สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์ ระบบควบคุมตำแหน่ง

CONTROL POSITION SYSTEM

ชื่อนักศึกษา

1. นายชัชวาล	สมานสุข	รหัส 39031407
2. นายชัยวัฒน์	ก่อเกียรติงาม	รหัส 39031410
3. นายปวนิตย์	ใจสุข	รหัส 39031420
4. นายวิชช์ธวัช	ทวิชศรี	รหัส 39031423

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชา อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

1. อาจารย์ วรวิทย์ สมหา
2. อาจารย์ ไพบูลย์ พวงวงศ์ตระกูล
3. อาจารย์ สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี

T030120

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์	ลายมือชื่อ
1. อาจารย์ วรวิทย์ สมหา	
2. อาจารย์ อำพล ทองระอา	
3. อาจารย์ สุชิน อาจหาญ	
4. อาจารย์ กิติพงค์ มะโน	
5. อาจารย์ ปิยะ จิตธรรมมาภิรมย์	

วันเดือนปีที่สอบ วันที่ 12 ธันวาคม 2540 เวลา 16.30-17.30 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.301 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์รับรองแล้ว

.....

(ผศ.ดร. ระพีพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 30120
วัน, เดือน, ปี 8 ส.ค. 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

ระบบควบคุมตำแหน่ง

CONTROL POSITION SYSTEM

นายชัชวาล สมานสุข

นายชัยวัฒน์ ก่อเกียรติงาม

นายปวนิตย์ ใจสุข

นายวิชช์ธวัช ทวิชศรี

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง ระบบควบคุมตำแหน่ง

CONTROL POSITION SYSTEM

ผู้จัดทำ

1. นายชัชวาล สมานสุข
2. นายชัยวัฒน์ ก่อเกียรติงาม
3. นายปวนิตย์ ใจสุข
4. นายวิชช์ธวัช ทวิชศรี

อาจารย์ที่ปรึกษา

ลงนาม.....

(อาจารย์วรวิทย์ สมหา)

ลงนาม.....

(อาจารย์ไพบูลย์ พวงวงศ์ตระกูล)

ลงนาม.....

(อาจารย์สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

ลงนาม.....

(ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง ระบบควบคุมตำแหน่ง

CONTROL POSITION SYSTEM

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ
2. เพื่อออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ
3. เพื่อสร้างเครื่องควบคุมตำแหน่ง
4. เพื่อนำเครื่องควบคุมตำแหน่งมาใช้ในการศึกษาการทำงาน
5. เพื่อแก้ปัญหาของความคลาดเคลื่อนจากการวัดของมนุษย์
6. เพื่อการทำงานที่มีประสิทธิภาพในการวัดมากขึ้น

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้ความเข้าใจในหลักการทำงานของมอเตอร์กระแสไฟฟ้าสลับ
2. ได้วงจรและโปรแกรมที่ใช้ในการสร้างเครื่องควบคุมตำแหน่ง
3. ได้เครื่องต้นแบบของเครื่องควบคุมตำแหน่งโดยใช้ มอเตอร์กระแสไฟฟ้าสลับ
4. นำเครื่องควบคุมตำแหน่งไปใช้งานจริงร่วมกับเครื่องตัดหรือเครื่องพับได้
5. สามารถควบคุมตำแหน่งของการวัดได้อย่างแม่นยำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุมตำแหน่ง

นายชัชวาล สมานสุข
นายชัยวัฒน์ ก่อเกียรติงาม
นายปวนิตย์ ใจสุข
นายวิชช์ธวัช ทวิชศรี

อาจารย์ที่ปรึกษา
อาจารย์วรวิทย์ สมหา
อาจารย์ไพบูลย์ พวงวงศ์ตระกูล
อาจารย์สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี

ปีการศึกษา 2540

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอระบบควบคุมตำแหน่ง โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับเป็นตัวขับเคลื่อนตัวแสดงระยะทางและตำแหน่ง ซึ่งถูกควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 สัญญาณที่ส่งมาควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS 51 จะถูกแปลงเป็นแอนาลอกเพื่อควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับโดยผ่านคอนเวอร์เตอร์ และระยะทางที่เคลื่อนที่ไปได้จะมีเอนโคดเดอร์เป็นตัวนับพร้อมส่งค่ากับไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อที่จะควบคุมการทำงานต่อไปซึ่งมอเตอร์จะขับเคลื่อนบนระบบกลไกเพื่อใช้ในการวัดระยะทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONTROL POSITION SYSTEM

MR.CHATCHAWAN SAMANSUK
MR.CHAIWAT KORKIATNGAM
MR.PAWANIT JAISUK
MR.WICHTAWACH TAWICHSRI

ADVISORS

MR.WORAWIT SOMHA
MR.PAIBOON PONGOWONGTRAGULL
MR.SURAPONG SIRIPONGDEE

1997

ABSTRACT

This thesis presents the project of control position system which AC motor is used as a driver, distance and position is controled by microcontroller series MCS-51. The signal is send to control alternative current motor of microcontroller series MCS-51 will be converted to analog signal to control alternative current motor through convector, and distance to move has encoder ready to a result back to it for controlling Continue. The motor will drived machine system use for measure distance.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี เนื่องมาจากความอนุเคราะห์ของอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ และอาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมทุกท่านที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา, ข้อเสนอแนะ แนวทางในการแก้ปัญหา

ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จของโครงการนี้ ซึ่งได้คอยสนับสนุนและให้กำลังใจเป็นอย่างมาก ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ ความช่วยเหลือในการจัดทำโครงงานนี้จนสำเร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญภาพ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปริญญานิพนธ์	1
1.2 ขีดความสามารถของโครงงาน	1
1.3 เนื้อหาโดยสังเขป	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 กล่าวนำ	3
2.2 มอเตอร์เอซี	3
2.2.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำ	3
2.2.2 ซิงโครนัสรีลัคแตนซ์มอเตอร์	9
2.3 การควบคุมมอเตอร์เอซี	11
2.3.1 การควบคุมมอเตอร์เอซีด้วยไธริสเตอร์	11
2.3.2 การควบคุมมอเตอร์เอซีด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีโดยอาศัยอินเวอร์เตอร์	11
2.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับกลไก	17
2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์	30
2.5.1 MCS-51	30
บทที่ 3 การออกแบบการสร้างและการทำงาน	38
3.1 กล่าวนำ	38
3.2 คุณสมบัติ	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.2.1คุณสมบัติของฮาร์ดแวร์	38
3.2.2 คุณสมบัติของ Software และวงจรอิเล็กทรอนิกส์	39
3.3 ส่วนประกอบของโครงสร้างเบื้องต้น	39
3.4 การออกแบบโครงสร้าง	40
3.4.1 ชิ้นส่วนของโครงสร้าง	40
3.4.2 หลักการทำงาน	41
3.5 การออกแบบวงจร	41
3.5.1 การออกแบบชุด Driver AC Motor	41
3.5.2 ชุดคอนโทรล Driver	42
3.5.3 ชุดการทำงานวงจร D/A	42
3.5.4 การออกแบบชุด Power Supply	43
บทที่ 4 ผลการทดลอง	45
4.1 กล่าวนำ	45
4.2 ขั้นตอนการทดลอง	45
4.2.1 ชุดทดสอบของ Bearing และ Shaft	45
4.2.2 ทดสอบการเคลื่อนที่ของยอย	45
4.2.3 ทดสอบการเคลื่อนที่ของยอยเมื่อใส่เหล็กโครงสร้าง	46
4.2.4 ทดสอบชุดเฟือง	46
4.2.5 ทดลองชุดการ Scan Key	46
4.2.6 การทดลองการส่งสัญญาณออกทาง O/P PORT 8255	46
4.2.7 ทดลองการรับสัญญาณจาก Encoder	47
4.2.8 การทดลองประกอบครบชุดของชุดโปรแกรมการ Scan Key ชุดโปรแกรม O/P PORT 8255 และการรับพัลส์จาก Encoder	47
บทที่ 5 บทสรุปปัญหาแนวทางการแก้ไขและพัฒนา	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
5.1 กล่าวนำ	48
5.2 ปัญหาที่พบ	48
5.2.1 ส่วนที่เกิดขึ้นจาก Hardware	48
5.2.2 ส่วนที่เกิดขึ้นจาก Software	50
ภาคผนวก ก รูปต้นแบบ	51
ภาคผนวก ข วงจร	55
ภาคผนวก ค วงจร ผังการทำงานและโปรแกรมการทำงาน	58
ภาคผนวก ง คู่มือการใช้งานและคุณสมบัติของอุปกรณ์	81
บรรณานุกรม	86
ประวัติผู้แต่ง	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 ลักษณะสมบัติของวงจรอินเวอร์เตอร์ลักษณะต่าง ๆ	14
ตารางที่ 2.2 ขนาดของเฟืองมาตรฐาน	22
ตารางที่ 2.3 มาตรฐานของฟันเฟือง	26
ตารางที่ 2.4 ตารางรายละเอียดของตระกูล MCS - 51	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปภาพ		หน้า
รูปที่ 2.1	แรงดันเลี้ยงวงจรรูปคลื่นซายน์	5
รูปที่ 2.2	เส้นโค้งลักษณะสมบัติระหว่างแรงหมุนกับอัตราเร็ว	8
รูปที่ 2.3	รูปโครงสร้างง่ายของรีลักแตนซ์มอเตอร์	9
รูปที่ 2.4	รูปลักษณะวงจรอินเวอร์เตอร์ 6 แบบ	13
รูปที่ 2.5	วงจรอินเวอร์เตอร์ชั้น ก	15
รูปที่ 2.6	วงจรอินเวอร์เตอร์ชั้น ข	16
รูปที่ 2.7	วงจรอินเวอร์เตอร์ชั้น ค	17
รูปที่ 2.8	การหมุนของล้อเสียดทาน	18
รูปที่ 2.9	ฟันเฟืองถูกเพิ่มเข้าไปบนล้อเสียดทาน	19
รูปที่ 2.10	การสร้างส่วนโครงอินโวลุท	19
รูปที่ 2.11	ลักษณะของเฟืองตรง	20
รูปที่ 2.12	วงกลมฐานเส้นกระทำและแนวของอินโวลุท	24
รูปที่ 2.13	เส้นกระทำและมุมกด	24
รูปที่ 2.14	แนวขบกันได้	25
รูปที่ 2.15	การวิเคราะห์ของ Lewis	27
รูปที่ 2.16	โครงสร้างของสถาปัตยกรรมภายในของ MCS - 51	33
รูปที่ 3.1	ผังการทำงาน	38
รูปที่ 3.2	โครงร่าง	39
รูปที่ 3.3	แกนเกลียว	40
รูปที่ 3.4	Yoy and Place Back Gauge	41
รูปที่ 3.5	วงจร D/A	43
รูปที่ 3.6	วงจร Power Supply 5V	44
รูปที่ 3.7	วงจร Power Supply ±12V	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ปัจจุบันในโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ต้องการเครื่องมือเครื่องใช้ที่จะช่วยอำนวยความสะดวก ให้แก่ผู้ประกอบการซึ่งเครื่องมือเครื่องใช้นี้จะต้องมีประสิทธิภาพ มีความถูกต้อง และมีความเชื่อถือได้ ซึ่งเป็นจุดประสงค์หลักที่ผู้ประกอบการต้องการมีไว้ในเครื่องมือเครื่องใช้ทุก ๆ อย่าง ซึ่งในการทำงานเกี่ยวกับเรื่องการวัดนี้ยังใช้ระบบการวัดโดยใช้บุคลากรเป็นผู้วัดซึ่งเมื่อต้องการงานที่ใช้ในการวัดเป็นจำนวนมาก ๆ จะทำให้เกิดการผิดพลาดอันเกิดจากบุคลากรนั้นได้ง่ายและมีโอกาสในการผิดพลาดค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงได้ริเริ่มโครงงานเพื่อแก้ปัญหาในจุดดังกล่าวจึงได้เครื่องมือที่ช่วยในการวัดระยะและควบคุมตำแหน่งเพื่อช่วยอำนวยความสะดวก และช่วยแก้ปัญหาอันเกิดจากการใช้บุคลากร

1.2 ขีดความสามารถของโครงงาน

1. แสดงผลและควบคุมการทำงานโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์
2. สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับเครื่องที่ต้องการวัดระยะทางที่แน่นอน
3. มีความผิดพลาดในการวัด 0.1 ซ.ม.

1.3 เนื้อหาโดยสังเขป

เนื้อหาภายในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งออกเป็นบทต่าง ๆ เพื่อความสะดวกต่อการศึกษาและทำความเข้าใจ ในแต่ละบทจะประกอบด้วยเนื้อหาที่สำคัญดังนี้

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ ประกอบด้วยเนื้อหาในทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งทำให้ผู้อ่านได้มีความรู้ความเข้าใจที่เป็นพื้นฐานเสียก่อน อันจะเป็นประโยชน์ต่อการทำความเข้าใจกับวงจรที่ใช้งานจริงต่อไป

บทที่ 3 การออกแบบการสร้างและการทำงาน โดยกล่าวถึงการสร้าง และการออกแบบฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ รวมทั้งหลักการทำงานในส่วนต่าง ๆ ซึ่งจะทำให้ผู้อ่านมีความเข้าใจการทำงานโดยรวมของโครงงานนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลองกล่าวถึงขั้นตอนการทดลอง และการทดสอบประสิทธิภาพในการทำงานของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ของโครงงานนี้ เพื่อตรวจสอบว่าโครงงานนี้สามารถทำงานได้ตรงตามวัตถุประสงค์หรือไม่

บทที่ 5 บทสรุปปัญหาแนวทางแก้ไขและพัฒนาเป็นการสรุปผลการทำงาน และได้เสนอแนะแนวทางในการแก้ไข และแนวทางในการพัฒนา ให้มีประสิทธิภาพ และการใช้งานได้อย่างกว้างขวางมากขึ้น

ในภาคผนวกแสดงรายละเอียดของโปรแกรม และรายการอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้จัดทำโครงงานดังนี้

ภาคผนวก ก รูปต้นแบบ

ภาคผนวก ข วงจร

ภาคผนวก ค ผังการทำงาน และโปรแกรมการทำงาน

ภาคผนวก ง คู่มือการใช้งาน และคุณสมบัติของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 กล่าวนำ

เนื้อหาของปริญญานิพนธ์ในบทนี้เป็นทฤษฎีและหลักการที่นำมาใช้ประกอบการสร้างโครงงาน โดยประกอบด้วย มอเตอร์เอซี การควบคุมมอเตอร์เอซี ทฤษฎีเกี่ยวกับกลไกไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะได้กล่าวดังต่อไปนี้

2.2 มอเตอร์เอซี

มอเตอร์ขนาดเล็กหมายถึงมอเตอร์ที่มีกำลังขาออกน้อยกว่า 1 แรงม้า (หรือ 746 W) บางกรณีอาจเป็นมอเตอร์ที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 แรงม้า ก็ได้ มอเตอร์ขนาดเล็กนี้ใช้งานกับเครื่องมือกลไฟฟ้า เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์สำนักงานส่วนใหญ่ มอเตอร์ไฟสลับขนาดเล็กมักจะออกแบบให้ใช้กับไฟ 1 เฟส

มอเตอร์ที่ได้รับความนิยมใช้มากในอุตสาหกรรมจะเป็นมอเตอร์เอซีชนิดเหนี่ยวนำแบบกระรอก (squirrel-cage induction motor) และมอเตอร์ที่ได้รับความนิยมรองลงไปคือมอเตอร์ชนิดรีลัคแตนซ์ (reluctance motor) มอเตอร์ทั้งสองมีคุณสมบัติร่วมกันอย่างหนึ่งที่สามารถปรับเปลี่ยนอัตราเร็วได้ด้วยการเปลี่ยนความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าเอซี ซึ่งเมื่อเรากล่าวถึงมอเตอร์เอซีเราจะหมายความถึงมอเตอร์สองชนิดนี้

2.2.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำ

มอเตอร์เหนี่ยวนำมีส่วนอยู่นิ่ง (stator) และส่วนหมุน (rotor) คล้ายมอเตอร์ทั่ว ๆ ไป โดยส่วนอยู่นิ่งมีขดลวดพันไว้และจัดให้เป็นแบบสองเฟสหรือสามเฟสตามแต่จะออกแบบไว้ ซึ่งไม่ต้องการวงแหวนสลิป (slip-ring) (commutator) จึงสามารถสร้างได้ง่าย มีโครงสร้างแข็งแรงทนทาน บึกบึนต่อการใช้งานและมีราคาถูก ส่วนหมุนอาจเป็นแบบใช้ลวดพันหรือแบบกรงกระรอก ถ้าหากมอเตอร์เป็นแบบสองเฟส ส่วนหมุนมักจะเป็นแบบกรงกระรอก ส่วนหมุนทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กที่มีค่าคงที่ขึ้นในช่องอากาศ (air-gap) ระหว่างส่วนอยู่นิ่งกับส่วนหมุน และหมุนด้วยอัตราเร็วซิงโครนัส (synchronous)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\omega_s = \frac{120f}{P} \qquad \text{รอบต่อนาที}$$

$$= 4\pi\frac{f}{P} \qquad \text{เรเดียนต่อวินาที} \qquad (2.1)$$

เมื่อ ω_S เป็นอัตราเร็วซิงโครนัสของสนามแม่เหล็ก

f เป็นค่าความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าเอซี

P เป็นจำนวนโปลที่เกิดขึ้นจากการพันขดลวดบนสวนอยู่นิ่ง

โดยการพิจารณาสมการที่ (2.1) เราสามารถเปลี่ยนอัตราเร็วของมอเตอร์เอซีได้ด้วยการเปลี่ยนค่าความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าเอซีและการเปลี่ยนจำนวนโปล

ในการควบคุมอัตราความเร็วของมอเตอร์เอซีด้วยการเปลี่ยนค่าความถี่จะเป็นผลทำให้สนามแม่เหล็กหรือฟลักซ์ (flux) แม่เหล็กเปลี่ยนค่าไปตามสมการ

$$V = k\,\phi\,f \qquad (2.2)$$

เมื่อ V เป็นค่าแรงดันอาร์เอ็มเอสป้อนเข้าที่ขั้วของมอเตอร์

k เป็นค่าคงที่ซึ่งมีค่าขึ้นอยู่กับตัวประกอบรูปแบบ (form factor) ตัวประกอบขดลวด (winding factor) และจำนวนรอบของขดลวดที่พันไว้ในมอเตอร์

ϕ เป็นค่าฟลักซ์สูงสุดต่อหนึ่งโปลของมอเตอร์

ตามปกติมอเตอร์จะถูกออกแบบให้ฟลักซ์มีค่าอยู่ตรงส่วนเข้าโค้งของเส้นโค้งลักษณะสมบัติของการทำให้เป็นแม่เหล็ก (magnetization curve) ซึ่งถ้าเราลดความถี่ลง ฟลักซ์จะมีค่าสูงขึ้นและเข้าไปอยู่ในอาณาบริเวณอิ่มตัว ทำให้มีกำลังสูญในเหล็ก (iron losses) มีค่ามากขึ้น ทำให้มอเตอร์กินกระแสเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีกำลังสูญในทองแดง (copper losses) เพิ่มค่ามากขึ้น เป็นผลทำให้ประสิทธิภาพของมอเตอร์ลดต่ำลง ดังนั้นเราต้องลดค่าแรงดันให้เป็นสัดส่วนกับความถี่ที่ลดลง เพื่อให้ฟลักซ์ยังคงมีค่าอยู่ตรงส่วนเข้าโค้งของเส้นโค้งของการทำให้เป็นแม่เหล็ก กลับกันกับข้อความที่กล่าวข้างบน ถ้าเราเพิ่มความถี่ให้สูงขึ้น จะทำให้ฟลักซ์ลดค่าลงและเป็นผลทำให้มอเตอร์มีแรงหมุนลดลงด้วย ดังนั้นเราต้องเพิ่มแรงดันให้มีค่าสูงขึ้น เพื่อให้ฟลักซ์และแรงหมุนมีค่าคงเดิม ซึ่งข้อความนี้เท่ากับมีความหมายว่า เพื่อรักษาให้ฟลักซ์มีค่าคงที่เราต้องปรับค่าแรงดันให้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความถี่ หรือรักษาอัตราส่วนแรงดันต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

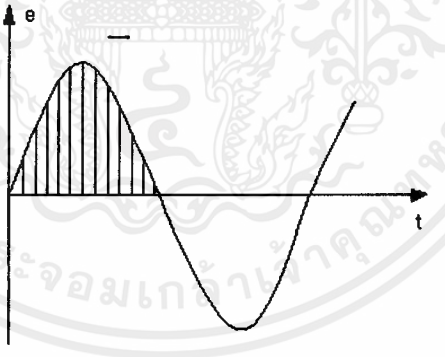
ความถี่ให้คงที่ วิธีการแบบนี้เรียกว่า "วิธีปฏิบัติการแรงดันต่อ Hz คงที่" หรือ "วิธีโวลต์ต่อเฮิรตซ์คงที่"โดยการอินทิเกรตกฎของ Faraday

$$e = -\frac{d\phi}{dt} \tag{2.3}$$

เราจะได้

$$|\phi| = \int e\,dt \tag{2.4}$$

สมการนี้แสดงว่า พื้นที่ใต้เส้นโค้งรูปคลื่นแรงดันที่ได้เขียนเส้นแรเงาไว้ดังแสดงในรูปที่ 2.1 เป็นค่าฟลักซ์แม่เหล็กรวม ทำให้เราสรุปได้ว่า "ไม่ว่าความถี่จะมีค่าเท่าไรขอให้เพียงแต่พื้นที่ใต้เส้นโค้งแรงดันไฟฟ้ามีค่าคงที่อยู่เสมอแล้วมอเตอร์เหนี่ยวนำจะสามารถทำงานที่แรงหมุนสูงเหมาะสมที่สุด" ซึ่งเท่ากับมีความหมายว่า "โวลต์ต่อเฮิรตซ์มีค่าคงที่"



รูปที่ 2.1 แรงดันเลี้ยงวงจรรูปคลื่นซายน์

ในกรณีที่ความต้านทานของขดลวดของมอเตอร์มีค่าน้อยมากสามารถตัดทิ้งได้ ศักย์ตกคร่อมความต้านทานของขดลวดจะมีค่าเท่ากับศูนย์โดยประมาณ แรงดันเอซีที่ป้อนเข้ามอเตอร์จะมีค่าเท่ากับแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในมอเตอร์โดยการเหนี่ยวนำ แต่ในกรณีที่ความต้านทานของขดลวดมีค่าใหญ่ก็จะมีศักย์ตกคร่อมขดลวดมีค่าใหญ่กว่ากว่าศูนย์ และถ้าความถี่มีค่าลดต่ำลงด้วย ศักย์ตกคร่อมขดลวดจะมีขนาดใหญ่ขึ้นมากสามารถเปรียบเทียบกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุไปทำให้ฟลักซ์ในช่องอากาศมีค่าลดลงและเป็นผลทำให้มอเตอร์มีแรงหมุนลดลงด้วย ดังนั้นในปฏิบัติสำหรับความถี่ที่ต่ำกว่า 20 Hz โดยประมาณแล้ว เราต้องรักษาแรงหมุนที่อัตราเร็วต่ำไว้ให้ดีด้วยการเพิ่มค่า "โวลต์ต่อเฮิรตซ์" ให้มีค่าสูงกว่าปกติ

ขณะมอเตอร์หมุนด้วยอัตราเร็ว ω ตามปกติ มอเตอร์จะหมุนเร็วช้ากว่าอัตราเร็วซิงโครนัส ω_s เพียงเล็กน้อยเป็นผลให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในส่วนหมุนของมอเตอร์มีความถี่เท่ากับ

$$f_2 = sf \tag{2.5}$$

เมื่อ f_2 เป็นความถี่ขอแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในส่วนของมอเตอร์

f เป็นความถี่ของแรงดันไฟฟ้าเลี้ยงวงจร (ซึ่งมีค่า $=\frac{\omega_s}{2\pi}$)

s เป็นค่าสลิป (slip) ซึ่งมีค่าตามสูตร

$$s = \frac{f_2}{f} = \frac{(\omega_s - \omega)}{\omega} \tag{2.6}$$

เมื่อมอเตอร์ กระแสในส่วนหมุน I_2 จะมีเพสตามหลังแรงเคลื่อนไฟฟ้าในส่วนหมุนด้วยมุมเฟส θ_2 ซึ่งมอเตอร์นี้มีแรงหมุนเป็นสัดส่วนกับกระแสองค์ประกอบของส่วนที่มีเฟสทับกันในส่วนหมุน และแรงหมุนนี้ยังมีค่าเป็นสัดส่วนกับฟลักซ์ในช่องอากาศ ϕ ดังนั้นโดยทั่ว ๆ ไป เราจะเขียนสมการของแรงหมุนได้ว่า

$$T = K\phi I_2 \cos\theta_2 \tag{2.7}$$

เมื่อ K เป็นตัวสัดส่วนคงที่

เมื่อสมมติว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำมีแรงดันและกระแสเป็นรูปคลื่นซายน์และความต้านทานของส่วนหมุนมีค่าคงที่กำลังไฟฟ้าที่ส่งข้ามช่องอากาศจากส่วนอยู่นิ่งเข้าไปสู่ส่วนหมุนมีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_{ag} = \frac{m_1 I_2^2 r_2}{s} \tag{2.8}$$

