่เขาต้องการ สำหรับส่วนที่เป็น Correction Element คือวาล์วน้ำที่ปรับอัตราการไหลของน้ำและสุดท้ายคือส่วนที่เป็น Process ก็คือถังน้ำที่บรรจุน้ำที่มีอยู่ในถังนั้นเอง

2) ระบบควบคุมแบบปิด หรือ ระบบควบคุมป้อนกลับ (Closed Loop or feedback Control) ระบบนี้จะแตกต่างจากระบบควบคุมแบบเปิด ก็คือมีการนำเอาผลที่ได้จากกระบวนการ

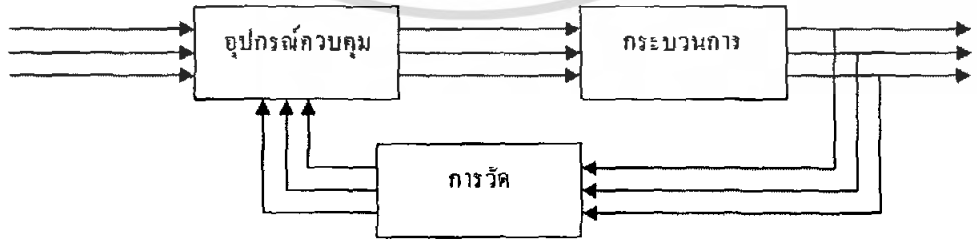
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลับเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของข้อมูลที่จะส่งเข้าไปเป็นอินพุท(Input) ที่จะให้กับระบบ การที่เราจะทราบค่าเอาท์พุท(Output) ได้ เราจะต้องมีการวัดข้อมูลของเอาท์พุท(Output) เมื่อเราทราบค่าเอาท์พุท(Output) แล้ว เรามักจะนำค่าเอาท์พุท(Output) ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับเอาท์พุท(Output) ที่เราต้องการจากระบบ จากนั้นความแตกต่างระหว่างเอาท์พุท(Output) ที่ต้องการและเอาท์พุท(Output)ที่แท้จริงจะได้รับการส่งต่อไปสู่อุปกรณ์ควบคุม แล้วจะส่งต่อไปเป็นอินพุท(Input) เข้าสู่ระบบเพื่อให้ความแตกต่างของเอาท์พุท(Output) ที่ต้องการและเอาท์พุท(Output) ที่แท้จริงลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งไม่มีความแตกต่างระหว่างค่าทั้งสอง ดังนั้นเราก็จะได้ว่า ค่าเอาท์พุท(Output) ของระบบเป็นไปตามต้องการ ระบบควบคุมแบบป้อนกลับแสดงในรูปที่ 2.16

รูปที่ 2.16 ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

สำหรับหลักการของการป้อนกลับที่ได้อธิบายไปแล้วนี้ ถือเป็นพื้นฐานของการวิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุมอัตโนมัติที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

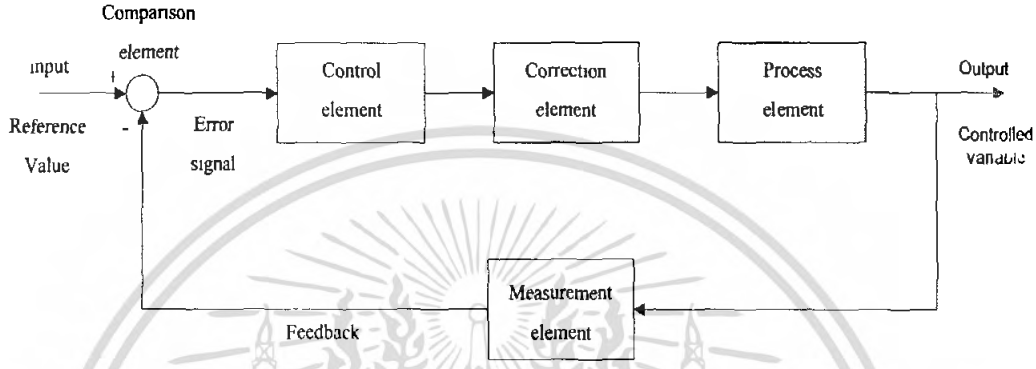
สำหรับระบบควบคุมหนึ่งๆ นั้น อาจจะมีพารามิเตอร์หรือตัวแปรที่ต้องการจะควบคุมมากกว่าหนึ่งพารามิเตอร์ ซึ่งระบบควบคุมดังกล่าวเป็นระบบที่มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น แต่หลักการของระบบควบคุมก็จะเหมือนเดิม คือทุกตัวแปรที่เราต้องการควบคุมจะต้องมีการวัดค่าที่ได้จากเอาท์พุท(Output) และนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่เราต้องการของตัวแปรตัวนั้นๆ สำหรับระบบควบคุมหลายตัวแปร (Multivariable Control System) จะมีลักษณะดังในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 ระบบควบคุมหลายตัวแปร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างของระบบควบคุมแบบเปิดที่เราเห็นกันทั่วไปในชีวิตประจำวัน ก็เช่น พัดลมไฟฟ้า เราเลือกความแรงของพัดลม แล้วเราจะได้เอาท์พุท(Output) ออกมา โดยที่ไม่มีการตรวจสอบหรือตรวจวัดค่าใดๆ ในทำนองกลับกันเครื่องปรับอากาศจะมีการตรวจสอบว่าอุณหภูมิของห้องเป็นเท่าใด เพื่อที่จะตรวจสอบว่าระบบปรับอากาศควรจะทำงานหรือไม่ ซึ่งเครื่องปรับอากาศจะเป็นตัวอย่างของระบบควบคุมแบบปิดหรือระบบควบคุมแบบป้อนกลับ



รูปที่ 2.18 ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

ระบบควบคุมแบบป้อนกลับสามารถพิจารณาไว้ว่า ประกอบด้วยระบบย่อยที่ต่อวางกันตามรูปที่ 2.18 ในความเป็นจริงระบบย่อยเหล่านี้เราอาจไม่สามารถที่จะแยกแต่ละชิ้นส่วนออกมาเป็นส่วนๆได้ หรือแยกอุปกรณ์ใดอุปกรณ์หนึ่งอย่างชี้ชัดลงไปได้ ว่าอุปกรณ์นั้นทำหน้าที่อย่างหนึ่งอย่างใดโดยเฉพาะ แต่อุปกรณ์ในความเป็นจริงเหล่านี้ สามารถแยกการทำงานออกเป็นส่วนต่างๆ ได้ตามที่แสดงในรูปที่ 2.18 โดยส่วนต่างๆในระบบควบคุมแบบปิดนี้จะประกอบด้วย

- Comparison Element ส่วนนี้จะทำหน้าที่เปรียบค่าตัวแปรที่เราต้องการออกมา หรืออาจเรียกว่าค่ามาตรฐานของตัวแปรที่เราต้องการ เพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่เราวัดค่าตัวแปรนั้นได้ในสภาพความเป็นจริง ซึ่งเป็นค่าที่เป็นเอาท์พุท(Output) ของระบบ ส่วนนี้จะให้สัญญาณหรือค่าความผิดพลาดออกมา ซึ่งความผิดพลาดนี้จะบอกให้ทราบว่าขณะนี้ค่าตัวแปรที่ต้องการควบคุมนั้นมีค่าอยู่แตกต่างจากที่เราต้องการให้มันเป็นเท่าใด นั่นคือ

$$\text{ความผิดพลาด} = \text{ค่าสัญญาณอ้างอิง} - \text{ค่าสัญญาณที่วัดได้} \qquad (2.6)$$

- Control Element เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ตัดสินใจว่าจะต้องทำอย่างไร เมื่อได้รับสัญญาณความผิดพลาด มักจะใช้คำว่า Controller เมื่อเราเรียกส่วนนี้ รวมถึง Correction Element

- Correction Element ส่วนนี้มีหน้าที่กำหนดการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร เพื่อที่จะลดค่าความผิดพลาดให้น้อยลง เรามักเรียกอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในส่วนนี้ว่า Actuator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

- Process Element กระบวนการ หรือ plant จะเป็นระบบซึ่งเราต้องการควบคุมค่าตัวแปรตัวใดตัวหนึ่งหรือหลายตัว

- Measure Element ส่วนนี้จะเป็นส่วนของเครื่องมือวัด ซึ่งเครื่องมือวัดนี้ จะให้สัญญาณที่แสดงถึงขนาดของตัวแปรที่เราต้องการที่จะควบคุม และเมื่อได้ค่าที่วัดแล้วก็จะมีการป้อนสัญญาณนั้นกลับเข้าสู่ส่วนเปรียบเทียบ (Comparison element) เพื่อให้ระบบพิจารณาว่ามีความผิดพลาดเกิดขึ้นหรือไม่

การทำงานของระบบป้อนกลับนี้จะทำไปเรื่อยๆจนกว่าค่ามาตรฐานและค่าที่วัดได้มีค่าเท่ากัน นั่นคือระบบควบคุมของเราสามารถควบคุมให้ค่าตัวแปรที่เราต้องการมีค่าตามที่เรากำหนดได้เรียบร้อยแล้วนั่นเอง ส่วนสำคัญและเป็นของระบบควบคุมแบบปิดก็คือส่วนป้อนกลับ ซึ่งหมายถึงสัญญาณที่ได้มาจากค่าตัวแปรที่ต้องการจริงๆเปลี่ยนเป็นสัญญาณแล้วป้อนกลับเพื่อเปรียบเทียบกับค่าของตัวแปรที่ต้องการ การป้อนกลับนี้จะถือว่าเป็นการป้อนกลับแบบลบ (Negative Feedback) เมื่อสัญญาณป้อนกลับนี้นำไปลบออกจากค่าที่ต้องการหรือค่ามาตรฐานนั่นคือ

$$\text{ความผิดพลาด} = \text{ค่าสัญญาณอ้างอิง} - \text{ค่าสัญญาณป้อนกลับ} \qquad (2.7)$$

การป้อนกลับแบบลบนี้มีความจำเป็นในการที่เราต้องการให้ค่าตัวแปรที่เราต้องการควบคุมมีค่าตรงกับความต้องการของเราคือ ค่าของสัญญาณมาตรฐาน ส่วนการป้อนกลับแบบบวก (Positive Feedback) นั้น จะเกิดขึ้นเมื่อสัญญาณป้อนกลับจะนำมารวมกับค่ามาตรฐาน นั่นคือ

$$\text{ความผิดพลาด} = \text{ค่าสัญญาณอ้างอิง} + \text{ค่าสัญญาณป้อนกลับ} \qquad (2.8)$$

ในรูปที่ 2.18 นั้น เราจะเห็นว่าสัญญาณป้อนกลับจะนำเข้ามารวมกับสัญญาณมาตรฐานที่ Comparison Element โดย Comparison Element นี้ นิยมจะเขียนเป็นวงกลม ซึ่งมีกากบาทอยู่ตรงกลาง ซึ่งเป็นสัญลักษณ์มาตรฐานของการบวกสัญญาณ สำหรับในส่วนของ Comparison Element ของระบบป้อนกลับแบบลบ เราจะเห็นว่าค่าสัญญาณมาตรฐานจะถูกกำหนดด้วยเครื่องหมายบวก และค่าสัญญาณป้อนกลับจะกำหนดด้วยเครื่องหมายลบ ดังนั้นสัญญาณที่ออกมาจะเป็นความแตกต่างระหว่างสัญญาณทั้งสอง ถ้าหากว่าการป้อนกลับเป็นการป้อนกลับแบบบวก เครื่องหมายกำหนดสัญญาณที่ Comparison Element ก็จะมีเครื่องหมายเป็นบวกด้วย

2.2.2 การใช้งานระบบควบคุมแบบปิดโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

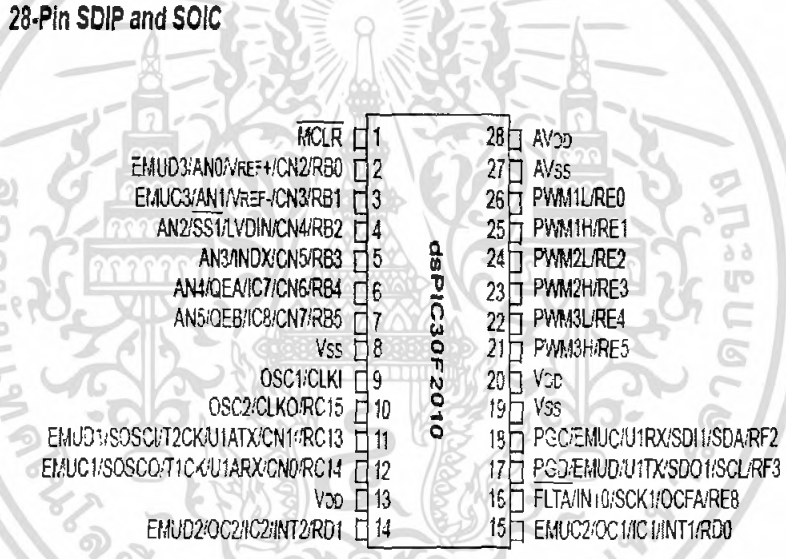
จากที่กล่าวไว้นั้นข้างต้นนั้น ระบบควบคุมแบบปิดหรือระบบอัตโนมัติ สามารถที่จะควบคุมให้ภายในระบบสมดุลได้เอง โดยการมีอุปกรณ์ควบคุมหรือที่เรียกว่าคอนโทรลเลอร์ (Controller) เป็นตัวส่งสัญญาณอินพุท(Input) ที่ต้องการ และรับสัญญาณความผิดพลาดเพื่อที่จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
81999

นำมาปรับให้ระบบสมดุลตามที่ต้องการ โดยได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์(Microcontroller) เป็นอุปกรณ์ควบคุมดังกล่าว และจะกล่าวถึงคุณสมบัติและการใช้งานของอุปกรณ์ควบคุมชื่อ dsPIC Microcontroller ซึ่งเป็นอุปกรณ์ควบคุมชนิดที่ได้ใช้ในการออกแบบเครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติฯ นี้

dsPIC คือชื่อของไมโครคอนโทรลเลอร์(Microcontroller) 16 บิต โดยมีชื่ออย่างเป็นทางการสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์อนุกรมใหม่นี้ว่า Digital Signal Controller หรือ DSC นั่นหมายความว่า dsPIC เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษเพื่องานประมวลผลสัญญาณดิจิตอลสำหรับสร้างระบบควบคุมอัตโนมัติที่มีความสามารถสูง

สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC ที่ได้นำมาใช้ในการออกแบบเครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติฯนี้ได้เลือกใช้เบอร์ dsPIC30F2010 ซึ่งมีขาต่อใช้งาน 28 ขาดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 การจัดขาใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC 30f2010

1) คุณสมบัติทางเทคนิคของ dsPIC

คุณสมบัติของซีพียู มีดังนี้

- มี 84 คำสั่งมาตรฐาน สามารถรองรับรูปแบบการอ้างแอดเดรสได้อย่างอิสระ
- ชุดคำสั่งมีขนาด 24 บิต สามารถประมวลผลข้อมูลได้ 16 บิต
- มีหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลช ความจุ 12 กิโลไบต์ ลบและเขียนใหม่ได้ไม่น้อยกว่า 100,000 ครั้ง สามารถป้องกันการอ่านได้
- สามารถโปรแกรมหน่วยความจำโปรแกรมได้ด้วยตัวเอง โดยใช้กระบวนการทางซอฟต์แวร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีหน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอม 1 กิโลไบต์ และเขียนใหม่ได้ไม่น้อยกว่า 1,000,000 ครั้ง

- มีหน่วยความจำข้อมูลแรม 512 ไบต์

- รีจิสเตอร์ W จัดในรูปของอะเรย์ มีขนาด 16 บิต จำนวน 16 ตัว

- ความเร็วในการทำงานสูงถึง 30 ล้านคำสั่งต่อวินาที

- ความถี่สัญญาณนาฬิกาจากภายนอก ตั้งแต่ย่านไฟตรงจนถึง 40MHz

- ความถี่สัญญาณนาฬิกาในกรณีใช้งานร่วมกับวงจรเฟลล็อกลูปภายใน ตั้งแต่ 4MHz ถึง 10MHz เลือกได้ 3 ระดับคือ 4,8 หรือ 16 เท่า

- รองรับแหล่งกำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์ได้สูงสุด 62 แหล่ง รวมทั้งการอินเตอร์รัปต์จากภายนอก 3 แหล่ง

- สามารถกำหนดระดับความสำคัญในการตอบสนองอินเตอร์รัปต์ได้ 8 ระดับ

- มีอินเตอร์รัปต์เวกเตอร์ 48 ตำแหน่ง

- มีวงจรตรวจจับแรงดันไฟเลี้ยงต่ำกว่ากำหนดแบบโปรแกรมได้

- มีเพาเวอร์-ออนรีเซต เพาเวอร์-อัปไทเมอร์ และออสซิลเลเตอร์สตาร์ต-อัปไทเมอร์

- มีวอชด็อกไทเมอร์แบบโปรแกรมได้

- มีวงจรตรวจสอบการทำงานของวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา หากผิดพลาดจะเข้าสู่โหมดสัญญาณนาฬิกา RC พลังงานต่ำทันที

- รองรับการโปรแกรมในวงจรแบบอนุกรม (ICSP : In-Circuit Serial Programming)

- สามารถเลือกโหมดการใช้พลังงานได้

- ย่านไฟเลี้ยง 2.5 ถึง 5.5V กระแสไฟฟ้า 2.6 ถึง 44mA ที่ไฟเลี้ยง +5V ขึ้นอยู่กับการกำหนดความเร็วในการทำงาน