เมื่อ P_{ag} เป็นค่ากำลังไฟฟ้าที่ส่งข้ามช่องอากาศจากส่วนอยู่นิ่งเข้าไปสู่ส่วนหมุน

m_1 เป็นจำนวนเฟสของส่วนอยู่นิ่ง

I_2 เป็นกระแสในส่วนหมุน

r_2 เป็นค่าความต้านทานในส่วนหมุน

กำลังสูญในทองแดงของส่วนหมุนมีค่า

$$P_2 = m_1 I_2^2 r_2 = sP_{ag} = sT\omega_s \tag{2.9}$$

เมื่อ P_2 เป็นกำลังสูญในทองแดงของส่วนหมุนหรือกำลังสลิป (slip power)

T เป็นแรงหมุนที่เกิดขึ้นภายในมอเตอร์

เพราะฉะนั้น กำลังเอาต์พุตเชิงกลที่เกิดขึ้นภายในมอเตอร์เหนี่ยวนำ มีค่า

$$P_{mech} = P_{ag} - p_2 = \frac{m_1 I_2^2 r_2}{s} - m_1 I_2^2 r_2 = m_1 I_2^2 r_2 \frac{(1-s)}{s} \tag{2.10(ก)}$$

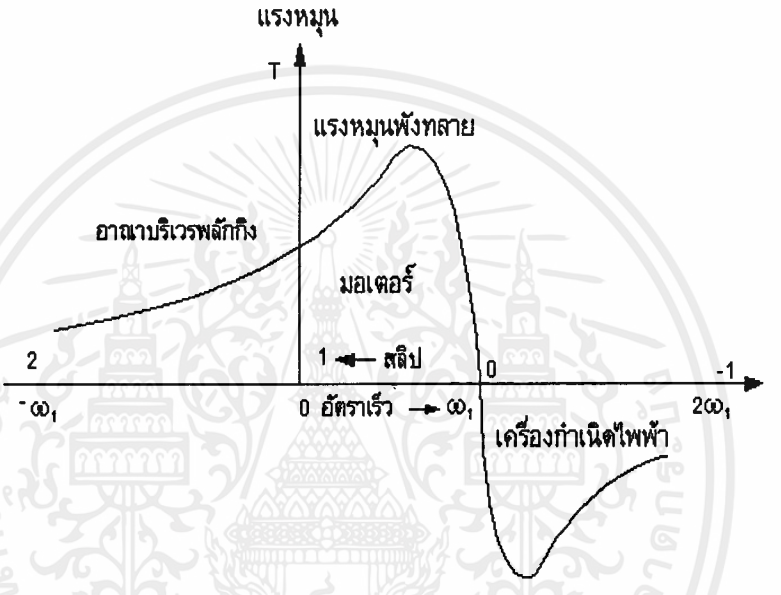
$$= (1-s)p_{ag} = (1-s)T\omega_s \tag{2.10(ข)}$$

เมื่อ P_{mech} เป็นกำลังเอาต์พุตเชิงกลที่เกิดขึ้นภายในมอเตอร์เหนี่ยวนำ

เราจะเห็นได้ว่า กำลังไฟฟ้ารวมทั้งหมดที่ส่งเข้าสู่ส่วนหมุนจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกมีค่า (1 - s) จะเปลี่ยนรูปเป็นกำลังเชิงกล ส่วนที่สองมีค่า s จะเป็นกำลังสูญในทองแดง ดังนั้น ถ้าเราเพิ่มค่าความต้านทานของส่วนหมุนให้ใหญ่ขึ้นจะทำให้มอเตอร์มีกำลังสูญมากขึ้นและมีสลิปมากขึ้น (คือมีอัตราเร็วต่ำลง) เป็นผลให้มอเตอร์มีประสิทธิภาพเลวลง เพราะฉะนั้นการปรับอัตราเร็วโดยวิธีปรับค่าความต้านทานของส่วนหมุนจึงเป็นการไม่ประหยัด (ยกเว้นกรณีที่อัตราเร็วอยู่ในพิสัยต่ำกว่าอัตราเร็วซิงโครนัสเล็กน้อย) เราอาจปรับปรุงให้มอเตอร์กลับมีประสิทธิภาพดีขึ้นได้โดยการนำเอากำลังสลิป sP_{ag} ส่งกลับคืนไปสู่วงจรไฟฟ้าเอซีเลี้ยงวงจร หรือนำไปใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์ช่วยซึ่งคัพปลิง (coupling) ต่อติดกับเพลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยตรง เราเรียกวิธีการนี้ว่า "วิธีการเข้าต่อเรียง" (cascade connection)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.2 แสดงเส้นโค้งลักษณะสมบัติระหว่างแรงหมุนกับอัตราเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะกำลังทำงานด้วยแรงดันคงที่จากแหล่งจ่ายไฟฟ้าเอซีที่มีความถี่คงที่ ตรงจุดที่ให้แรงหมุนมีค่าสูงสุดเรียกว่า "แรงหมุนพังทลาย" (breakdown torque) และค่าความถี่ของส่วนหมุนตรงจุดพังทลาย เรียกว่า "ความถี่พังทลายของส่วนหมุน" ถ้าแรงหมุนภาระมีค่าใหญ่เกิดกว่าค่าแรงหมุนสูงสุดจะทำให้มอเตอร์มีอัตราเร็วลดต่ำลงจนกระทั่งหยุดนิ่ง



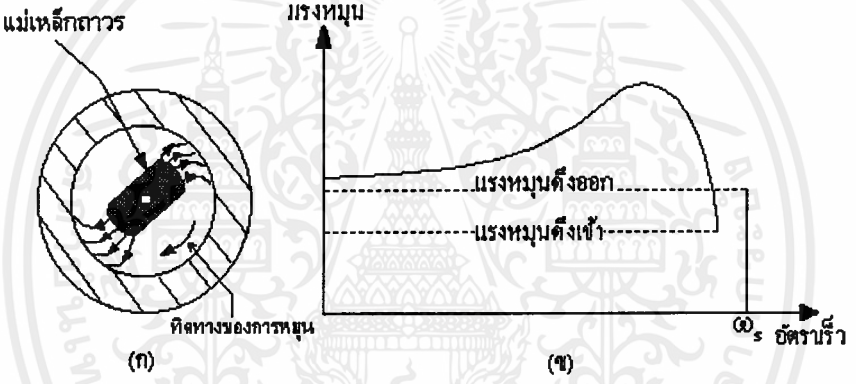
รูปที่ 2.2 เส้นโค้งลักษณะสมบัติระหว่างแรงหมุนกับอัตราเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

โดยทั่ว ๆ ไปถ้าให้มอเตอร์เหนี่ยวนำทำงานโดยมีความถี่สูงในส่วนหมุนที่ไม่เกิดความถี่พังทลาย มอเตอร์เหนี่ยวนำจะทำงานด้วยประสิทธิภาพสูง แต่ถ้าให้มอเตอร์ทำงานพ้นเกินจากจุดพังทลาย มอเตอร์จะกินกระแสสูง ตัวประกอบกำลังมีค่าต่ำ และแรงหมุนต่อแอมแปร์มีค่าต่ำ เป็นผลให้ประสิทธิภาพมีค่าต่ำมาก ซึ่งเราอาจแก้ไขได้ด้วยการใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำทำงานด้วยระบบป้อนกลับวงปิด (closed-loop feedback system) โดยวิธีการนี้เราสามารถควบคุมความถี่ของส่วนหมุนให้มีค่าต่ำกว่าความถี่พังทลายอยู่เสมอได้ เป็นผลให้มอเตอร์เหนี่ยวนำที่ทำงานแบบนี้มีลักษณะสมบัติของการควบคุมอัตราเร็วและผลตอบสนองชั่วครู่มีคุณสมบัติดีกว่าลักษณะสมบัติของมอเตอร์ดีซีที่ทำงานแบบระบบของ Ward-Leonard หรือที่ป้อนด้วยแรงดันจากคอนเวอร์เตอร์อิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2ซิงโครนัสรีลัคแตนซ์มอเตอร์

ซิงโครนัสรีลัคแตนซ์มอเตอร์ (synchronous reluctance motor) มีส่วนอยู่นิ่งคล้ายของมอเตอร์เหนี่ยวนำหรือของซิงโครนัสมอเตอร์แต่มีส่วนหมุนเป็นแม่เหล็กถาวรมีรูปร่างเป็นโปลยื่นเด่นดังแสดงในรูปที่ 2.3 (ก) เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าสามเฟสบนส่วนอยู่นิ่งจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหมุนด้วยอัตราเร็วซิงโครนัส ส่วนหมุนซึ่งเป็นแม่เหล็กถาวรจะพยายามเรียงตัวของมันเองให้กับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแล้วหมุนไปกับสนามแม่เหล็ก (reluctance) มีค่าน้อยที่สุดอยู่เสมอ ส่วนหมุนนี้มีขดลวดแบบกรงกระรอกประกอบขึ้นอีกก็จะช่วยให้มอเตอร์แบบนี้สตาร์ตด้วยหลักการของมอเตอร์เหนี่ยวนำ



รูปที่ 2.3 (ก) รูปโครงสร้างง่าย ๆ ของรีลัคแตนซ์มอเตอร์
(ข) เส้นโค้งลักษณะสมบัติระหว่างแรงหมุนกับอัตราเร็วของ (ก) ที่แรงดันและความถี่คงที่

ขณะที่ส่วนหมุนของมอเตอร์หมุนเร็วสูงขึ้นเข้าสู่อัตราเร็วซิงโครนัส แรงหมุนรีลัคแตนซ์ที่เกิดขึ้นจะเข้าทับซ้อนกับแรงหมุนที่เกิดขึ้นตามหลักการของมอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นผลทำให้อัตราเร็วของส่วนหมุนแกว่งขึ้นลงรอบอัตราเร็วเฉลี่ยของการหมุน ถ้าภาระมีความเฉื่อยและแรงหมุนไม่ใหญ่เกินไป อัตราเร็วชั่วขณะของส่วนหมุนจะสามารถเพิ่มสูงขึ้นเข้าสู่อัตราเร็วซิงโครนัสได้ แล้วส่วนหมุนจะเกาะติด (lock) สนามแม่เหล็กไฟฟ้าหมุนด้วยอัตราเร็วซิงโครนัส รูปที่ 2.3 (ข) แสดงเส้นโค้งเฉลี่ยลักษณะสมบัติระหว่างแรงหมุนกับอัตราเร็ว โดยทั่ว ๆ ไปที่ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าเอซีค่าคงที่ และที่อัตราเร็วต่ำกว่าซิงโครนัสรีลัคแตนซ์มอเตอร์จะมีแรงหมุนค่าใหญ่บ้างเล็กบ้างแกว่งรอบค่าเฉลี่ย เมื่อส่วนหมุนได้เข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซิงโครไนซ์แล้ว ขดลวดแบบกรงกระรอกจะหมุนด้วยอัตราเร็วซิงโครนัสเข้ากับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแล้วขดลวดบนส่วนหมุนจะหมดหน้าที่ แรงหมุนดึงมอเตอร์เข้าซิงโครนัสนี้มีนิยามว่า "แรงหมุนดึงเข้า" (pull-in torque) เป็นค่าแรงหมุนที่เท่ากับแรงหมุนภาระสูงสุดซึ่งมอเตอร์สามารถดึงเข้าสู่ซิงโครนัสได้ขณะที่ความเฉื่อยของภาระมีค่าตามที่ระบุ เมื่อมอเตอร์นี้ได้หมุนเข้าซิงโครนัสแล้วมอเตอร์จะยังคงหมุนต่อไปถ้าแรงหมุนภาระไม่เพิ่มค่าเกินกว่าแรงหมุนดึงออก (pull-out torque) ถ้าแรงหมุนภาระมีค่าใหญ่กว่าแรงหมุนดึงออกมอเตอร์จะหมุนหลุดออกจากซิงโครนัสแล้วหมุนต่อไปด้วยหลักการของมอเตอร์เหนี่ยวนำ เราอาจเพิ่มค่าแรงหมุนดึงเข้าให้ใหญ่ขึ้นแต่ต้องใช้กระแสขณะสตาร์ตใหญ่มากขึ้นด้วยโดยที่แรงหมุนดึงเข้าคงยังมีค่าน้อยกว่าแรงหมุนดึงออกเสมอ

เราสังเกตว่า ถึงแม้ว่ารีลัคแตนซ์มอเตอร์มีข้อได้เปรียบที่มีโครงสร้างแข็งแรงทนทานบึกบึนและสามารถทำงานได้ดี แต่มีข้อเสียเปรียบที่มีประสิทธิภาพต่ำ ตัวประกอบกำลังมีค่าต่ำ อัตราส่วนระหว่างแรงหมุนต่อน้ำหนักมีค่าต่ำมากและกินกระแสตอนสตาร์ตใหญ่มาก เราจึงนิยมใช้รีลัคแตนซ์มอเตอร์ขนาดเล็กที่มีกำลังขนาดเศษส่วนของแรงม้า แต่ในปัจจุบันเราสามารถมีรีลัคแตนซ์มอเตอร์ที่มีอัตรากำลังปกติใหญ่มากกว่า 100 แรงม้า โดยการปรับปรุงอาศัยหลักการทั่ว ๆ ไปที่ว่า ลักษณะการทำงานในช่วงซิงโครนัสจะดีขึ้นถ้าเพิ่มดีกรีของความอสมมาตรเชิงแม่เหล็กขึ้นในส่วนหมุนลดฟลักซ์ในช่องระหว่างโปล (interpolar) หรือในแกนตั้งฉาก (quadrature axis) จะเป็นผลให้แรงหมุนดึงออกมีค่าใหญ่ขึ้นแต่แรงหมุนดึงเข้าของมอเตอร์ลดลงและทำให้ค่าตัวประกอบกำลังเปลี่ยนแปลงไปด้วย การปรับปรุงให้มอเตอร์มีแรงหมุนดึงเข้าใหญ่ขึ้นสามารถทำได้ด้วยแยกส่วนหมุนออกเป็นส่วนซึ่งสามารถซิงโครไนซ์เข้ากับภาระที่มีแรงหมุนใหญ่ถึง 10 เท่าของความเฉื่อยของส่วนหมุนโดยกินกระแสตอนสตาร์ตเพียง 4.5 เท่าของกระแสขณะภาระเต็มปกติ แรงหมุนดึงออกมีค่าประมาณ 1.5 เท่าของแรงหมุนภาระขณะเต็มที่ตามปกติ แต่มีข้อเสียเปรียบที่ค่าตัวประกอบกำลังเลวลงและมีประสิทธิภาพต่ำลง การออกแบบให้มอเตอร์แบบนี้ทำงานที่ความถี่คงที่เราต้องคำนึงถึงคุณสมบัติต่าง ๆ คือ ความอสมมาตรเชิงแม่เหล็ก ฟลักซ์ในช่องระหว่างโปล แรงหมุนดึงเข้า แรงหมุนดึงออก กระแสขณะสตาร์ต เป็นต้น โดยต้องประนีประนอมกันให้เหมาะสม สำหรับการทำงานที่แรงหมุนคงที่ เราต้องพยายามรักษา "โวลต์ต่อเฮิรตซ์" ให้คงที่ และเมื่อทำงานที่ความถี่ต่ำกว่าประมาณ 20 เราต้องเพิ่มค่าแรงดันขึ้นตามสมควร ปัจจุบันได้มีการสร้าง รีลัคแตนซ์มอเตอร์มีกำลังเอาต์พุตได้ถึง 75 ถึง 85 เปอร์เซ็นต์ของกำลังเอาต์พุตของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดเท่ากัน มีค่าตัวประกอบกำลัง 0.65 ถึง 0.75 และมีประสิทธิภาพสูงถึง 85 เปอร์เซ็นต์ ขณะทำงานที่ภาระเต็มที่

รีลัคแตนซ์มอเตอร์มีคุณสมบัติดีเด่นที่สามารถสตาร์ตขึ้นพร้อม ๆ กันหลายตัวโดยอาศัยการเปลี่ยนความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าเอซี สามารถเร่งให้หมุนเร็วขึ้นและเข้าซิงโครไนซ์ได้พร้อม ๆ กัน จึงทำให้มีการนิยมใช้รีลัคแตนซ์มอเตอร์อย่างกว้างขวางในงานอุตสาหกรรมที่ต้องการใช้มอเตอร์หลายตัวพร้อมกัน และอาจเปลี่ยนอัตราเร็วได้หลายอัตราให้มีความสัมพันธ์กันระหว่างมอเตอร์แต่ละตัวได้เป็นอย่างดี

2.3 การควบคุมมอเตอร์เอซี

2.3.1 การควบคุมมอเตอร์เอซีด้วยไธริสเตอร์

เราอาจแบ่งวิธีการควบคุมมอเตอร์เอซีด้วยไธริสเตอร์ออกเป็น 5 วิธี คือ

1. วิธีการควบคุมค่าแรงดันป้อนเข้ามอเตอร์เอซีโดยการปรับเปลี่ยนค่าวัฏจักรหน้าที่ (duty cycle หรือ duty factor) ด้วยการจุดชนวนให้เปิดกระแสตรงจุดแรงดันตัดข้ามศูนย์ที่จุดต่าง ๆ

2. วิธีการควบคุมค่าแรงดันป้อนเข้ามอเตอร์เอซีโดยวิธีควบคุมเฟส (phase control) ซึ่งสามารถใช้ได้กับมอเตอร์เอซีเฟสเดี่ยวหรือโปลีเฟส

3. วิธีการควบคุมค่าแรงดันและความถี่ป้อนเข้ามอเตอร์เอซีโดยการเปลี่ยนไฟฟ้าดีซีเลี้ยงวงจรให้เป็นไฟฟ้าเอซีด้วยอินเวอร์เตอร์ (inverter) แบบต่าง ๆ

4. วิธีการควบคุมมอเตอร์เอซีด้วยคอนเวอร์ตเตอร์มีดีซีเชื่อมโยง (DC link converter) ซึ่งเป็นการปรับเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าเลี้ยงวงจรสองครั้งโดยเปลี่ยนจากไฟฟ้าเอซีให้เป็นดีซีแล้วเปลี่ยนดีซีกลับเป็นเอซีพร้อมทั้งมีการควบคุม “โวลต์ต่อเฮิรตซ์” ให้คงที่

5. การควบคุมมอเตอร์เอซีเหนี่ยวนำโดยการปรับเปลี่ยนพลังงานสลิป วิธีนี้จะใช้ได้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบส่วนหมุนมีขดลวดพันเท่านั้น

2.3.2 การควบคุมมอเตอร์เอซีด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีโดยอาศัยอินเวอร์เตอร์

ในการควบคุมมอเตอร์เอซีด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซี เราจำเป็นต้องเปลี่ยนไฟฟ้าดีซีให้เป็นไฟฟ้าเอซีก่อนแล้วจึงป้อนเข้ามอเตอร์เอซี สิ่งประดิษฐ์ที่ใช้เปลี่ยนไฟฟ้าดีซีให้เป็นไฟฟ้าเอซี เรียกว่า “อินเวอร์เตอร์” (inverter) ซึ่งมีหลายแบบหลายชนิดสามารถเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าได้หลายขนาดจาก mW ถึง MW ในที่นี้จะขอกล่าวถึงวงจรอินเวอร์เตอร์ทางอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไธริสเตอร์เป็นส่วนประกอบสำคัญ โดยจะสามารถเปลี่ยนขนาดกำลังไฟฟ้าได้สูงถึง MW ซึ่งวงจรอินเวอร์เตอร์แบบนี้มีข้อได้เปรียบที่มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ไม่มีชิ้นส่วนใดเคลื่อนไหว มีเสียงเงียบ เริ่มต้นทำงานได้ทันทีไม่ต้องรอคอย ทำงานเป็นที่เชื่อถือได้ อายุการใช้งานนาน ทำงานได้ที่ความสูงใด ๆ ทำงานได้ทุกสภาพอากาศ มีประสิทธิภาพสูง ต้องการการบำรุงรักษาน้อย และสามารถติดตั้งได้ทั้งแนวนอน แนวตั้ง หรือแนวเอียง

เราอาจแบ่งวงจรอินเวอร์เตอร์ออกเป็นแบบต่าง ๆ ตามวิธีการใช้ตัวเก็บประจุทำหน้าที่บีบบังคับให้ไธริสเตอร์ปิดกระแส ซึ่งขึ้นอยู่กับ

(1) พลังงานที่ต้องการกักเก็บไว้บนตัวเก็บประจุที่ใช้ในการทำให้กระแสหยุดไหล

(2) วิธีการทำให้ไธริสเตอร์ปิดกระแส

การแบ่งออกเป็นแบบเหล่านี้มีขอบเขตไม่ชัดเจน โดยมีแบบผสมและแบบพิเศษหลายแบบ ในที่นี้จะแบ่งตามวิธีการทำให้ไธริสเตอร์ปิดกระแสที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.5 ซึ่งจะแบ่งวงจรอินเวอร์ออกเป็น 6 ชั้น ดังนี้

1) ชั้น ก การทำให้กระแสหยุดไหลได้ด้วยตัวเองโดยใช้ภาระที่เข้าเรโซแนนซ์
2) ชั้น ข การทำให้กระแสหยุดไหลได้ด้วยตัวเองโดยใช้วงจร LC
3) ชั้น ค C หรือ LC ถูกสวิตช์เข้าต่อกับไธริสเตอร์ด้วยไธริสเตอร์อีกตัวหนึ่งซึ่งต่างก็ทำหน้าที่แบกภาระด้วยกัน
4) ชั้น ง C หรือ LC ถูกสวิตช์เข้าต่อกับไธริสเตอร์โดยอาศัยไธริสเตอร์ช่วย
5) ชั้น จ ใช้แหล่งพัลส์ภายนอกสำหรับบีบบังคับให้มีกระแสหยุดไหล
6) ชั้น ฉ การทำให้กระแสหยุดไหลด้วยแรงดันของสายไฟฟ้าเอซี

ซึ่งแต่ละชั้นได้แบ่งย่อยออกตามรูปลักษณะของวงจรอินเวอร์เตอร์ (รูปที่ 2.6) อีก 6 แบบ คือ

(1) วงจรสับไฟฟ้า (chopper)

(2) วงจรมีแท็ปกลางที่ภาระ (center- tapped load)

(3) วงจรมีแท็ปกลางที่แหล่งจ่ายไฟฟ้า (center-tapped supply)

(4) วงจรสะพาน (bridge)

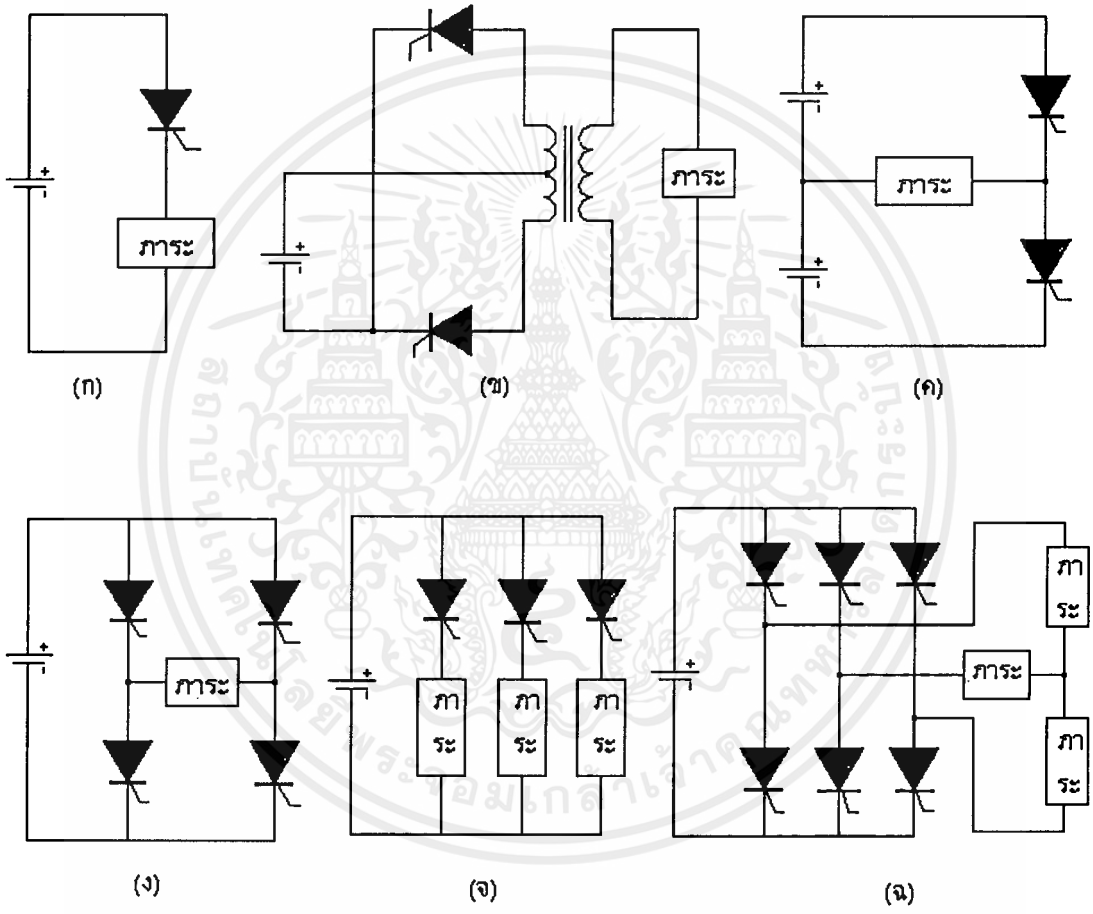
(5) วงจรครึ่งคลื่นสามเฟส (three phase half wave)

(6) วงจรสะพานเต็มคลื่นสามเฟส (three phase bridge)

ตัวอย่างเช่น วงจรอินเวอร์เตอร์ชั้น ข (2) หมายถึงวงจรอินเวอร์เตอร์ที่มีการทำให้ ไธริสเตอร์ปิดกระแสได้ด้วยตัวเองโดยใช้วงจร LC และรูปลักษณะของวงจรเป็นแบบที่ แท็

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปกลางที่ภาระ วงจรอินเวอร์เตอร์ชั้น ค (2) หมายถึงวงจรอินเวอร์เตอร์ที่มีการทำให้ ไธริสเตอร์ปิดกระแสด้วยการสวิตช์ให้ C หรือ LC เข้าต่อกับไธริสเตอร์ที่ต้องการให้ปิด กระแสด้วยไธริสเตอร์อีกตัวหนึ่งซึ่งต่างก็ทำหน้าที่แบกภาระด้วยกัน และมีรูปลักษณะของวงจรเป็นแบบมีแท็ปกลางที่ภาระ เป็นต้น นอกจากนี้ ตารางที่ 2.1 แสดงลักษณะสมบัติของวงจรที่มีรูปลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.4 และจะได้อธิบายเพียงบางวงจรที่สำคัญเท่านั้น



รูปที่ 2.4 รูปลักษณะของวงจรอินเวอร์เตอร์ 6 แบบ

(ก) วงจรสับไฟฟ้า (ข) วงจรมีแท็ปกลางที่ภาระ

(ค) วงจรมีแท็ปกลางที่แหล่งจ่ายไฟฟ้า (ง) วงจรสะพาน

(จ) วงจรครึ่งคลื่นสามเฟส (ฉ) วงจรสะพานเต็มคลื่นสามเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ลักษณะสมบัติของวงจรอินเวอร์เตอร์ลักษณะต่าง ๆ

วงจรที่ ชื่อของวงจร	1 สับไฟฟ้า	2 แท็ปกลางภาระ	3 แท็ปกลางแหล่งจ่าย	4 สะพาน	5 3 ϕ ครึ่งคลื่น	6 3 ϕ สะพานเต็มคลื่น
แรงดันกั้น	E	2E	E	E	E	E
แรงดันภาระยอดสูงสุด	E	E	1/2E	E	E	E
มีดีซีในภาระ	มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	มี	ไม่มี
จำนวนของเอสซีอาร์	1	2	2	4	3	6
ความถี่ระลอกคลื่นในแหล่งจ่ายไฟฟ้า	f	2f	f	2f	3f	6f
กระแสเอสซีอาร์เฉลี่ย กระแสแหล่งจ่ายไฟฟ้า	1	1/2	1	1/2	1/3	1/3
อาจทำงานโดยไม่ต้องใช้หม้อแปลง	ได้	ไม่ได้	ได้	ได้	ได้	ได้

1. วงจรอินเวอร์เตอร์ชั้น ก วงจรชั้นนี้เหมาะสมที่จะใช้กับงานที่ทำงานในย่านความถี่สูงกว่า 1 KHz เพราะว่าวงจรนี้ใช้วงจรเรโซแนนซ์ LC ที่แบกกระแสภาระเต็ม และมีกระแสไหลผ่านเอสซีอาร์มีรูปคลื่นเกือบเป็นรูปคลื่นซายน์เป็นผลให้ di/dt มีค่าเริ่มต้นค่อนข้างต่ำทำให้เอาต์พุตของวงจรมีเรกูเลชันที่ดีขึ้นได้ด้วยการแปรค่าความถี่โดยรักษาความกว้างของพัลส์ให้คงที่โดยวิธีควบคุมด้วยอัตราส่วนเวลา (time-ratio control = TRC)

วงจรอินเวอร์เตอร์ชั้น ก นี้มีข้อได้เปรียบคือ

1) รูปคลื่นแรงดันเอาต์พุตมีลักษณะเป็นคลื่นซายน์ที่ดี

2) ภาระมีค่าเรกูเลชันที่ดีมาก

3) มีความสามารถทำงานได้ขณะวงจรเปิด

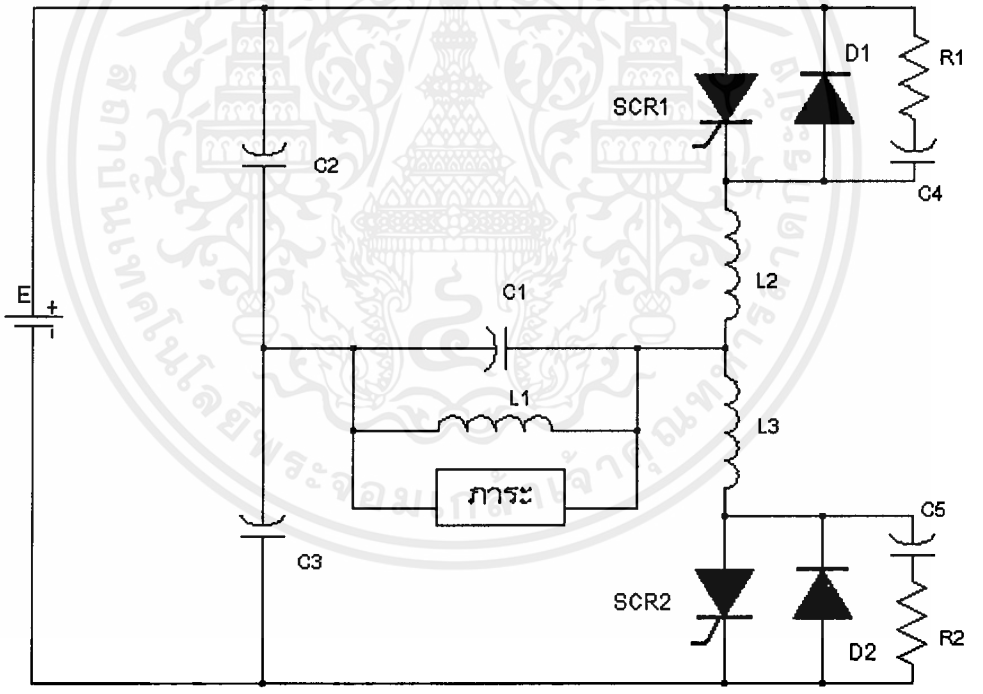
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) มีความสามารถทำงานได้เมื่อภาระเป็นค่าเชิงรีแอ็คตีฟที่มีพิสัยกว้างมาก

5) แรงดันคร่อมเอสซีอาร์มีค่าคงที่และมีค่าค่อนข้างต่ำ

วงจรอินเวอร์เตอร์ชั้น ก นี้มีประยุกต์ได้หลายอย่าง เช่น

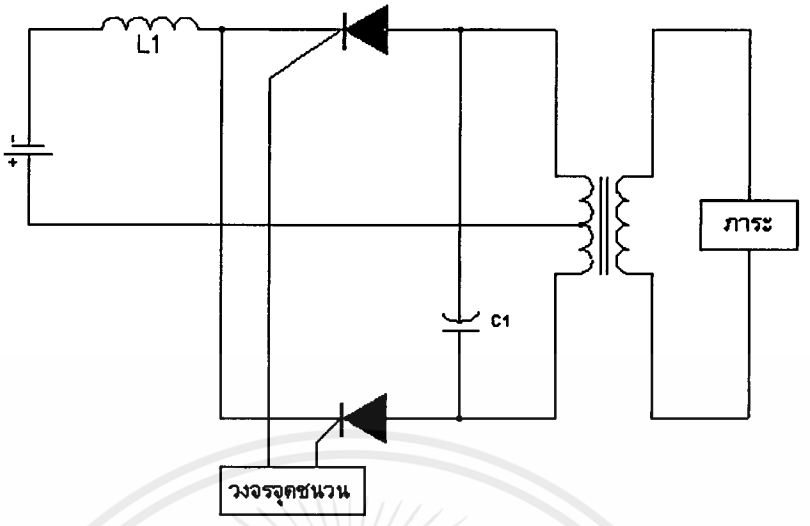
- เครื่องทำความสะอาดแบบอัลตราโซนิค เครื่องมือและเครื่องปั่น
- เตาความร้อนแบบเหนี่ยวนำ
- เครื่องส่งวิทยุในย่านความถี่ต่ำมาก
- เครื่องส่งโซนาร์
- แหล่งจ่ายไฟฟ้าเลี้ยงไซโคลคอนเวอร์เตอร์
- เครื่องคอนเวอร์เตอร์ที่เปลี่ยน ดีซี เป็น ดีซี โดยมีข้อได้เปรียบที่ มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ราคาถูก และมีผลตอบสนองที่เร็วมาก



รูปที่ 2.5 วงจรอินเวอร์เตอร์ชั้น ก

2. วงจรอินเวอร์เตอร์ชั้น ข-2 วงจรแบบนี้ให้เอาต์พุตมีรูปคลื่นซายน์ การเรกูเลชันสามารถทำได้ด้วยการควบคุมอัตราส่วนเวลา (TRC) ถ้าในวงจรแบบนี้ใช้รีแอ็คเตอร์แบบอิ่มตัวได้ก็จะต้องใช้ความชำนาญในการออกแบบให้มาก และการผลิตรีแอ็คเตอร์ออกมาซ้ำเดิมต้องตรวจสอบลักษณะสมบัติให้แน่นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 วงจรอินเวอร์เตอร์ชั้น ข (2) เบื้องต้นแบบเข้าจูน

แต่วงจรแบบนี้มีข้อเสียสามประการ คือ

- ทำงานไม่เสถียรและมีผลตอบสนองชั่วครู่รุนแรงเกิดขึ้นในการตัดภาระซึ่งเป็นผลเนื่องจากพลังงานเชิงรีแอ็คตีฟที่กักเก็บไว้
- ขาดวิธีการควบคุมให้แรงดันมีค่าคงที่
- เมื่อตัวประกอบกำลัง(PF) ของภาระเปลี่ยนค่าจะทำให้การทำงานของวงจรเปลี่ยนไป

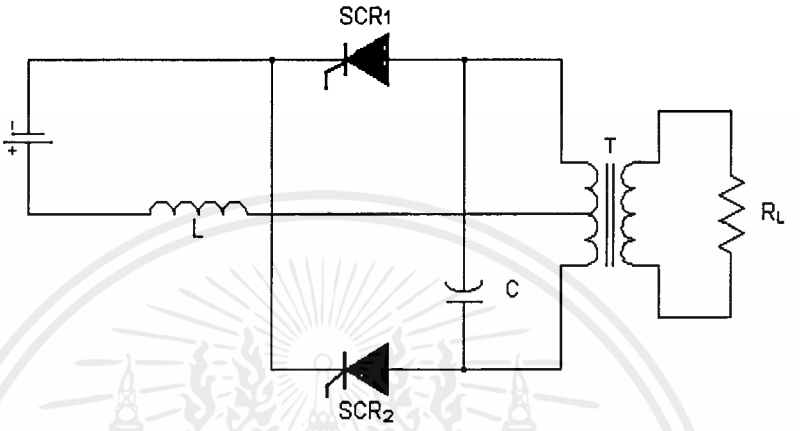
3. วงจรอินเวอร์เตอร์ชั้น ค (2) วงจรแบบนี้เป็นที่นิยมใช้กันมากวงจรหนึ่งที่ความถี่ต่ำประมาณ 1 KHz

วงจรอินเวอร์เตอร์แบบนี้มีปัญหาในการออกแบบและการปฏิบัติงานอยู่ที่การเลือกใช้ค่า C ที่จะต้องสามารถทำงานได้ดีตลอดพิสัยของความถี่และภาระที่ใช้ปฏิบัติงาน ทั้งนี้ C จะต้องมีค่าใหญ่มากพอที่จะทำให้แน่ใจได้ว่า C จะให้เวลาปิดกระแสของวงจร tc ใหญ่กว่าเวลาปิดกระแสของเอสซีอาร์ tq และเนื่องจากขณะปิดกระแสของเอสซีอาร์ C จะถ่ายประจุออกเป็นกระแสส่งผ่านหม้อแปลงไปให้ RL ดังนั้นเราจะต้องเลือกค่า C ให้ใช้ได้กับภาระความต้านทานค่าต่ำสุด (ซึ่งเท่ากับภาระมีกำลังสูงสุด) แต่ขณะที่มีการเพิ่มค่าความต้านทานภาระเข้าสู่สภาวะภาระเบา (light-load condition) C จะกลายเป็นค่าที่ใหญ่เกินไป ด้วยค่า L คงที่ C มีแนวโน้มที่จะถูกประจุในแต่ละครึ่งวัฏจักรด้วยค่าแรงดันสูงกว่า 2E เพราะฉะนั้นทำให้สรุปได้ว่าแรงดันภาระจะแปรเปลี่ยนค่าแรงดันภาระในพิสัย 2 ต่อ 1 แรงดันคร่อม C ที่มีค่าสูงขึ้นนี้ ที่ภาระเบาจะปรากฏไปคร่อมเอสซีอาร์แต่ละตัวเป็นแรงดันกลับและแรงดันฟอร์เวิร์ดค่าสูงตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ลำดับ ถ้าภาระมีค่าเชิงเหนี่ยวนำ (เช่นขอลวดของมอเตอร์) เราจะต้องใช้ C ให้มีค่าใหญ่มากพอเพื่อที่จะมีผลในการแก้ค่าตัวประกอบกำลัง (PF) ให้ดีขึ้น และ C นี้ต้องมีค่าใหญ่มากพอที่จะใช้ปิดกระแสไม่ให้ไหลผ่านความต้านทานสมมูลของวงจร



รูปที่ 2.7 วงจรอินเวอร์เตอร์ชั้น ค (2)

2.3.3 การควบคุมมอเตอร์เอซีโดยไมโครคอมพิวเตอร์

ได้มีการควบคุมมอเตอร์เอซีโดยอาศัยอินเวอร์เตอร์หรือไซโคลคอนเวอร์เตอร์ที่ควบคุมด้วยไมโครคอมพิวเตอร์หรือไมโครโปรเซสเซอร์ เนื่องจากสามารถปรับเปลี่ยน "โวลต์ต่อเฮิรตซ์" ได้ตามต้องการและสามารถส่งพลังงานรีเจเนอเรตีฟกลับคืนได้

อินเวอร์เตอร์ที่ควบคุมโดยไมโครคอมพิวเตอร์ วิธีการควบคุมเพื่อให้ได้อัตราเร็วตามต้องการ เราจะต้องใช้การควบคุมป้อนกลับวงปิด โดยใช้เครื่องวัดอัตราเร็วป้อนอัตราเร็วของมอเตอร์กลับมาเปรียบเทียบกับอัตราเร็วที่ต้องการ

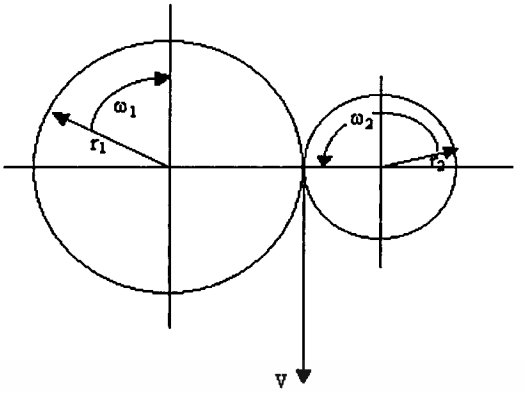
2.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับกลไก

เฟือง

การส่งถ่ายกำลังจากเพลาหนึ่งไปยังอีกเพลาหนึ่งโดยที่กำลังที่จะส่งนั้นมีไม่มากเกินไปและมีความเร็วไม่สูงมากนัก อาจใช้ลูกล้อเสียดทาน (Friction Drives) จำนวน 2 ล้อได้ แสดงไว้ในรูปที่ 2.8 เมื่อไม่มีการลื่นเกิดขึ้น ความเร็วสัมผัส V (tangential Velocity) ที่จุดสัมผัสของล้อเสียดทานทั้งสองย่อมเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

30120



รูปที่ 2.8 การหมุนของล้อเสียดทาน

จากวิชาฟิสิกส์จะทราบได้ว่า $V = \omega r$ เมื่อ ω เป็นความเร็วเชิงมุมและ r เป็นรัศมีของการหมุน และเนื่องจาก $V = \omega_1 r_1$ และ $V = \omega_2 r_2$ จะได้ว่า

$$\omega_1 r_1 = \omega_2 r_2$$

นั่นคือ

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2}{r_1}$$

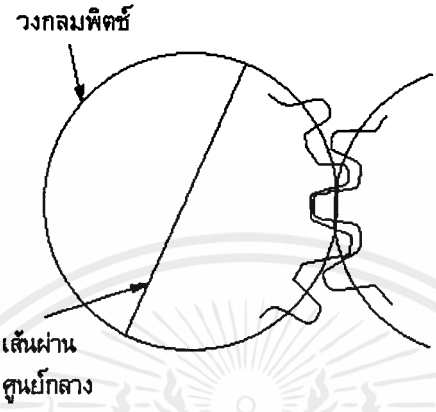
เมื่อ $\frac{\omega_1}{\omega_2}$ = อัตราทดความเร็วเชิงมุม m_ω ถ้าหาร ω ด้วย 2π และคูณด้วย 60 เราจะได้ความเร็วรอบต่อนาทีดังนี้

$$m_\omega = \frac{rpm_1}{rpm_2} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{d_2}{d_1} \qquad (2.11)$$

ข้อเสียของล้อเสียดทานคือ อาจเกิดการลื่นระหว่างล้อทั้งสองได้ เมื่อถ่ายทอดกำลังมาก การป้องกันมิให้มีการลื่น ในการส่งถ่ายกำลังมาก ๆ จำเป็นต้องใช้ฟันขบกัน ตามรูปที่ 2.9 ล้อกลมที่มีฟันเราเรียกว่า เฟือง (Gear) เฟืองขนาดเล็ก เรียกว่า พินเนียน (Pinion) และมักจะเป็นเฟืองขับเป็นส่วนมาก เส้นผ่านศูนย์กลางของล้อเสียดทานเดิมเรียกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ (Pitch Diameter) ส่วนโค้งของฟันจะต้องมีลักษณะพิเศษที่จะไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลง m_ω

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

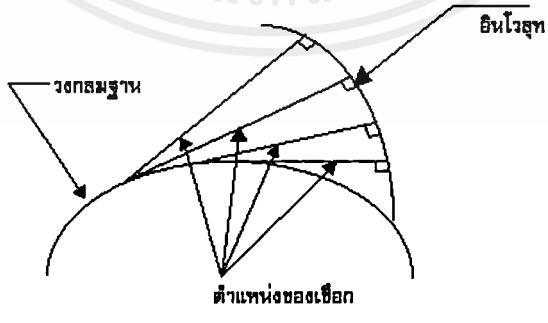
ในขณะที่ฟันเฟืองทั้งสองขบกัน ผิวโค้งดังกล่าวเราเรียกว่า ส่วนโค้งคอนจูเกท (Conjugate Curves) ซึ่งเป็น กฎในการออกแบบฟันเฟือง



รูปที่ 2.9 ฟันเฟืองถูกเพิ่มเข้าไปบนล้อเสียดทาน

ส่วนโค้งชนิดคอนจูเกท ที่นิยมใช้เป็นผิวโค้งของฟันเฟืองเรียกว่า ส่วนโค้งอินโวลุท (Involute Curve) แสดงได้ดังรูปที่ 2.10

ในเฟืองตรง (Spur Gear) ซึ่งเป็นเฟืองที่ง่ายที่สุดในบรรดาเฟืองทั้งหลาย เฟืองตรงมีฟันเฟืองที่ตรง และขนานกับแกนหมุนของเฟือง ลักษณะและคุณสมบัติของเฟืองตรงนี้มีส่วนใกล้เคียงกับเฟืองอื่น ๆ มากพอควรจึงนิยมใช้เป็นคำอธิบายลักษณะและส่วนประกอบ



รูปที่ 2.10 การสร้างส่วนโค้งอินโวลุท

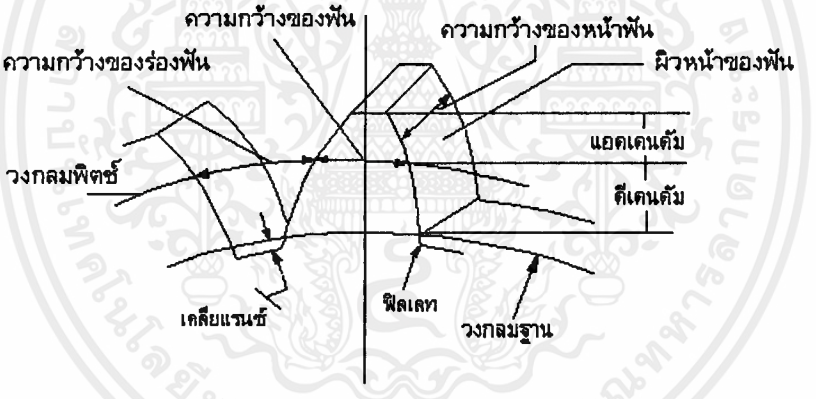
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะและคำจำกัดความ

รูปที่ 2.10 และ 2.12 ใช้ดูประกอบคำอธิบายดังต่อไปนี้

จุด P รูปที่ 2.13 เป็นจุดสัมผัสพิตช์ (Pitch Point) ของวงกลมพิตช์ (Pitch Circle) ของเฟืองทั้งสองที่ขบกันอยู่ และเส้นผ่านศูนย์กลางของพิตช์ D_p (Pitch Diameter) เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมพิตช์ซึ่งเป็นสองเท่าของรัศมีพิตช์ (Pitch Radius)

แอดเดนดัม (Addendum มาจากคำว่า Add ที่แปลว่าเพิ่มขึ้น) คือ ระยะทางตามแนวรัศมีจากวงกลมพิตช์ถึงยอด (Crest) ของฟันเฟือง ดีเดนดัม คือระยะทางตามแนวรัศมี จากวงกลมพิตช์ถึงฐาน (Root) ของฟันเฟือง เคลียแรนซ์ (Clearance) คือความแตกต่างระหว่างดีเดนดัมของเฟืองตัวหนึ่ง กับ แอดเดนดัมของเฟืองอีกตัวหนึ่ง เนื่องจากว่าดีเดนดัมของเฟืองตัวหนึ่งต้องมากกว่าแอดเดนดัมของอีกเฟืองหนึ่ง เพื่อไม่ให้ขัดกัน