คุณสมบัติด้านการประมวลสัญญาณดิจิตอล มีดังนี้

- มีแอกคิวมูเลเตอร์ขนาด 40 บิต 2 ตัว รองรับการประมวลผลทางคณิตศาสตร์ได้เป็นอย่างดี

- มีหน่วยประมวลผลด้านการคูณและหารเลข 17 บิตในรูปของฮาร์ดแวร์ จึงทำให้สามารถคูณและหารเลขได้อย่างรวดเร็ว

- ทำการคูณเลข 16 บิตได้ภายในสัญญาณนาฬิกาเพียง 1 ไซเกิล

- มีตัวเลื่อนข้อมูลบาร์เรล 40 สเตจ ช่วยให้การประมวลผลข้อมูลที่จำนวนบิตมากๆ สามารถทำได้อย่างรวดเร็ว

- มีวงจรเฟตช์ข้อมูลคู่ จึงทำให้สามารถประมวลผลข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว

- คุณสมบัติของโมดูลฟังก์ชั่นพิเศษ มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สามารถจ่ายกระแสออกทางขาพอร์ตได้ 25mA ทั้งแบบกระแสซิงก์และซอร์ส
- ไทเมอร์/เคาน์เตอร์มีขนาด 16 บิต ไม่น้อยกว่า 3 ตัว ต่อใช้งานร่วมกันเป็นไทเมอร์ 32 บิตได้
- มีโมดูลตรวจจับสัญญาณดิจิตอลขนาด 16 บิต 4 ชุด
- มีโมดูลเปรียบเทียบข้อมูลและกำเนิดสัญญาณ PWM ความละเอียด 16 บิต 2 ชุด ในการเปรียบเทียบข้อมูลสามารถเลือกการทำงานได้ 2 โหมด
- มีส่วนเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรมแบบ SPI
- มีส่วนเชื่อมต่ออุปกรณ์ผ่านระบบบัส I2 C ทั้งแบบ 7 และ 10 บิต กำหนดเป็นมาสเตอร์หรือสเลฟได้
- มีโมดูลสร้างสัญญาณ PWM สำหรับควบคุมมอเตอร์ 6 ช่อง
  - เลือกรูปแบบเอาท์พุท(Output) ได้ทั้งแบบคอมพลีเมนต์ และแบบอิสระ
  - มีโหมดปรับตำแหน่งการหมุนทั้งแบบรับขอบสัญญาณ และแบบกึ่งกลาง
  - มีส่วนกำเนิดดิวตี้ไซเกิล 4 ชุด กำหนดมาตรฐานเวลาได้ 4 โหมด สามารถเลือกขั้วของสัญญาณทางเอาท์พุท(Output) ได้
  - มีสัญญาณกระตุ้นเพื่อให้ทำงานสัมพันธ์กับวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลภายในไมโครคอนโทรลเลอร์
  - สามารถควบคุมสัญญาณเอาท์พุท(Output) ได้
- มีโมดูลเชื่อมต่อตัวเข้ารหัสแบบควอดราเจอร์
  - มีอินพุท(Input) Phase A Phase B และรับสัญญาณพัลส์เพื่อกำหนดตำแหน่ง
  - มีตัวนับตำแหน่งขนาด 16 บิต นับได้ทั้งขึ้นและลง
  - แสดงสถานะของทิศทางการนับได้
  - กำหนดโหมดของการวัดตำแหน่งได้ 2 โหมดคือ x2 และ x4
  - มีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแบบดิจิตอลจากอินพุทแบบโปรแกรมได้
  - สำหรับกำหนดให้ทำงานเป็นไทเมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิต
  - กำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากตำแหน่งที่นับเกิน (rollover) หรือนับขาด (underflow)
- มีวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล มีความละเอียด 10 บิต จำนวน 6 ช่อง
  - อัตราการสุ่มและแปลงสัญญาณ 500 กิโลแซมเปิลต่อวินาที
  - สามารถแปลงสัญญาณเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานในโหมดสลีปและไอเดิลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอร์ตอินพุทเอาท์พุท(Input/Output) dsPIC30F2010 มีพอร์ตให้ใช้งานมากถึง 5 พอร์ต รวม 20 ขา ดังนี้

พอร์ต B : มี 6 ขา คือ RB0-RB 5 โดยทุกขาสามารถกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุท (Input) หรือเอาท์พุท(Output)ได้ และยังสามารถขับกระแสทั้งแบบซิงก์และซอร์สได้สูงถึง 25mA

พอร์ต C : มี 3 ขา คือ RC13-RC15

พอร์ต D : มี 2 ขา คือ RD0 และ RD1

พอร์ต E : มี 7 ขา คือ *RE0-RE5 และ RE8*

พอร์ต F : มี 2 ขา คือ RF2 และ RF3

รีจิสเตอร์ควบคุมขาพอร์ตอินพุทเอาท์พุท(Input/Output) ทุกขาพอร์ตอินพุทเอาท์พุทของ dsPIC มีรีจิสเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานโดยตรง 3 ตัว คือ

TRISx รีจิสเตอร์กำหนดทิศทางข้อมูลของขาพอร์ต

PORTx รีจิสเตอร์ข้อมูลของขาพอร์ต

LATx รีจิสเตอร์แลตช์ข้อมูลของขาพอร์ต

โดยที่ x เป็นค่าหรือตัวอักษรที่ใช้แทนตำแหน่งของขาพอร์ตใดๆ เนื่องจาก dsPIC มีกลุ่มของขาพอร์ตอินพุทเอาท์พุทจำนวนมาก

รีจิสเตอร์ TRIS ใช้กำหนดว่าหน้าที่ของขาพอร์ตให้เป็นอินพุท (Input)หรือเอาท์พุท (Output) ดิจิตอล

"0" = กำหนดเป็นเอาท์พุท(Output)

"1" = กำหนดเป็นอินพุท(Input)

หลังจากรีเซต ขาพอร์ตดิจิตอลทั้งหมดจะถูกกำหนดเป็นอินพุทก่อน หลังจากนั้นจึงเปลี่ยนแปลงตามการกำหนที่รีจิตเตอร์ TRIS

รีจิสเตอร์ PORT เป็นรีจิสเตอร์สำหรับเก็บข้อมูลที่ปรากฏขึ้นที่ขาพอร์ตดิจิตอล โดยหากเป็นขาพอร์ตอินพุท(Input) ข้อมูลที่ขาพอร์ตจะปรากฏที่รีจิสเตอร์ PORT สามารถอ่านได้โดยตรง ถ้ากำหนดเป็นขาพอร์ตเอาท์พุท(Output) ข้อมูลที่รีจิสเตอร์ PORT จะเป็นข้อมูลที่ส่งออกไปยังอุปกรณ์ภายนอกที่ต่อกับขาพอร์ตจริง โดยสามารถเลือกให้ผ่านรีจิสเตอร์ LAT ก่อนก็ได้ เพื่อช่วยลดข้อผิดพลาดในกรณีที่ใช้ขาพอร์ตเดียวกันเป็นทั้งอินพุท(Input) และเอาท์พุท(Output) อย่างไรก็ตาม เพื่อความปลอดภัยควรเลือกใช้รีจิสเตอร์ PORT ในการอ่านค่าอินพุท(Input) เป็นหลัก ส่วนการส่งข้อมูลออกควรกระทำผ่านรีจิสเตอร์ LAT จะดีกว่า

รีจิสเตอร์ LAT เป็นรีจิสเตอร์ที่ถูกใช้เก็บข้อมูลที่ต้องการส่งออกไปยังขาพอร์ตเมื่อทำงานเป็นเอาท์พุท(Output) ทั้งนี้เพื่อช่วยในกรณีที่ใช้ขาพอร์ตเป็นทั้งอินพุท(Input) และเอาท์พุท (Output)ในเวลาที่ใกล้เคียงกัน โดยมีความต้องการรักษาข้อมูลของเอาท์พุท(Output)เดิมไว้ แม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงที่ขาพอร์ตเกิดขึ้นเมื่อเป็นอินพุท(Input) ถ้าหากต้องการกลับสถานะลอจิกที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอาท์พุท(Output)หรือ toggle จะสามารถทำได้ โดยนำข้อมูลในรีจิสเตอร์ LAT นี้มากลับลอจิกไ
ทันที ซึ่งจะไม่สามารถทำเช่นนี้ได้หากใช้รีจิสเตอร์ PORT ดังนั้นผู้พัฒนาโปรแกรมสามาร
เปลี่ยนแปลงค่าที่ต้องการส่งออกขาพอร์ตเอาท์พุท(Output)ได้ตลอดเวลาพร้อมกันนั้นยังสามารถ
ตรวจสอบข้อมูลเอาท์พุท(Output)ได้ด้วย การเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่ขาพอร์ตหรือที่รีจิสเตอร์ POR
จะไม่ส่งผลกระทบใดๆแก่รีจิสเตอร์ LAT เว้นแต่จะเกิดการรีเซตหรือเขียนข้อมูลใหม่มาทับ

สามารถสรุปความแตกต่างของการอ่านเขียนข้อมูลระหว่างรีจิสเตอร์ PORT และ LAT
ดังนี้

- เมื่อเขียนค่ารีจิสเตอร์พอร์ต PORT ข้อมูลจะถูกส่งไปยังวงจรแลตช์ของพอร์ต
- เมื่อเขียนค่าไปยังรีจิสเตอร์ LAT ข้อมูลจะถูกส่งไปยังวงจรแลตช์ของพอร์ต
- ในการอ่านค่าของรีจิสเตอร์ PORT เป็นการอ่านค่าจากขาพอร์ตโดยตรง
- ในการอ่านค่าของรีจิสเตอร์ LAT ค่าที่ได้คือ ข้อมูลล่าสุดที่อยู่ในวงจรแลตช์ขอ
พอร์ต

2) การใช้งานโมดูลฟังชั่นพิเศษ

โมดูล MCPWM ใน dsPIC30F2010 ใช้เพื่อควบคุมมอเตอร์ อีกหนึ่งโมดูลฟังก์ชั่นพิเศษที่เป็นโมดูลสร้างสัญญาณ PWM เพื่อควบคุมมอเตอร์ หรือเรียกว่า โมดูล MCPWM(Motor Control PWM) ใน dsPIC บรรจุโมดูลนี้ไว้ตั้งแต่ 6-8 ช่อง สำหรับ dsPIC30F2010 ที่ใช้อ้างอิงเป็นหลักในที่นี้มี 6 ช่อง จึงสามารถขับมอเตอร์แบบเฟสเดี่ยวได้ 3 ตัว และมอเตอร์ 3 เฟสได้ 1 ตัว ดังนั้นจึงเหมาะอย่างยิ่งที่จะนำไปใช้ควบคุมอินดักชั่นมอเตอร์ 3 เฟส สวิตช์รีลักแตนซ์มอเตอร์(SR) มอเตอร์แบบไม่มีแปรงถ่านหรือบรัชเลสมอเตอร์(BLDC) และในระบบเครื่องสำรองไฟฉุกเฉินหรือ UPS (Un-interrupted Power Supply)

คุณสมบัติโดยสรุปของโมดูล MCPWM

- ความละเอียดของสัญญาณ PWM ที่สร้างขึ้นเท่ากับ $\frac{T_{cy}}{2}$
- ในโมดูล MCPWM 1 ชุด มี 2 เอาท์พุท(Output) ใน dsPIC30F2010 มีโมดูล 3 ชุด จึงมีทั้งสิ้น 6 ช่อง
- สามารถใช้งานเอาท์พุท(Output)ของโมดูล MCPWM แยกกันอย่างอิสระและร่วมกัน
- เมื่อทำงานในแบบร่วมกันหรือคอมพลีเมนตารีสามารถกำหนดค่าเวลาวิกฤต (Dead time) เพื่อช่วยให้การขับมอเตอร์ 3 เฟสเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ
- สามารถเลือกโหมดเอาท์พุท(Output)ได้ 4 โหมด
  - โหมดปรับขอบสัญญาณ (Edge aligned mode)
  - โหมดปรับสัญญาณเดี่ยว (Single event mode)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โหมดปรับสัญญาณกึ่งกลาง (Center aligned mode)
- โหมดรับสัญญาณกึ่งกลางพร้อมปรับปรุงค่า (Center aligned mode with double updates)

- มีอินพุท(Input) สำหรับตรวจจับความผิดพลาดในการทำงาน (FAULT) แบบโปรแกรมได้

- สามารถสร้างสัญญาณกระตุ้นส่งไปยังโมดูลแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลเพื่อกำหนดจังหวะการทำงานให้สัมพันธ์กัน

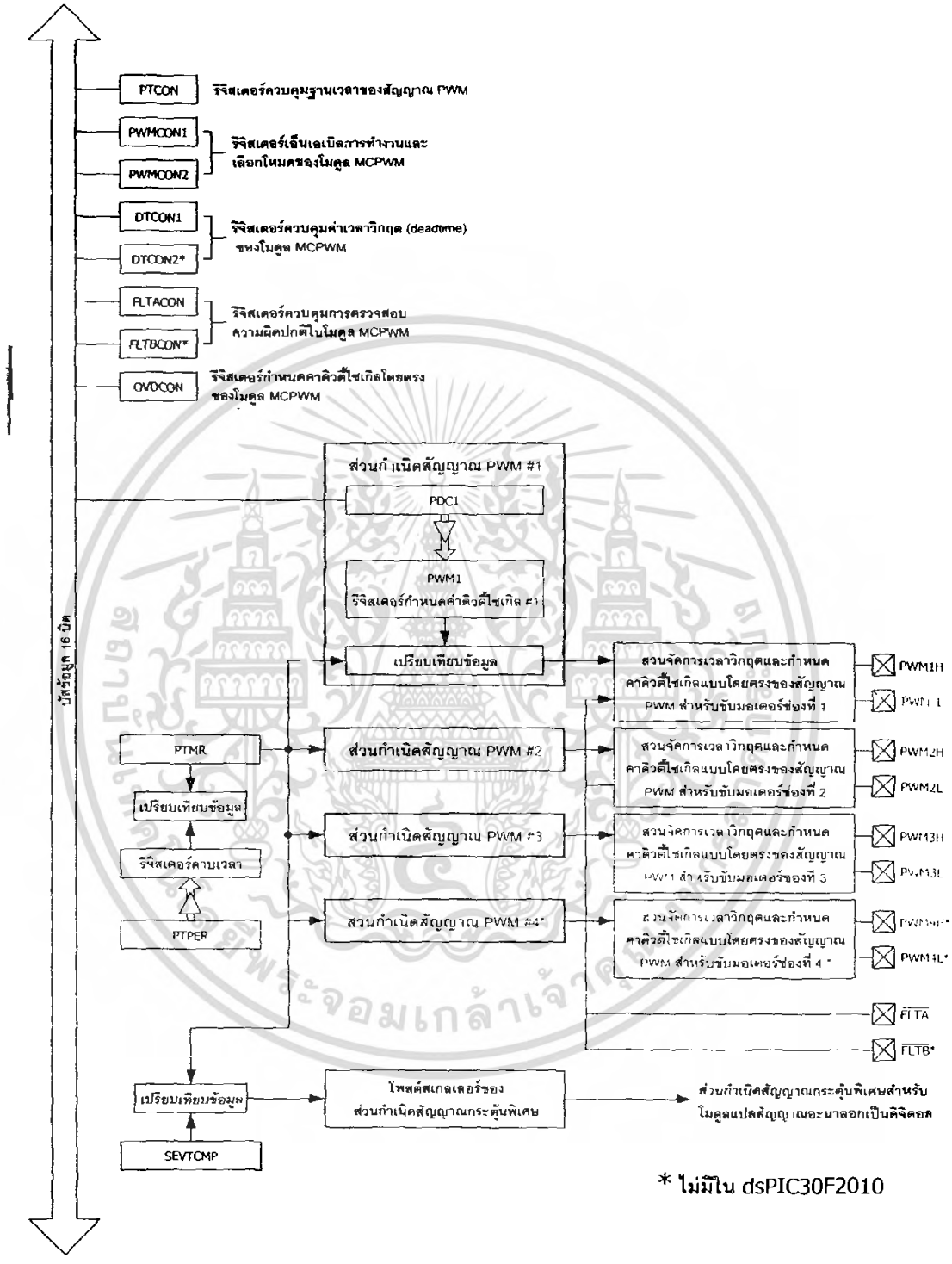
ในรูปที่ 2.20 แสดงไดอะแกรมการทำงานของโมดูล MCPWM ส่วนประกอบหลักของโมดูลนี้คือ ส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM มี 4 ชุด โดยใน dsPIC30F2010 จะมี 3 ชุดได้ค่าฐานเวลาจากรีจิสเตอร์ PTMR และ PTPER ส่วนค่าดิวตี้ไซเกิลของสัญญาณ PWM ในโมดูล MCPWM นี้สามารถกำหนดได้จากรีจิสเตอร์ดิวตี้ไซเกิลในส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM แต่ละส่วนที่เป็นอิสระต่อกัน นอกจากนั้นยังสามารถกำหนดการทำงานของขาพอร์ตเอาท์พุท(Output)ของโมดูล MCPWM โดยตรงผ่านทางรีจิสเตอร์ OVDCON

ส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM สำหรับควบคุมมอเตอร์แต่ละชุดในโมดูล MCPWM สามารถกำหนดให้ทำงานแยกจากกันเป็นอิสระ (Independent mode) หรือทำงานร่วมกัน (Complementary mode) เพื่อขับมอเตอร์ 3 เฟส ได้ โดยกำหนดผ่านรีจิสเตอร์ PWMCON1 และ PWMCON2 และเมื่อกำหนดให้ทำงานร่วมกันจะต้องมีการจัดการสัญญาณเพื่อให้มอเตอร์ในแต่ละเฟสสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง นั่นคือการจัดการค่าเวลาหน่วงเฟส (datetime control) โดยใช้รีจิสเตอร์ DTCON1 และ DTCON2 (ไม่มีใน dsPIC30F2010)