รูปที่ 2.11 ลักษณะพื้นฐานของเฟืองตรง

พิตช์วงกลม P_c (Circuit Pitch) เป็นระยะทางที่วัดบนวงกลมพิตช์จากตำแหน่งหนึ่งของฟันเฟืองตัวหนึ่งถึง ตำแหน่งเดียวกันบนฟันเฟืองถัดไปพิตช์ศูนย์กลาง P_d (Diametral Pitch) คือ จำนวนฟันเฟืองต่อ 1 นิ้ว ของเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ D_p ความสัมพันธ์ระหว่าง P_c และ P_d คือ

$$P_d \times P_c = \pi \qquad (2.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นเชื่อมศูนย์กลาง (Line of Centers) คือ เส้นตรงที่ลากผ่านและเชื่อมจุดศูนย์กลางของเฟืองทั้งสองตัว ระยะทาง C ซึ่งเชื่อมศูนย์กลางดังกล่าว จึงเป็นผลบวกของรัศมีพิตช์ของเฟืองที่ขบกันทั้งสองตัวหรือ

$$C = \frac{\left(D_{p1} + D_{p2}\right)}{2} \tag{2.13}$$

ความกว้างของฟัน (Tooth Width) T_ω วัดตามแนวของวงกลมพิตช์ และบางครั้งอาจเรียกมิตินี้ว่า ความหนาของฟัน (Tooth Thickness) ช่องว่างระหว่างฟัน (Space Width) S_ω วัดตามแนวของวงกลมพิตช์ จะเห็นได้ว่า

$$T_\omega + S_\omega = P_c \tag{2.14}$$

ความกว้างของหน้าฟัน (Face Width) วัดตามแนวแกนของเฟือง วงกลมที่ใช้เป็นฐานของ ส่วนโค้งอินโวลุท เรียกว่า วงกลมฐาน (Base Circle) ระยะเผื่อขบ (Backlash) คือ $S_\omega - T_\omega$ เป็นระยะเผื่อที่ผู้ผลิตได้กำหนดขึ้นสำหรับเฟืองขนาดต่าง ๆ

ความลึกใช้งาน (Working Depth) เป็นผลบวกของแอดเดนดัมของเฟืองทั้งสองที่กำลังขบกันอยู่ หากเป็นเฟืองมาตรฐาน ความลึกใช้งานก็จะเป็นสองเท่าของแอดเดนดัม

พิตช์ฐาน (Base Pitch) มีส่วนคล้ายคลึงกันกับพิตช์วงกลม P_c ตรงที่ว่า วัดตามแนววงกลมฐานแทนที่จะวัดตามแนววงกลมพิตช์ แสดงได้ดังรูปที่ 2.13 ว่า

$$R_b = R_p \cos\phi$$

เมื่อ R_b = รัศมีฐาน (Base Radius)

R_p = รัศมีพิตช์ (Pitch Radius)

ϕ = มุมกดดัน (Pressure Angle)

และเนื่องจากว่า สำหรับมุมใด ๆ อัตราส่วนของเส้นโค้งที่รองรับมุมนั้นต่อรัศมีของเส้นโค้งนั้น ย่อมมีค่าคงตัว ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_b = P_c \cos\phi$$

เมื่อ P_b = พิตช์ฐาน (Base Pitch)

คำนิยามของมุมกดดันก็คือ มุมซึ่งเกิดขึ้นจาก เส้นสัมผัสร่วมของวงกลมฐานทั้ง 2 วงก็คือเส้นกระทบในรูปที่ 2.14 และเส้นสัมผัสร่วมของวงกลมพิตช์ทั้งสองวงที่จุดสัมผัสพิตช์ ในปัจจุบันนี้ค่า ϕ ที่นิยมใช้กันมากสำหรับเฟืองตรง คือ 20° โมดูล M (Module) เป็นอัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ต่อจำนวนฟันของเฟือง เป็นหน่วยวัดของ SI ใช้เป็นตัวเลขดัชนีสำหรับบอกขนาดของฟัน เช่นเดียวกับ P_d และ P_c ที่นิยมใช้เป็นเลขดัชนีในระบบอังกฤษ

เพื่อที่จะให้การถ่ายโอนกำลังมีผลสมบูรณ์ขึ้น การขบกันระหว่างฟันที่ดีแล้ว ฟันเฟืองทั้งสองควรจะมี

1) พิตช์เท่ากัน

2) มุมกด ϕ เท่ากัน

ขนาดเฟืองมาตรฐานที่สอดคล้องกับ อุปกรณ์ที่มีอยู่ทั้งระบบอังกฤษ และ SI ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ขนาดของเฟืองมาตรฐาน

โมดูล m ,mm	โมดูล m ,mm	โมดูล m ,mm	ไดอะมิทรัลพิตช์ P , in	ไดอะมิทรัลพิตช์ P , in	ไดอะมิทรัลพิตช์ P , in
1	4	16	20	5	1.25
1.25	5	20	16	4	1
1.5	6	25	12	3	0.75
2	8	32	10	2.5	0.625
2.5	10	40	8	2	0.50
3	12	50	6	1.5	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากจำนวนฟันของเฟืองสองอัน เป็นสัดส่วน โดยตรงกับเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ D_p จะเป็นการสะดวกมากกว่าหากว่าจะแสดงอัตราทดความเร็ว m_ω อยู่ในรูปของจำนวนฟันมากกว่า D_p ดังนั้น

$$m_\omega = \frac{rpm_1}{rpm_2} = \frac{N_2}{N_1} = \left[\frac{D_{p2}}{Dp1}\right]$$

เมื่อ N_1 = จำนวนฟันของเฟืองขับ

N_2 = จำนวนฟันของเฟืองตาม

เฟืองโค้งอินโวลุทขบกัน

กำหนดให้ A และ B เป็นวงกลมฐานของเฟืองที่มีฟันอินโวลุทขบกันสองตัว รูปที่ 2.12 (ก) CD คือ เส้นสัมผัสร่วมของวงกลมฐานทั้งสอง และ AB คือ เส้นเชื่อมศูนย์กลาง

สมมติว่า CD เป็นส่วนโค้งของเส้นเชือกที่กำลังคลายตัวออกจากวงกลม A และจะเอามาพันรอบวงกลม B ในขณะที่ A กับ B กำลังหมุนอยู่ด้วยกันโดยทำให้ CD ตึงอยู่ตลอดเวลา

เมื่อ A กับ B กำลังจะเริ่มหมุนจุด C บนเส้นเชือกก็จะเริ่มหลุดออกจาก A เคลื่อนที่เข้าหา B ในแนวโค้งของอินโวลุทเมื่อเทียบกับวงกลม A

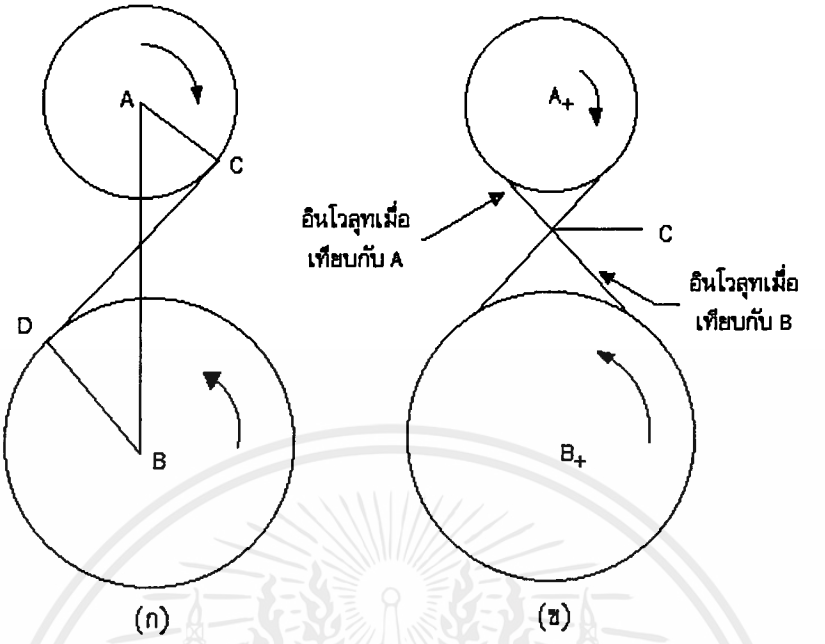
ในขณะเดียวกันอาจสังเกตเห็นว่าจุด C กำลังจะเคลื่อนเข้าหา B ใน แนวอินโวลุทเมื่อเทียบกับวงกลม เมื่อประสานต่อแนวอินโวลุททั้งสองเข้าด้วยกันจะได้แนวอินโวลุทตามรูปที่ 2.12 (ข)

เส้นตรง CD นี้จริง ๆ แล้วก็คือ เส้นกระทำ (Line of Action) มุมที่เส้นนี้กระทำต่อเส้นสัมผัสร่วมของวงกลมพิตช์คือ มุมกด ϕ (Pressure Angle) ตามรูปที่ 2.13

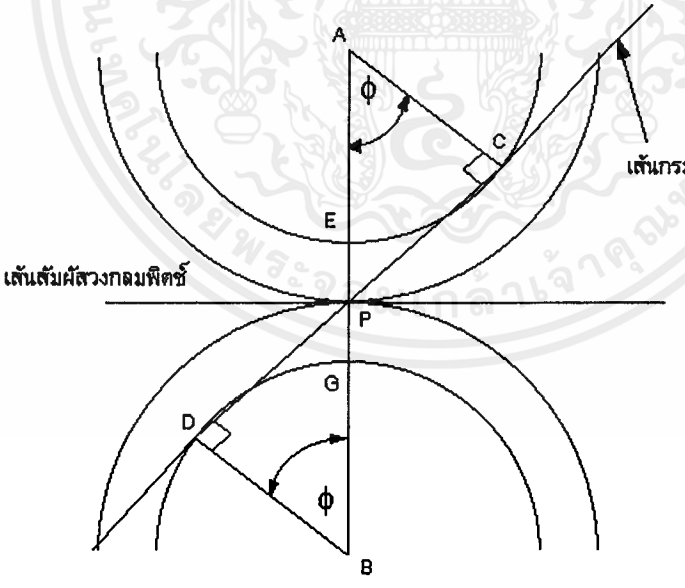
แนวขบกันและอัตราส่วนขบกัน

แนวขบกัน คือ เส้นทางเดินของจุดที่ขบกันของฟันเฟือง 2 ตัว ในระหว่างการหมุนในเฟืองอินโวลุท แนวขบกัน คือ เส้นกระทำหรือเส้นสัมผัสร่วมของวงกลมฐานทั้งสอง ซึ่งเส้นดังกล่าวเริ่มต้นเมื่อวงกลมแอดเดนดัมของเฟืองตามตัดกับเส้นกระทำ และสิ้นสุดเมื่อวงกลมแอดเดนดัมของเฟืองตัดกับเส้นกระทำ ดังรูปที่ 2.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 วงกลมฐานเส้นกระทำและแนวของอินโวลูท



รูปที่ 2.13 เส้นกระทำและมุมกด BP = รัศมีพิตช์=R_p;BD = รัศมีฐาน = R_b;$R_b=R_p \cos \phi$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนการขบ m_c เป็นจำนวนซึ่งแสดงว่าจำนวนฟันโดยเฉลี่ยที่ปะทะกันสำหรับbv เฟืองคู่หนึ่ง m_c จะหาได้โดยใช้พิตช์ฐาน P_b เข้าไปหารความยาวกระทำ Z (Length of Action) นั่นคือ

$$m_c = \frac{Z}{P_b} \tag{2.15}$$

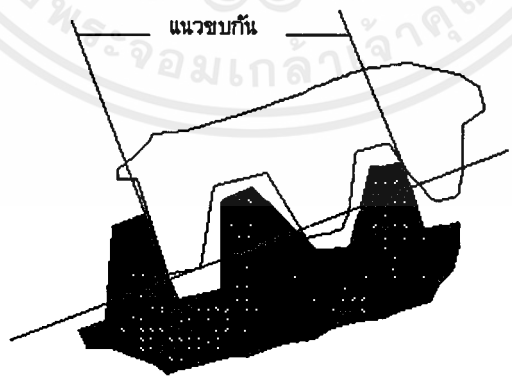
สำหรับกรณีตามทฤษฎีเส้นโค้งคอนจูเกท อัตราส่วนการขบที่เหมาะสม คือ 1 แต่ในแนวทางปฏิบัติ m_ω จะอยู่ระหว่าง 1.25-1.4 ซึ่งแสดงว่าจำนวนฟันที่ขบกันจะอยู่ระหว่าง 1 ถึง 2 ฟัน ค่า อาจหาได้จาก

$$Z = \left(R_{a2}^2 - R_{b2}^2\right)^{\frac{1}{2}} + \left(R_{a2}^2 - R_{b2}^2\right)^{\frac{1}{2}} - C\sin\phi \tag{2.16}$$

เมื่อ R_{a1} และ R_{a2} เป็นรัศมีของวงกลมแอดเดนดัมของเฟืองขับ และเฟืองตาม

R_{b1} และ R_{b2} เป็นรัศมีของวงกลมฐานของเฟืองขับ และเฟืองตาม

C เป็นระยะห่างระหว่างศูนย์กลางซึ่งเท่ากับ $\left[\left(\frac{D_{p1} + D_{p2}}{2}\right)\right]$



รูปที่ 2.14 แนวขบกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 มาตราฐานของฟันเฟือง

รายละเอียด	14 1/2° F	20°FD พิตช์หยาบ	20°FD พิตช์ละเอียด	20° stub	25° FD
แอดเดนดัม	m	m	m	0.8m	m
ดีเดนดัม	1.157m	1.25m	1.2m + 0.05	m	1.25m
เคลียรันซ์	0.157m	0.25m	0.2m + 0.05	0.2m	0.25m
ความสูงใช้งาน	2m	2m	2m	1.6m	2m
ความสูงทั้งหมด	2.157m	2.25m	2.2m + 0.05	1.8m	2.25m
แอดเดนดัม	1/P	1/P	1/P	0.8/P	1/P
ดีเดนดัม	1.157/P	1.25/P	1.2/P + 0.002	1/P	1.25/P
เคลียรันซ์	0.157/P	0.25/P	0.2/P + 0.002	0.2/P	0.25/P
ความสูงใช้งาน	2/P	2/P	2/P	1.6/P	2/P
ความสูงทั้งหมด	2.157/P	2.25/P	2.2/P + 0.002	1.8/P	2.25/P

และ $P_b = P_c \cos\phi$

$P_c = \pi M$ ในระบบ SI

กำลังของฟันเฟือง การวิเคราะห์โดย Lewis

รูปที่ 2.15 แสดงผังของแรงที่จะกระทำต่อฟันเฟือง ในกรณีที่ฟันจะชำรุดมากที่สุด คือ แรงทั้งหมด กระทำที่ปลายด้านบนของฟัน และ F_s เป็นส่วนของ w ที่กระทำในแนวราบ ในขณะที่ F_s กระทำ ในแนวดิ่ง ในการวิเคราะห์ความเค้นดัด ถ้าจะตัด F_s ออกมาก็คงไม่เกิดความผิดพลาดมากนัก

จากสมการของความเค้นดัด คือ $S = \frac{M_c}{I}$ สำหรับชิ้นส่วนที่สมมาตรกันจะได้ว่า $S = \frac{M}{Z}$ เมื่อ $Z = b + \frac{2}{6}$ ดังนั้น

$$S = \frac{6M}{bt^2}$$

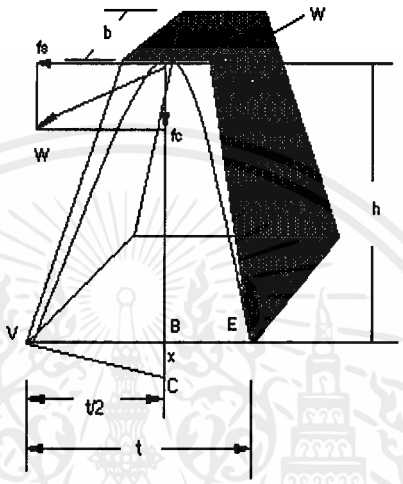
$$M = F_s h = \frac{bt^2 S}{2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ S เป็นความเค้นดัด

b เป็นความกว้างของหน้าฟัน (Face Width)

t เป็นความกว้างของฟัน (Tooth Width) ใกล้ ๆ กับโคนฟัน



รูปที่ 2.15 การวิเคราะห์ของ Lewis เกี่ยวกับฟันเฟืองในขณะรับแรง

เนื่องจากว่าความเค้นประกอบไปด้วยความเค้นดึงด้านหนึ่ง และความเค้นอัดอีกด้านหนึ่งของคาน ซึ่งส่วนมากจะชำรุดที่บริเวณโคนทางด้านความเค้นดึง ดังนั้นอาจพิจารณาความเค้นดึงประการเดียวก็คงไม่ผิดพลาดนัก

ถ้าพิจารณาฟันเป็นคานยื่น(Cantilever Beam) และให้ความเค้นตามผิวนอกคงตัวตลอดจากโคนถึงปลาย อาจเขียนสมการของความเค้นดัด ได้ดังนี้

$$F_s = \frac{bt^2 S}{6}$$

$$C = \frac{bS}{6F_s}$$

$$\therefore h = Ct^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเป็นสมการของพาราโบลา และแสดงในรูป 2.15 ตามเส้นประ และสัมผัสกับเส้นโค้งของฟันที่ V และ E เท่านั้น เนื่องจากว่า t จะมากกว่าความกว้างของพาราโบลาในจุดอื่นๆ

อาจสรุปได้ว่าความเค้นตามผิวนอกของฟันจะต่ำกว่า ความเค้นที่จุด V และ E (ในสมการของ M เมื่อ S เพิ่มขึ้น จะลดลง)

จากสมการของ M

$$M = \frac{F_s h}{4x} = \frac{bt^2 S}{6}$$

ค่าของ h หาได้ยากมาก เราจะใช้วิธีการของสามเหลี่ยมคล้าย AVB และ VBC จะได้ว่า

$$\frac{h}{(t-2)} = \frac{\left(\frac{t}{2}\right)}{x}$$

$$\text{หรือ } h = \frac{t^2}{4x}$$

แทนค่า h จะได้ว่า

$$F_s = \frac{t^2}{4x} = \frac{bt^2 S}{6}$$

$$F_s = \frac{2xbs}{3}$$

ใช้ $\frac{P_c}{P_c}$ คูณสมการด้านขวา

$$F_s = \left(\frac{2xbS}{3}\right)\left(\frac{P_c}{P_c}\right)$$

$$= S_b Y P_c$$

เมื่อ $Y = \frac{2x}{3P_c}$ เรียกว่าตัวประกอบของ Lewis

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระบบอังกฤษของฟันเฟืองเป็น P_d เนื่องจาก $P_d \times P_c = \pi$

$$\therefore F_s = \frac{bSy\pi}{d}$$

$$F_s = \frac{bSy}{p_d} \qquad (2.17)$$

เมื่อ Y ก็เป็นตัวประกอบรูปแบบของ Lewis เช่นกัน เท่ากับ yπ

สำหรับหน่วย SI

$$F_s = bSYM \qquad (2.18)$$

เมื่อ M เป็นโมดูลวัดเป็นมิลลิเมตร

เนื่องจากรูปแบบของฟันจะทำให้เกิดการรวมจุดของความเค้น (Stress Concentration) หรือบางครั้งเรียกว่า ความเค้นหนาแน่น ขึ้นที่บริเวณโคนฟัน ที่เรียกว่า ฟิลเลท (Fillet) เราจึงควรที่จะใช้ K_f หารสมการ (2.17) ด้านขวามือเป็น

$$F_s = \frac{bSY}{K_f P_d} \qquad \text{ในระบบอังกฤษ}$$

หรือ

$$F_s = \frac{bSYM}{K_f} \qquad \text{ในระบบ SI}$$

แต่เนื่องจาก K_f อาจคำนวณหาได้ยากเพราะฟิลเลทมิใช่ส่วนโค้งของวงกลม ช่วงของ K_f ระหว่าง 1.2 ถึง 1.7 เป็นที่นิยมในทางปฏิบัติเฟืองจะรับน้ำหนักประเภทซ้ำแล้วซ้ำอีก ความเค้นเพื่อการออกแบบ S_d ควรต้องใช้พิกัดความทนทาน S_n (Endurance Limit) เป็นเกณฑ์ และอาจเป็นไปได้ว่าที่เพลาขับ และเพลาตามอาจเยื้องแนวได้ถ้าความกว้างของหน้าฟันมากเกินไป

การคำนวณปัญหาเกี่ยวกับเฟือง

ขั้นตอนในการคำนวณหาพิตช์ศูนย์กลาง สำหรับการรับแรงขนาดหนึ่ง มีดังนี้

1) หา $V_s = \pi D_p n_s$ เมตร/วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) จากค่า V_s ที่ได้เลือกชนิดของเฟือง คือ แบบทั่วไป เฟืองตัดอย่างดีหรือเฟืองที่ตัดอย่างพิถีพิถัน

3) หา $F_{tr} = 1000\ KW/V_s$ นิวตัน

4) ใช้สูตรที่เหมาะสมสำหรับชนิดของเฟืองคำนวนหา F_d

5) สมมติค่า M และ แก้สมการของ Lewis เพื่อหาค่า b

6) ตรวจสอบค่าของ b กับความสัมพันธ์ $8M < b < 12.5\ M$

วัสดุและกระบวนการผลิตเฟือง

เพื่อเพิ่มความทนทานในการรับแรงสูงๆให้กับเฟืองมักจะใช้เหล็กหล่อเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ และเหล็กกล้าผสมโลหะ ทำเป็นเฟือง อย่างไรก็ดีเฟืองเหล็กมักจะไม่ชุบแข็งทั้งหมด แต่จะชุบแข็งที่ผิวของเฟือง โดยวิธี Carburizingnitriding หรือ Cyaniding ทั้งนี้ เนื่องจาก

1.รูปแบบจะมีบิดเบี้ยวน้อยมาก

2.การชุบผิวจะเพิ่มความต้านทานต่อความล้าได้อีกมาก เพราะในเนื้อในแกนของเฟืองยังมีความหยุ่นตัวได้ นอกจากนี้ความเค้นอัดหลงเหลือบนผิวที่พ่น หรือฉาบคาร์บอนไว้ ยังต้านความล้าได้ดี

เฟืองอโลหะนั้นใช้สำหรับงานส่งถ่ายทอดกำลังที่ต้องการความเงียบเป็นอย่างมาก เฟืองชนิดนี้จะมีความแข็งแรงน้อยกว่าเฟืองโลหะ และมีการนำความร้อนต่ำมาก

วิธีการตัดเฟือง ถ้าเฟืองคู่หนึ่งนำมาขบกันจะมีฟันพิเศษเพิ่มขึ้นอีก 1 ฟัน เรียกว่า เช่น ถ้าเฟืองขับมี 15 ฟัน และเฟืองตามมี 60 ฟัน เมื่อเฟืองขับหมุนได้ 4 รอบ ฟันคู่เดิมก็จะขบกันอีกครั้งหนึ่ง แต่ถ้าเฟืองตามมี 61 ฟัน เฟืองขับจะต้องหมุน 61 รอบ และเฟืองตามหมุน 15 รอบ ฟันคู่เดิมจึงจะมาขบกันอีกครั้ง วิธีเพิ่มฟันพิเศษนี้ ทำให้การสึกหรอของฟันเกิดขึ้นช้าลง

2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์

2.5.1 MCS-51

โครงสร้างสถาปัตยกรรม MCS-51

ลักษณะหลักทั่ว ๆ ไปของ MCS-51 จะประกอบด้วย

1. ใช้ HMOS และ CHMOS เทคโนโลยีในการสร้างและทำงานด้วยแหล่งจ่ายไฟขนาด 5 V เพียงแหล่งเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ซีพียูมีขนาดคำ 8 บิต
3. มีวงจรออสซิลเลเตอร์ และวงจรนาฬิกาบนชิป
4. ชุดแบงค์ (BANK) รีจิสเตอร์มี 4 ชุด แต่ละชุดมีรีจิสเตอร์ 8 ตัว ทำงานเช่นเดียวกับ MCS-48
5. มีตัวจับเวลา/ตัวนับ ขนาด 16 บิต 2 ชุดและสำหรับเบอร์ 8032/8052 มี 3 ชุด
6. มีพอร์ตไอโอแบบขนานสองทิศทางจำนวน 4 พอร์ต พอร์ตละ 8 บิต รวมทั้งหมดเป็น 32 เส้น แต่จะเหลือเพียง 16 เส้น สำหรับเบอร์ 8031 อีก 16 เส้น จะใช้ในการเข้าถึงทางแอดเดรสและข้อมูล
7. พอร์ตแบบอนุกรมสามารถที่จะโปรแกรมการรับส่งแบบ Full Duplex ที่ความเร็วสูง
8. หนึ่งวัฏจักรคำสั่งจะกินเวลา 1 ไมโครวินาที ด้วยการใช้คริสทัล 12 เม็กกะเฮิรตซ์
9. แอดเดรสข้อมูลภายนอกได้ 64 กิโลไบต์
10. แอดเดรสโปรแกรมภายนอกได้ 64 กิโลไบต์
11. สามารถกำหนดเลขที่อยู่ข้อมูลขนาดไบต์หรือบิตได้โดยตรง
12. มีซอฟต์แวร์บิตแฟลกสำหรับผู้ใช้ที่จะกำหนดเองได้ถึง 128 ตำแหน่งบิต
13. โครงสร้างอินเตอร์รัพต์จะติดตั้งได้ถึง 5 แหล่ง และ 6 แหล่ง สำหรับ 8032/8052 พร้อมด้วยการจัดไพรโอริตี้ (Priority) ได้ 2 ระดับ
14. ตัวโพรเซสเซอร์สามารถใช้งานแบบบูลีน (Boolean) ได้ สำหรับการใช้กับกระบวนการงานควบคุม
15. มีคำสั่งคูณ และหารทางฮาร์ดแวร์ที่ทำได้ภายใน 4 ไมโครวินาที
16. ตัวเลขทางคณิตศาสตร์ ใช้ได้ทั้งระบบไบนารี และเดซิมัล

ตระกูล MCS-51 จะมีทั้งแบบมี ROM ในตัว หรือไม่มี ROM หรือมี EPROM บนชิปเดียวกันและจะมีตำแหน่งขาที่เหมือนกัน ตารางที่ 2.4 แสดงถึงตารางรายละเอียดของเบอร์ต่าง ๆ ในตระกูล MCS-51 ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด8751H อยู่ในกลุ่มรุ่นเดียวกับ 8051AH ที่เราสามารถโปรแกรมได้ด้วยระบบไฟสามารถลบโปรแกรมออกได้ด้วยแสงอุลตร้าไวโอเลต นอกเหนือจากไอซีที่แสดงในตารางข้างบนที่ใช้เทคโนโลยี HMOS แล้วยังมีตระกูลอื่นที่ใช้เทคโนโลยี CHMOS ที่ประหยัดพลังงานได้มากกว่า 4 เท่าของ HMOS ที่มีจำหน่ายขณะนี้คือ เบอร์ 80C51, 80C31 และ 87C51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ตารางรายละเอียดของตระกูล MCS-5

เบอร์	หน่วยความจำภายใน		ตัวจับเวลา/ตัวนับ จำนวน	อินเตอร์รัพต์
	โปรแกรม	ข้อมูล		
8052 AH	8K x 8 ROM	256 x 8 RAM	3 x 16 BIT	6
8051 AH	4K x 8 ROM	128 x 8 RAM	2 x 16 BIT	5
8051	4K x 8 ROM	128 x 8 RAM	2 x 16 BIT	5
8032 AH	NO ROM	256 x 8 RAM	3 x 16 BIT	6
8031 AH	NO ROM	128 x 8 RAM	2 x 16 BIT	5
8031	NO ROM	128 x 8 RAM	2 x 16 BIT	5
8751 H	4K x 8 EPROM	128 x 8 RAM	2 x 16 BIT	5
8752 H	8K x 8 EPROM	256 x 8 RAM	3 x 16 BIT	6

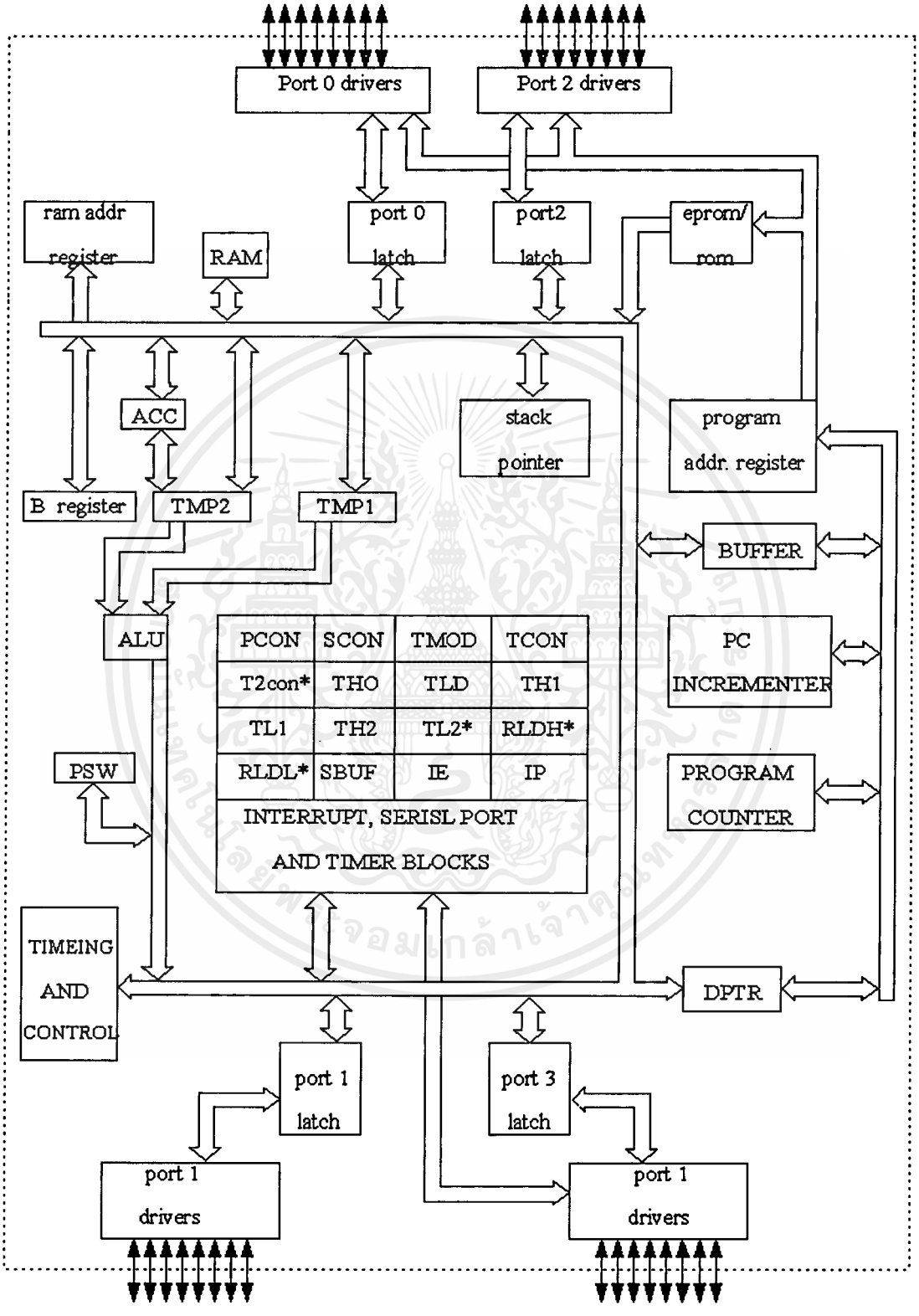
การจัดการทางสถาปัตยกรรม

สถาปัตยกรรมภายในของ MCS-51 โดยซิงเกิลชิปแต่ละตัวของตระกูลนี้จะประกอบด้วยหน่วยศูนย์กลางประมวลผลหน่วยความจำสองชนิด คือ แบบ RAM กับ ROM หรือ EPROM พอร์ตเอาต์พุต อินพุต โหมดรีจิสเตอร์สถานะและข้อมูล ส่วนวงจรกรรกในการ RANDOM ที่จำเป็นสำหรับตัวแปรของฟังก์ชันการต่อพ่วงส่วนต่าง ๆ ที่กล่าวนี้จะติดต่อกันด้วยบัสข้อมูลขนาด 8 บิต และจะมีบัฟเฟอร์สำหรับการติดต่อข้อมูลกับภายนอกผ่านพอร์ตไอโอ เมื่อต้องการขยายหน่วยความจำหรือพอร์ตไอโอ

หน่วยศูนย์กลางประมวลผลหรือซีพียู

ซีพียูเป็นมันสมองของระบบไมโครคอมพิวเตอร์ การอ่านโปรแกรม และทำงานตามคำสั่งโปรแกรมจะกระทำที่ส่วนนี้ โดยการใช้ส่วนคณิตศาสตร์ และตรรกศาสตร์ทำงานร่วมกับรีจิสเตอร์ A, B, PSW (Program Status Word), SP (Stack Pointer) ตัวนับโปรแกรม (PC:Program Counter) ขนาด 16 บิต และตัวชี้ตำแหน่งข้อมูล (DPTR:Data Pointer) ส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 โครงสร้างสถาปัตยกรรมภายในของ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณิตศาสตร์และตรรกศาสตร์ (ALU:Arithmetic Logic Unit) ALU นี้ทำงานในฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เป็น บวก ลบ คูณ หาร รวมทั้งทางตรรกศาสตร์ เช่น AND OR XOR รวมทั้งการเลื่อนและวนรอบบิต การเคลียร์ค่าและกลับค่า (Complement) เป็นต้น ALU ยังสามารถที่จะตัดสินใจในการให้กระโดยไปทำคำสั่งของโปรแกรมในส่วนอื่น ๆ ตามเงื่อนไขที่ตั้งขึ้นและยังแบ่งรีจิสเตอร์ชั่วคราวใช้สำหรับเป็นทางผ่านชั่วคราวของข้อมูลในการถ่ายเทภายในระบบคำสั่งอื่นที่มีการใช้ ALU ALU ยังมีความสามารถที่จะเพิ่มค่าในรีจิสเตอร์ในลักษณะการบวกด้วยหนึ่ง (Increment) หรือ คำนวณเลขที่อยู่ของข้อมูลที่จะนำไปเก็บ หรือการลดค่าครั้งละหนึ่ง ในลักษณะการลบด้วยค่าหนึ่ง (Decrement) โดยอัตโนมัติ หรือใช้ในการเปรียบเทียบค่าของตัวแปรทั้งสองสิ่งสำคัญในการทำงานทางสถาปัตยกรรมของ MCS-51 คือ ความสามารถในการทำงานสำหรับข้อมูลขนาด 8 บิต และ 1 บิต การใช้งานในระดับบิตในการเซต เคลียร์ หรือกลับค่า การเคลื่อนย้าย การทดสอบ และใช้ในงานควบคุมของสัญญาณเข้าและออกที่มีการคิดและออกแบบทางจรรกด้วยพีชคณิต Boolean ซึ่งโดยปกติทำให้ลำบากสำหรับไมโครโพรเซสเซอร์ทั่ว ๆ ไป งานในลักษณะเช่นนี้จึงได้ชื่ออีกอย่างหนึ่งว่า ตัวประมวลผลบูลีน (Boolean Processor)

1. แอกคูมิวเลเตอร์ (Accumulator : ACC)

MCS-51 ก็เช่นเดียวกับ MCS-48 ที่ใช้ ACC ที่มีขนาด 8 บิตเป็นแอกคูมิวเลเตอร์คำสั่งส่วนใหญ่จะอ้างถึงตัวรีจิสเตอร์นี้ โดยถือค่าภายในเป็นค่าตัวตั้ง และรับค่าผลลัพธ์ที่ได้จากคำสั่งทางคณิตศาสตร์ เช่น บวก ลบ คูณ หาร เข้ามาเก็บไว้ ตัว ACC ยังสามารถใช้เป็นตัวแหล่งกระทำหรือถูกหระทำในการทำงานทางตรรก และใช้เป็นตัวกลางในการถ่ายเทข้อมูลในการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกไอโอ และหน่วยความจำภายนอก รวมถึงการตรวจสอบตารางข้อมูล

2. รีจิสเตอร์ B

เป็นรีจิสเตอร์พิเศษที่ใช้งานสำหรับคำสั่งของการคูณและหาร โดยใช้เป็นที่เก็บตัวคูณหรือตัวหารและเป็นที่เก็บผลลัพธ์ตัวที่สองหลังการคูณและเศษหลังการหาร

3. รีจิสเตอร์คำแสดงสถานะโปรแกรม (Program Status Word : PSW)

รีจิสเตอร์ PSW เป็นรีจิสเตอร์ที่แสดงผลที่ได้หลังจากการใช้คำสั่งต่าง ๆ และใช้เป็นตัวเลือกกลุ่มการทำงานของรีจิสเตอร์กลุ่มต่าง ๆ

4. ตัวชี้สแตค (Stack Pointer : SP)

MCS-51 จะใช้ RAM ภายในเป็นบริเวณสแตคทางฮาร์ดแวร์สำหรับการเชื่อมต่อระหว่างโปรแกรมหลัก สแตคการผ่านพารามิเตอร์ระหว่างงานในแต่ละส่วนโปรแกรมและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สแตคเก็บตัวแปรข้อมูลชั่วคราว หรือสแตคการเก็บสถานะระหว่างการบริการงานอินเตอร์รัพต์ไว้ภายในชิป โดยที่ SP จะมีขนาด 8 บิต จะเพิ่มค่าขึ้นโดยอัตโนมัติก่อนที่ข้อมูลจะนำมาเก็บในหน่วยความจำระหว่างการใช้คำสั่ง PUSH และ CALL และจะลดค่าของ ลงหลังจากที่ได้ถ่ายเทข้อมูลออกไปแล้วในคำสั่ง POP หรือ RETURN โดยทฤษฎีทางสถาปัตยกรรม MCS-51 สามารถใช้สแตคให้มีเนื้อที่ถึง128 ไบต์ แต่ในทางปฏิบัติสำหรับโปรแกรมทั่วไปจะใช้น้อยกว่านี้ SP จะเริ่มที่ตำแหน่ง 07H ดังนั้น สแตคจะเริ่มบรรจุข้อมูลที่ตำแหน่ง MCS-51 สามารถเปลี่ยนแปลงค่าใน SP ได้ ซึ่งจะเป็นการเปลี่ยนตำแหน่งสแตคไปยังที่ใด ๆ ของ RAM ภายในชิป

5. ตัวชี้ข้อมูล (Data Pointer : DPTR)

DPTR รีจิสเตอร์ขนาด 16 บิตที่ประกอบด้วยไบต์สูง (DPH) และ ไบต์ต่ำ (DPL) ที่สามารถเลือกแบ่งออกเป็น รีจิสเตอร์ บิตสองตัวที่ใช้ได้อย่างอิสระ หรือจะใช้รวมกันทั้ง บิต ก็ได้ ในการ Increment หรือ Decrement เพื่อประโยชน์ในการใช้เป็นฐานของเลขที่อยู่ใน รีจิสเตอร์ในการกระโดดโดยทางอ้อมในการใช้คำสั่งเกี่ยวกับตารางข้อมูลและชี้ตำแหน่งของหน่วยความจำภายนอก

6. พอร์ต 0 ถึง 3

รีจิสเตอร์ P0, P1, P2 และ P3 ของกลุ่มรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ (Special Function Register : SFR) จะเป็นตัวรีจิสเตอร์ที่แลทช์ค่าของพอร์ต 0,1,2, และ 3 ตามลำดับในขณะใช้งาน

7. บัฟเฟอร์ข้อมูลอนุกรม (Serial Data Buffer : SBUF)

บัฟเฟอร์ข้อมูลอนุกรมแบ่งออกเป็นรีจิสเตอร์สองตัว ตัวหนึ่งเป็นบัฟเฟอร์การส่งและอีกตัวเป็นบัฟเฟอร์การรับ เมื่อข้อมูลถ่ายเทเข้า SBUF มันจะถ่ายเข้าบัฟเฟอร์ส่งซึ่งเป็นตัวจัดการส่งข้อมูลอนุกรม วิธีการเคลื่อนย้ายเข้า SBUF ขึ้นอยู่กับการติดตั้งโปรแกรม (Initial) การส่งข้อมูลย้ายออกจาก SBUF จะเป็นการรับข้อมูลจากบัฟเฟอร์ตัวรับ

8. รีจิสเตอร์ CAPTURE

ไอซีเบอร์ 8032/8052 จะมีคู่รีจิสเตอร์ (RCAP2H,RCAP2L)เพิ่มเติมเป็นรีจิสเตอร์เค็ปเจอร์สำหรับตัวจับเวลา 2 ในโหมดการใช้งานของรีจิสเตอร์ตัวนี้จะรับการเปลี่ยนแปลงที่เข้ามาที่ขา T2EX ตัว TH2 และ TL2 จะลอกข้อมูลเข้าไปในรีจิสเตอร์คู่ RCAP2H และ RCAP2L ด้วยการใช้ตัวจับเวลา จะมีโหมดการบรรจุอัตโนมัติขนาด 16 บิต สำหรับการใช้ตัวจับเวลา/ตัวนับ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. รีจิสเตอร์ควบคุม (Control Register)

กลุ่ม SFR ที่เป็น IP,ID,TMOD,TCON,T2CON,SCON และ PCON จะประกอบด้วยบิตที่ใช้ในการควบคุม และแสดงสถานะของการใช้งานในระบบอินเตอร์รัพต์ ตัวจับเวลา/ตัวนับและพอร์ตอนุกรม

การจัดการหน่วยความจำ

ตัว MCS-51 จะแยกแอดเดรสสำหรับหน่วยความจำของโปรแกรม และหน่วยความจำของข้อมูลออกจากัน หน่วยความจำของโปรแกรมขยายได้ถึง 64 กิโลไบต์ และจำนวนไบต์ต่ำ 4 กิโลไบต์จะอยู่ใน 8051 หน่วยความจำของข้อมูลภายในมี 128 ไบต์ (256 ไบต์สำหรับ 8032/8052) บนชิป และอีก 128 ไบต์ใช้สำหรับรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ (Special Function Register : SFR) และเข้าถึงหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้อีก 64 กิโลไบต์

โครงสร้างพอร์ตและการทำงาน

ใน MCS-51 มีพอร์ต 4 พอร์ต และทั้งสี่พอร์ตเป็นแบบสองทิศทาง แต่ละพอร์ตจะประกอบด้วยแลทช์เป็น P0 ถึง P3 ของ SFR จะมีตัวขับเอาต์พุตและบัฟเฟอร์อินพุตตัวขับเอาต์พุตของพอร์ต 0 และ 2 และบัฟเฟอร์อินพุตของพอร์ต 0 จะใช้งานสำหรับการเข้าถึงหน่วยความจำภายนอก ในการใช้งานลักษณะนี้เอาต์พุตพอร์ต 0 จะทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดไบต์ต่ำของแอดเดรสหน่วยความจำภายนอก โดยที่ค่าแอดเดรส และค่าข้อมูลจะถูกมัลติเพลกซ์ด้วยช่วงจังหวะการแฟทช์และการอ่านหรือเขียนข้อมูล ส่วนเอาต์พุตพอร์ต2 จะทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดส่งไบต์สูงของแอดเดรสในการเข้าถึงหน่วยความจำภายนอกบางขาของตัวขับเอาต์พุตและบัฟเฟอร์อินพุตของขา 1.0, 1.1 และพอร์ต3 ทั้งหมดสามารถนำไปใช้งานเป็นแบบหลายฟังก์ชัน (Multifunction) ได้ดังนี้

ขาพอร์ต	การใช้งานตามฟังก์ชัน
*P1.0	T2 (Timer/Counter2 สัญญาณอินพุตจากภายนอก)
*P1.1	T2RST (Timer/Counter 2 สัญญาณอินพุตการรีเซตภายนอก)
P3.0	RxD (พอร์ตรับข้อมูลอนุกรม)
P3.1	TxD (พอร์ตส่งข้อมูลอนุกรม)
P3.2	INT0 (การใช้อินเตอร์รัพต์ภายนอกตัวที่ 1)
P3.3	INT1 (การใช้อินเตอร์รัพต์ภายนอกตัวที่ 2)
P3.4	T0 (Timer/Counter 0 สัญญาณอินพุตภายนอก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P3.5 T1 (Timer/Counter 1 สัญญาณอินพุตภายนอก)

P3.6 WR (สโตรบการเขียนหน่วยความจำภายนอก)

P3.7 RD (สโตรบการอ่านหน่วยความจำภายนอก)

ตัวขับเอาต์พุตแลทช์ในการที่จะให้ทำงานตามตารางบน จะต้องเริ่มโปรแกรมด้วยการเซตค่า '1' เก็บในแลทช์ก่อน

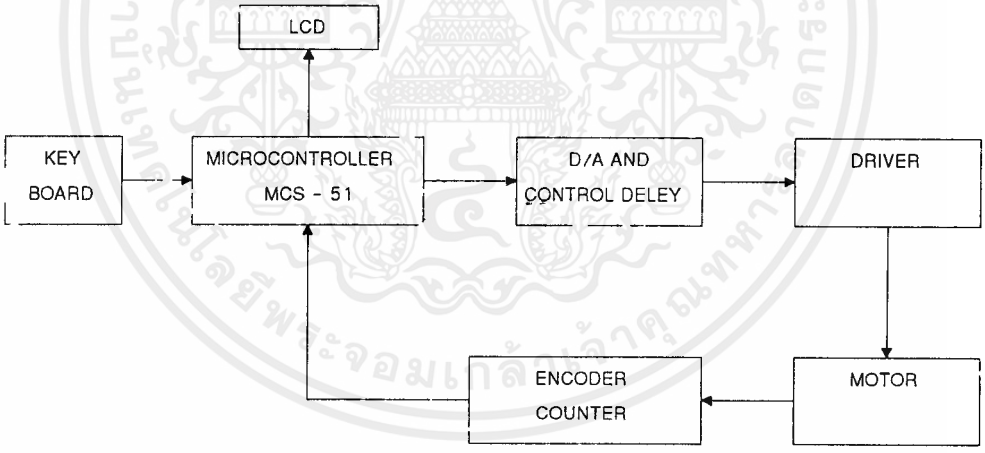
เครื่องหมาย * แสดงถึงการใช้ตัว Timer/Counter 2 ซึ่งมีเฉพาะในเบอร์ 8032/8052 เท่านั้น ทั้งโหมดตัวจับเวลาหรือตัวนับ การโหลดใหม่แบบอัตโนมัติของ Timer/Counter 2 ที่รีจิสเตอร์ RLDH และ RLDL จะเกิดขึ้นถ้าการโหลดใหม่แบบอัตโนมัติถูกเลือกใช้งานด้วยการกำหนดในบิต CP/RL2 = 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบการสร้างและการทำงาน

3.1 กล่าวนำ

จากทฤษฎีและหลักการที่ได้กล่าวมาในบทที่ 2 ได้บล็อคไดอะแกรมการทำงานดัง รูปที่ 3.1 และรวบรวมเอารูปแบบต่าง ๆ และเนื้อหาวิธีการออกแบบเพื่อที่จะมาคิดหาโครงสร้างของตัวโครงงาน วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่จะนำมาใช้ในการทำโครงงานชิ้นนี้พร้อมด้วยวิธีการเขียนโปรแกรมที่จะใช้ในการควบคุมการทำงานทั้งหมดในแต่ละส่วนของส่วนประกอบของโครงงาน โดยแต่ละส่วนประกอบจะมีคุณสมบัติเฉพาะ เมื่อเราทราบถึงคุณสมบัติและจุดประสงค์ที่เราจะสร้างส่วนประกอบนี้ขึ้นจะทำให้การออกแบบและการสร้างของส่วนประกอบชิ้นนั้น ๆ ได้เป็นไปอย่างง่ายและมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 3.1 ผังการทำงาน

3.2 คุณสมบัติ

3.2.1คุณสมบัติของฮาร์ดแวร์

1. สามารถรับน้ำหนัก 40 กิโลกรัม
2. สามารถทนต่อสภาพการสั่นสะเทือนของ Motor ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สามารถเปิดฝาดูการทำงานของระบบกลไกได้