สัญญาณที่ออกจากโมดูล MCPWM จะมีขาพอร์ต 2 ขาต่อช่องนั่นคือ ขาเอาท์พุท(Output) ด้านแรงดันสูง - PWMxH และขาเอาท์พุท(Output) ด้านแรงดันต่ำ - PWMxL (x คือหมายเลขของช่องเอาท์พุท(Output) มี 4 ค่าคือ 1-4 โดยใน dsPIC30F2010 มีเพียง 1-3) หรือเรียกว่า คู่เอาท์พุท (Output) นอกจากนั้นยังสามารถส่งสัญญาณเอาท์พุท(Output) ผ่านโพสต์สเกลเลอร์ เพื่อสร้างเป็นสัญญาณกระตุ้นพิเศษให้แก่โมดูลแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล (ADC) ด้วย เพื่อให้โมดูล MCPWM สามารถทำงานสัมพันธ์กับโมดูล ADC ได้ด้วย

นอกจากนั้นในโมดูล MCPWM ยังมีอินพุท(Input) สำหรับรับสัญญาณตรวจสอบความผิดปกติหรือ FAULT เพื่อป้องกันไม่ให้โมดูล MCPWM ทำงานผิดพลาดหรือเสียหายเมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นในโมดูล MCPWM โดยในส่วนนี้มีพอร์ตอินพุท(Input) สำหรับรับสัญญาณ 2 ขาคือ FLTA และ FLTB สำหรับใน dsPIC30F2010 จะมีเพียงขาเดียวคือ FLTA โดยการทำงานในส่วนนี้ได้รับการควบคุมจากรีจิสเตอร์ FLTACON สำหรับส่วนตรวจสอบความผิดปกติชุด A และ FLTBCON สำหรับส่วนตรวจสอบความผิดปกติชุด B (ไม่มีใน dsPIC30F2010)

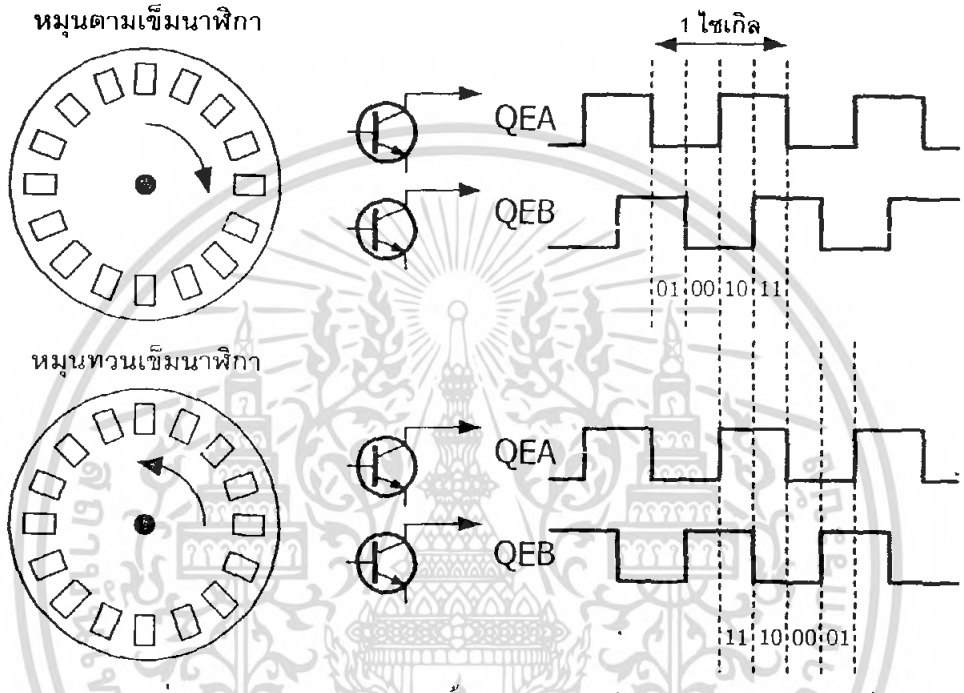
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



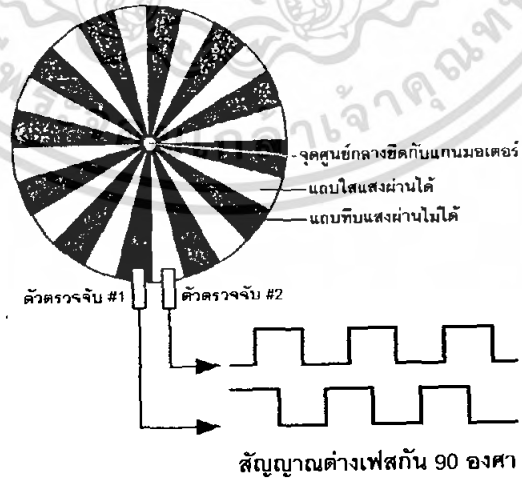
รูปที่ 2.20 แสดงไดอะแกรมการทำงานของโมดูล MCPWM ในไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งานโมดูลเชื่อมต่อตัวเข้ารหัสแบบควอดราเจอร์ (QEI) ใน dsPIC30F2010 โมดูลเชื่อมต่อตัวเข้ารหัสแบบควอดราเจอร์(QEI) มาจาก Quadrature Encoder Interface ซึ่งเป็นอุปกรณ์ตรวจจับแบบหนึ่งที่ใช้ในการระบุตำแหน่งและความเร็วในการเคลื่อนที่ของระบบควบคุม โดยเฉพาะระบบควบคุมมอเตอร์แบบลูปปิด (closed loop motor control) วงจรเข้ารหัสแบบควอดราเจอร์จะให้ผลการทำงานเป็นสัญญาณ 2 เส้น คือ สัญญาณเฟส A และ สัญญาณเฟส B โดยสัญญาณทั้งสองมีเฟสต่างกัน 90 องศาดังแสดงตัวอย่างการทำงานพื้นฐานในรูปที่ 2.21

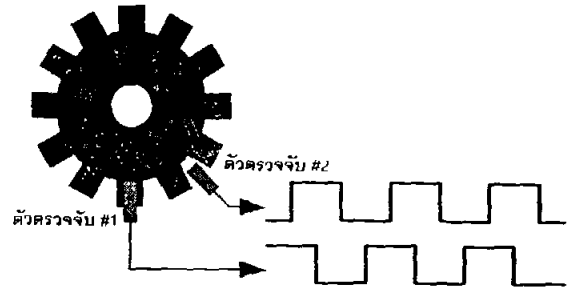


รูปที่ 2.21 ตัวอย่างการทำงานพื้นฐานของตัวเข้ารหัสแบบควอดราเจอร์

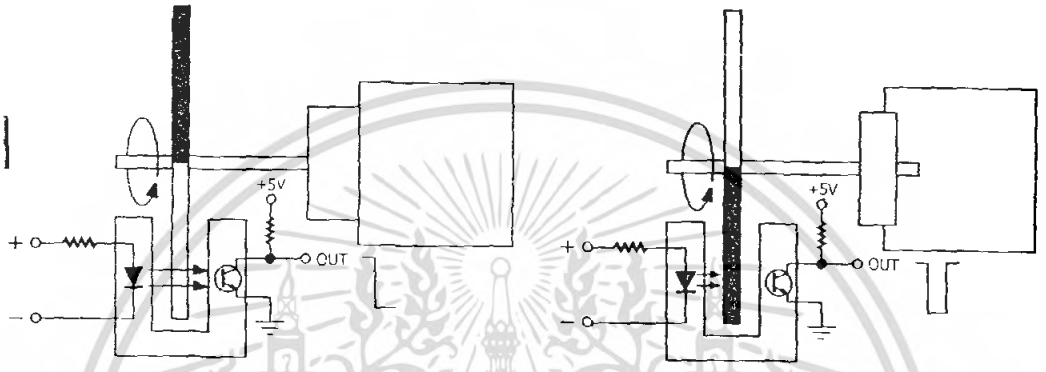


(a) ตัวเข้ารหัสแบบสะท้อนแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สัญญาณต่างเฟสกัน 90 องศา



(b) ตัวเข้ารหัสแบบตัดแสง

รูปที่ 2.22 หลักการทำงานการเข้ารหัสแบบควอดราเจอร์ที่ใช้ตัวตรวจจับแสง

ตัวเข้ารหัส (encoder) ที่สามารถกำเนิดสัญญาณในลักษณะนี้มีชื่อเรียกว่า ตัวเข้ารหัสอินครีเมนทอล (incremental encoder) โครงสร้างของตัวเข้ารหัสแบบนี้ ประกอบด้วยจานเข้ารหัส (encoder wheel) และอุปกรณ์ตรวจจับ (detector) ซึ่งอาจจะเป็นแบบตรวจจับแสงและแบบตรวจจับสนามแม่เหล็ก ในกรณีตรวจจับแสงยังสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ แบบสะท้อนแสงและแบบตัดแสง ดังแสดงตัวอย่างการทำงานในรูปที่ 2.22 สิ่งสำคัญหลักคือ จานเข้ารหัส โดยปกติจะต่อกับแกนของมอเตอร์ เพื่อให้สามารถหมุนไปตัดลำแสง หรือสะท้อนกลับแสงของตัวตรวจจับทำให้ได้สัญญาณพัลส์ออกมา

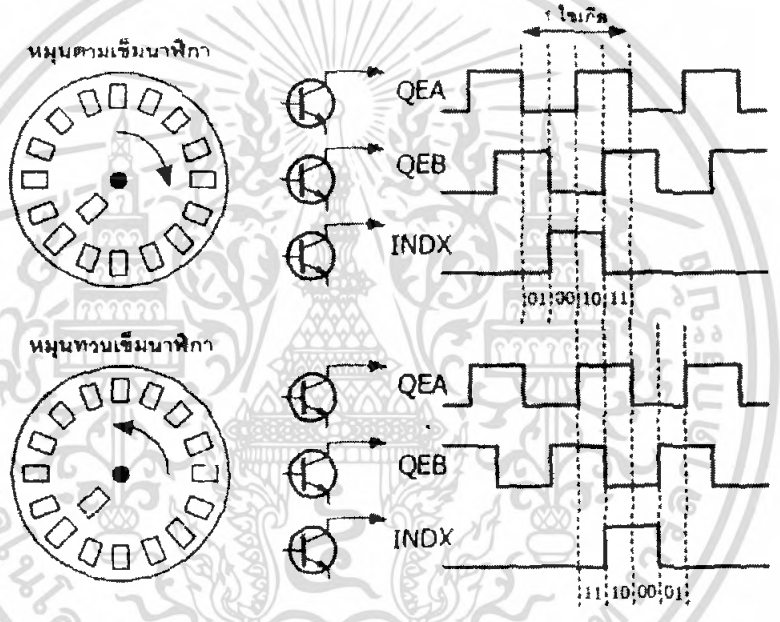
สิ่งที่เป็นข้อกำหนดหลักของการเข้ารหัสแบบควอดราเจอร์ คือ เฟสของสัญญาณตรวจจับทั้งสองต้องต่างกัน 90 องศา นั่นหมายความว่า ที่จานรหัสต้องมีการกำหนดแถบสะท้อนแสงหรือขอบตัดแสงที่ทำให้จังหวะการตรวจจับมีเฟสต่างกัน 90 องศาด้วย

เมื่อวงจรเข้ารหัสทำงานจะส่งสัญญาณพัลส์ออกมาที่สัมพันธ์กับความเร็วและทิศทาง ในกรณีที่เป็นวงจรเข้ารหัสแบบควอดราเจอร์จะให้สัญญาณข้อมูลดิจิตอล 1 ไซเกิลออกมา 4 ค่า คือ 01,00,10 และ 11 เมื่อจานเข้ารหัสถูกหมุนไปในทิศทางหนึ่งกับ 11, 10, 00 และ 01 เมื่อจานเข้ารหัสถูกหมุนไปในอีกทิศทางหนึ่ง ถ้าหากสัญญาณเฟส A นำหน้าสัญญาณเฟส B นั้นหมายความว่าทิศทางการหมุนของมอเตอร์เป็นบวก หรืออาจพิจารณาว่าเป็นการหมุนไปข้างหน้าก็

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ ในทางตรงกันข้ามถ้าหากสัญญาณเฟส A ตามหลังสัญญาณเฟส B ทิศทางการหมุนของมอเตอร์จะเป็นลบ หรือหมุนกลับทิศทางก็ได้ และถ้าหากทราบถึงขนาดของล้อ ก็จะทำให้สามารถวัดระยะทาง ความเร็ว ตลอดจนทิศทางการหมุนได้

ในมอเตอร์ที่มีความสามารถสูงๆมากจะบรรจุตัวเข้ารหัสมาด้วยในตัว เพื่อช่วยให้การควบคุมทำได้อย่างมีประสิทธิภาพแต่นั้นหมายถึง ราคาของของมอเตอร์แบบนี้จะสูงพอสมควรและในตัวเข้ารหัสบางรุ่นจะมีการตรวจจับจุดเริ่มต้นของการหมุนแล้วส่งสัญญาณออกมาเมื่อครบรอบ จะเรียกสัญญาณนี้ว่า สัญญาณชี้ตำแหน่งหรืออินเด็กซ์ (index:IDX) ทำให้ผู้ใช้งานทราบว่าข้อมูลที่ส่งมาเป็นข้อมูลที่จุดเริ่มต้นของตำแหน่งมุม 0 องศาหรือไม่ ดังแสดงสัญญาณของวงจรเข้ารหัสแบบนี้ในรูปที่ 2.23



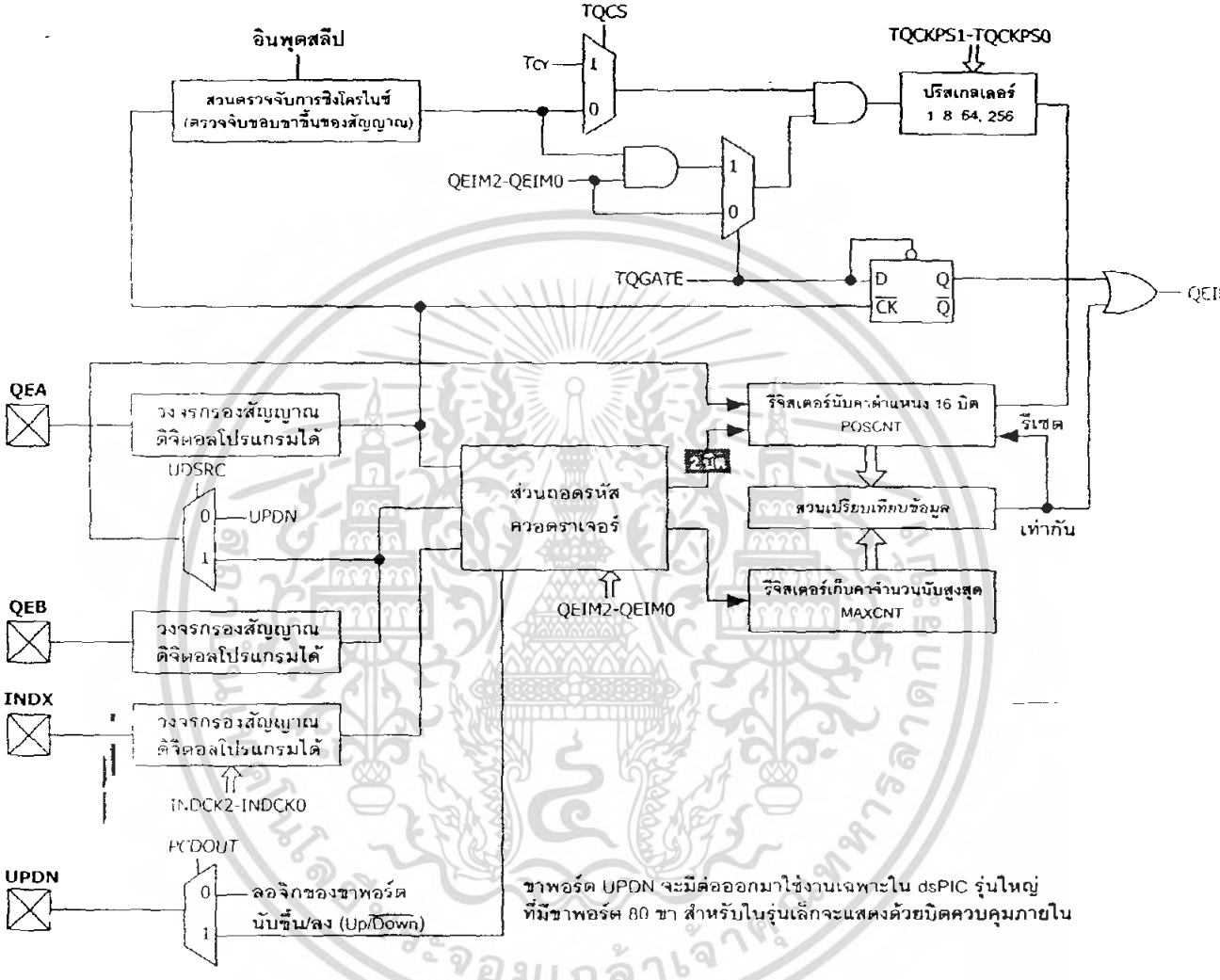
รูปที่ 2.23 ตัวอย่างการทำงานของตัวเข้ารหัสแบบควอดราเจอร์ที่มีพัลส์อินเด็กซ์