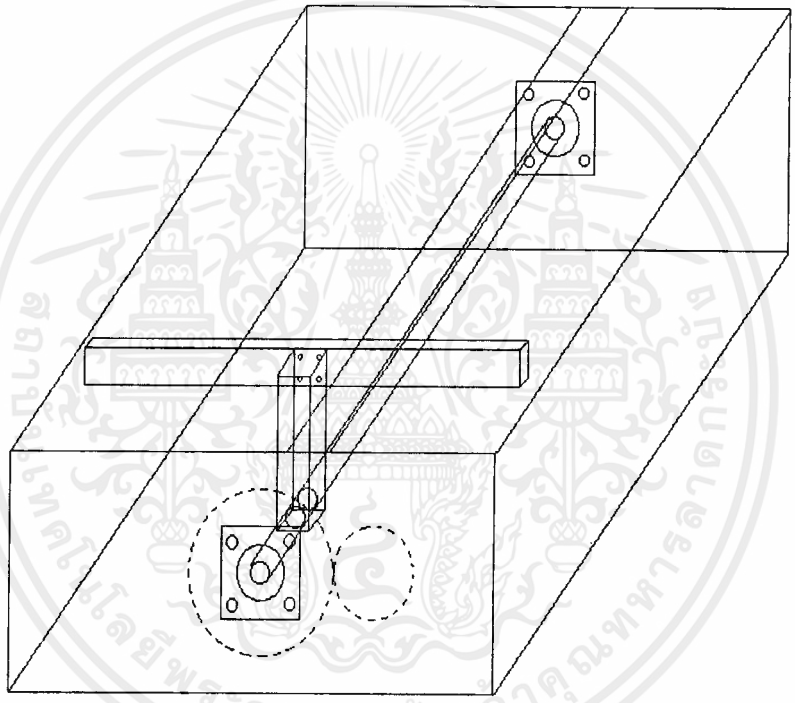
4. สามารถนำไปประยุกต์กับเครื่องจักรได้

3.2.2 คุณสมบัติของ Software และวงจรอิเล็กทรอนิกส์

1.สามารถใช้ในลักษณะ Manual และ Auto ได้

2.สามารถบังคับการทำงานของ Hardware ได้

3.สามารถแสดงตำแหน่งของ Hardware ได้อย่างแม่นยำ



รูปที่ 3.2 โครงร่าง

3.3 ส่วนประกอบของโครงสร้างเบื้องต้น

1. โครง Frame

2. วงจร Driver AC Motor

3. วงจร Control Diver AC Motor

4. วงจร D/A

5. วงจร Power Supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

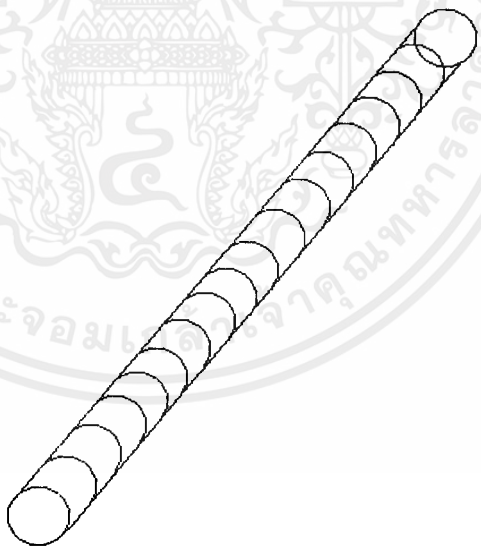
6. ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51

3.4 การออกแบบโครงสร้าง

จากคุณสมบัติที่ได้กำหนดขึ้นมาจะต้องออกแบบให้ได้ตามจุดประสงค์ที่ตั้งเอาไว้ซึ่งสามารถออกแบบได้ดังรูปที่ 3.2

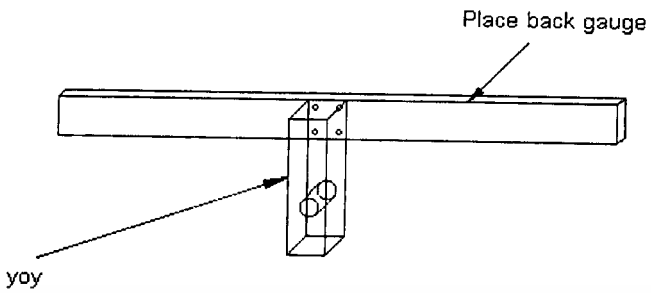
3.4.1 ชิ้นส่วนของโครงสร้าง

1. แกนเกลียว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm ยาว 480 mm (รูปที่3.3)
2. ยอย (Yoy) ขนาด 30mm × 15 mm × 12.5mm (รูปที่3.4)
3. แผ่นวัด (Place Back Gauge)
4. เฟือง
5. ตลับลูกปืนและตัวยึดลูกปืน เบอร์ 6203
6. ตัวโครง 300 × 500 × 110 mm สามารถเปิดหัวและท้ายได้



รูปที่ 3.3 แกนเกลียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 Yoy and Place Back Gauge

3.4.2 หลักการทำงาน

เมื่อ Motor ขับเคลื่อนตัว Driver ก็จะทำให้เฟืองที่ติดอยู่กับ Shaft หมุนตามไปด้วย เพราะว่าเฟืองทั้ง 2 ขบกันอยู่ เมื่อเฟืองที่ติดอยู่กับ Shaft ก็จะทำให้ Shaft หมุนตามไปด้วย เมื่อ Shaft หมุนก็จะทำให้ตัวยอยซึ่งเป็นเกลียวครอบอยู่กับ Shaft เคลื่อนที่ไปตามทิศทางของการเคลื่อนไปของเกลียวซึ่งตัวยอยนี้สามารถเคลื่อนที่ไปได้ 2 ทิศทาง คือ Forward และ Reward

3.5 การออกแบบวงจร

3.5.1 การออกแบบชุด Driver AC Motor

ชุด Driver AC Motor นี้จะต้องสามารถขับเคลื่อน AC Motor ให้สามารถเคลื่อนที่ได้ไปทั้ง Forward และ Reward และสามารถที่จะปรับความเร็วของการหมุนของ Motor AC ได้ เมื่อรู้ถึงคุณสมบัติของชุด Driver AC Motor ก็สามารถออกแบบวงจรได้

การทำงาน

หลักการทำงานของชุด Driver AC Motor นี้จะมีการป้อนไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ที่มีใช้อยู่ตามบ้านเข้าไปตรงชุด Driver AC Motor ซึ่งจะมีจุดต่ออยู่ 3 จุด คือ COM , CW , CCW

COM คือจุดต่อของสายกราวด์ไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CW คือจุดต่อของสายไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ แล้วทำให้ AC Motor วิ่งไปทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

CCW คือจุดต่อของสายไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ แล้วทำให้ AC Motor วิ่งไปทิศทางตามเข็มนาฬิกา

เมื่อป้อนไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ เข้าที่ขา COM CCW ก็จะทำให้ทิศทางการหมุนของ AC Motor จะหมุนไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ซึ่งในทางตรงกันข้ามถ้าป้อนไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ขา COM , CCW จะทำให้ Motor หมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกาและจะมีจุดต่ออีก 2 จุดซึ่งจะเป็นจุดต่อที่ป้อนไฟฟ้า AC คอยบังคับความเร็วของการหมุนของ AC Motor

3.5.2 ชุดคอนโทรล Driver

ชุดคอนโทรล Driver จะเป็นตัวคอยควบคุมการตัดต่อของไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ที่จะมาจ่ายให้กับชุด Driver และจะเป็นจุดที่คอยตัดต่อการทำงานแบบ Auto และ Manual ซึ่งจะมี Relay เป็นตัวคอยตัดต่อการทำงานทั้งหมดจะมีอยู่ทั้งหมด 3 ตัวและจะมี Switch ที่คอยควบคุมการทำงานแบบ Manual อยู่ 2 ตัว

การทำงาน

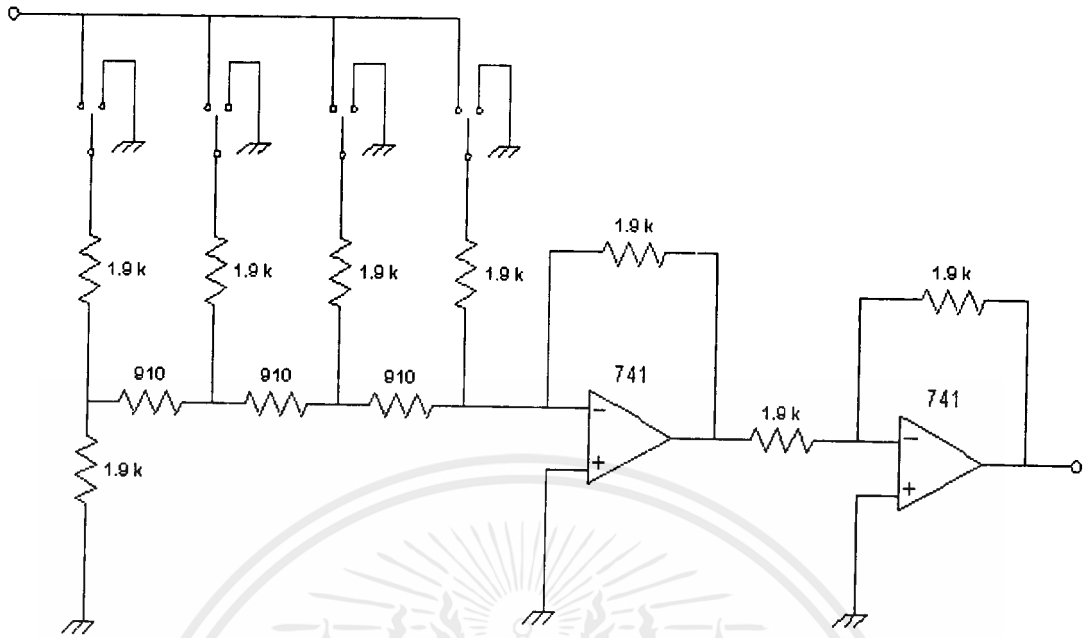
Sw 1 จะเป็นตัวคอยตัดต่อการทำงานของ Relay ทั้ง 3 ตัวซึ่งจะให้การทำงานเป็นแบบ Reward

Sw 2 จะเป็นตัวคอยตัดต่อการทำงานของ Relay ตัวที่ 3 ตัวซึ่งจะให้การทำงานเป็นแบบ Forward

3.5.3 ชุดการทำงาน วงจร D/A

วงจร D/A ที่จะเป็นตัวทำหน้าที่แปลงสัญญาณที่ถูกจ่ายออกมาจาก O/P PORT 8255 ที่จะมาคอยทำการควบคุมการปรับความเร็วของ AC Motor ซึ่งจะจ่ายออกมาเป็นสัญญาณ Digital จะถูกแปลงให้เป็นสัญญาณ Analog เพื่อนำมาควบคุมการปรับความเร็วของ AC Motor ที่ชุด Driver จึงสามารถออกแบบวงจะได้ดังรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 วงจร D/A

การทำงาน

เมื่อได้รับสัญญาณ O/P PORT 8255 ที่จ่ายมาให้และจะมีออปแอมป์เป็นตัวคอยรับสัญญาณ Digital และเปลี่ยนจากสัญญาณ Digital ให้เป็นสัญญาณ Analog แต่ในการเปลี่ยนครั้งแรก O/P ที่ออกมาของออปแอมป์จะเป็นค่าที่ติดลบ ดังนั้นจึงทำการต่อผ่านทาง Buffer อีกทีหนึ่ง ซึ่งในชุด Buffer นี้ซึ่งจะใช้ออปแอมป์อีกตัวหนึ่ง ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัว Buffer และมีเกณฑ์การขยายเป็นแบบ Inverting ดังนั้น จึงได้ O/P ที่ออกมาจึงมีลักษณะเป็นบวกซึ่งสัญญาณนี้เราสามารถที่จะนำไปควบคุมชุด Driver เพื่อที่จะให้ชุด Driver ไปควบคุมการปรับความเร็วของ AC Motor

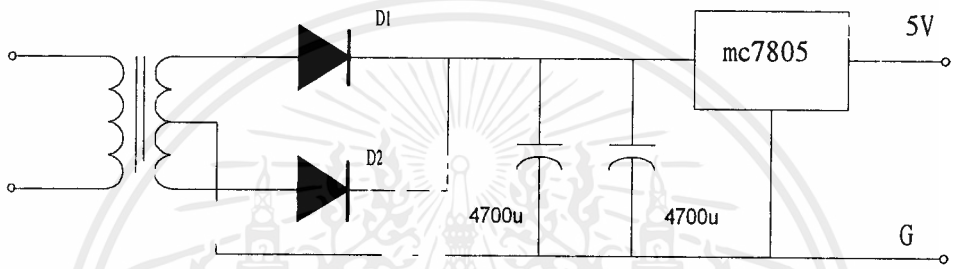
3.5.4 การออกแบบชุด Power Supply

ชุด Power Supply เป็นชุดที่จ่ายพลังงานให้กับวงจรทั้งหมดที่มีอยู่ซึ่งในการทำงานครั้งนี้จะมีชุดแหล่งจ่ายอยู่ 2 ชุดคือ ชุด +12 V -12 V 0 V +5 V ซึ่งสามารถออกแบบได้ดังวงจรดังรูปที่ 3.6 และ รูปที่ 3.7

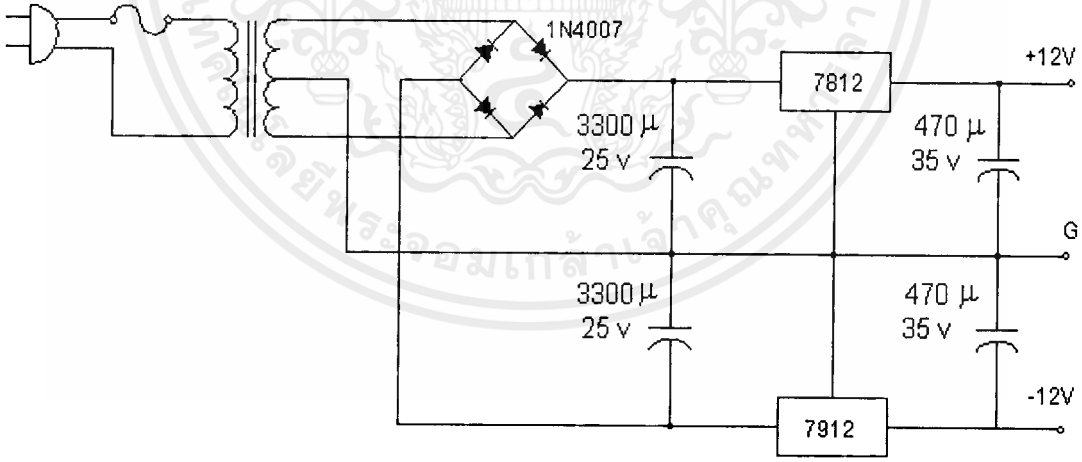
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงาน

เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์เข้ามายังหม้อแปลงซึ่งหม้อแปลงนี้จะทำหน้าที่ลดโวลต์เตจที่จ่ายเข้ามาให้เหลือเพียง 12 โวลต์ และ -12 โวลต์ และ +5 โวลต์ และผ่านการ Rectifier แบบ Full Wave จากนั้นจะมีอุปกรณ์ Recgulate คือ 7805 7905 7812 7912 เป็นตัวช่วยทำให้สัญญาณไฟฟ้าที่ออกมาทาง O/P เป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น



รูปที่ 3.6 วงจร Power Supply 5V



รูปที่ 3.7 วงจร Power Supply ±12V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 กล่าวนำ

จากทฤษฎีและหลักการส่งผลให้สามารถออกแบบและสร้างขึ้นมาได้เมื่อทำการสร้างขึ้นมาก็จะมีการทดสอบและทดลองผลของการสร้างขึ้นมานั้นว่าเป็นไปตามจุดประสงค์ที่ต้องการ ซึ่งในการทดสอบจะต้องรู้ถึงการทดลองและวิธีการที่จะทำการทดลองผลที่ได้จะนำมาสู่แนวทางการพัฒนาหรือทำให้เกิดการคิดสิ่งประดิษฐ์ใหม่ ๆ เพิ่มขึ้น ดังนั้นในการทดลองนี้ก็จะเป็นสิ่งที่จะบ่งชี้ให้เห็นว่าสิ่งที่เราประดิษฐ์ขึ้นนั้นเป็นไปตามเป้าหมายหรือไม่และจะต้องมีการเพิ่มเติมอะไรเพื่อที่จะให้สิ่งประดิษฐ์นั้นมีประสิทธิภาพสูงสุด ในการสร้างโครงงานชิ้นนี้ก็เช่นเดียวกัน ก็จะมีขั้นตอนในการทดลองเพื่อจะให้เป็นว่าแต่ละขั้นในการทดลองมีผลไปตามเป้าหมายเพียงไร ซึ่งลำดับขั้นตอนการทดลองนี้จะเรียงลำดับมีดังต่อไปนี้

4.2 ขั้นตอนการทดลอง

4.2.1 ทดสอบชุดของ Bearing และ Shaft โดยการประกอบเข้าชุดกัน แล้วทดสอบ โดยการหมุน Shaft ดูว่ามีการติดขัดอะไรบ้าง

ปัญหาที่พบ Bearing สกปรก มีเศษเหล็กเข้าไปติดอยู่ใน Bearing ทำให้การหมุนติด ๆ ขัด ๆ ไม่หมุนแบบต่อเนื่อง

วิธีแก้ ทำการถอด Bearing มาทำความสะอาด พร้อมใส่จารบีหล่อลื่น แล้วประกอบทำการทดสอบใหม่

ผลที่ได้ ตัว Shaft และชุดของ Bearing มีการทำงานไปพร้อมกันอย่างต่อเนื่องไม่มีการติดขัด

4.2.2 ทดสอบการเคลื่อนที่ของยอย ที่มีการติดตั้ง place back gauge แล้ว โดยการประกอบชุดยอยนี้เข้าไปที่ตัว Shaft แล้วทำการหมุน Shaft ดูว่าในการเคลื่อนที่ของยอยบนตัว Shaft นี้มีการติดขัดช่วงไหนและมีการเคลื่อนที่เป็นอย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาที่พบ การเคลื่อนที่ของยอยนี้จะมีการติดขัดบ้างเป็นบางช่วง เป็นเพราะสาเหตุคือ ตามฟันเฟืองมีสิ่งสกปรกติดอยู่ทำให้การเคลื่อนที่ของยอยติด ๆ ขัด ๆ ไม่สม่ำเสมอ

วิธีแก้ ทำการถอดตัว Shaft และตัวยอยมาทำความสะอาดให้เรียบร้อย แล้วใส่น้ำมันป้องกันการเกิดสนิม จากนั้นก็ประกอบทำการทดลองใหม่

ผลที่ได้ การเคลื่อนที่ของยอยเป็นไปอย่างสม่ำเสมอไม่ติดขัด

4.2.3 ทดสอบการเคลื่อนที่ของยอยเมื่อใส่ในโครงสร้าง เพื่อดูว่าการเคลื่อนที่ของตัว Place Back Gauge ที่ติดอยู่กับยอยนั้นจะติดกับพื้นด้านบนของ Frame หรือเปล่าและการหมุนซ้ายขวาจะทำให้ตัวยอยนั้นโยกซ้าย ขวาตามการหมุนของ Shaft หรือไม่

ผลที่ได้ การเคลื่อนที่เป็นไปอย่างสม่ำเสมอ เพราะว่าในการออกแบบได้กำหนดจุดห่างของ Place Back Gauge กับพื้นไว้ประมาณ 2 mm และการโยกทางซ้ายทางขวานั้นตัวยอยจะอยู่ เพราะได้ออกแบบใช้ช่วงการเคลื่อนที่พอดีกับตัวยอย

4.2.4 ทดสอบชุดเฟือง เพื่อดูการขบกันของฟันเฟืองว่าเป็นอย่างไร เมื่อทดลองนำชุดเฟืองติดกับมอเตอร์มาขบชุดเฟืองนี้ ซึ่งติดอยู่กับ Shaft และทำการป้อนไฟให้กับมอเตอร์ แล้วทดลองขับเคลื่อนดู

ผลที่ได้ การเคลื่อนที่ของ Place Back Gauge เป็นไปอย่างสม่ำเสมอ เพราะการขบกันของฟันเฟืองเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ

4.2.5 ทดลองชุดการ Scan Key โดยการนำชุด Control มาทำการป้อน Program Scan Key เข้าไปจากนั้น ก็ทำการทดลองกด Key Board เพื่อทดสอบว่าจะมีการแสดงอักขระที่จอ LCD หรือไม่ และตรงกับตัวที่เรากดลงไปหรือไม่

ผลที่ได้ การแสดงที่จอ LCD สามารถแสดงตัวอักขระที่กดลงไปได้และก็ตรงกับตัวที่เรากดที่ Key Board ซึ่งตรงกับจุดประสงค์ที่เราวางไว้

4.2.6 การทดลองการส่งสัญญาณออกทาง เอาท์พุท พอร์ท 8255 จุดประสงค์ที่ต้องการคือ ต้องการให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถส่งสัญญาณออกมาทาง เอาท์พุท พอร์ท 8255 ได้ตั้งแต่ค่า 0 - F

ผลที่ได้ การส่งสัญญาณควบคุมออกทาง เอาท์พุท พอร์ท 8255 สามารถส่งออกได้ตั้งแต่ 0 - F ซึ่งตรงตามจุดประสงค์ที่ตั้งไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.7 ทดลองรับสัญญาณจาก Encoder จุดประสงค์ที่ต้องการคือการรับสัญญาณพัลส์จาก Encoder เข้ามานับจำนวนพัลส์ที่เกิดขึ้น ว่ามีจำนวนเท่าไร และนำไปประมวลผลเพื่อให้ทราบค่าของการเคลื่อนที่ของยอยว่ามีการเคลื่อนที่ไปในระยะทางเท่าไร

ผลที่ได้ ในการรับค่าพัลส์จาก Encoder เข้ามาซึ่งจะมีตัวนับจำนวนพัลส์ที่เข้ามาสามารถนับได้ถึงจำนวนพัลส์ที่เข้าแล้วนำไปประมวลผลเพื่อแปลงจากจำนวนพัลส์ให้เป็นระยะทางซึ่งก็สามารถทราบค่าว่าในการเคลื่อนที่ของยอยว่าเคลื่อนที่ไปได้ระยะทางเท่าไรแล้วซึ่งได้ตรงกับจุดมุ่งหมายที่ต้องการ

4.2.8 การทดลองประกอบครบชุดของชุดโปรแกรมการ Scan Key ชุดโปรแกรม เอาท์พุท พอร์ท 8255 และการรับพัลส์จาก Encoder นำ Program ทั้ง 3 ชุดมาประกอบ และนำมาทำการประมวลผลร่วมกันนำการ Scan ค่าที่ต้องการให้ยอยเคลื่อนที่ไป จากนั้นก็ ส่งค่าที่ประมวลผลว่าค่าที่ได้รับนั้นเปรียบเทียบกับจำนวนพัลส์ที่จะได้รับจาก Encoder และทางเอาท์พุท พอร์ท 8255 จะส่งค่าเริ่มจาก 0 - F เพื่อส่งให้วงจร D/A แปลงค่าจากสัญญาณ Digital เป็นสัญญาณ Analog จากนั้นก็จะส่งต่อไปยังชุด Driver ซึ่งจะทำให้ชุด Driver นั้นทำการหมุน เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้รับพัลส์จาก Encoder ก็จะหยุดหมุนของ Motor โดยการสั่งให้ เอาท์พุท พอร์ท ป้อนค่าเป็น 0

ผลที่ได้ สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของยอยได้ทั้ง Forward และ Reward และจะสามารถหยุดการเคลื่อนที่ของยอยได้เมื่อยอยถึงระยะที่ไมโครโปรเซสเซอร์สั่งเอาไว้โดยการกดค่าทาง Key Board

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุปปัญหาแนวทางการแก้ไขและพัฒนา

5.1 กล่าวนำ

ในการที่จะคิดสิ่งประดิษฐ์ขึ้นมาสักอย่างหนึ่งคนเราจะต้องใช้ความคิดซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นที่จะสร้างสิ่งประดิษฐ์ขึ้นมา จุดเริ่มต้นนี้จะมีปัญหาหลายอย่างไม่ว่าจะเป็ นการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการสร้างโครงงานก่อน ปัญหาที่จะเกิดขึ้นในตอนนี้ก็คือการไม่มีตำราที่จะนำมาศึกษาเพื่อที่เราจะสร้างสิ่งประดิษฐ์ที่เราต้องการได้ ถึงแม้ว่าเราจะมีตำราอ่านแต่เมื่อการออกแบบหรือสร้างโครงงานการออกแบบการสร้างและการทำงานบางสิ่งบางอย่างเราอาจจะเจอนอกตำรา ดังนั้นเราควรที่จะต้องศึกษานอกตำราจากผู้ที่มีประสบการณ์และความรู้ เมื่อเราได้ความรู้จากผู้ที่มีประสบการณ์มาแล้วสิ่งต่อไปที่เราจะเจอ คือการทดสอบและการทดลองในการทำงานว่าเป็ นไปตามที่เราต้องการหรือไม่ ถ้าเกิดเป็นไปตามที่เราต้องการก็ถือว่าสิ่งที่เราคิดขึ้นมาตอนแรกนั้นเป็นความจริงสามารถที่จะปฏิบัติให้เห็นได้ แต่เมื่อไรที่การทดลองไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่เราต้องการนั้นคือปัญหาที่เราต้องแก้ไขซึ่งจะต้องค้นคว้า ตั้งแต่แรกเริ่มจากการศึกษาเริ่มต้นของสิ่งประดิษฐ์นั้น ๆ จนถึงการประดิษฐ์ขึ้นมาเราถึงจะสามารถรู้และแก้ไขปัญหาเหล่านั้นได้

5.2 ปัญหาที่พบ

ในการทำโครงงานของระบบการควบคุมตำแหน่งนี้ก็เช่นกัน ปัญหาก็มีตั้งแต่แรกเริ่มที่คิดจะสร้างขึ้นมา ซึ่งสามารถแบ่งปัญหาได้อยู่ 2 ส่วน คือ

1. ส่วนที่เกิดขึ้นจาก Hardware
2. ส่วนที่เกิดขึ้นจาก Software

5.2.1 ส่วนที่เกิดขึ้นจาก Hardware

1. การออกแบบของตัวโครงสร้างไม่ตายตัว จะนำไปใช้งานจริงกับเครื่องจักรชนิดใดเพราะสามารถนำไปใช้ได้กับหลาย ๆ เครื่องจักที่มีระบบของการวัดอยู่ด้วย สิ่งที่เป็นปัญหาก็คือไม่รู้ว่าจะสร้างโครงสร้างแบบใดถึงจะสามารถรองรับกับเครื่องจักรหลาย ๆ ประเภทได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวทางการแก้ไข

ได้รับคำปรึกษาจากผู้รู้ได้ให้แนวความคิดว่าในการสร้างจะต้องเฉพาะเจาะจงหรือเน้นที่เครื่องจักรใดเครื่องจักรหนึ่งซึ่งจะทำให้การออกแบบเป็นไปในแนวทางที่ง่ายขึ้นและสามารถสร้างเพื่อที่เราสามารถจะรองรับเครื่องจักรนั้น ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

2. อุปกรณ์และชิ้นงานที่สั่งซื้อเข้ามาส่วนใหญ่ จะสั่งนำเข้ามาจากต่างประเทศหรือบางชิ้นก็มีอยู่ในประเทศไทย แต่เมื่อเรานำมาใช้งานจะต้องมีการเปรอะเปื้อนกับสิ่งสกปรกดังนั้นเมื่อเรานำไปใช้งานก็จะเกิดมีการขัดข้องเกิดขึ้น

แนวทางการแก้ไข

อุปกรณ์ที่สั่งมาไม่ว่าจะเป็นในประเทศหรือต่างประเทศก่อนการใช้งานจะต้องมีการระมัดระวังในการทำงานอย่าให้มีการเปอะเปื้อนกับสิ่งที่เรารู้ว่าจะสกปรกแต่ถ้าสกปรกก็ให้ทำความสะอาดทุกครั้งก่อน

3. อุปกรณ์ที่ซื้อมาไม่ตรงกับการออกแบบซึ่งเราออกแบบเอาไว้ ดังนั้นเราไม่สามารถที่จะกำหนดได้เพราะว่าการหาซื้ออุปกรณ์ที่เราต้องการนั้นไม่มีเราจึงต้องนำตัวที่ทำหน้าที่แทนตัวอุปกรณ์ตัวนั้นมาใช้งานซึ่งรูปแบบอาจจะไม่ตรงกับที่เราออกแบบเอาไว้

แนวทางการแก้ไข

เราจะต้องทำการแก้ไขรูปแบบของโครงสร้างที่เราออกแบบไว้ตั้งแต่แรกให้สามารถนำอุปกรณ์ที่ซื้อมาแทนมาใช้งานแทนที่ตัวนั้นได้พร้อมทั้งติดตั้งอย่างมั่นคง เช่น Encoder

4. อุปกรณ์หาซื้อยากซึ่งบางครั้งเราจะต้องสั่งซื้อมาจากต่างประเทศซึ่งในการสั่งซื้อเราต้องใช้ระยะเวลานานที่เราจะได้รับอุปกรณ์ตัวนั้น

แนวทางการแก้ไข

เราสามารถที่จะนำของเก่ามาใช้งานแทนกันได้ถ้าคุณสมบัติในการทำงานมีความคล้ายคลึงกันและสภาพการทำงานจะต้องมีสภาพที่สมบูรณ์

5. อุปกรณ์บางตัวไม่มีคู่มือมาให้เช่น Encoder เพราะเราใช้ของเก่าที่สามารถนำมาดัดแปลงกันได้

แนวทางการแก้ไข

ต้องสอบถามผู้ที่มีความเชี่ยวชาญและมีประสบการณ์ในการใช้งานของอุปกรณ์ตัวนั้น

6. ในการทำงานของระบบมีเสียงที่ดัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวทางการแก้ไข

เสียงที่เกิดขึ้นเกิดจากชุดเฟือง ฉะนั้นชุดเฟืองจะต้องขบกันให้พอดี

5.2.2 ส่วนที่เกิดขึ้นจาก Software

1. เมื่อซื้อบอร์ดของไมโครคอนโทรลเลอร์มาพร้อมทำให้การเขียนโปรแกรมเป็นไปได้ยาก

แนวทางการแก้ไข

เราสามารถนำอุปกรณ์ตัวนี้ไปรับคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญและรับคำปรึกษามาเป็นแนวทางในการเขียนโปรแกรม

2. โปรแกรมที่เขียนในไมโครคอนโทรลเลอร์ ยังไม่สามารถที่จะเข้าใจคำสั่งของตัวโปรแกรมได้อย่างละเอียดดังนั้นการเขียนจึงมีการติดขัดบางช่วงซึ่งทำให้การรันโปรแกรมไม่เป็นไปตามเป้าหมาย

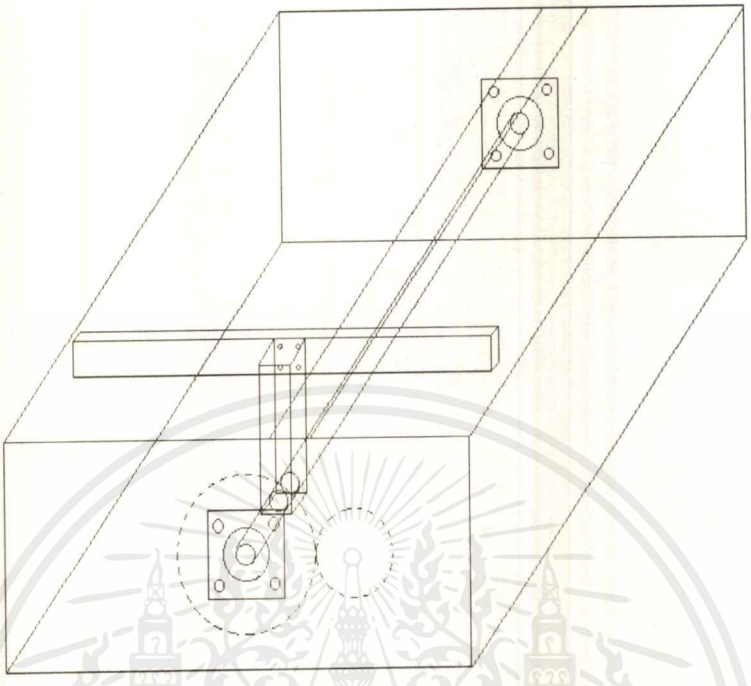
แนวทางการแก้ไข

เราสามารถนำอุปกรณ์ตัวนี้ไปรับคำแนะนำจากผู้ เชี่ยวชาญและรับคำปรึกษามาเป็นแนวทางในการเขียนโปรแกรม

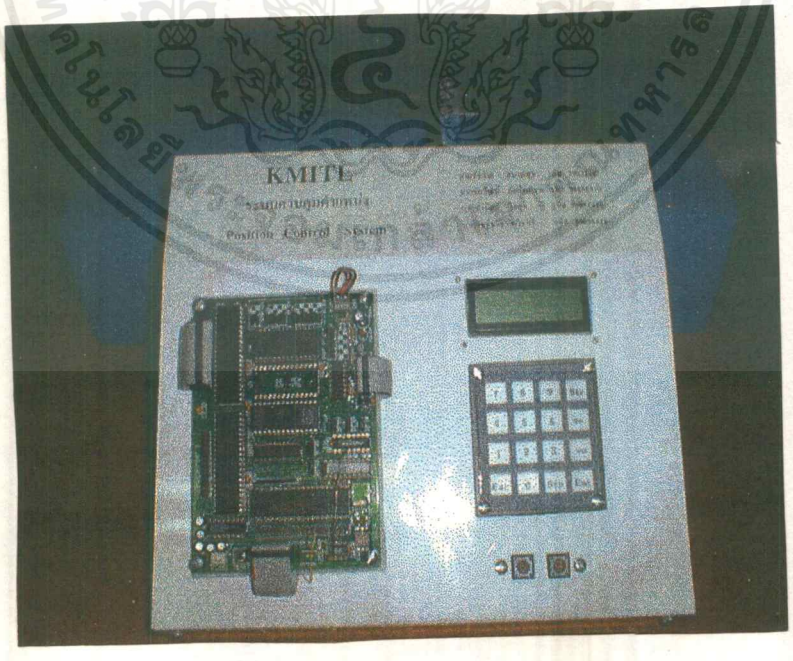
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
รูปต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

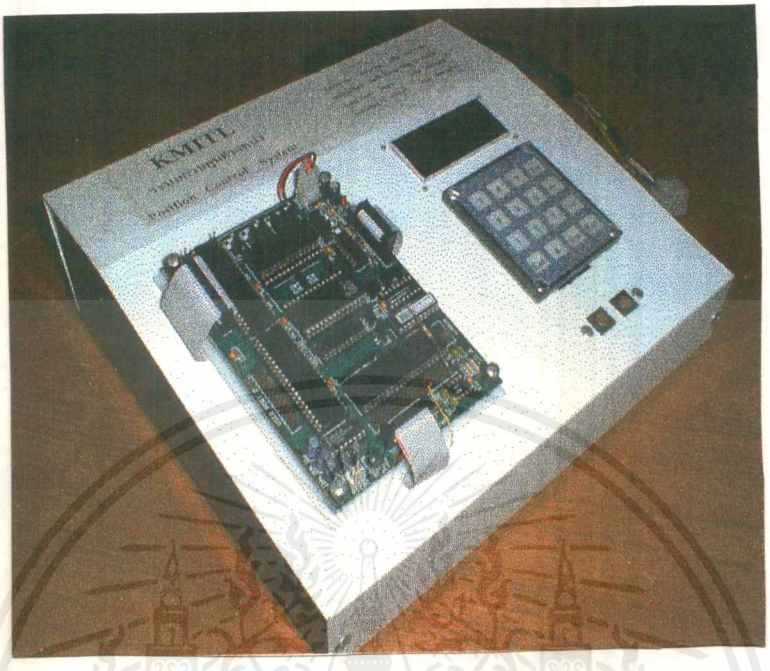


รูปที่ ก.1 โครงร่าง

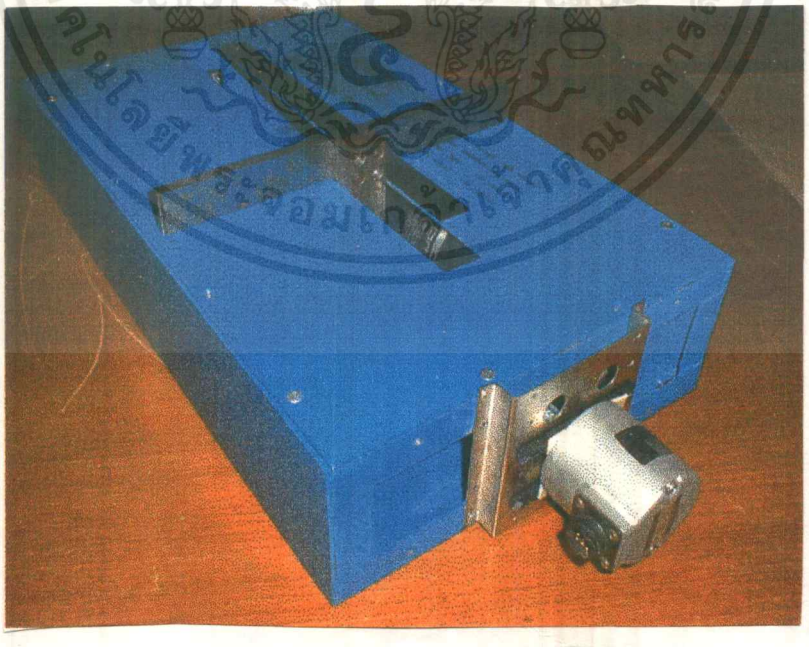


รูปที่ ก.2 ชุดประกอบสำเร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

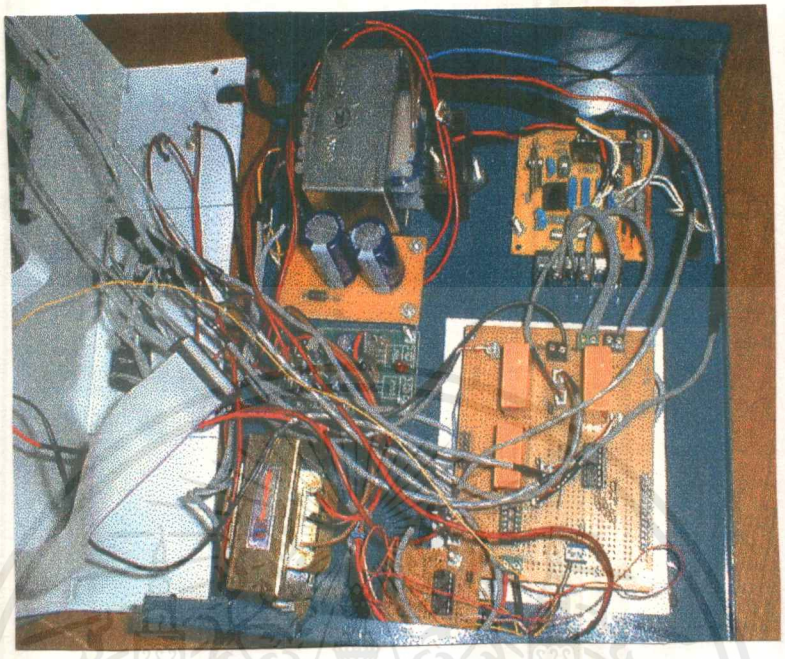


รูปที่ ก.3 ชุด CONTROL



รูปที่ ก.4 ภาพของชุดแมกคานิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.5 การวางแผงวงจรภายใน

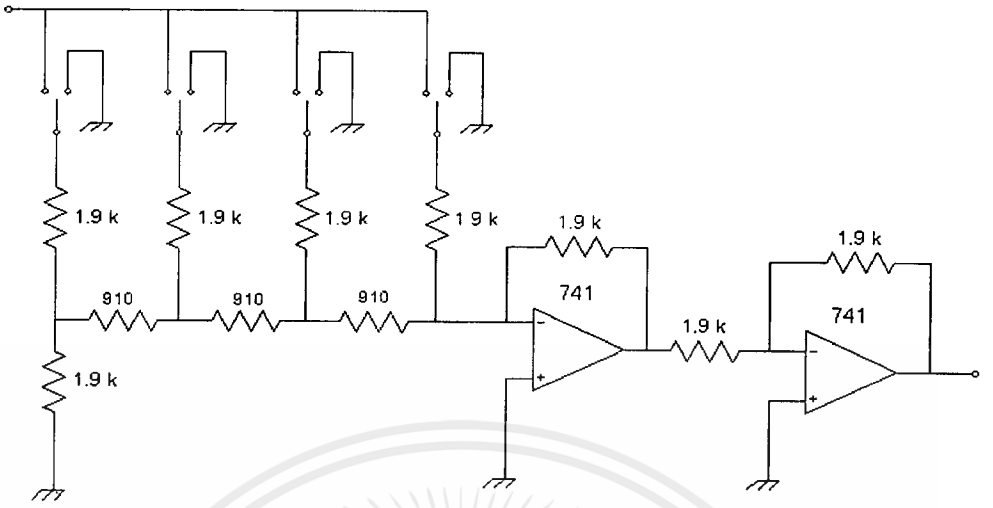
รูปที่ ก.6 Display And Key Board

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

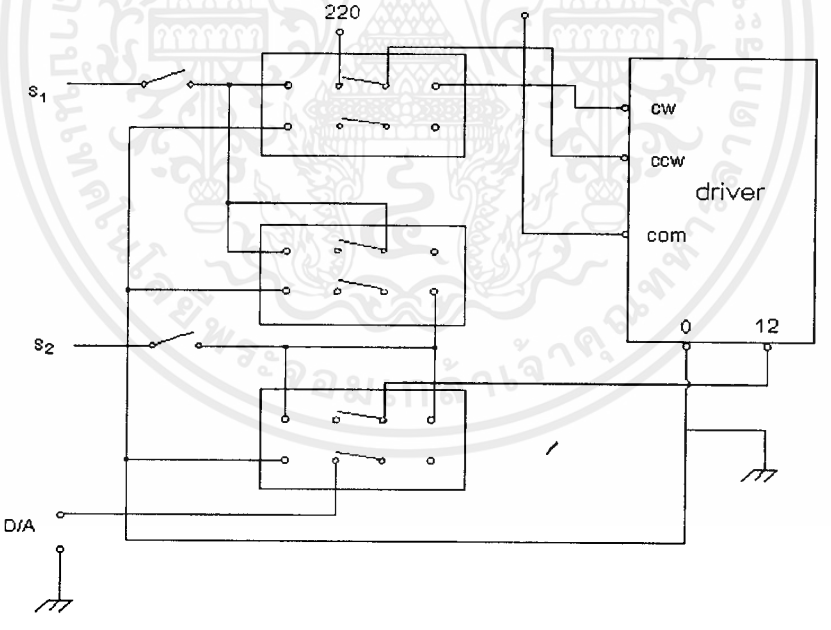
ภาคผนวก ข

วงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

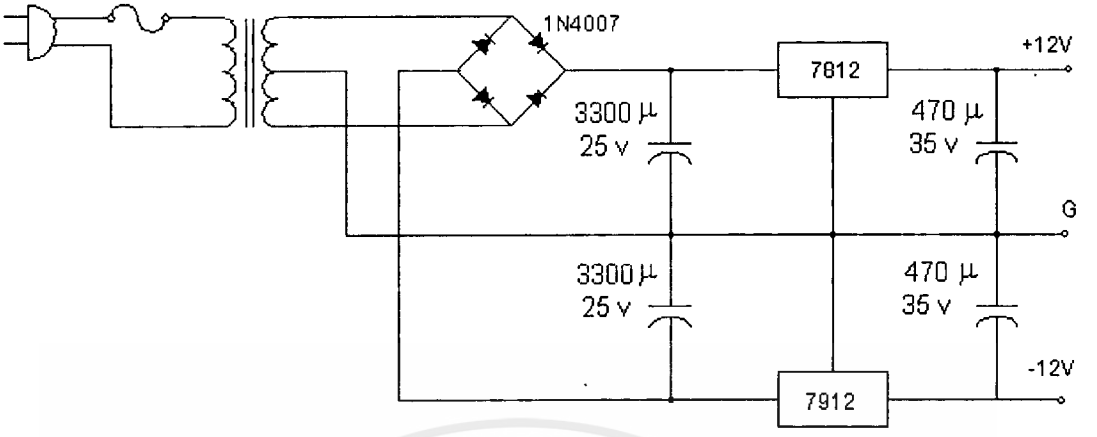


รูปที่ ข.1 วงจร D/A

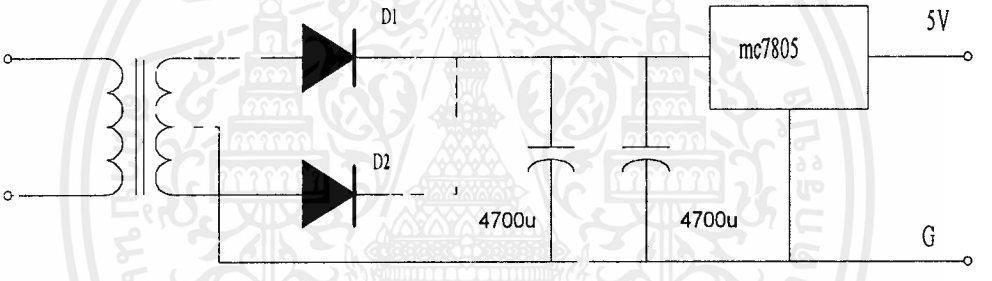


รูปที่ ข.2 ชุดคอนโทรล Drive

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.3 วงจร POWER SUPPLY ± 12V



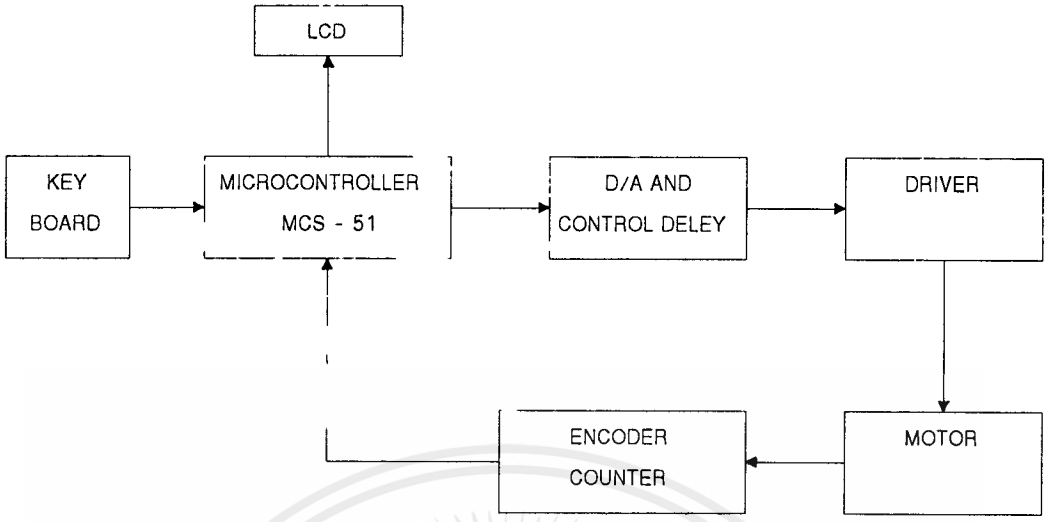
รูปที่ ข.4 วงจร POWER SUPPLY 5V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ผังการทำงานและโปรแกรมการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.1 ผังการทำงาน