โดยที่ dsPIC ได้บรรจุโมดูลสำหรับเชื่อมต่อวงจรการเข้ารหัสแบบนี้ไว้ด้วยมีชื่อว่าโมดูล QEI สามารถรองรับกับสัญญาณจากวงจรเข้ารหัสทั้งสองเฟส โดยต่อเข้าที่อินพุท QEA สำหรับสัญญาณเฟส A และอินพุท QEB สำหรับสัญญาณเฟส B และสามารถรับสัญญาณชี้ตำแหน่ง โดยใช้อินพุท IDX โมดูล QEI มีหน้าที่หลักคือ ถอดรหัสของสัญญาณเฟสและสัญญาณชี้ตำแหน่งออกมาเป็นข้อมูลของจำนวนสัญญาณพัลส์ที่นับได้ โดยค่าของการนับควรจะเพิ่มขึ้นเมื่อแกนหมุนไปในทิศทางเดิมและลดลงเมื่อกลับทิศทาง

ส่วนประกอบของโมดูล QEI โมดูล QEI ใน dsPIC ได้รับการออกแบบมาให้เชื่อมต่อกับตัวเข้ารหัสอินครีเมนทอล โดยภายในโมดูลประกอบด้วยตัวถอดรหัส ควอดราเจอร์ เพื่อแปลหรือตีความของสัญญาณเฟส A B และทิศทางของตัวนับขึ้น-ลง เป็นค่าของการนับ เพื่อนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณหาค่าตำแหน่งและความเร็วในการเคลื่อนที่ของระบบต่อไป นอกจากนั้นยังมีวงจรกรองสัญญาณดิจิตอล เพื่อขจัดหรือลดสัญญาณรบกวนที่อาจปะปนเข้ามาทางอินพุท(Input) ในรูปที่ 2.24 แสดงส่วนประกอบหลักและไดอะแกรมการทำงานของโมดูล QEI ใน dsPIC30F2010



รูปที่ 2.24 ไดอะแกรมแสดงส่วนประกอบและการทำงานของโมดูล QEI

โดย สามารถสรุปได้ดังนี้

- มีอินพุท(Input) สำหรับรับสัญญาณเฟสA, B และพัลส์อินเด็กซ์ รวมทั้งสิ้น 3 อินพุท(Input)
- วงจรกรองสัญญาณดิจิตอลแบบโปรแกรมได้ที่ขาอินพุท(Input) ของโมดูล
- ส่วนถอดรหัสควอดราเจอร์ที่ให้ผลลัพธ์เป็นค่าของการนับและทิศทางการนับ
- ตัวนับค่าตำแหน่งขึ้นและลงขนาด 16 บิต
- ส่วนแสดงสถานะของทิศทางการนับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ส่วนจัดการความละเอียดในการรับเป็นแบบคูณ 2 (x2) หรือคูณ 4 (x4)
- รองรับการรีเซตค่าตัวนับตำแหน่ง 2 โหมด
- มีไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 16 บิต
- มีส่วนจัดการอินเตอร์รัปต์ทั้งจากการทำงานของ QEI และจากการนับค่าของตัวนับ

โมดูล QEI นั้นสามารถรองรับความถี่ของสัญญาณจากตัวเข้ารหัสแบบควอดราเจอร์ (หรือเรียกว่าความถี่ควอดราเจอร์ : quadrature frequency) ได้สูงสุด $\frac{F_{cr}}{3}$

2.3 การรับข้อมูลและการแสดงผลต่อผู้ใช้งาน

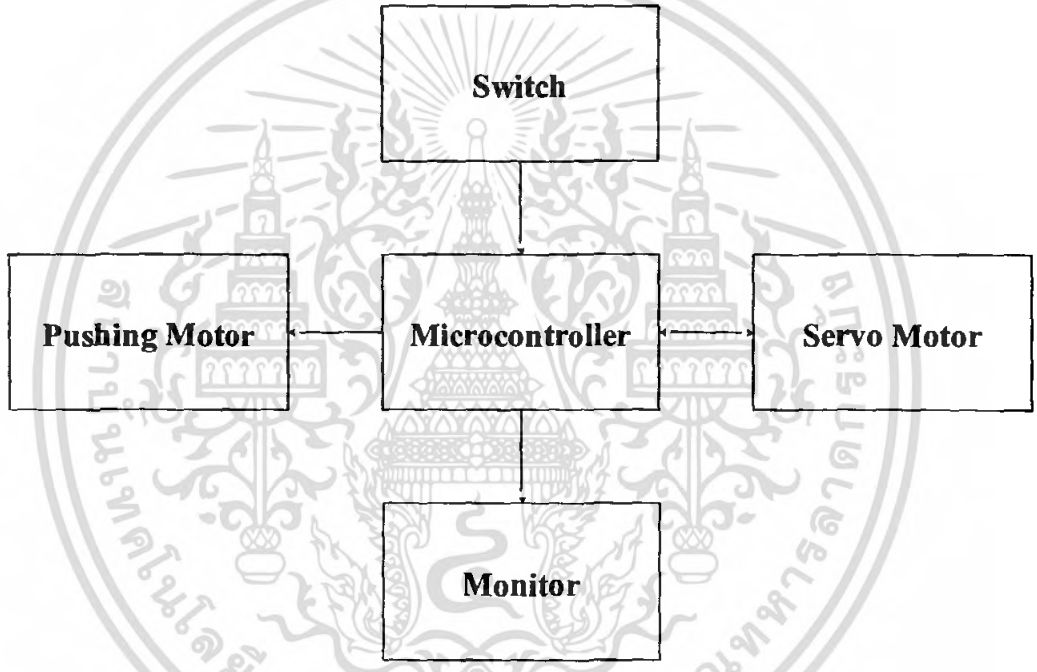
ในระบบการทำงานโดยทั่วไปจะต้องสามารถรับส่งข้อมูลและประมวลผล เพื่อให้ได้ซึ่งผลลัพธ์ตามที่ต้องการและทราบถึงสถานะของการทำงานขณะนั้น ดังนั้นการสื่อสารกับผู้ใช้งานจึงมีความจำเป็นเช่นกัน เครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติฯนี้ได้มีการรับข้อมูลจากภายนอก นั้นก็คือผู้ใช้งานได้ทำการเลือกสินค้าโดยกดปุ่มกด และแสดงผลโดยจอแสดงผล(LCD) ให้กับผู้ใช้งานทราบถึงสถานะการทำงานของเครื่องในขณะนั้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การคำนวณและหลักการออกแบบ

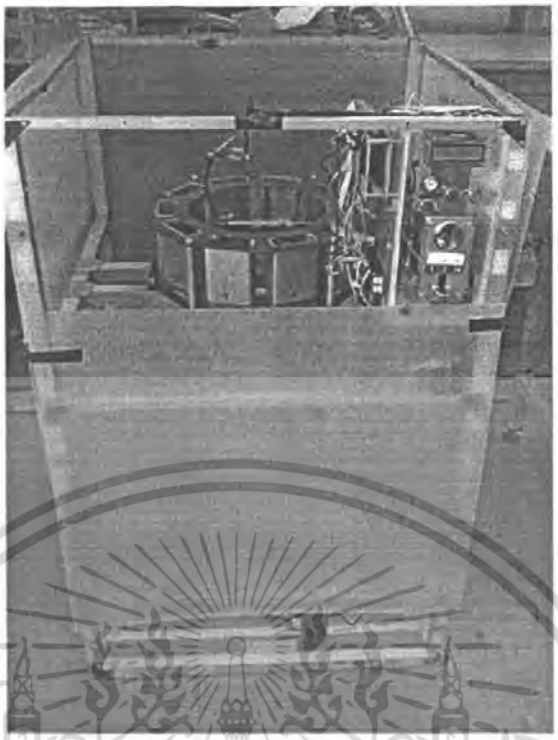
หลักการทำงานของเครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติฯนี้ได้มีการออกแบบ โดยอาศัยหลักการทำงานของระบบเซอร์โวมอเตอร์ ซึ่งระบบนี้มีความสามารถที่จะป้อนกลับค่าตำแหน่งที่เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปให้กับอุปกรณ์ควบคุม (Microcontroller)ได้ โดยที่อุปกรณ์ควบคุมนี้จะต้องทำการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ตัวอื่นๆ เพื่อให้สามารถสั่งการให้อุปกรณ์ตัวอื่นนั้นดำเนินงานไปตามขั้นตอนที่ได้ออกแบบไว้ โดยมีภาพรวมหลักการเชื่อมต่อของเครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติฯนี้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงภาพการเชื่อมต่อของระบบ

จากการออกแบบการทำงานของเครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติฯ และการเชื่อมต่อการทำงานของเครื่องทั้งหมดทำให้ได้เครื่องที่มีภาพรวมดังรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 เครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติฯ

3.1 หลักการทำงาน

หลักการทำงานของเครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติฯนั้น มีขั้นตอนการทำงานอย่างคร่าวๆ ดังต่อไปนี้

1. มีผู้ซื้อหยอดเหรียญใส่มาที่เครื่อง และเครื่องทำการตรวจรับเหรียญว่าเป็นเหรียญที่ต้องการหรือไม่ แล้วเครื่องรับเหรียญจะส่งสัญญาณให้กับระบบควบคุมของเครื่อง ว่ามีการหยอดเหรียญเรียบร้อยแล้ว

2. ระบบควบคุมจะรอการสั่งสินค้าจากผู้ซื้อว่าผู้ซื้อเลือกสินค้าชนิดใด เพื่อที่เลือกตำแหน่งที่สินค้านั้นๆอยู่

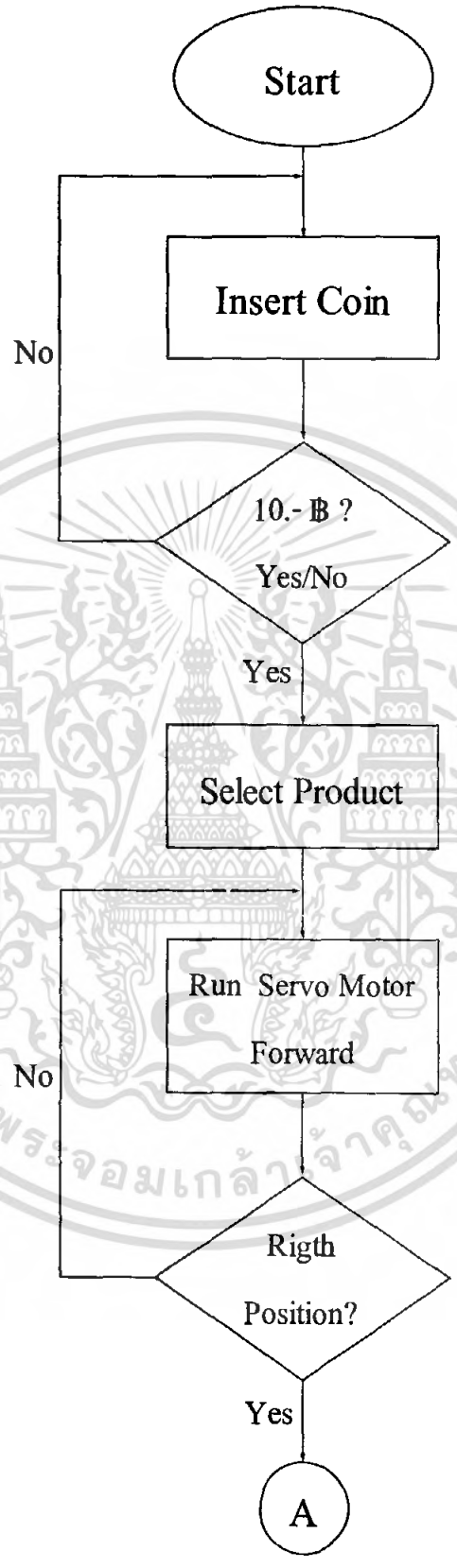
3. เซอร์โวมอเตอร์(Servo Motor) จะทำการหมุนไปยังตำแหน่งของสินค้าที่ผู้ซื้อทำการเลือกไว้แล้ว

4. เมื่อถึงยังตำแหน่งที่ต้องการแล้ว มอเตอร์ชุดชกจะผลักสินค้าที่อยู่แถวล่างสุดของหลอดบรรจุสินค้าออกจากหลอดบรรจุและมอเตอร์ชุดชกจะชักกลับ ส่วนสินค้านั้นจะตกลงไปยังช่องรับสินค้า

5. เซอร์โวมอเตอร์(Servo Motor) จะทำการหมุนกลับไปยังตำแหน่งเริ่มต้นอีกครั้งเพื่อรอการทำงานในรอบต่อไป

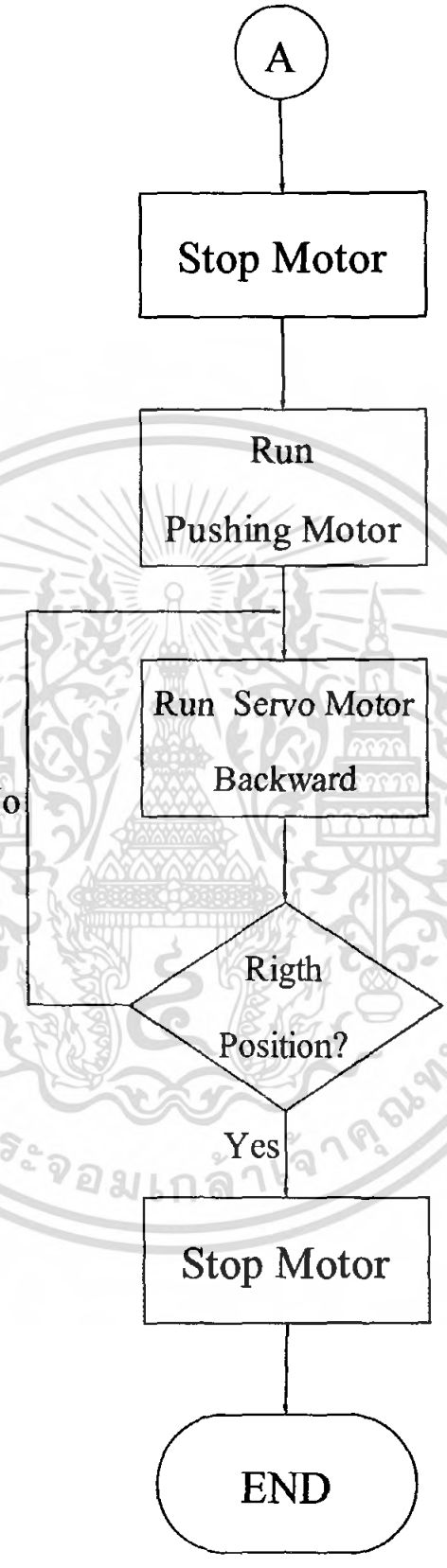
จากขั้นตอนข้างต้นสามารถนำมาเขียนเป็นแผนผังการทำงานได้ดังรูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แผนผังการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 (ต่อ) แผนผังการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ส่วนประกอบของเครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติแบบหยอดเหรียญ

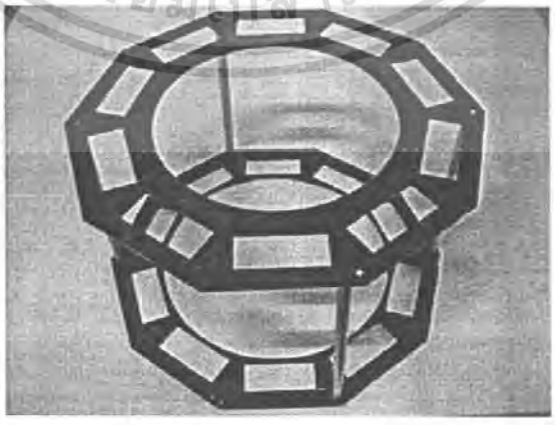
3.2.1 ตัวโครงสร้างของเครื่องจำหน่ายสินค้าฯ

ตัวโครงสร้างภายนอกของเครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติฯ ประกอบขึ้นจากอะลูมิเนียม ที่เราออกแบบให้สามารถรับน้ำหนักของเครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติฯทั้งหมดได้

หลอดบรรจุสินค้า ทำจากพลาสติกอะคริลิค โดยทำหน้าที่บรรจุสินค้าเป็นชั้นๆซ้อนกัน (Stack) โดยหลอดบรรจุสินค้าจะมีช่องในชั้นล่างสุดสำหรับให้กลไกของมอเตอร์ชุดชกสินค้าสามารถผลักสินค้าออกจากหลอดได้ ดังรูปที่ 3.4

รูปที่3.4 หลอดบรรจุสินค้า

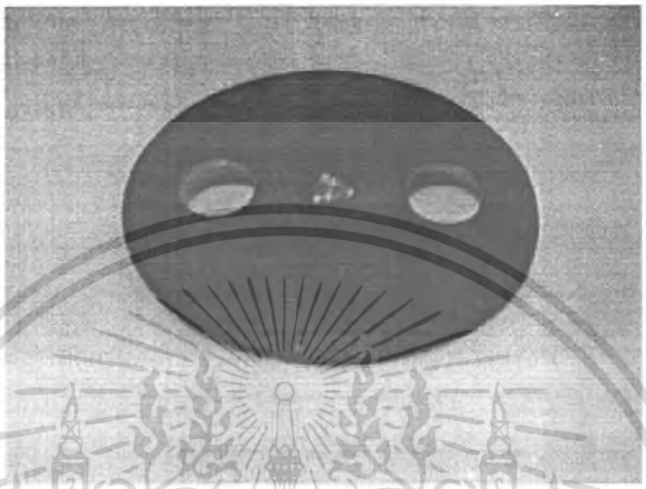
ช่องวางตำแหน่งของหลอดบรรจุสินค้า ทำจากแผ่นเหล็กเจาะเป็นช่อง 10 ช่อง แบ่งออกให้แต่ละช่องห่างกัน 36 *องศา* ซึ่งมีจุดศูนย์กลางเดียวกัน ขนาดของแต่ละช่องมีขนาดใหญ่พอที่วางหลอดบรรจุสินค้าลงไปได้ โดยช่องวางตำแหน่งของหลอดบรรจุสินค้านี้จะยึดติดอยู่กับตัวโครงสร้างของเครื่อง ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ช่องวางตำแหน่งของหลอดบรรจุสินค้า

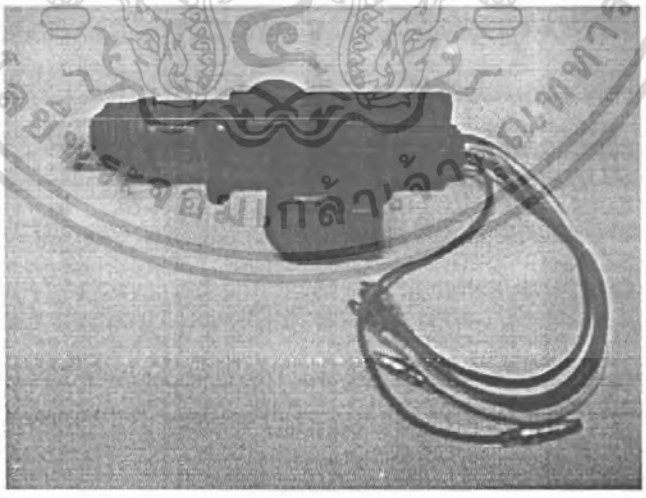
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จานหมุน ทำจากแผ่นเหล็กชนิดเดียวกับช่องวางตำแหน่งของหลอดบรรจุสินค้า โดยจะยึดติดกับแกนหมุนของเซอร์โวมอเตอร์(Servo Motor) และติดตั้งกลไกของมอเตอร์ชุดชกด้านบนของจานหมุน จานหมุนนี้จะหมุนเพื่อให้ปลายของกลไกของมอเตอร์ชุดชกหันไปยังตำแหน่งของสินค้าที่ต้องการ ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 จานหมุน

3.2.2 มอเตอร์ชุดชก เป็นชุดล็อคประตูรถยนต์อัตโนมัติ ที่ทำงานเมื่อมีการส่งสัญญาณทริคเพื่อให้ชุดชกทำงาน ซึ่งจะชักเข้าหรือออกตามสัญญาณที่ทริค โดยนำชุดล็อคประตูรถยนต์มาเพิ่มกลไกอีกเล็กน้อยเพื่อนำมาผลักสินค้าให้ออกจากหลอดบรรจุสินค้า ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 มอเตอร์ชุดชก

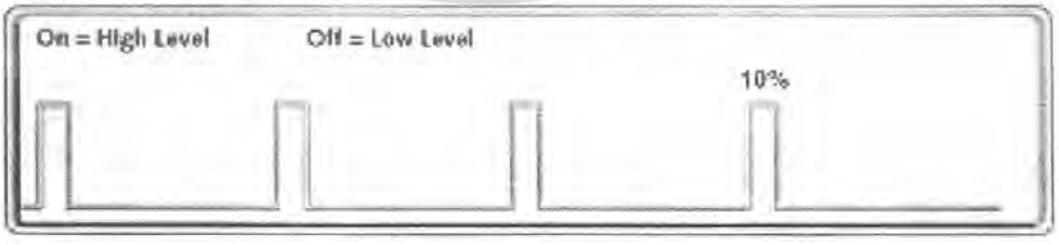
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo motor)

เซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้ในโครงงานนี้ เป็นชนิดดีซีเซอร์โวมอเตอร์ (DC Servo Motor) มอเตอร์ชนิดนี้จะมีโรเตอร์ที่ทำด้วยแม่เหล็กถาวร มีความสามารถควบคุมตำแหน่งการทำงานได้อย่างแม่นยำ ซึ่งเกิดจากการควบคุมตำแหน่งมุม และยังให้กำลังขับสูงอีกด้วย แต่เนื่องจากเครื่องจำหน่ายอุปกรณ์อัตโนมัติฯนี้ ไม่ได้ต้องการความเร็วในการหมุนมากนัก จึงได้ทำการติดตั้งชุดเฟือง(เกียร์) เป็นอัตราทด 1:16 เพื่อเป็นการลดความเร็วของมอเตอร์ มีการติดดั้งเบรกเพื่อให้หยุดที่ตำแหน่งที่ต้องการได้แม่นยำมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้การทำงานของเซอร์โวมอเตอร์จะทำงานแบบระบบควบคุมป้อนกลับ(Feedback Control) คือ เมื่อเซอร์โวมอเตอร์ทำงานจะมีตัวเอนโคดเดอร์ (Encoder) คอยตรวจจับความแม่นยำในการทำงาน แล้วส่งสัญญาณกลับไปให้ตัวควบคุม (Microcontroller) ทราบถึงตำแหน่งของเซอร์โวมอเตอร์ เพื่อที่จะวิเคราะห์และควบคุมการทำงานเซอร์โวมอเตอร์ต่อไป

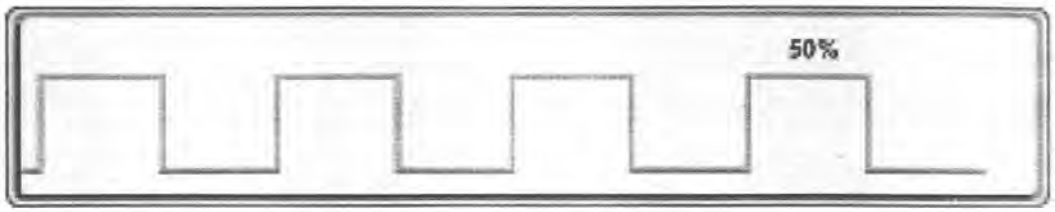
การออกแบบวิธีการควบคุมมอเตอร์ เลือกใช้การควบคุมมอเตอร์แบบ PWM (Pulse Width Modulation) โดย PWM คือ เทคนิคสำหรับควบคุมวงจรทางด้านฮาร์ดแวร์ โดยใช้สัญญาณเอาท์พุทแบบดิจิตอลของตัวควบคุม(Microcontroller) มาควบคุม โดยมีการทำงานของสัญญาณ PWM ดังรูปที่ 3.8 ซึ่งแสดงสัญญาณ PWM ที่ค่าดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle) แตกต่างกัน 3 ค่า สัญญาณ ดังนี้

- โดยรูปที่ 3.8 (a) แสดงสัญญาณ PWM ที่ 10% duty cycle คือ สัญญาณในการเปิด (ON) จะเป็น 10% ของคาบสัญญาณ และ จะปิด(OFF) เป็น 90% ของคาบสัญญาณ
- โดยรูปที่ 3.8 (b) แสดงสัญญาณ PWM ที่ 50% duty cycle คือ สัญญาณในการเปิด (ON) จะเป็น 50% ของคาบสัญญาณ และ จะปิด(OFF) เป็น 50% ของคาบสัญญาณ
- โดยรูปที่ 3.8 (c) แสดงสัญญาณ PWM ที่ 90% duty cycle คือ สัญญาณในการเปิด (ON)จะเป็น 10% ของคาบสัญญาณ และ จะปิด(OFF) เป็น 10% ของคาบสัญญาณ เช่น ถ้า Power Supply มี 9V และ duty cycle เป็น 10% จะได้เอาท์พุท 0.9V

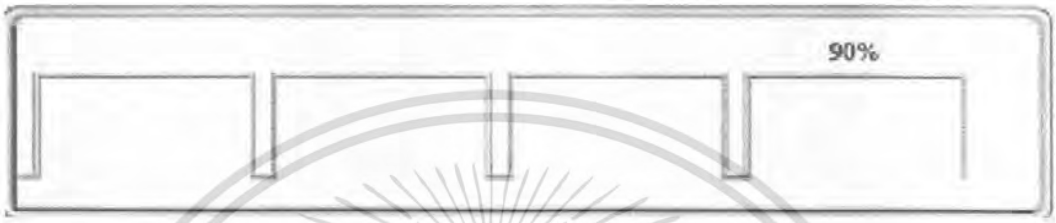


(a)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b)



(c)

รูปที่ 3.8 แสดงสัญญาณ PWM ซึ่งแสดงที่ค่าดิวตี้ไซเคิลต่างๆกัน

ข้อดีในการเลือกใช้ PWM ในการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ มีดังนี้

- PWM ง่ายในการอินเตอร์เฟสกับตัวควบคุม (Microcontroller) และใช้เพียงแค่เอาท์พุท(Output) เพียงสัญญาณเดียวในการควบคุมความเร็ว

- PWM มีประสิทธิภาพ คือ Power Supply จะจ่ายกำลังได้เต็มที่ทั้ง ON และ OFF(FULL ON and FULL OFF)

- PWM ทำให้ได้ค่า ทอร์ค และ ความเร็วสูงสุดของมอเตอร์ เป็นเพราะ Power Supply จะจ่ายกำลังได้เต็มที่ทั้ง ON และ OFF(FULL ON and FULL OFF)

การคำนวณสัญญาณพัลส์ที่ส่งออกมาจากเอนโคดเดอร์ (Encoder) ในการออกแบบเราได้เลือกใช้เซอร์โวมอเตอร์ที่มีความละเอียดของเอ็นโคดเดอร์(Encoder) เท่ากับ 100 พัลส์ต่อรอบ (PPR) และเมื่อเรานำเซอร์โวมอเตอร์นั้นไปติดตั้งชุดเฟืองซึ่งมีอัตราทด 1:16 นั้นหมายความว่าเซอร์โวมอเตอร์หมุน 16 รอบ แกนปลายของมอเตอร์จะหมุน 1 รอบ เพราะฉะนั้นสัญญาณพัลส์ที่ได้จากเซอร์โวมอเตอร์ของการหมุน 1 รอบมีค่าดังนี้

16 x 100 = 1600 พัลส์ต่อรอบ (Pluses Per Round , PPR)

ค่าที่ได้นี้จะนำไปใช้ร่วมกับโมดูลฟังชั่นพิเศษของตัวควบคุม(Microcontroller) เพื่อทำการควบคุมตำแหน่งของเซอร์โวมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 อุปกรณ์ควบคุม (*Microcontroller*) ซึ่งทำการควบคุมการทำงานของเครื่องทั้งหมด ดังนั้นจึงต้องมีการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นๆกับขาพอร์ตของอุปกรณ์ควบคุม ซึ่งก็คือ dsPIC30f2010 ซึ่งมีรายละเอียดของขาพอร์ตตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 *แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ทุกส่วนเข้ากับอุปกรณ์ควบคุม*

ขาพอร์ต	ทำหน้าที่(เชื่อมต่อ)
RB0 - RB1	ควบคุมทิศทางของเซอร์โวมอเตอร์
RB2	ควบคุมมอเตอร์ชุดชก
RB3	ควบคุมเบรคมอเตอร์
RB4	รับอินพุท(Input)จากเอ็นโคดเดอร์เฟส A ของเซอร์โวมอเตอร์
RB5	รับอินพุท(Input)จากเอ็นโคดเดอร์เฟส B ของเซอร์โวมอเตอร์
RD0 - RD1 RE0 - RE3	ควบคุมและเชื่อมต่อกับวงจรจอแสดงผล LCD
RE4	จ่ายสัญญาณเอาท์พุท (Output) PWM กับเซอร์โวมอเตอร์
RE5 ,RE8 RF2 – RF3	รับอินพุท (Input) จากปุ่มกด(Switch)

จากการควบคุมเครื่องด้วย dsPIC30f2010 เราเลือกจัดการความละเอียดในการรับเอ็นโคดเดอร์ด้วยโมดูลฟังชั่นพิเศษควอดราเจอร์ (QEI) เป็นแบบ คูณ 4 (x4) โดยเซอร์โวมอเตอร์ที่เราเลือกใช้มีความละเอียด 100 พัลส์ต่อรอบ (PPR) และทำการทดรอบของมอเตอร์ในอัตราทด 1:16 โดยที่เมื่อเซอร์โวมอเตอร์ที่ทดรอบแล้วให้มอเตอร์หมุน 1 รอบ จะมีพัลส์ออกมา 1600 พัลส์ ตามที่คำนวนมาแล้วข้างต้น ดังนั้นถ้าเรานับเอ็นโคดเดอร์ที่ความละเอียดคูณ 4 (x4) จะมีจำนวนพัลส์สัญญาณที่ตัวควบคุม(*Microcontroller*) หรือ *dsPIC* นับได้ เท่ากับ

$$4x1600 = 6400 \text{ พัลส์ต่อรอบ (Pluses Per Round , PPR)} \qquad (3.1)$$

และเมื่อนำมาคิดเป็นองศาจากการหมุนของมอเตอร์โดยแบ่งตามการทำงานซึ่งเราต้องการแบ่งช่องใส่สินค้าเป็นสิบช่อง จะได้แบ่งเป็นจำนวนพัลส์ช่องละ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{6400}{10} = 640 \text{ พัลส์ (Pulses)} \qquad (3.2)$$

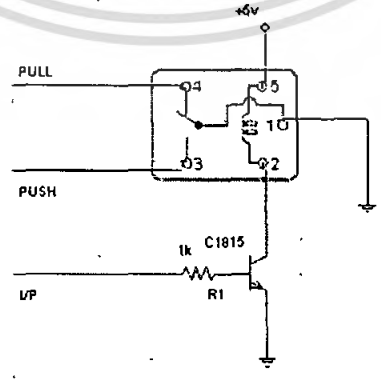
จำนวนพัลส์ของแต่ละตำแหน่งแสดงให้เห็นดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.2 แสดงองศาและจำนวนพัลส์การหมุนของเซอร์โวมอเตอร์

Position	Degree	Pulse
1	36	640
2	72	1280
3	108	1920
4	144	2560
5	180	3200
6	216	3840
7	252	4480
8	288	5120
9	324	5760
10	360	6400

3.2.5 วงจรไฟฟ้าที่เกี่ยวข้อง

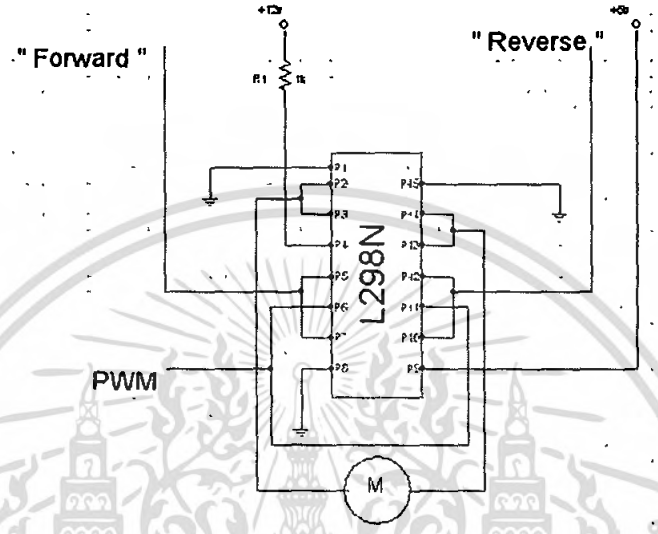
1) วงจรมอเตอร์ชุดชก ใช้ในการผลักสินค้าออกมา มีหลักการคือ ทำงานโดยวงจรรีเลย์ ซึ่งเมื่อมีสัญญาณอินพุท(Input) จากอุปกรณ์ควบคุม (Microcontroller) ให้ที่ขาเบส (Base) ของทรานซิสเตอร์ ซึ่งเปรียบเสมือนสวิตช์จะทำการส่งสัญญาณไปที่คอยล์รีเลย์ทำให้คอยล์รีเลย์ทำงานมีผลให้ชุดชกจะผลักออก แต่ในทางกลับกันถ้าไม่มีสัญญาณอินพุท(Input) คอยล์รีเลย์ก็จะไม่มีสัญญาณที่จะทำให้ทำงาน ชุดชกจึงดึงกลับ ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 วงจรมอเตอร์ชุดชก

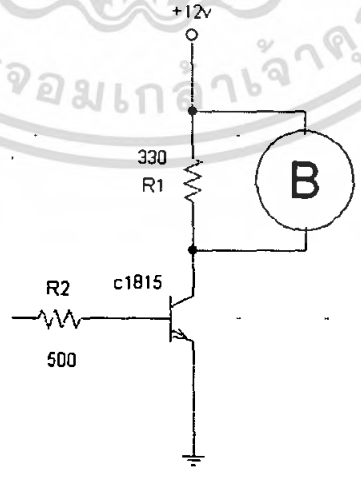
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) วงจรขับมอเตอร์ ใช้ IC drive เบอร์ L298N ซึ่งมีลักษณะวงจรภายในเป็นแบบ Dual full bridge โดยทำงานในลักษณะรัสัญญาณควบคุม PWM (Pulse Width Modulation) โดยจ่ายให้กับขาENABLE ของวงจรขับ ซึ่งเป็นการปรับดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle) ให้แก่เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 วงจรขับมอเตอร์