โปรแกรม

```
;-----------------------------------------------
;
;
Lcdwrinsp       equ     0fa00h
lcdrdinsp       equ     0fa01h
lcdwrdatp       equ     0fa02h
lcdrddatp       equ     0fa03h
;
p8255ula        equ     0f800h
p8255ulb        equ     0f801h
p8255ulc        equ     0f802h
p8255ulctl      equ     0f803h
;
p8255u2a        equ     0fc00h
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
p8255u2b        equ     0fc01h
p8255u2c        equ     0fc02h
p8255u2ctl      equ     0fc03h
;
        ORG     50H
key_buf:        ds      1       ;for keep mode
mode:           ds      1       ;for keep position
set_pos:        ds      1       ;
column:         ds      1       ;
value_buf:      ds      3
;-------------------------------------------------------
        ORG     0000H
        ajmp    start
;
        ORG     000BH
        ajmp    counter0_int
;-------------------------------------------------------
;system delay
        ORG     0100H
start:  mov     r0,#00h
again:  mov     r1,#00h
loop:   djnz    r1,#loop
        djnz    r0,again
;-------------------------------------------------------
;main program
main:   acall   ini_lcd
        acall   ini_p8255
        acall   ini_counter
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
main_ini:       clr     a
                mov     real_pos,a
                mov     set_pos,a
                inc     a
                mov     mode,a
;
                mov     a,#80h          ;display name of project
                acall   set_addr
                mov     dptr,#table1
                acall   wr_word_lcd
                mov     a,#0c0h
                acall   set_addr
                mov     dptr,#table2
                acall   wr_word_lcd
;
main_scan:      acall   scan_key
                cjne    a,#0dh,main_scan        ;display choice of mode
                acall   clr_lcd         ;0d key ent
                mov     a,#80h
                acall   set_addr
                mov     dptr,#mode1_tbl
                acall   wr_word_lcd
                mov     a,#0c0h
                acall   set_addr
                mov     dptr,#mode2_tbl
                acall   wr_word_lcd
;
mode_scam:      acall  scan_key
                cjne    a,#01h,chk_key_2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        mov     mode,a
        ajmp    disp_mode
chk_key_2:      cjne    a,#02h,mode_scan
        mov     mode,a
;
disp_mode:      acall   clr_lcd
        mov     a,#81h          ;disp mode
        acall   set_addr
        mov     dptr,#line1_tbl
        acall   wr_word_lcd
        mov     a,#0c1h
        acall   set_addr
        mov     dptr,#line2_tbl
        acall   wr_word_lcd
;
        mov     a,#86h
        acall   set_addr
        mov     a,mode
        acall   hex2ascii
        mov     dptr,#lcdwrdatp
        mov     a,r2
        movx    @dptr,a
        acall   busydelay
        mov     a,#0c9h
        mov     column,a
        acall   set_addr
        acall   on_cursor
        mov     a,#offh
        mov     value_buf,a
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        mov     value_buf+1,a
        mov     value_buf+2,a
        mov     r1,#value_buf
        mov     a,#01h
        cjne    a,mode,period_scan
        clr     a
        mov     real_pos,a
;scankey receive data
period_scan:  acall   chk_release
pe_scan:      acall   scan_key
        cjne    a,#0ffh,chk_period
        sjmp    pe_scan

chk_period:   cjne  a,#00,chk_1
        ajmp    disp_data
;
chk_1:      cjne  a,#01,chk_2
        ajmp    disp_data
;
chk_2:      cjne  a,#02,chk_3
        ajmp    disp_data
;
chk_3:      cjne  a,#03,chk_4
        ajmp    disp_data
;
chk_4:      cjne  a,#04,chk_5
        ajmp    disp_data
;
chk_5:      cjne  a,#05,chk_6
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        ajmp    disp_data
;
chk_6:      cjne  a,#06,chk_7
        sjmp    disp_data
;
chk_7:      cjne  a,#07,chk_8
        sjmp    disp_data
;
chk_8:      cjne  a,#08,chk_9
        sjmp    disp_data
;
chk_9:      cjne  a,#09,chk_left
        sjmp    disp_data
;
chk_left:   cjne  a,#0bh,chk_right
        ajmp    left_sub
;
chk_right:  cjne  a,#0ch,chk_ant
        ajmp    right_sub
;
chk_ent:    cjne  a,#0dh,pe_esc
        ajmp    ent_sub
;
pe_esc:     cjne  a,#0fh,pe_scan
        acall   off_cursor
        ajmp    main_ini
;
;-------------------------------------------------------
; display data in memory
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
disp_data:    mov  @r1,a
              acall    hex2ascii
              mov      dptr,#lcdwrdatp
              mov      a,r2
              movx     @dptr,a
              acall    busydelay
              inc      r1
              inc      column
              cjne     r1,#value_buf+3,out_disp_v
              dec      r1
              dec      column
              mov      a,column
              acall    set_addr
out_disp_v:   ajmp     period_scan
;-------------------------------------------------------
; sub program when press left key
left_sub:     mov   a,#0c9h
              cjne     a,column,coll_ok
              ajmp     pr_scan
coll_ok:      dec    r1
              dec      column
              mov      a,column
              acall    set_addr
              acall    chk_release
              ajmp     pe_scan
;-------------------------------------------------------
; sub program when press right key
right_sub:    mov   a,#0cbh
              cjne     a,column,chkr_dat
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        ajump   pe_scan
chk_dat:        cjne    @r1,#0ffh,chkr_ok
        ajmp    pe_scan
chkr_ok         inc     r1
        inc     column
        mov     a,column
        acall   set_addr
        acall   chk_release
        ajump   pe_scan
;-------------------------------------------------------
; sub program when press enter key
ent_sub:        mov     a,#0ffh
        cjne    a,value_buf+2,all3_byte
        cjne    a,value_buf+1,range1_ok
        cjne    a,value_buf+0,range2_ok
        ajump   pe_scan
all3_byte:      mov     a,#02h
        cjne    a,value_buf+0,chk_low
        jnc     chk_next
chk_low:        dec     a
        cjne    a,value_buf+0,$+3
        jnc     range_ok
        sjmp    error_loop
chk_next:       mova,#05h
        cjne    a,value_buf+1,chk_high
        cjne    a,value_buf+2,$+3
        jnc     range_ok
        sjmp    error_loop
chk_high:       jnc     range_ok
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;-------------------------------------------------------
; when there are error
error_loop:     acall   off_cursor
        acall   disp_error
        acall   chk_release
err_loop:       acall   scan_key
        cjne    a,#0ffh,out_err
        sjmp    err_loop
out_err:        ajmp    disp_mode
;-------------------------------------------------------
; for data in range
range_ok:       mov     r3,value_buf+0
        mov     r2,value_buf+1
        mov     r1,value_buf+2
        acall   bcdtohex
        mov     set_pos,a
        sjmp    stand_by
;
range1_ok:      mov     r3,#0
        mov     r2,value_buf+0
        mov     r1,value_buf+1
        acall   bcdtohex
        mov     set_pos,a
        sjmp    stand_by

range2_ok:      mov     r3,#0
        mov     r2,#0
        mov     r1,value_buf+0
        acall   bcdtohex
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        mov     set_pos,a
        sjmp    stand_by
;-------------------------------------------------------
;before start motor
stand_by:       acall   off_cursor
stand_:         acall   scan_key
        cjne    a,#0fh,chk_st_mode
        sjmp    stand_
;
chk_st_mode:    cjne    a,#0ah,chk__esc         ;0a = start key
        mov     a,#02
        cjne    a,mode,stdb_mode1
        mov     a,real_pos
        cjne    a,set_pos,$+3
        jnc     strt_scan
stdb_model:     mov     a,#00
        cjne    a,set_pos,pos_ok
        sjmp    strt_scan
pos_0k:         mov     dptr,#p8255ula
        setb    tcon.4          ;start counter0
        mov     a,#01
        cjne    a,mode,_mode2
        mov     a,set_pos
        cjne    a,#10,$+3
        jnc     fast_
        mov     a,#8
        movx    @dptr,a
        sjmp    strt_scan
;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
_mode2:     mov   a,set_pos
            subb  a,real_pos
            cjne  a,#10,$+3
            jnc   fast_
            mov   a,#8
            movx  @dptr,a
            sjmp  strt_scan
;
fast_:      mov   a,#0fh          ;start motor
            movx  @dptr,a
;
strt_scan:  acall scan_key
            cjne  a,#0ffh,chk_stop
            mov   a,real_pos
            acall hextobcd
            mov   a,#89h
            acall set_addr
            mov   a,r5
            acall hex2ascii
            mov   dptr,#lcdwrdatp
            mov   a,r2
            movx  @dptr,a
            acall busydelay
            mov   a,r4
            acall wr_byte_led
            sjmp  strt_scan
;
chk_stop:   cjne  a,#0eh,strt_scan
            mov   dptr,#p8255ula
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        clr     a
        movx    @dptr,a         ;stop motor
        clr     tcon.4          ;stop counter
        ajmp    disp_mode
;
chk_esc:        cjne    a,#0fh,_esc
        ajmp    disp_mode
_esc:           ajmp    stand_by
;-------------------------------------------------------
;display error
disp_error:     acall   clr_lcd
        mov     a,#80h
        acall   set_addr
        mov     dptr,#err_tbl
        acall   wr_word_lcd
        mov     a,#0c0h
        acall   set_addr
        mov     dptr,#press_tbl
        acall   wr_word_lcd
        ret
;-------------------------------------------------------
;for counter0 interupt
counter0_int:   push    dph
        push    dpl
        push    acc
;
        clr     tcon.4          ;stop counter
        mov     t10,#0edh       ;initial value
        mov     th0,#0ffh       ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        inc     real_pos
        mov     a,set_pos
        cjne    a,real_pos,ot_int
        mov     dptr,#p8255ula
        clr     a
        movx    @dptr,a         ;stop motor
        clr     tcon.4          ;stop counter
        pop     acc
        pop     dpl
        pop     dph
        reti
;
out_int:    setb    tcon.4
        pop     acc
        pop     dpl
        pop     dph
        reti
;-------------------------------------------------------
;initial port 8225
ini_p8255:  mov     dptr,#p8255ulctl
        mov     a,#80lh         ;all port is output
        movx    @dptr,a
;
        mov     r0,#05
        acall   delay
        mov     dptr,#p8255ila
        mov     a,#00h
        movx    @dptr,a
        ret
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;-------------------------------------------------------
; for initial lcd module
ini_lcd:        mov     dptr,#lcdwrinsp         ;function set
        mov     a,#00111000b
        movx    @dptr,a
        acall   busydelay
        mov     a,#00001100b            ;display on/off
        movx    @dptr,a
        acall   busydelay
        mov     a,#00000110b            ;entry mode set
        movx    @dptr,a
        acall   busydelay
        acall   clr_lcd
        ret
;-------------------------------------------------------
;for initial counter0  and interupt
ini_counter:    mov     tmod,#05h       ;counter 0  mode 0
        setb    ie.7                    ;enable interupt
        setb    ie.7                    ;enable counter0 interupt
        mov     tl0,#0edh               ;intial value
        mov     th0,#0ffh               ;
        ret
        ;-------------------------------------------------------
;sub program for  write data 1 byte to lcd
;input = r3,r2(accii code)
;use reg = a
wr_byte_lcd:    mov     a,r3
        mov     dptr,#lcdwrdatp
        movx    @dptr,a
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        acall   busydelay
        mov     a,r2
        movx    @dptr,a
        acall   busydelay
        ret
;-------------------------------------------------------------
; sub  program for set address of ddram on lcd module
; input = a
; usereg = dpar,a
set_addr:       mov     dptr,#lcdwrinsp
        movx    @dptr,a
        acall   busydelay
        ret
;-------------------------------------------------------------
;sub program for write data to lcd module
;input =dptr
;userg=dptr,r5
wr_word_lcd :   mov     r5,#00h
wr_word:        mov     a,r5
        movc    a,@a+dptr
        cjme    a,#0ah,wr_
        ret
;
wr_;    push    dpl
        push    dph
        mov     dptr,#lcdwrdatp
        movx    @dptr,a
        acall   busydelay
        inc     r5
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        pop     dph
        pop     dpl
        ajmp    wr_word
;-----------------------------------------------
; sub program for clear display on lcd module
clr_lcd: mov    dptr,#lcdwrinsp
        mov     a,#01h
        movx    @dptr ,a
        mov     r0,#02
        acall   delay
        ret
;-----------------------------------------------
sub program for on LCD
on_cursor :     mov   dptr,#lcdwrinsp
        mov     a,#00001110b
        movx    @dptr,a
        acall   busydelay
        ret
;-----------------------------------------------
sub program for off cursor on LCD
off_cursor:     mov   dptr,#lcdwrinsp
        mov     a,#00001110b
        movx    @dptr,a
        acall   busydelay
        ret
;-----------------------------------------------
;delay 1 mS
delay:  mov     r7,@%d
del:    nop
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        nop
        djnz r7,del
        djnz r0,delay
        ret
;-------------------------------------------------
;delay for busy of  lcd
 busydelay:     mov     r7,#25   ;delay 50uS for busy lcd
busy:           djnz    r7,busy
                ret
;-------------------------------------------------
;sub program for check release key
chk_release:    acall   scan_key
        cjnz    a,#0ffh,chk_rel
        ret
chk_rel: mov key_buf,a
        mov     r0,#5
        acall   delay
        acall   scan_key
        cjnc    a,key_buf,out_chk
        sjmp    chk_release
out_chk:
        ret
;-------------------------------------------------
; sub program for scan key board
; use r0
;output code key in a
scan_key:       mov     a,#11111110b   ;scan row 0
        mov     pl,a
        mov     r0,#05h
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            ret
row3col2:   jb      p1.5,row3col3
            mov     a,#09h
            ret
row3col3:   jb      p1.7,no_press
            mov     a,#0ah
            ret
no_press:   mov     a,#0fh
            ret
;-----------------------------------------------
; sub program converse HEX to ASCII
; input = reg a
; output =r3(high),r2(low)
hex2ascii:  push    acc
            swap    a
            acall   htoa
            mov     r3,a
            pop     acc
            acall   htoa
            mov     r2,a
            ret
;
htoa:       anl     a,#0fh
            cjne    a,#0ah,less_more
            ajmp    more_9
less_more:  jnc     more_9
            orl     a,#30h
            ret
more_9:     subb    a,#09
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        orl     a,40h
        ret
;-------------------------------------------------------
;sub program for converse HEX to BCD
;input = reg a
;output = r5(high),r4(low)
hextobcd:       mov     r4,#00
        mov     r5,#00
more_100:       cjne    a,#100,$+3
        jc      less_100
        subb    a,#100
        inc     r5
        ajmp    more_100
less_100:       cjne    a,#10,$+3
        jc      less_10
        subb    a,#10
        inc     r4
        ajmp    less_100
less_10:                push    acc
        mov     a,r4
        swap    a
        mov     r4,a
        pop     acc
        add     a,r4
        mov     r4,a
        ret
;-------------------------------------------------------
;sub program for converse BCD to HEX
;input = r3(high),r2,r1(low)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;output = reg a
bcdtohex:       mov     a,rl
                cjne    r2,#00,chk_10_ok
                ajmp    chk_100
chk_10_ok:      add     a,#10
                djnz    r2,chk_10_ok
chk_100:        cjne    r3,#00chk_100_ok
                ret
chk_100_ok:     add     a,#100
                djnz    r3,chk_100_ok
                ret
;-----------------------------------------------
; data table
table 1:        db      "CONTROL POSITION" ,0ah
table2:         db      "   SYSTEM   " ,0ah
mode1_tbl:      db      "MODE 1 KEY (1) " ,0ah
mode2_tbl:      db      "MODE 2 KEY (2) " ,0ah
line1_tbl:      db      "MODE" ,0ah
line2_tbl:      db      "PERIOD:        mm" ,0ah
err_tbl:        db      "ERROR OVER RANGE",0ah
press_tbl:      db      "PRESS ANY KEY", 0ah
                end
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง
คู่มือการใช้งานและคุณสมบัติของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งที่ควรรู้

การทำงานแบ่งเป็น 2 ระบบ คือ Manual และ Auto และระยะทางที่สามารถเคลื่อนตำแหน่งได้ไม่เกิน 255 mm

การใช้งาน

1. ทำการเปิดเครื่อง
2. เมื่อทำการเปิดเครื่องที่หน้าจอ (Display) ปรากฏข้อความดังต่อไปนี้

CONTROL POSITION SYSTEM

3. จากนั้นทำการกดปุ่ม Enter
4. จะปรากฏข้อความดังต่อไปนี้

Mode 1	key (1)
Mode 2	key (2)

โดย ในโหมด 1 จะเป็นการเริ่มจากจุดเริ่มต้น

ในโหมด 2 จะเป็นการเริ่มจากจุดที่ยอยอยู่ปัจจุบัน

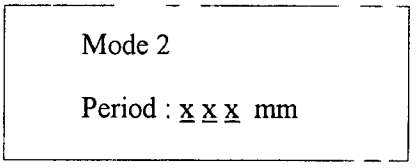
5. จากนั้นทำการเลือกโหมดโดยการกดคีย์ 1 หรือ 2 จากนั้นที่หน้าจอจะปรากฏข้อความดังนี้

ที่โหมด 1

Mode 1 Period : x x x mm

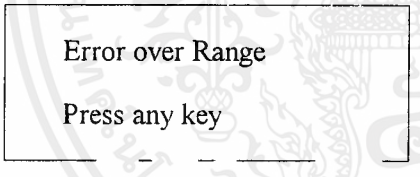
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่โหมด 2

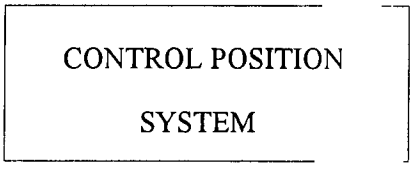


ในช่องของ x x x จะเป็นช่องว่างสำหรับเติมตัวเลขของระยะทางที่ต้องการให้เคลื่อนที่ โดยสามารถใส่ขนาดของเลขได้ไม่เกิน 255 ซึ่งหมายถึงสามารถเคลื่อนที่ได้ไม่เกิน 255 ม.ม. หรือ 25.5 ซ.ม. จากนั้นให้กดปุ่ม ENTER ที่คีย์บอร์ด ยอยและ Place back gauge จะทำการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่เรากำหนด ในการใส่จำนวนเลขหากเราใส่ผิดสามารถกดปุ่มลูกศรเลื่อนซ้ายหรือเลื่อนขวา เพื่อทำการแก้ไขเลขให้ถูกต้องได้

6. หากตัวเลขที่เราทำการใส่ลงไปมีค่าเกิน 255 เช่น เราใส่เลข 256 ที่หน้าจอจะขึ้นข้อความดังต่อไปนี้



นั้นหมายถึงเราได้ทำการใส่หมายเลขเกินค่าที่กำหนดไว้ เครื่องจะหยุดการทำงาน จากนั้นให้ทำการกดปุ่ม Reset ที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทำการเริ่มการทำงานใหม่ ซึ่งจะกลับไปที่หน้าจอ

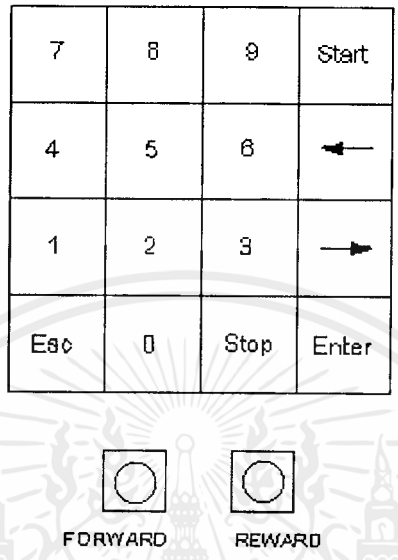


เพื่อเริ่มต้นการทำงานใหม่

7.หากต้องการให้หยุดระหว่างการทำงานและเมื่อจบการทำงานทุกครั้งจะต้องกดปุ่ม Stop

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปุ่มที่ใช้ในการทำงาน



รูปที่ 13 KEYBOARD

จากรูปที่ 13 เป็นคีย์บอร์ดที่ใช้ในการคีย์ โดยมีการใช้งานดังต่อไปนี้

0 - 9 เป็นค่าตัวเลขที่จะทำการใส่

S t a r t เป็นปุ่มที่กดเมื่อได้ใส่จำนวนเลขเรียบร้อยแล้ว ซึ่งระบบแมกคานิกส์จะเริ่มเคลื่อนตำแหน่ง

Esc เป็นปุ่มที่ทำหน้าที่ในการ Cancel

Enter เป็นปุ่มที่ใช้ในการรับคำสั่งการทำงาน

← , → เป็นปุ่มที่ใช้ในการเลื่อนตำแหน่งของตัวเลข หากเราต้องการทำการแก้ไขจำนวนเลขที่ได้ใส่ไป

Stop หากต้องการให้หยุดระหว่างการทำงานและเมื่อจบการทำงานทุกครั้งจะต้องกดปุ่มนี้

FORWARD เป็นปุ่มที่ใช้ในการบังคับแมกคานิกส์ให้เคลื่อนที่ไปด้านหน้า

REWARD เป็นปุ่มที่ใช้ในการบังคับแมกคานิกส์ให้เคลื่อนที่ไปด้านหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของเครื่อง

คุณสมบัติของเครื่องสามารถวัดระยะทางได้อย่างแม่นยำ โดยใช้การควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ตัวเครื่องสามารถรับน้ำหนักได้ถึง 40 กิโลกรัม มีการควบคุมการทำงานสองแบบ คือแบบ Manual และแบบ Auto และสามารถเปิดฝาดูการทำงานของระบบกลไกได้ ตัวมอเตอร์ AC เป็นมอเตอร์ที่จ่ายกำลังได้ไม่เกิน 1 แรงม้า (hp) และเป็นมอเตอร์ 1 เฟส เราสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมได้

ชุด Power Supply เป็นชุดที่จ่ายพลังงานให้กับวงจรทั้งหมดที่มีอยู่ซึ่งในการทำงานครั้งนี้จะมีชุดแหล่งจ่ายอยู่ 2 ชุดคือ

1. ชุด ±12 V สามารถจ่ายกระแสได้ 1 แอมป์แปร์
2. ชุด +5 V สามารถจ่ายกระแสได้ 3 แอมป์แปร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

วิชัย ศังขจันทรานนท์. **ควบคุมเครื่องกลไฟฟ้าด้วยอิเล็กทรอนิกส์กำลัง 1**. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: หจก. เอช-เอน การพิมพ์, 2532.

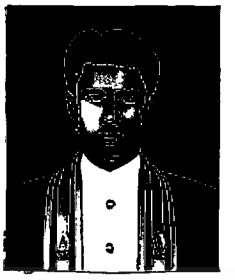
วิชัย ศังขจันทรานนท์. **ควบคุมเครื่องกลไฟฟ้าด้วยอิเล็กทรอนิกส์กำลัง 2**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: หจก. เอช-เอน การพิมพ์, 2530.

พิพัฒน์ เลาหสงคราม. **ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-48 MCS-51**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร, 2537.

ดวงฤดี อิ่มสินสกุลม,รัชดา วิชุชุตารัช, สมชาย แพนลา, สุชาดา เกตุดี, และอรนุช เข็มเพชร. "รถคนพิการควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์" **ปริญญานิพนธ์ สาขาอิเล็กทรอนิกส์และ คอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**, ปี พ.ศ.2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	ชัชวาล สมานสุข
วันเดือนปีเกิด	7 พ.ค. 2517
สถานที่เกิด	จังหวัดนครราชสีมา
ภูมิลำเนาเดิม	202 หมู่ 11 ต.ประสุข อ.ชุมพวง จ.นครราชสีมา 30270
ที่อยู่ปัจจุบัน	66/94 หมู่ 7 ต.เทพารักษ์ อ.เมือง จ.สมุทรปราการ
โทรศัพท์	3835200 ต่อ 2058

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนอาสนาราม “เปล่งอุปถัมภ์”
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนชุมพวงศึกษา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคนครราชสีมา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
ปริญญาตรี	สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
ผลงานที่ได้รับรางวัล	
ทุนการศึกษา	
คติพจน์	ฝันให้ไกล ไปให้ถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	ชัยวัฒน์ ก่อเกียรติงาม
วันเดือนปีเกิด	11 พ.ค. 2519
สถานที่เกิด	จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ภูมิลำเนาเดิม	จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ที่อยู่ปัจจุบัน	67/290 เอกชัย 42 เขตบางขุนเทียน กทม. 10150
โทรศัพท์	8982134

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนสามัญวัดหนัง
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนศึกษานารีวิทยา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคราชสิทธาราม
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคราชสิทธาราม
ปริญญาตรี	สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

ผลงานที่ได้รับรางวัล

ทุนการศึกษา

คติพจน์ ทำวันนี้ให้ดีที่สุด

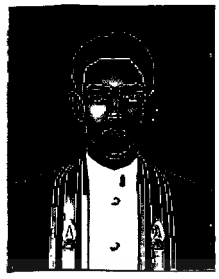
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	ปวนิตย์ ใจสุข
วันเดือนปีเกิด	8 เม.ย. 2514
สถานที่เกิด	จังหวัดนครพนม
ภูมิลำเนาเดิม	147 หมู่ 1 ต.ดอนนางหงส์ อ.ธาตุพนม จ.นครพนม
ที่อยู่ปัจจุบัน	309/376 หมู่บ้านพัฒนาการวิลล่า แขวงประเวศ เขตพัฒนาการ กทม.
โทรศัพท์	7221631
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนบ้านนาแก
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนปิยะมหาราชาลัย
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคนครพนม
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคนครพนม
ปริญญาตรี	สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
ผลงานที่ได้รับรางวัล	
ทุนการศึกษา	
คติพจน์	มนุษย์ต้องศึกษาเรียนรู้อยู่ตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	วิชช์ธวัช ทวิชศรี
วันเดือนปีเกิด	12 พ.ย. 2517
สถานที่เกิด	จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ภูมิลำเนาเดิม	จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ที่อยู่ปัจจุบัน	66/94 ต.บางเมือง อ.เมือง จ.สมุทรปราการ 10270
โทรศัพท์	02-7027042

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนมานิตานุเคราะห์
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนราชวินิตย์บางแก้ว
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคสมุทรปราการ
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคสมุทรปราการ
ปริญญาตรี	สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
ผลงานที่ได้รับรางวัล	
ทุนการศึกษา	
คติพจน์	ทำดีได้ดี รักเพื่อนมาก ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้