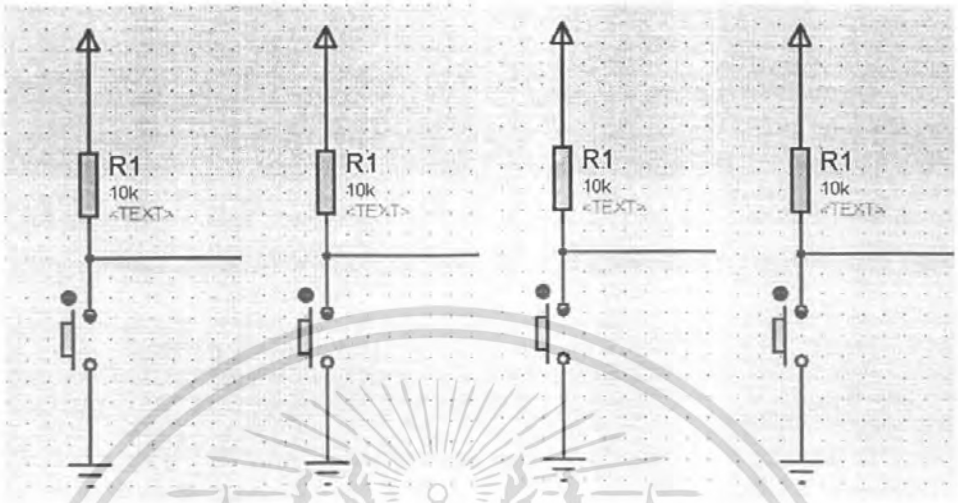
3) วงจรเบรก ลักษณะการทำงานจะคล้ายกับการทำงานของขดลวดโซลินอยด์ คือ เมื่อจ่ายไฟให้กับขดลวดโซลินอยด์ จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก ดูดแผ่นโลหะมายึดติดกับตัวเบรค ทำให้แกนมอเตอร์หยุดนิ่ง ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 วงจรเบรก

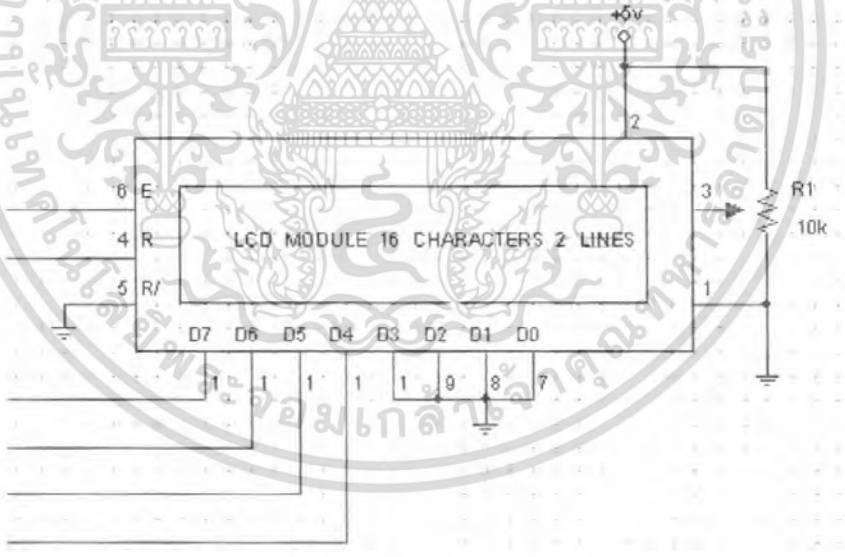
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) วงจรปุ่มกด เป็นอุปกรณ์อินพุท(Input) ที่จะทำการจ่ายสัญญาณให้กับอุปกรณ์ควบคุม (Microcontroller) ซึ่งมีการต่อวงจรการทำงานแบบ Active Low ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 วงจรปุ่มกด

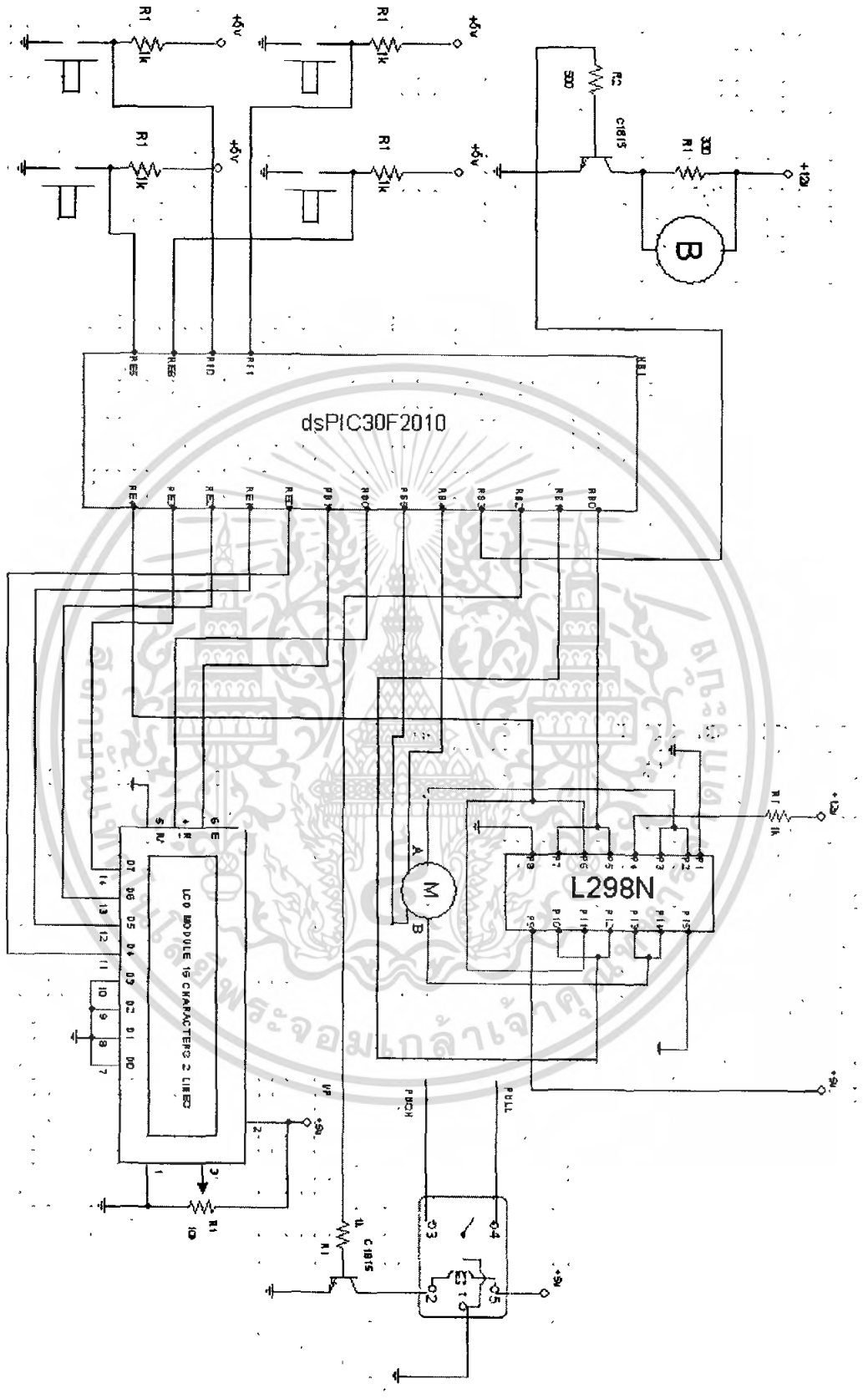
5) วงจรจอแสดงผล (LCD) เป็นอุปกรณ์แสดงผลการทำงาน ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 วงจรจอแสดงผล

6) วงจรรวม แสดงการเชื่อมต่อการทำงานทั้งระบบ ดังรูปที่ 3.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 วงจรรวมทั้งระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและสรุปผล

4.1 การทดลองหาค่าความคลาดเคลื่อนของมอเตอร์

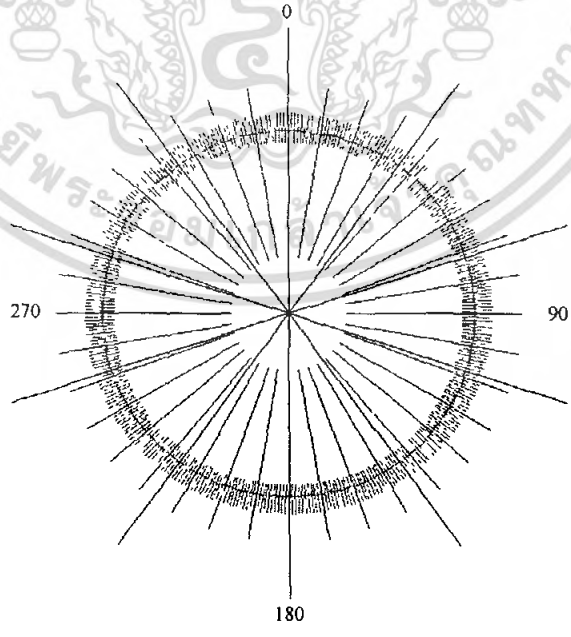
เนื่องจากเซอร์โวมอเตอร์ที่นำมาใช้นั้นต้องทำการทดรอบของเซอร์โวมอเตอร์ด้วยอัตราส่วน 1:16 ทำให้เซอร์โวมอเตอร์มีค่าความคลาดเคลื่อนในตำแหน่งของการหมุน ที่เกิดขึ้นจาก Back Lash ของเฟืองทด จึงทำการทดลองโดยทำการสั่งให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปยังตำแหน่งต่างๆ หลายๆตำแหน่ง เพื่อคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการทดลองต่อไป

4.1.1 อุปกรณ์ในการทดลอง

1. เซอร์โวมอเตอร์ + วงจรขับมอเตอร์
2. โปรแกรมสำหรับทำการทดลอง
3. ตัวควบคุม (Microcontroller)
4. กระดาษแข็ง

4.1.2 ขั้นตอนในการทำการทดลอง

1. เตรียมกระดาษพิมพ์รูปวงกลมที่ทำการแบ่งสเกลออกเป็นองศาทั้งหมด 360 องศา ดังรูปที่ 4.1 นำมาเจาะรูตรงกลางให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าแกนของเซอร์โวมอเตอร์ เพื่อนำไปติดที่ฐานของแกนเซอร์โวมอเตอร์ ใช้สำหรับอ่านค่าองศาที่เซอร์โวมอเตอร์หมุนไป



รูปที่ 4.1 สเกล 360 องศาที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. นำกระดาษแข็งตัดปลายแหลมมาติดที่แกนของเซอร์โวมอเตอร์เพื่อใช้ในการชี้ตำแหน่งองศาของแกนเซอร์โวมอเตอร์ที่หมุนไปเพื่อทำการอ่านค่า

3. ทำการหมุนแกนเซอร์โวมอเตอร์เพื่อตั้งตำแหน่งให้เป็นตำแหน่งเริ่มต้นที่ 0 องศา

4. เขียนโปรแกรมสั่งการให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกาไป 36 องศา หรือ 640 พัลส์ (6400 พัลส์ต่อรอบ) เป็นองศาที่ต้องการให้เซอร์โวมอเตอร์หยุดทำงาน และต่อจากนั้นจะสั่งการให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกากลับไปยังตำแหน่งเริ่มต้นที่ 0 องศา เมื่อเซอร์โวมอเตอร์เริ่มทำงานจริงแล้ว ให้อ่านค่าและบันทึกองศาที่เซอร์โวมอเตอร์หยุดหมุนทั้งไปและกลับ

5. จากตำแหน่งเดิมที่เซอร์โวมอเตอร์หมุนกลับและหยุดในรอบที่ 1 (ไม่ต้องตั้งตำแหน่งใหม่) สั่งให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกาต่อเนื่องไปอีก 36 องศา เช่นเดิม เมื่อเซอร์โวมอเตอร์หมุนตามเข็มแล้วหยุด ให้บันทึกผลองศาที่ตำแหน่งนั้น และสั่งให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนทวนเข็มกลับ หยุดที่ตำแหน่งองศาใด ให้บันทึกผลเช่นกัน ทำการทดลองเช่นนี้ต่อไปเรื่อยๆจนครบ 10 รอบ แล้วบันทึกผลลงในตาราง

6. ทำเช่นเดียวกันกับข้อ 4-5 โดยเปลี่ยนมุมที่ต้องการให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปเป็น 72° ,108° , 144° ,180° , 216° ,252° , 288° ,324° , 360° ,540° และ 720° ตามลำดับ

7. นำผลการทดลองที่ได้มาทำการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{FORWARD ERROR } (E_F)_n = F_n - B_{n-1} - \theta \qquad (4.1)$$

$$\text{BACKWARD ERROR } (E_B)_n = F_n - B_n - \theta \qquad (4.2)$$

เมื่อ F_n = มุม ณ.ตำแหน่งที่เซอร์โวมอเตอร์หยุดเมื่อหมุนไปตามเข็มนาฬิกา

B_n = มุม ณ.ตำแหน่งที่เซอร์โวมอเตอร์หยุดเมื่อหมุนกลับทวนเข็มนาฬิกา

θ = มุมที่ต้องการให้มอเตอร์หมุนไป

ตารางที่ 4.1 บันทึกผลการทดลองที่ 4.1

36 Degree	Round #										Avcrage
640 PPR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
FW	44	45	47	49	50	52	53	54	56	57	
ERROR(FW)	8	8	9	9.5	9	9	9	9	10	10	9.05
BW	1	2	3.5	5	7	8	9	10	11	12	
ERROR(BW)	7	7	7.5	8	7	8	8	8	9	9	7.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

72 Degree	Round #										Average
1280 PPR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
FW	83	86	89	91	93	95	97	98	100	101.5	
ERROR(FW)	11	11	11	10	10.5	11	11	9.5	10	9.5	10.45
BW	3	6	9	10.5	12	14	16.5	18	20	21	
ERROR(BW)	8	8	8	8.5	9	9	8.5	8	8	8.5	8.35

108 Degree	Round #										Average
1920 PPR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
FW	118	119.5	120.5	121.5	122.5	124	125	127	127.5	128.5	
ERROR(FW)	10	8.5	9.5	9.5	9.5	9	9	10	9.5	10	9.45
BW	3	3	4	5	7	8	9	10	10.5	11.5	
ERROR(BW)	7	8.5	8.5	8.5	7.5	8	8	9	9	9	8.3

144 Degree	Round #										Average
2560 PPR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
FW	152	154	155	156	157	158	158.5	160	161	161.5	
ERROR(FW)	8	9	9	9.5	10	10	10.5	11	10	9.5	9.65
BW	1	2	2.5	3	4	4	5	7	8	8	
ERROR(BW)	7	8	8.5	9	9	10	9.5	9	9	9.5	8.85

180 Degree	Round #										Average
3200 PPR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
FW	189	195	198	199	200	201	202	202.5	203	205	
ERROR(FW)	9	12	13	11.5	11	11.5	12	11.5	12	14	11.75
BW	3	5	7.5	9	9.5	10	11	11	11	13	
ERROR(BW)	6	10	10.5	10	10.5	11	11	11.5	12	12	10.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

216 Degree	Round #										Average
3840 PPR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
FW	229	231	233	234	235	237.5	238	239.5	241	241.5	
ERROR(FW)	13	13.5	15	15	14	15.5	14	14.5	14.5	14.5	14.35
BW	1.5	2	3	5	6	8	9	10.5	11	14	
ERROR(BW)	11.5	13	14	13	13	13.5	13	13	14	11.5	12.95

252 Degree	Round #										Average
4480 PPR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
FW	265	264	264	263	262.5	264	266	269	271	274	
ERROR(FW)	13	12	12	11	10.5	13	13.5	14	12	11	12.2
BW	0	0	0	0	-1	0.5	3	7	11	14	
ERROR(BW)	13	12	12	11	11.5	11.5	11	10	8	8	10.8

288 Degree	Round #										Average
5120 PPR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
FW	307.5	308	315	319	320	322	328	333	333.5	334	
ERROR(FW)	19.5	18.5	17	13	16	19	20	18	17.5	15	17.35
BW	1.5	10	18	16	15	20	27	28	31	33	
ERROR(BW)	18	10	9	15	17	14	13	17	14.5	13	14.05

324 Degree	Round #										Average
5760 PPR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
FW	336	338	336	336	341	337	334	330.5	332.5	329	
ERROR(FW)	12	14	8	12	14	9	6	7.5	10.5	10	10.3
BW	0	4	0	3	4	4	-1	-2	-5	-7	
ERROR(BW)	12	10	12	9	13	9	11	8.5	13.5	12	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

360 Degree	Round #										Average
6400 PPR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
FW	367	368	370	371	373	376	378	380	380	382	
ERROR(FW)	7	9	8	7	7	8	7	8	7	9	7.7
BW	-1	2	4	6	8	11	12	13	13	17	
ERROR(BW)	8	6	6	5	5	5	6	7	7	5	6

540 Degree	Round #										Average
9600 PPR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
FW	548	551	553	556	558	559	560	561	563	564	
ERROR(FW)	8	9	10	11	12	12	12	12	14	13	11.3
BW	2	3	5	6	7	8	9	9	11	12	
ERROR(BW)	6	8	8	10	11	11	11	12	12	12	10.1

720 Degree	Round #										Average
12800 PPR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
FW	730	730	731	733	735	735	736	737	736	735	
ERROR(FW)	10	10	11	13	15	15	16	17	16	15	13.8
BW	1	1	2	4	5	8	9	9	8	7	
ERROR(BW)	9	9	9	9	10	7	7	8	8	8	8.4

4.1.3 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองจะเห็นว่า เซอร์โวมอเตอร์มีค่าความคลาดเคลื่อน(Error) ทั้งหมุนไป(ตามเข็ม)และหมุนกลับ(ทวนเข็ม) แต่ลักษณะของความคลาดเคลื่อนนั้นไม่สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อนกับตัวแปรที่ทำให้เกิดความผิดพลาดนี้ขึ้นได้ ผลที่ได้จากการทดลองนี้จึงไม่สามารถนำไปอ้างอิงเพื่อทำการชดเชยค่าความผิดพลาดให้กับเซอร์โวมอเตอร์ได้ ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์หาสาเหตุและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในการทดลองครั้งต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองหาค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อมีการปรับแต่งความเร็วมอเตอร์

เนื่องจากการทดลองในตอนที่แล้ว เมื่อทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นแล้ว จึงตั้งสมมติฐานว่าสาเหตุของความคลาดเคลื่อนอาจไม่ได้มาจากค่า Back Lash เพียงเท่านั้น แต่เนื่องด้วยมอเตอร์มีความเร็วสูงในระดับหนึ่ง และยังต้องรับโหลดที่มีน้ำหนักพอสมควร อาจเกิดการเหวี่ยงจนทำให้มอเตอร์ไม่สามารถหยุด ณ ตำแหน่งที่ต้องการได้ จึงทำการปรับแต่งความเร็วมอเตอร์ให้เหมาะสมด้วยวิธีการทางซอฟท์แวร์ แล้วทำการทดลองในลักษณะเดิมอีกครั้ง

4.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เซอร์โวมอเตอร์ + วงจรขับมอเตอร์
2. โปรแกรมสำหรับทำการทดลอง
3. ตัวควบคุม (Microcontroller)
4. กระดาษแข็ง

4.3.2 ขั้นตอนในการทำการทดลอง

ทำการปรับแต่งความเร็วของมอเตอร์ด้วยวิธีการทางซอฟท์แวร์ โดยเลือกค่าความถี่และค่าดิวตี้ไซเคิลที่ส่งสัญญาณให้กับมอเตอร์แล้วทำมอเตอร์หมุนและมีความเร็วต่ำที่สุด แล้วทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองในตอนที่ 4.1

ตารางที่ 4.2 บันทึกผลการทดลองที่ 4.2

36 Degree	Round #										Average
640 PPR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
FW	44.0	44.5	45.0	46.0	46.5	47.5	47.5	48.0	48.5	48.5	
ERROR(FW)	8.0	7.5	7.0	8.0	8.5	8.5	8.5	9.0	8.5	8.5	8.20
BW	1.0	2.0	2.0	2.0	3.0	3.0	3.0	4.0	4.0	4.5	
ERROR(BW)	7.0	6.5	7.0	8.0	7.5	8.5	8.5	8.0	8.5	8.0	7.75

72 Degree	Round #										Average
1280 PPR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
FW	80.0	78.5	77.0	76.5	75.0	75.0	74.5	74.0	74.0	74.5	
ERROR(FW)	8.0	8.5	8.0	8.5	7.5	9.0	9.5	9.0	9.0	9.5	8.65
BW	-2.0	-3.0	-4.0	-4.5	-6.0	-7.0	-7.0	-7.0	-7.0	-7.0	
ERROR(BW)	10.0	9.5	9.0	9.0	9.0	10.0	9.5	9.0	9.0	9.5	9.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

108 Degree	Round #										Average
1920 PPR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
FW	118.0	119.0	119.0	120.0	120.0	120.0	121.0	121.0	121.0	121.5	
ERROR(FW)	10.0	10.0	9.5	10.0	10.0	10.0	10.5	10.0	10.0	10.0	10.00
BW	1.0	1.5	2.0	2.0	2.0	2.5	3.0	3.0	3.5	3.5	
ERROR(BW)	9.0	9.5	9.0	10.0	10.0	9.5	10.0	10.0	9.5	10.0	9.65

144 Degree	Round #										Average
2560 PPR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
FW	155.0	155.5	155.0	155.0	154.5	153.0	152.0	151.0	151.5	150.0	
ERROR(FW)	11.0	10.0	9.5	10.5	10.5	10.0	9.5	10.0	11.0	9.5	10.15
BW	1.5	1.5	0.5	0.0	-1.0	-1.5	-3.0	-3.5	-3.5	-4.0	
ERROR(BW)	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5	10.5	11.0	10.5	11.0	10.0	10.55

180 Degree	Round #										Average
3200 PPR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
FW	190.0	192.0	193.5	195.0	195.5	195.5	196.0	197.0	198.5	198.5	
ERROR(FW)	10.0	11.0	11.5	12.0	12.0	11.5	11.0	12.0	13.0	13.0	11.70
BW	1.0	2.0	3.0	3.5	4.0	5.0	5.0	5.5	5.5	5.5	
ERROR(BW)	9.0	10.0	10.5	11.5	11.5	10.5	11.0	11.5	13.0	13.0	11.15

216 Degree	Round #										Average
3840 PPR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
FW	228.0	228.5	228.5	228.5	228.5	229.0	229.0	230.0	230.0	230.0	
ERROR(FW)	12.0	12.0	12.0	11.5	11.5	12.0	12.0	13.0	12.5	12.0	12.05
BW	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	2.0	2.0	
ERROR(BW)	11.5	12.0	11.5	11.5	11.5	12.0	12.0	12.5	12.0	12.0	11.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

252 Degree	Round #										Average
4480 PPR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
FW	264.0	263.0	262.0	261.0	260.5	260.0	260.0	260.0	260.0	260.0	
ERROR(FW)	12.0	12.0	12.0	11.5	11.5	11.0	12.5	13.0	13.5	14.0	12.30
BW	-1.0	-2.0	-2.5	-3.0	-3.0	-4.5	-5.0	-5.5	-6.0	-6.0	
ERROR(BW)	13.0	13.0	12.5	12.0	11.5	12.5	13.0	13.5	14.0	14.0	12.90

288 Degree	Round #										Average
5120 PPR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
FW	301.0	301.5	303.0	303.5	304.0	304.5	305.0	306.0	307.0	309.0	
ERROR(FW)	13.0	13.5	14.5	14.5	14.0	13.5	13.0	13.0	14.0	15.0	13.80
BW	0.0	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	5.0	6.0	8.0	
ERROR(BW)	13.0	13.0	14.0	13.5	13.0	12.5	12.0	13.0	13.0	13.0	13.00

324 Degree	Round #										Average
5760 PPR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
FW	339.0	339.0	339.0	339.0	339.0	339.0	339.5	341.0	342.0	343.0	
ERROR(FW)	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	14.0	14.5	16.0	15.0	14.0	14.85
BW	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	3.0	5.0	6.0	
ERROR(BW)	15.0	15.0	15.0	15.0	14.0	14.0	14.5	14.0	13.0	13.0	14.25

360 Degree	Round #										Average
6400 PPR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
FW	375.0	374.5	374.5	374.0	373.0	373.5	372.0	371.0	371.0	369.0	
ERROR(FW)	15.0	14.5	14.5	15.0	15.0	15.5	15.0	15.5	16.0	14.0	15.00
BW	0.0	0.0	-1.0	-2.0	-2.0	-3.0	-4.5	-5.0	-5.0	-6.0	
ERROR(BW)	15.0	14.5	15.5	16.0	15.0	16.5	16.5	16.0	16.0	15.0	15.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

540 Degree	Round #										Average
9600 PPR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
FW	556.5	556.0	556.0	555.0	555.0	554.5	555.0	556.0	557.0	556.0	
ERROR(FW)	16.5	17.0	17.5	16.0	16.0	15.0	15.5	16.5	17.5	15.0	16.25
BW	-1.0	-1.5	-1.0	-1.0	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	1.0	2.0	
ERROR(BW)	17.5	17.5	17.0	16.0	15.5	15.0	15.5	16.5	16.0	14.0	16.05

720 Degree	Round #										Average
12800 PPR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
FW	738.0	739.0	738.0	738.5	738.0	739.0	740.0	741.0	742.5	743.0	
ERROR(FW)	18.0	18.5	17.0	17.5	16.5	17.5	18.0	18.5	18.5	18.0	17.80
BW	0.5	1.0	1.0	1.5	1.5	2.0	2.5	4.0	5.0	5.5	
ERROR(BW)	17.5	18.0	17.0	17.0	16.5	17.0	17.5	17.0	17.5	17.5	17.25

4.2.3 สรุปผลการทดลอง

เมื่อวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้แล้ว ค่าความผิดพลาดที่เกิดจากการหมุนเซอร์โวมอเตอร์ไปยังตำแหน่งเดียวกัน(จำนวนพัลส์เท่ากัน) หลายๆครั้งนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อให้มอเตอร์หมุนไปยังตำแหน่งที่ไกลมากขึ้น ค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้ก็จะมีค่ามากขึ้นด้วย จึงสรุปได้ว่าแนวโน้มหรือความสัมพันธ์ระหว่างเซอร์โวมอเตอร์กับตัวแปรที่ทำให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนได้คือ ค่าความคลาดเคลื่อนจะมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เมื่อมอเตอร์ต้องหมุนไปยังตำแหน่งที่ไกลขึ้นนั้นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองเมื่อมีการชดเชยความคลาดเคลื่อนเมื่อมอเตอร์หมุนในระยะใกล้

จากการทดลองในตอนที่ 4.2 จะเห็นว่าเมื่อมอเตอร์ต้องหมุนไปยังตำแหน่งที่ไกลขึ้น ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนั้นก็จะมีค่ามากขึ้นไปด้วย จึงทำการปรับแต่งและชดเชยค่าความผิดพลาดมอเตอร์เมื่อมอเตอร์หมุนในระยะใกล้(36 องศา หรือ 1 ช่องสินค้า) ให้มีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดหรือหมดไปด้วยวิธีการทางซอฟท์แวร์ แล้วให้มอเตอร์หมุนไปยังตำแหน่งสินค้าอื่นๆด้วยการควบคุมให้มอเตอร์หมุนในระยะใกล้(36 องศา หรือ 1 ช่องสินค้า) หลายๆครั้งติดต่อกันจนกว่าจะถึงตำแหน่งที่ต้องการ

4.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

5. เซอร์โวมอเตอร์ + วงจรขับมอเตอร์
6. โปรแกรมสำหรับทำการทดลอง
7. ตัวควบคุม (Microcontroller)
8. กระดาษแข็ง

4.3.2 ขั้นตอนในการทำการทดลอง

ทำการชดเชยค่าความคลาดเคลื่อนของมอเตอร์ด้วยวิธีการทางซอฟท์แวร์ โดยปรับแต่งเฉพาะในระยะที่มอเตอร์หมุนไปและกลับในหนึ่งช่องสินค้า ซึ่งค่าที่ปรับนั้นเป็นค่าความคลาดเคลื่อนซึ่งเกิดจาก Back Lash เมื่อต้องการให้มอเตอร์หมุนไปยังตำแหน่งอื่นของสินค้าก็จะควบคุมให้หมุนทีละหนึ่งช่องสินค้า เบรกมอเตอร์ หมุนต่ออีกหนึ่งช่องสินค้า และเบรกมอเตอร์สลับกันไปแบบนี้จนกว่ามอเตอร์จะถึงยังตำแหน่งที่ต้องการ โดยจะทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองในตอนที่ 4.1 และตอนที่ 4.2

ตารางที่ 4.3 บันทึกผลการทดลองที่ 4.3

36 Degree	Round #										Average
640 PPR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
FW	36.0	37.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	
ERROR(FW)	0.0	1.0	-1.0	-1.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.20
BW	0.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
ERROR(BW)	0.0	0.0	-1.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

72 Degree	Round #										Average
1280 PPR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
FW	72.0	73.0	72.0	72.0	72.0	72.0	72.0	72.0	72.0	72.0	
ERROR(FW)	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.10
BW	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
ERROR(BW)	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.10

108 Degree	Round #										Average
1920 PPR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
FW	108.0	108.0	108.0	108.0	108.0	108.0	108.0	108.0	108.0	108.0	
ERROR(FW)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
BW	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
ERROR(BW)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00

144 Degree	Round #										Average
2560 PPR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
FW	144.0	144.0	144.0	144.0	144.0	144.0	144.0	144.0	144.0	144.0	
ERROR(FW)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
BW	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
ERROR(BW)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00

180 Degree	Round #										Average
3200 PPR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
FW	180.0	179.0	179.0	179.0	180.0	180.0	180.0	179.0	180.0	180.0	
ERROR(FW)	0.0	-1.0	-2.0	-2.0	-1.0	0.0	-1.0	-2.0	-1.0	0.0	-1.00
BW	0.0	1.0	1.0	1.0	0.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	
ERROR(BW)	0.0	-2.0	-2.0	-2.0	0.0	-1.0	-1.0	-2.0	0.0	0.0	-1.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

216 Degree	Round #										Average
3840 PPR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
FW	216.0	215.0	216.0	216.0	216.0	216.0	217.0	217.0	217.0	217.0	
ERROR(FW)	0.0	-1.0	0.0	-1.0	0.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.30
BW	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
ERROR(BW)	0.0	-1.0	-1.0	0.0	-1.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.40

252 Degree	Round #										Average
4480 PPR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
FW	252.0	252.0	252.0	252.0	252.0	252.0	252.0	252.0	252.0	252.0	
ERROR(FW)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
BW	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
ERROR(BW)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00

288 Degree	Round #										Average
5120 PPR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
FW	288.0	288.0	288.0	288.0	288.0	288.0	288.0	288.0	288.0	288.0	
ERROR(FW)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
BW	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
ERROR(BW)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00

324 Degree	Round #										Average
5760 PPR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
FW	324.0	324.0	324.0	324.0	324.0	324.0	324.0	324.0	324.0	324.0	
ERROR(FW)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
BW	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
ERROR(BW)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

360 Degree	Round #										Average
6400 PPR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
FW	360.0	360.0	360.0	360.0	360.0	360.0	360.0	360.0	360.0	360.0	
ERROR(FW)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
BW	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
ERROR(BW)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00

540 Degree	Round #										Average
9600 PPR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
FW	540.0	538.0	539.0	539.0	540.0	540.0	540.0	539.0	540.0	540.0	
ERROR(FW)	0.0	-2.0	-2.0	-2.0	-1.0	-2.0	-1.0	-2.0	-1.0	0.0	-1.30
BW	0.0	1.0	1.0	1.0	2.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	
ERROR(BW)	0.0	-3.0	-2.0	-2.0	-2.0	-1.0	-1.0	-2.0	0.0	0.0	-1.30

720 Degree	Round #										Average
12800 PPR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
FW	720.0	721.0	720.0	720.0	720.0	720.0	720.0	720.0	720.0	720.0	
ERROR(FW)	0.0	1.0	0.0	-1.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.10
BW	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
ERROR(BW)	0.0	1.0	-1.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.10

4.3.3 สรุปผลการทดลอง

เมื่อวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้ จะเห็นว่าค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยมาก ซึ่งถ้านำมอเตอร์ไปต่อเพื่อใช้งาน ค่าความผิดพลาดนี้จะไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติฯ นั่นก็คือค่าความผิดพลาดที่ได้นี้เป็นค่าที่อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้นั้นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทวิจารณ์และสรุปผล

5.1 ปัญหาที่พบและแนวทางในการแก้ไข

ตารางที่ 5.1 แสดงปัญหาและแนวทางในการแก้ไข

ปัญหา	แนวทางแก้ไข
ขาพอร์ตของตัวควบคุม (Microcontroller) เนื่องจากตัวเครื่องมีส่วนประกอบที่ต้องการการรับ/ส่งลอจิก(I/O)ที่ขาพอร์ตหลายส่วน เช่น เซอร์โวมอเตอร์ มอเตอร์ชุดชกจอแสดงผล คีย์แพด(Key Pad) เป็นต้น ซึ่งทำให้ขาพอร์ตที่จะใช้งานไม่เพียงพอ	ทำการเปลี่ยนคีย์แพด(Key Pad) เป็นแบบปุ่มกดจำนวน 4 ปุ่ม ซึ่งเป็นการลดจำนวนการใช้งานของขาพอร์ตจากเดิมใช้ 8 ขา ลดลงเหลือเพียง 4 ขา แต่ยังคงใช้งานได้ดีเช่นเดียวกัน
เซอร์โวมอเตอร์มีค่าความคลาดเคลื่อน(Errors) ในเรื่องของตำแหน่ง เนื่องจากเซอร์โวมอเตอร์มีการทดรอบ 1:16 จึงทำให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนที่มาจาก Back Lash ทำให้ตำแหน่งที่หมุนนั้นไม่เป็นไปตามตำแหน่งจริงที่ต้องการไปเล็กน้อย แต่หากยังคงมีการใช้งานต่อไปเรื่อยๆ จะทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนมีการสะสมมากขึ้นจนทำให้ตัวเครื่องทำงานผิดพลาดได้	ทำการทดลองเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อน (Errors) ของเซอร์โวมอเตอร์เมื่อหมุนไป ณ. ตำแหน่งต่างๆ ที่ต้องการ แล้วนำค่าความคลาดเคลื่อนนั้นมาชดเชยให้กับเซอร์โวมอเตอร์ จนค่าความคลาดเคลื่อนนั้นเหลือน้อยลงหรือหมดไป
การเบรคเซอร์โวมอเตอร์ เนื่องจากเซอร์โวมอเตอร์มีความเร็วสูง ทำให้เมื่อควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์เบรคนั้น ไม่สามารถที่จะหยุดได้ทัน จึงเลยตำแหน่งที่แท้จริงไปมาก เมื่อแก้ไขโดยการทดรอบด้วยอัตราทด 1:16 ถึงแม้ว่าเซอร์โวมอเตอร์มีความเร็วต่ำลง แต่ก็ยังคงมีความเร็วที่ทำให้มอเตอร์หยุดไม่ตรงตำแหน่งที่ต้องการอยู่	ทำการติดตั้งเบรคให้กับเซอร์โวมอเตอร์ โดยเมื่อตัวควบคุมรับรู้ว่าเซอร์โวมอเตอร์หมุนไปถึงตำแหน่งที่ต้องการแล้ว ก็จะทำการเบรคที่เซอร์โวมอเตอร์ และสั่งให้เบรคที่ติดตั้งไว้กับเซอร์โวมอเตอร์ทำงานควบคู่กันไป ทำให้เซอร์โวมอเตอร์หยุดได้ทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 สรุปผล

เครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติฯนี้ได้สร้างขึ้นเพื่อการศึกษาระบบเซอร์โวมอเตอร์ โดยเป็นการควบคุมให้หมุนไปกลับและหยุดในตำแหน่งที่ต้องการ ซึ่งได้ใช้เซอร์โวมอเตอร์กระแสตรง (DC Servo Motor) ขนาด 12 โวลต์ ภายในยังประกอบด้วยเอนโคดเดอร์(Encoder) ซึ่งเป็นตัวป้อนกลับสัญญาณให้ตัวควบคุม (Microcontroller) เพื่อให้ทราบถึงตำแหน่งของเซอร์โวมอเตอร์ แต่ถึงอย่างนั้นยังเกิดความคลาดเคลื่อน(Error)ในตำแหน่งอยู่เนื่องมาจากตัวแปรภายนอก จากการทดลอง 3.1 เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน(Error)ของแต่ละตำแหน่งแล้วไม่เป็นในแนวทางเดียวกัน ไม่สามารถนำไปอ้างอิงเพื่อทำการชดเชยจากตัวควบคุม(Microcontroller)ได้ จึงตั้งสมมติฐานว่า Back lash อาจจะไม่ใช้ตัวแปรเพียงตัวเดียวที่ทำให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อน ความเร็วของเซอร์โวมอเตอร์ก็มีส่วนเช่นกันเพราะเนื่องจากความเร็วนี้ทำให้เซอร์โวมอเตอร์หยุดการทำงานในตำแหน่งที่ต้องการไม่ทัน จึงมีทำการปรับแต่งความเร็วของมอเตอร์ด้วยวิธีการทางซอร์ฟแวร์แล้วทดลองหาค่าความคลาดเคลื่อนอีกครั้ง ซึ่งผลที่ได้ออกมาทำให้สามารถนำค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อมอเตอร์หมุนในระยะใกล้ๆ มาชดเชยให้กับมอเตอร์ โดยเมื่อชดเชยแล้วทำการทดลองในลักษณะเดิมอีกครั้ง พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นนั้นมีค่าน้อยมาก ซึ่งค่านี้ไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติฯ นั่นก็คือค่าความผิดพลาดที่ได้นี้เป็นค่าที่อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ และเครื่องยังคงสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องแม่นยำนั่นเอง

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการค้นคว้าวิจัย

เครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติฯนี้เป็นเครื่องแบบพื้นฐานที่สามารถพัฒนาให้มีความซับซ้อนขึ้นได้ เช่น

การเพิ่มจำนวนชนิดของสินค้า เนื่องจากเครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติฯที่เราสร้างขึ้นนี้สามารถบรรจุสินค้าเพื่อให้ลูกค้าเลือกซื้อได้ 10 ชนิด หากต้องการให้เครื่องมีความหลากหลายในส่วนของชนิดสินค้า ก็สามารถเพิ่มชนิดของสินค้าให้มากขึ้นได้ โดยอาจจะเพิ่มชุดถาดของสินค้าแล้วนำมาซ้อนทับกันในแนวตั้งแล้วให้กลไกชุดชักสามารถเลื่อนขึ้นหรือลงได้ เพื่อไปยังตำแหน่งของชุดถาดสินค้าแต่ละชุดได้

การขยายพอร์ต โดยจากแนวทางแรกนั้นการเพิ่มจำนวนสินค้าหากมีสินค้าหลากหลายชนิดมากขึ้น เมื่อมีลูกค้ามาเลือกสินค้าหากเราใช้เพียงแค่เพียงสวิตช์ที่มีอยู่(4 ปุ่ม) อาจไม่เพียงพอหรือไม่สะดวกในการใช้งาน ควรเปลี่ยนจากสวิตช์เป็นคีย์แพด(Key pad) เพื่อให้เหมาะสมได้ แต่การใช้งานคีย์แพด(Key pad)นั้น จะต้องใช้ขาพอร์ต I/O ของตัวควบคุม(Microcontroller)จำนวน 3 ขา ซึ่งสำหรับตัวควบคุม dsPIC ที่มีขาจำนวน 23 ขานั้น มีการใช้งานขาพอร์ตกับอุปกรณ์อื่นๆอีกหลายชนิด ทำให้ไม่เพียงพอต่อการใช้งานคีย์แพด หากมีความจำเป็นจะต้องใช้เราสามารถขยายขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอร์ตของตัวควบคุมได้โดยใช้ไอซีขยายพอร์ตซึ่งเป็นการติดต่อกันระหว่างไอซี(I^2C) ทำให้ได้ขาพอร์ตเพิ่มขึ้นและนำไปใช้งานกับคีย์แพด(Key pad)หรืออุปกรณ์เพิ่มอื่นๆได้เช่นกัน

การสื่อสาร เนื่องจากการทำงานของเครื่องยังต้องมีผู้ดูแลตลอดเวลาในยามที่เครื่องมีปัญหาหรือสินค้าภายในชนิดใดชนิดหนึ่งหมด ทำให้ต้องมีการตรวจสอบตลอดเวลา เพื่อให้สะดวกมากยิ่งขึ้นและเป็นการรักษาประสิทธิภาพของเครื่องแล้ว อาจจะเพิ่มการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องจำหน่ายกับผู้ดูแลโดยตรง เมื่อเวลาที่เครื่องมีปัญหาขัดข้องหรือสินค้าหมดให้มีระบบการส่งข้อความ (SMS) ส่งไปยังผู้ดูแลให้ทราบได้โดยไม่ต้องเดินทางมาตรวจสอบบ่อยๆ ทำให้สามารถมาแก้ปัญหาหรือเติมสินค้าได้อย่างรวดเร็ว

จากตัวอย่างจะเห็นว่าการพัฒนาให้มีความซับซ้อนขึ้นนี้ไม่ว่าทางด้านโครงสร้างหรือโปรแกรมควบคุมภายในก็ตาม เป็นการช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการค้นคว้าวิจัยและสามารถนำเครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติฯไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] นคร กักดีชาติ และคณะ. **คู่มือการทดลองเบื้องต้น dsPIC Microcontroller.** กรุงเทพ. บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด. 2550

[2] นายปราโมทย์ แพทย์พันธ์. **"เครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติ."** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาตรบันฑิต สาขาวิชาระบบควบคุม บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2546.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมควบคุมการทำงาน

ซึ่งแสดงเกี่ยวกับโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติทั้งหมดตั้งแต่เมื่อเครื่องได้รับสัญญาณว่ามีการหยอดเหรียญ เครื่องก็จะเริ่มทำงานให้ผู้ใช้สามารถเลือกสินค้าจากปุ่มกด แสดงผล และควบคุมมอเตอร์ จนกระทั่งผู้ใช้ได้รับสินค้าที่ถูกต้อง

Main Program

```
#include<p30f2010.h>
#include<qei.h>
#include<pwm.h>
#include "C:\Documents and Settings\Administrator\My Documents\Mhai's Program\my lib\lcd_medspic.h"

_FOSC(CSW_FSCM_ON & XT_PLL4);          // Enable Clock Switching,Enable Fail-Salf Clock
_FWDT(WDT_OFF),                        // Disable Watchdog
_FBORPOR(PBOR_ON & BORV_45 & PWRT_64 & MCLR_EN);     // Enable Brown-Out = 4.5V,
                                Power ON = 64mS, Enable MCLR_FGS(CODE_PROT_OFF);

#define increase PORTEbits.RE5
#define decrease PORTEbits.RE8
#define enter PORTFbits.RF2
#define reset PORTFbits.RF3

#define PERIOD 0x0E65                  //2 KHz (13-bit Duty cycle Resolution)
#define motor1 LATBbits.LATB0
#define motor2 LATBbits.LATB1
#define push LATBbits.LATB2

#define forward_lack 210
#define backward_lack 360

char position=0,direction=0,step=0,step_up=0,step_down=0;

void _ISR _QEIInterrupt(void)
{
    POSCNT = 0;
    IFS2bits.QEIIF = 0;
}

void generate(char chanel,int pow,char direc)
{
    unsigned int dutycycle;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        if(direc==1)
        {
            motor1 = 1;
            motor2 = 0;
        }
        else
        {
            motor1 = 0;
            motor2 = 1;
        }
        dutycycle = pow*(0x1FFF/100) ;              // Keep dutycycle
        SetDCMCPWM(chanel,dutycycle,0);
}
void stop()
{
        motor1 = 0;
        motor2 = 0;
}
void pos_up()
{
        float error;
        unsigned int temp;
        char flag = 1;
        position++;
        if(direction==0)
        {
            POSCNT += forward_lack,
            direction = 1;
        }
        while(POSCNT!=(position*640))
        {
            error = (position*640.0f)-POSCNT;
            error = 50.0f*(error/640.0f);
            if(error<0)
            {
                error *= -1;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            flag = 0;
        }
        else
            flag = 1;
        temp = error;
        if(temp<50)
            temp = 50;
        generate(3,temp,flag); }
    stop();
}
void pos_down()
{
    float error;
    unsigned int temp,
    char flag=0;
    position--;
    if(direction==1)
    {
        POSCNT -= backward_lack;
        direction = 0;
    }
    while(POSCNT!=(position*640))
    {
        error = POSCNT - (position*640.0f);
        error = 50.0f*(error/640.0f),
        if(error<0)
        {
            error *= -1;
            flag = 1;
        }
        else
            flag = 0;
        temp = error;
        if(temp<50)
            temp = 50;
        generate(3,temp,flag);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        }
        stop();
}
void delay(unsigned long dly)
{
        while(dly--);
}
void qei_init(void)
{
        unsigned int config1;
        ADPCFG = 0xFFFF;
        ConfigIntQEI(QEI_INT_PRI_1 &QEI_INT_ENABLE);
        POSCNT = 0;
        config1 = (QEI_DIR_SEL_QEB&
                QEI_INT_CLK&
                QEI_INDEX_RESET_DISABLE&
                QEI_CLK_PRESCALE_1 &
                QEI_GATED_ACC_DISABLE&
                QEI_NORMAL_IO&
                QEI_INPUTS_NOSWAP&
                QEI_MODE_x4_MATCH&
                QEI_UP_COUNT&
                QEI_IDLE_CON);
        OpenQEI(config1,0);
}
void pwm_init()
{
        unsigned int config1;                   // Holds PWM configuration value
        unsigned int config2;                   // Holds the value be loaded into PWMCON1 register
        unsigned int config3;                   // Holds the value to configure the special event trigger
            //---------------------------- Configuration for FLTA control ----------------------------------//
        ConfigIntMCPWM(PWM_INT_DIS &
        PWM_FLTA_DIS_INT);
        SetMCPWMFaultA(PWM_OVA1H_INACTIVE &
                        PWM_OVA2H_INACTIVE &
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    PWM_OVA3H_INACTIVE &
                    PWM_FLTA_MODE_LATCH&
                    PWM_FLTA1_DIS&
                    PWM_FLTA2_DIS &
                    PWM_FLTA3_DIS);
        config1 = ( PWM_EN &                    // Enable PWM module
                    PWM_OP_SCALE1 &             // Output post scaler select 1:1
                    PWM_IPCLK_SCALE1 &          // Input prescaler select 1.1
                     PWM_MOD_FREE);             // PWM double update mode
        config2  = (PWM_MOD1_IND &              // 1th channel in Independent mode
                    PWM_MOD2_IND &              // 2th channel in Independent mode
                    PWM_MOD3_IND &
                    PWM_PDIS1L &
                    PWM_PDIS1H &
                    PWM_PDIS2L &
                    PWM_PDIS2H &
                    PWM_PEN3L &                 // L of channel 3 works as PWM
                    PWM_PDIS3H);
        config3 = (PWM_SEVOPS1 &                // Special event post scaler 1:1
                     PWM_OSYNC_PWM&             // over ride syncronised with PWM clk
                    PWM_UEN);                   // Update of PDCs and PTPER enabled
        OpenMCPWM(PERIOD,0x0,config1,config2,config3),      // Setup parameter for PWM module
}

'nt main(void)
{
        pwm_init();
        qei_init();
        lcd_init();
        TRISFbits.TRISF2 = 1;
        TRISFbits.TRISF3 = 1;
        TRISEbits.TRISE5 = 1;
        TRISEbits.TRISE8 = 1;
        TRISB = 0xF0;
        stop();
        lcd_text(line1," Welcome to US! ");
        lcd_text(line2,"  <<    >>  ");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
delay(1000000);

while (step==0|step==1|step==3)
{
    while(enter==1)
    {
        if(increase==0)
        {
            delay(100);
            if(increase==0)
            {
                if(step<9)
                {
                    step++;
                }
                else
                    step=0,
                while(increase==0);
            }
        }
        else if(decrease==0)
        {
            delay(100);
            if(decrease==0)
            {
                if(step>0)
                {
                    step--;
                }
                else
                    step=9;
                while(decrease==0);
            }
        }
        else if(reset==0)
        {
            delay(100);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                if(reset==0)
                        step=0;
            }
            lcd_text(line1," Pls Choose One ");
            lcd_text(line2,"  <<    >>  ");
            inttolcd(line2+7,step+1);
            delay(1000);
        }
        if (step==1 | step==3|)
        {
            step=0;
            lcd_text(line1,"  We're sorry.  "),
            lcd_text(line2," It's Sold Out. ");
            delay(2000000);
        }
}
lcd_text(line1," Waiting . . . .");
lcd_text(line2," . . . . . .");
step_up=step;
step_down=step;
while(step_up>0)
{
    pos_up();
    delay(100000);
    step_up--;
}
delay(1000000);
LATBbits.LATB2 = 1;
delay(1000000);
LATBbits.LATB2 = !LATBbits LATB2;
delay(1000000);
lcd_text(line1," It's yours !!! ");
lcd_text(line2," Thank You (*_*)");
while(step_down>0)
{
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            pos_down();
            delay(100000);
            step_down--;
        }
        while(1);
}
```

---

lcd_mcdspic.h

```
#define num_of_digit 32

#define line1 0x80
#define line2 0xC0

#define lcd_clear() lcd_command(0x01)
#define lcd_origin() lcd_command(0x02)
#define lcd_on() lcd_command(0x0F)
#define lcd_off() lcd_command(0x0B)

/*Pin Hardware*/                    // Data Pin = RE0-RE3
#define rs LATDbits.LATD0           // RD0 = RS
#define e LATDbits.LATD1            // RD1 = E

#define dly_cmd  2000
#define dly_int 10000

/*Function delay*/
void lcd_delay(unsigned int dly)
{
        while(dly--);
}

/*Function send command to LCD format 4 Bit*/
void lcd_command(unsigned char cmd)
{
        unsigned char temp;
        temp=(cmd&0xF0)>>4,
        rs=0;
        e=1;
        LATE=(LATE&0xF0)|temp;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        lcd_delay(dly_cmd);
        e=0;
        lcd_delay(dly_cmd);
        temp=cmd&0x0F;
        e=1;
        LATE=(LATE&0xF0)|temp;
        lcd_delay(dly_cmd);
        e=0;
        lcd_delay(dly_cmd);
}
/*Function send data to LCD format 4 Bit*/
void lcd_data(unsigned char dat)
{
        unsigned char temp,
        temp=(dat&0xF0)>>4,
        rs=1;
        e=1;
        LATE=(LATE&0xF0)|temp;
        lcd_delay(dly_cmd);
        e=0;
        lcd_delay(dly_cmd);
        temp=dat&0x0F;
        e=1;
        LATE=(LATE&0xF0)|temp;
        lcd_delay(dly_cmd);
        e=0;
        lcd_delay(dly_cmd);
}
/*Function show string message*/
void lcd_text(unsigned char line,char *p)
{
        lcd_origin();
        lcd_command(line);
        while(*p)
        {
                lcd_data(*p);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            p++;
        }
    }

    /*Function set intial format 4 Bit*/
    void lcd_init()                                    //Intial LCD 4bit
    {
        TRISEbits.TRISE0=0;
        TRISEbits.TRISE1=0;
        TRISEbits.TRISE2=0;
        TRISEbits.TRISE3=0;
        TRISDbits.TRISD0=0;
        TRISDbits.TRISD1=0;
        lcd_delay(dly_init);
        lcd_command(0x33);
        lcd_command(0x32);
        lcd_command(0x28);
        lcd_command(0x0C);
        lcd_command(0x01);
    }

    void ultoa(unsigned long value,char *string,unsigned char radix)
    {
        unsigned char index;
        char buffer[num_of_digit];
        index=num_of_digit;
        do
        {
            buffer[--index] = '0' + (value % radix);
            if(buffer[index] > '9')
            buffer[index] += 'A'-'9'-1;
            value /= radix;
        }
        while(value != 0);
        do
        {
            *string++ = buffer[index++];
        }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        while(index < num_of_digit);
        *string=0;
}

void ltoa(long value_l,char *string_l,unsigned char radix_l)
{
        if(value_l < 0 && radix_l == 10)
        {
                *string_l++ = '-';
                ultoa(-value_l,string_l,radix_l);
        }
        else
        {
                ultoa(value_l,string_l,radix_l);
        }
}

void inttolcd(unsigned char posi,long value)
{
        char buff[12];
        ultoa(value,&buff[0],10);
        lcd_text(posi,&buff[0]);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้